

4.15. СИНУСОИДАЛЫҚ ТОК ТІЗБЕГІНДЕГІ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ТЕҢГЕРІМ

Барлық энергия көздерінің лездік қуаттарының алгебралық қосындысы барлық энергия қабылдағыштарының лездік қуаттарының алгебралық қосындысына тең. Бұл период аралығындағы қуаттардың орташа мәндеріне де қатысты.

Энергетикалық теңгерім — энергия көздерінің, яғни ток көздері мен ЭҚК (кернеу) көздерінің, энергия қабылдағыштарының, яғни резистивті, индуктивті және сыйымдылық элементтерінің кез-келген санынан тұратын, синусоидалық токтың энергетикалық тізбегіндегі *қуаттар теңгерімі*, біріншіден, *барлық энергия көздерінің активті қуаттарының алгебралық қосындысы барлық резистивті элементтердің қуаттарының арифметикалық қосындысына тең*

$$\sum U_{\kappa} I_{\kappa} \cos(\psi_u - \psi_i) = \sum R I_R^2$$

немесе

$$\boxed{\sum P_{\kappa} = \sum P_R} \quad (4.46)$$

екіншіден, барлық энергия көздерінің реактивті қуаттарының алгебралық қосындысы барлық индуктивті және сыйымдылық элементтерінің алгебралық қосындысына тең

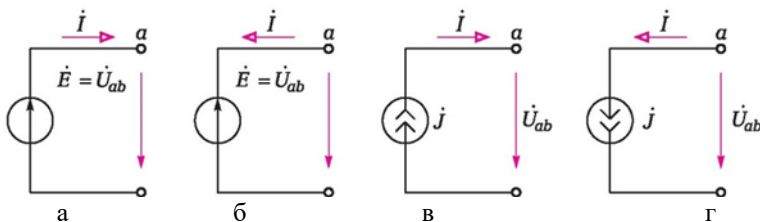
$$\sum U_{\kappa} I_{\kappa} \sin(\psi_u - \psi_i) = \sum X_L I_L^2 - \sum X_C I_C^2$$

немесе

$$\boxed{\sum Q_{\kappa} = \sum Q_L + \sum Q_C} \quad (4.47)$$

дегенді білдіреді.

ЭҚК көзінің активті $P_E = EI \cos(\psi_e - \psi_i) = U_{ab} I \cos(\psi_u - \psi_i)$ және реактивті $Q_E = EI \sin(\psi_e - \psi_i) = U_{ab} I \sin(\psi_u - \psi_i)$ қуаттары, егер $\dot{I}$



4.37-сурет

тогы мен $\dot{E} = \dot{U}_{ab}$ ЭҚК-нің бағыттары сәйкес келетін босла, «плюс» таңбасымен жазылады (4.37-сурет, а). Кері жағдайда (4.37-сурет, б) – «минус» таңбасымен. ток көзінің активті $P_J = U_{ab} I \cos(\psi_u - \psi_i)$ және реактивті $Q_J = U_{ab} I \sin(\psi_u - \psi_i)$ қуаттары, егер көз $j = i$ тогының бағыты және олардың шықпалары арасындағы $\dot{U}_{ab}$ кернеуі бағыты қарама-қарсы болса (4.37-сурет, в), «плюс» таңбасымен жазылады. Кері жағдайда (4.37-сурет, з) – «минус» таңбасымен жазылады.

4.16. ПАССИВТІ ТӨРТ ЖӘНЕ ҮШ ПОЛЮСТІЛЕР

Егер электротехникалық құрылғыларды, тізбектің басқа бөліктерімен 1 – 1' және 2 – 2' шықпалар жұбымен (полюстарымен) жалғанатын, *төрт полюсті* түрінде қарастыратын болсақ (4.38-сурет), олардың жұмыс режимін есептеу қысқарады. Егер төртполюстіде энергия көздері жоқ болса, онда оларды *пассивті*, ал егер бар болса – *активті* деп атайды. Активті төрт полюстіге мысал ретінде дифференциалды күшейткішті, пассивті төртполюстіге – екі орамды трансформаторды, телефондық байланыс желісін, өлшеуші көпірді келтіруге болады. Сызықтық пассивті төрт полюстінің схемасы тек сызықтық резистивті, индуктивті және сыйымдылық элементтерінен, сызықтық емес – сондай-ақ аттас сызықтық емес элементтерден тұрады.

Автоматика мен радиотехника құрылғыларында, төрт полюстінің шықпасындағы $\dot{U}_1$ кернеуінің кешенді мәндерінің оның кірісіндегі $\dot{U}_2$ кернеуіне қатынасының жиілігіне тәуелділігін білу маңызды. Кешенді кернеулердің салыстырмалы өзгерісі *кернеу жіберудің кешенді коэффициенті* деп аталады

$$\underline{K}_u = K_u(\omega) e^{j\theta_u(\omega)} = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{U_2 \angle \psi_{u2}}{U_1 \angle \psi_{u1}} \quad (4.48)$$

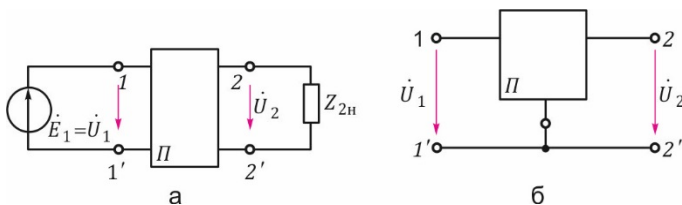
мұндағы

$$K_u(\omega) = U_2 / U_1 = \left| \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} \right| \quad (4.49)$$

- амплитудалық-жиіліктік сипаттама (АЖС);

$$\theta_u(\omega) = \psi_{u2} - \psi_{u1} \quad (4.50)$$

- төрт полюстінің кернеуінің фазалық жиілікті сипаттамасы (ФЖС).



4.38-сурет

Төрт полюске (сүзгіге, күшейткіштерге және т.б.) ие тізбектерді талдау кезінде *логарифмдік амплитудалық-жиіліктік сипаттаманы* (ЛАЖС) қолданады. Бұл ретте ординат осы бойымен, өлшем бірлігі децибел (дБ) $20 \lg K_u$ шамасының мәндері қойылады, және де абсцисс осы бойымен – ω бұрыштық жиіліктерінің немесе ондық логарифм масштабындағы $f = \omega / 2\pi$ жиілігі қойылады. $\lg \omega|_{\omega=0} = -\infty$ болғандықтан, абсцисс остерінде санақ басы жоқ, ал ордината және абсцисс остерінің қиылысу нүктесі ЛАЖС бейнелеу кезінде дербес таңдалады. ЛАЖС-сын сызықтық бөліктер жиынтығымен аппроксимациялау мүмкіндігі оның қолайлылығын білдіреді, бұл төрт полюстілерге ие тізбектерді талдауды жеңілдетеді. Мысалы, операциялық күшейткішті күшейту жолағын анықтау (15.16-суретті қараңыз).

Егер бір шықпа төрт полюсті тізбектің кірісі, ал екіншісі шықпа оның шығысы болып табылса, онда төрт полюсті үш полюстіні білдіреді.

4.17. ЭЛЕКТРЛІК СҮЗГІЛЕР

Периодты синусоидалық емес функция $\underline{f}(t) = f(t + kT)$ шартын қанағаттандырады, мұндағы T - функция периоды, яғни уақыт өткеннен кейін мәндері қайталанатын уақыт аралығы; k – бүтін сан.

Мұндай периодты функция, жалпы жағдайда шектелмеген, бірақ электрлі тізбектерді есептеу кезінде көбінесе n аяққы санды үйлесімді (синусоидты) құраушылардан (гармоник) тұратын, үйлесімді Фурье қатары түрінде көрсетілуі мүмкін екендігі математика курсынан мәлім. Мысалы, периодты синусоидалық емес ток

$$i = I_0 + I_{m1} \sin(\omega t + \psi_{i1}) + I_{m2} \sin(2\omega t + \psi_{i2}) + \dots + I_{mn} \sin(n\omega t + \psi_{in}).$$

Электрлік сүзгілер периодты синусоидалық емес токтар мен белгілі бір жиілікке ие немесе жиілік жолақтары шегінде кернеулердің үйлесімді құраушыларын, катушкалардың $k\omega L$ индуктивті кедергілері мен конденсаторлардың $1/k\omega C$ сыйымдылық кедергілерінің үйлесімділік құраушысының k нөміріне тәуелділігі негізінде азайтуға мүмкіндік береді.

Тегістеуші сүзгілер. Мұндай сүзгілер айналмалы кернеудің жоғары үйлесімдерін ұстап тұруды азайту үшін қолданылады.

Қарапайым тегістеуші сүзгі, шығыс шықпаларына $R_{2н}$ жүктеме кедергісі бар қабылдағыш жалғанған, пассивті сызықтық төртпюлюстіден тұрады (4.39-сурет, а).

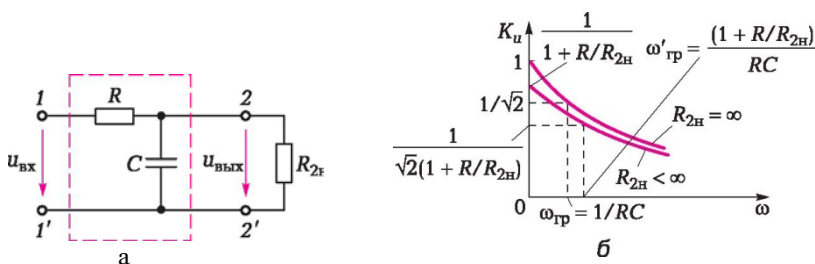
4.39, б суретінде жүктеменің ($R_{2н} = \infty$) ажыратылған тізбегіндегі

$$K_{ux}(\omega) = \frac{\frac{1}{\omega C}}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}$$

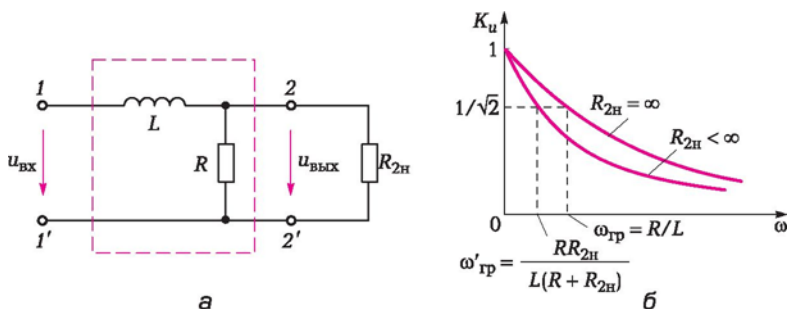
және $R_{2н} < \infty$ жүктеме тізбегінің кедергісі кезіндегі сүзгінің амплитудалық-жиіліктік сипаттамалары келтірілген.

2 – 2' шықпалары арасындағы синусоидалық кернеу амплитудасы мен 1 – 1' шықпалары арасындағы тұрақты амплитуда да, оның

нөлге тең бұрыштық жиілігіндегі мәнінен $\sqrt{2}$, яғни $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$ есе аз бұрыштық жиілік $\omega_{шөк}$ шекаралық бұрыштық жиілік деп, ал бұрыштық жиіліктердің $0 \leq \omega \leq \omega_{шөк}$ диапазоны – тегістеуші сүзгінің өткізгіш жолағы деп аталады. Көбінесе бұрыштық жиіліктер орнына олардың сәйкес $f = \omega / 2\pi$ циклдік жиіліктерін қолданады.



4.39-сурет



4.40-сурет

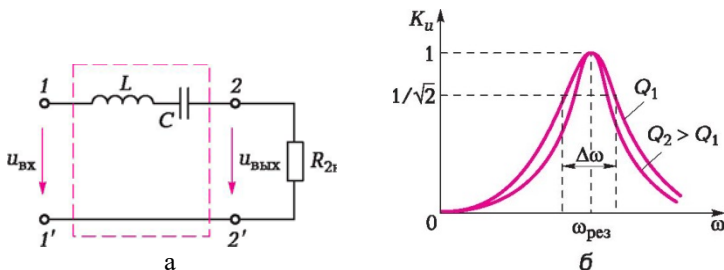
$R_{2,ж} = \infty$ жүктеменің ажыратылған тізбегіндегі

$$K_{ux}(\omega) = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$$

және $R_{2,ж} < \infty$ жүктеме тізбегінің кедергісі кезіндегі, оған тән амплитудалық-жиіліктік сипаттамасымен қоса (4.40-сурет, б), тегістеуіш сүзгі қасиетіне пассивті төртпöлюсті де ие (4.40-сурет, а) RC -тізбегіне негізделген тегістегіш сүзгісіне қарағанда, RL -тізбегі негізіндегі тегістеуіш сүзгіде, демек, шекаралық бұрыштық жиіліктің мәні, яғни өткізу жолақтары жүктеме тізбегінің кедергісі азайған сайын кемиді.

Резонансты сүзгілер. Мұндай сүзгілерде электр тізбегіндегі кернеу мен ток резонанстары құбылысы, қабылдағыштағы кернеуде белгілі бір жиілік жолағын ерекшелеу немесе алып тастау үшін қолданылады.

Жолақтық сүзгіде (4.41-сурет, а) кернеулер резонансы құбылысы қолданылады (4.10-бөлімшені қараңыз).



4.41-сурет

Амплитудалық-жиіліктік сипаттама

$$K_u(\omega) = \frac{R_{2\kappa\kappa}}{\sqrt{[\omega L - 1/\omega C]^2 + R_{2\kappa\kappa}^2}} \quad (4.51)$$

4.41, б суретінде келтірілген.

Сүзгі бөліп шығаратын $\Delta\omega$ бұрыштық жиілік жолағының ені, $K_u = 1/\sqrt{2}$ деңгейінде

$$Q = \frac{\sqrt{L/C}}{R_{2\kappa\kappa}}$$

тізбек төзімділігі үлкен болған сайын соншалықты аз болады.

Бөгеуші сүзгіде (4.42-сурет, а) ток резонансы құбылысы қолданылады (4.12-бөлімшені қараңыз). Оның амплитудалық-жиіліктік сипаттамасы

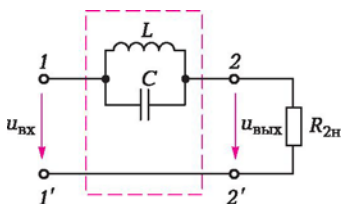
$$K_u(\omega) = \frac{R_{2\kappa\kappa} |1 - \omega^2 LC|}{\sqrt{(\omega L)^2 + R_{2\kappa\kappa} (1 - \omega^2 LC)^2}}$$

4.42, б суретінде келтірілген. Сүзгі бөгейтін $\Delta\omega$ бұрыштық жиілік жолағының ені $K_u = 1/\sqrt{2}$ деңгейінде анықталады.

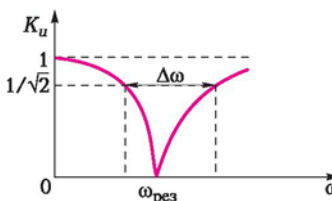
Таңдамалы RC-сүзгілері. Бұл сүзгілер тек резисторлар мен конденсаторлардан тұрады. Жолақты *RC-сүзгілеріне* мысал ретінде, *Вин белдемі* деп аталатын төртполюстіні алуға болады (4.43-сурет, а). Оның амплитудалық-жиіліктік сипаттамасы 4.43, б суретінде келтірілген. Амплитудалық-жиіліктік сипаттамасының максималды мәні $\frac{1}{3}$ -ке тең және

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (4.52)$$

бұрыштық жиілігінде қол жетімді болады.

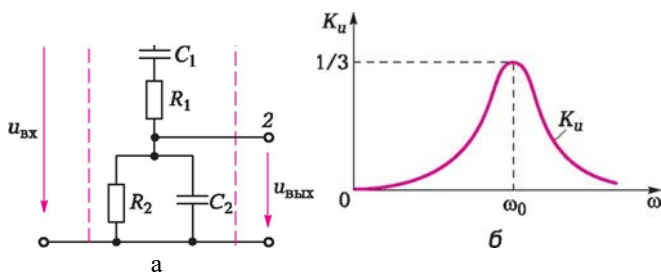


а

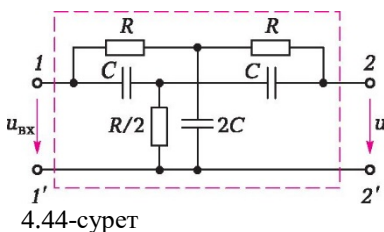


б

4.42-сурет



4.43-сурет



4.44-сурет

Бөгеуші RC -сүзгісі екі қабатты T -тәріздес көпірмен бейнеленеді (4.44-сурет). Жүктеменің ажыратылған тізбегінде оның амплитудалық-жиілік сипатының минимумына $\omega_0 = 1/(RC)$ бұрыштық жиілігі сәйкес келеді.

Бұл шартты дәлелдеу көп еңбекүті қажет етеді және бұл жерде келтірілмейді.

Таңдамалы RC -сүзгісінің басқа да схематехникалық шешімдері болуы мүмкін.

БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Синусоидалық шамалардың амплитудалық, әрекеттегі және орташа мәндері арасындағы қатынас қандай?
2. Неліктен электр қондырғысының қуаттылық коэффициентін арттыруға ұмтылады?
3. Неліктен тізбекті тербелмелі контурда (4.25-суретті қараңыз) кернеулер резонансы кезінде индуктивті және сыйымдылық элементтеріндегі $U_L = U_C$ кернеулер, U көзінің кернеуінің әсерлік мәнінен артық бола алады?
4. 4.39, а суретіндегі схема бойынша тегістегіш сүзгінің әсер ету принципі неге негізделген?
5. Жиілік артқан кезде резистивті, индуктивті және сыйымдылық элементтерінің кедергілерінің мәні қалай өзгереді (артады, азаяды, өзгермейді)?

6. Активті қуатты өлшеу кезінде ваттметрді дұрыс қосу үшін (4.36-суретті қараңыз) неліктен оның тогы мен кернеулері тізбегінің шықпа белгілерін ескеру қажет?
7. Халықаралық бірліктер жүйесінде (СИ) қандай негізгі бірліктер, синусоидалық тоқты электр тізбегіндегі активті, реактивті және толқы қуатты өлшеу үшін қолданылады?

ӨЗІНДІК ШЫҒАРУҒА АРНАЛҒАН ЕСЕПТЕР

1. $i = 10 \sin \omega t$ А синусоидалық токтың әсерлік мәнін анықтаңыз.
Жауабы: $10/\sqrt{2}$ А.
2. Электр тізбегі, тізбектей жалғанған кедергісі $R = 50$ Ом резистор және индуктивтілігі $L = 0,1$ Гн катушкадан тұрады. ток жиілігі $f = 50$ Гц болған кездегі толық кедергіні анықтаңыз.
Жауабы: 59 Ом.
3. 2-ші есептің шарттарын сақтай отырып, $i = 10 \sin \omega t$ синусоидалық ток кезіндегі тізбек қысқыштарының арасындағы кернеудің әсерлік мәндерін анықтаңыз.
4. 2-ші және 3-ші есептердің шарттарын сақтай отырып, тізбектің активті, реактивті және толық қуатын анықтаңыз.
Жауабы: 2 500 Вт, 1 570 вар, 2 950 В • А.
5. Электр тізбегі тізбектей жалғанған кедергісі $R = 30$ Ом резистор мен сыйымдылығы $C = 6$ мкФ конденсатордан тұрады. ток жиілігі $f = 400$ Гц болғанда, тізбектің толық кедергісін анықтаңыз.
Жауабы: 72,8 Ом.
6. 5-ші есептің шарттарын сақтай отырып, тізбек қысқыштары арасындағы $u = 100 \sin \omega t$ синусоидалық кернеуі кезіндегі токтың әсерлік мәндерін анықтаңыз.
Жауабы: 0,975 А.
7. 5-ші және 6-шы есептердің шарттарын сақтай отырып, тізбектің активті, реактивті және толық қуатын анықтаңыз.
Жауабы: 28,5 Вт, -63,5 вар, 69 В • А.
8. $i = 100 \sin(\omega t - \frac{\pi}{4})$ А синусоидалық тогына сәйкес келетін $\dot{I}$ токтың кешенді әсерлік мәні неге тең?
Жауабы: $100/\sqrt{2} e^{-i\pi/4}$

9. $\dot{U} = 10e^{-i\pi/4}$ кернеуінің кешенді әсерлік мәні сәйкес келетін синусоидалық кернеу неге тең?

Жауабы: $u = 10\sqrt{2}\sin(\omega t - \pi/4)\text{В}$.

10. $u = U_m \sin(\omega t - \pi/2)$ синусоидалық кернеуі мен $i = I_m \sin(\omega t - \pi/3)$ тогы арасындағы фазалар ығысуы неге тең?

Жауабы: $-\pi/6$.