

Жоспар

- 8.1 Векторлық диаграммалар
- 8.2 ЭТ есептеудің символдық әдісі

8.1 Векторлық диаграммалар

Ом және Кирхгоф заңдарын қолдануда бірнеше бағыттар бар: токтың ағу бағыты, ЭҚК әрекетінің бағыты, түйінге байланысты бағыты және т.б.. Айнымалы ток тізбектерінде барлық шамалар (ЭҚК, кернеу және ток) период ішінде екі рет өз бағыттарын өзгертетіндіктен, олар үшін *оң бағыт* ұғымы қолданылады. Оң бағыты ретінде анықталатын шамасының оң лездік мәндеріне сәйкес бағыт алынады. Егер бағыт өзгеше алынса, сонда синусоидалды шамасының бастапқы фазасы π бұрышқа өзгереді. Осылайша, оң бағыт таңдауды есепке ала отырып шамалардың барлық комплекстік мәндері анықталады. Пассивті элемент үшін оң бағытты тек екі шаманың біріне таңдайды - токқа немесе кернеуге байланысты. Екінші шаманың бағыты бірінші шаманың бағытымен сәйкес келуі шарт, сол жағдайда ғана фазалық байланыстары бұзылмайды. ЭҚК әрекетінің оң бағыты берілген болып есептеледі және шартты белгіленуінде көрсеткішпен белгіленеді. Сол бағытқа байланысты ЭҚК бастапқы фазасы анықталады.

*Айнымалы ток тізбектеріндегі шамалардың сандық және фазалық қатынастарын талдау үшін комплекстік жазықтықта электр тізбектің жұмыс режиміне сай келетін векторлар тұрғызады. Мұндай векторлар жиынтығы **векторлық диаграмма** деп аталады.*

Векторлық диаграммаларды және пассивті элементтері бар әр түрлі электр тізбек бөліктерінің комплекстік орнын басу схемаларын құрастыруға болады.

8.1.1 Резистивті элементі бар электр тізбектің бөлігі

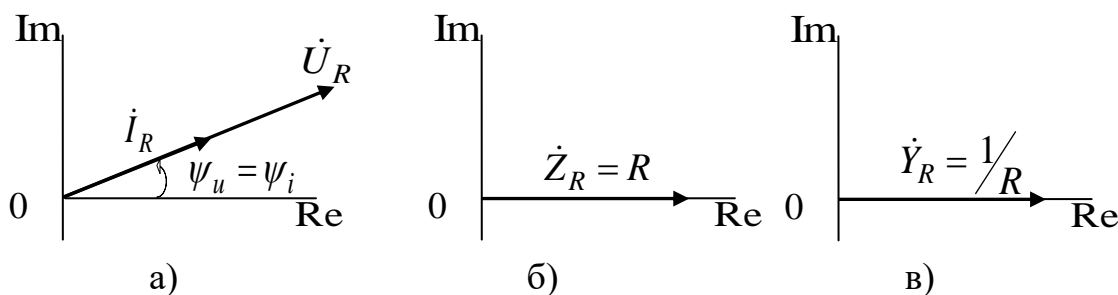
Кедергісі $R = Z_R$ резистивті элементі бар электр тізбектің бөлігін қарастырамыз, ол арқылы синусоидалды ток ағады:

$$\dot{I}_R = I e^{j\psi_i}.$$

Онда Ом заңы бойынша комплекстік кернеу:

$$\dot{U}_R = IR e^{j\psi_i} = U e^{j\psi_u}.$$

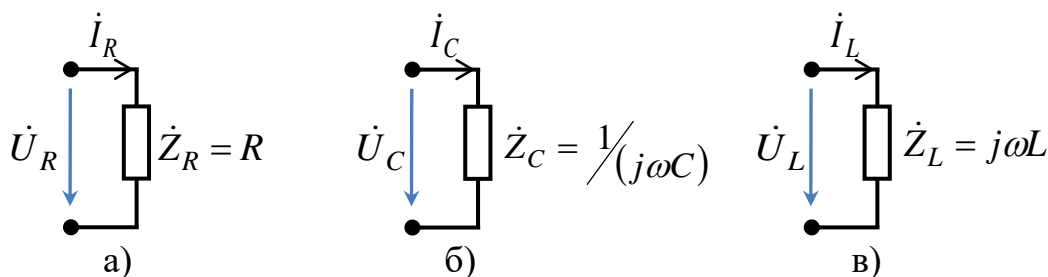
Кедергідегі комплекстік ток пен кернеу бірдей аргументке ие және R есе модулі бойынша ерекшеленеді. Комплекстік жазықтықта бағыты бойынша сәйкес келетін және тек масштаб бойынша ерекшеленетін \dot{I}_R мен \dot{U}_R шамалары векторлармен белгіленеді (8.1, а-сурет).



8.1- сурет. Векторлық диаграммалар: ток пен кернеу үшін (а), активті кедергінің комплекстік кедергі (б) мен комплекстік өткізгіштігі (в) үшін

Комплекстік жазықтықта нақты өсі бойымен бағытталған \dot{Z}_R вектормен бейнеленеді (8.1, б-сурет). Активті кедергінің комплекстік өткізгіштігі де $\dot{Y}_R = \frac{1}{\dot{Z}_R} = \frac{1}{R}$ вектормен бейнеленеді, оның бағыты оң нақты жартылай өсі бойымен болады.

Комплекстік орын басу схемасы 8.2, а-суретте көрсетілген.



8.2-сурет. Тізбек бөліктерінің комплекстік орын басу схемалары: кедергісі бар тізбек бөлігі үшін (а), сыйымдылығы бар тізбек бөлігі үшін (б) және индуктивтілігі бар тізбек бөлігі үшін (в)

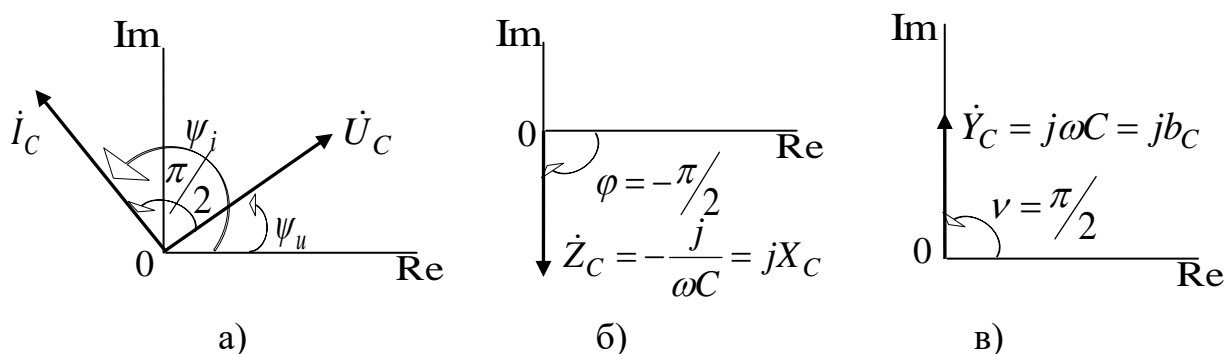
8.1.2 Сыйымдылық элементі бар электр тізбектің бөлігі

C сыйымдылығы бар электр тізбектің бөлігін қарастырамыз. Фаза бойынша $\frac{\pi}{2}$ бұрышына i_c сыйымдылық тоғы u_c сыйымдылық кернеуін

озатындығына байланысты, комплекстік жазықтықта $\dot{U}_C = Ue^{j\psi_u}$ комплекстік

кернеудің векторына қарағанда $\dot{I}_C = Ie^{j\psi_i} = \omega C U e^{j\left(\psi_u + \frac{\pi}{2}\right)}$ комплекстік

тоғының векторы сағат тіліне қарама-қарсы $\frac{\pi}{2}$ бұрышына бұрылған болады (8.3-сурет).



8.3-сурет. Векторлық диаграммалар: ток пен кернеу үшін (а), сыйымдылықтың комплекстік кедергі (б) мен комплекстік өткізгіштігі (в) үшін

Комплекстік жазықтықта $\dot{Z}_C = \dot{X}_C = -j \frac{1}{\omega C}$ сыйымдылықтың комплекстік кедергісі мен $\dot{Y}_C = \frac{1}{\dot{X}_C} = j\omega C = jb_C$ комплекстік реактивті өткізгіштігі векторлармен бейнеленеді, олар теріс және оң жорамал жартылай осьтері бойымен бағытталады (8.3, б, в -сурет).

8.2, б-суретте осы тізбек бөлігінің комплекстік орын басу схемасы көрсетілген.

8.1.3 Индуктивтілік элементі бар электр тізбектің бөлігі

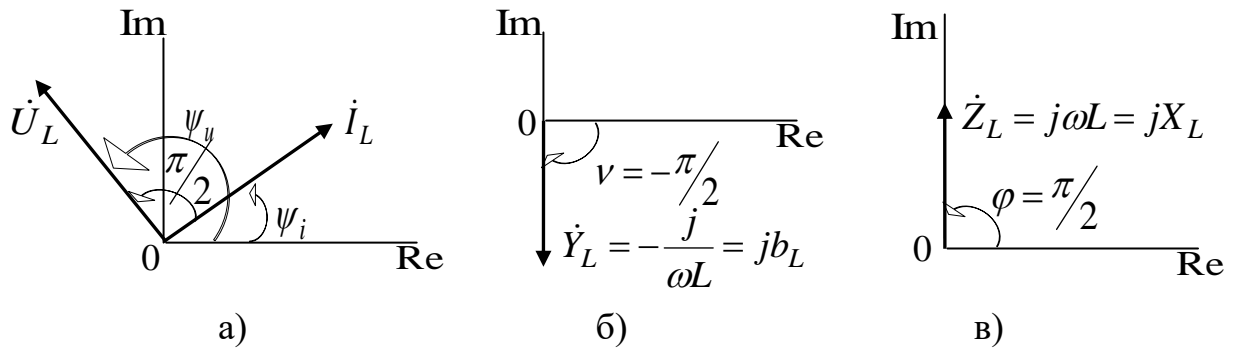
L индуктивтілік элементі бар электр тізбек бөлігін қарастырамыз. Фаза бойынша $\frac{\pi}{2}$ бұрышына i_L индуктивтіліктің тоғы u_L индуктивтіліктің кернеуінен артта қалып отырғанына байланысты, комплекстік жазықтықта

$\dot{i}_L = I e^{j\psi_i}$ комплекстік токтың векторына қарағанда $\dot{U}_L = U e^{j\psi_u} = \omega L I e^{j\left(\psi_i + \frac{\pi}{2}\right)}$

комплекстік кернеудің векторы сағат тіліне қарама-қарсы $\frac{\pi}{2}$ бұрышына бұрылған болады (8.4-сурет). Комплекстік жазықтықта $\dot{Z}_L = \dot{X}_L = j\omega L$

индуктивтіліктің комплекстік кедергісі мен $\dot{Y}_L = \frac{1}{\dot{X}_L} = -j \frac{1}{\omega L} = jb_L$, $b_L = -\frac{1}{\omega L}$ комплекстік реактивті өткізгіштігі векторларымен бейнеленеді, олар теріс және оң жорамал жартылай осьтері бойымен бағытталады (8.4, б, в-сурет).

8.2, в-суретте осы тізбек бөлігінің комплекстік орын басу схемасы көрсетілген.



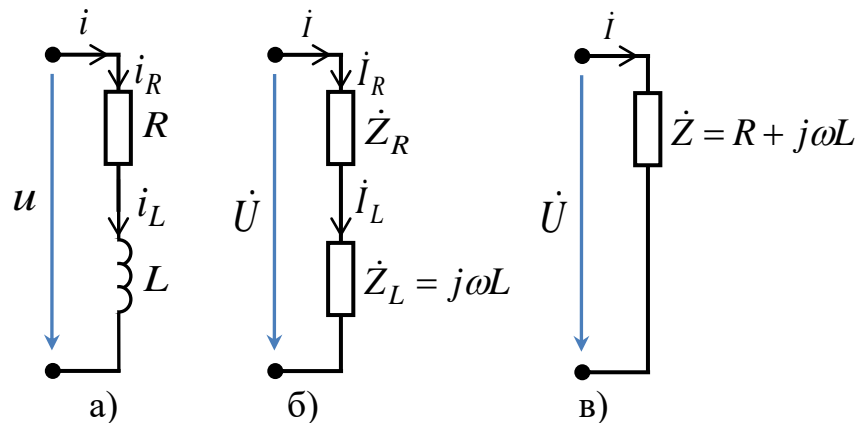
8.4-сурет. Векторлық диаграммалар: ток пен кернеу үшін (а), индуктивтіліктің комплекстік кедергі (б) мен комплекстік өткізгіштігі (в) үшін

8.1.4 Тізбектей жалғанған RL -тізбегі

R кедергіден және L индуктивтіліктен тізбектей жалғанған идеалды электр тізбегін қарастырамыз (8.5, а-сурет). Электр тізбегінің сыртқы ұштарына берілген u кернеуі келесі гармоникалық заңы бойынша өзгереді

$$u = U\sqrt{2} \sin(\omega t + \psi_u),$$

бұл жерде U, ω, ψ_u - берілген шамалар. Электр тізбекті комплекстік орын басу схемасымен алмастырамыз (8.5, б-сурет).

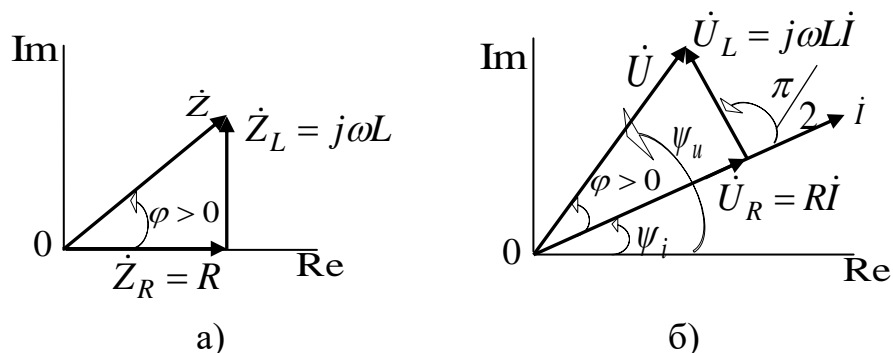


8.5 сурет – Орын басу схемалары

RL -тізбек үшін ток пен кернеудің векторлық диаграммалары 8.6-суретте көрсетілген.

Кедергідегі кернеу ток фаза бойынша сәйкес келетіндіктен, \dot{U}_R векторы \dot{i} векторының бағытымен сәйкес келеді, \dot{U}_L векторы \dot{i} векторына қарағанда сағат тіліне қарсы $\frac{\pi}{2}$ бұрышқа орналасқан. ψ_u кернеудің бастапқы фазасына тәуелсіз \dot{i} векторы $\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_L$ векторына қарағанда сағат тілімен φ

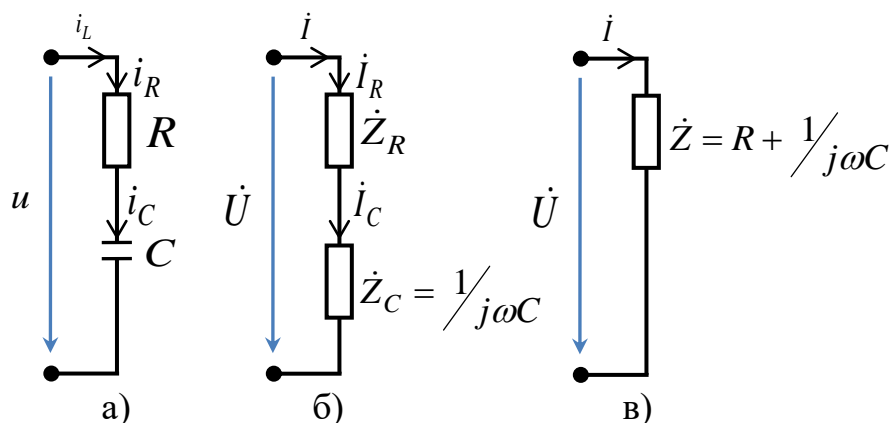
бұрышқа бұрылған. Сонда ток кернеуден фаза бойынша φ бұрышқа кешігеді. Бұл бұрыш тізбектің комплекстік кіріс кедергісінің аргументіне тең.



8.6-сурет. Тізбектей жалғанған RL -тізбегінің векторлық диаграммасы

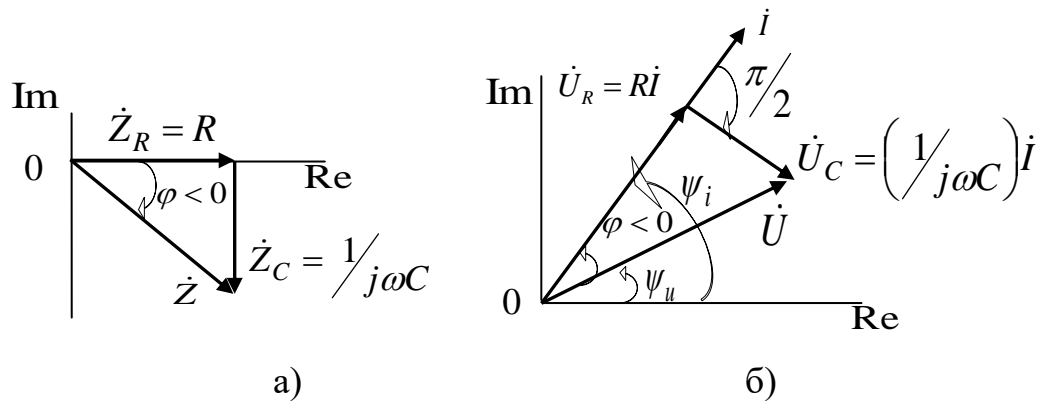
8.1.5 Тізбектей жалғанған RC - тізбегі

R кедергіден және C сыйымдылықтан тізбектей жалғанған идеалды электр тізбегін қарастырамыз (8.7, а-сурет). Комплекстік орын басу схемасы 8.7, б-суретте көрсетілген.



8.7-сурет. Тізбектей жалғанған RC -тізбегінің схемалары

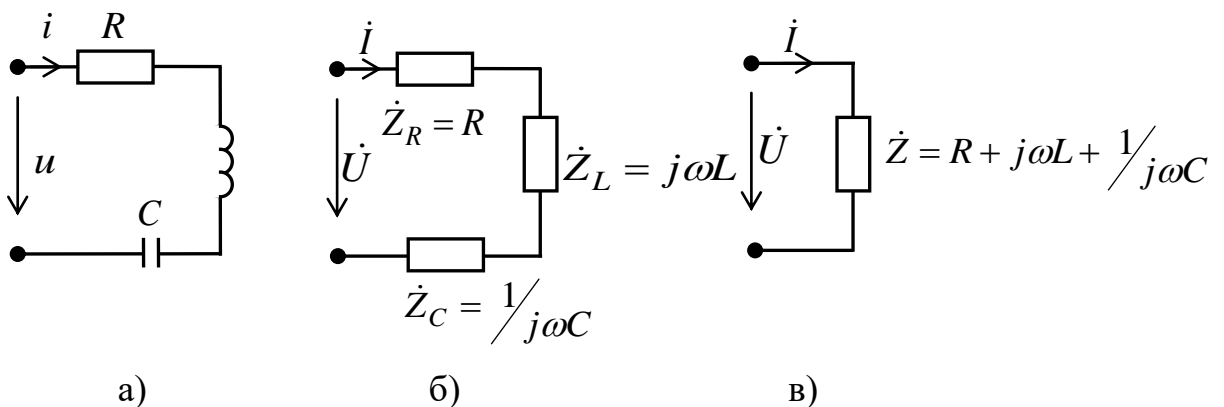
Тізбектей жалғанған RC -тізбегі үшін ток пен кернеудің диаграммасы 8.8- суретте көрсетілген. Суретте i векторына қарағанда \dot{U}_C векторы $\frac{\pi}{2}$ бұрышқа сағат тілімен бағыттас бұрылған. ψ_i токтың бастапқы фазасына тәуелсіз i векторына қарағанда \dot{U} векторы φ бұрышқа сағат тілімен бағыттас бұрылған, яғни кернеу фаза бойынша токтан, тізбектің комплекстік кіріс аргументіне тең $-\varphi$ бұрышқа қалып келеді.



8.8-сурет. Тізбектей жалғанған RC -тізбектің векторлық диаграммасы

8.1.6. Тізбектей жалғанған RLC - тізбек

Гармоникалық әсер кезіндегі тізбектей жалғанған RLC - тізбекті қарастырамыз (8.9-сурет).



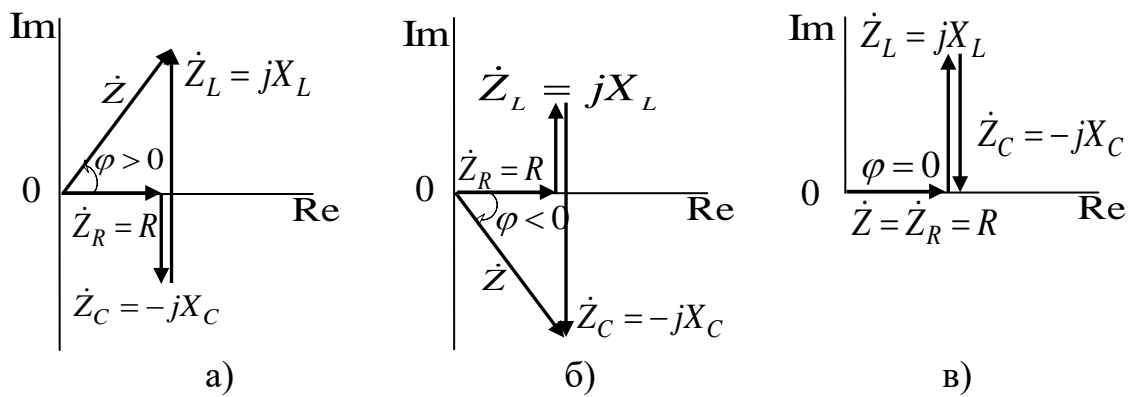
8.9-сурет. Тізбектей жалғанған RLC -тізбегінің схемасы

Тізбектің кіріс кедергісі $X_C = -j\frac{1}{\omega C}$ сыйымдылықтың және $X_L = j\omega L$ индуктивтіліктің комплекстік кіріс кедергілерінің жорамал құраушыларының өзара қатынасына тәуелді болады:

✓ $X_L > |X_C|$ кезінде - резистивті-индуктивті сипаттамасына ие және $0 < \varphi < \frac{\pi}{2}$ тең болады (8.10, а-сурет);

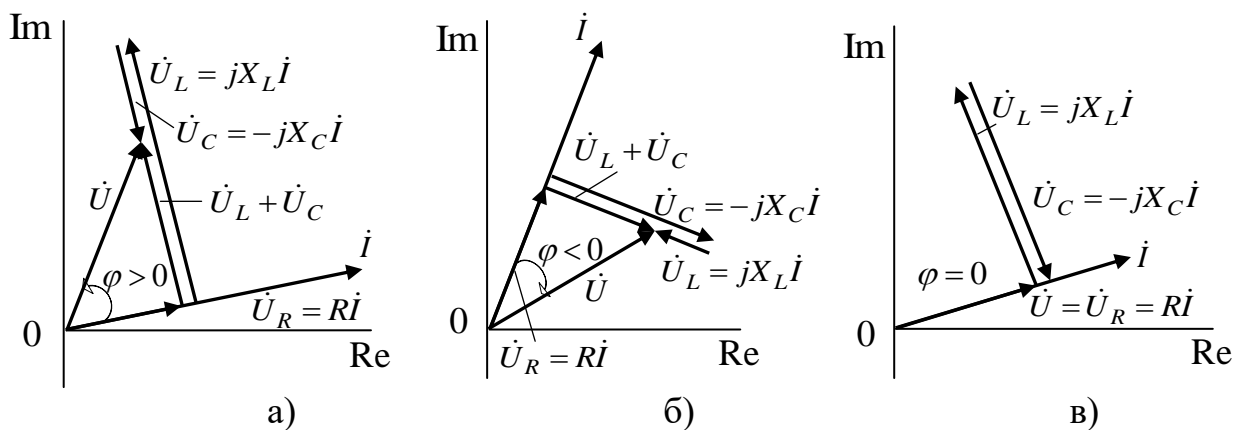
✓ $X_L < |X_C|$ кезінде - резистивті-сыйымдылықты сипаттамасына ие және $-\frac{\pi}{2} < \varphi < 0$ тең болады (8.10, б-сурет);

✓ $X_L = |X_C|$ кезінде кіріс кедергісінің жорамал құраушысы өзара компенсацияланады және тізбектің кіріс кедергісі резистивті сипаттамаға ие және $\varphi = 0$ тең болады (8.10, в-сурет).



8.10-сурет. Тізбектей жалғанған RLC -тізбек кедергілерінің векторлық диаграммалары

8.11-суретте берілген тізбектің ток пен кернеуі үшін векторлық диаграммалары көрсетілген. Кедергідегі $\dot{U}_R = IR$ кернеу түсуінің векторы i векторының бағытымен сәйкес келеді. $\dot{U}_L = j\omega L \cdot i$ векторы i векторына қарағанда 90° бұрышқа сағат тіліне қарсы бұрылған. $\dot{U}_C = -j\frac{1}{\omega C} \cdot i$ векторы \dot{U}_L векторына қарама-қарсы бағытталған. $X_L > |X_C|$ кезінде $\dot{U}_L + \dot{U}_C$ векторы \dot{U}_L векторының бағытымен сәйкес келеді (8.11, а-сурет), тізбектегі ток фаза бойынша кернеуден қалып отырады ($\varphi > 0$).

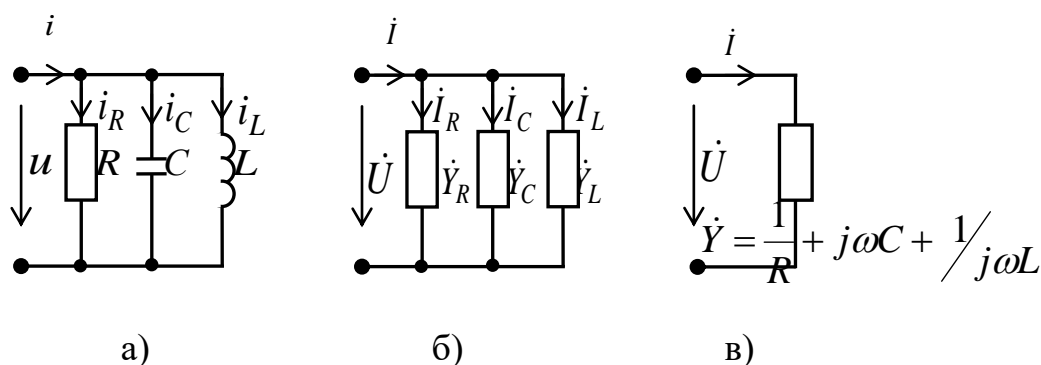


8.11-сурет. Тізбектей жалғанған RLC -тізбек кернеулерінің векторлық диаграммалары

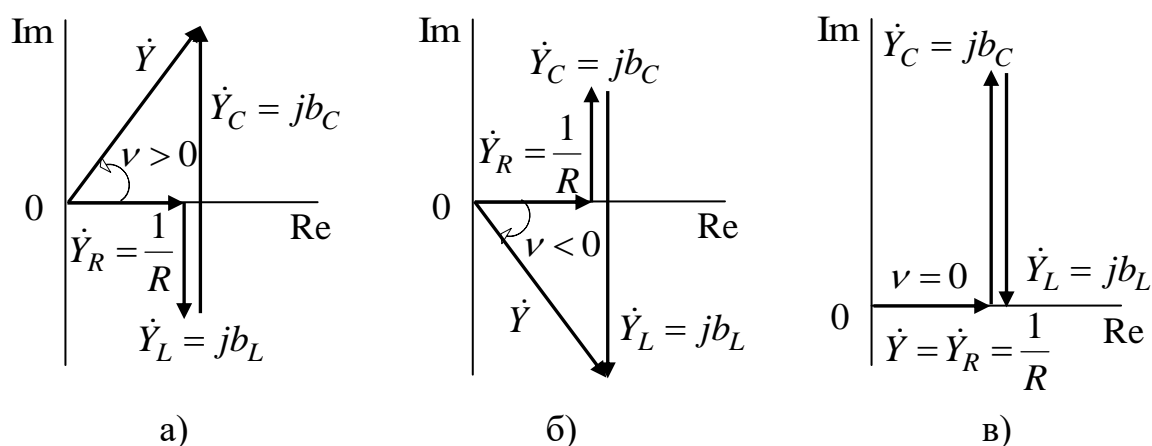
$X_L < |X_C|$ кезінде $\dot{U}_L + \dot{U}_C$ векторы \dot{U}_C векторының бағытымен сәйкес келеді (8.11, б-сурет), тізбектегі ток фаза бойынша кернеуді озады ($\varphi < 0$). $X_L = |X_C|$ кезінде $\dot{U}_L + \dot{U}_C = 0$ векторы, тізбектің ұштарындағы \dot{U} кернеуі кедергідегі \dot{U}_R кернеуіне тең болады (8.11, в-сурет), тізбектегі ток фаза бойынша қойылған кернеуге сәйкес келеді ($\varphi = 0$).

8.1.7 Параллель жалғанған RLC - тізбек

Гармоникалық ықпал кезіндегі параллель жалғанған RLC -тізбегін қарастырамыз (8.12-сурет).



8.12-сурет. Параллель жалғанған RLC -тізбегінің схемасы



8.13-сурет. Параллель жалғанған RLC -тізбек өткізгіштіктерінің векторлық диаграммалары

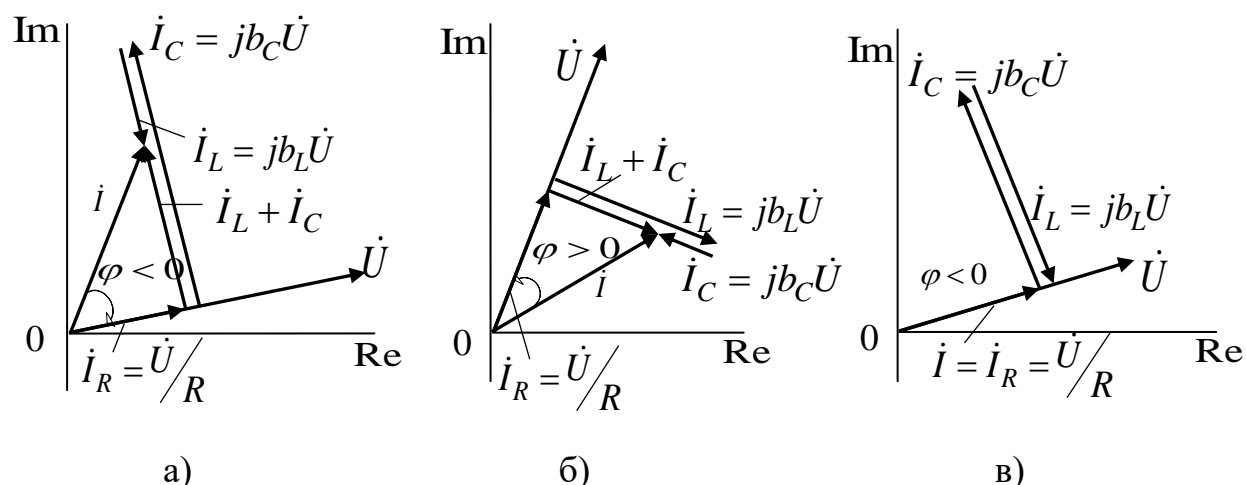
Тізбектегі кіріс өткізгіштіктің сипаттамасы $b_C = \omega C$ сыйымдылықтың және $b_L = -\frac{1}{\omega L}$ индуктивтіліктің кіріс өткізгіштіктің реактивті құраушыларына тәуелді болады:

✓ $b_C > |b_L|$ кезінде резистивті-сыйымдылықты сипаттамасына ие және комплекстік өткізгіштіктің аргументі $-\frac{\pi}{2} > \varphi > 0$ тең болады (8.13, а- сурет);

✓ $b_C < |b_L|$ кезінде резистивті-индуктивті сипаттамасына ие болады (8.13, б сурет);

✓ $b_C = |b_L|$ кезінде сыйымдылық пен индуктивтіліктің кіріс өткізгіштіктерінің реактивті құраушылары өзара компенсацияланады және тізбектің кіріс өткізгіштіктігі резистивті сипаттамаға ие болады (8.13, в-сурет)

Тізбектегі ток пен кернеудің векторлық диаграммалары 8.14-суретте көрсетілген.



8.14-сурет. Параллель жалғанған RLC - тізбектің ток пен кернеудің векторлық диаграммалары: $b_C > |b_L|$ кезінде - (а), $b_C < |b_L|$ - (б), $b_C = |b_L|$ - (в)

8.2 ЭТ есептеудің символдық әдісі

Егер негізгі шамалар синусоидалды функция түрінде болса, бірнеше тармақтары мен элементтері бар айнымалы токтың жұмыс режиміне талдау жасау практикалық түрде мүмкін емес. Себебі осы жағдайда күрделі тригонометриялық теңдеулер пайда болады. Функция мен тізбек параметрлерінің комплекстік сандар арқылы көрсеткен жағдайында тізбектің жұмыс режимінің математикалық сипаттамасы сызықты алгебралық теңдеулерімен беріледі. Сонда бастапқы синусоидалды уақыт функциялары (t - айнымалы шаманың нақты аймағы) – түпнұсқа (оригинал), ал комплекстік сандар мен векторлар - олардың бейнесі немесе символдары ($j\omega$ - жорамал аргументінің аймағы) болады. Сондықтан бұл әдіс **символдық** деп аталады.

Символдық әдісін қолдану кезеңдері:

1. Тізбектің топологиялық параметрлерін анықтаймыз: түйін, тармақ, контур сандарын.

2. Тізбектің барлық шамалары мен параметрлерін комплекстік сандар түріне айналдырамыз.

3. Барлық мәліметтер комплекстік сандар түрінде көрсетілген электр тізбегінің комплекстік орын басу схемасын құрастырамыз. Тізбек тармақтарындағы токтардың оң бағытын көрсетеміз.

2. Тізбектегі белгісіз шамаларды есептеу үшін кез-келген есептеу әдісін қолданамыз.

3. Алынған комплекстік шамаларды синусоидалды уақыт функциясына айналдырамыз.

Бақылау сұрақтары

1. Тізбектің әртүрлі бөлігі үшін комплекстік ток пен кернеулердің векторлық диаграммаларын құру принципін түсіндіріп беріңіз.
2. Тізбектің әртүрлі бөлігі үшін комплекстік кедергі мен өткізгіштіктің векторлық диаграммаларын құру принципін түсіндіріп беріңіз.
3. Электр тізбектерінде символдық әдістің қолдану кезеңдерін түсіндіріп беріңіз.