КАЗАХСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ Ш. ЕСЕНОВ АТЫНДАҒЫ КАСПИЙ МЕМЛЕКЕТТІК ТЕХНОЛОГИЯЛАР ЖӘНЕ ИНЖИНИРИНГ УНИВЕРСИТЕТІ

МҰНАЙ ЖӘНЕ ГАЗ ИНСТИТУТЫ

«ЭНЕРГЕТИКА» КАФЕДРАСЫ

БАЙМҰХАНОВА А.К.

ӘДІСТЕМЕЛІК ҚҰРАЛ

"ЭЛЕКТРОТЕХНИКАНЫҢ ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ 1»

ПӘНІ БОЙЫНША 050718-«ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКАСЫ» МАМАНДЫҒЫ СТУДЕНТТЕРІНЕ АРНАЛҒАН ДӘРІСТЕР КЕШЕНІ

АҚТАУ-2010

УДК621.3

Құрастырушы: «Энергетика» кафедрасының аға оқытушысы Баймұханова А.К.

Әдістемелік құрал. "Электротехниканың теориялық негіздері 1» пәні бойынша 050718-«Электр энергетикасы» мамандығы студенттеріне арналған дәрістер кешені 83 бет, КМТжИУ, 2011

Рецензент: т.ғ.к., доцент Султанов Т

Әдістемелік құралда пәннің типтік бағдарламасы бойынша тақырыптарға сәйкес дәрістердің конспектілері берілген. Әдістемелік құрал оқытушылар және студенттерге көмек ретінде жазылған. Студенттер осы құралды пайдаланып пәннің тақырыптары бойынша өз білімдерін тереңірек бекітуге болады. Оқытушылар үшін бұл құрал сабақта уақытын үнемді пайдалануға көмек етеді.

Ил. - 55 , әдебиеттер - 7.

Баспаға Ш.Есенов атындағы КМТжИУ оқу әдістемелік кеңесінің шешімімиен ұсынылған

КІРІСПЕ

Ұсынылып отырған әдістемелік нұсқау 050718 «Электр энергетикасы» мамандығы студенттері үшін "Электротехниканың теориялық негіздері 1» пәнін менгеруге арналған. Әдістемелік құрал «Электр энергетикасы» мамандығының мемлекеттік стандарты, типтік бағдараламаға, силлабусқа негізделіп жазылған. Әдістемелік құралға "Электротехниканың теориялық негіздері 1» пәнінің келесі тақырыптары енгізілген:

1. Тұрақты тоқтың электр тізбектері
2. Айнымалы сызықтық электр тізбектері
3. Айнымалы тоқтың үшфазалы жүйесі
4. Бейсинусоидалы электр тізбектері

Дәрістердің соңында студенттердің өз бетімен жұмыстануы үшін бақылау сұрақтары қарастырылған. Әрбір тақырыптан кейін осы тақырыпты менгеру деңгейін бақылайтын тесттік сұрақтар берілген.

Дәрісті оқығаннан кейін бақылау скрақтарына жауап беруге тырысу керек. Егер жауап беру қиыншылық келтірсе әдістемелік құралдың соңында берілген әдебиеттерді пайдалану қажет.

Дәріс № 1

ТАҚЫРЫП: ТҰРАҚТЫ ТОҚТЫҢ СЫЗЫҚТЫҚ ЭЛЕКТР ТІЗБЕКТЕРІ

Дәріс мақсаты: *Студенттерді «Электротехниканың теориялық негіздері 1» пәнінің мақсатымен таныстыру. Электр тізбектерінің негізгі элементтерін және оларды сипаттайтын шамалармен таныстыру. Тұрақты тоқтың сызықтық электр тізбектерін есептеу әдістерімен таныстыру.*

Маңызды сөздер: *тоқ күші, кернеу, кедергі, энергия көзі, түйін, тармақ, контур. түйін, тармақ, контур, баланс, контурлық тоқтар, үшбұрыш, жұлдызша,потенциал*

1. Тізбектің негізгі параметрлері

Электр тоғы деп, заряталған бөлшектердің бір бағыттағы реттелген қозғалысын айтады. Зарядталған бөлшектерге электрондар (металдарда) және иондар (газ және сұйықтықтарда)жатады.

Тоқ күші, уақыт бірлігі ішінде өтетін зарядталған бөлшектердің санын сипаттайтын шама болады. Ол келесі формуламен анықталады

$$i = \lim \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}. \qquad (1.1.)$$

Тұрақты тоқ үшін: $I = \frac{dq}{dt} = const \quad \rightarrow \quad I = \frac{q}{t}$ (1.2)

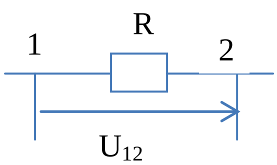
Электр қозғаушы күші (ЭҚК): Энергия көзін сипаттайын шама. Ол энергия көзінің ішіндегі зарядтарды қозғауға жұмсалған сыртқы күштердің жұмысына тең болады. Электр қозғаушы күшінің өлшем бірлігі Вольт, [В]

$$E = \frac{A}{q} \qquad (1.3)$$

Кернеу – скалярлық шама, жалпы алғанда ол уақытқа тәуелді функция.

u = u(t). Кернеу, электр өрісі күштерінің сыртқы тізбек бойындағы зарядтарды қозғауға жұмсалған жұмысқа тең болады. Кернеудің өлшем бірлігі Вольт, [В]

$$U = \frac{A}{q} \qquad (1.4)$$



Сурет 1.1 - Электр тізбегінің бөлігі

Немесе, кернеуді сыртқы тізбектің екі нүктесінің арасындағы потенциалдар айырмасы ретінде қарастыруға болады(сур.1. 1)

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 \qquad (1.5)$$

Қуат – уақыт бірлігі ішіндегі энергияның өзгеру жылдамдығын сипаттайтын шама. Қуаттың өлшем бірлігі -Джоуль/с [Дж/с] немесе Ватт [Вт]

Электр кедергісі деп өткізгіштің өтіп жатқан тоққа кедергісін айтады. Ол өткізгіштің геометриялық өлшемдеріне, ұзындығына, көлденең қимасының ауданына тәуелді болады:

$$R = \frac{\rho l}{s}; \tag{1. 6}$$

мұндағы, ρ - өткізгіштің материаының меншікті кедергісі [Ом ·м];
l -өткізгіштің ұзынығы, [м], s - өткізгіштің көлденең қимасының ауданы, [м^2]

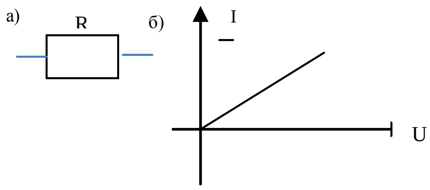
Сонымен қатар, кедергі температураға тәуелді болады. Оны келесі формула сипаттайды:

$$R = R_{t_1}[1-\alpha(t_2 - t_1)], \tag{1.7}$$

мұндағы, R_{t_1} - t_1 температурасындағы кедергі, Ом ; α- температуралық коэффициент; t_1- бастапқы температура; t_2 - соңғы температура

2. Электр тізбегінің негізгі элементтері туралы мәліметтер

Резистивті элемент (резистор) Резистивті элементтің шартты белгісі (1.1.2а суретінде көрсетілген) негізгі сипаттамасы - $u(i)$(немесе $i(u)$), вольт-амперлік сипаттама (ВАС) деп аталады. (сур 1.2б)



Сурет 1..2 – Резистивті элементтер а) резистордың шартты белгісі; б) резистордың вольт - амперлік сипаттамасы

Индуктивтік элемент (индуктивті орама) Индуктивті ораманың шартты белгісі 1.13а суретте көрсетілген. Оның негізгі сипатамасы вебер амперлік сипаттама 1.1.3б суретте көрсетілген

Сурет 1..3 а) индуктивті ораманың шартты белгісі
б) индуктивті ораманың вебер амперлік сипаттамасы

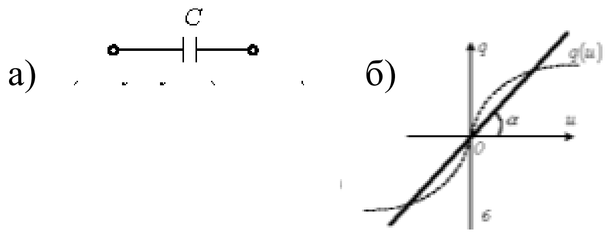
Ораманың индуктивтілігі ағынілінісуінің , осы ораманың орамдары арқылы жүріп жатқан тоққа қатынасына тең болады,

$$L = \Psi / i \tag{1.8}$$

Индуктивтіліктің өлшем бірлігі, Генри [Гн]

Электр сыйымдылығы бар элемент (конденсатор)

Индуктивті ораманың шартты белгісі 1.4а суретте көрсетілген. Оның негізгі сипатамасы вебер амперлік сипаттама 1.1.4б суретте көрсетілген



Сурет 1..4 - а) сыйымдылықтың шартты белгісі
б) кулон вольттік сипаттама

Конденсатор – сыйымдылқпен сипатталатын пассивті элемент. Сыйымдылықты төмендегі формуламен өрнектеледі.

$$C=q/u \ \ (Ф) \tag{1.9}$$

3. Электр энергиясының көздері. Электр энергиясының көздерін екі түрде көрсетуге болады:

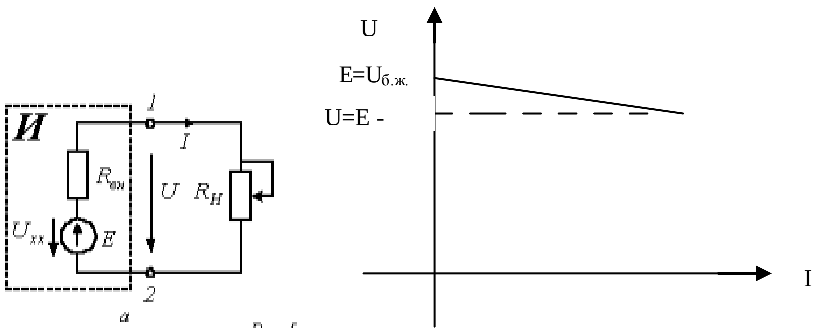
а) ЭҚК немесе кернеу көзі (генераторлар, аккумуляторлар жатады)

Егер кернеу көзінің ішкі кедергісін ескеретін болса, олреалды кернеу көзі деп аталады. Реалды кернеу көзінің ұштарындағы кернеу келесі теңдеумен анықталады. Кернеу көзінің ішкі кедергісі тізбектей жалғанады.

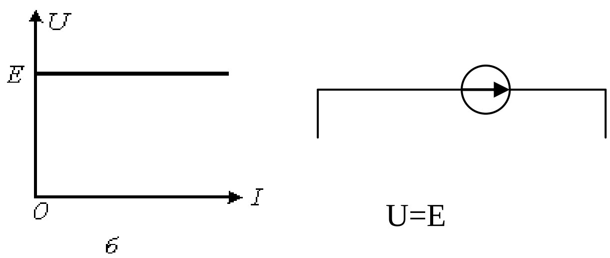
$$U = U_{бж} - R_{ішкі} I \tag{1.10}$$

мұндағы, $U_{бж}$ - кернеу көзінің ұштарындағы жүктеме жалғанбаған кезіндегі кернеу (бос жүріс кернеуі) I - тізбектің жүктеме тоғы.

$R_{ішкі} = \dfrac{U_{б.ж.}}{I_{к.т.}}$ - кернеу көзінің ішкі кедергісі. $I_{К.Т}$ - қысқа тұйықтау тоғы.



Сурет 1.5 - Реалды кернеу көзінің а) балама схемасы
б) вольт амперлік сипаттамасы



Сурет 1.6 - Идеалды кернеу көзі а) вольт амперлік сипаттамасы; б) балама схемасы

Егер, кернеу көзінің ішкі кедергісін ескермесек ($R_{ішкі} = 0$), онда ол идеалды кернеу көзі деп аталады (сур.1.6 а,б). Оның ұштарындағы кернеу ЭҚК - не тең болады.

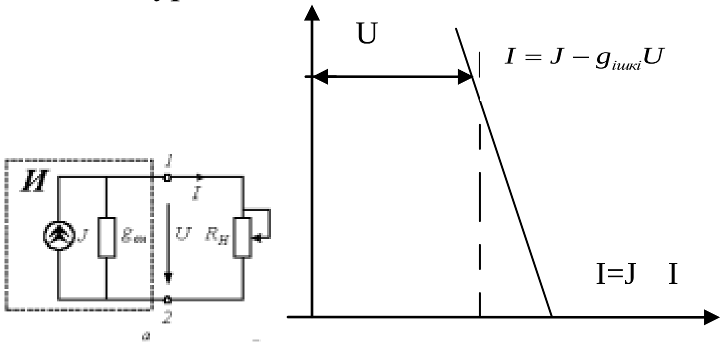
б) Тоқ көзі (электронды лампалар, жартылайөткізгіш аспаптар жатады)

Оған сәйкес келетін балама схема және вольтамперлік сипаттама 1.1.7 суретте көрсетілген. Тоқ көзінің ішкі кедергісі параллель жалғанады. Оның параметрлері төмендегі теңдеулерден анықталады. (1.1.10) теңдеудің екі жағын $R_{ішкі}$ кедергіге бөлеміз, сонда

$$I = \frac{U}{R_{ішкі}} - \frac{U}{R_{ішкі}} = I_{KT} - \frac{U}{R_{ішкі}}$$

Немесе, $$I = J - g_{ішкі}U \qquad (1.11)$$

мұндағы, $I = J_{K.T}$; $g_{ішкі} = R_{ішкі}^{-1}$ - тоқ көзінің ішкі өткізгіштігі.(1.11) -ші теңдеу 1.7-ш і суретте сипатталған



Сурет 1. 7 - Реалды тоқ көзінің а) балама схемасы б) вольтамперлік сипаттамасы

а) б)

Сурет 1..8 - Идеалды тоқ көзінің а) балама схемасы б) вольтамперлік сипаттамасы

4. Ом және Кирхгоф заңдары. Кирхгоф заңдары бойынша теңдеулер құрастыру.

Электр тізбектеріндегі атаулар

Түйін – электр тізбегінің үш немесе одан көп тармақтардың жалғанған нүктесі.

Тармақ деп электр тізбектерінің түйіндерін өзара қосып тұратын бөлігін атайды. Тармақтың элементтері өзара тізбектей жалғанады және олар арқылы бірдей тоқ өтеді.

Контур **-** Тармақтар бойымен тұйықталатын, схеманың бөліктерін айналып өту жолы.

Ом заңы электр тізбегінің негізгі параметрлерін байланысын сипатайды

а)Толық тізбек үшін Ом заңы

$$I = \frac{E}{R_{каб} + R_{ішкі}} \tag{1.12}$$

б) Тізбектің бөлігі үшін Ом заңы

$$I = \frac{U_{12}}{R_{12}} \tag{1.13}$$

мұндағы, U_{12} тізбектің 1-ші және 2-ші нүктелері арасынадағы кернеу
R_{12} тізбектің 1- ші және 2 – ші нүктелері арасынадағы кедергісі

Кирхгоф заңдары

Біріншi заң – Электр тізбегінің түйініндегі тоқтардың алгебралық суммасы әрқашанда нольге тең.

$$\sum_{k=1}^{m} I_k = 0 \tag{1.14}$$

мұндағыы, m - түйінге жалғанған тармақтар саны

Екінші заң - Кирхгофтың екінші заңы контурлар үшін жалғанған. Электр тізбегінің контурындағы кернеулердің алгебралық суммасы осы контурдағы ЭҚК дің алгебралық суммасына тең болады**.**

$$\sum_{k=1}^{n} U_k = 0 \tag{1.15}$$

мұндағы, ***n*** – контурға кіретін тармақтар саны.

Кирхгофтың заңдарын тізбектерді есептеуде қолдану. Электр тізбектерін талдау немесе есептеу тізбектің және тізбек элементтерінің электрлік күйін анықтап, белгісіз параметрлері мен электрлік шамаларын табу деп түсініледі. Тізбектің электрлік күйі ұғымы өте кең ұғым болғанмен, көп жағдайда Кирхгофтың екінші заңы бойынша жазылған өрнекті тізбектің электрлік күйінің теңдеуі деп атайды.

Тізбектерді Кирхгоф заңдарын қолданып есептегенде белгілі-бір реттілікті ұстанған жөн. Мысалы, 1.1.1-суретте келтірілген тізбекте энергия(қорек) көздерінің ЭҚК-тері мен кернеулерінің және пассивті элементтерінің кедергілерінің сан мәндері белгілі де, токтарды, тізбек элементтерінің кернеулерін, қуаттарын және жұмыс әлпін анықтау керек болсын.

Әдетте токтардың нақты (шын) бағыттары белгісіз болатындықтан, алдымен олардың шартты оң бағыттары еркінше (қалауынша) таңдап алынады да, тізбектің электрлік схемасында стрелкамен көрсетіледі.

Бұдан кейін Кирхгофтың бірінші заңы бойынша бір түйіннен басқа түйіндер үшін теңдеулер жазылады. Қарастырып отырған тізбекте екі түйін бар, ендеше Кирхгофтың бірінші заңы бойынша бір теңдеу құру керек:

а түйінінде $I_1 + I_2 - I_3 = 0$ (1.16)

б түйінінде $-I_1 - I_2 + I_3 = 0$ (1.17)

Белгісіз шамаларды табу үшін құрылатын теңдеулер саны белгісіздер санына тең болуы шарт. Қарастырып отырған теңдеуде үш ток бар, ендеше өзара тәуелсіз үш теңдеу құру керек. Сондықтан қалған жетіспейтін теңдеулер

Кирхгофтың екінші заңы бойынша тәуелсіз контурлар үшін жазылады.

Кирхгофтың екінші заңы бойынша теңдеулер жазу үшін контурларды айналып өту бағыты еркінше таңдап алынады. Қарастырылып отырған тізбекте бірінші және екінші контурларды сағат тілінің бағытында айналып өту қабылданған. Ал жалпы алғанда әртүрлі контурларды әртүрлі бағытта айналып өтуге болады. Контурларды айналып өткен кезде, егер кернеу көзінің кернеуі, ЭҚК және пассивті элементтегі ток, айналып өту бағытымен бағыттас болса, онда олар оң таңбамен, ал қарсы бағытта болса теріс таңбамен алынады.

бірінші контурында $$I_1R_1 + I_3R_3 = E_1 \quad (1.18)$$

екінші контурында $$-I_2R_2 - I_3R_3 = -E_2 \quad (1.19)$$

Құрылған теңдеулер жүйесі ретінде шешіліп, белгісіз токтар анықталады.

Теңдеулер жүйесінен токтар анықталған кезде, олардың бірқатары оң таңба, ал кейбіреулері теріс таңба қабылдайды. Бұл оң таңбалы токтардың шын бағыттарының еркінше алынған бағыттарымен бағыттас та, теріс таңбалы токтардың шын бағыттарының еркінше алынған бағыттарына қарсы бағытта екендігін көрсетеді.

3. Қуаттар балансы. Тізбектің пассивті элементтері, олармен токтың қай бағытта жүріп жатқанынан тәуелсіз энергия тұтынып тұрады. Әдетте, тізбек элементтерінің электр энергиясын қаншалықты қабылдап немесе өндіріп тұрғандығын салыстырмалы көрсету үшін олардың қуаты алынады. Тізбектің элементінің қуаты деп уақыт бірлігі ішінде осы элементте тұтынылған немесе өндірілген электр энергиясын айтады. Тізбек элементінің қуаты, жалпы алғанда, оның кернеуі мен тогының көбейтіндісіне тең. Пассивті элементтің қуаты әрқашанда оң таңбалы және келесі формуламен анықталады.

$$P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R} \quad (1.20)$$

Қорек көздері өндіріп, яғни тізбекке энергия беріп, немесе энергия қабылдап тұруы мүмкін. Қорек көздерінің жұмыс режимдері олардағы ток пен ЭҚК-тің немесе ток пен кернеудің оң бағыттарына байланысты, егер ЭҚК бағыты оның бойындағы токтың бағытымен бірдей болса, онда ЭҚК көзі тізбекке энергия беріп тұрады, яғни қорек көзі болып табылады(генератор режимінде жұмыс жасап тұр), ал қарама-қарсы бағытта болса, онда энергия тұтынып тұрады, яғни электр қабылдағыш режимінде жұмыс жасап тұр.

ЭҚК көзінің қуаты:

$$P_E = EI \quad (1.21)$$

Тоқ көзінің қуаты

$$P_J = J_kU_k \quad (1.22)$$

Егер ЭҚК немесе тоқ көздері энергия көзі режимінде жұмыс істеп тұрса, онда олардың қуаттары оң таңбамен, ал электр қабылдағыш режимінде істеп тұрса, онда теріс таңбамен алынуы керек.

Әдетте, тізбектерді есептеу қуаттар балансының теңдеуін құрып, оны тексерумен аяқталады. Қуаттар балансының теңдеуі деп тізбектегі энергия көздерімен қабылдағыштардың қуаттарының теңдестігін көрсететін теңдеуді айтады:

$$\sum_{k=1}^{m} E_k I_k \pm \sum_{k=1}^{p} J_k U_k = \sum I_k^2 R_k \qquad (1.23)$$

Егер қуаттар балансының теңдеуінде теңдіктің сол жағы оң жағына тең болса, яғни қорек көздерінің тізбекке берген қуаты мен электр қабылдағыштардың тұтынған қуаты өзара тең болса, онда бұл, жалпы алғанда, тізбек элементтеріндегі токтар мен кернеулердің және олардың шын бағыттарының дұрыс анықталғандығын көрсетеді.

6. Тұрақты тоқ тізбектерін есептеу әдістері.

Электр тізбектерін түрлендіру әдісі. Тізбектерді баламалы түрлендіру

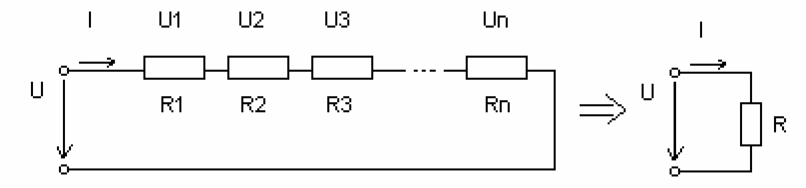
Күрделі тізбектерді талдау және есептеу кезінде оларды қарапайым тізбекке келтіру тәсілі кеңінен қолданылады. Бір тізбекті оған тең әсерлі екінші-бір тізбекпен алмастыруды тізбектерді баламалы түрлендіру деп атайды. Егер тізбекті баламалы түрлендірудің нәтижесінде тізбектің толық тогы мен қуаты өзгермесе, онда тізбектер тең әсерлі болады. Тізбектерді баламалы түрлендіруде, негізінен, бірізді немесе параллель жалғанған элементтерді оларға баламалы бір элементпен және жұлдызша жалғауды оған тең әсерлі үшбұрышша жалғаумен және керісінше үшбұрышша жалғауды оған тең әсерлі жұлдызша жалғаумен алмастырулар қолданылады.

Егер элементтер бірізді жалғанған болса (1.9 -сурет) онда Кирхгофтың екінші заңы бойынша

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + ... + U_n$$

немесе,

$$RI = R_1 I + R_2 I + R_3 I + ... + R_n I = (R_1 + R_2 + R_3 + ... + R_n) I$$



Сурет 1.9 - Бірізді тізбекті баламалы түрлендіру.

Бұдан тізбектің толық кедергісі: $R = R_1 + R_2 + R_3 + ... + R_n$ (1.24)

яғни бірізді жалғанған элементтердің баламалы кедергісі элементтердің балмалы кедергісі элементтердің кедергілеріәнің қосындысына тең.

Егер элементтер параллель жалғанған болса (1.10 - сурет), онда

Кирхгофтың бірінші заңы бойынша: $I = I_1 + I_2 + I_3 + ... + I_n$

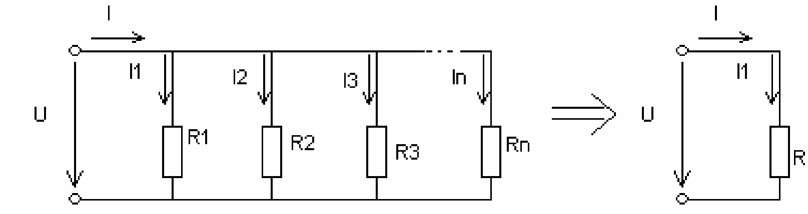
немесе

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} + ... + \frac{U}{R_n} = U\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + ... + \frac{1}{R_n}\right)$$

Бұдан

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + ... + \frac{1}{R_n} \qquad (1.25)$$

яғни параллеь жалғанған элементтердің баламалы (толық) кедергісінің кері шамасы параллеь тармақтардың кедергілерінің кері шамаларының қосындысына тең.



1.10-сурет. Параллель тізбекті баламалы түрлендіру.

Кедергіге кері шаманың өткізгіштік екені белгілі. Олай болса (1.25) теңдігінен

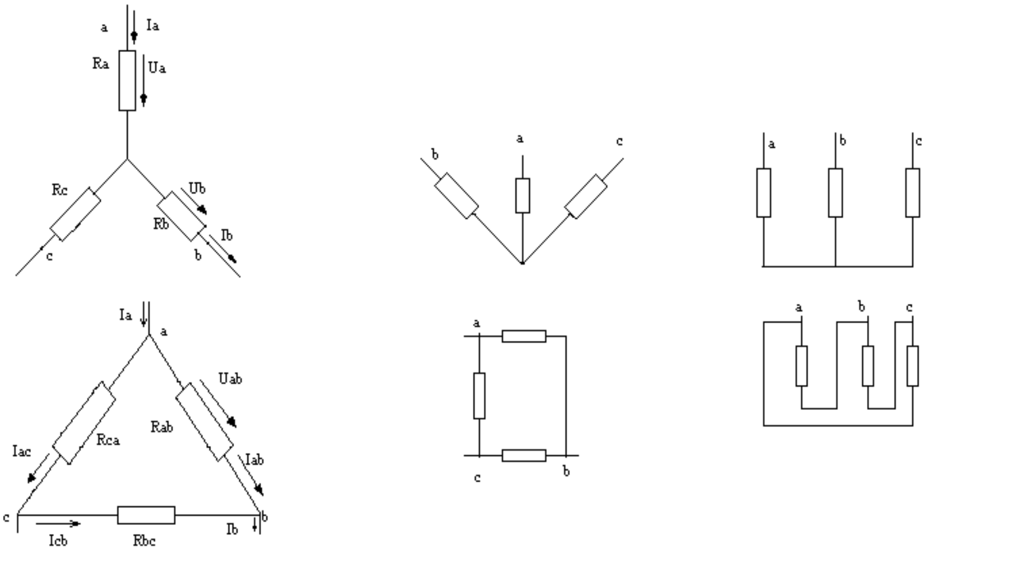
$$G = G_1 + G_2 + G_3 + ... + G_n \tag{1.26}$$

Мұндағы: $G = \frac{1}{R}$ тізбектің толық өткізгіштігі;

$$G_1 = \frac{1}{R_1}; G_2 = \frac{1}{R_2}; G_3 = \frac{1}{R_3}; ... G_n = \frac{1}{R_n}$$

параллель тармақтардың өткізгіштігі. (1.26) өрнек бойынша параллель жалғанған элементтердің толық (баламалы) өткізгіштігі тармақтардың өткізгіштерінің қосындысына тең.

Егер тізбектің үш тармағы немесе үш элементі үш сәулелі жұлдыз тәрізді жалғанса(яғни, үш элемент ортақ бір тіүйінге жалғанады), онда мұндай жалғауды жұлдызша жалғау деп (1.11,а-сурет), ал олар үшбұрыш құрап жалғанса, үшбұрышша жалғау деп (1.11,а-сурет) атайды



1.11-сурет. Тізбек элементтерінің жұлдызша (а) және үшбұрышша (б) жалғану сұлбалары.

Тізбектерді түрлендіргеннен кейін аттас нүктелердің потенциалдары мен осы нүктелерге бағытталған тоқтар сәйкесінше өзара тең болса, онда жалпы тізбекке мұндай ішкі түрлендірулер әсер етпейді. Ендеше өзара баламалы жұлдызша және үшбұрышша жалғауларда а,в,с нүктелерінің потенциалдары, сондықтан сәйкесті нүктелердің арасындағы кернеулер өзара тең болады. Егер с нүктесі сыртқы тізбекпен байланыспаған болса (1.11-сурет), онда кедергілер жұлдызшасында (1.1 а-сурет) Кирхгофтың екінші заңы бойынша

$$U_{ab} = U_a + U_b = R_a I_a + R_b I_b \qquad (1.27)$$

ал кедергілер үшбұрышында:

$$U_{ab} = R_{ca} I_{ca} + R_{bc} I_{bc} \qquad (1.28)$$

Кедергілер үшбұрышында (1.11 б-сурет) Кирхгофтың екінші заңы бойынша:

$$I_{ac} = I_a - I_{ab} = I_a - \frac{U_{ab}}{R_{ab}}; \qquad I_{cb} = I_b - I_{ab} = I_b - \frac{U_{ab}}{R_{ab}}$$

Токтардың мәндерін (1.28) теңдігіне қойса

$$U_{ab} = R_{ca}\left(I_a - \frac{U_{ab}}{R_{ab}}\right) + R_{bc}\left(I_{bc} - \frac{U_{ab}}{R_{ab}}\right)$$

Осы теңдіктен

$$U_{ab} = \frac{R_{ab} R_{ca}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}} I_a + \frac{R_{ab} R_{bc}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}} I_b \qquad (1.29)$$

(1.28) және (1.29) теңдіктерінің оң жақтары тең болу үшін сәйкесті токтардың коэффициенті өзара тең болуы керек, яғни

$$R_a = \frac{R_{ab} R_{ca}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}} \qquad (1.30)$$

$$R_b = \frac{R_{ab} R_{bc}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}} \qquad (1.31)$$

Осылайша кедергілер үшбұрышына баламалы кедергілер жұлдызшасының үшінші тармағының кедергісі де анықталады:

$$R_c = \frac{R_{bc} R_{ca}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}} \qquad (1.32)$$

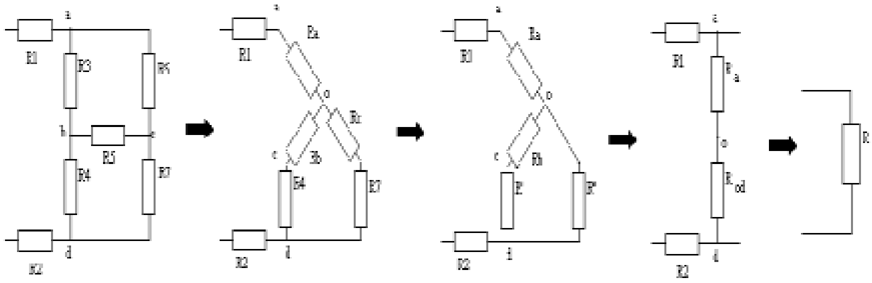
Сонымен, (1.29), (1.30) және (1.31) өрнектері кедергілер үшбұрышын оған баламалы кедергілер жұлдызшасына түрлендіру өрнектері болып табылады.

Кедергілер жұлдызшасынан баламалы үшбұрыштың кедергілерін,

$$R_{ab} = R_a + R_b + \frac{R_a R_b}{R_c} \qquad (1.33)$$

$$R_{bc} = R_b + R_c + \frac{R_b R_c}{R_a} \qquad (1.34)$$

$$R_{ca} = R_c + R_a + \frac{R_c R_a}{R_b} \qquad (1.35)$$



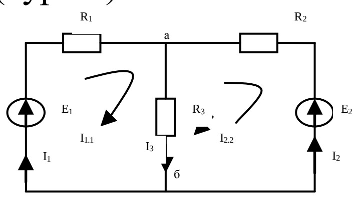
1.12-сурет. Тізбектерді баламалы түрлендіру сұлбалары

Қарастырылған түрлендірулердің қолданылуы 1.12-суреттегі аралас жалғанған бірнеше кедергілі тізбекті оған тең әсерлі бір кедергілі тізбекке келтірудің мысалында көрсетілген. Мұнда R_3, R_5, R_6 кедергілер үшбұрышы R_a, R_b, R_c кедергілер жұлдызшасына түрлендірілген. R_b, R_4 кедергілері және R_c, R_7 кедергілері өзара бірізді жалғанған. Сондықтан олар сәйкесінше R', R'' кедергілеріне түрлендірген. Ал R', R'' кедергілері параллель жалғанғандықтан, олардың толық кедергілері $R_{од}-$ ға тең. Соңына бірізді жалғанған $R_1, R_a, R_{од}, R_2$ кедергілері оларға тең әсерлі тізбектің толық (баламалы) кедергісі болып табылатын R кедергісіне түрлендірілген.

Контурлық тоқтар әдісі. Кирхгофтың екінші заңына негізделген, сондықтан бұл әдіс бойынша теңдеулер саны Кирхгофтың екінші заңына бойынша қанша теңдеу құрастыру керек болса сонша теңдеу құрастырылады, яғни теңдеулер саны азаяды. Сонымен қатар екі жағдай қабылдаймыз.

а) электр тізбегінің контурларында бір біріне тәуелсіз, есептеуге арналған контурлық тоқтар өтіп жатыр б) тармақтардағы тоқтар осы тармақ арқылы тұйықталатын контурлық тоқтардың алгебралық суммасына тең болады.

Контурлық тоқтар әдісі көмегімен электр тізбектерін есептеуді төмендегі схема бойынша қарастырамыз. (сур.13)



Сурет 1.13 - Контурлық тоқтар әдісінің иллюстрациясы

Берілген схема үшін Кирхгофтың екінші заңы бойынша қанша теңдеу құрастыратынын анықтаймыз: Кирхгофтың екі заңы бойынша барлық теңдеулер саны = белгісіз тоқтар санына тең =3 теңдеу.

Оның ішінен бірінші заң бойынша теңдеулер саны =түйін саны -1=2-1 =1 теңдеу. Қалған теңдеулер екінші заң бойынша жазылады. Сонымен контурлық тоқтар әдісі бойынша теңдеулер саны 2 теңдеу болады

$$R_{1.1}I_{1.1} + R_{1.2}I_{2.2} = E_{1.1}; \quad (1.36)$$

$$R_{2.1}I_{1.1} + R_{2.2}I_{2.2} = E_{2.2} \quad (1.37)$$

мұндағы, $I_{1.1}$, $I_{2.2}$ – контурлық тоқтар

$R_{1.1}$ – бірінші контурдың өзіндік кедергісі, осы контурға кіретін барлық кедергілердің суммасына тең. Берілген схема үшін $R_{1.1}$=(R_1+R_3)

$R_{2.2}$– екінші контурдың өзіндік кедергісі, осы контурға кіретін барлық кедергілердің суммасына тең. Берілген схема үшін $R_{2.2}$=(R_2+R_3)

$E_{1.1}$– бірінші контурдың өзіндік ЭҚК-і, осы контурға кіретін барлық ЭҚК-нің суммасына тең. Берілген схема үшін $E_{1.1}$=E_1

$E_{2.2}$ – екінші контурдың өзіндік ЭҚК-і, осы контурға кіретін барлық ЭҚК-нің суммасына тең. Берілген схема үшін $E_{2.2}$=-E_2

$R_{1.2}$ = $R_{2.1}$ – бірінші және екінші контурлар арасындағы өзара кедергі, теңдеуге минус таңбасымен жазылады. Берілген схема үшін

$R_{1.2} = R_{2.1} = - R_3$

Теңдеулер жүйесін шешіп, контурлық тоқтарды есептеледі. Теңдеулер жүйесін үшін матрицаларды қолданылады (Крамер әдісі):

$$I_{1.1} = \Delta_1/ \Delta_R ; \qquad I_{2.2} = \Delta_2/ \Delta_R ; \tag{1.38}$$

мұндағы Δ_R - теңдеу жүйесінің анықтауышы

$$\Delta_R = \begin{vmatrix} R_{1.1} & R_{1.2} \\ R_{2.1} & R_{2.2} \end{vmatrix} \tag{1.39}$$

Δ_1 анықтауышын табу үшін, жүйенің оң жағы бірінші бағананың орнына қойылады. Мысалы Δ_1 Δ_2 үшін:

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} E_{1.1} & R_{1.2} \\ E_{2.2} & R_{2.2} \end{vmatrix} \tag{1.40}$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} R_{1.1} & E_{1.1} \\ R_{2.1} & E_{2.2} \end{vmatrix} \tag{1.41}$$

тармақтардағы тоқтарды табу үшін жоғарыда айтылған екінші жағдайды ескеру керек: $I_1 = I_{1.1} \quad I_2 = I_{2.2} \quad I_3 = I_{2.2} - I_{1.1}$. Бұл қабаттасу принципіне сәйкес келеді.

Төменде **к** теңдеулер жүйесі үшін Крамер әдісінің қолданылуы көрсетілген

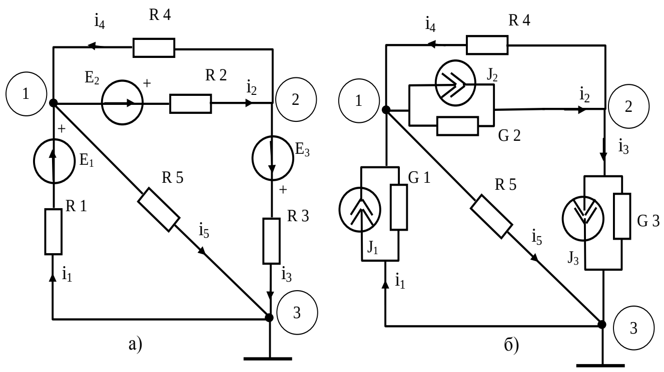
$$\Delta_R = \begin{vmatrix} R_{1.1} & R_{1.2} & ... & R_{1.n} \\ R_{2.1} & R_{2.2} & ... & R_{2.n} \\ ... & ... & ... & ... \\ R_{n.1} & R_{n.2} & ... & R_{n.n} \end{vmatrix} \quad \Delta_1 = \begin{vmatrix} E_{1.1} & R_{1.2} & ... & R_{1.n} \\ E_{2.2} & R_{2.2} & ... & R_{2.n} \\ ... & ... & ... & ... \\ E_{n.n} & R_{n.2} & ... & R_{n.n} \end{vmatrix} \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} R_{1.1} & E_{1.1} & ... & R_{1.n} \\ R_{2.1} & E_{2.2} & ... & R_{2.n} \\ ... & ... & ... & ... \\ R_{n.1} & E_{n.n} & ... & R_{n.n} \end{vmatrix} \quad \Delta_n = \begin{vmatrix} R_{1.1} & R_{1.2} & ... & E_{1.1} \\ R_{2.1} & R_{2.2} & ... & E_{2.2} \\ ... & ... & ... & ... \\ R_{n.1} & R_{n.2} & ... & E_{n.n} \end{vmatrix} \tag{1.42}$$

$$I_{1.1} = \Delta_1/ \Delta_R ; \qquad I_{2.2} = \Delta_2/ \Delta_R \qquad I_{n.n} = \Delta_n/ \Delta_R \tag{1.43}$$

Сызықтық тізбектер үшін өзаралық принциптің (қайтымдылық теоремасы) маңызы зор.

Ол бойынша: егер пассивті сызықтық тізбектің кез келген бір m тармағына орналасқан кернеу көзі, осы тізбектің басқа n тармағында k-мәнді тоқ туғызса, тап сол кернеу көзін керісінше n тармағына орналастырса, m тармағында тап сондай k-мәнді тоқ туғызады.

Түйіндік потенциалдар әдісі.



сурет1.14- Түйіндік потенциалдар әдісін сипаттайтын схема
а) бастапқы схема; б) кернеу көздерін тоқ көздеріне түрлендірген схема

Түйіндік потенциалдар әдісі Кирхгофтың бірінші заңына негізделген. Сондықтан, құрастырылатын теңдеулер саны Кирхгофтың бірінші заңы бойынша теңдеулер санына тең болады, яғни: *n*- 1. Теңдеулерді тізбектің түйіндері үшін құрастырады.

$$G_{11}\varphi_1 - G_{12}\varphi_2 - ... - G_{1(n-1)}\ \varphi_{(n-1)} = I_{1.1}\ ; \qquad (1.44)$$
$$-G_{21}\varphi_1 + G_{22}\varphi_2 - ... - G_{2(n-1)}\ \varphi_{(n-1)} = I_{2.2}\ ;$$
$$...$$
$$-G_{(n-1)1}\varphi_1 - G_{(n-1)2}\varphi_2\ \ ... + G_{(n-1)(n-1)}\ \varphi_{(n-1)} = I_{n(n-1)}\ ,$$

мұндағы, $I_{1.1}$, $I_{2.2}$, ..., $I_{n(n-1)}$ – түйіндік тоқтар 1, 2, ..., (n - 1). Түйіндік тоқтар қарастырылып отырған түйінге жалғанған тармақатардағы ЭҚК көздерінің сол тармақтардың кедергісіне қатынастарының алгебралық суммасы болып табылады. Егер тармақтарда тоқ көздері болса онда олардың тоғы осы суммаға қосылады. Бұл суммаға ЭҚК көзі немесе тоқ көзі түйінге қарай бағытталса оң таңбамен, ал керісінше болса теріс таңбамен жазылады.

Мысалы бірінші түйін үшін:

1.4.1а суреттегі схема үшін $I_{1.1}= (E_1/R_1)- (E_2/R_2)$

1.4.1б суреттегі схема үшін $I_{1.1}= J_1-J_2$

$G_{11},\ G_{22},\ G_{(n-1)(n-1)},$ түйіндердің өзіндік өткізгіштіктері – қарастырылып отырған түйінге жалғанған барлық тармақтардың өткізгіштіктерінің суммасы

Мысалы 1.14 а суреттегі схема үшін

$$G_{11}= (1/R_1)+ (E_2/R_2)$$

$G_{12,} = G_{21,}\ G_{1(n-1)} = G_{(n-1)1}$ түйіндердің өзара өткізгіштіктері -қарастырылып отырған екі түйінді жалғайтын тармақтардың өткізгіштіктерінің суммасы, минус таңбасымен алынады.

Мысалы 1.14а суреттегі схема үшін

$$G_{12}= G_{21} = - ((1/R_4)+ (1/R_2))$$

Теңдеулер жүйесін матрицалар көмегімен есептейді.

$$u_1 = \Delta_1/\ \Delta_G;\ u_2 = \Delta_2/\ \Delta_G;\ ...\ ;\ u_{(n-1)} = \Delta_{(n-1)}/\ \Delta_G, \qquad (1.44)$$

мұндағы, Δ_G – жүйенің негізгі анықтамасы:

$$\Delta_R = \begin{vmatrix} G_{1.1} & G_{1.2} & ... & G_{1.n} \\ G_{2.1} & G_{2.2} & ... & G_{2.n} \\ ... & ... & ... & ... \\ G_{n.1} & G_{n.2} & ... & G_{n.n} \end{vmatrix} \qquad (1.45)$$

Δ_1 Δ_2 $\Delta_{(n-1)}$ негізгі анықтауыштың бағаналарын теңдеудің оң жағымен ауыстырамыз.

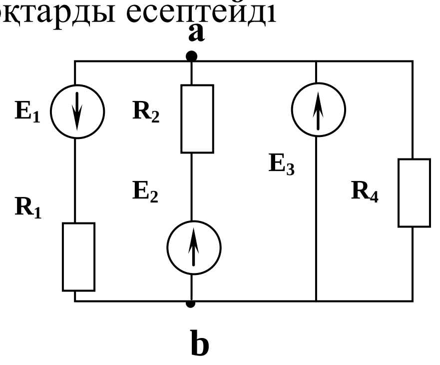
$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} I_{1.1} & G_{1.2} & ... & G_{1.n} \\ I_{2.2} & G_{2.2} & ... & G_{2.n} \\ ... & ... & ... & ... \\ I_{n.n} & G_{n.2} & ... & G_{n.n} \end{vmatrix} \Delta_2 = \begin{vmatrix} G_{1.1} & I_{1.1} & ... & G_{1.n} \\ G_{2.1} & I_{2.2} & ... & G_{2.n} \\ ... & ... & ... & ... \\ G_{n.1} & I_{n.n} & ... & G_{n.n} \end{vmatrix} \Delta_n = \begin{vmatrix} G_{1.1} & G_{1.2} & ... & I_{1.1} \\ G_{2.1} & G_{2.2} & ... & I_{2.2} \\ ... & ... & ... & ... \\ G_{n.1} & G_{n.2} & ... & I_{n.n} \end{vmatrix} \qquad (1.46)$$

Екі түйін әдісі. Бұл әдіс түйіндік потенциалдар әдісінің бір үрі болып табылады және ол тек қана екі түйіні бар тізбектерді есептеуге қолданады. Алдымен екі түйін арасындағы тұйінаралық кернеуді табады келесі формула бойынша:

$$U_{ab} = \frac{\sum_{k=1}^{m} E_k g_k}{\sum_{k=1}^{n} g_k} \qquad (1.47)$$

мұндағы, g_k - k-тармағының өткізгіштігі: E_k - k-тармағының ЭҚК і

Егер тармақтағы ЭҚК бағыты түйінаралық кернеудің индексінде бірінші тұрған тұйінге қарай бағытталса, бөлшектің алымында E_k g_k көбейтіндісі суммаға оң таңбамен жазылады, ал егер керісінше болса теріс таңбамен жазылады. Кернеуді тапқаннан кейін Ом заңын қоанып тармақатрдағы тоқтарды есептейді



сурет 1.15 - Түйінаралық кернеуді анықтауды көрсететін схема:

Мысалы, 1.15 суреттегі схема үшін түйінаралық кернеу келесі түрде анықталады: $U_{ab} = \frac{-E_1 g_1 + E_2 g_2}{g_1 + g_2 + g_4}$

Қабаттасу принципі және әдісі.

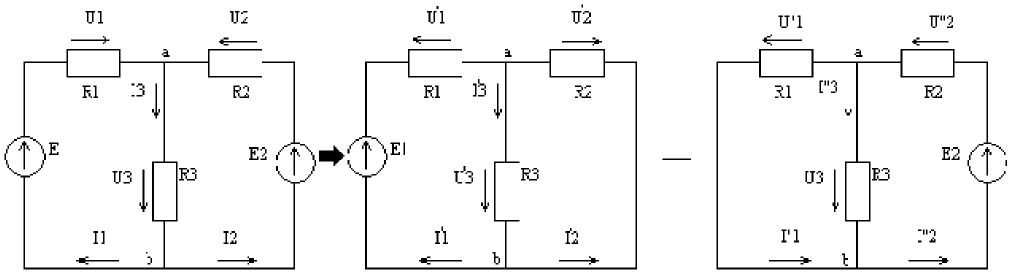
ЭҚК көздері тізбек элементтеріне бір-бірінен тәуелсіз тоқ және кернеу тудыратындықтан тізбек элементіндегі тоқ осы элементте барлық ЭҚК-тер тудырған токтардың алгебралық қосындысына тең болады. Басқаша айтқанда, тізбек элементіндегі тоқ осы элементте барлық ЭҚК көздерінің тудырған токтарының қабаттасуынан түзіледі. Сондықтан тізбектің бұл қасиетін қабаттасу принципі деп атаған.

Тізбектерді есептеуде қолданылатын беттестіру тәсілі осы қабаттасу принципіне негізделген. Мысалы, 1,а-суретте келтірілген тізбектегі токтарды (кернеулерді) анықтау үшін тізбекте ЭҚК көзі қалдырылады да (1.16б-сурет, ЭҚК көзі алынып тасталды), тек қана осы ЭҚК көзі тудырған токтар (кернеулер) анықталады. Бұдан кейін, тізбекте ЭҚК көзі қалдырылады да (1.16в-сурет, ЭҚК көзі аланып тасталды), тек қана осы ЭҚК көзі тудырған токтар (кернеулер) анықталады. Соңында табылған токтарды (кернеулерді) беттестіру арқылы тізбек элементінің тогы (1.16а-сурет) анықталады. Жеке ЭҚК көздері тудырған токтар мен кернеулерді жекеше токтар мен кернеулер деп атайды. E_1 ЭҚК көзі тудырған жекеше токтар (1.16 б-сурет)

$$I'_1 = \frac{E_1}{R_1 + \dfrac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}}; I'_2 = \frac{R_3}{R_2 + R_3} I'_1; I'_3 = \frac{R_2}{R_2 + R_3} I'_1$$

Осы тармақтардағы ЭҚК көзі тудырған жекеше токтар (1.16,в-сурет)

$$I''_1 = \frac{R_3}{R_1 + R_3} I''_2; I''_2 = \frac{E_2}{R_2 + \dfrac{R_1}{R_1 + R_3}} I''_2; I''_3 = \frac{R_2}{R_2 + R_3} I''_2$$



сур.1.16 Қабаттасу принципін түсіндіретін сұлбалар.

Қарастырылып отырған тізбектің (1.16,а-сурет) атрмақтарындағы және ЭҚК көздері тудырған жекеше токтардың қабаттасуы нәтижесінде пайда болған токтар

$$I'_1 = I'_1 - I''_1; I_2 = I'_2 - I''_2; I_3 = I'_3 + I''_3 \qquad (1.48)$$

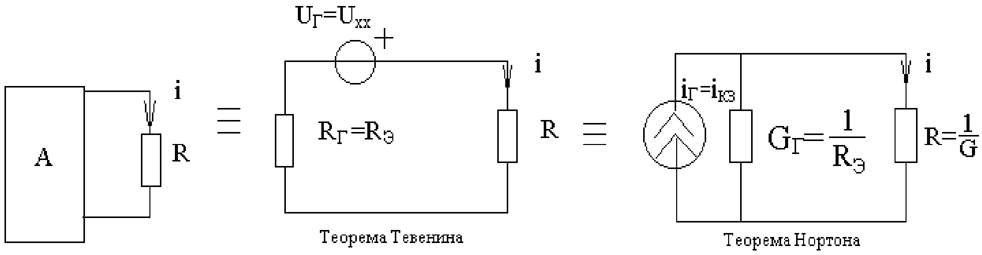
Элементтердің кернеулері де осылайша анықталады:

$$U_1 = U'_1 - U''_1; U_2 = U'_2 - U''_2; U_3 = U'_3 + U''_3 \qquad (1.49)$$

Жекеше токтардың (кернеулердің) мәндері арқылы токтардың (кернеулердің) нақты мәндерін анықтағанда, егер токтар (кернеулер) қарама-қарсы бағытта болса, онда сан мәні үлкен токтан (кернеуден) сан мәні кіші токты (кернеуді) алып, үлкен токтың (кернеудің) бағытын ою керек, ал бағыттас болса, онда олар қосылады.

Қабаттасу принципін қолданып тізбек элементтерінің қуатын анықтауға болмайды, өйткені қуаттың өрнегіне токтардың (кернеулердің) мәндерін қойған кезде теңдіктің бір жағында айырымның квадраты, екінші жағында квадраттардың айырымы шығады, ал олардың өзара тең болмайтындығы белгілі.

Эквиваленттi генератор әдісі



сур.1.17 - Тевенин және Нортона теоремаларының иллюстрациясы

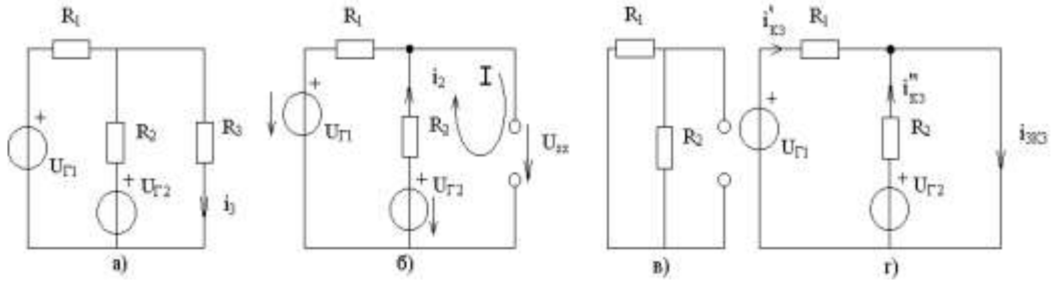
Бұл әдіс тібектің тек қана бір бөлек тармағындағы тоқты есептеуге қолданылады. Ол үшін схеманың қалған бөлігін активті екіполюстіктің ішіне енгіземіз. Актив екіполюстік деп, екі ұшы бөлек шығарылған тізбектің бір бөлігін айтады. Егер екіполюстіктің ішінде энергия көздері болса, ол активті екіполюстік деп аталады. Яғни актив екіполюстікті кернеу көзі генератор ретінде қарастыруға болады, сондықтан оны эквивалентті генераторға түрлендіреміз. 1.17 - ші суретте Тевенин және Нортона теоремаларының иллюстрациясы көрсетілген. Яғни, актив екіполюстікті (Тевенин теоремасы) кернеу көзінен басқа, (Нортон теоремасы) тоқ көзіне де түрлендіруге болады.

Алдымен актив екіполюстікті эквивалентті генераторға түрлендіріп есептейік (сур. 1.18а) мұнда,

$$I = U_{б.ж.}/(R + R_э)\ , \qquad (1.50)$$

мұнда $R_э$ - екіпполюстіктің кіріс кедергісі(эквивалент кедергі). Эксперименталды немесе есептеу арқылы табуға болады.

Мысал: R_3 кедергісіндегі тоқты (сур.1.18, а) эквивалентті кернеу көзі(генератор) әдісімен есептейік.



сур.1.18 - эквивалентті кернеу көзі(генератор) әдісімен есептеу мысалы

1) R_3 тармағын ажыратып, бос жүріс кернеуін табамыз $U_{б.ж.}$ (сур.1.18,б) Кирхгофтың екінші заңы бойынша 1-ші контур үшін:

$U_{б.ж} + R_2 I_2 - U_{г2} = 0$. *Осыдан* $U_{б.ж.} = U_{г2} - R_2 I_2$, *где* $I_2 = (U_{г2} - U_{г1})/(R_1 + R_2)$.

2) $R_Э$ екіполюстіктің кіріс кедергісі(эквивалент кедергі). Оны есептеу үшін схемадағы кернеу көздерін қысқа тұйықтаймыз. Ал тоқ көздерін ажыратамыз.

Сонда схемада тек қана кедергілер қалады (сур.1.18в),енді екіполюстіктің кіріс кедергісін, белгісіз тоқ өтіп жатқан бөлек шығарылған тармаққа қатысты табамыз 1.18, в суретінен: $R_Э = R_1R_2/(R_1 + R_2)$.

3) $U_{б.ж}$ кернеуін және и $R_Э$ кедергісін теңдеуге қойып табамыз:

$$I_3 = U_{б.ж.}/(R_3 + R_Э).$$

Эквивалентті тоқ көзі әдісі. Мысал: R_3 тармағын тұйықтап(сур.1.18, г) $I_{3қ.т.}$ тоғын(қысқа тұйықтау тоғы), қабаттасу әдісімен табамыз:

$$I_{3\ қ.т} = I'_{3\ қ.т} + I''_{3\ қ.т} = U_{г1}/R_1 + U_{г2}/R_2\ .$$

Эквивалентті өткізгіштікті 1.18, в суреті бойынша анықтаймыз:

$$G_э = 1/R_1 + 1/R_2 = (R_1 + R_2)/R_1R_2 = 1/R_э\ .$$

$R_э$ и $I_{3қ.т.}$ формулаға қойып I_3 тоғын есептейміз.

Бақылау сұрақтары:

1. Зарядталған бөлшектерді атаңыз ?
2. Тоқ күшінің анықтамасын , формуласын, өлшем бірлігін айтыңыз
3. Энергия көзінің ішіндегі зарядтарды қозғауға жұмсалған сыртқы күштердің жұмысын сипаттайтын шама қалай аталады?
4. Электр өрісі күштерінің сыртқы тізбек бойындағы зарядтарды қозғауға жұмсалған жұмысқа тең болатын шама қалай аталады?
5. Электр кедергісінің өткізгіштің геометриялық өлшемдеріне, ұзындығына, көлденең қимасының ауданына тәуелділігін сипаттайтын формуланы көрсетіңіз
6. Кедергінің температураға тәуелді формуласын көрсетіңіз.
7. Тоқ көзі мен Кернеу көзінің айырмашылығы қандай?
8. Кирхгофтың бірінші заңы тізбектің қандай бөлігі үшін жазылған?
9. Кирхгофтың екінші заңы тізбектің қандай бөлігі үшін жазылған?
10. Кирхгоф заңдарының физикалық мағынасы қандай ?
11. Қабылдағыш режимінде жасап тұрған энергия көздерін қалай сипаттауға болады?
12. Генератор режимінде жасап тұрған энергия көздерін қалай сипаттауға болады?
13. Тізбектей жалғанған элементтердегі тоқ күшінің мәні қандай боады?
14. Тізбектей жалғанған резисторлардың ортақ кедергісі қалай есептеледі ?
15. Параллель жалғанған резисторлардың ортақ кедергіін есептеу формуласы қандай ?
16. Үшбұрыш схемасын жұлжызша схемасына қалай түрлендіреді?
17. Жұлжызша схемасын үшбұрыш схемасына қалай түрлендіреді?
18. Контурлық тоқтар әдісі бойынша қанша теңдеу құрастырылады?
19. ТПӘ қандай заңға негізделген және қанша теңдеу саны қалай анықталады?
20. 1-14 суретінде көрсетілген схемадағы барлық түйіндік тоқтардың, өзіндік және өзара өткізгіштіктердің формулаларын жазыңыз
21. Екі түйін әдісі неге негізделген және түйінаралық кернеу деп нені айтады?
22. 1-15 суретінде көрсетілген схемада ЭҚК бағыттары қарама қарсыға өзгерегендегі жағдай үшін түйінаралық кернеудің формуласын жазыңыз

23. 1-15 суретінде көрсетілген схемадағы тармақтарындағы тоқтардың есептеу формуласын жазыңыз
24. Екіполюстік деп нені айтады?
25. Екіполюстіктің кіріс кедергісін қалай анықтайды?
26. Екіполюстіктің бос жүріс кернеуін қалай анықтайды?
27. Қабаттасу принципі қандай тізбектерде қолданады?
28. Қабаттасу әдісі бойынша теңдеулер саны қалай анықталады?
29. Бөлшек тоқтар деп нені атаймыз?

«ТҰРАҚТЫ ТОҚТЫҢ СЫЗЫҚТЫҚ ЭЛЕКТР ТІЗБЕКТЕРІ» тақырыбы бойынша тесттік сұрақтар

1. Сыртқы тізбек бойымен зарядтарды қозғауға жұмсалған жұмысқа тең физикалық шаманы қалай атайды?
A) ЭҚК;
B) Кернеу;
C) Потенциал;
D) қуат;
E) өткізгіштік;

2. Қуаттар балансының теңдеуін көрсетіңіз.
A) $\sum_{k=1}^{n} I_k^2 R_k = \sum_{k=1}^{m} E_k I_k$;
B) $\sum_{k=1}^{n} I_k R_k = \sum_{k=1}^{m} U_k$;
C) $\sum_{k=1}^{n} E_k = \sum_{k=1}^{m} I_k R_k$;
D) P = IR;
E) $U_{ab} = (\sum E_k g_k)/(\sum g_k)$.

3. Эквивалентті генератор әдісі қандай жағдайда қолданылады?
A) тізбектегі ЭҚК-ін есептеу үшін;
B) бөлек бір тармақтағы тоқты есептеу үшін;
C) түйінаралық кернеуді есептеу үшін;
D) қуаттар балансын есептеу үшін;
E) кіріс кедергісін есептеу үшін;

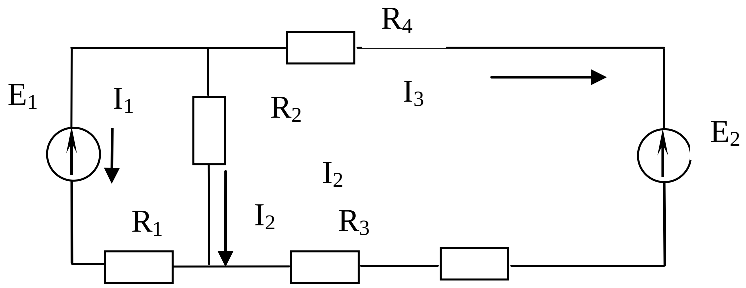
4.Тұрақты тоқ тізбегінің учаскесі үшін Ом заңы:
A) I = U/R;
B) I = U/Z;
C) $I = E/(R+R_0)$;
D) U = I/Z;
E) $P = I^2R$.

5. Орам сымның ұзындығы, оны жазбай есептеу үшін, қандай тәжірибелік және конструкциалық мәліметтер болуы керек?
A) U, I, S;
B) U, S;
C) I, S;
D) U, I, S, ρ;
E) ρ, l, S.

6. Түйінаралық кернеуді есептеу формуласын көрсетіңіз.
A) $U = \Sigma E_n g_n / \Sigma g_n$;
B) $U = \Sigma E_n /Eg$;
C) $U = E – IR$;
D) $U = \Sigma E_k I_k / \Sigma U_k g_k$;
E) $U = IR$.

7. Тұрақты тоқтағы қабылдағыштың қуатын қандай формуламен есептейміз?
A) $P = I^2R$;
B) $P = U^2R$;
C) $P = EI$;
D) $P = I^2X$;
E) $W = UI$.

1. Берілген электр тізбегі үшін қуаттар балансының теңдеуін көрсетіңіз.



A) $I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 R_3 + I_4^2 R_3 + I_3^2 R_5 = I_1 E_1 + I_3 E_2$;
B) $I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 (R_4 + R_3 + R_5) = - E_1 I_1 - E_2 I_3$;
C) $I_1^2 R_2 + I_2^2 (R_3 + R_4 + R_5) – I_2^2 R_2 = E_1 I_1 + E_2 I_2$;
D) $I_1^2 R_1 – I (R_3 + R_4 + R_5) – I_2^2 R_2 = E_1I_1 – E_2I_2$;
E) $I_2R_2 - I_1R_1 = E_1$.

9. Электр қуаты нені сипаттайды?
A) сыртқы тізбек бойымен зарядтарды қозғауға жұмсалған жұмысты сипаттайды;
B) электр энергиясының уақыт бірлігі (1сек) ішіндегі өзгеру жылдамдығын сипаттайды;
C) сыртқы күштердің электр тоғын туғызу қабілетін сипаттайды;
D) электр өрісінің зарядтарға әсер ететін күшін сипаттайды;
E) кернеу көзінде түрленетін энергияны сипаттайды.

10. Эквивалентті генератор әдісі бойынша тоқты есептеу формуласын көрсетіңіз.
A) $I = U_{xx} / R_{вх} + R$;
B) $I = U_{xx} / R_{вх}$;
C) $I = U / R_o$;
D) $I = E / R_{вх}$;
E) $I = (\varphi_a - \varphi_b)/R_{ab}$.

11. Қабаттасу принципі бойынша тармақтардағы тоқтар неге тең болады?
A) қабаттасу принципі бойынша тармақтардағы тоқтар, тармақтардағы ЭҚК-ін осы тармақтың кедергісіне бөліп тапқан тоқтардың суммасына тең;
B) тізбектегі ЭҚК көздерінің әр қайсысының әсерінен пайда болған бөлшек тоқтардың алгебралық суммасына тең;
C) қабаттасу принципі бойынша тоқтар келесі формуламен есептеледі: $I = (E - U_{ab})g$;
D) түйіндегі тоқтардың алгебралық суммасына тең;
E) осы тармақ арқылы тұйықталатын контурлық тоқтардың алгебралық суммасына тең.

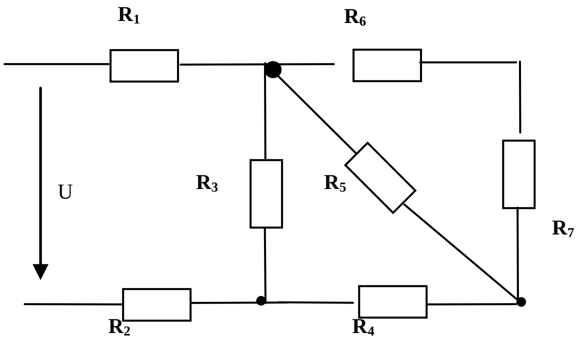
12. Мәні бірдей кедергілерді параллель жалғаған n-тармақтары бар тізбектің эквивалент кедергісінің формуласын көрсетіңіз.
A) $R_{экв} = R/n$;
B) $R_{экв} = (R_1 + R_2 + R_3 + ...+ R_n)/n$;
C) $R_{экв} = R_1 + R_2 + R_3 + ...+ R_n$;
D) $R_{экв} = n (R_1 + R_2 + R_3 + ...+ R_n)$;
E) $R_{экв} = n R$.

13. Эквиваленті генератор әдісінде кіріс кедергісі қалай анықталады?
A) Оқшауланып тұрған тармақты ажыратып тізбектің ортақ кедергісі есептеледі;
B) Оқшауланған тармаққа қатысты тізбектің қалған бөлігінің ортақ кедергісін есептейді, ол үшін ЭЅКкөздерін қысқа тұйықтайды, тоқ көздерін ажыратып тастайды;
C) Тізбектегі энергия көздерін ажыратып тастап, ортақ кедергіні есептейді;
D) Бос жүріс режимінде ортақ кедергіні есептейді;
E) Актив екіполюстіктің ішіне кіретін барлық кедергілердің суммасына тең болады.

14. ЭҚК көзінің тоқ көзінен айырмашылығы қандай?
A) Айырмашылығы жоқ;
B) ЭҚК көзінің ішкі кедергісі тізбектей қосылады, ал тоқ көзінің ішкі кедергісі параллель қосылады;

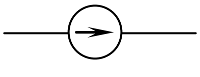
C) Тоқ көзінің ішкі кедергісі нольге тең, ал ЭҚК көзінің ішкі кедергісі шексіздік;
D) Электр тізбектерінде тек қана кернеу көзі қолданылады;
E) Тоқ көзінде ішкі кедергісінде қуат шығындары болады, ал ЭҚК көзінде ішкі кедергіде қуат шығындары болады.

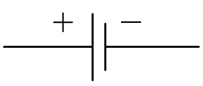
15. Берілген схеманың басындағы тоқтың мәнін табыңыз: R1 = R2 = 0,5 Ом, R3 = R5 = 10 Ом,
R4 = R6 = R7 = 50 Ом, U = 240 В.
A) 40 А;
B) 6,6 А;
C) 11,42 А;
D) 10 А;
E) 1,4 А.

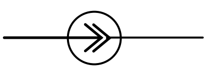


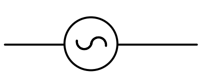
16. Төмендегі анықтамалардың қайсысы дұрыс?
A) Сызықтық тізбектерде бірнеше кернеу көзі бар схемаларда тоқтарды есептеуге қабаттасу принципі қолданылады;
B) Түйіндік потенциалдар әдісі Кирхгофтың екінші заңына негізделген;
C) Түйінге кіріп жатқан зарядтардың саны түйіннен шығып жатқан зарядтардың санына тең болады;
D) Эквивалентті генератор әдісі қабаттасу принципіне негізделген;
E) Контурлық тоқтар әдісі Кирхгофтың екінші заңына негізделген.

17. Тұрақты тоқ тізбегіндегі барлық энергия көздерінің қуаттарының қосындысы $\Sigma P_{ист}$ = 500 Вт. Тізбектегі қабылдағыштардың қуаттарының қосындысы неге тең болады?
A) $\Sigma P_{пр}$ = 25 Вт;
B) $\Sigma P_{пр}$ = 2500 Вт;
C) жауап беру мүмкін емес, себебі қабылдағыштар және энергия көздерінің саны белгісіз;
D) $\Sigma P_{пр}$ = 250 Вт;
E) $\Sigma P_{пр}$ = 500 Вт.

18. Тоқ көзінің шартты графикалық белгісін көрсетіңіз.
A) 

B) 

C) 

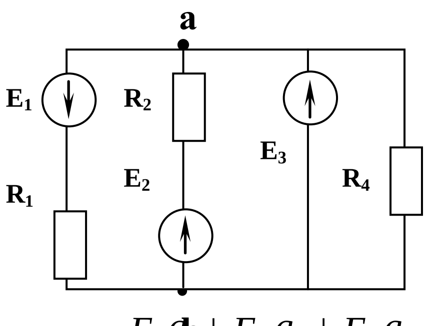
D) 

E) 

19. Кедергілер өзара үшбұрыш схемасымен қосылған, эквивалентті жұлдызша схемасының кедергілерін табыңыз: егер $R_{ab}=R_{bc}=R_{ca}=3$ Ом.
A) $R_a=R_b=R_c=1$ Ом;
B) $R_a=R_b=R_c=6$ Ом;
C) $R_a=R_b=R_c=2$ Ом;
D) $R_a=R_b=R_c=3$ Ом;
E) $R_a=R_b=R_c=9$ Ом.

20.Электр энергия көзі қабылдағыш режимінде жұмыс жасап тұрса, ондағы тоқ пен ЭҚК-нің бағыты қандай болады?
A) Тоқ пен ЭҚК-нің оң бағыттар қарсы болады;
B) Тоқ пен ЭҚК-нің оң бағыттар бірдей болады;
C) ЭҚК-і және тоқтың бағыты, қабылдағыштағы тоқтың бағытымен бірдей болады;
D) Электр энергия көздері қабылдағыш режимінде жұмыс істей алмайды;
E) ЭҚК-і және тоқтың бағыты, қабылдағыштағы тоқтың бағытына қарсы болады.

21. Берілген тізбек үшін түйінаралық кернеу формуласын көрсетіңіз.



A) $U_{ab}=\dfrac{-E_1 g_1 + E_2 g_2 + E_3 g_3}{g_1 + g_2 + g_3 + g_4}$;

B) $U_{ab}=\dfrac{E_1 g_1 + E_2 g_2 + E_3 g_3}{g_1 + g_2 + g_3 + g_4}$;

C) $U_{ab}=\dfrac{g_1 + g_2 + g_4}{E_1 g_1 + E_2 g_2}$;

D) $U_{ab}=\dfrac{E_1 g_1 + E_2 g_2}{g_1 + g_2 + g_3 + g_4}$;

E) $U_{ab}=\dfrac{-E_1 g_1 + E_2 g_2}{g_1 + g_2 + g_4}$.

22. Контурлық тоқтар әдісі бойынша қанша теңдеу құрастыру керек?
A) Теңдеулер саны белгісіз тоқтар санына тең;
B) Теңдеулер саны түйін саны минус бір;
C) Теңдеулер саны тармақтар санына тең;
D) Теңдеулер саны Кирхгофтың бірінші заңы бойынша теңдеулер санына тең;
E) Теңдеулер саны Кирхгофтың екінші заңы бойынша теңдеулер санына тең.

23. Кирхгофтың бірінші заңының анықтамасын көрсетіңіз.
A) Контурдағы ЭҚК-нің алгебралық суммасы, осы контурдағы кернеудің түсуінің алгебралық суммасына тең;
B) I^2R көбейтіндісінің суммасы, электр энергия көздерінің алгебралық суммасына тең;
C) Түйіндегі тоғысқан тоқтардың алгебралық суммасы нольге тең болады;
D) Тізбектің бір учаскесіндегі тоқ күші осы учаскенің кернеуіне тура пропорционал, учаскесінің кедергісіне кері пропорционал болады;
E) Тізбектегі тоқ, тізбектің ЭҚК-не тура пропорционал, энергия көзінің ішкі кедергісі және жүктеме кедергісінің қосындысына кері пропорционал болады.

24. Төмендегі тұжырымдамалардың қайсысы дұрыс емес?
A) Контурлық тоқтар әдісі Кирхгофтың екінші заңына негізделген;
B) Қабаттасу әдісі қабаттасу принципіне негізделген;
C) Эквивалентті генератор әдісі бір ғана тармақтағы тоқты есептеуге қолданылады;
D) Екі түйін әдісі түйінаралық кернеуді анықтауға негізделген;
E) Қабаттасу әдісі Кирхгофтың бірінші заңына негізделген.

27. Қуаттар балансының, тұрақты тоқ тізбегі үшін анықтамасын көрсетіңіз.
A) Энергия көздерінің шығаратын қуаттарының суммасы ЭSK-нің суммасына тең;
B) Қуаттар балансы энергияның сақталу заңына негізделген, кез келген тұйықталған тізбек үшін оның энергия көздерінің қуаттарының алгебралық суммасы осы тізбектегі қабылдағыштардағы жұмсалатын қуаттардың алгебралық суммасына тең;
C) Қуаттар балансы Кирхгоф заңдарына негізделген, энергия көздерінің қуаттарының алгебралық суммасы контурлардағы кернеулердің түсуінің алгебралық суммасына тең;
D) Қуаттар балансы Джоуль†Ленц заңына негізделген, тоқ өткен кезде бөлінетін јқуаттың алгебралық суммасы тоқтың квадратына, кедергіге және уақытқа тура пропорционал;
E) Қуаттар балансы тек қана бейсызықты тізбектерде сақталады.

28. Қабаттасу әдісін қолданЈғанда қанша қосымша схема құрастыру керек?
A) Қабылдағыштардың санына тең қосымша схемалар құрастыру керек;

B) Тізбекте қанша энергия көзі болса, сонша қосымша схема құрастырамыз;
C) Қосымша схемалар саны белгісіз тоқтар санына тең;
D) Қосымша схемалар саны тізбектегі түйіндер санына тең;
E) Қосымша схемалар саны тізбектегі тармақтар санына тең.

Дәріс № 2
ТАҚЫРЫП: АЙНЫМАЛЫ ТОҚТЫҢ СЫЗЫҚТЫҚ ЭЛЕКТР ТІЗБЕКТЕРІ

Дәріс мақсаты: *Айнымалы синусоидалы тоқтың негізгі параметрлері, көрсету формаларымен таныстыру. Синусоидалы тоқ тізбегіндегі активті және реактивті тұтұнушыларын сипаттау. Синусоидалы ток тізбегінің қуатының физикалық мағынасын талдау, қуат коэффициентінің ролін көрсету. Резонанс құбылысының пайда болуын және оны сипаттайтын параметрлерді, резонанс құблысының пайдалы және зиянды жақтарымен таныстыру*

Маңызды сөздер: *фаза, фазаның ығысуы, фазалық бұрыш, жиілік, период, активті кедергі , реактивті кедергі, лездік қуат,қуат коэффициенті, қуат үшбұрышы, кернеу үшбұрышы, кедергі үшбұрышы, резонанс, беріктілік, толқындық кедергі*

1. **Айнымалы тоқтың негізгі параметрлері, синусоидалы тоқты көрсету формалары.**

Синусоидалы айнымалы тоқ халық шаруашылығында кеңінен қолданады. Өйткені электр энергиясын басқа энергияларды түрлендіру арқылы оңай алуға, аса көп шығынсыз алыс қашықтарға жеткізуге және тұтынушылар арасында оңай таратуға болады.

Айнымалы синусоидалы тоқтың негізгі параметрлері

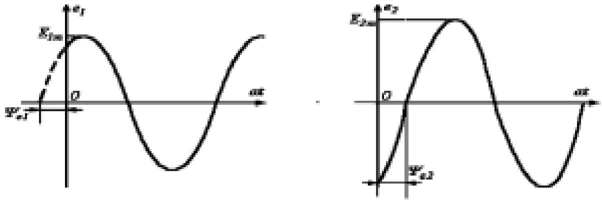
Айнымалы тоқ (кернеу, ЭҚК) деп, уақыт бірлігі ішінде өзінің бағытын және мәнін өзгертетін тоқты айтады. Бұл өзгерістер өтетін уақыт аралығы ***период*** деп аталады.

Периодты тоқ үшін: $$i=F(t)=F(t+T) \qquad (2.1)$$

Периодқа кері шама ***жиілік***, өлшем бірлігі Герц (Гц):
$$F=1/T, \qquad (2.2)$$

Айнымалы шаманың лездік мәні тоққа тәуелді, оның период ішіндегі ең үлкен мәні ***амплитуда*:** I_m - тоқтың амплитудасы, аналогия бойынша кернеу және ЭҚК үшін.

Төмендегі(сур. 2.1) екі синуоидалы ЭҚК уахқыт ішіндегі өзгерісі (уақыт диаграммасы) көрсетілген: $e_1 = E_{1m} \sin(\omega t + \Psi_{e1})$; $e_2 = E_{2m} \sin(\omega t + \Psi_{e2})$.



сур .2.1 - а) e_1 синусоидалы ЭҚК графигі; б) e_2 синусоидалы ЭҚК графигі

Синусоидалы функция аргументі $(\omega t+\Psi_{e1})$ и $(\omega t+\Psi_{e2})$ *фаза*, ал бастапқы уақыт *(t=0)*кездегі бұрыш: Ψ_{e1} и Ψ_{e2} - бастапқы фаза ($\Psi_{e1}>0;\Psi_{e2}<0$)деп аталады.Фазалық бұрышытың өзгеру жылдамдығын бұрыштық жиілік деп атайды $\omega=2\pi/T=2\pi f$, мұндағы f– *жиілік*.

Жиілігі бірдей екі синусоидалы шаманың фазалық бұрыштарының айырмасы бастапқы фазалық бұрыштардың айырмасына тең болады, оны *фазаның ығысу бұрышы* (фазаның ығысуы, фазалар айырмасы) деп атайды.

Синусоидал шамалардың әрекеттік және орташа мәндері. **С**инусоидал шаманың мәні үшін оған электродинамикалық немесе жылулық қасиеті бойынша баламалы тұрақты тоқтың мәні алынады, яғни синусоидал шама сәйкесті тұрақты шамамен салыстырмалы өлшенеді. Мысалы, синусоидалы тоқтың бір периоды ішінде белгілі-бір резисторда синусоидалы ток жүргенде бөлінетін жылу, сол резистормен сол уақыт ішінде тұрақты ток жүргенде бөлінетін жылуға тең болғандағы, яғни $\sim W=W\_$, тұрақты токтың мәнін синусоидал токтың әрекеттік мәні үшін алады.

Синусоидал токтың эректтік мәні деп бір резисторда уақыт бірлігі ішінде синусоидал токтың бөліп-шығаратын жылуына тең жылу бөліп шығаратын тұрақты токтың мәнін айтады.

Кедергі R резистормен синусоидал токтың периодына тең T уақыт ішінде синусоидалы тоқ жүргенде Джоуль-Ленц заңы бойынша бөлініп шығатын жылу

$$W=\int_0^T i^2Rdt$$

Осы резисторда сол T уақыт ішінде синусоидал тоқтың бөліп шығаратын жылуына тең жылу бөліп шығаратынтұрақты тоқ жүргендегі бөлінетін жылу

$$W\_=I^2RT$$

Бөлініп шығатын жылулардың теңдігінен, яғни

$$I^2RT=\int_0^T i^2Rdt$$

Синусоидал тоқтың әрекеттік мәні

$$I=\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T I_m^2\sin^2\omega t dt}=\sqrt{I_m^2\,\frac{1}{T}\int_0^T\frac{1-\cos 2\omega t}{2}dt}=\sqrt{\frac{1}{T}\,\frac{I_m^2\cdot T}{2}}=\frac{I_m}{\sqrt{2}} \qquad (2.3)$$

Бұл теңдік синусоидал тоқтың әрекеттік мәнінің оның орташа квадраттық мәніне тең болатындығын көрсетеді. Яғни,

$$I=\frac{I_m}{\sqrt{2}} \qquad (2.4)$$

Осылайша ЭҚК пен кернеудің де әрекеттік және максимал (амплиьудалық) мәндерінің ара қатынасын анықтауға болады:

$$E = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \qquad (2.5)$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \qquad (2.6)$$

Сонымен, (2.4), (2.5) және (2.6) теңдеулерінен синусоидал шаманың әрекеттік мәні оның амплитудалық мәнінен есе аз деп тұжырымдауға болады.

Синусоидал шаманың орташа мәні деп оның арифметикалық орташа мәнін айтады. Синусоидал шаманың период ішіндегі арифметикалық орташа мәні нөлге тең болатындықтан, оның жарты период үшін есептейді.

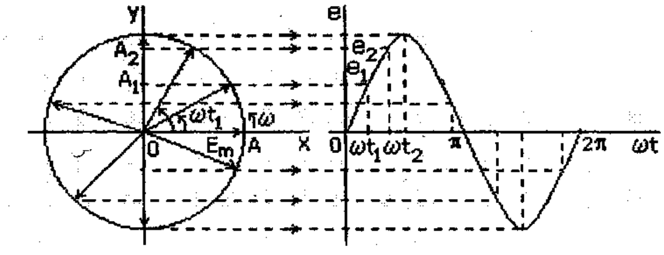
Егер $\int_0^{\frac{T}{2}} idt = I_{op} * \frac{T}{2}$ Онда синусоидал тоқтың орташа мәні:

$$I_{op} = \frac{2}{T}\int_0^{\frac{T}{2}} idt = \frac{2}{T} I_m \int_0^{\frac{T}{2}} \sin\omega t dt = \frac{2}{\pi} I_m$$

Осы сияқты ЭҚК пен кернеудің орташа мәндері:

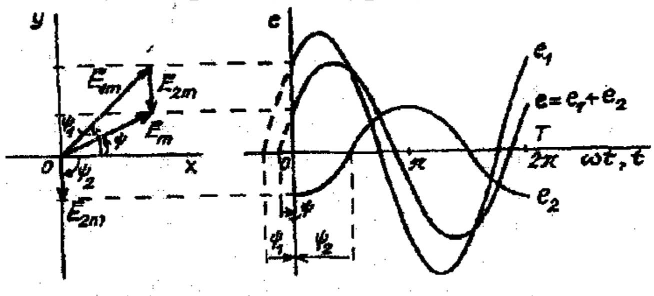
$$E_{op} = \frac{2}{\pi} E_m \qquad U_{op} = \frac{2}{\pi} U_m$$

Синусоидалы шамаларды айнымалы вектормен кескіндеу. Координаттар жазықтығына OX (абсцисса) осінің бойында жатқан ұзындығы синусоидалы ЭҚК-тің амплитудасына тең вектор (2.2-сурет), яғни $\left|\overline{OA}\right| = E_m$, координаттар басынан сағат тілінің бағытына қарсы бағытта ω тұрақты бұрыштық жылдамдықпен айнала бастасын. Ал горизонталь осі OX осімен бір түзудің бойында жатқан екінші бір координаттар жүйесінде вектордың OУ (ордината) осіне проекциясының бұрыштан ωt тәуелділігінің графигін тұрғызалық. Бастапқы ωt=0 вектордың ордината осіне проекциясы нолге тең болғандықтан екінші координаттар жүйесінде оның орны



сур. 2.2 - Синусоидал шаманы айнымалы вектормен кескіндеу

координаттар басына сәйкес келеді: $e_0 = E_m \sin 0 = 0$. Вектор ωt_1 бұрышқа бұрылғанда, оның ордината өсіне проекциясы $OA_1 = e_1 = E_m \sin\omega t_2$ т.с.с. өсіп отырады. Вектор 90^0 бұрылғанда, оның ордината проекциясы вектордың ұзындығына тең болғандықтан, өзінің ең үлкен мәніне жетеді. Бұдан кейін, екінші ширекте азайып, 180^0 бұрылғанда проекциясы теріс мәнді болып, модулі өседі, ал 270^0-та теріс мәнді амплитудасына тең болады. Төртінші ширекте вектордың ордината өсіне проекциясы теріс мәнді бола отырып, модулі бойынша азаяды, ал 360^0-қа бұрылғанда бастапқы орнына қайтып келеді де, ордината өсіне проекциясы нөлге тең болады. Бұдан әрі процесс қайталанып отырады. Егер екінші координаттар жүйесінде вектордың ордината өсіне проекциясының айналу бұрышына байланысты мәндерін тұрғызса, олар синусойда сызып шығады. Басқаша айтқанда синусоида қисығының әрбір нүктесіне уақыт өсімен синусойданың фазалық бұрышына тең бұрыш құрайтын айналып тұрған вектор сәйкес келеді. Бұл синусойдал шаманы айналмалы вектормен кескіндеуге болатындығын дәлдейді. Вектордың ұзындығы синусойдал шаманың амплитудасына, айналу жылдамдығы синусоидал шаманың амплитудасына, айналу жылдамдығы синусойдал шаманың бұрыштық жиілігіне, ал OX өсімен жасайтын бұрышы синусоидал шаманың бастапқы шамасына тең болуы керек. (2.3 сурет).



Сур. 2.3 - Синусоидалы графиктерді және оларға сәйкесті векторларды қосу

$e_1 = E_{1m}\sin(\omega t + \psi_1)$ ЭҚК-іне OX өсімен ψ_1 бұрыш жасайтын $\overline{E_{1m}}$ векторы, $e_2 = E_{2m}\sin(\omega t - \psi_2)$ OX өсімен ψ_2 бұрыш жасайтын $\overline{E_{2m}}$ векторы, ал e_1 және e_2 ЭҚК-терінің қосындысы $e = E_m \sin(\omega t + \psi)$ ЭҚК-іне $\overline{E_{1m}}$ және $\overline{E_{2m}}$ векторларының қосындысына тең OX өсімен ψ бұрыш жасайтын $\overline{E}$ векторы сәкес келеді. Синусоидал шамаларды координаттар жазықтығында айналмалы вектор арқылы кескіндегенде бұрыштың мәнін OX өсінен бастап санау қабылданған. Мұнда, егер бұрыш сағат тілінің бағытына қарсы бағытта саналған болса, онда ол оң таңбамен, ал сағат тілінің бағытында саналған болса, теріс таңбамен алынады. Бірақ кернеу мен тоқтың арасындағы фазалық ығысу бұрышы тоқтан кернеуге қарай саналады: ол кернеудің бастапқы фазасынан тоқтың бастапқы фазасын алғанға тең, яғни

$$\varphi = \langle(U, I) = (\omega t \pm \psi_i) - (\omega t \pm \psi_i) = \pm\psi_u - (\pm\psi_u) \qquad (2.7)$$

Векторлардың барлығы да сағат тілінің бағытына қарсы бағытта айналып тұр деп есептелінетіндіктен, олардың бірін озды, екіншісін қалыс қалды делінеді. Мысалы, E_{2m} векторы E_{1m} вектрынан $\varphi_{21} = \psi_1 - (-\varphi_2) = \psi_1 + \psi_2$ бұрышқа қалыс та, ал E_{1m} векторы E_m векторынан $\psi - \psi_1$ бұрышқа озық.

Синусоидал шамаларды кешенді сандармен өрнектеу. Кешенді сандар өрісі жазықтығында ұзындығы тоқтың әрекеттік мәніне тең I_m векторы орналасқан (2.4-сурет) . вектордың нақты (+1) және жорамал (+j) сан осьтеріне проекциялары арқылы анықтауға болатын белгілі, яғни

$$\underline{I}_m = I_a + jIp, \qquad (2.8)$$

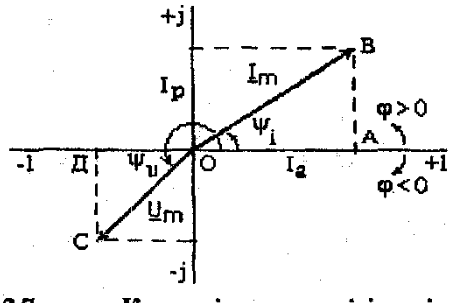
мұндағы $j = i = \sqrt{-1}-$ тоқтың лездік мәнімен шатастырмас үшін қабылданған жорамалдық белгісі. ОАВ тік бұрышты үшбұрышында

$$I_m = |I_m| = \sqrt{I_a^2 + I_p^2}, \qquad I_a = I_m \cos\Psi_{i,} \quad I_p = I_m \sin\Psi_i$$

Егер шамалардың осы мәндерін (2.8) орнегіне қойса , онда

$$I_m = I_m \cos\Psi_i + jI_m \sin\Psi_i = I_m(\cos\Psi_i + j\sin\Psi_i \qquad (2.9)$$

Ал Эйлер өрнегі бойынша $\cos\Psi_i + j\sin\Psi_i = e^{j\psi_i}$ Ендеше $I_m = I_m e^{j\psi_i}$ (2.10)



Сур.2.4 - Кешенді сандар жазықтығындағы векторлар

(2.8),(2.9) ,және (2.10) өрнектері кешенді санның сәйкесінше алгебралық, тригонметриялық және көрсеткішті жазылу түрлері деп аталады. Кешенді сандарды сызықша қойып белгілеу қабылданған.

Егер вектор координаттар басынан ω бұрыштық жылдамдықпен айналып тұр десе, онда ол синусоидал шаманы кескіндейді және

$$I_m = I_m e^{j(\omega t + \Psi_i)} = I_m \cos(\omega t + \psi_i) + j\int_m \sin(\omega t + \psi_i) = I_a + jI_p \qquad (2.11)$$

Бұл өрнек синусоидал шаманы кешенді сандар жазықтығында айналмалы вектормен кескіндеп, алгебралық, тригонометриялық және көрсеткіштік түрінде жазылған кешенді сандармен өрнектеуге болатындығын көрсетеді. (2.11) өрнегінен көрініп тұрғандай, синусоидал шаманың кешенді санмен өрнектелген көрсеткіштік түріне тригонометриялық түріндегі жорамал құраушысының коэффициенті- синусоидал шаманың лездік мәні сәйкес келеді:

$$I_m e^{j(\omega t + \psi_i)} = I_m e^{\psi_i} * e^{j\omega t} = I_m e^{j\omega t} \div i = I_m \sin(\omega t + \psi_i), \qquad (2.12)$$

Мұндағы:

$$I_m = I_m e^{j\psi_i} \div i = I_m \sin\psi_i), \qquad (2.13)$$

$$I_m e^{j\omega t} + i = I_m \sin(\omega t + \psi_i). \qquad (2.14)$$

Синусоидал шаманың кешенді көрсеткіштік түріндегі е санының дәрежесі вектордың нақты сан осімен жасайтын бұрышын көрсетеді. Бұрыштарды нақты сан осінен бастап санау қабылданған: сағат тілінің бағытына қарсы бағытта саналған бұрыш оң мәнді, ал сағат тілінің бағытында саналған бұрыш теріс мәнді деп алынады. Мысалы, 5-суреттегі кернеудің бастапқы фазасы

$$\psi_u = 180^\circ + arctg\frac{СД}{ОД} = -(180^\circ - arctg\frac{СД}{ОД}) \ .$$

Синусоидал ток тізбектерінің электрлік күйі, жалпы алғанда, кешенді сандарды қолдану арқылы талданады.

2. Синусоидал тоқ тізбегіндегі қабылдағыштар

Синусоидал тоқ тізбегіндегі резистивті элемент: Жоғарыда келтіргендей , идеал резистивті элемент деп тек активті кедергісі бар, яғни электр энергиясын басқа энергияға қайтымсыз түрлендіретін, ал индуктивтілігі мен сыйымдылығы нольге тең элементті айтады.

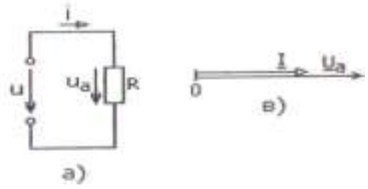
Синусойдал кернеу көзіне қосылған активті кедергісі R(L=0, C=0) резистордың кернеуі

$$u_a = u = U_m \sin \omega t, \psi_u = 0$$

Ом заңы бойынша резистормен жүретін тоқ

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t \qquad (2.15)$$

(2.15) өрнек синусодал кернеудің әсерінен идеал резистивті элементпен синусодал тоқ жүретінін, ал оның фазасына тең екендігін, яғни идеал резистивті элементте тоқ пен кернеудің фазалас болатындығын көрсетеді.



2.5 сурет - Синусоидал тоқ тізбегіндегі резистивті элемент

Тоқтың амплитудалық мәні: $I_m = \frac{U_m}{R}$

Егер осы теңдіктің екі жағын да $\sqrt{2}$-ге бөлсе, онда кернеу мен тоқтың әрекеттік мәндерінің байланысын көрсететін өрнек алынады: $I = \frac{U}{R}$

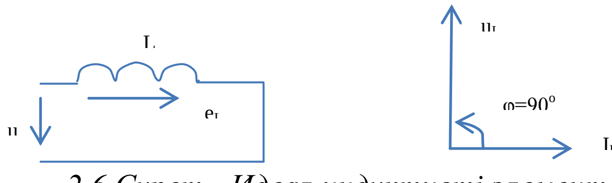
кернеу мен токты кешенді сандар арқылы өрнектеуі: $\underline{U} = U_{e^{j0}}$ және

$$\underline{I} = I_{e^{j0}} = \frac{U}{R} e^{j0} = \frac{\underline{\underline{U}}}{R}$$

Осы өрнектерге сүйеніп тұрғызылған кернеу мен тоқтың векторлары 2.5,в-суретте келтірілген.

Синусоидал тоқ тізбегіндегі идеал индуктивті элемент. Синусоидал кернеу көзіне қосылған индуктивтілігі $L(R = 0, C = 0)$ идеал шарғының кернеуі (2.6,а-сурет)

$$u_L = u = U_m \sin \omega t, \eta\psi_u = 0 \qquad (2.16)$$



2.6 Сурет - Идеал индуктивті элемент: қосылу сұлбасы(а); векторлық диаграммасы(в).

Кернеудің әсерінен жүретін айнымалы тоқ айнымалы магнит өрісін қоздырады, ал айнымалы магнит өрісі шарғыда өздік индукция ЭКҚ-інің бағыты тоқпен бағыттас деп алынады.

Электромагниттік индукция заңы бойынша өздік индукция ЭКҚ-і

$$e=-\frac{d\phi}{dt}=-L\frac{di}{dt} \qquad (2.17)$$

мұндағы: ϕ-шарғының магнит ағыны; L-шарғының индуктивлігі.

Кирхгофтың екінші заңы бойынша шарғы тізбегінің контурында

$$u=-e_L \qquad (2.18)$$

Енді осы теңдікке (2.17)және (2.18) теңдіктерінен кернеудің және ЭКҚ-тің мәндерін қойып,тоқты анықтаса:

$$U_m\sin\omega t=L\frac{di}{dt},di=\frac{U_m}{\omega L}\sin\omega t d(\omega t)$$

$$i=\frac{U_m}{\omega L}\int\sin\omega t(\omega t)=-\frac{u_m}{\omega L}\cos\omega t=\frac{u_m}{\omega L}\sin(\omega t-\frac{\pi}{2})=I_m\sin(\omega t-\frac{\pi}{2})$$

Сонымен, синусоидал кернеудің әсерінен идеал шарғымен жүретін тоқ

$$i=I_m\sin(\omega t-\frac{\pi}{2}) \qquad (2.19)$$

синусоидал болады және кернеудің 90-қа қалып отырады. Кернеу мен тоқтың фазалық ығысу бұрышы

$$\phi=\varphi_u-\varphi_i=0(-\frac{\pi}{2})=\frac{\pi}{2}$$

(2.18) теңдігі бойынша кернеу мен өздік индукция ЭКҚ-інің фазалары қарама – қарсы. Бұл өздік индукция ЭКҚ-інің Ленц заңы бойынша оны тудырған себепке қарсы әсер ететіндігінен тоқтың өсуі кедергі келтіретінін көрсетеді,яғни индуктивті элементте тоқ тез өсіп кете алмайды.

Тоқтың амплитудалық мәні $\mathrm{I}_m=\frac{U_m}{\omega L}$

Егер осы теңдіктің екі жағын да $\sqrt{2}$ бөлсе,онда тоқ пен кернеудің мәндерін байланыстыратынОм заңының өрнегі алынады

$$I=\frac{U}{\omega L}=\frac{U}{X_L} \qquad (2.20)$$

Мұндағы X_L идеал индуктивті элементтің синусоидал тоққа кедергісі болып табылады, өйткені оның өлшемділігі кедергінің өлшемділігіне тең

$$X_L=\omega L=2\pi fL \qquad (2.21)$$

Бұл өрнек реактивті индуктивтік кедергінің жиліктен тәуелді екенін көрсетеді,жиілік өссе индуктивтік кедергі де өседі және керісінше. Егер кернеу мен тоқты кешенд сандармен өрнектесе,яғни

$$\underline{U}=Ue^{j0} \quad \text{және} \quad \underline{I}=Ie^{-j\frac{\pi}{2}},$$

онда кешенді тоқ $\underline{I}=\frac{U}{X_L}e^{-j\frac{\pi}{2}}=\frac{Ue^{j0}}{e^{j\frac{\pi}{2}}X_L}=\frac{\underline{U}}{jX_L},$

мұндағы jX_L - идеал индуктивті элементтің кешенді кедергісі .

Сонымен,идеал индуктивті элементтің кешенді тогы кешенді кернеуін кешенді кедергісіне бөлгенге тең,ал

$$\underline{I} = \frac{\underline{U}}{jXL} \qquad (2.22)$$

өрнегі идеал индуктивті элемент үшін кешенді сан түрінде жазылған Ом заңының өрнегі болып табылады.

Идеал индуктивті элементтің кернеуі мен тогының векторлық диаграммасы 2.6 ,в суретте келтірілген.

Синусоидал тоқ тізбегіндегі идеал сыйымдылықты элемент. Синусоидал кернеу көзіне қосылған сыйымдылығы идеал конденсатордың кернеуі (2.7,а сурет)

$$u_c = u = U_m \sin \omega t, \psi_u = 0 \qquad (2.23)$$

Кернеудің әсерінен конденсатормен жүретін тоқ конденсатордың зарядынан , ал конденсатордың заряды оның сыйымдылығы мен кернеуіне тәуелді екені белгілі:

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{Cdu}{dt}$$

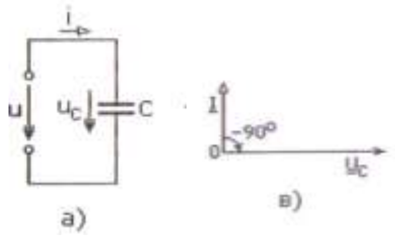
мұндағы: *q*- конденсатор астарларының заряды С- конденсатордың сыйымдылығы.

Егер соңғы теңдікке кернеудің мәнін қойса,онда сыйымдылықты элементтің тоғы

$$i = \frac{Cd(U_m \sin \omega t)}{dt} = \omega C U_m \cos \omega t = \omega C U_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) = I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

Сонымен, синусоидал кернеудің әсерінен идеал сыйымдылықты элементпен жүретін тоқ. Синусоидал болады және кернеуден 90 –қа озып отырады

$$i = I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \qquad (2.24)$$



Сурет 2.7- Синусоидал кернеу көзіне қосылған сыйымдылық

Кернеу мен тоқтың фазалық ығысу бұрышы.

$$\varphi = \psi_u - \psi_i = 0 - \frac{\pi}{2} = -\frac{\pi}{2}$$

Тоқтың амплитудалық мәні

$$I_m = \omega C U_m = \frac{U_m}{\frac{1}{\omega C}}$$

Егер осы теңдіктің екі жағын да $\sqrt{2}$-ге бөлсе,онда тоқ пен кернеудің әрекеттік мәндерін байланыстыратын Ом заңының өрнегі алынады:

$$I = \frac{U}{\frac{1}{\omega C}} = \frac{U}{X_C} \qquad (2.25)$$

мұндағы $1/\omega C$ идеал сыйымдылықты элементтің синусоидал тоққа кедергісі болып табылады:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{1\pi f C}$$

Егер кернеу мен тоқты кешенді сандармен өрнектесе, яғни

$$\underline{U} = U_{e^{j0}} \quad \text{және} \quad \underline{I} = I_{e^{j\frac{\pi}{2}}}$$

онда кешенді ток $\underline{I} = \frac{U}{X_C} e^{j\frac{\pi}{2}} = \frac{U_{e^{j0}}}{e^{-j\frac{\pi}{2}} X_C} = \frac{\underline{U}}{-jX_C}$

мұндағы $-jX_C$ - идеал сыйымдылықты элементтің кешщеді кедергісі. Сонымен, идеал сыйымдылықты элементтің кешенді тогы кешенді кернеін кешенді кедергісіне бөлгенге тең,ал

$$\underline{I} = \frac{\underline{U}}{-jX_C}$$

өрнегі идеал сыйымдылықты элемент үшін кешенді сан түрінде жазылған Ом заңының өрнегі болып табылады. Идеал сыйымдылықты элементтің кернеуі мен тогының векторлық диаграммасы 2.17,в суретте келтірілген.

3 . Айнымалы тоқтың тізбектеріндегі қуат. Қуаттың лездік мәні.

Іс жүзінде кездесетін реал элементтер мен тізбектер екі немесе үш параметрлі болатындықтан, олардың толық қуаты (қорытқы) активті, индуктивтік және сыйымдылықтық қуаттардан түзеледі, яғни элементтің немесе тізбектің толық қуатының активті, индуктивтік және сыйымдылықтық құраушылары болады.

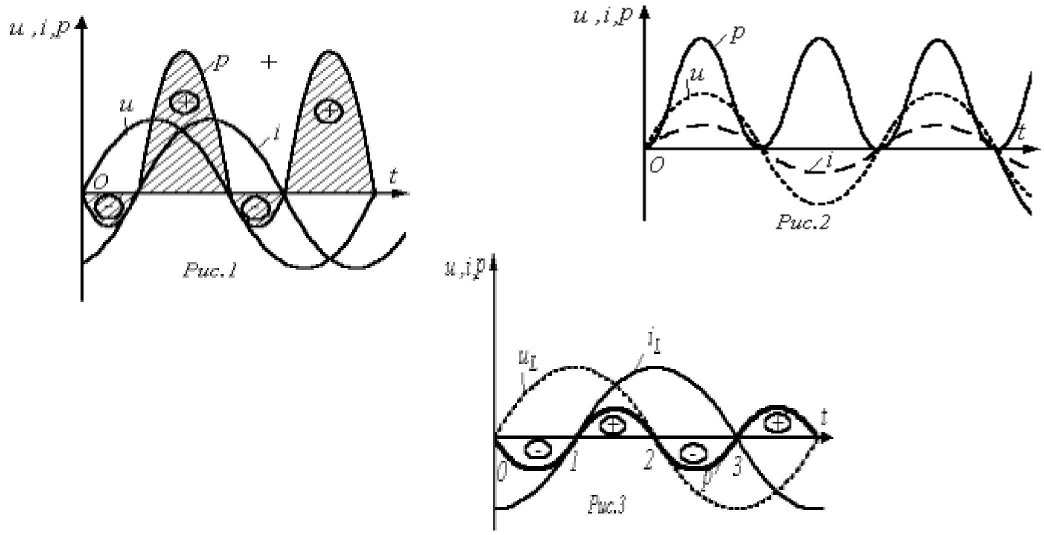
Тізбектің толық лездік қуаты кернеу мен тоқтың лездік мәндерінің көбейтіндісіне тең:

$$p = u \cdot i = (u_a + u_L + u_C) \cdot i = U_{ma} \sin \omega t \cdot I_m \sin \omega t + U_{mL} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \cdot I_m \sin \omega t +$$
$$+ U_{mC} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \cdot I_m \sin \omega t = U_a I (1 - \cos 2\omega t) + U_L I \sin 2\omega t + \qquad (2.26)$$
$$+ U_C I \sin 2\omega t = p_a + p_L + p_C$$

Немесе,

$$p = u \cdot i = U_m \sin(\omega t \pm \varphi) \cdot I_m \sin \omega t =$$
$$= \frac{U_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_m}{\sqrt{2}} \left[\cos(\omega t \pm \varphi - \omega t) - \cos(\omega t \pm \varphi + \omega t)\right] = \qquad (2.27)$$
$$= UI \cos \varphi - UI \cos(2\omega t \pm \varphi)$$

Тізбек элементтерінің және тізбектің толық қуатының графиктері 2.8-суретте келтірілген. (2.27) өрнектен және 2.8 -суреттен көрініп тұрғандай индуктивтік және сыйымдылықтық қуаттың фазалары қарама-қарсы, яғни бірі оң мәнді болғанда екіншісі теріс мәнді болады.



Сурет 2.8- Тізбек элементтерінің және тізбектің толық қуатының графиктері

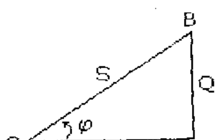
Тізбектің активті қуаты, яғни период ішіндегі лездік қуаттың орташа мәні

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T pdt = \frac{1}{T}\int_0^T [UI\cos\varphi - UI\cos(2\omega t \pm \varphi)]dt = UI\cos\varphi \qquad (2.28)$$

Бұл өрнек активті қуаттың толық қуаттың лездік мәнінің тұрақты құраушысы болатындығын, ал $2\omega t$ жиілікпен өзгеріп отыратын құраушысының лездік мәні екендігін көрсетеді. Егер кернеулер үшбұрышының қабырғаларын тізбек элементтерімен бір ток жүретіндіктен токқа көбейтсе, онда қабырғалары I есе өзгерген, бірақ бұрыштары өзгермеген тік бұрышты үшбұрыш – ОАВ қуаттар үшбұрышы шығады (2.9 -сурет).

Тізбектің толық қуаты

$$S = UI[B \cdot A] \qquad (2.29)$$



Қуаттар үшбұрышынан тізбектің активті қуаты

$$P = S\cos\varphi = UI\cos\varphi, \qquad (2.30)$$

Сурет 2.9- Қуаттар үшбұрышы

ал реактивті қуаты $Q = S\sin\varphi = UI\sin\varphi$ (2.31)

Немесе, $Q = U_p I = (U_L - U_c)I = U_L I - U_c I = Q_{Ll} Q_c -$ (2.32)

яғни тізбектің реактивті қуаты реактивті индуктивтік қуат және реактивті сыйымдылықтық қуаттың айырымына тең.

Қуаттар үшбұрышынан құраушылары арқылы анықталған толық қуат

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2} \qquad (2.33)$$

Тізбектің кернеуі мен тогының фазалық ығысу бұрышы

$$\varphi = arctg\,\frac{Q}{R} = arctg\,\frac{Q_L - Q_C}{R}$$

Синусоидалы шамаларды кешенді сандармен өрнектеген кезде олардың активті құраушысы кешенді нақты бөлігін, ал реактивті құраушысы жорамал бөлігін құрайтындықтан кешенді толық қуат

$$\begin{aligned} S &= P + jQ = UI\cos\varphi + jUI\sin\varphi = UI(\cos\chi\varphi + j\sin\varphi) = \\ &= UIe^{j\varphi} = UIe^{j(\psi_u - \psi_i)} = Ue^{j\psi_u}\cdot Ie^{-j\psi_i} = UI^{\bullet} \end{aligned} \qquad (2.34)$$

Тізбектің кешенді толық кернеу мен көрсеткіш таңбасы кері кешенді толық токтың көбейтіндісіне тең.

Қуат коэффициенті және оның көтерудің тәсілдері. Толық қуаттың ішінде активті қуаттың үлесі неғұрлым үлкен болса, онда энергетикалық тұрғыдан алғанда, тізбек немесе тізбек элементі соғұрлым тиімді жұмыс істейді деп айтуға болады. Активті қуат толық қуаттың қандай бөлігін құрайтындығын көрсететін шаманы қуат коэффициенті деп атайды. Қуаттар үшбұрышынан

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \qquad (2.35)$$

Қуат коэффициенті қабылдағышқа келіп түскен немесе қорек көзі өндірген электр энергиясының қаншалықты түгел пайдаланғандығын көрсетеді. (2.35) теңдігінен, егер *P=0* болса, яғыни қайтымсыз түрленген энергия жоқ болса, онда қондырғыда жұмыс істелмеген, келген энергия түгелдей қорек көзіне қайтып кеткен $S=Q$, ал $\cos\varphi=0$. егер $P=S$ болса, онда келген энергия қондырғыда түгелдей қайтымсыз түрленген, қайтып кеткен энергия жоқ $Q=0$, ал $\cos\varphi=1$.

Қуат коэффициенті электрлік қондырғылардың басты энергетикалық көрсеткіштерінің бірі болып саналады және олардың паспортында көрсетіледі.

4. Айнымалы тоқтың тізбектеріндегі қабылдағыштарды тізбектей жалғау.

Қабылдағыштары бірізді жалғанған синусоидал тоқ тізбегі

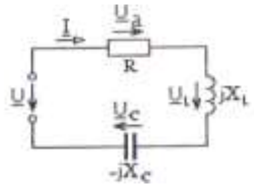
Әртүрлі сипатта элементтері бірізді жалғанған кез келген тізбекті әрқашанда үш параметрлі тізбекке (2.10-сурет) келтіруге болады. Өйткені элементтер бірізді жалғанғандықтан, тізбектің бір сипаты параметрлері өзара қосылады, яғни

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$
$$X_C = X_{L1} + X_{L2} + X_{L3} + \dots$$
$$X_C = X_{C1} + X_{C2} + X_{C3} + \dots$$

Тізбекке берілген кернеу, тізбектің толық кернеуі, тізбек элементтерінің кернеулерінің геометриялық қосындысына тең (немесе, кешенді мәндерінің қосындысына тең)

$$\underline{U} = \underline{U}_a + \underline{U}_L + \underline{U}_C \qquad (2.36)$$

мұндағы, активті кернеу $\underline{U}_a = R\underline{I};$ (2.37)



реактивті индуктивтік кернеу $\underline{U_L = jX_L I}$;

реактивті сыйымдылықтық кернеу $\underline{U_C} = -jX_C \underline{I}$

2.10 сурет. Элементтері бірізді жалғанған тізбектің сұлбасы.

Егер кернеулердің осы мәндерін (2.36 теңдігіне қойса, онда кернеу тізбектің толық кедергісін тоққа көбейткенге тең, яғни айнымалы тізбек үшін Ом заңы:

$$\bar{U} = \bar{I}\bar{Z} \quad \text{немесе} \quad \bar{I} = \frac{\bar{U}}{\bar{Z}} \tag{2.38}$$

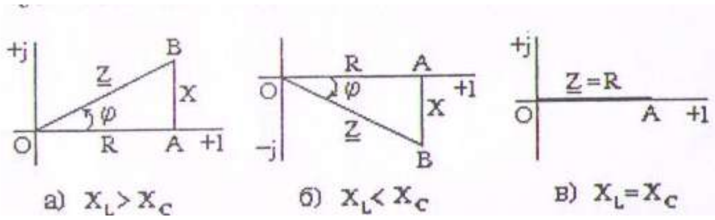
Тізбектің толық кешенді кедергісі

$$\underline{Z} = R + j(X_L - X_C) = R + jX \tag{2.39}$$

Тізбектің реактивті кедергісі

$$X = X_L - X_C \tag{2.40}$$

реактивті индуктивтік кедергі мен реактивті сыйымдылықтық кедергінің айырымына тең. (2.39) өрнегіне сәйкесті кедергілердің кешенді сандар жазықтығында кескінделуі 2.11 -суретте келтірілген. Мұнда, егер индуктивтік кедергі сыйымдылықтық кедергіден үлкен болса, яғни $X_L \succ X_C$, онда тізбек активті – индуктивті, егер керісінше сыйымдылықтық кедергі индуктивтік кедергіден үлкен болса, яғни $X_L \prec X_C$, онда тізбек активті – сыйымдылықтықты , ал егер индуктивтік кедергі мен сыйымдылықтық кедергі өзара тең болса, яғни $X_L = X_C$, онда тізбек активті сипатты болады.



2.11 сурет.-Кешенді сандар жазықтығындағы кедергілер.а) $X_L \succ X_C$, активті - индуктивті тізбек; б) $X_L \succ X_C$, активті - индуктивті тізбек; в) $X_L = X_C$, активті сипатты тізбек .

OAB тік бұрышты үшбұрышының қабырғалары кедергілер болғандықтан оны кедергілер үшбұрышы деп атайды. Кедергілер үшбұрышында тізбектің толық кедергісі

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2},$$

ал активті және реактивті кедергілері

$$R = Z\cos\varphi \quad \text{және} \quad X = Z\sin\varphi.$$

(2.38) өрнегінен тізбектің кешенді толық кедергісі

$$\underline{Z} = \frac{\underline{U}}{\underline{I}} = \frac{Ue^{j\psi_u}}{Ie^{j\psi_i}} = Ze^{j(\psi_u - \psi_i)} = Ze^{j\phi}. \tag{2.41}$$

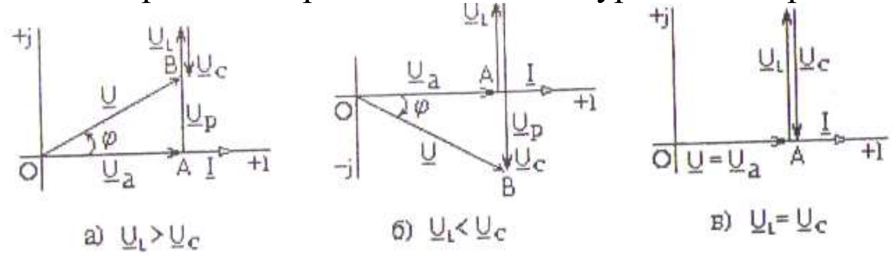
Бұл өрнек кедергілер үшбұрышындағы активті кедергі мен толық кедергінің арасындағы бұрыштың тізбектің кернеуі мен тоғының фазалық ығысу бұрышына тең болатындығын көрсетеді,яғни

$$\angle(R,Z) = \psi_u - \psi_i = \varphi.$$

Кедергілер үшбұрышы бойынша кешенді толық кедергі

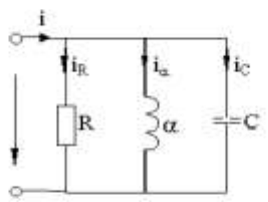
$$\underline{Z} = Ze^{j\varphi} = \sqrt{R^2 + X^2}\, e^{j arctg \frac{X}{R}}.$$

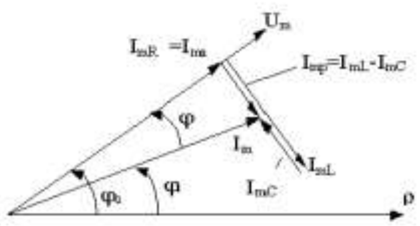
Векторлық диаграмма, әдетте мәні және орыны белгілі бір вектордан бастап тұрғызылады. Мұндай векторды бастапқы вектор деп атайды. Тармақталмаған тізбекте барлық элементтерімен бір тоқ жүретіндіктен бастапкы вектор ретінде тоқтың векторы алынады. Тоқтың бастапқы фазасын нөлге тең деп алып, оған қатысты (2.36) өрнегі бойынша тұрғызылған кернеудің векторлық диаграммасы 2.12-ші суретте келтірілген.



2.12 - сурет Элементтері бірізді жалғанған тізбектің тогы мен кернеулерінің векторлық диаграммалары.

5. Айнымалы тоқтың тізбектеріндегі қабылдағыштарды параллель жалғау





Сур.2.13 - Параллель жалғанған синусоидал тоқ тізбегі схемасы

Сур.2.14 - Параллель жалғанған синусоидал тоқ тізбегінің векторлық диагарммасы

Элементтері параллель жалғанған синусодалы тізбекке (2.13сурет) келесі кернеу берілсін

$u = U_m sin(\omega t + \varphi_u)$. Кирхофтың бірінші заңы бойынша тізбектің басындағы тоқ келесі өрнектен анықталады:

$$i = i_R + i_L + i_C = Gu + C\frac{du_c}{dt} + \frac{1}{L}\int udt. \qquad (2.42)$$

немесе: $i = \frac{U_m}{R}\sin(\omega t + \varphi_u) + \frac{1}{\omega L}U_m \sin(\omega t + \varphi_u - \frac{\pi}{2}) + \omega C U_m \sin(\omega t + \varphi_u + \frac{\pi}{2})$.

Бұл теңдеуді келесі түрде жазайық:

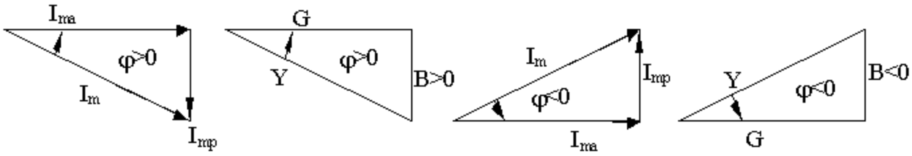
$$i = I_{mR} sin(\omega t + \varphi_R) + I_{mL} sin(\omega t + \varphi_L) + I_{mC} sin(\omega t + \varphi_C), \qquad (2.43)$$

мұнда, $I_{mR} = U_m/R = GU_m$; $I_{mL} = B_L U_m$; $I_{mC} = B_C U_C$;

$\varphi_R = \varphi_u$; $\varphi_L = \varphi_u - \pi/2$; $\varphi_C = \varphi_u + \pi/2$.

2.14 суретте осы теңдеуді сипаттайтын векторлық диаграмма көрсетілген.

Кернеу, кедергі ұшбұрыштары секілді параллель тізбекте тоқтар және өткізгіштіктер үшбұрышын енгізіуге болады, ол векторлық диаграммада да көрініп тұр (2.15 сурет).



Сурет 2.15 Тоқтар, өткізгіштіктер ұшбұрыштары

Бұл үшбұрыштардан егер, $I_{mL} > I_{mC}$ болса тізбектің сипаты активті - индуктивті болады (кернеу фаза бойынша тоқтан алда болады), ал $I_{mL} < I_{mC}$ болса активті–сыйымдылықты сипатты болады (тоқ фаза бойынша кернеуден алда болады). Өткізгіштіктер үшбұрыштарынан :

$$Y = \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2}; \tag{2.44}$$

$$G = Y\cos\varphi; B = Y\sin\varphi \tag{2.45}$$

$$I_m = \sqrt{I_{ma}^2 + I_{mp}^2} = U_m Y; \tag{2.46}$$

$$\varphi = arctg(I_{mp}/I_{ma}) = arctg(B/G); \tag{2.47}$$

Өткізгіштіктің комплексті түрде жазылуы. Өткізгіш кедергіге кері шама болғандықтан:

$$Y = \frac{1}{\underline{Z}} \tag{2.48}$$

Немесе
$$Y = \frac{\bar{I}}{\bar{\bar{U}}} \tag{2.49}$$

(2.48) формулаға кедергінің мәнін қойып келесі формуланы табамыз:

$$Y = \frac{1}{\underline{Z}} = \frac{1}{ze^{j\varphi}} = ye^{-j\varphi} \tag{2.50}$$

(2.49) формулаға тоқ пен кернеудің комплекстік мәндерін қойып келесі формуланы табамыз:

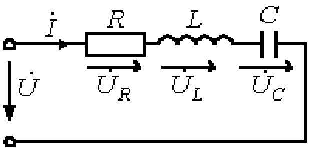
$$Y = \frac{\bar{I}}{\bar{\bar{U}}} = \frac{Ie^{j\psi_i}}{Ue^{j\psi_u}} = ye^{j(\psi_i - \psi_u)} = ye^{-j\varphi} \tag{2.51}$$

6. Айнымалы тоқ тізбектеріндегі резонанс құбылыстары

Жалпы мәліметтер Электр тізбектерінде индуктивті және сыйымдылықты элементтер өзара энергия алмасып отыратындықтан, белгілі бір жағдайда тізбек тек қана активті кедергісі бар тізбек сияқты жұмыс істейді. Мұндай тізбекте ток пен кернеудің фазаларының бірдей, яғни өзара тең болатындығы белгілі. Міне, жалпы алғанда, электр тізбектерінің осындай күйін – тізбектің кернеуі мен тогының фазалас келуін электрлік резонанс деп атайды. Электрлік резонанс күйінде тізбекке берілген азғана кернеу тізбек элементтерінде үлкен ток немесе үлкен кернеу тудыруы мүмкін.

Тізбектің резонанстық күйі тізбек элементтерінің жалғану түріне және олардың параметірінің ара қатынасына байланысты кернеулер және тоқтар резонансы болып бөлінеді.

Кернеулер резонансы. Индуктивті және сыйымдылықты элементтері бірізді жалғанған тізбекте кернеу мен тоқтың фазалас келу құбылысын кернеулер резонансы деп атайды Резонанс кезінде $\psi\ \psi_u = \psi_i, \varphi = \psi_u - \psi_i = 0$,сондықтан тізбектің тек қана активті кедергісі болады. Олай болса бірізді тізбектің



Сурет 2.16. Индуктивті және сыйымдылықты элементтері бірізді жалғанған тізбек

(2.16-сурет) толық кедергісі активті кедергісіне тең:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = R \tag{2.52}$$

Бұл тендік орынды болуы үшін индуктивтік кедергі сыйымдылықтық кедергіге тең болуы керек, яғни $X = X_L - X_C = 0$. Ендеше индуктивтік кедергінің сыйымдылқтық кедергіге тең болуы бірізді тізбектің кернеулер резонансы күйіне келуінің шарты болып табылады.

Кернеулер резонансы күйінде тізбектің кедергісі өзінің ең аз мәніне ие болатындықтан тоқ өзінің ең үлкен мәнін қабылдайды.

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (X_{L-X_C})}^2} = \frac{U}{R} = \max, \tag{2.53}$$

ал тізбектің толық кернеуі активті элементтің кернеуіне тең болады, яғни

$$U = \sqrt{U_a^2 + (U_2 - U_C)}^2 = U_a, \tag{2.54}$$

өйткені кедергілер тең болғандықтан индуктивті және сыйымдылықты элементтердің кернеулері де өазра тең болады: $X_L I = X_C I, U_L = U_C,$ ендеше

$$U_p = U_L - U_C = 0.$$

Әдетте, тізбектің индуктивтік және сыйымдылық кедергілері активті кедергіден үлкен болатындықтан, индуктивтік және сыйымдылықты кернеулер активті кернеуден, яғни тізбекке берілген кернеуден үлкен болады: $X_L = X_C > R \Rightarrow U_L = U_C > U_a = U.$

Міне осы себепті бірізді тізбектің резонанстық күйі кернеулер резонансы деп аталған. Кернеулер резонансы күйінде реактивті элементтердің кернеулерінің өсіп кетуі оладың оқшауының тесілеуіне әкеліп соғуы мүмкін. Бірізді тізбектің резонанстық күйіндегі тоқ пен кернеулердің векторлық диаграммасы 2.5.3, в-суретте келтірілген.

Тізбектін резонанстық күйінде толық қуат активті қуатқа тең:

$S = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2} = P.$ өйткені, $Q = Q_L - Q_C = U_L I - U_C I = 0,$

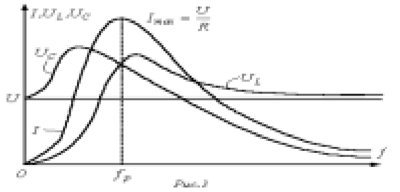
Яғни тізбектің резонанстық күйінде реактивті қуат нольге тең болады.

Тізбек кернеулер резонансы күйіне индуктивтік және сыйымдылақтық кедергілер өзара тең болғанда келетіндіктен, яғни

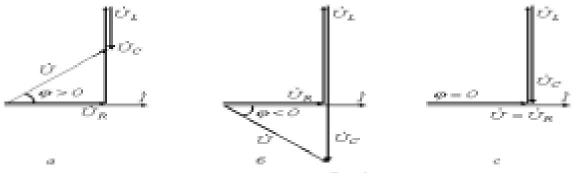
$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC}, \qquad (2.55)$$

Мұндағы *f*-тізбекке берілген кернеудің жиілігі.

Тізбек элементтеріндегі кернеулер мен тоқтың жиіліктен тәуелдігінің графигі 2.17-суретте келтірілген. Жиілік нөлге тең болғанда, яғни f=0: индуктивтік кедергі $X_L=2\pi fL=0$, сыйымдылықтық кедергі $X_c=1/2\pi fC=\infty$, сондықтан тоқ I=0; ал активтік кернеу $U_a=RI=0$, индуктивтік кернеу $U_L=X_LI=0$, сыйымдылықтық кернеу тізбекке берілген кернеуге тең болады, яғни U_C=U.



2.17 Сурет -. Тізбек элементтеріндегі кернеулер мен тоқтың жиіліктен тәуелдігінің графигі



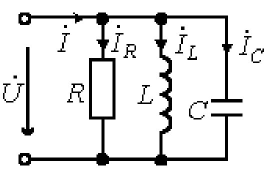
2.18 - Сурет Реактив элементтері тізбектей жалғанған айнымалы тоқ тізбегінің векторлық диагараммалары:а) резонансқа дейін $U_L>U_C$; б) резонансқа дейін $U_C>U_L$; в) резонанс кезінде $U=U_R$ $U_L=U_C$

Резонанс контуры келесі параметрлермен сипатталады

Беріктілік Q, $$Q=\frac{U_L}{U}=\frac{U_C}{U}=\frac{\omega_p}{R}=\frac{1}{\omega pCR} \qquad (2.56)$$

Сипаттамалық(толқындық кедергі), $\rho = QR$ (2.57)

немесе: $$\rho=\omega_p L=\frac{1}{\omega_p C}=\sqrt{\frac{L}{C}}\;. \qquad (2.58)$$



Тоқтар резонансы. Индуктивті және сыйымдылықты элементтері параллель жалғанған тізбекте кернеу мен тоқтың фазалас ($\psi_u=\psi_i, \varphi=\psi_u-\psi_i=0$) келу құбылсын тоқтар резонансы деп атайды.

2.19 Сурет -. Индуктивті және сыйымдылықты элементтері параллель жалғанған тізбек

Тоқтар резонансы күйінде тізбек идеал активті тізбек сияқты жұмыс істейтіндіктен, тізбектің (2.19 сурет) толық өткізгіштігі активті өткізгіштікке тең болады:

$$Y=\sqrt{G^2+B^2}=\sqrt{G^2+(B_L-B_c)^2}=G$$

Бұл орнек орынды болу үшін тізбектің реактивті өткізгіштігі нөлге тең болуы керек,яғни $B=B_L-B_C=0$

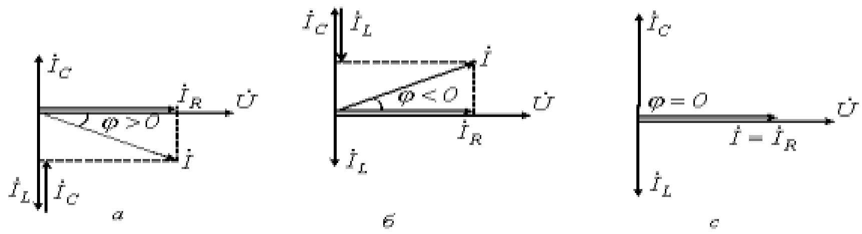
Бұдан тізбектің индуктивтік өткізгіштігінің оның сыйымдылық откізгіштігіне тең болуы, яғни $B_L - B_C$, тізбектің тоқтар резонансы күйіне келуіне шарты болып табылады деген қорытынды туындайды. Тоқтар резонансы күйінде тізбектің толық тоғы активті тармақтың тоғына тең болады және өзінің ең аз мәнін қабылдайды: $I = YU = \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2} = GU = I_a = \min,$ ал реактивті тоқ $I_p = I_L - I_C = B_L U - B_C U = 0$.

Бұл өрнек тізбектің тоқтар резонансы күйінде индуктивті тоқпен сыйымдылықтың тоқтың өз ара тең болатындығын көрсетеді: $I_L = I_C$.

Егер индуктивтік өткізгіштікпен сыйымдылықпен өткізгіштік өзара тең болып және активті өткізгіштіктен үлкен болса, онда реактивті элементтердің тоғы тізбектің толық тоғынан үлкен болады, яғни егер $B_L = B_C > G,$ онда $B_L U = B_C U > GU$ немесе $I_L = I_C > I_a = I.$

Мұның себебі, индуктивті және сыйымдылықты элементтердің арасындағы энергия ауысуының салдары. Егер бір ширек периодтың ішінде индуктивті элементтік магнит өрісіндегі энергия сыйымдылықты элементтегі электр өрісінің энергиясына түрленсе, екінші ширек периодта сыйымдылықты элементтің электр өрісіндегі энергия индуктивті элементтің магнит өрісінің энергиясына түрленеді. Реактивті элементтер мен қорек көзінің арасында энергия алмасу болмайды. Тізбектің резонанстық күйі жиілікке және тізбектің индуктивтілігі мен сыйымдылығынан тәуелді. Басқаша айтқанда, тізбекті резонанстық күйге жиілікті, индуктивтілікті немесе сыйымдылқты реттеу арқылы келтіруге болады.

Тоқтар резонансы күйінде тізбектің кернеуі мен тоқтардың векторлық диаграммасы 2.20.в-суретте келтірілген



Сурет 2.20. Реактив элементтер параллель жалганган тізбектің векторлық диаграммалары

а) резонансқа дейін $b_L > b_C$, яғни $I_L > I_C$;

б) резонансқа дейін $b_L < b_C$, яғни, $I_L < I_C$;

в) резонанс кезінде $b_L = b_C$ или $\dfrac{1}{\omega L} = \omega C$.

Тізбектің толық қуаты; $S = YU^2 = \sqrt{G^2 + (B_L - B_C)^2} \cdot U^2 = GU^2 = P$

активті қуаттқа тең де, ал реактивті қуаты нөлге тең болады:

$$Q = Q_L - Q_C = B_L U^{-2} - B_C U^2 = 0$$

өйткені индуктивтік қуат пен сыйымдылықтық қуат өзара тең, яғни $Q_L = Q_C$.

Индуктивті және сыйымдылықты тармақтардың активті өткізгіштіктерін ескермесе, онда индуктивтік және сыйымдылықтық өткізгіштіктердің теңдігінен

$$\frac{1}{2\pi fL} = 2\pi fC$$

резонанстық жиілік: $f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = f$.

Активті ток жиіліктен тәуелсіз де $I_a = \frac{U}{R}$,

индуктивтік ток жиілікке кері пропорционал: $I_L = \frac{U}{2\pi fL}$,

Тізбектің толық тогы: $I = \sqrt{I_a{}^2 + (I_L - I_C)^2}$.

Жиілік нөлге тең болса f= 0, яғни тізбекке тұрақты кернеу берсе, активті тоқ активті өткізгіштікке сәйкесті мән қабылдайды, индуктивтік өткізгіштік өте үлкен болғандықтан индуктивтік тоқ та өте үлкен мәнге ие болады, ал сыйымдылықты тоқ нолге тең болады.Сондықтан тізбектің толық тоғы өте үлкен шамаға жетеді,яғни: $I_a U / R /,\ I_{L\to}\infty,\ I_C = 0,\ I \to \infty$.

Тізбекке берілген кернеудің жиілігі индуктивті және сыйымдылықты элементтердің арасындағы энергия алмасу жиілігіне тең болса, яғни $f=f_p$, онда индуктивті ток пен сыйымдылықтық ток өзара тең болады, сондықтан тізбектің реактивті тоғы 0-ге тең. Ал толық тоқ активті тоққа тең болады:

$I_L = I_C$, $I_P = I_L + I_C = 0; I = I_a = U/R.$

Тізбекке өте үлкен жиілікті кернеу берсе, яғни $f \to \infty$, активті тоқ бұрынғы мәнін сақтайды, ал индуктивтік тоқ нөлг тең де, сыйымдылық тоқ өте үлкен мән қабылдайды. Сондықтан тізбектің толық тоғы өте үлкен мәнге ие болады, яғни $I_a = U/R,\ I_L = 0,\ I_C \to \infty,\ I \to \infty$.

Тоқтар резонансы құбылысы радиотехникада және электрмен жабдықтауда қуат коэффициентін көтеру үшін кеңінен қолданылады.

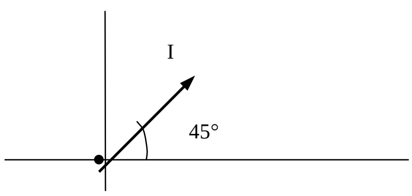
Бақылау сұрақтары:

1. Айнымалы тоқтың өзінің бағытын және мәнін өзгертетін ең қысқа уақыт аралығы қалай аталады ?
2. Айнымалы шаманың период ішіндегі ең үлкен мәні қалай аталады ?
3. Синусоидал токтың әректтік мәні қалай анықталады ?
4. Синусоидал шаманың орташа мәні қалай анықталады ?
5. Айнымалы шамаларды векторлар арқылы қалай сипаттайды
6. Айнымалы синусодалы уақыт функцияларын кешенді сандармен қалай өрнектейді
7. Активті қуат деп нені атайды?
8. Реактивті қуат деп нені атайды?
9. Толық қуат деп нені атайды?
10. Қуат коэффициентін неліктен көбейтуге тырысады?

11. Кернеу көзінің кернеуі берілген $u = 141\sin\left(\omega t - 20^0\right) B$ схемаға активті-индуктивті жүктеме жалғанғанда,тізбектегі токтың мәні $i = 5\sqrt{2}\sin\left(\omega t - 80^0\right) A$. Активті, реактивті және толық қуатты есептеңіз. Жауап: P=250 Вт; Q=433 вар; S=500 ВА.
12. Тізбектей қосылған резистор және индуктивті катушка қосылған тізбектегі, ток I=2 А. Тізбекке беріліп тұрған кернеу U=100 В, тұтынылған қуат P=120 Вт. Тізбектің элементтерінің кедергісін анықтаңыз. Жауап: R=30 Ом; X_L=40 Ом.
13. Айнымалы токтың толық кедергісі қалай анықталады ?
14. Тізбектей қосылған электр схемасының векторлық диаграммасын қалай тұрғызады ?
15. Кернеу және кедергі үшбұрыштарының орналасуы фазаның ығысу бұрышына қалай байланысты?
16. Параллель жалғанған конденсатор және резистордан тұратын тізбек, P=90 Вт қуатты тұтынып тұр. Тізбектің басындағы ток I=5 А, резисторы бар тармақтың тоғы I_1=4 А. Тізбектегі элементтердің кедергілерін анықтаңыз. Жауабы: R=10 Ом; X_C=7,5 Ом.
17. Айнымалы ток тізбегіндегі өткізгіштің түрлері
18. Айнымалы ток тізбегіндегі өткізгіштің комплексті түрде жазылуы
19. 1-ші пунктте берілген есепті кешенді түрде есептеңіз
20. Резонанс құбылысы қандай тізбектерде байқалады?
21. Кернеулер резонансы мен токтар резонансының айырмашылығы қандай ?
22. Резонанстық контурды қандай шамалар сипаттайды ?
23. Не себептен индуктивтілік және сыймдылық тізбектей жалғанған контурдағы резонансты кернеулер резонансы деп атайды ?
24. Кернеулер резонансының зиянды әсері қандай ?
25. Резонанс құбылысы қандай салаларда пайдаланылады ?

« АЙНЫМАЛЫ ТОҚТЫҢ СЫЗЫҚТЫҚ ЭЛЕКТР ТІЗБЕКТЕРІ»
тақырыбы бойынша тесттік сұрақтар

1. Берілген диаграммадағы токты сипаттайтын өрнекті көрсетіңіз:
A) $i = I_m \sin(\omega t - 225°)$;
B) $i = I_m \sin(\omega t - 45°)$;
C) $i = I_m \sin(\omega t + 225°)$;
D) $i = I_m \sin(\omega t + 45°)$;
E) $i = I_m \sin \omega t$.

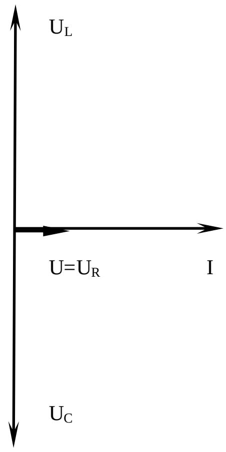


2. Берілген мысал үшін фазаның ығысу бұрышын есептеңіз:
$i = I_m \sin(314t + 45°)$, $u = U_m \sin(314t - 120°)$.
A) $\varphi = -75°$;
B) $\varphi = -165°$;
C) $\varphi = 165°$;
D) $\varphi = 75°$;

E) $\varphi = 0°$.

3. Айнымалы тоқ тізбегіне индуктивті катушка индуктивлігі L = 10 мГн және кедергісі R = 4 Ом резистор тізбектей қосылған, толық кернеу U = 100 В, f = 50 Гц. Тізбектегі тоқты табыңыз.
A) I = 20 A;
B) I = 0,05 A;
C) I = 25 A;
D) I = 100 A;
E) I = 5 A.

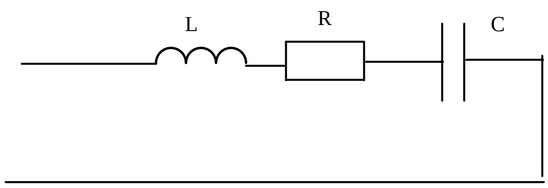
4. R,L,C тізбектей қосылған. Қай жағдайда тізбектің векторлық диаграммасы төмендегі суреттегідей тұрғызылады?
A) $X_L > X_C$;
B) $X_C > X_L$;
C) $X_C = 0$;
D) $\omega L = 1/\omega C$;
E) $X_L = 0$.



5. R, L, C тізбектей жалғаған айнымалы тоқ тізбегінде резонанс шарты орындала ма? L = 100 мГн, Xc = 31,4 Ом, f = 50Гц.
A) Иә;
B) Жоқ;
C) Бұл тізбекте резонанс мүмкін емес;
D) Иә егер R << X;
E) Иә егер R >>X.

6. Тізбекке беріліп тұрған кернеудің әсер етуші мәні U = 100 В, тізбектегі кедергі R = 10 Ом, тоқтың амплитудалық мәнін табыңыз.
A) 10 A;
B) 100 A;
C) 14,1 A;
D) 28,2 A;
E) 1000 A.

7. Берілген тізбек үшін X_L = 25 Ом, X_C = 21 Ом, R = 3 Ом, U = 100 В. Тоқтың амплитудалық мәнін табыңыз.
A) 28,2 A;
B) 42 A;
C) 5 A;
D) 141 A;
E) 2 A.



8. Айнымалы тоқ тізбегіне резистор және конденсатор тізбектей жалғанған: X_C = 10 Ом, R = 5 Ом. Тізбектің толық кедергісін комплекстік түрде жазып көрсетіңіз.
A) Z = 5 – j10;
B) Z = 10 – j5;
C) Z = j15;
D) Z = j5;
E) Z = 15.
9. Айнымалы тоқ тізбегінде кедергісі R = 6 Ом резистор және сиымдылығы C = 398 мкФ конденсатор тізбектей қосылған. Тізбекке толық беріліп тұрған кернеу U = 100 В, жиілік f = 50 Гц. Тізбектегі тоқты табыңыз.
A) I = 10 A;
B) I = 7,14 A;
C) I = 50 A;
D) I = 0,24 A;
E) I = 0,26 A.

10. Тоқтың көрсеткіштік түрдегі комплексін алгебралық түрде көрсетіңіз.
$I = 5e^{j45^\circ}$ А.
A) I = 5 + j5A;
B) I = 5 − j5A;
C) I = $5\sqrt{2}/2 - j5\sqrt{2}/2$;
D) I = $5\sqrt{2}/2 + j5\sqrt{2}/2$;
E) I = $5\sqrt{2}\sin(\omega t + 45^\circ)$.

11. Айнымалы тоқ тізбегіне кедергісі R = 8 Ом резистор, индуктивтілігі L=10мГн катушка және сыймдылығы 100 мкФ конденсатор тізбектей қосылған тізбектің толық кедергісін есептеңіз. Тоқтың жиілігі f = 50 Гц.
A) 30 Ом;
B) 27 Ом;
C) 43 Ом;
D) 24 Ом;
E) 40 Ом.

12. Резистор, катушка, конденсатор тізбектей қосылған айнымалы тоқ тізбегінің толық комплекстік кедергісін жазыңыз. R = 8 Ом , L=10мГн C=100 мкФ Айнымалы тоқ жиілігі f=50Гц.
A) Z = $10{,}14e^{-j36^\circ}$;
B) Z = j8 + 9,42;
C) Z = $10{,}38e^{j36^\circ}$;
D) Z = 8 + j9,42;
E) Z = 8 − j29.

13. Айнымалы тоқ тізбегіне индуктивтілігі L = 10 мГн катушка, актив кедергісі R = 10 Ом кернеуі U = 220 В, f = 50 Гц, тізбектегі тоқ I = 5А. Конденсатордың кедергісін есептеңіз.
A) 69,2 Ом;
B) 75 Ом;
C) 22 Ом;
D) 100 Ом;
E) 39 Ом мкФ.
14. Айнымалы тоқтың кернеуі және тоғының лездік мәндері берілген:
u = 280 sin ωt В, i = 14 sin(ωt – 45°),А. Тізбектің комплекстік кедергісін табыңыз.

A) Z = $20e^{-j45^\circ}$ Ом;

B) Z = $20e^{j0^\circ}$ Ом;

C) Z = $20e^{j45^\circ}$ Ом;

D) Z = $200e^{j45^\circ}$ Ом;

E) Z = $3920e^{j45^\circ}$ Ом.

15. Тізбектің комплексті кернеуі және тоғы берілген $\bar{U} = 50e^{j45^\circ}$В, $\bar{I} = 10e^{-j45^\circ}$А. Осы тізбектің активті және реактивті қуатын есептеңіз.
A) P = 500 Вт; Q = 0 вар;
B) P = 0 Вт; Q = 500 вар;
C) P = 0 Вт; Q = –500 вар;
D) P = 0 Вт; Q = 5 вар;
E) P = 5 Вт; Q = 0 вар.

16. Тоқтың комплекстік мәні бойынша оның лездік мәнін жазыңыз. $\bar{I} = 5e^{j45^\circ} A$
A) i = 5 sin(ωt + 45°);
B) i = $5\sqrt{2}$ sin(ωt − 45°);
C) i = $2{,}5\sqrt{2}$ + j$2{,}5\sqrt{2}$;
D) i = $5\sqrt{2}$ sin(ωt + 45°);
E) i = $5\sqrt{2}$ sin ωt.
17. Айнымалы тоқ тізбегінің комплекстік қуатын есептеңіз. Егер, тізбектің тоқ пен кернеуінің лездік мәндері берілген: i = 14 sin (ωt + 45°), А ; u = 280 sin(ωt − 90°), В.
A) $2000e^{j45^\circ}$ ВА;
B) $3920e^{j135^\circ}$ ВА;
C) $3920e^{-j135^\circ}$ ВА;
D) $2000e^{-j135^\circ}$ ВА;
E) $3920e^{-j135^\circ}$ ВА.

18.Толық комплекстік қуат берілген. Активті және реактивті қуаттар неге тең?
$S = 100e^{j45°}$ ВА.

A) P = 100 Вт, Q = 100 вар;

B) P = 142 Вт, Q = 142 вар;

C) P = $50\sqrt{2}$ Вт, Q = $50\sqrt{2}$ вар;

D) P = $\dfrac{100}{\sqrt{2/2}}$ Вт, Q = $\dfrac{100}{\sqrt{2/2}}$ вар;

E) P = 100 Вт, Q = 0.

19. Айнымалы тоқ пен кернеудің лездік мәндері берілген: i = 28 sin (ωt + 90°), A; u = 140 sin (ωt + 45°),B. Комплекстік өткізгіштігін есептеңіз

A) $0{,}2e^{j45°}$ См;

B) $0{,}2e^{j135°}$ См;

C) $5e^{j145°}$ См;

D) $2e^{j135°}$ См;

E) $0{,}2e^{-j45°}$ См.

20. Тізбектей қосылған схемадағы резонанс режиміндегі конденсатордағы кернеуді есептеңіз. Егер, U=100 В; R=10 Ом; X_L= 20 Ом.

A) 10 В;

B) 100 В;

C) 200 В;

D) 5 В;

E) 50 В.

21. Берілген векторлық диаграмма төменде көрсетілген қандай жауапқа сәйкес келеді?

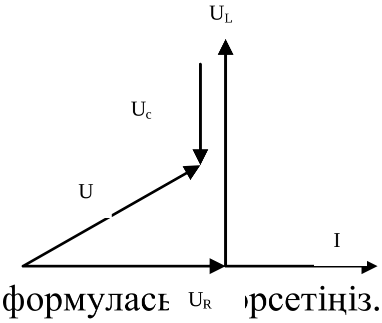
A) $X_C < X_L$;

B) $X_L = X_C$;

C) $X_L < X_C$;

D) $\omega_L = 1/\omega C$;

E) $B_L = B_C$.



22. Қуат коэффициентінің формуласын көрсетіңіз.

A) $\eta = \dfrac{P_1}{P_2}$;

B) sin φ = $\dfrac{Q}{S}$;

C) tg φ = $\dfrac{Q}{P}$;

D) cos φ = $\frac{P}{S}$;

E) sin φ = $\frac{I^2 X}{UI}$.

23. Тізбектің актив қуатын есептеңіз, егер $\bar{U} = 100$В. Ток $\bar{I} = 17{,}2e^{-j30}$,А
A) $\sqrt{3}$ 860 Вт
B) 886 Вт
C) $\sqrt{3}$ 1720 Вт
D) 2361 Вт
E) 2606 Вт

24. Тізбектің реактив қуатын есептеңіз, егер $\bar{U} = 100$В. Ток $\bar{I} = 17{,}2e^{-j30}$,А
A) 860 вар
B) -860 вар
C) 1720 вар
D) 2361 вар
E) 2606 вар

25. Тізбектің толық қуатын есептеңіз, егер $\bar{U} = 100$В. Ток $\bar{I} = 17{,}2e^{-j30}$,А
A) 1720 В·А
B) 860 В·А
C) 1475 В·А
D) 2361 В·А
E) 2606 В·А

26. Дұрыс емес жауапты көрсет.
A) вектор ұзындығы масштабпен сәйкес анықталады
B) векторлар өз өсіне қатысты сағат тіліне қарсы айналады
C) векторлар өз өсіне қатысты сағат тілімен бағыттас айналады
Д) жазықтықтағы бірнеше векторлар – векторлық диаграмма деп аталады
E) векторлық диаграмм әдетте t=0 уақыты үшін тұрғызылады

27. Мына формула нені сипаттайды? *C (du*$_c$*/dt)*
A) сыйымдылықтағы кернеу
B) индуктивтіктегі кернеу
C) резистордағы кернеу
D) индуктивтіліктегі тоқ
E) сыйымдылықтағы ток

28. Активті кедергідегі лездік қуат формуласы
A) $p = \frac{U_m I_m}{2} - \frac{U_m I_m}{2}\cos 2\omega t$

B) $p=\frac{U_m I_m}{2}-\frac{U_m I_m}{2}\cos\omega t$

C) $p=\frac{U_m I_m}{2}\cos 2\omega t$

D) $p=\frac{U_m I_m}{2}\sin 2\omega t$

E) $p=-\frac{U_m I_m}{2}\sin 2\omega t$

29. Индуктивті кедергідегі лездік қуат формуласы

A) $p=\frac{U_m I_m}{2}-\frac{U_m I_m}{2}\cos 2\omega t$

B) $p=\frac{U_m I_m}{2}-\frac{U_m I_m}{2}\cos\omega t$

C) $p=\frac{U_m I_m}{2}\cos 2\omega t$

D) $p=\frac{U_m I_m}{2}\sin 2\omega t$

E) $p=-\frac{U_m I_m}{2}\sin 2\omega t$

30. Идеалды катушкадағы магнит өрісінің энергиясы.

A) $W=Li^2/2$
B) $W=CU^2/2$
C) $W=UIT$
D) $W=I^2Rt$
E) $Q=I^2X_L$

31. Конденсаторда жинақталатын электр өрісінің энергисяы.

A) $W=Li^2/2$
B) $W=CU^2/2$
C) $W=UIT$
D) $W=I^2Rt$
E) $Q=I^2X_L$

32.Тоқтың лездік мәні i=14,1sin(ωt+π/6),А. Тоқтың амплитудасының комплекстік формасының көрсеткіштік және алгебралық түрде жазып көрсет.

A) $\bar{I}_m=14{,}1e^{j30}$ $\bar{I}_m=\sqrt{3}\,7{,}05+j7{,}05$
B) $\bar{I}_m=10e^{j30}$ $\bar{I}_m=12{,}26/\sqrt{3}+j7{,}07/\sqrt{3}$
C) $\bar{I}_m=14{,}1e^{j0}$ $\bar{I}_m=14{,}1-j14{,}1$
D) $\bar{I}_m=14{,}1e^{j30}$ $\bar{I}_m=10\sqrt{3}+j5$
E) $\bar{I}_m=10e^{j30}$ $\bar{I}_m=10=j10$

33. Кернеу мен тоқтың әсер етуші мәндерінің комплекстері берілген $\bar{U}$=(20+j40),B, $\bar{I}$=(5+j5),A. Әсер етуші мәндерін есепте.

A) U=44,7B,I=7,07A

B) U=63,3B,I=8,25A

C) U= 44,7B,I= 5,83A

D) U=60B,I=10A

E) U=800B,I=25A

34.Кернеу мен тоқтың әсер етуші мәндерінің комплекстері берілген. Әсер етуші мәндерін есепте. $\bar{U}$=100B $\bar{I}$=(16+j12)A

A) 100B,20A

B) 100B,28A

C) 141B,20A

Д) 141B,28A

E) 100B,12A

35. Айнымалы тоқ тізбегінде U=120B жиілік f=50Гц актив кедергісі R=4Ом и индуктивтілігі L=10 мГн катушка жалғанған. Қуат коэффициентін және толық қуатты есепте.

A) cosφ=0,8 S=600 B·A

B) cosφ=1 S=520 B·A

C) cosφ=0 S=300 B·A

D) cosφ=1/2 S=300 B·A

E) cosφ=0,5 S=520 B·A

36. Айнымалы тоқ тізбегінде U=120B жиілік f=50 Гц актив кедергісі R=4 Ом и индуктивтілігі L=10 мГн катушка жалғанған. Актив және реактив қуатты есепте.

A) P=2304 Вт Q=1578 вар

B) P=1578 Вт Q=2304 вар

C) P=520 Вт Q=300 вар

D) P=300 Вт Q=600 вар

E) P=300 Вт Q=0 вар

37. Кернеу мен тоқтың әсер етуші мәндерінің комплекстері берілген. Әсер етуші мәндерін есепте. $\bar{U}$=60+j80 B, $\bar{I}$=20A..

A) 100B, 20A

B) 100B, 28A

C) 141B, 28A

D) 141B, 28A

E) 141B, 20 A

38. Кернеу 220В и жиілігі f=50Гц тізбекке индуктивтігі L=70мГн катушка жалғанған. Токтың лездік мәнін жаз. Кернеудің бастапқы фазасы 60^0.
A) $i=14,1\sin(314t-30^0)$
B) $i=14,1\sin(314t-60^0)$
C) $i=14,1\sin(314t+60^0)$
D) $i=14,1\sin(314t+30^0)$
E) $i=14,1\sin(314t+30^0)$

39. Кернеу 220В и жиілігі f=50Гц тізбекке сыйымдылығы 100 мкФ конденсатор жалғанған. Токтың әсер етуші мәнін есепте.
A) I=7,4A
B) $i=7,4\sqrt{2}\ \sin(\omega t+\pi/2)$
C) $I=\sqrt{3}\,7,4A$
D) 2,2A
E) $2,2\sqrt{2}$ A

40. Кернеу 220В и жиілігі f=50Гц тізбекке сыйымдылығы 79,5мкФ конденсатор жалғанған. Токтың лездік мәнін есепте.
A) I=7,4A
B) $i=7,4\sqrt{2}\ \sin(\omega t+\pi/2)$
C) $I=\sqrt{3}\,7,4A$
D) 2,2A
E) $2,2\sqrt{2}$ A

41. Катушканың актив кедергісі R=8 Ом и индуктивтілігі L=25,5мГн сыйымдылығы C=1590мкФ конденсатормен тізбектей жалғанған. f=50Гц жиілікте , толық кернеу U=127B.Тізбектің қуат коэффициентін есептеңіз.
A) 0,6
B) 0,5
C) 1
D) 0
E) 1/5

42. Катушканың актив кедергісі R=8 Ом и индуктивтілігі L=25,5мГн сыйымдылығы C=1590мкФ конденсатормен тізбектей жалғанған. f=50Гц жиілікте , толық кернеу U=127B.Тізбектің толық қуатын есептеңіз.
A) 1612,9 В·А
B) 1776 В·А
C) 1900 В·А
D) 1332 В·А
E) 444 В·А

43. Катушканың актив кедергісі R=8Ом и индуктивтілігі L=25,5мГн сыйымдылығы C=1590мкФ конденсатормен тізбектей жалғанған. f=50Гц жиілікте , толық кернеу U=127В.Тізбектің реактив қуатын есептеңіз.
A) 967,74 вар
B) 1776,6 вар
C) 1900 вар
D) 1332 вар
E) 444 вар

44. Катушканың актив кедергісі R=8 Ом и индуктивтілігі L=25,5мГн сыйымдылығы C=1590мкФ конденсатормен тізбектей жалғанған. f=50Гц жиілікте , толық кернеу U=127В.Тізбектің актив қуатын есептеңіз.
A) 1290,32 Вт
B) 1776,23 Вт
C) 1900 Вт
D) 1332 Вт
E) 444 Вт

45. Катушканың индуктивтілік кедергісі 30 Ом сыйымдылығы C=290мкФ конденсатормен тізбектей жалғанған. f=50Гц жиілікте , толық кернеу U=220В. Берілген тізбекте қандай жиілікте резонанс пайда болады?
A) 190 Гц
B) 300 Гц
C) 60 Гц
D) 50 Гц
E) 1000 Гц

46. Индуктивті катушка, актив кедергісі R=10 Om резистор және конденсатор тізбектей жалғанған. Катушканың индуктивтілік кедергісі 30 Ом f=50Гц жиілікте , толық кернеу U=220В. Берілген тізбекте резонанс кезіндегі тоқты есептеңіз
A) 22A
B) 20A
C) 10A
D) 15A
E) 29A

47. Индуктивті катушка, актив кедергісі R=10 Om резистор және конденсатор тізбектей жалғанған. Катушканың индуктивтілік кедергісі 30 Ом f=50Гц жиілікте , толық кернеу U=220В. Берілген тізбекте резонанс кезіндегі актив қуатты есептеңіз
A) 4840 кВт
B) 8800 Вт
C) 9000 Вт

D) 1000 Вт
E) 500Вт

48. Индуктивті катушка, актив кедергісі R=10 Om резистор және конденсатор тізбектей жалғанған. Катушканың индуктивтілік кедергісі 30 Ом f=50Гц жиілікте , толық кернеу U=220В. Берілген тізбекте резонанс кезіндегі реактив қуатты есептеңіз
A) 4,84 вар
B) 8800 вар
C) 9000 вар
D) 1000 вар
E) 0

49. Индуктивті катушка, актив кедергісі R=10 Om резистор және конденсатор тізбектей жалғанған. Катушканың индуктивтілік кедергісі 30 Ом f=50Гц жиілікте , толық кернеу U=220В. Берілген тізбекте резонанс кезіндегі толық қуатты есептеңіз
A) 4840 кВт
B) 8800 Вт
C) 9000 Вт
D) 1000 Вт
E) 500Вт

Дәріс № 3

ТАҚЫРЫП: АЙНЫМАЛЫ ТОҚТЫҢ ҮШФАЗАЛЫ ЖҮЙЕСІ

Дәріс мақсаты: *Үш фазалық жүйемен танысу. Үш фазалы ЭҚКін алу. Үш фазалық жүйеге қабылдағыштарды нольдік өткізгіші бар жұлдызша - жұлдызша схемасымен жалғағандағы негізгі қатынастарды көрсету. Үш фазалық жүйеге қабылдағыштарды нольдік өткізгіші жоқ жұлдызша - жұлдызша схемасымен жалғағандағы негізгі қатынастарды көрсету.*

Маңызды сөздер: *нейтрал нүкте, генератор, жұлдызша, нейтрал өткізгіш , нейтралдың ығысу кернеуі, бейтарап өткізгіш, үшбұрыш,*

1. Үшфазалы жүйенің артықшылықтары

Біздің еліміздің және шетелдердің халық шаруашылығында үш фазалық айнымалы ток тізбектері кеңінен таралған, мұның себебі:

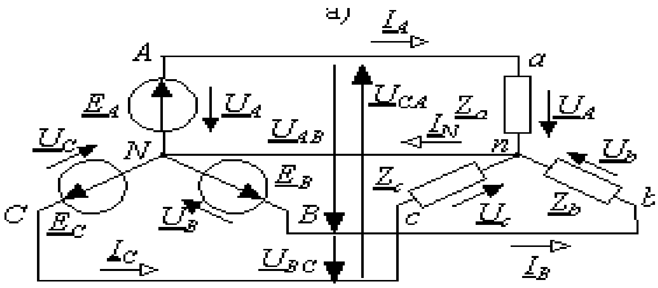
- Үш фазалық ток тізбегінде екі сан мәнді кернеу, ал жалпы алғанда, арнаулы қондырғыларды пайдалана отырып, керекті сан мәнді кернеу алуға болады.
- Үш фазалық айнымалы кернеу арқылы айнымалы ток машиналарының әрекет етуінің негізгі себепкері айнымалы магнит өрісінің туғызуға болады;
- Электр энергиясының үш фазалық айнымалы тоқ тізбегімен алысқа беруге және таратуға қолданылатын қондырғылар мен құрылғылар басқа көп фазалық тізбектерге қарағанда қарапайым және экономикалық тиімді.

•Электр станцияларында электр энергиясы үш фазалық генераторлардың көмегімен алынады, қазір тұрақты токтың өзі өзі де көбіне айнымалы токты түзету арқылы арналады, ал бір фазалық ток деген сол үш фазасы ғана. Бір фазалық генератор сирек қолданылған шалғай отардағы шопан ауылдарында, алыс сапарда жүрген геологтар экспедициясында т.б жерлерде.

•

2. Үш фазалы төртжелілі схема . (Үш фазалық нольдік өткізгіші бар жұлдызша / жұлдызша схемасы)

Жұлдызшамен жалғау *3.1* -ші суретте үш фазалы жүйеге жүктемені жұлдызша схемасымен жалғау көрсетілген. Мұнда Аа, Вв и Сс – желілік өткізгіштер. N және n –нейтрал (нольдік) өткізгіш



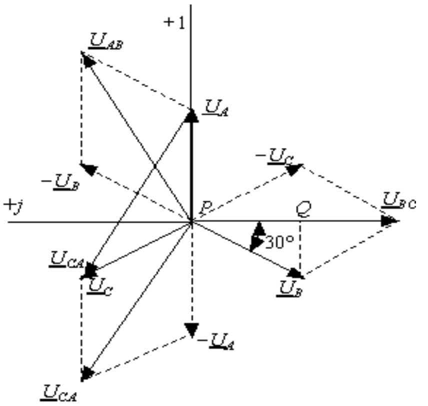
Сур3.1.- Жұлдызшаға жалғау схемасы(үш фазалы төрт желілі схема)

$\dot{I}_A, \dot{I}_B$ и $\dot{I}_C$ желілік тоқтары фазалық тоқтарға тен болады. Нейтрал өткізгіштегі тоқ . $\dot{I}_{N'N} = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$. Желілік кернеулер желілер (фазалар)арасында әсер етеді. Кирхгоф екінші заңы бойынша

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_{AN} - \dot{U}_{BN} \qquad (3.1.)$$

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_{BN} - \dot{U}_{CN}; \qquad (3.\ 2)$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_{CN} - \dot{U}_{AN} \qquad (3.\ 3)$$



3.2 ші суретте симметриялық кернеулер системасының векторлық диаграммасы көрсетілген

$$U_л = \sqrt{3}U_ф \qquad (3.4)$$

3.2 ші сурет - Симметриялық кернеулер системасының векторлық диаграммасы

Симметриялы жүйеде (яғни фазалардағы қабылдағыштардың кедергілерінің мәні және олардың фазалар ығысу бұрыштары өзара тең болғанда):

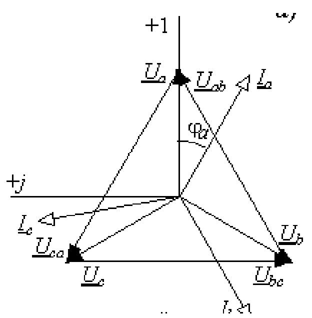
$\underline{Z}_a = \underline{Z}_b = \underline{Z}_c = \underline{Z}$, сондықтан ,

$\underline{I}_N = \underline{I}_a + \underline{I}_b + \underline{I}_c = \underline{U}_A/\underline{Z}_a + \underline{U}_B/\underline{Z}_b + \underline{U}_C/\underline{Z}_c = (\underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C)/\underline{Z} = 0$,

Себебі , симметриялылықтың шарты бойынша $\underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C = 0$

Симметриялы режимде қабылдағыштың фазаларына симметриялы кернеу берілетін болғандықтан және оның фазалық кедергілері өзара тең болғандықтан фазалық тоқтар да өзара тең болады. Сондықтан симметриялы режимде есептеулерді бір фаза үшін жүргізіге болады:

$$\underline{I}_a = \underline{I}_b = \underline{I}_c = \underline{U}_ф / \underline{Z}_ф$$

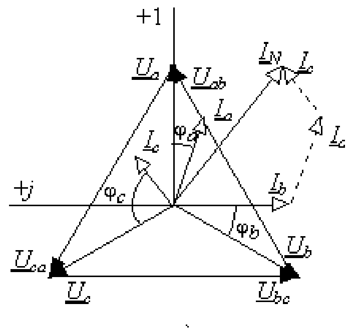


3.3- ші суретте симметриялық режимді сипаттайтын нөлдік желісі бар схеманың векторлық диаграммасы берілген.

Сонымен, егер симметриялық режим болса $\underline{I}_N=0$. Яғни симметриялық режим әрдайым сақталанатыны белгілі болса нолдік өткізгішті алып тастауға болады. Бірақ күнделікті тәжірибеде нөлдік өткізгішті айырмайды. Оның себебі келесі дәрісте дәлелденген.

3.3- ші сурет - симметриялық қабылдағыштар жалғанған нөлдік желісі бар схеманың векторлық диаграммасы

Бейсимметриялы режим. Егер үш фазалы қабылдағыштың ең болмағанда бір фазасында кедергі өзгерсе (мәні бойынша немесе фазаны ң ығысу бұрышы өзгеше болса) симметриялы режим бұзылады . Нейтрал өткізгіштегі тоқ нольге тең болмайды. Бұл жағдайда $\underline{I}_N = \underline{I}_a + \underline{I}_b + \underline{I}_c \neq 0$



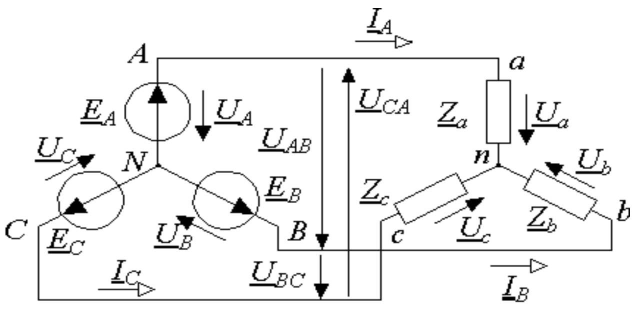
Қабылдағыштың фазаларындағы тоқтар: $I_a = \underline{U}_a/\underline{Z}_a$; $\underline{I}_b = \underline{U}_b/\underline{Z}_b$; $\underline{I}_c = \underline{U}_c/\underline{Z}_c$.

3.4- ші суретте бейсимметриялық режимді сипаттайтын нөлдік желісі бар схеманың векторлық диаграммасы берілген.

3.4- ші сурет - Бейсимметриялық қабылдағыштар жалғанған нөлдік желісі бар схеманың векторлық диаграммасы

3 Үш фазалы үшжелілі схема. (нолдік желісі жоқ жұлдызша-жұлдызша схемасы)

Үш фазалы жүйеге қабылдағыштарды жүлдызша схемасымен жалғағанда симметрялы режимде нолдік өткізгішті алып тастауға болады, бірақ міндетті түрде қабылдағыштардың симметриясы сақталу керек.



3.5 сурет . Үш фазалық жүйеге симметриялы емес қабылдағыштарды нольдік өткізгіші жоқ жұлдызша / жұлдызша схемасымен қосу схемасы

Егер нолдік өткізгіші жоқ схемада симметрия бұзылса, бейтарап нүктелердің арсында кернеу пайда болады, ол ***нейтралдың ығысу кернеуі*** деп аталады:

$$U_{nN} = \frac{Y_a U_A + Y_b U_B + Y_C U_C}{Y_a + Y_b + Y_c} \qquad (3.5)$$

Осы себепті фазалардың кернеулері теңдеулерінен көрініп тұрғандай желінің фазалық кернеулеріне тең болмайды:

$$\underline{U}_a = \underline{U}_A - \underline{U}_{nN}; \qquad \underline{U}_b = \underline{U}_B - \underline{U}_{nN}; \qquad \underline{U}_c = \underline{U}_C - \underline{U}_{nN}. \qquad (3.6)$$

Бұл теңдіктер егер нейтрал нүктелердің арасындағы кернеу пайда болса онда электр қабылдағыштың фазасына симметриялы кернеу берілмейтінін және фазалардағы кернеу өзара да әр түрлі болатындығын көрсетеді.

Ал, электр қабылдағыш номинал режимде жұмыс істемейді, мұндай жағдайды болдырмас үшін бейсимметриялы электр қабылдағыштары үш фазалы кернеу көзіне нейтрал өткізгішпен қосылады, әрине нейтрал өткізгіштің кедергісі оны елемейтіндей аз болуы керек.

Бұл жағдайда электр қабылдағыштың фазалық токтары Ом заңы бойынша төмендегі формулалармен анықталады.

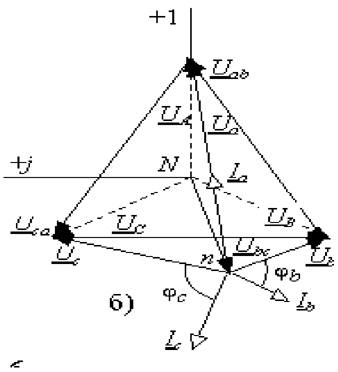
$$\begin{aligned} I_a &= \frac{U_a}{Z_a} = \frac{U_A - U_{nN}}{Z_a} = Y_a(U_a - U_{nN}). \\ I_b &= \frac{U_b}{Z_b} = \frac{U_b - U_{nN}}{Z_b} = Y_b(U_u - U_{nN}) \\ I_C &= \frac{U_C}{Z_C} = \frac{U_C - U_{nN}}{Z_C} = Y_C(U_C - U_{nN}) \end{aligned} \qquad (3.7)$$

бейтарап сымның тоғы

$$I_N = \frac{U_N}{Z_N} = Y_N U_N \qquad (3.8)$$

Жұлдызшамен қосқан кездегі үш фазалық тізбектердің бейсимметриялы режимдегі векторлық диаграммасы 3.6 – ші суретте көрсетілген.

Нейтрал өткізгіш нейтрал нүктелерінің потенциалдарын теңестіреді де желінің фазалық кернеулері электр қабылдағыштың фазалырына өзгеріссіз жеткізілді. Бұл қабылдағышқа оның номинал кернеуіне тең кернеу берілу мүмкіндігін туғызады.



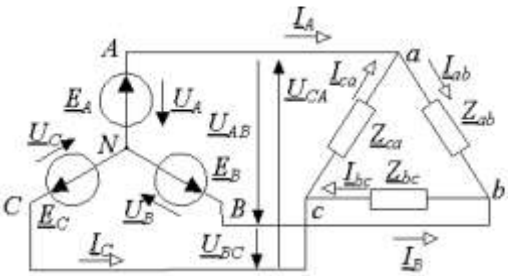
3.6 –ші сурет. Жұлдызшамен жалғанған нөлдік өткізгіші жоқ бейсимметриялы режимдегі үш фазалық тізбектің векторлық диаграммасы

Күнделікті тәжірибеде үш фазалы желілерді пайдаланғанда келесіні ескеру қажет. Әрбір үш фазалық электроқозғатқыш симметриялық қабылдағыш болып табылады. Сондықтан электроқозғалтқышты энергия көзіне қосқанда үш сымдық желі пайдаланылады. Ал жарықтандыру жүйесінде үш фазалық қабылдағышта симметриялы толығымен сақтау мүмкіндігі болмайтындықтан төртінші бейтарап сым керек.

4 Үш фазалы қабылдағышты үшбұрыш схемасымен жалғау.

Үш фазалы тізбектерде кернеу көзі мен қабылдағыш жалғану схемалары әр түрлі болуы мүмкін. Көбінесе кернеу көзі жұлдызшамен жалғанады, ал қабылдағыш үшбұрышпен жалғануы мүмкін (3.7 сурет) . Үшбұрыш схемасымен қосылған қабылдағыштардың фазасына кернеу көзінен желілік(фазааралық) кернеу түсіп тұрады.

$$\underline{U}_{ab} = \underline{U}_{AB}\ ;\quad \underline{U}_{bc} = \underline{U}_{BC}\ ;\quad \underline{U}_{ca} = \underline{U}_{CA} \qquad (3.9)$$



3.7 - сурет . Үш фазалық жүйеге қабылдағыштарды үшбұрыш схемасымен қосу

Фазалық тоқтарды Ом заңы бойынша табуға болады.

$$\underline{I}_{ab} = \underline{U}_{ab}/\underline{Z}_{ab}\ ;\ \underline{I}_{bc} = \underline{U}_{bc}/\underline{Z}_{bc}\ ;\ \underline{I}_{ca} = \underline{U}_{ca}/\underline{Z}_{ca}, \qquad (3.10)$$

Ал фазадағы тоқтар желілік тоқтарға тең емес. Кирхгофтың бірінші заңын пайдаланып қабылдағыштың a, b,c түйіндері үшін теңдеу құрастырамыз:

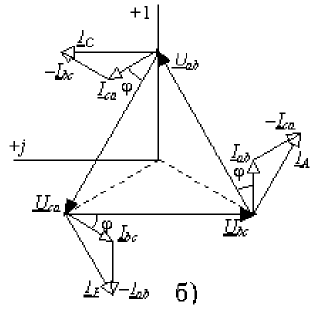
$$\left.\begin{array}{l} \underline{I}_A - \underline{I}_{ab} + \underline{I}_{ca} = 0; \\ \underline{I}_B - \underline{I}_{bc} + \underline{I}_{ab} = 0; \\ \underline{I}_C - \underline{I}_{ca} + \underline{I}_{bc} = 0 \end{array}\right\} \qquad (3.11)$$

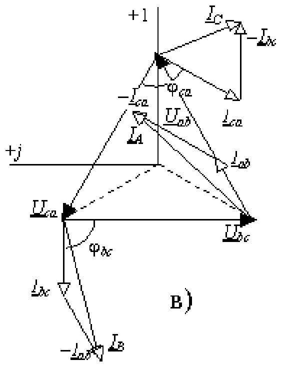
Одан желілік тоқтарды табамыз:

$$\left.\begin{array}{l} \underline{I}_A = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca}\ ; \\ \underline{I}_B = \underline{I}_{bc} - \underline{I}_{ab}\ ; \\ \underline{I}_C = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc}\ . \end{array}\right\} \qquad (3.12)$$

Сонымен үшбұрыш схемасы үшін желілік тоқтар фазалық тоқтардың айырмасына тең. (3.12) теңдеулерін пайдаланып векторлық диаграмма тұрғызамыз. Жоғарыда айтылғандай үш фазалы қабылдағыштар симметриялы немесе бейсимметриялы режимде жұмыс жасауы мүмкін.

Симметриялы қабылдағыш үшін векторлық диаграмма (3.8б) суретінде берілген. Ал (3.8в) суретінде бейсимметриялы қабылд ағыш үшбұрышпен жалғанған схеманың векторлық диаграммасы көрсетілген. *ab* фазасында таза резистивті, ал *bc* және *ca* фазаларында индуктивті және сыйымдылықтық жүктеме.





3.8 –ші сурет. Үшбұрышпен жалғанған а)симметриялы режимдегі үш фазалық тізбектің векторлық диаграммасы; б) бейсимметриялы режимдегі үш фазалық тізбектің векторлық диаграммасы

Фазалық тоқтардың векторларын сол фазаға түсетін кернеудің векторына қатыст ы тұрғызу көрнекті болады. Жүктеме сипатына байланысты вектор $\underline{I}_{ab}$ осы фазаның $\underline{U}_{ab}$ кернеуі векторымен бағыттас, $\underline{I}_{bc}$ векторы $\underline{U}_{bc}$ кернеуінен 90° қа қалыс қалады, $\underline{I}_{ca}$ векторы $\underline{U}_{ca}$ кернеуінен 90° алда болады. Фазалық тоқтар векторларын тұрғызғаннан кейін (3.12) теңдеулерін пайдаланып желілік тоқтар $\underline{I}_A$, $\underline{I}_B$, $\underline{I}_C$ векторларын тұрғызамыз.

3.8 - ші суреттегі диаграммалардан

$$I\text{ж} = \sqrt{3} I\text{ф} \tag{3.13}$$

Үшфазалы тізбектердің қуаты. Үш фазалы тізбек үш бір фазалы тізбектердің жиынтығы болғандықтан, оның қуатын фазалардың қуаттарының суммасы ретінде қарастыруға болады.

Жұлдызшамен жалғанған схема үшін жүйенің актив қуаты:

$$P = P_a + P_b + P_c = U_a I_a cos\varphi_a + U_b I_b cos\varphi_b + U_c I_c cos\varphi_c = \\ = I_a^2 R_a + I_b^2 R_b + I_c^2 R_c , \tag{3.14}$$

реактивті

$$Q = Q_a + Q_b + Q_c = U_a I_a sin\varphi_a + U_b I_b sin\varphi_b + U_c I_c sin\varphi_c = \\ = I_a^2 X_a + I_b^2 X_b + I_c^2 X_c . \tag{3.15}$$

Егер жүктеме үшбұрышпен жалғанса актив және реактив қуаттар

$$P = P_{ab} + P_{bc} + P_{ca} = U_{ab} I_{ab} cos\varphi_{ab} + U_{bc} I_{bc} cos\varphi_{bc} + U_{ca} I_{ca} cos\varphi_{ca} = \\ = I_{ab}^2 R_{ab} + I_{bc}^2 R_{bc} + I_{ca}^2 R_{ca} , \tag{3.16}$$

$$Q = Q_{ab} + Q_{bc} + Q_{ca} = U_{ab} I_{ab} sin\varphi_{ab} + U_{bc} I_{bc} sin\varphi_{bc} + U_{ca} I_{ca} sin\varphi_{ca} = \\ = I_{ab}^2 X_{ab} + I_{bc}^2 X_{bc} + I_{ca}^2 X_{ca} . \tag{3.17}$$

Қуаттар үшбұрышынан толық қуат

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \neq S_a + S_b + S_c \neq S_{ab} + S_{bc} + S_{ca} . \tag{3.18}$$

Келесіні есте сақтау керек: *үш фазалы тізбектің толық қуаты фазалардың толық қуатының суммасына тең емес*.
Симметриялы жүктеме үшін фазалар қуаты өзара тең сондықтан жұлдызша схемасы үшін толық қуат және оның құраушылары

$$
\begin{aligned}
P &= 3U_{\text{ф}} I_{\text{л}} \cos\varphi_{\text{н}} = 3I_{\text{л}}^2 R_{\text{н}} = \frac{3U_{\text{ф}}^2}{R_{\text{н}}} = \frac{U_{\text{л}}^2}{R_{\text{н}}} = 3\frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} I_{\text{л}} \cos\varphi_{\text{н}} = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos\varphi_{\text{н}} \\
Q &= 3U_{\text{ф}} I_{\text{л}} \sin\varphi_{\text{н}} = 3I_{\text{л}}^2 X_{\text{н}} = \frac{3U_{\text{ф}}^2}{X_{\text{н}}} = \frac{U_{\text{л}}^2}{X_{\text{н}}} = 3\frac{U_{\text{л}}}{\sqrt{3}} I_{\text{л}} \sin\varphi_{\text{н}} = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \sin\varphi_{\text{н}} \\
S &= 3U_{\text{ф}} I_{\text{л}} = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}}
\end{aligned} \tag{3.19}
$$

Үшбұрыш схемасы үшін:

$$
\begin{aligned}
P &= 3U_{\text{л}} I_{\text{ф}} \cos\varphi_{\text{н}} = 3I_{\text{ф}}^2 R_{\text{н}} = I_{\text{л}}^2 R_{\text{н}} = 3U_{\text{л}} \frac{I_{\text{л}}}{\sqrt{3}} \cos\varphi_{\text{н}} = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos\varphi_{\text{н}} \\
Q &= 3U_{\text{л}} I_{\text{ф}} \sin\varphi_{\text{н}} = 3I_{\text{ф}}^2 X_{\text{н}} = I_{\text{л}}^2 X_{\text{н}} = 3U_{\text{л}} \frac{I_{\text{л}}}{\sqrt{3}} \sin\varphi_{\text{н}} = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \sin\varphi_{\text{н}} \\
S &= 3U_{\text{л}} I_{\text{ф}} = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}}
\end{aligned} \tag{3.20}
$$

(3.19) и (3.20) теңдеулерінен толық қуат және оның құраушыларын симметриялы режимде желілік тоқтар және кернеулер арқылы схема түріне қарамастан анықтауға болады

Бақылау сұрақтар:

1. Үш фазалық жүйенің артықшылықтары қандай?
2. Үш фазалық тізбектер деп қандай тізбекті айтамыз?
3. Үш фазалық тізбектер қай жерлерде қолданылады?
4. Тұтынушыларды қандай схемамен қосуға болады?
5. Тұтынушыларды жұлдызшамен қосқан кездегі фазалық ток қалай анықталады?
6. Тұтынушыларды жұлдызшамен қосқан кездегі фазалық кернеу қалай анықталады?
7. Тұтынушыларды жұлдызшамен қосқан кездегі сызықтық ток қалай анықталады?
8. Тұтынушыларды жұлдызшамен қосқан кездегі сызықтық кернеу қалай анықталады?
9. Симметриялы режимнің шарттары қандай
10. Бейсимметриялы режим қандай жағдайда пайда болады?
11. Бейтарап желіні қандай жағдайда қолданбауға болады ?

12. Үш фазалық симметриялы тізбекте бейтарап сым болмағанда бір фазасында қысқа тұйықтау немесе фаза айырылса қабылдағыштағы кернеулер қалай өзгереді ?
13. Нейтралдың ығысу кернеуі дегеніміз не ?
14. Бейсимметриялы режим үшін жұлдызшамен жалғанған қабылдағыштың кернеулер және тоқтар диаграммасын қалай тұрғызады?
15. Үшбұрыш схемасында кернеулер мен тоқтар арасындағы қатынастарды көрсетіңіз ?
16. Үшбұрыш схемасында кернеулер мен тоқтардың векторлық диаграммасын тұрғызыңыз
17. Үш фазалы жүйенің актив қуаты неге тең ?
18. Үш фазалы жүйенің реактив қуаты неге тең ?
19. Үш фазалы жүйенің толық қуаты неге тең ?
20. Толық қуат және оның құраушыларын схема түріне қарамастан қалай анықтауға болады?

«АЙНЫМАЛЫ ТОҚТЫҢ ҮШФАЗАЛЫ ЖҮЙЕСІ» тақырыбы бойынша тесттік сұрақтар

1. Жұлдызша схемасымен қосылған симметриялы үш фазалы системаның фазалық кернеуі 127 В. Желілік кернеу неге тең?
A) 127 В;
B) 220 В;
C) 380 В;
D) 254 В;
E) 660 В.

2. Нейтрал өткізгіштегі тоқ неге тең?
A) $I_n \neq 0$;
B) $\bar{I}_n = \bar{I}_a + \bar{I}_b + \bar{I}_c$;
C) $I_n = \sqrt{3}\, I_ф$;
D) $I_n = \sqrt{2}\, I_л$;
E) $I_n = \sqrt{I_a + I_b + I_c}$.

3. Үш фазалы тізбектің симметриялы режимінде активті қуатын есептеңіз. Егер, фазалық кернеу 220В, фазалық тоқ 5 А, cos φ = 0,8.
A) 880 Вт;
B) 1100 Вт;
C) 2640 Вт;
D) 1760 Вт;
E) $\sqrt{3}\,880$ Вт.

4. Симметриялы үш фазалы қабылдағыш үш фазалы генераторға қосылған. Фазаның толық кедергісі 10 Ом, фазалық тоқ 10 А, қуат коэффициенті 0,8. Қабылдағыштың тұтынатын активі қуатын есептеңіз.
A) 80 Вт;
B) 100 Вт;
C) 800 Вт;
D) 2400 Вт;
E) $\sqrt{3}$ 80 Вт.

5. Үш фазалы симетриялы қабылдағыш үшбұрыш схемасымен жалғанған, әр фазаға тізбектей жалғанған резистор актив кедергісі R = 12 Ом, конленсатордың сыйымдылығы C = 199 мкФ. Қабылдағышқа беріліп тұрған линиялық кернеу 220, желігі f = 50 Гц.
A) $I_A + I_B + I_C = 19$ A;
B) $I_A + I_B + I_C = 11$ A;
C) $I_A = 19$ A, $I_B = I_C = 19$ A;
D) $I_A = I_B = I_C = 18$ A;
E) $I_A = I_B = I_C = 6{,}35$ A.

6. Үш фазалы төрт проводты тізбекте фазалардағы кедергі, : $Z_a = 10e^{j90^\circ}$, ,

$Z_c = 10e^{j90^\circ}$. Тізбектің линиялық кернеуі $U_л$ = 380 В. Нейтрал проводтағы тоқты есептеңіз.
A) $I_N = 22 + j44$, A;
B) $I_N = 38 - j22$, A;
C) $I_N = 0$, A;
D) $I_N = 30e^{j180^\circ}$,A;
E) $I_N = -j22$, A.

7. Үш фазалы симетриялы тізбекте қандай жағдай байқалады:
A) фазалардың актив кедергілері өзара тең;
B) фазалардың реактив кедергілері өзара теЎ;
C) фазалардың активті және реактивті қуаттар бір-біріне тең;
D) фазалардың активті қуаттары бір-біріне тең;
E) фазалардағы тоқтар өзара тең.

8. Үшбұрыш схемасы үшін линиялық және өзаралық тоқтар арасындағы байланысты көрсететін формуланы көрсетіңіз.
A) $I_л = \sqrt{3} I_ф$;
B) $I_л = \frac{I_ф}{\sqrt{3}}$;
C) $I_л = I_ф$;
D) $I_л = \sqrt{2} I_ф$;

E) $I_ф = \dfrac{I_л}{\sqrt{2}}$.

9. Үш фазалы тізбектегі толық қуатты есептейтін формуланы көрсетіңіз.
A) $P = 3U_ф I_ф \cos\varphi$;
B) $Q = 3U_ф I_ф \sin\varphi$;
C) $S = \sqrt{3} U_л I_л$;
D) $P = \sqrt{3} U_л I_л \cos\varphi$;
E) $Q = \sqrt{3} U_л I_л \sin\varphi$.

10. Үш фазалы төрт проводты тізбекте симетриялы режимде, нейтрал сым үзілсе, линиялық тоқтар өзгере ме?
A) өзгереді;
B) өзгермейді;
C) активті жүктеме болса-өзгереді, индуктивті жүктеме болса-өзгермейді;
D) индуктивті жүктеме болса-өзгермейді, актив жүктеме болса- өзгереді;
E) сыйымдылықты жүктеме болса ғана өзгереді.

11. Үш фазалы симетриялы қабылдағыш 800 Вт актив қуат тұтынғандағы қуат коэфицентін есептеңіз. Егер, қуат коэфиценті $\cos\varphi = 1$ болғанда, қабылдағыш 1000 Вт актив қуат тұтынатын болса.
A) 1,2;
B) 1;
C) 0,8;
D) 0,6;
E) 0,75.

12. Үш фазалы қабылдағыштың толық қуаты S = 1000 ВтА, реактив қуаты Q = 860 вар. Қуат коэффициентін есептеңіз.
A) 0,5;
B) 0,7;
C) 0,8;
D) 0,9;
E) 0,6.

13. Үш фазалы тізбектің жұлдызша схемасы үшін фазалық және линиялық кернеулер арасындағы байланысты көрсететін формуланы көрсетіңіз.
A) $U_л=U_ф$;
B) $U_л=\sqrt{3} U_ф$;
C) $U_ф=\sqrt{3} U_л$;
D) $U_л=\sqrt{2} U_ф$;

E) $U_ф = \frac{U_л}{\sqrt{2}}$.

14. Үш фазалы торт проводты тізбектің А және В фазаларына әрқайсысына 25 лампа қосылған, С фазасына 15 лампа қосылған. Лампалардың номинал қуаты 60 Вт, номинал кернеу 127В. Желілік(линиялық) тоқтарды есепте A)Ia=Ib=11,8 A Ic=7,1 A

B) Ia=Ib=5,9 A Ic=7,1 A

C) Ia=11,8 A Ib=5,9 A Ic=7,1 A

D) Ia=Ib=√3·11,8 A Ic=√3·7,1 A

E) Ia=Ib=11,8 /√3A Ic=7,1/√3 A

15. Үш фазалы двигательге келіп тұрған линиялық проводтардағы тоқтарды есепте. Двигательдің қуаты 12,2 Вт, қуат коэффициенті 0,87. Тізбектің линиялық кернеуі 220В

A) Ia=Ib=Ic=37A

B) Ia=Ib=Ic=37/√3 A

C) Ia=Ib=Ic=√3·37 A

D) Ia=37A Ib= 37/√3 A Ic=37/√3 A

E) Ia==√3·37 Ib==37A Ic=37 A

16. Жұлдызшамен жалғанған үш фазалы двигательдің орамдарының толық кедергісін есептеңіз. Двигательдің қуаты 12,2 Вт, қуат коэффициенті 0,87. Тізбектің линиялық кернеуі 220В

A) 3,43 Ом

B) 3 Ом

C) 1,69 Ом

D) 5,9 Ом

E) 5,1 Ом

17. Жұлдызшамен жалғанған үш фазалы двигательдің орамдарының актив кедергісін есептеңіз. Двигательдің қуаты 12,2 Вт, қуат коэффициенті 0,87. Тізбектің линиялық кернеуі 220В

A) 3,43 Ом

B) 3 Ом

C) 1,69 Ом

D) 5,9 Ом

E) 5,1 Ом

18. Жұлдызша схемасында желілік (линиялық) және фазалық тоқтардың арасындағы қатынасты көрсететін формуланы көрсет

A) Іж=Іф

B) Іж=√3 Іф

C) Іф =√3 Іж

D) Іф= Іж/√2

E) Iж= √2Iф

19. Үш фазалы қабылдағыштың әр фазасының тоқ пен керрнеуінің арасындағы фазаның ығысу бұрышын табыңыз, егер $Z_a=R$; $Z_b=X_L$; $Z_c=X_c$
A)$\varphi_a=\varphi_b=\varphi_c= 0^\circ$
B) $\varphi_a=\varphi_b=\varphi_c= 90^\circ$
C) $\varphi_a=\varphi_b=\varphi_c= -90^\circ$
D) $\varphi_a=0^\circ$ $\varphi_b= 90^\circ$ $\varphi_c= -90^\circ$
E) $\varphi_a=0^\circ$ $\varphi_b= -90^\circ$ $\varphi_c= 90^\circ$
20. Төменедегі қандай жауап симметриялық емес режимге сәйкес болады?
A) $R_a=R_b= R_c$
B) $X_{La} =X_{Lb} =X_{Lc}$
C) $X_{Ca} =X_{Cb} =X_{Cc}$
D) $R_a=R_b= X_{Cc}$
E) $Z_a =Z_b =Z_c$

21.Төменедегі қандай жауап симметриялық режимге сәйкес болады?
A) $R_a=X_b= R_c$
B) $X_{La} =R_b =R_c$
C) $R_a =R_b =X_{Cc}$
D) $Z_a=Z_b=Z_c$
E) $X_{ca} =X_{cb} =R_c$

22. Нейтралдық проводтағы тоқтың формуласы
A) $I_n \neq 0$;
B) $\bar{I}_n = \bar{I}_a + \bar{I}_b + \bar{I}_c$;
C) $I_n = \sqrt{3}\, I_ф$;
D) $I_n = \sqrt{2}\, I_л$;
E) $I_n = \sqrt{I_a + I_b + I_c}$.

23. Фазалық кернеу 220 В, фазалық тоқ 5 А, cos φ = 0,8. Үш фазалы симетриялы тізбектің толық қуатын табыңыз.
A) 5686,5 ВА;
B) 1100 Вт;
C) 2640 Вт;
D) 1760 Вт;
E) $\sqrt{3}\,880$ Вт.

24. Үш фазалы симетриялы тізбектің фазалық кернеу 220 В, фазалық тоқ 5 А. Актив қуаты 2640 Вт, қуат коэффициент табыңыз?
A) 0,8;
B) 1;
C) 0 ;

D) 0,5;
E) $\sqrt{3}$

25. Үш фазалы генераторға симметриялы қуат коэффициенті 0,8 жүктеме жалғанған. Толық қуаты 10 Ом, фазалық тоқ 10 А. Қабылдағыштың реактив қуатын есептеңіз.
A) 1800 вар;
B) 100 вар;
C) 800 вар;
D) 2400 вар;
E) $\sqrt{3}$ 80 вар.

26.Үш фазалы симметриялы тізбектің актив қуатының формуласы.
A) $P = \sqrt{3} U_ф I_ф \cos \varphi$;
B) $Q = 3U_ф I_ф \sin \varphi$;
C) $S = \sqrt{3} U_л I_л$;
D) $P = \sqrt{3} U_л I_л \cos \varphi$;
E) $Q = \sqrt{3} U_л I_л \sin \varphi$.

27.Үш фазалы симметриялы тізбектің реактив қуатының формуласы.
A) $P = 3U_ф I_ф \cos \varphi$;
B) $Q = \sqrt{3} U_ф I_ф \sin \varphi$;
C) $S = \sqrt{3} U_л I_л$;
D) $P = \sqrt{3} U_л I_л \cos \varphi$;
E) $Q = \sqrt{3} U_л I_л \sin \varphi$.

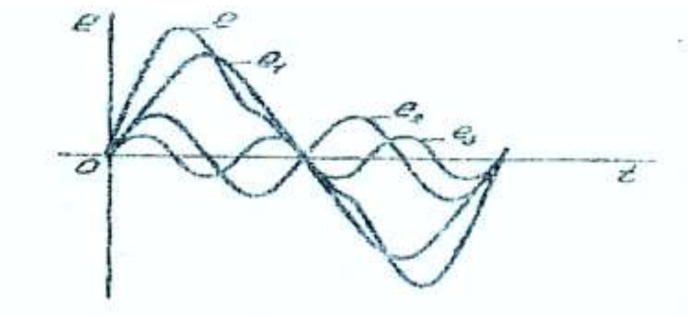
Дәріс № 4

ТАҚЫРЫП: БЕЙСИНУСОИДАЛЫ ЭЛЕКТР ТІЗБЕКТЕРІ

Дәріс мақсаты: *Бейсуноидалы периодты тоқтармен таныстыру, оларды сипаттайтын параметрлермен таныстыру*.

Маңызды сөздер: *гармоника, Фурье қатары*

1. Бейсинусоидалы тоқтар туралы негізгі түсініктер Біз тұрақты және синусоидал тоқтарды қарастырдық, бірақ шын мәнісінде идеал тұрақты және синусоидал тоқ болуы мүмкіншілігі өте аз. Абсолют тұрақты н/е абсолют синусоидал тоқтарды алу өте қиын: генераторлардың ЭҚК-тері дәл тұрақты н/е синусодал болмайды, солықтамалы болып келеді. Мұның себебі генераторлардың конструкциялық кемшіліктерімен қатар тізбектерде бейсызықты элементтердің болатындығынан. Сонымен қатар,периодты бейсинусоидал тоқтар кейбір электрондық құрылғылардың жұмысы үшін керек болатындықтан оларды әдейі тудырады. Мысалы, белгілі бір пішінді бейсинусоидал тоқтарды электрондық генераторда (мультивибраторда) алады.



4.1 Сурет – Периодты бейсинусоидалы шаманы синусоидалы шамаларга жіктеу

Математикадан периодты функцияларды,егер олар Дирихле шарттарын қанағаттандыратын болса, Фурье қатарына жіктеуге болатыны белгілі. Ал электр тізбегіндегі шамалар әрқашанда Дирихле шарттарын қанағаттандырады(0,2π) аралығында олардың мөлшерлі үзіктері, мөлшерлі макси-мум және минимумдері болатындығы анықталған.

Егер ЭҚК бейсинусоидал,бірақ периодты өзгеріп отырса,оны былайша жіктеуге болады:

$e=E_0+E_{1m}\sin(\omega t+\varphi_1)+E_{2m}\sin(2\omega t+\varphi_2)+.+E_{km}\sin(k\omega t+\varphi_k)=E_0+e_1+e_2+\ldots e_k,$ (4.1)

мұнда:

E_o- тұрақты құраушы;

$e_1=E_{1m}\sin(\omega t+\varphi_1)$ - периодты 2π/ω бірінші(негізгі)гармоникалық құраушы;

$e_2=E_{2m}\sin(2\omega t+\varphi_2)$- периодты π/ω екінші гармоникалық құраушы;

$e_k=E_{km}\sin(k\omega t+\varphi_k)$- периодты 2π/(kω)-шы гармоникалық құраушы;

$E_{1m}, E_{2m},\ldots,E_{km}$ - гармоникалық құраушылардың амплитудалары;

$\varphi_1, \varphi_2,\ldots, \varphi_к$ - гармоникалық құраушылардың бастапқы фазалары.

(4.1) теңдігі периодты бейсинусоидал шаманы қабаттасу принципіне сүйене отырып тұрақты және бірнеше синусоидал құраушылардан тұрады деп есептеуге болатынын көрсетеді(4.1-сурет).

Мұндағы синусоидал құраушылардың жиіліктері бірінші синусоидал құраушының жиілігінен к=2,3 ... есе артық.Сондықтан оларды жоғары жиілікті құраушылар н/е гармоникалар деп атайды. Белгілі өрнек бойынша

$$E_{km}\sin(k\omega t+\varphi_k)=E_{km}\sin k\omega t\cos\varphi_k+E_{km}\cos k\omega t\sin\varphi_k=E'_{km}\sin k\omega t+E''_{km}\cos k\omega t \quad (4.2)$$

мұндағы $E'_{km}=E_{km}\cos\varphi_k$,$E''_{km}=E_{km}\sin\varphi_k$ болғандықтан (4.1) теңдігін төмендегіше жазуға болады:

$$e=E_0+E'_1\sin\omega t+E'_2\sin 2\omega t+\ldots+E'_k\sin k\omega t+E''_1\cos\omega t+E''_2\cos 2\omega t+\ldots+E''_2\cos k\omega t \quad (4.3)$$

Мұндағы коэффициенттер (4.4) және (4.5) өрнектерімен анықталады:

$$E_0=\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} e\,dt, \quad (4.4)$$

$$E'_1=\frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} e\sin\omega t\,dt, \qquad E''_1=\frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} e\cos\omega t\,dt$$

$$E'_2=\frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} e\sin 2\omega t\,dt, \qquad E''_2=\frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} e\cos 2\omega t\,dt$$

……………………………………………………

$$E'_k = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} e\sin k\omega t dt, \qquad E''_1 = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} e\cos k\omega t dt \qquad (4.5)$$

Әрбір гармоникалық синустық және косинустық екі құраушысы бар. Сондықтан қарастырып отырған гармониканың амплитудасы: $E_{km}=\sqrt{E2k+Ek}^{\,2}$, ал бастапқы фазасы: $\varphi_k=arc\ tg(E''_k/E_k')$.Осылайша периодты бейсинусоидал кернеу мен токты да Фурье қатарынажіктеп жазуға болады.

2. Периодты бейсинусоидал шаманың құраушыларын графикалық әдіспен табу. Периодты бейсинусоидал ЭҚК-тің,кернеудің және тоқтың тұрақты және синусоидал құраушыларын жоғарыдағы өрнектердің көмегімен аналитикалық жолмен немесе графикалық әдіспен табуға болады.

Графикалық әдіс Фурье қатарындағы анықталған интегралды мөлшерлі қосылғыштардың қосындысымен алмастыруға негізделген. Ол үшін *e(t)* функциясының периоды ***n*** тең бөліктерге бөлінеді де (4.2-сурет), анықталған интегралдар (4.1.5 теңдіктері) қосындылармен алмастырылады.

Фурье қатарының тұрақты құраушысы

$$E_0=\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} edt \approx \frac{1}{2\pi}\sum_{t=1}^{n} et\cdot\Delta t=\frac{1}{2\pi}\sum_{t=1}^{n} et\cdot 2\frac{\pi}{n}=\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n} et, \qquad (4.6)$$

мұндағы e_t-қарастырып отырған аралықтың ортасындағы функцияның мәні.

Синустық құраушының амплитудасы

$$E'_k=\frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} e\sin k\omega t dt \approx 2\cdot\frac{1}{2\pi}\sum_{t=1}^{n} et\cdot\sin k\omega t\cdot\frac{2\pi}{n}=\frac{2}{n}\sum_{t=1}^{n} et\cdot\sin k\omega t, \qquad (4.7)$$

ал косинустық құраушының амплитудасы

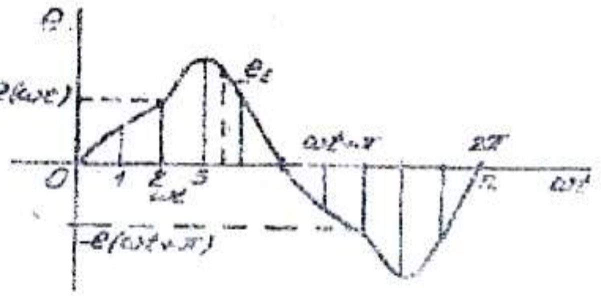
$$E''_k=\frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} e\cos k\ \omega t dt \approx \frac{2}{n}\sum_{t=1}^{n} et\cdot\cos k\omega t \qquad (4.8)$$

Әдетте бейсинусоидал шаманы Фурье қатарына жіктегенде екі-үш құраушысын ғана қарастырады, себебі жоғары гармоникалардың амплитудалары өте кішкентай болады. Егер бейсинусоидал шама симметриялы болса, онда тіпті кейбір құраушылары болмайды да.

Егер бейсинусоидал шама

$$e(\omega t)=-e(\omega t+\pi) \qquad (4.9)$$

шартын қанағаттандырса,онда ол абсцисса осі бойынша симметриялы болады(4.2-сурет).



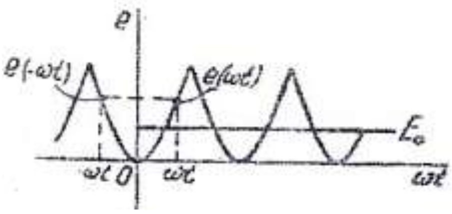
Сурет 4.2 – Бейсинусоидалы шаманы гармоникаларын график аркылы аныктау

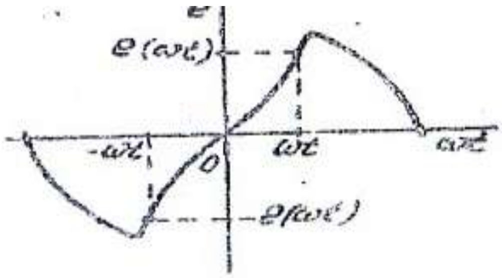
Мұндай шамаларды тақ шамалар деп атайтыны белгілі. Егер графикті абсцисса осі бойынша π бұрышына ығыстырса, оның ординатасы теріс ординатасына сәйкес келеді және олар модулі бойынша өзара тең болады. Сондықтан да абсцисса осі бойынша симметриялы бейсинусоидал шаманың жіктеуінде тұрақты құраушы болмайды, яғни $E_0=0$. Функция тақ болғандықтан (4.1.5) теңдіктерінде $e\cos k\omega t$ көбейтіндісі тақ болады да, ал
$e^* \sin k\omega t$ жұп болады.

Сондықтан,
$$E''_k=\frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} e\cdot\cos k\omega t dt=0 \qquad (4.10)$$

болады да, Фурье қатарына жіктеуде тек қана тақ синустық гармоникалар қалады:

$$e=E'_{1m}\sin(\omega t+\varphi_1)+E'_{3m}\sin(3\omega t+\varphi_3)+... \qquad (4.11)$$





Сурет (4.3)– *Ордината ос бойынша симметриялы шаманын графиг*
Сурет (4.4)– *Координата басы бойынша симметриялы шаманын графиг*

Егер периодты бейсинусоидал шама $e(\omega t)=e(-\omega t)$ (4.12)
шартын қанағаттандырса, онда оның ордината осі бойынша симметриялы (4.3-сурет) және жұп шама болғаны. Функция жұп болғандықтан (4.5)теңдіктеріндегі $e\sin k\omega t$ көбейтіндісі тақ болады да, ал $e^*\cos k\omega t$ көбейтіндісі жұп болады.Сондықтан

$$E'_k=\frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} e\cdot\sin k\omega t dt=0 \qquad (4.13)$$

болады да,Фурье қатарына жіктеуде тұрақты құраушы мен косинустық гармоникалар қалады:

$$e=E_0+E''_{1m}\cos\omega t+E''_{2m}\cos 2\omega t+... \qquad (4.14)$$

Егер периодты бейсинусоидал шама

$$e(\omega t)=-e(-\omega t) \qquad (4.15)$$

шарттың қанағаттандырса,онда ол функцияның графигі координаттар басы арқылы симметриялы болады (4.1.4-сурет).

Бұл функция тақ және таңбалары қарама-қарсы абсцисса нуктелерінде модульдері тең мәндерге ие болатындықтан Фурье қатарына жіктеуде тұрақты құраушы және косинустық гармоникалар нольге тең болады.Сондықтан мұндай функцияның жіктеуінде тек қана синустық гармоникалар қалады:

$$e=E'_{1m}\sin\omega t+E'_{2m}\sin 2\omega t+E'_{3m}\sin 3\omega t+... \qquad (4.16)$$

Периодты бейсинусоидал шаманың құраушыларын графикалық әдіспен анықтаған кезде оның дәлдігі периодты қанша бөлікке бөліп қарастыруға байланысты: бөлік саны артқан сайын есептің дәлдігі де арта түседі.

3.Периодты бейсинусоидал шамалардың әрекеттік және орташа мәндері. Тізбектегі вольтметр және амперметрлер көбіне электромагниттік, электродинамикалық және жылулық негіздегі приборлар. Олар әдетте кернеу мен токтың әрекеттік мәніне өлшемделген. Сондықтан бейсинусоидал шамалардың параметрлерін өлшегенде н/е есептегенде олардың әрекеттік н/е орташа мәндерін пайдаланады.

Айнымалы токтың әрекеттік мәнінің анықтамасы бойынша бейсинусоидал ток үшін де:

$$I=\sqrt{\frac{1}{\tau}\int_0^T t2dt} \tag{4.17}$$

Бейсинусоидал токтың лездік мәні Фурье қатарына жіктелген болса

$i=I_0+I_{1m}\,sin(\omega t+\varphi_1)+I_{2m}\,sin(2\omega t+\varphi_2)+\ldots,$

оның квадраты

$$i^2=I^2{}_0+\sum_{k=1}^{\infty} I_{km}\,sin^2(k\omega t+\varphi_k)+\sum_{\substack{p=0\\q=0}}^{\infty} I\,I\,sin(p\omega t+\varphi_q)sin(q\omega t+\varphi_q). \tag{4.18}$$

Осы теңдеудегі қосындыларды интегралмен алмастырса

$$\int_0^T sin^2(k\omega t+\varphi_k)dt=\frac{T}{2} \tag{4.19}$$

$$\int_0^T sin(p\omega t+\varphi_p)*sin(q\omega t+\varphi_q)dt=0. \tag{4.20}$$

(4.18) теңдігі бойынша токтың квадраттық мәнін (4.17) теңдігіне қойса және (4.19), (4.20) теңдіктерін ескерсе

$$I=\sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T[I_0+\sum_{k=1}^{\infty}I_{km}Sin(k\omega t+\varphi_k)]dt}=$$

$$=\sqrt{I_0+\frac{I_{1m}}{2}+\frac{I_{2m2}}{2}+\ldots}=\sqrt{I_0+I_1+I_2+\ldots} \tag{4.21}$$

Сонымен бейсинусоидал токтың әрекеттік мәні тұрақты құраушысының және гармоникалардың әрекеттік мәндерінің квадраттарының қосындысының түбіріне тең, ал фазалардың ығысуына байланысты емес.

Осылайша қарастыра отырып, бейсинусоидал ЭҚК-тің және кернеудің әрекеттік мәндері үшін төмендегі өрнектерді алуға болады:

$$E=\sqrt{E_0+E_1+E_2+\ldots}, \tag{4.22}$$

$$I=\sqrt{I_0+I_1+I_2+\ldots} \tag{4.23}$$

Осы шамалардың орташа мәндері Фурье қатарының тұрақты құраушысына тең:

$$I_{op}=\frac{1}{T}\int_0^T idt=\frac{1}{T}\int_0^T [I_0+I_{1m}Sin(\omega t+\varphi_1)+I_{2m}Sin(2\omega t+\varphi_2)+...]dt=I_0, \quad (4.24)$$

$$E_{op}=\frac{1}{T}\int_0^T edt=E_0, \quad (4.25)$$

$$U_{op}=\frac{1}{T}\int_0^T udt=U_0. \quad (4.26)$$

Бейсинусоидал шаманың активті қуаты деп қуаттың период ішіндегі орташа мәнін айтады:

$$P=\frac{1}{T}\int_0^T uldt=\frac{1}{T}\int_0^T (u_0+u_1+u_2+...)*(i_0+i_1+i_2+...)dt=\sum_{k=0}^{\infty}\frac{1}{T}\int_0^T u_k\, i_k\, dt+\sum_{\substack{p=0\\q=0}}^{\infty}\frac{1}{T}\int_0^T u_p i_q\, dt. \quad (4.27)$$

Егер осы теңдікте $p\neq q$ болса, онда

$$\int_0^T u_p\, i_q\, dt=0$$

болғандықтан

$$P=\sum_{k=0}^{\infty}\frac{1}{T}\int_0^T u_k\, i_k\, dt=\frac{1}{T}\int_0^T [u_0\, i_0+U_{1m}\sin(\omega t+\varphi_{1u})I_{1m}\sin(\omega t+\varphi_u)+$$

$$+U_{2m}\sin(2\omega t+\varphi_{2u})I_{2m}\sin(2\omega t+\varphi_u)+...]dt=U_0\, I_0+U_1\, I_1\cos\varphi_1+U_2\, I_2\cos\varphi_2+...=P_0+P_1+P_2+,$$

мұндағы $\cos\varphi_1, \cos\varphi_2 ...$-сәйкесті гармоникалардың қуат коэффициенттері.

Бұл текдік бейсинусоидал шаманың активті қуаты орташа тұрақты қуат пен гармоникалардың активті қуаттарының қосындысына тең екенін көрсетеді.

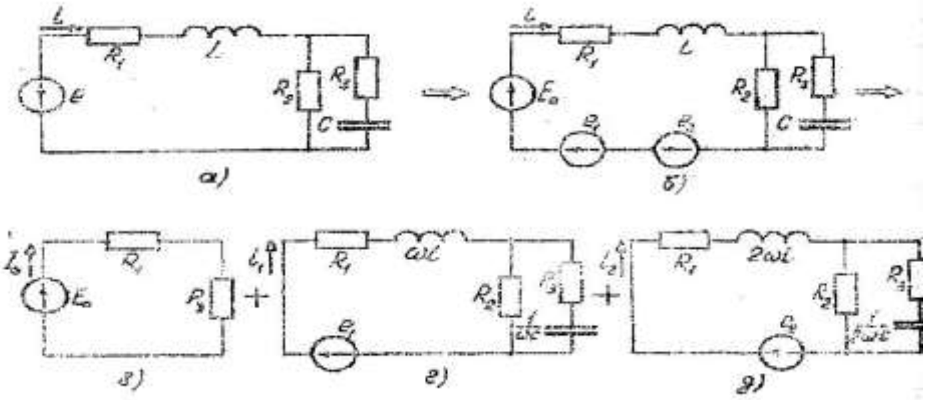
Толық қуат бейсинусоидал шаманың кернеуі мен тогының әрекеттік мәндерінің көбейтіндісіне тең,яғни $S=UI$, ал қуат коэффициенті $\cos\varphi=P/S$.

Периодты шамалардың графиктерін сипаттау үшін әртүрлі коэффициенттер (амплитудалық коэффициент, пішіндік коэффициент,бұрмаланукоэффициенті) пайдаланылады. Мысалы,кернеудің бұрмалану коэффициенті деп оның негізгі(көп жағдайда бірінші)гармоникасының кернеуінің әрекеттік мәнінің, бейсинусодал кернеудің әрекеттік мәніне қатынасын айтады. Электр желілеріндегі кернеудің бұрмалану коэффициенті МСт бойынша 0,995-тен кем болмауы керек.

4 Бейсинусоидалы электр тізбектерін есептеу

Жоғарыда тізбектеріндегі бейсинусоидал ток пен кернеудің лездік мәндері олардың тұрақты және гармоникалық құраушыларының қосындысына тең екендігі анықталды. Ендеше қабаттасу принципіне сүйене отырып бейсинусодал ЭҚК-ті бір тұрақты және бірнеше синусоидал ЭҚК-терден тұрады деп қарастыруға болады(4.5-сурет)

$$e=E_0\, E_{1m}\sin\omega t+E_{2m}\sin\omega t=E_0+e_1+e_2. \quad (4.29)$$



4.5 Сурет – Бейсинусоидалы ЭҚК (а) синусоидалы ЭҚК-термен аластыру (б) және қабаттасу принципін қолдану (в,г,д) схемалары

Қабаттасу принципі бойынша тармақтардың тогының лездік мәндері токтың тұрақты құраушысы мен гармоникаларының лездік мәндерінің қосындысына тең. Мысалы,тізбектің тармақталған бөлігінің тогы

$$i_0=I_0+i_1+i_2, \qquad (4.30)$$

мұндағы: I_0-токтың тұрақты құраушысы; i_1, i_2 - бірінші және екінші гармони калардың тогы.

Одан кейін гармоникалық токтардың лездік мәндерінен әрекеттік мәндерін анықтау керек.

Индуктивтілік тұрақты токқа кедергі жасамайды, ал сыйымдылық тұрақты токты өткізбейді деп алғанда (4.5,в-сурет)токтың тұрақты құраушысы

$$I=\frac{E_0}{R_1+R_2} \qquad (4.31)$$

Гармоникалардың токтарын кешенді санмен өрнектеген есептеуді жеңілдетеді. Тізбектің бірінші гармоникалық токқа кедергісі

$$Z_1=R_1+j\omega L+\frac{R2(R3-I\frac{1}{\omega C})}{R2+R3-I\frac{1}{\omega C}}=Z_1e^{\varphi 1} \qquad (4.32)$$

екінші гармоникалық токқа кедергісі

$$Z_2=R_1+j\omega L+\frac{R2(R3-I\frac{1}{2\omega C})}{R2+R3-I\frac{1}{2\omega C}}=Z_2e^{\varphi 2} \qquad (4.33)$$

Токтың бірінші және екінші гармоникаларының амплитудалары

$$I_{1m}=\frac{E1m}{\underline{Z1}}=I1me-j\varphi 1, \qquad (4.34)$$

$$I_{2m}=\frac{E2m}{\underline{Z2}}=I2me-j\varphi 2, \qquad (4.35)$$

Енді токтың осы мәндерін (4.30)теңдігіне қойса,тізбектің тармақталған бөлігінің тогы: $i=I_0+I_{1m}\sin(\omega t-\varphi_1)+I_{2m}\sin(2\omega t-\varphi_2)$ (4.36)

Басқа токтар мен кернеулер де осылайша анықталады.

Индуктивті элементтің кедергісі жиілік өскен сайын арта беретіні белгілі:

$$X_L=\omega L \quad н/е \quad X_{Lk}=k\omega L,$$

ал кернеуі $U_{L1}=\omega LI_1$ *н/е* $U_{Lk}=k\omega LI_k$

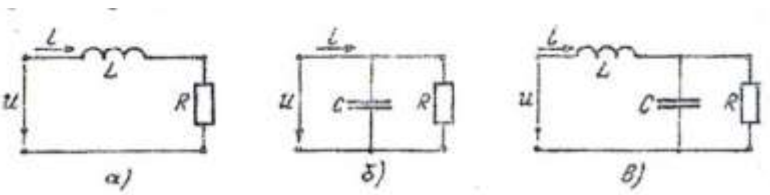
Осы кернеудің қатынасы

$$\frac{ULk}{UL1}=k\frac{Ik}{I1}. \tag{4.37}$$

Бұл теңдік индуктивтілікте токтың гармоникасы кернеудің гармоника-сынан есе аз екенін,яғни кернеуге қарағанда токтың жоғарғы гармоникаларының мәндерінің өте аз екенін көрсетеді.

Жиіліктен тәуелді кейбір тізбектер. Индуктивтік пен сыйымдылықтық кедергілердің жиілікке байланысты екені және индуктивтілік тұрақты токқа кедергі жасамайтындығы, ал сыйымдылықтың оны өткізбейтіні белгілі. Индуктивтілік пен сыйымдылықтың осы қасиеттері практикада әртүрлі қондырғыларда пайдаланылады.

Егер индуктивті шарғыны электр қабылдағышпен бірізді жалғаса (4.6, а-сурет), ол токтың тұрақты құраушысына кедергі жасамайды да,ал гармоникаларына (әсіресе жоғары жиілікті) кедергі жасап,оларды әлсіретеді.

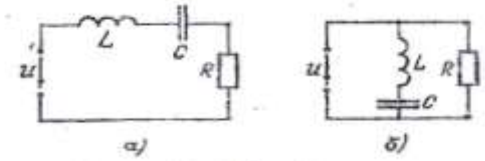


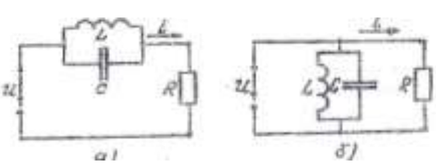
4.6 Сурет – Индуктивті L (а), сыйымдылықты C (б) және аралас LC (в) сүзгілер схемалары

Егер конденсаторды электр қабылдағышқа параллель жалғаса(4.6,б-сурет), онда ол токтың тұрақты құраушыларын өткізбейді де (ол электр қабылдағышпен жүреді), ал гармоникаларына (әсіресе жоғары жиілікті) кедергі жасамайды.

Сондықтан тоқтың жоғары жиілікті гармоникалары конденсатордың тармағымен кетеді. Әдетте осы екі элемент қатар қолданылады (4.6,в-сурет).

Тоқтың жоғары гармоникаларын әлсіретіп н/е басқа тармақтармен жіберіп, ал тұрақты құраушысын электр қабылдағышқа ғана қалдыратын құрылғыларды электр сүзгілері деп атайды.





4.7 Сурет –Бірізді LC сүзгілер схемалары

4.8 Сурет – Параллель LC сүзгілер схемалары

Сүзгілер белгілі бір гармониканы өткізіп н/е белгілі бір гармониканы басқа гармоникадан бөліп алу үшін де қолданылады. Мұндай мақсат үшін индуктивті шарғы мен конденсаторды бірізді н/е параллель жалғап, оларды кернеулер мен тоқтар резонансына түсіреді.Тізбек резонансқа түсу үшін $(k\omega)^2LC=1$ болуы керек. Егер осы шарт орындалса,онда оларды бірізді жалғаған кезде (4.7,а-сурет) к-шы гармоникаға тізбек кедергі көрсетпейді де, ал басқа гармоникаларға және тұрақты құраушыға үлкен кедергі жасап,оларды қатты азайтады. Сондықтан электр қабылдағышпен тоқтың *к*-шы гармоникасы ғана өтеді.

Егер осы бірізді жалғанға индуктивті шарғы мен конденсаторды электр қабылдағышқа параллель қосса (4.8,б-сурет), онда электр қабылдағышта керісінше тоқтың к-шы гармоникасы болмайды-ол *LC* тармағымен кетеді.

Егер индуктивті шарғы мен конденсаторды параллель жалғап,оларды тоқтар резонансына түсірсе,онда бірізді қосылған электроқабылдағышта (4.7,а-сурет) ***к*** гармоника болмайды да, ал параллель қосылған электр қабылдағышта керісінше жаңағы ***к*** гармоника бөлініп шығады (4.7,б-сурет). Мұндай электр сүзгілері айнымалы ток түзеткіштерінде және радиотехникада кеңінен қолданылады.

Бақылау сұрақтары

1. Бейсинусоидалы тоқтардың пайда болу себептері қандай ?
2. Периодты бейсинусоидалы шамаларды сипатайтын коэффициенттер қандай?
3. Егер бейсинусоидалы функцияның графигі 1) абсцисс осіне; 2) ордината осіне ; 3)координаталар жүйесініңбасына симметриялы болса қандай гармоникалар болмайды?
4. Катушка ж/е резистор тізбектей жалғанған тізбектегі кернеудің әсер етуші мәнін есепте егер, $R = 10\,Ом$; $\omega L = 10\,Ом$,ал тоқ $i = 10\sqrt{2}\sin\omega t + 5\sqrt{2}\sin 3\omega t + \sqrt{2}\sin 5\omega t\ A$. Актив қуатты есептеңіз. Жауап: U=218 В; P=1260 Вт.
5. Ендеше қабаттасу принципіне сүйене отырып бейсинусодал ЭҚК-ті қалай қарастыруға болады ?
6. Тұрақты токқа кедергі жасамайтын элемент қандай ?
7. тұрақты токты өткізбейтін элемент қандай ?
8. Индуктивтілік пен сыйымдылықтың қандай қасиеттері практикада сүзгі ретінде пайдаланылады
9. Қандай құрылғыларды электр сүзгілері деп атайды ?
10. Сүзгілер не үшін қолданылады ?

«БЕЙСИНУСОИДАЛЫ ЭЛЕКТР ТІЗБЕКТЕРІ» тақырыбы бойынша тесттік сұрақтар

1. Бейсинусоидалы периодты функциялар қандай қатарға жіктеледі?

A) Тейлора қатары;
B) Фурье қатары;
C) Макларен қатары;
D) қатарларға жіктелмейді;
E) Тейлор және Макларен қатары .

2.Фурье қатарына жіктелгенде қандай бейсинусоидалы сызықтың тұрақты бөлігі және жұп гармоникалары болмайды?

A) абсцисса осіне қатысты симметриялы;
B) ордината осіне қатысты симметриялы;

C) кордината остерінің басына қатысты симметриялы;
D) ондай сызықтар болмайды;
E) абсцисса осіне симметриялы емес.

3. Фурье қатарына жіктелгенде қандай бейсинусоидалы сызықтың синустық бөліктері болмайды?
A) абсцисса осіне қатысты симметриялы;
B) ордината осіне қатысты симметриялы;
C) кордината остерінің басына қатысты симметриялы;D) ондай сызықтар болмайды;
E) абсцисса осіне симметриялы емес.

4. Фурье қатарына жіктелгенде қандай бейсинусоидалы сызықтың тұрақты бөлігі және косинустық бөліктері болады?
A) абсцисса осіне қатысты симметриялы;
B) ордината осіне қатысты симметриялы;
C) кордината остерінің басына қатысты симметриялы;
D) ондай сызықтар болмайды;
E) абсцисса осіне симметриялы емес.

5. Фурье қатарына жіктелгенде қандай бейсинусоидалы сызықтың тек қана синустық бөліктері болады?
A) абсцисса осіне қатысты симметриялы;
B) ордината осіне қатысты симметриялы;
C) кордината остерінің басына қатысты симметриялы;
D) ондай сызықтар болмайды;
E) абсцисса осіне симметриялы емес.

6. Тізбекке берілген кернеудің мәні
$u=100+80\sin(\omega t+30^o)+60\sin(3\omega t+20^o)+50\sin(5\omega t+45^o)$, В.
Тізбектегі тоқ $i=33{,}3+17{,}87\sin(\omega t-18^o)+5{,}59\sin(5\omega t+120^o)$, А. Олардың әсер етуші мәнін табыңыз?
A) I=35,6 А, U=127,1 В;
B) I=63,66 А, U=290 В;
C) I=33,3 А, U=100 В;
D) I=51,17 А, U=180 В;
E) I=38,89 А, U=160 В

7. Тізбектің актив және толық қуатын есептеңіз? Егер тізбекке берілген бейсинусоидалы кернеу $u=25{,}9\sin(\omega t-11^o40')+6\sin(3\omega t+53^o50')$ В
тоқ $i=3\sin(\omega t-40^o)+0{,}9\sqrt{2}\sin(\omega t+125^o)$, А.
A) P=35,5 Вт, S=42,8 ВА;
B) P=35 Вт, S=8,03 ВА;
C) P=0 Вт, S=42,8 ВА;

D) P=2,31 Вт, S=18,55 ВА;
E) P=18,55 Вт, S=2,31 ВА

8. Фурье қатарына жіктеу формуласын көрсет.

A) $f(x) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \sin(kx + \Psi_k)$

B) $f(x) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cos(kx + \Psi_k)$

C) $f(x) = A_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cos kx$

D) $f(x) = \sum_{k=1}^{\infty} A_k \sin(kx + \Psi_k)$

E) $f(x) = A_0 + A_1 + A_2 + A_3 + ... + A_n$

9. Бейсинусоидалы тоқтың **k**-гармоникасындағы индуктивті кедергінің формуласын көрсет

A) $X_{Lk} = \frac{\omega L}{k}$;

B) $X_{Lk} = k^2 \omega L$;

C) $X_{Lk} = k\omega L$;

D) $X_{Lk} = \frac{\omega L}{k^2}$;

E) $X_{Lk} = \omega L$

10. Бейсинусоидалы тоқтың **k**-гармоникасындағы сыйымдылық кедергінің формуласын көрсет

A) $X_{Ck} = \frac{1}{k^2 \omega C}$;

B) $X_{Ck} = k^2 \omega C$;

C) $X_{Ck} = k\omega C$;

D) $X_{Ck} = \frac{1}{k\omega C}$;

E) $X_{Ck} = \frac{1}{\omega C}$.

11. Бейсинусоидалы тоқтың әсер етуші мәнінің формуласын көрсет

A) $I = I_0^2 + I_1^2 + I_3^2 + ... + I_n^2$;

B) $I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_3^2 + ... + I_n^2}$;

C) $I = I_0 + I_1 + I_3 + ... + I_n$;

D) $I = I_0 I_1 I_3 ... I_n$;

E) $I = I_1^2 + I_3^2 + ... + I_n^2$;

12. Бейсинусоидалы тоқтың актив қуатының формуласын көрсет

A) $P = P_0^2 + P_1^2 + P_3^2 + ... + P_n^2$;

B) $P=\sqrt{P_0^2+P_1^2+P_3^2+\ldots+P_n^2}$;

C) $P=P_0+P_1+P_3+\ldots.+P_n$;

D) $P=P_0\,P_1\,P_3\ldots P_n$;

E) $P=P_1^2+P_3^2+\ldots.+P_n^2$.

13. Бейсинусоидалы тоқтың реактив қуатының формуласын көрсет

A) $Q=Q_0^2+Q_1^2+Q_3^2+\ldots.+Q_n^2$;

B) $Q=\sqrt{Q_0^2+Q_1^2+Q_3^2+\ldots+Q_n^2}$;

C) $Q=Q_1+Q_3+\ldots.+Q_n$;

D) $Q=Q_1\,Q_3\ldots Q_n$;

E) $Q=Q_1^2+Q_3^2+\ldots.+Q_n^2$.

14. Бейсинусоидалы тоқтың толық қуатының формуласын көрсет

A) $S=\sqrt{P^2+Q^2}$;

B) $S=\sqrt{\sum_{k=1}^{\infty}I_k^2\sum_{k=1}^{\infty}U_k^2}$

C) $S=\sqrt{\sum_{k=1}^{\infty}P_k^2\sum_{k=1}^{\infty}Q_k^2}$

D) $S=\sqrt{I_0^2+\sum_{k=1}^{\infty}I_k^2\sum_{k=1}^{\infty}U_k^2}$

E) $S=UI$

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Ахметов А.Қ. Электротехниканың теориялық негіздері. Т1 –Астана.: Астана полиграфия, 2005, 352б.

2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. - М.: Высшая школа, 1978.

3. Шебес Л.Г. Сборник задач и упражнений по теории линейных электрических цепей.- М.: Высшая школа, 1989

4. Гольдин О.Е. Каплянский А.Е., Полотовский Л.С. Программированное изучение теоретических основ электротехники. -М.: ВШ, 1978.

5. Прянишников В.А. Задачи и упражнения по ТОЭ. –М.: Корона-принт, 2004г

6. Бессонов Л.А. Задачник по теоретическим основам электротехники. -М.: МИРЭиА, 1970

7. Қожаспаев Н., Кешуов С.А., Мухитов И. Электротехника –Алматы: Республикалық баспа кабинеті, 1996 ж

Мазмұны **бет**

Пішімі 60х84 1/12
Көлемі 83 бет 6,9 шартты баспа табағы
Таралымы 20 дана.
Ш.Есенов атындағы КМТжИУ
Редакциялық - баспа бөлімінде басылды.
Ақтау қаласы, 32 ш/а.