

Жоспар

- 11.1 Көпфазалы жүйе. Негізгі ұғымдар
- 11.2 Үшфазалы тізбектің симметриялы жұмыс режимі
- 11.3 Үшфазалы тізбектің асимметриялы жұмыс режимі
- 11.4 Үшфазалы тізбектің қуаты

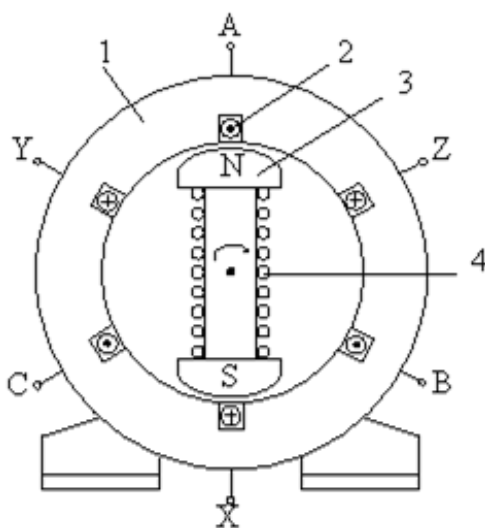
11.1 Көпфазалы жүйе. Негізгі ұғымдар

Көпфазалы жүйе деп құрылымы бойынша ұқсас, бір жиілікті тәуелсіз энергия көздері бар бірнеше синусоидалы ток тізбектерінің жиынтығын атайды, осында әр тізбек **фаза** болып табылады.

Фаза деп желіге және жүктемеге, генератордың немесе трансформатордың орамына сәйкес келетін тізбектің бөлігін атаймыз.

Ең алғаш рет 1891 жылы М.О. Доливо-Добровольский үшфазалы генератор жасап шыққан болатын. Байланысқан үш тізбектен құралған жүйе бүкіл әлемге кең таралған болатын. Практика жүзінде барлық электр станцияларындағы үшфазалы генератор көмегі арқылы электр энергия алынады, ол үшфазалы жеткізу желілері бойынша қабылдау жерлеріне беріледі және оның негізгі бөлігі үшфазалы қабылдағыштарда қолданысқа ие болады. Түзеткіш құралдарында негізінде алты- және он екі фазалы жүйелер қолданылады. Ал автоматика және телемеханика құрылғыларда екіфазалы жүйе қолданылады.

Үшфазалы жүйенің артықшылығы: алыс қашықтыққа электр энергиясын жеткізу кезде үнемді болуы және қозғалтқыштардың сапасының жоғары болуы.



Генератордың статорында (1) орам (2) орналасады, ол үш бөліктен немесе фазалардан тұрады. Фазаларының басы - A, B және C бас әріптерімен белгіленген, ал соңы - X, Y, Z. Ротордың (3) үстінде орналасқан қоздыру орамының (4) тұрақты тоғы арқылы пайда болатын электромагнит ротор ретінде қарастырылады.

11.1- сурет. Үшфазалы генератор

11.1-суретінде үшфазалы генератор бейнеленген. Статорда бір-бірінен электр изоляцияланған үш орам орналасқан, оларды фазалық орамдар деп атайды. Егер генератордың роторы екіполюсті болса, сонда генератордың фазалық орамдарының осьтері жазықтықта бір-біріне қарағанда 120^0 бұрылған болады. Роторды айналдыру кезінде фазалық орамдарында синусоидалы фазалық ЭҚК индукцияланады. Симметрия себебінен E_m амплитудалары мен E әсерлік мәндері барлық фазаларда тең болады. Алайда, айналып жатқан ротордың магнит өрістерінің сызықтары фазалық орамдарын бір уақытта қиып өтпейді, сондықтан орамдардың ЭҚК фаза бойынша бір-бірінен $\frac{1}{3}T = \frac{2\pi}{3}$ ығыстырылған болады. Егер генератордың роторы көпполюсті болса, сонда оның әр полюс жұптарына статордағы үшфазалы орамдарының бір-бірінен изоляцияланған 3 катушкасы сәйкес келеді. Статордың шеңбері бойымен орналасқан жеке катушкалардың саны - әр фазалық орамдарының полюс жұптарының санына тең болады. Катушкалар өзара тізбектей немесе параллельді жалғанады.

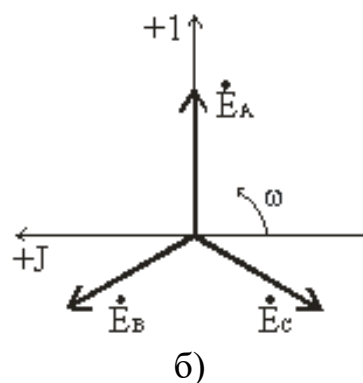
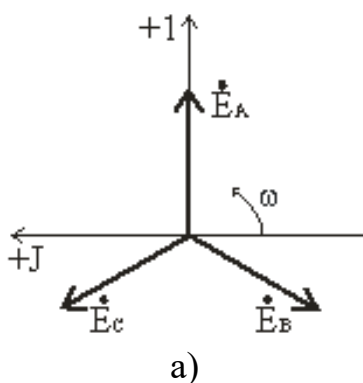
Фазалар латын алфавитінің бас әріптерімен белгіленеді: А, В, С. Фазалар реттілігінің белгіленуі кездейсоқ емес. А фазасының ЭҚК-і В фазасының ЭҚК-іне қарағанда $\frac{1}{3}$ периодынан ерте және С фазасының ЭҚК-іне қарағанда $\frac{2}{3}$ периодынан ерте максималды мәніне ие болатындай таңдалынып алынады. Бұл реттілік *нормалды* немесе *тура* деп аталады (11.2, а-сурет). Үшфазалы қозғалтқыштардың айналу бағыты фазалардың реттілігіне тәуелді болады. Егер генератор роторының айналу бағытын өзгертсек, сонда фазалардың реттелігі өзгеріске ие болып (11.2, б-сурет) және *кері* деп аталатын болады.

Тура реттілік кезіндегі фазаларындағы ЭҚК лездік мәндері

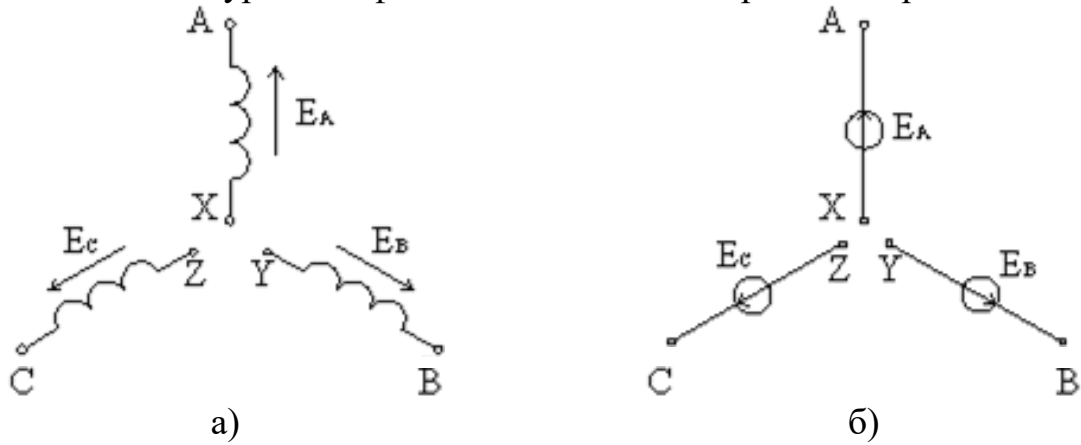
$$e_A = E_m \sin(\omega t), \quad (11.1)$$

$$e_B = E_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right), \quad (11.2)$$

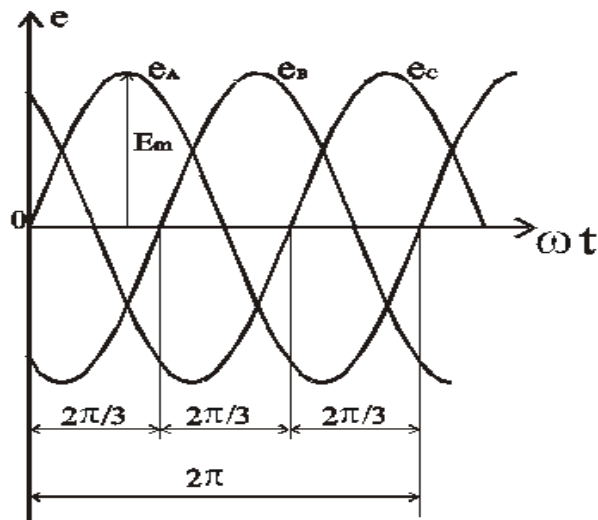
$$e_C = E_m \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) = E_m \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right). \quad (11.3)$$



11.2-сурет. Үшфазалы тізбектің векторлық диаграммасы



11.3-сурет. Қорек көзі фазасының шартты-графикалық белгіленуі



11.4-сурет. Үшфазалы тізбектегі ЭҚК лездік мәндерінің уақыт бойынша өзгеру графиктері

Лездік мәндерді комплекстік түріне айналдырамыз

$$\dot{E}_A = E_m e^{j\varphi_A} = E_m, \varphi_A = 0, \quad (11.4)$$

$$\dot{E}_B = E_m e^{j\varphi_B} = E_m e^{j\left(\varphi_A - \frac{2\pi}{3}\right)} = E_m e^{-j120^\circ}, \varphi_B = -\frac{2\pi}{3}, \quad (11.5)$$

$$\dot{E}_C = E_m e^{j\varphi_C} = E_m e^{j\left(\varphi_A + \frac{2\pi}{3}\right)} = E_m e^{j120^\circ}, \varphi_C = \frac{2\pi}{3}. \quad (11.6)$$

Мұндағы $e^{-j\frac{2\pi}{3}} = a$ - фазалық көбейткіш, сонда

$$\dot{E}_A = E_m, \quad (11.7)$$

$$\dot{E}_B = E_m a^2, \quad (11.8)$$

$$\dot{E}_C = E_m a. \quad (11.9)$$

Комплекстік мәнін a -ға көбейтуі $\frac{2\pi}{3}=120^\circ$ бұрышына оң бағытына қарай (сағат тілінің бағытына қарама-қарсы) бейнелейтін вектордың бұрылуына сәйкес келеді.

Үшфазалы тізбектерді есептеу кезінде нақты шамалардың өсін вертикалды жоғарыға бағыттау қабылданған, сондықтан 11.2, а-суретінің диаграммасында $\dot{E}_A$ векторы вертикалды бағытталған.

Кирхгофтың екінші заңы және 11.2-суреттегі векторлық диаграммалары бойынша қорытындылай отырып: үшфазалы жүйе үшін барлық фазаларының ЭҚК векторларының геометриялық қосындысы нөлге тең болады:

$$\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0. \quad (11.10)$$

(11.10) теңдігін дәлелдейік, ол үшін (11.4) – (11.6) қолданамыз

$$\begin{aligned} E_m + E_m e^{-j120^\circ} + E_m e^{j120^\circ} &= \\ &= E_m (1 + \cos(-120^\circ) + j \sin(-120^\circ) + \cos(120^\circ) + j \sin(120^\circ)) = \\ &= E_m \left(1 - \frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) = 0 \end{aligned}$$

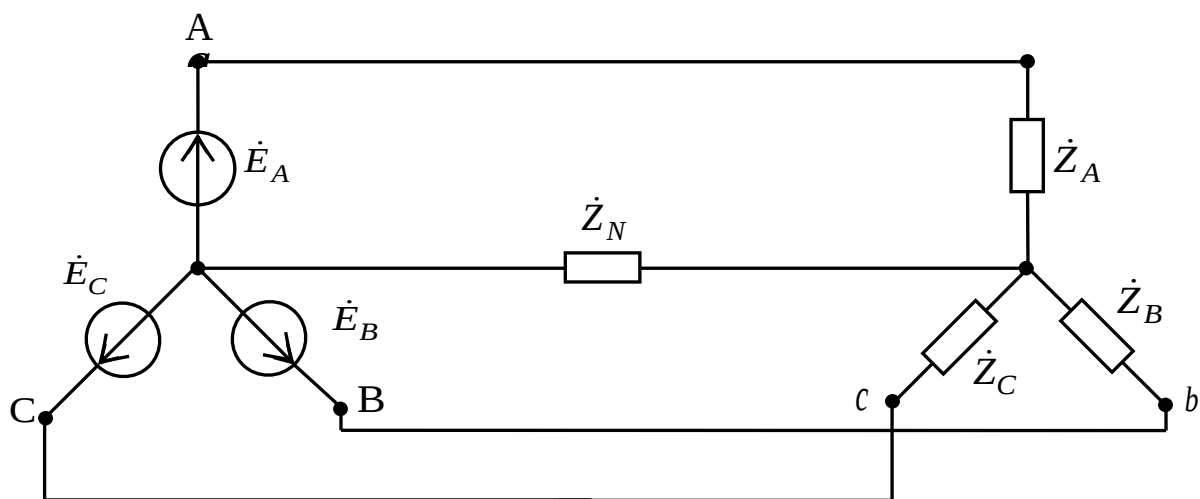
Үшфазалы жүйені алу үшін белгілі бір тәсілмен энергия көздерінің фазаларын және қабылдағыштың фазаларын жалғау керек: жұлдызша немесе үшбұрыш.

«Жұлдызша» жалғау - бұл жерде энергия көзі орамдарының немесе қабылдағыштың ұштары бір нүктеде жалғанған, оны нейтраль немесе нөлдік нүкте деп атайды.

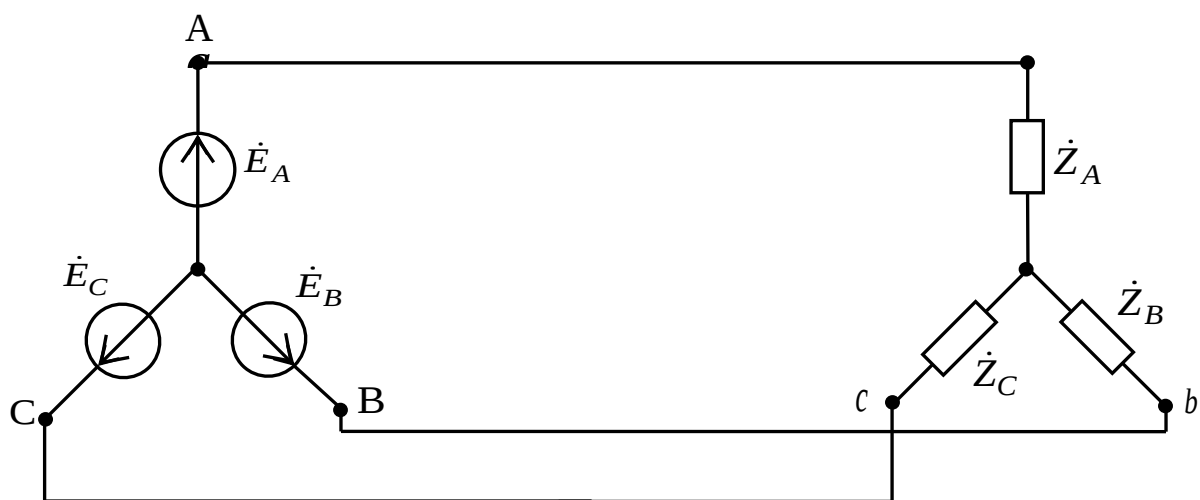
«Үшбұрыш» жалғау - бұл жерде бір фазаның басы басқа фазаның соңымен жалғанады.

Үшфазалы генераторды жалғаудың 5 қарапайым тәсілі бар, олар 11.6 суретте көрсетілген.

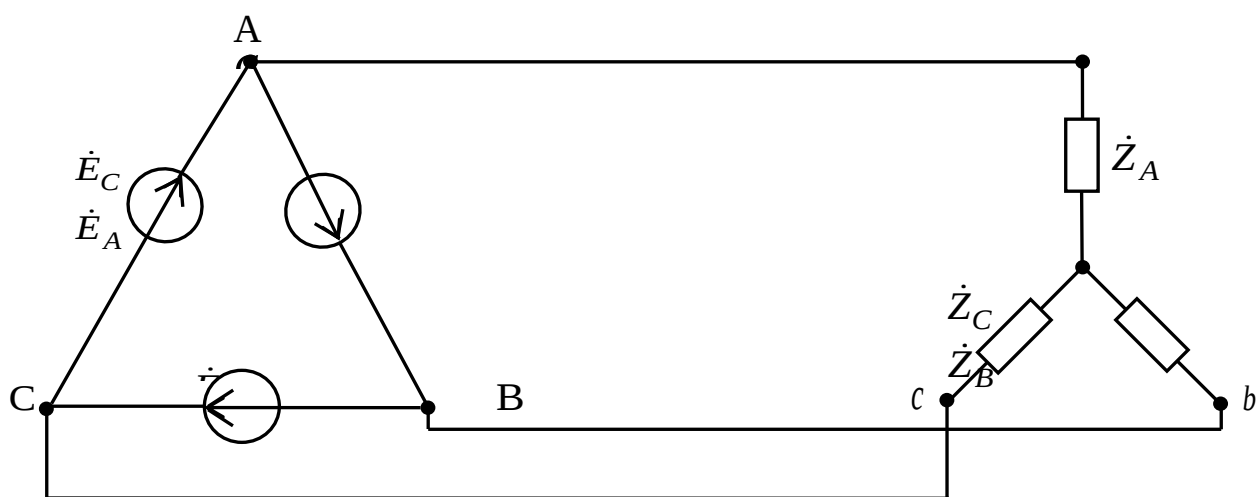
Үшфазалы тізбектің жұмыс режимі энергия көздерінің ЭҚК амплитудалық мәндеріне және қабылдағыштың әр фазасындағы комплекстік кедергілеріне байланысты, сондықтан *симметриялы* және *асимметриялы режимдері* қарастырылады.



а) Жұлдызша-жұлдызша, төртсымды

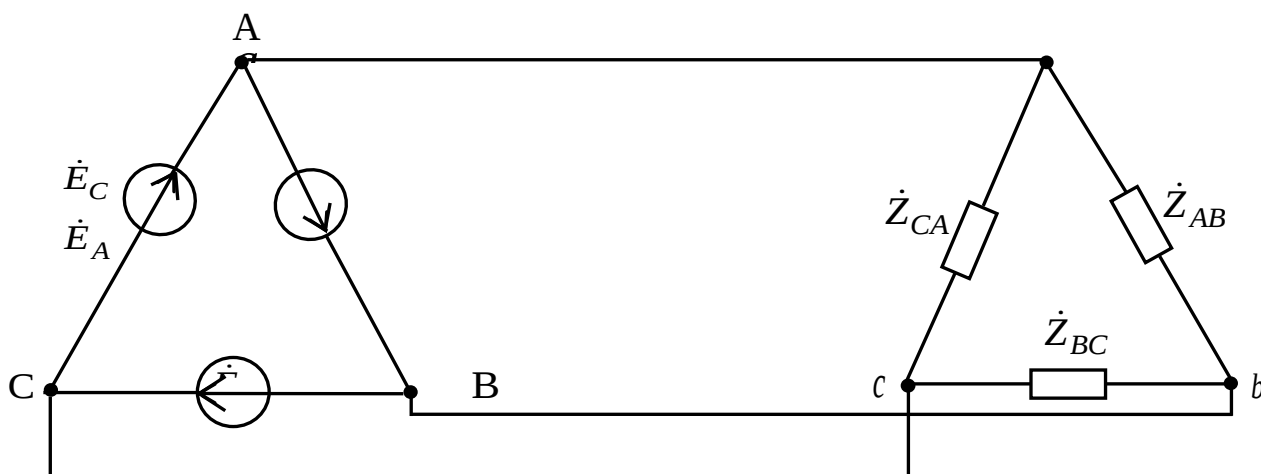


б) Жұлдызша-жұлдызша, үшсымды (нейтралды сымсыз)

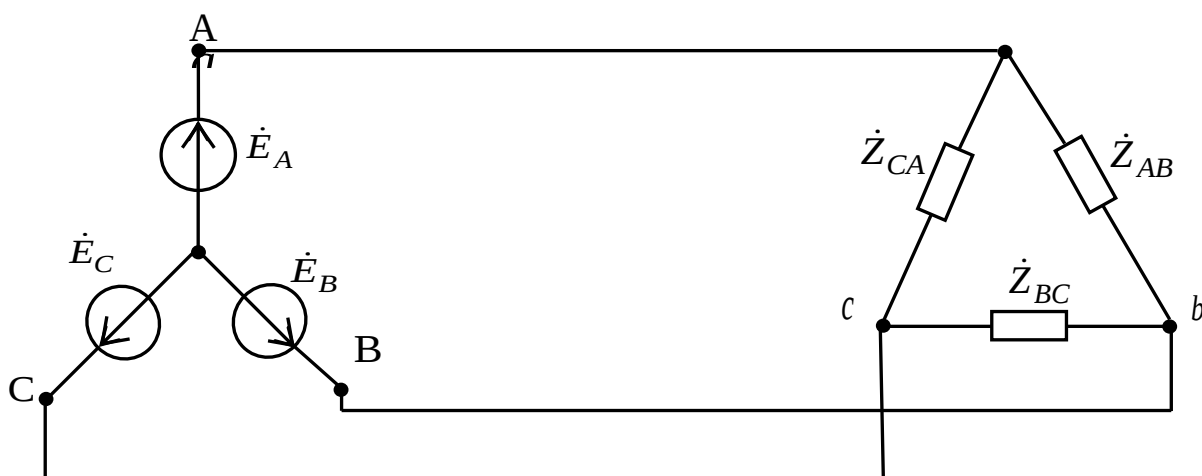


в) Үшбұрыш-жұлдызша

11.5-сурет. Үшфазалы тізбектің жалғаулары

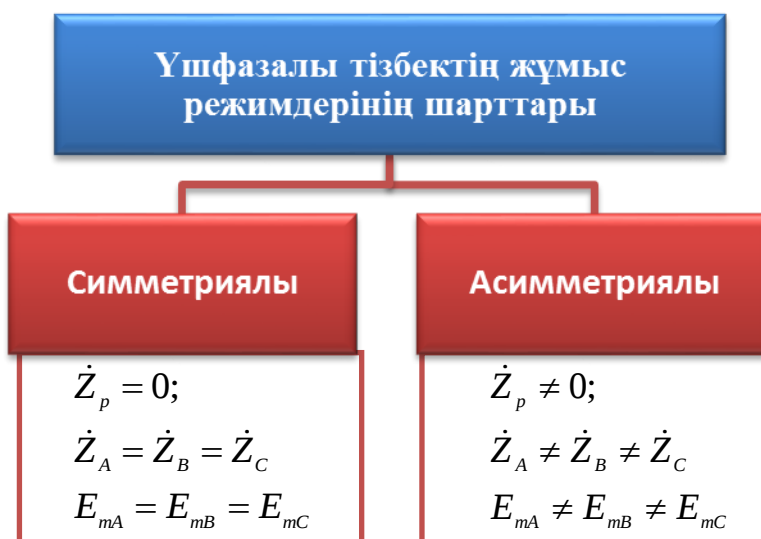


г) Үшбұрыш-үшбұрыш



д) Жұлдызша-үшбұрыш

11.5-сурет. Үшфазалы тізбектің жалғаулары



11.6-сурет. Үшфазалы тізбектің жұмыс режимдері

Үшфазалы тізбекке жалғанатын қабылдағыштар *бірфазалы* және *үшфазалы* болуы мүмкін. Бірфазалы қабылдағыштарға мысал ретінде электрлік қыздыру шамдарын, бірфазалы қозғалтқышты, жарық құралдарын, тұрмыс құралдарын және т.б. айта аламыз. Үшфазалы қабылдағыш ретінде индукциялық пештер мен үшфазалы асинхронды қозғалтқыштарды жатқыза аламыз.

Егер үшфазалы қабылдағыштардың фазаларының комплекстік кедергілері өзара тең болса, сонда оларды *симметриялы* деп атаймыз

$$\dot{Z}_A = \dot{Z}_B = \dot{Z}_C = Ze^{j\varphi}. \quad (11.11)$$

Егер (11.11) шарты орындалмаса, онда қабылдағыштарды *асимметриялы* деп атайды.

11.2 Үшфазалы тізбектің симметриялы жұмыс режимі

Кернеулердің симметриялы жүйесінде және симметриялы жүктеме кезінде үшфазалы тізбектің симметриялы режимі болады

$$\dot{Z}_A = \dot{Z}_B = \dot{Z}_C,$$

осында $R_A = R_B = R_C = R_\phi$ және $x_A = x_B = x_C = x_\phi$. Сонда фазалық токтар және фазаның ығысу бұрыштары бірдей болады

$$I_A = I_B = I_C = I_\phi = \frac{U_\phi}{Z_\phi}, \quad (11.12)$$

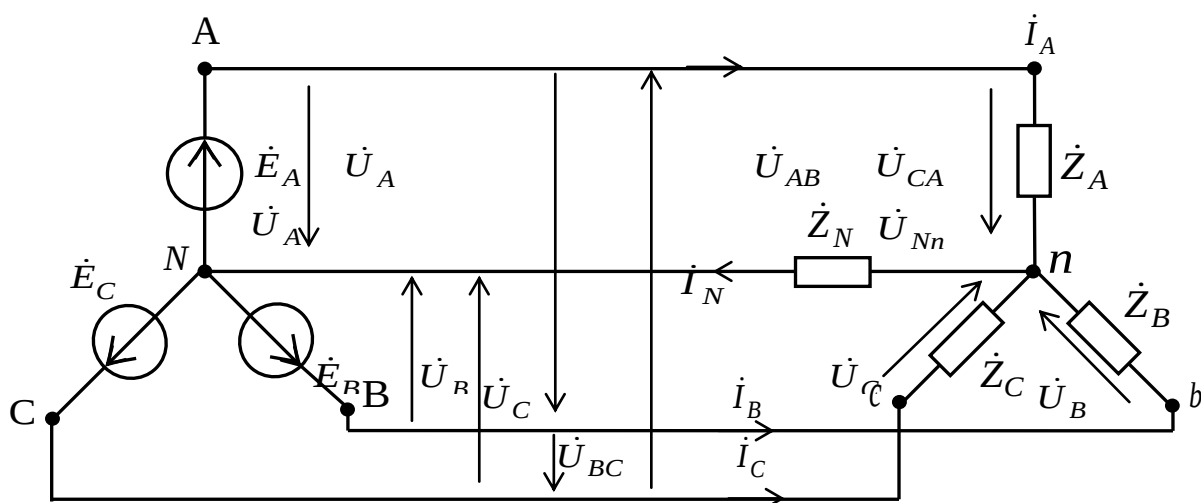
$$\varphi_A = \varphi_B = \varphi_C = \varphi = \arctan \frac{x_\phi}{R_\phi}. \quad (11.13)$$

Үшфазалы симметриялы ЭҚК жүйесіне сәйкес векторлық диаграмма 11.2,а. суретте көрсетілген.

«Жұлдызша-жұлдызша» жалғау

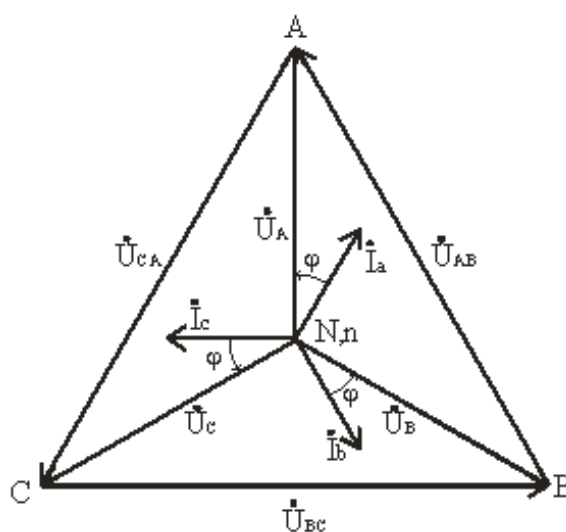
Егер X, Y, Z генератор орамдарының фазалар ұштары N ортақ нүктесіне (нейтральды нүктеге) жалғанса және қабылдағыш фазаларының ұштары n нүктесіне жалғанса, сонда мұндай жалғану тәсілі «**жұлдызша-жұлдызша**» деп аталады (11.7 сурет).

Генератор және қабылдағыштың фазаларының басы жалғайтын сымдарды **желілік** деп атайды: $A - a, B - b$ және $C - c$. Генератордың N нүктесін қабылдағыштың n нүктесімен жалғайтын сымды **нейтралды** деп атайды: $N - n$. Үшфазалы тізбектің нейтралды сымымен жалғануы – *төртсымды жұлдызша*, ал нейтралды сымсыз болса – *үшсымды жұлдызша* деп аталады.



11.7-сурет. Үшфазалы тізбек: «жұлдызша-жұлдызша, төртсымды» жалғауы

Симметриялы жүктеме қолдану кезінде I_N нейтралды сымдағы ток 0-ге тең болады. Бұл, 11.8-суретте көрсетілгендей, токтардың векторлық диаграммасынан шығады: тоқтың үш векторының геометриялық қосындысы нөлге тең болатындықтан $I_A + I_B + I_C = 0$. Сондықтан, нейтралды сымды алып тастауға болады.



11.8- сурет. Симметриялы қабылдағыш үшін тоқтың векторлық диаграммасы

Үшфазалы тізбектегі кернеу мен токтарды екі түрге ажыратады:

✓ **желілік** -

$$\dot{U}_{\text{желі}} = \{\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}\}, \quad \dot{I}_{\text{желі}} = \{\dot{I}_{AB}, \dot{I}_{BC}, \dot{I}_{CA}\}.$$

✓ **фазалық** -

$$\dot{U}_{\phi} = \{\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C\}, \quad \dot{I}_{\phi} = \{\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C\}.$$

Фазалық кернеу – кез-келген желілік сым мен нөлдік сымның арасындағы кернеу, әлде жүктемеге немесе энергия көзінің орамына берілген кернеу болып табылады. Егер сымдардың кедергілерін ескермеуге болатын болса, сонда қабылдағыштағы фазалық кернеу энергия көзіндегі кернеуге тең деп алынады. Фазалық кернеудің оң бағытын фаза басынан соңына қарай бағытын қабылдайды. **Фазалық ток** – энергия көзі орамы немесе тұтынушы арқылы өтетін ток болып табылады.

Желілік кернеу - екі желілік сым арасындағы кернеу немесе екі кез-келген фаза арасындағы кернеу болып табылады. Желілік кернеулердің оң бағыты ретінде бірінші индекске сәйкес келетін нүктесінен екінші индекске сәйкес келетін нүктесіне қабылданған. **Желілік ток** – желілік сым арқылы өтетін ток болып табылады.

Егер нейтралды сымның және сымдардың кедергілерін ескермесек, сонда желілік пен фазалық шамаларының байланысы келесідегідей болады.

«Жұлдызша-жұлдызша, үшсымды» жалғану кезінде фазалық және желілік токтар тең болады

$$\dot{I}_\phi = \dot{I}_{\text{желі}}. \quad (11.14)$$

Фазалық кернеулер

$$\begin{aligned} \dot{U}_A &= \dot{E}_A, \\ \dot{U}_B &= \dot{E}_B, \\ \dot{U}_C &= \dot{E}_C. \end{aligned} \quad (11.15)$$

11.7-суретінен желілік кернеулер

$$\begin{aligned} \dot{U}_{AB} &= \dot{E}_A - \dot{E}_B, \\ \dot{U}_{BC} &= \dot{E}_B - \dot{E}_C, \\ \dot{U}_{CA} &= \dot{E}_C - \dot{E}_A. \end{aligned} \quad (11.16)$$

(11.16) бірінші теңдігіне (11.15) формулаларын, кейіннен (11.4)-(11.6) қойып, келесі теңдеуді аламыз

$$\begin{aligned} \dot{U}_{AB} &= \dot{E}_A - \dot{E}_B = E_m - E_m (\cos(-120^\circ) + j \sin(-120^\circ)) = E_m \left(1 + \frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) = \\ &= E_m \left(1.5 + j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) = E_m e^{j \arctg \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{1}{1.5}} = E_m e^{j 30^\circ} = E_m \sqrt{3} = U_\phi \sqrt{3}. \end{aligned}$$

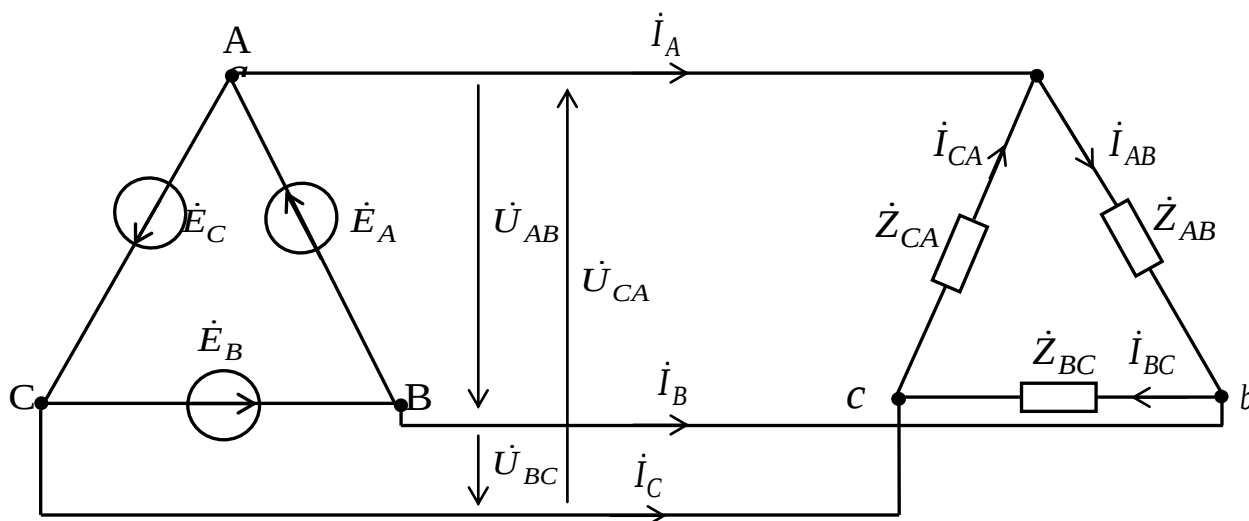
Сонда $\dot{U}_{AB} = E_m \sqrt{3}$, мұндай байланыс басқа да желілік кернеулер үшін болады. $\dot{E}_A = E_m$ болғандықтан, бұдан

$$U_{\text{желі}} = \sqrt{3} U_\phi \quad (11.17)$$

(11.14) және (11.17) формулалары симметриялы үшфазалы тізбектің «жұлдызша-жұлдызша, үшсымды» жалғану кезіндегі желілік және фазалық шамалар (ток, кернеу) арасындағы байланысты көрсетеді.

«Үшбұрыш-үшбұрыш» жалғау

Егер генератор орамының әр фазасының соңын келесі фазаның басымен және жүктемеге үш желілік сымдарымен жалғаса, сонда «үшбұрыш-үшбұрыш» түрінде жалғану болады (11.9-сурет).



11.9-сурет. Үшфазалы тізбек: «үшбұрыш-үшбұрыш» жалғау

Мұндай тәсілмен жалғанған симметриялы үшфазалы тізбектегі фазалы және желілік кернеулер бірдей болады

$$\begin{aligned}\dot{U}_A &= \dot{U}_{AB}, \\ \dot{U}_B &= \dot{U}_{BC}, \\ \dot{U}_C &= \dot{U}_{CA},\end{aligned}\tag{11.18}$$

яғни

$$\dot{U}_\phi = \dot{U}_{\text{желі}},\tag{11.19}$$

a , b , c түйіндері үшін Кирхгофтың бірінші заңы бойынша жүктеменің желілік және фазалық токтар

$$\begin{aligned}\dot{I}_A &= \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA}, \\ \dot{I}_B &= \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB}, \\ \dot{I}_C &= \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}.\end{aligned}\tag{11.20}$$

мұнда

$$\dot{I}_{AB} = \frac{\dot{U}_{AB}}{\dot{Z}_{AB}}, \quad \dot{I}_{BC} = \frac{\dot{U}_{BC}}{\dot{Z}_{BC}}, \quad \dot{I}_{CA} = \frac{\dot{U}_{CA}}{\dot{Z}_{CA}}\tag{11.21}$$

(11.20) бірінші теңдігіне (11.21) және (11.18) формулаларын қоя отырып, сонымен қатар қабылдағыштың симметриялы екенін ескере отырып - $\dot{Z}_{AB} = \dot{Z}_{BC} = \dot{Z}_{CA} = \dot{Z}$, келесі теңдеуді аламыз:

$$\begin{aligned} i_A &= \frac{\dot{U}_{AB}}{\dot{Z}_{AB}} - \frac{\dot{U}_{CA}}{\dot{Z}_{CA}} = \frac{\dot{U}_A}{\dot{Z}} - \frac{\dot{U}_C}{\dot{Z}} = \frac{\dot{E}_A}{\dot{Z}} - \frac{\dot{E}_C}{\dot{Z}} = \\ &= \frac{E_m - E_m a}{\dot{Z}} = \frac{E_m}{\dot{Z}} \left(1 + \frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) = \frac{E_m}{\dot{Z}} \left(1.5 - j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) = \\ &= \frac{E_m}{\dot{Z}} e^{j \arctg \left(-\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot \left(\frac{1}{1.5} \right)} = \frac{E_m}{\dot{Z}} e^{-j 30^\circ} = \frac{E_m}{\dot{Z}} \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{I_{жәлі}}{\sqrt{3}} \end{aligned} \quad (11.22)$$

Сонда

$$i_\phi = \frac{I_{жәлі}}{\sqrt{3}} \quad \text{немесе} \quad i_{жәлі} = \sqrt{3} i_\phi \quad (11.23)$$

(11.18) және (11.23) формулалары «үшбұрыш-үшбұрыш» тәсілімен жалғанған симметриялы үшфазалы тізбектегі желілік және фазалық шамалар (ток, кернеу) арасындағы байланысты көрсетеді.

11.3 Үшфазалы тізбектің асимметриялы жұмыс режимі

Үшфазалы тізбегінің «жұлдызша-жұлдызша» жалғануы кезіндегі әр түрлі асимметриялы жүктемелер жағдайында қарастырайық:

1. Жалпы жағдай - $\dot{Z}_A \neq \dot{Z}_B \neq \dot{Z}_C$ және $\dot{Z}_N \neq 0$, және $\dot{Z}_N = 0$, кезінде.

2. $\dot{Z}_A \in [0, \infty]$, ал $\dot{Z}_B = \dot{Z}_C$ болған кезіндегі жағдай.

3. Қабылдағыштың әр фазасы физикалық табиғаты бойынша түрлі элементтерден құралған жағдай кезінде: $\dot{Z}_A \rightarrow C$, $\dot{Z}_B \rightarrow L$, $\dot{Z} \rightarrow R$.

1. Кернеулердің симметриялы жүйесі және асимметриялы жүктеме кезінде, яғни $\dot{Z}_A \neq \dot{Z}_B \neq \dot{Z}_C$ және $\varphi_A \neq \varphi_B \neq \varphi_C$ болса, тұтынушы фазасындағы токтар әртүрлі болады және Ом заңы бойынша анықталады

$$i_A = \frac{\dot{U}_A}{\dot{Z}_A}, \quad i_B = \frac{\dot{U}_B}{\dot{Z}_B}, \quad i_C = \frac{\dot{U}_C}{\dot{Z}_C} \quad (11.24)$$

Үшфазалық тізбектің «жұлдызша-жұлдызша, төртсымды» жалғануы кезіндегі асимметриялы жұмыс режимін қарастырамыз.

$\dot{I}_N$ нейтралды сымдағы ток фазалық токтардың геометриялық қосындысына тең болады

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C. \quad (11.25)$$

Қабылдағыштың нейтралды нүктелері мен энергия көзінің арасындағы нейтраль ығысуының кернеуін екі түйін әдісі бойынша анықтауға болады

$$\dot{U}_{nN} = \frac{\dot{Y}_A \dot{U}_A + \dot{Y}_B \dot{U}_B + \dot{Y}_C \dot{U}_C}{\dot{Y}_A + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C + \dot{Y}_N}, \quad (11.26)$$

мұнда $\dot{Y}_A = \frac{1}{\dot{Z}_A}$, $\dot{Y}_B = \frac{1}{\dot{Z}_B}$, $\dot{Y}_C = \frac{1}{\dot{Z}_C}$, $\dot{Y}_N = \frac{1}{\dot{Z}_N}$ - қабылдағыш фазаларының және нейтралды сымның комплекстік өткізгіштіктері. Симметриялы жүктеме кезінде нейтраль ығысуының кернеуі болмайды $\dot{U}_{nN} = 0$, ал асимметриялы жүктеме кезінде нейтраль ығысуының кернеуі пайда болады: $\dot{U}_{nN} \neq 0$.

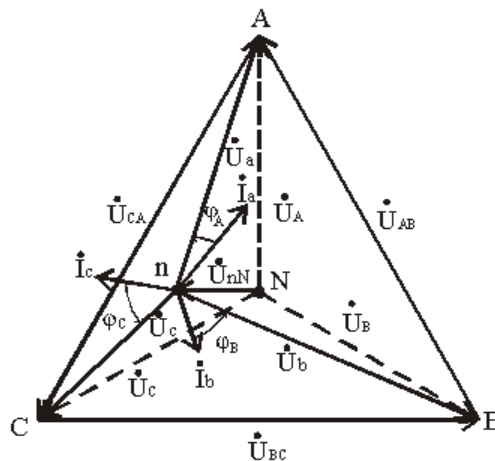
Қабылдағыш фазаларындағы кернеулер бір-бірінен ерекшеленеді, Кирхгофтың екінші заңынан

$$\begin{aligned} \dot{U}'_A &= \dot{U}_A - \dot{U}_{nN}, \\ \dot{U}'_B &= \dot{U}_B - \dot{U}_{nN}, \\ \dot{U}'_C &= \dot{U}_C - \dot{U}_{nN}. \end{aligned} \quad (11.27)$$

Фазалық токтар

$$\begin{aligned} \dot{I}_A &= \frac{\dot{U}'_A}{\dot{Z}_A} = \dot{U}'_A \cdot \dot{Y}_A, \\ \dot{I}_B &= \frac{\dot{U}'_B}{\dot{Z}_B} = \dot{U}'_B \cdot \dot{Y}_B, \\ \dot{I}_C &= \frac{\dot{U}'_C}{\dot{Z}_C} = \dot{U}'_C \cdot \dot{Y}_C. \end{aligned} \quad (11.28)$$

Қорек көзінің фазалық кернеулерінің векторлары және $\dot{U}_{nN}$ векторы 11.10- суретте көрсетілген. Жүктеменің фазалық кедергілер шамаларының (немесе сипаты) өзгеруі кезінде $\dot{U}_{nN}$ мәні өзгереді. Осы кезде қабылдағыштың n нейтралды нүктесі диаграммада әртүрлі орныға тұру мүмкін. Ал қабылдағыштың $\dot{U}'_A, \dot{U}'_B, \dot{U}'_C$ фазалық кернеулері бір-бірінен айырықша ерекшеленеді.



11.10-сурет. Кернеу мен токтардың векторлық диаграммасы

Симметриялы жүктеме кезінде нейтралды сым назарға алынбайды, себебі қабылдағыштың фазалық кернеулеріне әсер етпейді. Асимметриялы жүктеме және нейтралды сым болмаған кезінде жүктеменің фазалық кернеулері генератордың фазалық кернеулерімен тығыз байланыста болмайды, өйткені жүктемеге тек генератордың желілік кернеулер ғана әсер етеді. Бұл жағдайда асимметриялы жүктеме $\dot{U}'_A, \dot{U}'_B, \dot{U}'_C$ фазалық кернеулердің асимметриясын және кернеулер үшбұрышының центрінен n нейтралды нүктесінің ығысуын береді (нейтраль ығысуы).

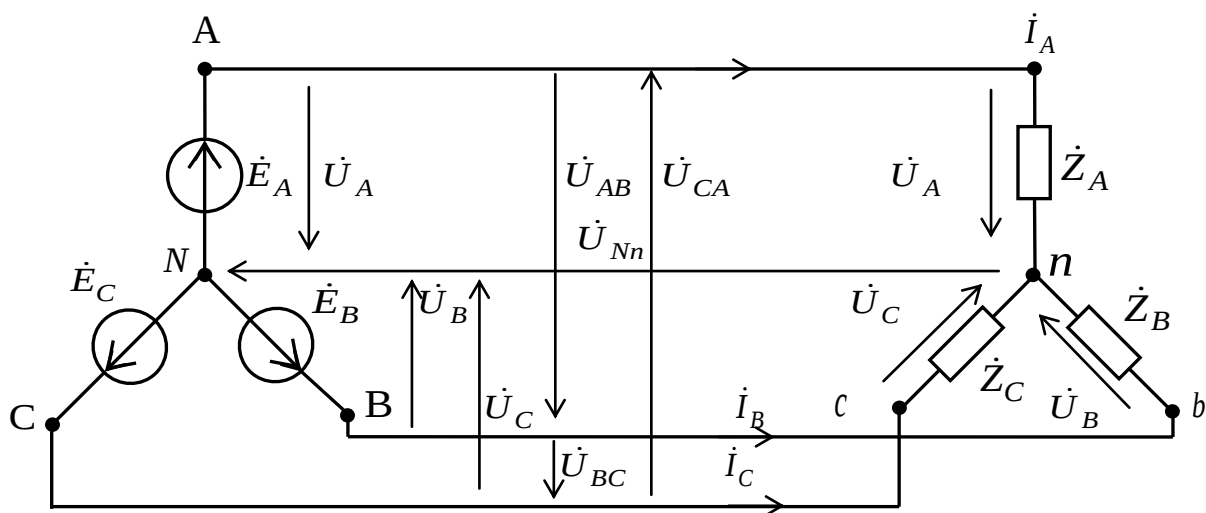
Нейтраль ығысуының бағыты жүйе фазаларының реттілігіне және жүктеме сипатына тәуелді. Сондықтан нейтралды сым осы үшін керек:

✓ Асимметриялы жүктеме кезіндегі қабылдағыштың фазалық кернеулерін түзету үшін;

✓ Үшфазалы тізбекке желінің номиналды желілік кернеуінен $\sqrt{3}$ есе аз номиналды кернеуі бар бірфазалы қабылдағыштарды жалғау үшін қолданылады.

$\dot{Z}_N = 0$ кезінде, нейтралды сым болғандықтан, генератор орамдарының әр фазасында кернеулер қабылдағыштағы сәйкес фазаларының кернеулеріне тең болады (11.11-сурет).

Демек, нейтралды сым асимметриялы жүктеме кезінде қабылдағыштың фазалық кернеулердің симметриясын қамтамасыз етеді. Сондықтан төртсымды желіге бірфазалы асимметриялы жүктемелерді қосады (мысалы, электрлік қыздыру шамдар). Генератордың тұрақты фазалық кернеу беріліп тұрғанда, үшфазалы жүктеменің әр фазасының жұмыс режимі басқа фазалардың жұмыс режимдеріне тәуелді болмайды.



11.11-сурет. Үшфазалы тізбек: «жұлдызша-жұлдызша, үшсымды» жалғау

2. Симметриялы кернеулер жүйесінде және асимметриялы жүктеме кезінде, бір фазада айнымалы кедергі - $\dot{Z}_A \in [0, \infty]$, ал $\dot{Z}_B = \dot{Z}_C$ болады (11.12-сурет). Қабылдағыштың барлық фазалары резистивті сипаттамаға ие болсын

$$Y_A = g_A = \frac{1}{R_A}, Y_B = Y_C = g = \frac{1}{R}.$$

Нейтраль ығысуының кернеуі келесі түріне ие болады

$$\begin{aligned} \dot{U}_{nN} &= \frac{g_A \dot{U}_A + g \dot{U}_B + g \dot{U}_C}{g_A + 2g} = \frac{g_A \dot{E}_m + g \dot{E}_m a^2 + g \dot{E}_m a}{g_A + 2g} = \\ &= \frac{E_m}{g_A + 2g} \left(g_A + g \left(-\frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) \right) = \frac{E_m (g_A - g)}{g_A + 2g}. \end{aligned} \quad (11.29)$$

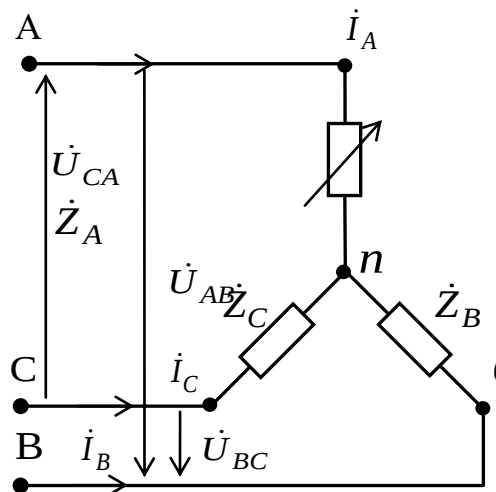
Егер $m = \frac{g_A}{g}$ болса, сонда (11.29) келесі түріне айналады

$$\dot{U}_{nN} = E_m \cdot \frac{m-1}{m+2}. \quad (11.30)$$

Келесі жағдайларды қарастырайық:

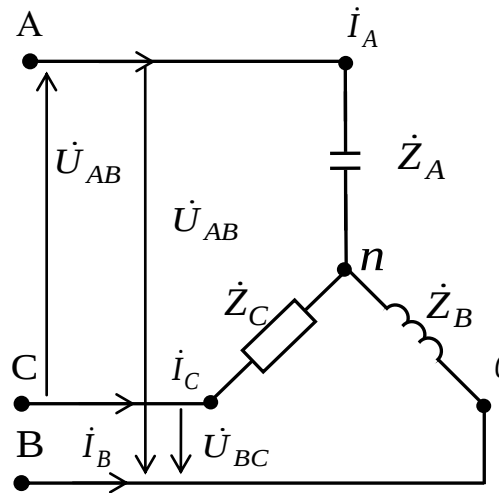
1) Егер $R_A = 0$ болса, сонда $g_A \rightarrow \infty$ және $m \neq 0$. Нейтраль ығысуының кернеуі белгілі бір шамаға ие болады, яғни $\dot{U}_{nN} \approx E_m$, бұл жағдайда фазалық кернеулер: $\dot{U}_A = 0, \dot{U}_B = -\dot{U}_{AB}, \dot{U}_C = \dot{U}_{CA}$. Фазалық токтарды жоғарыда жазылған (11.28) формулалар арқылы анықтауға болады.

2) Егер $R_A \rightarrow \infty$ болса, сонда $g_A \rightarrow 0$ және $m = 0$. Нейтраль ығысуының кернеуі теріс шамасына ие болады, яғни $\dot{U}_{nN} \approx -\frac{E_m}{2}$, осы кезде фазалық токтар мен кернеулерді жоғарыда жазылған (11.27) және (11.28) формулалар арқылы анықтауға болады.



11.12-сурет

3. Симметриялы кернеулер жүйесінде және асимметриялы жүктеме жағдайында, a фазасында сыйымдылықты, b фазасында – индуктивтілік, ал c фазасында – активті жүктеме болған кезін қарастырамыз: $\dot{Z}_A \rightarrow C, \dot{Z}_B \rightarrow L, \dot{Z}_C \rightarrow R$ (11.13-сурет).



11.13-сурет

Қабылдағыш фазаларының комплекстік өткізгіштіктері

$$\dot{Y}_A = \frac{1}{\dot{Z}_A} = jb_C, \quad \dot{Y}_B = \frac{1}{\dot{Z}_B} = -jb_L, \quad \dot{Y}_C = \frac{1}{\dot{Z}_C} = g. \quad (11.31)$$

Нейтраль ығысуының кернеуі келесі түрін қабылдайды

$$\dot{U}_{nN} = \frac{E_m \cdot jb_C + E_m a^2 \cdot (-jb_L) + E_m a \cdot g}{g + jb_C - jb_L}. \quad (11.32)$$

Егер реактивті өткізгіштіктер бірдей болса: $b_C = b_L = b$, сонда

$$\dot{U}_{nN} = \frac{jb \cdot E_m (1 - a^2) + E_m a \cdot g}{g} = \frac{E_m}{g} (jb(1 - a^2) + ga).$$

Фазалық кернеулер мен токтар (11.27) және (11.28) формулалар арқылы анықтауға болады. C фазасындағы токты анықтаған кезінде

$$\begin{aligned} \dot{I}_C &= (\dot{E}_C - \dot{U}_{nN}) \dot{Y}_C = \left(E_m a - \frac{E_m}{g} (jb(1 - a^2) + ga) \right) g = \\ &= (E_m ag - E_m (jb(1 - a^2) + ga)) = -E_m \cdot jb(1 - a^2) \end{aligned}$$

Осыдан, С фазасындағы ток басқа фазадағы өткізгіштіктер тең болған кезінде өзінің активті өткізгіштігіне тәуелсіз екендігін байқаймыз .

Осыған ұқсас, жоғарыда жазылған формулаларды қолдана отырып қабылдағышты «үшбұрыш» жалғау тәсілімен қарастырса болады. *Мұндай жалғаудың басты ерекшелігі, бір фазаның кедергісін өзгерту кезінде басқа фазаларының жұмыс режимі өзгеріссіз қалатыны.* Себебі, генератордың желілік кернеулері тұрақты болады. Осы кезде сол фазаның тоғы және осы фазамен байланыста болатын желі сымдарының желілік токтары өзгереді. Сондықтан «үшбұрыш» жалғау схемасы асимметриялы жүктеме кезінде кең қолданылады.

11.4 Үшфазалы тізбектің қуаты

Үшфазалы тізбекте бірфазалы тізбектегідей активті, реактивті және толық қуат деген сияқты ұғымдар қолданылады.

Электр энергиясын тұтынушылардың «жұлдызша» жалғауын қарастырайық. Асимметриялы жүктеме кезінде жалпы жағдайында үшфазалы қабылдағыштың активті қуаты жеке фазалардың активті қуатының қосындысына тең

$$P = P_A + P_B + P_C, \quad (11.33)$$

мұнда

$$\begin{aligned} P_A &= \dot{U}_A \dot{I}_A \cos \varphi_A, \\ P_B &= \dot{U}_B \dot{I}_B \cos \varphi_B, \\ P_C &= \dot{U}_C \dot{I}_C \cos \varphi_C, \end{aligned} \quad (11.34)$$

$\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ - фазалық кернеу, $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$ - фазалық ток, $\varphi_A, \varphi_B, \varphi_C$ - кернеу мен ток арасындағы фаза ығысу бұрышы.

Реактивті қуат сәйкесінше жеке фазалардың реактивті қуаттарының алгебралық қосындысына тең

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C, \quad (11.35)$$

мұнда

$$\begin{aligned} Q_A &= U_A I_A \sin \varphi_A, \\ Q_B &= U_B I_B \sin \varphi_B, \\ Q_C &= U_C I_C \sin \varphi_C. \end{aligned} \quad (11.36)$$

Жеке фазалардың толық қуаты

$$\begin{aligned} S_A &= U_A I_A, \\ S_B &= U_B I_B, \\ S_C &= U_C I_C. \end{aligned} \quad (11.37)$$

Үшфазалы қабылдағыштың толық қуаты

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}. \quad (11.38)$$

Симметриялы кернеулер жүйесі кезінде

$$\dot{U}_A = \dot{U}_B = \dot{U}_C = \dot{U}_\phi$$

және симметриялы жүктеме кезінде

$$\dot{I}_A = \dot{I}_B = \dot{I}_C = \dot{I}_\phi, \quad \varphi_A = \varphi_B = \varphi_C = \varphi$$

$$P_A = P_B = P_C = P_\phi = U_\phi I_\phi \cos \varphi, \quad Q_A = Q_B = Q_C = Q_\phi = U_\phi I_\phi \sin \varphi.$$

Үшфазалы симметриялы қабылдағыштың активті және реактивті қуаты сәйкесінше

$$P = 3P_\phi = 3U_\phi I_\phi \cos \varphi,$$

$$Q = 3Q_\phi = 3U_\phi I_\phi \sin \varphi,$$

сонда *толық қуат*

$$S = 3S_\phi = 3U_\phi I_\phi. \quad (11.39)$$

Қорытындылау келе, үшфазалы тізбектің симметриялы кернеулер жүйесі мен симметриялы жүктеме кезіндегі бір фазаның қуатын ғана өлшеуге болады, кейіннен шыққан нәтижені үш еселеу керек.

Электр энергия тұтынушыларын «үшбұрыш» тәсілімен жалғау кезінде және асимметриялы жүктеменің жалпы жағдайында үшфазалы қабылдағыштың активті қуаты жеке фазалардың активті қуаттарының қосындысына тең болады

$$P = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA}, \quad (11.40)$$

мұнда

$$\begin{aligned} P_{AB} &= U_{AB} I_{AB} \cos \varphi_{AB}, \\ P_{BC} &= U_{BC} I_{BC} \cos \varphi_{BC}, \\ P_{CA} &= U_{CA} I_{CA} \cos \varphi_{CA}, \end{aligned} \quad (11.41)$$

$\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$, - желілік кернеу, олар қабылдағыштың фазалық кернеулеріне тең болады. $\dot{I}_{AB}, \dot{I}_{BC}, \dot{I}_{CA}$ - қабылдағыштың әр фазасындағы желілік ток, $\varphi_{AB}, \varphi_{BC}, \varphi_{CA}$ - кернеу мен ток арасындағы фаза ығысу бұрышы.

Реактивті қуат жеке фазалардың реактивті қуаттарының алгебралық қосындысына тең

$$Q = Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA}, \quad (11.42)$$

мұнда

$$\begin{aligned} Q_{AB} &= U_{AB} I_{AB} \sin \varphi_{AB}, \\ Q_{BC} &= U_{BC} I_{BC} \sin \varphi_{BC}, \\ Q_{CA} &= U_{CA} I_{CA} \sin \varphi_{CA}. \end{aligned} \quad (11.43)$$

Жеке фазалардың толық қуаты

$$\begin{aligned} S_{AB} &= U_{AB} I_{AB}, \\ S_{BC} &= U_{BC} I_{BC}, \\ S_{CA} &= U_{CA} I_{CA}. \end{aligned} \quad (11.44)$$

Симметриялы кернеулер жүйесінде «үшбұрыш» жалғау кезінде

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_{BC} = \dot{U}_{CA} = \dot{U}_{\phi}$$

және симметриялы жүктеме кезінде

$$\begin{aligned} \dot{I}_{AB} &= \dot{I}_{BC} = \dot{I}_{CA} = \dot{I}_{\phi}, \\ \varphi_{AB} &= \varphi_{BC} = \varphi_{CA} = \varphi_{\phi}, \end{aligned}$$

фазалық қуаттар

$$\begin{aligned} P_{AB} &= P_{BC} = P_{CA} = P_{\phi} = U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi, \\ Q_{AB} &= Q_{BC} = Q_{CA} = Q_{\phi} = U_{\phi} I_{\phi} \sin \varphi. \end{aligned}$$

Симметриялы үшфазалы қабылдағыштың активті және реактивті қуаттары

$$P = 3P_{\phi}, \quad Q = 3Q_{\phi},$$

сонда *толық қуат*

$$S = 3S_{\phi} = 3U_{\phi} I_{\phi}. \quad (11.45)$$

Номиналды шамалар ретінде желілік кернеулер мен токтарды қабылдайтындықтан, қуаттарды $U_{\text{желі}}$ және $I_{\text{желі}}$ желілік шамалары арқылы сипаттау оңайға соғады.

Симметриялы қабылдағыштың фазаларын «жұлдызша» жалғау кезінде:

$$U_{\phi} = \frac{U_{\text{желі}}}{\sqrt{3}}, \quad I_{\phi} = I_{\text{желі}}$$

және «үшбұрыш» жалғау кезінде:

$$U_{\phi} = U_{\text{жәлі}}, \quad I_{\phi} = \frac{I_{\text{жәлі}}}{\sqrt{3}}.$$

Электр энергия тұтынушыларының фазаларын қосуына байланысты *симметриялы жүктеме кезіндегі активті және реактивті қуат* бірдей формуламен анықталады

$$P = \sqrt{3}P_{\text{жәлі}} = \sqrt{3}U_{\text{жәлі}}I_{\text{жәлі}} \cos \varphi, \quad Q = \sqrt{3}Q_{\text{жәлі}} = \sqrt{3}U_{\text{жәлі}}I_{\text{жәлі}} \sin \varphi, \quad (11.46)$$

мұндағы $U_{\text{жәлі}}$ және $I_{\text{жәлі}}$ — желілік кернеу мен желілік ток. Индекстерді жазбай, жоғарыда берілген формулаларды салыстыру арқылы «Δ-үшбұрыш» және «Y-жұлдызша» жалғаулар кезіндегі активті қуаттардың арасындағы байланысты анықтаймыз

$$P_{\Delta} = 3P_Y. \quad (11.47)$$

Осыдан, *өзгермейтін желілік кернеу берілгенде қабылдағыштың жалғауларын «жұлдызша»-дан «үшбұрыш»-қа ауыстыру кезінде оның қуаты үш есе артады.*

Үшфазалы тізбектерде активті қуаттың өлшеулері әр түрлі қосу схемаларды қолдана отырып үш, екі немесе бір ваттметр көмегі арқылы іс-жүзеге асады. Активті қуатты өлшеу үшін ваттметрлердің қосу схемасы желінің схемасымен (үш- немесе төртсымды), қабылдағыш фазаларының қосу схемасымен («жұлдызша» немесе «үшбұрыш»), жүктеменің сипатымен (симметриялы немесе асимметриялы), нейтраль нүктенің қолжетімділігімен анықталады.

Бақылау сұрақтары

1. Көпфазалы жүйеге анықтама беріңіз және негізгі ұғымдарды түсіндіріңіз.
2. «Жұлдызша» жалғау кезіндегі үшфазалы тізбектің симметриялы жұмыс режимін сипаттап беріңіз.
3. «Үшбұрыш» жалғау кезіндегі үшфазалы тізбектің симметриялы жұмыс режимін сипаттап беріңіз.
4. Үшфазалы тізбектің түрлі асимметриялы жұмыс режимінде сипаттап беріңіз.
5. Түрлі жағдайлар үшін үшфазалы тізбектің қуаттарын анықтайтын формулаларын қорытып беріңіз.

