

№2 ДӘРІС

2 апта – «Үш фазалы тізбектің симметриясын сақтай отырып, электромагнитті өтпелі үрдістер» (2 сағат).

Дәрістің мақсаты:

Үш фазалы тізбектің симметриясын сақтай отырып, электромагнитті өтпелі үрдістерді оқып үйрену.

2.1. Қысқа тұйықталуды есептеуге жалпы нұсқаулар

Қазіргі электрлік жүйенің барлық әсер ететін шартын еске алғанда өтпелі процеске анализ жасау және есептеу ЭЕМ – де өте күрделі, яғни бастапқы шарт және орталық этапта бірқатар енгізілетін жағдайлар, зерттелетін есептің сипаттамасына байланысты. Бұл кездегі жіберілетін жағдай, есепті шешкенде және зерттегенде, басқа есепті шешуге керек етпейді. Негізгі жіберілу көптеген практикалық есепті шешуге қолданылып, электромагниттік өтпелі процесте тоқ пен кернеудің арасындағы оның байланысы мына түрде болады:

1)Бұл жіберу шамалары магниттік системадағы қанығудың болмауын, барлық схемаға қарағанда артық көрсетеді. Бұл кез – келген зерттеудің мәнін қатты кемітеді және беттесу принципін қолдануға мүмкіндік береді.

2)Трансформатордағы және автотрансформатордағы магниттелген тоқтың жоғалуына бұл жіберілу шамалары ылғида тез айыруға ыңғайлы. (3 стерженді трансформатордың орамдары Y_0 / Y қосылады, сұлбадағы нольдік тізбекті қосады).

3)Симметриялы үшфазалы жүйенің жоғалуы. Бұл жіберілу шарттары барлық сұлбаның элементінде орындалады.

4)Егер қарастырылатын жүйедегі қума сыйымдылықтың компенсациясы болмаса, сыйымдылықты өткізгішті еске алмағанда бұл жіберілу зерттеу қорытындысын қысқартпайды.

5)Жуықтау жүктемесін еске алу кезінде, жүктеме тұрақты кедергіні сипаттайды.

6)Активті кедергінің жоғалуы. Кабельді желінің созылуын еске алмағанда немесе аз қималы сым болғанда, электрлік доғаның кедергісін еске аламыз және еркін құраушының өшуінің тұрақты уақытын енгіземіз.

7)Температурадағы тербелудің жоғалуы. Егер зақымдану генератордағы тербелудің болуын немесе синхрондықтан шығуын қамтамасыз етсе, онда жіберілу шараларын алып тастауға болады. Сонымен көп жағдайда жіберілу шаралары еріксіз болады. Оны қолдану үшін жіберу шараларын қабылдау керек сонымен қатар табиғи қосымша шаманың жіберілуіне негізделу қажет.

2.2. Салыстырмалы бірлік жүйесінің қысқа тұйықталуы

Кез – келген физикалық шаманың әр қайсысына бірлік сәйкес келеді, ал салыстырмалы өлшемсіз бірлікте барлық геометриялық сызуды қысқартады және оған жалпы сипаттама береді. Салыстырмалы мән дегеніміз – қандайда бір физикалық шаманың басқа физикалық шамаға қатынасы. Мысалы: базисты шамаға I_δ және U_δ – ток пен кернеу берілгенде базистік қуат:

$$S_\delta = \sqrt{3}U_\delta I_\delta, \quad (2.1)$$

және базистік кедергі

$$z_\delta = \frac{U_\delta}{\sqrt{3}I_\delta}. \quad (2.2)$$

Осы төрт шаманың екеуі ғана еркін алынады, ал қалғаны мына формуламен анықталады:

$$E_{(\sigma)} = E / U_{\sigma}; \quad (2.3)$$

$$U_{(\sigma)} = U / U_{\sigma}; \quad (2.4)$$

$$I_{(\sigma)} = I / I_{\sigma}; \quad (2.5)$$

$$S_{(\sigma)} = S / S_{\sigma}; \quad (2.6)$$

$$z_{(\sigma)} = z / z_{\sigma}. \quad (2.7)$$

Немесе мына түрде жазуға болады:

$$z_{(\sigma)} = \frac{z}{z_{\sigma}} = \frac{\sqrt{3} I_{\sigma} z}{U_{\sigma}}, \quad (2.8)$$

немесе

$$z_{(\sigma)} = z \frac{S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2}, \quad (2.9)$$

мұндағы z - берілген кедергі, Ом;

I_{σ} – базистік ток, кА.

Сонымен базистың таңдау шарты салыстырмалы бірлікте қарағанда еркін алынады және нақты шама әр түрлі мәнге ие болады. Жүйенің салыстырмалы кедергісінің элементтері – генераторлар, трансформаторлар, реакторлар және басқалар қалыпты жағдайда берілген формула сонымен қалады. Салыстырмалы бірлікке есеп енгізу үшін барлық ЭҚК, кедергі базисты шартты салыстырмалы бірлікте жазылады. Мысалы: егер қалыпты жағдайда салыстырмалы бірлікті берсек, онда оны базисты деп атайды.

$$E_{*(\sigma)} = E_{*(n)} \frac{U_n}{U_{\sigma}}; \quad (2.10)$$

$$z_{*(\sigma)} = z_{*(n)} \frac{I_{\sigma} U_n}{I_n U_{\sigma}}, \quad (2.11)$$

$$\text{немесе} \quad z_{*(\sigma)} = z_{*(n)} \frac{S_{\sigma} U_n^2}{S_n U_{\sigma}^2}. \quad (2.12)$$

Базистік шартты алған кезде, есептелетін жұмыс өте қарапайым болуын қарастырған жөн.

$S_{\sigma} = 100 \text{ MVA}, 1000 \text{ MVA}$ деп қабылданады. Егер $U_{\sigma} = U_n$ болса, салыстырмалы бірлікті есептеудің керегі жоқ.

2.3. Қысқа тұйықталуға беттесу принципін қолдану

Сызықты электр тізбегін тәжірибеде есептеу үшін беттесу принципі өте ыңғайлы, яғни нақты режимді беттесу қатарының шартты режимі ретінде қарастырады, оның әрқайсысына солай болу керек деп ұйғарылады, яғни сұлбада бір ЭҚК болады да, қалғаны нольге тең. Тәжірибеде беттесу принципінің келесі түрі байқалады.

1) Болатын авариялық режимнің меншікті беттесуі: үшфазалы қысқаша тұйықталу шарты өзгермейді, егер өзара қарама – қарсы ЭҚК орналасса қысқаша тұйықталу екіге тең.

Қысқаша тұйықталу шамасы еркін болуы мүмкін, ал қысқаша тұйықталу басталған нүктеде оны кернеу мәніне тең етіп алуға болады.

Егер схемада генератордың өзінің ЭҚК енгізілсе, онда қысқаша тұйықталу басталғанға дейінгі, және одан кейін екі режимнен тұратынын көруге болады. Оның бірі барлық генератордың ЭҚК еске ала отырып және қосымша қысқаша тұйықталу нүктесін

енгізу $+U_{к0}$. Барлық ЭҚК-нің бірдей уақыттағы әсері схемада қалыпты режимді туғызады. Екінші режимде генератордың бір $-U_{к0}$ ЭҚК-нің әсерінен пайда болады. Оны меншікті авариялық режим деп атайды, ал алынған ток пен кернеу қысқаша тұйықталудың ток пен кернеудің авариялық құраушысының меншікті тоғы мен кернеуі болып табылады. Меншікті апаттық режимдегі сұлбаның ерекшелігі дегеніміз барлық жүктеменің сипаттамасына қарамай, қосымша ток көзі ретінде қатысуы. Қысқаша тұйықталудағы ток пен кернеудің шамасы болатын және табылған авариялық қосындысына сәйкес келеді.

$$\dot{I} = \dot{I}_0 + \dot{I}_{ас}; \quad \dot{U} = \dot{U}_0 + \dot{U}_{ас}. \quad (2.13)$$

Мұндағы $U < U_0$, $U_{ab} < 0$, генераторда I_{ab} және I_0 бағыттары сәйкес, ал ол басқа тармақта да сәйкес келеді, бірақ әр түрлі бағытта болады. Беттесу принципінің түрін қолдана отырып, болатын нормальді режим белгілі және есептеу меншікті авариялық режиммен салыстыруға әкеледі. Беттесу принципінің бұл түрі жай және күрделі симметриялы емес режимді есептеу үшін қолданылады.

2) Меншікті өзара әсер кедергі және өткізгіштікті қолдану.

Сұлбадағы еркін санда генераторлар ЭҚК – мен E_1, E_2, \dots, E_n ток үшін, мысалы ішкі тізбекке бірінші генератордан оң бағытпен бағытталған ток бар деп есептейік.

Ол кезде беттесу принципі:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_{11} - \dot{I}_{12} - \dot{I}_{13} - \dots - \dot{I}_{1n} = \frac{E_1}{Z_{11}} - \frac{E_2}{Z_{12}} - \frac{E_3}{Z_{13}} - \dots - \frac{E_n}{Z_{1n}} = \quad (2.14)$$

$$Y_{11} E_1 - Y_{12} E_2 - Y_{13} E_3 - \dots - Y_{1n} E_n,$$

мұндағы әр ток бір ғана ЭҚК – нің әсерінен болады, қалғаны нольге тең.

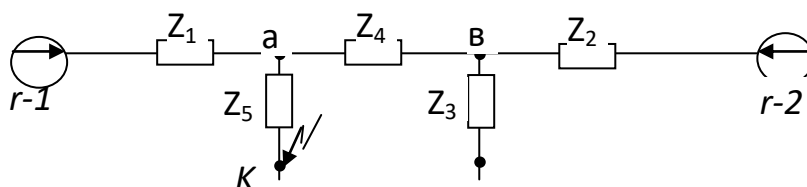
$I_{11} = E_1 / Z_{11} = Y_{11} E_1$ - бірінші генератордың меншікті тоғы, ол ЭҚК арқылы пайда болады.

$I_{12} = E_2 / Z_{12} = Y_{12} E_2$ - өзара әсер тоғы бірінші генератордың E_2 ЭҚК арқылы алынған.

Мұндағы $Z_{11}, Z_{12}, Z_{1n}, Y_{11}, Y_{12} \dots Y_{1n}$ - қарастырылған схемадағы бірінші генератордың өзара әсер кедергісі мен өткізгіштігі. Ал қысқаша тұйықталу орнындағы ток үшін:

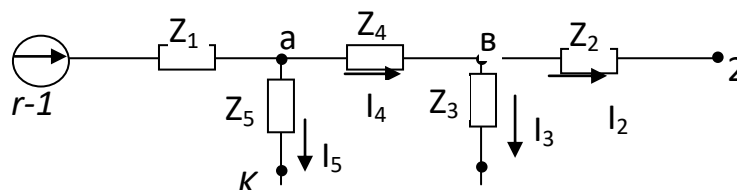
$$I_k = E_1 / Z_{1k} + E_2 / Z_{2k} + \dots + E_n / Z_{nk} = Y_{1k} E_1 + Y_{2k} E_2 + \dots + Y_{nk} E_n \quad (2.15)$$

мұндағы $Z_{1k}, Z_{2k} \dots Z_{nk}, Y_{1k}, Y_{2k} \dots Y_{nk}$ - өзара әсер кедергісі мен өткізгіші. Токты тарату (2.13) немесе схеманы түрлендіру жолымен әр ЭҚК мен қысқаша тұйықталу нүктесіндегі меншікті және өзара әсер кедергісін, өткізгіштікті табу оңай. Бірінші әдісті берілген схема үшін қарастырайық (сурет 2.1).



2.1 - сур. Қысқаша тұйықталу кезіндегі кедергіні анықтау

$r-1$ генераторлық меншікті және өзара әсер кедергісін анықтау үшін, $E_2 = 0$ деп ұйғарамыз, I_3 тоғын еркін аламыз және b нүктесіндегі кернеуді табамыз.



2.2 - сур. Алмастыру схема

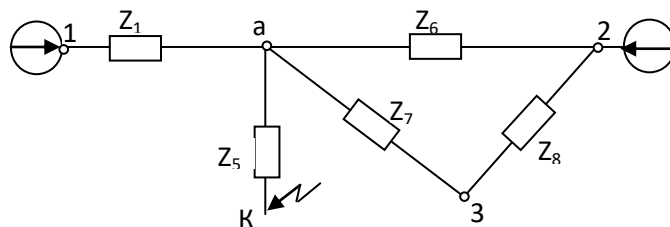
Z_2 тармағындағы тоқты U_b кернеуі арқылы анықтаймыз.

$I_4=I_3+I_2$ және Z_4 кернеуінің түсуін табамыз, ал U_a есептегенде I_5 тағы анықталады. I_4, I_5 тоқтарын біле отырып $I_1=I_4+I_5$, Z_1 кедергідегі кернеудің түсуі және E_1 – дегі алдын – ала берілген I_1 тоғын қамтамасыз етеді. Онда нақты кедергі мына түрде анықталады:

$$Z_{11}=E_1/I_1; \quad Z_{12}=E_1/I_2; \quad Z_{13}=E_1/I_3;$$

$$I_{15} = I_{1к} = E_1/Z_5;$$

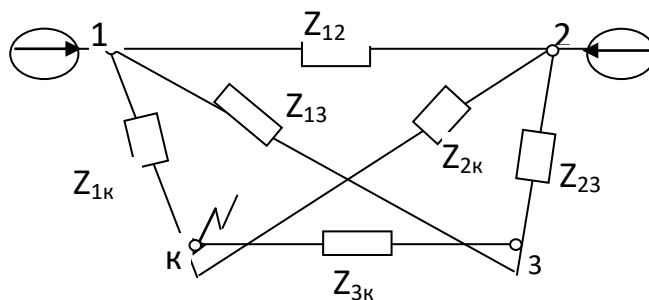
Мұнда аралық тізбекті алып тастап және өзара байланысты керекті нүктелерді сұлба түрінде көрсейік, қалған кедергісінің шамасын алуға болады. Көрсетілген схемада бірінші Z_2, Z_3, Z_4 элементтерін жұлдызшадан эквивалентті үшбұрышқа түрлендіреміз (сур. 2.3).



2.3 - сур. Үшбұрышқа түрлендіру

Содан соң алынған төртсәулелі жұлдызшаны толым төрт бұрышымен алмастырамыз.

Әрбір генератордың меншікті кедергісін табу үшін, олардың өзара әсер кедергісін параллельді қосу жеткілікті. Тәжірибеде қысқаша тұйықталуды есептегенде, көбінесе қысқаша тұйықталу нүктесінің өзара әсер кедергісін және бөлек генератордың өзара әсер кедергісі деп есептеледі.



2.4 - сур. Қысқа тұйықталу кезіндегі толық кедергіні анықтау

2.4. Қысқаша тұйықталудың қуаты

Ажыратқыштың сөндіру қабілеті номиналды кернеу кезінде, номиналды сөндіру тоғымен сипатталады немесе оның ажыратылған номиналды қуатына пропорционал

$$S_{сөнд. ном} = \sqrt{3} U_n I_{сөнд. ном} \quad (2.22)$$

Егер ажыратқышты таңдау немесе қуаты өшіру арқылы болса, онда ол қысқаша тұйықталудың қуатымен сәйкес келеді.

$$S_{қт} = \sqrt{3} U_n I_{к.т.} \quad (2.23)$$

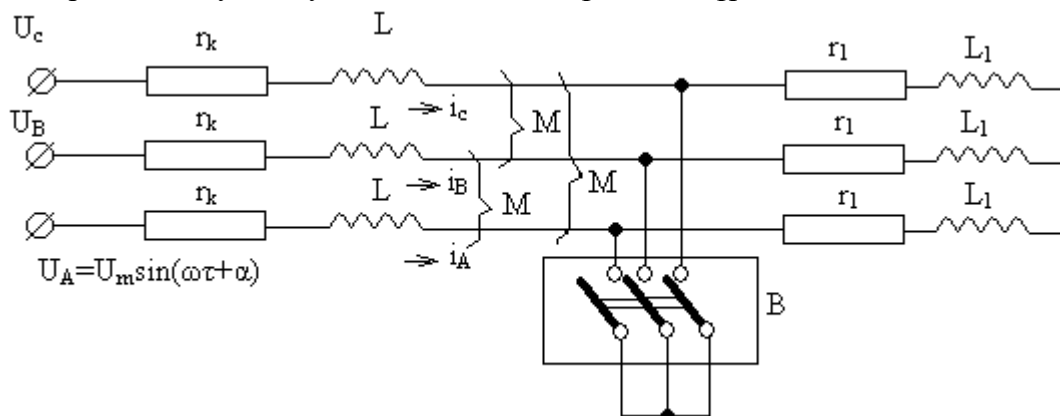
мұндағы $I_{k.m.}$ - ажыратқыштың түйіспесі ажыратылған кездегі қысқаша тұйықталу тоғы;
 U_H – баспалдақтың номиналды кернеуі, ол қысқаша тұйықталу тоғын табу үшін қолданылады.

2.5. Қарапайым үш фазалы тізбектегі өтпелі үрдіс

Қарапайым үшфазалы тізбек дегеніміз – орнықталған активті және индуктивті кедергісі бар симметриялы үшфазалы тізбек. Ол кезде трансформаторлы байланыс жоғалады. Мұндай тізбектегі электромагнитті өтпелі үрдіс шарт бойынша қарастырылады. Ол үздіксіз қуатты тоқ көзімен қоректенеді. Мұндай тоқ көзі мына жағдаймен сипатталады, яғни оның меншікті кедергісі нольге тең және оның кернеуі тұрақты жиілік бойынша өзгеріп, өзгермейтін амплитудаға ие болады. Бұл кезде сыртқы жағдайдың өзгеруінде тоқ көзінің жұмысына әсер етпейді. Тәжірибеде бұл мынадай орын алады, мысалы қысқаша тұйықталуда салыстырмалы аз қуатты қондырғыда, күрделі электромагнитті системадан қоректенеді, тез әсер ететін қоздыруды автоматты басқарудың қолданылуна көмектеседі. Тізбекте сыйымдылықтың жоқтығынан тербелмелі контур болмайды, яғни өтпелі процестің өтуін көп жеңілдетеді. Ол электротехниканың теориялық негізі (ЭТН) курсына қарастырылады, сондықтан негізгі құрылысы және қорытынды ЭТН-да шығарылады.

Көп фазалы тізбекті бір фазамен салыстыру жағдайы, бірнеше қысқартылған қабылдау есебі және қосымша факторларға көңіл бөлу. Симметриялы қарапайым үшфазалы тізбекті қарастырамыз. K нүтесінде үшфазалы металды қысқаша тұйықталу пайда болсын дейік (сурет 2.5).

Қысқаша тұйықталу пайда болғаннан кейін схема екіге бөлінеді, яғни бір – біріне салыстырмалы, бірақ байланыссыз, біреуі тізбектегі тоқ көзіне жалғанады, ал екіншісі қысқаша тұйықталу контурына ауысады, бірақ магниттік ағымның энергиясының қоры активті кедергінің жылуына ауыспаған кезде тоқ ұсталып тұрады.



2.5 - сур. Қарапайым үшфазалы электрлік тізбек

Кез – келген уақыт моментінде, мысалы A фазасы үшін мына теңдік дұрыс болады:

$$U_A = i_A r_k + L \frac{di_A}{dt} + M \frac{di_B}{dt} + M \frac{di_C}{dt}. \quad (2.19)$$

мұндағы $(i_B + i_C) = -i_A$, онда теңдіктегі фазаның индексын алып тастап, мына түрде жазуға болады:

$$U = i r_k + L_k \frac{di}{dt}, \quad (2.20)$$

мұндағы $L_k = (L - M)$ – фазаның қорытынды индуктивтілігі.

Бұл бір фазалы тізбек үшін дифференциалды теңдеу жазуға мүмкіндік береді.

Бұл теңдікті шешу ЭТН курсынан белгілі:

$$i = \frac{U_m}{Z_k} \sin(\omega \cdot t + \alpha - \varphi_k) + ce^{-\frac{r_k}{L_k} t}, \quad (2.21)$$

мұндағы Z_k – қысқаша тұйықталудың толық кедергісі;
 φ_k – тоқтың ығысу бұрышы;
 $\alpha, t=0$ болғанда A фазасы кернеуінің шамасын анықтайтын бұрыш;
 C – тұрақты, бастапқы шартпен анықталады.

Бұл формуланың (2.21) бірінші мүшесі – тоқтың периодты құраушысы – жаңа режимнің еріксіз тоғы. Екінші мүшесі – еркін аперидотты тоқтың құраушысы, ол тұрақты уақытты экспоненциалды заң бойынша өтеді.

$$T_a = \frac{L_k}{r_k} = \frac{X_k}{\omega r_k}, \quad \text{сек} \quad (2.22)$$

Аперидотты құраушының бастапқы мәні шарттан табылады, тізбектегі индуктивтілікті тоқ режимі бұзылған моментке дейін өзгермейді.

Сонымен

$$i_a = ce^{-\frac{t}{T_a}} = i_a(0)e^{-\frac{t}{T_a}} = [I_m \sin(\alpha - \varphi_k) - I_{mn} \sin(\alpha - \varphi_k)]e^{-\frac{t}{T_a}} \quad (2.23)$$

ал толық ток үшін,

$$i = i_a + i_n = I_{mn} \sin(\omega t + \alpha - \varphi_k) + i_a(0)e^{-\frac{t}{T_a}} \quad (2.24)$$

мұндағы i_n, i_a – уақыт желісіндегі $-I_m$ және I_{mn} векторларының проекциясы, $i_a(0)$ тоғы осы желідегі $(I_m - I_{mn})$ векторларының тоғы ретінде қарастыруға болады.

Сондықтан фазаның жалғасуына байланысты $I_a(0)$ -дің бастапқы мәні үлкен мәнге өзгереді, егер $(I_m - I_{mn})$ векторлары уақыт желісіне параллель болса, онда ол вектор уақыт желісіне перпендикуляр болғанда нольге тең. Үшфазалы жүйедегі мұндай шарт бір уақытты бір фазада болады. Тоқтың аперидотты құраушысының үлкен мәні тек қана фазалық қосылуына емес, тізбектегі байқалатын режимге де байланысты. Тәжірибе есептеулері кезінде, ықтималдылық және ең қарапайым байқалатын режимнің жоқ болуы қабылданады. Бұл шарт үшін толық тоқтың i_y максималды лездік мәнін табу – қысқаша тұйықталудың соғу тоғы деп аталады.

$$\frac{\partial i}{\partial t} = \omega \cos(\omega t + \alpha - \varphi_k) + \frac{1}{T_a} \sin(\alpha - \varphi_k) e^{-\frac{t}{T_a}} = 0, \quad (2.25)$$

$$\frac{\partial i}{\partial \alpha} = \cos(\omega t + \alpha - \varphi_k) - \cos(\alpha - \varphi_k) e^{-\frac{t}{T_a}} = 0. \quad (2.26)$$

$\alpha=0$ болғанда, осы екі теңдеуді біріктіріп шешсек, онда тоқтың максимум мәні мынаған тең:

$$tg(\alpha - \varphi_k) = -\omega T_a = -\frac{x_k}{r_k} = tg(-\varphi_k), \quad (2.27)$$

Сонымен қосымша тұйықталмаған тізбектегі активті кедергі және индуктивтіліктің қысқаша тұйықталу кезіндегі толық тоқтың лездік максимум мәні пайда болады. Ол кезде қысқаша тұйықталу пайда болғанда ток көзінің кернеуі ноль арқылы өтеді, көп жағдайда тізбектегі қысқаша тұйықталу $\varphi_k \approx 90$ болады. Бұл аперидотты құраушының үлкен шамасын береді, сонымен қатар толық тоққа жақын максималды шаманың болуын қамтамасыз етеді. Ендеше қысқаша тұйықталу нүктесіндегі соғу тоғын есептеу қарастырылады. Аперидотты құраушының үлкен мәнінде анықталып, ол жуықтап жарты

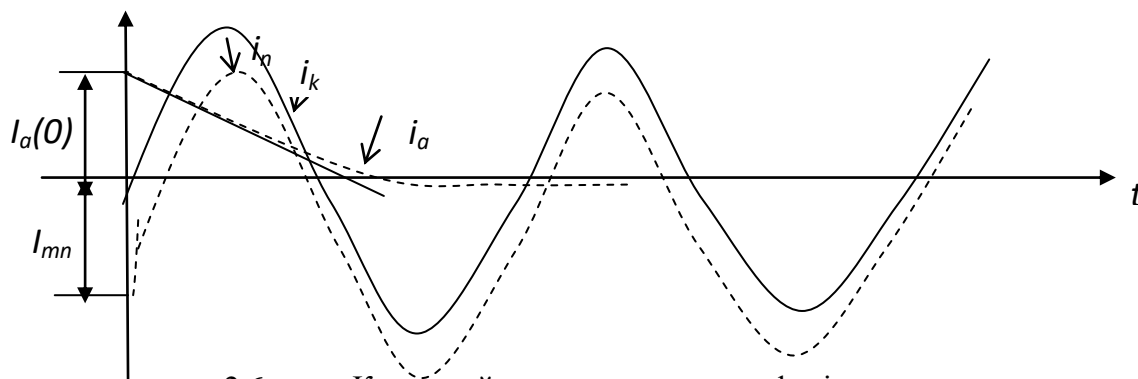
период сайын қайталанады. Егер $f=50$ Гц болса, онда қысқаша тұйықталу басталғаннан кейін, 0,01 секунд ішінде болады:

$$i_y = I_{nm} + I_{nm} e^{-\frac{0,01}{T_a}} = K_y I_{nm} \quad (2.28)$$

мұндағы $K_y = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}}$ - соғу коэффициенті.

Соғу коэффициенті $1 < K_y < 2$ аралығында орналасады (егер қысқаша тұйықталу тізбегінде сыйымдылықты кедергі болса).

$T_a=0$ ($L_k=0$); $T_a = \infty$ ($r_k = 0$), ол T_a шектік мәнге сәйкес келеді. K_y - дың x/r қатынасына байланысы анықтамада беріледі. Қысқаша тұйықталу тоғының әсерлік мәні кез – келген уақытта мына формуламен анықталады.



2.6 - сур. Қысқа тұйықталу тоғының графигі

$$I_t = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t-\frac{T}{2}}^{t+\frac{T}{2}} i_t^2 dt} \quad (2.29)$$

Бір период T ішінде орташа квадраттық мәніне ие болады. Токтың үлкен әсерлік мәні өтпелі процестің бірінші периодында болады.

Егер $I_a(0) = i_{nm}$.

$$I_y = I_n \sqrt{1 + 2(K_y - 1)^2} \quad (2.30)$$

мұндағы K_y - соғу коэффициенті .

K_y мәнін алу үшін, $1 < \frac{I_y}{I_n} < \sqrt{3}$.

2.6. Қысқаша тұйықталу тоқтарын есептеу

Қысқаша тұйықталу дегеніміз жұмыстың қалыпты режимінде қарастырылмаған кез-келген кездейсоқ немесе әдейі істелген электрлік желінің әр түрлі нүктелерінің электрлік жалғануы, ол кезде электр қондырғының тармақтарындағы тоқтар күрт жоғарылайды да ұзақтық режимінің рұқсат етілген тоғынан асады.

Үш фазалы айнымалы тоқ жүйесінде үш фазалық, екі фазалық және бір фазалық қысқаша тұйықталулар болуы мүмкін.

Олардың себептері келесідей боуы мүмкін: оқшауламаның механикалық бұзылуы – жерді қазу жұмыстары кезінде кабелдердің тесілуі және зақымдануы; фарфорлы оқшаулатқыштардың сынуы; әуе желісі тіректерінің құлауы; оқшауламаның ескіруі, яғни тозуы, ол бірте-бірте оқшауламаның электрлік қасиеттерінің нашарлауына әкеледі; оқшауламаның ылғалдануы және тағы басқа себептер.

Қысқаша тұйықталу нәтижесінде қысқаша тұйықталған тізбекте тоқтың күрт артады да жүйенің жеке нүктелерінде кернеу азаяды. Қысқаша тұйықталу жерінде пайда болған доға аппараттардың, машиналардың және тағы басқа құрылғылардың аздап немесе толығымен бұзылуына әкеледі. Қысқаша тұйықталу жеріне жалғанатын электр қондырғының тармағында тоқтың артуы тоқжүргізетін бөлшектерге және оқшаулаушыларға механикалық әсерін тигізеді. Қысқаша тұйықталудың нәтижелерін болдырмау үшін зақымдалған учаскені тезірек сөндіру керек, ол тез істейтін ажыратқыштар мен минималды уақыт ұстамаы бар релелік қорғанысы арқылы іске асырылады. Барлық электрлік аппараттар және тоқжүргізетін бөлшектер қысқаша тұйықталу тоқтары өткен кезде бұзылмайтындай етіп таңдаулары керек.

Қысқаша тұйықталу тоқтарын есептеу үшін есептік сызба құрылады – электр қондырғының жеңілдетілген бірсызықты сызба, онда барлық қоректендіру көздері, трансформаторлар, әуе және кабель желілері, реакторлар есептелінеді.

Тоқжүргізетін бөлшектерді және аппараттарды таңдау үшін қысқаша тұйықталу тоғы электр қондырғының жұмысының қалыпты режимі кезінде есептелінеді: барлық қоректену көздерінің параллель қосылуы кезінде, қосалқы станциядағы секциялық ажыратқышының жұмысының қалыпты режиміне тәуелді трансформаторлардың немесе желілердің бөлек немесе параллель жұмысы кезінде. Есептік сызба бойынша алмастыру сызбасы құрылады, онда барлық элементтер көрсетіліп, қысқаша тұйықталу тоқтарын есептеу үшін нүктелер белгіленеді. Генераторлар, трансформаторлар, әуе желісі, реакторлар алмастыру сызбаларында индуктивті кедергілермен беріледі, себебі активті кедергілері индуктивті кедергілерінен өте аз болады. Кернеуі 6 -10кВ кабель желілері, қуаты 1600 кВА және одан төмен трансформаторлар алмастыру сызбаларында индуктивті және активті кедергілермен беріледі.

Барлық кедергілер атаулы бірліктерде (Ом) немесе салыстырмалы бірліктерде есептелінеді. Кедергілерді есептеу үшін базистік шамалар беріледі: кернеу $U_{\bar{6}}$ және қуат $S_{\bar{6}}$. Базистік кернеу ретінде қысқаша тұйықталу тоғы есептелінетін сатыдағы орташа номиналды кернеуді алады.

Кесте 2.1

Электрлік тізбектің элементтерінің кедергілерін есептеу формулалары

Электр қондырғының элементі	Бастапқы шарттар	Атаулы бірліктер, Ом	Салыстырмалы бірліктер,*
Генератор	x_{*d}'' , $S_{н.г.}$, МВА	$x = x_{*d}'' \cdot \frac{U_{\bar{6}}^2}{S_{н.г.}}$	$x_{*\bar{6}} = x_{*d}'' \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{S_{н.г.}}$
	x_d'' , % $S_{н.г.}$, МВА	$x = \frac{x_d'' \% \cdot U_{\bar{6}}^2}{100 \cdot S_{н.г.}}$	$x_{*\bar{6}} = \frac{x_d'' \%}{100} \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{S_{н.г.}}$
Жүйе	$S_{к.з.}$, МВА	$x = \frac{U_{\bar{6}}^2}{S_{к.з.}}$	$x_{*\bar{6}} = \frac{S_{\bar{6}}}{S_{к.з.}}$
	$I_{н.отк.}$, кА	$x = \frac{U_{\bar{6}}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{н.отк.} \cdot U_{ср.}}$	$x_{*\bar{6}} = \frac{S_{\bar{6}}}{\sqrt{3} \cdot I_{н.отк.} \cdot U_{ср.}}$
	x_{*ci} ; $S_{н.с.}$, МВА	$x = x_{*c} \cdot \frac{U_{\bar{6}}^2}{S_{н.с.}}$	$x = x_{*c} \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{S_{н.с.}}$
Трансформатор	$x_{\bar{6}}$, %; $S_{н.т.}$, МВА	$x = \frac{x_{\bar{6}} \%}{100} \cdot \frac{U_{\bar{6}}^2}{S_{н.т.}}$	$x_{*\bar{6}} = \frac{x_{\bar{6}} \%}{100} \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{S_{н.т.}}$

Реактор	$x_{\delta}, \%$, $I_{н.р}, \text{кА}$	$x = \frac{x_p \%}{100} \cdot \frac{U_{\delta}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{н.р} \cdot U_{cp}}$	$x_{*\delta} = \frac{x_p \%}{100} \cdot \frac{I_p}{I_{н.р}}$
Әуе электр тарату желісі, кабелдер	$x_0, r_0,$ Ом/км; $L, \text{км.}$	$x = x_0 \cdot l$ $r = r_0 \cdot l$	$x_{*\delta} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2}$ $r_{*\delta} = r_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2}$

U_{δ} шкаласы: 515; 340; 230; 115; 37; 10,5; 6,3; 0,69; 0,4; 0,23 кВ.

S_{δ} базистік қуат ретінде қысқаша тұйықталу тоқтарын есептеуді ыңғайлату үшін 100 немесе 1000 МВА алынады.

Кедергілерді есептеу үшін әр элементтің осы элементтің нақты параметрлеріне тәуелді және 2.1-кесте бойынша анықталатын формулалары бар.

Кедергілерді атаулы бірліктерде (Ом) есептегенде қысқаша тұйықталу тоғы

$$I_{н.о} = U_{cp} / \sqrt{3} \cdot x_{pez} \quad (2.31)$$

мұндағы U_{cp} - қысқаша тұйықталу тоғы орналасқан сатыдағы орташа кернеу;

$x_{\delta\delta\delta}$ - қоректену көзінен қысқаша тұйықталу тоғына дейінгі қорытынды кедергі.

Егер есептеу активті кедергіні ескере отырылып жүргізілсе, онда

$$I_{н.о} = U_{cp} / \sqrt{3} \cdot z_{pez}, \quad (2.32)$$

мұндағы $z_{pez} = \sqrt{x^2_{pez} + r^2_{pez}}$ - толық қорытынды кедергі.

Кедергілерді салыстырмалы бірліктерде есептегенде қ.т. тоғы келесідей анықталады

$$I_{н.о} = I_{\delta} / x_{pez} \text{ немесе } I_{н.о} = I_{\delta} / z_{pez} \quad (2.33)$$

мұндағы $I_{\delta} = S_{\delta} / \sqrt{3} \cdot U_{cp}$ - қ.т. нүктесіндегі базистік ток.

Кернеуі 1000В-қа дейінгі желілерде тек реактивті кедергіні ғана емес сонымен қатар элементтің активті кедергісін анықтау керек.

Аппараттардың және құрылғылардың, контактілердің қ.т. жеріндегі доғаның активті кедергісін қорытынды кедергінің құрамында

$$r_n = r_k + r_a + r_{mp.m} + r_{\delta} \quad (2.34)$$

мұндағы r_k - тоқжүргізетін шиналардың контактілі жалғануларының өтпелі кедергісі;

r_a - автоматты ажыратқыштың активті кедергісі, ол расцепителдің тоқтық катушкасының активті кедергісінен және контактілердің өтпелі кедергілерінен;

$r_{mp.m}$ - ток трансформаторының бірінші ретті орамының активті кедергісі;

r_{δ} - қ.т. жеріндегі доғаның активті кедергісі.

Қорытынды активті өтпелі кедергі комплектілі трансформаторлық қосалқы станцияның төмендеткіш трансформаторының қуатына, электрлік энергияның таралу сатылары бойынша қ.т. жеріне және қ.т. жеріндегі фазалардың минималды ара қашықтығына байланысты. 2.2-кестеде комплектілі трансформаторлық қосалқы станцияның екінші ретті жағында қ.т. кезіндегі мәндері келтірілген.

Кесте 2.2

Активті өтпелі кедергінің мәндері

Трансформатордың қуаты, кВА	400	630	1000	1600	2500
Өтпелі кедергі, мОм	9,21	8,02	8,41	5,51	5,12

Берілген факторларды ескере отырып комплектілі трансформаторлық қосалқы станциядан кейінгі желінің қ.т. нүктесі үшін қорытынды активті өтпелі кедергісі алынған:

$$r_n = (2,5\sqrt{S_{mp}}k_{cm}^3 + 320a) / S_{mp} \quad (2.35)$$

мұндағы k_{cm} - қ.т.-дың саты коэффициенті;

a - қ.т. жеріндегі желінің сымдардың фазаларының ара қашықтығы, ол шамаға қ.т. жеріндегі доғаның кедергісі байланысты.

Кернеуі 1кВ-қа дейінгі қарастырылған қ.т. тізбегінің элементтерінің кедергілері базистік шарттарға келесі өрнектер арқылы келтіріледі:

егер элементтің кедергісі миллиомда берілсе,

$$x_{\bar{o}} = xU_{\bar{o}}^2 / U_{cp}^2 \quad (2.36)$$

егер элементтің кедергісі салыстырмалы бірліктерде берілсе,

$$x_{\bar{o}} = x_{*n}U_{\bar{o}}^2 \cdot 10^6 / S_{ном} \quad (2.37)$$

мұндағы $U_{\bar{o}}$ - қ.т. нүктесі орналасқан саты кернеуі, кВ;

U_{cp} - сәйкес элемент қосылған сатының орташа номианлды кернеуі;

$S_{ном}$ - элементтің номиналды қуаты, МВА.

Төмендеткіш трансформаторға дейінгі сыртқы жүйенің толық индуктивті кедергісі, төменгі кернеу сатысына келтірілген:

$$x_{c.\bar{o}} = x_c'' U_{\bar{o}}^2 / U_{cp.v}^2 \quad (2.38)$$

мұндағы $U_{cp.v}$ - трансформатордың жоғарғы кернеу орамына сәйкес келетін сатының орташа номиналды кернеуі.

Қ.т. тізбегінің қорытынды кедергілерін $r_{pez.\bar{o}}$ және $x_{pez.\bar{o}}$ активті өтпелі кедергіні ескере отырып алмастыру сызбасын түрлендіру арқылы анықтайды. Анықталған активті және реактивті қорытынды кедергілердің мәндері бойынша тоқтарды келесідей есептейді (килоамперде):

үш фазалы қ.т. тоғының периодтық құраушысының бастапқы әсерлік мәні

$$I^{//(3)} = U_{\bar{o}} \cdot 10^3 / (\sqrt{3} \cdot \sqrt{r_{pez.\bar{o}}^2 + x_{pez.\bar{o}}^2}) \quad (2.39)$$

Кернеуі 1кВ-қа дейінгі электр қондырғыларындағы үш фазалы қ.т.-дың соққы тоғы

$$i_y = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I^{//(3)} \quad (2.40)$$

мұндағы

$$k_y = 1 + \exp(-0,01/T_a), \quad T_a = x_{pez.\bar{o}} / (r_{pez.\bar{o}} \cdot \omega) \quad (2.41)$$

Пайдаланған әдебиеттер тізімі

1. Абиатаева Р.Ш., Онгар Б. Электр энергетикадағы өтпелі кезеңдер: Оқу құрал. – Алматы: 2021. – 120 б. <http://surl.li/aidbm>
2. Шабад В.К. Переходные электромеханические процессы в электроэнергетических системах. М.:Академия, 2013.
3. В.Н. Сажин, К.К. Тохтибакиев, Кнь О.А. Электрэнергетикадағы өтпелі кезеңдер. 5В071800 – Электроэнергетика мамандықтары үшін дәріс жинағы.- Алматы: АУЭС, 2011, - 62 бет.
4. С.М. Силюк, В.А. Булат, Е.В. Булойчик. Сборник задач по дисциплинам «Электромагнитные переходные процессы» и «Переходные процессы в электроэнергетических системах», Минск 2010, - 73с.
5. Садырбаев, Ш.А. Методические указания к СРСП по дисциплине «Переходные процессы в электроэнергетике»: для студентов специальности 5071800-Электроэнергетика. Алматы: КазТК, 2013 г.
6. Утешкалиева Л.Ш. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Переходные процессы в электроэнергетике»: для студентов специальности 5071800-Электроэнергетика. Алматы: КазТК, 2012 г.

Бакылау сұрақтары

1. Қысқа тұйықталу (ҚТ) дегеніміз не?
2. Симметриялы құраушы әдісінің негізгі артықшылықтары қандай?
3. Симметриялы құраушы негізгі орналасуы неде?
4. Симметриялы құраушылар әдісі бойынша бейсимметриялы режимдерді есептеу қалай жүргізіледі?
5. Бір және екі фазалы жерге қысқа тұйықталу негізіндегі ток пен кернеуді қалай анықтаймыз?
6. Тұрақты ток желісіндегі ҚТ тоқтарының сипаттары қандай.

БӨЖ –ның тапсырмалары:

Нұсқау бойынша шексіз қуаттан қоректенетін жүйенің үш фазалы қысқа тұйықталуын анықтауға есептер шығару