№5 ДӘРІС

5 апта – «Үш фазалы тізбектің симметриясын бұзылған кездегі электромагнитті өтпелі үрдістер» (2 сағат).

Дәрістің мақсаты:

Үш фазалы тізбектің симметриясын бұзылған кездегі электромагнитті өтпелі үрдістерін оқып үйрену.

5.1. Симметриялы емес өтпелі үрдіс

Қысқа тұйықталу кезінде бір симметриялы емес жүйе көлденең болуы мүмкін, немесе екі фазадағы өтпелі үрдіс кедергі арқылы тұйықталады. Қысқаш тұйықталу жермен кез келген фазаның арасындағы және қума фазадағы бірдей емес кедергіден, жәй жағдайда бір немесе бірнеше фазаның үзілуінен болады. Бұл кезде барлық қалған жүйе қатал симметриялы математикалық аппараттағы симметриялы емес қысқа тұйықталудың қиындығы, бұл кезде ротордың магниттік өрісінің пайда болуы, ол жоғарғы гормониканың тоғының спектрін береді. Фазалық шамадан айнымалы координатаға *d, q, o* өту дифференциалды теңдеуі периодты коэффициенттен құтқармайды. Симметриялы жүйедегі симметриялы емес режимді есептеу әдісінің негізгі симметриялы құраушылар әдісі, яғни кез келген симметриялы емес режим үш симметриялы қосынды ретінде қарастырылады: тура, кері, нолдік тізбекті. Бұл кезде тоқтың симметриялы құраушысы тең бірдей тізбекті кернеудегі симметриялы құраушының Ом заңына байланысты. Басқа сөзбен айтқанда тізбектің қандай да бір элементі симметриялы болып және симметриялы тоқтың құраушысына тура (I_1) кері (I_2) және нолдік (I_0) қатынаста болса, онда кедергінің тізбектілігі z_1, z_2, z_0 бұл элементтегі түсу кернеуінің симметриялы құраушысы

$$\left.\begin{aligned} \Delta U_1 &= Z_1 I_1 \\ \Delta U_2 &= Z_2 I_2 \\ \Delta U_0 &= Z_0 I_0 \end{aligned}\right\}$$

мұндағы Z_1, Z_2, Z_0 - тура, кері, нөлдік тізбекті кедергі деп аталады.

Бұлардың шамасы бір немесе басқа элементте жалпы жағдайда бірдей емес. Симметриялы емес өтпелі процесті тәжірибелік есептеу негізгі тоқ және кернеу бойынша гармониканы еске алғанда болады. Мұндай есептеу кезінде тек симметриялы құраушылар әдісін қолданамыз, ол схемадағы кері тізбекті, x_2 реактивтілігі сәйкес келетін синхронды машинаны сипаттайды. x_2 мәні жалпы жағдайда симметриялы емес түрге байланысты және бұл байланыстылық өте әлсіз, ал осы реактивтіліктің тұрақты мәні таңдап алынады. Жүйенің нолдік тізбегіне көңіл ауыстыратын болсақ, онда статорға берілетін немесе қорытынды магниттік өріс тәжірибе жүзінде нольге тең және ротормен ешқандай магниттік байланысты болмайды. Жалпы жағдайды синхронды машинаның статорының орамынан тура, кері және нолдік тоқ өтсе, онда осы кезде осы тәртіппен магниттік ағын пайда болады, ал соңында статорда ЭҚК осы тәртіппен сәйкес келеді. Бірақта бұл ЭҚК-н енгізу онша керек емес, себебі әрбір тізбектегі тоқтың шамасына пропорционал, яғни оның мәні анықталған болады, сондықтан бұл есептеуді жүргізу үшін (статордың орамында симметриялы күш орындалғанда) тура тізбекті ЭҚК-не негізделген, ал оның мәні теріс белгідегі кернеудің түсуі ретінде еске аламыз. ҚАБ тура тізбектіліктің кернеуінің сөнуін реттейді. Сонымен еріксіз симметриялы қысқа тұйықталу үшін Кирхгофтың II-ші заңының негізгі теңдеуі әр түрлі тізбектілік үшін мына түрде жазылады

$$\left.\begin{aligned} U_{K1} &= \underline{E}_{\Sigma} - Z_{1\Sigma} I_{K1} \\ U_{K2} &= 0 - Z_{2\Sigma} I_{K2} \\ U_{K0} &= 0 - Z_{0\Sigma} I_{K0} \end{aligned}\right\}$$

мұндағы $U_{K1}, U_{K2}, U_{K0}, I_{K1}, I_{K2}, I_{K0}$ - қысқаша тұйықталу орнындағы тоқ пен кернеудің симметриялы құраушысы;

E_{Σ} - қысқа тұйықталу орнындағы қатысты қорытынды ЭҚК;

$Z_{1\Sigma}, Z_{2\Sigma}, Z_{0\Sigma}$ - қысқа тұйықталу орнындағы схеманың әр тізбектілігінің қорытынды кедергісі.

Жүйе 6 белгісізден тұрады (3 тоқ, 3 кернеу). Жетілдірілмеген үш теңдеуді шекті шарт арқылы оңай алуға болады, яғни сол немесе басқа симметриялы емес зақымдануды сипаттайды.

5.2. ЭҚК – нің өтуі және синхронды машинаның реактивтілігі

Синхронды машинаның өтпелі процесінің бастапқы моменті қарастырылады, ол ротордың айналуы және индуктивтіліктің өзгеруі ешқандай роль атқармайды, ендеше бұл кезде синхронды мащинаны трансформатор ретінде қарастыруға болады. Синхронды машинадағы өтпелі үрдіс кезінде статордың тоғы екі құраушыдан тұрады: ЭҚК пайда болған периодынан және статордың ағымының өзгеруінен ротордағы ағынның өтуінің апериодынан:

а) егер магниттелу күші F арқылы болатын орамның қоздыруы бағыттас болса, онда статордың қума құраушысының тоғы оң болады;

б) егер магниттік күш арқылы берілетін 90^0 орам қоздыруынан қалатын болса, онда статордың көлденең құраушысының тоғы оң болады.

Тұрақталған симметриялы режимде синхронды машинаның роторының қума осінің магниттік ағынының балансына көңіл аударсақ, онда оның жұмысы тоқ бойынша фаза жағынан қалғанда, мына жағдайды көрсетеді, яғни ол өтпелі процестің бастапқы моментінің байлам ағыны $\varphi_d^{/} = (1-\delta_a)\varphi_{B\Sigma}$ шамаға тең. Ал байлам ағынының бір бөлігі статормен байланысқан жағдайда, статор орамындағы ЭҚК, өтпелі процестің бастапқы моментін өзінің мәнімен ұстап қалады.

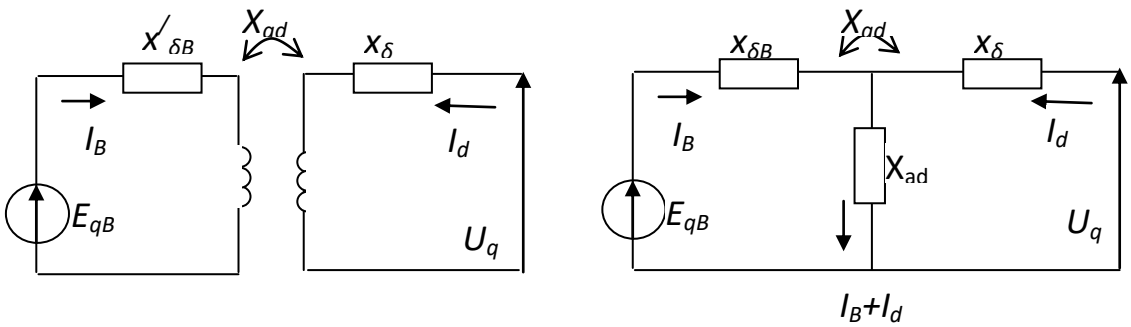
$$E'_q = U_q + j\underline{I}_d \underline{X}'_d, \qquad (5.1)$$

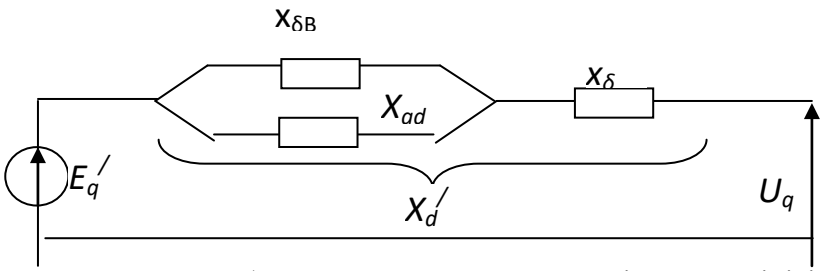
мұндағы E'_q – ЭҚК көлденең өтпелі процестің ЭҚК,

$X'_d = X_d - X^2_{ad} / (X_{\sigma в} + X_{ad})$ – бойлық өтпелі реактивтілік.

$E'(0)$ – бастапқы мәнін қарастырылған режимнің белгілі шартынан табуға болады. E'_q – шамасын өлшеуге болмайды, сондықтан ол есептелу шамасы деп аталады

$$E'_q = E_{qв} \times X_{ad} / (X_{\sigma в} + X_{ad}).$$





5.1 - сур. Бойлық ось бойынша машинаның өтпелі реактивтілігі

Жоғарғыда айтылғандардың бәрі демпферлі орамы жоқ синхронды машина үшін дұрыс болады. Демпферлі орамды машина, яғни мұндай ораммен жіберілетін қозғалтқышты және сонымен қатар тербелуге қарсы генераторды қамтамасыз етеді. Мұндай машинада қума үстем өтпелі реактивтілікті табуға болады.

$$x_d'' = x_d - \frac{x_{ad}^2}{x_{\delta 1d} + x_{ad}} = x_\delta + \frac{1}{\frac{1}{x_{ad}} + \frac{1}{x_{\delta 1d}} + \frac{1}{x_{\delta f}}}, \qquad (5.2)$$

мұндағы $X_{\sigma\, 1d}$ – демпферлі орамның қума реактивтілігі.

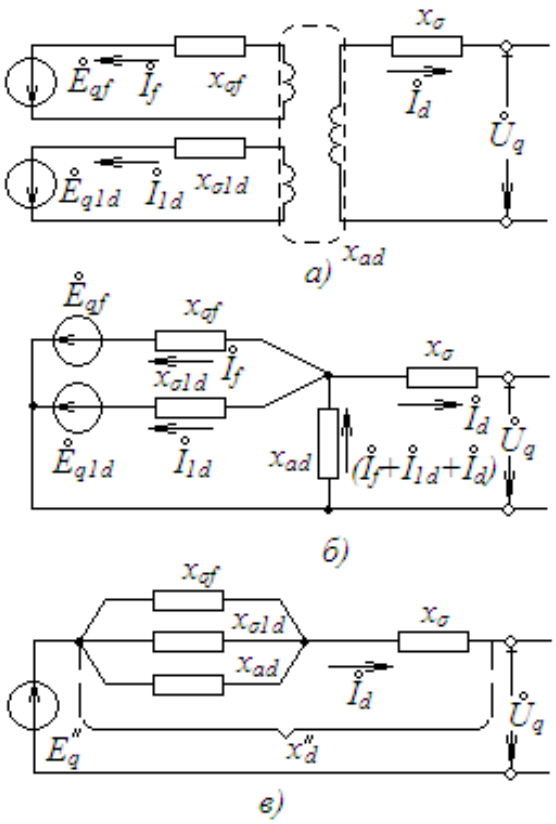
Көлденең ось бойынша X''_q көлденен жоғары өтпелі кедергісін (сур.4.3) табуға болады, себебі бұл өсте қоздыру орамы жоқ, сондықтан эквивалентті схема $X_{\sigma в}$-сы болмайды.

ЭҚК осы реактивтіліктен немесе үстем өтпелінің ЭҚК E''_d және E''_q аталатын, көлденең және қума өске сәйкес, бастапқы моменттің өзгеруіне байланысты сақтайды, яғни кездейсоқ режимнің бұзылуына дейін оның мәні мына түрде болады:

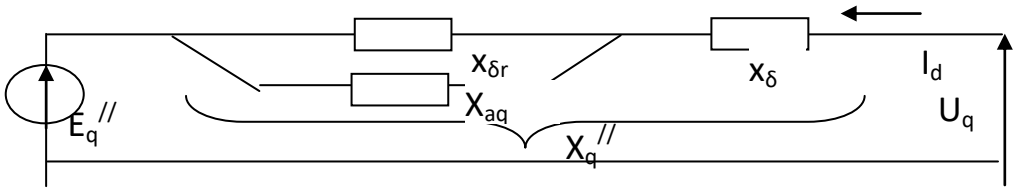
$$\underline{E}''_{d|0|} = \underline{U}_{d0} + j\, I_{q0}\, x''_q,$$

$$\underline{E}''_{q|0|} = \underline{U}_{q0} + j\, I_{d0}\, x''_d.$$

x''_d және x''_q реактивтілік машинаның параметрін сипаттайтын шама және басқа реактивтілікпен қатар оны зауыт машина дайындағанда беріледі.



5.2 - сур. Бойлық ось бойынша жоғары өтпелі реактивтілік



5.3 - сур. Көлденен жоғары өтпелі реактивтілік

5.3. Қозғалтқышпен жүктеменің сипаттамасы

Жоғарғы айтылғандардың бәрі тек қана генераторға емес, синхронды қозғалтқышқа қатысты, яғни кездейсоқ режимнің бұзылуынан, бастапқы момент ротордың қума және көлденең өсіндегі үстем өтпелінің реактивтілігі берілгенде, үстем өтпелі процесінің ЭҚК сәйкес келгенде байқалады. ЭҚК шамасы қозғалтқышта өтетін режимге байланысты. Қозғалтқыштың асқын қоздыру режимінде, жұмыс атқарылғанда үстем өтпелінің ЭҚК түсірілген кернеуден жоғары болады. Сондықтан кез – келген, тез төмендейтін кернеуді генератормен тоқ көзіне берсек, онда реактивті тоқ өседі. Егер режим қоздыруға жетпеген болса, онда осы режимде үстем өтпелі ЭҚК кернеуден кем және бұл кезде реактивті тоқты тоқ көзінен қолдануға болады. $E''_0<U_{|0|}$ оның генерациясы $E''_0>U_{|0|}$ қалыпты режим кезінде асинхронды қозғалтқыштың сырғымасы $2 \div 5\%$ болады, сондықтан кездейсоқ өтпелі үрдіс кезінде еске алуға және мұндай режимде қоздырылмаған синхронды қозғалтқыш деп қарастыруға болады. Ротордың орамының бастапқы моментіндегі байлам ағынының өзгермеуінен үстем өтпелінің реактивтілігін табуға болады. Ротордың симметриялығына байланысты бұл жерде осьті жіктеп керегі жоқ. Алмастыру схемасынан (x_{ad} - ны x_m және барлық ротрдың шашырау орамының кедергісін) үстем өтпелі реактивтілік АҚ қысқаша тұйықталудың реактивтілігін құрайды ($S=100\%$).

Осы реактивтіліктің салыстырмала шамасы

$$x'' = 1 / I_{кос} \qquad (5.3)$$

мұндағы $I_{кос}$ – қозғалтқышты реостатсыз жіберген кездегі салыстырмалы жіберу тоғы.

Қозғалтқыштың түріне және қуатына байланысты реактивтілік ($x'' = 0{,}2 \div 0{,}35$) құрайды. Үстем өтпелінің ЭҚК бастапқа мәні

$$E''_{|0|} = E''_0 = \sqrt{(U_0 \cos\varphi_0)^2 + (U_0 \sin\varphi_0 - I_0 x'')^2}\,, \qquad (5.4)$$

мұндағы U_0, I_0, φ_0 - болатын режимнің параметрлері.

Оның шамасы жуықтап мынаған тең

$$E''_0 \approx U_0 - I_0 x'' \sin\varphi_0. \qquad (5.5)$$

Кездейсоқ бұзылу режимінің бастапқы моментінде асинхронды қозғалтқыштың қатысуы мынандай жағдаймен анықталады: E''_0 және $U_{(0)}$. Тәжірибелік есептеу кезінде режимнің бұзылуының бастапқы моменті тең күрделі қозғалтқышта еске алынады.

Ал қалған басқа қозғалтқыштар басқа тоқ қабылдағыштарымен қатар тек күрделі жүктеме ретінде қабылданады, яғни асқын өтпелі процестің реактивтілігін жуақтап сипаттайды және толық жұмыстың қуат кезіндегі салыстырмалы ЭҚК және орташа номиналды кернеу кезінде жуықтап құрайды:

$$x''_{нагр} = 0{,}35; \;\; E''_{нагр} = 0{,}85.$$

Пайдаланған әдебиеттер тізімі

1. Абитаева 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. Алмты: КазТК, 2013 г.

6. Утешкалиеа Л.Ш. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Переходные процессы в электроэнергетике»: для студентов специальности 5071800-Электроэнергетика. Алмты: КазТК, 2012 г.

Бақылау сұрақтары

1. Үш фазалы ҚТ кезіндегі ток өзгеруіне генератор ҚАР қалай әсер етеді?
2. Соққы ток деп нені айтамыз және қандай жағдайларда пайда болады?
3. Соққы коэффицент қандай параметрлерге тәуелді?
4. Өтпелі және жоғары өтпелі ҚТ тоқтарының айырмашылығы.

Уақыттың туынды моменті кезінде ҚТ тоғын аналитикалық анықтауға болады ма?

БӨЖ –ның тапсырмалары:

Симметриялы емес ҚТҚ зерттеудегі негізгі қағидаларды оқып меңгеру