

№3 ДӘРІС

3 апта – «Қысқа тұйықталудың тұрақты күйі» (2 сағат).

Дәрістің мақсаты:

Қысқа тұйықталудың тұрақты күйін оқып үйрену.

3.1. Синхронды машинаның орнықталған жұмыс режимі

Жұмыс режимін қарастыру үшін алдағы уақытта, тұрақты амплитудалы синусоидалы кернеулі тоқ көзіне жалғанған тізбек қарастырылды. Мұндай жағдайда өтпелі үрдіс тізбекте тоқтың апериодты еркін құраушысының өшуін сипаттайды, ал периодты құраушысы еріксіз немесе орнықталған тоқты құрайды. Бұл жағдайда егер қысқаша тұйықталу генератордан салыстырмалы қашықтықта болатындай болса, онда генераторға жақындаған сайын параметрдің жіберілуі дұрыс болмайды. Якорь реакциясының ұлғаюы, генератордағы кернеудің кемуіне әкеледі, ол генератордың параметрімен анықталады және қысқаша тұйықталудан қашықтайды. Генератордың қоздырылуы автоматты реттеу бөлігін немесе кернеудің кемуін толық компенсациялайды, яғни қоздыру тоғы өседі. Өтпелі процестің орнықталған режимі дегеніміз қысқаша тұйықталу тоғындағы барлық басталу еркін процесінің өшуі және ҚАБ – ның әсерімен қоздыру тоғының көтерілуінің толық өтуі.

3.2. Синхронды машинаға қатысты негізгі сипаттама және параметрі

Симметриялы орныққан режимде синхронды машинаның параметрі және негізгі сипаттамасы дегеніміз:

- а) бос жүрісті сипаттама (сур.3.1);
- б) X_d қума және X_q көлденең кедергілердің осі арқылы реактивті синхронды қанықпауы (турбогенератор үшін $x_d=x_q$);
- в) X_s – статордың реактивті шашырауы.

X_d орнына қысқаша тұйықталу қатынасының ($ҚТҚ$) берілуі мүмкін, ол шығу бөлігінде үшфазалы қысқаша тұйықталудың салыстырмалы орныққан тоғы беріледі, ал салыстырмалы қанығу тоғы $I_f=1$ (сур. 3.1).

$$ҚТҚ = I_{I_f=1} / I_n$$

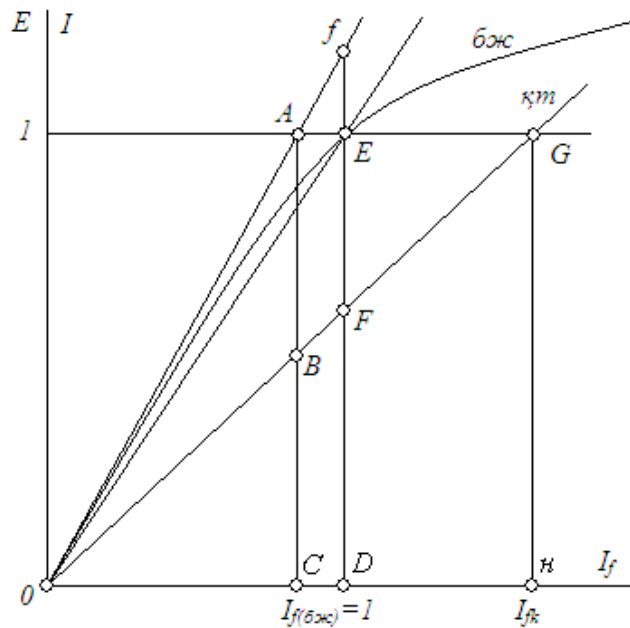
$ҚТҚ$ шамасы $I_f=1$ болғанда үш фазалы қысқаша тұйықталу сипаттамасының өтетін ордината нүктесін анықтайды.

$ҚТҚ$ мен X_d арасындағы байланыс қысқаша тұйықталу шартынан машина қысқыштарына беріледі.

$$X_d = c / ҚТҚ ,$$

мұндағы c – қанықпаған ЭҚК – нің E_q салыстырмалы мәні.

Егер $I_g=1,0$ болғанда турбогенератор үшін $c=1,2$; $OK3=0,2$, гидрогенератор үшін $c=1,06$; $ҚТҚ=1,1$.



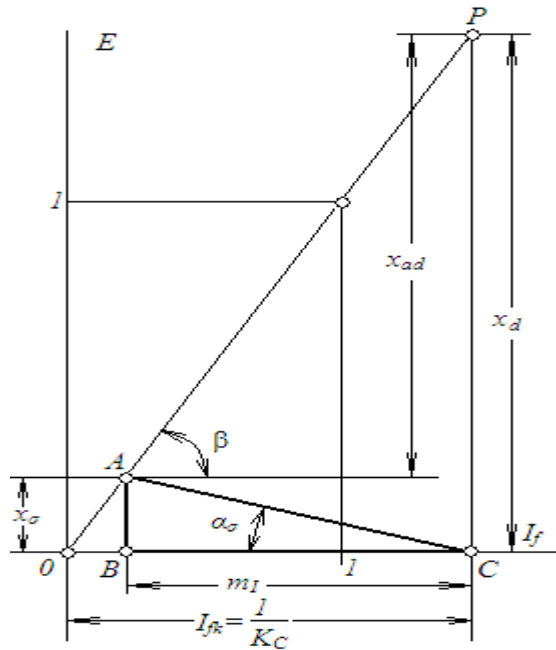
3.1 - сур. Үш фазалы қысқаша тұйықталу сипаттамасы

Полюсты машина үшін: X_q қанығумен өте әлсіз байланыста болады. ($X_q=0,6X_d$) кума кедергі $X_d = X_{ad}+X_s$ қанығу кезінде көп өзгереді, ал X_{ad} – якорь реакциясының кедергісі, соған қарамай қысқаша тұйықталудың орнығу тоғын жуықтап есептейміз, мұнда X_d жуық түрде тұрақты болып саналады. Сондықтан қанықпаған сипаттаманың орнына түзу координата басынан өтетін етіп алынады, бұл кезде $E_0=I_f$ және $X_d = 1/ҚТҚ$ қанықпаған реактивтілік өте аз, яғни паспорттың мәні арқылы өтеді. X_d және $ҚТҚ$ –ны біле отырып, негізгі реактивті үшбұрыш тұрғызуға болады, мұндағы с нүктесі салыстырмалы қоздыру тоғының орналасуын анықтайды $I_f = \frac{1}{O}$.

Сипаттамадағы A нүктесі C нүктесінен салыстырмалы реактивті шашырау X_s шамасымен анықталады (сур.3.2).

B нүктесі I_f осіндегі A нүктесінің проекциясы. Горизонтальді катет BC кума реакцияны анықтайды, фаза бойынша номиналды тоқтың өтуін масштаб бойынша тұрғызамыз. Қоздыруды автоматты басқарумен (ҚАБ) жабдықтау машина үшін сипатталатын параметр дегеніміз – шектелген қоздыру тоғы (қоздыру шегі) I_{fnp} .

Ал электрлік машинадағы бұл тоқтың шамасы салыстырмалы ($I_{fnp}=3 \div 5$). Ол тізбектегі қоздыру орамының қысқартылған реостатындағы орнын алады.



3.2 - сур. Негізгі реактивті үшбұрыш

3.3. Векторлық диаграмма

Айқын полюсті машинаның X_d және X_q орнықталған режим кезіндегі тоқ пен кернеу әсерін жалпы жағдайда қарастырамыз. Қалатын тоқ кезіндегі статор орамының активті кедергісі жоқ деп есептесек (активті - индуктивті жүктемеде) онда келесі векторлық диаграмма мына түрде болады (сурет 3.3).

E_q – абсолютті шамасы үшін векторлық диаграммадан мынаны көреміз

$$E_q = I_d X_d + U_q = I_d X_d + I_d X_{\text{вн}} + I_q r_{\text{вн}} \quad (3.1)$$

$$I_q = I_d \text{ctg} \Psi = I_d \times r_{\text{вн}} / x_q x_{\text{вн}} ;$$

мұндағы

$$r_{\text{вн}} = z_{\text{вн}} \cos \varphi.$$

$$x_{\text{вн}} = z_{\text{вн}} \sin \varphi.$$

Ішкі тізбектің активті және реактивті кедергілерді ескере

$$I_d = E_q (x_q + x_{\text{вн}}) / (x_d + x_{\text{вн}}) (x_q + x_{\text{вн}}) + r_{\text{вн}}^2 ,$$

$$I_q = E_q r_{\text{вн}} / (x_d + x_{\text{вн}}) (x_q + x_{\text{вн}}) + r_{\text{вн}}^2 . \quad (3.2)$$

Онда толық ток

$$I = \sqrt{I_d^2 + I_q^2} = \sqrt{(x_d + x_{\text{вн}})^2 + r_{\text{вн}}^2} E_q / (x_d + x_{\text{вн}}) (x_q + x_{\text{вн}}) + r_{\text{вн}}^2 \quad (3.3)$$

$x_d = x_q$ болғанда,

$$I = E_q / \sqrt{(x_d + x_{\text{вн}})^2 + r_{\text{вн}}^2} \quad (3.4)$$

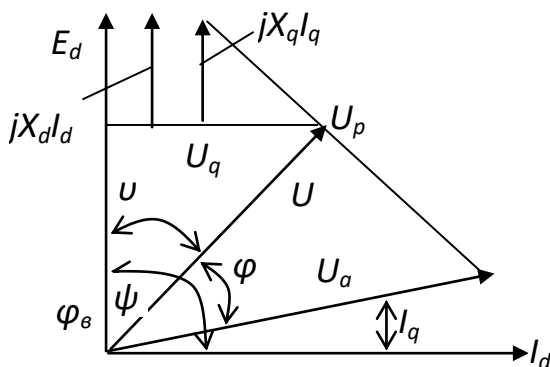
(3.3) теңдік бойынша токтың қатынасын қарастырамыз ($x_d \neq x_q$), ал (3.4) теңдіктегі ток үшін ($x_d = x_q$). Айқын полюстің оң жоғарғы түрде болуы $x_{\text{вн}} = 0$ болады, $x_q = a x_d$, $r_{\text{вн}} = b x_l$, белгілеп мына шаманы аламыз.

$$\lambda = \frac{I(X_d \neq X_q)}{I(X_d = X_q)} = \sqrt{1 + \left[\frac{(1-a)b}{a+b^2} \right]^2} \quad (3.5)$$

a берілген кезде және $\frac{\partial \lambda}{\partial b}$ - дан $v = \sqrt{a}$ немесе $x_q/x_d = 0,6$, бұл кезде $\lambda_{max} = 1,03$ – тең.

$$F_{\text{дт}} = \sqrt{x_d x_q} \quad \text{бұдан} \quad \lambda_{max} = i + a / 2\sqrt{a}. \quad (3.6)$$

Жағымсыз жағдайда әр түрлі нүктеде қысқаша тұйықталу 3% құрайды. Сондықтан айқын полюсникті еске алу онша қажет емес, яғни барлық машина үшін $x_d = x_q$ және есептеуді қума, көлденең құраушыларға бөлмей жүргізу керек.



3.4. Жүктеменің әсері жән θ ны еске алу

3.3 - сур. Векторлық диаграмма

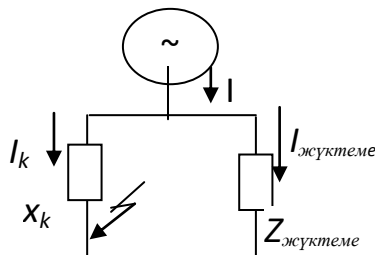
Қысқаша тұйықталудың ақты болады, яғни жүктемелі генератор бос жүріске қарағанда, үлкен қоздыруға ие болады, және жүктеме тоқ көзіне жалғанып, схемадағы үлкен токтың таратылуын өзгертеді. Жүктеме зақымдалған тармақты шунттайды және сыртқы кедергіні кемітеді. Бұл генератордағы токтың көбеюіне, ал кернеудің кемуіне әкеледі, сонымен қатар қысқаша тұйықталу орнындағы токтың кемуіне пропорционал болады.

Егер жүктеме статикалық қабылдағыштан тұрса, онда оны еске алу онша қиындыққа әкелмейді.

Бірақ өндірістік практикада жүктеме асинхронды қозғалтқыштан және басқа кедергілерден тұрады. Ол сырғымаға байланысты, ал ең соңында авариялық режимдегі кернеуге байланысты анықталатын токтың функциясы болады. Барлық байланыс сызықты емес қарапайым жағдайда (бір жүктемеде) тізбектей жуықтау әдісін қолданамыз.

Ал үлкен мәнде бұл әдісті қолдану онша қолайлы емес, себебі күрделі схемада жүктемені тура еске алу мүмкін емес.

Сондықтан жүктеменің есебін жеңілдету үшін, оны тұрақты кедергі ретінде қарастырамыз (сурет 3.4).



3.4 - сур. Қысқаша тұйықталуды анықтау

Жүктемені еске алмау үлкен бұрмалауға әкеледі, ендеше еске алу керек. Жүктеменің әсерін жақсы көрсету үшін (3.2) теңдеуді график түрінде екіге бөлеміз:

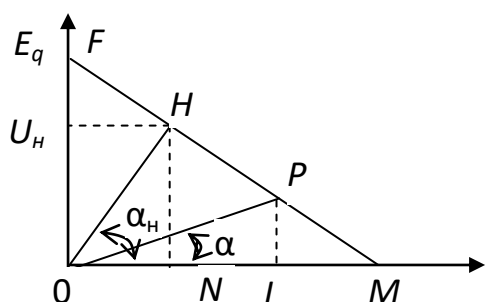
$$U_q = E_q - X_d I_d, \quad (3.7)$$

$$U_q = I_d (x_{\text{вн}} + r_{\text{вн}}^2 / x_q + x_{\text{вн}}). \quad (3.8)$$

теңдік кернеудің бір құраушысының сыртқы сипаттамасын береді.

$U_q = f(I)$ – FM түзуі (бос жүріс сипаттамасының түзу сызығын көрсетеді). Екінші теңдеу он қисығына сәйкес келеді. α - көлбеуі кедергі қосындысын анықтайды.

$$\operatorname{tg} \alpha = x_{\text{вн}} + r_{\text{вн}}^2 / (x_q + x_{\text{вн}}).$$



(3.7), (3.8) теңдіктерін біріктіріп **3.5 - сур. Жүктеменің әсері** ын береді (сур.3.5). H нүктесінің FM бойынша жоғары қозғалуы $I_b = \text{const}$ сақтай отырып, жүктеме шамалы кемігенде болады, ал төмен қозғалғанда жүктеменің ұлғаюынан немесе, $z_{\text{вн}}$ кемуінен, яғни тоқ көзінің кез – келген нүктесінде қысқаша тұйықталу орын алады.

Сондықтан қысқаша тұйықталу кезінде OP көлбеуі аз қалыпты жүктемеге (OH) қарағанда қалыпты режимде жүктеменің кедергісін есептеу оңай, ал қысқаша тұйықталуда активті кедергі еске алынбайды, ендеше

$$U_H = E_q - I x_d; \quad U_H > I x_{\text{жүкт}}, \text{ онда } x_{\text{жүкт}} = x_d \cdot U_H / (E_q - U_H);$$

Индуктивті режим кезінде генератор тұрақты. Типті генератор үшін жүктеменің реактивті салыстырмалы мәні анықталған $X_{\text{жүкт}} = 1, 2$.

Бұл шама тәжірибелік есептеуде қолданылады, яғни оны жүктеменің толық жұмыстық қуатына қатысты деп есептеп, орташа кернеудің берілген жүктемеге жалғанған кезінде байқалады.

3.5. Қоздыруды автоматты басқарудың жоқ кездегі есептеу

Үшфазалы қысқаша тұйықталу кезіндегі орнықталған режимді есептеу еске алынған. Негізгі шаманың жіберілуіне байланысты және генератордағы ҚАБ – ның жоқ болуы сызықты схемадағы барлық элементтері белгілі болғанда, оған түсірген ЭҚК кездегі тоқ пен кернеуді табу. Алмастыру схемасын құру үшін жүктемені біріктіріп, схеманың күрделі түйініне жалғаймыз, содан соң түрлендіру әдісін қолданып, ЭҚК түсірілген қысқаша тұйықталу нүктесіне қатысты қорытынды кедергіні табамыз.

$$I_k = E_{\Sigma} / Z_{\Sigma} = E_{\Sigma} / \sqrt{(r_{\Sigma}^2 + x_{\Sigma}^2)} \quad (3.9)$$

Егер r еске алынбаса есептеу көп жеңілделеді. Генератордың қоздырылуы берілмесе, яғни ЭҚК белгісіз болса, онда оны қарапайым векторлық диаграммадан анықтауға болады.

$$E = \sqrt{(U \cos \varphi)^2 + (U \sin \varphi + I \cdot x_d)^2}, \quad (3.10)$$

мұндағы $U, I, \cos \varphi$ - болатын режимге сәйкес шамалар.

3.6. Қоздыруды автоматты басқарудың әсері

Орнықталған қысқаша тұйықталу режиміндегі тоқ пен кернеу шамасына ҚАБ-ның әсерін қарастырайық. Қысқаша тұйықталу кезінде ҚАБ - генератордың қоздырылуын көбейтеді, сондықтан бұл жағдайда тоқ пен кернеудің шамасы ҚАБ жоқ кездегіден көп болады. Көбеюдің дәрежесі әрқашанда үлкен және қысқаша тұйықталу орнына, қашықтығына және генератор параметріне байланысты. Қысқаша тұйықталу алыстағанда кернеудің түсуі азаяды және қоздырылуында онша көпке ұлғайтуға болмайды. Қысқаша тұйықталу жақындаған сайын кернеудің түсуі көп және қоздыруды ұлғайту керек. Қоздырудың өсуі белгілі бір шектікте болады. $I_{в.нр}$ φ_z аргументінің әр мәніне сыртқы тізбекті орнықтандыру қажет. Қысқаша тұйықталу кезіндегі кедергінің аз мәнінде генератор шекті қоздыруды өзінің шығатын бөлігінде нормальді кернеуді қамтамасыз етеді. Мұндай кедергі кризистік деп аталады. $Z_{кр}$ берілген φ_z аргументінде орындалады. Кризистік кедергінің аз жағдайында немесе шекті қоздыруда кернеу номиналды шамадан кем болады. Қысқаша тұйықталу кезінде генератордың шығатын бөлігінде кернеу кез – келген қоздыруда нольге тең. Сонымен қысқаша тұйықталу орнықталған режимде генератор ҚАБ – мен сыртқы кедергіге байланысты болса, шекті қоздыруда жұмыс жасайды, немесе аз шекті қоздыруда қалыпты шамаға жетеді.

Егер $z_{вн} \leq z_{кр}$, онда генератор (φ_z шамасында) шекті қоздыруда жұмыс жасайды және тоқты мына жағдайда анықтайды.

$$I = E_{qnn} / \sqrt{r_{вн}^2 + (x_d + x_{вн})^2}, \quad (3.11)$$

мұндағы E_{qnp} – шекті қоздыру кезіндегі ЭҚК ($E_{qnp} = I_{внр}$).

Егер $z_{вн} \geq z_{кр}$ (φ_z шамасында) генератор нормальды режимінде жұмыс істейді, бұл кезде кернеу нормальды және тоқ мына түрде анықталады:

$$I = U_n / x_{вн}.$$

Кризистік кедергі шамасын сипаттау үшін:

$$r_{вн} = z_{кр} \cos \varphi_z; \quad x_{вн} = z_{кр} \sin \varphi_z.$$

Тоқ үшін формуланың оң жағын теңестіреміз.

$$E_{qnn} / \sqrt{(z_{кр} \cos \varphi_z)^2 + (x_d + z_{кр} \sin \varphi_z)^2} = U_n / z_{кр}. \quad (3.12)$$

Бұдан

$$z_{кр} = x_d \times \sin \varphi_z + \sqrt{\sin^2 \varphi_z + (E_{qnp}^2 / U_n^2 - 1)} / (E_{qnp}^2 / U_n^2 - 1) \quad (3.13)$$

Бұл кедергіге сәйкес тоқ

$I = U_n / z_{кр}$ – кризистік тоқ деп аталады.

Таза активті сыртқы тізбек үшін $\sin \varphi_z = 0$

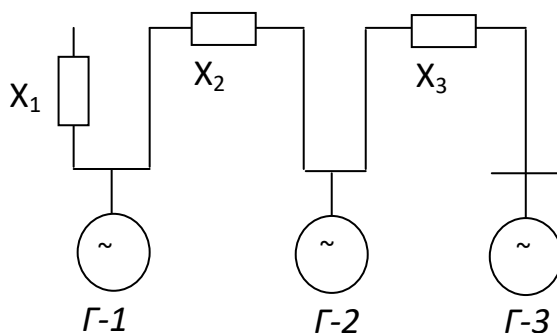
$$Z_{кр} = r_{кр} = x_d / \sqrt{E_{qnn}^2 / U_n^2 - 1} \quad (3.14)$$

Ал таза индуктивті сыртқы тізбек үшін $\sin \varphi = 1, 0$

$$Z_{кр} = x_{кр} = x_d / (E_{qnp} / U_n - 1). \quad (3.15)$$

3.7. Қоздыруды автоматты түрде реттеуді есептеу

Жоғарғыда айтылғандай ҚАБ – лы генератор болатын режимнің бір мәнді бағасының критеріі ішкі тізбектің $Z_{вн}$ кедергісі сол аргументтегі φ_z кризистік кедергімен сәйкес келген кезде болады. Мұндай сәйкестілік схемада бір ғана генераторда болады. Күрделі схемада ішкі кедергі әр генераторға қатысты мағынасын жояды. Сондықтан шешімді тізбекті жуықтау әдісімен жүргізуге болады. ҚАБ – лы әр генераторға қысқаша тұйықталу орнына қатысты немесе қоздырудың шекті режимінде берілетін; яғни оның схемасына E_{qnp} және x_d параметрлерін беріп, немесе нормальды кернеулі режимде, $E_q=U_n$ және $x=0$ схемаға параметрін берсек, содан соң алынған режимде тексеру керек.



3.7 - сур. Қоздыруды автоматпен реттеу

Егер тексеру қорытындысында алынған генератордың режимі дұрыс болмаса, онда қайта есептеу керек. Бұл кезде берілген схеманың жұмысына байланысты, бөлек генератордың қысқаша тұйықталуын қарастырған кезде, анализ жасаған дұрыс.

Мысалы мына схемада (сур.3.7) $\Gamma-1$ генераторы үшін шекті қоздыру режимін алу өте қажет, себебі егер $x_1 < x_{кр}$ бұл генератор үшін схемада басқа генераторға байланысты емес. Оған қалыпты кернеу режимін берсек, оны оңай көруге болады. Бұл кезде $\Gamma-2$, $\Gamma-3$ генераторлары іске қосылмайды және тоқ тек $\Gamma-1$ генераторы арқылы беріледі. Бірақ x_1 берілген шамасында бұл тоқ $I_{кр}$ тоғынан көп болады, ол қалыпты кернеу режиміне қарама-қайшы болады. Егер $x_1 + x_2$ шамасы $x_{кр}$ жуық немесе үлкен болса, $\Gamma-2$ генератор үшін қалыпты кернеу режимі алынады, ал $x_1 + x_2 < x_{кр}$ болғанда, онда шекті қоздыру режимі қолданылады да, басқа генератор үшін де орындалады. Сонымен қатар ол уақытты жүктеме өткізгіштікті ұлғайтады, оның генератор тізбегіне жалғанғанда және оның жұмысы қысқаша тұйықталу режимінде пайда болады. Бұны ҚАБ-лы генератордың мүмкіндік режимін бағалау үшін де қолданылады.

Егер схемада ҚАБ-сыз генератор болса, онда ол схемаға x_d және ЭҚК E_q енгізіледі. Активті кедергіні еске алғанда есептеу өте күрделі болады. Бұл комплекстің пайда болуымен ғана байланысты емес, сонымен қатар қалыпты режимнің фазасының өзгеруімен байланысты.

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.

Бақылау сұрақтары

1. ҚТ нүктесін синхронды (асинхронды) қозғалтқыштармен толықтырған кезде есептеу қалай жүргізіледі?
2. Кернеуі 1 кВ дейін электр желісіндегі ҚТ тоқтарының есептеу ерекшеліктері қандай?
3. Кернеуі 1 кВ дейінгі желідегі әр түрлі мәніндегі электр энергиясын тарату сатысындағы ҚТ негізінде активті өтпелі кедергіні қалай анықтайды?

БӨЖ –ның тапсырмалары:

АРВ тағайындалуы мен жұмыс әстеу принципін оқып меңгеру. Презентация дайындау