Электр машиналары және электр жетегі



Профессор Досболаев М.Қ.

Электр машиналарының механикалық сипаттамалары

Электр қозғалтқыштардың жұмысын бағалаудағы маңызды қасиетерінің бірі олардың электр магниттік моментімен айналу жиілігі (сырғуы) арасындағы өзара байланыс арқылы анықталатын *механикалық сипаттамалары* $M = f(s)$.

$$s = \frac{(n_1 - n_2)}{n_1}$$

s – сырғу коэффициенті; n_2 – ротордың айналу жиілігі

Электр қозғалтқышты механизмдер



Электр бұрғысы

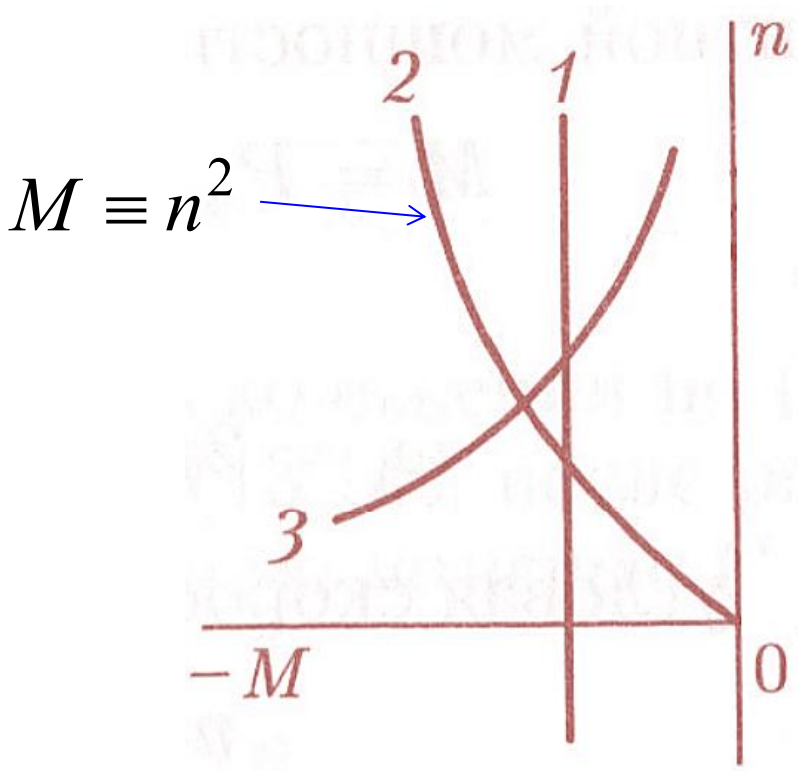


Электр қайрақ



Жүк көтергіш

Әртүрлі жүктемелердің қозғалтқыш роторының білігіне түсіретін статикалық моментінің (M_c) ротордың айналу жиілігінен (n) тәуелділігі



1 сурет. Механикалық сипаттама

1 – жүк көтеруге арналған крандар (масса тұрақты болса өзгеріссіз қалады)
2 – желдеткіштер, центрден тепкіш сорғылар
3 – метал жонуға арналған құрылғылар (гиперболалық тәуелділік)

АҚ электр магниттік моменті

$$M = \frac{P_{эм}}{\omega_1} = 9.55\frac{P_{эм}}{n_1}, (8)$$

$$n_1 = \frac{60}{2\pi}\omega_1$$

Айналыстың синхронды бұрыштық жылдамдығы:

$$\omega_1 = \frac{2\pi n_1}{60} = \frac{2\pi f_1}{p}\left[\frac{\text{рад}}{\text{с}}\right]$$

Синхронды айналу жиілігі:

$$n_1 = 9.55\omega_1$$

$P_{эм}$ – электр магниттік қуат

АҚ электр магниттік моменті

Электр магниттік шығын:

$$P_{э2} = sP_{эм} \rightarrow P_{эм} = P_{э2}/s$$

Ротордағы электрлік шығын:

$$P_{э2} = m_2 I_2^2 r_2 = m_1 I`_2^2 r`_2$$

$$M = \frac{P_{эм}}{\omega_1} = \frac{P_{э2}}{(\omega_1 s)} = \frac{m_1 I`_2^2 r`_2}{(\omega_1 s)}, (9)$$

асинхронды қозғалтқыштың электр магниттік моменті ротор орамасындағы электрлік шығындарға пропорционал

$P_{эм}$ – электр магниттік қуат; s – сырғу коэффициенті

АҚ электр магниттік моменті

Ротордың келтірілген тогы:

$$\dot{I}_2` = \frac{U_1}{\sqrt{\left(\frac{r_1 + r`_2}{s}\right)^2 + (x_1 + x`_2)^2}}$$

$$M = \frac{P_{э2}}{(\omega_1 s)} = \frac{m_1 I`^2_2 r`_2}{(\omega_1 s)}, (9)$$

$$\omega_1 = \frac{2\pi n_1}{60} = \frac{2\pi f_1}{p} \left[\frac{\text{рад}}{\text{с}}\right]$$

$$M = \frac{m_1 U_1^2 r`_2 p}{2\pi f_1 s[(r_1 + r`_2/s)^2 + (x_1 + x`_2)^2]} [\text{Н} \cdot \text{м}]. (10)$$

$r_1, r`_2, x_1, x`_2$ орын басу сұлбасының параметрлері

m_1, f_1, U_1, p

тұрақтылар

Асинхронды қозғалтқыштың максимал моменті

Максимал моментке сәйкес келетін сырғудың критикалық шамасын $(s_{кр})$ анықтау үшін (10) өрнектің бірінші туындысын алып нөлге теңестіру керек:

$$dM/ds = 0$$

$$s_{кр} = \pm \frac{r`_2}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x`_2)^2}} . (11)$$

қозғалтқыш

$$M_{max} = \pm \frac{m_1 U_1^2 p}{4\pi f_1 [\pm r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x`_2)^2}]} . (12)$$

генератор

$$r_1 \ll (x_1 + x`_2)$$

Біздің жағдайда r_1=19 Ом (қуатты АҚ төмен болады), x_1=35 Ом

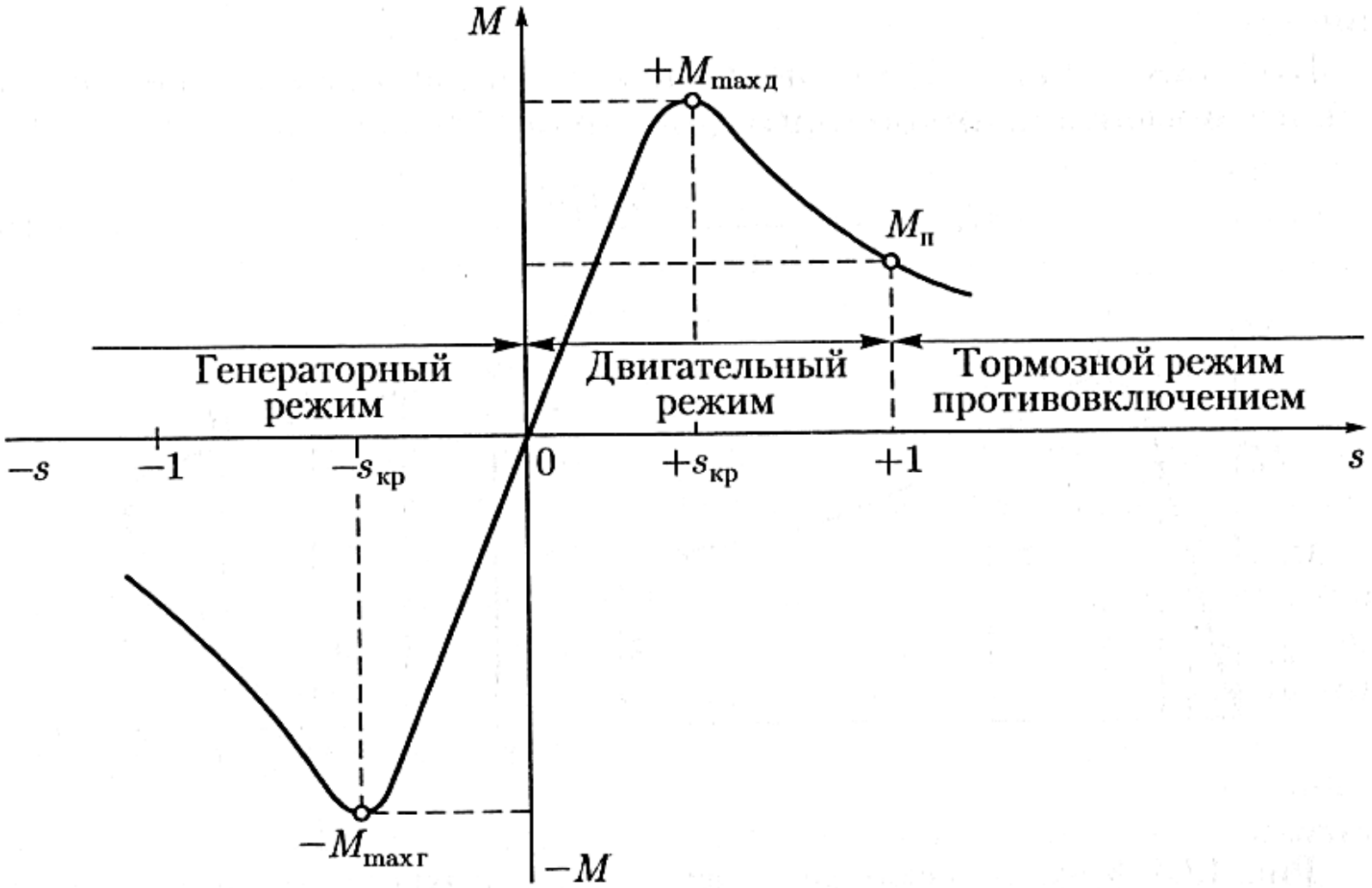
Критикалық шамалар

$r_1 \approx 0$

$$s_{кр} \approx \pm \frac{r`_2}{(x_1 + x`_2)}, (13)$$

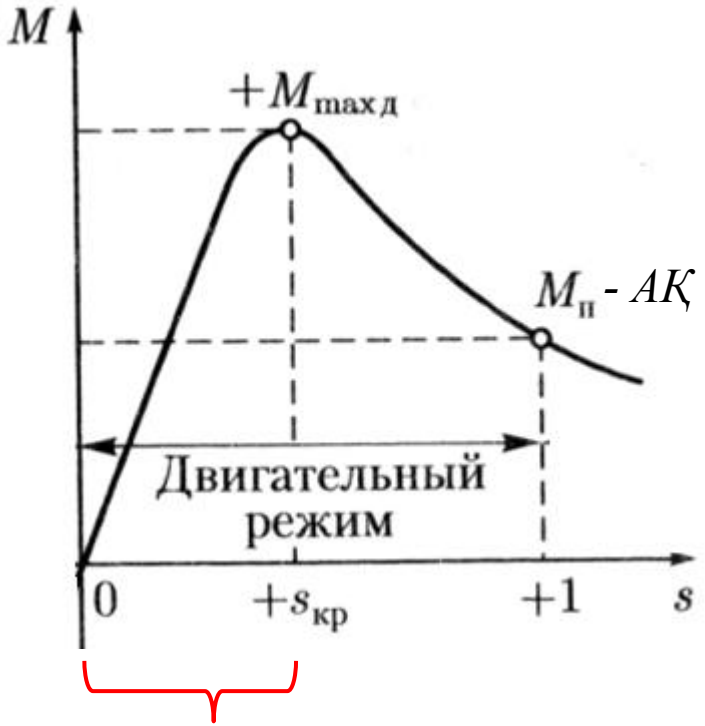
$$M_{max} = \pm \frac{m_1 U_1^2 p}{4\pi f_1 (x_1 + x`_2)}. (14)$$

АҚ механикалық сипаттамасы



2 сурет

АҚ механикалық сипаттамасы



экономикалық тұрғыдан тиімді режим

АҚ орнықты жұмыс істеу үшін:

$$M_c < M_{max}$$

АҚ артық жүктелу қабілеттілігі:

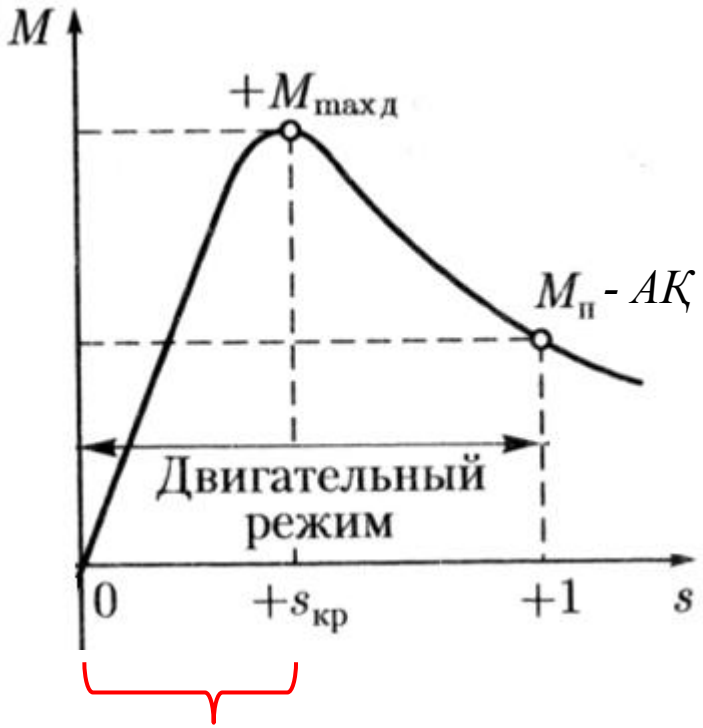
$$\lambda_M = \frac{M_{max}}{M_{ном}} = 1.7 \div 2.5$$

Бос жүріс кезіндегі ($s \approx 0$) момент подшипниктермен щеткалар тудыратын үйкеліс моментін ($M_{үй}$), және желдеткіш әсерінен болатын моменттерді компеенсациялауға кетеді.

Осылайша экономикалық тұрғыдан тиімді режим, яғни номинал момент ($M_{ном}$) *0* мен $+s_{кр}$ аралығы.

M_c – статикалық момент

Механикалық сипаттамаға желі кернеуінің әсері



экономикалық тұрғыдан тиімді режим

$$(M \equiv U_1^2)$$

Желі кернеуі номиналға қатысты 10 %-ға төмендегенде:

$$U_1 = 0{,}9 \cdot U_{\text{ном}}$$

Қозғалтқыштың электр магниттік моменті 19 %-ға төмендейді:

$$M` = 0{,}9^2 M = 0{,}81M$$

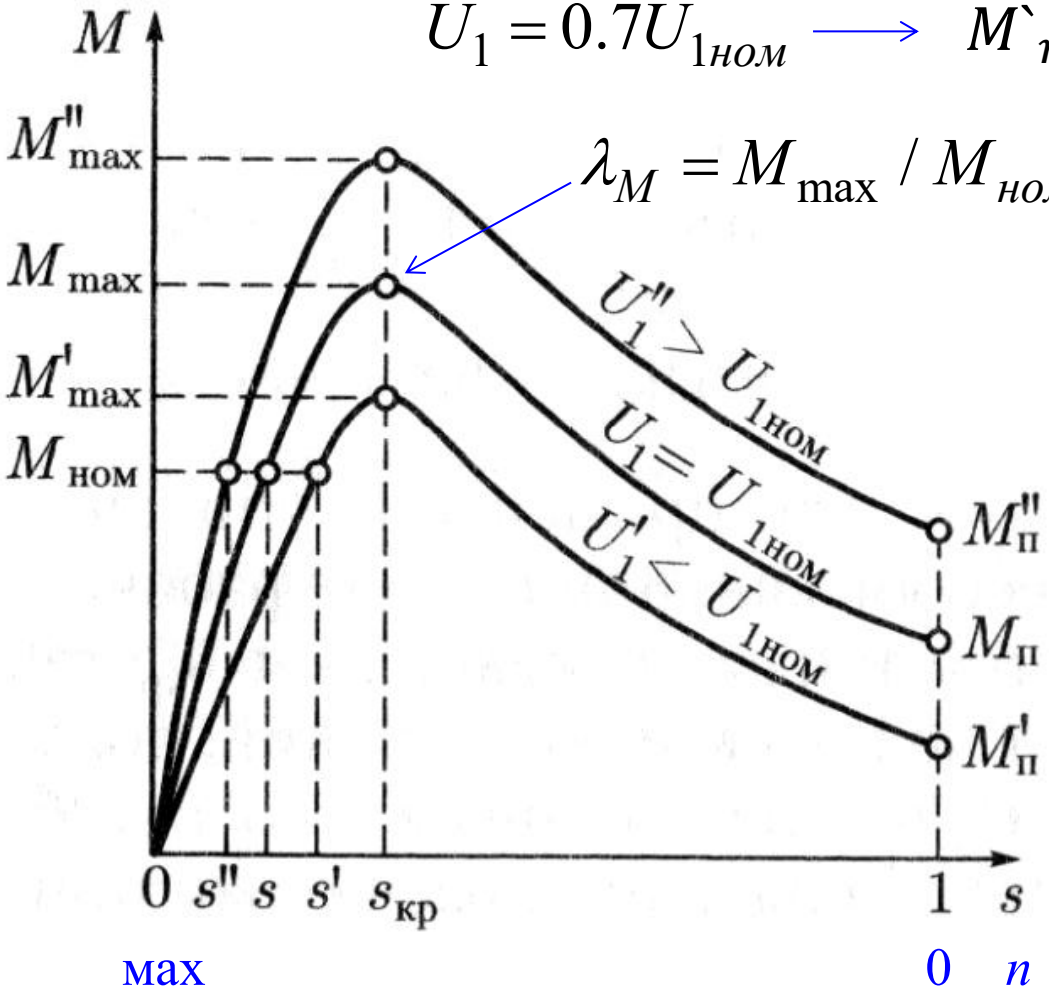
U_1 – желі кернеуі; M – номинал кернеу кезіндегі момент

Механикалық сипаттамаға желі кернеуінің әсері

АҚ артық жүктелу қабілеттілігі – $\lambda_M = M_{\max} / M_{ном}$

$$U_1 = 0.7U_{1ном} \longrightarrow M`_{max} = 0.7^2 M_{max} = 0.49M_{max}$$

$$\lambda_M = M_{\max} / M_{ном} = 2$$ *номинал кезде*

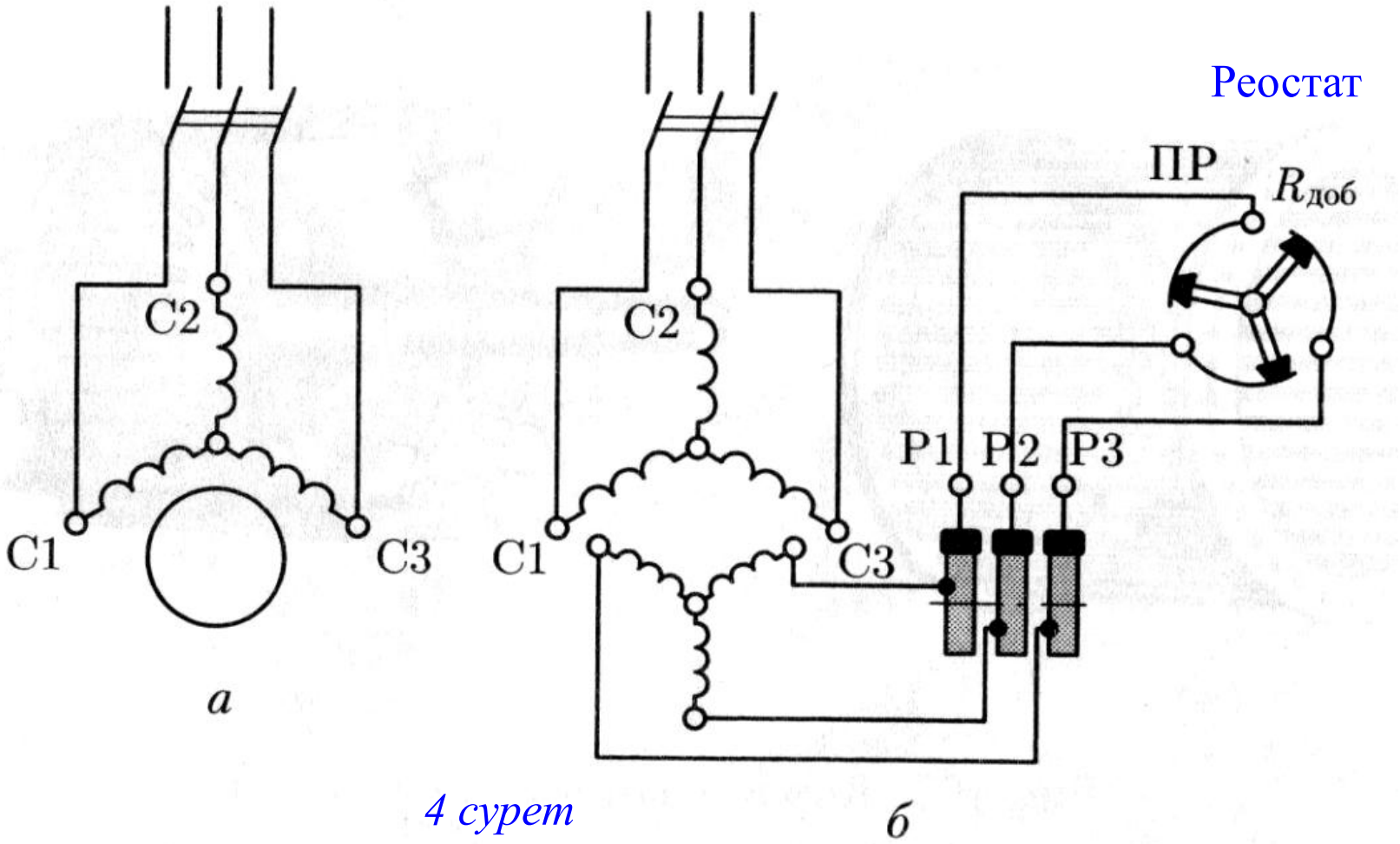


$$\lambda_{\text{М}} = \frac{M`_{max}}{M_{\text{ном}}} = 0{,}49\,\frac{M_{max}}{M_{\text{ном}}} = 0{,}98$$

- іске қосу моменті

3 сурет

Фазалық роторлы АҚ



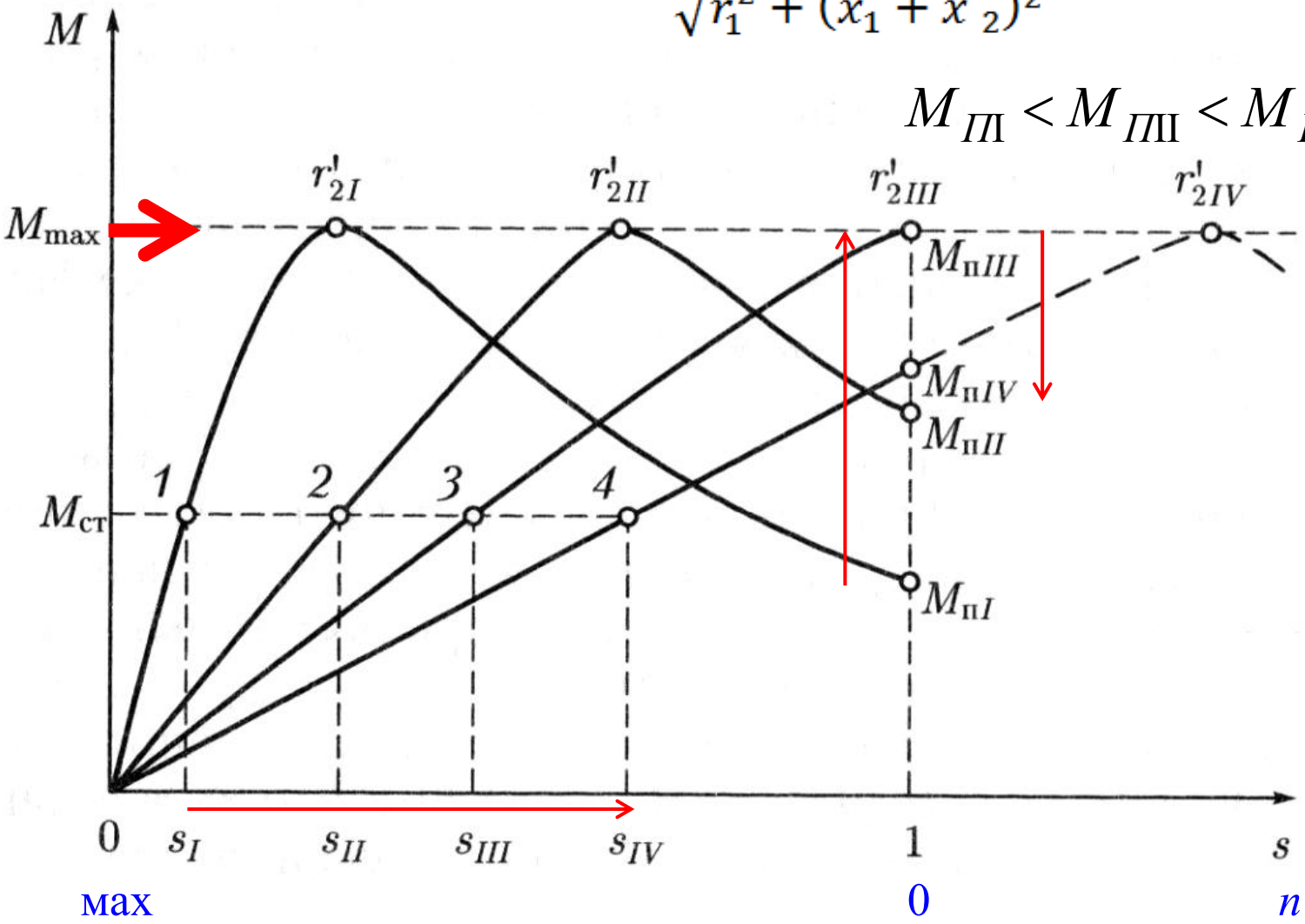
4 сурет

Іске қосу (жүргізу) және басқару қасиеттерін жақсарту үшін жасалынады

Механикалық сипаттамаға ротордың активті кедергісінің әсері

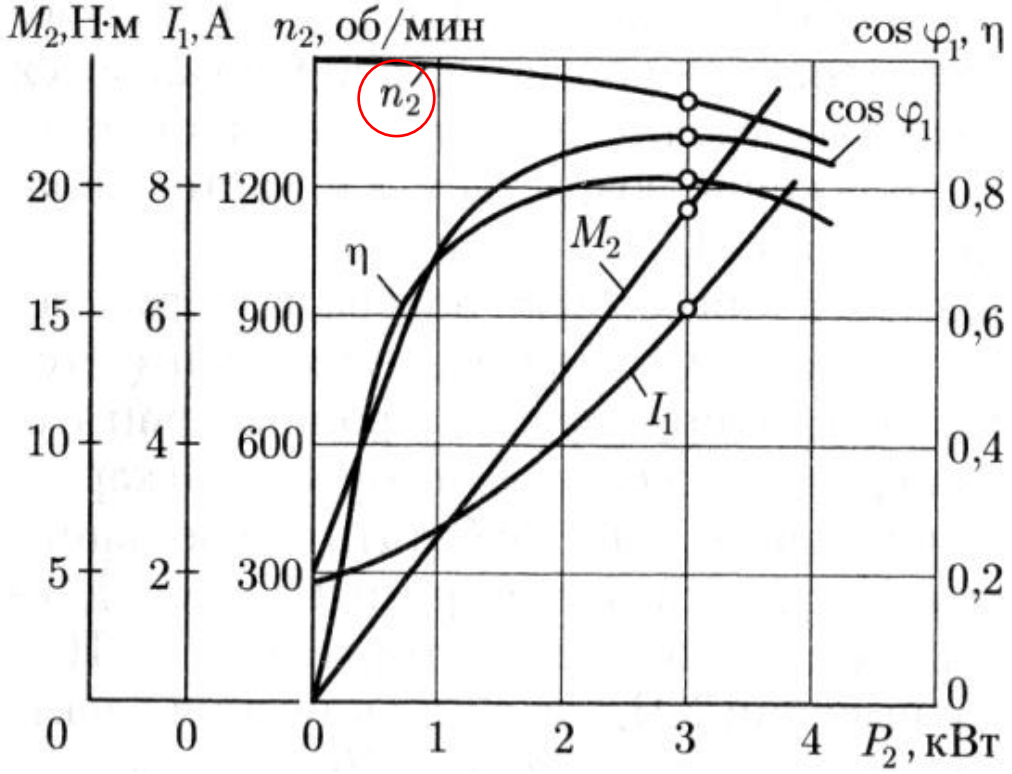
$$s_{кр} = \pm \frac{r`_2}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x`_2)^2}}. (11)$$

$$M_{П\text{I}} < M_{П\text{II}} < M_{П\text{III}} > M_{П\text{IV}}$$



5 сурет

АҚ жұмыс сипаттамалары



6 сурет

Жылдамдық сипаттамасы

$$n_2 = f(P_2)$$

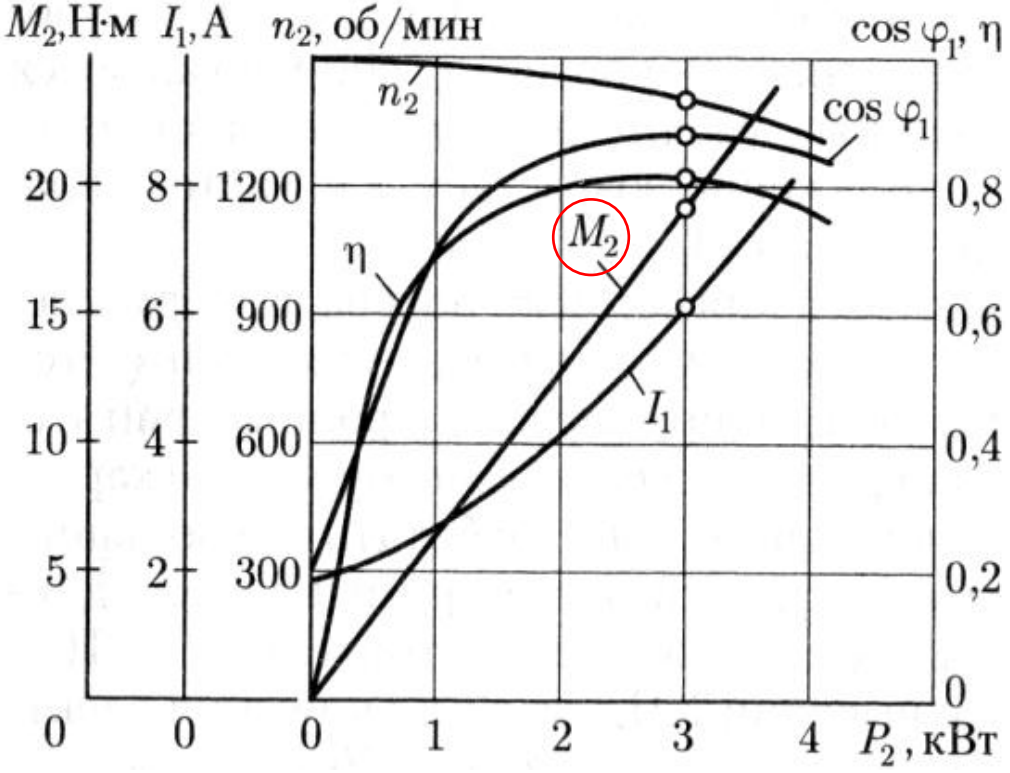
$$n_2 = n_1(1 - s) \quad (15)$$

$$s = P_{э2}/P_{эм} \quad (16)$$

Ротор білігіне түсірілген жүктемені ұлғайтатын болсақ сырғу мәні жоғарылай түседі, демек ротордың айналу жиілігі бастапқы мәнінен төмендейді. Егер ротордың активті кедергісі $r`_2$ жоғарыласа ротордағы электрлік шығын $P_{э2}$ артып сырғу коэффициентінің төмендеуіне әкеледі. Демек n_2 қисығы өседі.

P_2 – пайдалы қуат (жүтеме шамасы)

АҚ жұмыс сипаттамалары



6 сурет

Пайдалы момент

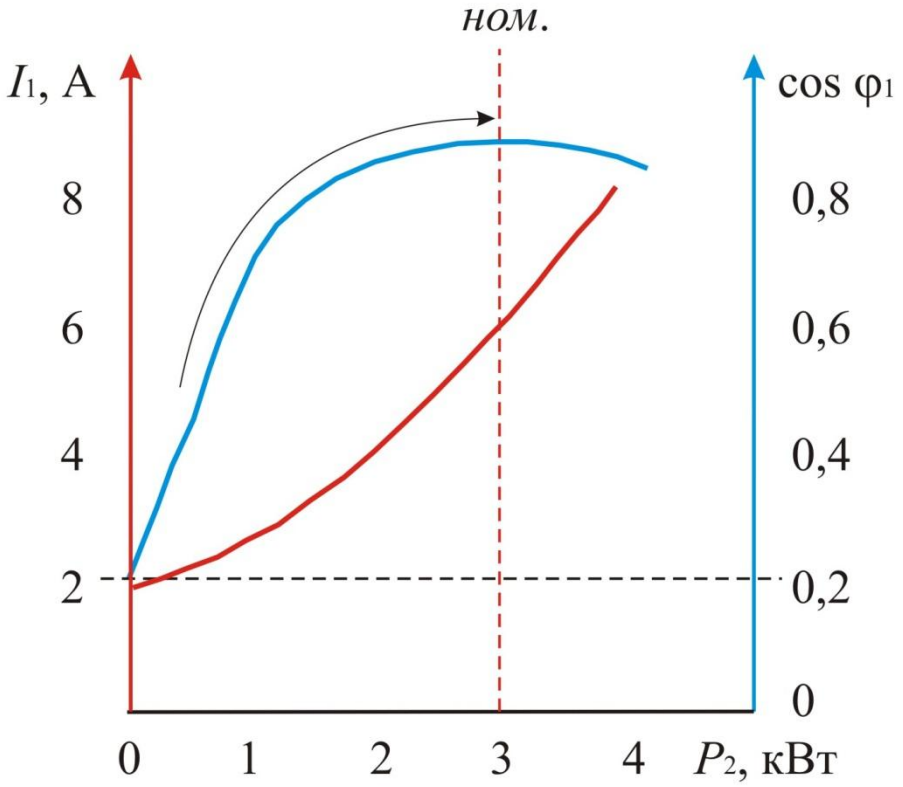
$$M_2 = f(P_2)$$

$$M_2 = 9.55\frac{P_2}{n_2}$$

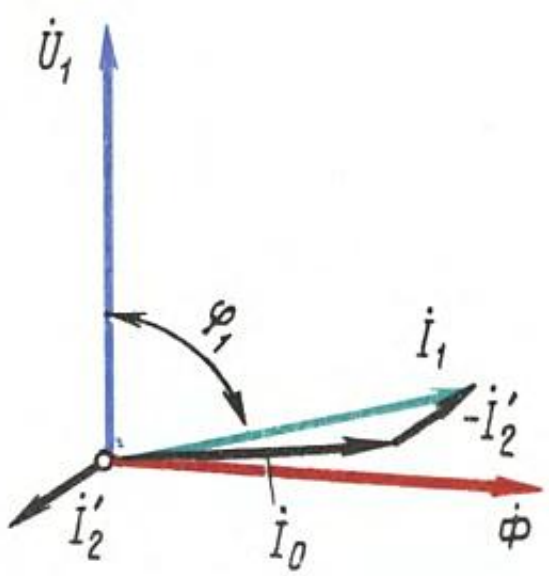
Ротордың айналу жиілігі тұрақты болса пайдалы қуатқа тәуелді түзу сызықты өзгереді.

АҚ жұмыс сипаттамалары

$$cos\varphi_1 = f(P_2)$$



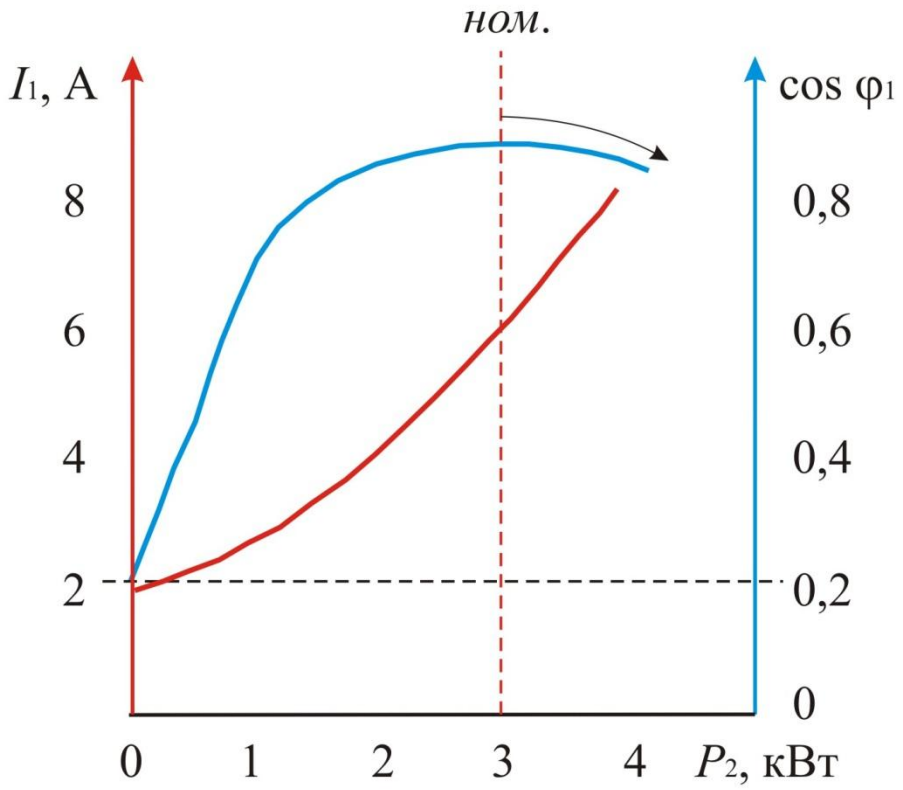
6 сурет



$I_1 \approx I_0;\ \ \varphi_1 \approx \varphi_0$

7 сурет

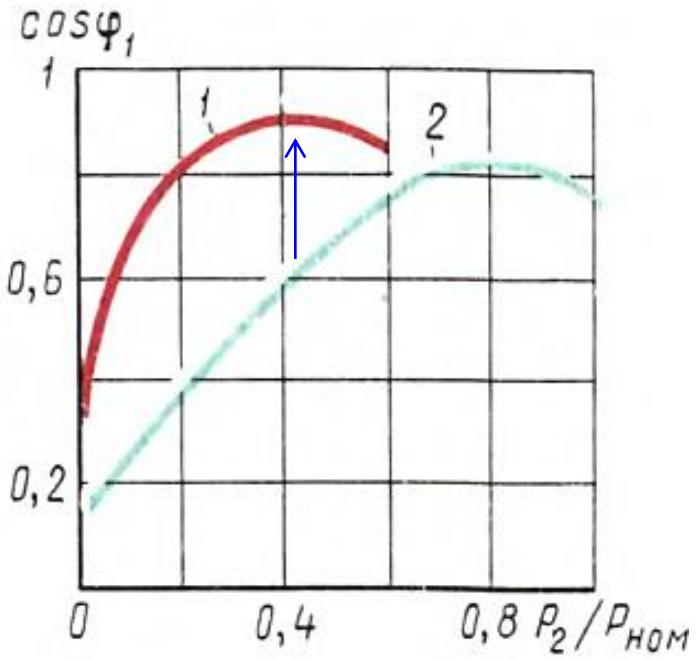
Қуат коэффициентінің ең аз шамасы бос жүріс режиміне сәйкес келеді (шамамен >0.2), себебі бұл кезде статор тогының (I_1) реактивті құраушысы басым болады. Білікке түскен жүктеме артқан сайын I_1 токтың активті құраушысы артады, сонымен қатар қуат коэффициенті де жоғарылап максимум мәніне жетеді, номиналға жақын жүктеме кезінде 0,8-0,9 тең. φ_1 – статор тогының желі кернеуінен ығысу бұрышы.

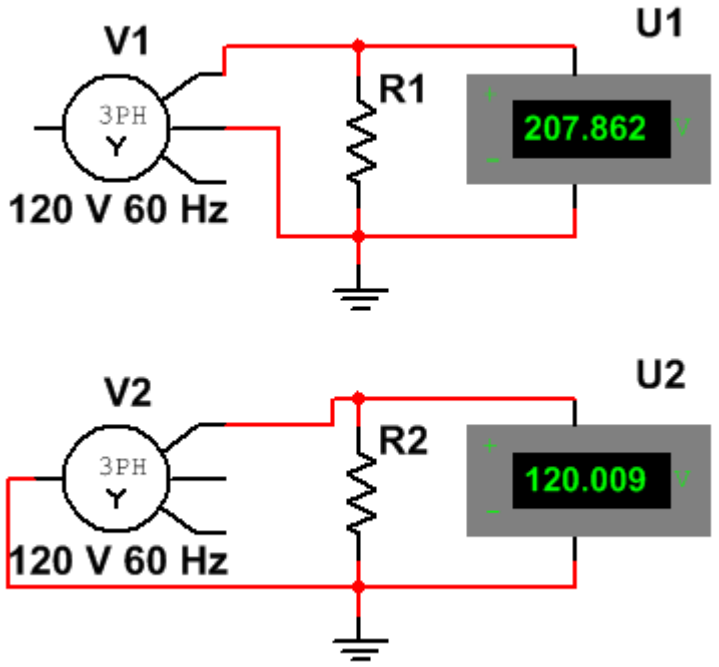


6 сурет

Жүктеме номиналдан артқан кезде қуат коэффициентінің төмендеп кетуі сырғу коэффициентінің жоғарылауы кезіндегі ротор кедергісінің индуктивті құраушысының басым болуымен байланысты.

$$U_{\text{сыз}} = \sqrt{3}U_{\text{фаз}}$$

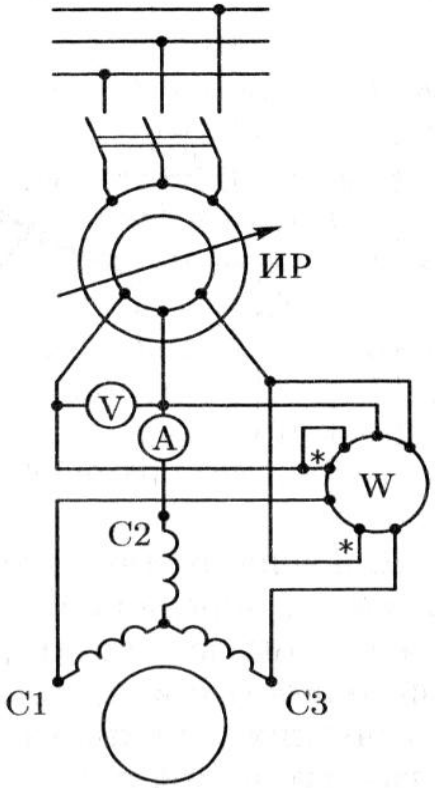




8 сурет

Егер қозғалтқыш жеткіліксіз жүктелген болса, онда желі кернеуінің шамасын төмендету қажет. Мысалы мұндай жағдайда үшбұрыштан (2) жұлдызшаға (1) ауыстыру желі кернеуін $\sqrt{3}$ есе төмендетеді. Бұл кезде статордың магниттік ағыны, ізінше магниттеуші ток $\sqrt{3}$ есе кемиді, ал қуат коэффициенті артады.

Үш фазалы АҚ жұмыс сипаттамаларын тәжірибеде анықтау



9 сурет

Бос жүріс тәсілі

$$U_1 = 1.15U_{1\text{ном}} \longrightarrow 0.4U_{1\text{ном}}$$

Сызықты кернеулер мен токтар:

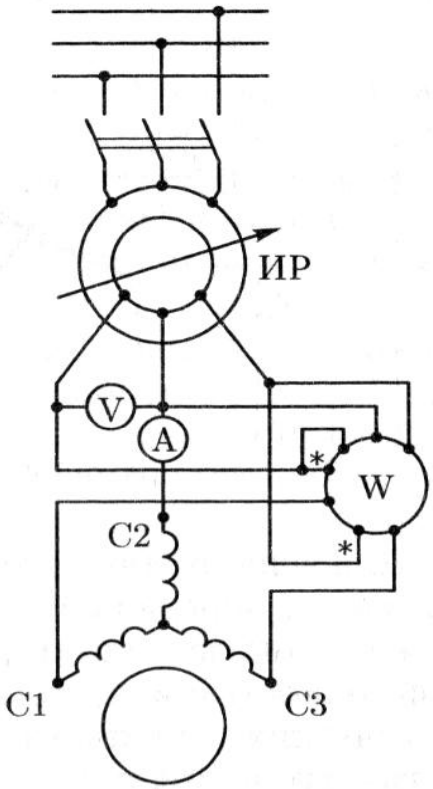
$$U_{\text{орт}} = (U_{AB} + U_{BC} + U_{CA})/3\,;$$

$$I_{0\ \text{орт}} = (I_{OA} + I_{OB} + I_{OC})/3,$$

жұлдызша жалғау кезінде $U_1 = U_{\text{орт}}/\sqrt{3}\,;\ I_0 = I_{0\ \text{орт}};$

үшбұрыш жалғау кезінде $U_1 = U_{\text{орт}};\ I_0 = I_{0\ \text{орт}}/\sqrt{3}.$

АҚ жұмыс сипаттамаларын тәжірибеде анықтау



9 сурет

Бос жүріс тәсілі

Активті қуат:

$$P_0 = m_1 I_0^2 r_1 + P_{\text{М}} + P_{\text{мех}}$$

$$P_0` = P_{\text{М}} + P_{\text{мех}} = P_0 - m_1 I_0^2 r_1$$

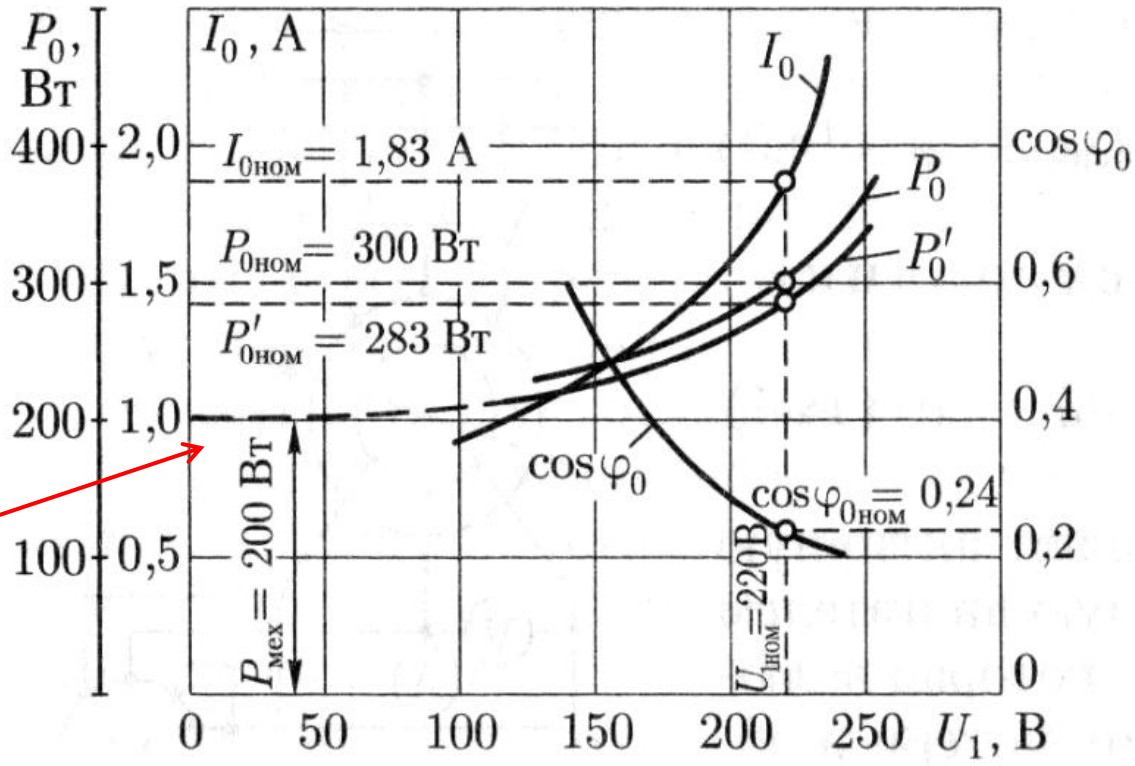
Ω

Бос жүріс үшін қуат коэффициенті:

$$\cos\varphi_0 = P_0/(m_1 U_1 I_0)$$

АҚ жұмыс сипаттамаларын тәжірибеде анықтау. Бос жүріс тәсілі

$P_{\text{М}} = P_0` - P_{\text{мех}}$



Механикалық және магниттік шығындарды бұлай бөлудің себебі, желі кернеуінің жиілігі тұрақты болғанда, бос жүріс кезіндегі қозғалтқыштың айналу жылдамдығы, сонымен қатар механикалық шығындарда тұрақты болуы негізінде. Бұл кезде магниттік ағын статордың ЭҚК-не немесе желі кернеуі шамасына тура пропорционал, сондықтан желі кернеуі нөлге ұмтылған кезде, магниттік шығындарда нөлге ұмтылады.

АҚ жұмыс сипаттамаларын тәжірибеде анықтау

Қысқа тұйықтау тәсілі

Орташа қасқа тұйықталу тогын анықтау

$$U_{\text{қ.т.}} = 0.1U_{1\text{ном}}$$



Тәжірибе кезінде: $U_{\text{қ.т.}} \longleftrightarrow I_{\text{қ.т.}} \approx (1.5 \div 2.5)I_{1\text{ном}}$

$$U_{\text{қ.т.}} \approx U_{1\text{ном}} \longleftrightarrow I_{\text{қ.т.}} \approx (5 \div 7)I_{1\text{ном}}$$

АҚ жұмыс сипаттамаларын тәжірибеде анықтау

Қысқа тұйықтау тәсілі

$$\cos\varphi_{\text{қ.т.}} = P_{\text{қ.т.}}/\left(m_1 U_{\text{қ.т.}} I_{\text{қ.т.}}\right)$$

Қысқа тұйықталудың толық кедергісі:

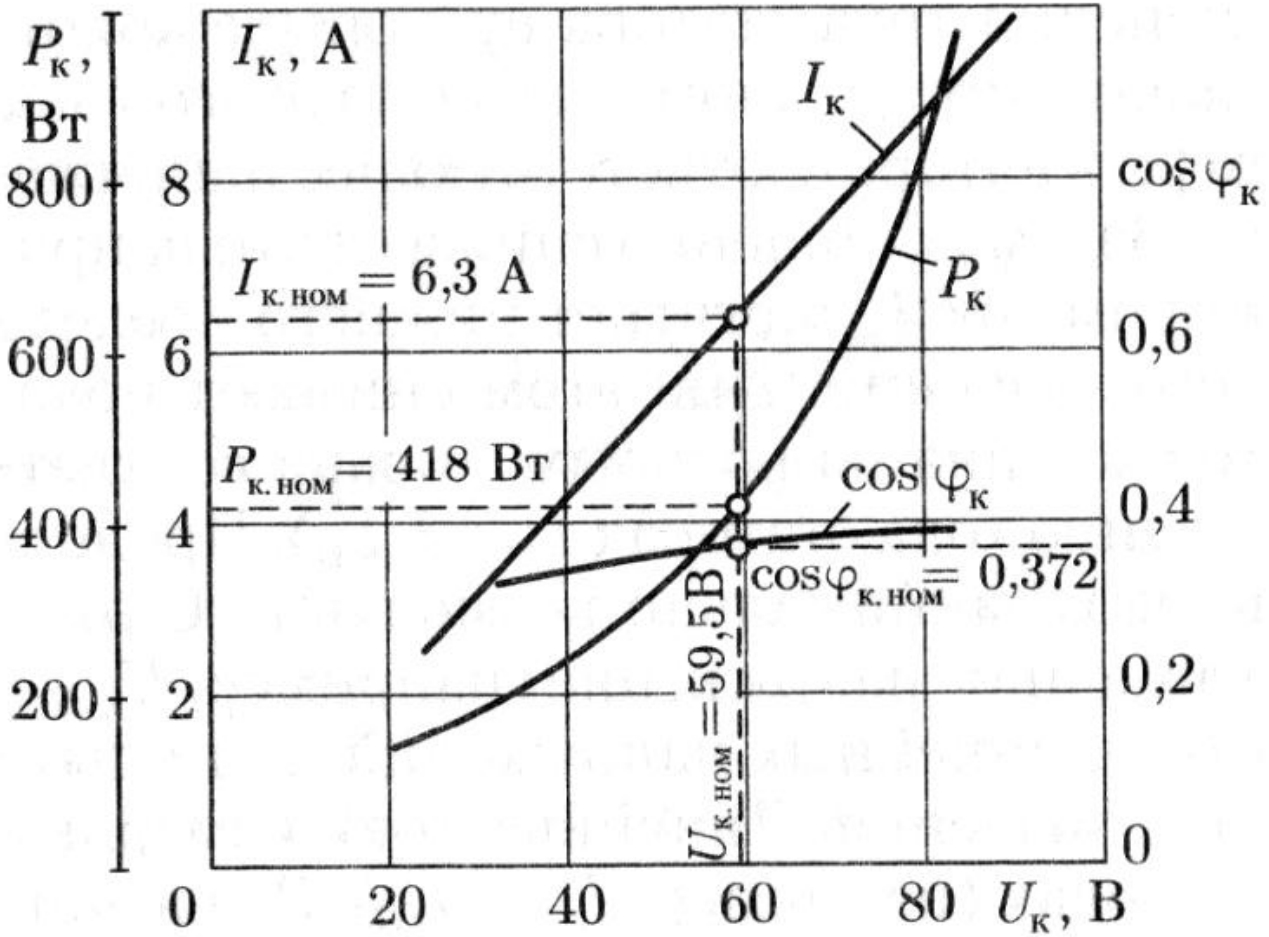
$$z_{\text{қ.т.}} = U_{\text{қ.т.}}/I_{\text{қ.т.}}$$

$$r_{\text{қ.т.}} = z_{\text{қ.т.}}\cos\varphi_{\text{қ.т.}}$$

$$x_{\text{қ.т.}} = \sqrt{z^2{}_{\text{қ.т.}} - r^2{}_{\text{қ.т.}}}$$

АҚ жұмыс сипаттамаларын тәжірибеде анықтау

Қысқа тұйықтау тәсілі



11 сурет