Электр машиналары және электр жетегі



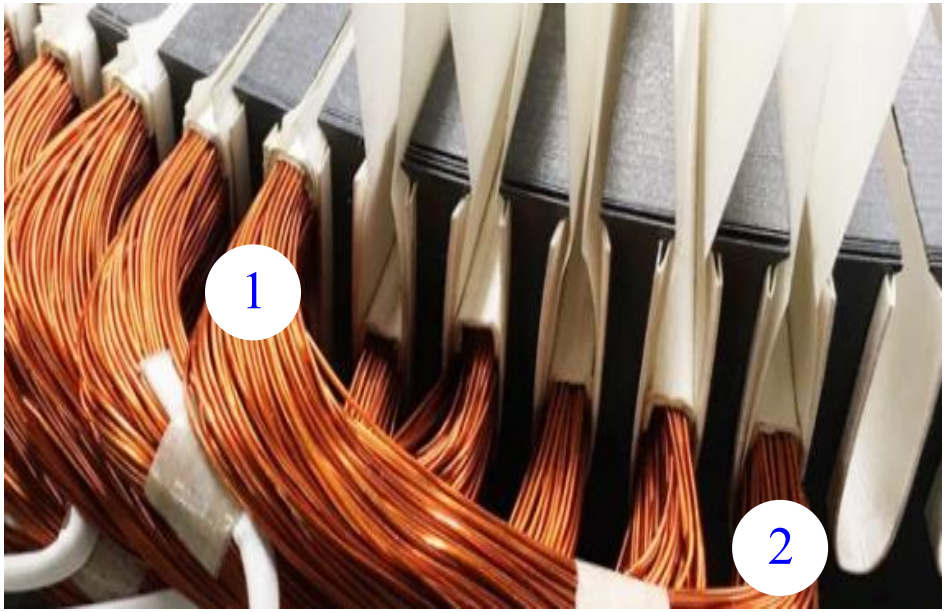
Профессор Досболаев М.Қ.

Автомобиль генераторының статоры

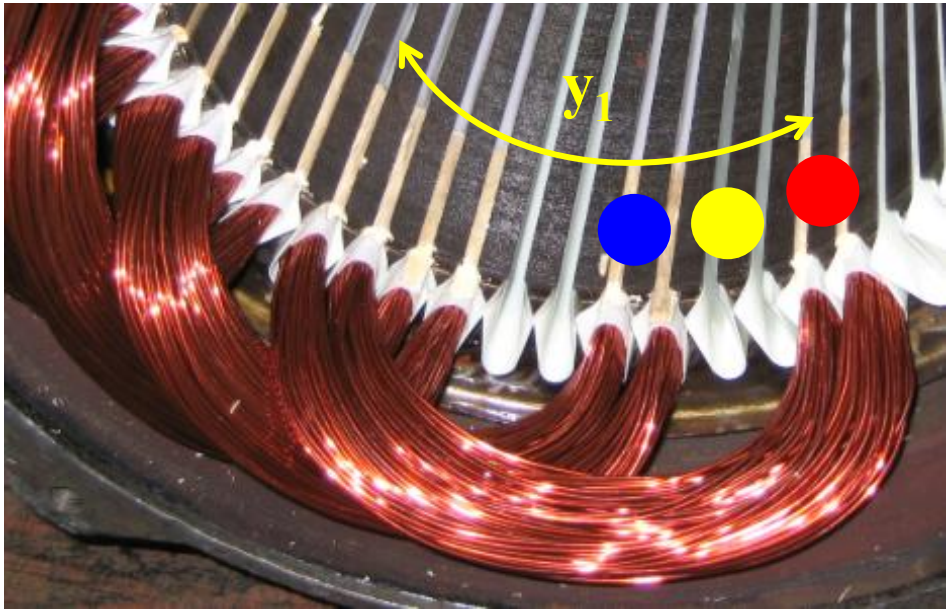


$Z_1 = 36$

$w_1 = 2pq_1w_к$ – фазалық орамадағы тізбектей жалғанған катушкалар (орамалар) саны

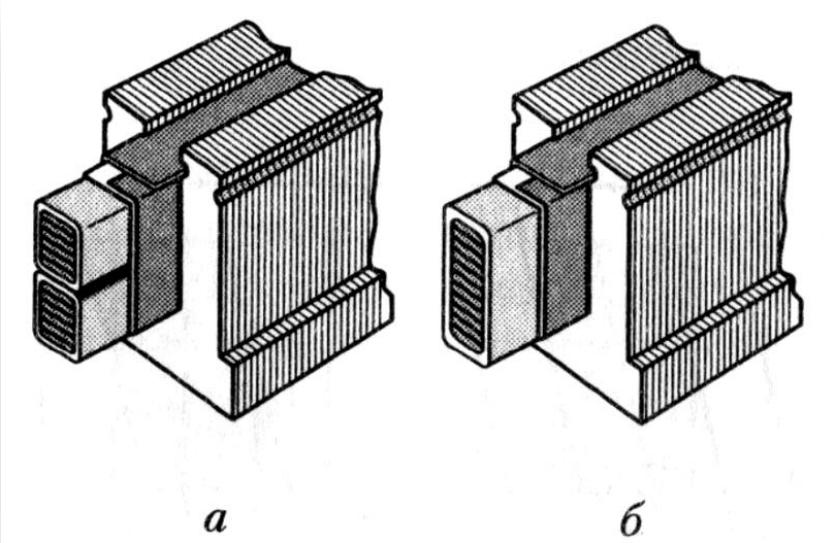


Екі қабатты, таралған (>22 кВт)



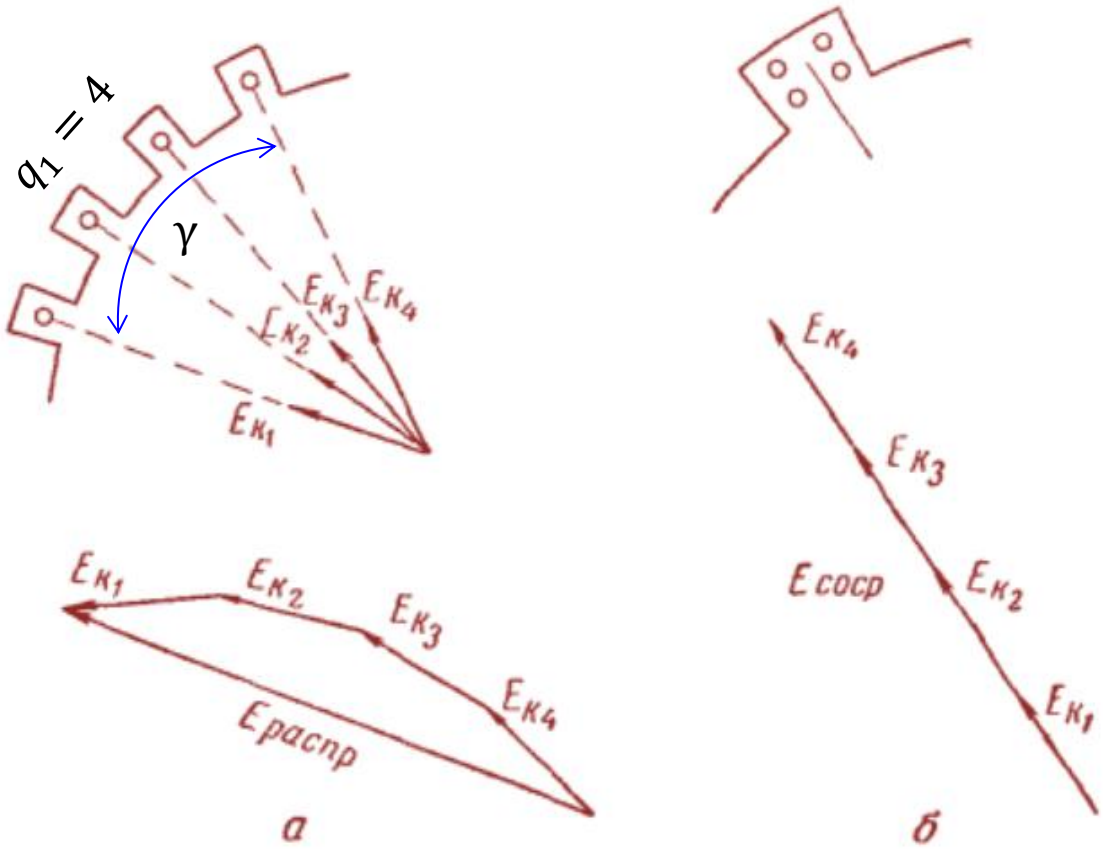
Бір қабатты, таралған

1-сурет



$y_1 = Z_1/(2p)$ – орам қадамы

Статор катушкаларының тарала және жинақы оралу түрлері



$$k_{p1} = \frac{\sin\left(q_1 \frac{\gamma}{2}\right)}{q_1 \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right)}$$

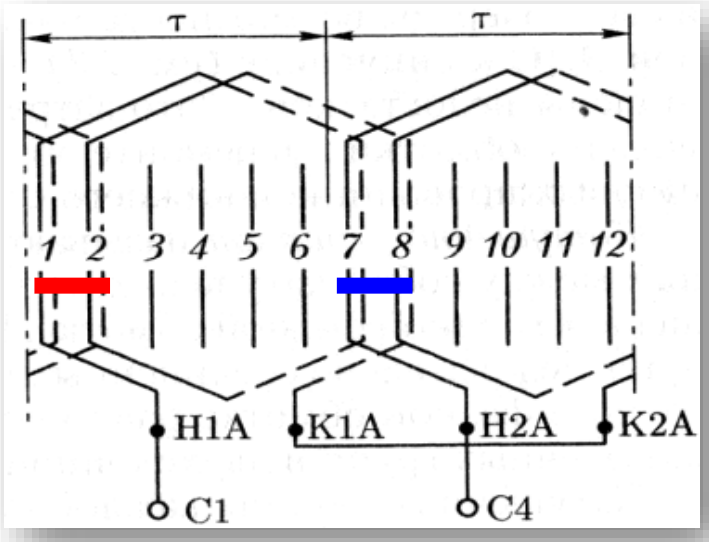
Негізгі гармоника үшін орамалардың таралуын ескеретін коэффициент

$\gamma = 360p/Z_1$ – паздық бұрыш

—— үсіңгі

- - - - астыңғы

$2p=2 \longrightarrow$

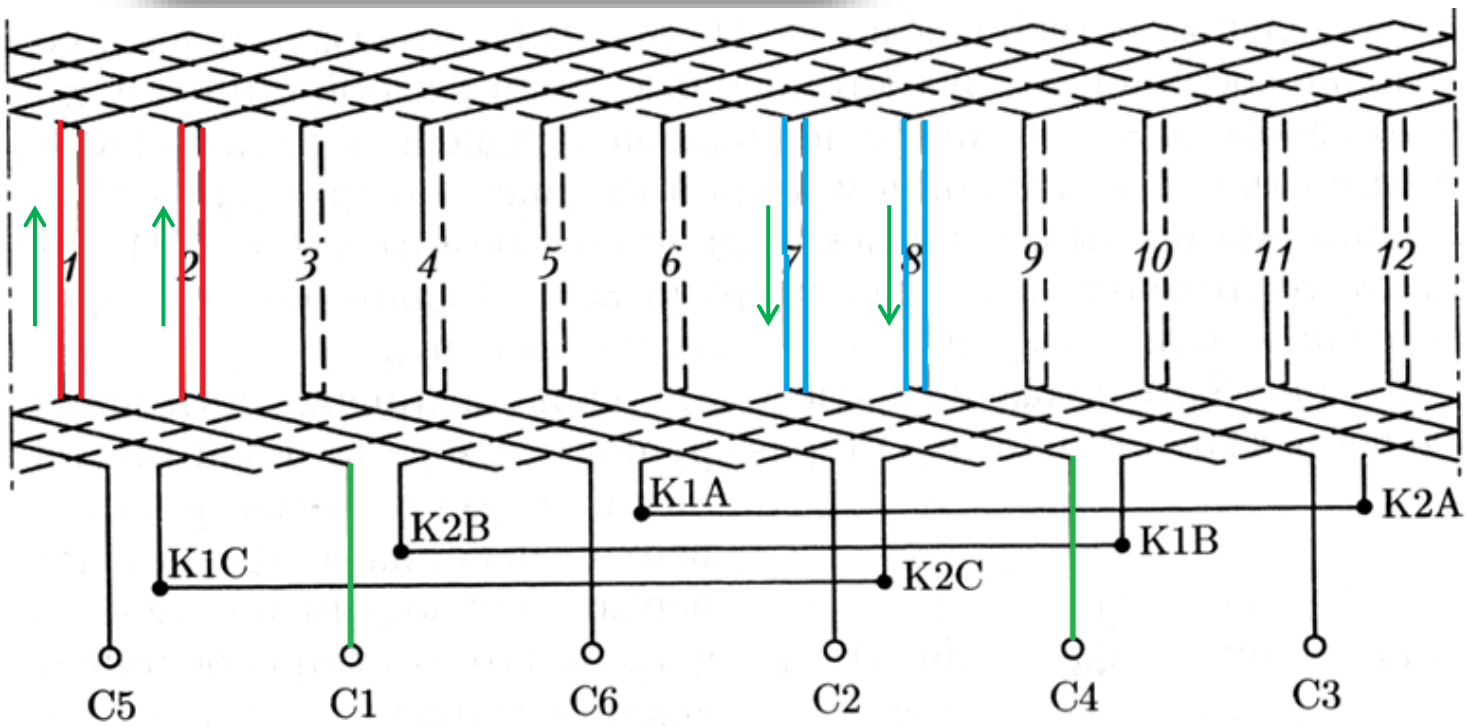


2-сурет

←А фазасының катушкалар тобы, С1-С4 фазалық орам

Екі қабатты үш фазалық орамдар катушкаларының статор пазадарында орналасу реті

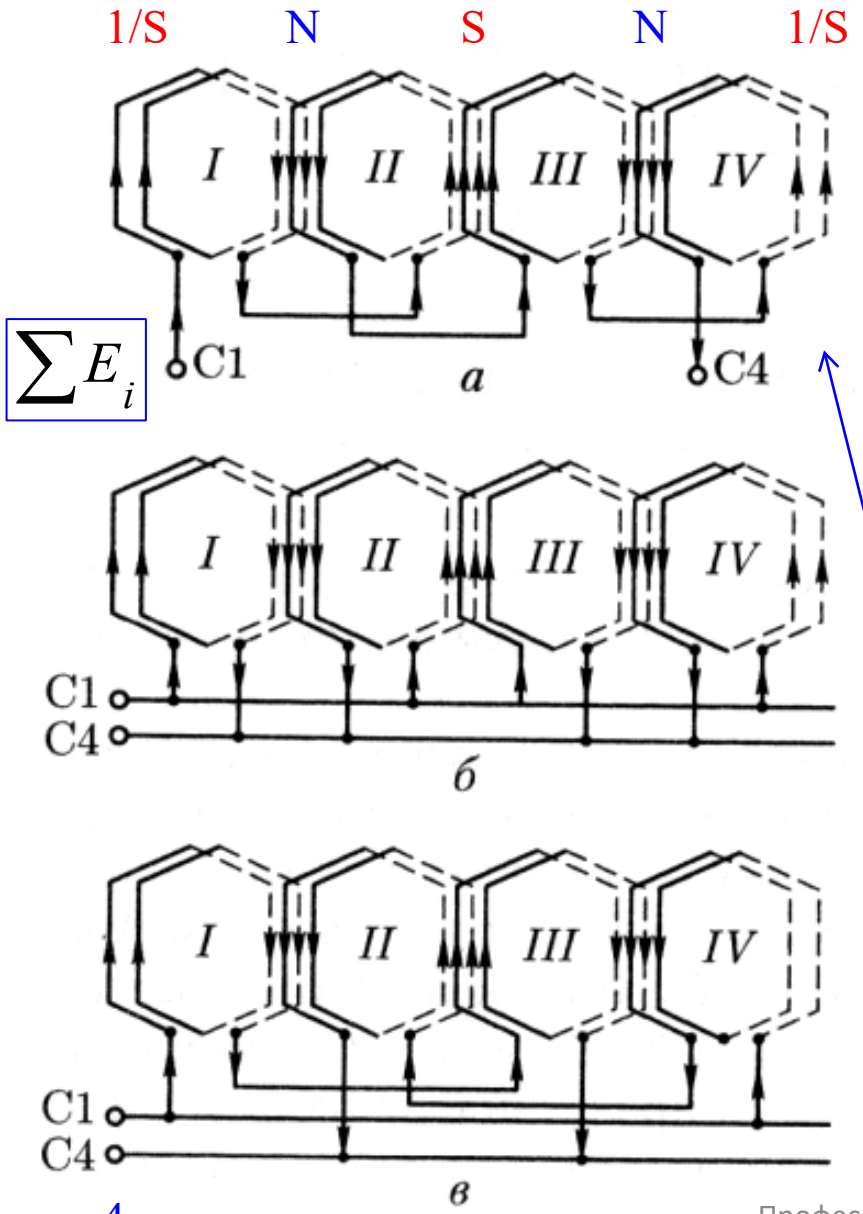
↓



3-сурет

$Z_1=12;\ 2p=2;\ y_1=6;\ q_1=2;\ \lambda=4$

Катушкалық топтарды жалғау әдістері



Катушкалық топ дегеніміз, көршілес пазаларда орналасып өзара тізбектей жалғанған бір фазаның катушкалары.

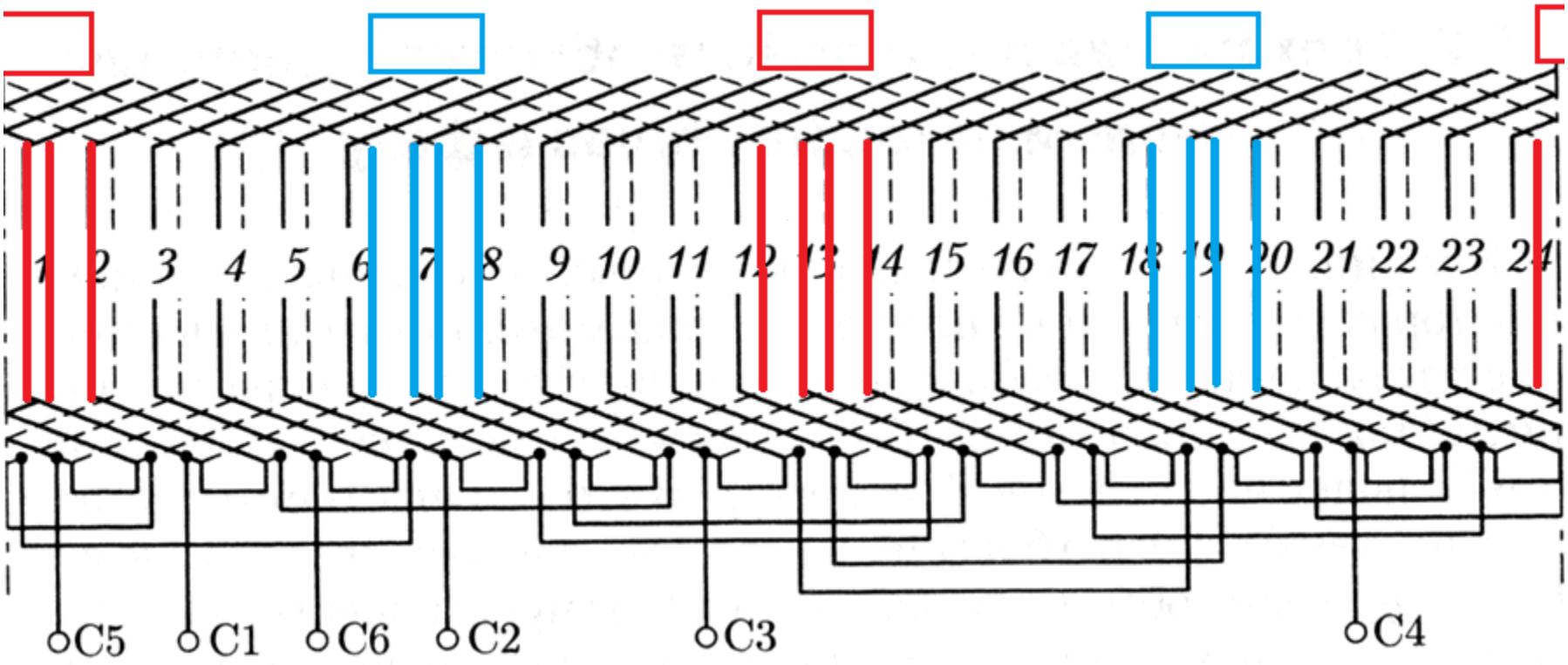
Әрбір катушкалық топ q_1 тізбектей жалғанған катушкалардан тұрады.

Фазалық орамадағы катушкалық топ саны полюстер санына тең. Ал олардың жалпы саны $A = 2pm_1$

Бір фазаның катушкалық топтары тізбектей, параллель немесе аралас жалғануы мүмкін.

4-сурет

Бір фаза орамдары параллель жалғанған төрт катушкалы топтан тұрады, қадамдары қысқартылған

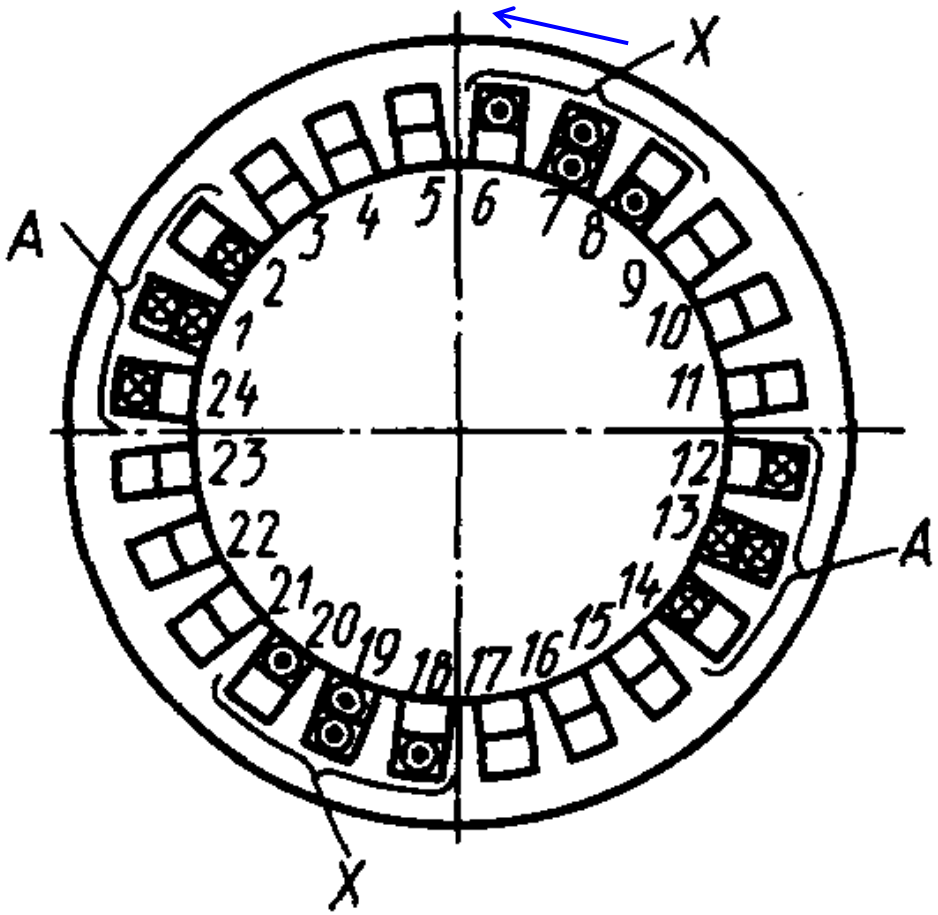


Z_1=24; $2p$=4; q_1=2; y_1=5

$$y_1 = \beta \frac{Z_1}{2p} - \textit{қысқартылған қадам}$$

$$\beta = \frac{y_1}{\tau} - \textit{салыстырмалы қадам}$$

Бір пазаға ығысқан



$Z_1=24$; $2p=4$; $q_1=2$; $\beta=0.83$

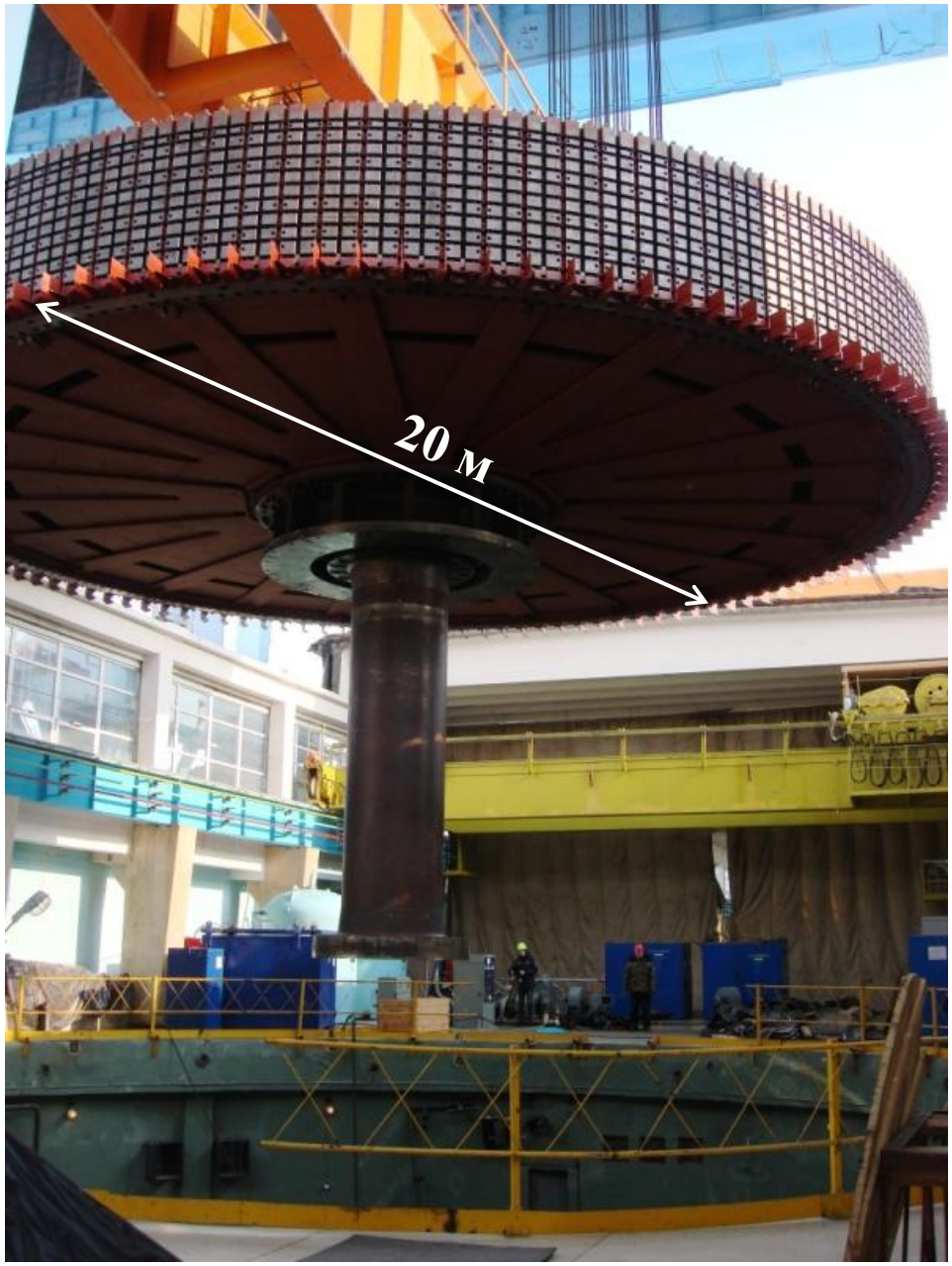
Роторы баяу айналатын гидрогенераторлар үшін

q_1>1 $\longrightarrow$ $q \neq$ бүтін сан



q_1 – полюспен фазаға келетін паздар саны

Көп полюсті синхронды генератордың (гидрогенератор) роторы



ЭҚК-нің жиілігі

$$f_1 = \frac{pn_1}{60}$$

$$f_1 = 50 \text{ Гц} = \frac{(p = 15) \cdot 200}{60}$$

Статордағы пазалар саны

$$Z_1 = 2pm_1q_1$$

$$Z_1 = 30 \cdot 3 \cdot 2 = 180$$

p – жұп полюстер саны

$q \neq$ бүтін сан

$$q_1 = a + b/c = (ac + b)/c.$$

Бұл жерде b, c және *ac+b* ортақ бөлгіші жоқ

$c = 2$

m-ге еселі болмаса

Статордағы паздар саны:

$$Z_1 = 2pm_1\ (ac + b)/c.$$

$$q_{1\text{экв}} = ac + b$$

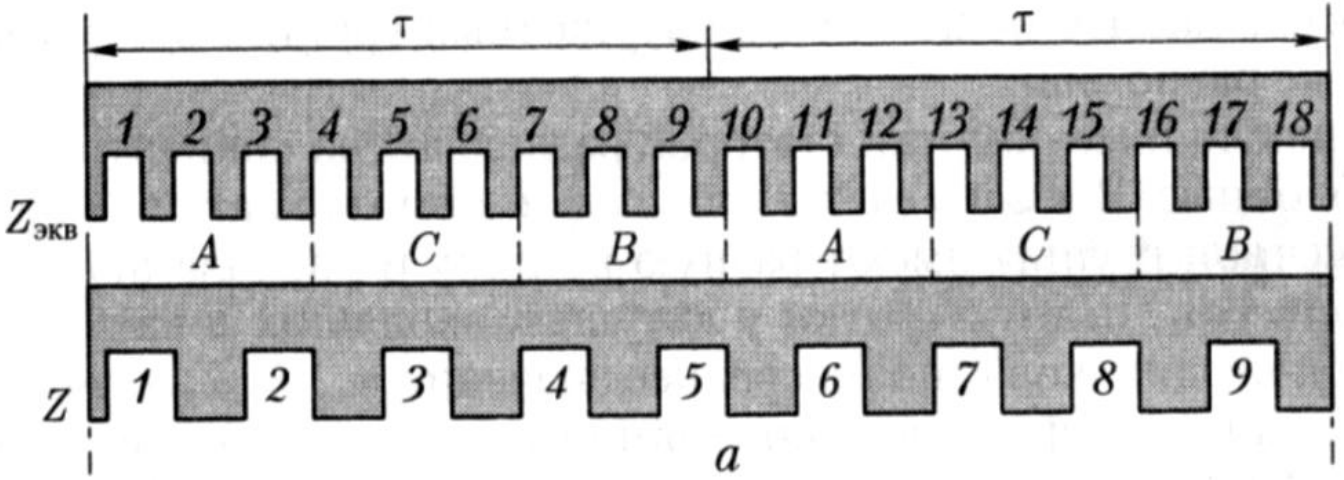
Егер

$$Z_1 = 9 \rightarrow q_1 = Z_1/2pm_1 = 1.5,$$

немесе

$$q_1 = (ac + b)/c = (2 + 1)/2 = 1.5.$$

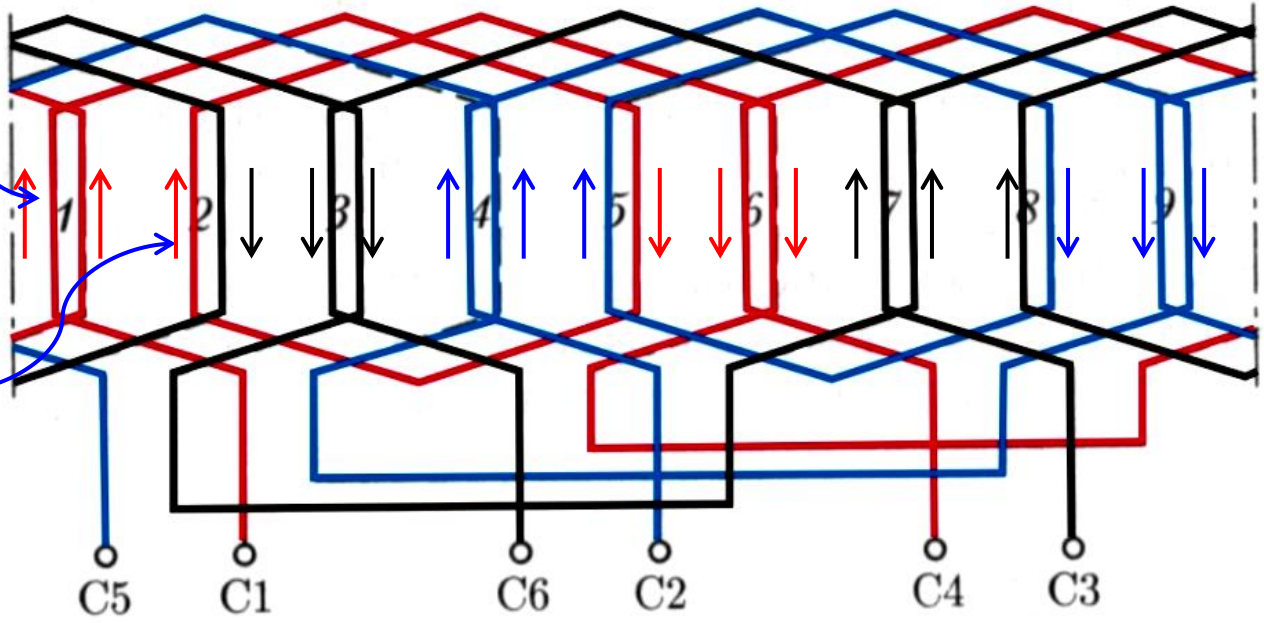
$$q_{1экв} = q_1 c = 3;\ Z_{1экв} = Z_1 c = 18$$



а

Бір топ бір фазаның екі катушкасынан тұрады

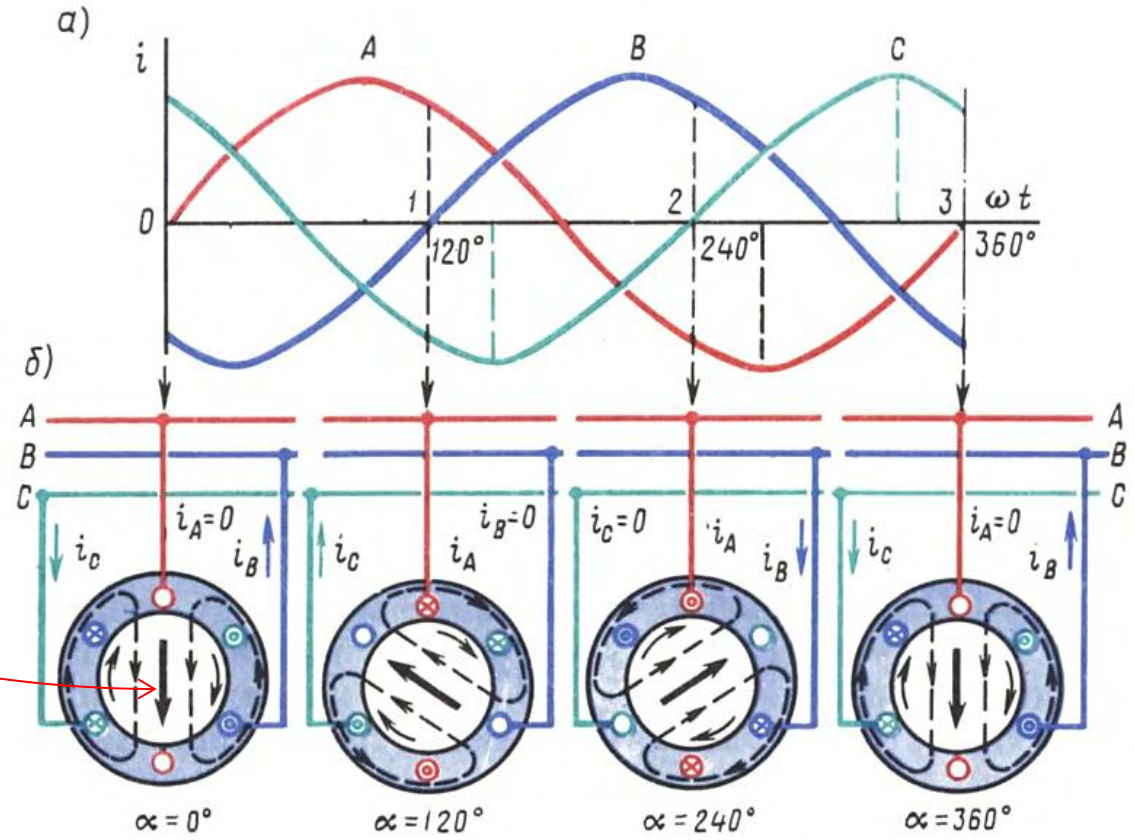
Екінші топ екі фазаның екі катушкасынан тұрады



б

$$q_1 = \frac{ac + b}{c}$$

Статор орамасының МҚК-і



МҚК векторы

$$Q = mUIsin\varphi \text{ [вар]}$$

Реактивті қуат - тұтынылатын, содан кейін жүктеменің реактивті қасиеттеріне байланысты одан қайтарылатын қуат. Реактивті қуат энергиясы алдымен сақталады, содан кейін катушка немесе конденсатор жағдайында сәйкесінше, магнит немесе электр өрісі ретінде шығарылады.

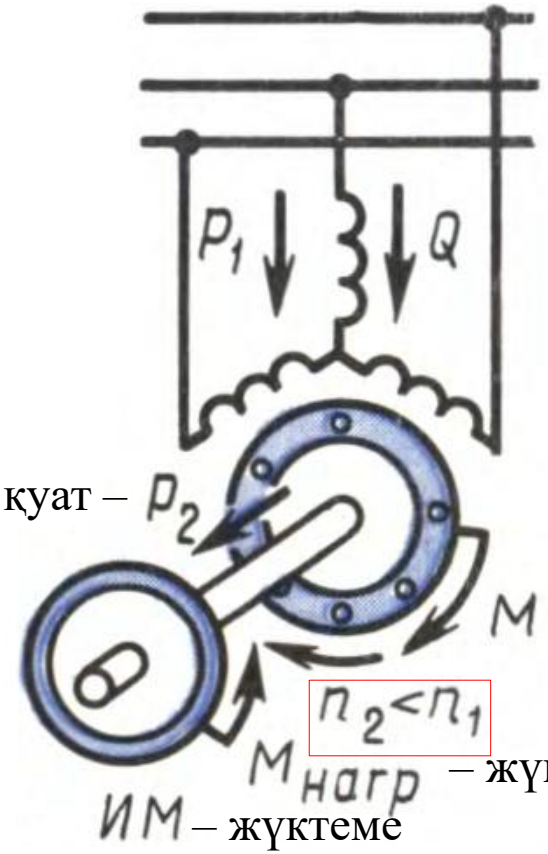
Қозғалтқыш режимі

Реактивті қуат:

$$Q = mUIsin\varphi \text{ [вар]}$$

Активті қуат:

$$P_1 = m_1 U_1 I_1 cos\varphi_1 \text{ [Вт]}$$



Механикалық қуат – P_2

M – айналдырушы момент

$M_{нагр}$ – жүктеме моменті

ИМ – жүктеме

Сырғу коэффициенті:

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

бос жүрісте → $\mathbf{0 < s < 1}$ ← іске қосылу кезінде

$$s_{ном} = 1 \div 8\ \%$$

n_1 – статор өрісінің айналу жиілігі; n_2 – ротордың айналу жиілігі

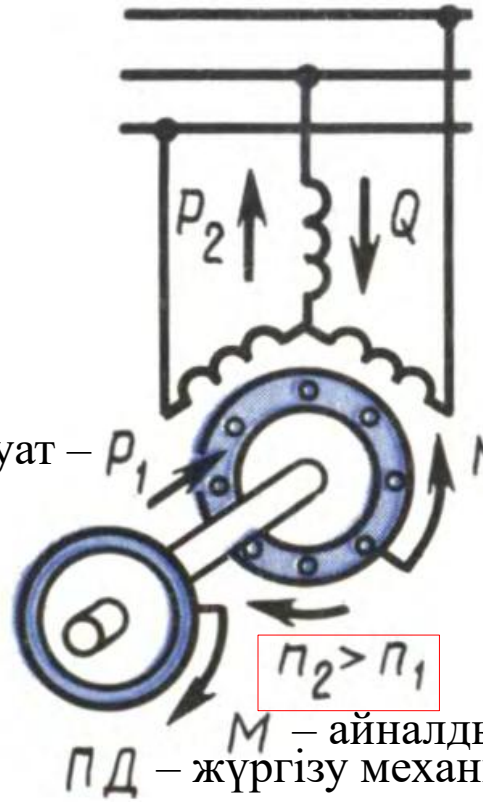
Генератор (рекуперативті тежеу) режимі

Реактивті қуат:

$$Q = mUIsin\varphi \text{ [вар]}$$

Активті қуат:

$$P_2 = m_1 U_1 I_1 cos\varphi_1 \text{ [Вт]}$$



Сырғу коэффициенті:

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

Механикалық қуат – P_1 M – электр магниттік моменті

M – айналдырушы момент

ПД – жүргізу механизмі

$$n_2 > n_1 \rightarrow \quad -\infty < \boldsymbol{s} < \mathbf{0} \leftarrow n_2 \approx n_1$$

n_1 – статор өрісінің айналу жиілігі; n_2 – ротордың айналу жиілігі

Электр магниттік тежеу режимі

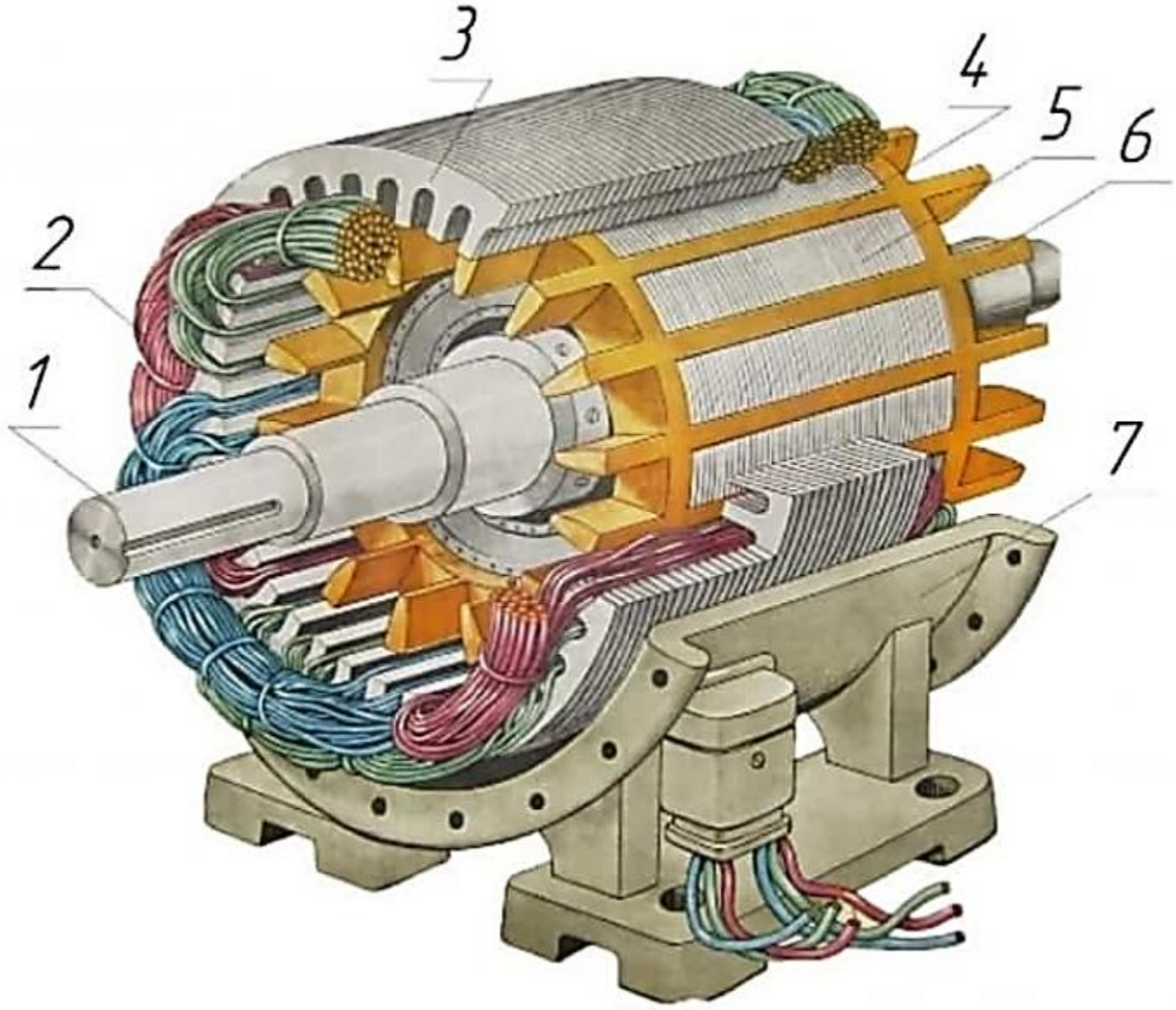
Электр магниттік тежеу режимінде статордағы магнит өрісінің айналу жиілігін n_1 тез кері бағытқа өзгертіп жіберген кезде ротордың айналу жиілігі n_2 теріс мәнге ие болады:

$$s = \frac{\left(n_1 - (-n_2)\right)}{n_1} = \frac{(n_1 + n_2)}{n_1} > 1.$$

Демек тежеуіш режимінде жұмыс істейтін асинхронды машиналардағы сырғу келесі аралықта болады $1 < s < +\infty$, яғни кез-келген бірден үлкен оң мән бола алады.

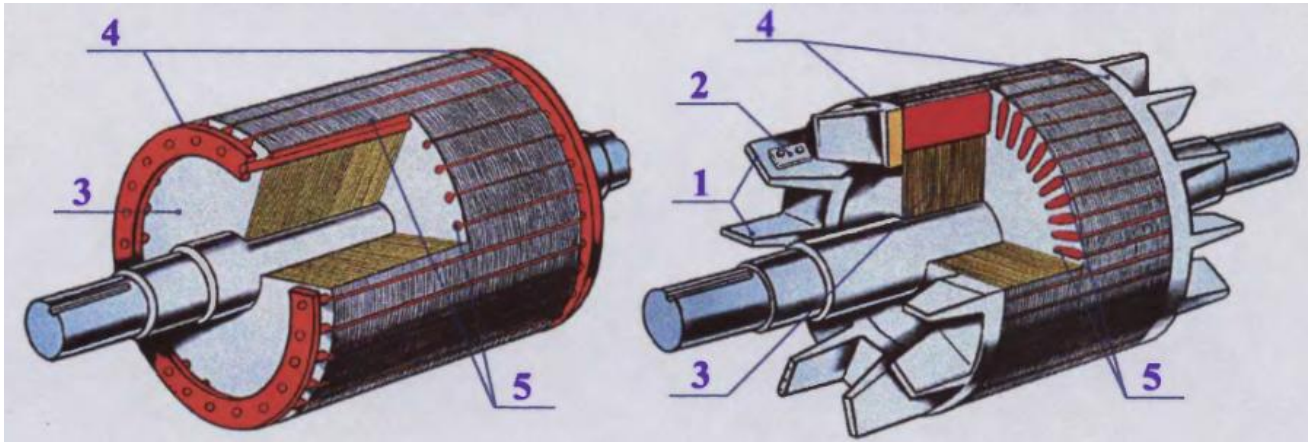
n_1 – статор өрісінің айналу жиілігі; n_2 – ротордың айналу жиілігі

Асинхронды қозғалтқыштардың құрылысы



Қысқа тұйықталған ротор

Дәнекерленген



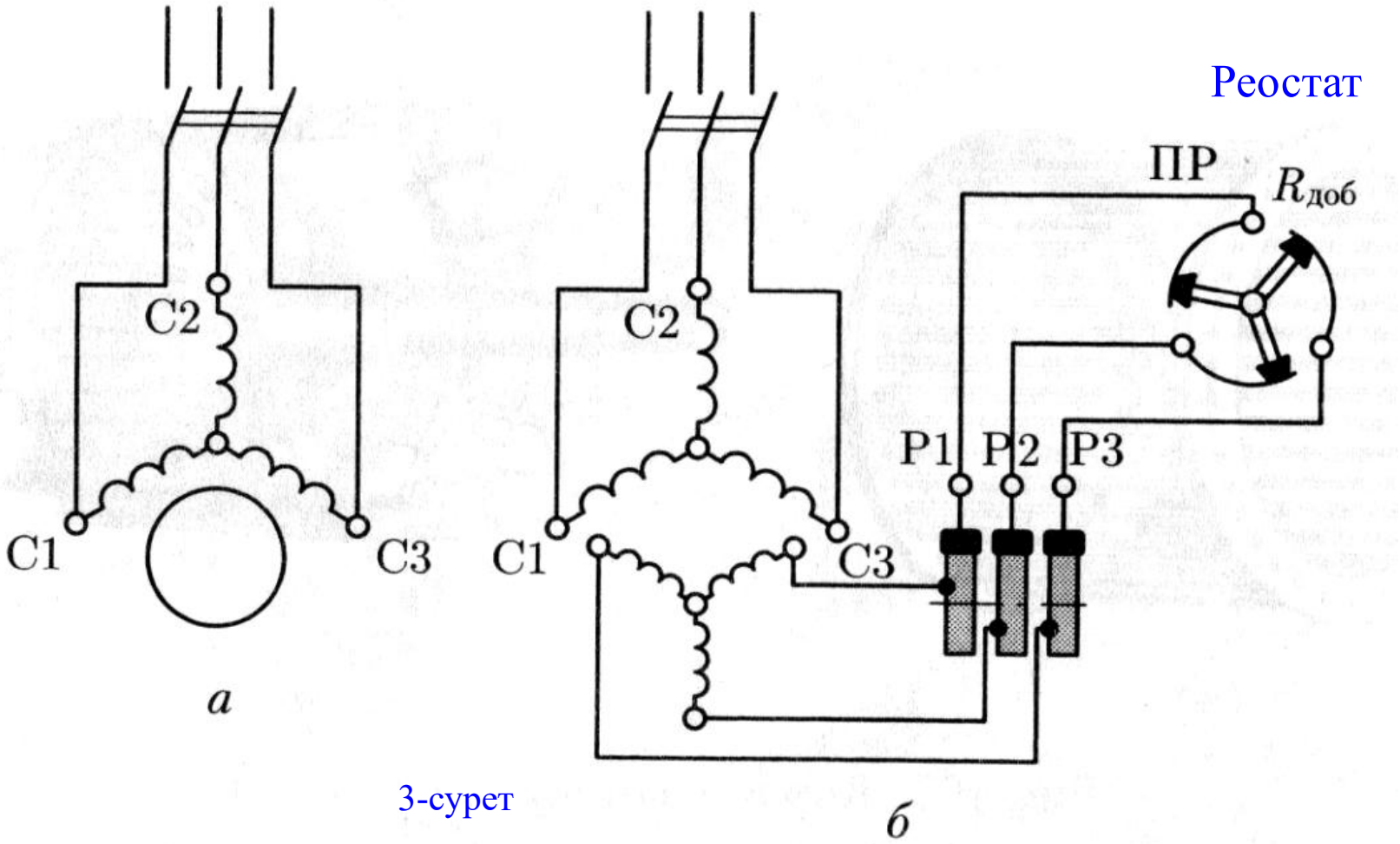
Құйылған

2-сурет



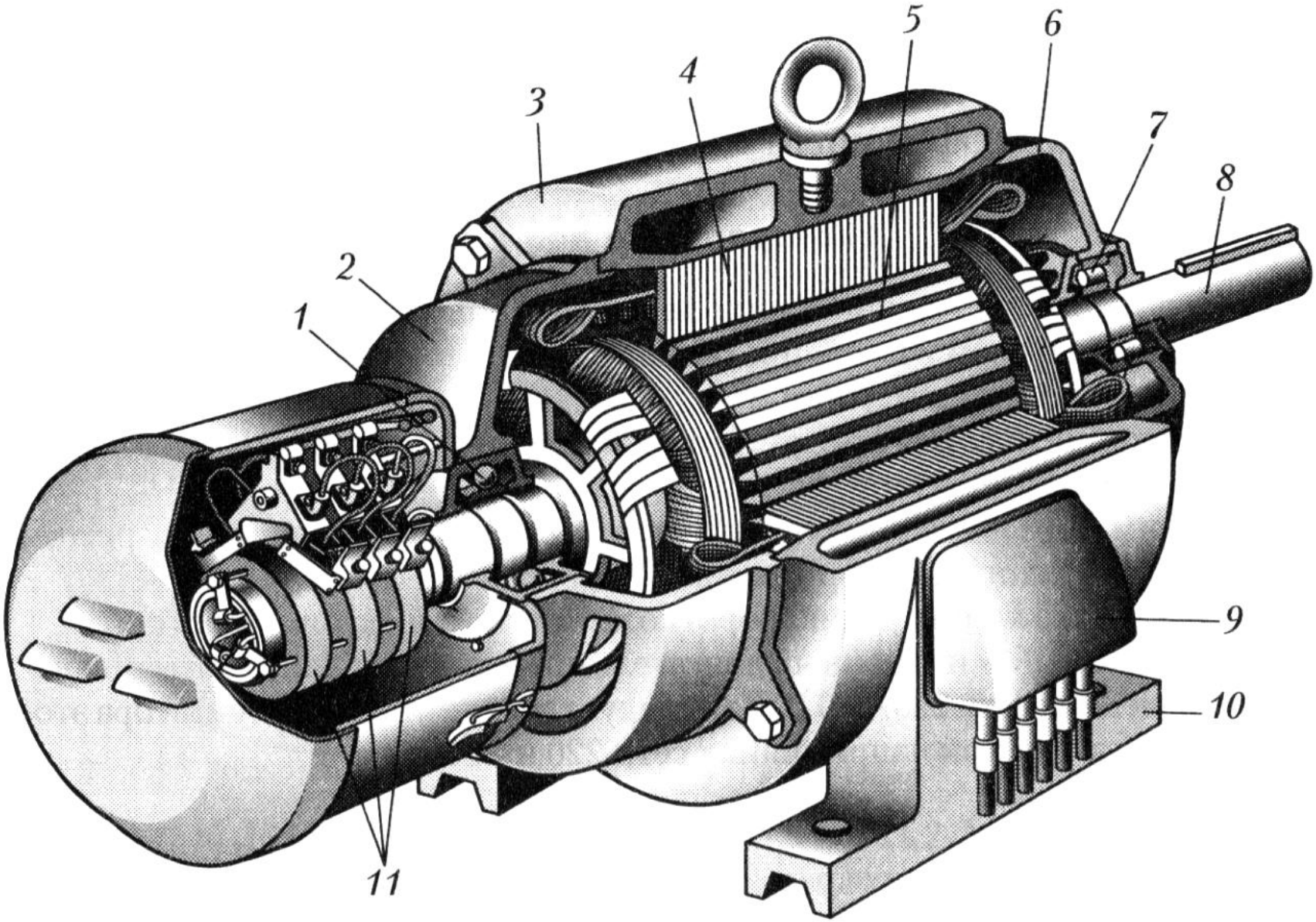
Өзекше пластиналарының араларында изолятор, тотық үлдірі бар. 1 – желдеткіш. 2 – теңгергіш.

Фазалық ротор

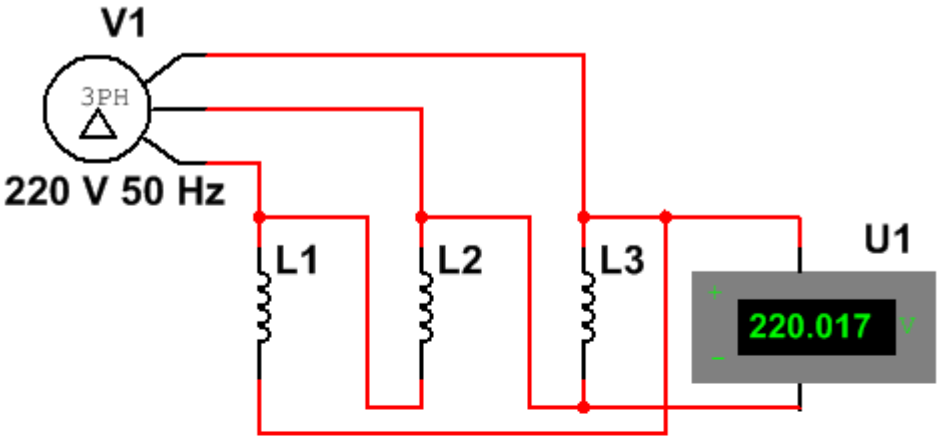


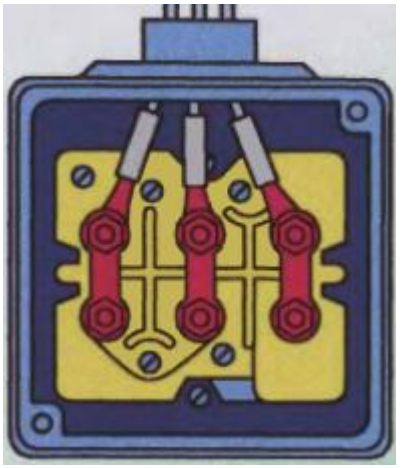
3-сурет

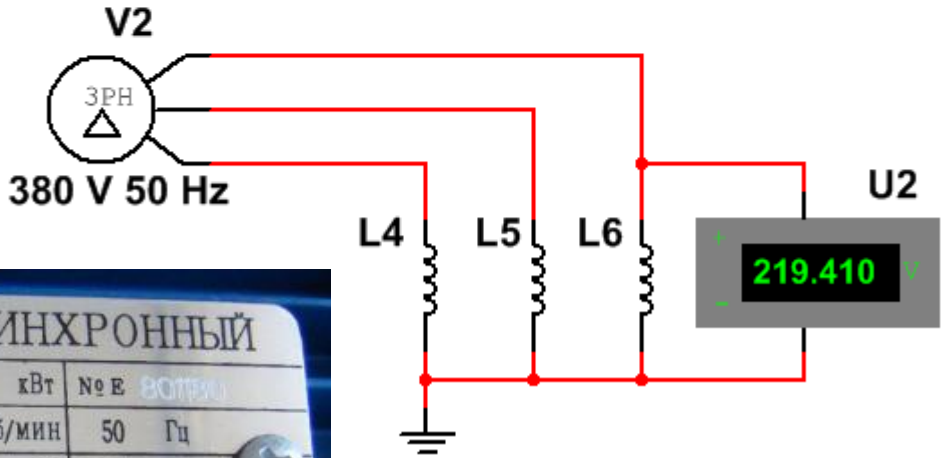
Іске қосу (жүргізу) және басқару қасиеттерін жақсарту үшін жасалынады

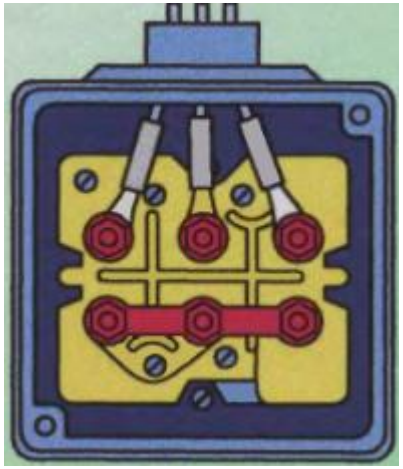

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11

Үшбұрыш және жұлдызша жалғау







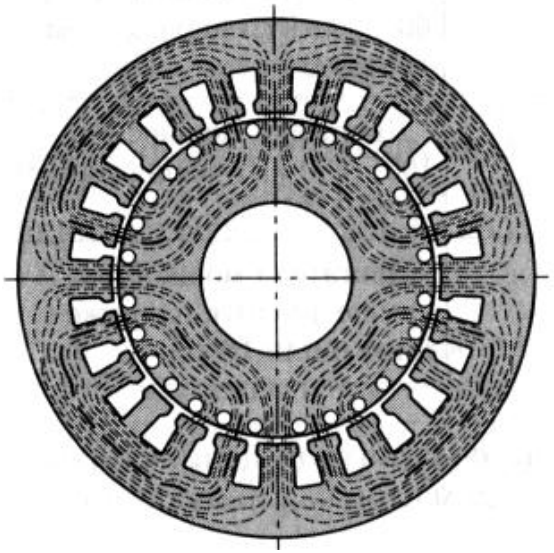




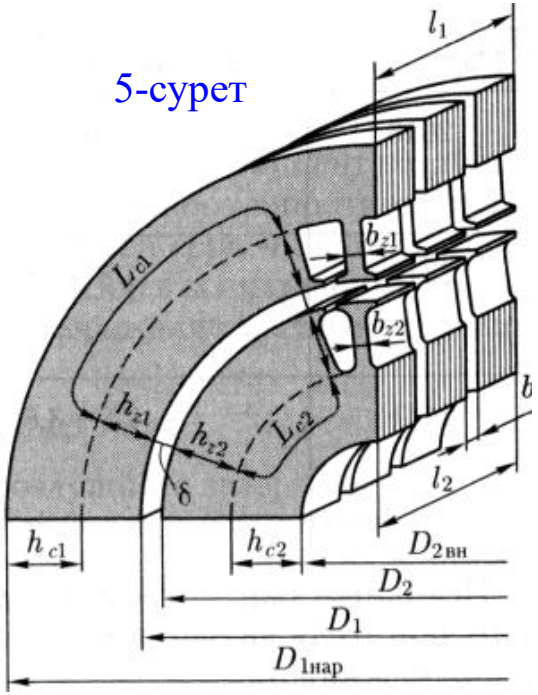
Төртполюсті асинхронды машинаның статор тогы тудырған магниттік ағын

Анық емес полюсті магниттік жүйе

4-сурет



5-сурет



Магниттік тізбек кедергілері: ауалы саңылау δ, статордың тістік қабаты h_{z1}, ротордың тістік қабаты h_{z2}, ротор арқасы L_{c1}, статор арқысы L_{c2}, және оларға түскен магниттік кернеулер (бос жүріс кезіндегі жұп полюске келетін МҚК):

$$\sum F = 2F_\delta + 2F_{z1} + 2F_{z2} + F_{c1} + F_{c2}$$

Негізгі гармониканың магниттеуші тогы: $I_{1\mu} = \dfrac{p\sum F}{0.9 m_1 w_1 k_{\text{орам1}}}$

Асинхронды қозғалтқыштың магниттік тізбегін есептеу

$$F_x = H_x l_x - \text{магниттік кернеу}$$

Жалпы магниттік тізбек бөліктері бір-бірінен пішіндерімен, өлшемдерімен және материалымен ерекшеленеді. Магниттік кернеудің басым бөлігі (70-85 %) магниттік кедергісі үлкен болғандықтан ауа саңылауларына түседі (ауа саңылауының әсері осыдан ақ көрініп тұр). Осы жердегі магнит өрісінің кернеулігі келесідей анықталады:

$H_\delta = B_\delta / \mu_0$ – ауа саңылауындағы магниттік өріс кернеулігі

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ [Г/м] – магниттік тұрақты

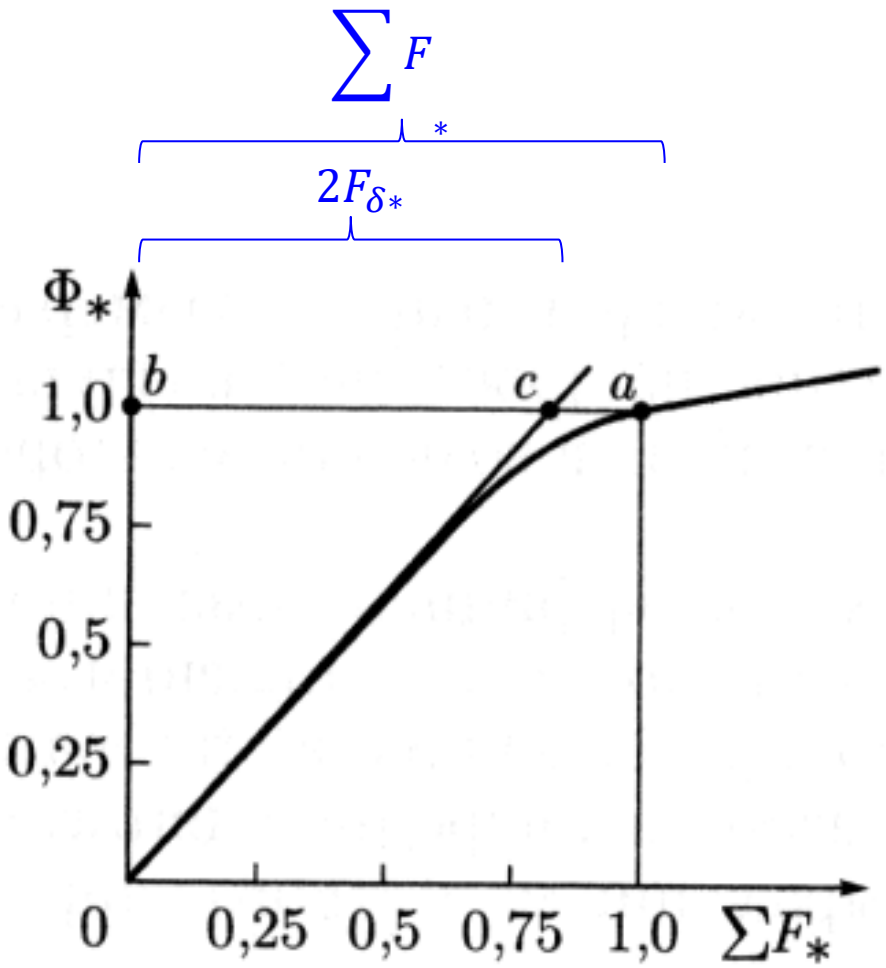
$l_\delta = \delta k_\delta$ – ауа саңылауының ұзындығы [мм]

Ауа саңылауына түсетін магниттік кернеу:

$$F_\delta(70-85\%) = B_\delta / \mu_0 \cdot \delta k_\delta 10^3$$

$k_\delta > 1$ – паздар әсерінен ескеретін ауа саңылауының коэффиценті

Асинхронды қозғалтқыштың магниттік тізбегін есептеу



Асинхронды машинаның магниттік сипаттамасы

$\Phi_* = \Phi/\Phi_{\text{ном}}$; $\sum F_* = \sum F \Big/ \sum F_{\text{ном}}$

Магниттік тізбектің қанығу деңгейі магниттік қанығу коэффициентімен сипатталады:

$$k_\mu = ba/bc = 1/(2F_{\delta *})$$

$k_\mu = 1.2 \div 1.5$ – магниттік қанығу коэфф.

$$2F_{\delta *} = 2F_\delta \Big/ \sum F_{\text{ном}}$$

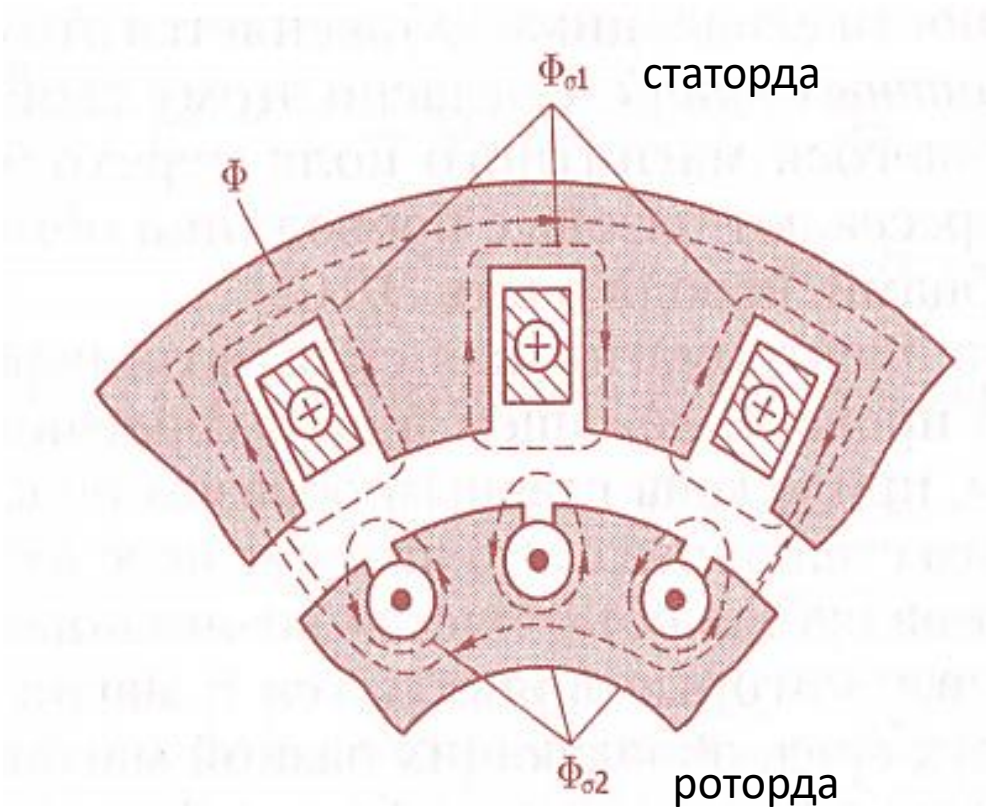
$$k_\mu = \sum F_{\text{ном}}/(2F_\delta)$$

$$\sum F_{\text{ном}} = 2F_\delta \cdot k_\mu$$

Статордың магниттеуші тогы:

$$I_{1\mu} = \frac{p \sum F_{\text{ном}}}{0.9 m_1 w_1 k_{\text{орам1}}}$$

Магнит ағынының тарамдалуы

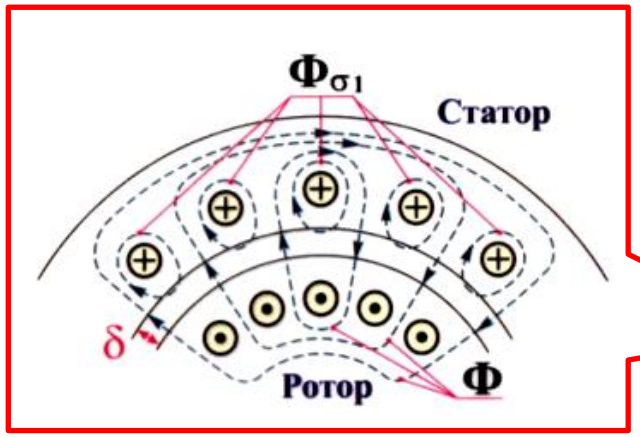


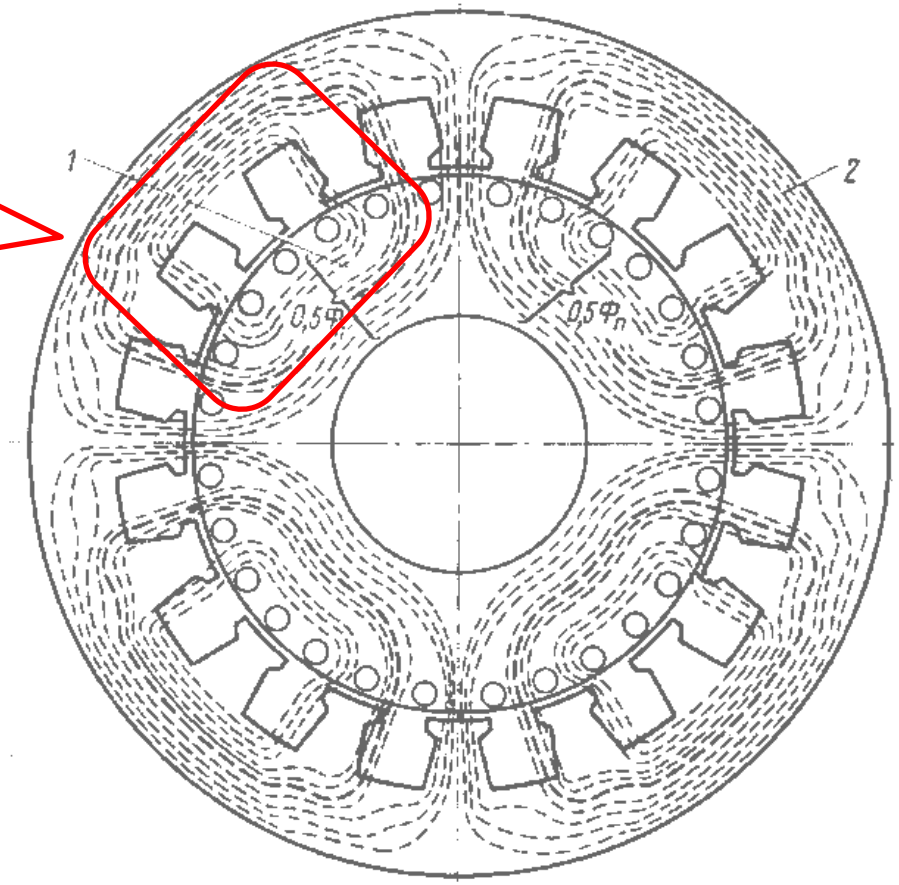
$$\dot{E}_{\sigma 1} = -j\dot{I}_1 x_1; \quad \dot{E}_{\sigma 2} = -j\dot{I}_2 x_2 s$$

s – сырғу коэффициенті

МАГНИТТІК ӨЗЕКШЕ ТІСТЕРІ

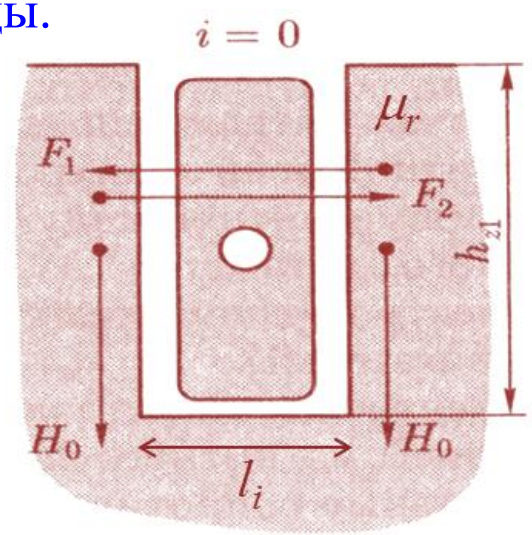
Магнит индукциясының шамасы тістермен салыстырғанда паздарда көп төмен болады, алайда магнит өрісі күш сызықтарының үзіліссіздік қасиетіне сай статор орамасында ЭҚК тудыру шарты тістердің болуы және болмауынан тәуелсіз





СТАТОР ТІСТЕРІНЕ ӘСЕР ЕТЕТІН КҮШ

Паздағы тогы бар сыммен сыртқы магнит өрісінің электр магниттік әсерлесуінен пайда болатын күш статор пазаларындағы сымға емес, статор өзекшесінің тістеріне күштірек әсер етеді. Оның себебі пондеромоторлық күштің (магнит өрісіне орналасқан магниттік өтімділіктері әртүрлі орталар шекараларындағы күш) пайда болуынан. Ол күш, магниттік өтімділігі жоғары ортадан төменге бағытталады.



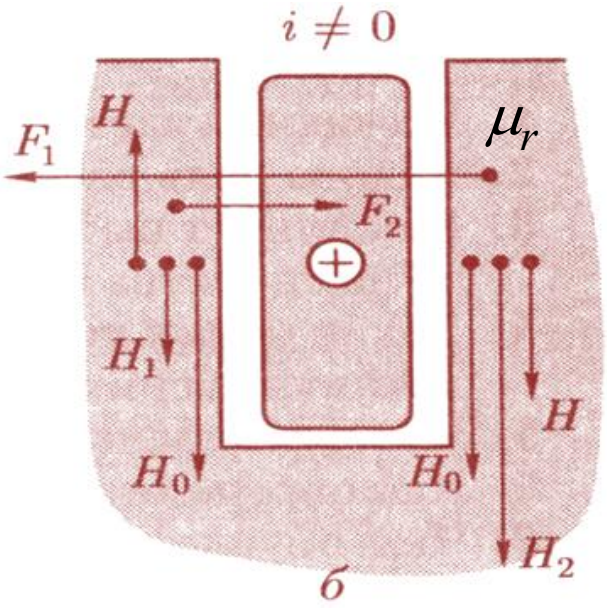
6-сурет

$$F_1 = F_2 \approx 0.5\mu_0\left(\mu_r - 1\right)H_0^2 l_i h_{z1}$$

$$F_{\text{П}} = F_2 - F_1 = 0$$

μ_r –салыстырмалы магниттік өтімділік, l_i –паз ұзындығы, h_{z1} –паз биіктігі.

СТАТОР ТІСТЕРІНЕ ӘСЕР ЕТЕТІН КҮШ



7-сурет

$$H_1 = H_0 - H;\ H_2 = H_0 + H$$

i ток тудыратын магнит өрісінің кернеулігі:

$$H \approx i/(2h_{z1})$$

Қорытқы пондеромоторлық күш:

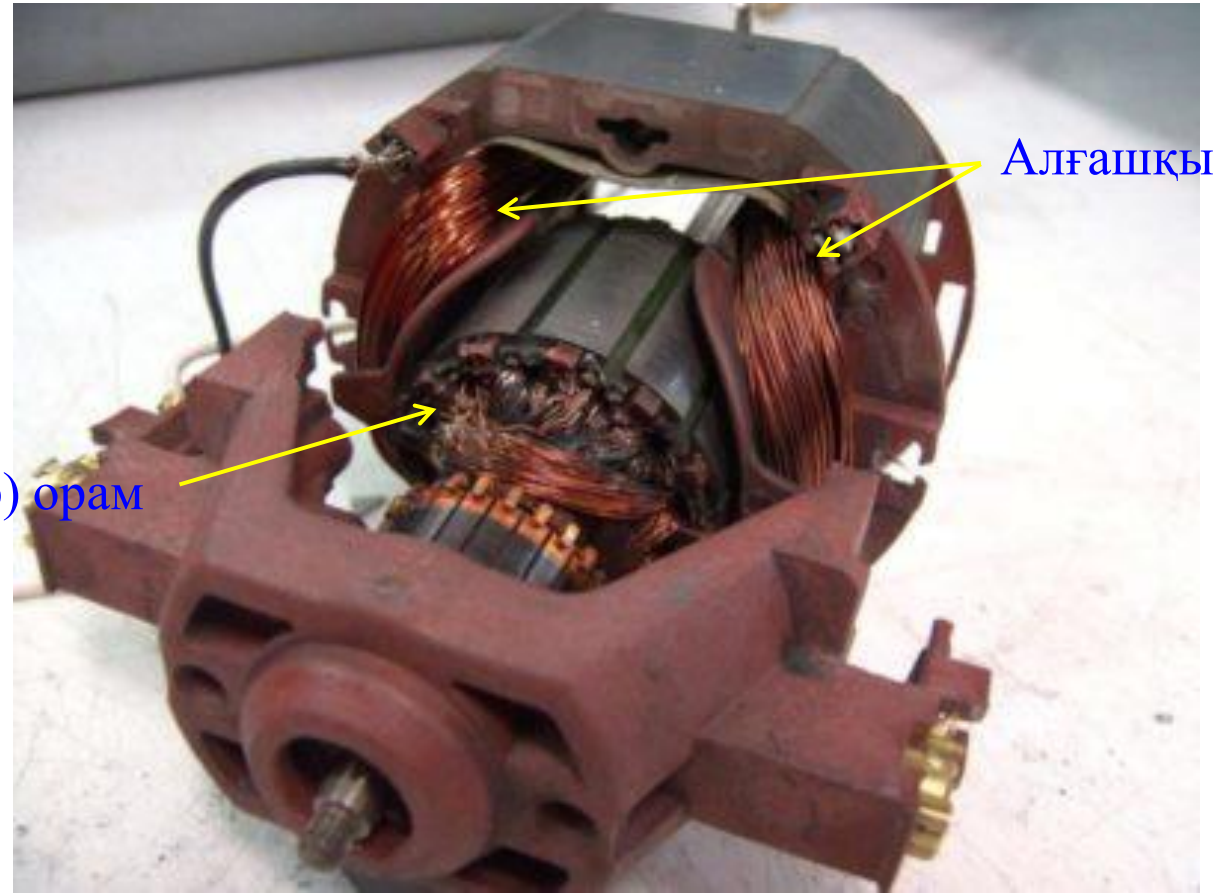
$$F_{\text{П}} = F_1 - F_2 \approx \mu_0 (\mu_r - 1) H_0 l_i i$$

$$F_{пр} \approx \mu_0 H_0 l_i i$$

Өткізгішке әсер ететін күш, тіске әсер ететін күштен (μ_r-1) есе аз, әдетте 50-100 есе аз болады.

$\mu_{r(мыс)} \approx 1$ $\mu_{r(эл.болат)} \approx 4000$

Статормен ротор орамдары индуктивті байланыста



АҚ статорының кернеулері теңдеуі

n_1 жиілікпен айналатын магнит ағынының (Ф) статор орамында тудыратын ЭҚК

$$E_1 = 4.44 f_1 \Phi w_1 k_{1\text{орам}} \quad (1)$$

Статордағы $\Phi_{\sigma 1}$ шашыраған магнит ағыны тудыратын ЭҚК

Индуктивті (кернеу)

$$\dot{E}_{\sigma 1} = -j\dot{I}_1 x_1 \quad (2)$$

Кирхгофтың екінші ережесі бойынша U_1 желі кернеуіне жалғанған статор орамасының кернеулері теңдеуі:

Активті (кернеу)

$$\dot{U}_1 + \dot{E}_1 + \dot{E}_{\sigma 1} = \dot{I}_1 r_1 \quad (3)$$

Немесе,

$$\dot{U}_1 = \left(-\dot{E}_1\right) + j\dot{I}_1 x_1 + \dot{I}_1 r_1 \quad (4)$$

Трансформатордың бірінші орамасының кернеуі.

АҚ роторының ЭҚК теңдеуі

Статордағы магнит ағыны $n_s = (n_1 - n_2)$ жиілікпен ротордан оза айнала отырып ол жерде келесідей ЭҚК тудырады:

$$E_{2s} = 4.44 f_2 \Phi w_2 k_{2\text{орам}} \quad (5)$$

Сырғу жиілігі:

$$f_2 = \frac{p n_1}{60} \frac{n_1 - n_2}{n_1} = f_1 s \quad (6)$$

(6) → (5) $$E_{2s} = 4.44 f_1 s \Phi w_2 k_{2\text{орам}} = E_2 s \quad (7)$$

E_2 – s=1 болған кездегі ротордың ЭҚК (қысқа тұйықталу).

$\Phi_{\sigma 2}$ шашыраған магнит ағыны тудыратын ЭҚК: $\dot{E}_{\sigma 2} = -j \dot{I}_2 x_2 s \quad (8)$

$$\dot{E}_{2s} + \dot{E}_{\sigma 2} = \dot{I}_2 r_2$$

АҚ роторының кернеулері теңдеуі

(7), (8) $\rightarrow$ $$\dot{E}_2 s - j\dot{I}_2 x_2 s - \dot{I}_2 r_2 = 0$$

s – сырғуға бөлеміз:

$$\dot{E}_2 - j\dot{I}_2 x_2 - \dot{I}_2 r_2 / s = 0$$

Асинхронды қозғалтқыштың МҚК теңдеуі

АҚ негізгі магнит ағынын F_1 және F_2 МҚК-і туғызады:

$$\dot{\Phi} = \frac{\left(\dot{F}_1 + \dot{F}_2\right)}{R_м} = \frac{\dot{F}_0}{R_м}$$

Бос жүріс кезіндегі МҚК:

$$F_0 = \frac{0.45 m_1 I_0 w_1 k_{орам1}}{p}$$

I_0 - бос жүріс тогы.

Біліктегі жүктеме өзгерген кезде ротор және статор токтары да өзгереді. Бұл кезде негізгі магнит ағыны өзгеріссіз қалады. Себебі статорға желіден берілетін кернеу тұрақты және ол толықтай статордың ЭҚК теңеседі:

$$\dot{U}_1 \approx \left(-\dot{E}_1\right)$$

АҚ тоқтарының теңдеуі

F_1 және F_2 МҚК өзгерісіне қарамастан қорытқы МҚК өзгермейді:

$$\dot{F}_0 = \dot{F}_1 + \dot{F}_2 = \text{const}$$

$$\frac{0.45 m_1 \dot{I}_0 w_1 k_{\text{орам1}}}{p} = \frac{0.45 m_1 \dot{I}_1 w_1 k_{\text{орам1}}}{p} + \frac{0.45 m_2 \dot{I}_2 w_2 k_{\text{орам2}}}{p}$$

$\frac{m_1 w_1 k_{\text{орам1}}}{p}$ бөлеміз

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 \frac{m_2 w_2 k_{\text{орам2}}}{m_1 w_1 k_{\text{орам1}}} = \dot{I}_1 + \dot{I}`_2$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}`_2)$$

АҚ токтарының теңдеуі

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}`_2)$$

Ротор тогы қозғалтқыштың магниттік жүйесіне трансформатордың екінші орамасының тогы сияқты магнитсіздеуші әсер береді. Осылайша, қозғалтқыш білігіндегі механикалық жүктеме өзгерісі статор орамасындағы токтың (I_1) өзгерісіне әкеледі, себебі осы жүктеме сырғу коэффициентінің (s) өзгерісін тудырады.

Бұл өз кезегінде ротор орамасының ЭҚК-не әсер береді, демек ротор тогына (I_2) да. Бұл ток күші машинаның магниттік жүйесіне магнитсіздеуші әсер беретіндіктен ол $-\dot{I}`_2$ ток құраушысы арқылы статор тогынада өзгеріс әкеледі.

Бос жүріс кезінде ($s \approx 0$) ротор тогы, I_2 нөлге жуық, ал статор тогы $I_1 \approx I_0$.

Егер статор орамасын желіден ажыратпай роторды тоқтататын болсақ (қысқа тұйықталу режимі, $s = 1$, онда ротор орамасының ЭҚК, сәйкесінше ротор мен статордағы токтар өздерінің ең жоғары мәндеріне ие болады.