Электр машиналары және электр жетегі



Профессор Досболаев М.Қ.

Айнымалы токтың коллекторсыз машиналары

Асинхронды

Синхронды

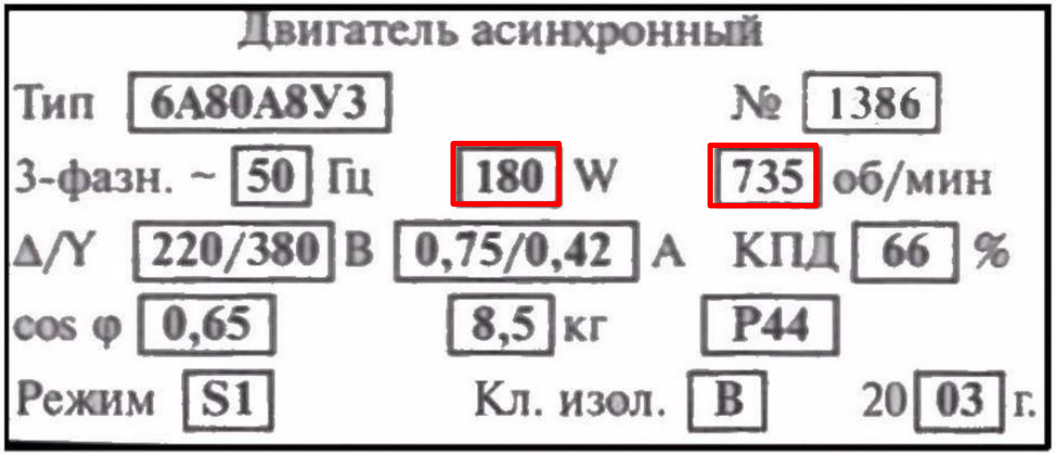
Айналмалы қозғалыс жылдамдығы

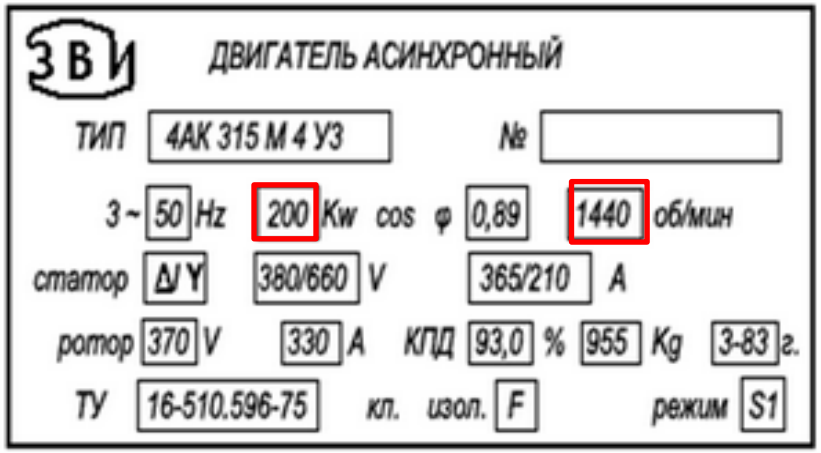
Бұрыштық жылдамдық:

$$\omega = 2\pi n/60 = 0.105n \ [\text{рад/с}] \quad (1)$$

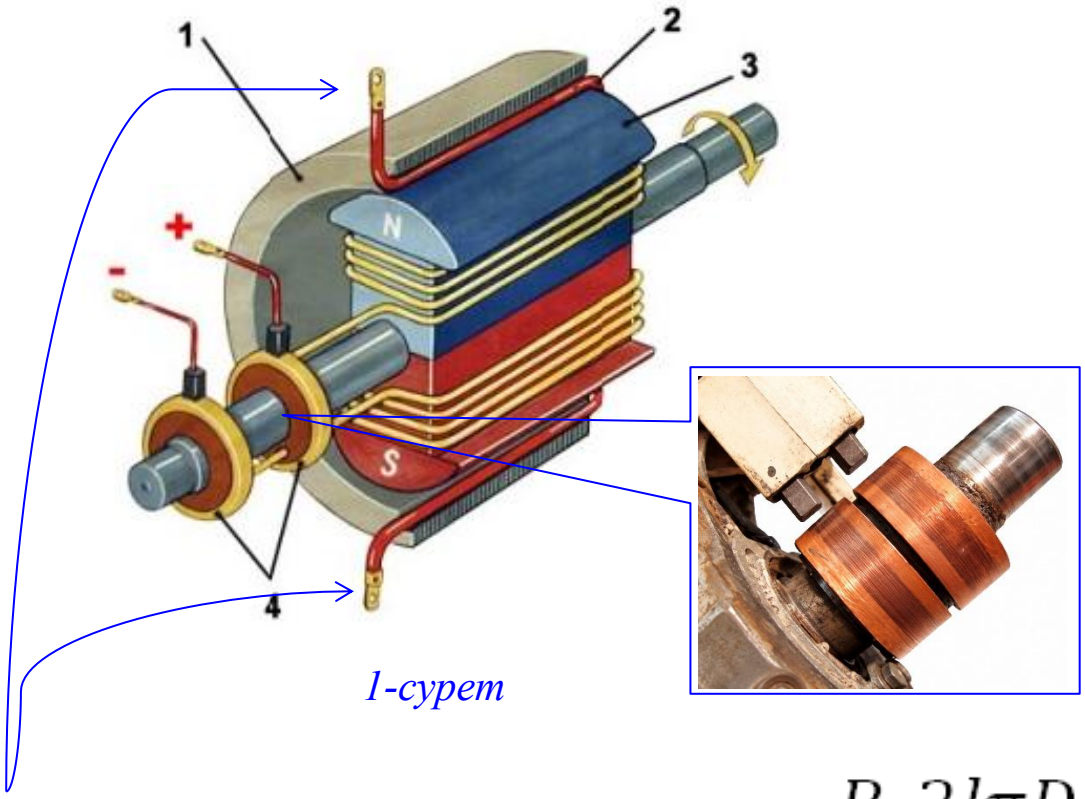
Айналу жиілігі:

n [айн/мин]

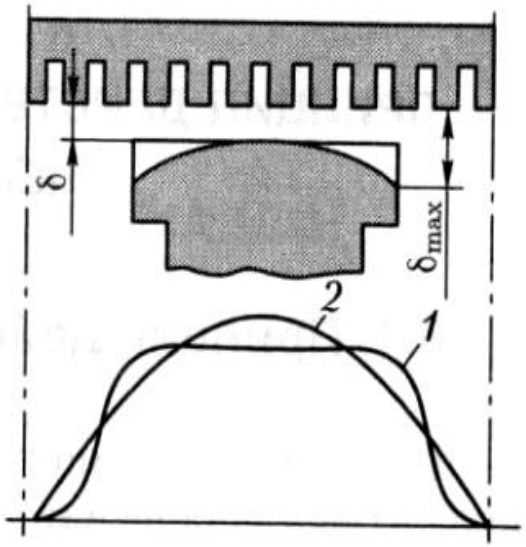




Синхронды генератор. Айналмалы қозғалыс жылдамдығы



1-сурет



$B_\delta = B_{max} sin\alpha$

2-сурет

ЭҚК-нің лездік мәні $e = B_\delta 2lv = \frac{B_\delta 2l\pi D_1 n_1}{60}$ (2)

$v = \frac{\pi D_1 n_1}{60}$

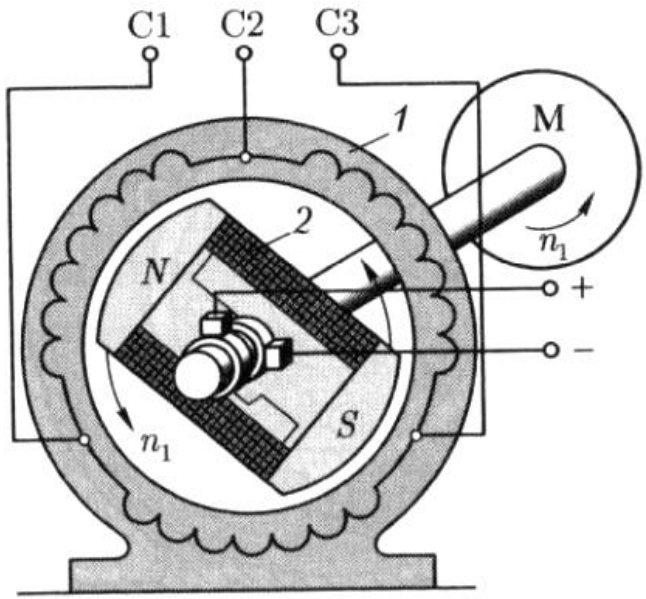
Ротордың жылдамдығы

ЭҚК-нің жиілігі $f_1 = \frac{pn_1}{60}$ (3)

$f_1 = \frac{1 \cdot 3000}{60} = 50$ Гц

p – жұп полюстар саны (N&S)

Синхронды генератор



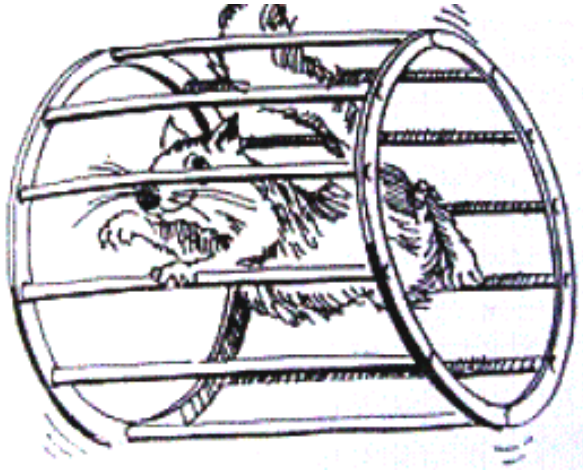
3-сурет

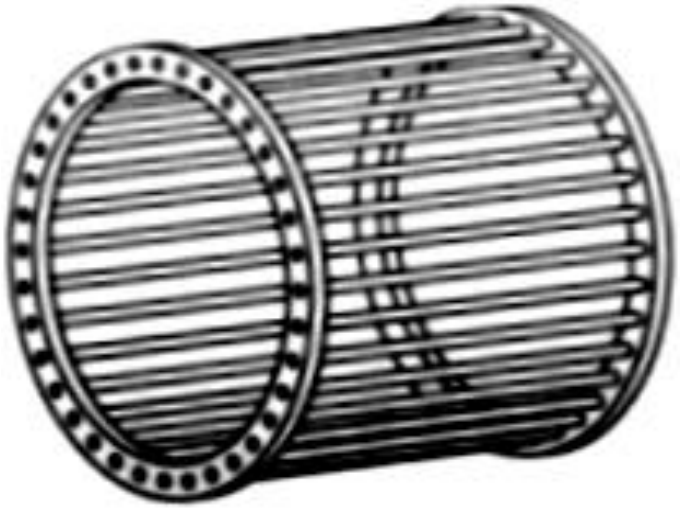
Егер статор орамдары ұштарына жүктеме жалғайтын болсақ олардың бойында электр тогы пайда болап ротордың айналу жиілігіне тең айналмалы магнит өрісін тудырады, осы себепті мұндай машиналар *синхронды* деп аталады.

Статордағы магнит өрісінің айналу жиілігі ротордың айналу жиілігіне тең:

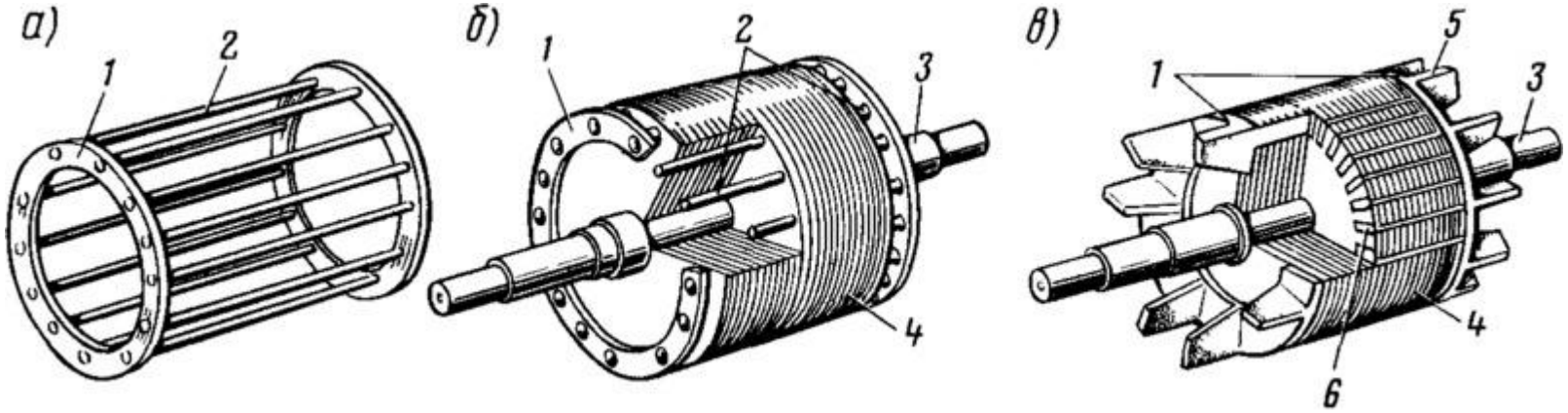
$$n_1 = \frac{f_1 60}{p} \quad (4)$$

Асинхронды қозғалтқыш роторының құрылысы



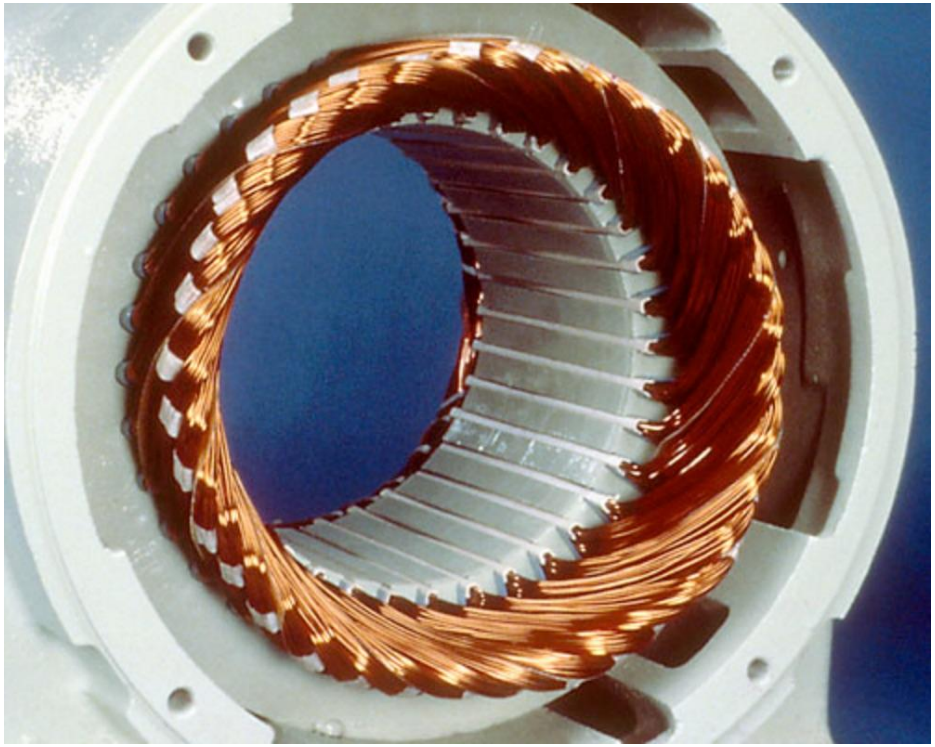


Тиін торы (беличья клетка)



4-сурет

Электр машиналары статорларының құрылысының ұқсастығы

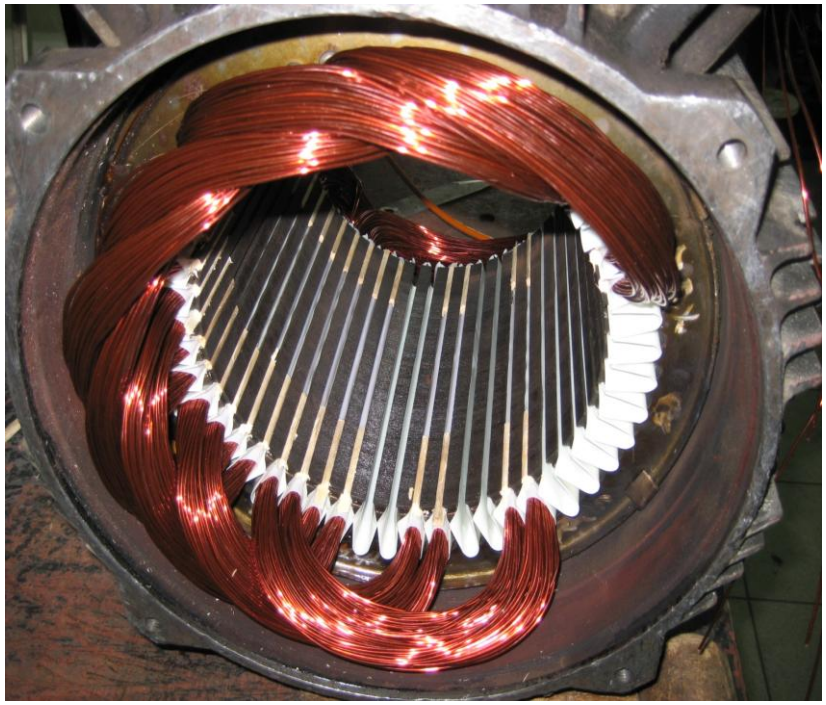


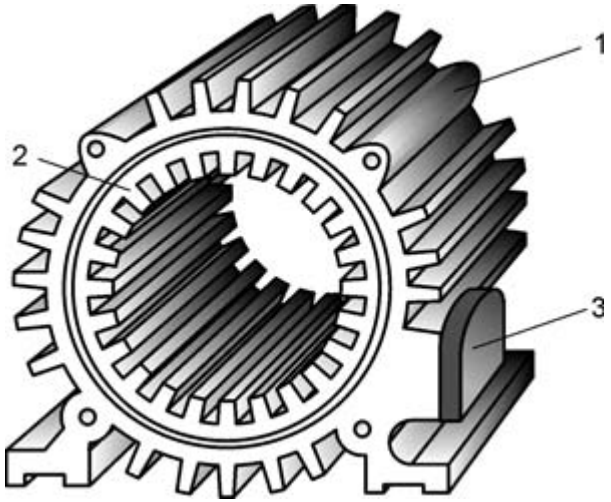
Қозғалтқыштікі



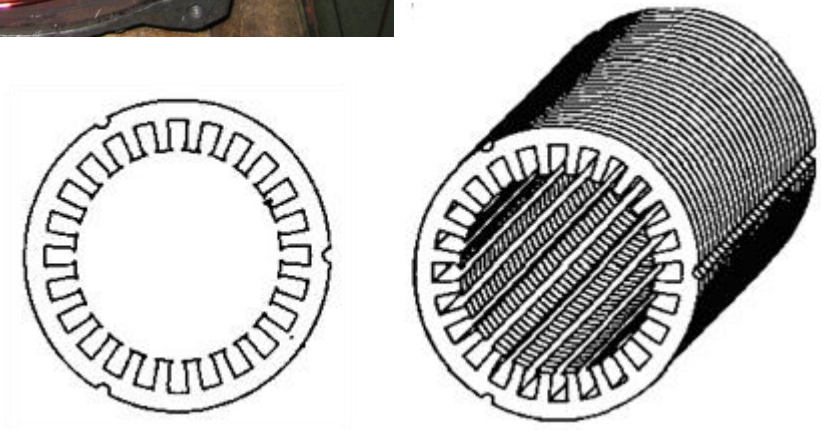
Генератордкі

Статор құрылысы



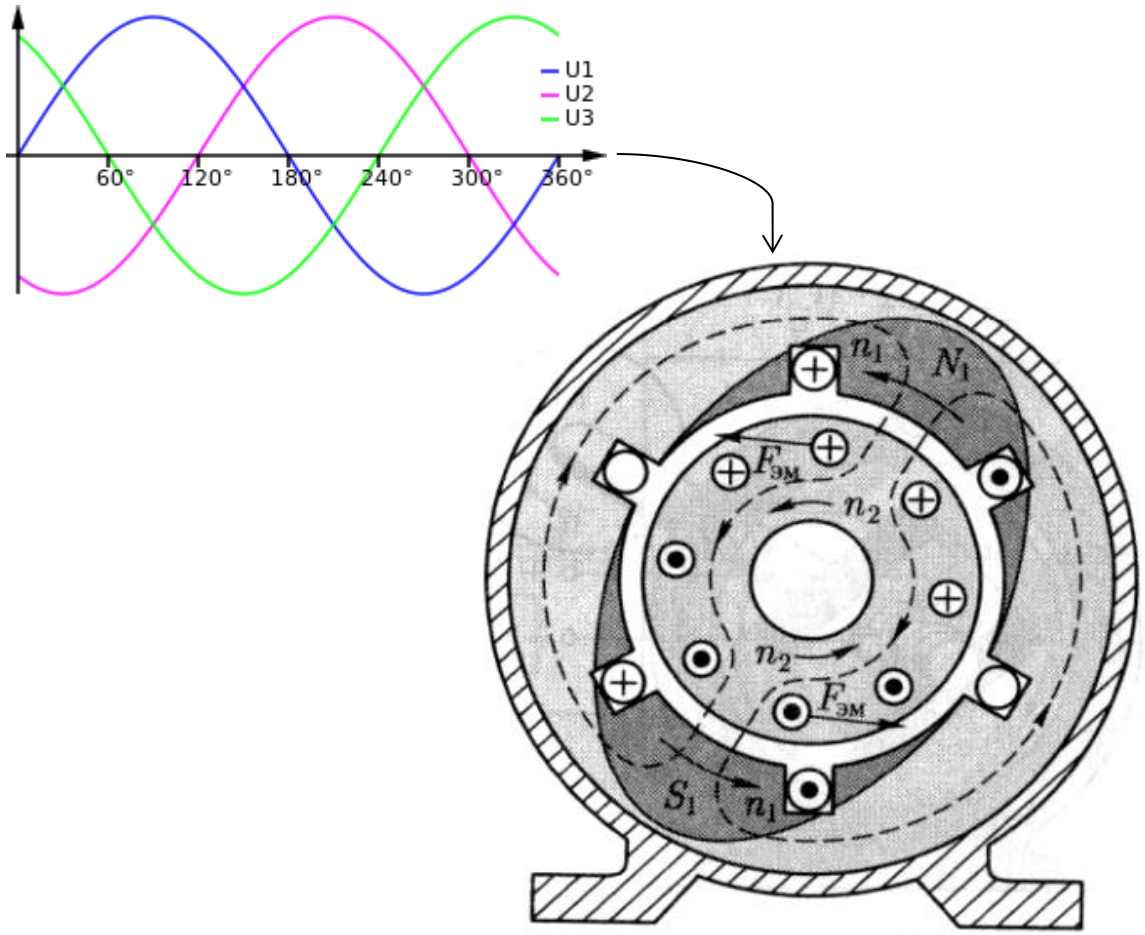


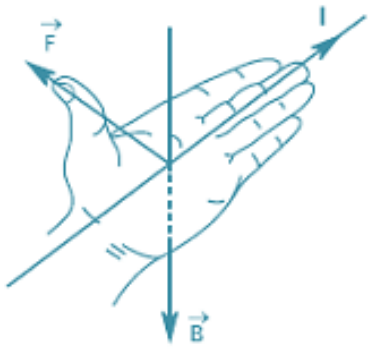
5-сурет



Z_1=24 пазды статор өзекшесі

Асинхронды қозғалтқыштың жұмыс істеу принципі



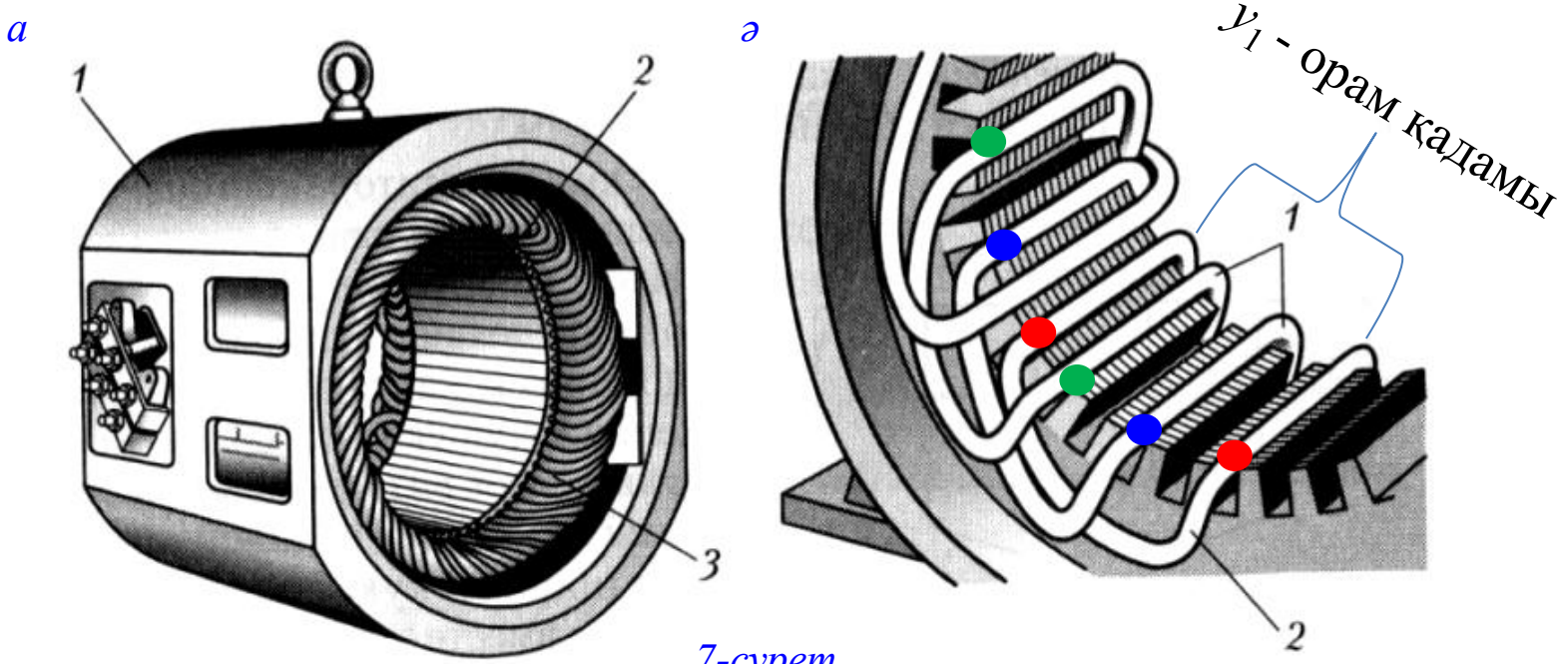


Сол қол ережесі

6-сурет. АҚ роторында айналдырушы күштің пайда болуы

Ротордың айналу жиілігі (n_2) статордың магнит өрісінің айналу жиілігінен (n_1) әрқашан аз болады, осы себепті мұндай машиналар *асинхронды* деп аталады.

Статор құрылысы



7-сурет

Орамдардың 1 – паздық жағы,
2 – беткі жағы

$m_1 = 3 \rightarrow Z_1/3$

Z_1 – статор өзекшесіндегі пазалар саны

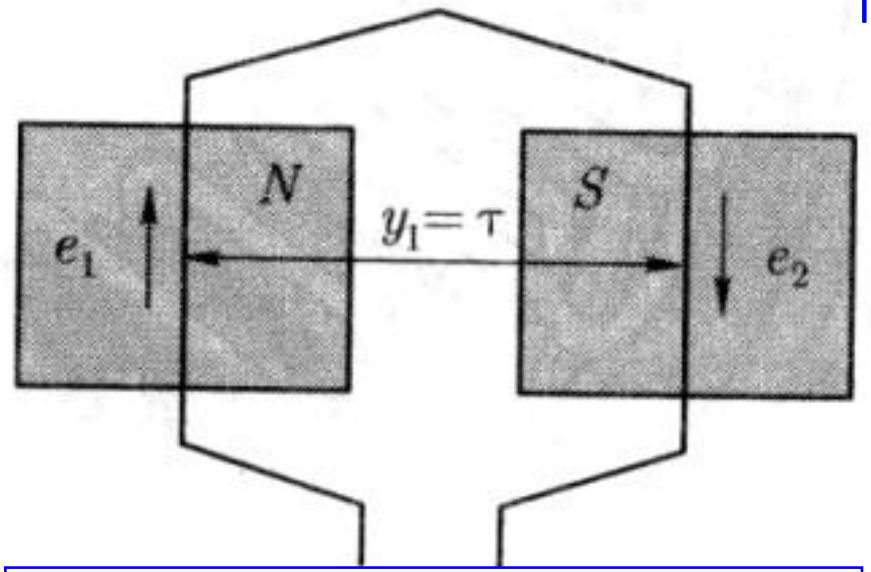
Бір полюске келетін статордың ішкі доғасының бөлігі, полюстік бөлгіш деп аталады [м]

$$\tau = \frac{\pi D_1}{2p} \quad (5)$$

$2p$ – дара полюстар саны

Катушканың ЭҚК

Полюстік бөлгіш: $\tau = \dfrac{\pi D_1}{2p}$ (5)



$$e_1 + e_2 = e_к = B_\delta 2lvw_к \quad (7)$$

Катушкадағы ЭҚК лездік мәні

8-сурет

$$y_1 = \frac{z_1}{2p} = \tau \quad (6)$$

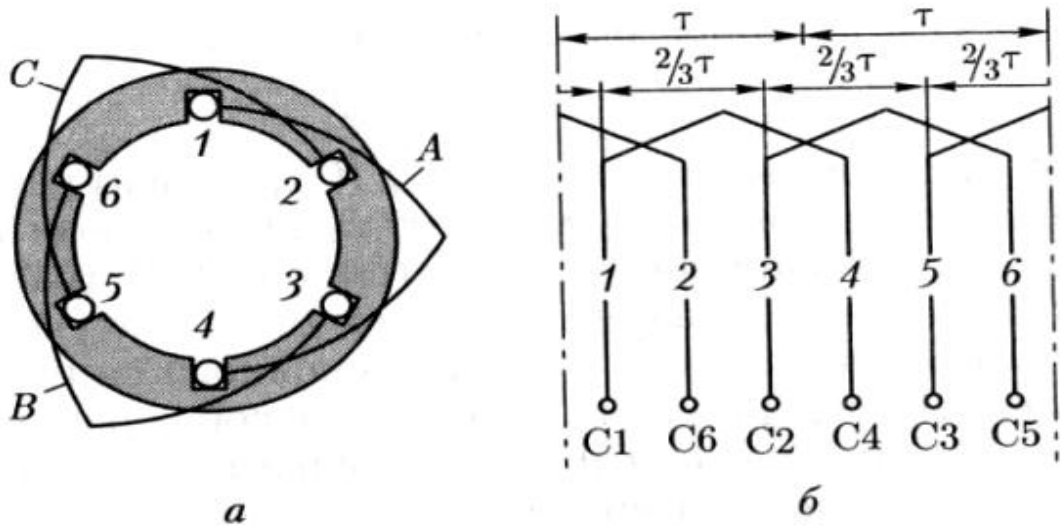
Бұл жағдайда орама қадамы **толық немесе диаметрлік** деп аталады

$$y_1 < \tau$$

Бұл жағдайда орама қадамы **қысқартылған** деп аталады

$w_к$ – катушкадағы орамдар саны

Статор орамаларының жазық түрде кескінделуі

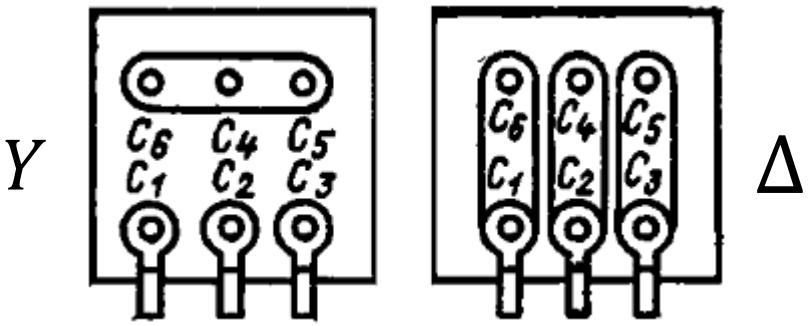


9-сурет

Бірінші фаза ..... басы С1 – соңы С4.

Екінші фаза ..... басы С2 – соңы С5.

Үшінші фаза ..... басы С3 – соңы С6.





Генератор катушкасында пайда болатын ЭҚК

Магнит өрісінің
сызықты жылдамдығы:

$$e_1 + e_2 = e_к = B_\delta 2lvw_к, \quad \text{мұндағы} \quad v = \frac{\pi D_1 n_1}{60} = \frac{\tau 2pn_1}{60} = 2\tau f_1$$

$$\boxed{e_к = B_\delta 4l\tau f_1 w_к} \quad (8)$$

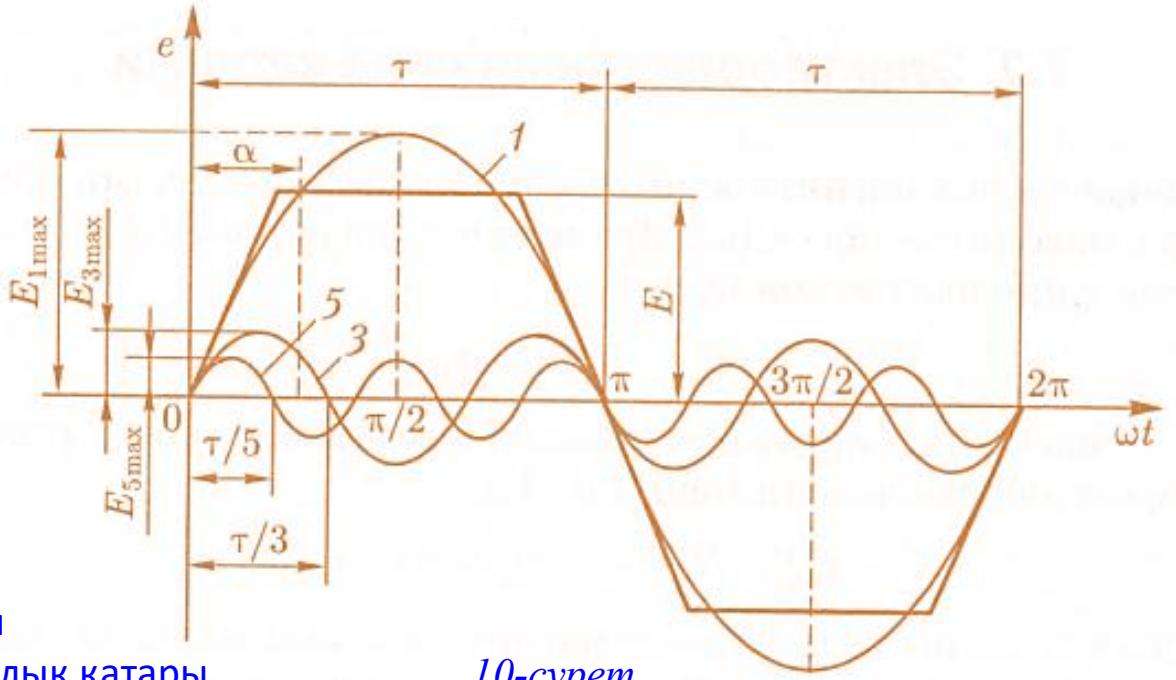
Катушкадағы ЭҚК лездік мәні

$w_к$ – катушкадағы орамдар саны

Катушкадағы ЭҚК-нің синусоидалы гармоникалары

$$e_к = B_\delta 4 l \tau f_1 w_к \quad (8)$$

Катушкадағы ЭҚК лездік мәні



10-сурет

Трапеция формалы ЭҚК-нің гармоникалық қатары

$$e = \frac{4E}{\pi\alpha}\left(\sin\alpha\sin\omega_1 t + \frac{1}{3^2}\sin 3\alpha\sin 3\omega_1 t + \frac{1}{5^2}\sin 5\alpha\sin 5\omega_1 t + \ldots + \frac{1}{\nu^2}\sin\nu\alpha\sin\nu\omega_1 t\right)$$

1 3 5

↓ Ампл. ↑ Жиіл.

Electrical Machines Drives and Power Systems Theodore Wildi (22 бет)

Үшінші гармоника.
Үш фазаның ЭҚК-тері бір-бірімен беттеседі

А фазасы: $e_{A3} = E_{3m} \sin 3\,\omega t$

В фазасы: $e_{B3} = E_{3m} \sin[3(\omega t - 120°)] = E_{3m} \sin(3\omega t - 360°) = E_{3m} \sin 3\,\omega t$

С фазасы: $e_{C3} = E_{3m} \sin[3(\omega t + 120°)] = E_{3m} \sin(3\omega t + 360°) = E_{3m} \sin 3\,\omega t$

Сызықтық кернеу фазалық кернеулердің айырмасына тең. Үшінші гармоника үшін:

$$u_{AB3} = u_{A3} - u_{B3}$$

Ал екі гармоника бірдей болғандықтан:

$$u_{AB3} = U_{3m} \sin(3\omega t) - U_{3m} \sin(3\omega t) = 0$$

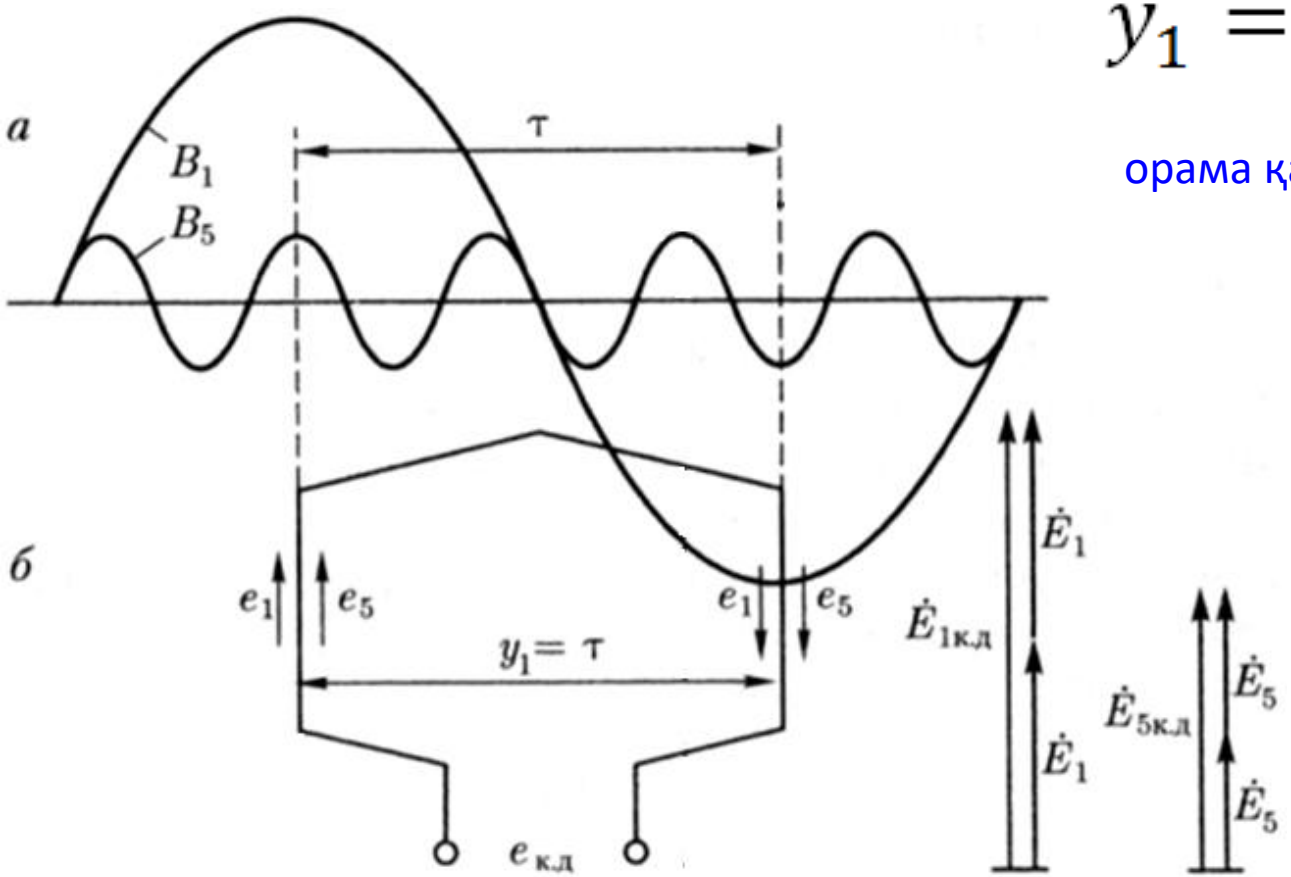
Демек, үшінші гармониканың үш фазадағы ЭҚК-тері кез келген уақыт мезетінде бірдей мәнге ие болады. Олар бір уақытта нөлден өтеді, бір уақытта максимум және минимум мәндерге жетеді. Сондықтан жұлдызша жалғанған жүйеде екі фазалық ЭҚК-тің айырмасы арқылы анықталатын сызықтық ЭҚК құрамында үшінші гармоника болмайды. Бұл қасиет 9, 15 және басқа да үшке еселі тақ гармоникаларға тән.

http://rzia.ru/topic3263-ryad-fure-v-metode-simmetrichnykh-sostavlyayushchikh-p2.html

1-ші (негізгі) және 5-ші гармоника

$$y_1 = \frac{z_1}{2p} = \tau$$

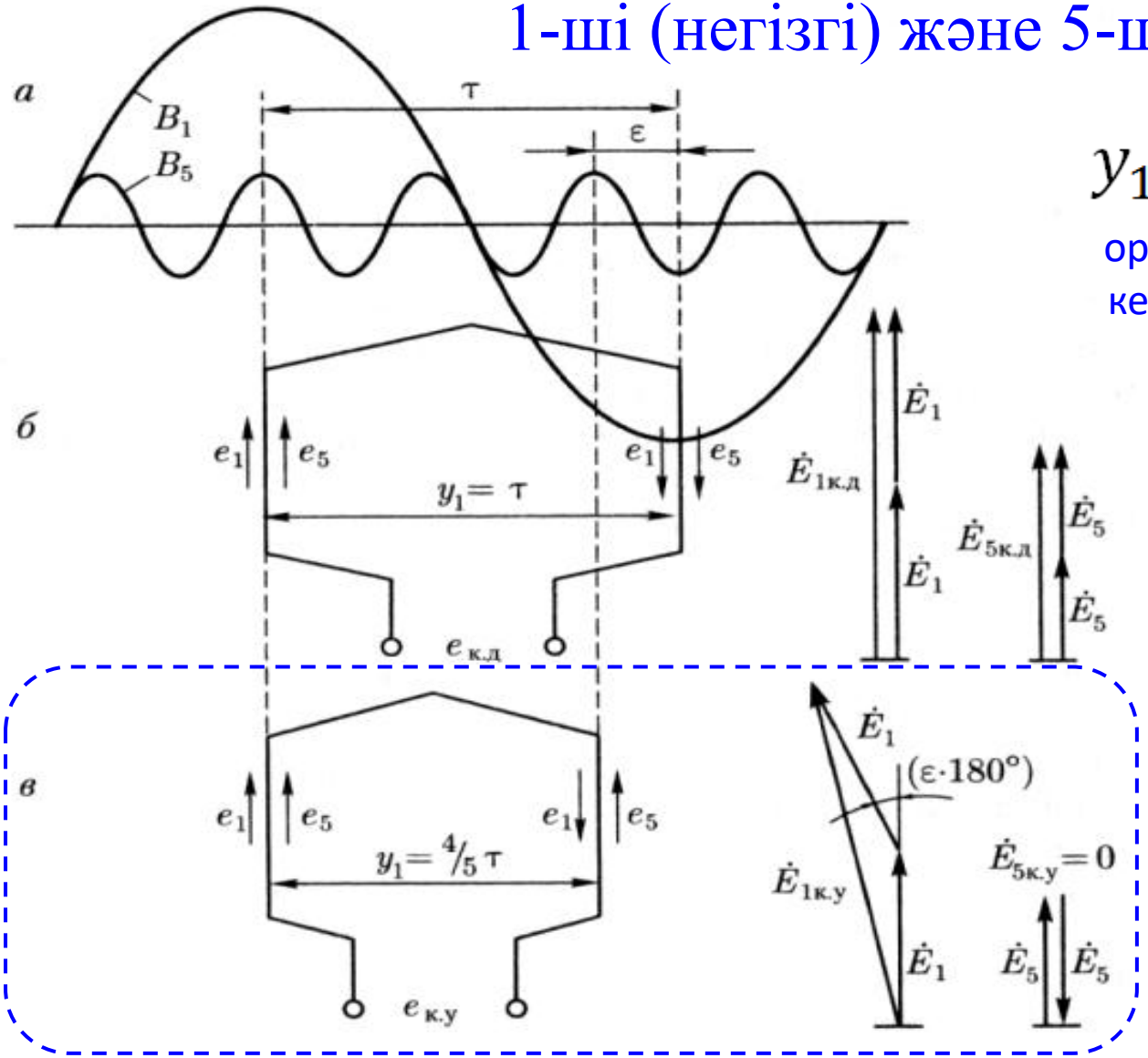
орама қадамы толық



14-сурет

$$E_{1к.д} = 2E_1 \quad (11)$$ ← Толық қадам кезінде негізгі гармониканың ЭҚК-і арифметикалық қосылады

1-ші (негізгі) және 5-ші гармоника



$$y_1 = (4/5)\tau = 0.8\,\tau$$

орама қадамы қысқартылған кезде e_5-тер бір-біріне қарсы бағытталып жойылады

$$\beta = \frac{y_1}{\tau} = 0{,}8 \div 0{,}89$$

салыстырмалы қадам

$$\varepsilon = 1 - \beta = 0{,}2 \div 0{,}11$$

салыстырмалы қысқарту

$$E_{1к.у} = E_1 + E_1 \cos(\varepsilon \cdot 180^\circ) < E_{1к.д}$$

← Қысқартылған қадам кезінде негізгі гармониканың ЭҚК-і геометриялық қосылады

Орама қадамын қысқартқан кезде ол жердегі ЭҚК $\varepsilon = 1 - \beta$

шамасына азаюын *қадамды қысқарту коэффициентімен* ескеруге болады

$$k_{\text{у}} = \frac{E_{\text{к.у}}}{E_{\text{к.д}}}. \quad (13)$$

Бірінші гармоника үшін $k_{\text{у1}} = \sin(\beta \cdot 90^{\circ})$.

Кез келген гармоника үшін $k_{\text{у}\nu} = \sin(\nu\beta \cdot 90^{\circ})$.

$$\beta = \frac{y_1}{\tau}$$

1-кесте

Номер гармоники ν	Значения $k_{\text{у}\nu}$ при относительном шаге обмотки β		
	4/5	6/7	1
1	0,951	0,975	1,000
5	0,000	0,433	1,000
7	0,573	0,000	1,000

Статор орамалары орналасу ерекшеліктеріне қарай жинақталған және таралған болып екіге бөлінеді

Жинақталған орамада бір полюске тиесілі бір фазаның катушкалары екі пазға шоғырланып орналастырылады. $Z_1 = (2pm_1) \rightarrow q_1 = 1$

Таралған орамада бір фазаның катушкалары статордың ішкі шеңбері бойымен бірнеше пазға бөлініп орналастырылады. $q_1 > 1$

Таралған орамалар магнит өрісінің кеңістікте синусоидалық таралуына жақындауына мүмкіндік береді.

Статор орамасының маңызды параметрлерінің бірі, полюске және фазаға сәйкес келетін паздар саны:

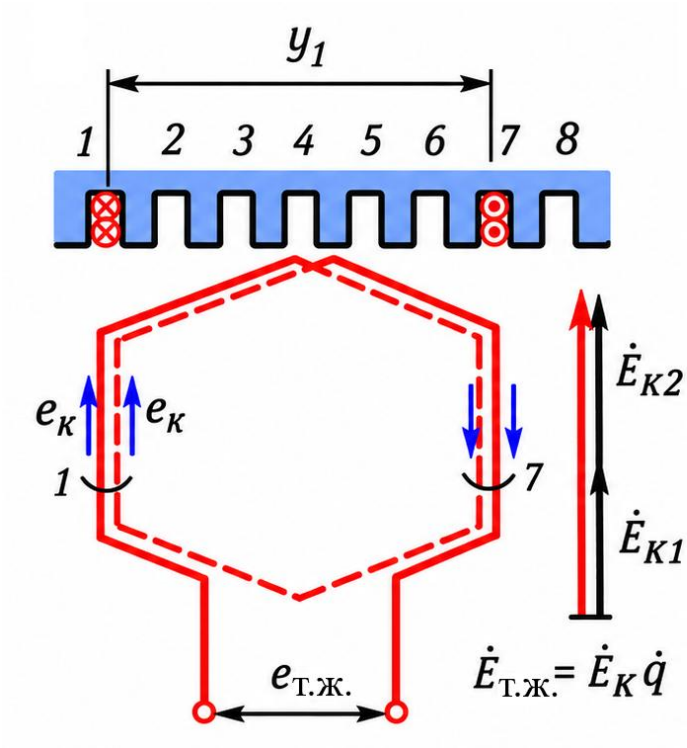
$$q_1 = Z_1/(2pm_1) \quad (14)$$

Статордың екі қабатты таралған орамасында әрбір фазадағы катушкалар топтарының саны полюстер санына, яғни $2p$ -ге тең, ал үш фазалы орамадағы катушкалар топтарының жалпы саны $A = 2pm_1$ болады. Бұл ретте әрбір катушкалар тобындағы катушкалар саны q_1 -ге тең.

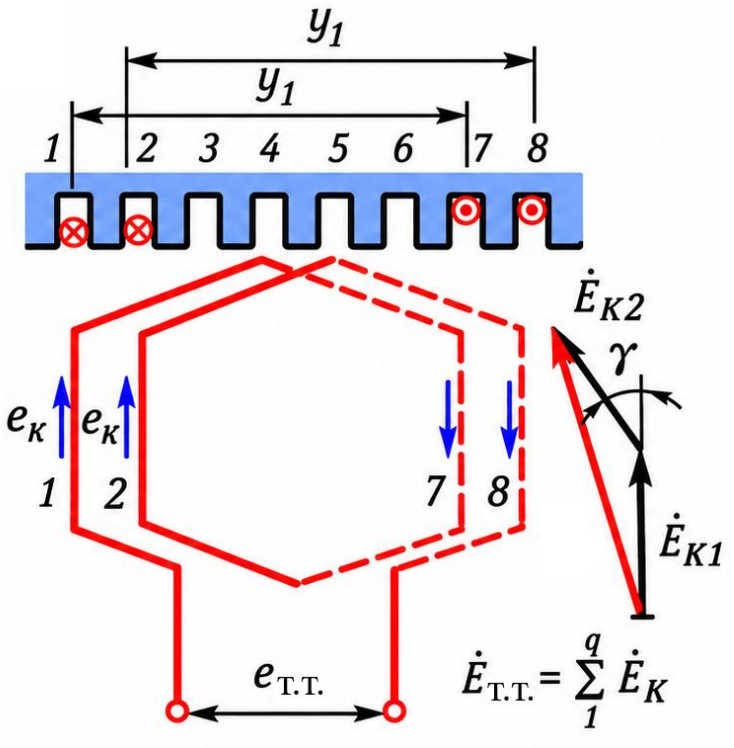
$2p$ – дара полюстар саны

Катушкалық топтың ЭҚК

Жинақталған



Таралған



а) *15-сурет* *ә)*

$$E_{т.ж.} = E_{к1} + E_{к2} \quad (14)$$

$$\dot{E}_{т.т.} = \sum_1^{q_1} \dot{E}_к \quad (15)$$

γ - паздық бұрыш

Ораманың таралу коэффициенті:

$$k_{т} = (E_{т.т.} / E_{т.ж.}) < 1$$

Негізгі гармоника үшін $$k_{т1} = \frac{\sin(0.5 q_1 \gamma)}{q_1 \sin(0.5\gamma)} \quad (17)$$

$$\gamma = 360p/Z_1$$

Барлық гармоникалар үшін $$k_{тν} = \frac{\sin(0.5 \nu q_1 \gamma)}{q_1 \sin(0.5\nu\gamma)} \quad (18)$$

2-кесте

Номер гармоники ν	Значения k_p при числе пазов на полюс и фазу q_1						
	1	2	3	4	5	6	∞
1	1,000	0,966	0,960	0,958	0,957	0,956	0,955
3	1,000	0,707	0,667	0,654	0,646	0,644	0,636
5	1,000	0,259	0,217	2,204	0,200	0,197	0,191
7	1,000	−0,259	−0,178	−0,157	−0,149	−0,145	−0,136

← q_1

← $k_т$

Статор катушкасының ЭҚК

$$e_к = B_\delta 4 l \tau f_1 w_к$$ ← Катушкадағы ЭҚК лездік мәні

$\sin(\omega_1 t) = 1$

$$B_\delta = B_{max} sin\omega_1 t$$

$$E_{кmax} = B_{max} 4 l \tau f_1 w_к \quad (19)$$

Катушкадағы ЭҚК максимал мәні

$$B_{орт} = (2/\pi) B_{max} \longrightarrow B_{max} = (\pi/2) B_{орт} \quad (20)$$

Магнит индукциясының максимал мәні

$$E_{кmax} = 2\pi B_{орт} l \tau f_1 w_к \quad (21)$$

$w_к$ – катушкадағы орамдар саны

Статор катушкасының ЭҚК

$$E_{кmax} = 2\pi B_{орт} l \tau f_1 w_к \quad (21)$$

Катушкадағы ЭҚК әсерлі мәні:

$$E_к = \frac{E_{кmax}}{\sqrt{2}} = \left(\frac{2\pi}{\sqrt{2}}\right) B_{орт} l \tau f_1 w_к \quad (22)$$

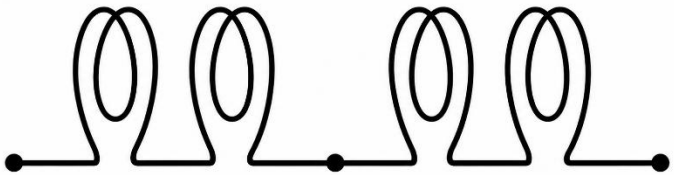
$S = \tau l$ - бір полюстегі магнит ағынының көлденең қимасының ауданы

$B_{орт} \tau l = \Phi$ - негізгі магнит ағыны

Диаметрлік қадамды ($y_1=\tau$) катушкадағы ЭҚК әсерлі мәні:

$$E_к = 4{,}44 \Phi f_1 w_к \quad (23)$$

Мысал:



q_1 – катушкалық топтағы катушкалар саны (мысалы 2),
$2p$ – фазалық орамдағы катушкалық топтар саны (мысалы 2),
$2pq_1$ – статордың фазалық орамындағы катушкалар саны (мысалы 4).
$w_к$ – катушкадағы орамдар саны (мысалы 2).

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

Статордың фазалық орамының ЭҚК:

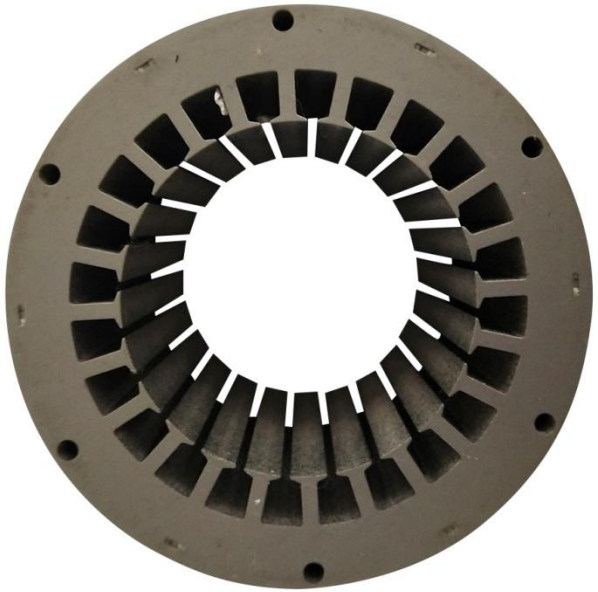
$$E_1 = 4{,}44\Phi f_1 w_1 k_{\text{орама1}} \quad (24)$$

$k_{\text{орама1}} = k_{к1}k_{т1}$ - негізгі гармоника үшін орамдық коэффициент.
$k_{\text{орама1}} = k_{т1}$ - диаметрлік қадам үшін.

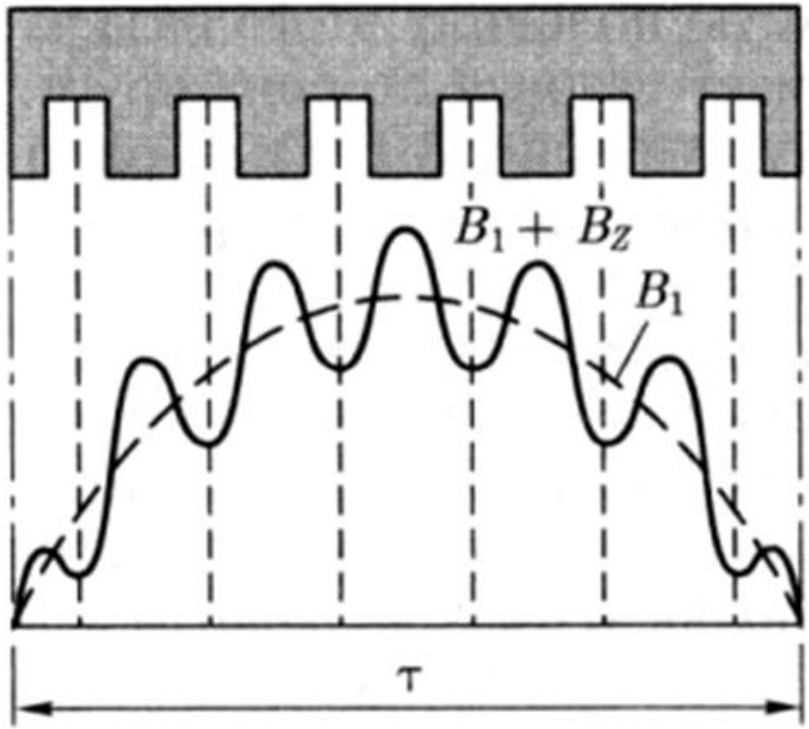
Жұлдызша және үшбұрыш жалғау кезіндегі сызықты ЭҚК:

$$E_{1c} = \sqrt{3}E_1 \qquad E_{1c} = E_1$$

ЭҚК-нің өркешті гармоникалары



17-сурет. Статор өзекшесі



18-сурет. Магнит индукциясының таралуы

f_v – өздік ЭҚК жиілігі

f_Z – өркешті ЭҚК (e_Z) жиілігі

Өркешті ЭҚК-нің әсері

Негізгі гармониканың өркешті ЭҚК лезді мәні:

$$e_Z = E_{Z\max}\sin\omega_1 t\cos 2Q\omega_1 t \quad (25)$$

$$\sin\omega_1 t\cos 2Q\omega_1 t = 0.5\sin(\omega_1 t + 2Q\omega_1 t) + 0.5\sin(\omega_1 t - 2Q\omega_1 t)$$

$$e_Z = 0.5E_{Z\max}[\sin(2Q+1)\omega_1 t - \sin(2Q-1)\omega_1 t] \quad (26)$$

$Q = Z_1/(2p)$ - полюске келетін паздар саны

Негізгі гармоника өрісінің өркешті ЭҚК-і бір амплитудалық мәнді, бірақ әр түрлі жиілікке ие екі құраушыға ие:

$$\left.\begin{aligned} f_Z^{`} &= (2Q+1)f_1; \\ f_Z^{``} &= (2Q-1)f_1. \end{aligned}\right\}$$

$\sin(\alpha\pm\beta)=\sin\alpha\cdot\cos\beta\pm\cos\alpha\cdot\sin\beta$

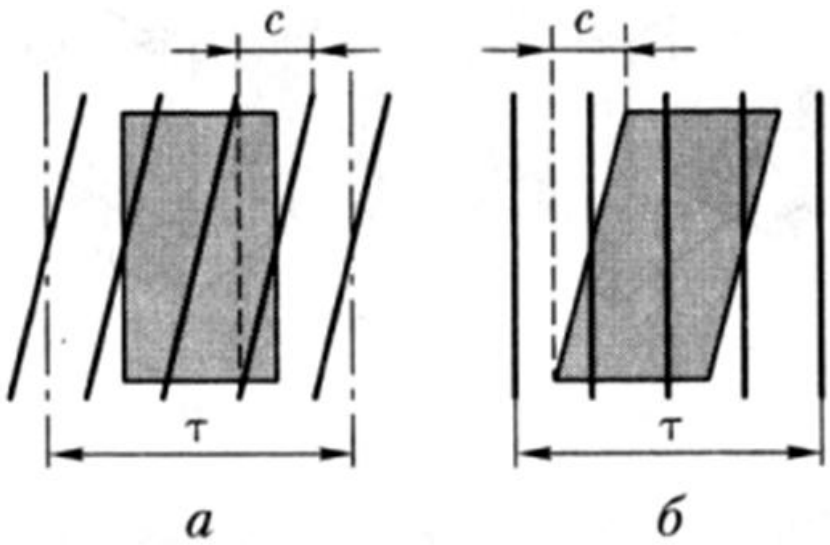
Өркешті ЭҚК-нің әсері

$2p = 4, Z_1 = 24, \quad f_1 = 50\text{Гц}$ болса

$$f_Z^{`} = (2 \cdot 6 + 1)50 = 650\text{Гц} \ (13 - \text{ші гармоника})$$

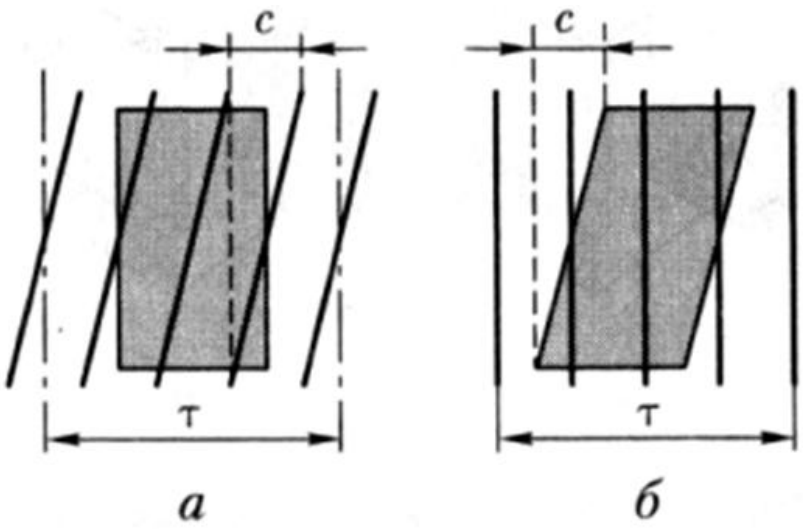
$$f_Z^{``} = (2 \cdot 6 - 1)50 = 550\text{Гц} \ (11 - \text{ші гармоника})$$

$$y_1 = Z_1/(2p) = \tau$$



19-сурет. Паздарды қиғаштау

Қиғаш пазды (өркешті) ротор



19-сурет

Паздардың қиғашталу коэффициенті:

$$k_{\text{қ}} = \frac{2\tau \sin(\nu c \cdot 90^{\circ}/\tau)}{\pi \nu c}$$

$$k_{\text{қ}1} \approx 1$$

$$k_{\text{қ}\nu} \ll 1$$



20-сурет

