

СИНХРОНДЫ МАШИНАЛАР

Синхронды машиналар — бұл коллеторсыз айнымалы ток машиналары.

СМ өзінің құрылысы бойынша айналмайтын статор және айналатын ротордан турады. Статор құрылысы АМ статор құрылысына ұқсас. Ротордың конструкциясы бойынша айқын кескінделген және айқын кескінделмеген түрінде жасалады.

Барлық электр машиналары сияқты синхронды машина да қайтымды, яғни ол әрі генератор, әрі қозғалтқыш ретінде жұмыс

СМ ротордың айналу жиілігі статордың магнит өрісінің айналу жиілігіне тең ($n_2 = n_1 = \text{const}$) , сондықтан ол желі тогының жиілігімен және полюстер жұбының санымен анықталады, яғни

$$n = 60f/p$$

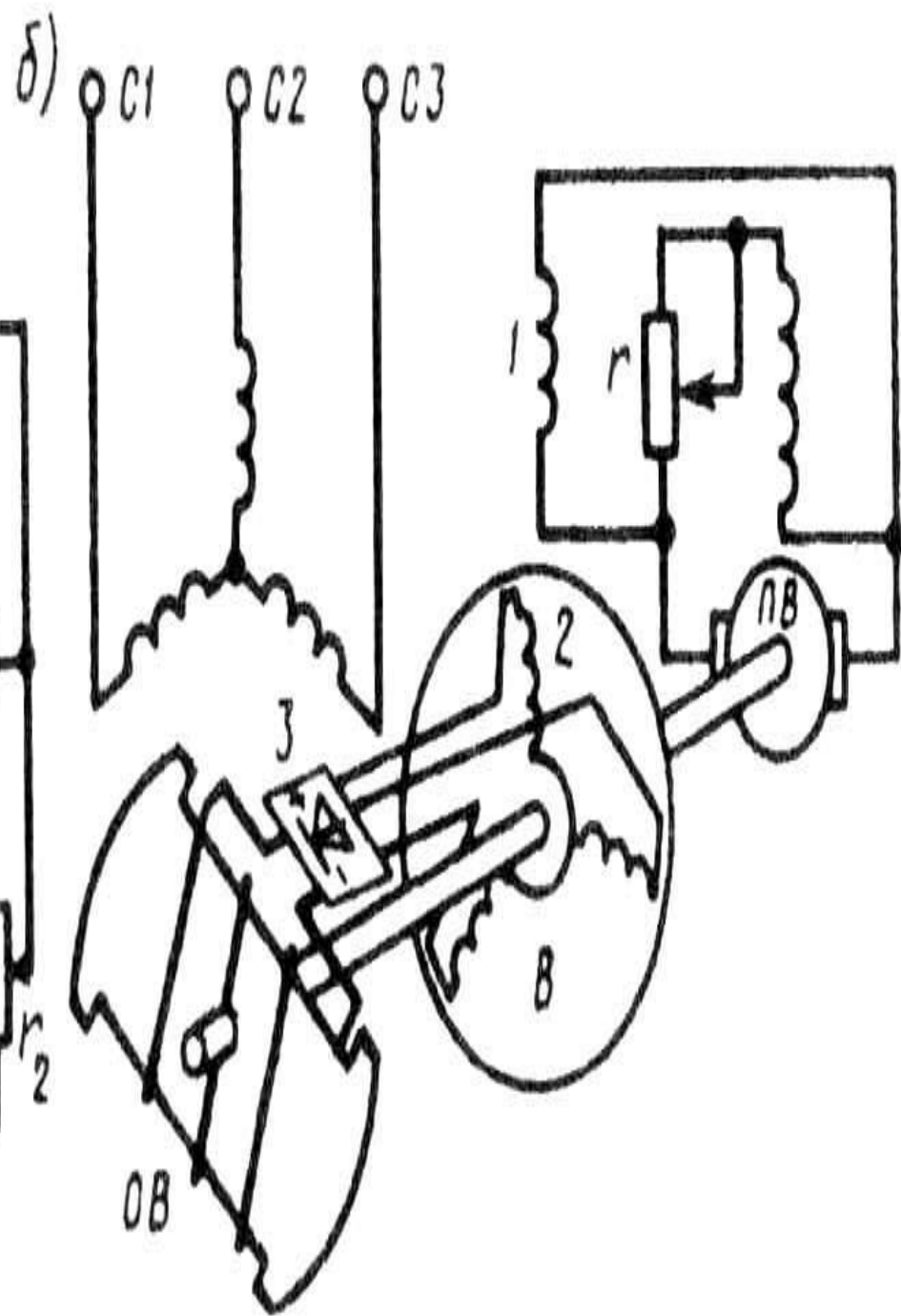
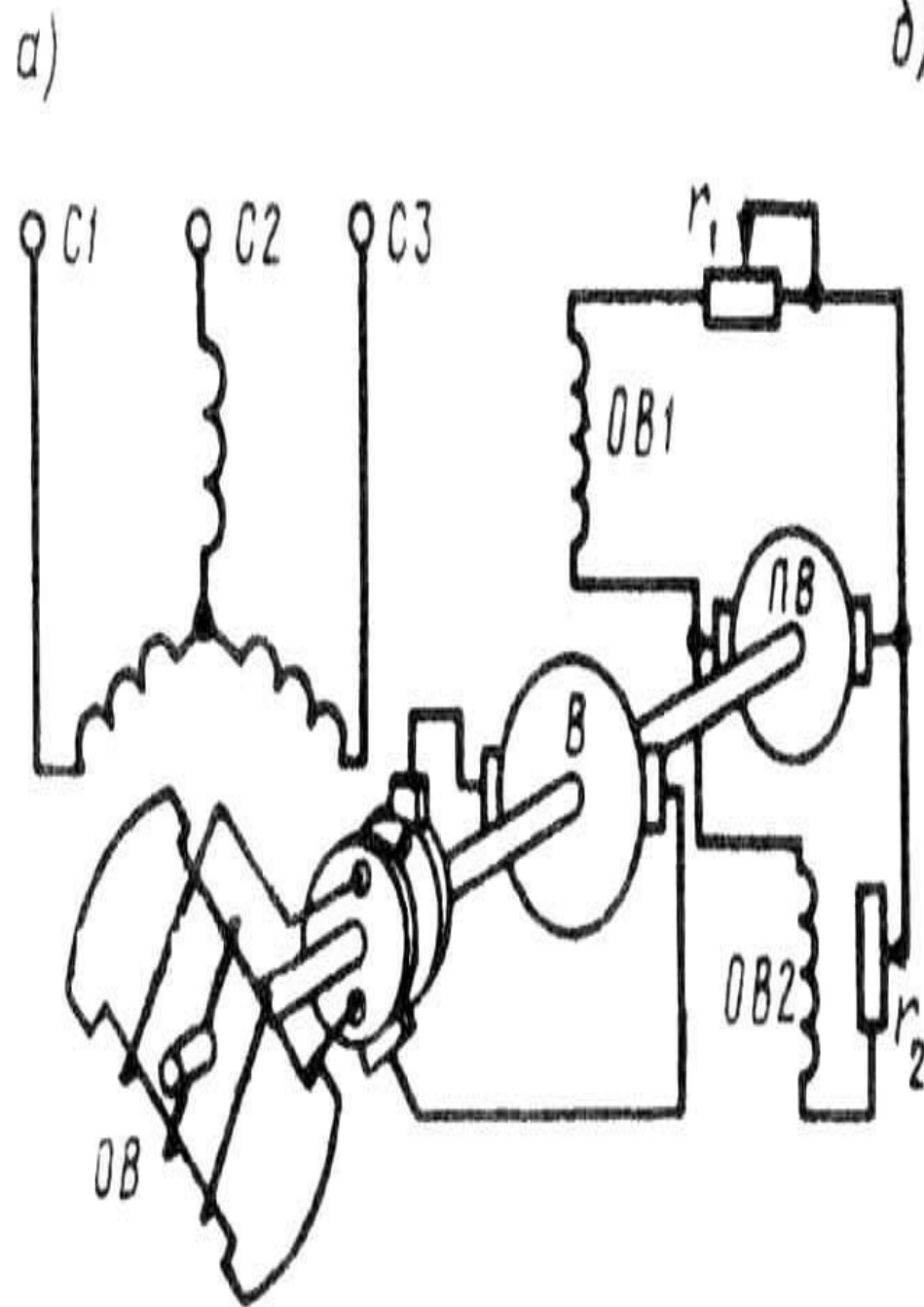
$$f = pn/60$$

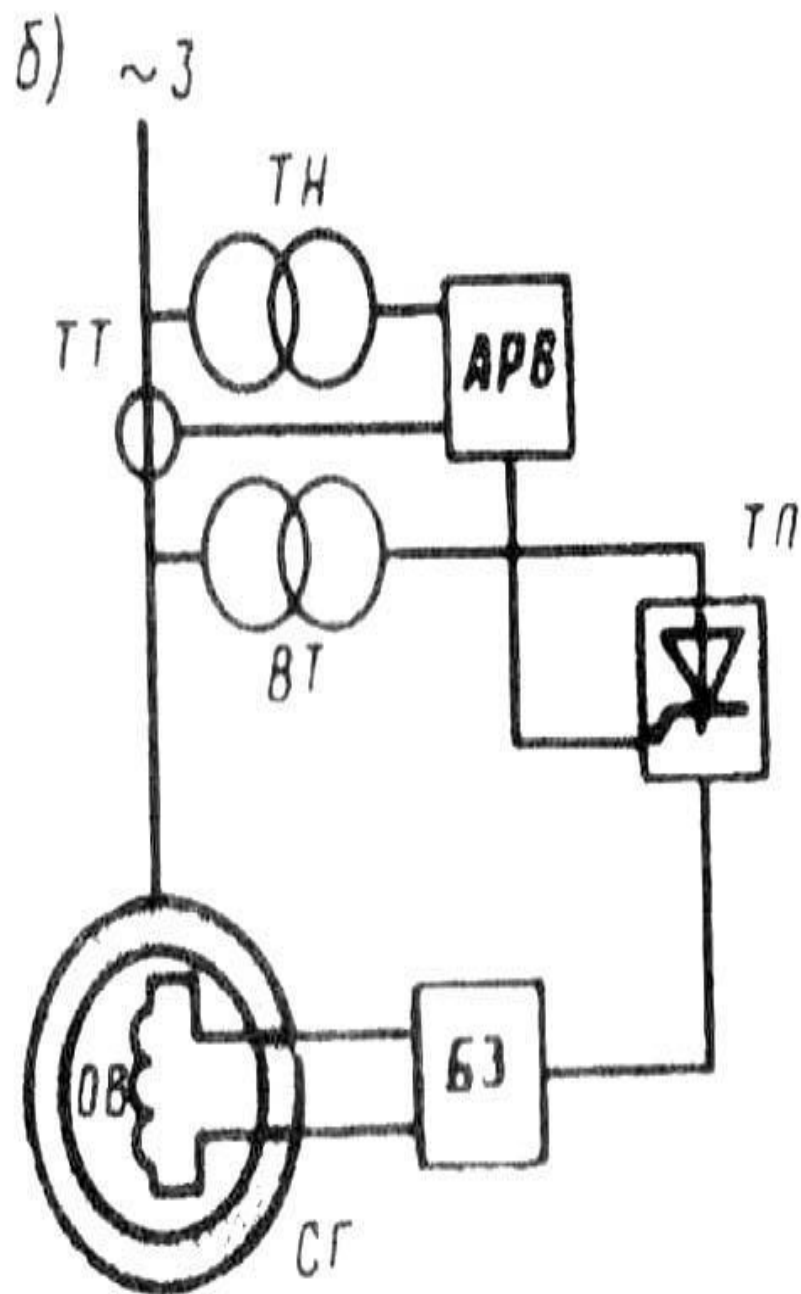
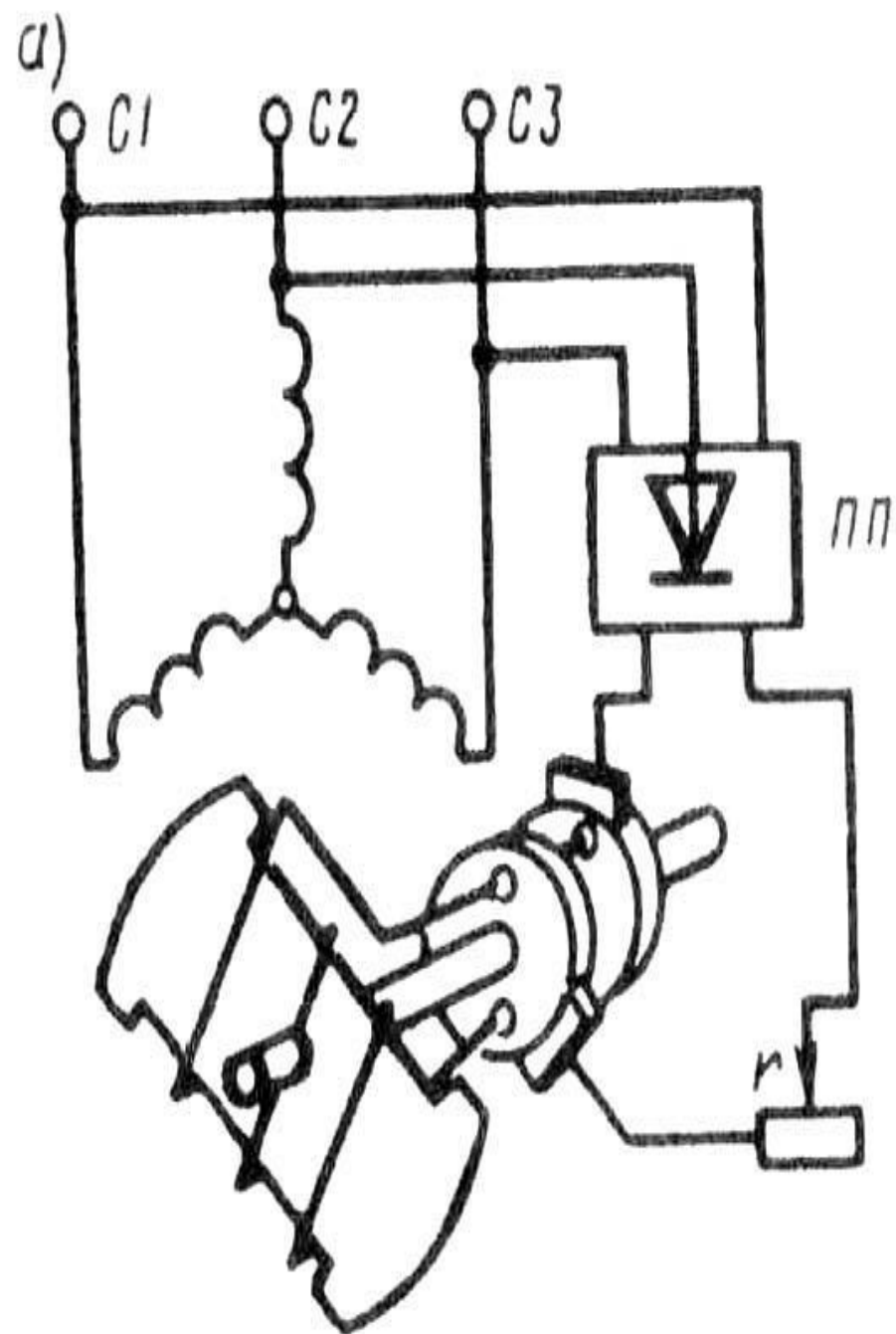
СМ кез келген жүктемеде тұрақты айналу жиілігімен және қуат коэффициенті реттеулігімен айрықшаланады.

СМ қоздыруы

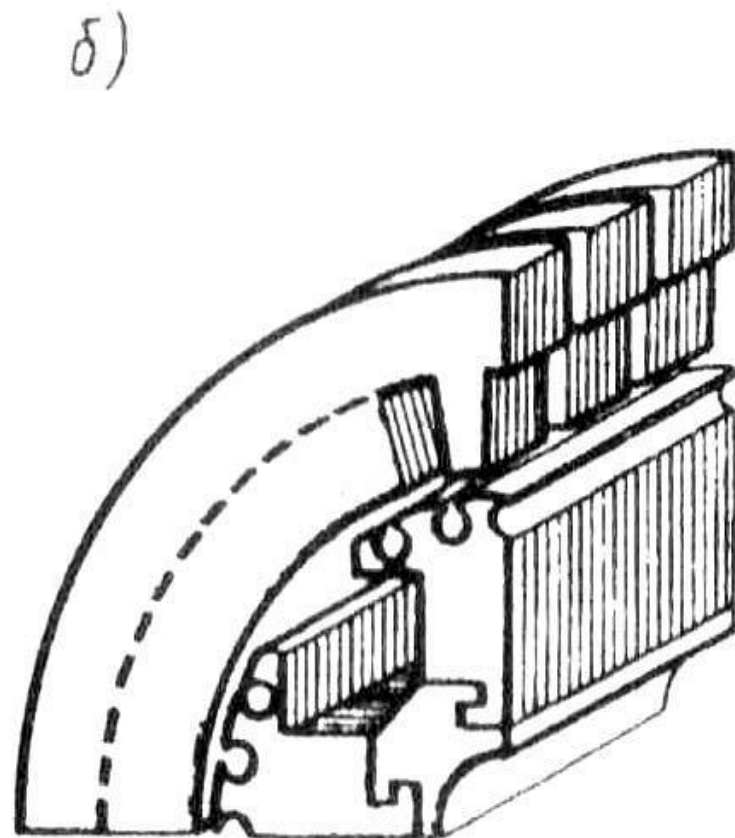
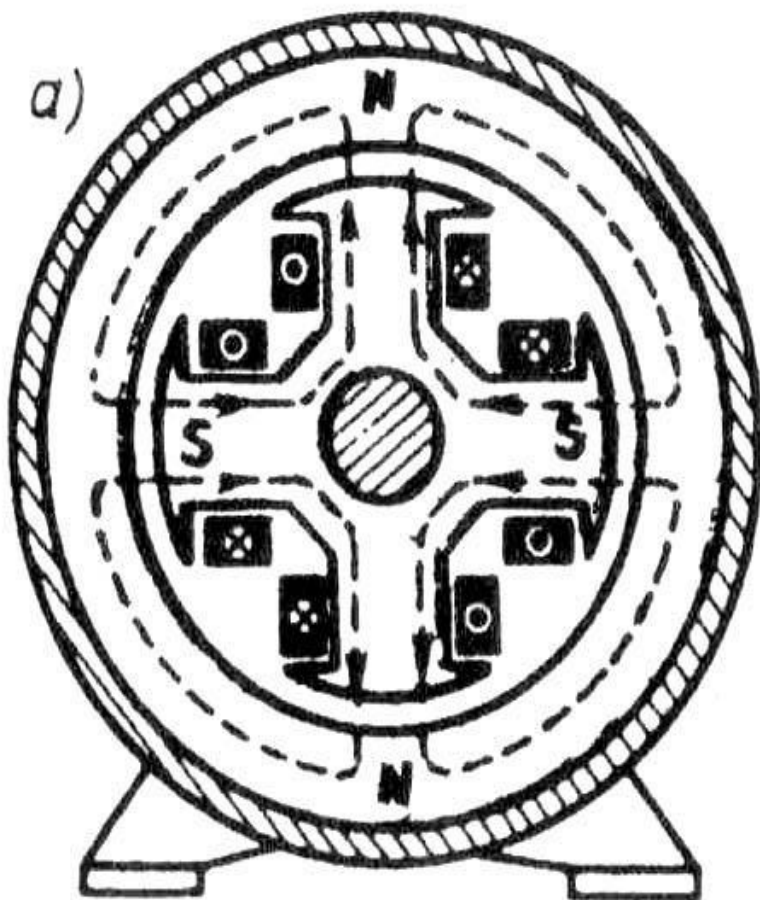
Кез келген СМ қоздыру процессінде қажетсінеді
СМ қоздырудың негізгі әдістері:

- электрмагнит қоздыруы
- контактсыз электрмагнит қоздыру жүйесі
- өзін өзі қоздыру принципі
- тиристорлы қоздыру құрылғылар
- тұрақты магниттермен қоздыру

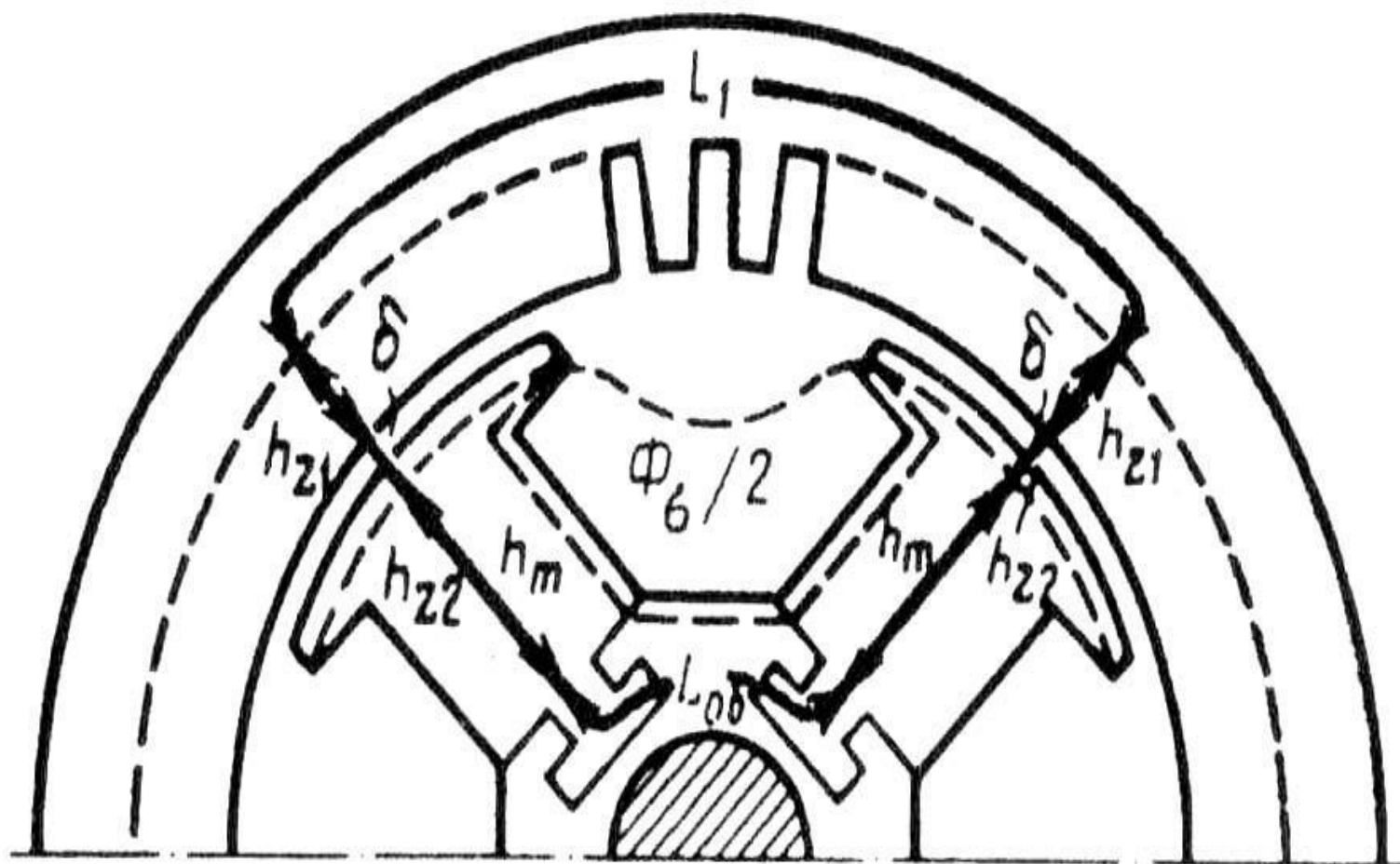




СГ магнит өрісі



Айқын кескінделген СМ магнит жүйесі
Айқын кескінделген СМ магнит тізбегі



Айқын кескінделген СМ магнит жүйесі тармақталған симметриялық магнит жүйесі боп анықталып, $2p$ параллель тармақтан тұрады.

Әр бір тармақталмаған магнит тізбегі болып анықталып бір қос полюстен тұрады.

Негізгі магнит ағыны Φ , магнит тізбекте тұйықталып келесі элементерден тұрады: ауа саңылауы δ , статор тістерінің қабаты h_{z1} , ротор тістерінің қабаты h_{z2} , ротор арқасы L_{c2} , статор арқасы L_{c1} және ротордың полюснен h_m .

Магнит тізбектің әр бір аумағының магнит кернеулерінің соммасы бос жүріс режиміндегі қос полюске келетін қоздыру орамның МҚК анықталады (А):

$$F_{\text{во}} = \sum F = 2F_{\delta} + 2F_{z1} + 2F_{z2} + 2F_m + F_{c1} + F_{об}$$

СМ магнит өрісі

Статордың үшфазалы орамасы ротормен синхронды айналатын МҚК тудырады, осы МҚК максималды мәні келесі өрнекпен анықталады

$$F_1 = 0,45 m_1 I_1 w_1 k_{op1} / p$$

Статор магнит өрісінің бойлық осінің индукциясының негізгі гармоникасының амплитудасы $B_1 d_1$ көлденең осінің индукциясының негізгі гармоникасының амплитудасынан $B_1 q_1$ жоғары :

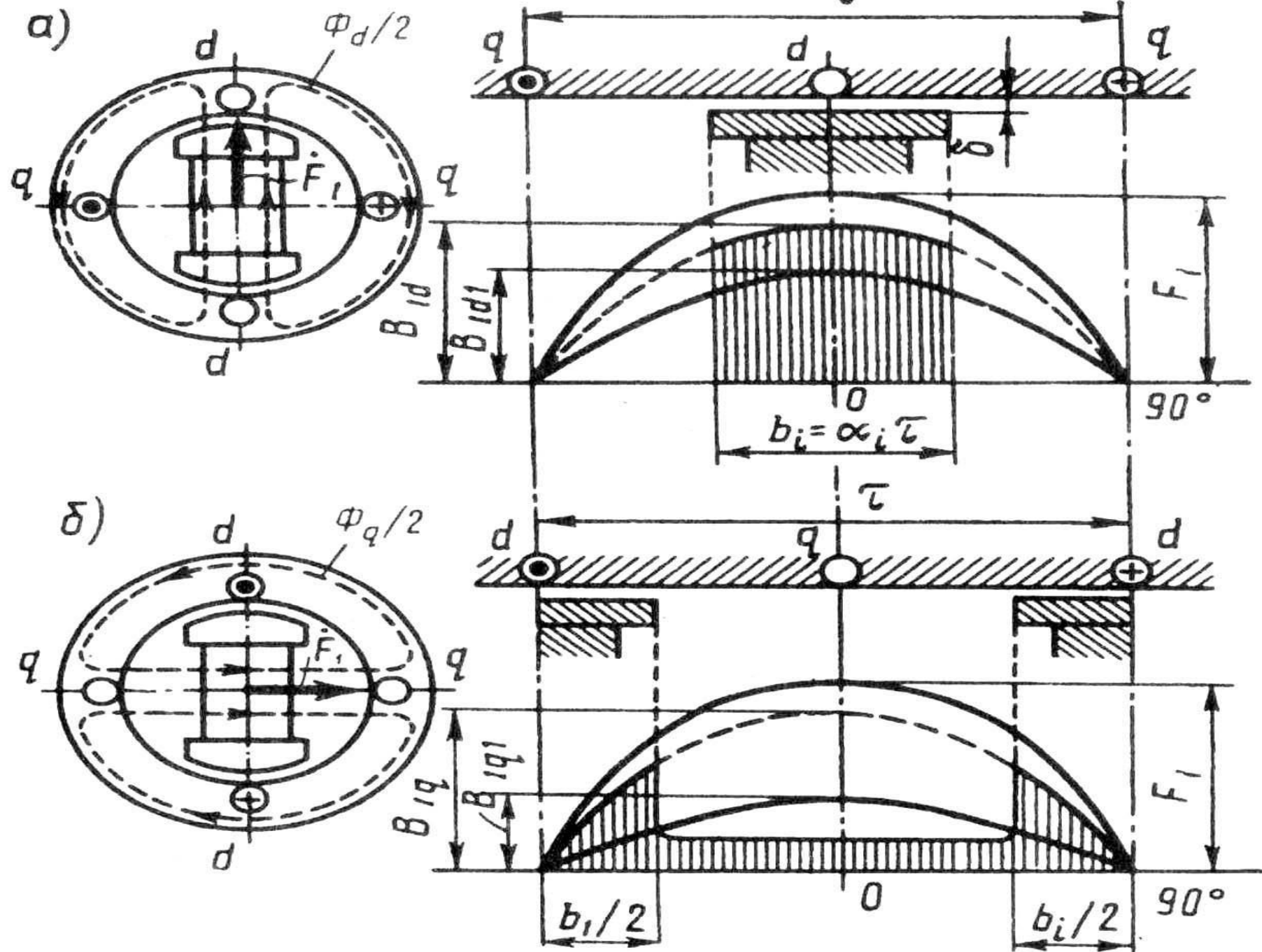
$$B_1 d_1 = B_1 k_d;$$

$$B_1 q_1 = B_1 k_q$$

мұнда B_1 — бір келкі саңылаудағы статор магнит өрісінің магнит индукциясының амплитудалық мәні;

k_d және k_q — бойлық және көлденең осьтердің статор өрісінің пішін коэффициенттері

k_d және k_q мәндері ауа саңылаудың максималды және минималды $\delta_{\max}/\delta$ қатынастарынан, саңылаудың салыстырмалы мәніне δ/τ және полюс жабынының коэффициентіне α_i байланысты

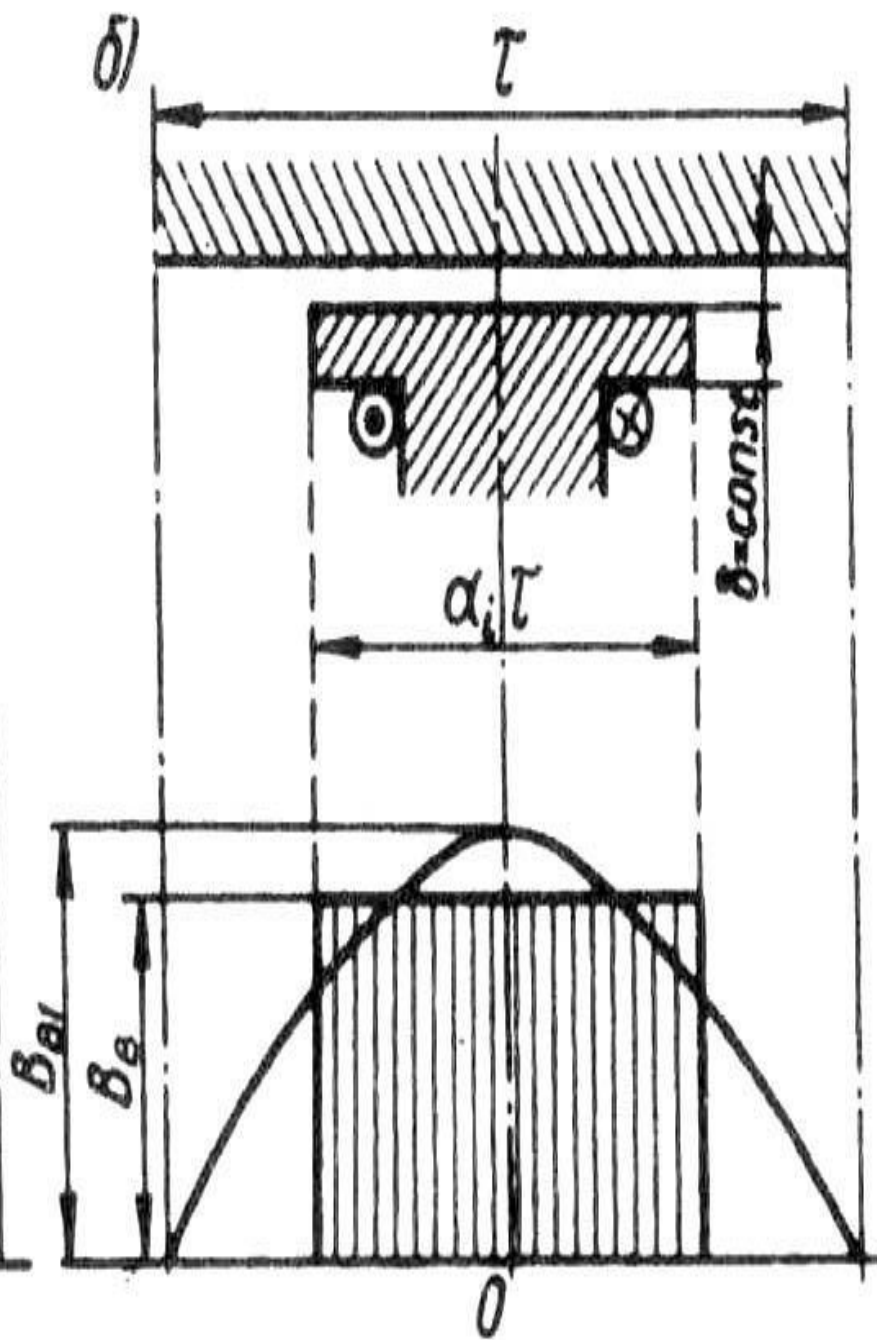
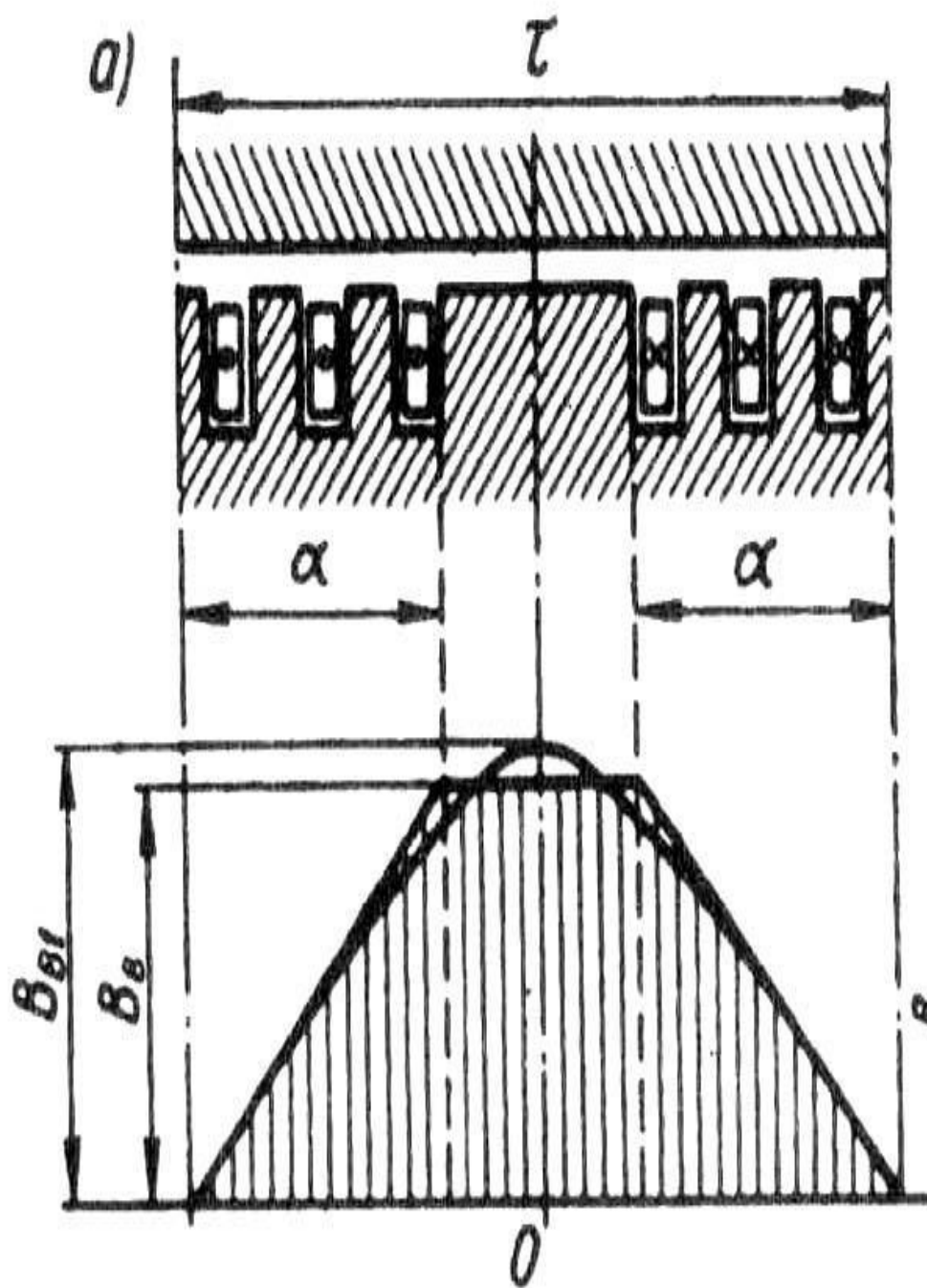


См қоздыру орамынан I_{κ} аққанда қос полюске келетін МКҚ тудырады (А):

$$F_{\kappa.H} = I_{\kappa} 2w_{\kappa.O}$$

Осы өрістің негізгі амплитудасының $B_{\kappa 1}$ қоздыру өрістің пішін коэффициентіне байланысты

$$k_f = B_{\kappa I} / B_{\kappa}$$

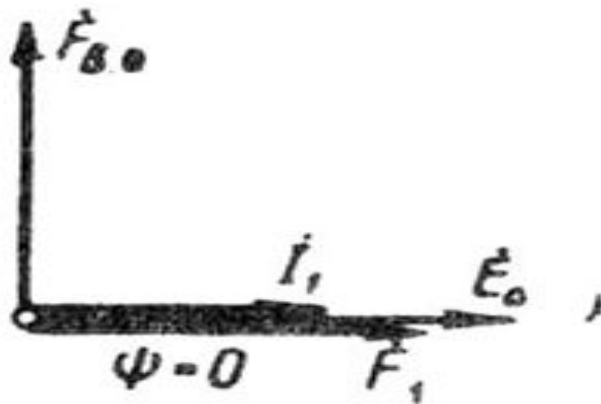
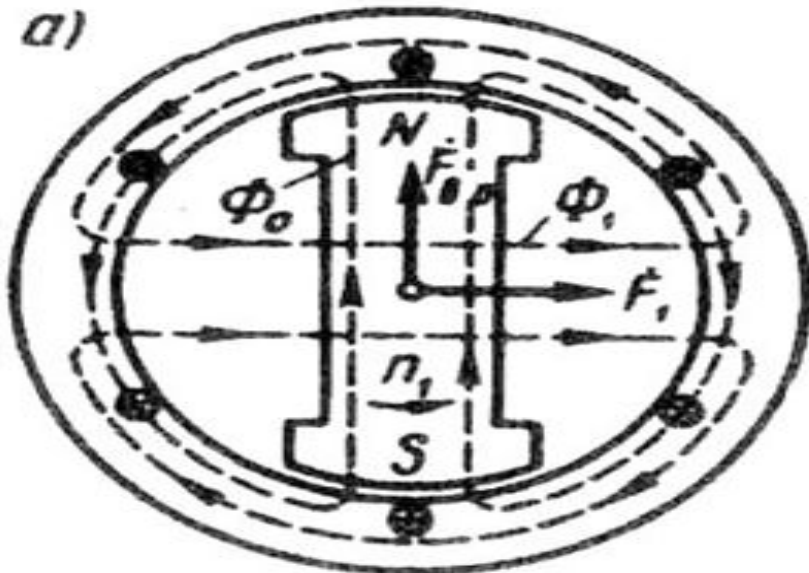


СМ зәкір реакциясы

- Статор (зәкір) орамының МҚК-нің қоздыру орамының МҚК әсері зәкір реакциясы деп аталады
- СМ жұмысына зәкір реакциясының әсері жүктеменің түріне және мәніне байланысты.
- СГ аралас (активті-индуктивті немесе активті-сыйымдылық) жүктемеде жұмыс істейді.

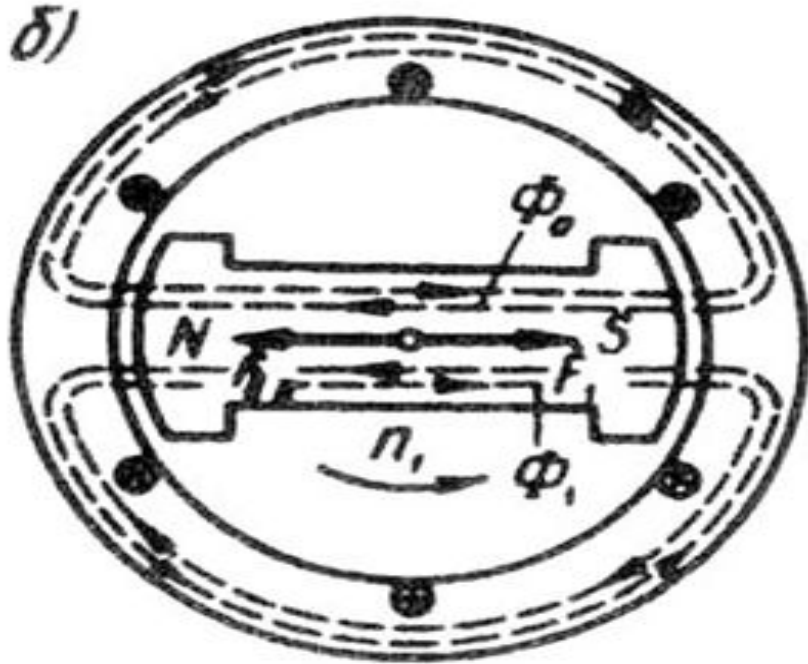
Активті жүктеме($\psi = 0$).

- Статор (зәкір) орамының МҚК-нің қоздыру орамының МҚК қорытынды өріске бұрмалау әсерін көрсетеді: полюс шеті жақындағанда магнит өрісі кемійді, ал төмен түскен полюс шетінде күшейеді

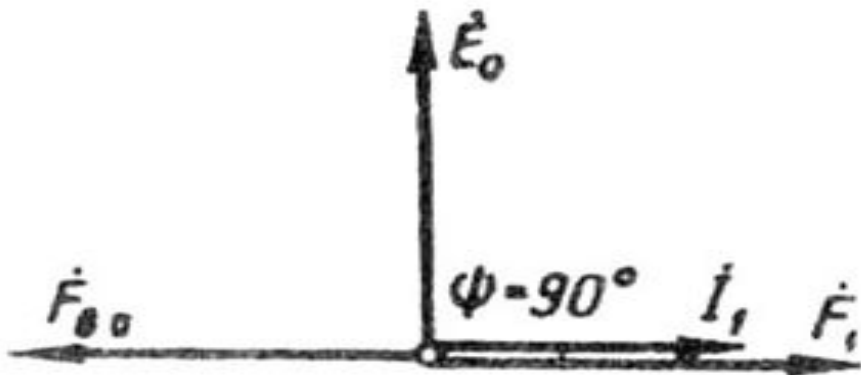


- Машинаның магнит тізбегі қаныққаннан қорытынды магнит өрісі аз болсада кеміп, магнит жүйесі магнитсіздендіріледі.
- Бұл машинаның ЭҚК E_1 төмендетуіне келтіреді.

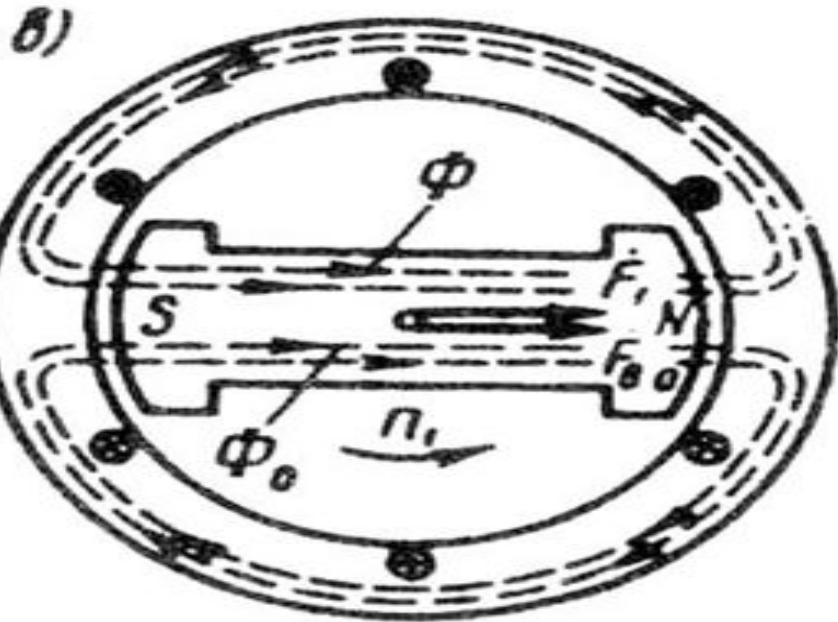
Индуктивті жүктеме ($\psi = 90^\circ$).



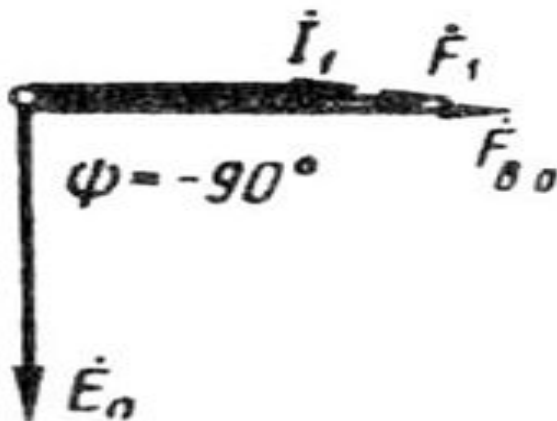
- Статор МҚК F_1 машинаның өрісінің кемітеді.
- Индукті жүктемеде СГ зәкір реакциясы бойлық - магнитсіздендіру әсерін келтіреді
- Магнит өрісі өзгермейді.



Сыйымдылық жүктеме ($\psi = -90^\circ$)



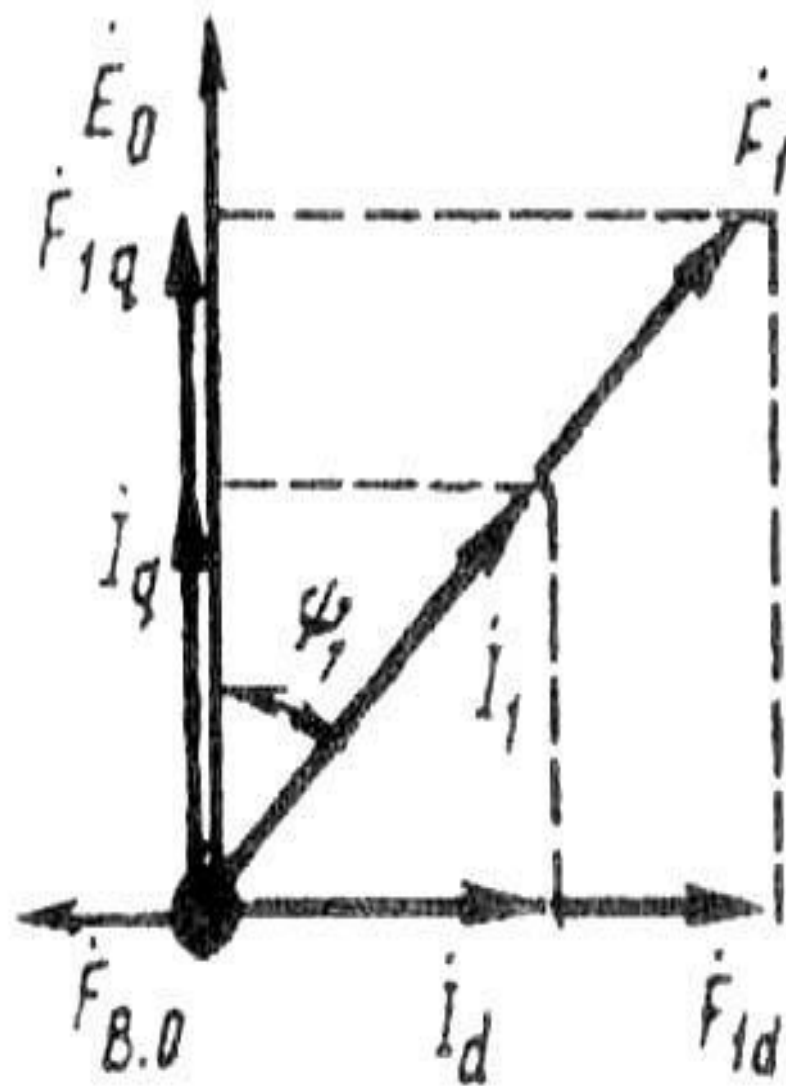
- зәкір реакциясы көлденең - магниттендіру әсерін келтіреді
- Магнит өрісі өзгермейді.



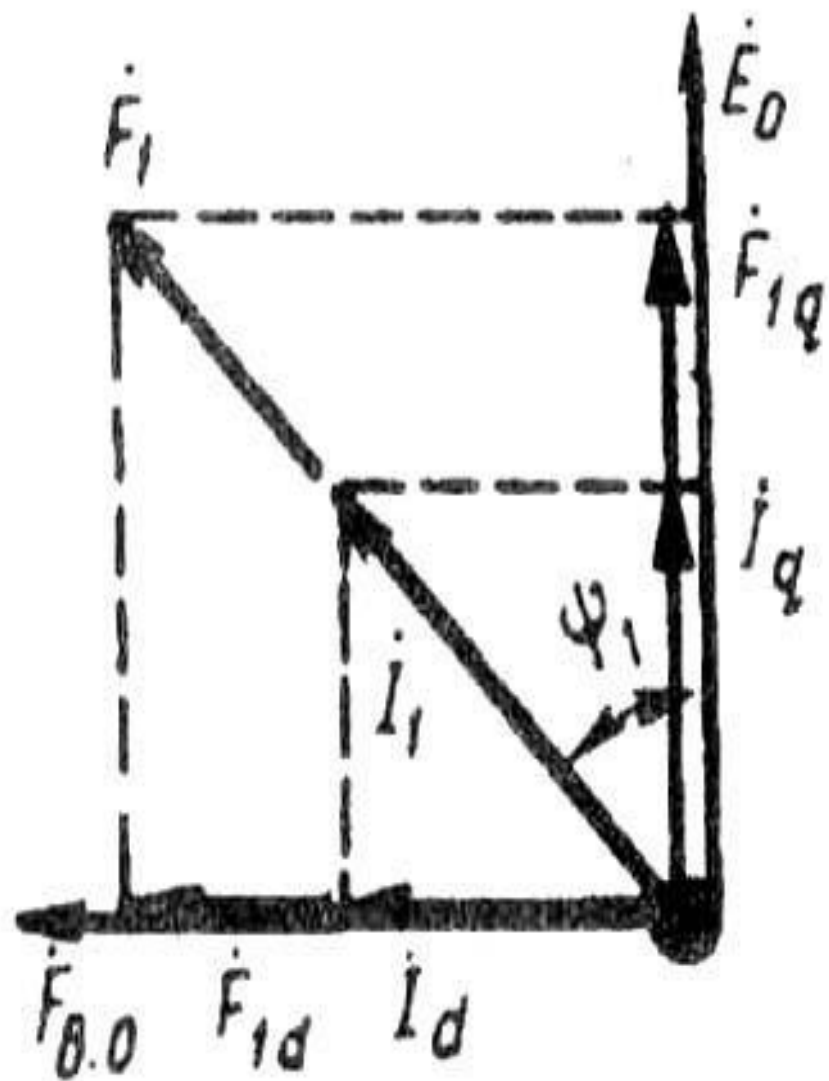
Аралас жүктеме

- СГ аралас жүктемесінде статор тогымен ЭҚК фаза бойынша ψ_1 бұрышына ығысқан, осы бұрыштың мәндері $0 < \psi_1 < \pm 90^\circ$ арасында жатады.
- Активті-индуктивті жүктемеде ток векторы ЭҚК векторынан угол $0 < \psi_1 < 90^\circ$ бұрышына қалып отырады. МҚК F_1 векторында 2 құрастырушысы бар: статор МҚК бойлық құрастырушысы $F_{1d} = F_1 \sin \psi_1$ және статор МҚК көлденең құрастырушысы $F_{1q} = F_1 \cos \psi_1$.

a)



δ)



- Активті-сыйымдылық жүктемеде: статор МҚК көлденең құрастырушысы F_{1q} , жүктеме тогының активті

құрастырышысына пропорционал боп анықталады $I_q = I_1 \cos \psi$,

$$F_{1q} = F_1 \cos \psi_1 ,$$

- статор МҚК бойлық құрастырушысы F_{1d} , жүктеме тогының реактивті

құрастырышысына пропорционал боп анықталады $I_d = I_1 \sin \psi_1$,

$$F_d = F_1 \sin \psi_1$$

Егер жүктеме тогының реактивті құрастырушысы ЭҚК фаза бойынша қалып отырса (активті-индуктивті жүктеме), онда МҚК F_{1d} генераторды магнитсіздендіреді.

Егер жүктеме тогының реактивті құрастырушысы ЭҚК фаза бойынша озып отырса (активті-сыйымдылық жүктеме), онда МҚК F_{1d} генераторды магниттендіреді.

- Бойлық F_{1d} және көлденең F_{1q} остердің МҚК зәкір реакциясы СМ магнит өткізгішінде зәкір реакциясының магнит өрістерін тудырады.

- Ағындардың негізгі гармоникалары:

-бойлық ось бойынша

$$\Phi_{1d} = F_{1d} / R_{md} = F_1 \sin \psi_1 / R_{md}$$

-көлденең ось бойынша

$$\Phi_{1q} = F_{1q} / R_{mq} = F_1 \cos \psi_1 / R_{mq}$$

- Айқын кескілденбеген машиналардың ауа саңылауы статор кесіні бойынша бір қалыпты, сондықтан бойлық және көлденең осьтарының магнит кедергілері бір біріне тең болады

$$(R_{md} = R_{mq} = R_m).$$

- Зәкір реакциясының магнит өрістері статор орамдарынан өтіп зәкір реакциясының ЭҚК тудырады :

-бойлық ось бойынша
$$\dot{E}_{1d} = -j \dot{I}_d x_a = -j \dot{I}_1 x_a \sin \psi_1$$

-көлденең ось бойынша
$$\dot{E}_{1q} = -j \dot{I}_q x_a = -j \dot{I}_1 x_a \cos \psi_1$$

- Айқын кескінделген СМ бойлық және көлденең осьтерінің негізгі гармоникалардың өрістерінің магнит кедергілері әр түрлі ($R_{mq} > R_{md}$):

$$R_{md} = R_m / k_d$$

$$R_{mq} = R_m / k_q$$

Айқын кескінделген СМ зәкір реакциясының
ЭҚК келесі өрнектермен анықталады :

$$E_{1d} = -j x_a k_q = -j x_{ad} \sin \psi_1$$

$$E_{1q} = -j x_{aq} k_q = -j x_{aq} \cos \psi_1.$$

мұнда x_{ad} және x_{aq} — айқын кескінделген СМ
зәкір реакциясының индуктивті кедергілер :

-бойлық ось бойынша

$$x_{ad} = x_a k_d ;$$

-көлденең ось бойынша

$$x_{aq} = x_a k_q.$$

Синхронды генератордың кернеулер өрнегі

1. Қоздыру орамының МҚК $F_{\kappa 0}$, қоздыру магнит ағынын тудырып Φ_0 , статор орамымен қиылысып генератордың негізгі ЭҚК E_0 индукциялайды

2. Бойлық осьтің зәкір реакциясының МҚК F_{1d} Φ_{1d} магнит ағынын тудырады, ол статор орамында зәкір реакциясының ЭҚК E_{1d} индукциялайды, оның мәні бойлық осьтің зәкір реакциясының индуктивті кедергісіне x_{ad} тура пропорционал.

Бұл кедергі бойлық ось бойынша зәкір реакциясының синхронды генератордың жұмысына әсер келтіруін көрсетеді. Бұл ретте индуктивті кедергі x_{1d} азайады.

3. Көлденең осьтің зәкір реакциясының
МҚК F_{1q} Φ_{1q} магнит ағынын тудырады, ол
статор орамында зәкір реакциясының
ЭҚК E_1 , индукциялайды, оның мәні
көлденең осьтің зәкір реакциясының
индуктивті кедергісіне x_{aq} тура
пропорционал

Сопротивление x_{aq} кедергісі машинаның
магнит қанығына тәуелді емес, себебі
айқын кескінделген роторда ағыны Φ_{1q}
негізінен полюс арасындағы саңылаудан
өтеді.

4. Статор орамының сейілу магнит ағыны $\Phi_{\sigma 1}$ статор орамында сейілу ЭҚК $E_{\sigma 1}$ индукциялайды, оның мәні статор орамының фазасының индуктивті сейілу кедергісіне x_1 пропорционал :

$$\dot{E}_{\sigma 1} = -jI_1 x_1$$

5. Статор орамындағы ток I_1 статор орамының фазасында активті кедергісінде r_1 активті кернеудің төмендеуін тудырады

$$\dot{U}_{a1} = I_1 r_1$$

- Статор орамында индукцияланған бәрі аталған ЭҚК геометриалық соммасы, синхронды генератор шығындарындағы кернеуді анықтайды :

$$U_1 = \sum E^{\bullet} - I_1^{\bullet} r_1 = E_0^{\bullet} + E_{1d}^{\bullet} + E_{1q}^{\bullet} + E_{\sigma 1}^{\bullet} - I_1^{\bullet} r_1$$

- немесе

$$U_1^{\bullet} \approx \sum E^{\bullet} = E_0^{\bullet} + E_{1d}^{\bullet} + E_{1q}^{\bullet} + E_{\sigma 1}^{\bullet}$$

Бұл өрнек айқын кескінделген роторлы синхронды генератордың кернеулер өрнегі деп аталады

В неявнополюсных синхронных генераторах реакция якоря характеризуется полной МДС статора F_1 без разделения ее по осям, .

ЭДС статора в неявнополюсных машинах E_1 , равная индуктивному падению напряжения в обмотке статора, пропорциональна индуктивному сопротивлению реакции якоря x_a .

$$\dot{E}_1 = -j \dot{I}_1 x_a .$$

Зәкір реакциясының ағыны Φ_1 және статор сейілу ағыны $\Phi_{\sigma 1}$ бәр токпен тудырылады I_1 , сондықтан индуктивті x_a және x_1 можно кедергілерді қосынды индуктивті кедергі деп анықтауға болады

$$X_c = X_a + X_1,$$

бұл кедергі айқын кескінделмеген машинаның синхронды кедергісі деп аталады.

Зәкір реакциясының ЭҚК E_1 және сейілу ЭҚК $E_{\sigma 1}$ қосынды ЭҚК боп анықталады

$$\dot{E}_c = \dot{E}_1 + \dot{E}_{\sigma 1} = -j I_1 x_a + (-j I_1 x_1) = -j I_1 x_c$$

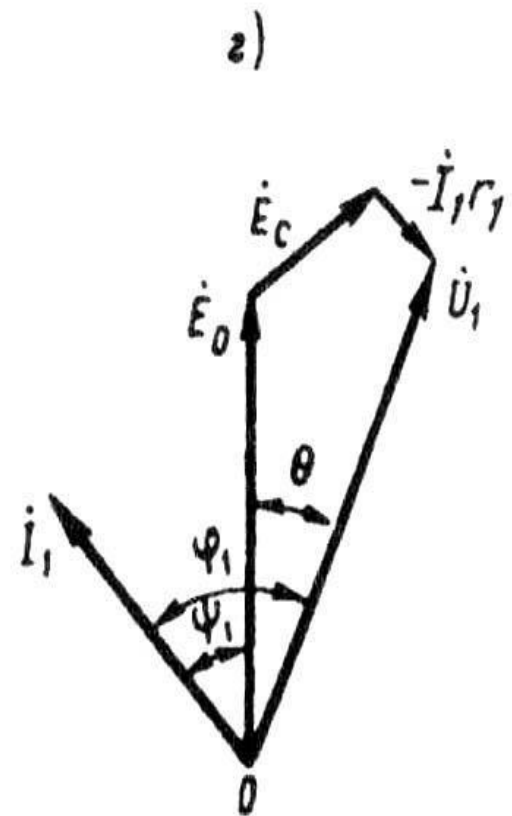
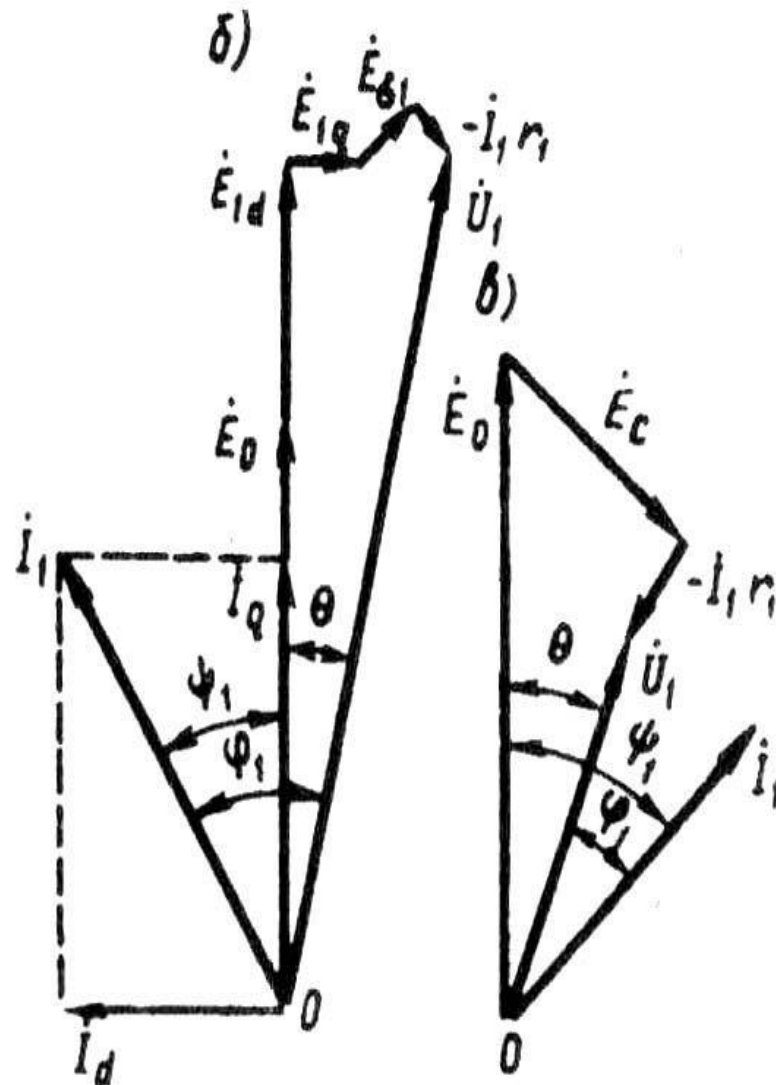
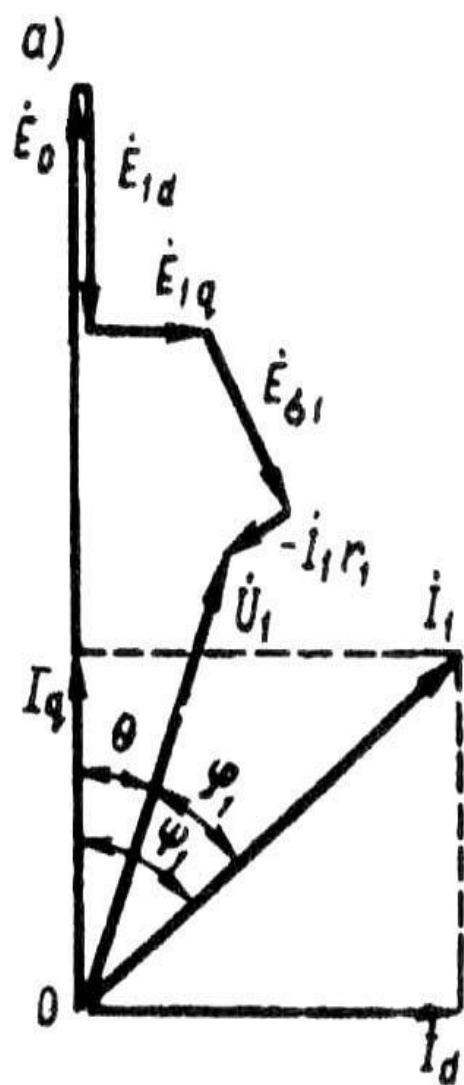
Айқын кескінделмеген синхронды
генератордың кернеулер өрнегі

$$U_1 \approx \sum E - I_1 r_1 = E_0 + E_c - I_1 r_1$$

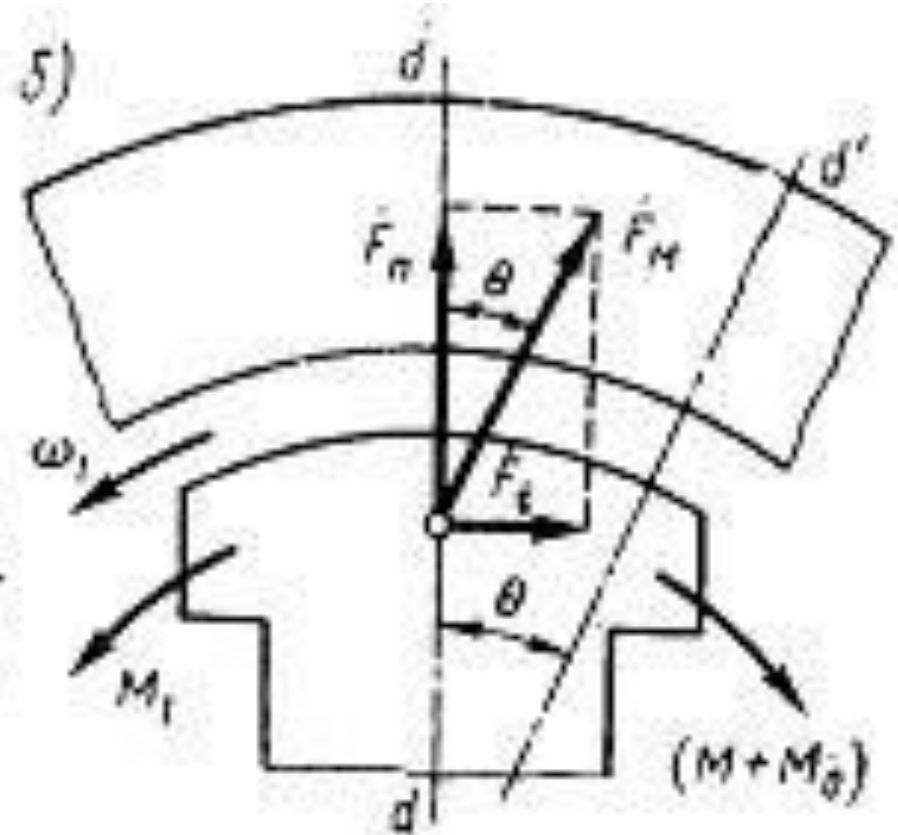
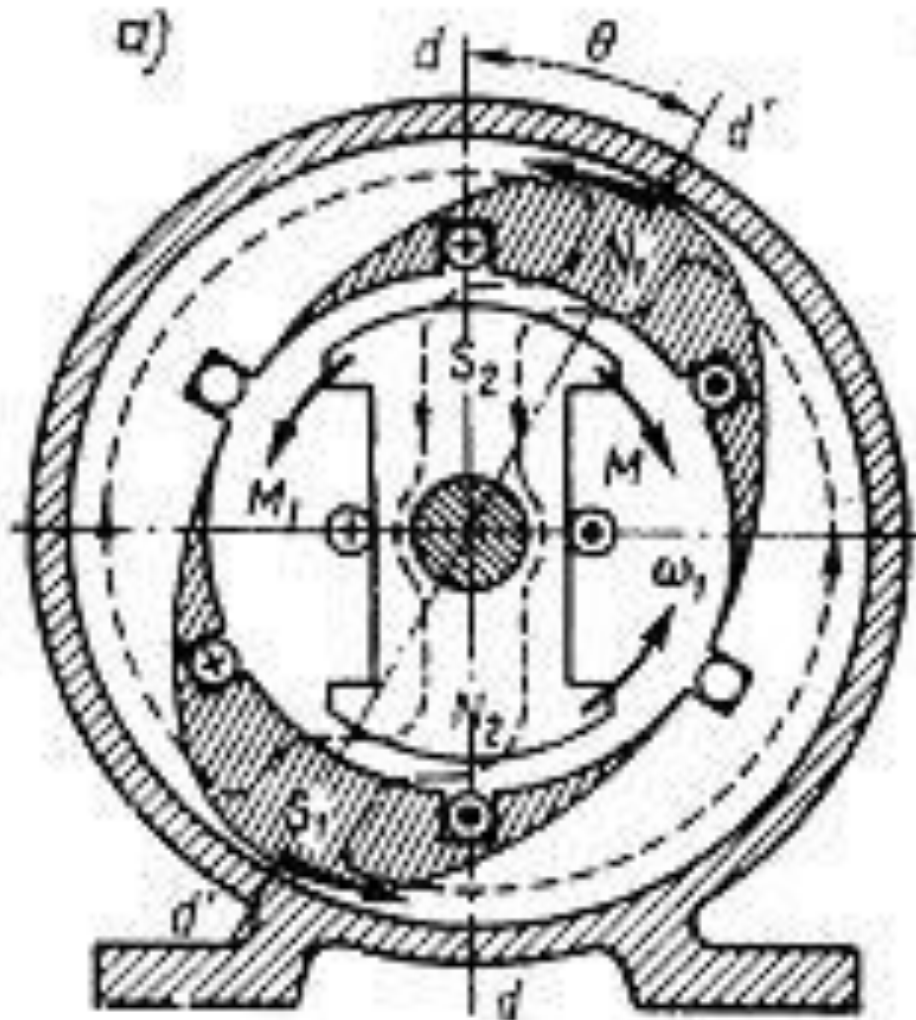
немесе

$$U_1 \approx \sum E = E_0 + E_c$$

Синхронды генератордың векторлық диаграммалары



Синхронды генератордың электрмагнит моменті



- Ток I_1 тогы магнит ағынын тудырады да, ол ротормен синхронды айналып синхронды машинаның қорықты магнит ағынын тудырады. Қорықты ағынның осі $d'—d'$ ротордың бойлық осімен $d - d$ түйіспейді: синхронды генератордың ротордың полюстер осі $d - d$ машинаның қорықты ағынының осін $d'-d'$ θ бұрышына озып отырады, ал синхронды қозғалтқышта ротордың полюстер осі $d - d$ машинаның қорықты ағынының осін $d'-d'$ θ бұрышына қалып отырады.

- Ротордың магниттелген полюстарымен статордың айналатын магнит өрісінің айқындалмаған полюстарының арасында магнит тартылыс күштері F_M пайда болады. Осы күштің векторы ротордың әр бір полюсіне θ бұрышына ығысып екі құрастырушыдан тұрады:

- қалыпты құрастырушысы, ротордың полюстерінің осьтары бойынша бағыттапған $F_H = F_M \cos \theta$

- тангенциалды құрастырушысы, ротордың полюстерінің осі бойынша перпендикуляр бойынша бағыттапған $F_T = F_M \sin \theta$

Ротордың бәр полюстарындағы тангенциалды құрастырушылардың қосындасы F_1 синхронды генератордың роторында айнымалы магнит өрісіне қарсы бағытталған электрмагнит моментін тудырады:

$$M = F_T 2p(D_2 / 2) = F_M D_2 p \sin \theta$$

мұнда D_2 — ротор диаметрі

Синхронды машинаныі электрмагнит моменті θ бұрышының синусоидалды функциясы боп анықталады

$$M = M_{\max} \sin \theta$$

мұнда $M_{\max}$ — $\theta = 90^\circ$ электрмагнит моментің максималды мәні

- Генератордың роторындаңы пайда болатын электрмагнит моменті жетек қозғалтқыштың айналу моментіне қарсы бағытталған болғандықтан тежілі моменті боп анықталады

$$P_{\text{ЭМ}} = M\omega_1$$

мұнда ω_1 — ротордың бұрыштық айналу жиілігі

$$P_1 = P_0 + P_{\text{ЭМ}}$$

ЭМ СГ элетрмагнит қуаты жетекші
қозғалтқыштың механикалық қуатының
бөлігінің түрленген активті электр қуаты
болып табылады:

$$P_{\text{ЭМ}} = P_1 - P_0$$

- Генератормен желіге берілетін СГ шығындарындағы активті қуат:

$$P_2 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1 \cdot 10^{-3}$$

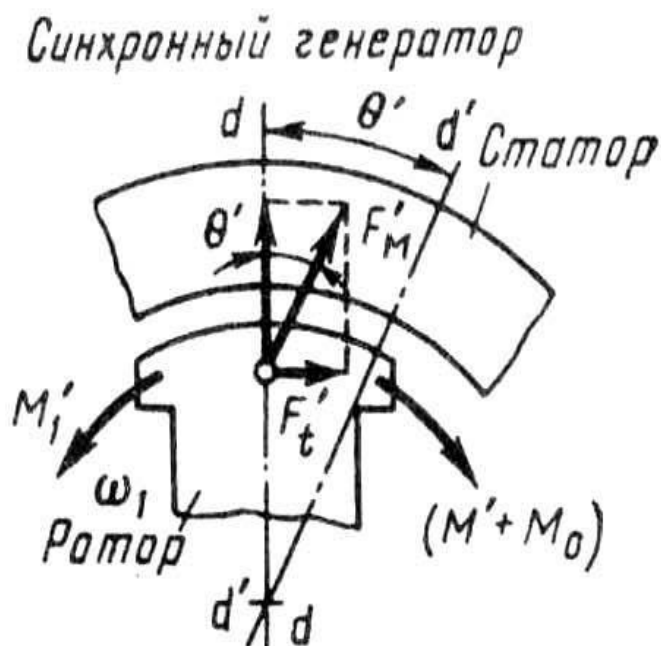
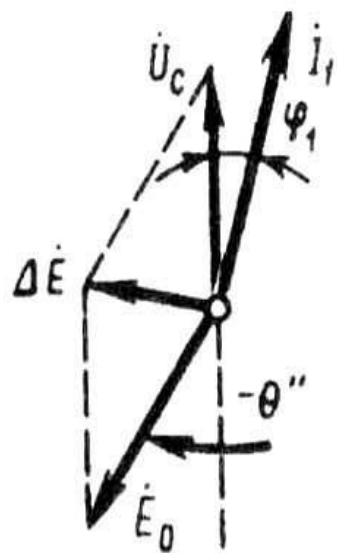
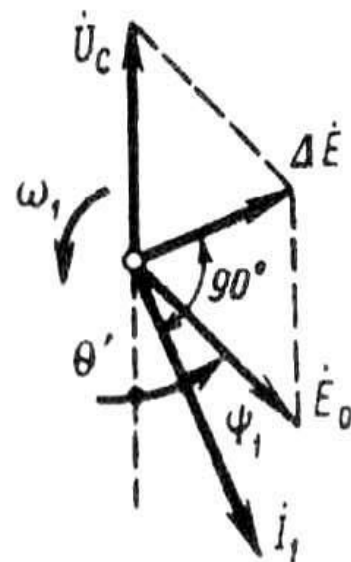
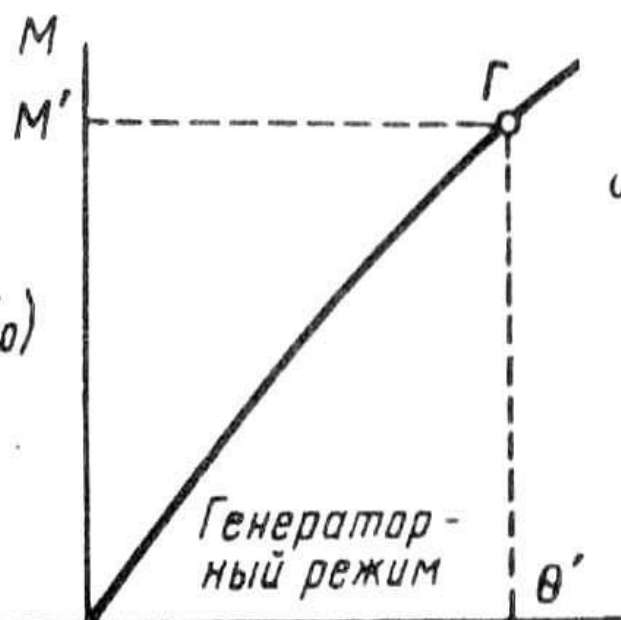
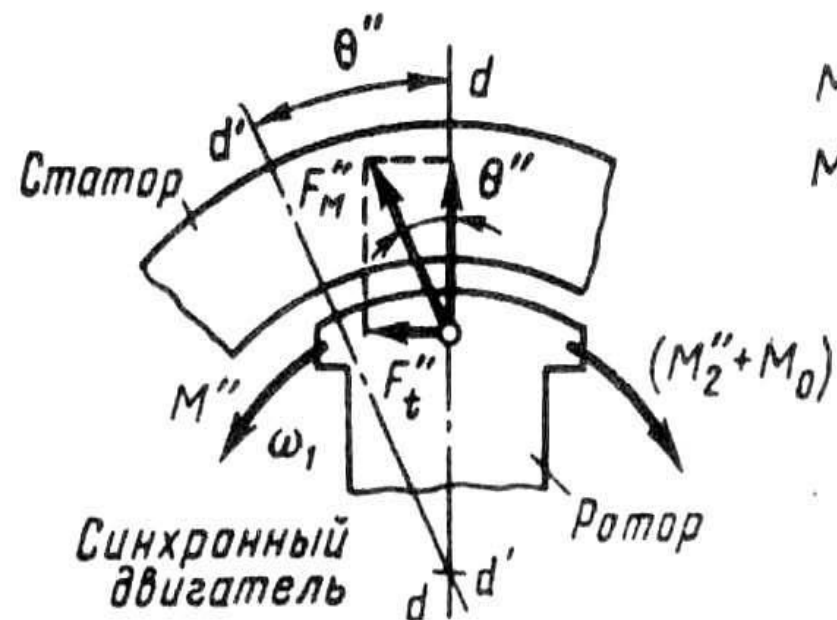
$$P_2 = P_{\Sigma M} - (P_{\Sigma 1} + P_{доб})$$

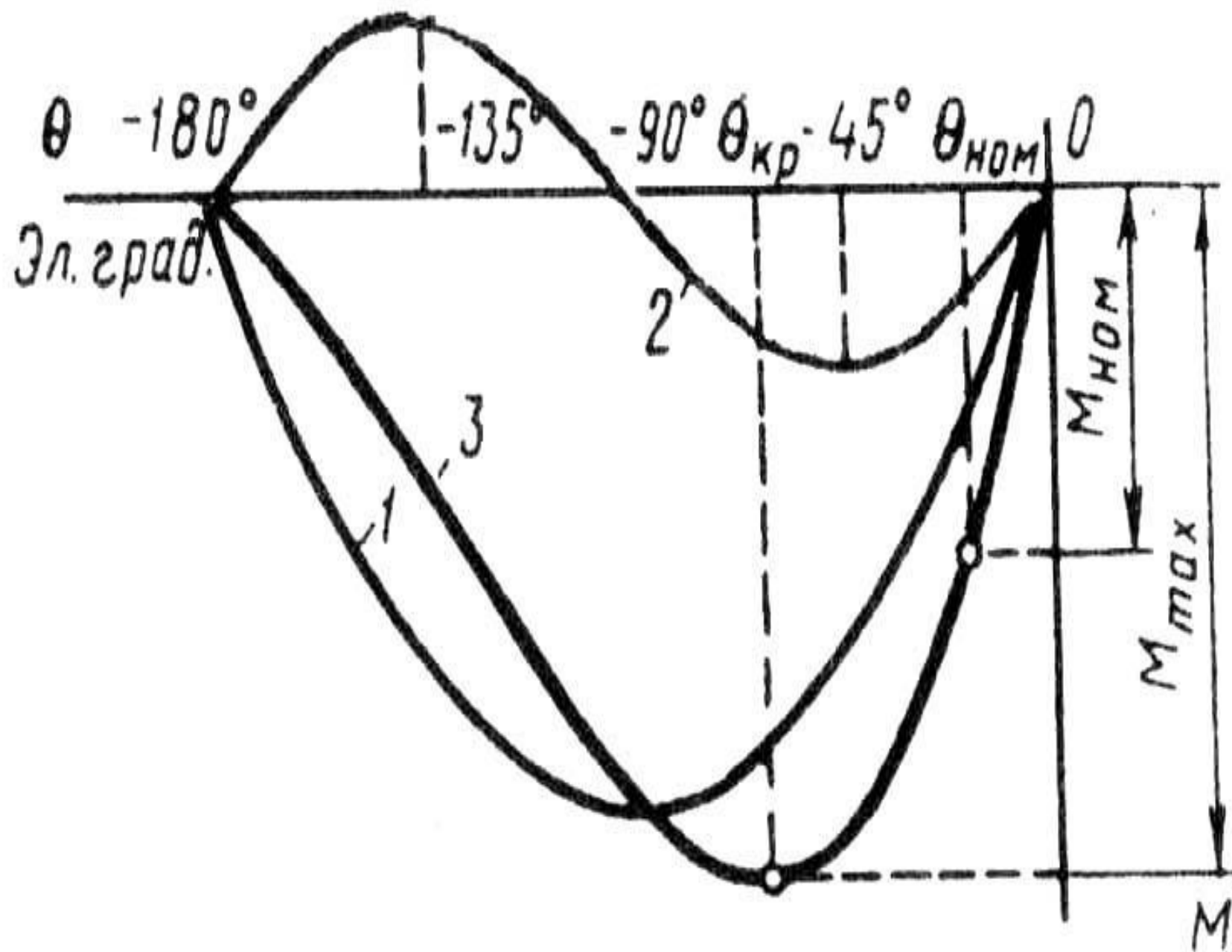
$$P_2 = P_1 - \Sigma P = M_1 \omega_1 - \Sigma P$$

- Егер де $P_1 = P_0 + P_{\Sigma M}$ өрнегін бұрыштық жиілікке ω_1 бөлсек синхронды генератордың моментер өрнегін анықтаймыз

$$M_1 = M_0 + M$$

Синхронды қозғалтқыш





Синхронды компенсатор (СК)

- Синхронды компенсатор (СК) реактивті қуатты өндіруге арналған синхронды машина.
- Синхронды компенсатор электр жүйенің қуат коэффициентін жоғарлату үшін қосылады.

