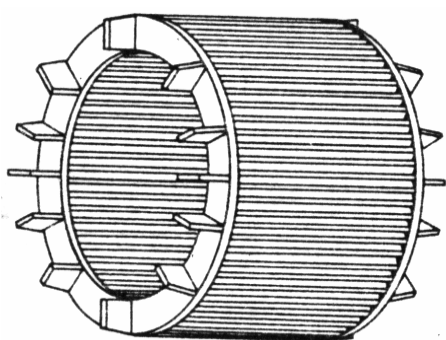
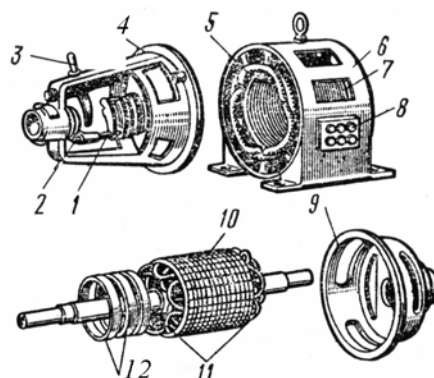


Az aszinkron (indukciós) gép.

Az aszinkron gép forgórész tekercselése kalickás, vagy csúszógyűrűs. A kalickás tekercselés általában a (hornyokban) szigeteletlen vezetőrudakból és a rudakat a forgórész vastest két homlokfelületén összekötő rövidrezáró gyűrűkből áll. A csúszógyűrűs vagy tekercselt forgórész ugyanolyan póluspárszámú tekercselést tartalmaz, mint az állórész. A forgórész tekercselés áramának kivezetésére szolgál a gép tengelyére szigetelten felerősített 3 csúszó kontaktus, 3 csúszógyűrű. Innen az elnevezés. Egy egykalickás forgórészt, ill. egy csúszógyűrűs motor szerkezeti részeit (kefe szerkezeteit, pajzsokat, a tekercselt állórészt) látjuk a 3.4. ábrán.



egykalickás forgórész



1 kefék; 2 kefetartó; 3 kefe emelő kar; 4, 9 pajzsok; 5 állórész tekercselés; 6 koszorú; 7 állórész lemezek; 8 csatlakozó kapcsok
csúszógyűrűs motor főbb szerkezeti részei

3.4. ábra

A forgó mező ω_0 szögsebessége, ill. az n_0 percnkénti fordulatszáma, amit szinkron szögsebességnek, ill. fordulatszámnak is nevezünk:

$$\omega_0 = \frac{\omega_1}{p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p}, \quad n_0 = \frac{f_1}{p} \cdot 60$$

ahol f_1 az állórész áram frekvenciája,

p a póluspárok száma.

Működés közben a forgó mező - a külső mágnes- erővonalai metszik az állórész és a forgórész tekercseit, és bennük feszültséget indukálnak. Az állórész tekercseiben indukált feszültség és a tekercseken létrejövő feszültségesések összege a hálózat feszültségével tart egyensúlyt. Az $\omega \neq \omega_0$ szögsebességű forgórész tekercseiben indukált feszültség a forgórész tekercselés zárt áramköreiben áramot indít. Ez hozza létre a belső mágneset. A forgórész áram és a forgó mező egymásra hatásából erő ill. nyomaték keletkezik, amely a Lenz törvény értelmében a forgó mező és a forgórész

szögsebesség különbségét az $(\omega_0 - \omega)$ -t csökkenteni igyekeznek. Ha a forgórész szögsebessége kisebb a szinkron szögsebességnél - a nyomaték iránya megegyezik a forgásiránnyal, - amely a forgórészt és a vele tengelykapcsolatban lévő gépet hajtja. Ha a forgórész szögsebessége nagyobb a szinkron szögsebességnél - a nyomaték iránya ellentétes a forgásiránnyal -, amely a forgórészt és az azt hajtó gépet fékezi. A szögsebesség nem érheti el a szinkron szögsebességet, mert akkor teljesen megszűnne az indukált áram és a forgatónyomaték. Vagyis az $\omega = \omega_0$ kivételével minden nem szinkron szögsebességnél van nyomaték. Innen az *aszinkron* elnevezés. Mivel a forgórész áramok indukció révén keletkeznek, e gépeket *indukciós*nak is nevezik. A külső és belső mágnes minden ω -nál együtt marad, relatív helyzetük változatlan marad, mert a forgórész ω szögsebességénél a forgórészben indukált áramok eloszlása egy olyan forgó mezőt (belső mágnes) hoz létre, ami pontosan $(\omega_0 - \omega)$ -val forog a forgórész vastestéhez képest. Azaz eredőben együtt forog a külső mágnessel. Az üzem fontos jellemzőjeként definiálták a forgó mező és a forgórész szögsebesség különbségének viszonyát a mező szögsebességéhez, ez a szlip (csuszamlás).

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}$$

Ebből a szögsebesség: $\omega = \omega_0(1 - s)$.

A szlip névleges értéke $s_n = (1 \dots 6)\%$.

Amíg a terhelőnyomaték 0-ról M_n -ig nő, a szögsebesség a szinkronhoz képest $s_n\%$ -kal csökken. Az aszinkron motor tehát a jelleggörbe üzemi szakaszán szögsebesség tartó (fordulatszám-tartó) gép. A következő megfontolások - a szokásos módon- kétpólusú ($p=1$) gépre vonatkoznak, ezért $\omega_1 = \omega_0$.

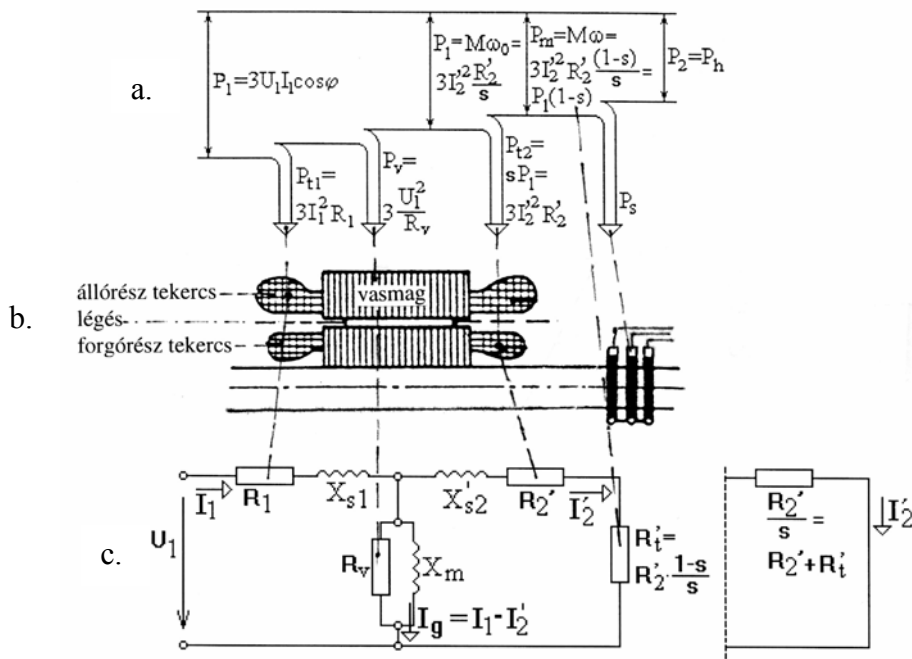
A teljes mechanikai jelleggörbe meghatározásához az állandó frekvenciájú táplálásra érvényes helyettesítő kapcsolásból indulunk ki (3.5.c. ábra). Ez egy olyan transzformátor helyettesítő kapcsolásának felel meg, amelyik egy szliptől függő R_t' terhelő ellenállást táplál. $R_t' = R_2' \frac{1-s}{s}$. A légrés miatt az I_g gerjesztő áram és az indítási áram aránya más, ill. a névleges állapotra vonatkozó feszültségesések aránya kedvezőtlenebb, mint a transzformátornál.

$$\frac{I_g}{I_n} = 0,3 \dots 0,5 \quad \frac{I_i}{I_n} = 5 \dots 8$$

$$\frac{R_1 \cdot I_{1n}}{U_{1n}} \cdot 100 = (2 \dots 6)\% \quad \frac{X_{s1} \cdot I_{1n}}{U_{1n}} \cdot 100 \approx 10\% \quad R_2 \approx R_1 \quad X'_{s2} \approx X_{s1}$$

$$\frac{X_m \cdot I_{1n}}{U_{1n}} \approx 250\% \quad \frac{R_v \cdot I_{1n}}{U_{1n}} \approx 2500\%.$$

A 3.5.a. ábrán egy csúszógyűrűs motor teljesítményszalagját, a 3.5.b.-n szerkezetének fél metszetét is látjuk szaggatott vonallal jelezve, hogy az egyes teljesítmények ill. veszteségek a gép melyik részében keletkeznek és a helyettesítő kapcsolás melyik eleméhez kötődnek.



3.5. ábra

A helyettesítő kapcsolásban

R_1 az állórész tekercselés egy fázisának ellenállása,

$X_{s1} = \omega_0 \cdot L_{s1}$ az állórész tekercselés egy fázisának szórási reaktanciája,

L_{s1} az állórész tekercselés egy fázisának szórási induktivitása,

$X_m = \omega_0 \cdot L_m$ a mágnező reaktancia,

L_m a mágnező induktivitás,

$X_{s2}' = \omega_0 \cdot L_{s2}'$ a forgórész egy fázisának szórási reaktanciája az állórész tekercselés menetszámára átszámítva,

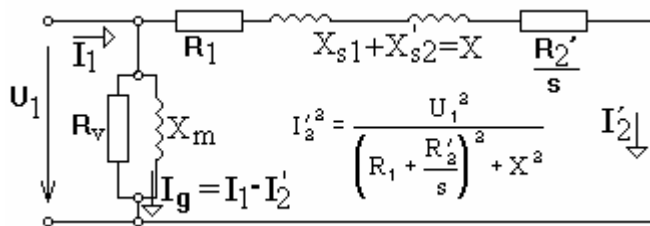
L_{s2}' a forgórész egy fázisának szórási induktivitása az állórész tekercselés menetszámára redukálva,

R_2' a forgórész egy fázisának ellenállása az állórész tekercselés menetszámára átszámítva,

ω_0 az állórész áram körfrekvenciája is, mert feltételezzük, hogy $p=1$,

R_v a vasveszteségi ellenállás,

$R_t' = R_2' \cdot \frac{1-s}{s}$ a terhelésnek megfelelő ellenállás.



Az $M(s)$ nyomaték-szlip jelleggörbe levezetéséhez egyfajta egyszerűsített helyettesítő kapcsolást használunk (3.6. ábra). A P_1

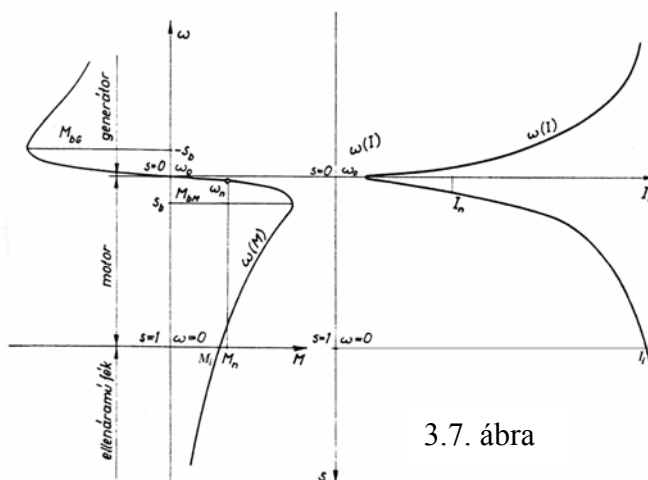
3.6. ábra

légrés teljesítményből indulunk ki. Háromfázisú gépnél:

$$P_1 = M \omega_0 = 3 \cdot I_2'^2 \cdot \frac{R_2'}{s} = 3 \cdot \frac{U_1^2}{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X^2} \cdot \frac{R_2'}{s}$$

$$\text{Ebből } M = \frac{3 \cdot U_1^2}{\omega_0} \cdot \frac{\frac{R_2'}{s}}{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X^2} \quad (3.1)$$

A szlip tengelyt az $\omega = \omega_0 \cdot (1-s)$ alapján az ω szerint is léptékezzük. Így az $\omega(M)$



3.7. ábra

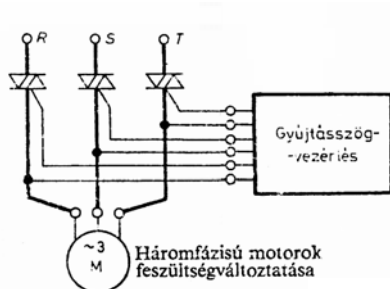
mechanikai jelleggörbéhez jutunk. A 3.7. ábrán bejelöltük a jellegzetes üzemállapotokat, a billenő- (maximális-) nyomatékok értékeit, valamint felrajzoltuk az $\omega(I_1)$ függvényt is. A nagy I_1 indítási áram és a kis M_i indító nyomaték kedvezőtlen tulajdonságai az indukciós motornak, amin kétkalickás, vagy mélyhornyú forgórész alkalmazásával lehet javítani.

A motorüzemre vonatkozó teljesítményszalag a 3.5.a ábrán mutatja, hogy a gép állórészébe bevezetett P_1 villamos teljesítmény fedezi az állórész P_{t1} tekercs- és P_v vasvesztését. A megmaradt teljesítmény a légréven keresztül a forgó mező közvetítésével jut a forgórészbe, ezért légrésteljesítménynek nevezzük. Ez valójában a forgórész összes teljesítménye. A P_1 légrésteljesítményből vonódik le a P_{t2} forgórész tekercsvesztés, a többi P_m mechanikai teljesítménnyé alakul át. A gép mechanikai vesztesége a P_s súrlódási vesztség, melynek levonása után a tengelyen leadott P_2 , vagy P_h hasznos (névleges) teljesítmény kapjuk. Az aszinkron gép forgórészében keletkező vasvesztés a kicsiny névleges f_2 miatt (2-3 Hz) elhanyagoljuk. A vasvesztés szinkronjárási mérésből, a súrlódási veszteséget ezután üresjárási mérésből határozhatjuk meg. Ezeket azután állandónak tekintjük.

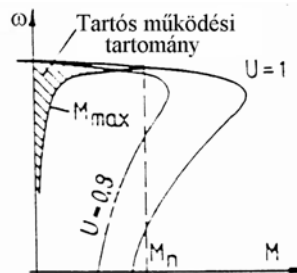
A 3.1 képlet mutatja a szögsebesség változtatás lehetőségeit. Háromfázisú csúszógyűrűs motoroknál lehetőség van a csúszógyűrűkhöz csatlakozó keféken keresztül beavatkozni a forgórész áramkörébe. Ez legtöbbször ellenállás beiktatását jelenti. A beiktatott ellenállás rontja a hatásfokot.

Az ω változtatás szokásos módszerei kalickás motoroknál:

- az U_1 fázisfeszültség csökkentése,
- a p póluspár szám változtatása,
- az f_1 frekvencia változtatása.



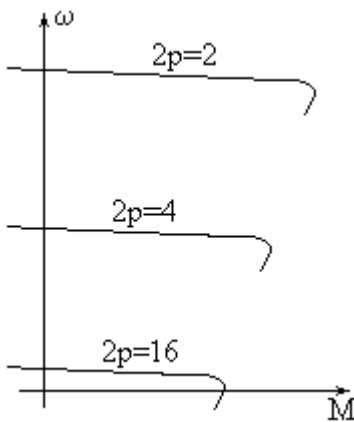
3.8. ábra



Az U_1 fázisfeszültség csökkentésére a gyakorlatban csak a 3.8. ábrán látható kapcsolás terjedt el. A motor minden fázisa elé

ellenpárhuzamosan kapcsolt tirisztor párok, (az ábrán triakok) gyűjtésével a motor

kapocsfeszültségét zérustól a hálózati feszültségig lehet változtatni. A szögsebesség csak növelt forgórészkeri ellenállás esetén változik jelentősebben, de akkor a hatásfok romlik. Szellőzők hajtására, ill. „lágý”, csökkentett nyomatékú indításra használják.

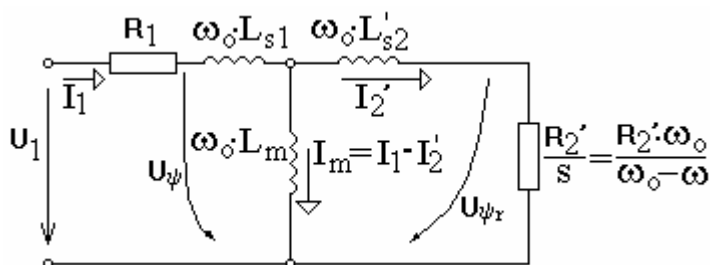


3.9. ábra

A póluspárszám változtatásával, mivel a p csak természetes egész szám lehet, csak néhány diszkrét fordulatszám állítható elő. A Dahlander-tekerceselésű motoroknál ugyanannak az állórész tekerceselésnek a pólusszámát átkapcsolással 1:2 arányban lehet változtatni. Nagyobb arányú pólusszám változtatást használnak lift motoroknál (gyors ill. lassú menetre),

vagy az automata mosógépeknél (mosás ill. centrifugálásra), de ekkor két különböző póluspárszámú tekerceselés van az állórészen. A forgórész mindig kalickás.

Az f_1 tápláló frekvencia folyamatos változtatása veszteségmentes fordulatszám változtatást tesz lehetővé, és 50 Hz-nél nagyobb frekvenciáknál 3000 1/min-nál nagyobb fordulatszámokat is el lehet érni. Ma ez az egyik leggyakoribb fordulatszám

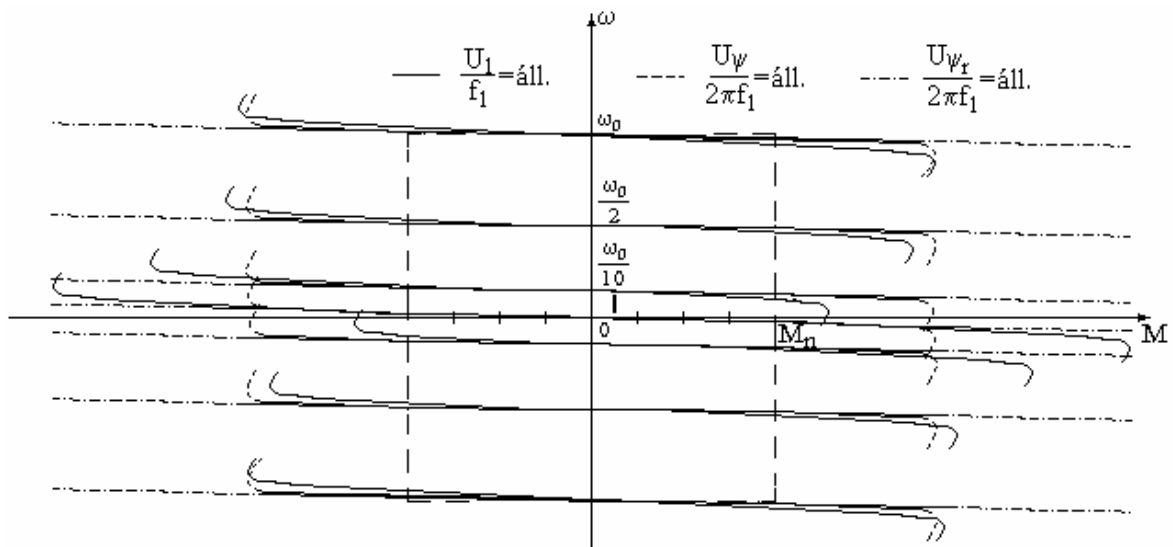


3.10 ábra

változtatási módja a háromfázisú indukciós motoroknak. A frekvencia változtatásakor használt egyszerűsített helyettesítő kapcsolás alapján (3.10 ábra) levezethető, hogy ha a motort

változó f_1 -ű (ω_0 -ű) feszültséggel tápláljuk, de az $U_1/f_1 = \text{áll.}$, akkor a jelleggörbék szinte párhuzamosan tolódnak el, de a motoros billenőnyomaték csökken, a generátoros billenőnyomaték nő. Ez a hatás az R_1 -en lévő feszültségesés következménye. Kis frekvenciáknál a reaktanciákon lévő feszültségesés csökken, ezért az R_1 -en lévő feszültség hatása erősebb, a nyomatékok is erősebben változnak (3.11. ábra). Ha az $U_\psi/2 \cdot \pi \cdot f_1 = \psi = \text{áll.}$, azaz az állórész fluxus állandó, akkor ugyanolyan $(\omega_0 - \omega)$ -nál az áramok és a nyomatékok ugyanazok maradnak, mert az U_ψ mögötti (az R_1 mögötti) impedancia arányos az ω_0 -lal. Ezért a jelleggörbék $-a$ változó f_1 -gyel- teljesen párhuzamosan tolódnak el. Ha viszont az $U_{\psi r}/2 \cdot \pi \cdot f_1 = \psi_r = \text{áll.}$, azaz a

forgórész fluxus állandó, a jelleggörbék lineárisak lesznek, hasonlóak a külsőgerjesztésű egyenáramú gép jelleggörbéihez (3.11. ábra). Az utóbbi két állapotot biztosító szabályozási módszert mezőorientált, vagy vektor kontroll szabályozásnak hívjuk. Önmagában a gép 4/4-es üzemre alkalmas, de ez csak akkor valósulhat meg, ha a táplálása is lehetővé teszi ezt.



Frekvenciaváltók aszinkron

3.11. ábra

motorok táplálására

Közvetlen

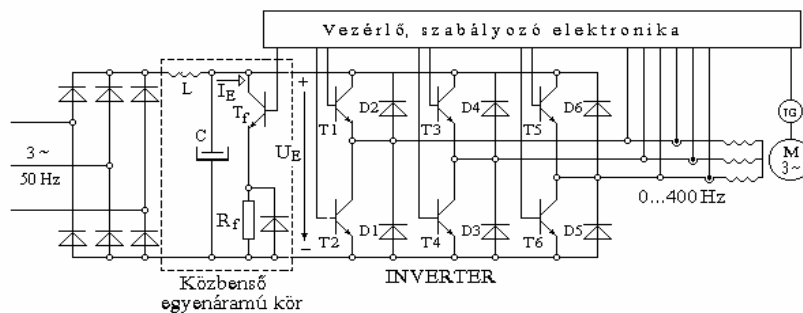
Közbenső egyenáram körös

500 kW fölötti teljesítményre, kis fordulatszámra

Áraminverter
10-1500 kW-ra

Feszültséginverter
egyszerű ISzM
(6 ütemű) (PWM)

Egy közbenső egyenáramkörös, feszültséginverteres aszinkron motoros hajtás kapcsolását mutatja a 3.12. ábra.

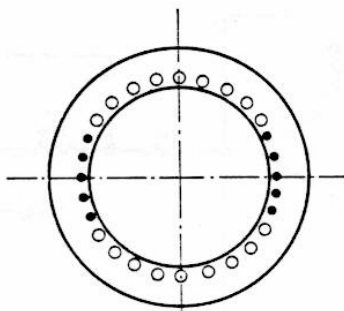


3.12. ábra

A kapcsolás kétnegyedes üzemet tesz lehetővé az I és a III negyedben, mert a hálózati oldalon lévő diódákon nem fordulhat meg az áram (energia) iránya. Az R_f ellenállással és a T_f szaggató tranzisztorral kiegészítve a hajtás 4/4-es lesz, de generátorként a gép az R_f -et táplálja.

Kondenzátoros segédfázisos indukciós motor.

Két merőleges tengelyű állórész tekercs esetén az egyik tekercset főfázisnak



- Főfázis tekercselés
- Segédfázis tekercselés

Az egyfázisú aszinkron motor főfázis-tekercselése az állórész kétharmadát foglalja el

3.13. ábra

nevezük. Ez közvetlenül rákapcsolódik egy egyfázisú hálózatra. A másik tekercset segédfázisnak hívjuk. (3.13. ábra). Ez egy vagy két kondenzátor közbeiktatásával kapcsolódik ugyanarra az egyfázisú hálózatra. Az egyfázisú táplálás miatt ezeket a motorokat egyfázisú motoroknak is hívjuk.

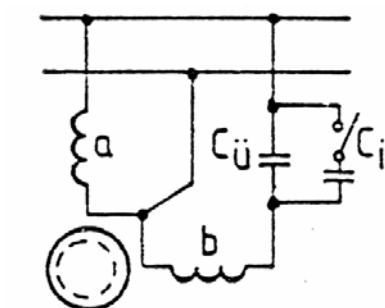
Az ilyen motoroknál gyakran elliptikus forgó mező keletkezik. A fázisban eltoló áramot a segédfázissal sorba kapcsolt kondenzátor hozza létre. Ez csak egy bizonyos

fordulatszámánál (impedanciánál) létesít éppen 90° -

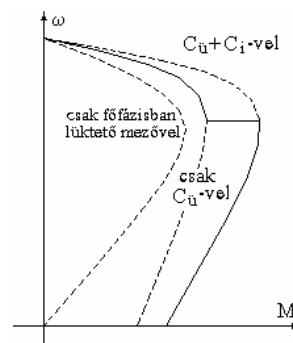
os fáziseltolású áramot, ill. körforgó mezőt.

Az elliptikusan forgó mező felbontható egy nagyobb amplitúdójú és vele szembeforgó kisebb amplitúdójú körforgó mezőre. A két körforgó mezőhöz tartozó mechanikai jelleggörbék összege adja az eredő jelleggörbét.

Indító és üzemi kondenzátoros motor kapcsolását és jelleggörbéit látjuk a 3.14. ábrán.

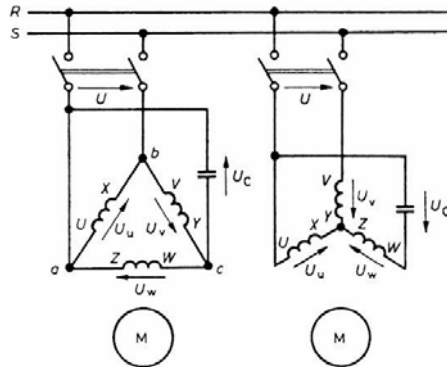


"Kettős" kondenzátoros motor kapcsolása



3.14. ábra

Így két fordulatszámnál is (célszerűen indításkor és névleges fordulatszámánál) meg tudjuk valósítani a körforgó mezőt. A C_i kondenzátort felfutás után lekapcsoljuk.

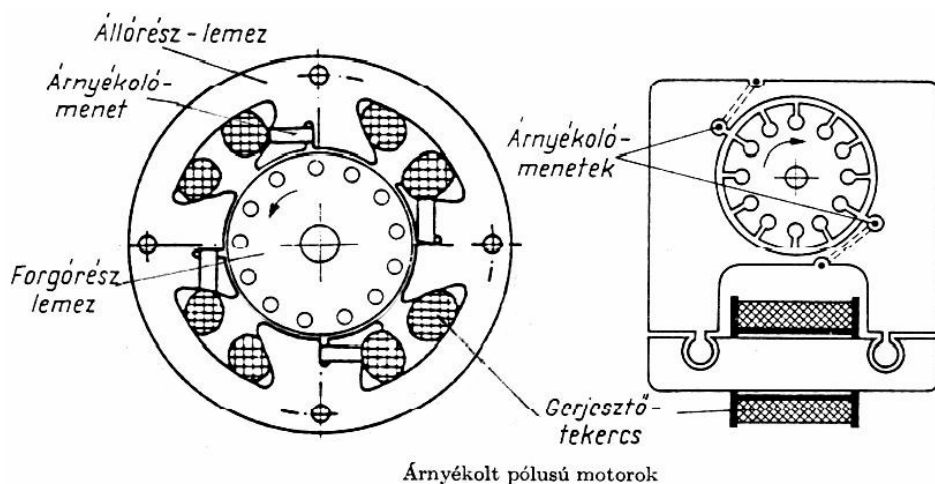


Steinmetz-
kapcsolások
3.15. ábra

Néha kisteljesítményű háromfázisú motorokat is használnak egyfázisú kondenzátoros motorként. Két ilyen kapcsolást mutat a 3.15. ábra.

Árnyékolt, vagy hasított pólusú motorok.

Egészen kis teljesítményekre (max. 50 W) használatosak. Az egyfázisú hálózatra kapcsolt tekercs lüktető fluxusa áthalad a pólusokon. A „másik” tekercs, vagy „árnyékoló menet” tulajdonképpen rézgyűrű, ami a felhasított pólus egy részét öleli körül. A pólusokon áthaladó fluxus egy része az árnyékoló menetekkel kapcsolódik. A gyűrűben indukálódó áramok mágnesere fázisban eltér az árnyékolatlan részen áthaladó fluxushoz képest. Így egy elliptikus forgó mező keletkezik, amelynek hatásaként a kalickás forgórész forgásba jön (3.16. ábra). A forgásirány nem



3.16. ábra

változtatható meg, mert az egyetlen tekercs kivezetésének felcserélésekor az árnyékoló menet áramának iránya is megváltozik.

A kondenzátoros és az árnyékolt pólusú motorok fordulatszámát nem változtatják, ezért itt nem beszélhetünk „működési tartományról”, csak egyetlen jelleggörbéről, amely mentén a terhelés szabja meg a fordulatszámot. Ez a jelleggörbe igyekszik alkalmazkodni a hajtott berendezés igényéhez.

1. példa

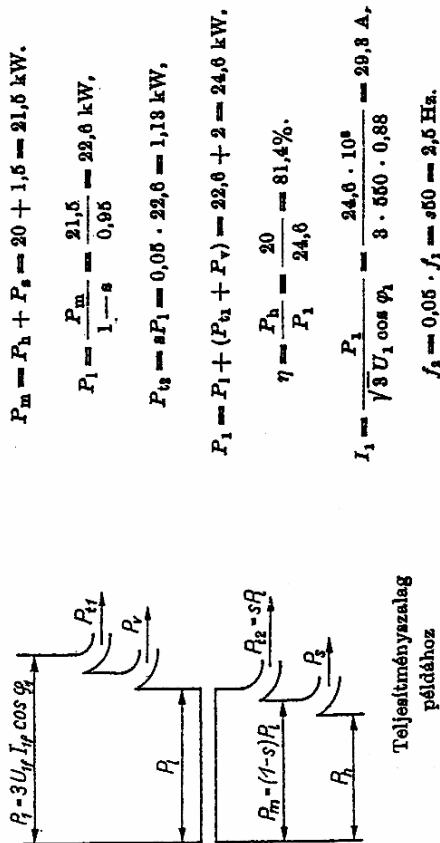
A háromfázist, 20 kW-os, hatpólusú, 560 V-os, 60 Hz-es aszinkron motor fordulatszáma névleges terhelésnél 950 1/min. Teljesítményvesztéje ekkor 0,88, az állórész összes vesztesége 2 kW, a súrlódási veszteség pedig 1,6 kW. Határozzuk meg névleges terhelésnél a szlip értékét, a forgórész tekercsvesztését, a felvett teljesítményt és áramot, továbbá a hatásfokot, valamint a forgórész áramának a frekvenciáját.

Megoldás:

$$n_0 = \frac{60 f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 \frac{1}{\text{min}}$$

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0} = \frac{1000 - 950}{1000} = 0,05 = 5\%$$

A motor teljesítményzsalagja értelmében (8.36 ábra):



$$P_m = P_2 + P_3 = 20 + 1,5 = 21,5 \text{ kW}$$

$$P_1 = \frac{P_m}{1-s} = \frac{21,5}{0,95} = 22,6 \text{ kW}$$

$$P_2 = sP_1 = 0,05 \cdot 22,6 = 1,13 \text{ kW}$$

$$P_1 = P_2 + (P_2 + P_3) = 22,6 + 2 = 24,6 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{P_m}{P_1} = \frac{20}{24,6} = 81,4\%$$

$$I_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3} U_1 \cos \varphi_1} = \frac{24,6 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 560 \cdot 0,88} = 29,8 \text{ A}$$

$$f_2 = 0,05 \cdot f_1 = 3 \text{ Hz}$$

2. példa

Egy 980 V-os, csillagkapcsolású, 60 Hz-es, négypólusú aszinkron motor redukált forgórész-ellenállása: $R_2' = 0,07 \Omega$; együttes szórásal reaktanciája $X = X_1' + X_2' = 0,96 \Omega$. Ha a motor a névleges nyomaték terhel, a fordulatszáma 1440 1/min. Mekkora a gép névleges nyomatéka? Mekkora lesz a forgási sebesség, ha a terhelőnyomaték a kétszeresére nő? A számításnál az állórész ellenállását hanyagoljuk el!

Megoldás:

A motor szinkron fordulatszáma:

$$n_0 = \frac{f_1}{p} = \frac{50}{2} = 25/s = 60 \cdot 25 = 1500 \frac{1}{\text{min}}$$

A billenőnyomaték:

$$M_b = \frac{3 U_1^2}{2 X \omega_0} = \frac{3 \left(\frac{U_1}{\sqrt{3}} \right)^2}{2 \cdot 0,35 \cdot 2 \cdot 25} = \frac{380^2}{2 \cdot 0,35 \cdot 2 \cdot 25}$$

$$M_b = 1315 \text{ Nm}$$

az ehhez tartozó szlip:

$$s_b = \frac{F_b}{X} = \frac{0,07}{0,96} = 0,2.$$

Így a nyomaték tetszőleges szlipnél:

$$M = \frac{2 M_b}{s_b + \frac{s_b}{s}} = \frac{2 \cdot 1315}{0,2 + \frac{0,2}{s}} = \frac{2630}{0,2 + \frac{1}{5s}}$$

A névleges szlip:

$$s_n = \frac{n_0 - n}{n_0} = \frac{1500 - 1440}{1500} = 0,04,$$

s így a névleges nyomaték:

$$M_n = \frac{2630}{5s_n + \frac{1}{5s_n}} = \frac{2630}{5 \cdot 0,04 + \frac{1}{5 \cdot 0,04}} = \frac{2630}{0,2 + 5} = \frac{2630}{5,2}$$

$$M_n = 508 \text{ Nm}$$

A kétszeres terhelőnyomaték 1012 Nm, tehát

$$1012 = \frac{2630}{5s + \frac{1}{5s}}$$

innen:

$$5s + \frac{1}{5s} = \frac{2630}{1012} = 2,6$$

$$25s^2 - 13s + 1 = 0.$$

$$s = \frac{13 \pm \sqrt{169 - 100}}{50} = \frac{13 \pm 8,32}{50}$$

és

$$s_1 = \frac{13 - 8,32}{50} = \frac{4,68}{50} = 0,0936 = 9,36\%$$

$$s_2 = \frac{13 + 8,32}{50} = \frac{21,38}{50} = 0,4284 = 42,84\%$$

Ez utóbbi érték a jelleggörbe labilis szakaszához tartozik, a stabilis szakaszra vonatkozó s_1 értékkel számolunk tovább. A keresett fordulatszám:

$$n_1 = n_0(1 - s_1) = 1500(1 - 0,0936) = 1500 - 140,$$

$$n_1 = 1360 \frac{1}{\text{min}}$$