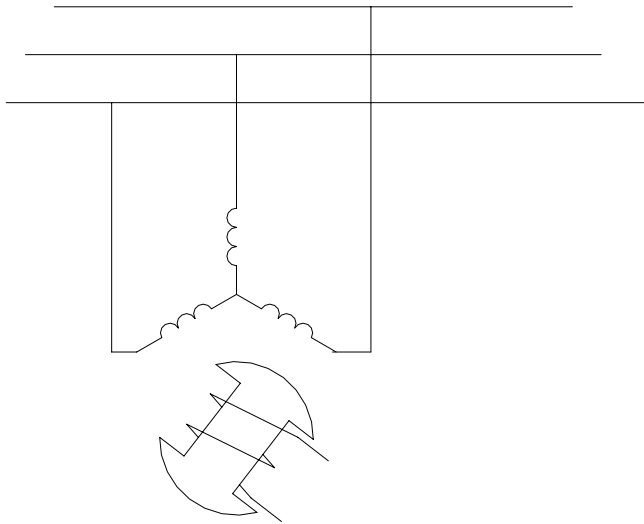


1. A szinkron gépek

1.1 A működés elve



A frekvenciafeltétel alapján:

$$f_2 = 0 \text{ (egyenáramú gerjesztés)}$$

⇓

$$\omega_{\text{rot}} = 0$$

Csak $n = n_0$ fordulatszámon működik, ekkor képes állandósult nyomatékot kifejteni. Ez a **szinkron** állapot.

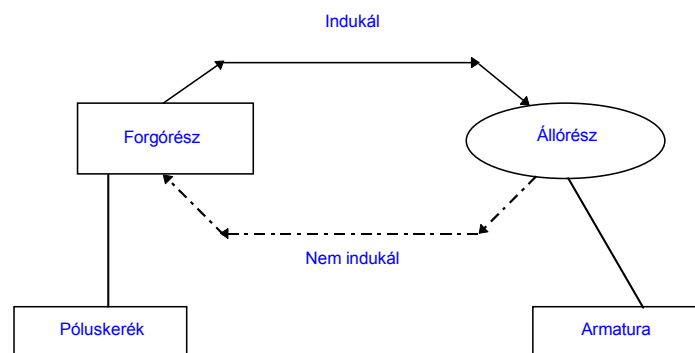
Megjegyzések:

1. Önállóan indulni nem képes.
2. Ha „kiesik” a szinkronizmusból, zárlati állapotba kerül.
3. Lengésekre hajlamos.
4. Gerjesztőáramot független áramforrás biztosítja \Rightarrow meddőt képes szolgáltatni.

Főként a nagy generátorok fontosak.

1.2 Helyettesítő kapcsolás

Származtatása „egyszerű”, mert a gép állandósult, szimmetrikus állapotban UNILATERÁLIS = indukálás csak egy irányban van: a forgórész indukál az állórészbe.



armatura = a gép azon része (tekerceslése), amelyben állandó és szimmetrikus állapotban feszültség indukálódik. E feszültség neve: *pólusfeszültség*.

A mágneses tér „modellje”: *kétmezős elmélet*, mert a két mező többé-kevésbé függetlenül változtatható.

A pólusfeszültség az ismert módon:

$$U_p = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f_1 \xi_1 N_1 \Phi_{(\max)} \rightarrow \text{ez „aktív” (feszültségforrás)}$$

Az armatura-feszültség

$$U_a = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f_1 \underbrace{\xi_1 N_1 \Phi_a}_{\Psi_a} \rightarrow \text{ez indukált feszültség, de}$$

feszültségesésként vesszük figyelembe

A transzformátorhoz hasonlóan:

AKTÍV: U_i

PASSZÍV: X_m

$$U_a = 2\pi f_1 \times \frac{\Psi_a}{\sqrt{2}} \times \left(\frac{I_a}{I_a} \right) = 2\pi f_1 \times \underbrace{\frac{\Psi_a}{\sqrt{2} \times I_a}}_{L_a} \times I_a =$$

$$= \underbrace{2\pi f_1 L_a}_{X_a} I_{a(\text{eff})}$$

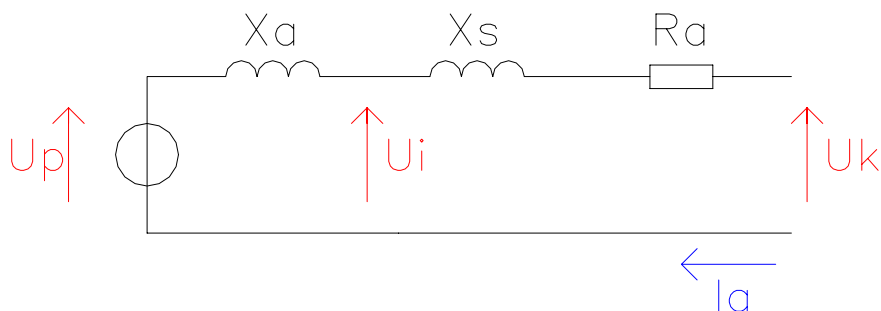
azaz:

$$\bar{U}_a = jX_a \bar{I}_a, \text{ ahol } X_a \text{ az armatura-reaktancia.}$$

Ehhez járulnak a szórások, amikkel a feszültség-egyenlet:

$$\bar{U}_k = \bar{U}_p + jX_a \bar{I}_a + jX_s \bar{I}_a + R_a \bar{I}_a$$

Az egyenlethez tartozó Thevenin-kapcsolás



Itt is: FOGYASZTÓI POZITÍV IRÁNYRENDSZER van érvényben.

Megjegyzések:

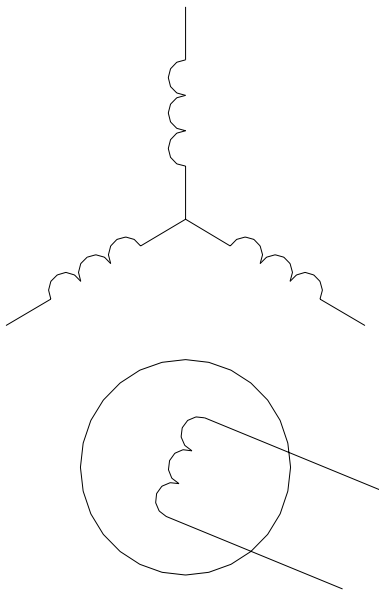
1. Vasveszteség elhanyagolva: állandósult szimmetrikus állapotban CSAK az állórészben keletkezik vasveszteség.

Nagy gépeknél $\eta \rightarrow 100\% \Rightarrow P_{\text{vas}} \approx 0$

2. Növekedési törvények miatt $P \uparrow \Rightarrow r_a \downarrow \Rightarrow R_a \approx 0$ a szokásos elhanyagolás

3. A gépben egyetlen mező van, ez hozza létre az indukált feszültséget.

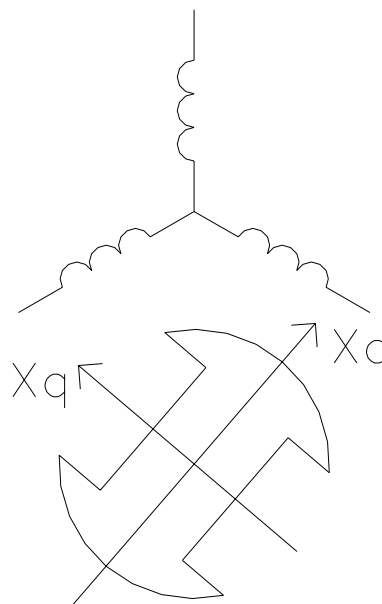
4. $X_a + X_s = X_d =$ SZINKRON REAKTANCIA



Hengeres

Minden irányban

azonos



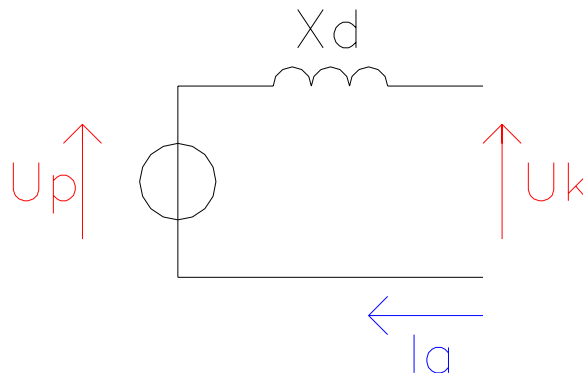
Kiálló pólusú

Az eltérő irányokban

eltérő

mágneses ellenállás

Ezzel: a hengeres forgórészű szinkron gép egyszerűsített helyettesítő kapcsolása:



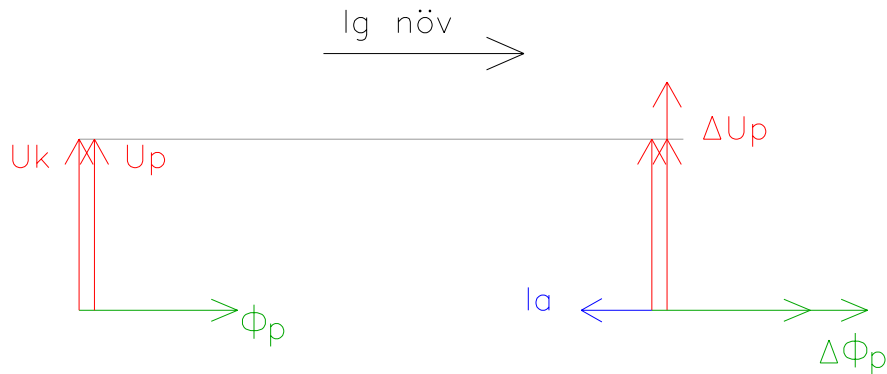
Thevenin kapcsolásból \Rightarrow Norton kapcsolás kapható az ismert átalakítással:

feszültség-amplitudó
 megfelelő fázisfeszültségek között fázisszög zérus.

1.5 Terhelésvétel

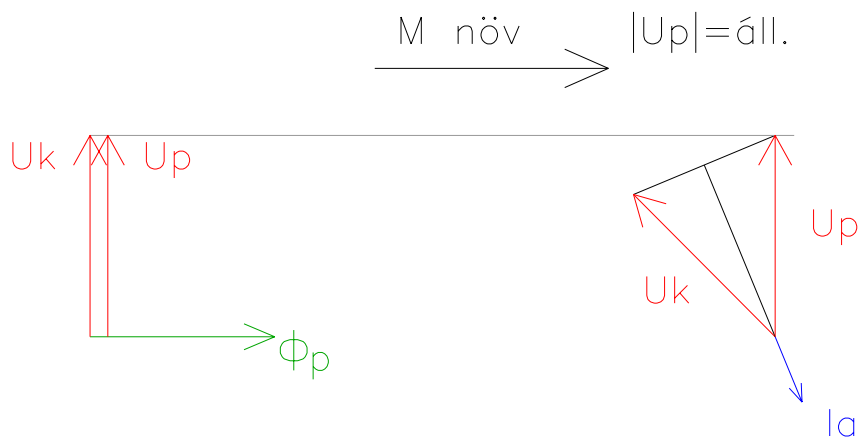
SZINKRONOZÁS UTÁN

1 A gerjesztőáram növelése



Megállapítható, hogy ha a gerjesztőáramot az üresjárási érték fölé növeljük, akkor a szinkron gép meddő teljesítményt képes szolgáltatni a hálózatnak. Ez a szinkron gépek szokásos gerjesztési állapota, mivel a fogyasztók többsége meddő teljesítményt igényel. A gerjesztőáram csökkentésével a szinkron gép is meddő teljesítményt vesz fel. A gerjesztőáram változásának nincs hatása a szinkron gép hatásos teljesítményére.

2 A hajtó- vagy fékezónyomaték növelése

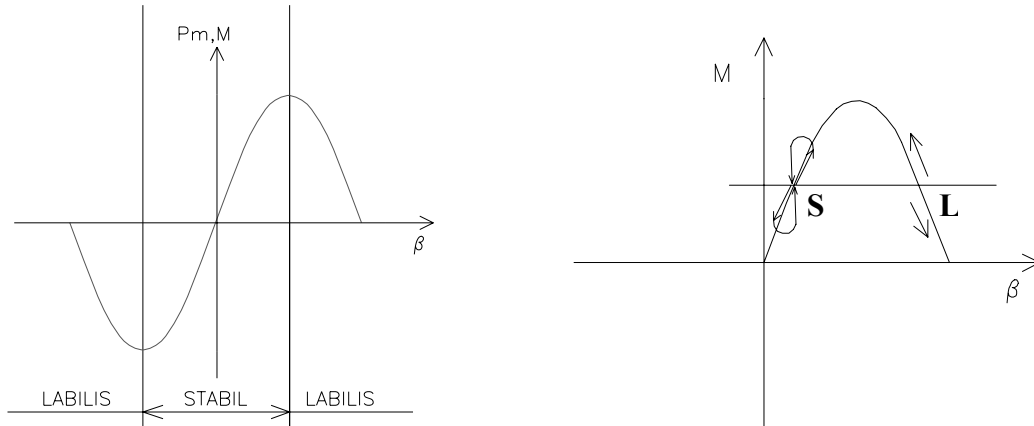


Megállapítható, hogy a hajtó- vagy fékezónyomaték növelésével változik a szinkron gép által szolgáltatott vagy felvett villamos teljesítmény. A nyomaték változása általában csak kis mértékben befolyásolja a szinkron gép meddő teljesítményét. Ezt a hatást gyakran elhanyagoljuk.

A fenti két eset vizsgálata alapján arra a következtetésre jutunk, hogy
 a meddő teljesítményt a gerjesztőárammal,

A jobb oldali ábra S-sel jelölt pontja állandó nyomaték feltételezése esetén statikusan stabil, mivel kis nyomatékváltozást követően a gép visszatér az eredeti munkapontba. Könnyű belátni, hogy az L-lel jelölt munkapont statikus labilis.

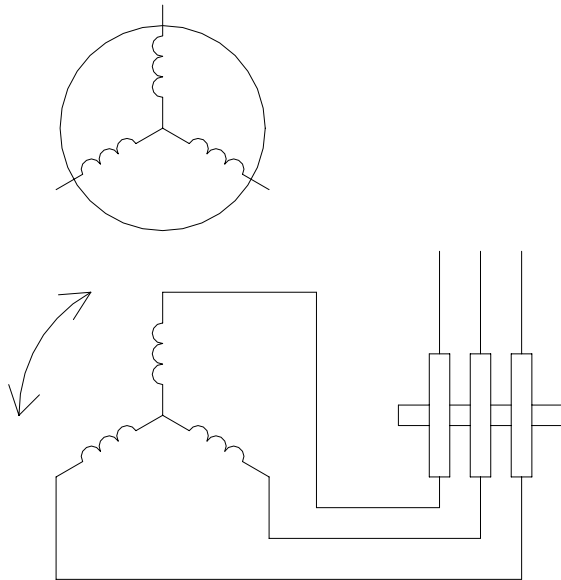
A bal oldali ábráról leolvasható, hogy a statikus stabilitás (elvi) határa $\beta = \pm 90^\circ$



Bizonyítás nélkül közöljük, hogy a dinamikus stabilitás határa mindig nagyobb, mint a statikus stabilitás határa, mivel a gyors változásokat a szinkron gép "jobban bírja". A dinamikus stabilitás számszerű értéke függ a munkaponttól is.

2. Az aszinkron gépek

2.1 Az indukciós szabályzó



Állórész jellegzetességei:

általában háromfázisú

(ezt vizsgáljuk)

de: lehet egyfázisú is.

Forgórész jellegzetességei:

nyugalomban van,

de: elforgatható

csúszógyűrűkhöz csatlakozó kapcsai

nyitottak

a) A forgórészen indukált feszültség amplitúdója

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{U_{1i}}{U_{2i}} = \frac{\xi_1 N_1}{\xi_2 N_2} = n_n$$

A feszültségkényszer miatt itt is érvényes a **gerjesztések egyensúlyának törvénye**.

$$\bar{F}_1 + \bar{F}_2 = \bar{F}_m \approx \bar{F}_0$$

Az álló- és forgórész fázisszám, m_s és m_r eltérő is lehet. Az alapharmonikusra vonatkozó gerjesztés-egyenlet:

$$\frac{m_1}{2} \xi_1 N_1 \bar{I}_1 + \frac{m_2}{2} \xi_2 N_2 \bar{I}_2 = \frac{m_1}{2} \xi_1 N_1 \bar{I}_1$$

$$\bar{I}_1 + \frac{m_2 \xi_2 N_1}{m_1 \xi_1 N_1} \bar{I}_2 = \bar{I}_{m_1}$$

$$n_l = \frac{m_1 \xi_1 N_1}{m_2 \xi_2 N_2}$$

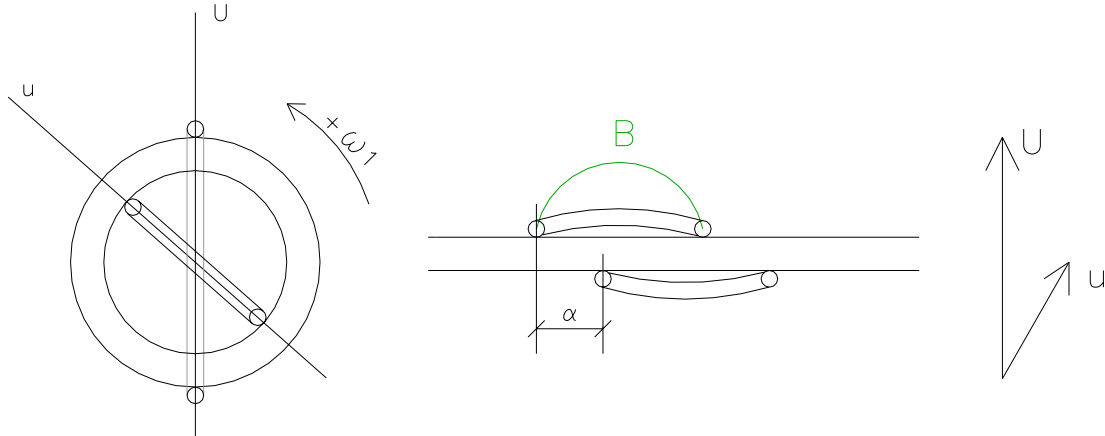
Az impedanciák átszámítása:

$$Z' = n_z \times Z,$$

$$\text{ahol } n_z = n_U \times n_l = \frac{m_1 (\xi_1 N_1)^2}{m_2 (\xi_2 N_2)^2}$$

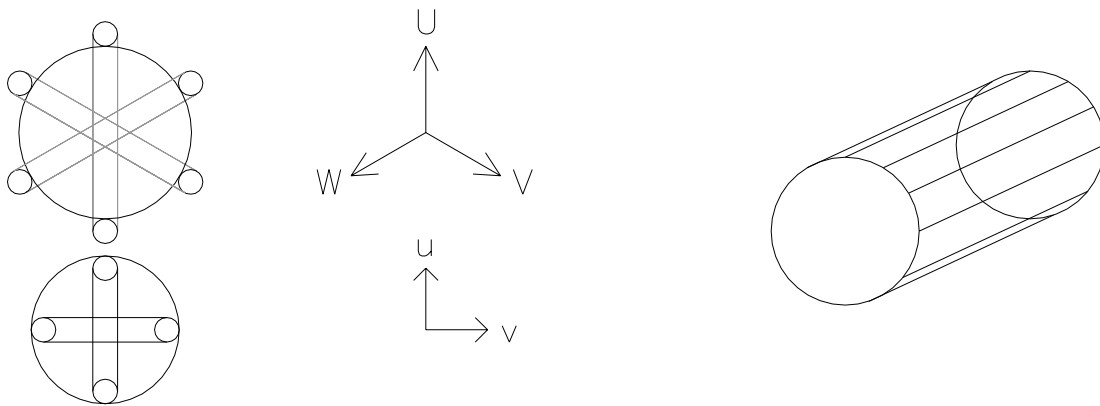
b) A forgórészen indukált feszültség fázishelyzete

Egyfázisú indukciós szabályzó esetén a forgórész-feszültség vektorának fáziseltérése az állórészfeszültség vektorához viszonyítva a forgórész elfordulási szögével arányos. Háromfázisú indukciós szabályzó esetén a forgórész-feszültség vektora egybeesik az állórész-feszültség vektorával, nem függ a forgórész szöghelyzetétől. A forgórész-feszültség nagysága függ a forgórész szöghelyzetétől.

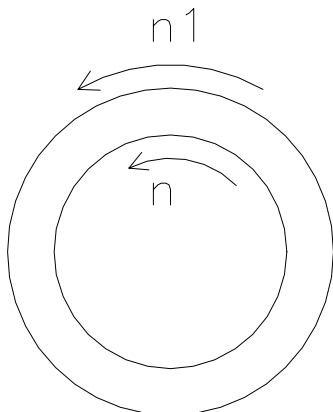


c) A forgórészen indukált feszültség fázisszáma

Forgórész fázisszáma tetszőleges, ezért a forgórész lehet *kalickás* és *tekercest* (csúszógyűrűs) kivételű is.



d) A forgórészen indukált feszültség frekvenciája



n_1 = állórészmező fordulatszáma

n = forgórész fordulatszáma

$n_2 = n_1 - n$ = forgórészmező fordulatszáma a forgórészhez képest

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{n_1 - n}{n_1} = s = \text{szlip}$$

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{n_2 p}{n_1 p} = \frac{n_2}{n_1} = s \Rightarrow f_2 = s f_1, \text{ szlipfrekvencia}$$

Tehát a forgórész-feszültség frekvenciáját a *szlip*, magyar nevén *csúszás* határozza meg. Ezért a forgórészmenyiségek frekvenciáját *szlipfrekvenciának* is szokás nevezni.

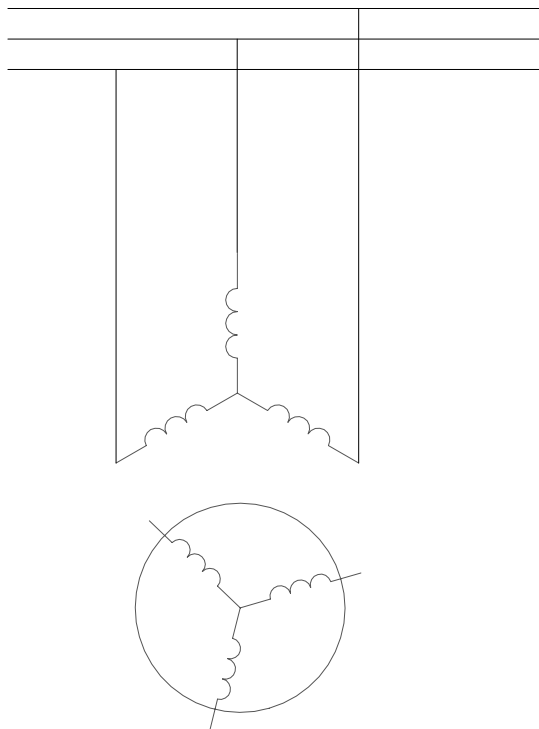
Példa:

s	f_2 , Hz	n, ford/perc	p = 1
1	50 Hz	0	
0	0	3000	

2.2 Az aszinkron gép működése

Egyszerű, robusztus kivitel.

A forgórész üzemszerűen rövidrezárt mind *kalickás*, mind pedig *csúszógyűrűs* kivitel esetén.



A működés feltételele: $M_{vill} = M_{terh}$

Ez szinkron fordulatszámom nem teljesülhet, hiszen ekkor nincs "erővonal metszés", **csak** a szinkrontól eltérő fordulatszámokon. Ezért nevezzük ezeket a gépeket **aszinkron gépeknek**.

Példa: legyen $p = 1$

$$n_1 = \frac{f_1}{p} = 50/s = 3000/\text{perc}$$

$n < n_1$ esetén

$$n = n_1 (1-s) = 2940/\text{perc}$$

$$s = 2\%$$

$$n_2 = sn_1 = 60/\text{perc}$$

$$f_2 = pn_2 = 60/\text{perc} = 1 \text{ Hz}$$

2.3 A helyettesítő kapcsolás

Célunk, hogy a helyettesítés kapcsolás nyugvó áramkör legyen, tehát valamilyen módon "ki kell iktatni a forgást".

A forgórészen indukált feszültség a már ismert módon számítható:

$$U_{i2} = 4,44 f_2 \xi_2 N_2 \Phi_m = s \underbrace{4,44 f_1 \xi_2 N_2 \Phi_m}_{U_{2i} \text{ álló helyzetben}}$$

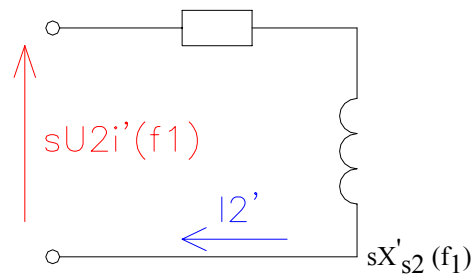
$$U_{s2}(s) = s U_{2i}(f_1)$$

$$R_2 = \text{áll}$$

$$X_{s2} = 2\pi f_2 L_{s2} = s X_{s2}(f_1)$$

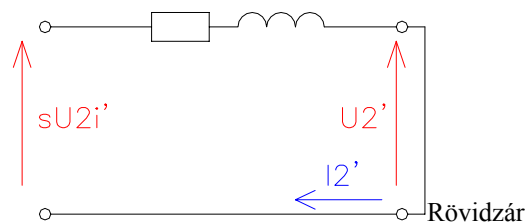
Jelölés: $U_{2i}(f_1) = U_{2i}$

$$X_{s2}(f_1) = X_{s2}$$



A feszültségegyenlet a szokásos alakban:

$$\bar{U}'_2(s) = s\bar{U}'_{2i} + R'_2 \bar{I}'_2 + j s X'_{s2} \bar{I}'_2 = 0$$



A forgórész-mező az állórészmezővel MINDEN FORDULATSZÁMON EGYÜTT FOROG
 \Rightarrow a forgórészáramok az állórészről nézve MINDIG 50 Hz frekvenciájúnak látszanak. Más szóval az aszinkron gép "elvégzi" az

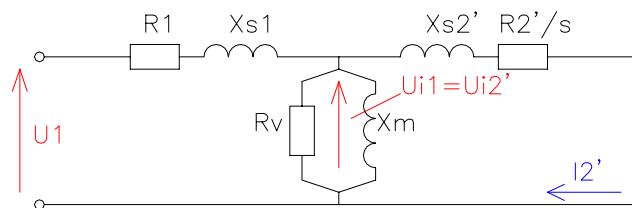
$$f_2 \rightarrow f_1 = \frac{f_2}{s} \quad \text{frekvencia-transzformációt.}$$

Az abszolút értékekre nézve:

$$\bar{U}'_{2i} + \frac{R_2}{s} \bar{I}'_2 + j X'_{s2} \bar{I}'_2 = 0$$

$$\bar{U}'_{2i} = \bar{U}_{1i}$$

Most már összeköthető a primer és a szekunder oldal a helyettesítő kapcsolásban:



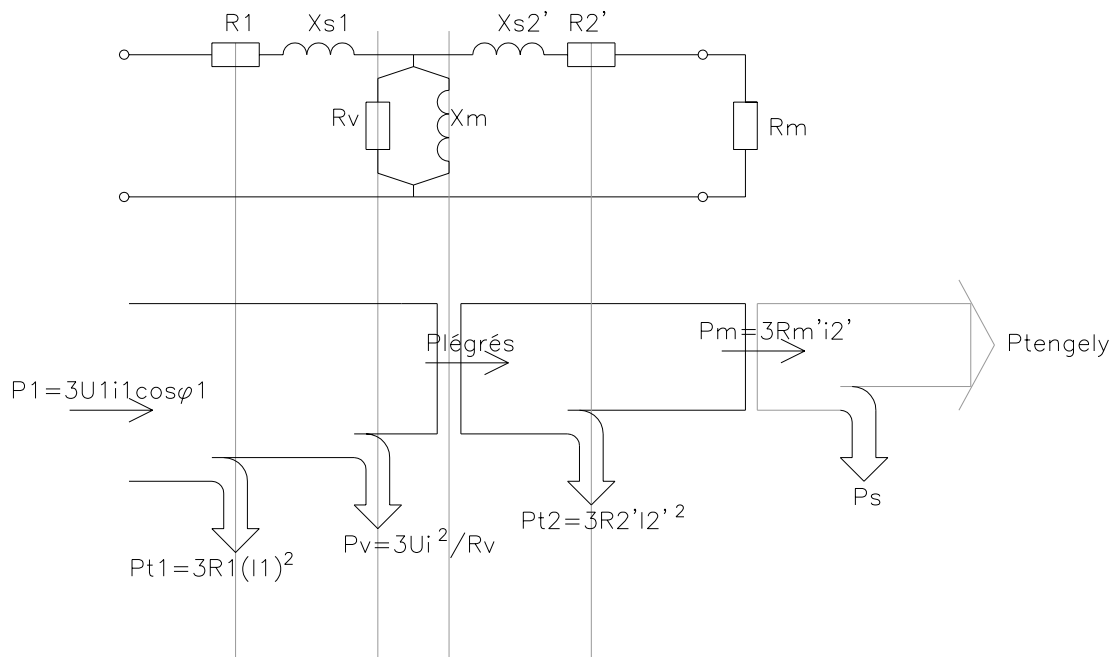
ahol $\frac{R'_2}{s} = R'_2 + R_2 \frac{1-s}{s} = R'_2 + R'_m$

R'_m a „mechanikai ellenállás”, a tengelyen leadott teljesítményt képviseli.

R'_2 forgórész tekercsveszteséget képviseli.

2.4 Az energiamérleg

$f_2 \approx 0$ miatt $P_{vas2} \approx 0$, vagyis normál üzemi viszonyok között a forgórész vasveszteséget elhanyagoljuk. Vigyázzunk: ez nem mindig tehető meg!



A légrésen átadott teljesítmény (légrésteljesítmény):

$$P_l = 3(R_2'/s) I_2'^2$$

$$P_m = (1-s) P_l \Rightarrow$$

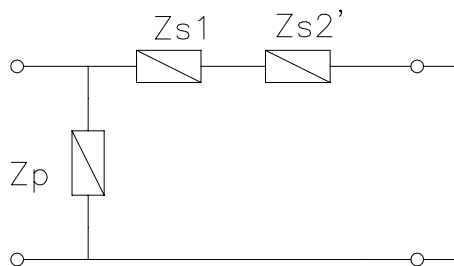
$$P_{t2} = 0 \text{ esetén nincs } P_l \Rightarrow \text{nincs } M$$

$$P_m = (1-s) P_l$$

A tengelyen levehető nyomaték:

$$M = \frac{P_m}{\Omega} = \frac{(1-s) P_l}{(1-s) \Omega_0} = \frac{P_l}{\omega_1/p} = p \frac{P_l}{\omega_1} = \frac{3 R_2'}{\Omega_0 s} I_2'^2$$

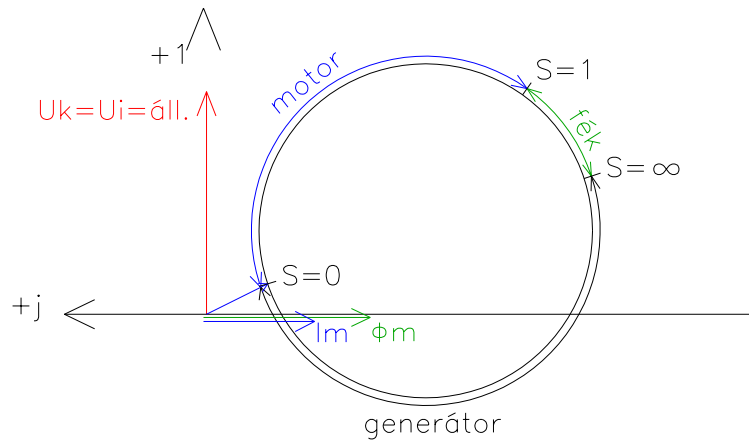
Az egyszerűsített helyettesítő vázlat a transzformátorokéhoz hasonló:



$$U_1 = U_n = U_{i1}$$

2.5 A kördiagram

Az aszinkron gép állórész-áram végpontja egy, a komplex síkon felrajzolt körön helyezkedik el. Az állórész-feszültség vektora a pozitív valós tengely irányába mutat, és állandó értékű.



Megjegyzések:

1. A kördiagramon jól megkülönböztethetők az aszinkron gép üzemmódjai:

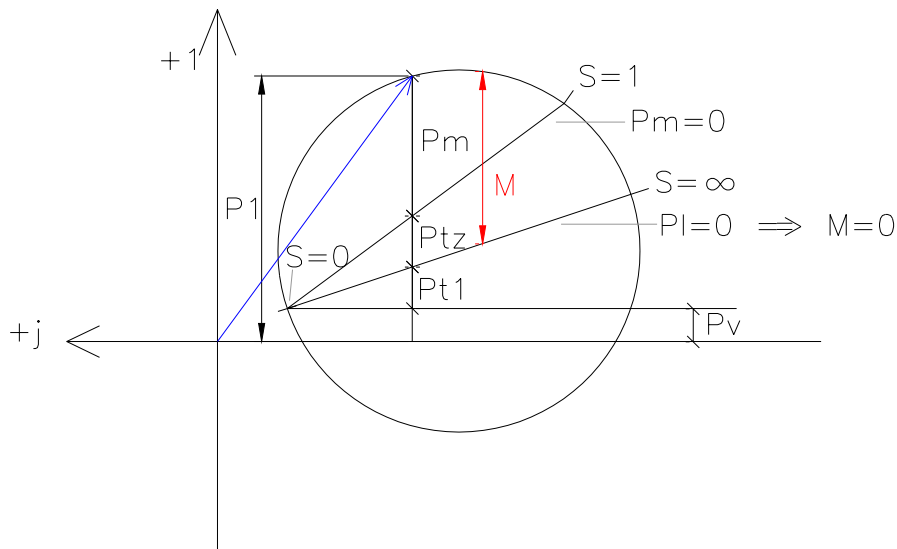
$0 < s < 1$ motor

$s < 0$ generátor

$s > 1$ fék

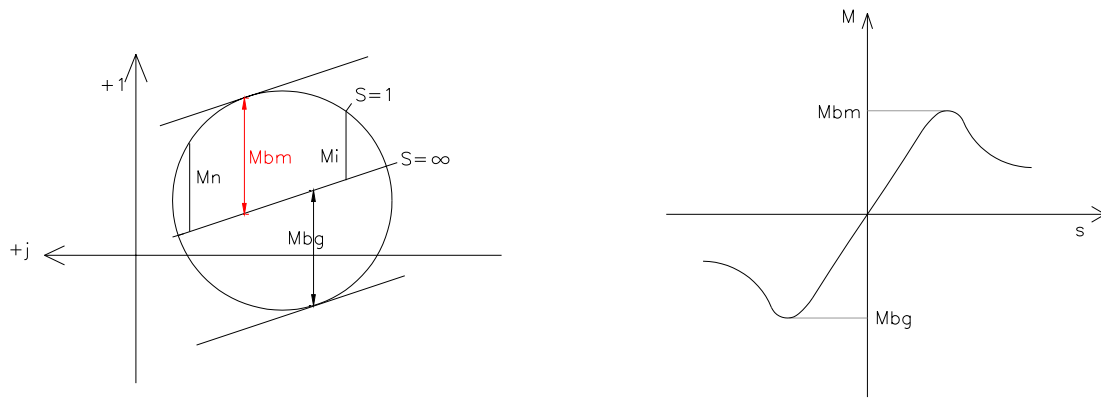
2. Az áram mindig késik a feszültséghez képest, mivel a gép mágnesező áramát – a transzformátorokhoz hasonlóan – mindig a hálózat fedezi.

3. Teljesítmények a kördiagramban:



2.6 A nyomatéki görbe

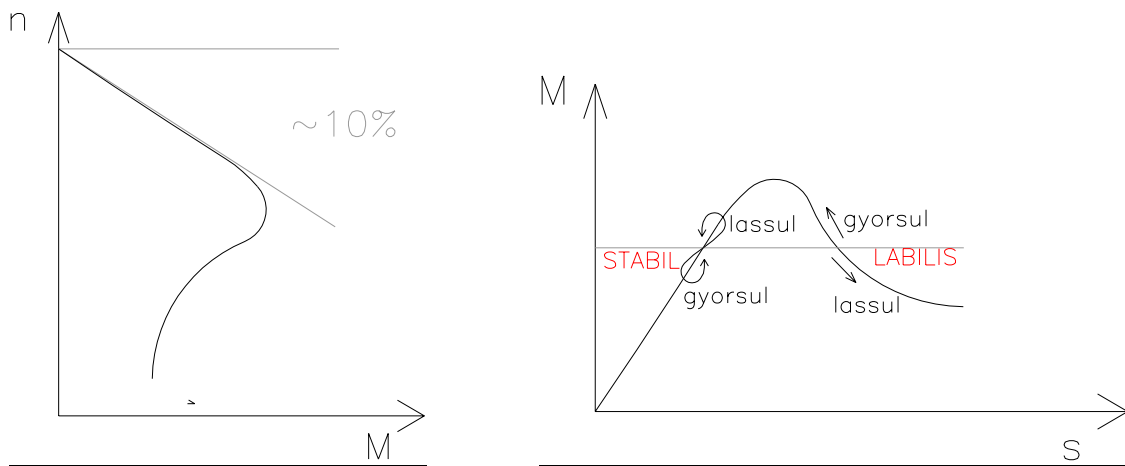
A nyomatéki görbe például a kördiagram alapján is megszerkeszthető. A szerkesztés vázlatos lépései láthatók az alábbi ábrán.



A a gép által kifejtett legnagyobb nyomatékot *billenő nyomatéknak* nevezzük. Ideális esetben a billenő nyomaték motoros és generátoros üzemben azonos. A mindig keletkező veszteségek miatt a generátoros billenő nyomaték nagyobb, mint a motoros.

Az alábbi bal oldali ábrán újra felrajzoltuk a mechanikai jelleggörbét, annak megszokott alakjában, de kissé torzítva, nagyobb meredekséggel. Az ábra jól mutatja, hogy az üzemi tartományban az aszinkron gép fordulatszám-tartó: üresjárástól (szinkron fordulatszám-tól) a névleges terhelésig a gép fordulatszáma csupán néhány százalékkal csökken.

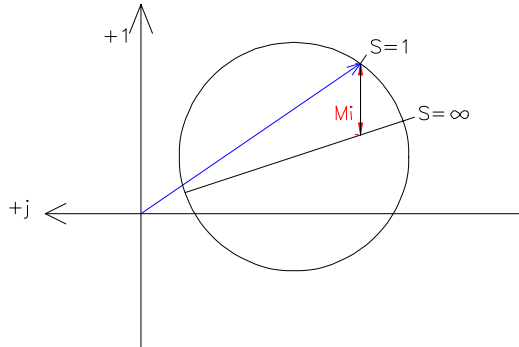
A jobb oldali ábra a *statikusan stabilis* és *labilis* tartományokat mutatja. A stabilitásvizsgálat teljesen hasonló a szinkron gépeknél bemutatottal. Az ábráról leolvasható, hogy az aszinkron gép *statikusan stabilis*, ha a szlip nem nagyobb a billenőnyomatékhoz tartozó *billenőszlipnél*, és *statikusan labilis*, ha a szlip nagyobb, mint a billenőszlip.



2.7 Üzemi viszonyok

2.7.1 Indítás

A. Probléma



I_i az indítási áram nagy;
 M_i az indítónyomaték kicsi.

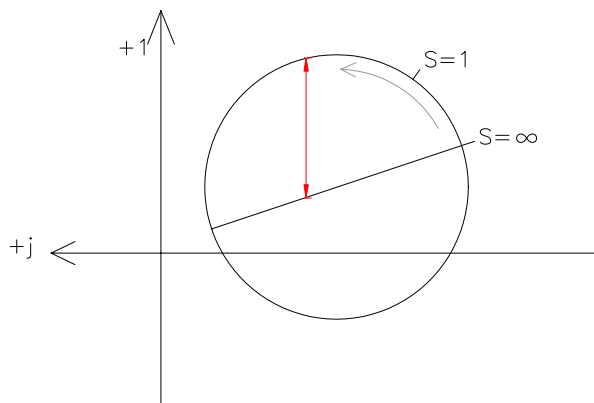
B. Közvetlen indítás

függ: hajtástól
 a hálózat erősségétől

C. Közvetett mód

I. Csúszógyűrűs gépek esetén

Ha a forgórészbe ellenállásokat iktatunk, akkor „két legyet ütünk egy csapásra”: lecsökken az indítási áram, és megnő az indítónyomaték. A beiktatandó ellenállás értékének számítását az alábbi összefüggések mutatják:



$$\frac{R_2'}{s} = a ll = \frac{R_2' + R_k'}{s^*}$$

$$M_i^* = M_b \text{ ha}$$

$$s^* = 1$$

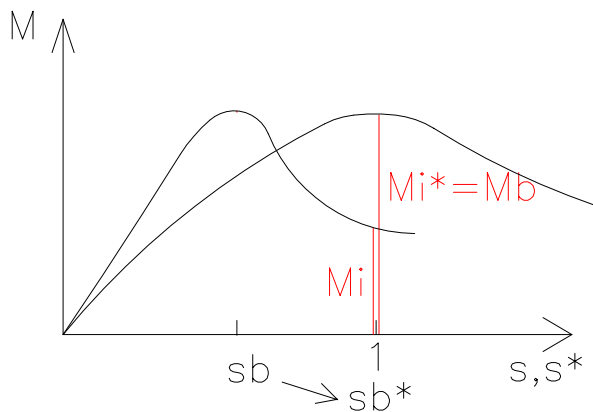
$$\frac{R_2}{s_b} = \frac{R_2 + R_k}{1}$$

$$R_k = R_2 \left(\frac{1}{s_b} - 1 \right) = R_2 \left(\frac{1 - s_b}{s_b} \right)$$

A billenőszlip általában $s_b \sim 0,2 = 20\%$ körüli, így közelítőleg $R_k = \frac{1 - 0,2}{0,2} R_2 = 4 R_2$

ellenállást kell a forgórész körbe beiktatni.

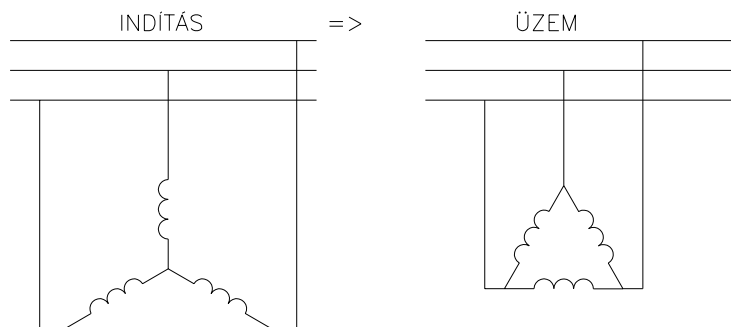
Az ellenállás beiktatása módosítja a nyomatéki görbét:



Az indítónyomaték **nő**
és
a billenő nyomaték **állandó**.

II. Kalickás gépek esetén

a) Csillag–delta indítás



$$\frac{I_{vy}}{I_{v\Delta}} = \frac{I_{fy}}{\sqrt{3} I_{f\Delta}} = \frac{U_{fy}/z}{\sqrt{3} (U_{f\Delta}/z)} = \frac{\frac{U_{vy}}{\sqrt{3}} \frac{1}{z}}{\sqrt{3} U_{f\Delta}/z} = \frac{1}{3}$$

$$I_{vy} = \frac{1}{3} I_{v\Delta} \quad \text{a HÁLÓZATBAN}$$

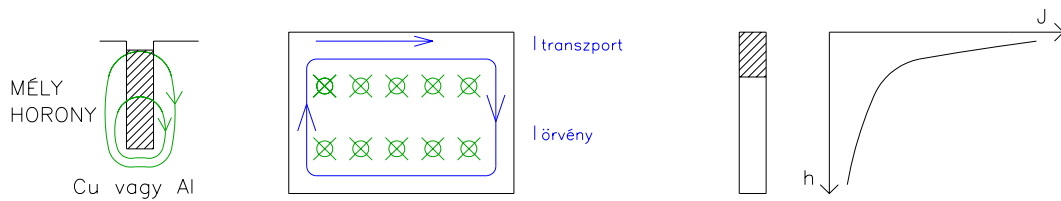
$$I_{fy}|_{motor} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{f\Delta} \quad \text{a MOTORBAN}$$

$$M_{iy} = \frac{1}{3} M_{i\Delta}$$

Tehát ez az indítási mód alkalmas az indítóáram csökkentésére. Ennek ára azonban kis indítónyomaték, ami sok gyakorlati esetben kedvezőtlen következmény.

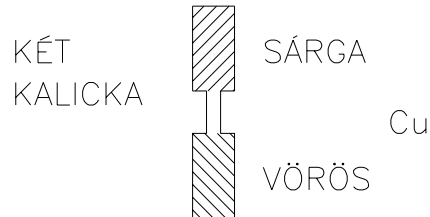
b) Áramkiszorításos forgórész

Az indítási viszonyok kedvezőbbé tételére felhasználható az *áramkiszorítás* jelensége. Az 50 Hz frekvenciájú indítási áram a nagyméretű vezető külső, nagyobb sugáron elhelyezkedő részébe „szorul”. Ezáltal a forgórész ellenállása növekszik, szórási reaktanciája pedig csökken. Így az indítási áram csökken, az indítónyomaték pedig elegendően nagy lesz.



c) Mélyhornyú forgórészű gép

Az áramkiszorításos forgórészű géphez hasonlóan működik: indításkor a forgórészáram a nagyobb fajlagos ellenállású külső kalickába szorul ki. Üzemszerűen a szlipfrekvenciájú forgórészáram a kis fajlagos ellenállású belső kalicka rúdjaiban folyik.



2.7.2 A fordulatszám változtatása

Az aszinkron gép fordulatszámának változtatását az alábbi összefüggés alapján tudjuk megvalósítani:

$$n = n_1 (1 - s) = \frac{f_1}{p} (1 - s)$$

Tehát az alábbi módszerek jöhetnek szóba:

1. Az f_1 primer frekvencia változtatása félvezetős áramirányítóval;
2. Az s szlip, illetőleg a szlipfrekvencia változtatása: kaszád kapcsolásokkal;
3. A p pólusszám változtatása: pólusszámváltó gépekkel.

3. Egyenáramú gépek

3.1 A feladat kitűzése

Feladat: Készítsünk olyan szinkron gépet, amelyre minden üzemállapotban teljesül, hogy az armaturamező merőleges a pólusmezőre:

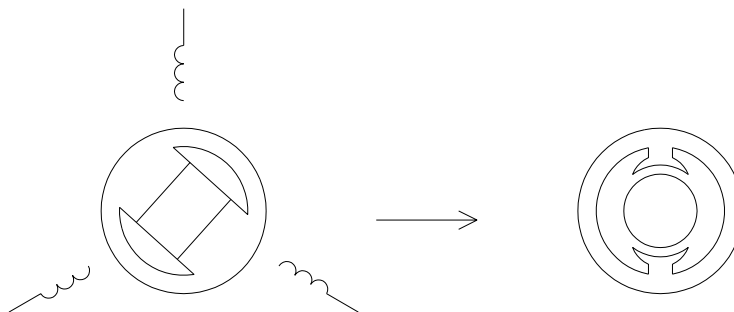
$$B_a \perp B_p$$

Ekkor: az előírt nyomatékot minimális armatura-áram mellett érhetjük el.

Ehhez: „Fordítsuk ki” a gépet!

Póluskerék → állórészre kerül;

Armatura → forgórészre kerül.



Ekkor: Állórész-mező: állandó

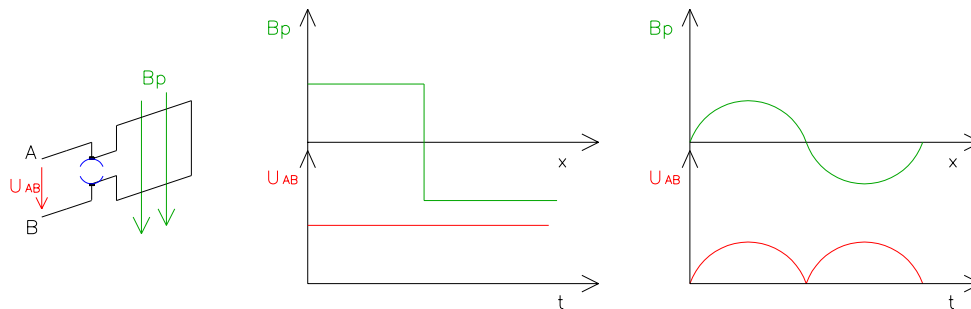
Forgórészmező: úgyszintén legyen állandó az állórész felől nézve.

De: Heteropoláris elrendezés miatt armaturában váltakozó feszültség indukálódik

váltakozó áram által keltett mágneses teret meg kell állítani.

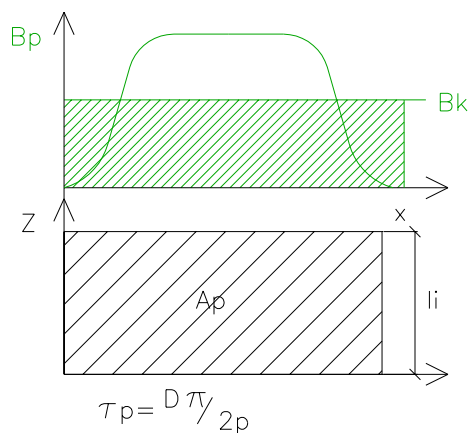
Ezt a feladatot végzi el a *kommutátor*.

A kommutátor elvi, egyszerűsített változata látható a bal oldali ábrán. Az ábrán egyetlen menetet, és a hozzá csatlakozó két fél csúszógyűrűt, valamint a csúszógyűrűkkel érintkező rögzített keféket rajzoltuk fel. A középső ábra felső része mutatja a mágneses indukció térbeli eloszlását négyszöghullám, míg a jobb oldali ábra felső része szinuszos mezőeloszlás esetén. A középső és a jobb oldali ábra alsó részén az A–B pontok között levehető egyenirányított indukált feszültség jelalakja látható. A menetszám növelésével, és az egyes menetek sorba kapcsolásával az indukált feszültség nagysága növekszik, hullámossága pedig csökken.



3.2 Az indukált feszültség számítása

Az ábra felső részén a pólusmező térbeli eloszlása, az alsó részén pedig a pólus méretei láthatók az armatura felületén.



$$U_{i1(\text{vezető})} = B_k l_i v \quad v = D \pi n$$

v: az armatura kerületi sebessége

$$z_{\text{soros}} = \frac{z}{2a}$$

z: az összes sorbakötött vezető száma

2a: a párhuzamos ágak száma

$$U_i = \frac{z}{2a} B_k \underbrace{l_i D \pi}_{A_p \times 2p} n =$$

$$A_p = \tau_p \cdot l_i = \frac{D \pi}{2p} \cdot l_i$$

$$= \frac{z}{2a} B_k \cdot A_p 2p \cdot n =$$

$$D \pi \cdot l_i = A_p (2p)$$

$$= \frac{p}{a} z \Phi_a \cdot m = k_U \cdot \Phi_a \cdot n$$

$$\boxed{U_i = k_U \cdot \Phi_a \cdot n}$$

Tehát az indukált feszültség egyenesen arányos az armaturfluxussal (lineáris esetben a gerjesztő árammal is), valamint a forgórész fordulatszámaival.

3.3 A nyomaték számítása:

A nyomaték számításához először kiszámítjuk az egyetlen tekercsoldalra ható erőt a közismert képlet segítségével:

$$F_1 = B_k \cdot l_i \cdot I_{\text{ág}}$$

Az erőkar a sugár. Az összes vezetőre ható nyomatékot úgy kapjuk meg, hogy az egyetlen tekercsoldalra ható nyomatékot megszorozzuk a sorba kötött tekercsoldalak számával:

$$\begin{aligned} M &= z \cdot \frac{D}{2} \cdot F_1 = z \frac{D}{2} \cdot B_k \cdot l_i \cdot \frac{I_a}{2a} = \\ &= z \frac{D\pi}{2\pi} l_i \cdot B_k \frac{I_a}{2a} = \\ &= \frac{z}{2\pi} \cdot \frac{1}{2a} \cdot A_p (2p) \cdot B_k \cdot I_a = \\ &= \frac{z}{2\pi} \cdot \frac{p}{a} \cdot \Phi_a \cdot I_a \end{aligned}$$

$$\boxed{M = k_M \cdot \Phi_a \cdot I_a}$$

Tehát a nyomaték arányos az armatúrafluxussal (lineáris esetben a gerjesztő árammal is), valamint az armatúraárammal.

Az arányossági tényezőt másképp felírva kapjuk meg az egyenáramú gépek indukált feszültségét és nyomatékát meghatározó összefüggéseket:

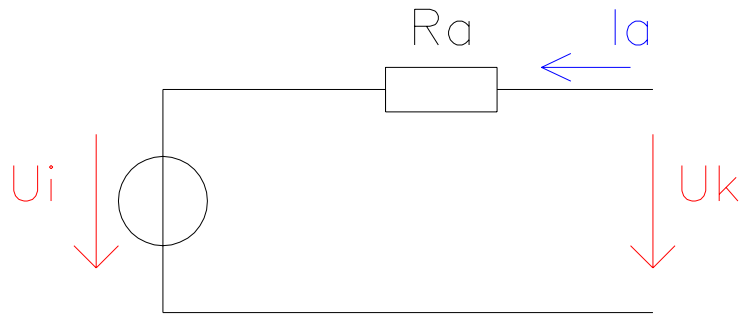
$$U_i = \frac{k_M}{2\pi} \cdot \Phi_a \cdot \omega$$

↓

$$\boxed{\begin{aligned} U_i &= k \cdot \Phi_a \cdot \omega \\ M &= k \cdot \Phi_a \cdot I_a \end{aligned}}$$

3.4 A helyettesítő kapcsolás

A gép működése viszonylag bonyolult, a helyettesítő kapcsolás azonban nagyon egyszerű: a belső feszültségforrás az indukált feszültség, a belső ellenállás pedig az armatúrában keletkező veszteségeket képviselő ellenállás.



A motoros és a generátoros üzemre vonatkozó feszültség egyenletek egyszerűek és hasonlóak:

$$U_k = U_i \mp R_a \cdot I_a \quad \frac{G}{M}$$

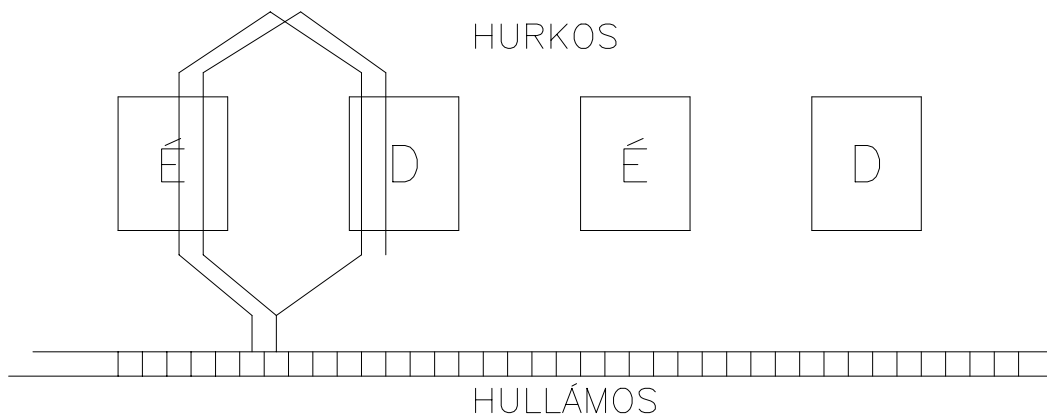
A különbség annyi, hogy motoros üzemállapotban a kapocsfeszültség nagyobb, mint az indukált feszültség, míg generátoros üzemállapotban fordított a helyzet.

3.5 Tekercselések

Az egyenáramú gépek tekercselései mindig zártak, hornyokban vannak elhelyezve, kétrétegesek és általában húrosak.

3.5.1 Alaptípusok:

A) Hurkos tekercselés



A tekercselés jellemzői: a horonylépésben kifejezett tekercsszélesség, y_h , a horonyszám, Z , az egy rétegben elhelyezett tekercsoldalok száma, u , az tekercsoldalokban kifejezett tekercsszélesség, y_1 , a tekercsoldalokban kifejezett kapcsolási lépés, y_2 , a kommutátorlépés, K , a tekercsoldalokban kifejezett eredő tekercselési lépés, y , valamint a lépésrövidítési tényező, ε . Ezekkel:

$$y_n = \frac{Z}{2p} + \varepsilon$$

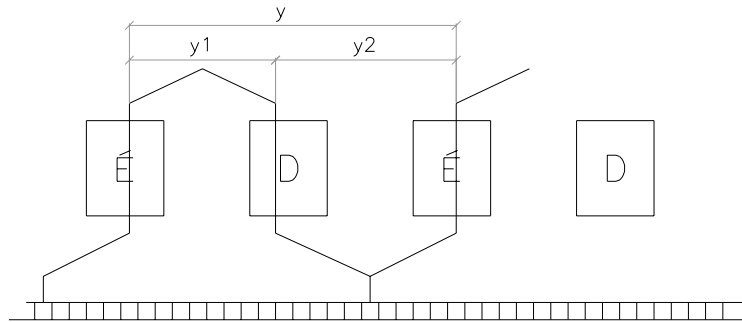
$$y_1 = u \cdot y_n$$

$$y_2 = y_1 - 1$$

$$y = y_2 - y_1 = 1 = y_k$$

$$K = 1$$

B) Hullámos tekercselés



Az fentebb megismert tekercselési jellemzőkkel:

$$p \cdot y = K - 1$$

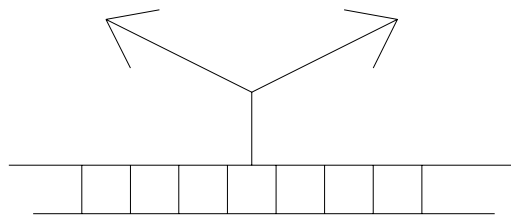
$$y = \frac{K-1}{p}, \quad K = uZ$$

$$y = \frac{uZ-1}{p} = \text{egész szám}$$

Nyilvánvalóan nem minden (u, Z, p) értékhármásra teljesül, hogy y egész szám.

3.5.2 Párhuzamos ágak

A tekercselés vizsgálata megmutatja, hogy a párhuzamos ágak száma minden esetben legalább 2. Ugyanis, mint az az ábrán is jól látható, egy-egy kommutátorszelethez legalább két tekercsoldal csatlakozik.



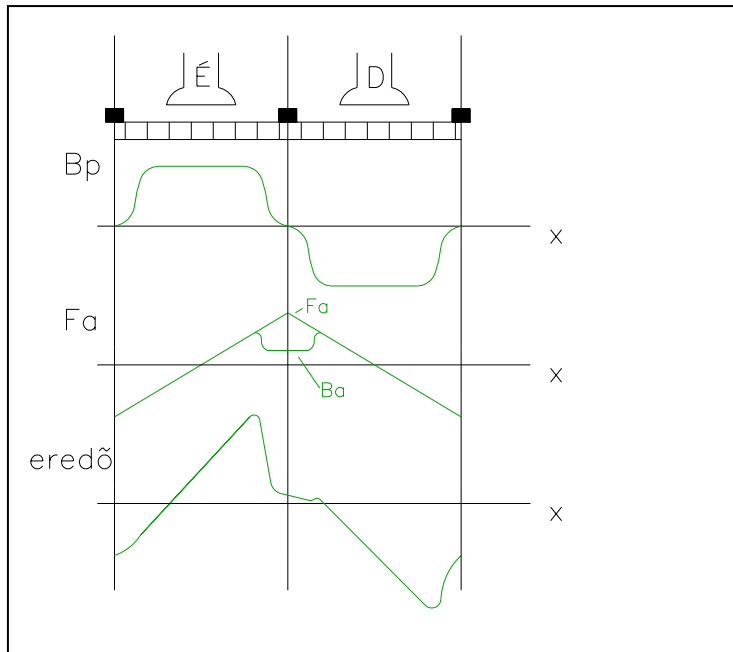
Hurkos tekercselés esetén a párhuzamos ágak száma a pólusszámmal egyezik meg, míg hullámos tekercselés esetén a párhuzamos ágak száma a pólusszámtól függetlenül mindig kettő. Képletszerűen:

$$\text{Hurkos tekercselésre:} \quad 2a = 2p$$

$$\text{Hullámos tekercselésre:} \quad 2a = 2$$

3.6 Az armatura - visszahatás

Az armaturában folyó terhelő áram megváltoztatja a gép légrésében kialakuló mezőeloszlást: az üresjárási pólusmezőhöz hozzáadódik a terhelő áram által keltett mágneses tér.



A pólusok,
a kommutátor és
a kefék.

Üresjárási mezőeloszlás.

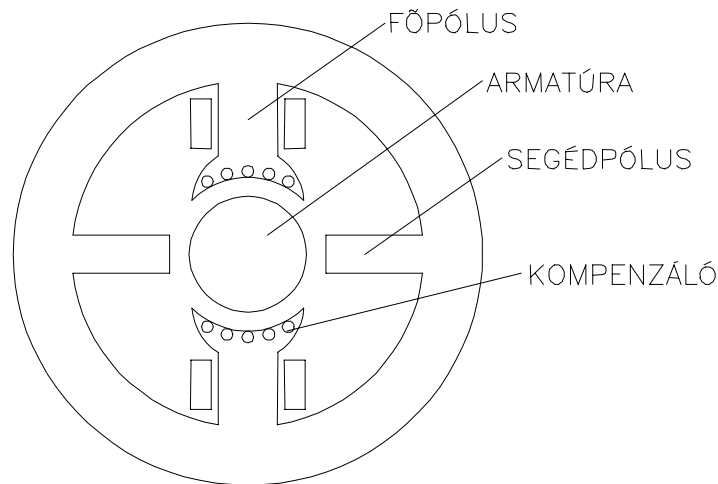
Az armatura gerjesztése, F_a ,
illetve indukciója, B_a .

Az eredő terhelési mezőeloszlás

Látható, hogy a mezőeloszlás erősen inhomogénné válik, valamint a maximális indukció jelentősen megnő. Mindkét körülmény kedvezőtlenül befolyásolja a kommutációt, ezért gondoskodni kell az armaturareakció káros hatásai csökkentéséről. Erre szolgálnak a *segédpólusok*, melyeket minden esetben, illetve a *kompenzáló tekercselés*, amelyet csak erősen igénybe vett gépekben alkalmazunk.

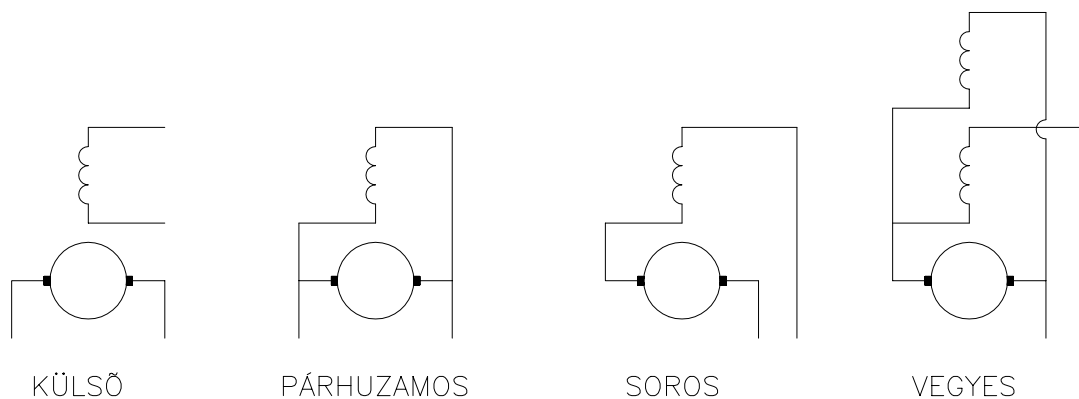
3.7 Felépítés

Az egyenáramú gépek az alábbi, az ábrán látható módon elhelyezett tekercselésekkel vannak ellátva. A főpólustekercs a főpólusokon, a segédpólustekercs a *semleges zónában* elhelyezett segédpólusokon, az armaturetekercs a forgórész hornyaiban, míg (szükség esetén) a kompenzáló tekercs a főpólussaru hornyaiban található.



3.8 Kapcsolások (gerjesztési módok)

Az egyenáramú gépek gerjesztő tekercseit többféleképpen is kapcsolhatjuk. *Külső gerjesztés* esetén a gerjesztő tekercset független áramforrás táplálja. *Párhuzamos* vagy *sönt* gerjesztés esetén a gerjesztő tekercs az armatura tekercsével párhuzamosan, *soros* gerjesztés esetén az armatura tekercsével sorosan kapcsolva. *Vegyes* gerjesztés esetén a gép sönt és soros tekercsrel egyaránt el van látva. A nagyobb gerjesztést a soros tekercs adja. A sönttekercs gerjesztése a soros tekercs gerjesztésével megegyezhet (*kompaund* gerjesztés), de lehet azzal ellentétes is (*antikompaund* gerjesztés).



3.9 Egyenáramú motorok jelleggörbéi

Az egyenáramú motorokat még mai is nagyon széles körben alkalmazzák rendkívül kedvező és egyszerű szabályozási tulajdonságaik miatt. Az alábbi motoros jelleggörbéket szokás használni:

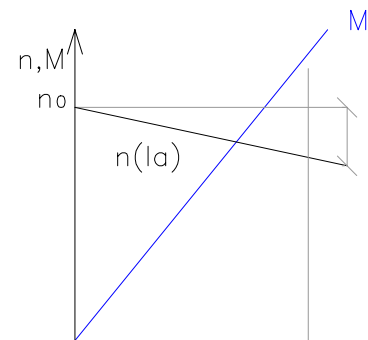
- a) $n(I_a)$ sebességi jelleggörbe;
- b) $M(I_a)$ nyomatéki jelleggörbe.
- c) $n(M)$ mechanikai jelleggörbe;

A már megismert feszültség egyenletek alapján az egyes jelleggörbék egyszerűen származtathatók.

a) Sebességi jelleggörbe

$$U_k = U_i + R_a \cdot I_a = k_u \Phi \cdot n + I_a R_a$$

$$n = \frac{U_k - I_a R_a}{k_n \Phi} = \frac{U_k}{k_n \Phi} - \frac{R_a}{k_n \Phi} I_a = n(I_a)$$



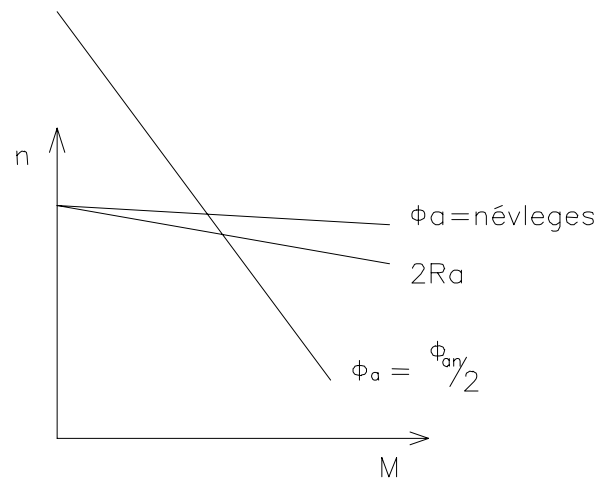
b) Nyomatéki jelleggörbe

$$M = k_m \Phi_a I_a \quad \Phi_a = \text{áll}$$

c) Mechanikai jelleggörbe

$$n = \frac{U_k - R_a I_a}{k_n \Phi} \quad I_a = \frac{M}{k_n \Phi_a}$$

$$n = \frac{U_k}{k_n \Phi_a} - \frac{R_a}{k_n k_M \Phi_a^2} M$$



A képlet jól mutatja, hogy a fordulatszám a kapocsfeszültség és az armaturaellenállás lineáris, és a fluxus inverz függvénye.

Tartalom

1.1	A SZINKRON GÉPEK	1
1.1.1	A MŰKÖDÉS ELVE	1
1.1.2	HELYETTESÍTŐ KAPCSOLÁS	1
1.1.3	FÁZORÁBRA	4
1.1.4	SZINKRONOZÁS	4
1.1.5	TERHELÉSFELVÉTEL	5
1.1.6	A NYOMATÉK ÉS A TELJESÍTMÉNY	6
1.1.7	A SZINKRON GÉP STABILITÁSA	6
1.2	AZ ASZINKRON GÉPEK	8
1.2.1	AZ INDUKCIÓS SZABÁLYZÓ	8
1.2.2	AZ ASZINKRON GÉP MŰKÖDÉSE	10
1.2.3	A HELYETTESÍTŐ KAPCSOLÁS	10
1.2.4	AZ ENERGIAMÉRLEG	11
1.2.5	A KÖRDIAGRAM	12
1.2.6	A NYOMATÉKI GÖRBE	13
1.2.7	ÜZEMI VISZONYOK	15
1.2.7.1	Indítás	15
1.2.7.2	A fordulatszám változtatása	17
1.3	EGYENÁRAMÚ GÉPEK	18
1.3.1	A FELADAT KITŰZÉSE	18
1.3.2	AZ INDUKÁLT FESZÜLTSG SZÁMÍTÁSA	19
1.3.3	A NYOMATÉK SZÁMÍTÁSA:	20
1.3.4	A HELYETTESÍTŐ KAPCSOLÁS	20
1.3.5	TEKERCESELÉSEK	21
1.3.5.1	Alaptípusok:	21
1.3.5.2	Párhuzamos ágak	22
1.3.6	AZ ARMATURA - VISSZAHATÁS	23
1.3.7	FELÉPÍTÉS	23
1.3.8	KAPCSOLÁSOK (GERJESZTÉSI MÓDOK)	24
1.3.9	EGYENÁRAMÚ MOTOROK JELLEGGÖRBÉI	24