

2. Fejezet

Aszinkron gépek

TARTALOMJEGYZÉK

2. Fejezet Aszinkron gépek	1
2.1. Váltakozó áramú gépek mágneses mezői	3
2.2. Az indukált feszültség	13
2.3. Az indukációs szabályozó	16
2.4. A háromfázisú aszinkron vagy indukációs gép	20
2.4.1. Működési elv	20
2.4.2. Az aszinkron gép helyettesítő áramköre	23
2.4.3. Az állandósult üzem	26
2.4.3.1 A teljesítménymérleg	26
2.4.3.2 A fázorábra	27
2.4.3.3 Az áramdiagram	28
2.4.3.4 A nyomatéki jelleggörbe	32
2.4.4. Üzemi viszonyok	33
2.4.4.1 Indítás	33
2.4.4.2 Fordulatszám változtatás	35

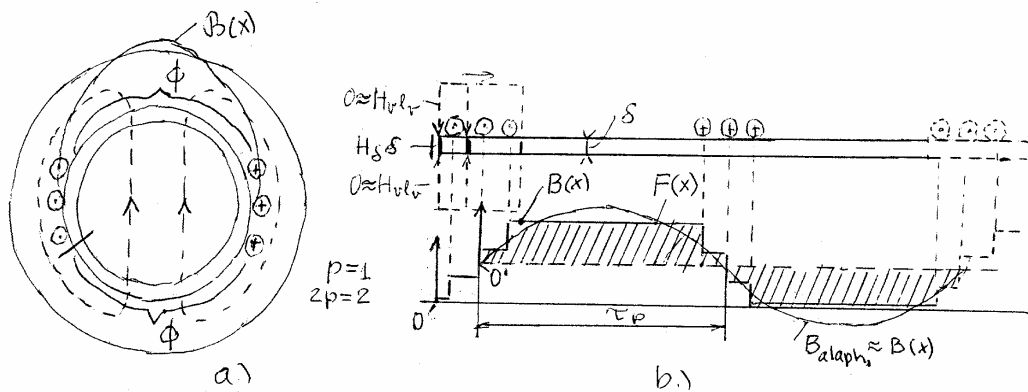
2.1. Váltakozó áramú gépek mágneses mezői

Forgó gépeink legfontosabb fogalma, váltakozó áramú gépeink működésének alapja a forgó mező. A gyűrű alakú állórész és a henger alakú forgórész közötti légrévsben az állórész háromfázisú tekercselésének áramaival forgó mágneses mezőt létesítünk. Ez a forgó mező viszi magával, forгатja a forgórészt, az pedig a hajtott gépet, berendezést.

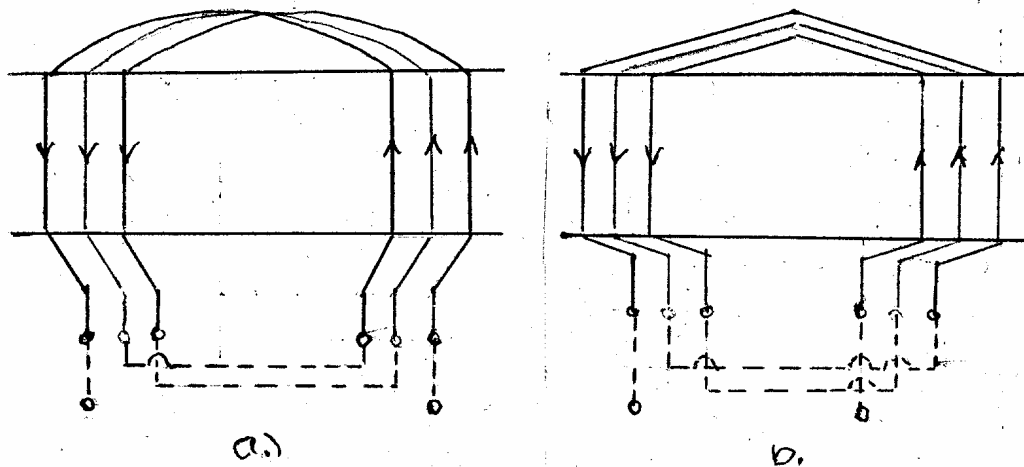
A forgó mező megismerésére célszerűen úgy jutunk, hogy egymás után sorra vesszük forgó gépeink három alapvető mező típusát, az állandó mezőt, a váltakozó mezőt és a forgó mezőt. Mindhárom típus alkalmazásra kerül.

a./ Állandó mező

Először legyen az állórész hornyaiban egyetlen tekercs a 2.1.a. ábra szerint és azt tápláljuk egyenárammal. A tekercs kialakításának bemutatására a 2.2.a. ábrán az állórész belső palástfelületét kiterítettük és a szemben fekvő hornyok vezetőit kötöttük össze. Így egyenlő szélességű tekercsekből álló tekercselést nyertünk. A 2.2.b. ábrán koncentrikus tekercsekből álló tekercselést látunk. A 2.1.a. ábra metszeti áramképéből látható, hogy a két elrendezés egyenértékű.



2.1 ábra



2.2 ábra

A 2.1.a. ábrán feltüntetett irányú egyenáramok hatására a berajzolt helyzetű és irányú fluxuskép létesül.

A továbbiakban az egyszerűbb ábrázolás és jobb áttekintés érdekében a légrést egy helyen "felvágjuk" és kiterítjük (2.1.b. ábra).

Az alapkérdésünk az, hogyan szerkeszthetjük meg a légrésben az indukcióeloszlás képét? Alkalmazzuk a gerjesztési törvényt. A 2.1.b. ábrán látható módon berajzolunk egy zárt utat. A vas nagy permeabilitása miatt a vasra eső H_{ν} mágneses feszültséget a levegőre eső mellett elhanyagoljuk.

Ily módon a gerjesztési törvény

$$\oint \bar{H} d\bar{l} \approx H_{\delta} 2\delta = F$$

alakjából a légrésindukció

$$B_l(x) = \mu_0 H_{\delta} = \mu_0 \frac{F(x)}{2\delta} = cF(x). \quad (\text{ha } \delta = \text{áll.}) \quad (2-1)$$

Az $F(x)$ és $B_l(x) = B(x)$ görbék tehát csak léptékben térnek el, vagyis, ha a gerjesztési görbét megszerkesztettük az indukcióeloszlását is nyertük.

Az $F(x)$ görbe szerkesztésekor a 2.1.b. ábrán a zárt görbe bal oldalát helyben tartjuk míg a jobb oldalát eltolva egyre bővítjük és a körülvevő $F(x) = \sum I(x)$ görbét felrajzoljuk, miközben a hornyok áramait a középvonalakba koncentrálni képzeljük.

A nyert görbe furcsa alakú miután annak rajzolását tetszőleges helyen kezdtük. A kilépő és a belépő ϕ fluxus egyenlő; a két görbe alatti terület egyezését a vízszintes tengely eltolásával (felfelé) állítjuk helyre.

Az indukció-görbét most alapharmonikusával közelítjük és az 1 indexet elhagyjuk. Így miután az időben vagy térben változó mennyiségeket kis betűvel szoktuk jelölni

$$b_{\text{áll}} = b(x) = B_m \sin \frac{x}{\tau_p} \pi \quad (2-2)$$

A kifejezésben

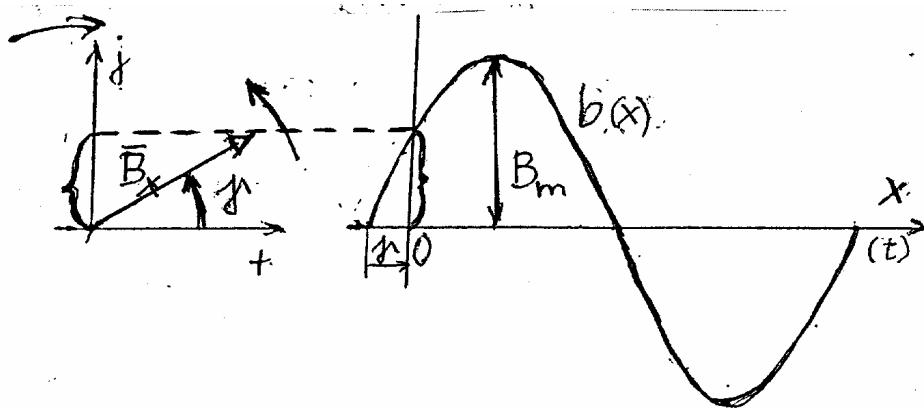
$$\tau_p = \frac{D\pi}{2p} \quad (2-3)$$

a pólusosztás (pólusszélesség), D az átmérő, p a póluspárok száma.

Ez a légrésben szinuszos eloszlású mező helyben marad és sem alakját, sem nagyságát nem változtatja (hiszen az időben állandó egyenáram hozza létre). Neve: Állandó mező. Pozitív félhullámát a 2.1.a. ábrába berajzoltuk.

A forgó gépek vizsgálatának rendkívül szemléletes, képszerű leírási módjára jutunk, ha az időfázorok mintájára bevezetjük a térfázort.

Nézzük az állandó mező kiterített, térben szinuszos indukciógörbéjét és vegyük fel az $x=0$ helyet tetszőlegesen (2.3. ábra).



2.3 ábra

A térben szinuszos eloszlású állandó mezőt ugyanúgy fázorral, térfázorral írhatjuk le mint ahogyan ezt az időben szinuszosan változó mennyiségekre az időfázorral tettük. A szinuszgörbe nem tudja mi van a vízszintesre írva. Tehát semmi újat nem kell tanulni: a térfázor pontos mása az időfázornak csak a t független változó helyett x van.

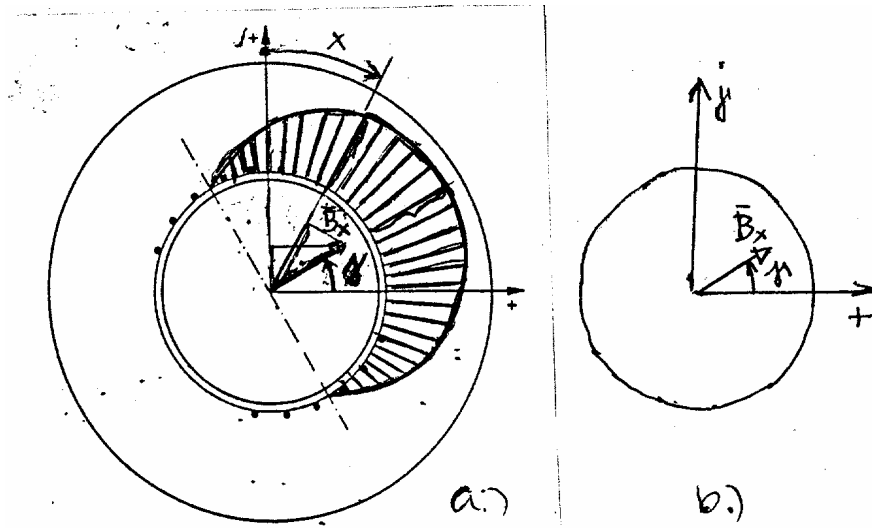
Ha most is a szinuszt választjuk, azaz az imaginárius tengelyre vetítünk (l. 2.3. ábra) akkor az állandó mezőt leíró térfázor teljes kifejezése

$$\underline{\underline{B_x}} = \text{Im} \left[B_m e^{j\gamma} e^{j \frac{x}{\tau_p} \pi} \right] \quad (2-4)$$

Most is forgathatjuk a vetítési j tengelyt - így a tértényezőt elhagyjuk - és nem jelöljük a vetítést. A térfázor alakja így

$$\bar{B}_x = B_m e^{j\gamma} \quad (2-5)$$

Különösen szemléletes képet kapunk, ha a szinuszhullámot ill. az azt jellemző ténfázort a gép keresztmetszetébe rajzoljuk be, a koordináta rendszer kezdőpontját a gép középpontjába helyezve.



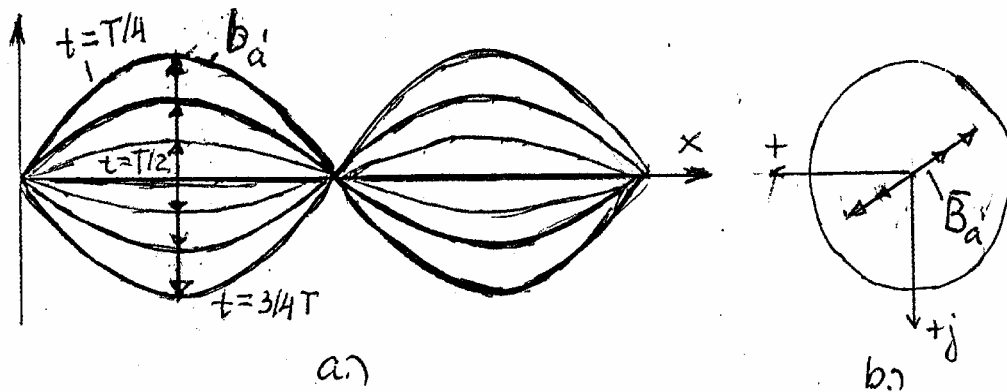
2.4 ábra

A tekercs - ezzel az állandó mező - tetszőleges helyzetében ezt a 2.4. ábrán látjuk. A rögzített helyzetű és állandó nagyságú vektort a különböző sugarakra vetítve a kérdéses hely indukció értékét kapjuk (2.4.a. ábra). Ez megfelel a tértengely forgatásának.

Maga a ténfázor a b. ábrán látható. Ez jellemzi tömören az adott helyzetű nyugvó szinuszos indukcióeloszlást.

b./ Váltakozó vagy lüktető mező

Ha a 2.1.a. ábra tekercsében egyenáram helyett váltakozó áram folyik, akkor a mező nagysága az ω körfrekvenciával szinuszosan változik, de helyzete és szinuszos alakja változatlan. A 2.5. ábrán csak a kiterített mezőábrát rajzoltuk fel.



2.5 ábra

Az ilyen mezőt váltakozó mezőnek - vagy lűktető vagy pulzáló mezőnek (olykor álló mezőnek is) - nevezik.

Helyzetét és alakját nem változtatja nagyságát és előjelét igen.

Egyenlete - zérus tér- és idő-kezdőfázis esetén -

$$b_{\dot{a}} = B_m \sin \frac{x}{\tau_p} \pi \cdot \sin \omega t \quad (2-6)$$

Térfázoros kifejezése γ térbeli eltolás, kezdő fázishelyzet esetén a (2-5) egyenletnek és a 2.5.b. ábrának megfelelően

$$\bar{B}_{\dot{a}} = B_m e^{j\gamma} \sin \omega t \quad (2-7)$$

A váltakozó mező (2-6) alakja az

$$A \sin \alpha \sin \beta = \frac{A}{2} \cos(\alpha - \beta) - \frac{A}{2} \cos(\alpha + \beta) \quad (2-8)$$

trigonometriai átalakítással a

$$b_{\dot{a}} = \frac{B_m}{2} \cos \left(\frac{x}{\tau_p} \pi - \omega \cdot t \right) - \frac{B_m}{2} \cos \left(\frac{x}{\tau_p} \pi + \omega \cdot t \right) \quad (2-9)$$

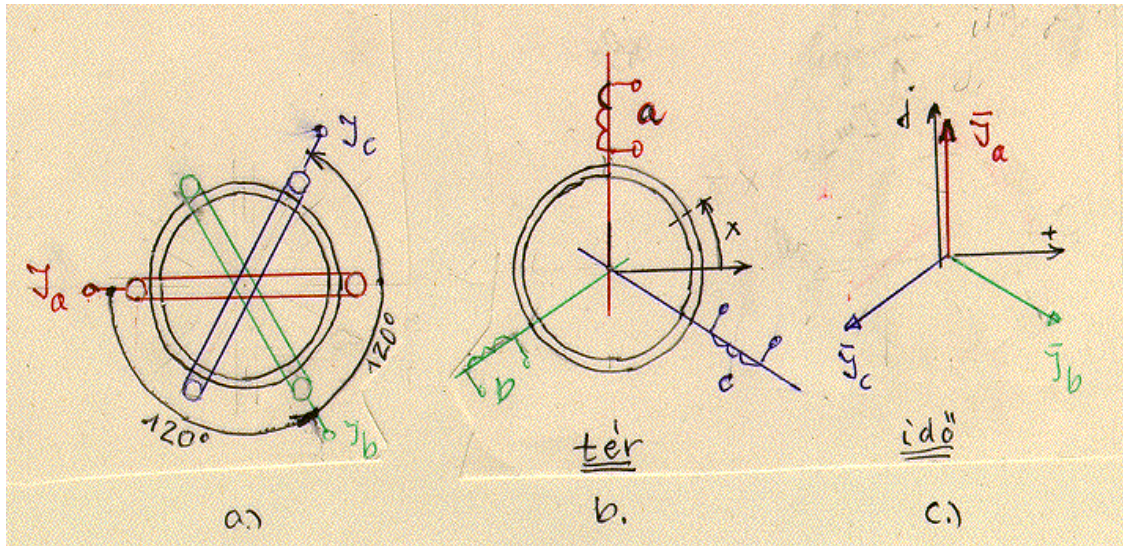
alakba írható. A két tagnak - mint rövidesen látjuk - nagyon érdekes jelentése van.

c./ A forgó mező

Vizsgáljunk most szimmetrikus háromfázisú tekercselést, amelyet szimmetrikus háromfázisú áramrendszerrel táplálunk. A szimmetria azt jelenti, hogy a három egyforma tekercs tengelyei térben 120-120°-kal vannak eltolva, az

egyező nagyságú szinuszos váltakozó áramaik pedig időben ugyancsak 120° -kal.

Az egyszerű ábra érdekében jelezzünk minden fázistekercset egyetlen menettel (2.6.a. ábra). Szokásos a tekercseket tengelyirányukkal is jellemezni (2.6.b. ábra).



2.6 ábra

Mindegyik tekercs váltakozó, lüktető mezőt hoz létre saját tengelyének irányában. Pl. ha csak az a. fázisban folyna áram, egyetlen lüktető mező keletkezne annak tengelyirányában.

A térbeli és időbeli eltolásoknak (l. 2.6.b. és c. ábrák) megfelelően a fázistekercsek lüktető mezőinek kifejezései

$$\begin{aligned}
 b_a(x,t) &= B_m \sin \frac{x}{\tau_p} \pi \cdot \sin \omega t \\
 b_b(x,t) &= B_m \sin \left(\frac{x}{\tau_p} \pi - 120^\circ \right) \cdot \sin(\omega t - 120^\circ) \\
 b_c(x,t) &= B_m \sin \left(\frac{x}{\tau_p} \pi - 240^\circ \right) \cdot \sin(\omega t - 240^\circ)
 \end{aligned} \tag{2-10}$$

A (2-8) trigonometriai átalakítással

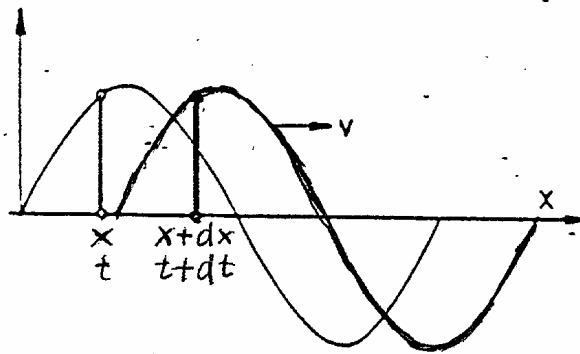
$$\begin{aligned}
 b_a &= \frac{1}{2} B_m \cos\left(\frac{x}{\tau_p} \pi - \omega t\right) - \frac{1}{2} B_m \cos\left(\frac{x}{\tau_p} \pi + \omega t\right) \\
 b_b &= \frac{1}{2} B_m \cos\left(\frac{x}{\tau_p} \pi - \omega t\right) - \frac{1}{2} B_m \cos\left(\frac{x}{\tau_p} \pi + \omega t - 240^\circ\right) \\
 b_c &= \frac{1}{2} B_m \cos\left(\frac{x}{\tau_p} \pi - \omega t\right) - \frac{1}{2} B_m \cos\left(\frac{x}{\tau_p} \pi + \omega t - 480^\circ\right)
 \end{aligned} \tag{2-11}$$

A három első mezőösszetevő minden t időpontban és minden x helyen "azonos fázisú" így összeadódnak háromszoros értékre, ($m=3$ a fázisszám) míg a 120° - 120° -kal eltolt második tagok zérus eredőt adnak ($-240^\circ=120^\circ$; $-480^\circ=240^\circ$).

Így a három mező eredője

$$b_f(x, t) = \frac{m}{2} B_m \cos\left(\frac{x}{\tau_p} \pi - \omega t\right) \tag{2-12}$$

Könnyen belátható, hogy ez a kifejezés a légrésben változatlan alakú (eloszlású) és nagyságú állandó sebességgel haladó un. körforgó - röviden forgó - mezőt ír le. Valamely t =áll. rögzített időpontban ugyanis rögzített szinuszos (koszinuszos) térbeli eloszlást, állandó mezőt nyerünk, míg valamely x =áll. rögzített helyen a megjelenő - elhaladó indukció értékek az időben koszinuszosan változnak. A kifejezés tetszőleges m fázisszámra érvényes. Az $m=3$ fázisú esetben a szorzó tényező $3/2$.



2.7 ábra

A forgó mező sebességét eszerint úgy nyerhetjük, ha annak t időpontban x helyen található $b_f(x, t)$ helyi értékét, nagyságát a $t+dt$ időben keressük az $x+dx$ helyen, azaz vizsgáljuk 2.2. ábránk valamely x abcisszához tartozó értékének mozgását dt idő alatt.

$$b_f(x + dt, t + dt) = b_f(x, t)$$

$$\frac{3}{2} B_m \cos \left[(x + dx) \frac{\pi}{\tau_p} - \omega(t + dt) \right] = \frac{3}{2} B_m \cos \left(x \frac{\pi}{\tau_p} - \omega t \right)$$

A két b_f érték egyenlőségéből a mező v kerületi sebessége

$$dx \frac{\pi}{\tau_p} = \omega dt \rightarrow v = \frac{dx}{dt} = \frac{\omega \tau_p}{\pi} = \frac{\omega D}{p} \quad (2-13)$$

mert $\tau_p = D\pi / 2p$.

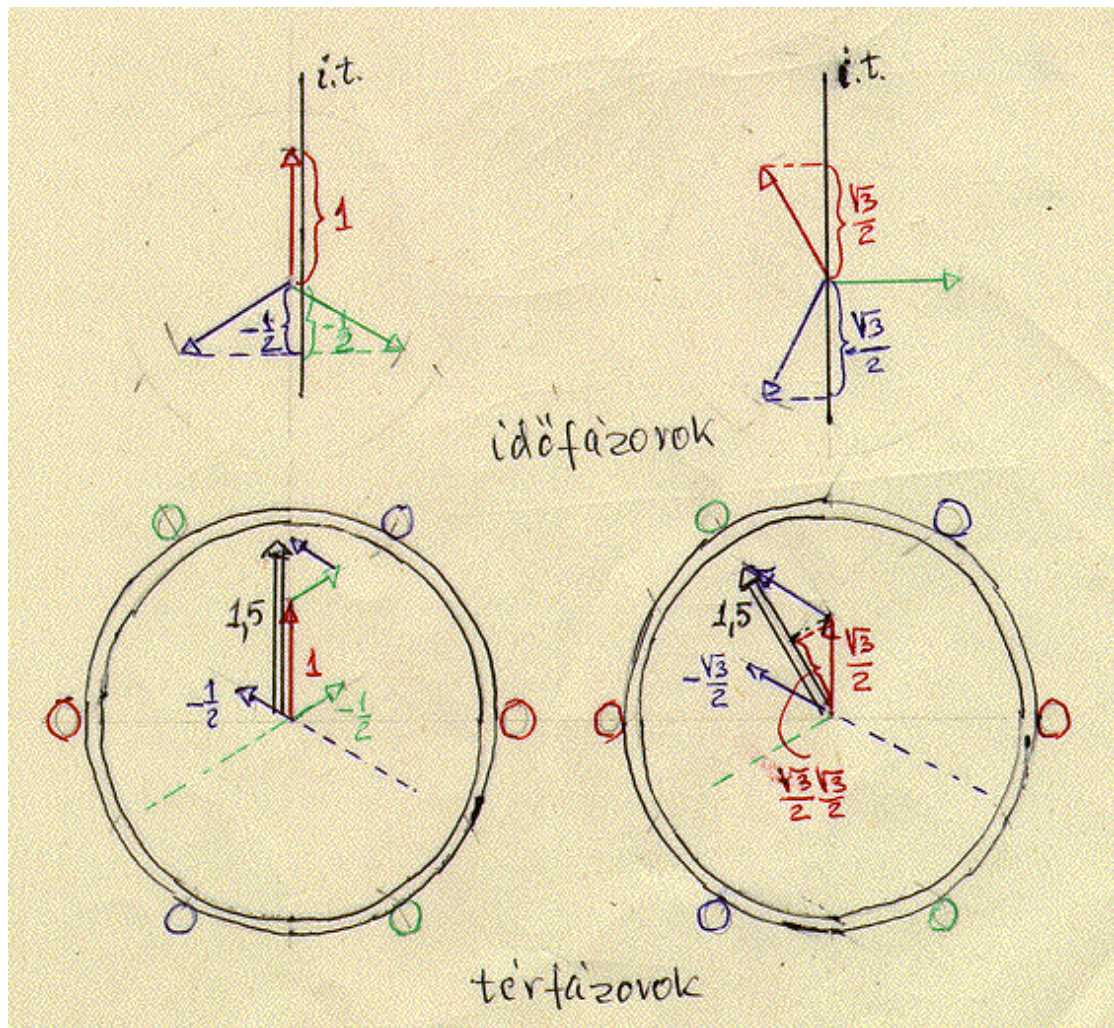
A forgó mező - általános γ kezdő szöghelyzetű - térfázoros kifejezése (v.ö. a 2.4.b. ábrával is)

$$\bar{B}_f = B_m e^{j\gamma} e^{j\omega t} \quad (2-14)$$

A térfázor végpontja kört ír le, ez a név forrása.

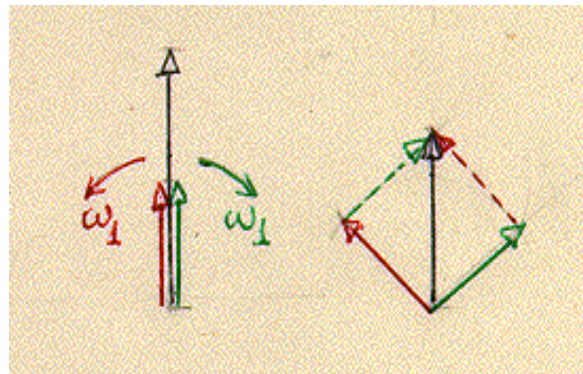
Kitérő:

A 2.8. ábrában két egymást 30° -os időeltéréssel követő időpontban megszerkesztettük a forgó mező térfázorát a fázistekercsek térfázoraiból. Látható, hogy a kétpólusú gép esetében a 30° -os időeltoláshoz a forgó mező 30° -os geometriai elfordulása tartozik.



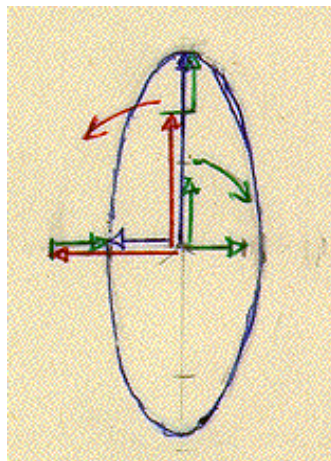
2.8 ábra

A forgó mező (2-12) kifejezését összevetve (2-9)-cel látható, hogy a lüktető mező felbontható két, fele nagyságú, azonos szögsebességű, ellenkező forgásirányú forgó mezőre. (2.9. ábra, Ferraris tétele)

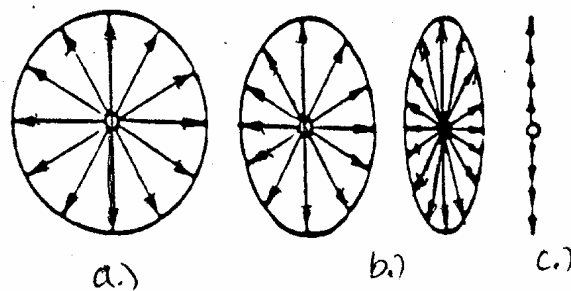


2.9 ábra

Ha az áramrendszer nem szimmetrikus megjelenik egy ellenkező irányban forgó un. elleneforgó részmező (2-11) második tagjainak eredője nem zérus). A két mező térvektorainak eredője ellipszist ír le (2.10. és 2.11.b. ábra). Az aszimmetria szélső esete a lűktető mező (2.9.c. ábra), amikor az elleneforgó mező egyenlő nagy a másik az un. veleforgó mezővel. A vele- és elleneforgó nevek értelmét később ismerjük meg.



2.10 ábra



2.11 ábra

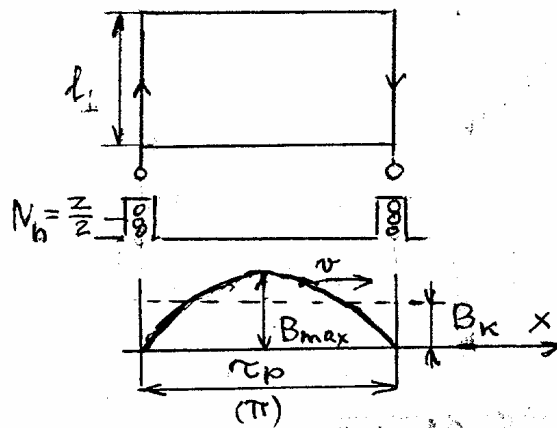
2.2. Az indukált feszültség

A légrés-kerület - a hengerfelület - kihasználására un. elosztott tekercselést használunk, amelyet pl. a 2.1.-2.2. ábrán láttunk. A kerületnek egy fázistekercshez tartozó részén az un. fázissávon tehát több - 2 - 3-horony helyezkedik el. Számuk

$$q = \frac{Z}{2pm} \quad (\text{horony / fázis / pólus}) \quad (2-15)$$

ahol Z a kerület összes hornyainak, m a fázisok száma.

A forgó mező az eltolt hornyokat más-más időben éri el, így az azokban indukált feszültségek eltérő fázisúak.



2.12 ábra

Először vizsgáljuk egyetlen pólusosztásnyira eső horonypár indukált feszültségét (2.12. ábra). A mozgási indukció szerint az indukált feszültség pillanatértéke

$$u(t) = b(x) | v z \quad (2-16a)$$

A mező állandó sebessége esetén u időbeli változása lemásolja b térbeli eloszlását. A képletben z a teljes vezetős szám. Az effektív érték így

$$U_{il} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} B_{max} | v z \quad (2-16b)$$

Az 1 indexszel itt az egy horonypárra utaltunk.

A

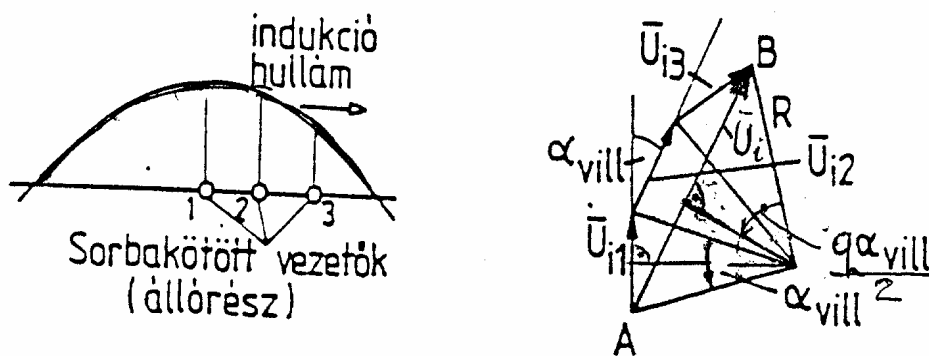
$$B_{max} = \frac{\pi}{2} B_k \quad v = \omega \frac{2\tau_p}{2\pi} = 2\pi f \frac{\tau_p}{\pi} \quad z = 2N_h$$

összefüggésekkel, ahol N_h a menetszám, B_k az indukció középértéke

$$U_{i1} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} B_k l \tau_p f N_h = 4,44 f N_h \phi_m \quad (2-16)$$

Ugyanazt kaptuk mint a transzformátornál (6-7). Ugyanis mindegy, hogy a tekercs fluxusa az időben mi módon változik; lüktetéssel vagy a mező beleforgásával.

Rendszerint egy fázishoz több horony tartozik. Ekkor az egyes hornyok indukált feszültségeinek fázorait a 2.13. ábrán látható módon kell összeadni. Az ábrában α_v a villamos szög; rövidesen látjuk, hogy $\alpha_v = p\alpha_{\text{geometriai}}$, így kétpólusú gépben $\alpha_v = \alpha_g$, ahol az α_g geometriai szög itt két szomszédos horony között mérhető.



2.13 ábra

Az elosztott tekercselés kihasználtságát az eredő feszültség és a horonyfeszültségek összegének aránya az ábrából leolvasható

$$\xi = \frac{U_i}{qU_{i1}} = \frac{2R \sin q \frac{\alpha_v}{2}}{q2R \sin q \frac{\alpha_v}{2}} = \frac{\sin q \frac{\alpha_v}{2}}{q \sin \frac{\alpha_v}{2}} \quad (2-17)$$

tekercselési tényező (sávtényező) méri. Más fajta tekercselési tényezők is ismeretesek, de azokkal nem foglalkozunk.

Ha a mezőgörbe (l. 2.1.b. ábra) alakját követő indukált feszültség görbealakjának javítása érdekében ún. lépésrövidítést alkalmazunk, azaz a két tekercsoldal 180° -nál közelebb esik egymáshoz, akkor a bennük indukált feszültség fázorok eltérő fázisszöge újabb eredő feszültség csökkenést, tekercselési tényezőt eredményez.

Egy fázistekercs indukált feszültsége ezzel

$$U_i = 4,44f\xi N\phi_m = 4,44fN'\phi_m \quad (2-18)$$

ahol $N = qN_h$ a fázis menetszám és $N' = \xi N$ a hatásos menetszám.

Gépeink indukált feszültsége - a feszültségesésekkel együtt - egyensúlyt tart a hálózati feszültséggel, ehhez frekvenciájának az f_1 hálózattal azonosnak kell lennie.

Milyen fordulatszámmal kell ehhez a forgómezőnek forognia?

Ha $p=1$, a gép kétpólusú (2.14. fekvő ábra) akkor 1 fordulat=1 periódus. A vezetőben indukálódó feszültség időbeli változása ugyanis - mint a 12. ábrában láttuk - követi, lemásolja az elhaladó indukcióhullám térbeli változását. Ily módon $f_1 = 50s^{-1}$ - hez $n_1 = 50s^{-1}$ (=3000/min) tartozik, azaz

$$n_1 = f_1$$

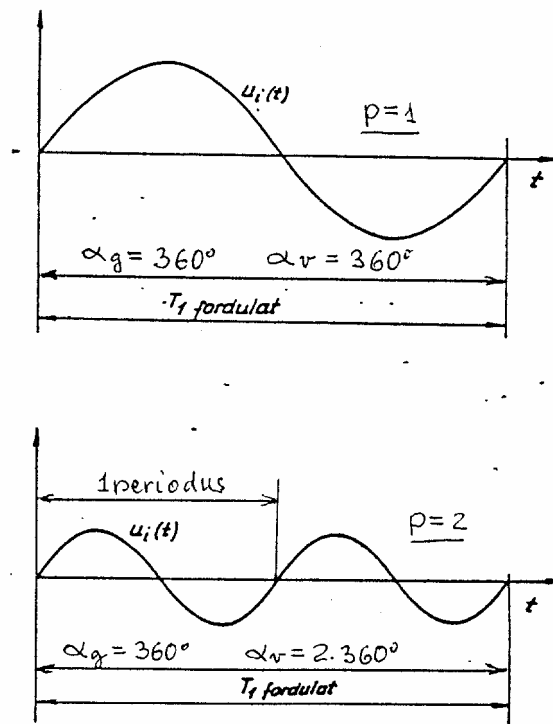
Ha $p=2$ akkor a 2.14. alsó ábrán láthatóan 1 fordulat alatt 2 periódus játszódik le, azaz $f_1 = 50s^{-1}$ - hez fele $n_1 = f_1 / 2 = f_1 / p$ fordulat tartozik, vagyis

$$n_1 = \frac{f_1}{p} \quad f_1 = n_1 p \quad (2-19ab)$$

Ezt a fordulatszámot nevezzük szinkron-fordulatszámnak. A hálózatra kapcsolt gép állórész mezeje - majd látjuk, hogy forgórész mezeje is - ezzel a fordulatszámmal forog.

Ha most a 2.14. ábrán az indukált feszültség $u_i(t)$ időbeli változásai helyébe az indukciónak a légrésben elhelyezkedő $b(x)$ térbeli eloszlásait képzeljük (zárójelben), akkor jól szemléltethetjük az α_v villamos és az α_g geometriai szög kapcsolatát. Geometriai szögben a kerület mind a felső, mind az első ábrán 360° . A felső kétpólusú mező esetében az egyetlen teljes indukcióeloszlási hullám villamosan is 360° -os, így $\alpha_v = \alpha_g$. Az alsó négypólusú mezőábra két teljes indukcióhulláma $2 \times 360^\circ$ villamos szöget alkot. Így általános alakban

$$\alpha_v = p\alpha_g \quad (2-20a)$$



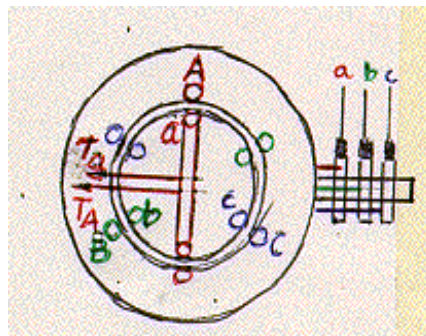
2.14 ábra

2.3. Az indukciós szabályozó

Az indukciós szabályozónak gyakorlati jelentőség ma már csak az energetikai mérés technikában van. Bemutatását az indokolja, hogy vizsgálata kiváló előkészítése az aszinkron vagy indukciós gépnek.

Az eddigiekben csak gépeink állórészén volt háromfázisú tekercselés, amelyet a hálózat szimmetrikus háromfázisú feszültségrendszeréről tápláltunk, és a forgórész vasteste (l. pl. 2.12. ábrát) csupán a fluxus zárására szolgált.

Helyezzünk most a forgórészre is - először - háromfázisú - pl. csillagkapcsolású - tekercselést, amelynek nyitott kapcsait csúszógyűrűkön vezessük ki. A 2.15. ábrán az egyenletes fázistekercsek most is jelképesek.



2.15 ábra

Az ilyen elrendezést általános transzformátornak is szokásos nevezni, mert a tápláló feszültségrendszer minden jellemzőjének, nagyságának, fázishelyzetének, fázisszámának és frekvenciájának megváltoztatására képes.

a./ A nagyság.

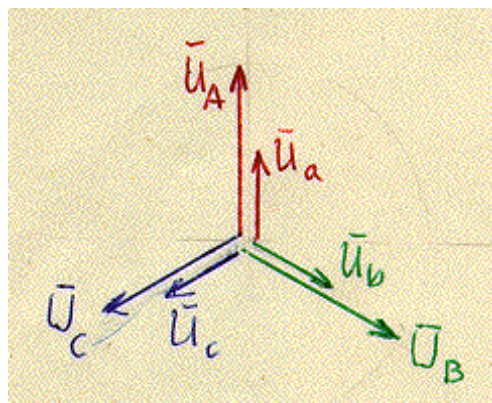
A nyugalomban lévő forgórész a fázistekercsének tengelye essen egybe az állórész A fázistengelyével (l. 2.15. ábra). Az állórészt a hálózatra kapcsolva a háromfázisú fojtótekercsként a forgó fluxust előállító mágnesező áramrendszert vesz fel. A forgó mező mechanikai szögsebessége (2-19a) értelmében

$$\Omega_1 = \frac{\omega_1}{p} \quad \text{itt a kétpólusnak megfelelően} \quad \Omega_1 = \omega_1 \quad (2-20b)$$

A mező maximumai és más értékei egyidőben érik el az állórész és a - nyugvó - forgórész vezetőket, így a két indukált feszültségrendszer (2.16. ábra) fázisban lesz, de nagyságuk az álló- és forgórész fázistekercsek ξN hatásos menetszámainak arányában eltérő. Az állórész tekercsek kis feszültségesei következtében a kapocsfeszültségek közelítőleg egyenlők az indukált feszültségekkel, így a kapocsfeszültségek aránya a feszültségáttétel, mivel $f_2 = f_1$:

$$\frac{U_1}{U_1} \approx \frac{U_{i1}}{U_{i2}} = \frac{4,44f_1\xi_1N_1\phi_m}{4,44f_1\xi_2N_2\phi_m} = \frac{\xi_1N_1}{\xi_2N_2} = n_u \quad (2-21)$$

Ahol az 1 index az állórészt (primer) a 2 a forgórészt (szekunder) jelzi.



2.16 ábra

Kitérő:

A következőkben - b./ végéig - tegyük fel, hogy a forgórészben, a szekunderben is folyik áram és a forgórésztekercselés m_2 fázisszáma legyen az állórész m_1 (az eddigiekben $m_1=3$) fázisszámától különböző értékű.

Az áramátétel általános esetben - eltérő fázisszámmal - itt eltérő értékű lehet. A (2-12) kifejezés alapján belátható, hogy a forgó gerjesztés egy fázis-gerjesztés $m/2$ -szeresével arányos. A forgó gerjesztések $\bar{F}_1 + \bar{F}_2 = \bar{F}_0$ egyensúlyából

$$\frac{m_1}{2} \xi_1 N_1 \bar{I}_1 + \frac{m_2}{2} \xi_2 N_2 \bar{I}_2 = \frac{m_1}{2} \xi_1 N_1 \bar{I}_0 \quad (2-22)$$

Az innen végigosztással kapott

$$\bar{I}_1 + \frac{m_2 \xi_2 N_2}{m_1 \xi_1 N_1} \bar{I}_2 = \bar{I}_0 \quad (\bar{I}_1 + \bar{I}_2 = \bar{I}_0) \quad (2-23)$$

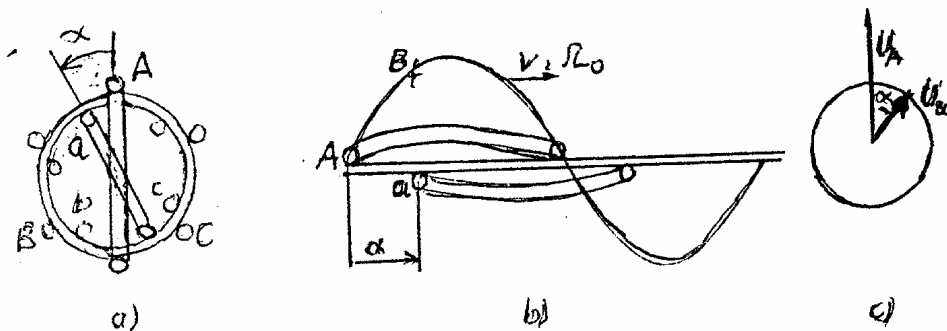
kifejezés szerint az áramátétel

$$n_1 = \frac{m_1 \xi_1 N_1}{m_2 \xi_2 N_2} \quad (2-24)$$

Az aszinkron motoroknál kapcsolatos vizsgálódásaink során $m_1 = m_2$ így $n_1 = n_u = n$.

b./ Fázisszög.

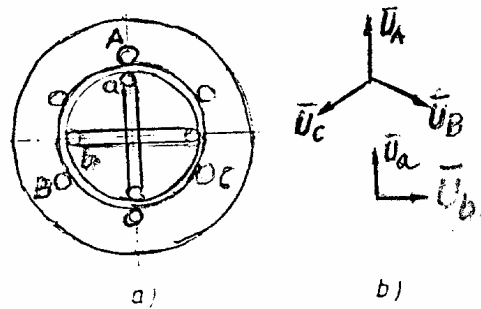
A forgórészt fordítsuk el α szöggel, de az maradjon nyugalomban. A 2.12.a. ábrán csak az A és a álló- ill. forgórész fázistekercseket tüntettük fel. A kiterített b. ábrán jól látható, hogy a forgómező az a forgórész fázist α szöggel később éri el így feszültségfázora is ekkora szöggel késik a c. ábrán. Ez az elrendezés a mérés technikában használatos indukciós szabályozó, amelynek forgórész kapcsairól tetszőleges fázishelyzetű háromfázisú feszültségrendszer nyerhető.



2.17 ábra

c./ Fázisszám.

Ha a forgórész tekercsrendszere más fázisszámú - pl. a 2.18. ábrán 90° -kal eltolt két tekercsből álló ún. kétfázisú - akkor a feszültségrendszer fázisszáma is változtatható (2.18.b. ábra).



2.18 ábra

d./ Frekvencia.

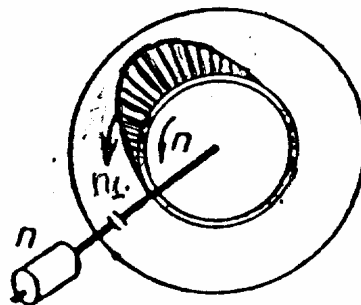
Ha a forgórészt segédgéppel az állórész mezőétől eltérő n fordulatszámmal forgatjuk, akkor a forgórész nyitott kapcsain más frekvenciájú feszültségrendszert nyerünk, így a gép frekvenciaváltó.

Forgassuk a forgórészt először a mezővel egyirányban, de kisebb $n < n_1$ fordulatszámmal.

A mező indukcióvonalai ekkor a forgórészvezetőket az

$$n_2 = n_1 - n \quad (2-25)$$

lemaradási, vagy csúszási, angolból átvett szóval szlip fordulatszám szerint metszik. A forgórész vezetők ezzel a fordulatszámmal "látják" a mezőt elhaladni (2-19. ábra).



2.19 ábra

Ennek n_1 - re vonatkoztatott, viszonylagos értékét nevezik csuszamlásnak vagy szlipnek

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{n_1 - n}{n_1} = s \quad (2-26)$$

A forgórész- és állórész frekvenciák aránya (2-19b) értelmében

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{n_2 p}{n_1 p} = \frac{n_2}{n_1} = s \quad (2-27a)$$

Majd látjuk, hogy az állórész és forgórész pólusszámának egyenlőnek kell lennie $p_1 = p_2 = p$.

(2-27a)-ból

$$f_2 = s f_1 \quad n_2 = s n_1 \quad (2-27bc)$$

A gép $f_1 \rightarrow f_2$ frekvenciaváltó. Példaként néhány szlipértékre - n értékre - felírjuk a frekvenciát. Negatív n a mezővel ellentétes irányú forgatást jelent.

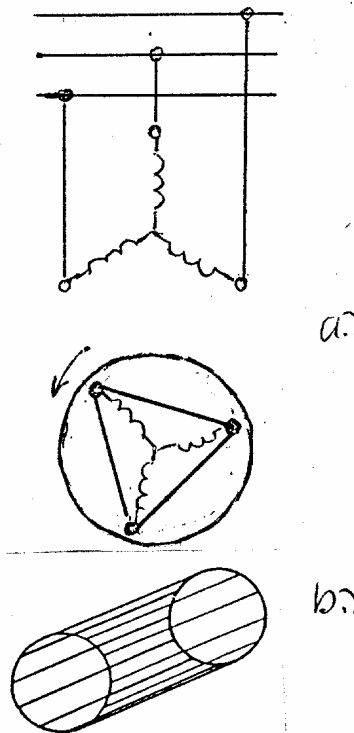
$n=0$	$s=1$	$f_2 = 50\text{Hz} (= f_1)$	állóhelyzet
$n = 0,5n_1$	$s=0,5$	$f_2 = 25\text{Hz}$	félfordulat
$n = -n_1$	$s=2$	$f_2 = 100\text{Hz}$	szinkron forgatás a mezővel ellentétesen

2.4. A háromfázisú aszinkron vagy indukciós gép

Valaki azt mondta, hogy az indukciós motor hajtja a világ iparát. Széleskörű alkalmazásának okai: egyszerűsége, robusztussága (ma egyre fontosabb) és olcsósága. Így az ipar mellett pl. a nagyvasúti vontatásban is széleskörűen alkalmazzák.

2.4.1. Működési elv

A gép felépítésének alapelve a 2.20. ábrán látható. A háromfázisú állórész üzemen a hálózatra (a tápláló áramirányítóra) van kötve. A forgórész tekerceslt (háromfázisú) vagy kalickás (2.20.b. ábra). Üzem közben a forgórész mindig rövidrezárt. A tekerceslt forgórész kapcsait indításkor külső ellenállások beiktatására csúszógyűrűkön kivezetik; e változat neve ezért: csúszógyűrűs gép. A mókus kalicka alakú - rudakból és azokat két végükön összekötő, rövidrezáró gyűrűkből álló - sokfázisú kalickás forgórész vizsgálatokra háromfázisú - rövidrezárt - tekercesléssel helyettesíthető. (Így $m_1 = m_2$!)



2.20 ábra

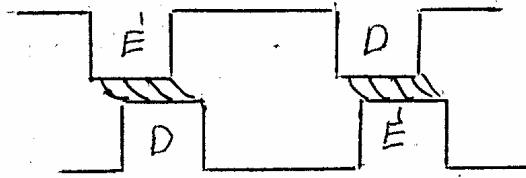
A motor feladata a forgatás. A forgómezőnek a forgórészsel - itt a forgórész áramokkal - nyomatékot kell létesíteni. Az aszinkron gép forgórészébe - galvanikusan - nem vezetünk áramot, ez a rövidzárás miatt nem is lehetséges. Hogyan jön hát létre a nyomaték?

Induljunk ki a forgórész nyugvó állapotából. Az állórész forgó mezeje a forgórész vezetőiben indukálással áramokat hoz létre. Innen a gép egyik neve. Az indukált forgórész áramok a forgómezővel Biot-Savart törvénye szerint kerületi erőket, összességükben a forgórész nyomatékot (az indító nyomatékot) hozzák létre.

A forgórész felgyorsul, majd a gép és a terhelés nyomatékainak egyensúlyánál beáll az állandósult egyensúlyi állapot. Az $n = n_1$ szinkron forgás nem lehetséges, mert ekkor nincs forgórész indukálás. A gép tehát csak aszinkron üzemre képes, innen ered a másik neve.

A forgórész áramok is létrehozhatnak egy forgó mezőt. A két mező a légrésben eredő mezővé egyesül, de a nyomatékképzés szemléletes képét nyerjük ha azt két összetapadt pólusrendszer hatásának tekintjük. A 2.21. ábrán a két pólusrendszert állandó mágnesekkel érzékeltettük. Állandó nyomaték csak azok együttfutásakor, azonos fordulatszámok esetén lehetséges. A terhelő nyomaték hatására közöttük szögelfordulás keletkezik - az erővonalak megnyúlnak - de fordulatszámeltérés nem lehetséges, mert akkor csak zérus középértékű un.

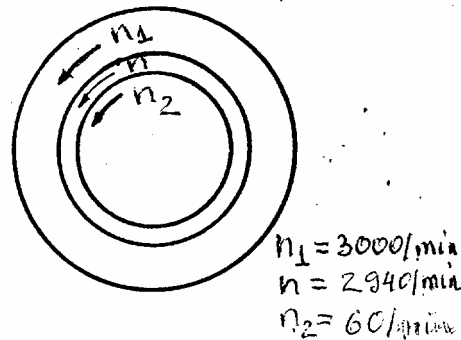
lűktető nyomaték keletkezik. E kép alapján az együttforgás feltétele az álló- és forgórész pólusszámok egyezése is.



2.21 ábra

A mezők együttforgását most, a szemléletes kép és a következők érdekében, vizsgáljuk meg számszerűen.

Legyen az egyszerűség kedvéért kétpólusú gépünk $p=1$ - így $\Omega_1 = \omega_1 / p = \omega_1$ - és dolgozzunk az ω -kal arányos n fordulatszámokkal (2.22. ábra).



2.22 ábra

Az állórész mező fordulatszáma

$$n_1 = \frac{f_1}{p} = \frac{50 \text{ s}^{-1}}{1} = 3000 / \text{min}$$

Az indukálás feltétele, hogy a forgórész - mechanikai - fordulatszáma ennél kisebb legyen

$$n < n_1$$

Ha feltesszük, hogy a szlip $s=2\%$, akkor (2-27b) segítségével a forgórész fordulatszáma

$$n = n_1 - n_2 = n_1 - sn_1 = n_1(1 - s) = 2940 / \text{min} \quad (2-28)$$

A forgórész fordulatszám lemaradása - a mezőhöz képest -

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

A forgórész vezetők ezzel a fordulatszámmal "látják" forogni a mezőt. Így a forgórészben indukált áramok frekvenciája (v.ö. 2-27b-vel):

$$f_2 = n_2 p = 60 / \text{min} = 1 \text{s}^{-1} = 1 \text{Hz}$$

$$(f_2 = sf_1 = 0,02 \cdot 50 \text{s}^{-1} = 1 \text{s}^{-1})$$

A háromfázisú forgórész f_2 frekvenciájú áramrendszere a forgórészhez képest

$$n_2 = \frac{f_2}{p} = \frac{1 \text{Hz}}{1} = 60 / \text{min}$$

fordulatszámú forgómezőt hoz létre.

De a forgórész is forog n fordulatszámmal, így a forgórészmező fordulatszáma az állórészhez képest

$$n + n_2 = 2940 / \text{min} + 60 / \text{min} = 3000 / \text{min} = n_1$$

Lemaradáskor ugyanis a forgórész áramok fázissorrendje azonos az állórész áramkéval, így az általuk létesített forgórész forgómező forgásiránya is egyező az állórész mezőével.

Vagyis a forgórész mezeje együtt, szinkron forog az állórész mezővel. Két összetapadt pólusrendszer keletkezik, ami mint láttuk szükséges. Magyarázata ennek, hogy a forgórész frekvencia nagyságát éppen annak lemaradása szabja meg.

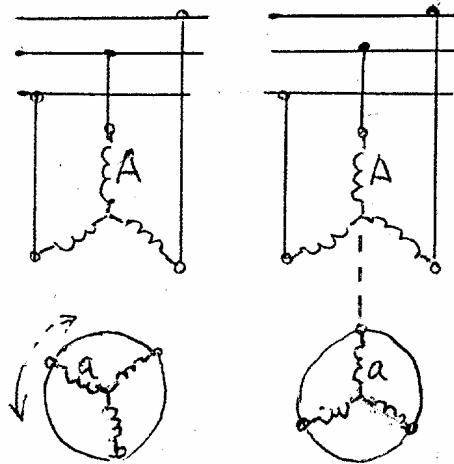
A két mező tehát mindig együtt, egyező sebességgel forog, de kölcsönös helyzetük változik a szükséges nyomatékkal, a terheléssel.

2.4.2. Az aszinkron gép helyettesítő áramköre

A transzformátorhoz hasonlóan nyugvó és a kölcsönös induktivitást kiiktató - "passzív" - helyettesítő áramkört szeretnénk.

A menetszám áttétel kiküszöbölése mellé sokkal bonyolultabb feladat járul: forgó tekercsrendszereket (eltérő és változó frekvenciájú áramköröket) kívánunk összekötni. Ehhez a forgó tekercseket - a forgórészt - meg kell állítanunk.

Az elméleti megoldás ismert: az elforgó forgórész tekercseket - geometriai - forgató koordináta transzformációval mindig visszaforgatjuk (2.23. ábra). Az így visszaforgatott, nyugvó fázistekercseket - menetszám redukció után - összeköthetjük.



2.23 ábra

A forgató transzformáció egyúttal $f_2 \rightarrow f_1$ frekvencia transzformáció is, hiszen a nyugvó forgórész tekercsekben f_1 frekvenciájú feszültség indukálódik.

Azért, hogy a kissé bonyolultabb koordináta transzformációt ne kelljen alkalmaznunk, emlékezzünk arra, hogy amint láttuk az $f_2 \rightarrow f_1$ frekvencia transzformációt a gép maga mindig "végre hajtja". Az állórész koordináta rendszeréből nézve minden forgórész mennyiség f_1 állórész frekvenciájúnak látszik.

Kövessük tehát a következőkben azt amit a gép maga csinál.

Üljünk először - képzeletben - a forgórészre. A forgórész koordináta rendszerében az indukált feszültség és a szórási reaktancia kifejezése $f_2 = sf_1$ -gyel

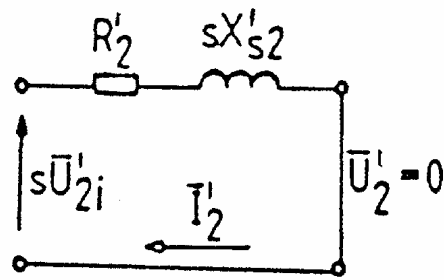
$$U_{2\text{iszlip}} = 4,44f_2\xi_2N_2\phi_m = s4,44f_1\xi_2N_2\phi_m = sU_{2i(f_1)} \quad (2-29)$$

$$X_{s2\text{szlip}} = 2\pi f_2L_{s2} = s2\pi f_1L_{s2} = sX_{s2(f_1)} \quad (2-30)$$

Ezekkel a rövidrezárt forgórész feszültségegyenlete a forgórész koordináta rendszerében, redukált vesszős mennyiségekkel, az $U_{2\text{iszlip}(f_1)} = U_{2i}$ és $X_{2s(f_1)} = X_{2s}$ egyszerűsített jelölésekkel:

$$s\bar{U}'_{2i} + \bar{I}'_2(R'_2 + jsX'_{s2}) = 0 \quad (2-31)$$

Itt U'_{2i} és X'_{s2} a forgórész nyugvó - indítási - helyzetéhez tartozó értékek és az $n_u = n_1 = n$ esetben a transzformátornál megismert redukálási egyenletek érvényesek. A (2-31)-hez tartozó helyettesítő kapcsolat a 2.24. ábrán látható.



2.24 ábra

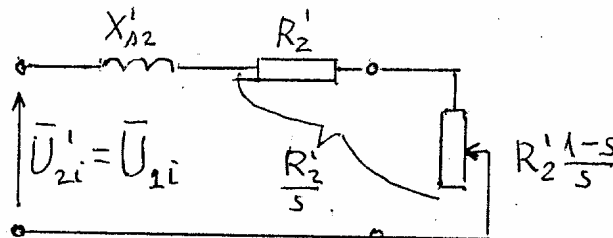
Most formálisan elvégezzük az $f_2 \rightarrow f_1$ frekvencia transzformációt (koordináta transzformációt) - azáltal, hogy átülünk az állórészre:

$$f_2 \rightarrow f_1 = \frac{f_2}{s}$$

Ezután (2-31) egyenletünket végig osztjuk s -sel - $U'_{2i} = U_{1i}$ -

$$\bar{U}_{1i} + \bar{I}'_2 \frac{R'_2}{s} + \bar{I}'_2 j X'_{s2} = 0 \quad (2-32)$$

A kifejezésben \bar{U}_{1i} található így a primer és a szekunder már összeköthető. A primerre transzformált és redukált szekunder helyettesítő kapcsolás a 2.25. ábrán látható.



2.25 ábra

R'_2/s a forgórész kör teljes - fiktív - ellenállása. Levonva belőle a valóságos R'_2 tekercsellenállást az

$$\frac{R'_2}{s} = R'_2 + R'_2 \frac{1-s}{s} = R'_2 + R'_k$$

összefüggés szerint a szekunderre kapcsolt

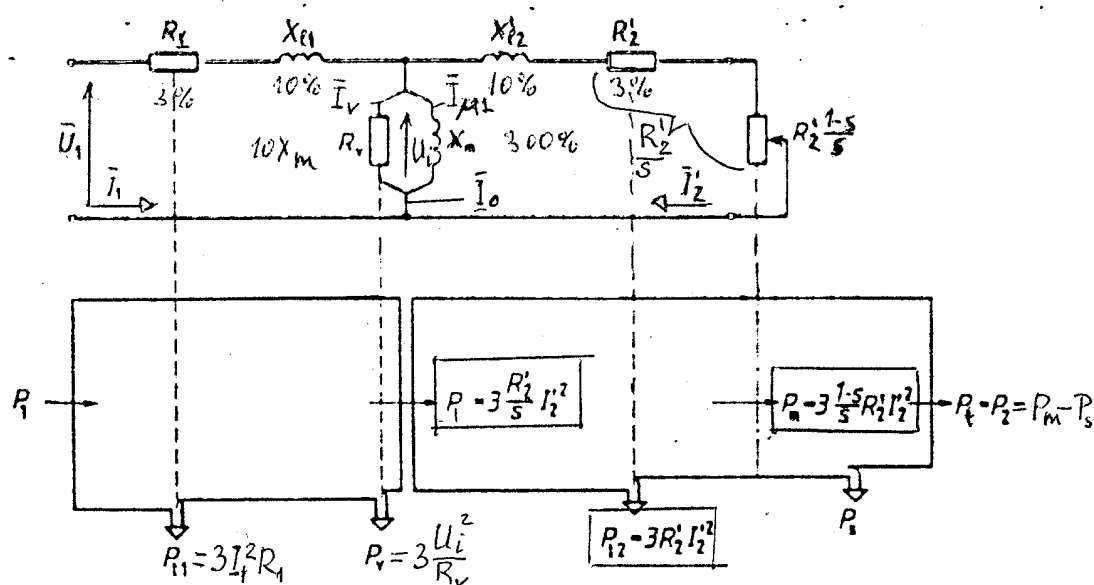
$$R'_k = R'_2 \frac{1-s}{s} \quad (2-33)$$

olyan külső ellenállást nyerünk, amelynek - képzelt - Joule hője a gép leadott mechanikai teljesítményét képviseli, azzal egyenlő.

A rotor feszültségegyenlet segítségével az indukciós motort visszavezettük egy $R'_2(1-s)/s$ ellenállással terhelt transzformátorra, nyugvó áramkörre. A transzformátor terhelő ellenállásának Joule hője jellemzi, helyettesíti a leadott mechanikai teljesítményt. Íme látjuk milyen fontos a transzformátor elmélete.

A 2.24. és 2.25. ábrák mondanivalóját úgy is fogalmazhatjuk, hogy a rövidrezárt forgórész körű forgó indukciós motor (2.42. ábra) minden üzemállapotát ugyanolyan villamos viszonyokkal álló állapotban is beállíthatjuk megfelelő nagyságú forgórész ellenállásokkal (2.25. ábra). Az álló állapotú forgórész lehetővé teszi az álló és a forgórész áramkörök összekötését.

Az aszinkron gép teljes helyettesítő áramkörét a 2.26. ábrán látjuk. Itt is felírtuk az átlagos nagyságú sorozatgépek esetében a paraméterek szokásos százalékos értékeit. A továbbiakban az $U_i = U_{1i}$ jelölést alkalmazzuk.



2.26 ábra

2.4.3. Az állandósult üzem

2.4.3.1. A teljesítménymérleg

A 2.26. ábrán az aszinkron gép helyettesítő kapcsolása alá felrajzoltuk a gép un. teljesítménymérlegét a hatásos teljesítmény útját a primer kapsoktól a hajtott gépnek leadott tengelyteljesítményig.

A hálózatról felvett $P_1 = 3U_1 I_1 \cos \varphi_1$ primer-hatásos teljesítményből az állórészben hővé alakul a $P_{t1} = 3I_1^2 R_1$ tekercsveszteség és a $P_v = 3U_{1i}^2 / R_v$ vasveszteség.

A gép fontos jellemzője a forgórészbe átmenő légrésteljesítmény

$$P_1 = 3I_2'^2 \frac{R_2'}{s} \quad (2-34)$$

amely nagyobb részben a P_m mechanikai, kisebb részben a P_{t2} forgórész tekercsveszteséggé alakul. Kifejezéseiket az ábrából lehet leolvasni

$$P_m = (1-s)P_1 \quad P_{t2} = sP_1 \quad (2-35ab)$$

Ez a szigorúan kötött felosztás a gép vastörvénye, amely P_{t2} és P_m arányát a szlippel megszabja és amely megköveteli, hogy s legyen kicsi. (Az un. kaszkád kapcsolásokban - amelyekkel nem foglalkozunk - a csúszógyűrűkön át villamos teljesítményt visznek ki (vagy be) a fordulatszám változtatása (s változtatása) céljából. Ekkor P_{t2} a forgórészből kivitt teljesítménynek és a forgórész rézveszteségének az összege, a forgórész villamos teljesítménye.

A leadott tengelyteljesítmény $P_t = P_2$ a P_m mechanikai teljesítménynél a P_s csap- és légsúrlódási veszteséggel kisebb

$$P_2 = P_m - P_s \quad (2-36)$$

A nyomaték (2-35a) és (2-28) segítségével

$$M = \frac{P_m}{\Omega} = \frac{P_1(1-s)}{\Omega_1(1-s)} = \frac{P_1}{\Omega_1} \quad (2-37)$$

A nyomaték tehát a légrésteljesítménnyel mérhető

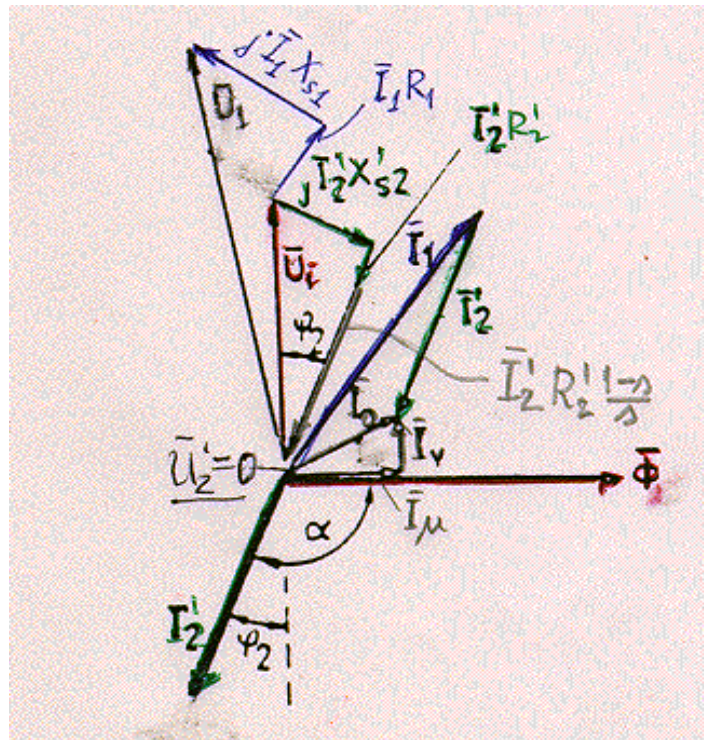
$$M = \frac{3}{\Omega_1} I_2'^2 \frac{R_2'}{s} \quad (2-38)$$

A tengelynyomaték ennél a súrlódási nyomatékkal kisebb ($M_t = P_t / \Omega$).

2.4.3.2. A fázorábra

Az aszinkron gépet ellenállással terhelt transzformátorra vezettük vissza így lényegesen újat nem kell tanulnunk.

Induljunk ki a főfluxusból (2.22. ábra). Fenntartásához \bar{I}_μ mágnesező áram szükséges. (A légrés miatt nagyobb mint a transzformátornál.) A fluxus indukálja a 90° -kal siető $\bar{U}_i - t$, amellyel fázisban van az \bar{I}_v vasveszteségi - hatásos - áramösszetevő.



2.27 ábra

Az állórész feszültségesés itt is kicsi, így a jó közelítéssel érvényes feszültségkényszer állandó főfluxust, az pedig állandó \bar{I}_0 üresjárás áramot diktál.

A terhelő nyomaték - $R_2'(1-s)/s$ révén - megszabja \bar{I}_2' nagyságát és fázisszögét, így a gerjesztések $\bar{I}_1 + \bar{I}_2' = \bar{I}_0 = \text{áll.}$ egyensúly törvénye szerint \bar{I}_1 nagyságra és fázisszögére beáll. \bar{I}_1 és \bar{I}_2' ismeretében az ohmos és szórás feszültségesések felrajzolhatók. $\bar{U}_2' = 0$ így a szekunder feszültség-fázorábrarész az $\bar{I}_2' R_2'(1-s)/s$ "feszültségeséssel" záródik. A szekunder indukált feszültséget ez a mechanikai terheléshez "tartozó" feszültségesés - a kis villamos feszültségesésekkel együtt - felemészti.

2.4.3.3. Az áramdiagram

Az áramdiagram az $\bar{I}_1(s)$ áramvektor végpontja által leírt helygörbe $U_1 = \text{áll.}$ esetén, amely ideális lineáris esetben kör ezért kördiagramnak is nevezik. A kördiagramról számos hasznos információ olvasható le, azt is mondhatnánk, hogy az az ideális indukciós motor lelkének teljes tükré.

Az áramdiagramot az

$$\bar{I}_1 = U_1 \bar{Y}_1 = U_1 \frac{1}{\bar{Z}_1} = k \frac{1}{Z_1} e^{-j\varphi_2} \quad (2-39)$$

összefüggés szerint - mivel U_1 állandó - a helyettesítő kapcsolás \bar{Z}_1 bemeneti impedanciájának inverziójával nyerhetjük.

Kitérő:

Ily módon általános helyzetű kört nyerünk, amelynek ismert alakú kifejezése

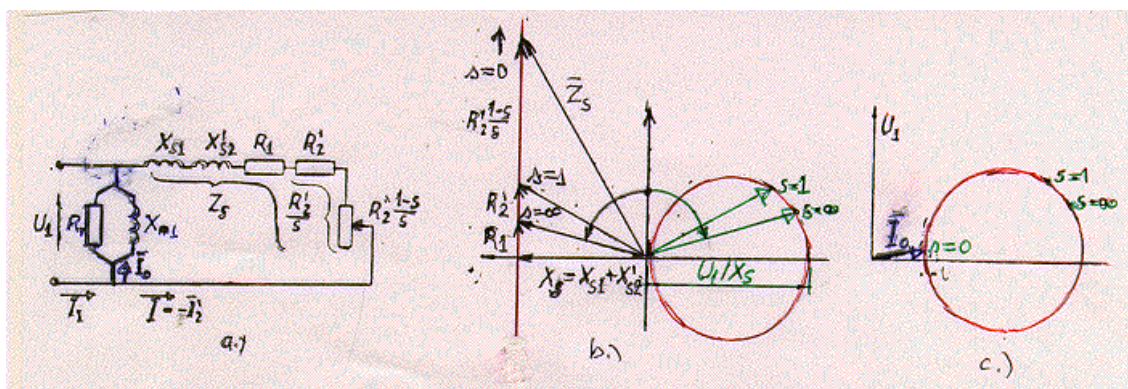
$$\bar{I}_1(s) = \frac{\bar{A} + \bar{B} \frac{R'_2}{s}}{\bar{C} + \bar{D} \frac{R'_2}{s}}$$

ahol \bar{A} , \bar{B} , \bar{C} , \bar{D} komplex állandók.

Hasznos járulékos információkhoz jutunk egyszerű módon, ha az áramdiagramot közelítőleg a 6.12.a. ábra egyszerűsített áramköre segítségével származtatjuk.

Először a soros rész áramdiagramját rajzoljuk fel (2.28.b. ábra), majd kezdőpontját \bar{I}_0 -val eltoljuk (2.28.c. ábra).

Egyenes inverze a kezdőponton átmenő, a vízszintesen fekvő középpontú kör, amelyet a 2.28.b. ábrában rajzoltunk fel. Az impedancia egyenes $s=0$, $s=1$, $s=\infty$ un. főpontjainak inverzeit (2-39) értelmében a valós tengelyre való szögtükörözéssel nyertük. A származtatásból láthatóan a kör átmérőjét egyedül az $X_s = X_{s1} + X'_{s2}$ szórási reaktancia határozza meg, az ellenállások a pontok helyét - így az $s=1$, $s=\infty$ pontok helyét írják elő.



2.28 ábra

Az $s=0$ pont \bar{I}_0 -val való eltolásával nyerjük a teljes áramdiagrammot. Jellemzésére fontos megjegyzéseket teszünk.

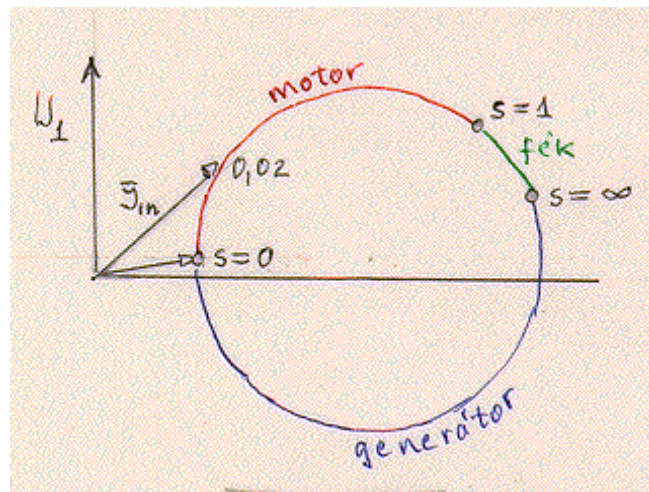
1./ A kör nem "áramdiagram". Az áramdiagram a kör és a szlipskála együtt.

A kis szlipű üresjárású pont és az $s=0$ szinkron pont - amelyet csak hajtó segédgéppel érhetünk el - nagyon közel esnek, így gyakran nem különböztetjük meg őket.

Az $s=1$ pontot, amely a forgórész nyugvó, indulási helyzetének felel meg "rövidzárási" pontnak hívják mert $R'_k = 0$ így a helyettesítő kapcsolás rövidre van zárva.

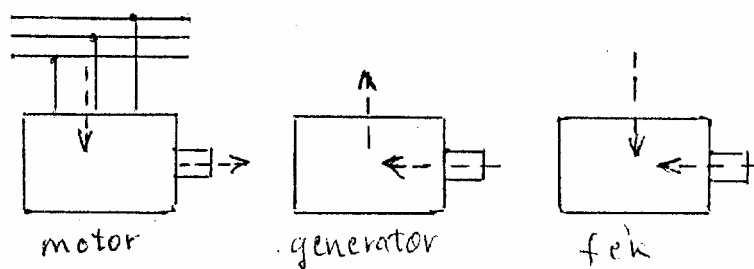
2./ Már láttuk, hogy a körátmérőt X_s , a pontok eloszlását, helyét az R-ek szabják meg.

3./ A paraméter 2.28.a.-ból is láthatóan R'_2/s . Legtöbbször $R'_2 = \text{áll.}$ ilyenkor a paraméter $1/s$. Így a paramétereloszlás - a 2.29. ábrán is láthatóan - az $s=0$ ponttól az $s=1$ -ig (és utána is) sűrűsödik.



2.29 ábra

4./ A 2.30. ábrán a hálózati és a tengelyteljesítmény - valóságos - irányával jellemeztük a gép háromféle üzemmódját.



2.30 ábra

Példaként a motor állapotot vizsgálva a

$$P_{t2} = sP_1 \quad P_m = (1-s)P_1$$

kifejezések segítségével vizsgáljuk az előjeleket. A rövidrezárt forgórész áramhője mindig pozitív előjelű. A $0 < s < 1$ szliptartományban ehhez P_1 és P_m pozitív előjele vagyis motor üzem tartozik. A generátoros és féküzemet a 2.29.

ábrán bejelöltük. Első esetben a forgórészt az n_1 szinkron fordulathoz képest gyorsabban, a másodikban a mezővel ellentétes irányban kell forgatni.

5./ Féküzemben P_1 és P_m is forgórész hővé válik. 80-90%-os hatásfokot véve figyelembe

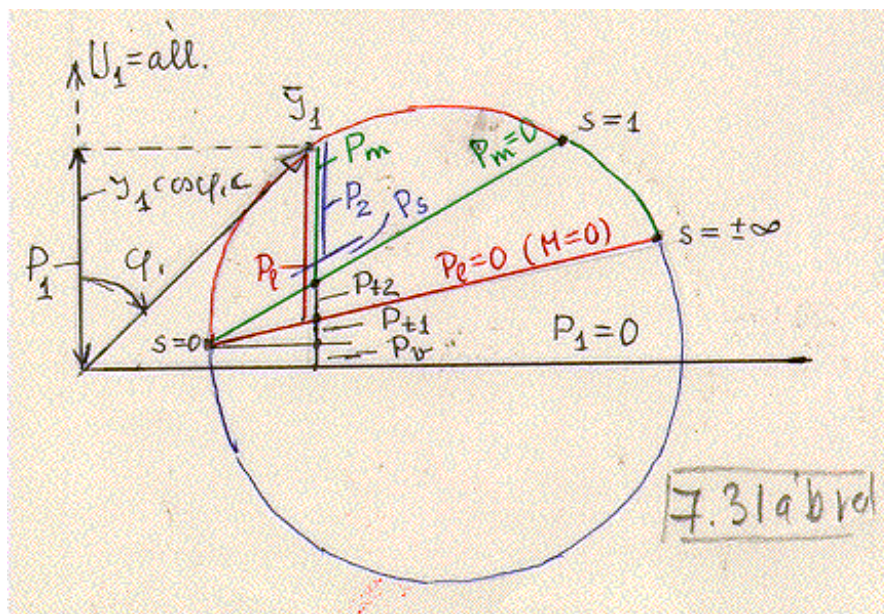
$$P_{t2} = P_1 + P_m \approx 2P_{\text{névleges}}$$

Ekkora hő csak külső - hűtött - ellenállásban lehet felemészteni.

6./ A 2.29. ábrából látható, hogy az indukciós motor árama minden üzemi állapotban induktív jellegű vagyis meddő teljesítményt "vesz fel", "fogyaszt", igényel.

Emiatt egyedül járó kis generátorként párhuzamos kondenzátor telepet igényel. Kis terheléssel motorként a rossz $\cos\varphi$ miatt nem célszerű járatni. (Az áramszolgáltató "bünteti".)

A teljesítmények a kördiagramban: A 2.31. ábrában a 2.26.-ban már megismert hatásos teljesítményeket keressük meg.



2.31 ábra

a./ A felvett primer teljesítményt a $P_1 = 3U_1 I_1 \cos\varphi = \text{áll.}$ $I_1 \cos\varphi$ összefüggés értelmében \bar{I}_1 hatásos összetevője, azaz a körpontnak a vízszintestől mért függőleges távolsága méri. A vízszintes tengely a felvett teljesítmény zérus vonala ($P_1 = 0$). A többi teljesítmény is hasonlóan egyenesektől mérhető a 2.28.b. ábrából láthatóan.

b./ A P_m mechanikai teljesítmény zérus vonala az $s=0$ ($I_2' = 0$) és az $s=1$ (álló helyzet) pontokat összekötő egyenes.

c./ A P_s súrlódási veszteség erőteljesen függ a fordulatszámától, ezért annak P_m -mel párhuzamos rövid szakaszát csak a névleges pont környékén rajzoltuk meg.

d./ $P_2 = P_m - P_s$ a leadott teljesítmény.

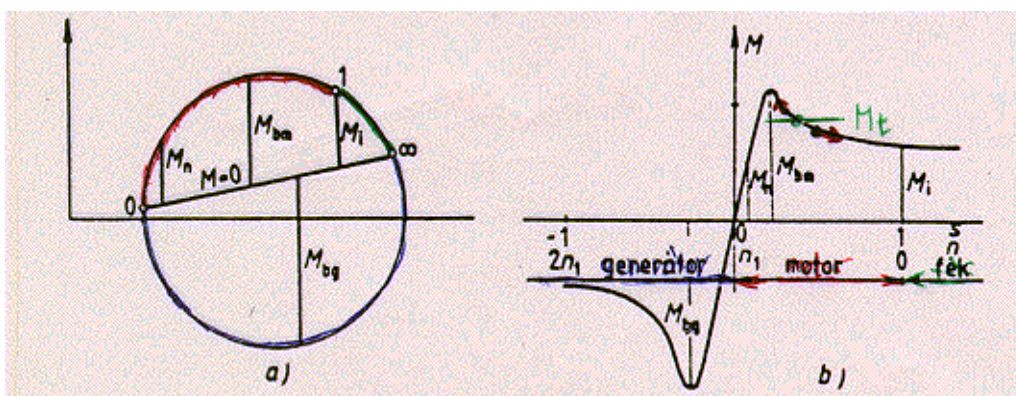
e./ A P_1 légrésteljesítmény zérus vonala az $s=0$ ($I_2 = 0$) és $s=\infty$ ($(R_2'/s)=0$) pontokat köti össze.

Ez egyúttal a nyomaték $M=0$ zérusvonala is.

f./ A P_v vasveszteséget az \bar{I}_0 üresjárási áram hatásos összetevője jellemzi a tekercsveszteségeket pedig a $P_{t2} = P_1 - P_m$ ill. a $P_1 - P_1 - P_v = P_{t1}$ metszések szolgáltatják.

2.4.3.4. A nyomatéki jelleggörbe

Az $M(n)$ ill. $M(s)$ nyomatéki jelleggörbét a kördiagramból szerkeszthetjük ki. A jellegzetes nyomaték értékeket a 2.32. ábrán látjuk. M_n a névleges, M_i az indító, M_{bm} ill. M_{bg} a motoros ill. generátoros maximális vagy billenő nyomaték. Utóbbi nevének magyarázata, hogy a nyomatékgörbe statikusan stabilis és labilis szakaszait választja el.



2.32 ábra

A b. ábrában a kiszerkesztett, fontos nyomaték jelleggörbét látjuk a motoros, fék és generátoros üzemi tartományok feltüntetésével.

Az eső, labilis szakaszon állandó M_t terhelő nyomaték feltételezésével feltüntetünk egy egyensúlyi állapotot jellemző munkapontot. Ha rendszer kis mértékben, lassan kitér egyensúlyi állapotától lefelé akkor az M_t fékező nyomaték nagyobb mint a motor M hajtó nyomatéka így a rendszer tovább lassul, kiindulási állapotába nem tér vissza, hanem attól távolodik. Könnyen követhető az ellenkező irányú kitérés is és annak bemutatása, hogy az M_{bm} -től balra eső szakasz statikusan stabilis.

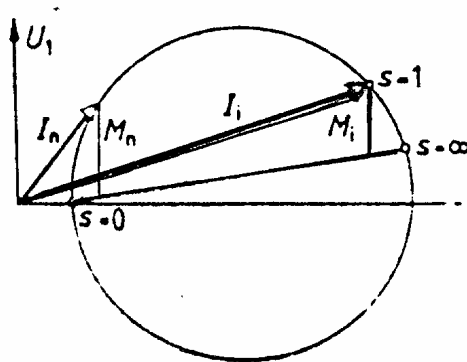
2.4.4. Üzemi viszonyok

Az aszinkron gépek indításának és fordulatszám változtatásának témaköréből csak néhány illusztratív változatot mutatunk be röviden.

A motoroknak indulni, állandó vagy változó fordulattal üzemelni és leállni, ehhez gyakran fékezni kell tudnia. A gép forgásirányának megváltoztatását két állórész-kapocs megcserélésével lehet elérni.

2.4.4.1. Indítás

a./ A probléma: A 2.33. ábrából látható, hogy az indukciós motor I_i indítási árama nagy ($\sim 5-10I_n$) ugyanakkor M_i indító nyomatéka kicsi. Utóbbi a hajtott gép részére lehet elégtelen, előbbit - más problémák mellett - gyakran az áramszolgáltató nem engedélyezi.



2.33 ábra

b./ Közvetlen indítás: A legolcsóbb megoldás, a gép állórészének a hálózatra kapcsolásával, ha az említett akadályok elesnek.

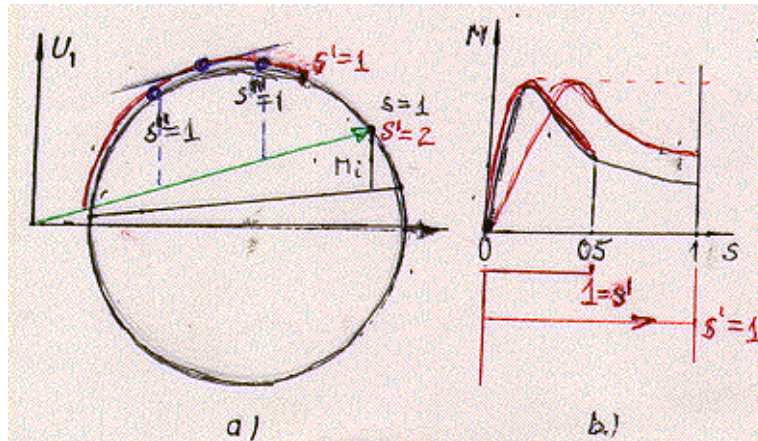
c./ A közvetett indítás valamilyen "segédberendezés" beiktatásával történik. Van olyan változat, amely mindkét problémán segít, I_i -t csökkenti és M_i -t növeli, mások I_i csökkentésével "csak" a hálózatot védik az M_i indító nyomaték további csökkentésével.

c.I./ A csúszógyűrűs gép: A kördiagram származtatásakor láttuk, hogy a "teljes" paraméter nem $1/s$, hanem R'_2/s . A kör mindegyik pontjához adott R'_2/s tartozik, így ha R'_2 -t R'_k külső ellenállással megnöveljük, s nő:

$$\frac{R'_2}{s} = \text{á II} = \frac{R'_2 + R'_k}{s'} \quad \left(\text{pl. } \frac{1\Omega}{1} = \frac{(1+1)\Omega}{2} \right) \quad (2-40)$$

A zárójelben megadott "számpélda" szerint a 2.34.a. ábra kördiagramján az $s=1$ indítási pont szlipértéke $s'=2$ -re változott, azaz az új $s'=1$ pont balra tolódott a régi $s=0,5$ pont helyére. Ez a b. ábrán a szlipskála "összezsugorodását"

eredményezi. Az eredeti szlipkálát megtartva látható, hogy a változatlan M_b billenő nyomatékot tetszőleges helyre tolhatjuk, ezzel az M_i indító nyomatékot is megszabva. Az a. ábrán a $s''=1$ indítási ponthoz ugyanakkora M_i indító nyomaték tartozik mint $s'''=1$ -hez de kisebb az I_i indítási árama.



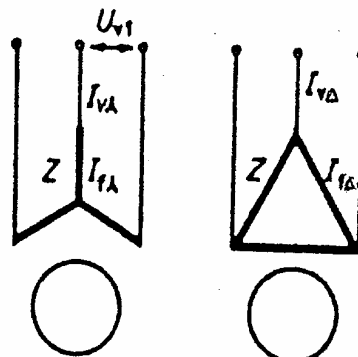
2.34 ábra

c.II./ Kalickás gép csillag-delta indítása.

Indításkor az állórészt csillagba kapcsolják, majd átkapcsolják üzemben háromszögbe. A hálózattól felvett áramok aránya (l. 2.35.ábra):

$$\frac{I_{hY}}{I_{h\Delta}} = \frac{I_{vY}}{I_{v\Delta}} = \frac{I_{fY}}{\sqrt{3}I_{f\Delta}} = \frac{U_{fY}/Z}{\sqrt{3}(U_{f\Delta}/Z)} = \frac{(U_{vh}/\sqrt{3})/Z}{\sqrt{3}U_{vh}/Z} = \frac{1}{\sqrt{3}\sqrt{3}} \quad (2-41)$$

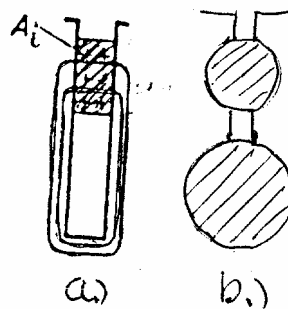
A hálózattól felvett áram 1/3-ára csökken, a gépé $1/\sqrt{3}$ -ra. A gép indító nyomatéka is 1/3 nagyságú.



2.35 ábra

Kitérő:d./ Áramkiszorításos forgórészű gépek

Indításkor a forgórész frekvencia $f_2 = 50\text{Hz}$, üzemben $f_2 = 1-2\text{Hz}$. Az indítási 50Hz frekvenciájú szórt fluxusok a mélyhornyos forgórész vezetőkben áramkiszorítást létesítenek. A csökkent A keresztmetszettel (2.36.a. ábra) megnövelt rotoellenállás nagyobb indító nyomatékot és kisebb indító áramot eredményez. Felfutás után a kis frekvencia következtében az áramkiszorítás gyakorlatilag megszűnik. Az áramkiszorítás hatását a b. ábra kétkalickás forgórészével lehet növelni. Az áramdiagram transzcendens ill. negyedrendű helygörbévé válik.

**2.36 ábra**

2.4.4.2. Fordulatszám változtatás

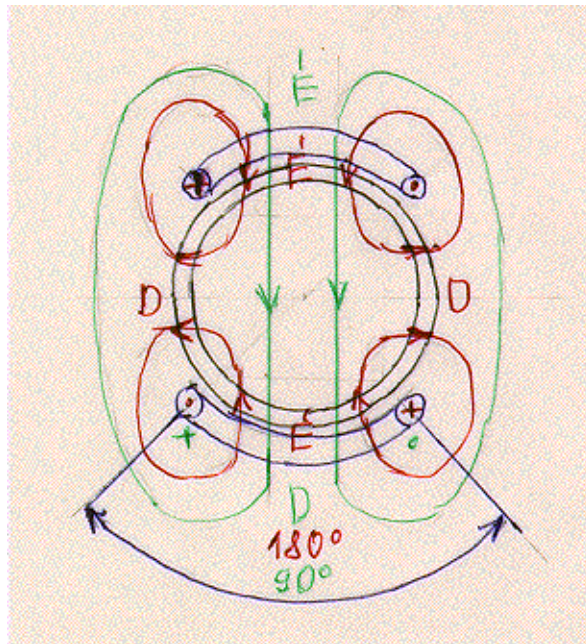
A fordulatszám (2-28) képletébe (2-19a)-t helyettesítve, az így nyert

$$n = \frac{f_1}{p}(1-s) \quad (2-42)$$

kifejezésből látható, hogy az aszinkron gép fordulatszámát a tápláló f_1 frekvencia, a p pólusszám és az s szlip változtatásával lehet módosítani.

A primer frekvenciát félvezetős frekvenciaváltó áramirányítóval, a szlipet (2-35b) szerint az un. félvezetős kaszkád kapcsolások segítségével a forgórészből a csúszógyűrűkön kivitt P_{12} villamos teljesítménnyel lehet változtatni.

A pólusszám változtatás egyik széleskörűen használatos változatának az un. Dahlander kapcsolásnak az alapelvét mutatjuk be a 2.32.ábra segítségével. A Dahlander kapcsolás un. pólusváltós tekercselés, a két 1:2 arányú pólusszámot az állórész tekercselés átkapcsolásával hozza létre.



2.37 ábra

Az ábrán csak egyetlen fázistekercset tüntettünk fel, azt is jelképesen egyetlen egymenetes tekercssel. A vezetők áramainak $+$, \bullet , $+$, \bullet irányai esetén négypólusú mezőt nyerünk. Az egyik - pl. az alsó - tekercs áramirányának megváltoztatásával a mező kétpólussá alakul. Az átkapcsolást pl. soros delta \rightarrow párhuzamos csillag átkapcsolással érhetjük el. A kétpólusú kapcsolatban egy tekercs két oldalának vezetői 180° helyett (ez tartozik a négypólusú forgó mezőhöz) csak 90° -ra helyezkednek el így az eredő feszültség és a részfeszültségek összegének aránya $\cos 45^\circ = 0,702$.