

# Szinkron gépek

Működési elve

Felépítés

Jellemzőes tulajdonságai

Állandósult nyomaték kialakulásának feltétele

# A Működési elv

frekvenciafeltekel :  $\omega_{\text{állórészmező}} = \omega_{\text{forgórészmező}} + \omega_{\text{forgórész}}$

ha  $\omega_r = 0$ , akkor a forgórészt egyenárammal tápláljuk :  $\omega_m = \omega_s$

A gép átlagos nyomatékot egyetlen fordulatszámán, az állórészmező fordulatszámán képes csak kifejteni, ezt nevezük szinkron fordulatszámának (álló és forgórész helyet is cserélhet)

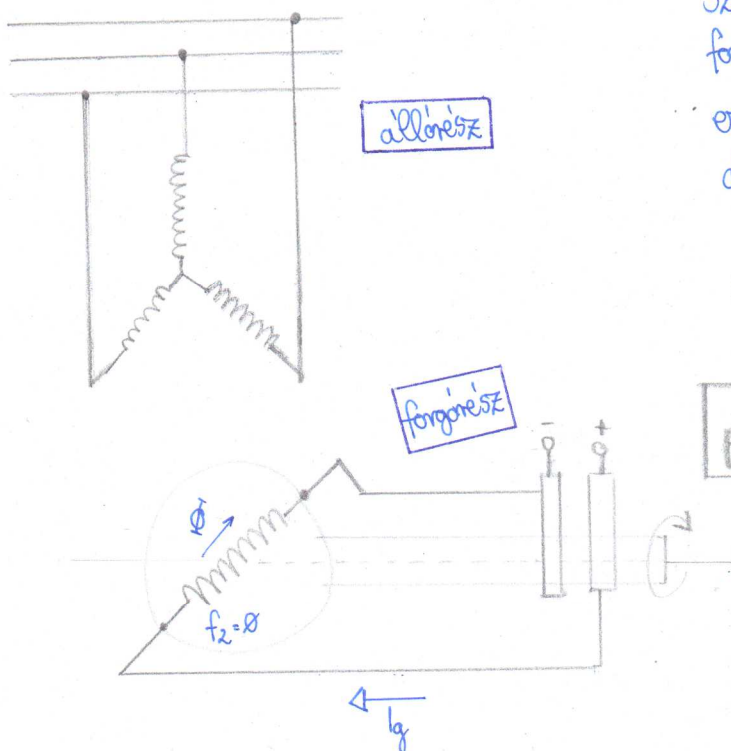
A szinkron gép állórészének a hálózatra kötött 3 fázisú tekercselése a légrésben forgó mezőt hoz létre a szinkron fordulatszámán.

A szinkron gép, forgórész tekercset egyenárammal tápláljuk. → állandó mező mechanikai forgatásával jött létre: "forgó álló mező"

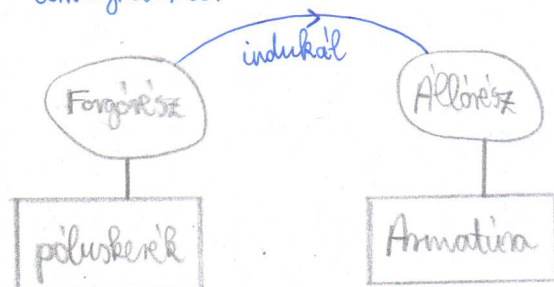
a forgórészmező a forgórészhez képest nyugalomban van ( $f_2 = 0$ ;  $n_2 = 0$ )

a forgórész az állórészmezővel együtt, azonnal szinkron kell forgania, hogy a frekvenciafeltekel teljesüljön

A gép tehát csak egyetlen fordulatszámán az szinkron fordulatszámán képes forgani. Ha a fordulatszámja ettől eltér, akkor üzembiztonsági válik a gép a hálózatra nézve gyakorlatilag rövidkört jelent



Szimmetrikus állandósult állapotban a forgórész együtt fut az állórész mezővel, ezért a forgórészben nincs indukálási vagy átmağnesezés.



UNILATERÁLIS

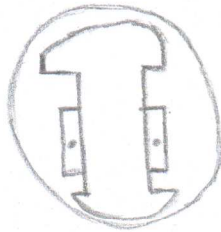
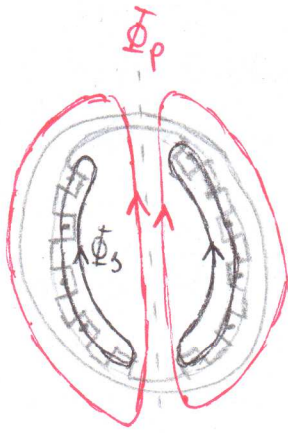
indukálási csak 1 irányban

forgórész indukál az állórészbe, az állórész a forgórészre nem hat vissza

## Felepítése

Állórész tekercselés háromfázisú (mint az indukciós gépeké) (kerületi áramokat kell növelni)

Forgórésznek két alaptípusa: hengeres  
kiálló pólusú



2 pólusú kiálló pólusú forgórész

## Szelegetés Tulajdonságai

Szinkron gép nem tud indulni: a generátort furkóina forgatja névleges fordulatszáma.

Szinkron gép lengésre hajlamos rendszer

képes meddő teljesítményt szolgáltatni, úgy viselkedik mint egy kondenzátor telep.

Forgórész: rögzített pólusok  $\rightarrow$  póluskerek, méréje a pólusmérés.

Állórész: háromfázisú tekercselés  $\rightarrow$  armatúra, méréje az armatúramérés.



a gép azon része, amelyben feszültség indukálódik.  
(tekercselése)

Szinkron gépben a 2 mérő egyetlen eredő mérővé tevődik össze, de a 2 rész mérő egymástól függetlenül változtatható (azokat létesítő áramok)

Jelentősége: áramszolgáltató nagy generátor.

világosenergia döntő részét szolgáltatja

Ha kiesik a szinkronizmusból, zárlati állapotba kerül.

Csak a szinkron fordulatszámmal képes forgatni.

Az állandósult nyomaték kialakulásának feltétele.  
A szinkron fordulatszám

Agg csak az  $n_0$  szinkron fordulatszámmal képes forgani.

Relatív fordulatlépcső alatt zérus közepetű lengő nyomaték keletkezik  $\rightarrow$  rándítást a hálózatra viszi

Szimmetrikus állandósult állapotban a forgórész együtt fut az állórész merővel, ezért a forgórészben nincs önmágnesezés (nincs erővonalmetszés, nincs indukálás)

# Hengeres forgórészű háromfázisú szinkron gép: A pólus - az armatúra és az indukált feszültség fogalma és számítása. Feszültségegyenlet

(mágneses tér modellje: kétmértékű elmélet, mert a 2 mérték többé kevésbé függetlenül vektorozható)

pólusfeszültség: a forgórésznek (pólusok) a hatása  $\rightarrow$  pólusfeszültség indukálása, amely ideális feszültségforrásként jelenik meg. (aktív)

$$U_p = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f_1 \xi_1 N_1 \phi_{p,max} \quad \text{pólusfeszültség effektív értéke}$$

armatúrafeszültség: az állórész áramok által létrejött. Ezáltal indukált önindukciós feszültséget fejezhetjük ki. (passzív  $\rightarrow$  feszültségvesztésként vesszük figyelembe)

$$U_a = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f_1 \xi_1 N_1 \Phi_a$$

$$\Psi_a = \xi_1 N \Phi_a$$

armatúrafeszültség effektív értéke

$\Phi_a$ : hasznos vagy főfluxus; lényegesen átmeleg

$\Phi_s$ : szórt fluxus: csak az állórész tekercseivel kapcsolatos

$\downarrow$   
nyomatékképzésben nem vesz részt

$\downarrow$   
vektoros elérést okoz: a generátor indukált feszültsége és a kapcsolófeszültsége között.

armatúra reaktancia:

$$X_a = \omega_1 L_a$$

ahol:  $\omega_1 = 2\pi f_1$

$$L_a = \frac{\Psi_a}{I_a} = \frac{\xi_1 N_1 \Phi_a}{\sqrt{2} I_a}$$

armatúra főmozó:

$$U_a = jX_a I_a$$

armatúra szórt mozó:

$$U_s = jX_s I_a$$

a gép ohmos feszültségvesztése

$$U_R = R I_a$$

$$U_k = U_p + U_a + U_s + U_R$$

feszültségegyenlet  
(fogy. pozitív irányrendszer)

$$U_k = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f_1 \xi_1 N_1 \phi_{p,max} + jX_a I_a + jX_s I_a + R I_a$$

Az armatúra, szórás és a szinkron reaktancia fogalma.  
A szórás reaktancia komponensei.

hengeres forgórész

armatúra reaktancia

$$X_a = \omega_1 L_a = 2\pi f_1 \cdot \frac{\Psi_a}{\sqrt{2} \cdot I_a} = 2\pi f_1 \cdot \frac{\xi_1 N_1 \Phi_a}{\sqrt{2} I_a}$$

$$(U_a = jX_a I_a)$$

szórás reaktancia :  $X_s$

szórt fluxusokhoz köthető, amely a nyomatékképzésben nem vesz részt.  
csak az állórész tekercseléssel kapcsolatos.

szinkron reaktancia :

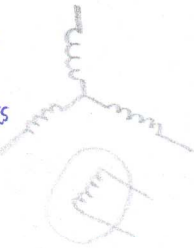
$$X_d = X_a + X_s$$

$X_d$  : szinkron reaktancia  
 $X_a$  : armatúra reaktancia  
 $X_s$  : szórás reaktancia

armatúra és a szórás reaktancia összevonásával kapjuk

hengeres forgórész

mágneses elvállás  
+ irányban azonos



lyukos pólyás forgórész

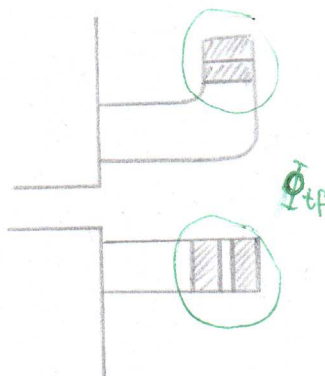
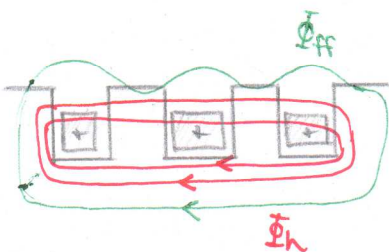
eltérő irányokban  
eltérő mágneses elvállás



A szórás reaktancia komponensei

horgyszórás  
fogfészórás  
tekercsfészórás

$$\Phi_s = \Phi_h + \Phi_{ff} + \Phi_{tf}$$



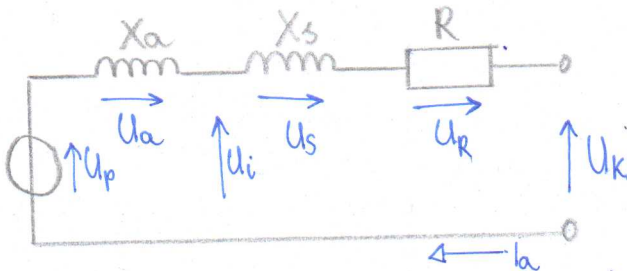
# A helyettesítő kapcsolás származtatása, Thevenin és Norton kapcsolás | hengeres forgórészű

Származtatás: szinkron gépben csak egyirányú (unilaterális) forgórész  $\rightarrow$  állórész indukálása van, a forgórész pontosan együtt halad az állórész forgó mágnesével.

állórész egy forgórész tekercsére nyugvó áramkörként helyettesíthető, melyben a forgórész egyetlen hatása a pólusfeszültség indukálása.

Feszültség-egyenlet: 
$$U_k = U_p + U_a + U_s + U_R$$

Helyettesítő  
Kapcsolás



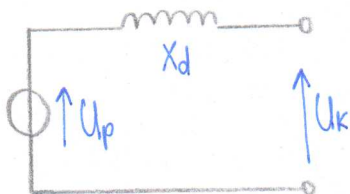
$U_i$ : eredő légrésmagnó által indukált feszültség (eredő fluxus)

Csak az állórészben keletkezik vasvesztés

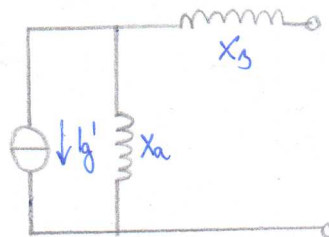
$X_d = X_a + X_s$  szinkron reaktancia

Nagyobb teljesítmények mellett  $R_a \approx 0 \rightarrow$  elhanyagolhatjuk (növekedési törvények)

Thevenin  
Kapcsolás



Norton  
Kapcsolás



Szinkron gépek esetén NEM a gerjesztések egyensúlyi törvénye vezérli a működést.

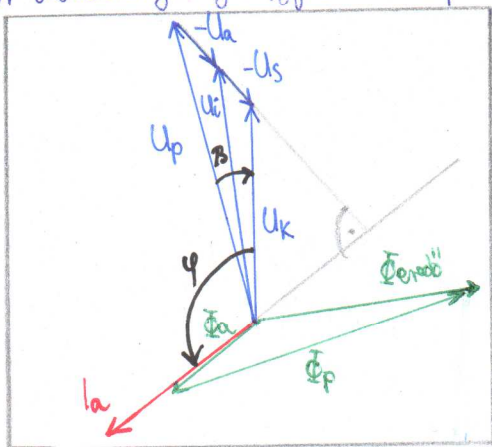
# Fázorokra szerkesztése | hengeres forgórésű

kiindulás : feszültség egyenlet :  $U_k = U_p + jX_a I_a + jX_s I_a + R_a I_a$

↓  
 $R = 0$  elhanyagolás  
 $U_p$ -re kifejezve

$$U_p = U_k - jX_a I_a - jX_s I_a$$

- $U_k$  és  $I_a$  ismert irányra és nagyságra pontosan.
- $U_p$ -t keressük
- Áramfázor induktív jellegű fogyasztókat tápláló generátort jellemez.



$$\begin{cases} U_s = jX_s I_a \\ U_a = jX_a I_a \end{cases} \quad \left. \vphantom{\begin{cases} U_s = jX_s I_a \\ U_a = jX_a I_a \end{cases}} \right\} jX I_a$$

$$\begin{cases} \Phi_a \parallel I_a \\ \Phi_p \perp U_p \\ \Phi_{erős} \perp U_i \end{cases}$$

- ①  $U_k$  és  $I_a$  adott
- ②  $I_a$  meghosszabbítjuk, majd  $U_k$ -ra merőleges és meghosszabbítjuk
- ③  $U_k$ -ra visszakamerjük  $U_s$ -t  $\rightarrow U_i$   
 $U_k$ -ra visszakamerjük  $U_a$ -t  $\rightarrow U_p$
- ④  $\Phi_a \parallel I_a$  ;  $\Phi_p \perp U_p$  ;  $\Phi_{erős} \perp U_i \rightarrow$  fluxusokat megkapjuk

$\beta$  szög : nyomatéki vagy terhelési szög

$\varphi$  szög : fázisszög



A nyomaték és a felvett/leadott teljesítmény számítása.  
A terhelési szög fogalma

hengeres forgórészű

nagy hatásfok követelményben a veszteségek elhanyagolásával

$$\sum P_{\text{vesztés}} = 0 \quad ; \quad R_a = 0 \quad ; \quad X_d = X_s + X_a$$

$$P_{\text{mech}} = P_{\text{szög}} = P_{\text{mágnét}} = 3 U_k I_a \cos \varphi$$

a szinkron gép fázorábrájából indulunk ki.  $\rightarrow$  szögfüggvények felírása

$$|U_p \sin \beta| = |X_d \cdot I_a \cdot \cos(\pi - \varphi)|$$

$$U_p \sin \beta = X_d I_a \cos \varphi$$

$$\frac{U_p \sin \beta}{X_d} = I_a \cos \varphi$$

teljesítmény

$P_{\text{mech}} = 3 U_k I_a \cos \varphi = 3 U_k \frac{U_p \sin \beta}{X_d}$
$M = \frac{P_{\text{mech}}}{\Omega_0} = \frac{3p}{\omega_1} \cdot \frac{U_k U_p}{X_d} \cdot \sin \beta = M_b \cdot \sin \beta$

nyomaték

ahol  $\Omega_0$  a forgórész mechanikai fordulatszám  $\rightarrow \Omega_0 = \frac{\omega_1}{p}$

ahol  $\beta$  a terhelési szög: pólus és kapocsfeszültség közötti szög

$\beta > 0$  : motoros üzemi állapot

$\beta < 0$  : generátoros üzemi állapot

szinkron gép  
nyomatéka

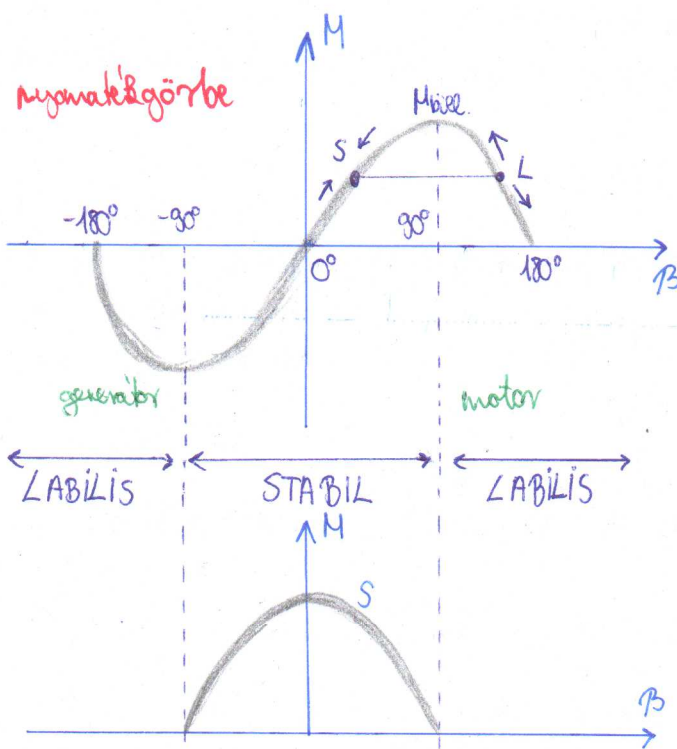
$$M = \frac{3p}{\omega_1} \frac{U_k U_p}{X_d} \sin \beta$$

A munkapont stabil, ha kis kitérést követően a gép visszatér eredeti állapotába.

A munkapont labilis, ha kis kitérést követően a gép nem tér vissza eredeti állapotába.

Statikus stabilitás : lassú változások esetén követelmény

dinamikus stabilitás : gyors változások esetén követelmény



- $\beta$  terhelési szög;  $U_p$  és  $U_k$  között
- nyomaték görbe statikusan stabilis szakasza a motoros és generátoros billeső nyomatéka között található

- S munkapont : statikusan stabil
- L munkapont : statikusan labilis

• statikus stabilitás határain  
 $\beta = \pm 90^\circ$

$$S = \frac{\partial M}{\partial \beta} \text{ szinkronozó nyomaték}$$

Szinkronozó nyomaték ~ visszatérítő nyomaték :  $S = \frac{\partial M}{\partial \beta} = M_b \cdot \cos \beta$

$\beta = 0^\circ$ -nál max. értékű  
 $\beta = 90^\circ$ -nál zeros értékű  
majd negatívra válik.

A dinamikus stabilitás határa mindig nagyobb mint a statikus stabilitás határa, mivel a szinkron gép jól bírja a gyors változásokat.

Szinkronozás

A szinkron gépek általában párhuzamosan vannak kapcsolva a hálózattal.

↓  
 ezt nevezzük szinkronozásnak (párhuzamos kapcsolás)

feltételi: azonos frekvencia  
 azonos fázisrend

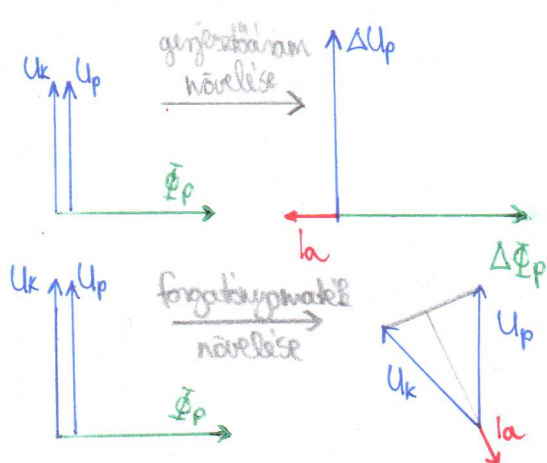
↓  
 $U_k$  és  $U_p$  szinuszgörvéi  
 essenek egybe.

azonos feszültség-amplitúdó  
 megfelelő fázisfeszültségek közötti fázisrész zérus.

A hajtó gőzturbina a generátort szinkron fordulatra hozza

A hálózat feszültségét és a gép kapocsfeszültségét illeszkedni kell hálózatra kapcsolás esetén.

Térhelésfelvétel



gerjesztőáramot növeljük → szinkron gép meddő teljesítményt képes szolgáltatni a hálózatnak. → szinkron gép szokásos gerjesztő állapota (kapacitív meddő)

nyomatékot növeljük → szinkron gép által szolgáltatott vagy felvett villamos teljesítményt változtathatjuk.

→ forgórész egyenárama

meddő teljesítményt a gerjesztőárammal tudjuk változtatni  
 hatásos teljesítményt a tengelyen bevitt nyomatékkal tudjuk változtatni

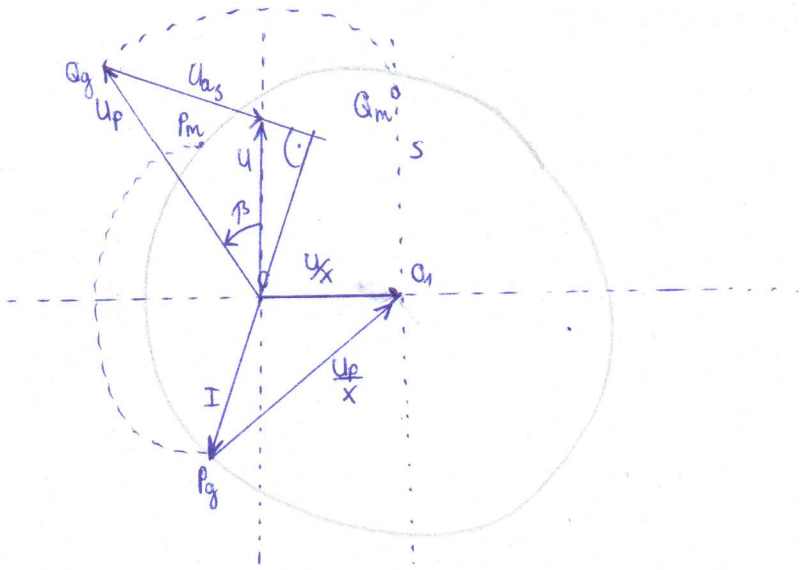
a. mechanikai → villamos energiaátalakítás az armatúrában folyik le.

a gerjesztő tekercsbe betáplált villamos energia teljes egészében Joule hővé alakul.

forgórész gerjesztőáramot növeljük → kapacitív meddő nő → meddőteljesítmény-leadás  
 nyomatékot növeljük → hatásos teljesítményt növeljük → hatásos teljesítmény-leadás

Villamos energiaátalakítás az armatúrában folyik le.

Gerjesztő tekercselésbe betáplált villamos energia teljes egészében Joule hővé alakul



$$U_k = U_p + jX_d I_a$$

$$I_a = \frac{U_k}{jX_d} - \frac{U_p}{jX_d}$$

A hossz- és keresztirányú szinkron reaktancia fogalma / kiálló pólusi 3 fázisú szinkron gép

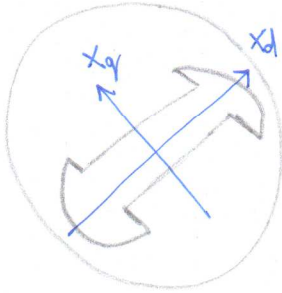
A pólusoknál hossz- és keresztirányban eltérő a légrés  $\rightarrow$  mágneses ellenállás eltérő a 2 irányban



A hossz és keresztirányban, azokhoz tartozó reaktancia eltérő

hosszirányú :  $X_d$  ;  $L_d$

keresztirányú :  $X_q$  ;  $L_q$



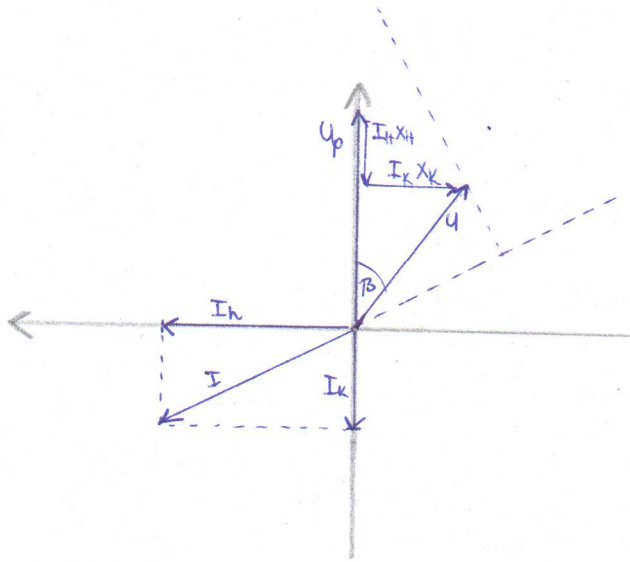
$U_p$ -ből indulunk ki

R-et elhanyagoljuk

szórt mágnt 2 részre bontjuk :  $U_s = jX_s I$

$$X_H = X_H + X_s$$

$$X_R = X_R + X_s$$



Aszinkron gépek

Működési elve

# Működési elve és jellegzetes tulajdonságai

$$\text{frekvenciafeltekél: } \omega_s \neq \omega_m + \omega_r$$

$\omega_s$ : állórészmű

$\omega_m$ : forgórész

$\omega_r$ : forgórészben indukált rotoráramok körfrekvenciája

- frekvenciafeltekelt minden mechanikai fordulatszámra kielégíti
- véges rotorellenállással átlagos nyomaték kinyerésére képes a szinkron fordulattól kivétel.
- lehet motor - generátor - fék:  $\omega_m$  és  $\omega_s$  relatív értékétől függően

álló rész → hálózati feszültség bevezetésűk  
↓ indukálás

forgórész → feszültségkényszer

- álló és forgórészáramok szimmetrikus áramrendszert alkotnak.
- forgórész áramok is létrehozhatnak egy forgóműt.

álló rész forgó mérése a forgórészben indukálással áramot hoz létre.  
az indukált forgórész áramok a forgóművel forgórész nyomatékot hoznak létre.  
szinkron forgás nem lehetséges, ekkor nincs forgórész indukálás  
álló és forgórész mérése a légrésben eredő mérése egyszeres  
együttforgás feltekelt az álló forgórész polusszám egyezése

A forgórész mérése az állórész méréssel minden fordulatszámra együtt forg

szlip: csúszási, lemaradási frekvencia

forgórész vevőtek erővel a fordulatszámával feltják a mérést elhaladni

$$s = \frac{n_2}{n_1} = \frac{f_2}{f_1}$$

A gép  $f_1 \rightarrow f_2$  frekvenciaváltó

indukálás feltekelt:  $n < n_1$ : forgórész < állórész mérése

forgórész mérése együtt forg az állórész méréssel (2 összekapadt polusrendszer)

forgórész frekvencia nagyságát annak lemaradásán szabja meg

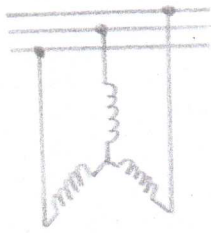
↓

2 mérő mindig együtt egyező sebességgel forg  
közös helyzetük változik a terheléssel

Az áram mindig késik a feszültséghez képest, mivel a gép mágneses áramát a transzformátorokhoz hasonlóan mindig a hálózat fedez



# Felepkése



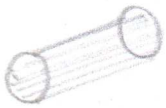
állandó (3f) a hálózatra van kötve

indításkor külső ellenállással → csúszásgyűrűs

forgórés (3f) tekercselte } üzem közben a forgórés rövideként  
 forgórés kalichás

↓ → 3f rövideként tekercseléssel helyettesítjük  
 rúdak + rövidekre gyűrűk

gömbökön nem vezetünk áramot



## Gejérségek egyensúlyának törvénye

Ervényes a gejérségek egyensúlyának törvénye

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

státor    rotor

## A Szlip és szlipfrekvencia fogalma

Szlip: csúszási, lemaradási frekvencia

forgórésvezetők közül a fordulatszámmal látják a merőt elhanyagolva

$$s = \frac{n_2}{n_1} = \frac{f_2}{f_1} \quad (\text{pólusok szám egyezős})$$

Feszültség és áram áttétel transzmisszió, impedanciák redukálása

Impedanciák redukálása:  $Z' = n_Z \times Z$ , ahol  $n_Z = \frac{n_1 (\pm_1 N_1)^2}{n_2 (\pm_2 N_2)^2}$

Forgórész indukált feszültség és szériás reaktanciájának számítása.  
 A forgórész feszültség-egyenlet - Frekvencia háfo az állórészre

$$U_{i,2} = 4,44 f_2 \Sigma_2 N_2 \Phi_m \rightarrow \boxed{4,44 s f_1 \Sigma_2 N_2 \Phi_m} \text{ indukált feszültség}$$

$$X_{s2} = 2\pi f_2 L_{s2} \rightarrow \boxed{s X_{s2}(f_1)} \text{ szériás reaktancia}$$

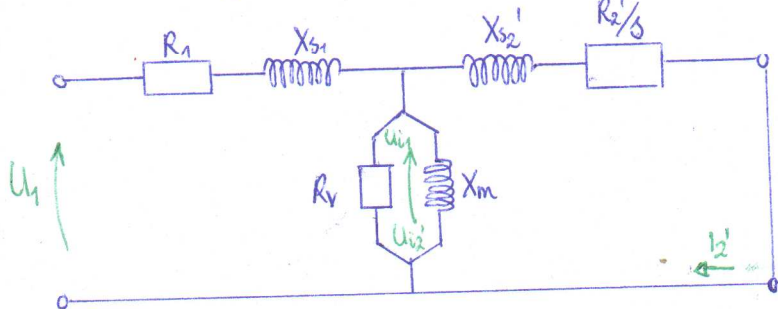
$$U_2'(s) = s U_{2,i} + R_2' I_2' + j s X_{s2}' I_2' = 0 \quad \text{feszültségegyenlet}$$

$$\boxed{f_2 \rightarrow f_1 = \frac{f_2}{s}} \text{ frekvenciatranszformáció}$$

### Helyettesítő Képcsatlós

Számításai. A mechanikai ellenállás fogalma és számítása. Paraméterek v.e.-ben

$$U_{i,2} + \frac{R_2'}{s} I_2' + j X_{s2}' I_2' = 0 \quad U_{i,2} = U_{i,1}$$

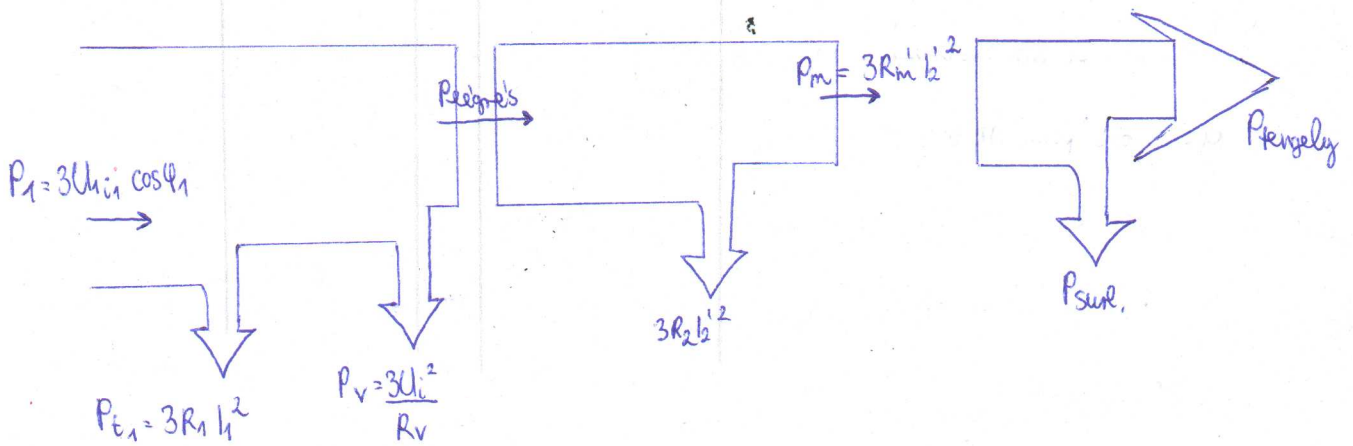
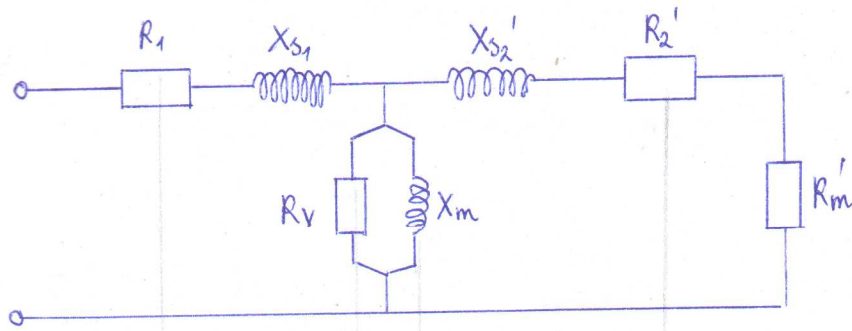


$$\frac{R_2'}{s} = R_2' + R_2' \cdot \frac{1-s}{s} = R_2' + R_m' \quad \text{ahol } R_m' \text{ a mechanikai ellenállás}$$

$R_m'$  : fengelyen leadott teljesítményt

$R_2'$  : forgórész tekercsvesztése

# Energiamérleg, Teljesítmények és a nyomaték számítása



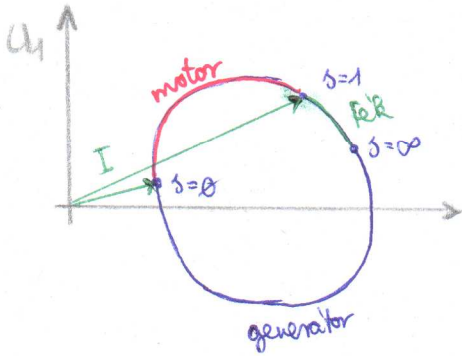
forgótest veszteségét sokszor elhanyagoljuk

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

nyomaték a tengelyen :  $M = \frac{3}{\Omega_0} \frac{R_2'}{s} I_2'^2$

$$M = \frac{P_m}{\Omega} = \frac{(1-s) P_e}{(1-s) \Omega} = \frac{P_e}{\frac{\omega_1}{p}} = p \frac{P_e}{\omega_1}$$

# Teljesítmények. Áram munkadiagram. Származtatása. Jellemző pontjai.



- $X_s$  : A kör átmérőjét a szériás reaktancia határozza meg
- $R$  : A pontok helyét az ellipszoidok szabják meg

Az áramdiagram a kör és a skálák együttl

üresjárású és az  $s=0$  pont <sup>(szériában)</sup> kb ugyanaz

rövidzártási pont az  $s=1$  pont : forgórész nyugvó indulási helyzete

A felvett primer teljesítményt  $I_1$  hatásos összetevője : körpontnak a vízszintestől mért távolsága (függőleges)  
hatásos teljesítmény : vízszintes tengely : felvett teljesítmény zérus.

légvétel teljesítmény : Zérus vonala az  $s=0$  és  $s=\infty$  pontokat köti össze  
 $\rightarrow$   $M=0$  nyomaték zérusvonala

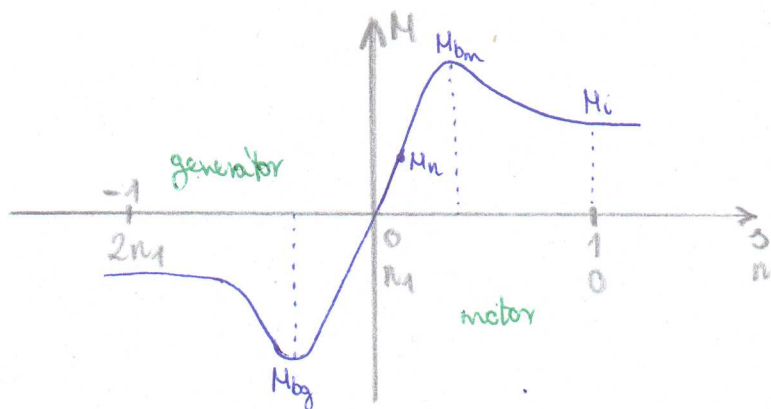
mechanikai teljesítmény :  $s=0$  és  $s=1$  pontokat összekötő egyenes zérus vonala  
 $P_m = 0$ , mech. telj. zérus vonala

súrlódási veszteség :  $P_m$ -el ||  
 fordulatszámfüggő

leadott teljesítmény :  $P_2 = P_m - P_s$

vesztésszeg : üresjárású áram hatásos összetevője jellemző

# Nyomaték jelleggörbe. Származtatás. Billenő M és s. Kloss formula

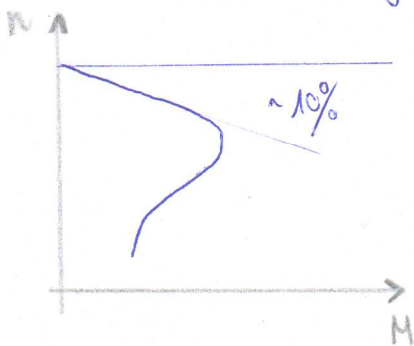


$M_n$  : névleges  
 $M_i$  : indítási  
 $M_{bm}$   
 $M_{bg}$  } billenő nyomatékok

Származtatás : köndiagramból származtathatók ki. :  $M(n)$  és  $M(s)$

billenő nyomaték : maximális nyomaték, gép nyomaték-görbé stabilisan stabilis és labilis szakaszait választja el. generátoros billenő nyomaték nagyobb mint a motoros

## mechanikai jelleggörbe



- üresjárati tartományban az aszinkron gép fordulatszámától
- üresjárattól a névleges terhelésig a gép fordulatszáma néhány százalékkal csökken.

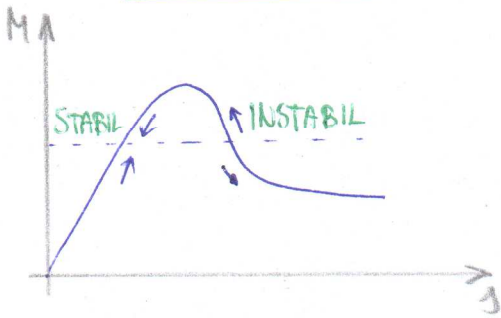
Kloss formula :

$$\frac{M}{M_b} = \frac{2}{\frac{s}{s_b} + \frac{s_b}{s}}$$

$$s_b = \frac{R_2'}{X_s}$$

# Stabilitás

## Stabilitás

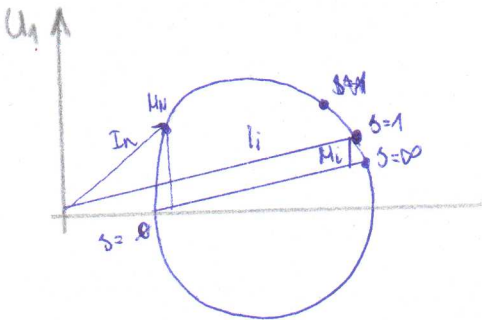


stabilitás stabil :  $s \leq s_b$

stabilitás labilis :  $s > s_b$

## Indítási állapot, áram, nyomaték, indítóellenállás

probléma: indítási áram nagy (5~10)  
indítási nyomaték kicsi



$M_i$ : indítási nyomaték

$I_i$ : indítási áram

Csúsgyorsítás gép :  $\frac{R_2'}{s} = \frac{R_2' + R_k'}{s^*} \rightarrow M_i^* = M_b$  ha  $s^* = 1$

$R_k = 4R_2$  ellenállást kell a forgórész körbe beiktatni

ellenállás beiktatása módosítja a nyomatéki görbét

$M_i$  nő

$M_b$  állandó

Kalicka's forgórészű gép indítás: csillag } allórész  $\rightarrow$  indítási áram csökken előny  
üzem: delta }  $\rightarrow$  indítónyomaték csökken hátrány

nagyobb áramvesztés  $\rightarrow$  áramkiszorítás  $\rightarrow$  forgórész  $R_{++}, X_{s--}$ , ezért  
 $\downarrow \quad \downarrow$   
 $I_{--} \quad M_{i++}$

## Fordulatszám Szabályozás

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

- ①  $f_1$  : primer frekvencia változtatása ~ primer áramirányító
- ②  $s$  : szlipváltoztatás : kábelkapcsolás
- ③  $p$  : póluszszám : póluszszám-változó gépekkel