

SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM, MŰSZAKI TUDOMÁNYI KAR

VILLAMOS HAJTÁSOK

(MECHATRONIKA MSc)



Szilágyi-Nagy Zsuzsa
(B3IMQH)

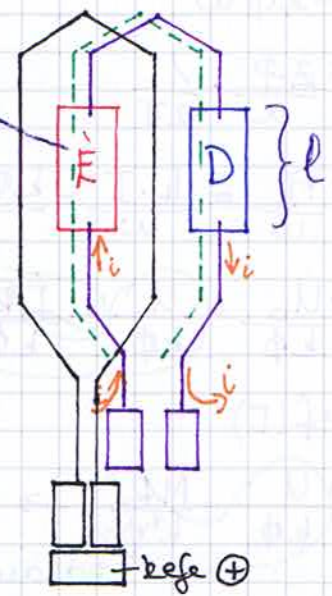
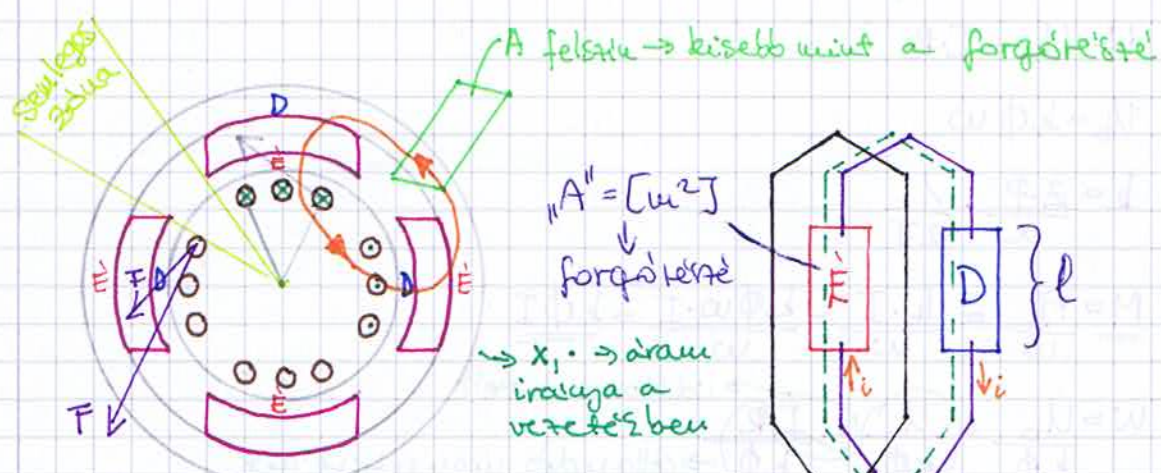
TELJES FÉLÉVES JEGYZET

DR. SZÉNÁSY ISTVÁN ELŐADÁSA ALAPJÁN

GYŐR
2013

VILLAMOS MŰTASZOK

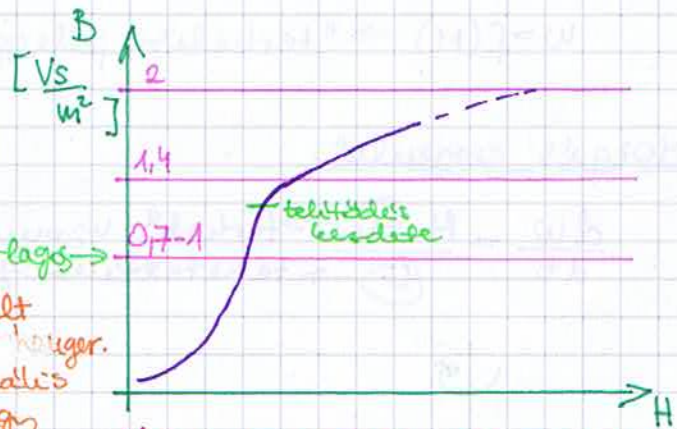
1. ÓRA



→ vezeték aktív hossza
 $F = B \cdot l \cdot I$ [N]
 ↓
 ↓ vezetékben folyó áram
 mágneses indukció [Vs/m²]

$\Phi = \text{fluxus, [Vs]} \rightarrow \Phi = B \cdot A$

$U_i = B \cdot l \cdot v$ [V]
 ↓
 ↓ m/s

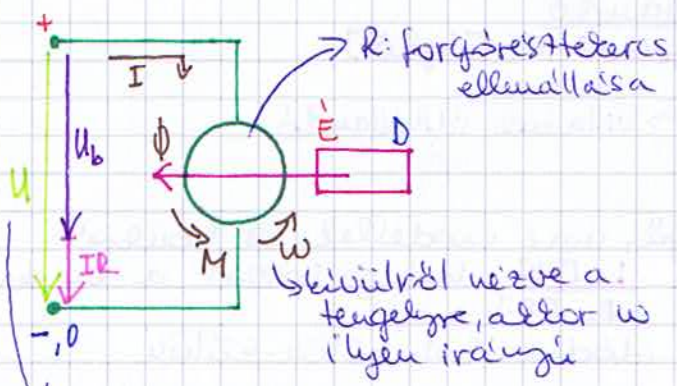


Vas mágneselési jelleggörbéje

- Segédpólusok beépítésével ki lehet küszöbölni a szemleges zónát
- Kommutátor (egymástól átlagos → és az armatúrától szigetelt kétszegmenséből felépített henger. Áramerővel közötti maximális feszültség kb 15-20V. Ez egy mechanikus egyenáramú áramforrás a csúcs pont → ki küszöbölni vagy elhagyni!

- Sztereotaxis
- Váltakozó áramot is lehet használni hozzá, mert nem állandó mágnes van, hanem tekercses
- Fordulatvezérlés → ritka vezetékű hullámszórt erő van, ezt a frekvencia hirtelenséggel folyamatosan lehet fejleszteni

PMDC motor → permanens



kapocs vagy tápfeszültség
 $U_b = \text{belső feszültség}$

→ gépellendő
 $U_b = k \cdot \Phi \cdot \omega \rightarrow \text{rad/s}$
 ↓
 $\Phi = B \cdot A$

→ összes vezeték szám
 $k = \frac{z \cdot p}{a} \cdot \frac{1}{2\pi}$

→ póluspárok száma
 $\frac{p}{a} = 1 \rightarrow \text{hurkos tekercselésű gépeknel}$

↓
 párhuzamos ágak száma

- Festített ség egyenlet:

$$U = U_b + I \cdot R$$

$$U_b = k \phi \omega$$

$$k = \frac{z \cdot p}{a} \cdot \frac{1}{2\pi}$$

$$M = \frac{P_b}{\omega} = \frac{U_b \cdot I}{\omega} = \frac{k \phi \omega \cdot I}{\omega} = \underline{k \phi I}$$

$$\omega = \frac{U_b}{k \phi} = \frac{U}{k \phi} - \frac{I R}{k \phi}$$

→ változó értékek
→ állandó mennyiségek

$$\omega = f(I)$$

$$\omega = \frac{U}{k \phi} - \frac{M R}{k^2 \phi^2} \rightarrow I = \frac{M}{k \phi}$$

→ állandó mennyiségek

$\omega = f(M) \rightarrow$ "terhelési jelleggörbe"

- Mozgás egyenlet:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M - M_t}{J} \rightarrow \text{terhelés nyomaték}$$

→ tehetetlenségi nyomaték $[kg \cdot m^2]$



$$J = \frac{m r^2}{2}$$



$$J = m r^2$$

↳ Milyen változik a sebesség?

Ha $(M - M_t) \neq 0$

2. ÓRA

• Elektromechanikai időállandó

→ tehetetlenségi nyomaték $[kg \cdot m^2]$

$$T_{em} = \frac{J R}{k^2 \phi^2} [s]$$

↳ villamos időállandó

csak tájékoztató jellegű, mai modellel és kouléit
gépadatak a J és az $\frac{L [mH]}{R [Ω]}$ hányadosal a mecha-

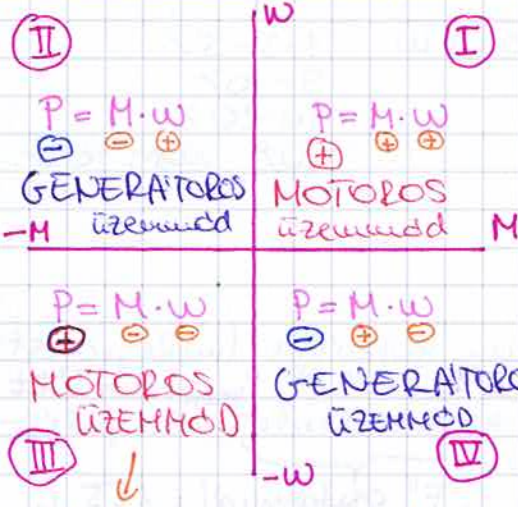
nikai és a villamos időállandót külön-külön
tartalmazzák.

• Ábrázolás:

→ $\omega - M$ ábrák

→ ω, U, I, M ábrák az idő függvényében

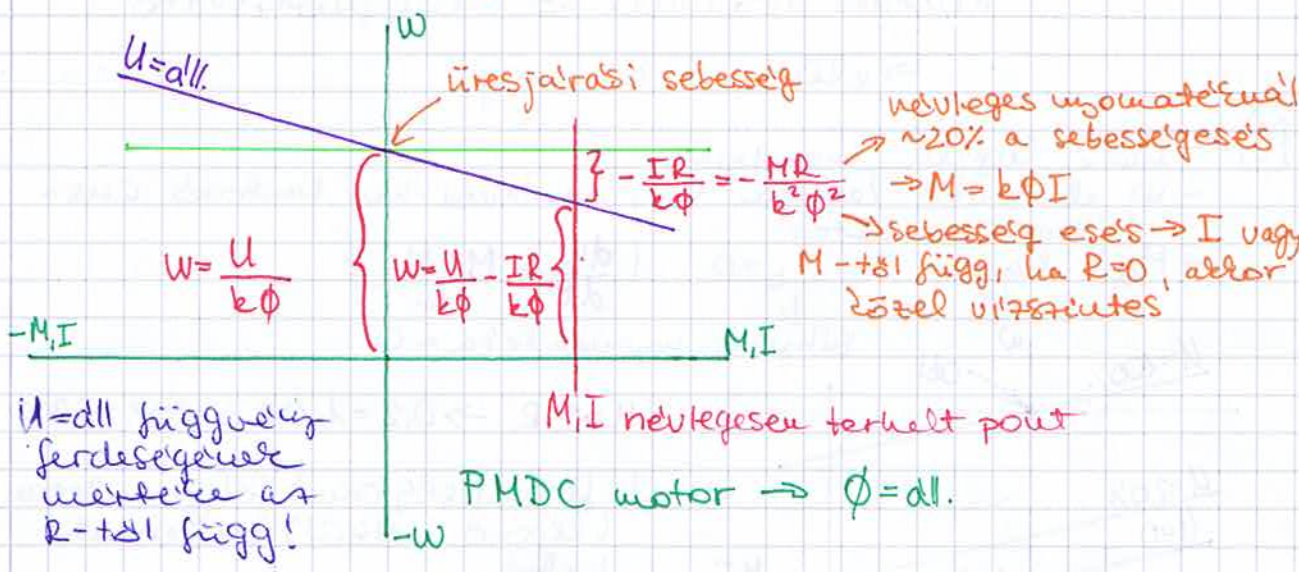
Motorok síkenergiai



Neem minden villamos gép használja az összes síkenergiait.

→ határemeléken villamos felkel felkelés

autó határemelése (fordított motoros üzemmód)

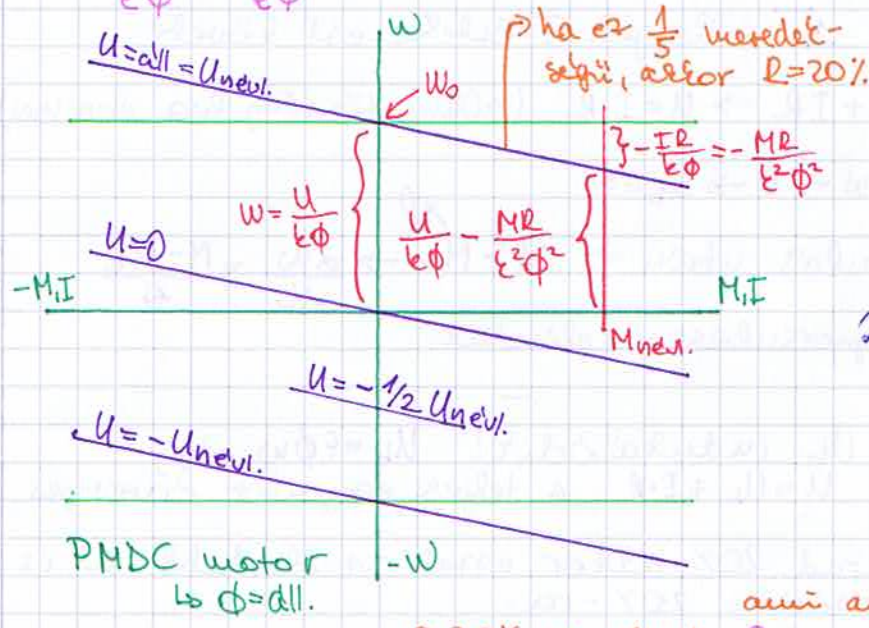


névleges nyomatékmal ~20% a sebességese $\rightarrow M = k\phi I$
 \rightarrow sebesség esése $\rightarrow I$ vagy M -tól függ, ha $R=0$, akkor közel vízszintes

$U = \text{all}$ független fordulatszám értéke az R -tól függ!

$U = U_b + I \cdot R \rightarrow$ ha $R=0 \rightarrow$ üresjárás

$U = U_b$
 $\omega = \frac{U_b}{k\phi} = \frac{U}{k\phi}$
 $U_b = k\phi \omega$



1. ÜRESJÁRÁSKOR

$U = U_b + IR \quad (I=0)$
 \downarrow
 $U = U_b$

2. TERHELT ÁLLAPOTBAN,

ha $R = 20\%$
 $100\% = 80\% + 20\%$
 $U = U_b + IR$
 $20\% = 0,2$

ami az úgynevezett névleges $R_{\text{névl.}} = \frac{U_{\text{névl.}}}{I_{\text{névl.}}}$, ha ezzel

építme, nem volna használható, $U = U_b + IR \rightarrow R = 1,2 \rightarrow 10V = 0 + 10A \cdot 1,2$

R% értékei:

- hajd, mozdony	10e - 1000 €W	1-3-5%
- egyéb jármű	100 €W	5-10%
	1 €W	10-20%
	10 €W	20% vagy több

Tipikus üzemi esetek:

→ indítás → feltételei:

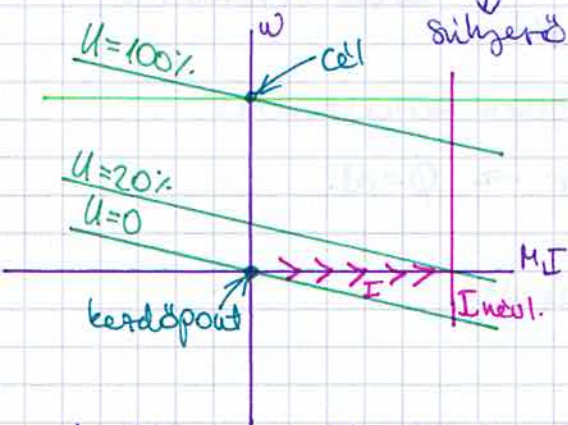
↳ maximális áram korlátja (melegedéstől)
 cél: $P_{veszt} = I^2 R$ → $W: P_{veszt} \cdot t = I^2 R t$ →
 → melegedés → hőemelkedés → öregedés →
 → katasztrófa
 "F" osztályúak: 155 °C
 "(H) → 180 °C

növekedő árammal az ideig. átl. értékek

↳ elérendő sebesség

- I_{max} legyen $I_{növleges}$
- w elérendő legyen w_0 , az $U_{növ}$ -ket tartozó üres-járási w értéke
- M_{ker} legyen 0, $M_t = 0$ ($\frac{dw}{dt} = \frac{M - M_t}{\theta}$)

↓
 szükséges nyomaték = 0



$U = I \cdot R \rightarrow 0,2 = 1 \cdot 0,2 \rightarrow 20\% = 1 \cdot 20\%$

↑ feszültség miatt folyamatosan (lépcső nélkül) udítottatható.

↑ 20% -os U elérése közel 0 idő alatt is megtörténhet.

→ 1.) U növelés \uparrow jelleggel, I értéke ezt követi

$U = U_b + I R \rightarrow U = I \cdot R$ (→ Ohm törvény lesz érvényes)

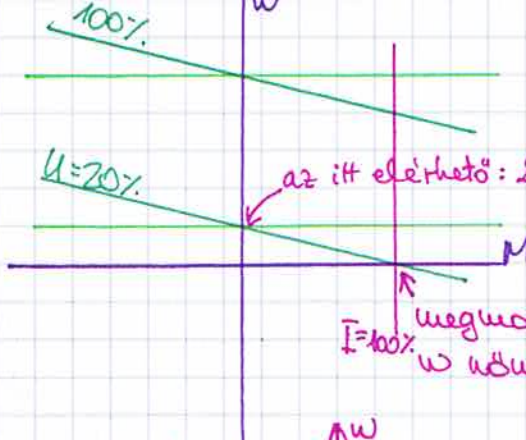
↓
 $\epsilon \phi w \rightarrow 0 \rightarrow U_b = 0$

→ 2.) Megmozdulás után → $M > M_b \rightarrow \frac{dw}{dt} = \frac{M - M_b}{\theta}$

$\frac{M}{\theta}$ szöggyorsulással elindul

Ha forog: U_b indentalódik! $U_b = \epsilon \phi w$, így
 $U = U_b + I \cdot R$, a teljes egyenlet érvényes

Ha U marad 20%, akkor ezzel az elérhető w is korlátozódik 20%-ra.



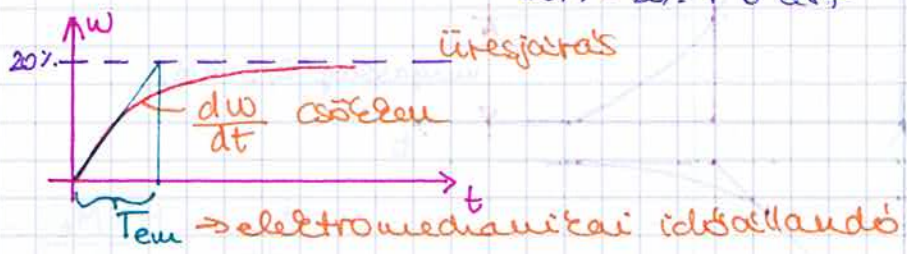
Az w növekedésével U_b nő, és ha $U=all$, U_b növekedése miatt az IR -re jutó hányad esni fog.

$$U = U_b + IR$$

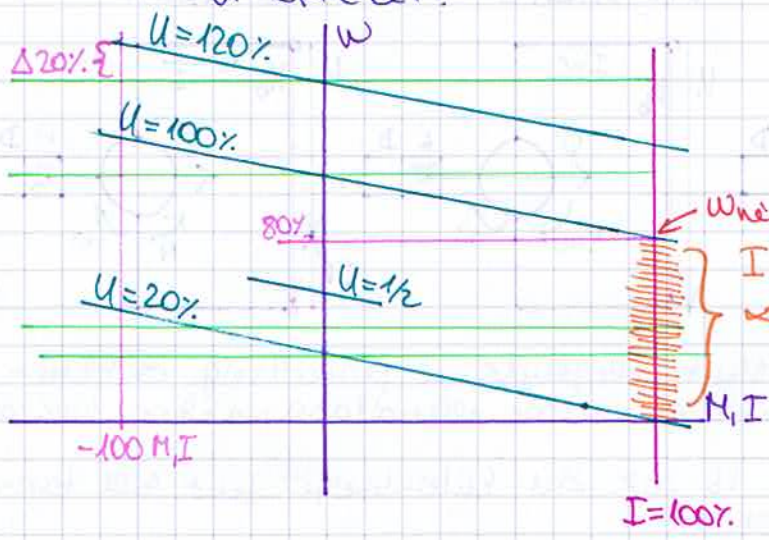
\downarrow \downarrow \downarrow
 all. U_b csökten
 $20\% = 20\% + 0$

$$M = \xi \phi I$$

\downarrow \downarrow
 $100\% = 100\%$



→ További w növekedés / gyorsítás:
 ↳ folyamatos U -növelettel fixáramú tehető
 ↳ áramstabilizációt használunk, amely I esésekor U meg-növeletet alkalmazza, és I vissza all az előző értékre. Ha eléggé érzékeny, I legfeljebb 1%-kal kisebb, mint az előzőt, de folyamatosan emeli U értéket!

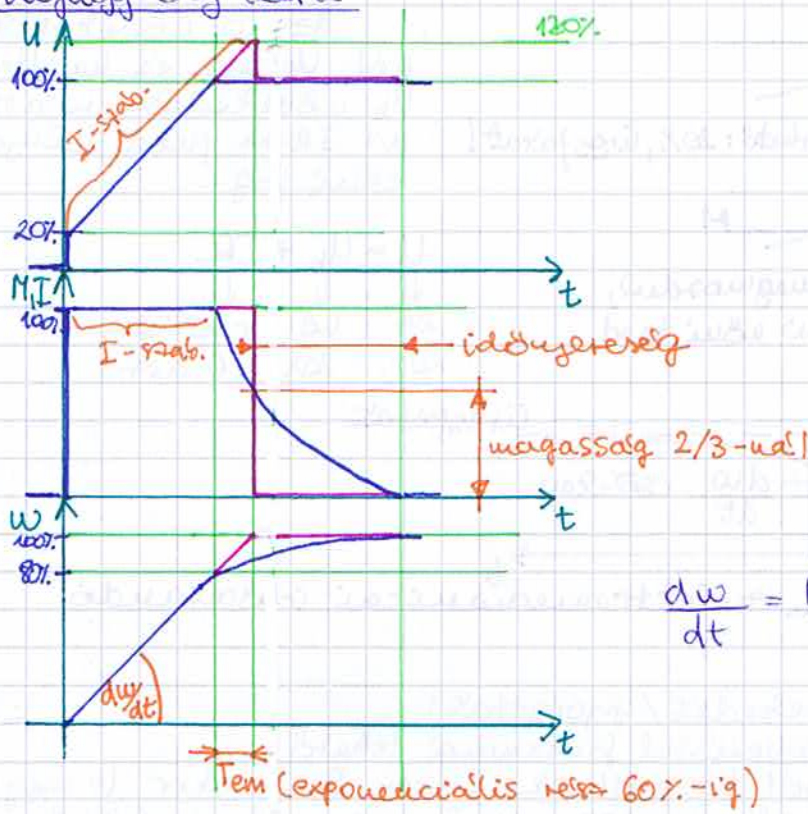


Pl. robot hajtásnál
 I stabilizáció hatása
 w fixum!
 $I=all$. lesz

Az w értéke az $U=100\%$ -os, de terhelt pontban $w_{növ}$.
 Választás: $U=100\%$ -nál maradva w exponenciális jelleggel nő w_0 -ig. Vagy ha elégtelen w növelet alarunk, $U > 100\%$ feszültséggel $I=all$ mellett w_0 -ig gyorsíthatunk $\rightarrow U=120\%$. Ekkor w_0 értékelése kell (sebesség stabilizáló rendszer), ezzel w_0 elérésekor U -t vissza kell ejteni $U=100\%$ -ra.

3-ORÁ

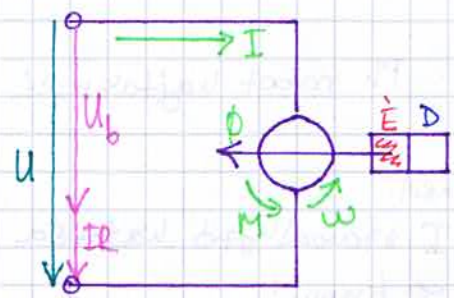
Időfüggvények ábrája



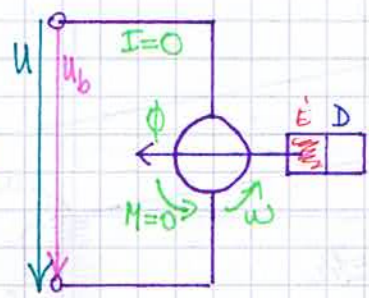
$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M - M_t}{J} = 0$$

A féküzembe állás / kerülés

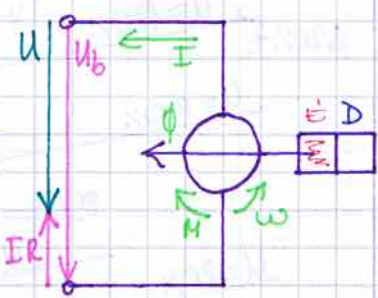
MOTOR ÜZEM



ÜRESJÁRÁS

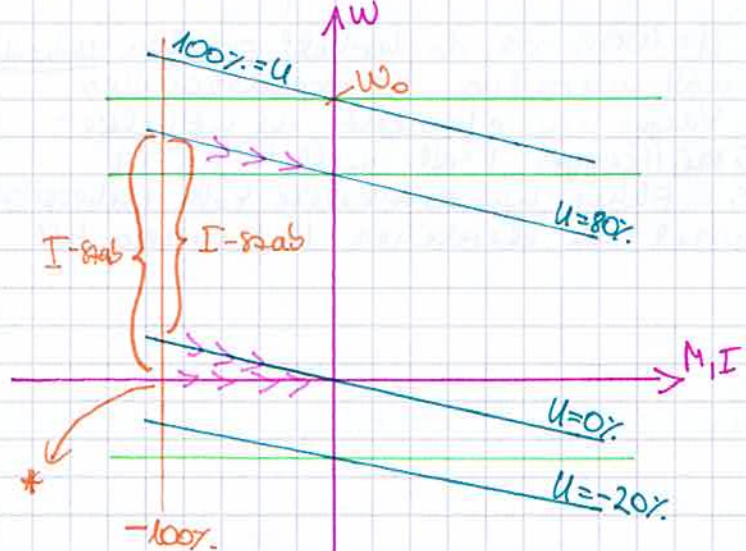


FÉKÜZEM



A féküzembe kerüléshez elegendő a feszültség csökkentése. Ha az E_b 20%, mint a motor ellenállása, akkor 100%-os I és M fog létrejönni.

Tartós fékezéshez a E_b 20% ΔU túllépéseget fejt kell tartani az U_b és az U között.



* ω-erősítés kell
↓
meg helyzet és pozíció erősítés is lehetséges, a valódi megállás általában fontos (túlendítés nélkül)

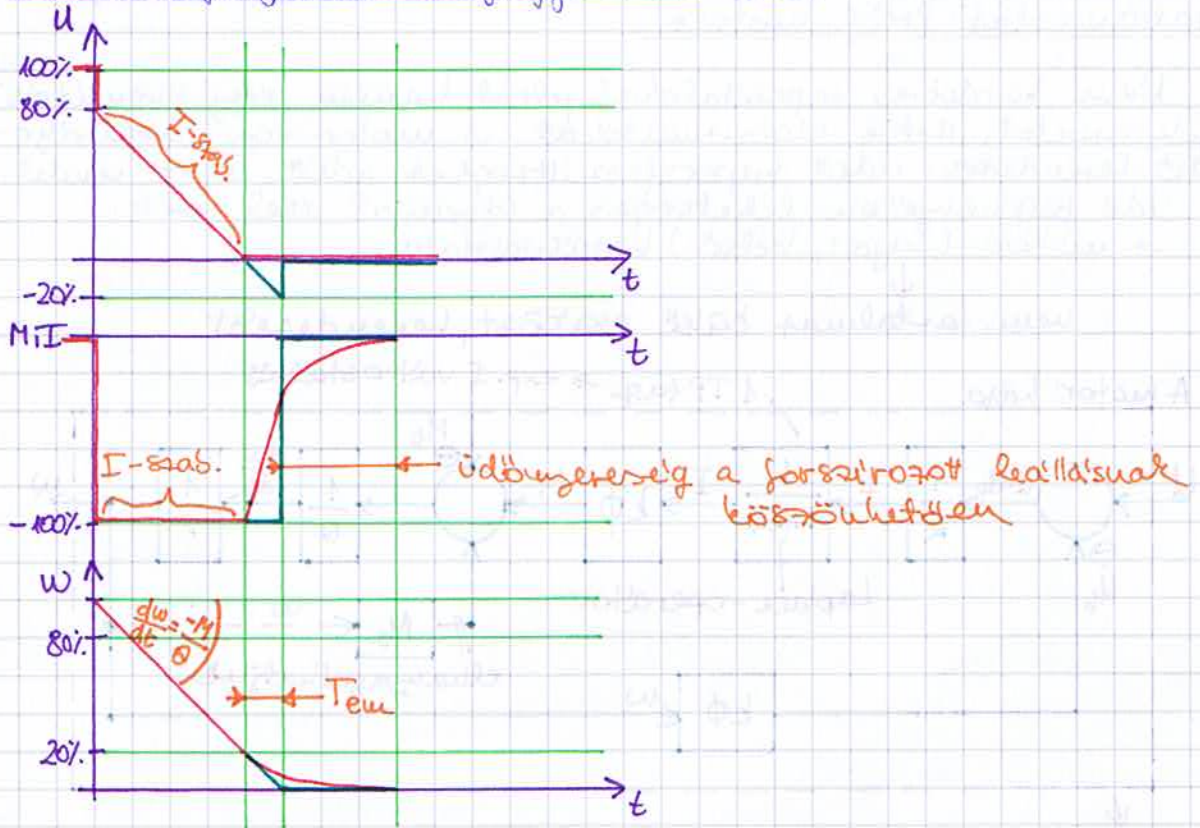
↓ az a vonal ott van, ahol a -20% motor az x tengelyt

- Feltétel:

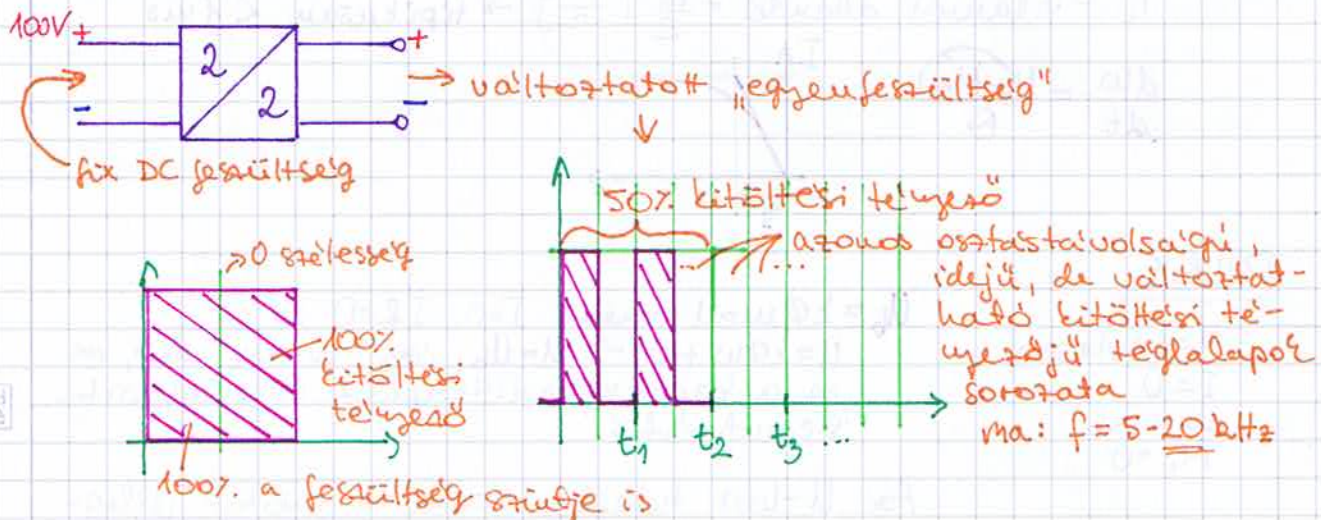
Arammal visszafelé is folytania kell, ezért a tápegységnek ezt lehetővé kell tennie (alku, stb megjelöl, diódás egyenirányító NEM). Általában a tápegység augsz üzregdes üzemiúvel kell lennie, mint a motor, amit kajt (vagy tölt). Igy auto, robot, stb. - 4/4-es üzemiú tápegységet igényel, és ventilátor = 1/4.

A visszafelé folyó áram a mai tápegységeknel általában annal a beemeneti (nem motor oldali) feszültséget fogja megemelni a visszafelé haladó energia és teljesítmény miatt. Ezt a feszültségemelkedést akkora töltésnel energia továbbításra használjuk. Ha nincs akku, akkor a villamos hálózat felé csak kb. 100kW felett lehet/szoktál továbbítani (energia visszatáplálás), és ezt teljesítményt ellenállásra viszunk.

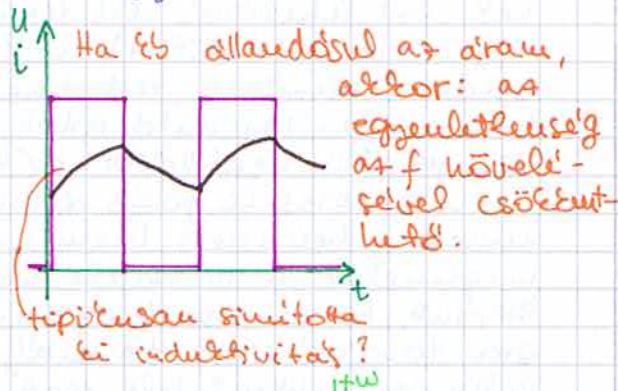
"Feltételi folyamat időfüggő" ábrákban



A feszültség változtatásánál elve:
"Impulzus - szélesség szabályzás/változtatás/moduláció"

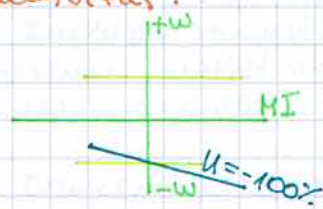


Ilyen nagy frekvenciával a motor nem 0 induktivitása miatt az áram nem ilyen lesz, hanem a feszültség nagysága szerinti exponenciális függvénye.



• Motor fordulási váltása:

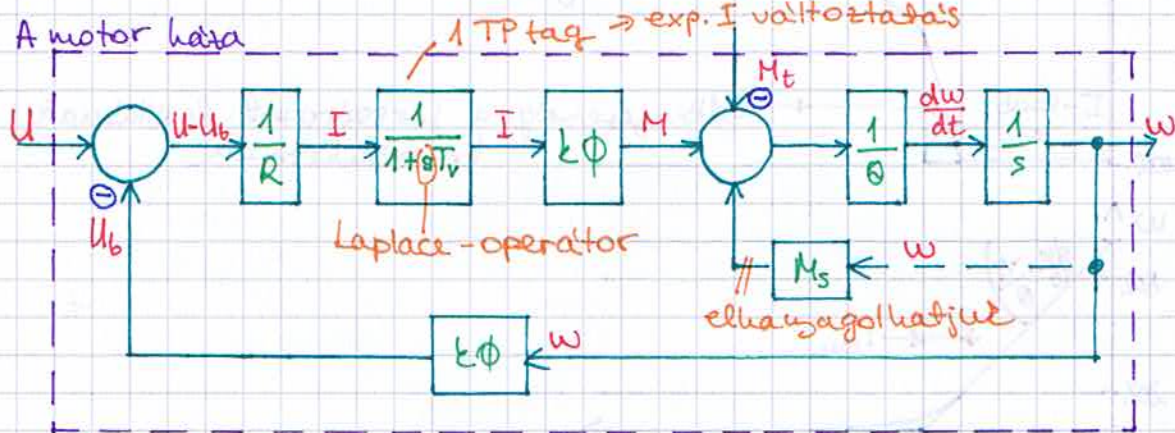
- a feszültség megfordításával



• Hatásvázlat: PMDC motoré

Nem hardveres kapcsolatot jelent, hanem egy számítási folyamatot, illetve algoritmusokat. A motor egy ösztályozó berendezés: adott kárcsfeszültséghez adott ω_0 -t rendel. Idő függvényében lehetséges a folyamat áttekinthetése. A motor (saját, belső) hatásvázlata.

↓
nem tartalmaz külső erőforrást, berendezést



↓
motor leggyakrabban valóssal való

$$\Phi = \text{all} \quad s = j\omega$$

$$T_v = \text{villamos állandó} = \frac{L}{R} \left[\frac{\text{H}}{\Omega} \right] \rightarrow \text{tipikusan} < 1 \text{ ms}$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M - M_t}{J}$$



Példa:

$U = \text{kevleges}$
 $I = 0$
 $\omega = \omega_0$
 $M_t = 0$

$U_b = \Phi \omega = U$, mert $I = 0, IR = 0$
 $U = \Phi \omega + 0 \rightarrow U = U_b$, így $\omega = \omega_0$ lett, és ez a kárcsfeszültséghez a jelleggörbe szerinti érték.

Az U -hoz tulajdonképpen a motor jelleg-

görbejét rendelni, azaz pedig bármely I vagy M szerinti w leolvasható vagy számítható. Ha ezek valami miatt nem állnak fenn, a hatásváltoztatásban egy ösztályozó folyamat indul meg, ami az ösztályozó értékek felé viszi a működést.

pl.) növeljük meg U értéket 20%-kal.

$U \uparrow$, $U - U_b \neq 0$, $I \neq 0$, $I = 100\%$ lesz (mert $R = 20\%$ itt is),
 $I \Rightarrow M$ lesz, $M = 100\%$, $M - M_t = M$, mert $M_t = 0$, $dw/dt = M/\Theta$,
 valós lesz, $dw/dt > 0$, $w \uparrow$, ezért
 U_b is nőni kezd, és az $U - U_b$ csőke-
 keuni fog, I, M és dw/dt csökkennek.
 W addig nőhet, míg az $U - U_b$ különbség 0-ra nem esik.
 Ekkor $I = 0$, $M = 0$, $dw/dt = 0$ lesz, w allandósul, és a
 20%-kal növelt w_0 értéke lesz.

eddig 0 volt

pl.) 20%-kal az U csökkenése, és az eredeti w_0 felértése fog bekövetkezni.

Ha $U < U_b$, $U - U_b \ominus$ lesz, I negatív, M is \ominus , $dw/dt \ominus$,
 w esni kezd.

Ettől kezdve U_b esése miatt az $U - U_b$ különbség csökken,
 I, M , dw/dt csökkennek, a lassulás mértéke csökkeni
 fog. Ha U_b értéke elérte U értéket a további w csök-
 kenéshez nem lesz áram, M , dw/dt sem.

Egy új, kisebb w_0 allandósul.

pl.) M_t legyen 100%, a többi ugyanaz.

w sebesség esni kezd, a $dw/dt = (M - M_t)/\Theta$ szerint, az
 w esni fog.

E miatt U_b is esni fog ($U_b = k\phi w$), az $U - U_b$ különbség nőni
 fog 0-ról kezdve, megjelenik az I, M , dw/dt -ben az w
 esés mérséklődése. w meg esik, emiatt $U_b \downarrow$, $I \uparrow$, $M \uparrow$,
 dw/dt változása kezd a 0-ra csökkenni. $dw/dt = 0$, ha
 M annyira megnőtt, hogy $M = M_t$ legyen -
 új w jön létre.

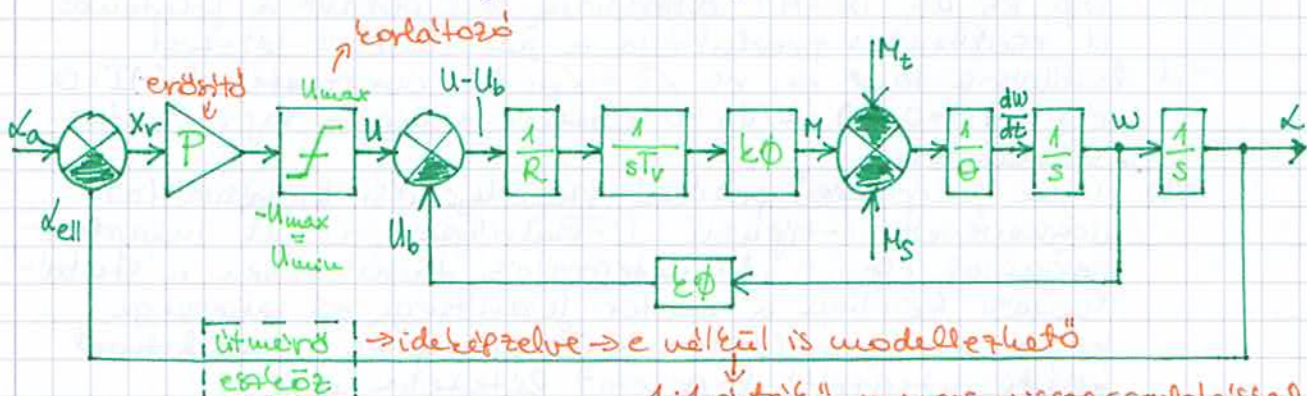


PWM \rightarrow impulzus szélesség moduláció \rightarrow kiiktatja a régi ellenállás
 változtatásos módszert

4. ÓRA

• pozíció szabályozás hatásváltozata PMDC motornál

- adott helyre kell eljutnia \rightarrow szögfordulással adott α [rad].



1:1 értékű mérés visszacsatolással

$\Delta \rightarrow$ villamos felkép, de a $\rightarrow \square \rightarrow$ is használható, illetve $\frac{a}{b} \rightarrow \frac{a}{b}$

Szűrőselejes bővítéssel:

→ $\frac{1}{s}$, integrálás a sebességből újra

→ alap és ellenőrző jel létrehozása (**pozíció szabályozó**)

→ erősítő (általában "P" jellegű, analógos erősítőt képviselnie bele, ez sok feladathoz elegendő)

→ feszültségkorlát: helyettesíti a PWM jellegű tápegységet és átírhatóvá is teszi a korlát értéket. Az átírás nem mindig egyszerű.

Feszültségmentes a motor hatásvázlat felőli ága és I illetve M-mentes, ha a pozíció szabályozási körben az $\lambda_a = \lambda_{ref}$ -vel. Ekkor az λ meglett möghelyzet épp a kívánt érték. (Ehől akkor lesz eltérés, ha pl. mozgatót kocsiról van szó, amely nem vízszintes úton közlekedik, és a lejtőben megfartás adott helyen villamos nyomatérlet igényel. Vagy robot k-e fel emelésakor.)

Feszültségkorlát hasznossága:

↳ reális korlátok közé teszi az U értéket (mert a tápfeszültség maximumát be kell írni).

↳ lehetővé teszi a sebesség csökkentését az U korlát erőteljes csökkentésével. pl. 0,01 rad/s is betartható vele → ha a motor alkalmas rá (általában nagyobb áttételt építünk be, hogy az egyszerűes mozgás fejeződjön)

- Ha $\lambda_a \neq \lambda_{ref}$ -vel, azaz (még) nem értük el a kívánt pozíciót, akkor $\lambda_a - \lambda_{ref} = x_r$ felerosítődik, feszültség tartalmat kap a modellben (valós esetben pedig feszültség erősítő bemenetét adja [VJ-ban]).

- Ha a jel nagyobb volna, mint a korlát maximuma, csak a korlátozott érték jelenik meg, de már U feszültségűen a korlátozósszer bemenetén.

- Ha pedig kis sebességet akarunk előírni, a feszültség korláttal tudjuk megenni. (Valószínűleg ez a korlát a PWM működésével fog teljesíteni.)

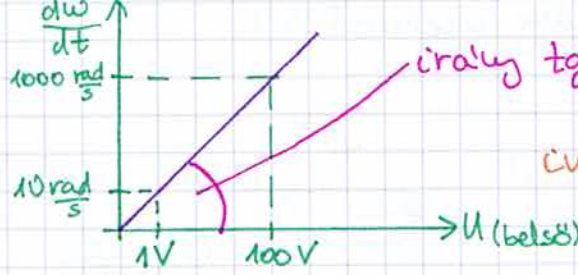
- A kívánt U kapcsolófeszültség a motor eredeti saját hatásvázlatában áramot, M-et, dw/dt -t és w -t idéz elő.

- Az λ (λ_{ref}) növekedésével az $\lambda_a - \lambda_{ref}$ értéke csökken. Amikor U csökkentését kezd el, a motor felküzembe lép, és az w -M, I ábrában bal oldalt a folytonos U csökkentés produkálja a folyamatos fékzést.

- Itt hallásig tart ez, és $\lambda_a = \lambda_{ref}$ bekövetkeztével $(-)\dot{I} = 0$ és $(-)\dot{M} = 0$, $(-)\dot{dw}/dt = 0$ listiuel a motor saját hatásvázlatában.

- Az ilyen felépítésű pozíció szabályozási hatásvázlat úgynevezett 1-típusú I^{integrálás}-szabályozás, annál tulajdonképpén együtt. Itt integrálási tagot ebben a szabályozási körben a motor feszültsége és sebessége közti analóg, illetve a feszültség és a möghelyzet közti integráló kapcsolót létezése adja.

$\frac{d\omega}{dt} \rightarrow$ sebesség:



integrálási átviteli tényező

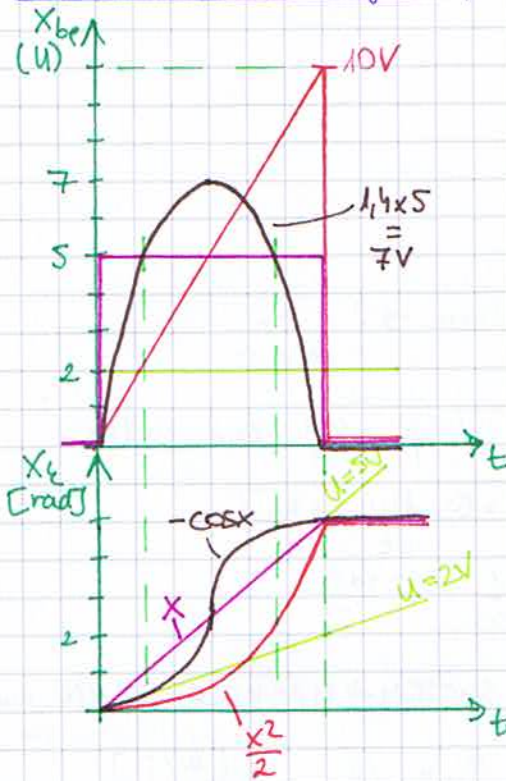
- Ha tagkapcsolatokat vesszük:

$X_{be} = U$
és $X_e = \alpha$ megfeszítés [rad]

$X_e = A_i \int_0^t x_b dt + X_{e0}$ → a kiadatokban volt rögzített helyzet

a motor működési tartalmára

• Példák az I-tag kapcsolathoz:



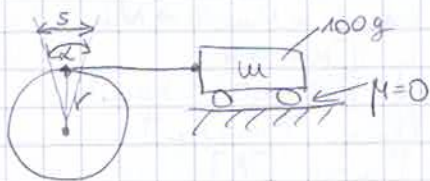
A DC motor U és K kapcsolata I-tag:

- az K szög-helyzet előállítását U bemenőjével idő szerinti integrálta.
- A szabályozási kör integráló, ha van benne 1 db nem visszatartott I-tag.
- A pozíció szabályzó is az, ha az erősítő csak P jellegű. Ha I is van csatlakoztatva, akkor a kör 2x-es integráló lesz.

- Az I szabályozási kör előnye, hogy az alapjelt: (K_a) megfelelő szabályozott jellemző (x) itt az kell pontosan azonosra venni, tehát a kiadatok és a teljesült azonos lesz, de csak akkor, ha nem lép fel zavart

külső hatás, pl. lejtő, stb... , ahol a súlyos hatás $M \neq 0$ igényt fog jelenteni az adott helyzetben.

Beadandó leíró feladat: Mikrosteppes asztal (tárgylemez) mozgása



$r = 1 \text{ cm}$
 $s = 1 \text{ mm}$
 $K = 0,1 \text{ rad} = 5,75^\circ$



ha nem egyenletesen csillagul a mozgás felcsúszások (RM), akkor javítani kell:

- K erősítés ↑
- motor cseré
- állítási beállítás



→ tehetlenség nyomaték:



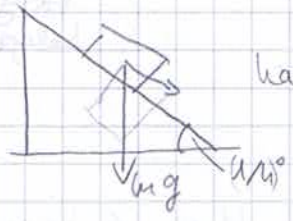
$$\Theta = mr^2$$



$$\Theta = \frac{mr^2}{2}$$



$\epsilon \Theta \rightarrow \epsilon$ (árammennyiség) \rightarrow Faulhaber táblázat \neq HT $\rightarrow \epsilon_i \rightarrow dt$ kell alakiltni



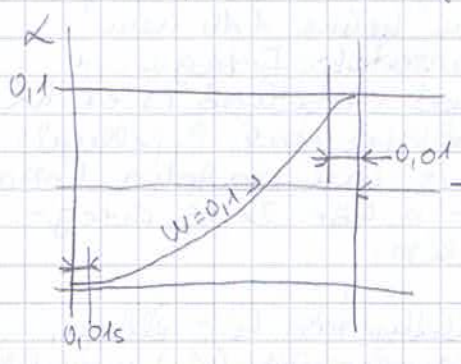
ha kékvém van, akkor létezik esetleg is megoldható a házfeladat

Teljes a feladat

5.02A

$$m = 100g + 5 \cdot \text{nevsorszám} = \dots \text{ kg}$$

$$\Theta = mr^2 = (\text{kgm}^2)$$



$v = ?$ $s = 1 \text{ mm} \rightarrow ? \text{ m}$
 $? \text{ rad/s}$
 $\omega = \frac{v}{r} = \frac{0.1}{1} = 0.1 \text{ rad/s}$
 $M = \Theta \cdot \frac{d\omega}{dt} \text{ [Nm]}$
 $\frac{d\omega}{dt} \rightarrow \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{0.1}{0.01} = 10 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$

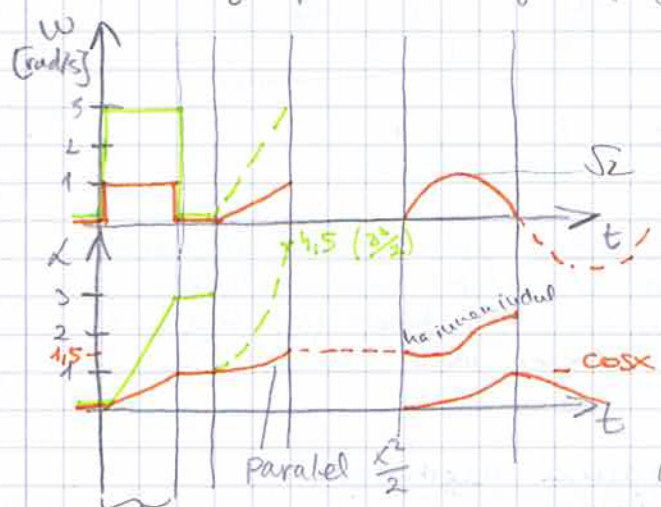
→ Matlab → simuline → SIMPOWER SYSTEM → MACHINE → PMDC motor

nehely aultás: villamos időállandó: $T_V = L/R$ [H/Ω]
 szűrés nyomatékos: $M_R = C \cdot n_0^2$ $C = 1,1164 \cdot 10^{-10}$

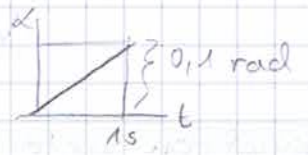
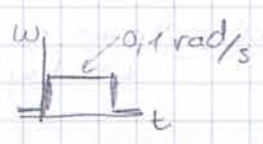
- | | |
|-------------------------|--|
| U _{nevi} | U [V] |
| huzal ellenállás | R [Ω] |
| üzemjárási fordulatszám | n ₀ [rpm → rad/s] |
| szűrés nyomaték | M _R [mNm → Nm] |
| sebesség konstans | k _u [rpm/V → (rad/s)/V] |
| nyomaték konstans | k _M [mNm/A → Nm/A] |
| forogási induktivitás | L [mH → H] |
| forogási tehetlenség | J [gcm ² → kgm ²] |
| maximális nyomaték | M _{max} [mNm] |
| maximális áram | I _{max} [A] |

• Ut görbét előállítás: a sebesség-idő függvény integrálásával

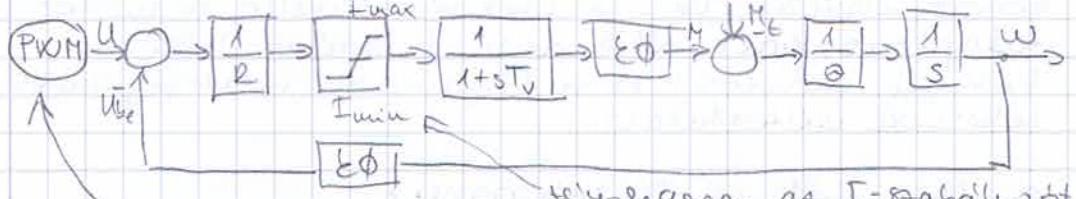
- Nehány tipikus integrál függvény:



Hf-ben est kell használni

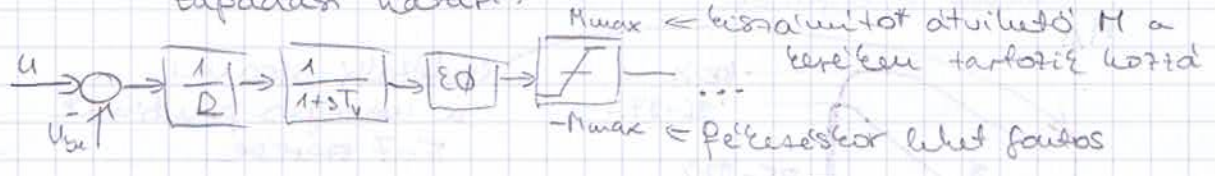


• Korlátozások beiktatása a hatásváltókban
 Hozgátori: áramkorlát, a motorokra időtartó

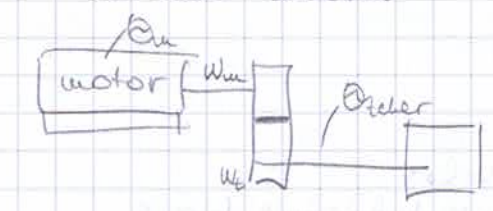


Hardveresen az I-stabilitást képtelenség ide
 Hf-ben nem kell áramstabilitás
 feszültség korlát kell

↳ feszültség korlát: potenciál stabilitásnál megengedhető maximális sebességet állítani be vele.
 ↳ bármilyen jel korlátozása: alkalmasabb, ha annál kevésbé tartalmú van. Így pl. motor üzemelés korlátozható a fűszárműnél akkorára, mintha átérné a tapadási határt.

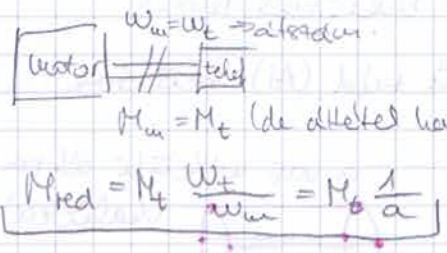


• Teljesítményi üzemelés átstabilitása a motor tengelyére, ha van állék



$$i = a = \frac{w_m}{w_g}$$

• teljesítményi üzemelés átstabilitásához a teljesítményrel arányosággal használjuk fel.



$$P_t = P_{red} \quad M_t w_t = M_{red} w_m$$

$$M_{red} = M_t \frac{w_t}{w_m} = M_t \frac{1}{a}$$

• teljesítményi üzemelés átstabilitásához a motoros energiát változtatás.

$$E_t = \frac{\Theta_t \omega_t^2}{2} \quad E_{red} = \Theta_{red} \frac{\omega^2}{2} \quad \left[\Theta_{red} = \Theta_t \frac{1}{a^2} \right]$$

Ha $\zeta \neq 1$, $\Theta_{red} = \Theta_t \frac{1}{\zeta a^2}$

Lépcsőköz választás:

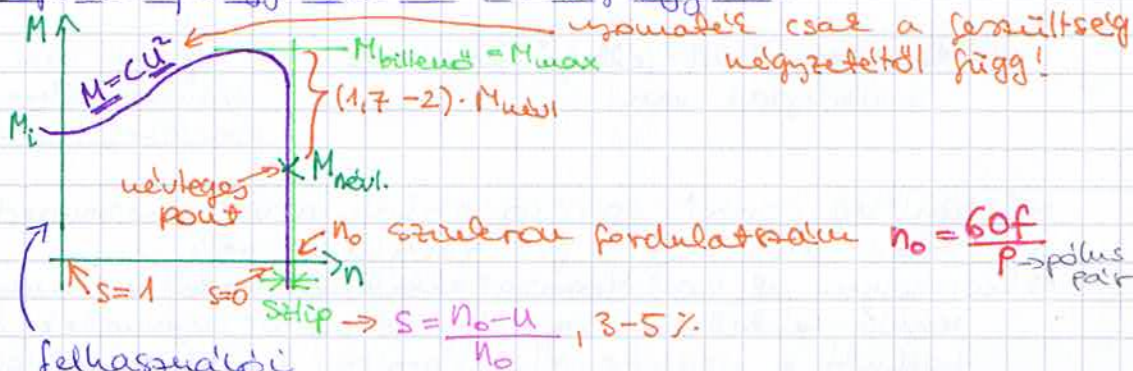
Az önműködésen beállítódotat választani! Ha nem, néznie kell előírni a lépcsőköz számértékét felmérésben, és a numerikus integrálás típusát (Euler, ...) → Ez 15 file mértékű van!

Változó áramú motorok és hajtások

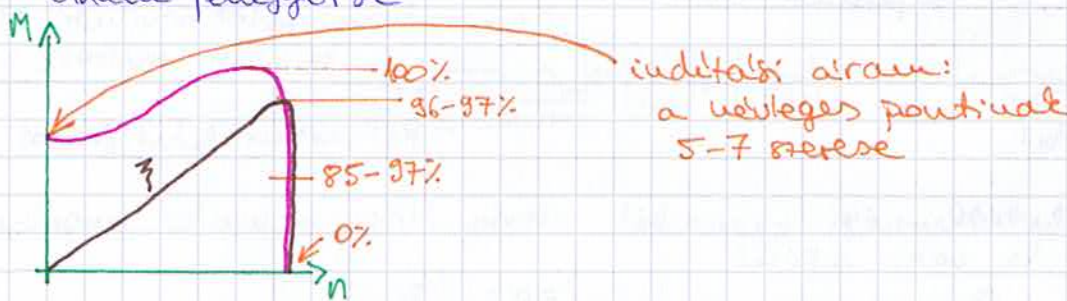
Ásszínű motoros hajtások

↳ M_a: frekvencia változó üzemi motor, ezzel $f = 0-100$ Hz között állítható be. Itt frekvencia változó a motor tulajdonságait átrendezi, lehetővé teszi a könnyű indítást és a folyamatos veszteségmentes sebesség változtatást.

Tipikus jelleggörbék és összefüggések:



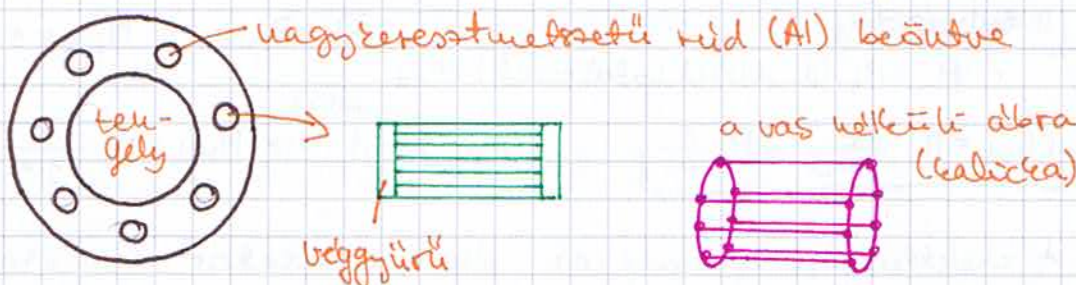
felhasználói oldalán jelleggörbe



indítási áram: a vételes pontnál 5-7 szerese

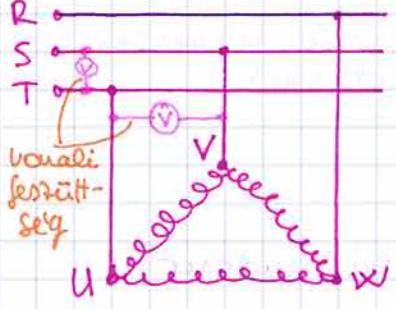
Felépítés és működési elv

- Allórést: háromfázisú tekercselés
- Forgórész: általában úgynevezett kalickás típus



↳ Pelötése:

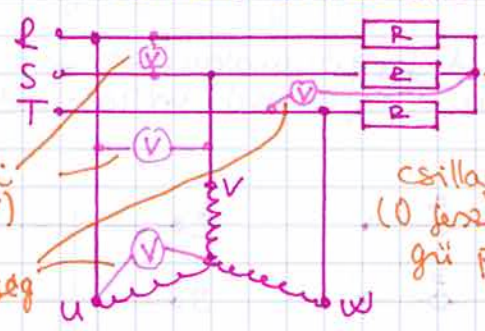
DELTA KAPCSOLÁS



vonalis feszültség

0 - a motor jelképe

CSILLAG KAPCSOLÁS



vonalis (400V)

fázis feszültség (240V)

csillagpont (0 feszültségű pont)

$$U_{fázis} \sqrt{3} = U_{vonal}$$

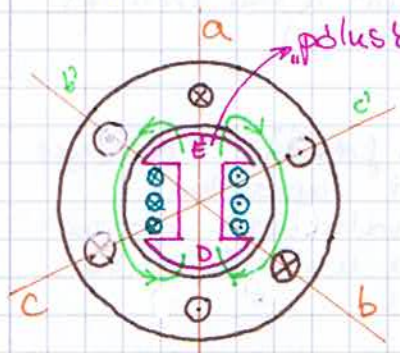
↳ az állórészt tereléseire kapcsolt 3 fázisú feszültség egyenvevett forgó mágneses tereket hoz létre, amelynek forgási sebessége egyenvevett $n_0 = \frac{60f}{p}$ szinkron fordulatszámmal

↳ a kalicka mélyében az aktuális sebességet megfelelő $U = B \cdot l \cdot v$ feszültség indukálódik.
↳ csak 4-5% slipet megfelelő

↳ a zárt kalickára áramot folytat a rudakban, és az állórészt mágneses terevel kölcsönhatásban, a rudakban $F = B \cdot l \cdot i$ elterelő erő keletkezik.
↳ szinkronosan váltakozó áram

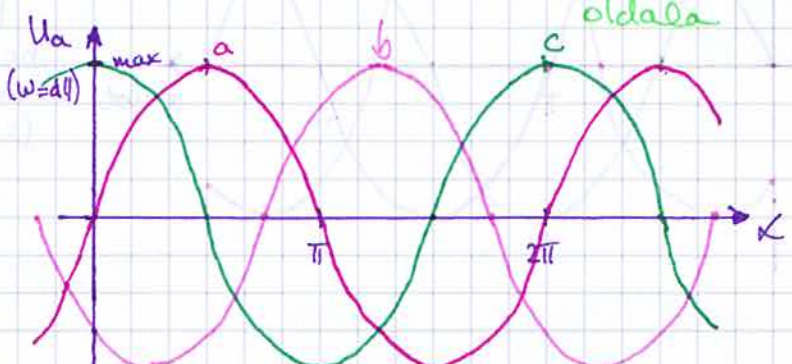
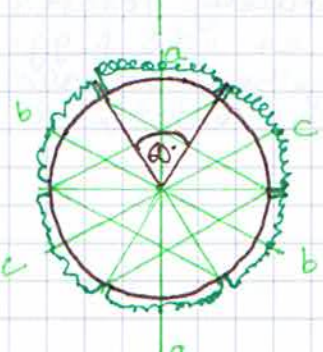
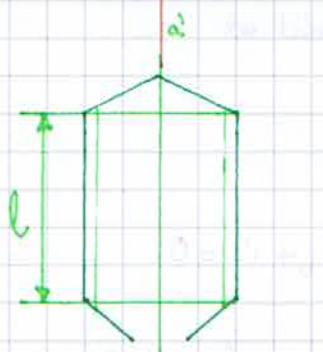
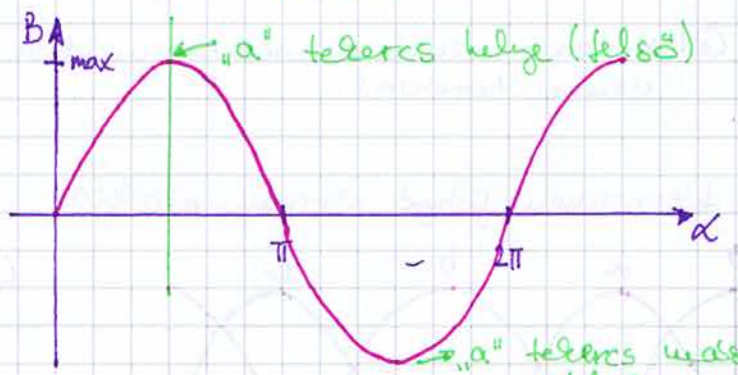
6. ÓRA

↳ Generátoros üzemi keletkezése



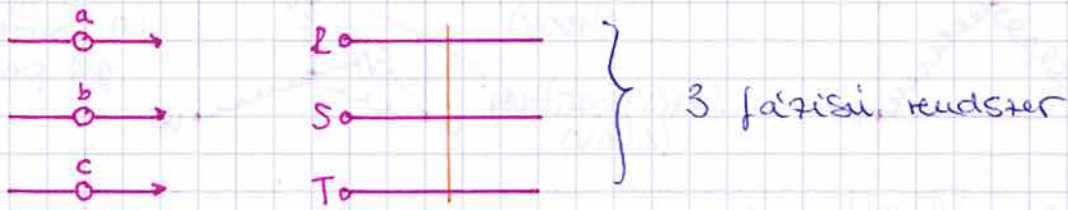
↳ először folyik majd áram, ha terhelik, zárt áramkörben, vagy motoros üzemben.

$$U_i = B \cdot l \cdot v$$



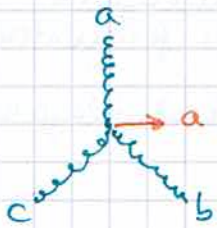
Itt a forgórész forgása: forgó mágneses teret jelent.

A forgó mágneses tér miatt a 3 fázisú tekercsekben 3 fázisú váltakozó feszültség keletkezik.



(külső hálózat)

Benne a feszültség alátámasztása és a szögelhelyzete azonos a generátorban lévőkkel.



a 3 belső vég egy pontban összekötve:

CSILLAGPONT

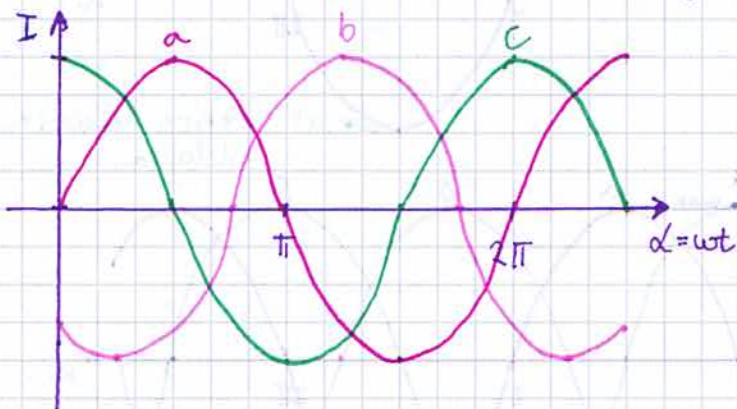
motoros viselkedés létrehozatala:

- állóréstelen légyen forgó mágneses tér \rightarrow közös feladat
- a forgórészrel együtt mágneses kölcsönhatásban erőt/mozgalmat fejti ki (már a szinkron, és más az aszinkron motor forgórésze)

Létrehozása: 3 fázisú tekercselésre 3 fázisú szabályos váltakozó feszültséget kapcsolunk, amelyből 3 fázisú váltakozó áram fog folyni, és ez hoz létre 3 fázisú forgó mágneses teret.

Célsterileen minden azonos módon készül el a generátorral.

A tekercsben folyó áram alakja:



$$i_a + i_b + i_c = 0$$

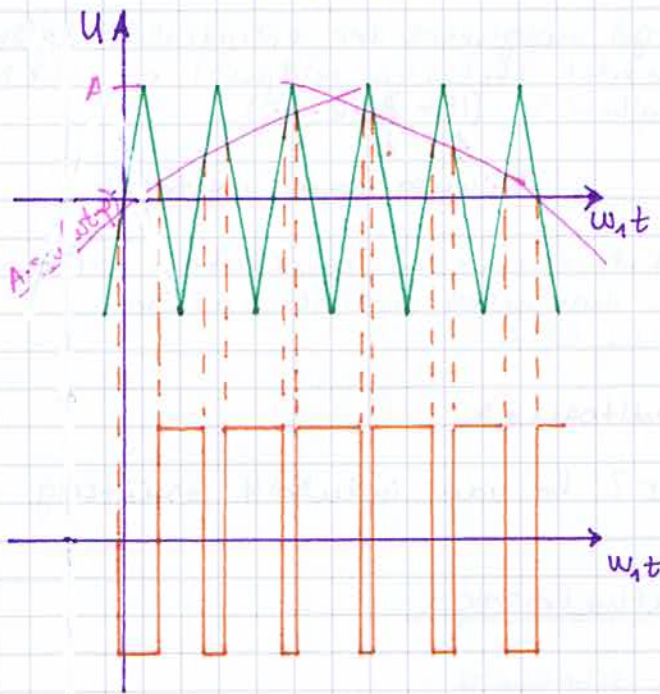
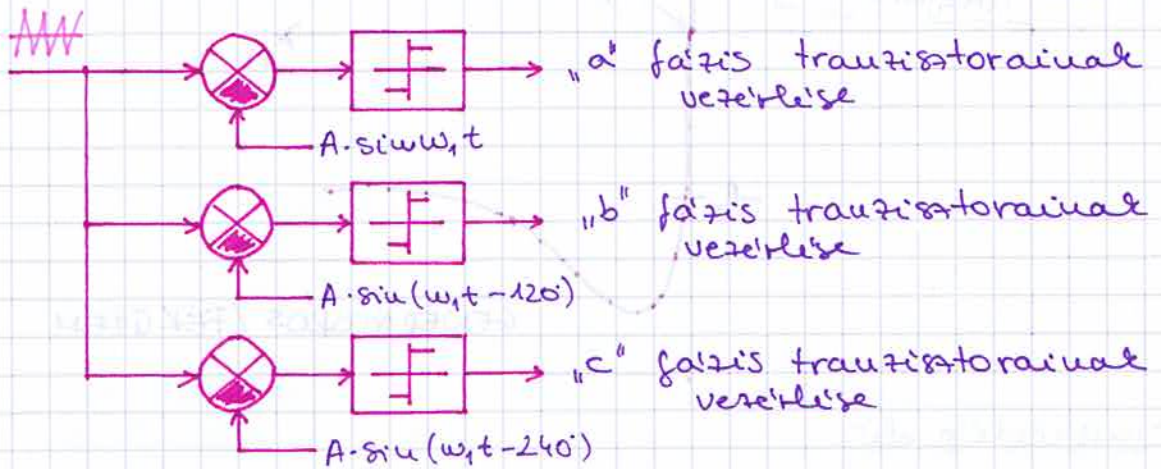
Bármely tekercsben az idő függvényében váltakozó fluxus keletkezik.

a telercsbeu:

váltakozó fluxus



Egyenfeszültségből 3 fázisú váltakozó feszültség és áram előállításra



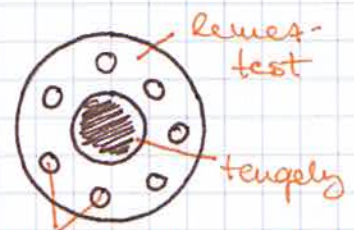
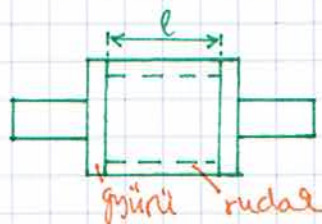
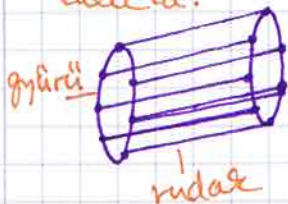
7. ÓRA

Aszinkron motor felépítése

- állórész, 3 fázisú táplálással

- forgórész általában ún. kalickás táplálással: rudak a palást alatt és végeit zárdgyűrűvel összeköve.

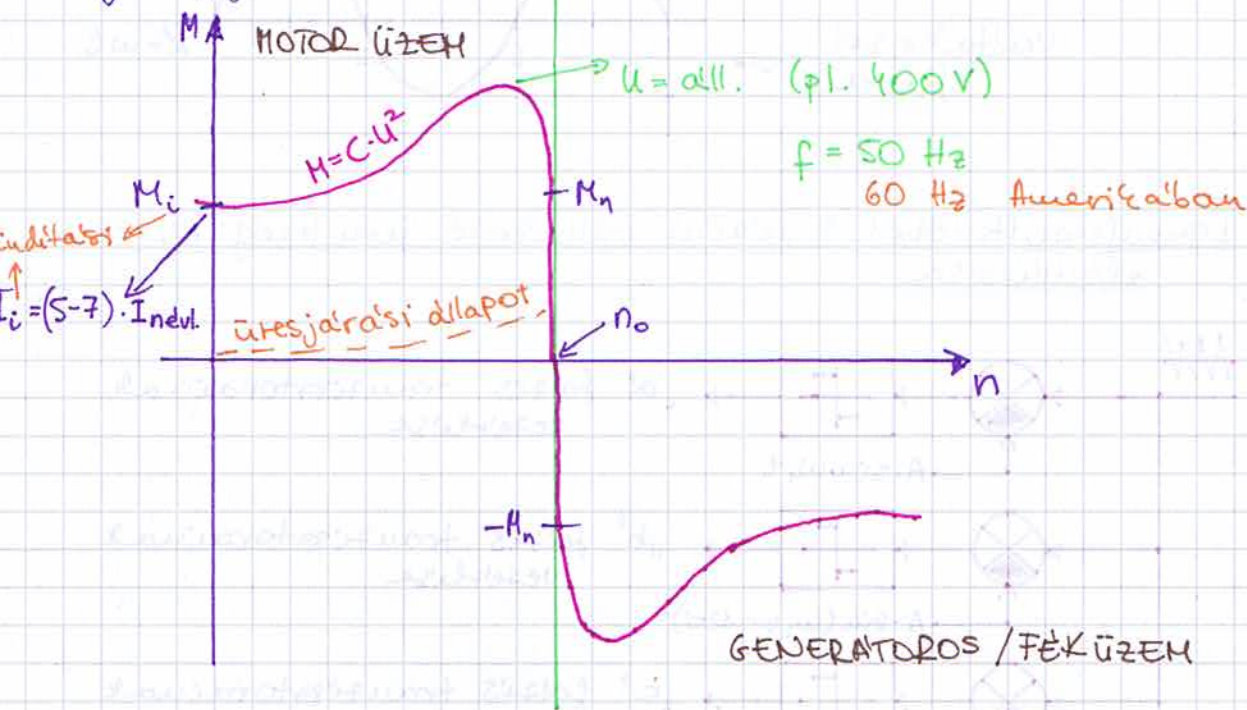
kalickák:



nagy keresztmetszetűek

hid, páratlan számú

- jelleggörbe



- működési elv

→ Itz a lörésben forgó mágneses tér erőtalanul áteszik a forgórész vezetékén (kétoldalán), és ezekben feszültség indukálódik ($U = B \cdot l \cdot v$)

↑ ↓
sűrűségének változása

→ Ez a feszültség a zárt áramkörű kábelben áramot indít, amelynek mágneses kölcsönhatása

$F = B \cdot l \cdot I$ erőt hoz létre
↑ ↓ ↓
sűrűségének változása

híttor fog a motor? Ha van indukált feszültség

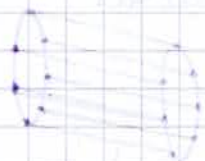
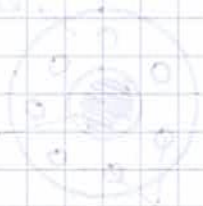
• Fordulatszám változtathatósága

1) $n_0 = 60f$ - szinkron sebesség

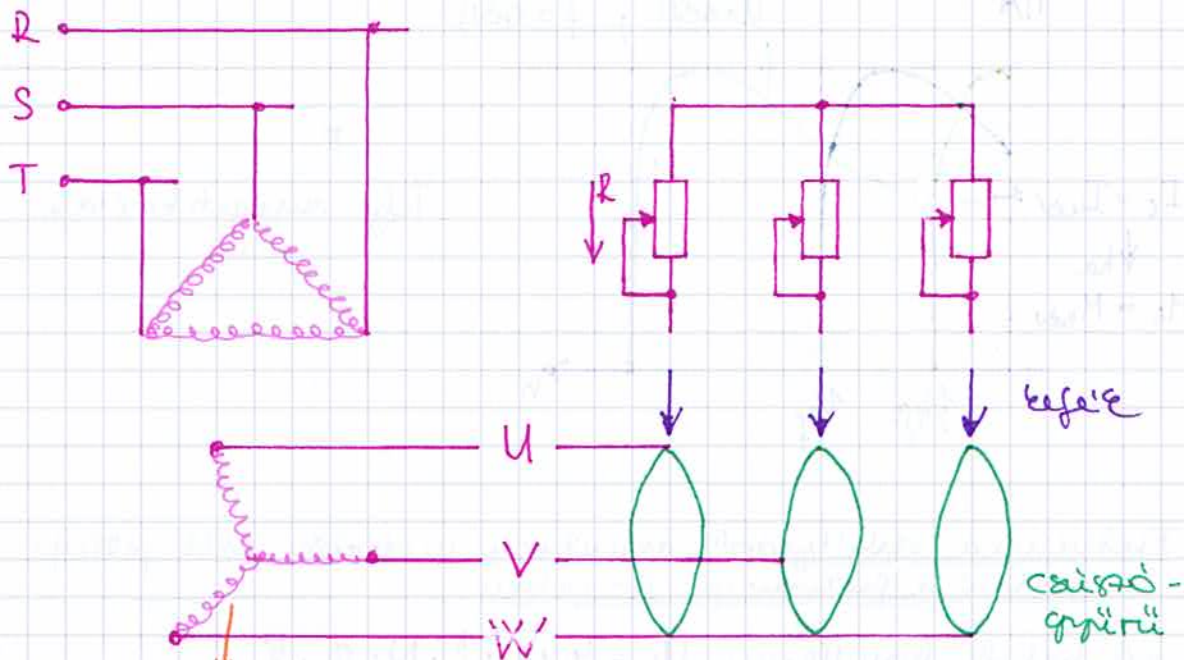
Ⓟ → 1... 10 fix lehetőségek
3000 → 300/perc

üzem közben teretcselés áttapasolással 1:2, 1:4 arányú lehetőségek

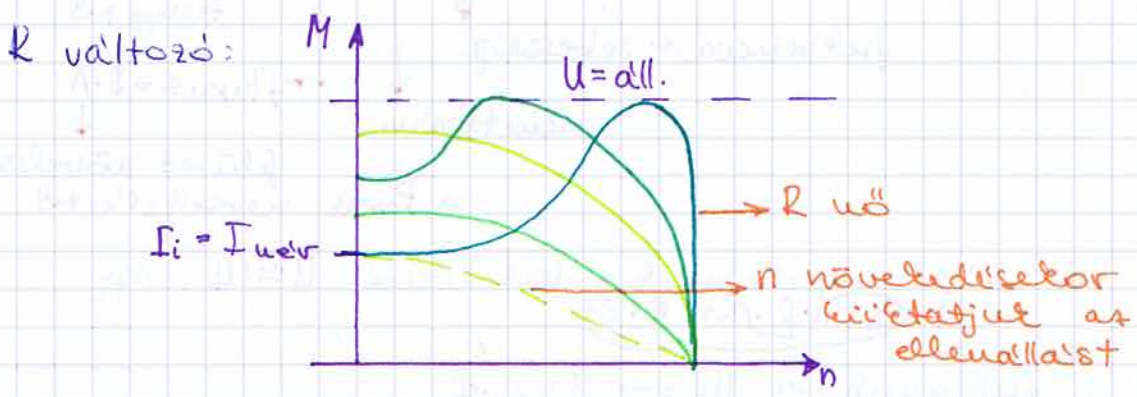
↓
de álló motorral! a „p” változtatása



2.) A forgó test éni ellenállás beiktatása, változása

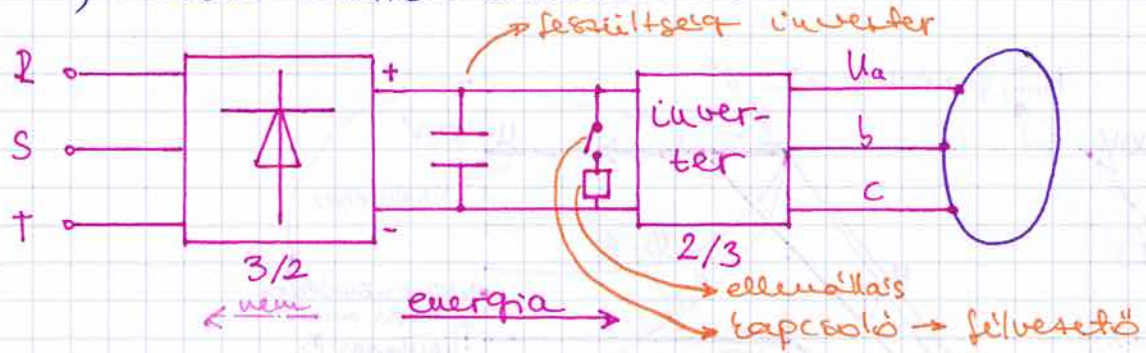


3 fázisú tekercs a kalicka helyett



de a veszteségek igen nagyok, mert a P_{vev} mindig 100%, a kivet pedig $0 \rightarrow 100$ között

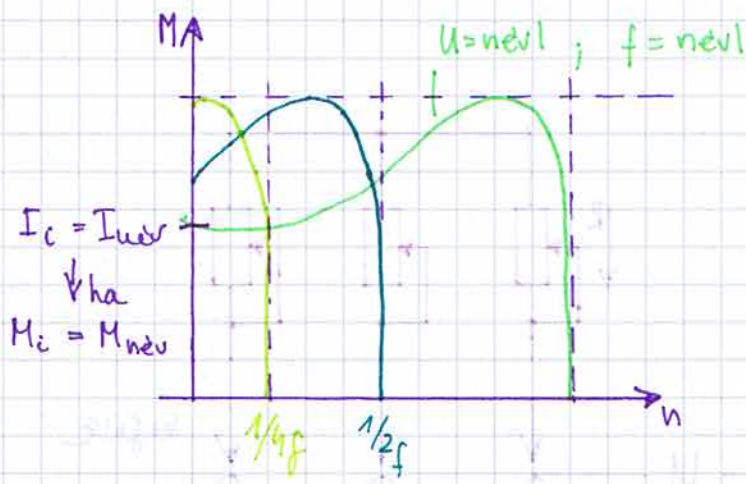
3.) Frekvenciaváltók alkalmazása



Ha szűréses, ide az in. hálózati inverter kell, amely igen szigorú alatt, feszültség és fázis (súly) helyzet türesü (100 kW felett).

Emiatt a DC kör feszültségmértje fog változni, ha visszatáplál a motor.

Az M-n mértékben:



S.ÓRA

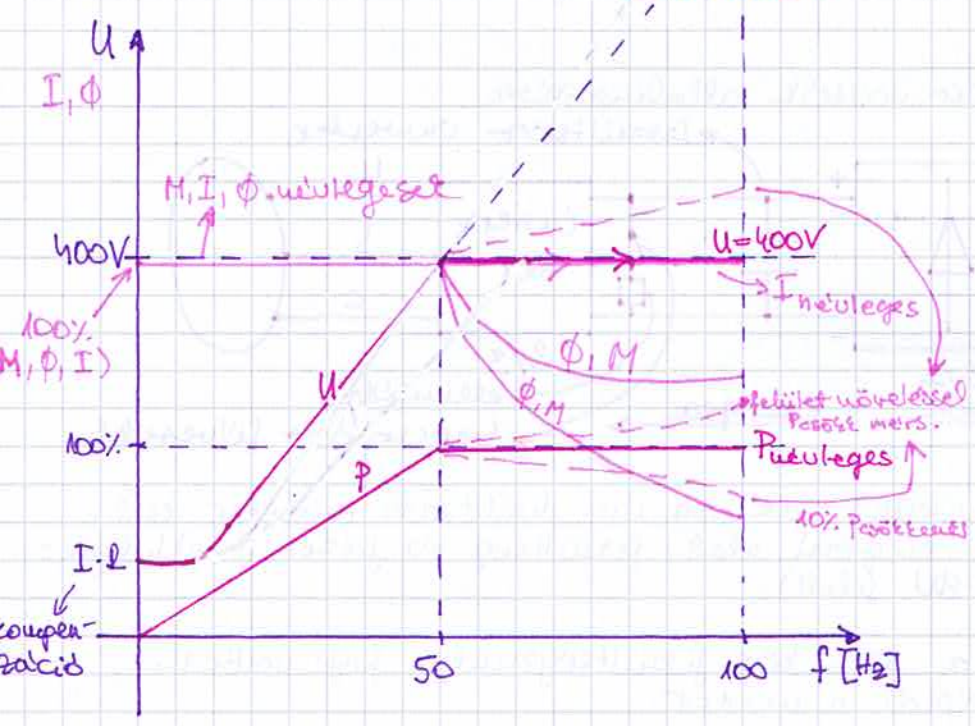
• Frekvencia szabályozott aszinkron motorok főbb jelleg-görbéi a frekvencia f -ébe

- A belső feszültség: $U_b = 4,44 \cdot f \cdot N \cdot \Phi \cdot \xi$

konstans (több tényezőből) \downarrow \downarrow \downarrow
 frekvencia \sim sebesség \downarrow \downarrow \downarrow
 menetszám \downarrow \downarrow \downarrow
 telj. energetikailag jobb \downarrow
 fluxus = $B \cdot A$ \downarrow
 felület növelésével a P_{magn} mérhető

üresjáratban, illetve kis terhelésnél $U \approx U_b$, így $U \approx 4,44 \cdot f \cdot N \cdot \Phi \cdot \xi$

frekvencia és $U_b \rightarrow U = c \cdot f$
 \downarrow
 konstans



I.) $I = \text{névtelen}$
 $\phi = \text{névtelen}$ } 0-50 Hz tartományban

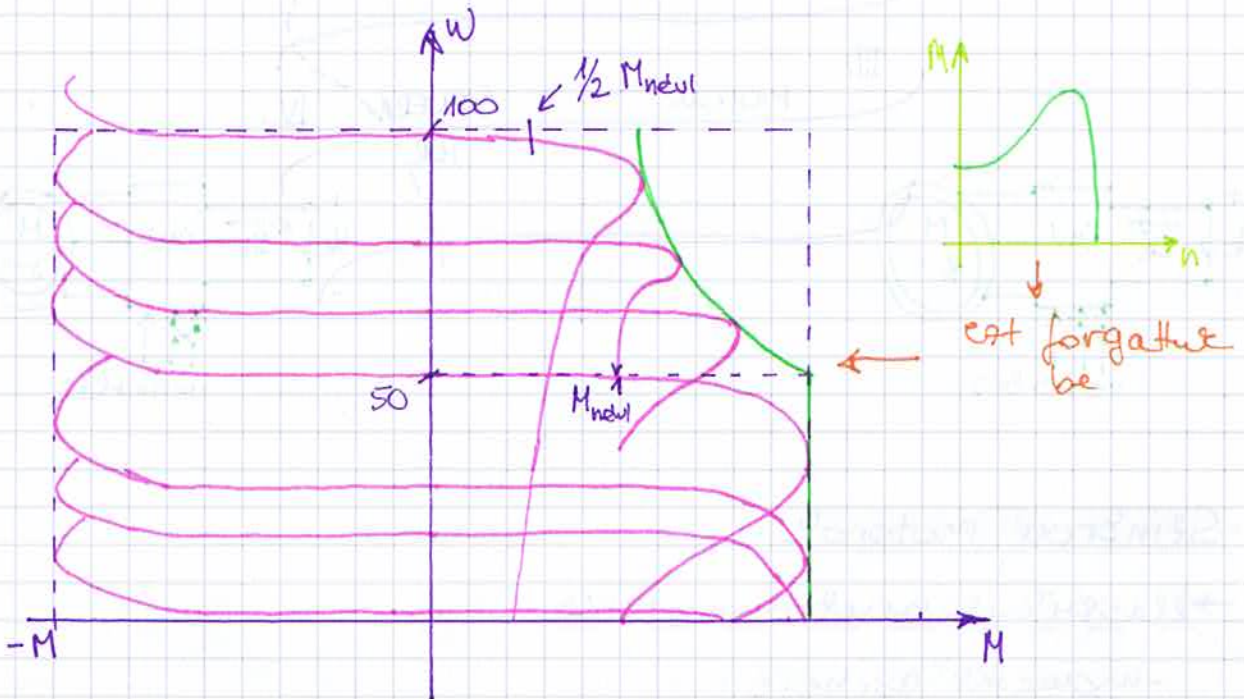
II.) ha $U = \text{all}$ (50-100 Hz között):

$$U = 4,44 \cdot f \cdot N \cdot \phi \cdot \xi \Rightarrow 2f \rightarrow \frac{1}{2} \phi$$

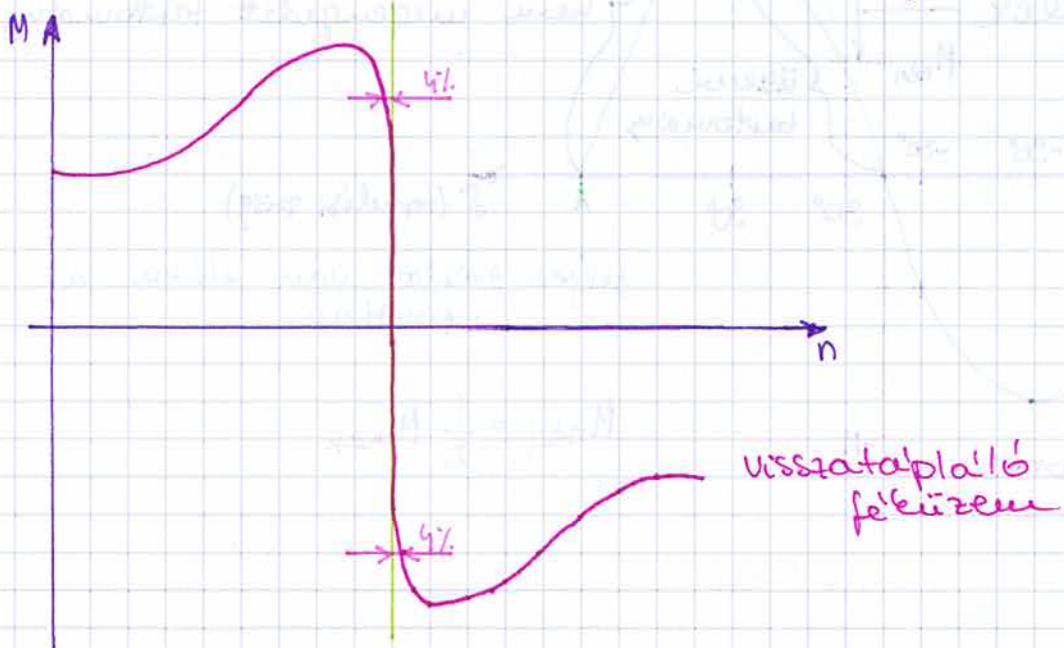
- pontos pozíció stabilizálás nem jó az aszinkron motor, mert nem tudja milyen sebességgel forogást kell fenntartani a magneses térben.

- nagy sebességű motor az M görbék (M-n görbék slip)

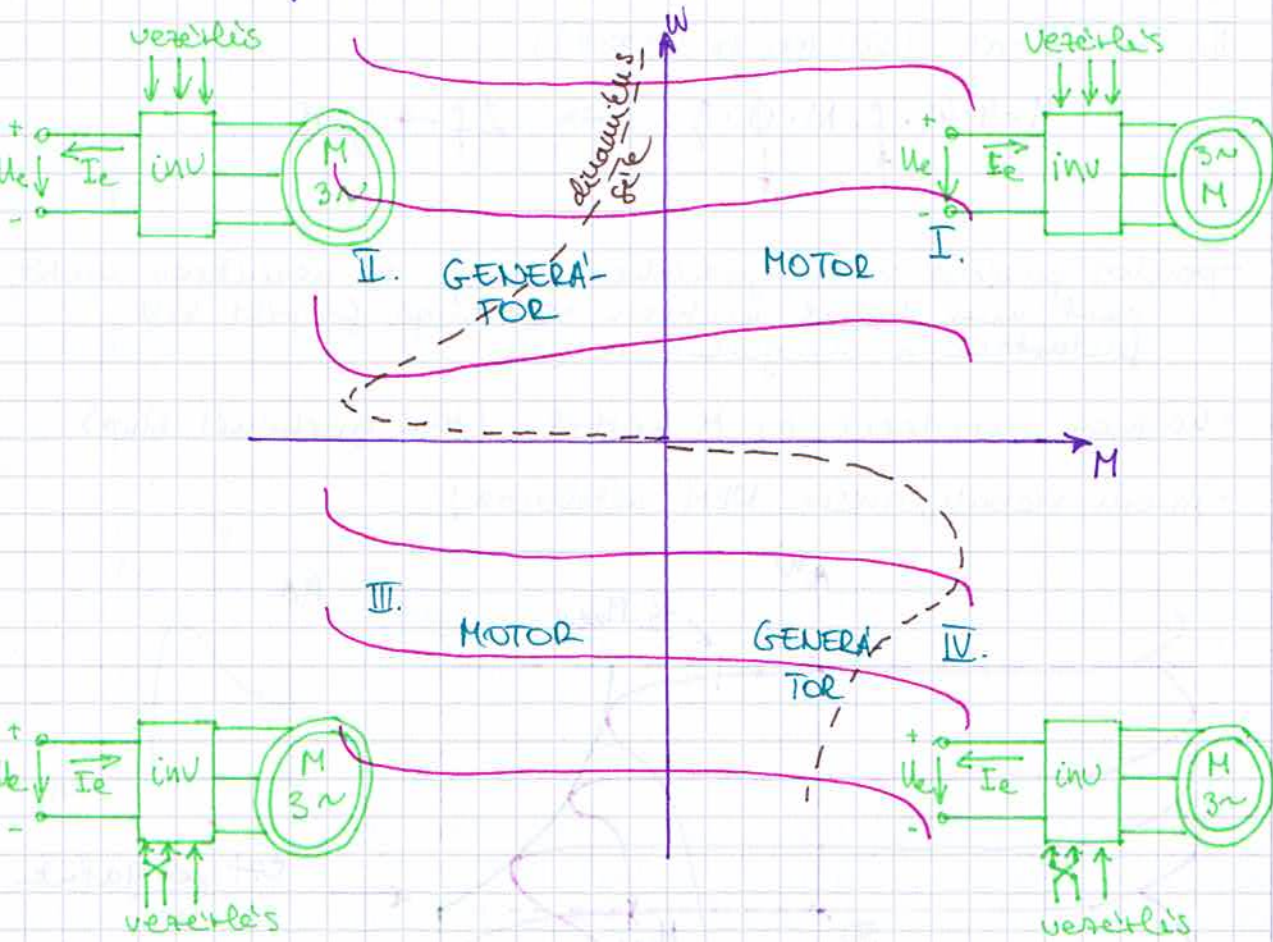
- finom stabilizálásra VEM alkalmas!



Hálózatú visszatáplálás ált. 100 kW felett, és ha tartós. Ezzel ún. hálózatú inverter kell, amelyet szigorúan szimulált alá és 50 Hz-re kell stabilizálni.



az inverter az egyszeműtől kör felé szállítja az energiát.

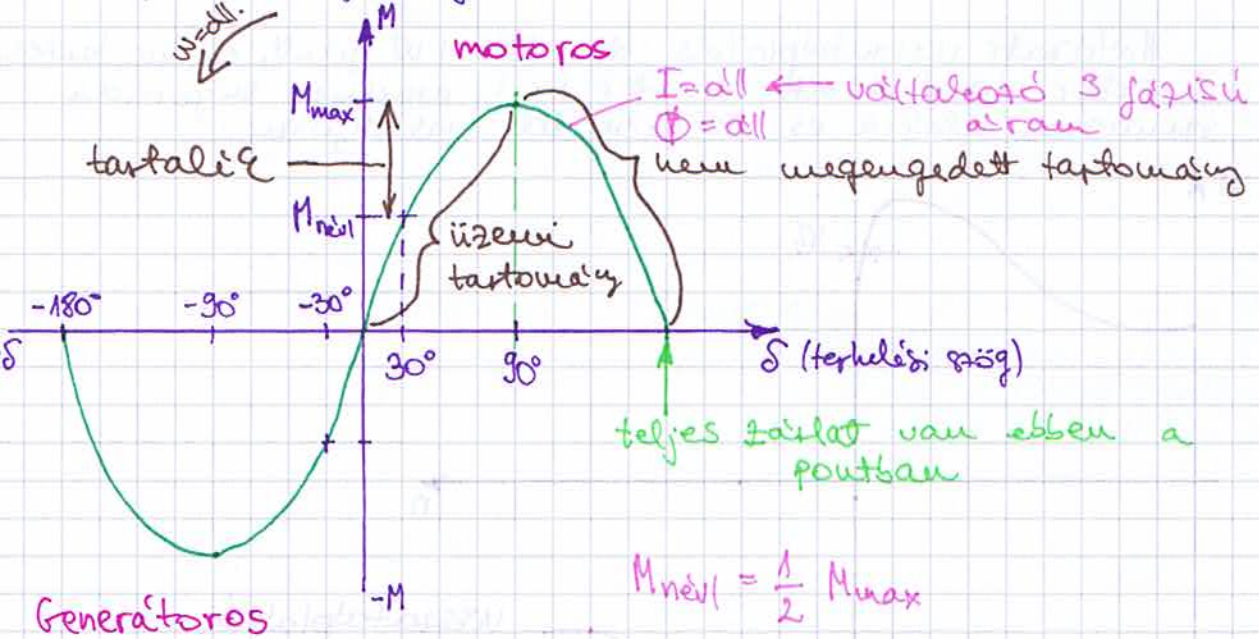


G.ORA

Színáramú motorok

→ klasszikus szináramú motorok

mechanikus görbeje:



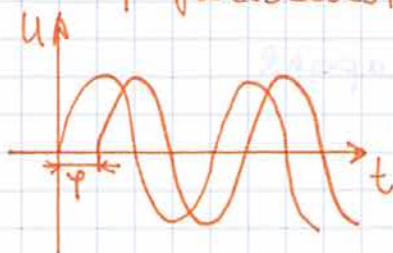
- F_d jellemzői:

- ↳ w illetve w allandó, és azonos az állórészen keringő forgómagnesség tér sebességével.
- ↳ terhelés kor (motoros üzem) a forgórész stóg-helyzeté elmarad a forgómagnesség terétől, de sebessége változatlan.
- ↳ a neveléges terhelés a lehetséges maximumnál a fele, a többi tartalék, hogy ne érhesse el a 90° lemaradást
- ↳ ha $\delta > 90^\circ$, zárkózba kerül és üzemből állással jár.
- ↳ generátoros üzemben δ előjele változik és a külső "told" yomaték hatására előbbre fordul, és a negatív δ tartományba kerülve az állórész áramot "-" irányával áramot termel.
- ↳ indukciós nagyvoltagek: (önmaga nem indul)
 - ↳ aszinkron motoroként: kalicát építenek a forgórész külsőjére, és üresjárásban közel szinkron sebességre gyorsítanak. Ekkor lehetőség lesz a szinkronizmusba beugratásra.
 - ↳ DC motorral hajtva pontosan elérhető az U_0 szinkronsebesség (gőzturbína)
 - ↳ frekvenciaváltozóval és aszinkron kalicát-val a legkönnyebb.

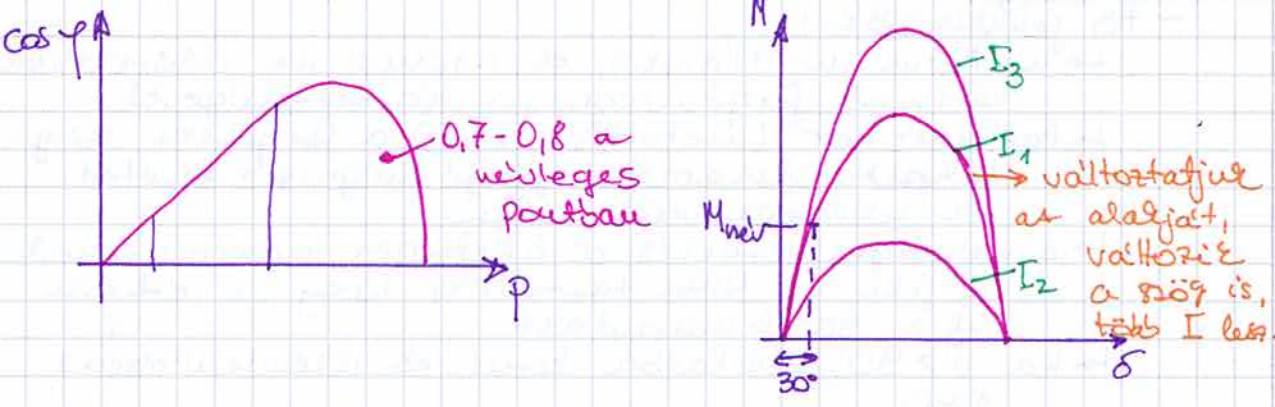
Fázis- és feszültség szorrend arányosság, + feszültség arányosság a feltétel a motor a hálózattal összekapcsolásánál, ez aszinkron indukciós önmagától megtörténik.

- különleges adottsága: meddő teljesítmény eldáltaására képes, amelyet majd az aszinkron motorok foghatnak felhasználni.
- hatásos teljesítmény "wattos": $P = U \cdot I$ (egyenáramú), vagy ohmos fogyasztón a váltakozó áramú
- ha induktív hatvány is van, ez meddő teljesítmény felvétellel jár, amit az erőművi generátor állít, úgynevezett túljeljesztéses üzemben.
- az aszinkron motor felvett teljesítménye:
 $S = U \cdot I$, $P = S \cdot \cos \varphi = U \cdot I \cdot \cos \varphi$
↓
látványlagos teljesítmény
- a meddő teljesítmény: $VAR = S \cdot \sin \varphi$

φ = fáziseltérés, az áram elérése a feszültséghez képest

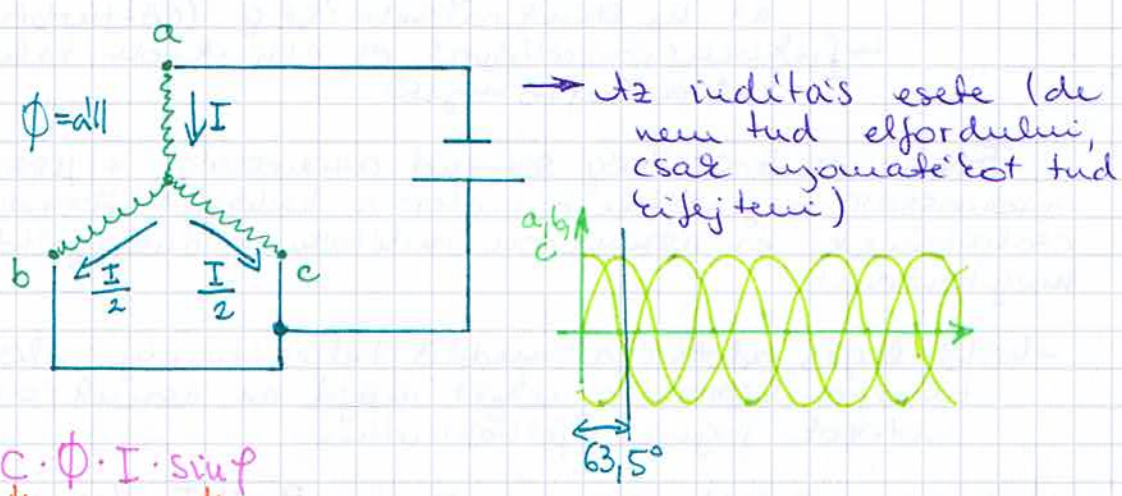


minél kisebb a φ , annál kisebb teljesítmény elég a működéshez

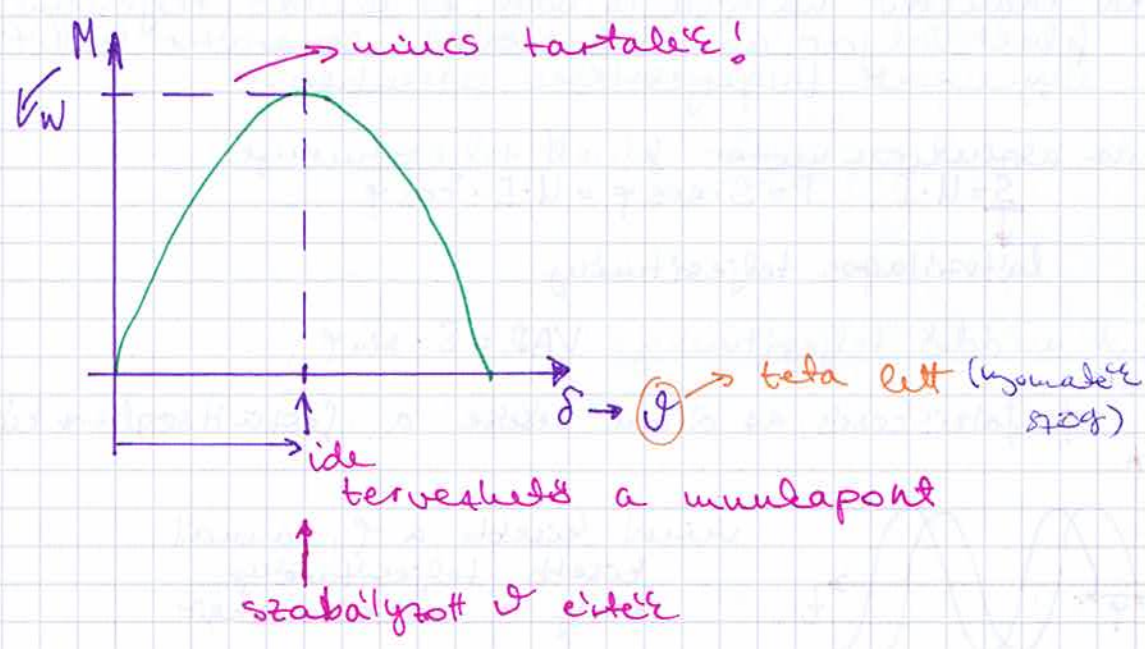


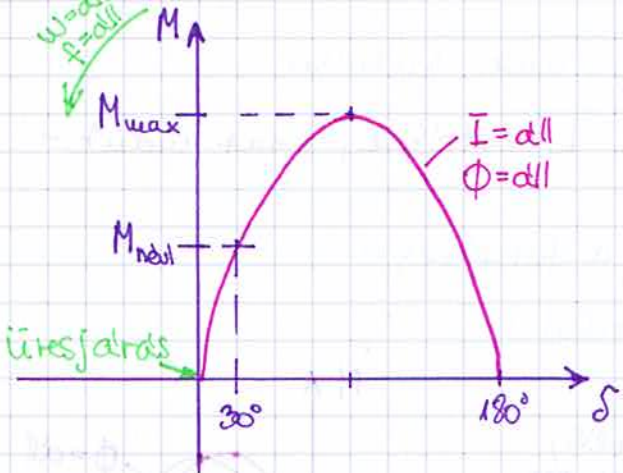
→ Mai áramirányítás szélrotatoros

- forgórész szög helyzetét figyelembe véve képesek olyan főtér helyzetet létrehozni az állórésztérrel és a forgórész laposolatában, hogy az az névleges yonatek is kifejthető legyen álló állapotban. Először $f=0$ állást, ami egyenirányítást jelent (megmozdulásig), de amikor előbbre lép a terelcsel, hogy az M-hez szükséges δ létrejöjjön.



$M = c \cdot \phi \cdot I \cdot \sin \varphi$
 \downarrow \downarrow
 $= 1$ $= 1$, ha $\sin \varphi = 90^\circ$



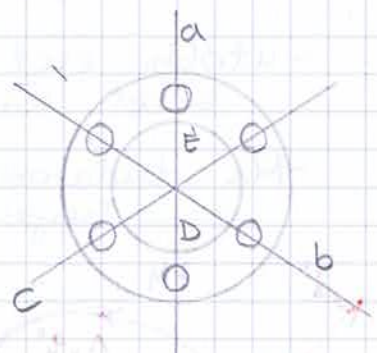
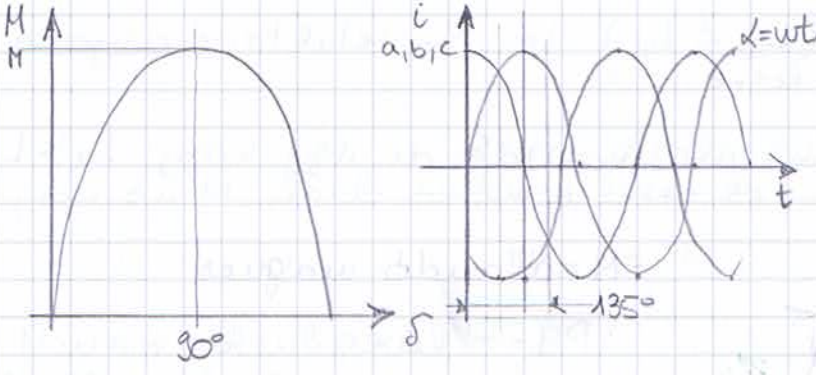


- előzei: adott tömeg és terfogat mellett a legnagyobb yomatékú (és teljesítményű)

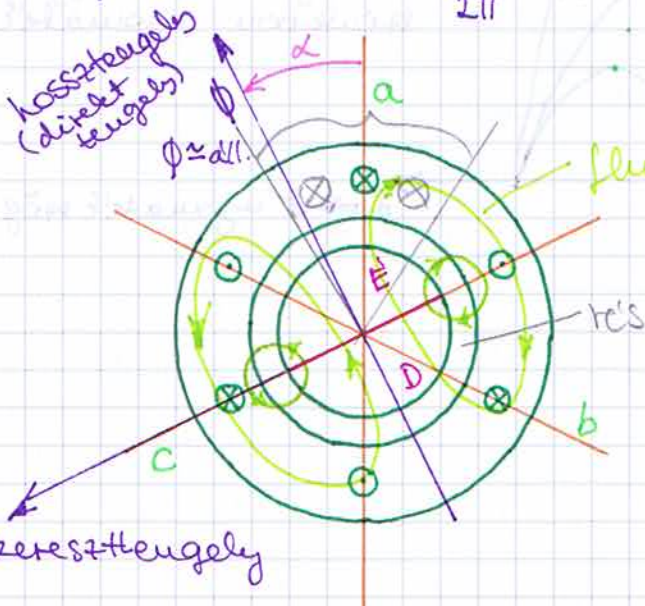
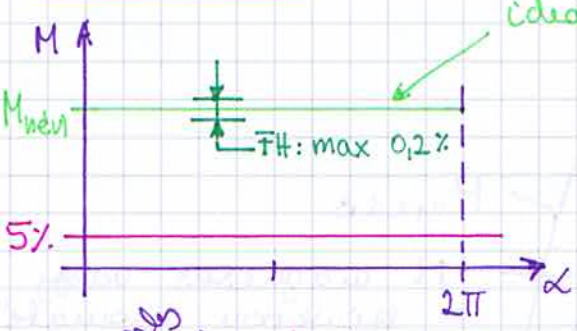
- Hálózati üzemben a meddő teljesítmény előállítására képes, ami energetikailag fontos szempont. Elkesz. in. túlgerjesztett állap.

potot tartással felem a forgórészben.

→ Inverter: frekvenciaváltó követi a forgást miucs állandó frekvencia, egyetlen bögöktől van (90°) ⇒ miucs tartalek! M_max -ot változtatjuk a 90°-hoz



- M-ütközés

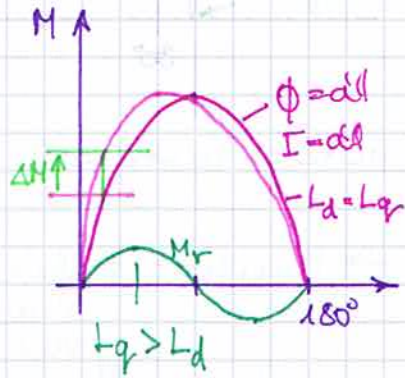
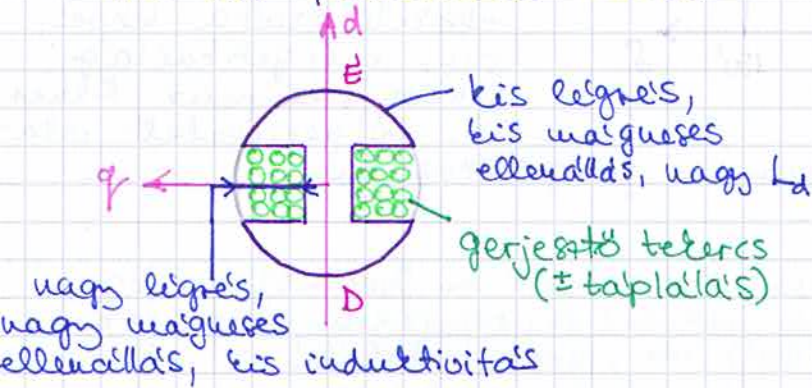


- Az L_d és L_q arányainak hataisa

↓
 hossz és keresztirányú L értékek, azaz induktivitások

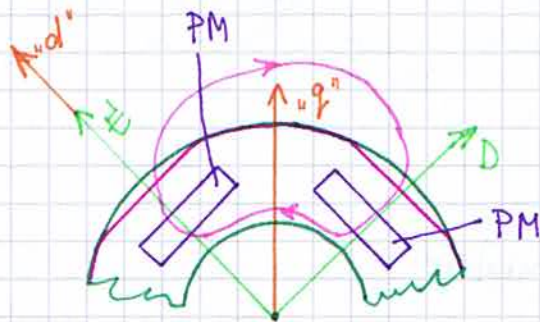
- $L_d = L_q$, ha kegyeres a forgótest

- Ha ún. póluskerék alatti:



- utóbbi eset ($L_q < L_d$) ún. M_r relatíviaányama-
 téket hoz létre.

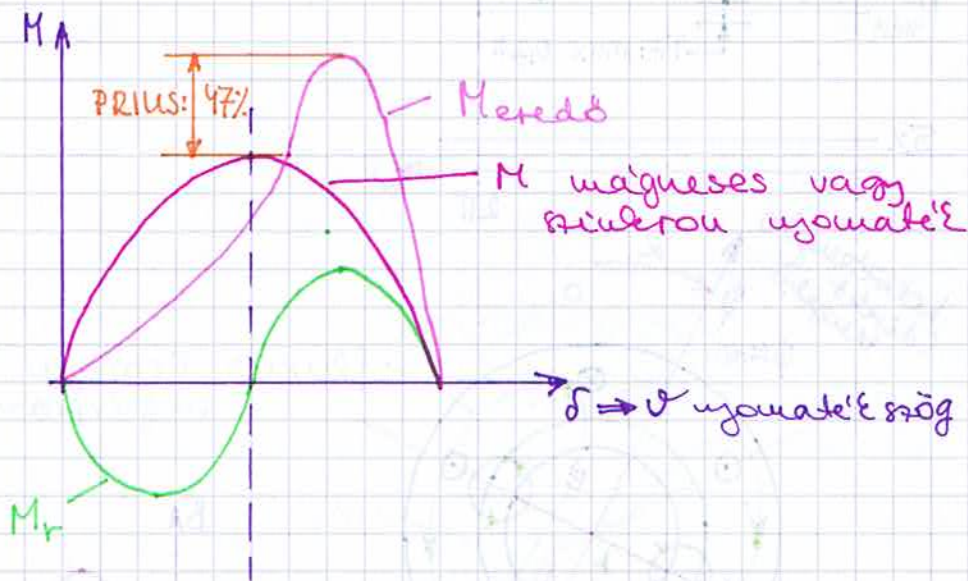
- Ma: tudatosan alábecsülnék, de úgy, hogy $L_d > L_q$
 legyen, és ezzel a hátsó oldali M is meg.



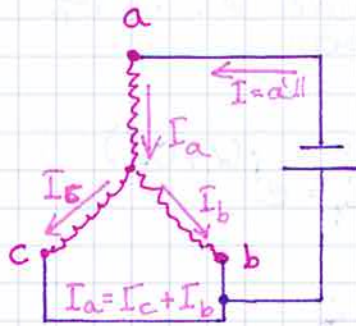
PM = állandó mágnes

PM → levegővel szűkít a mágneses vezetés szempontjából

Hatása:



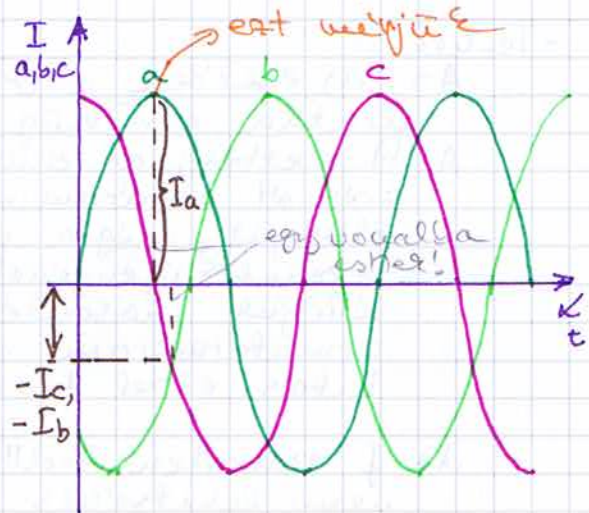
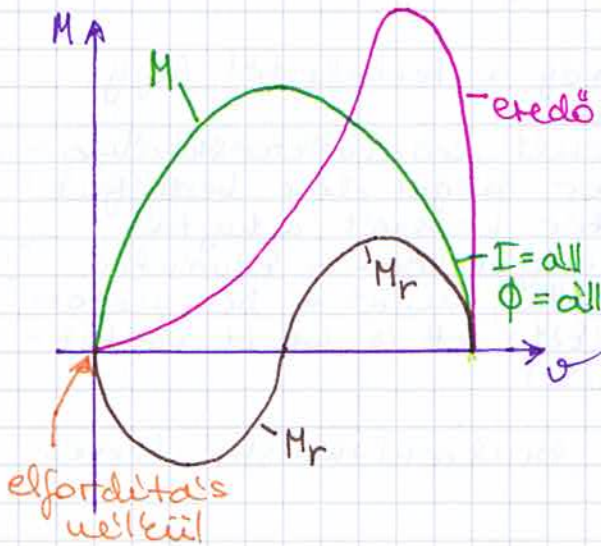
- Mértési elrendezés az M_r méréséhez:
 - ↳ Mértési táplálás: kis feszültség



$$I = 250 \text{ A}$$

Alld / rögzített allórést, a forgórész elfordítható, M és v mérhető.

A forgórész áram alatti motoron (albra szerinti DC táplálással) az M elemébe pl. kézzel elfordítjuk, és a v növekedésével az $M = f(v)$ adatokat felvesszük.



→ Áramgenerátoros táplálás (szabályozott táplálás)

- $M = \phi \cdot I \cdot \sin \alpha \cdot \varphi_p + M_r$, ez utóbbi a reluctancenyomaték:
 - $M_r = \frac{I^2}{2} \cdot (L_d - L_q) \cdot \sin 2 \cdot \varphi_p$ és ez $L_d = L_q$ -nal 0.

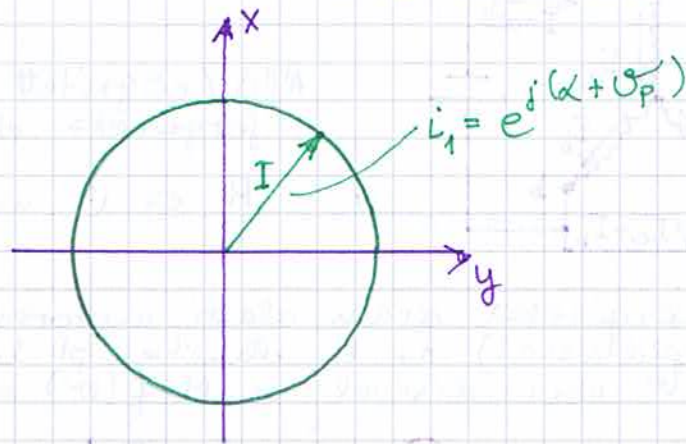
- Az M_{max} nyomatékot $\phi = all$ és $I = all$ mellett az ún. φ_{p0} nyomaték szögénél kapjuk:

$$\varphi_{p0} = \pm \left[\frac{\pi}{2} - (L_d - L_q) \cdot \frac{I}{\phi} \right]$$

- Az áramgenerátoros táplálás a) egyszerű "skalár" megoldásaként az I allóréstáram amplitúdóját, míg a b) vektorosul az i vektort (az I hosszát és szögét) változtatja, szabályozza.

- a) külső vezérlésű áram-amplitúdó szabályozás: $f = all$, klasszikus szinkron üzem, amely a $\pm \varphi_{p0}$ motoros tartományban lehetséges. Ha túlterheljük, $\varphi_p > \varphi_{p0m}$, kiesik a szinkronizmusból.

b) övezetelésű áramvektor-stabilizálás: az vektoros áramgenerátoros táplálást jelent, $i_1 = I \cdot e^{j(\omega t + \varphi_p)}$ állórész-áramvektorral. Ezzel az I amplitudó és a φ_p szög külön-külön beállítható.



- Terhelés:

Az a) esetben a φ szög a terheléstől függ, mintha a σ szög lenne.

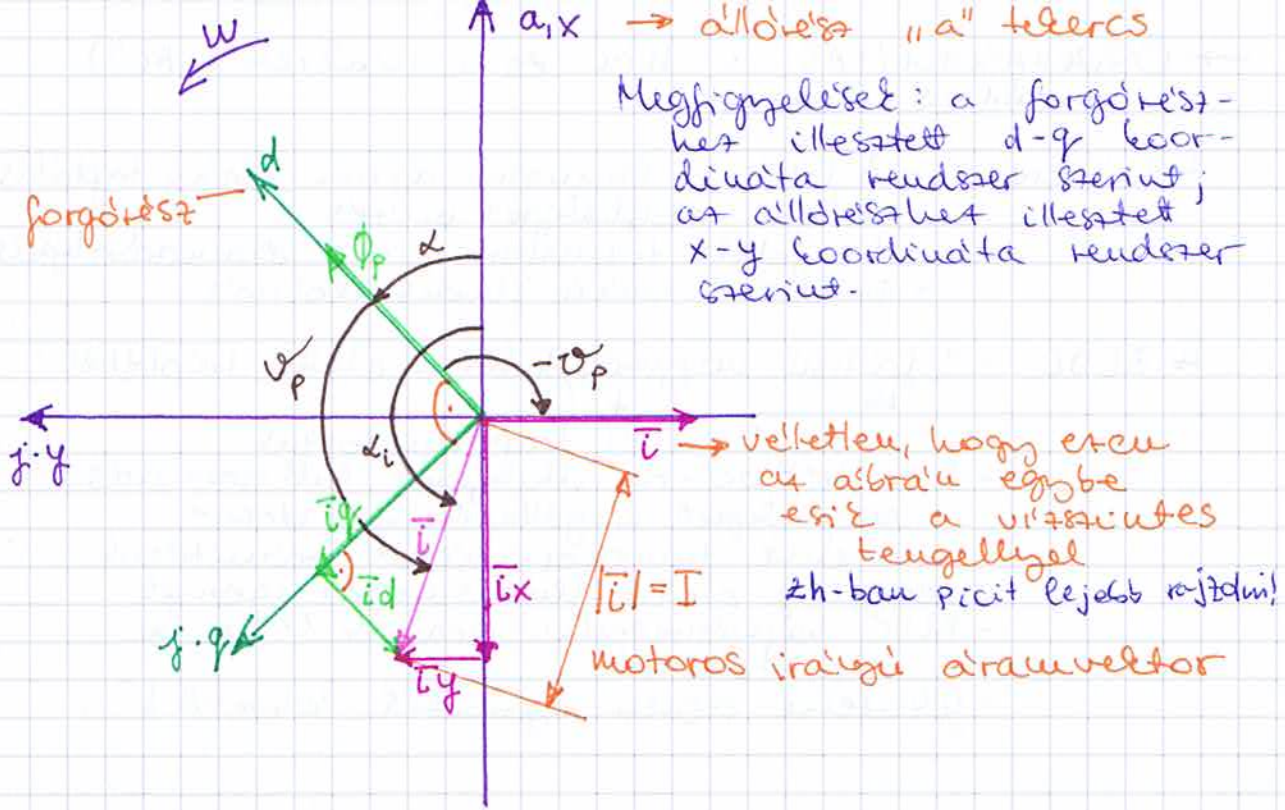
A b) esetben, az övezetelt áramvektorstabilizálásnál az áramvektor szögét előre beállítjuk: előírjuk, míg a vektor hosszát a hajtás nyomatékigényének megfelelően a kívántra állítjuk (használt céllal, mint a DC motor armatúrááram értéket: ott is az M változtatás ezzel történik).

Az f szabadoan beáll, a szinkronizmusból kiesés nem lehetséges.

- Övezetelés:

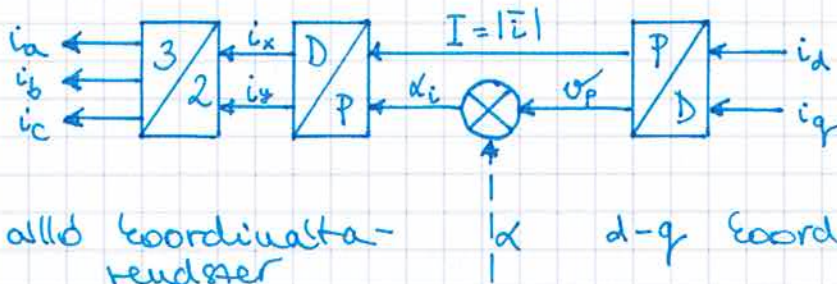
az éppen fennálló forgórész-szöghelyzetet állítja be (a nyomaték-szöggel előre) az állórész-áramvektor irányát, a sebességtől függetlenül, tehát olyan szöghelyzetű áramszint-függvényeket hoz létre az állórész-terelesekben, amelyek 3 fázisú eredő áramvektora, (az I áramvektora) az állórészben a kívánt szöghelyzetben áll (azaz tartósan is, vagy pedig forgás közben ezt az értéket veszi fel).

(Az övezetelésre régi jó példa a DC gép kommutátora, amely a forgórész-vezetékben folyó áramot úgy, illetve akkor kapcsolja a sorrendben esedékes vezetőre, hogy azokban az állórész-fluxus által adódó erők hatására mindig a kívánt érzékelési helyen keletkezzen. Ez a módszer is a sebességtől függetlenül, egy adott szöghelyzetben veszi a kapcsolást.)

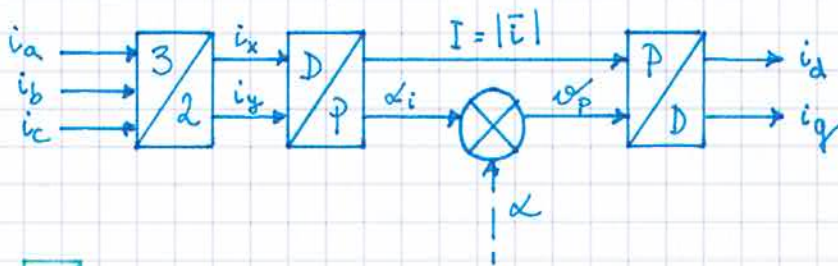


11. ÓRA

Áram alapjából fázis meghatározása



Ellenőrzőjel képzése a mért i_a, i_b, i_c fázisáramokból



$\begin{matrix} 3 \\ \diagdown \\ 2 \end{matrix}$ → Clark transzformációval számolja ki i_i

→ ÖSSZEHASONLÍTÁS a BLDC és a szinkron ("AC") motorok között:

- ↳ Szinkron: - 3 fázisú, szinuszos áram alatti táplálás
- drága szögpozíció mérés
- bonyolult transzformációs áramstabilizálás
- szinuszos alatti fluxuselosztás

↳ BLDC: - 3 fázisú, négyszög hulláma alatti táplálás

- ↓
valójában ez trapézai torzul
- 3 db $60^\circ - 120^\circ$ -ra elhelyezett Hall-szonda szögpozíció megállapítás \rightarrow dcs
 - műcsel transzformációs számítások
 - négyszög alatti fluxusmérést igényel
 - BLDC hajtásvezérlés ára kb 17.-a a szinkronéhoz
 - felülete erősen nyomható! (bütető)

