

# ÉRZÉKELŐK ÉS BEAVATKOZÓK II.

## 9. AC MOTOROK



**Dr. Soumelidis Alexandros**

**2020.04.08.**



BME KÖZLEKEDÉSMÉRNÖKI ÉS JÁRMŰMÉRNÖKI KAR  
32708-2/2017/INTFIN SZÁMÚ EMMI ÁLTAL TÁMOGATOTT TANANYAG

# AC motorok

---

Félrevezető elnevezés, mert:

- Arra utal, hogy váltakozó árammal működő motorokról van szó, pedig ma egyre több egyenfeszültségről táplált AC motor hajtás jön létre.

Alternatív (de nem teljes körű) elnevezések:

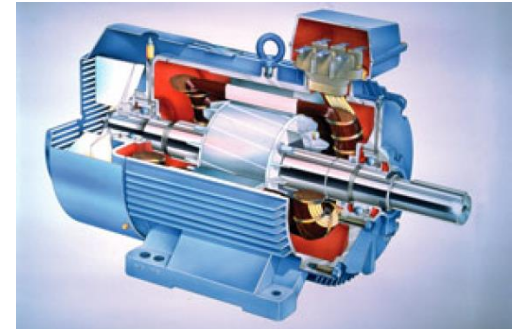
- Indukciós motorok: arra utal, hogy a forgórészben az állórész által indukált mágneses tér játszik szerepet a forgás kialakulásában.
- Aszinkron motorok: arra utal, hogy a forgórész a forgó mágneses térrel nem szinkronban forog.



# AC motorok

Mit értünk mi AC motorokon itt és most?

- A motor tekercselt, külső feszültségről táplált állórészből, és ettől galvanikusan független forgórészből áll.
- A forgórész nem ferromágneses anyagú, és nem tartalmaz mágnest. Lehet egy vezető anyagú rácsszerkezet, többmenetű tekercs, vagy tömör fémtömb.
- Az állórészben változó áram hatására a forgórészben mágneses tér indukálódik, amely forgatónyomatékokot képez, az állórész forgó mágneses tere így állandó forgást hozhat létre.



# Egy tipikus AC motor

3-fázisú kalickás forgórészű aszinkron motor:

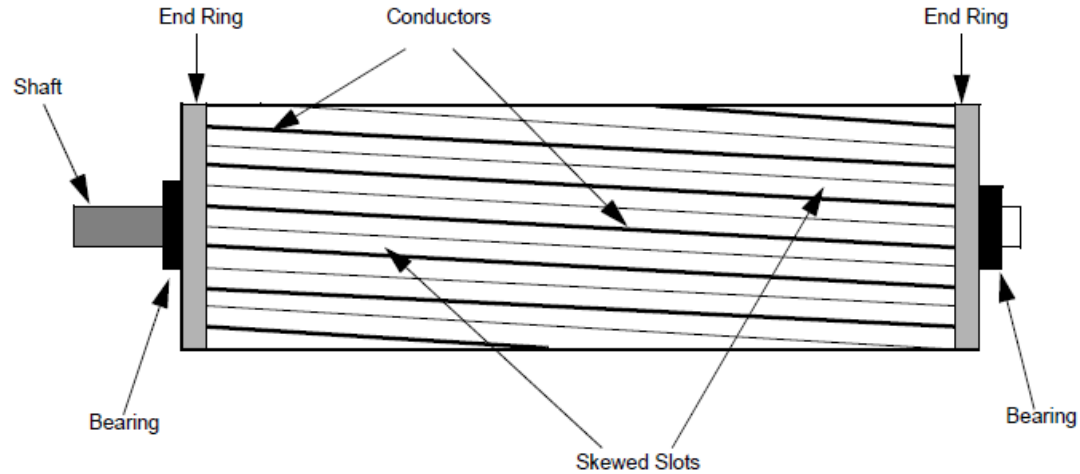


- A háromfázisú -  $120^\circ$ -os fáziseltolással táplált - tekercselésen forgó mágneses tér keletkezik.
- Az indukció révén a forgórész vezető anyagában örvényáramok keletkeznek, amelyek mágneses tere az állórész mágneses terében forgatónyomatékot képez.



# AC motor forgórész

Kalickás forgórész (Squirrel Cage Rotor):



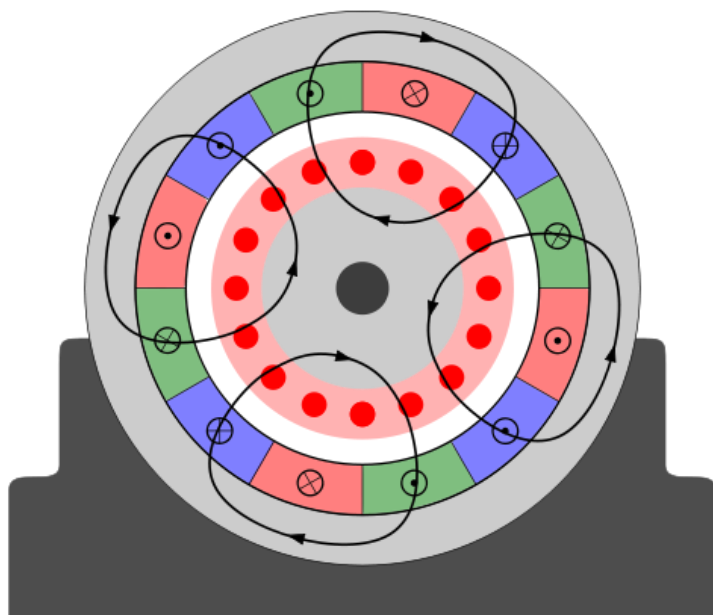
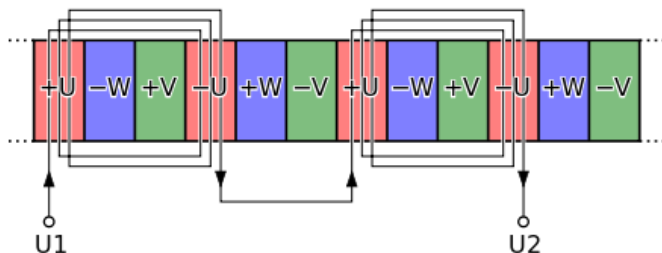
Egy tömbben öntött forgórész:

- Alumínium ötvözet,
- Tömör vagy üreges szerkezetű.



# AC motor állórész

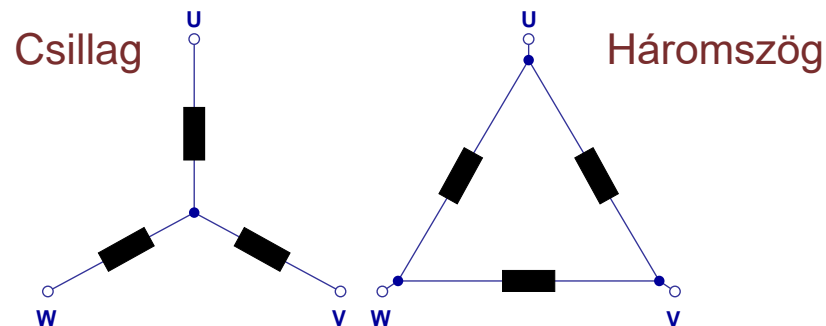
Példa: 3-fázisú 4-pólusú tekercselés az állórészen



- Átlapolás a különböző fázisokhoz tartozó tekercsek között.
- A pólusok száma:  $p$

$$n_{mech} = \frac{n_{vill}}{p}$$

- A tekercsek csatlakoztatása:



# Tipikus AC motor táplálás

Standard táplálás: 3-fázisú szinuszos feszültség

(pl. 3-fázisú 0.4 kV-os hálózat)

Szinkron fordulatszám: az állórészben előálló forgó mágneses térre jellemző fordulatszám

$$N_S = 120 \frac{f}{p}$$

$f$  - a szinuszos táplálás frekvenciája [Hz]  
 $p$  - a pólusszám

A motor forgórészének fordulatszáma:  $N_R$

- csúszás (slip) az állórész fordulatszámához képest

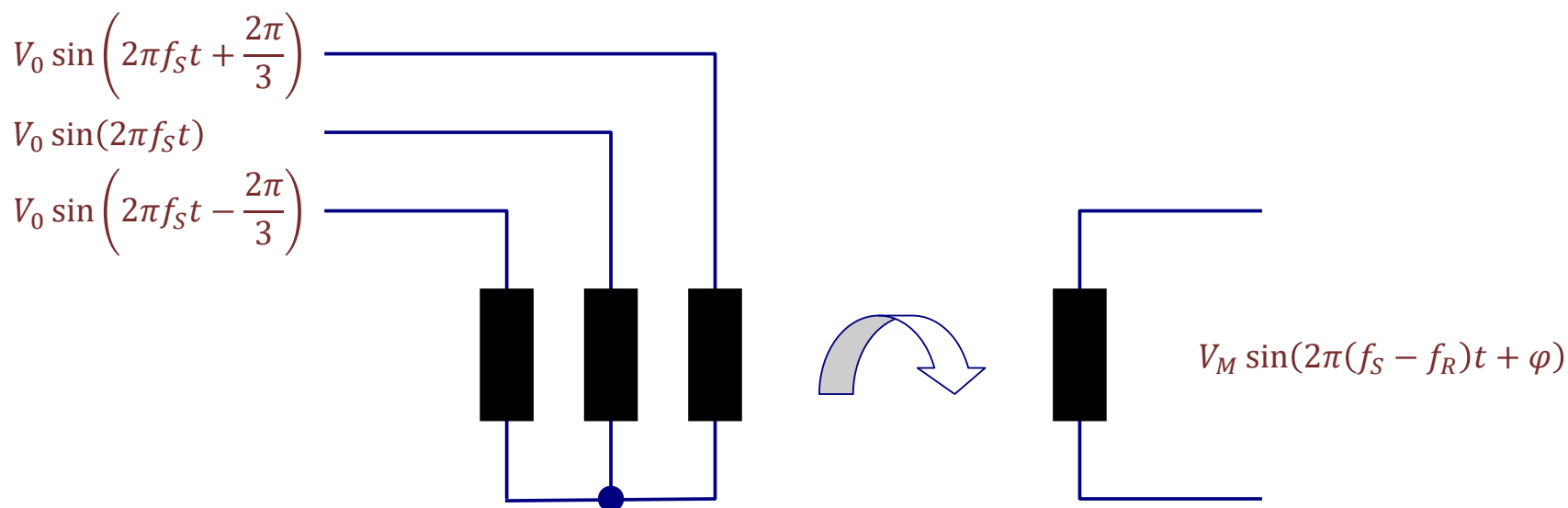
$$s[\%] = \frac{N_S - N_R}{N_S} \times 100$$



# Csúszás (slip)

Miért van csúszás a szinkron fordulatszámhoz képest?

„Forgó” transzformátor modell:



A forgórészben indukálódó feszültség frekvenciája:  $f_S - f_R$

Az indukálódó  $f_S - f_R$  frekvenciával változó mágneses tér képez nyomatékot, amitől előáll a forgás.





# Csúszás (slip)

---

Ha  $f_s = f_r$ , azaz szinkron forgás állna fenn, az indukció nulla értékűvé válna, azaz

- megszűnne a forgórészben az áram,
- a forgórész nem képezne mágneses teret,
- megszűnne a forgást előidéző nyomaték.

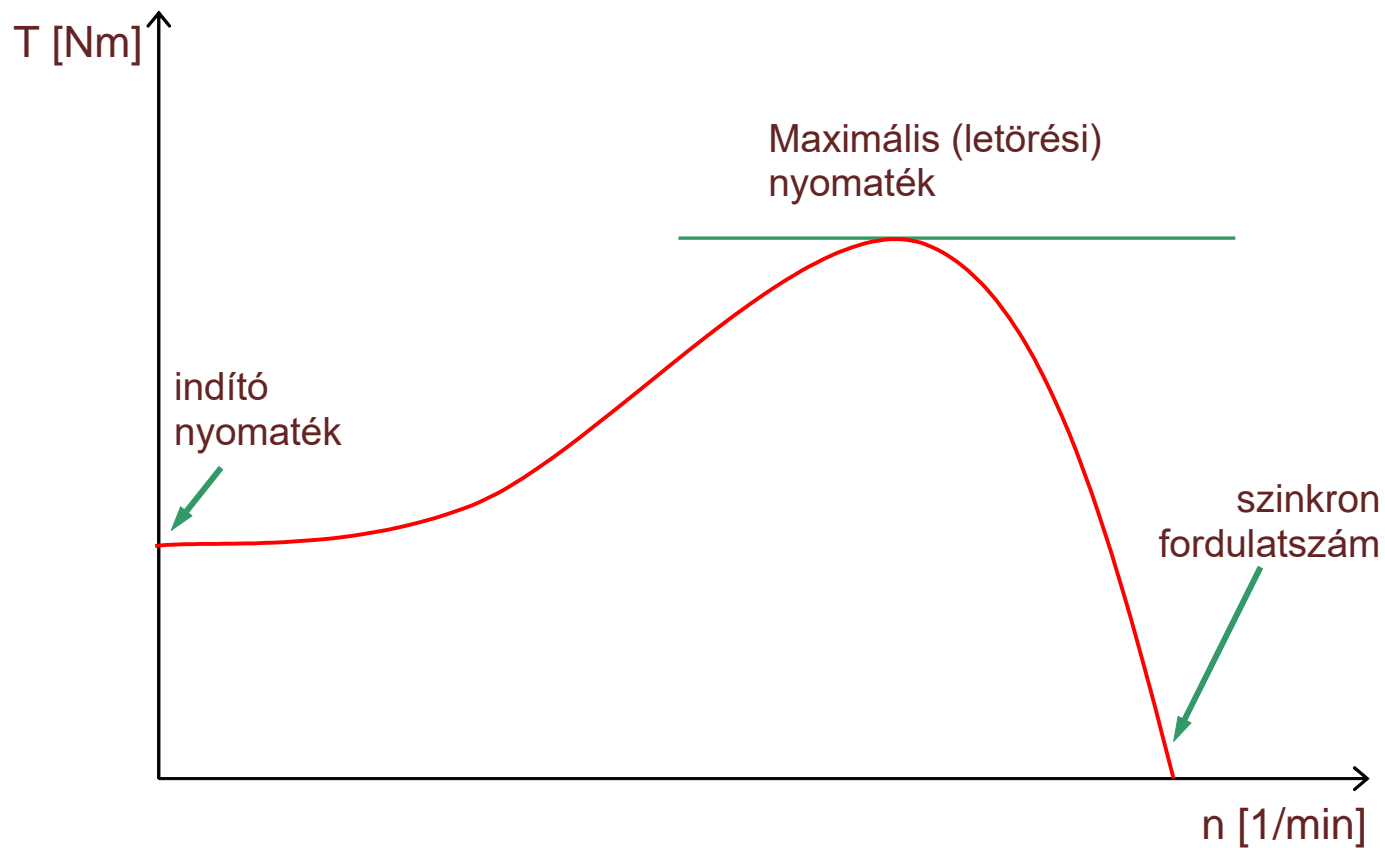
A slip-et befolyásoló tényzők:

- Motor konstrukciós paraméterek,
- A motor forgórészét érő terhelő nyomaték:  
nagyobb terhelő nyomaték nagyobb slip-hez vezet.



# Nyomatéki jelleggörbe

Tipikus nyomaték - fordulatszám jelleggörbe:

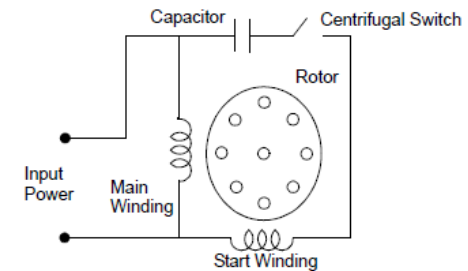
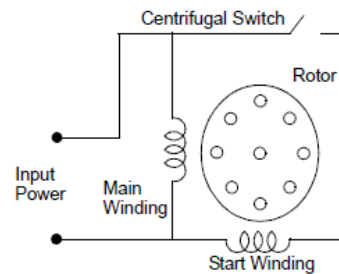


# AC motor típusok

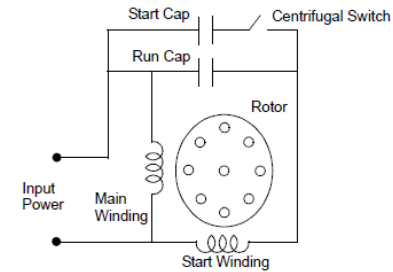
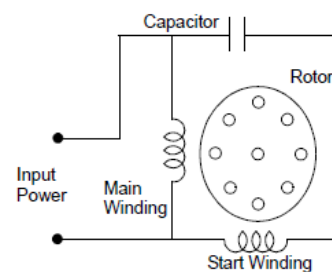
## Egyfázisú aszinkron motorok:

- 1 állórész tekercs, egyfázisú váltakozó feszültséggel táplálva
- Kalickás forgórész
- Nincs indító nyomaték, az indításról kiegészítő megoldásokkal kell gondoskodni:

Segédfázis: eltérő fázisú mágneses teret kelt, a fordulatszám 75%-ának elérésekor kikapcsol.



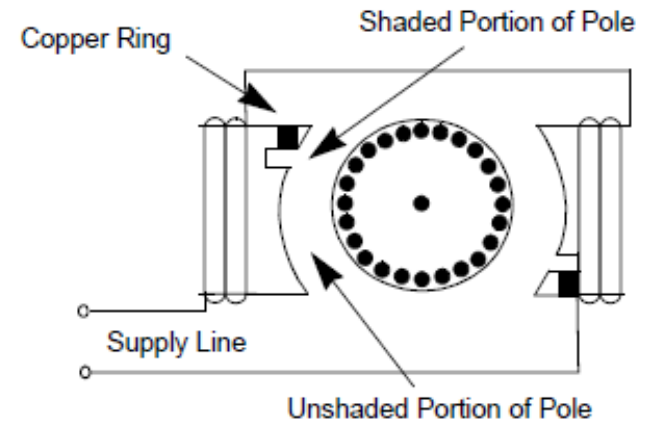
Állandó segédfázisú motorok:  
a segédfázis nem csak indításkor kap szerepet, hanem a forgó mágneses tér kialakításában is.



# AC motor típusok

## Árnyékolt pólusú aszinkron motorok: (Shaded Pole AC Induction Motor)

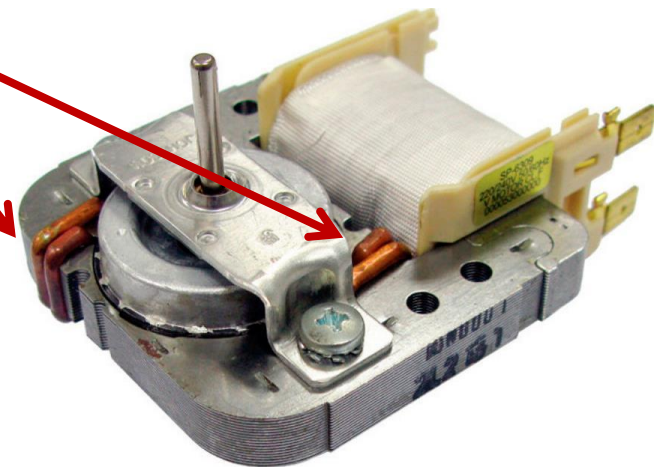
Fázisban eltolt mágneses teret állít elő a forgás meghatározott szöghelyzeteiben rövidrezáró vezető gyűrűk segítségével.



rövidrezáró gyűrűk

1-fázisú motorok, alapállapotukban egyirányú forgást tesznek lehetővé.

Olcsó, nagy tömegben gyártott motorok, alkalmazási területük: kis pontosság-igényű hajtás, háztartási gépek.



# AC motor típusok

---

Az egyfázisú aszinkron motorok hátrányai:

- Kis indítónyomaték.
- Gyakori indulás - leállítás nem kedvez a működésnek.
- Fordulatszám ingadozó, ugyanakkor a fordulatszám-szabályozás nehézkes.
- Gyakorlatban hálózati 50 (60) Hz táplálás mellett használjuk.

Előnyeik:

- Olcsó, nagy tömegben gyártható termékek.
- Robusztus, kevés karbantartást igénylő konstrukciók.



# AC motor típusok

---

## 3-fázisú aszinkron motorok:

- Rövidrezárt forgórészű (kalickás) motorok.
- Tekercselt forgórészű motorok - a forgórészhez csúszógyűrűkön keresztül ellenállások csatlakozhatnak, amelyekkel szabályozhatók.

Tekercselt forgórészű aszinkron motorok nagy teljesítményű hajtások céljára készülnek, pl. szivattyúk, lépellátó rendszerek.

Kis/közepes teljesítményű hajtások, precíziós hajtások céljára, továbbá szervo alkalmazásokra: kalickás forgórészű 3-fázisú motorok.

## Alkalmazási módok:

- Villamos hálózati alkalmazás - 50 (60) Hz-es hálózat.
- Változó frekvenciájú vezérlés - frekvenciaváltók.
- Szabályozott működtetés: fordulatszám, pozíció.

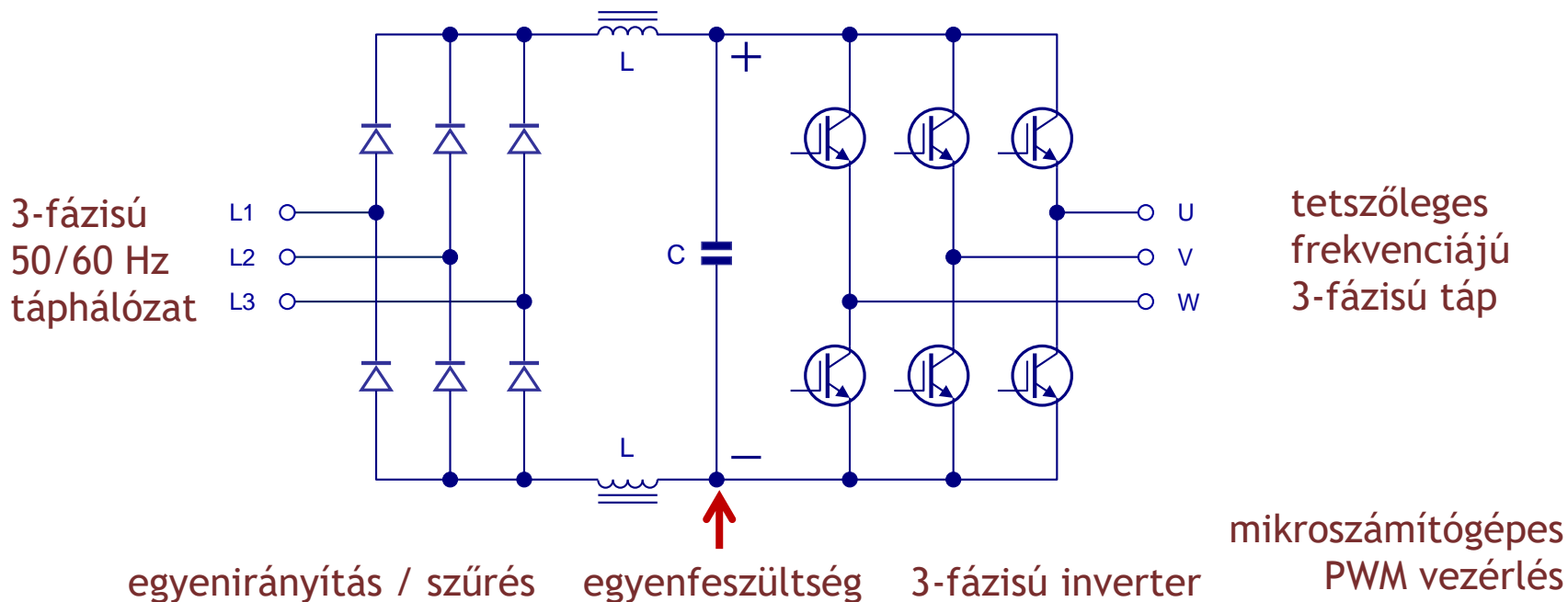


# Frekvenciaváltók

A hálózati frekvenciától eltérő frekvenciájú táplálás megvalósítása –

ezzel az AC motoron fordulatszám-vezérlés.

Frekvenciaváltók ma – kapcsolóüzemű (PWM) technika:



# Frekvenciaváltók



## Variable Frequency Drive (VFD)

- 1-fázisú bemenetről 3-fázisú kimenet
- 3-fázisú bemenetről 3-fázisú kimenet

Teljesítmény: pár száz W-tól több száz kW-ig.



- Érzékelő bemenetekkel rendelkező frekvenciaváltók: visszacsatolt szabályozás alakítható ki velük.



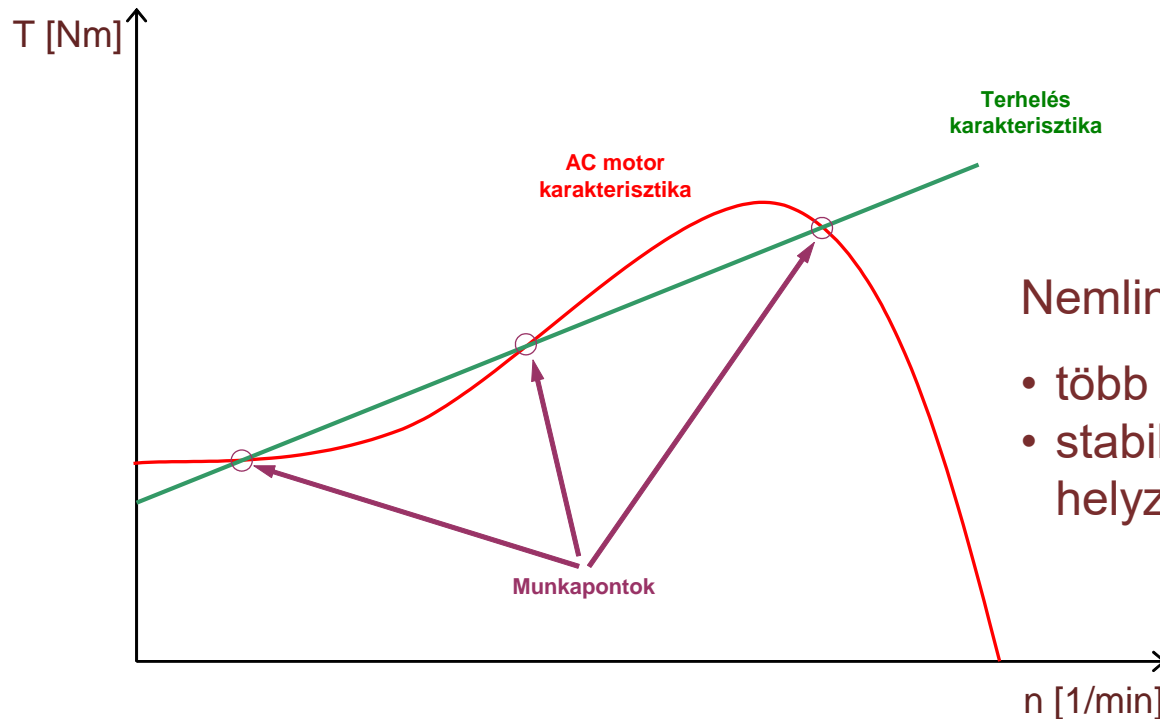


# AC motor hajtások

A hajtás minősége:

a motor és a terhelő nyomaték együttese határozza meg.

Nemlineáris nyomatéki karakterisztika – problémák forrása:



Munkapont: a motor és a terhelés által kifejtett nyomaték egyensúlya.

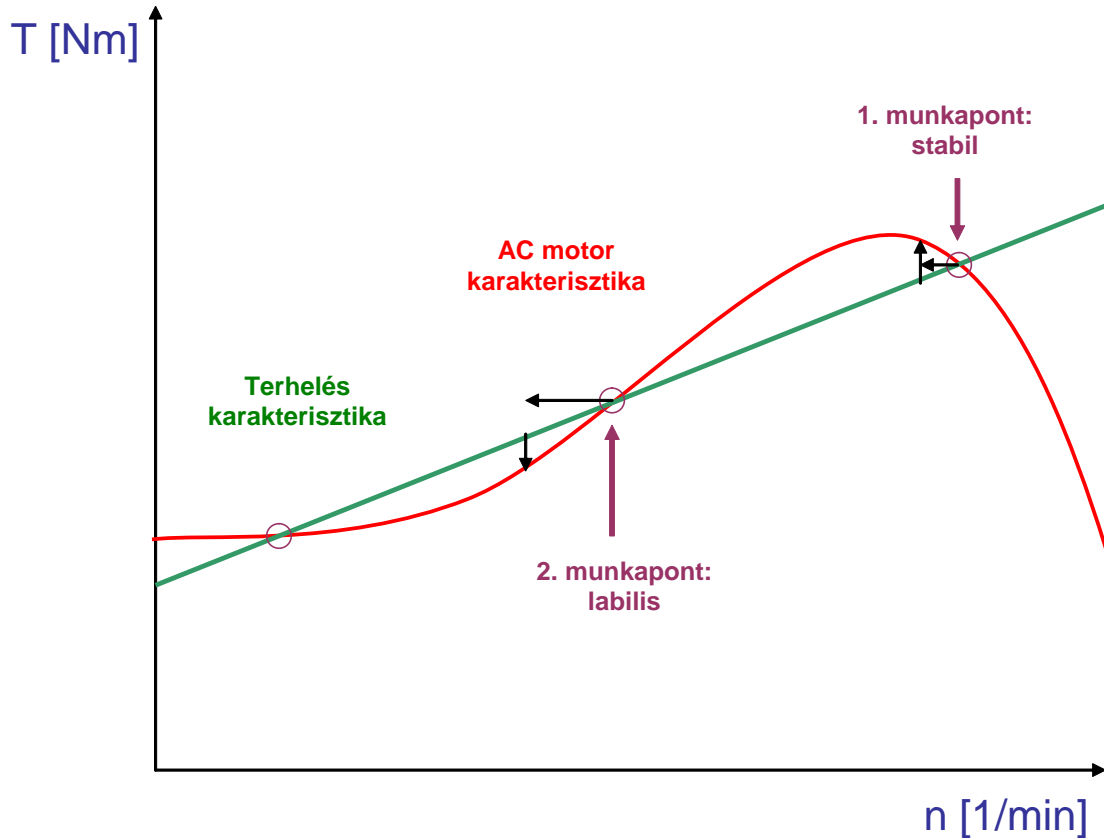
Nemlineáris karakterisztika:

- több munkapont is lehetséges,
- stabil és labilis egyensúlyi helyzetek állhatnak elő.



# AC motor hajtások

## Munkapontok:



### 1. munkapont

- A fordulatszám kis csökkenése nagyobb motornyomaték irányában mozdítja az egyensúlyt.
- Ez növeli a fordulatszámot, tehát visszaállítja az egyensúlyi helyzetet, tehát a munkapont **stabil**.

### 2. munkapont

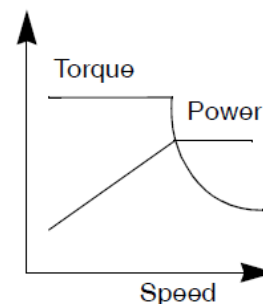
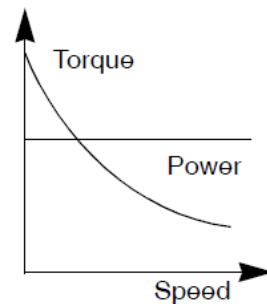
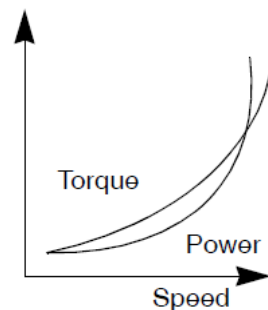
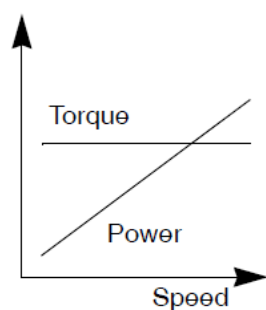
- A fordulatszám kis csökkenése nagyobb terhelés irányában mozdítja az egyensúlyt.
- Ez tovább csökkenti a fordulatszámot, tehát az egyensúlyi helyzet **labilis**.



# AC motor hajtások

## Terhelési karakterisztikák:

- Állandó nyomatékú terhelés.
- A fordulatszám függvényében monoton növekedő / csökkenő terhelés – lineáris / nemlineáris karakterisztika.
- Állandó teljesítményű terhelés – a nyomatéki jelleggörbén csökkenő hiperbolikus karakterisztika.
- Lineáris / nemlineáris karakterisztika határolással (nyomaték / fordulatszám határolás).



# AC motor szabályozások

---

AC motor szabályozott működtetése:

- Fordulatszám-szabályozás.
- Pozíció-szervoszabályozás.
- Hajtásszabályozás: fordulatszám és nyomaték együttes szabályozása.

Régebben a fordulatszám-szabályozás dominált, ma emellett az AC szervo-szabályozás egyre nagyobb jelentőséget kap.

AC hajtás a járműtechnikában:

Előnyei a DC BLDC / PMS hajtásokhoz képest: nem alkalmaz mágneseket – kisebb tömeg / inercia, függetlenít a mágnes- és ritkaföldfém termelőktől (Kína).



# AC motor szabályozások

---

## AC motor szabályozási séma - hardver:

- háromfázisú inverter (H-híd)
- kapcsolóüzemű működés: PWM
- mikrovezérlő alkalmazása

Hasonló hardver szükséges, mint a BLDC / PMS motorszabályozáshoz.

### Inverter realizálása:

- Tranzisztorok
- MOSFET-ek
- IGBT-k.

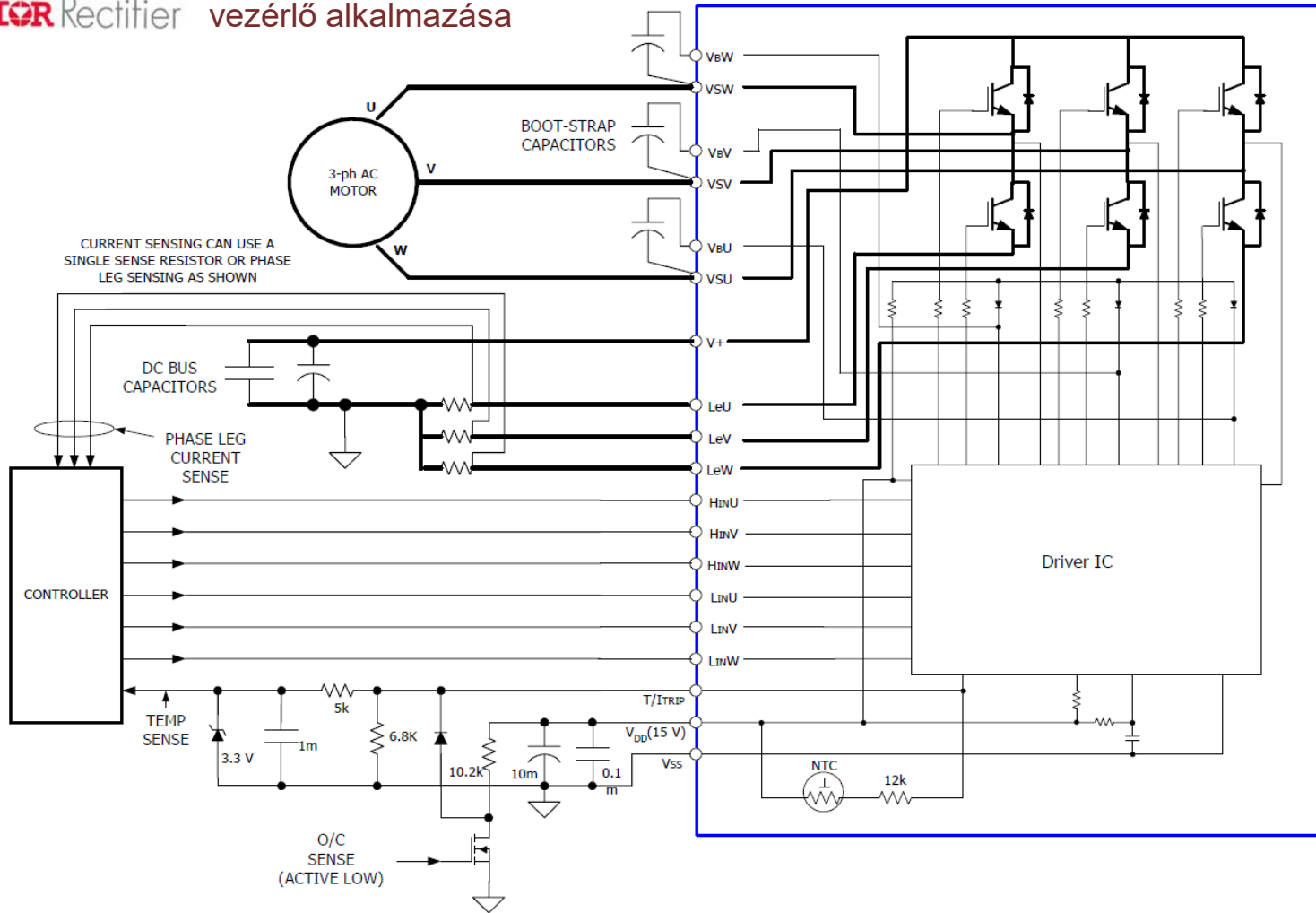
### Mérések:

- Árammérés – fázisonként – nyomaték-szabályozás megvalósításához.
- Forgórész szöghelyzet mérés szinkronizáláshoz és nyomaték/fordulatszám szabályozás minőségének biztosításához.
- Fordulatszám-mérés – fordulatszám-szabályozás megvalósításához.



# AC motor szabályozások

International IRAMS integrált  
IOR Rectifier vezérlő alkalmazása



# AC motor szabályozások

International  
**IOR** Rectifier

IRAMS10UP60 integrált vezérlő



- Teljes háromfázisú inverter  
10A 600 V
- IGBT alapú kapcsolók
- Fázisonkénti áramérzékelés
- Védelmi funkciók: egymásba nyitás, áram-túllépés, hőmegfutás elleni védelem
- Kis- és nagyfeszültségű részek elszigetelése 2 kV határig
- Nagy zavarvédelmet megvalósító logikai bementetek



# AC motor szabályozások

---

Szabályozási módszerek:

- „Skalár” módszerek
  - Feszültség és frekvencia vezérlés – V/f arányra szabályozás
  - Háromfázisú szinuszjel generálás
    - PWM alapú szinusz jelalak generálás (tárolt szinusz tábla – look-up table)
    - Lépcsős függvénnnyel közelített szinusz, pl. 6-pontos szinusz-generálás (kiegészítve PWM-mel)
- „Vektor” módszerek – mezőorientált szabályozás
  - Áramvektor-szabályozással megvalósított nyomatékszabályozás

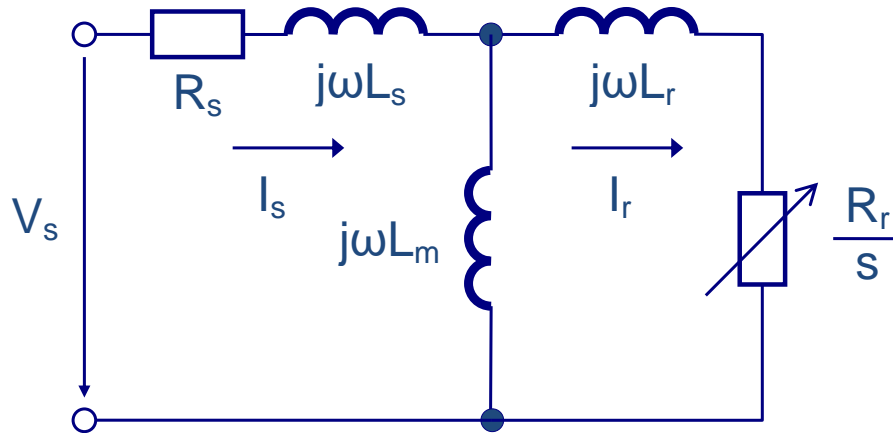


Mikroszámítógépes algoritmusokban testesülnek meg.



# Az AC motor modellje

Az AC motor ekvivalens áramköri modellje:



A forgás következtében:  
a slip arányában  
változó ellenállás

$R_s$  – az állórész ohmos ellenállása

$L_s$  – az állórész inuktivitása

$L_m$  – kölcsönös inuktivitás az álló- és forgórész között (mágnesezési inuktivitás)

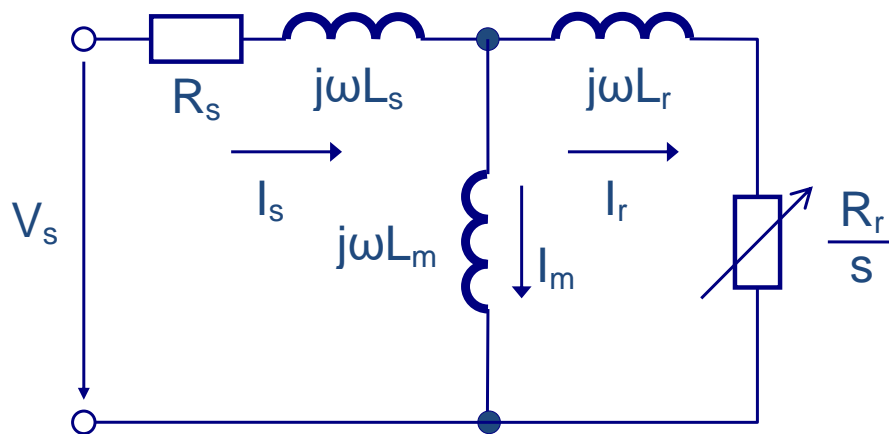
$L_r$  – a forgórész inuktivitása

$R_s$  – a forgórész ohmos ellenállása

$s$  – a slip értéke



# V / f szabályozás



A mágnesezési induktivitás áramának nagysága – elhanyagolva az ellenállásokat és induktivitásokat:

$$I_m = \frac{V_s}{2\pi f L_m}$$

Tehát  $I_m \sim \frac{V_s}{f}$ , így a mágnesező áram szabályozható a

V/f arány biztosításával – az áramon keresztül nyomaték-szabályozást valósít meg.

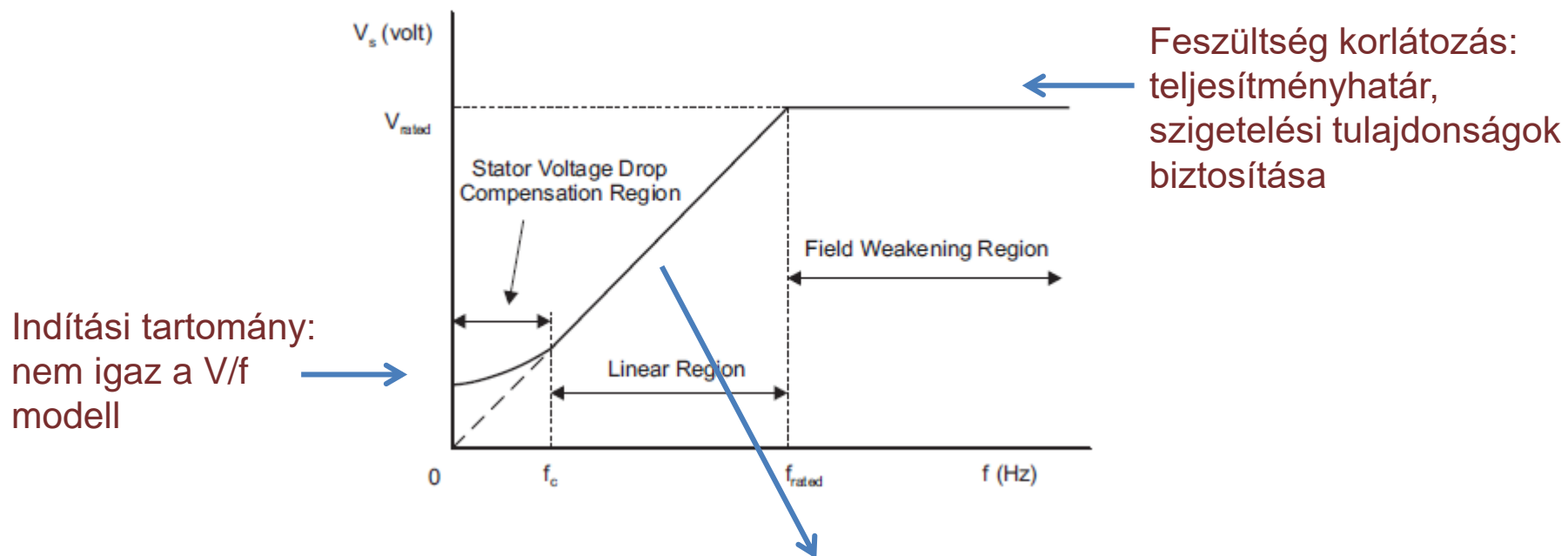
V/f szabályozás: ma a legelterjedtebben alkalmazott szabályozási elv az AC motoroknál.



# V / f szabályozás

A V/f szabályozás alkalmazási tartománya:

az AC motor karakterisztikájának középső tartománya



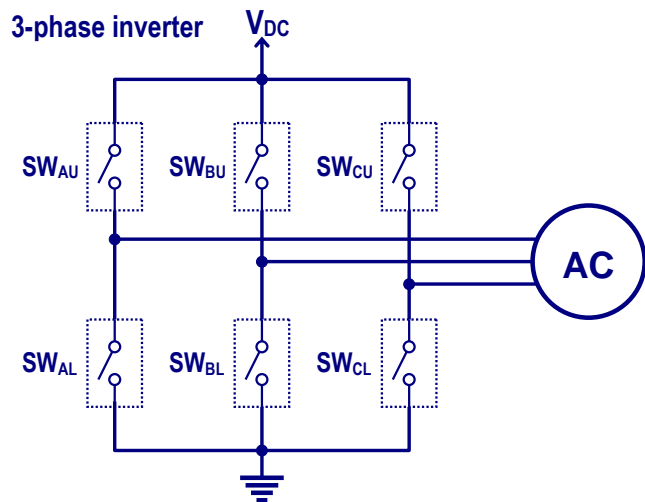
Indítási tartomány:  
nem igaz a V/f  
modell

Feszültség korlátozás:  
teljesítményhatár,  
szigetelési tulajdonságok  
biztosítása

V/f szabályozás: lineáris feszültség – frekvencia karakterisztika.

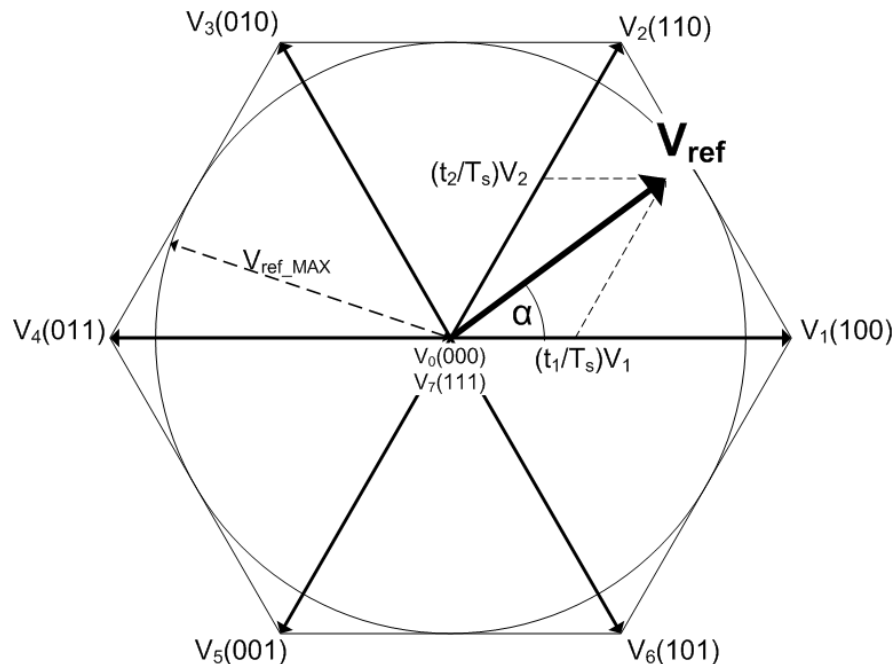


# Színusz térvektor generálás



A 3-fázisú H-híd táp- és földoldali kapcsolóinak ellenütemű vezérlése mellett:

Vector	A <sup>+</sup>	B <sup>+</sup>	C <sup>+</sup>	A <sup>-</sup>	B <sup>-</sup>	C <sup>-</sup>	V <sub>AB</sub>	V <sub>BC</sub>	V <sub>CA</sub>
V <sub>0</sub> = {000}	OFF	OFF	OFF	ON	ON	ON	0	0	0
V <sub>1</sub> = {100}	ON	OFF	OFF	OFF	ON	ON	+V <sub>dc</sub>	0	-V <sub>dc</sub>
V <sub>2</sub> = {110}	ON	ON	OFF	OFF	OFF	ON	0	+V <sub>dc</sub>	-V <sub>dc</sub>
V <sub>3</sub> = {010}	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	-V <sub>dc</sub>	+V <sub>dc</sub>	0
V <sub>4</sub> = {011}	OFF	ON	ON	ON	OFF	OFF	-V <sub>dc</sub>	0	+V <sub>dc</sub>
V <sub>5</sub> = {001}	OFF	OFF	ON	ON	ON	OFF	0	-V <sub>dc</sub>	+V <sub>dc</sub>
V <sub>6</sub> = {101}	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	+V <sub>dc</sub>	-V <sub>dc</sub>	0
V <sub>7</sub> = {111}	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	0	0	0

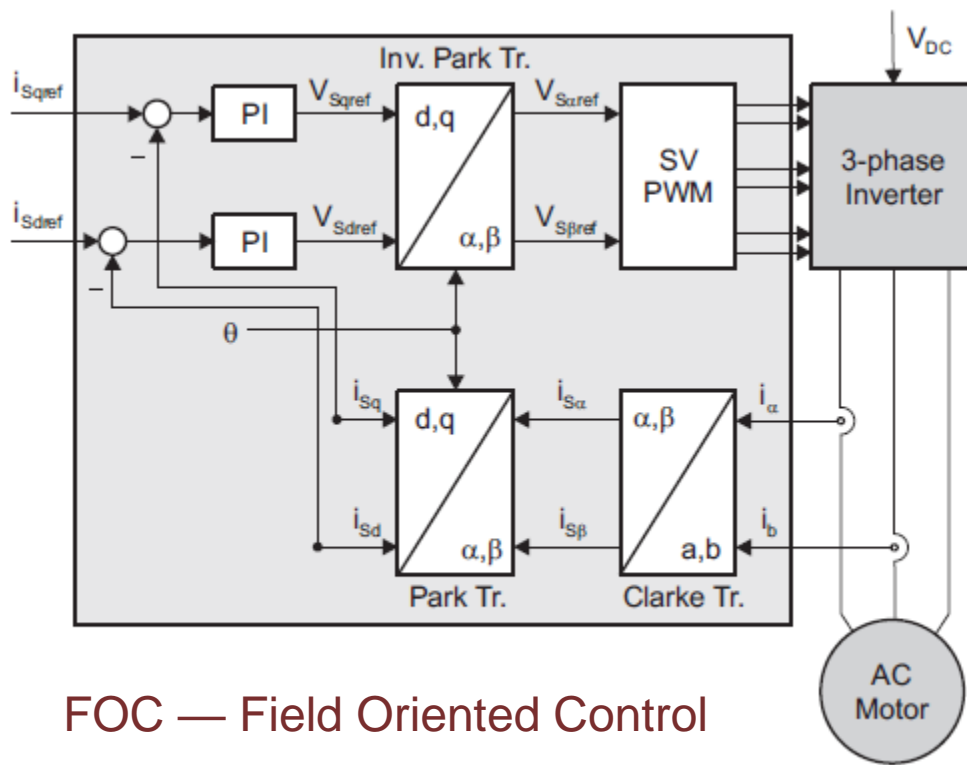


- PWM nélkül: 6-pontos szinusz approximáció.
- PWM-mel: korlátlanul finomítható – a 3-fázisú sin függvény nagy pontosságú előállítására.



# Mezőorientált (FOC) szabályozás

Hasonló elvek alkalmazhatók, mint amelyet a PMS motorok mezőorientált szabályozásánál láthattunk:



FOC — Field Oriented Control

## Eltérések:

- eltérő matematikai modell, eltérő egyenletek.
- Nemlinearitások nagyobb mértékben jelentkeznek.
- Nemlineáris stabilitási problémák léphetnek fel.

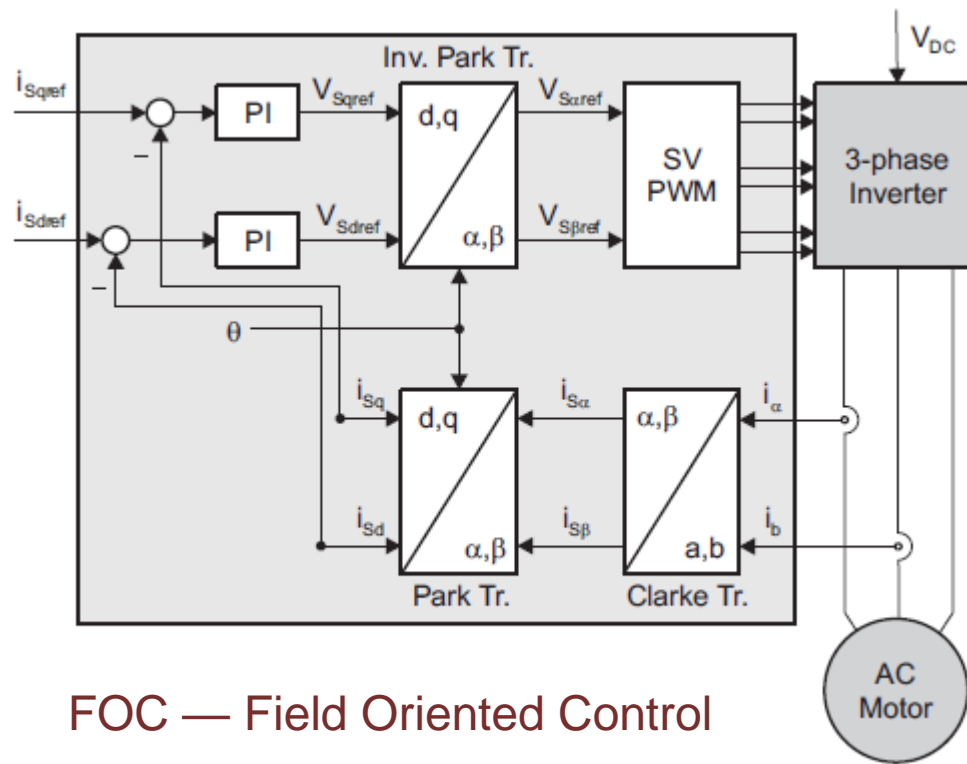
... az eltérő hardver sajátosságok mellett

Tere van magas szintű irányítás-elméleti elvek alkalmazásának.



# Mezőorientált (FOC) szabályozás

A precíz szabályozáshoz szükséges a rotor szöghelyzetének mérése – szenzoros megoldás.



Mai irányzatok:

- A PID szabályozáson túlmutató megoldások:
  - sliding mode,
  - nemlineáris szabályozások.
- Szenzornélküli megoldások kutatása.



# BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

Dr. Soumelidis Alexandros



*email: [soumelidis@sztaki.hu](mailto:soumelidis@sztaki.hu)*



**BME KÖZLEKEDÉSMÉRNÖKI ÉS JÁRMŰMÉRNÖKI KAR**  
**32708-2/2017/INTFIN SZÁMÚ EMMI ÁLTAL TÁMOGATOTT TANANYAG**