

# Mérési útmutató

Égető Tamás, Pál Balázs, Sitku Balázs

## Siemens eszközökkel vezérelt frekvenciaváltós aszinkronmotoros hajtás vizsgálata

### Tartalomjegyzék

Bevezető	2
<b>1. Az aszinkron gép</b>	<b>2</b>
1.1. Működése . . . . .	2
1.2. A szlip . . . . .	3
1.3. Működési módok, karakterisztika . . . . .	3
1.4. Helyettesítőkép . . . . .	5
<b>2. Az aszinkron gép fordulatszám szabályozása</b>	<b>6</b>
2.1. A forgórész ellenállásának változtatása . . . . .	7
2.2. Tápfeszültség változtatása . . . . .	7
2.3. A pólusszám változtatás (kiegészítő anyag) . . . . .	8
2.4. Frekvenciaszabályozott aszinkron motoros hajtások . . . . .	9
2.4.1. Hálózati kommutációjú közvetlen frekvenciaváltó (kiegészítő anyag) . . . . .	10
2.4.2. Feszültséginverteres aszinkron motoros hajtások . . . . .	10
2.5. Házi feladat . . . . .	12
2.6. PWM - Órai anyag . . . . .	12
<b>3. Alkalmazott eszközök</b>	<b>13</b>
<b>4. Mérési feladatok</b>	<b>14</b>
<b>5. Felkészülést segítő kérdések</b>	<b>14</b>

# Bevezető

A mai modern világ iparában a villamos energia döntő többségét villamos motorok fogyasztják el, így ezen gépek hatékony vezérlése, illetve üzemeltetése esetén jelentős megtakarítások érhetőek el. Manapság ezeket a gépeket frekvenciaváltós hajtásokkal szabályozzuk, vezéreljük. Ezek a frekvenciaváltók önmagukban is működőképesek, azonban bonyolultabb rendszerek, gyárak, összeszerelő csarnokok esetén, a legtöbb esetben a frekvenciaváltók vezérlése, programozása, egymással való kommunikációja, PLC-ken keresztül történik. A modern megoldások esetén a motorok helyben történő manuális vezérlése HMI-s egységeken keresztül történik. Jelen hallgatói mérés, demonstrációs labor, ezeket a komplex megoldásokat mutatja be. A laboratóriumi gyakorlat során Önöknek lehetősége lesz megismerni a PLC-vel és HMI-vel vezérelt frekvenciaváltók ipari működését. Ezen felül feladatok lesz egy kis egyszerű "villanyszerelési" gyakorlat is, melynek során egy öntartó alapkapcsolást kell összerakniuk.

## 1. Az aszinkron gép

### 1.1. Működése

Az aszinkron gép, vagy más néven az indukciós gép, manapság az egyik legelterjedtebb villamos gépfajta. Népszerűségét robosztusságának, relatív egyszerű felépítésének, és működési módjának, valamint olcsóságának is köszönheti. Az állórész három fázisú tekercselt (kis teljesítményen egy fázisú is lehet, de jelen mérésen ezzel nem foglalkozunk), a forgórész rövidrezárt kalickás, vagy rövidrezárt tekercselt. A mérés során használt gép kalickás, ezért a későbbiekben erről lesz szó.

Számos előnye mellett azonban problémák is adódnak vele kapcsolatban. Generátoros üzemben csak kiegészítő generátorként alkalmazható, mivel meddő energiatermelésre nem képes, illetve motorként a fordulatszámának veszteségmentes változtatására csak bonyolult és drága teljesítményelektronika alkalmazásával van lehetőség.

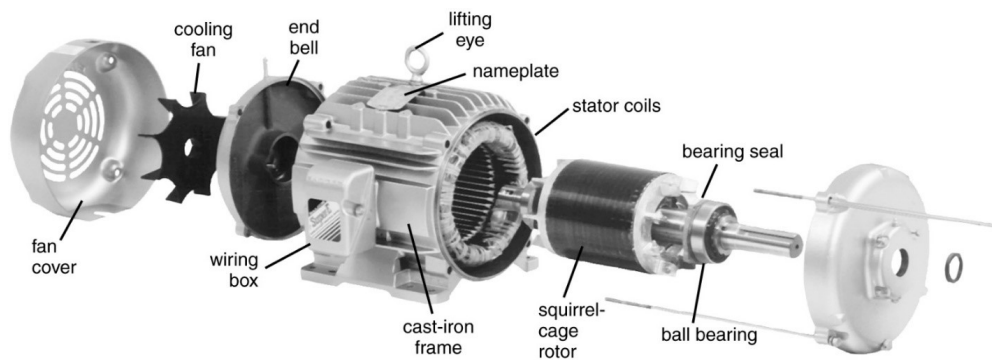
Az indukciós gép, mint a legtöbb villamos gép, két mágneses mező kölcsönhatásának köszönhetően képes működni. Ha a státor, térben egymáshoz képest 120 fokkal eltolt tekercsrendszerére a következő három fázisú, időben 120 fokkal eltolt feszültségrendszerrel kapcsoljuk, a kialakuló áram forgó mágneses mezőt hoz létre:

$$\begin{aligned}U_a &= U_0 \cdot \cos(\omega t) \\U_b &= U_0 \cdot \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \\U_c &= U_0 \cdot \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right),\end{aligned}$$

akkor forgó mágneses mezőt kapunk, mely az aszinkron motor működésének alapfeltétele. Az így létrejövő eredő mágneses mezőnk az ún. szinkron fordulatszámmal forog, mely a következő összefüggéssel számolható:

$$n_{sz} = \frac{60f}{p} \quad (1)$$

( $n_{sz}$  a szinkron fordulatszámot,  $f$  a frekvenciát,  $p$  a póluspárok számát jelenti, és a kapott érték  $\frac{1}{min}$ -ben értendő).



1. ábra. Az aszinkron gép részei [1]

Mivel forgó mágneses mezőt már létrehoztunk, így ennek a mezőnek a felhasználásával és mozgási indukció "segítségével" elérhetjük a gépünk tengelyének forgását. A Faraday-féle indukció törvénye:

$$U_i = - \frac{d\phi}{dt} \quad (2)$$

kimondja, hogy a mágneses fluxus időbeli változása feszültséget indukál. Tehát a forgó mágneses mezőnk fluxusa az 1. ábrán látható kalickás forgórészünkben feszültséget indukál, amely hatására áram kezd folyni benne. Az áramjárta vezetőre erő hat, így a tengely forogni kezd.

## 1.2. A szlip

A frekvenciafeltételből látható, hogy az aszinkron gép állórész mezeje és a mechanikai fordulatszáma között mindig valamekkora különbség van terhelő nyomatéktól függően. E különbség jellemzésére szolgál a szlip ( $s$ ), és általában százalékos értékben adják meg a következő módon:

$$s = \frac{n_{sz} - n_{mech}}{n_{sz}} \quad (3)$$

ahol:

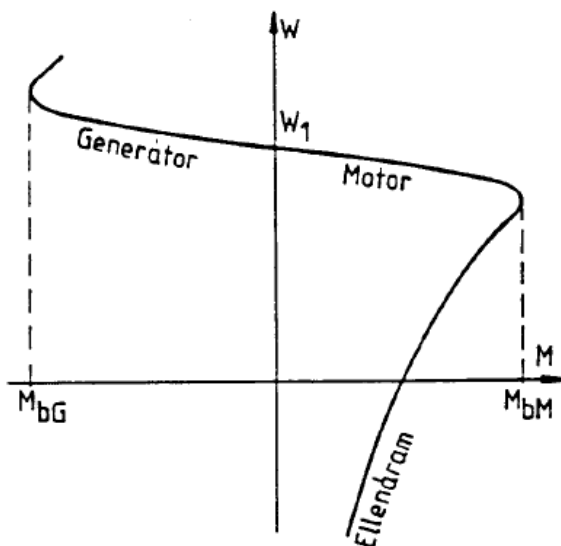
- $n_{sz}$  a szinkron fordulatszám
- $n_{mech}$  a tengely mechanikai fordulatszáma

A szlip tipikus értéke terheléstől függően 2-5%.

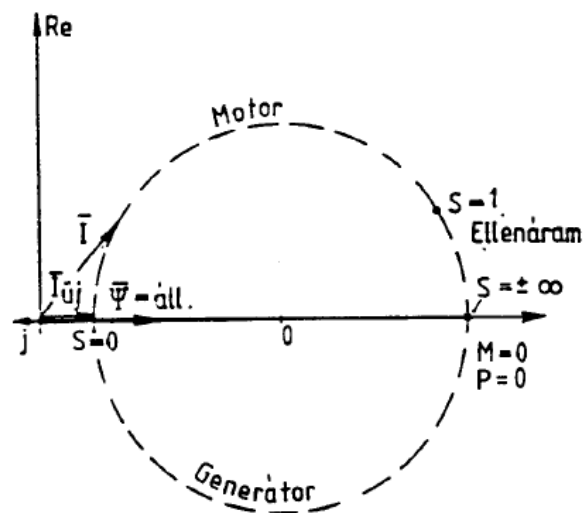
## 1.3. Működési módok, karakterisztika

Az aszinkron gépet leggyakrabban motorként használják az iparban, például a Tesla is alkalmazza autóiban. Generátorként nem elterjedt, esetleg kiegészítő generátorként szokták alkalmazni, amikor egy külső géppel szinkron fordulatszám felé pörgetik. Előnye a szinkrongenerátorral szemben, hogy nem kell a hálózatra szinkronizálni, hátránya azonban az, hogy meddő energia termelésére nem alkalmas.

A 2. ábrán látható az aszinkron motor fordulatszám-nyomaték ( $n$ - $M$ ) jelleggörbéje. Láthatóak rajta a működési módok (generátor, motor, és fék, ami ellenáramként van jelölve), illetve szaggatott vonallal az  $M_{bG}$ , valamint az  $M_{bM}$  is jelölve van, ami a billenőnyomatékot jelöli. A billenőnyomaték gyakorlatilag a motorunkból



2. ábra. Fordulatszám-nyomaték jelleggörbe [3]

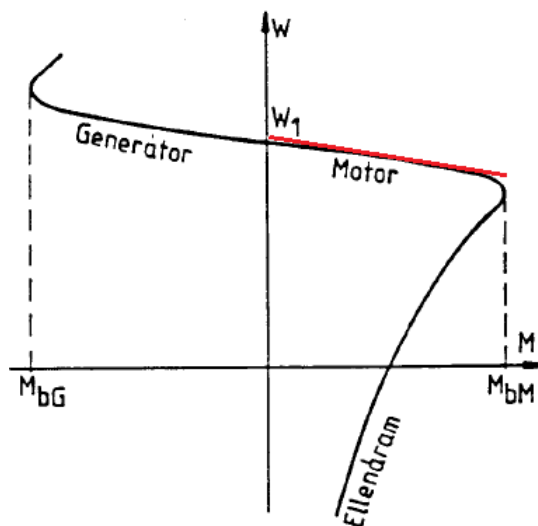


3. ábra. Áramvektor diagram állandó fluxus esetén  
- órai anyaghoz [3]

kihozható maximális nyomaték. A görbe az  $W_1$  pontban metszi az y-tengelyt, amely a szinkron szögsebességet (fordulatszámot) jelenti. Látható, hogy generátorként akkor tud üzemelni, ha ezen fordulatszám fölé pörgetjük.

Azonban az indukciós gépet az iparban főleg motorként, és fékként használják. Fékként a negyedik síknegyedben képes működni, amikor pozitív nyomatékot ad, de az állórész mező fordulatszáma negatív. Ha belegondolunk: a motorként üzemelő gépünkről, ha fokozatosan levesszük a gerjesztést, a gépünk leáll. Ha nem csak levesszük, de ellentétes irányba el is kezdjük forgatni ezt a mezőt, akkor a tengelyre fékezőnyomatékot adunk, és a motorunk fékként üzemel.

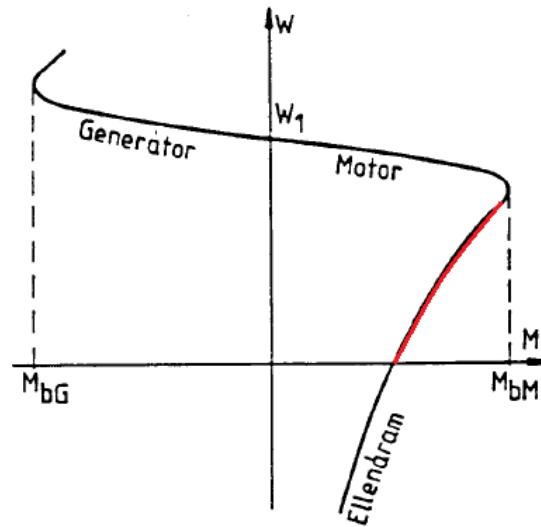
Motoros üzembn a következő képen látható szakasz kihasználására törekszünk:



4. ábra. Stabil szakasz [3]

A pirossal jelölt rész a 4. ábrán a aszikron gép motoros üzemének stabil része. Ugyanis tipikus terhelő nyomatékok hatására a gép képes visszatérni eredeti munkapontjába. Ezzel szemben, ha a következő szakaszon

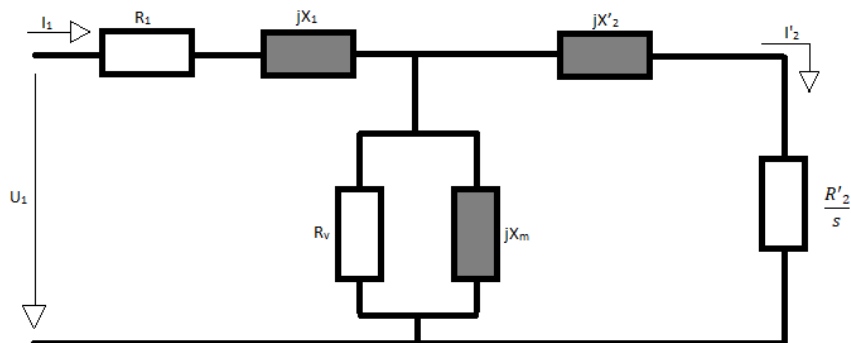
van munkapontunk:



5. ábra. Labilis szakasz [3]

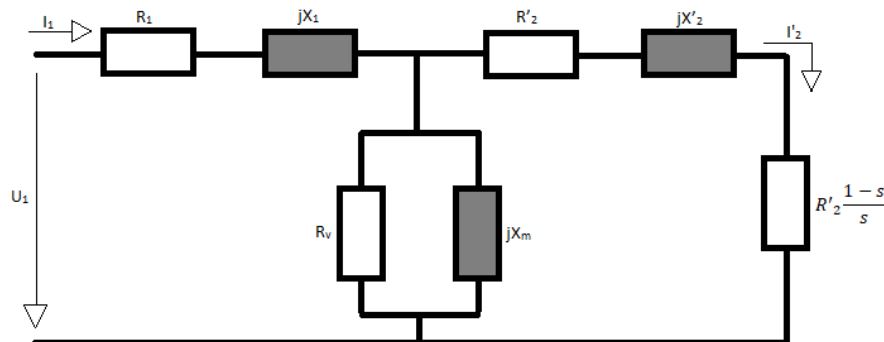
akkor a gépünk labilis munkapontban üzemel, ezen a szakaszon nem alakulhat ki stabil munkapont.

#### 1.4. Helyettesítőkép



6. ábra. Az aszinkron gép helyettesítő képe.

Ahogy az a 6. ábrán látható az aszinkron gép tulajdonképpen egy forgó transzformátor, a szimmetrikusnak feltételezett táplálás miatt alkalmazhatunk itt is egy fázisú helyettesítő kapcsolást. Az egyedüli különbség a szekunder oldali lezárásban található. Ez az  $\frac{R'_2}{s}$  szétbontható 2 ellenállásra:  $R'_2$  és  $R'_2 \frac{1-s}{s}$  a következő módon:



7. ábra. Az aszinkron gép helyettesítő képe.

Így a helyettesítő kép elemei már könnyebben magyarázhatóak:

- $R_1$ : az állórész tekercselés ellenállása
- $X_{s1}$ : az állórész tekercselés szórási reaktanciája
- $X'_{s2}$ : a forgórész szórási reaktanciája
- $R'_2$ : a forgórész ellenállása
- $R'_2 \frac{1-s}{s}$ : szliptól függő terhelő ellenállás
- $R_v$ : vasveszteséget reprezentáló ellenállás
- $X_m$ : főmező reaktancia

A vasveszteséget szimbolizáló  $R_v$  ellenállás a gép vasanyagában létrejövő hőt modellezi. A vasveszteség, mivel örvényáramok hozzák létre, lemezelt állórésszel és forgórésszel, és megfelelő anyagválasztással általában hatékonyan csökkenthető. Sokszor a súrlódás által létrehozott ún. súrlódási veszteségekkel is számolnunk kell, mely a csapágyazások, és a különböző súrlódó anyagok hatására jön létre.

## 2. Az aszinkron gép fordulatszám szabályozása

A forgó mező fordulatszámát a következő módon lehet meghatározni:

$$n = \frac{60f}{p} \left[ \frac{1}{min} \right] \quad (4)$$

$$n = \frac{f}{p} \left[ \frac{1}{sec} \right] \quad (5)$$

Aszinkron gépre a fenti egyenlet a következő összefüggéssé módosul:

$$\omega_m = \frac{2\pi f_1}{p} (1-s) \quad (6)$$

Ezekből a képletekből látható, hogy a fordulatszám analóg a frekvenciával, amellyel a szögsebességet lehet változtatni. A 6. képletből megállapítható, hogy három mennyiség változtatható ahhoz, hogy a fordulatszámot változtatni tudjuk:

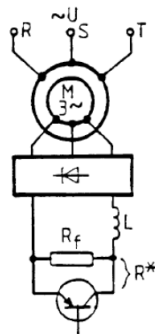
- Az s szlippel, ami megvalósítható a forgórész külső ellenállásnak, illetve a motor tápfeszültségének változtatásával, vagy (a forgórészre kapcsolt) különböző kaszkád kapcsolásokkal
- A p póluspárszám változtatásával, ami a motor tekercselésének átkapcsolásával vagy az úgynevezett pólusamplitudó-modulációval valósítható meg
- Az  $f_1$  frekvencia és a motor tápfeszültségének egyidejű változtatásával

Nézzük meg ezeket a módszereket egy kicsit részletesebben:

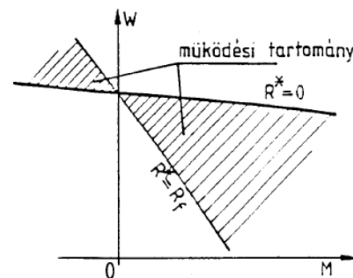
## 2.1. A forgórész ellenállásának változtatása

A motor fordulatszám változtatása a legegyszerűbb módja, de ez kizárólag a csúszógyűrűs megoldásoknál lehetséges. A szlip a forgórész kör ellenállásával arányosan növekszik, míg az üresjárási fordulatszám nem változik. A külső ellenállás miatt jelentősen megnövekszik a forgórész köri veszteség, a mechanikai jelleggörbék lágyabbak lesznek, amely azt jelenti ha a 8b. ábrára tekintünk, hogy a fordulatszám-nyomaték jelleggörbénk meredeksége negatívabb lesz. A külső ellenállásokat- az indító- és fékező ellenállásokkal szemben- tartós terhelésre kell méretezni. A forgórész ellenállásának folyamatos változtatására több lehetőség kínálkozik.

Erre egy megoldást mutat az a 8a. ábrán látható kapcsolás. Ebben a csúszógyűrűről levett szlipfrekvenciás teljesítményt diódás egyenirányítás után vezetjük az  $R_F$  ellenállásba, amelyet egy szaggatóval 0-tól  $R_F$ -ig lehet folyamatosan változtatni, így alakul ki az a 8b. ábrán feltüntetett működési tartomány. A hajtással jó dinamikai mutatók érhetők el.



(a) [3]



(b) [3]

8. ábra. Az ellenállás változtatással történő fordulatszámváltoztatás magyarázó ábrái

## 2.2. Tápfeszültség változtatása

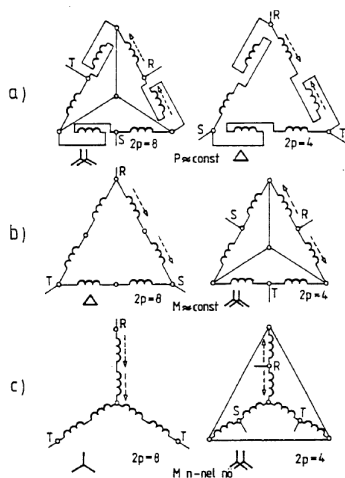
A kapocsfeszültség csökkentésére sok lehetőség van: transzformátor megcsapolások, indukciós szabályozó, állórész előtét ellenállások, fojtótekercsek alkalmazása. Az ipari gyakorlatban azonban csak a tirisztorparók alkalmazása terjedt el. Ekkor minden fázisban ellenpárhuzamosan kapcsolt tirisztorparókat kötünk. Ezek megfelelő gyújtásával a motor kapocsfeszültségének alapharmonikusát zérustól a hálózati feszültségig lehet változtatni. A motor nyomatéka a feszültség négyzetével arányos. A feszültség csökkenésével csökken a motor fluxusa is, ezért a szükséges nyomatékot a gép nagyobb árammal éri el, ami jelentősen csökkenti a motor terhelhetőségét.

A hajtás másik alkalmazási területe az ún. energiatakarékos hajtások. Ismert, hogy a motorok hatásfoka a tekercselési (réz) és vasveszteségek arányától függ. Ezért adott hálózati körfrekvencia és változó terhelőnyomaték esetén, megfelelő feszültség-szabályozással a hatásfok maximuma érhető el.

A hajtások további alkalmazási területe a korlátozott áramú, ún. lágy indítás. Ilyenkor a tirisztorok gyújtásszögét úgy szabályozzuk, hogy indítás alatt a motor árama állandó marad. Ez természetesen az indító nyomaték csökkenésével is jár.

## 2.3. A pólusszám változtatás (kiegészítő anyag)

A tekercselés pólusszámának a megváltoztatásával néhány szikron fordulatszámot lehet elérni. Az egyes pólusszámokra külön-külön, egymástól független tekercselést lehet helyezni ugyanazokban a hornyokba, azonban egyidejűleg csak egy tekercselés lehet üzemben, ezért az ilyen gépek kihasználása igen kicsi lenne. Jobb kihasználást ad az a megoldás, amikor ugyanazt a tekercselést lehet megcsapolások segítségével két különböző pólusszámra átkapcsolni. A legegyszerűbb u.n. Dahlander-tekercselés A 9.ábrán esetében 1:2 arányban lehet a pólusszámot változtatni hat kivezetés segítségével. Minden fázistekercs két félrészből áll, és ha a két félben a kölcsönös áramirányt megváltoztatjuk, akkor a forgómező pólusszáma 1:2 arányban megváltozik. A 3.ábrán a leggyakrabban használt Dahlander kapcsolások láthatóak. A szaggatott vonallal rajzolt nyilak mutatják az egyik fázisban a két féltekercsben folyó áramok kölcsönös irányát.



9. ábra. [3]

Ügyelni kell arra is, hogy a pólusátkapcsoláskor a fázissorrendet is meg kell változtatni, különben a mező forgásiránya is megváltozik. Ennek az a magyarázata, hogy kisebb pólusszámú kapcsolásokban két fázis egymástól  $120^\circ$  villamos szög távolságra van egymástól: a két pólusszámú kapcsolásban ugyanannak a geometriai szögnek kétszer akkora a villamos szöge, tehát  $240^\circ$  felel meg. Ezért pl. a b fázis szerepét a c fázis veszi át stb. A pólusátkapcsolásos motoroknál kisebbek az indítási és fékezési veszteségek. Ezért célszerű alkalmazási területük pl. a centrifugák hajtása, ahol fékezéskor a kisebb pólusszámról a nagyobbra térünk át (pl.  $p=2$ -ről  $p=4$ -re), így a centrifugák nagy kinetikus energiája fékezéskor visszaadható a hálózatba. Másik alkalmazási területük az 11,5 m/sec sebességű felvonók hajtása, ahol beálláskor térünk át a nagyobb pólusszámú tekercsre.

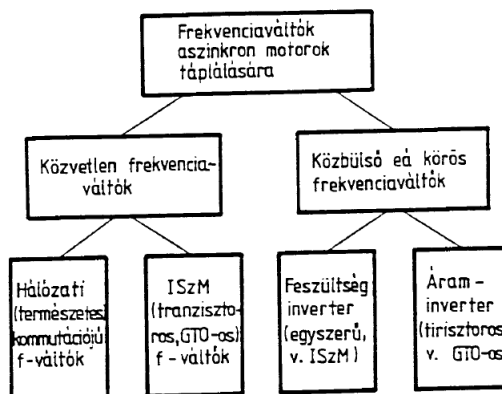
A pólusátkapcsolású motoroknak rosszabb a kihasználásuk, tehát nagyobb a súlyuk és az áruk, valamivel kisebb a hatásfokuk és a  $\cos(\phi)$ -jük.



## 2.4. Frekvenciaszabályozott aszinkron motoros hajtások

Az aszinkron motorok kapcsaira adott feszültség frekvenciájának a szabályozása módot ad az aszinkron motor szögsebességének folyamatos kontrollálására. A szükséges eszköz ehhez ma már általában félvezetőkkel felépített frekvenciaváltó. Ezen a területen az elmúlt évtizedekben alapvető haladást sikerült elérni és ezzel a frekvenciaszabályozott aszinkron motoros hajtások gyakorlati alkalmazása gazdaságossá vált az ipar számos területén, melynek előnye, hogy gyakorlatilag veszteség- és fokozatmentesen szabályozható a motor fordulatszáma, hátránya, hogy drága és bonyolult a szerkezete.

A 10. ábrán látható a frekvenciaváltók fajtái. A hálózati (természetes) kommutációjú tirisztoros, közvetlen frekvenciaváltó az 50Hz-es ipari hálózathoz általában 0Hz-től maximum 20-25Hz-ig váltakozó frekvenciájú feszültséget állít elő, ezért elsősorban alacsony fordulatszámú, és nagy teljesítményű hajtásokhoz használjuk. Impulzus szélességmodulációs (ISZM, azaz PWM(Pulse-width modulation)). Tranzisztoros, közvetlen frekvenciaváltók is léteznek, de ezek ipari alkalmazása még várat magára.



10. ábra. Aszinkron motor táplálására használt frekvenciaváltók felosztása [3]

A közbülső egyenáramú körs frekvenciaváltókban először - diódás vagy tirisztoros egyenirányítók - egyenáramú feszültséget állítunk elő, amelyet egy inverter alakít át váltakozóáramú változó frekvenciájú feszültséggé. Ha az egyenáramú körben az inverter bemenetén kondenzátorokat helyezünk el, akkor feszültség jellegű táplálásról - ill. feszültséginverterről - beszélünk, mivel ilyenkor az inverter bemeneti impedanciája kicsi és ezért az inverter egyenáramú tápfeszültsége kevésbé függ az egyenáramú kör áramától. Alapvetően két inverter változatot különböztetünk meg: egyszerű és PWM invertereket. Az egyszerű inverterekben az inverter egyenáramú feszültsége változtatható és ezért az invertert csak frekvenciaváltoztatásra használjuk. Az PWM inverterekben az egyenáramú feszültség nem változtatható és ezért mind a kimenő feszültség, mind a frekvencia változtatását az inverterrel kell elérni.

A feszültséginverterek a viszonylag széles sávú frekvenciaváltoztatásra alkalmasak. A szokásos frekvencia sáv 0-400Hz-ig terjed, de több kHz-es kimenőfeszültség is előállítható. Az áraminverter kimenő frekvenciája általában nem haladja meg a 400Hz-et, sőt tirisztoros kényszerkommutációs változatban maximális értéke általában csak 100-200Hz körül van.

#### 2.4.1. Hálózati kommutációjú közvetlen frekvenciaváltó (kiegészítő anyag)

A közvetlen frekvenciaváltó (más néven ciklokonverter) a hálózati frekvenciájú, általában háromfázisú feszültségből  $0-f_{max}$  között változtatható frekvenciájú - általában szintén háromfázisú szimmetrikus feszültséget állít elő, méghozzá egy lépésben. Közvetlen frekvenciaváltókkal a teljesítmény tetszőleges iránya valósítható meg, míg a frekvenciaváltók fázisainak megfelelő sorrendű vezérlésével (a,b,c, ill. a,c,b,) a szögsebesség mindkét iránya valósítható meg. Ezért ezek a hajtások 4/4-sek és a fékezés generátoros üzemben történik.

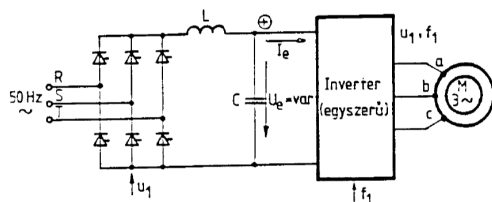
A sok félvezető miatt ezek a hajtások általában csak néhány száz kW-os teljesítmény szinttől gazdaságosak, míg kisebb névleges szögsebességük miatt elsősorban a szinkronmotorok szabályozására használjuk.

#### 2.4.2. Feszültséginverteres aszinkron motoros hajtások

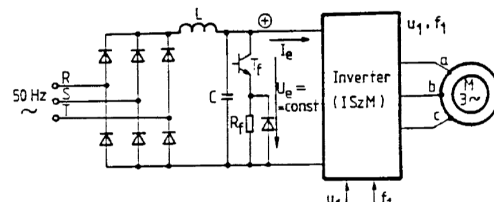
A frekvenciaváltók két legelterjedtebb változatát a 11.ábrán tüntettük fel, az a) ábra az u.n. egyszerű, a b) ábra az PWM inverterre vonatkozik. Az a) ábrán az egyenirányító híd tirisztorokból épül fel, az  $\alpha$  gyújtásszög változtatásával az  $U_e$  egyenáramú feszültség kívánt értéke beállítható.

A b) ábrán a diódás egyenirányító híd nem szabályozható, így  $U_e$  közel konstans egyenfeszültséget állít elő. Mind az egyszerű, mind az PWM inverterek esetén L-C szűrőkört helyezünk el az egyenáramú körben, ezzel egyrészt simítjuk az egyenfeszültséget, másrészt csökkentjük a hálózati áram harmonikus tartalmát. Mint látni fogjuk a C kondenzátor elvileg is szükséges a frekvenciaváltó normális működéséhez.

A ma használt feszültséginverterek már csak kikapcsolható félvezető elemeket tartalmaznak (tranzisztorok, GTO-k), így kényszerkommutációra nincs szükség. Ezzel jelentősen javult az inverterek hatásfoka és a legalább egy nagyságrenddel sikerült megemelni az inverterek maximálisan megengedhető kapcsolási frekvenciát. A PWM-ről bővebben a mérés során fognak hallani. Most annyi a fontos, hogy ez egy vezérlési eljárás, amellyel a félvezetőket vezérelük.



(a) Tirisztoros egyenirányító, egyszerű inverterrel[3]

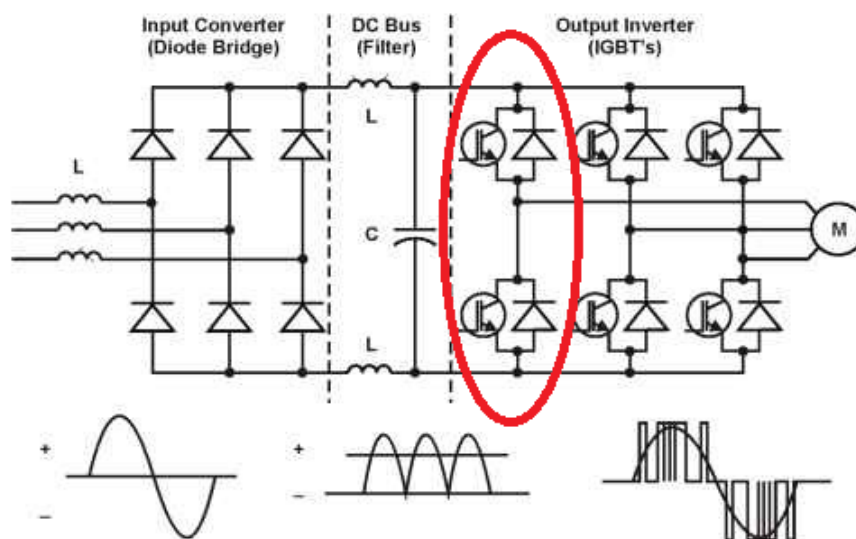


(b) Diódás egyenirányító, PWM inverterrel[3]

11. ábra. Feszültséginverteres aszinkron motoros hajtás

A 12. ábrán a bekarikázott rész egy hídágot jelöl. A frekvenciaváltók mindennapi használatáról, működéséről a következő videóból egy jó betekintést nyerhetünk: <https://www.youtube.com/watch?v=vz4a65ALLs0&fbclid=IwAR3rnohKhLLCCZg-c2EnMdTL12piV34-YGDi0QZ7vdkhwdWYyYX2bu7zK14>

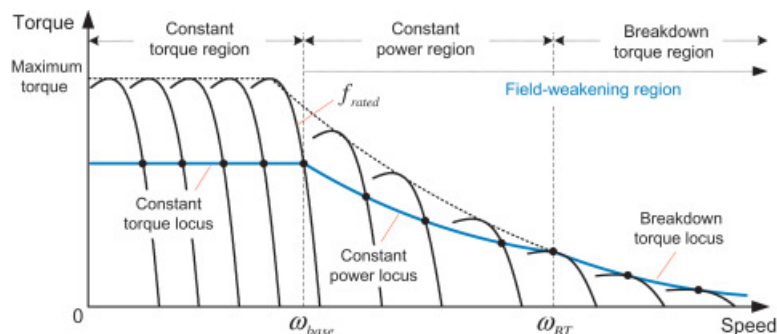
A könnyebb megértés végett.



12. ábra. Egy feszültség inverter felépítése látható ezen az ábrán [4]

A forgásiránymegváltoztatása a vezérlés fázis-sorrendjének megváltoztatásával lehetséges. Az inverter tud két-irányú teljesítményáramlást biztosítani. Egy hídágban egyszerre csak egy tranzisztor lehet bekapcsolva, hiszen mindkettő bekapcsolása esetén az egyenkört rövidre zárnánk és az így tönkremenne a mögöttes elektronikánk. Ezért holtidővel kellene vezérelni a biztonság végett. Egy kapcsolás (kommutáció) két tranzisztor vezérlését jelenti. A motoráramot nem szabad megszakítani, ebben nyújtanak segítséget a diódák, amelyeken keresztül vissza tud folyni.

Fontos megérteni azt, hogy a frekvenciaváltós hajtásokban a forgómezőre jellemző szinkron szögsebesség (frekvencia) értéke tolódik el. A forgómező sebességét változtatásának lehetősége adódik a frekvenciaváltó használatával. A 13. ábrán látható az a görbesereg, amelyet a szinkron fordulatszám változtatásával kapunk. Látható, hogy a szögsebesség növekedésével egy bizonyos érték elérésénél (állandó fluxus tartomány vége), a nyomatékunk csökkenésnek indul a fluxus hiperbolikus csökkenésével együtt. A villamos gép szigetelése miatt van szükség a mezőgyengítésre a nagyobb fordulatszámok (frekvenciák) tartományában. Ellenkező esetben a névlegesnél nagyobb feszültség indukálódna a gépben, ami átütést eredményezne.



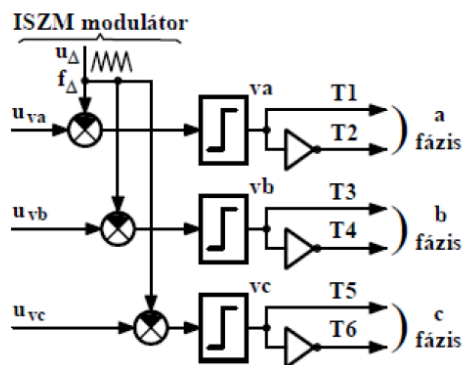
13. ábra. Frekvenciaváltó nyomaték-sebesség diagrammja

## 2.5. Házi feladat

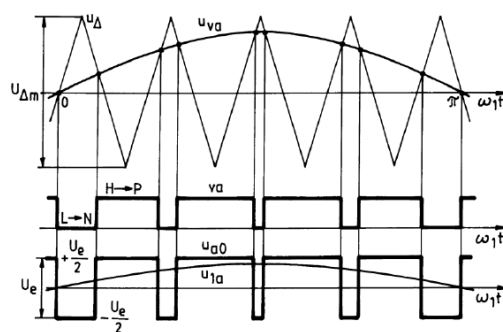
A mérésre való készülés során keresse meg az "Öntartó kapcsolás" fogalmát. Értse meg a kapcsolás működését, majd magyarázza el a mérésvezetőnek!

## 2.6. PWM - Órai anyag

A PWM jellel történő vezérlés megértése a mérés része. Az itt lévő ábrák a mérés során történő megértést segítik.

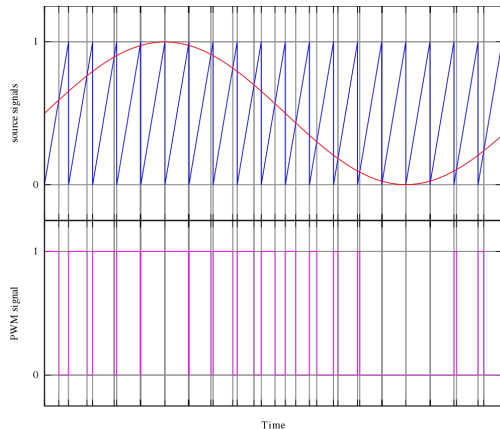


(a) Háromfázisú analóg PWM modulátor [5]

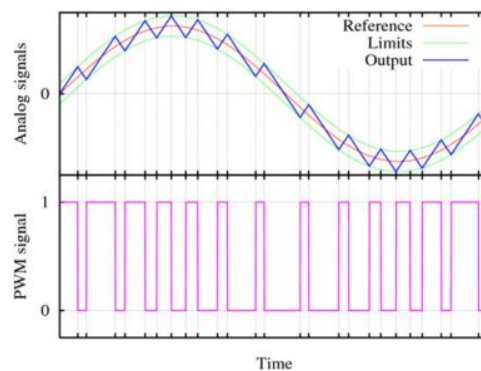


(b) Analóg PWM modulátor működése [5]

14. ábra. PWM modulátor



(a) Analóg PWM modulátor működése [6]

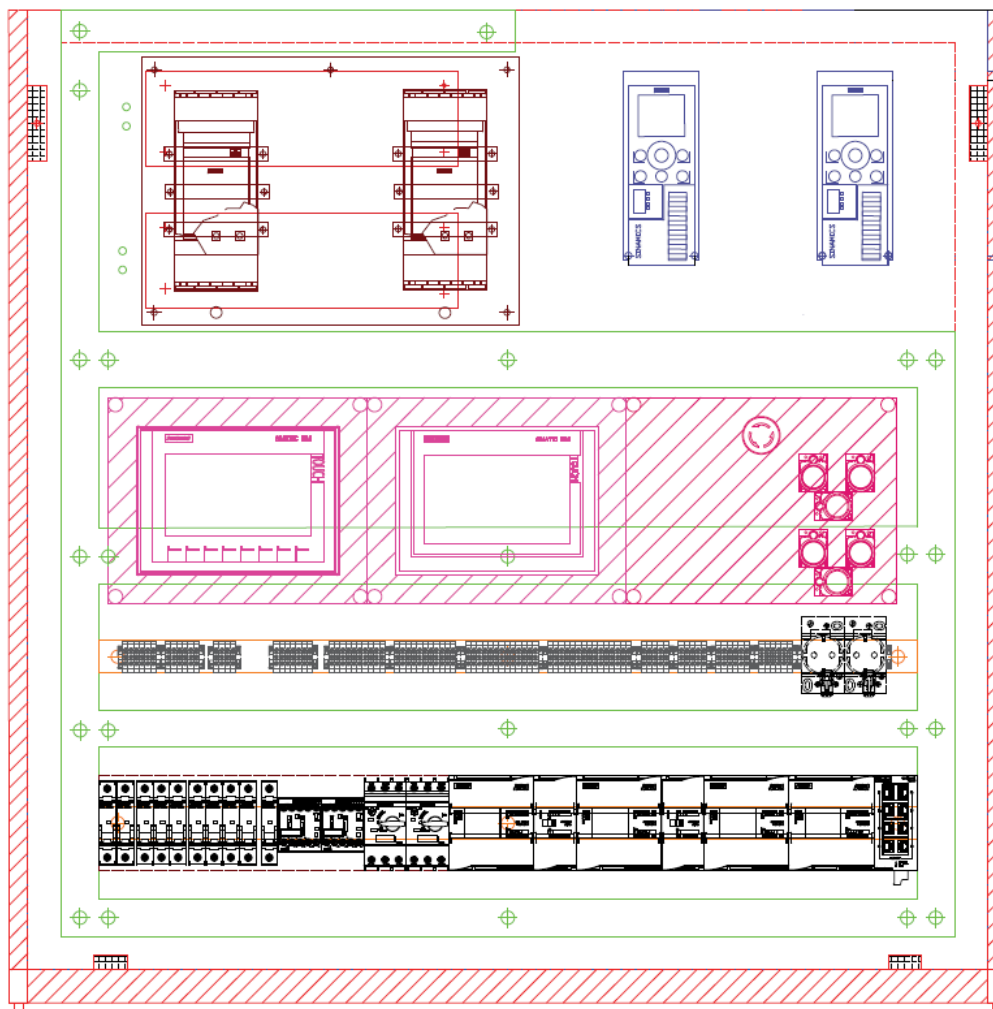


(b) Háromfázisú analóg PWM modulátor [7]

15. ábra. PWM modulátor

### 3. Alkalmazott eszközök

- SIMATIC S7-1200, CPU 1212C, compact CPU, DC/DC/DC, onboard I/O: 8 DI 24 V DC; 6 DO 24 V DC; 2 AI 0-10 V DC
- SIMATIC S7-1200, analog I/O SM 1234, 4 AI/2 AO, +/-10 V
- SIMATIC S7-1200 Power Module PM1207 Stabilized power supply input: 120/230 V AC, output: DC 24 V/2,5 A
- SIMATIC HMI, KTP700 Basic, Basic Panel, Key/touch operation, 7" TFT display
- SIMATIC HMI TP700 Comfort, Comfort Panel, Touch operation
- SINAMICS Power Module PM240-2
- SINAMICS G120 CONTROL UNIT CU250S-2 PN INTEGRIERT PROFINET SUPPORT OF VECTOR CONTROL
- SINAMICS G Intelligent Operator Panel IOP-2 for SINAMICS G120
- SINAMICS BRAKING RESISTOR R=140Ohm  $P_{rated} = 200W$



16. ábra. A felhasznált eszközök Eplan rajza

## 4. Mérési feladatok

- Egyszerű öntartás huzalozása mágneskapcsolóval és nyomógommbal
- TIA Portal környezet megismerése
- Erősáramú rendszer kapcsolási rajzának megértése
- Frekvenciaváltó paraméterezés
- Motor vezérlése frekvenciaváltóval, HMI-n keresztül
- Különböző fékezési módok megismerése
- Fel- és lefutási idők változtatása
- A frekvenciaváltó tipikus kimeneti jeleinek megismerése, azok megtekintése oszcilloszkóp segítségével
- U/f vezérlés karakterisztikájának kimérése a HMI és oszcilloszkóp segítségével
- HMI-n megjelenő fizikai paraméterek viselkedésének megfigyelése

## 5. Felkészülést segítő kérdések

1. Hogyan lehet forgó mágneses mezőt létrehozni?
2. Milyen összefüggéssel számoljuk a szinkron fordulatszámot?
3. Mi a szlip?
4. Rajzolja fel az aszinkron gép fordulatszám-nyomaték jelleggörbáját!
5. Rajzolja fel a frekvenciaváltó sematikus kapcsolási rajzát!
6. Milyen módokon lehet változtatni az aszinkron gép fordulatszámát? (Hármat adjon meg)

## Hivatkozások

- [1] <https://automationforum.co/introduction-to-induction-motor/>
- [2] <https://i.pinimg.com/originals/97/eb/04/97eb04c8c81916b2061ef0ae2a5569fb.jpg>
- [3] Dr. Halász Sándor: Villamos hajtások - 1993
- [4] <https://electronics.stackexchange.com/questions/209986/effect-of-0-hz-setting-on-vfd-with-continuous>
- [5] Dr. Schmidt István, Dr. Veszprémi Károly: Hajtásszabályozások
- [6] <https://sites.google.com/site/evocommune/wireless-comm/how-signal-is-transmitted/signal-transfer-3/pwm-pulse-width-modulation>
- [7] [https://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width\\_modulation](https://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width_modulation)