

# TANULÁSI ÚTMUTATÓ



---

**BÁNKI DONÁT**  
T I S Z K

---



Villanymotorok a gyakorlatban

Készítette: Mozsolics András

A fejlesztő intézmény megnevezése:	Bánki Donát Térségi Integrált Szakképző Központ Kht.
Székhelye:	2800 Tatabánya, Réti út 1-5.
A fejlesztő neve:	Mozsolics András
Szakterülete:	elektrotechnika, elektronika

Szakképesítés megnevezése	Mechatronikai műszerész
Szakképesítés azonosítója (OKJ)	52 523 03 0000 00 00
Tananyagegység megnevezése	Mechatronikai szerelés elmélete
Tananyagegység azonosítója	153/2.0/1394-06
Tananyagelem megnevezése	Villanymotorok a gyakorlatban

Hozzárendelt feladatprofil	Kiválasztja a munkafolyamathoz szükséges eszközöket, szerszámokat, készülékeket
	Mechanikus és elektromos eszközökkel, műszerekkel méréseket végez
Hozzárendelt tulajdonságprofil	
Szakmai kompetenciák	
• Szakmai ismeretek a típus megjelölésével	C Villamos gépek biztonságtechnikája D Elektrotechnikai alapismeretek
• Szakmai készségek a szint megjelölésével	3 Kapcsolási rajz olvasása, értelmezése 4 Diagram, nomogram olvasása, értelmezése
Módszerkompetenciák	Logikus gondolkodás, Gyakorlatias feladatértelmezés, Körültekintés, elővigyázatosság
Személyes kompetenciák	Kézügyesség, mennyiségérzék
Társas kompetenciák	Konfliktusmegoldó készség
Előfeltételek	érettségi vizsga

Tananyagelem rész-célkitűzései		
Megnevezése	Tervezett óraszám	Alkalmazott oktatási módszerek
A villamos motorok működésének alapjai	<b>3</b>	<b>előadás, feladatmegoldás</b>
Egyenáramú motorok	<b>4</b>	<b>előadás, feladatmegoldás</b>
Egyenáramú szervomotorok	<b>2</b>	<b>előadás, feladatmegoldás</b>
Elektronikus kommutációjú motorok	<b>3</b>	<b>előadás, feladatmegoldás</b>
Szinkron motorok működése	<b>2</b>	<b>előadás, feladatmegoldás</b>
Aszinkron motorok működése	<b>5</b>	<b>előadás, feladatmegoldás</b>
Léptetőmotorok felépítése, működése	<b>4</b>	<b>előadás, feladatmegoldás</b>
Lineáris motorok	<b>2</b>	<b>előadás, feladatmegoldás</b>

## 1. Bevezetés

A mechatronikai gyakorlatban előforduló egyik leggyakoribb végrehajtó egység (aktuátor) a villanymotor. Ma már nagyon sok – szinte átláthatatlanul sokféle - típusa létezik. A mechatronikai műszerész szakember számára elengedhetetlenül fontos, hogy ismerje a villanymotorok működésének közös alapelveit, és tisztában legyen a különböző típusok sajátosságaival. Egy mechatronikai készülékben fel kell tudni ismerni, hogy az adott villanymotor melyik típusba sorolható, megfelelően működik – e, illetve hibás működés esetén hogyan javítható. Ezen ismeretek elsajátításához nyújt segítséget ez a tanulási útmutató. Nem célom az egyes motortípusok részletekbe menő ismertetése, mert az meghaladná a tanulási útmutató kereteit, inkább a gyakorlati felhasználás szempontjából elengedhetetlenül szükséges elméleti ismeretek tárgyalására szorítkozom.

*A tanulási útmutatóhoz mellékelt diáorban a megértéshez és a magyarázathoz szükséges további információkat, ábrákat talál!*

### 2.1.1 Tanulási gyakorlat az 1. számú rész célkitűzéshez

Rész célkitűzés: A villamos motorok működésének alapjai	
Óraszám: 3	
Tanulási tevékenységek	Tanulási tevékenységet segítő tanácsok
<i>Hallgassa meg az oktatója előadását, készítsen saját jegyzetet! Oldja meg az oktató által adott feladatokat!</i>	<i>Oldja meg az önellenőrzési feladatokat, és beszélje meg a hibáit az oktatójával!</i>

### 2.1.2 Információs lap az 1. számú rész célkitűzéshez

Az elektrotechnikában hagyományosan a villamos gépek közé soroljuk a transzformátort és a villamos forgógépeket. A villamos forgógépek csoportját két további részre bonthatjuk: a motorokra, ezek villamos energiából mechanikai energiát állítanak elő, és a generátorokra, melyek mechanikai energiából állítanak elő villamos energiát.

A villamos motorokon belül egyenáramú motorokat, illetve váltakozó áramú motorokat, azon belül pedig szinkron és aszinkron motorokat szokás megkülönböztetni. Ezeknek a hagyományos motortípusoknak a tárgyalását ma már feltétlenül ki kell egészíteni az élet szinte minden területén megtalálható, és a főbb alaptípusoktól többé – kevésbé eltérő felépítésű egyéb motortípusok ismertetésével. Ilyenek például az univerzális motorok (amelyek egyen és váltakozó árammal egyaránt működnek), a léptetőmotorok különböző típusai

(melyek a pozíciószabályozásban töltenek be fontos szerepet), vagy a kefe nélküli úgynevezett BLDC motorok (melyek kívülről egyenáramú motorok, belül pedig leginkább egy szinkronmotorhoz hasonlítanak).

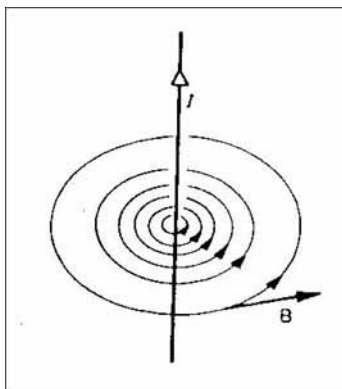
Bármilyen motorról legyen is szó, vannak bizonyos működési alapok, amelyek minden motornál megegyeznek.

A forgó villamos gépek mindig egy állórészből és egy forgórészből állnak, a kettő között légrés helyezkedik el, a forgást pedig a csapágyazás teszi lehetővé. Bár az elméleti lehetőség megvan rá, hogy villamos terek kölcsönhatása alapján működő villamos forgógépet készítsünk, a valóságban – gazdaságossági szempontok miatt - kizárólag a mágneses terek kölcsönhatásán alapuló villamos gépek léteznek. A motorok működésének alapja, hogy két mágneses tér - melyek közül egyik az állórészhez, másik a forgórészhez kötődik – létezik egy közös térben, és a két mágneses tér közötti kölcsönhatás szolgáltatja azt a forgatónyomatékokat, amely végül megmozgatja a motor tengelyét.

Ahhoz természetesen, hogy a motor forogjon, a mágneses tereknek is forogniuk kell, így a villamos gépeknél többnyire forgó mágneses tér előállítására törekszünk.

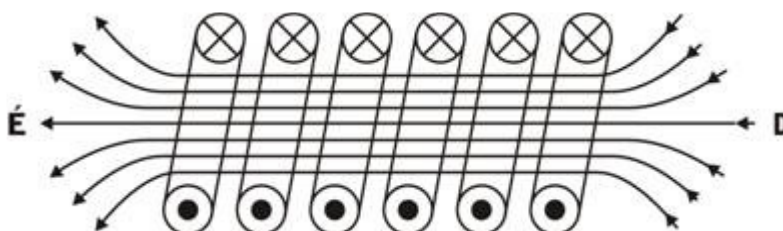
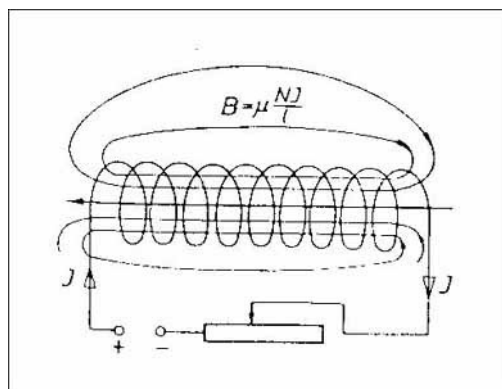
### Mágneses tér előállítása:

Ha egy vezetőben áram folyik, akkor a vezető környezetében mágneses tér alakul ki, azt mondjuk, hogy az áram gerjeszti a mágneses teret. A mágneses teret szemléltető indukcióvonalak kör alakúak, melyeknek középpontja a vezető, síkjuk merőleges a vezetőre (áramra), és az indukcióvonalak irányítása a jobbcsvavar szabály szerinti.



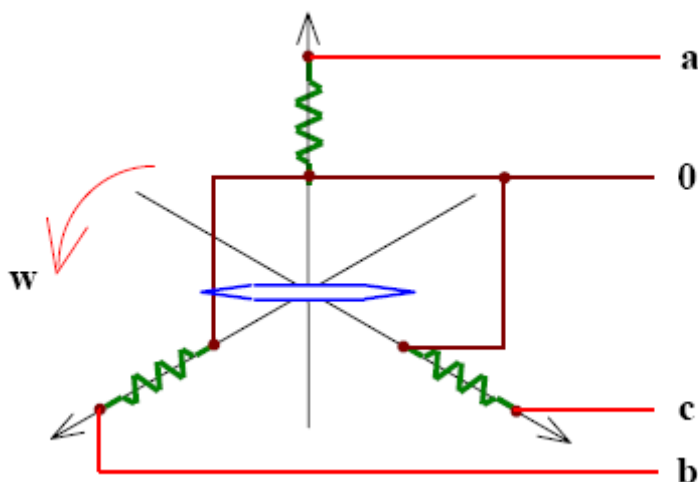
A mágneses tér erőssége természetesen a vezetéktől távolodva csökken, ezt jelzik a rajzon a ritkább indukcióvonalak.

Ha egy tekercsben áram folyik, akkor a tekercs belsejében is mágneses tér gerjesztődik. Ez a mágneses tér a tekercs menetei által gerjesztett elemi mágneses terek szuperponálásával (összegződésével) jön létre. Sűrűn csévélte, átmérőjéhez képest hosszú egyenes tekercs (szolenoid) belsejében jó közelítéssel homogén mágneses tér alakul ki, ami azt jelenti, hogy a tekercs belsejében a tér minden pontjában azonos nagyságú és irányú (tengelyirányú) a mágneses indukció (B).



Ha egy tekercsen keresztül nem egyenáramot, hanem szinuszosan váltakozó áramot hajtunk át, akkor a kialakuló mágneses tér sem lesz állandó, hanem úgynevezett lüktető mágneses teret kapunk, melynek nagysága és irányítása is a tekercsen átfolyó szinuszos árammal szinkronban változik. Ha térben egymáshoz képest  $120^\circ$  - kal elfordított 3 tekercset időben  $120^\circ$  - kal eltolt árammal táplálunk, akkor a térben és időben is eltolt 3 lüktető mező eredőjeként egy egyenletes szögsebességgel forgó mágneses teret – mágneses pólusrendszert – kapunk.

Tetszőleges két tekercs táplálásának felcserélése – a fázissorrend megváltoztatása – az eredő mező forgásirányának megváltozásához vezet.



### Az indukció:

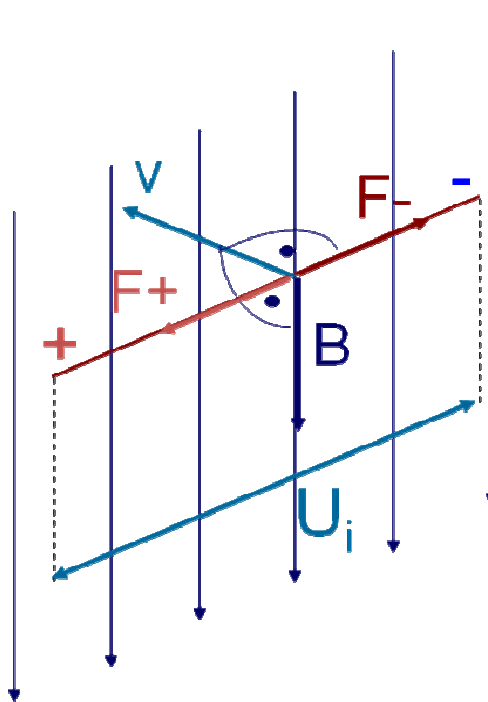
A motorok működésében nagy szerepet játszó további fontos törvényszerűség a Faraday féle indukciótörvény. Ennek értelmében, ha egy



vezető környezetében megváltozik a mágneses tér, akkor a vezetőben feszültség indukálódik. Ez az indukált feszültség egyenesen arányos a fluxus változási sebességével, az indukált feszültség polaritását pedig a Lenz törvény határozza meg. A Lenz törvény értelmében az indukált feszültség iránya mindig olyan, hogy ha áramot hajt, akkor áramával az őt létrehozó okot megszüntetni igyekszik. Tekercs belsejében történő fluxusváltozásnál minden menetben külön – külön indukálódik feszültség, és ezek összeadódnak.

Az indukációs jelenségeket három csoportba soroljuk:

- *A nyugalmi indukció* során sem a vezető, sem a mágneses mező nem mozog. Ebben az esetben az indukciót az időben változó fluxus hozza létre. A nyugalmi indukció során keletkezett feszültség nagysága egyemenetes tekercs (vezető) esetén:  $U_i = d\Phi / dt$ . Ha "N" menetű tekercsre vonatkoztatjuk, akkor:  $U_i = N * d\Phi / dt$ . Tipikusan a nyugalmi indukció elvén működő villamos gép a transzformátor.
- *A mozgási indukció* során vagy a mágneses mező, vagy a vezető, vagy mind a kettő mozog egymáshoz viszonyítva. Leggyakoribb mozgásforma a forgómozgás, de előfordul a haladó mozgással létrehozott elektromágneses indukció is. Ha az indukált feszültség egy egyenes vezetőben jön létre úgy, hogy a vezető mozgása merőleges az indukció vonalakra, akkor az indukált feszültség nagysága:  
 $U_i = B * l * v$ , ha a merőlegesség nem áll fent, akkor a képlet  $U_i = B * l * v * \sin \alpha$  alakban használható. (Az ábrán az  $F_+$  és az  $F_-$  erők a mozgó vezetőben lévő + és – töltésekre ható Lorentz erők,  $l$  – a vezető hossza)



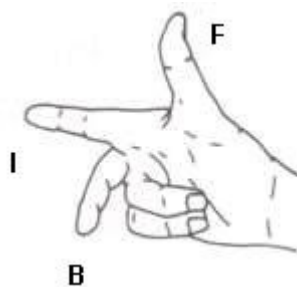


- Az önindukció az a jelenség, amikor egy tekercsben folyó áram változásának hatására változik meg a tekercs belsejében a mágneses tér, és ez a mágneses tér változás indukál feszültséget ugyanebben a tekercsben. Az indukált feszültség nagysága ilyenkor az  $U_i = L \cdot \Delta I / \Delta t$  képlet szerint számítható.

### Erőhatások a mágneses térben:

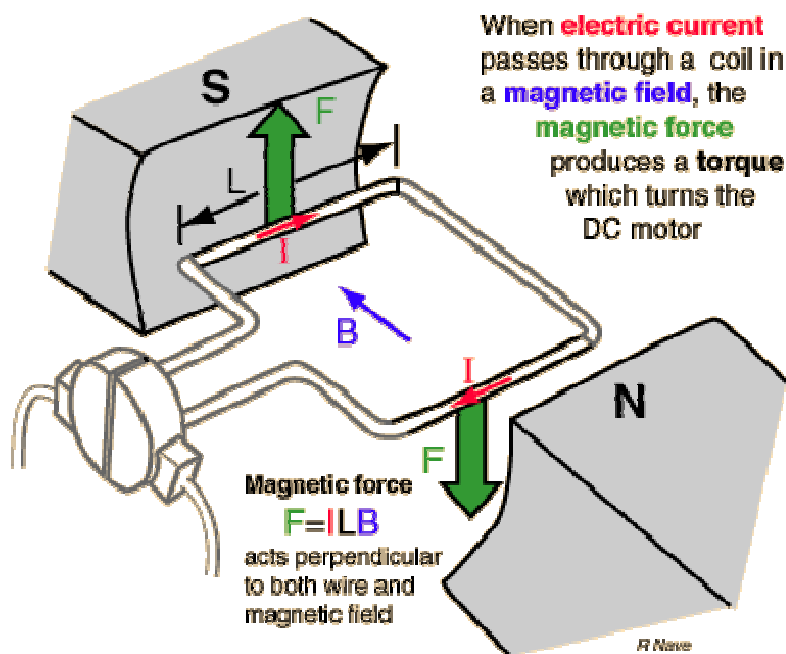
Ha egy térben egy időben két mágneses tér van jelen, akkor a két mágneses tér között kölcsönhatás alakul ki. Ennek a kölcsönhatásnak az iránya mindig olyan, hogy igyekszik a két mágneses teret azonos irányba beállítani. Az így kialakuló erőhatások és forgatónyomatékok működtetik a villamos gépeinket. Az erőhatások kialakulásának oka a mágneses térben mozgó töltésekre ható úgynevezett Lorentz erő, de ugyanez az erőhatás okozza a mozgási indukciónál a töltések szétválasztását, és ezzel az indukált feszültség kialakulását. (előző ábra)

Ha homogén mágneses térbe áramjárta egyenes vezetőt helyezünk, akkor a vezetőre erő fog hatni. Ezt a kölcsönhatást felfoghatjuk úgy is, hogy a vezetőben áramló töltéshordozókra külön – külön ható Lorentz féle erők eredője, de úgy is, hogy a külső mágneses tér és a vezető mágneses terének kölcsönhatásából származó erő. A kialakuló erő nagyságát az  $F = B \cdot I \cdot l$  képlet adja meg akkor, ha  $B$  és  $I$  egymásra merőlegesek, ha valamilyen  $\alpha$  szöget zárnak be, akkor a képlet  $F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha$  – ra módosul. A vezetőre ható erő irányát a „FIB” szabály segítségével határozhatjuk meg. Ha jobb kezünk három ujját merőlegesen kifeszítjük úgy, hogy mutatóujjunk az áram irányába, középső ujjunk a mágneses indukció irányába mutat, akkor hüvelykujjunk jelzi az áramvezetőre ható erő irányát.



Ha egyenes vezető helyett egy árammal átjárt vezető keretet (tekercset) helyezünk a mágneses térbe, akkor belátható, hogy a vezetőkeret megfelelő szomszédos oldalaira egymással ellentétes irányú erők fognak hatni. Ezek az erők egy erőpárt alkotva forgatónyomatékkal hatnak a tekercsre, és el akarják azt forgatni. A forgatónyomaték akkor a legnagyobb, amikor a keret síkja párhuzamos az indukcióvonalakkal, és nulla, ha a keret síkja merőleges az indukcióvonalakra. A kialakuló forgatónyomaték az  $M = B \cdot A \cdot N \cdot I \cdot \sin \alpha$

képlettel számítható, ahol  $B$  a külső homogén mágneses tér indukciója,  $A$  a vezetőkeret vagy tekercs egy menete által határolt felület,  $N$  a menetszám,  $I$  a tekercs árama, és  $\alpha$  a tekercs tengelye és a  $B$  vektor által bezárt szög.



Néhány, a villamos motoroknál fontos fogalom:

**Armatúra:** A villamos gép azon része, amelyben állandósult állapotban a feszültség indukálódik.

**Kapocsfeszültség:** a villamos gép kapcsaira kötött feszültség.

**Indítónyomaték:** az álló forgórészre ható nyomaték, melynek hatására a forgórész indulásra képes, és gyorsul.

**Fordulatszám:** A forgógép tengelyének fordulatszáma. [1/s, 1/min]

### 2.1.3 Önellenőrzési feladatlap az 1. számú rész célkitűzéshez

1. A hangszóró membránját kimozdító hatás melyik képlet segítségével számítható?
  - a.  $B * I * l$
  - b.  $B * A * N * I$
  - c.  $B * l * v$





2. Melyik a helyes Faraday féle indukció törvény?
  - a.  $U_i = N * (\Delta B / \Delta t)$
  - b.  $U_i = L * (\Delta I / \Delta t)$
  - c.  $U_i = - N * (\Delta \Phi / \Delta t)$
  
3. Miről szól a Lenz törvény?
  - a. tekercsre ható nyomaték irányáról
  - b. indukált feszültség polaritásáról
  - c. áramjárta vezetőre ható erő irányáról
  
4. Milyen kölcsönhatás alapján működnek a villanymotorok?
  - a. villamos kölcsönhatás
  - b. mágneses kölcsönhatás
  - c. gravitációs kölcsönhatás
  
5. Milyen jelenség figyelhető meg a mikrofon működésekor?
  - a. mozgási indukció
  - b. nyugalmi indukció
  - c. önindukció
  
6. Milyen mágneses tér alakul ki a tekercsben, ha szinuszosan váltakozó árammal tápláljuk?
  - a. forgó
  - b. lüktető
  - c. állandó
  
7. Ha egy tekercset homogén mágneses térben forgatunk (a tekercs tengelye és az indukcióvonalak egy síkban vannak), milyen lesz a tekercsben indukált feszültség jelalakja?
  - a. egyenfeszültség
  - b. négyszögjel
  - c. szinuszjel

8. Melyik képlettel számítható egy homogén mágneses térbe helyezett áramjárta tekercsre ható maximális nyomaték?
- a.  $N * (\Delta I / \Delta t)$
  - b.  $I * l * B$
  - c.  $A * B * N * I$
9. Mágneses térbe helyezett áramjárta vezetőre ható erő irányát melyik szabállyal határozhatjuk meg?
- a. jobbcsavar szabály
  - b. „FIB” szabály
  - c. Lenz törvény
10. Ha egy térrészben két mágneses mező van jelen egyszerre, akkor...
- a. egyik mező a másikat a saját irányába igyekszik beállítani
  - b. nem történik semmi
  - c. a mágneses kölcsönhatás eredményeként a két mező ellentétes irányú lesz.

#### 2.1.4 Megoldókulcs az 1. számú rész célkitűzéshez tartozó önellenőrzési feladatlaphoz

1. a ; 2. c ; 3. b ; 4. b ; 5. a ; 6. b ; 7. c ; 8. c ; 9. b ; 10. a

Teljesítményszint:

Az önellenőrzési feladatnál az Ön által adott válaszoknak a fenti helyes válaszokkal kell egyeznie. Ha valamelyik pontnál hibát követett el, vagy kérdése van, akkor ismételten nézze át az ajánlott olvasmányokat/ ismételje meg a tanulási tevékenység szükséges részeit/ kérjen segítséget az oktatótól stb.

## 2.2.1 Tanulási gyakorlat a 2. számú részcéltűzéshez

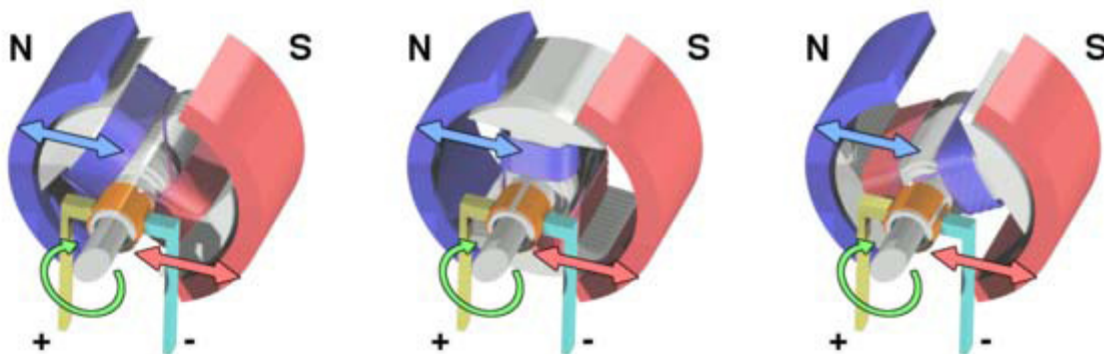
Részcéltűzés: Egyenáramú motorok	
Óraszám: 4	
Tanulási tevékenységek	Tanulási tevékenységet segítő tanácsok
<i>Hallgassa meg az oktatója előadását, készítsen saját jegyzetet! Oldja meg az oktató által adott feladatokat!</i>	<i>Oldja meg az önellenőrzési feladatokat, és beszélje meg a hibáit az oktatójával!</i>

## 2.2.2 Információs lap a 2. számú részcéltűzéshez

### Az egyenáramú gépek felépítése:

Az egyenáramú gépeket többféle szempont alapján lehet csoportosítani. Pólusszám alapján elkülöníthetünk homopoláris (egypólusú) és többpólusú gépeket. Ezek felépítésükben és működésükben is alapvetően eltérők. Ugyanígy nagymértékben különböznek egymástól a kefések és a kefe nélküli (elektronikus kommutátorral ellátott) konstrukciók. Klasszikus értelemben az egyenáramú gépek a kefések, többpólusú egyenáramú gépeket jelentik, míg a kefe nélküli gépek valójában szinkron gépek, és csak az elektronikával együtt viselkednek egyenáramú gépként.

A klasszikus (többpólusú, kefések) egyenáramú gépek felépítése és működése a következő. Az állórészen egyenáramú gerjesztőtekercsek helyezkednek el, amelyek körbefogják a főpólusok törzseit. Nagyobb gépek esetében az állórészen található segédpólusokat is a kommutáció javítása céljából. Egész nagy gépek esetén a főpólusok sarujában, hornyokban úgynevezett kompenzáló tekercselést is elhelyeznek az armatúra visszahatás minél jobb ellensúlyozása érdekében. Az elméleti működéshez azonban sem segédpólusokra, sem pedig kompenzáló tekercselésre nincs szükség. A gép forgórészén úgynevezett egyenáramú tekercselés helyezkedik el. A tekercselést alkotó tekercsek végei a kommutátorra vannak kivezelve, amely a keféken keresztül csatlakozik a gép kapcsaihoz.

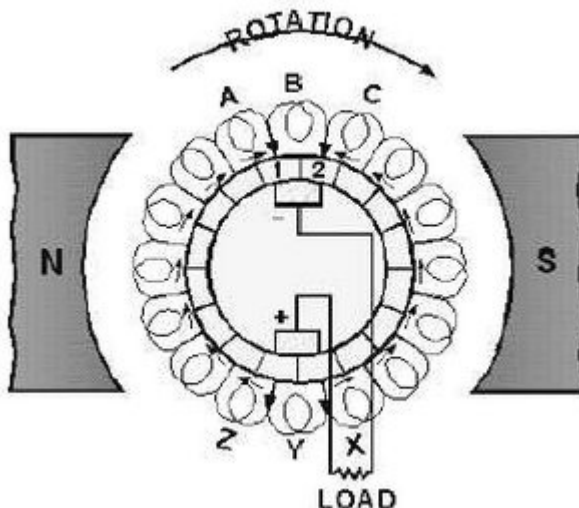


Ha a tekercsben áram folyik, körülötte mágneses mező gerjesztődik, amely – a két mágneses tér kölcsönhatásának eredményeként - igyekszik az állórész mező irányába beállni. A forgórész a kommutátorral együtt forog, a kefék az állórészhez rögzítettek, és a kommutátor egymástól elszigetelt lemezein csúsznak. Minden fél fordulatnál a stabil helyzet elérésekor a kommutátor megfordítja a tekercsben folyó áram irányát, így a forgás folytatódik.

Az ábrán látható gép tehát úgy működik, hogy a forgórész pólusait félfordulatonként felcseréljük. Ezen egyszerű motor nagy problémája, hogy az általa szolgáltatott nyomaték a forgórész pozíciójának függvényében kétoldalasan egyenirányított szinuszhullámnak megfelelően változik, és így van nulla helyzete is, amikor a gép nem tud elindulni.

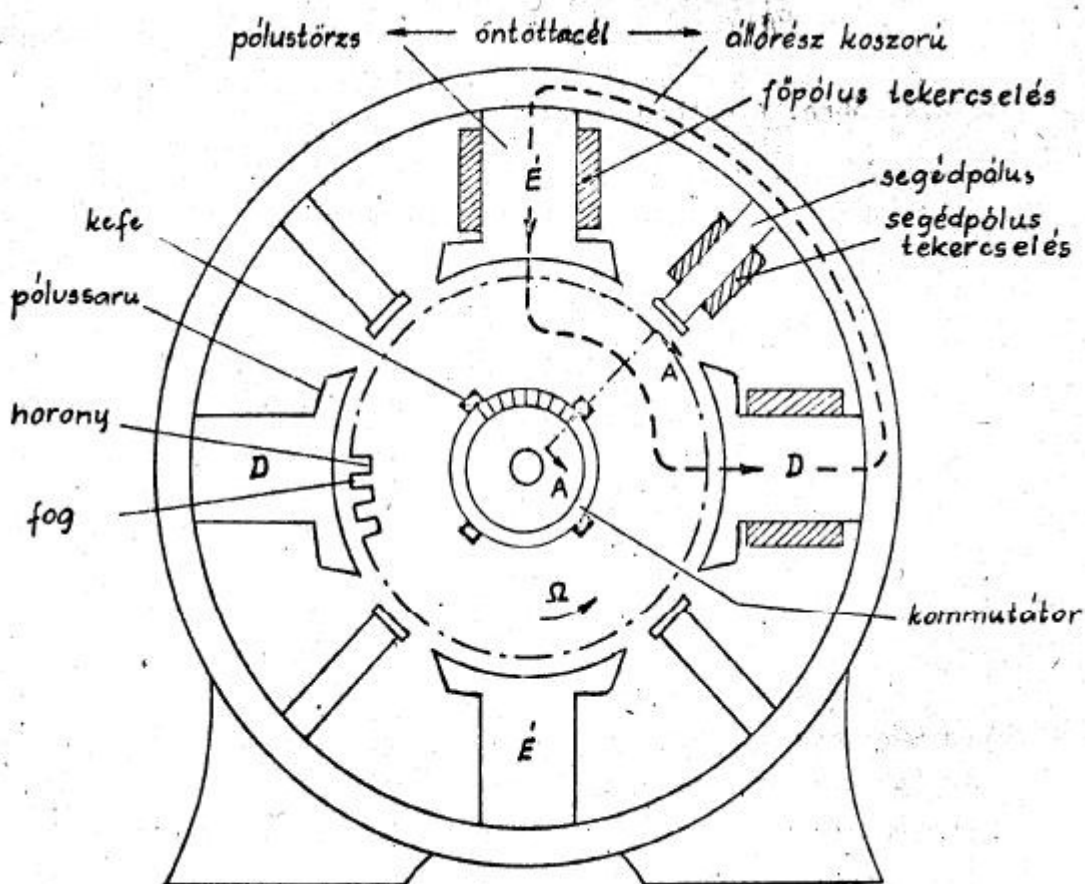
A gép természetesen – így van ez a legtöbb villamos forgógépnél - generátorként is tud működni. Ha a tengelyt forgatjuk, a forgórész tekercsekben szinuszos váltakozó feszültség indukálódik. Mivel azonban a kommutátor a tekercs végeit félperiódusonként felcseréli, ezért a gép kapcsain kétoldalasan egyenirányított szinuszos feszültséget kapunk. Az előbbieket alapján azt is észrevehetjük, hogy a kommutátor szeletek elhelyezése a tekercsekhez képest nem közömbös. Az elhelyezés a gép teljesítménye szempontjából akkor ideális, ha a tekercsek kapcsainak felcserélése motor esetében nyomaték nulla illetve generátor esetében indukált feszültség nulla átmenetnél történik. E két pozíció egybeesik. Amennyiben a kommutátort vagy a keféket elforgatjuk, úgy a póluscseré nem nullátmenetben történik, és így a nyomaték illetve az indukált feszültség közéértéke csökken, ezzel csökken a gép teljesítménye is.

A gyakorlatban az egyenáramú gépek felépítése az előbbiektől jelentősen különbözik a forgórészt illetően. A forgórész ugyanis hornyolt felépítésű, és a hornyokban helyezkedik el az úgynevezett egyenáramú tekercselés. Ez lehet hullámos vagy hurkos kivitelű. Mindkét esetben a tekercselés a kommutátorszeleteken keresztül rövidre van zárva. A rövidrezárt tekercselésbe annyi ponton lép be illetve ki az áram, ahány kefével érintkezik a kommutátor. Egy két kefével rendelkező gép esetében tehát a rövidrezárt tekercselés táplálása úgy képzelhető el, mintha egy gyűrű két pontját egy feszültségforrás kapcsaira kötnénk, és így a gyűrűben két párhuzamos áramút alakul ki.



A fenti ábrán például a „B” és az „Y” tekercsokat a kefék éppen rövidre zárják, ezek a tekercsek éppen olyan helyzetben vannak, hogy amúgy sem produkálnának nyomatékot.

Egy négy pólusú (két póluspárú,  $p=2$ ) egyenáramú gép felépítése látható az alábbi ábrán.



**Állórész:** Öntött acélkoszorúból, a főpólusból és a segédpólusokból áll. A lemezelt pólussaru biztosítja, hogy az armatúra kerület minél nagyobb százalékában állandó légrésindukció alakuljon ki.

**Armatúra (forgórész):** 0,35-0,5 mm vastag, axiális irányban egymásra rakott kör alakú, hornyokkal ellátott lemezekből állítják össze az örvényáramú veszteségek csökkentése érdekében.

**Kommutátor:** Egymástól és az armatúrától szigetelt részszegekből felépített henger. A szegek közötti maximális feszültség kb. 15-20 V. Adott armatúrafeszültség esetén ez megszabja a szükséges minimális szegekszámot.

**Kéfék:** A kommutátor hengerpalástjára szorulva azon csúsznak. A forgó kommutátor és a kefe között kb. 1 V feszültségesés jön létre, mely a terheléstől függetlenül állandó.

A frekvencia-feltétel értelmében a forgórész mágneses mezejét mindig a forgórész szögsebességének megfelelő szögsebességgel kell forgatni, csak azzal ellentétes irányban. Ez azt jelenti, hogy a forgórész mezejének az állórészhez képest nem szabad forognia. Ezt az álló állapotot közelítőleg a kommutátor hozza létre, amely egy adott tekercsoldalban megfordítja az áram irányát, ha az áthalad egy mágneses pólushatáron. Ezáltal a forgórész mező mindig csak egy horonyosztásnyit fordulhat el az állórészhez képest, ezután az előbbi áramirányváltás miatt helyreáll az elmozdulás előtti mágneses mező. A gép akkor van jól megépítve, ha az állórész és a forgórész mágneses mezői egymásra "merőlegesek", azaz a  $2p$  mágneses pólussal rendelkező gép esetében az állórész és a forgórész pólushatárai geometriailag  $90/p$  fokra vannak egymástól.

#### Armatúra visszahatás:

Ha a forgórészben nem folyik áram, a semleges zóna a főpólus fluxusára merőleges. Ha az armatúrában is folyik áram, ez is létrehoz egy mágneses mezőt. Az eredő mező e kettő eredője lesz. Ez az armatúra visszahatás jelensége. A semleges vonal eltolódása kefeszikrázást okoz. Ennek elkerülése a kompenzáló, illetve segédpólus tekercsekkel lehetséges.

Az egyenáramú motorokat aszerint csoportosítjuk, hogy az állórész tekercselés (gerjesztő tekercs), és a forgórész tekercselés (armatúra) hogyan kapcsolódnak egymáshoz. Eszerint megkülönböztetünk külső gerjesztésű, soros gerjesztésű, párhuzamos (sönt) gerjesztésű, illetve vegyes (kompaund) gerjesztésű motorokat. Egy további csoportja az egyenáramú motoroknak az állandómágnissal gerjesztett motorok, ez főként a kis teljesítményű motoroknál terjedt el.

#### Az egyenáramú motor alapegyenletei:

Az armatúrában indukálódó feszültség értéke:  $U_i = k * \Phi_{\max} * \Omega$ , ahol  
 $k$  – az úgynevezett gépállandó ( $k=2Np/\pi$ )  
 $\Phi_{\max}$  – a z állórész fluxus maximális értéke



$\Omega$  – a mechanikai szögsebesség {póluspárok száma (p) \* villamos szögsebesség ( $\omega$ )}

Az egyenáramú gép belső teljesítménye:  $P_b = U_i * I_a = M * \Omega = k * \Phi_{max} * \Omega * I_a$

Ebből kifejezhető az egyenáramú gép nyomatéka:  $M = k * \Phi_{max} * I_a$

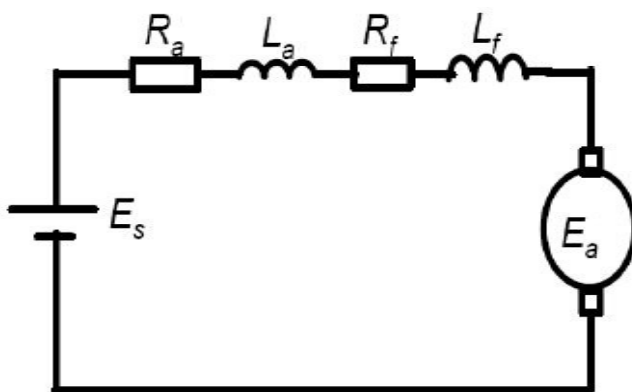
Üresjárásban az armatúrában indukálódó feszültség és a kapocsfeszültség megegyeznek,  $U_{i0} = U_K = k * \Phi_{max} * \Omega_0$ .

Terheléskor, amikor az armatúra árama megnő, az armatúra tekercselés ellenállásán ( $R_a$ ) feszültség esik, ilyenkor:

$U_i = k * \Phi_{max} * \Omega = U_K - (I_a * R_a) = k * \Phi_{max} * \Omega_0 - (M / k * \Phi_{max}) * R_a$

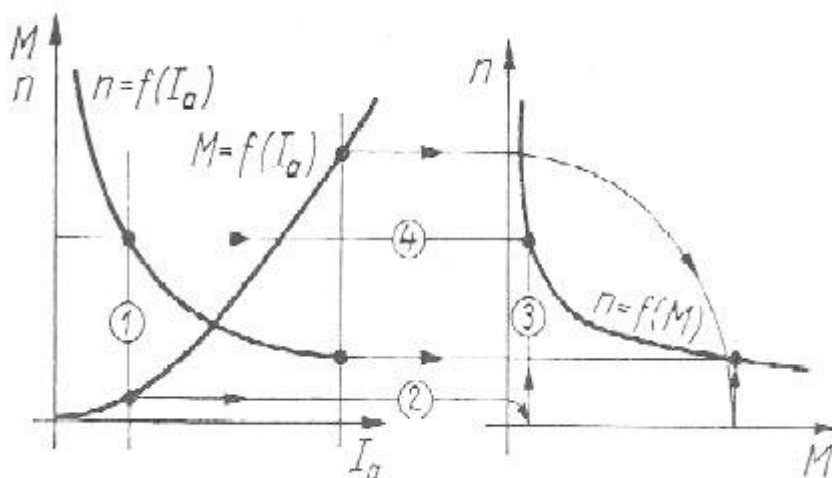
Ebből a motor aktuális szögsebessége így írható fel:  $\Omega = \Omega_0 - [M / (k * \Phi_{max})^2] * R_a$ , ahol  $\Omega_0 = U_K / (k * \Phi_{max})$

Soros gerjesztésű motorok:



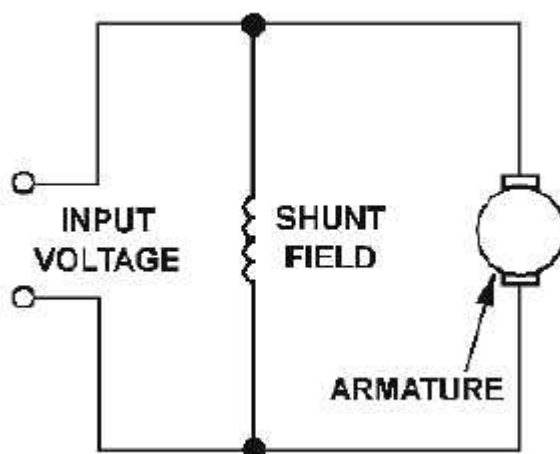
Soros gerjesztésű motornál a forgórész (armatúra) áramköre és az állórész gerjesztő tekercse sorosan kapcsolódnak. Az állórész fluxusa így az armatúraárammal lesz arányos, a motor nyomatéka pedig – a felírt egyenletek alapján – az armatúraáram négyzetével arányos.

A soros gerjesztésű motor jelleggörbéi az alábbi ábrán láthatóak:

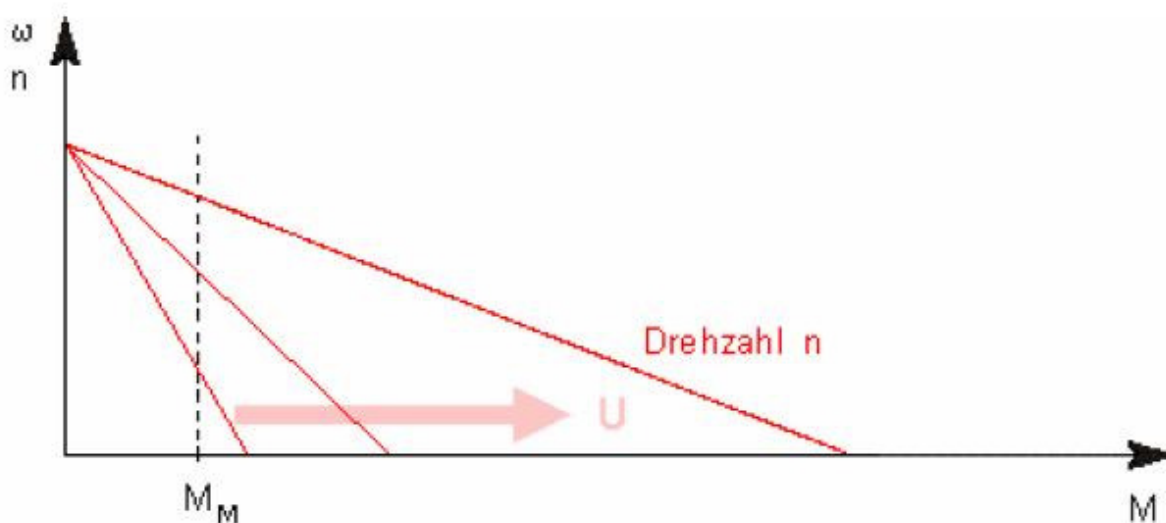


Az ábráról leolvasható, hogy a soros gerjesztésű motornak nincs üresjárási fordulatszáma. Terhelés nélkül indítani tilos. A motor indulásakor, amikor az armatúraáram nagy és a fordulatszám még kicsi, akkor adja le a legnagyobb nyomatékot, majd a fordulatszám növelésével csökken a nyomaték és az áramfelvétel is. Ezt a viselkedést járműveknél (troli, villamos, metro, vasút) és különböző kéziszerszámoknál ideálisan ki lehet használni, hiszen ezeknek a gépeknek induláskor van szükségük nagy nyomatéokra, az elért fordulatszámot már kisebb nyomatékkal is fenn lehet tartani.

Párhuzamos (sönt) gerjesztésű motorok:



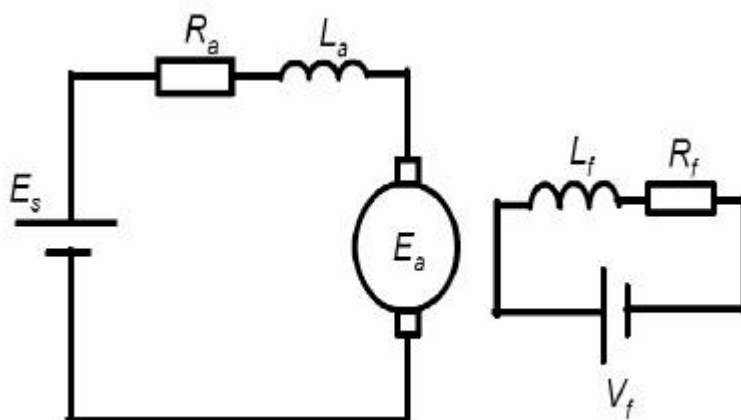
Párhuzamos gerjesztésű motoroknál az armatúra és a gerjesztő tekercs egymással párhuzamosan kapcsolódnak. A motor fordulatszám - nyomaték jelleggörbéje:



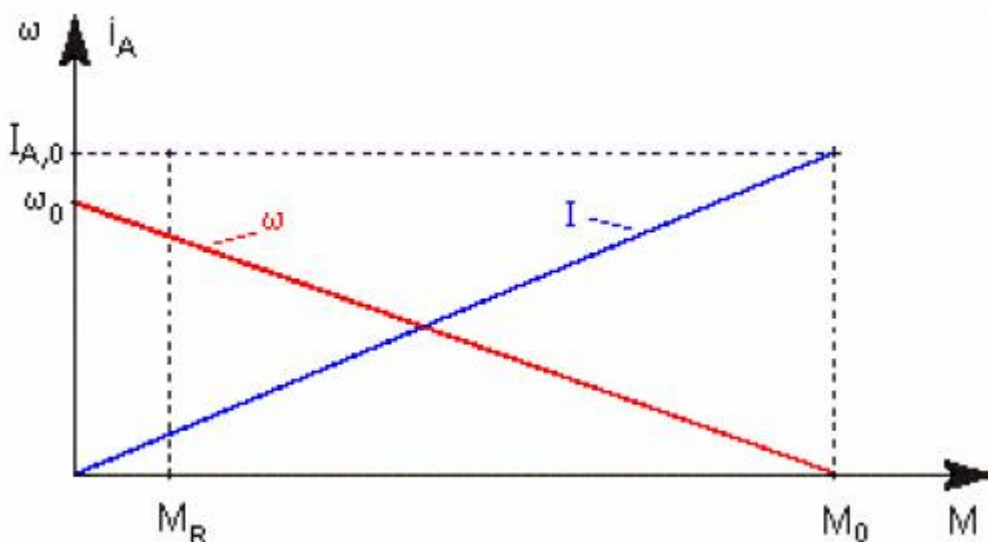
A motor fordulatszám – nyomaték jelleggörbéje lineáris, a kapocsfeszültség változtatásával változik a motor merevsége. A korszerű külső gerjesztésű motorok gyakorlatilag teljesen kiszorították ezeket a gépeket.



### Külső gerjesztésű motorok

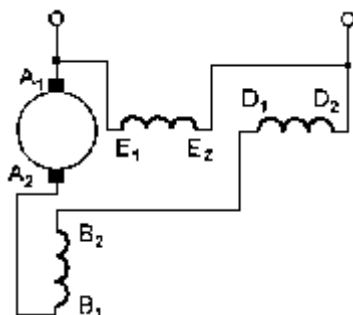


Ennél a motornál az armatúrát és az állórészkeri gerjesztő tekercset külön tápláljuk. Az állandómágneses állórészű egyenáramú gép is ide sorolható, bár az egyenárammal táplált gerjesztőkörnek megvan az az előnye, hogy a gerjesztőáramot az armatúraáramtól függetlenül tudjuk változtatni. A motor egyik legfontosabb tulajdonsága a fordulatszám-tartás, azaz növekvő nyomaték mellett nem változik meg lényegesen a fordulatszám. Jelleggörbéje a párhuzamos gerjesztésű motoréhoz hasonló.



### Vegyes (kompaund) gerjesztés:

A vegyes gerjesztés azt jelenti, hogy a gépnek legalább kettő, vagy több gerjesztőtekercse van, amelyek soros, párhuzamos, vagy külső gerjesztőtekercsek lehetnek. Ha a gép gerjesztőtekercseinek gerjesztési iránya megegyező, akkor kompaund gépről, ha pedig a gerjesztési iránya ellentétes, akkor antikompaund gépről van szó.



### Univerzális motorok:

A párhuzamos és soros gerjesztésű egyenáramú motorok forgásiránya a kapcsolófeszültség polaritásától független, mert ezeknél a motoroknál az armatúraáram és a gerjesztőáram együtt váltanak előjelet. Levezethető, hogy ha ilyen motort szinuszos váltakozó feszültséggel táplálunk, akkor párhuzamos gerjesztés esetén a nyomaték közel nulla lesz, viszont soros gerjesztés esetén a motor nyomatéka nagyjából ugyanakkora, mintha egyenfeszültséggel táplálnánk.

A lemezelt állórészvasmaggal készített kisteljesítményű, kétpólusú, egyen- és váltakozó árammal egyaránt működő motorokat nevezük univerzális motoroknak. Jelleggörbéjük a soros gerjesztésű motorokéhoz hasonló, nagy az indítónyomatékuk, sokféle fordulatszámra készíthetők. Jellemző felhasználási területek: kéziszerszámok, háztartási gépek.

### **2.2.3 Önellenőrzési feladatlap a 2. számú részcelkitűzéshez**

1. Mi a kommutátor?
  - a. Mechanikus egyenirányító szerkezet.
  - b. Az egyenáramú gép csapágyazása.
  - c. A kefék idegen eredetű elnevezése.
  
2. Az egyenáramú gép melyik része az armatúra?
  - a. Az állórész.
  - b. A forgórész.
  - c. A gerjesztés módjától függően lehet az álló és a forgórész is.
  
3. Mitől függ a forgórészben indukált feszültség értéke?
  - a. A kapcsolófeszültségtől, a forgórész menetszámától és a tekercsellenállástól.
  - b. A gépállandótól, az állórész fluxusától és a forgórész fordulatszámától.
  - c. Az állórész fluxustól és a forgórész tekercs menetszámától.



4. Mi az armatúravisszahatás?
  - a. A forgórészben folyó áram által gerjesztett mágneses tér kioltja az állórész mágneses terét.
  - b. Az állórész mágneses tere feszültséget indukál az armatúratekerceselésben.
  - c. A forgórészben folyó áram által gerjesztett mágneses tér visszahat az állórész által gerjesztett mágneses térre és eltorzítja azt.
  
5. Mikor maximális az armatúrában indukálódó feszültség?
  - a. álló motornál
  - b. terheléskor
  - c. üresjárásban
  
6. Melyik motorra igaz, hogy az állórész fluxus az armatúraárammal arányos?
  - a. soros gerjesztésű
  - b. párhuzamos gerjesztésű
  - c. külső gerjesztésű
  
7. Mikor a legnagyobb az egyenáramú motorok nyomatéka?
  - a. adott terhelésnél
  - b. indításkor
  - c. maximális fordulatszámmon
  
8. Melyik egyenáramú gépnek van legalább két külön gerjesztőtekercese?
  - a. a külső gerjesztésűnek
  - b. a soros gerjesztésűnek
  - c. a kompaund gerjesztésűnek
  
9. Az egyenáramú motor nyomatéka...
  - a. egyenesen arányos az armatúra árammal.
  - b. egyenesen arányos a kapocsfeszültséggel.
  - c. egyenesen arányos a fordulatszámmal.
  
10. Hol találkozunk univerzális motorokkal?
  - a. Villamos járművekben (pl. troli)
  - b. Kéziszerszámokban, háztartási gépekben...
  - c. Nyomtatókban, szkennerekben...

## 2.2.4 Megoldókulcs a 2. számú részcéltűzéshez tartozó önellenőrzési feladatlaphoz

1. a ; 2. b ; 3. b ; 4. c ; 5. c ; 6. a ; 7. b ; 8. c ; 9. a ; 10. b

Teljesítményszint:

Az önellenőrzési feladatnál az Ön által adott válaszoknak a fenti helyes válaszokkal kell egyeznie. Ha valamelyik pontnál hibát követett el, vagy kérdése van, *akkor ismételten nézze át az ajánlott olvasmányokat/ ismételje meg a tanulási tevékenység szükséges részeit/ kérjen segítséget az oktatótól stb.*

## 2.3.1 Tanulási gyakorlat a 3. számú részcéltűzéshez

Részcéltűzés: Egyenáramú szervomotorok

Óraszám: 2

Tanulási tevékenységek	Tanulási tevékenységet segítő tanácsok
<i>Hallgassa meg az oktatója előadását, készítsen saját jegyzetet! Oldja meg az oktató által adott feladatokat!</i>	<i>Oldja meg az önellenőrzési feladatokat, és beszélje meg a hibáit az oktatójával!</i>

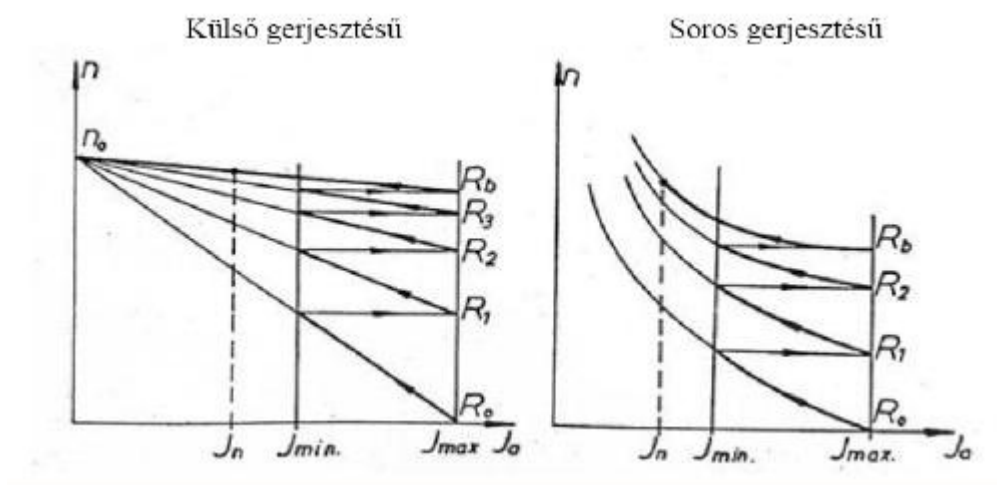
## 2.3.2 Információs lap a 3. számú részcéltűzéshez

Egyenáramú szervomotorok alatt általában olyan motorokat / hajtásokat értünk, ahol a meghajtást egyenáramú motor végzi, de a rendszer ki van egészítve olyan elemekkel, amelyekkel sebesség, pozíció, vagy akár nyomaték szabályozás válik lehetővé. A DC motorok kiválóan alkalmasak ilyen feladatokra, megfelelő érzékelővel és szabályozó körrel ellátva.

Egyenáramú motorok üzemállapotai:

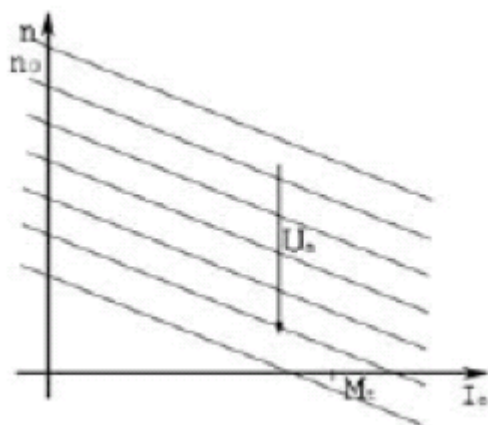
**Indítás:** Indításkor  $\Omega=0$ , ezért nem indukálódik feszültség az armatúrában:  $U_i=0$ , ezért az armatúra áram 10-30 szorosa is lehet a névleges áramnak. Ez a nagy armatúra áram nemcsak a hálózatra nézve káros, hanem a motorra nézve is, ugyanis nagy teljesítményű motornál olyan nagy áram adódik, amely tönkretetheti a kommutátort és a szénkeféket is. Ezért az indítási áramot mindenképpen csökkenteni kell.  $I_a$  - t csökkenthetjük például az armatúrával sorba kötött ellenállások bekapcsolásával. Ennél a módszernél kihasználjuk,

hogyan a motor rövid ideig elviseli a névlegesnél kissé nagyobb armatúraáramot. (Az ellenállások használata miatt ez is veszteséges megoldás.)



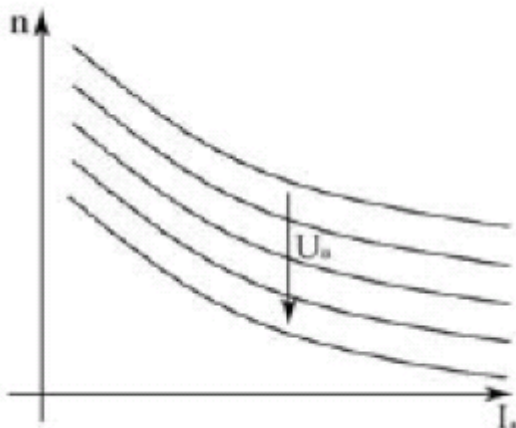
**Fordulatszám változtatása:** Ez a motoregyenletek alapján háromféle módon történhet.

1. A kapocsfeszültség változtatásával. Ez a leggyakoribb és a legjobb módszer, és nagy előnye, hogy veszteségmentes. A kapocsfeszültség változtatásának hatása a jelleggörbékre külső és párhuzamos gerjesztésű motoroknál:

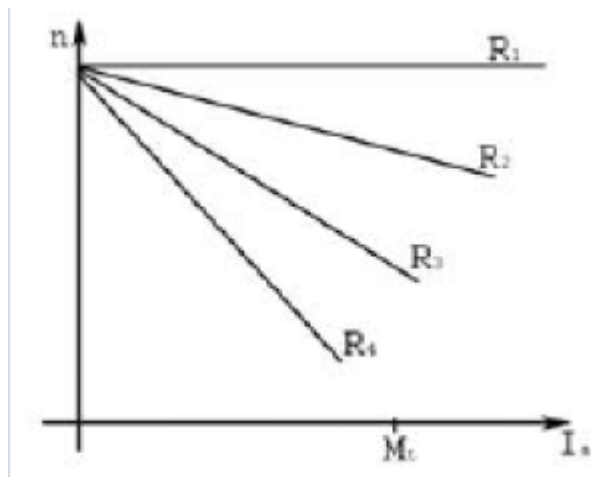




Soros gerjesztésű motoroknál:

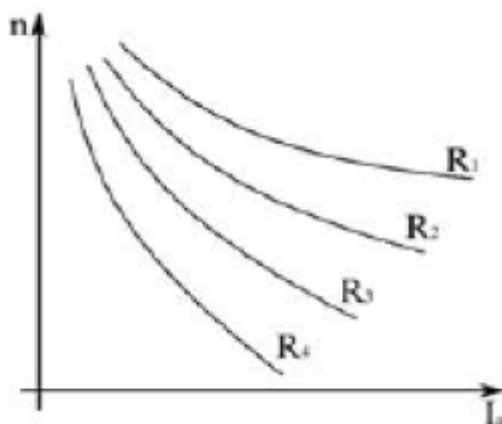


2. Főáramkörü ellenállás változtatásával. Ennél a módszernél az üresjárási fordulatszám nem változik meg (külső és párhuzamos gerjesztésűnél, sorosnál ez nem értelmezett), viszont a beiktatott ellenállások veszteséget termelnek. A gyakorlatban az ellenállásokat a velük párhuzamosan kapcsolt mágneskapcsolókkal kapcsolják be és ki. A jelleggörbék külső és párhuzamos gerjesztésű motornál:

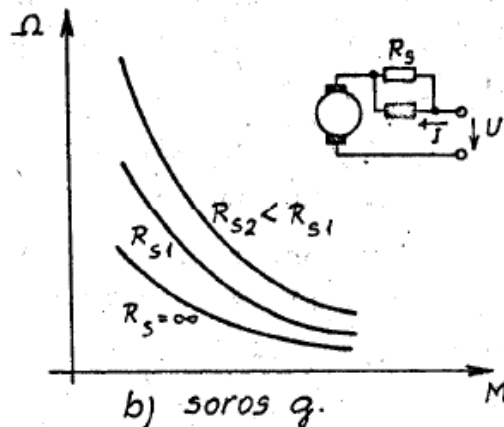
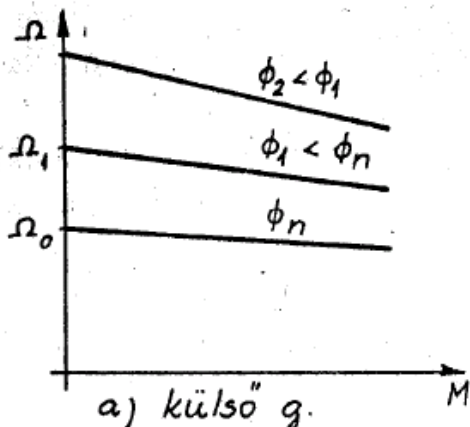




Soros gerjesztésűnél:



3. A fluxus változtatása: Ennek előnye, hogy kis teljesítményen lehet beavatkozni, viszont a gerjesztőkör időállandója nagy, ezért lassú a fluxus változás, valamint  $\Phi$  csökkenésekor a motor nyomatéka is csökken. A gyakorlatban a vas telítődése és a gerjesztőtekercs túlmelegedése miatt a fluxus a névleges érték fölé tartósan nem emelhető. Ezért csak a fluxus csökkentés (mezőgyengítés) jöhet szóba.



**Fékezés:** Az egyenáramú motorok fékezése is háromféleképpen oldható meg (a tengely fékezésén kívül):

1. Visszatápláló (generátoros) fékezés. Ez a módszer csak az üresjárási fordulaton felett használható, azaz generátoros üzemmód esetén. Generátoros fékezés esetén a motort, mint generátort üzemeltetik, és a motor által termelt energiát a hálózatba visszatáplálják. Ez a fajta fékezési mód a soros motornál nem alkalmazható. Hátrány, hogy a motort nem lehet teljesen megállítani.
2. Ellenállásos (dinamikus) fékezés. Ebben az esetben az armatúra táplálását megszüntetik és az armatúrával sorkapcsolt ellenállással



fékezik a motort. Az ellenálláson átfolyó áram veszteséget okoz. Ezzel a módszerrel sem lehet megállásig fékezni a motort, hasonlóan, mint az előzőnél.

3. Ellenáramú (irányváltásos) fékezés. Ebben az esetben a motor armatúra kapocsfeszültségének a polaritását megcserélik, ezáltal a motorban folyó áram ellenkező iránya miatt a motor a másik irányba akarna forogni, ez azonban csak úgy lehetséges, ha a motor először megáll. Tehát ezzel a módszerrel meg lehet teljesen állítani a motor forgását, de ez nagy veszteségekkel jár.

**Forgásirány váltás.** Kétféleképpen lehetséges:

1. Változatlan armatúra áram mellett megváltoztatjuk a gerjesztés irányát.
2. Változatlan irányú gerjesztés mellett megváltoztatjuk az armatúraáram irányát.

Az elmondottakból látható, hogy az egyenáramú motorok legfontosabb paraméterei jól befolyásolhatóak villamos eszközökkel. Ez teszi alkalmassá arra, hogy szabályozott hajtásokat készítsünk vele. Akármilyen szabályozást készítünk is DC motorral, arra mindig szükség van, hogy a motor aktuális forgásirányáról, fordulatszámáról stb. tájékozódjunk. Ezt a célt szolgálja az úgynevezett forgójeladó, melynek további elnevezései: enkóder, kódadó, impulzusadó, forgóadó, pozíció jeladó, szöghelyzet adó, szöghelyzet érzékelő, szöghelyzet kódoló, stb. Legtöbbször csak az ilyen jeladókkal egybeépített motorokat nevezik szervomotoroknak. Ilyen forgójeladóval ellátott motorok külön is léteznek, de bármely DC motor ellátható ilyen jeladóval.



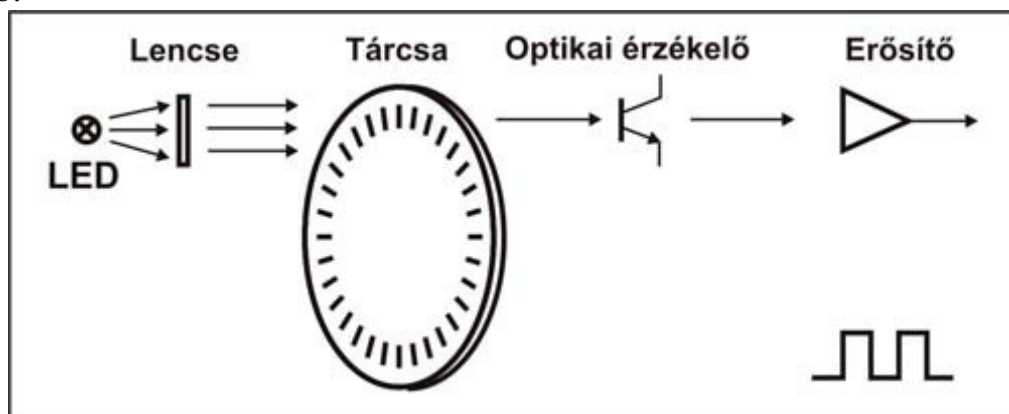
A forgójeladóknak két fajtája létezik:

- inkrementális (növekményes)
- abszolút



### Inkrementális forgójeladók:

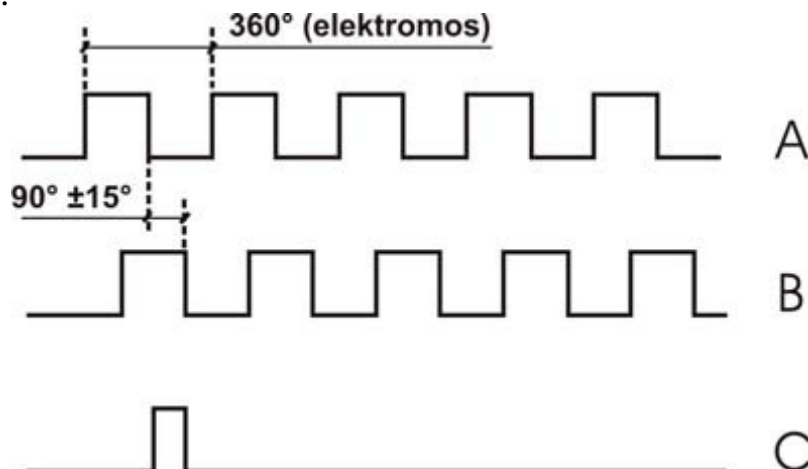
Az inkrementális forgójeladók alapvetően mechanikai, optikai, vagy mágneses érzékelés elvén működnek. Az eszköz kialakulásakor elsősorban mechanikai, majd később optikai elven működő eszközöket gyártottak. Napjainkban a technológiai fejlődés következtében egyre nagyobb számban jelennek meg a mágneses elven működő forgójeladók. Az 1. ábrán egy optikai érzékelés elvén működő, inkrementális forgójeladó vázlatos belső felépítése látható.



A fényforrás (pl. LED) által folyamatosan kibocsátott fény áthalad egy üvegtárcsa sugár irányban elhelyezett vonalai közötti átlátszó résen és a tárcsa ellentétes oldalán egy fényérzékeny eszköz (pl. fototranzisztor) érzékeli a tárcsán átjutó fényt. A tárcsa forgása modulálja a fénysugarat, melynek intenzitását a fényérzékeny eszköz érzékeli. A fényérzékeny eszköz kimenetén keletkező jelet a következő jelformáló és erősítő fokozat négyszögjellé alakítja. A tárcsa egy tengelyhez van rögzítve, melynek az elfordulását tudjuk érzékelni. A tárcsa elfordulásakor keletkező négyszög alakú jelsorozat frekvenciája a tárcsa forgási sebességétől és a tárcsán elhelyezett osztások számától függ. A kezdeti időkben a forgójeladóknak vékony fém tárcsákat használtak, melyeken furatokat helyeztek el a kerület mentén és ezeket a furatokat érzékelték először mechanikusan, majd később optikai úton. Belátható, hogy az ilyen módon megvalósított eszközökben az egy körülforduláshoz tartozó osztások száma nem lehetett nagy és az osztások számát csak a tárcsa átmérőjének növelésével lehetett növelni. Az igény a nagyobb osztásszámra és a méretek csökkentésére hozta létre a fototechnikai, vagy kémiai eljárásokkal kezelt (maratott) üvegtárcsát. Manapság a tipikus üvegtárcsás forgójeladók tárcsáján 100...10.000 osztás található, ami megfelel  $3,6^\circ \dots 0,036^\circ$ -os osztásnak.

Egy inkrementális forgójeladó, amely csak egyetlen impulzus csatornával rendelkezik, elég korlátozottan használható, mivel csak a jeladó tengelyének forgási sebességét tudja érzékelni. A legtöbb inkrementális forgójeladó több csatornával rendelkezik, mivel sok esetben a forgás sebességén

kívül a forgás irányát is szükséges meghatározni. Az ábrán látható az általánosan elterjedt A, B, és C csatornával rendelkező inkrementális forgójeladó kimeneti jele.



Az A és B csatornák jelei egymáshoz képest  $90^\circ$ -os fáziseltolással rendelkeznek, aminek következtében meghatározható, hogy milyen irányban forog a tárcsa. A C csatorna jele teljes körülfordulásonként csak egyszer jelentkezik, ezáltal pl. számolni lehet a teljes körülfordulások számát.

Mivel az inkrementális forgójeladók kimenetén csak impulzus sorozat jelenik meg, szükség van egy referencia (Home) pozíció rögzítésére, mely mintegy kalibrálja a jeladót és a továbbiakban minden elmozduláshoz referenciaként szolgál. A referencia pozíciót általában egy kapcsoló jel, valamint a C csatorna jelének (referencia jel) együttes jelenléte adja. A kapcsoló jelet mechanikus, vagy érintés nélküli kapcsoló szolgáltatja.

A környezettel szembeni tűrőképességük lényegesen magasabb a mágneses elven működő forgójeladóknak. A mágneses elven működő inkrementális forgójeladóknak is egy, a tengelyhez rögzített tárcsa elfordulását érzékelik. Általában két metódus közül választanak: vagy a forgó tárcsa peremén elhelyezett mágnesezhető gyűrűt sűrű osztásokkal felmágnesezik és a pólusok (É-D) szenzor előtti elmozdulásából adódó mágneses tér változást érzékelik, vagy egy fixen elhelyezett, állandó mágnes által létrehozott mágneses mezőben keletkező változást érzékelik, amely változást egy sűrű fogazású acél tárcsa (fogazott kerék) fogainak elfordulása okozza. A mágneses mező változása az érzékelőkben szinuszos jelet generál, amelyből egy speciális áramkör segítségével nagy felbontású négyszög alakú jelet állítanak elő. A mágneses érzékelők fizikai elrendezése – hasonlóan az optikai eszközökéhez – biztosítja a fázisban  $90^\circ$ -al eltolt kimenő csatornákat. A mágneses mező változásának érzékelése leggyakrabban Hall elemes, vagy magnetorezisztív szenzorokkal történik. Az egyszerű mechanikai kivitelű lehetővé tevő, ASIC áramkörökkel megvalósított Hall elemes inkrementális fogó jeladók szerelése egyszerű, forgó és álló része között nincs érintkezés, elhagyható a csapágyazás, nagy védettség (IP68) érhető el, a forgó rész (mágnes) kis tömegű, magas fordulatszám



(30.000 ford/perc) is működőképes. Az egyszerű felépítés ellenére viszonylag jó felbontás (4096 imp/ford) érhető el.



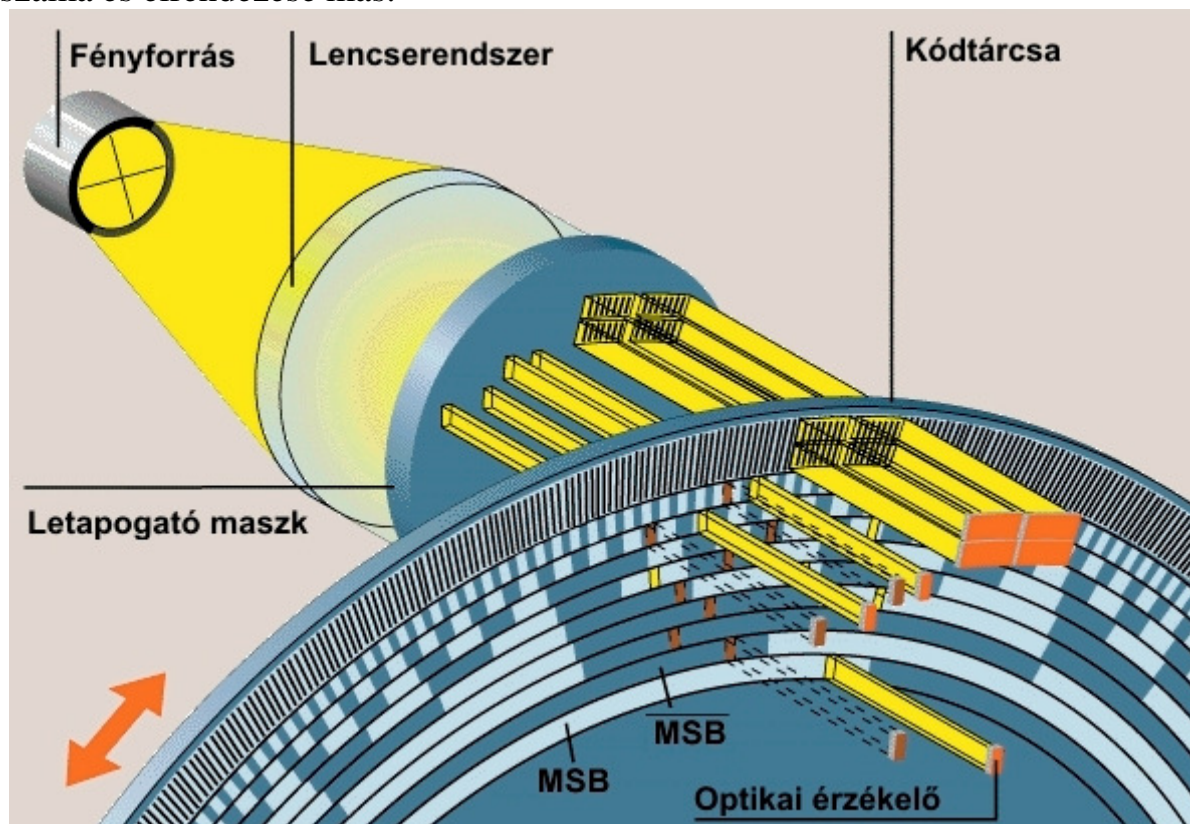
A magnetorezisztív szenzorok a ferromágneses anyagoknak azt a tulajdonságát használják ki, hogy ezeknek az anyagoknak mágneses tér hatására megváltozik az ellenállásuk. A magnetorezisztív elven működő inkrementális forgójeladók felbontása precíziós szereléssel és speciális nagy felbontású interpolációs áramkörökkel igen nagy lehet (50.000 osztás / körülfordulás). Ezeknek az eszközöknek az ára igen magas, míg az egyszerűbb kivitelű, kisebb felbontású változatok ára a hasonló optikai forgójeladókéval megegyező.

### Abszolút forgójeladók:

Az inkrementális forgójeladók legnagyobb hátránya, hogy az elmozdulás nagyságát, vagy pozíció meghatározását szolgáló kimenő impulzusokat egy külső számlálóval kell számolni és tárolni. Ha a tápfeszültség megszűnik, a számlálás eredménye elvész. Ez azt jelenti például, hogy egy inkrementális jeladóval felszerelt gépnél a műszak végi kikapcsolás után, vagy javításkori, karbantartáskori kikapcsolás után a tápfeszültség visszakapcsolásakor nem lehet tudni a gép pontos pozícióját. A mozgó géprészen el kell helyezni egy úgynevezett referenciapont (Home) kapcsolót és minden tápfeszültség bekapcsolás után erre a kitüntetett pozícióra (referenciapontra) kell mozgatni a gépet. A kitüntetett pozícióban nullázni kell a számlálót (vagy egy ismert értékkel feltölteni) és a rendszer csak ettől kezdve képes az itt felvett pozícióhoz viszonyítani a mozgást. Több tengelyes gépnél ezt a műveletet minden tengelyen meg kell ismételni. Az abszolút forgójeladókat a fenti probléma kiküszöbölésére hozták létre. Az abszolút jeladókat úgy tervezték, hogy minden pillanatban kiolvasható legyen az aktuális pozíció. Működési elvük sokféle lehet: mechanikus, optikai, mágneses, indukciós (rezolver), potenciométeres, stb.



Az ipari alkalmazásokban a legelterjedtebb az optikai elven működő abszolút forgójeladó. A működés alapelve megegyezik az inkrementális eszköznél már megismert sötét és világos szegmensek optikai érzékelésével, csak az érzékelők száma és elrendezése más.



A forgó üvegtárcsa koncentrikus gyűrűkre van felosztva. Az egyes koncentrikus gyűrűk felváltva tartalmaznak világos és sötét szegmenseket változó hosszal. A tárcsa szélét és a középpontját összekötő vonal mentén az egyes gyűrűk világos vagy sötét állapota adja a tárcsa pozíció kódját. A kódtárcsákon lévő kód kialakításánál általában bináris, vagy Gray kódot használnak.

Az abszolút optikai forgójeladókban leggyakrabban alkalmazott kimenetek a következők:

- párhuzamos kimenetek – bináris kód, Gray kód, BCD (Binary Coded Decimal) kód
- soros kimenetek - RS485, SSI (Synchronous Serial Interface), EnDat, Profibus, CAN bus.

A mágneses elven működő abszolút forgójeladók működési elve és mechanikai kialakítása általában nem különbözik az inkrementális változatokétól. A belső felépítésükben az eltérés a leolvasó fejek számában, elrendezésében, valamint az interface áramkörökben található.

Az abszolút forgójeladók egyik gyakran – főleg szervomotorokban - használt változata a rezolver. A rezolver egy szöghelyzet érzékelő, amely méri egy körülforduláson belül forgó tengely pillanatnyi szöghelyzetét. A rezolver

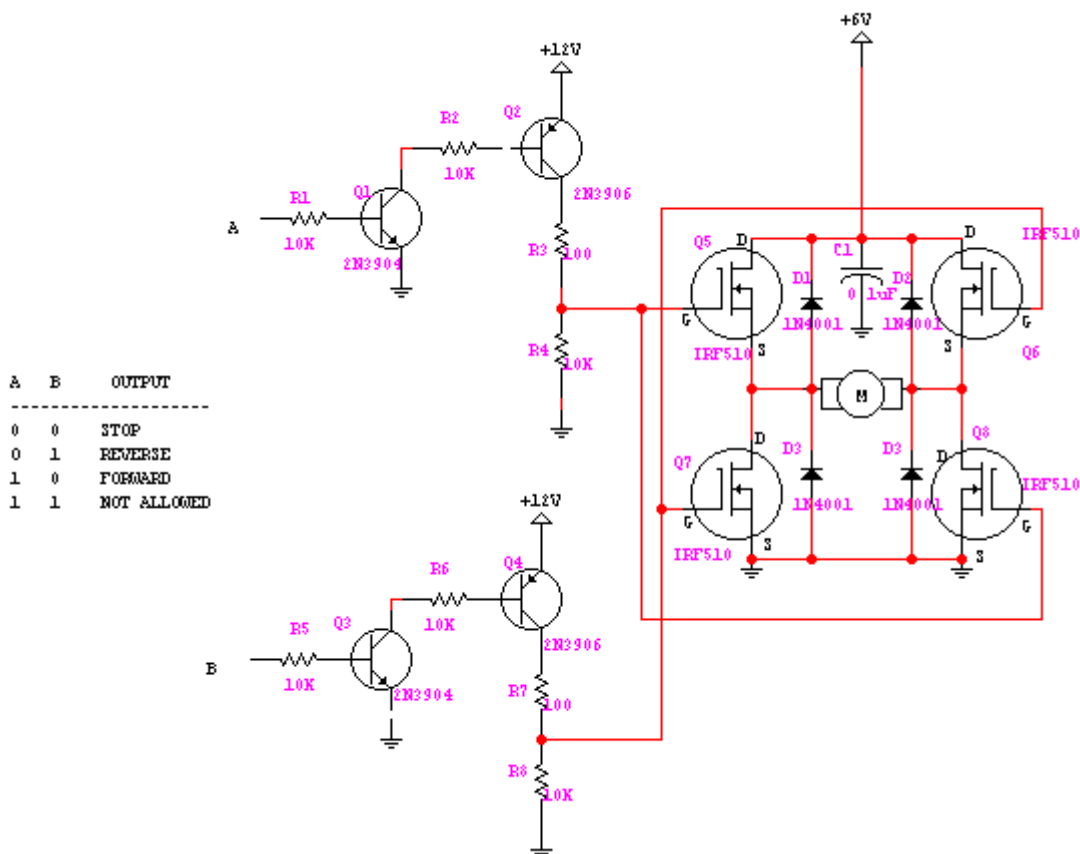


mechanikai felépítése tipikusan egy kisméretű motorra hasonlít, amely rendelkezik egy forgórészsel (melyet a mérendő tengelyhez kapcsolnak) és egy állórészsel, mely a kimenő jelet produkálja. A rezolver által szolgáltatott jel arányos a tengely elfordulás szögének szinuszával és koszinuszával. Mivel az elfordulás során minden szöghelyzethez a szinusz és koszinusz értékek egyedi kombinációja tartozik, a rezolver egy teljes körülforduláson belül ( $360^\circ$ ) abszolút szöghelyzet mérésre alkalmas. Az előzőekből következik, hogy a rezolver ciklikusan abszolút forgójeladó. Villamos szempontból nézve a rezolver egy transzformátor, amelyben a csatolás a primer tekercs és a két szekunder tekercs között úgy változik, mint a forgórész szöghelyzetének szinusza és koszinusza.

A vezérléstechnika gyors fejlődésének és széleskörű elterjedésének következményeként igény támadt olyan érzékelőkre, melyek olcsók, villamos és mechanikus szempontból egyszerűek, robusztusak, széles hőmérséklet tartományban ( $-40..+160\text{ C}^\circ$ ) működőképesek, abszolút út, vagy szögmérésre használhatók.

Ezeknek az igényeknek a potenciométerek bizonyos fajtái megfelelnek. A gyártástechnológiából adódóan elsősorban a vezető műanyag ellenállás pályával rendelkező potenciométerek felelnek meg erre a célra. A vezető műanyag potenciométerek csúszkája csak minimális mértékben ( $1-10\text{ }\mu\text{A}$ ) terhelhető, ezért nagy bemenő impedanciájú áramkörhöz kell csatlakoztatni (pl. műveleti erősítő).

A DC szervo motorok vezérlése általában hídkapcsolásban történik tranzisztorok vagy még inkább FET – ek alkalmazásával. A hídkapcsolás azért szükséges, hogy a motorra kétféle polaritású feszültség is rákapcsolható legyen a forgásirányváltás, illetve a fékezés miatt. A vezérlés pedig általában PWM jelekkel történik, így a kapcsoló üzem miatt kicsi a félvezetők vesztesége, a szabályozás pedig jól kézben tartható digitális eszközökkel.



Az ábrán látható kapcsolás egy egyszerű DC motorvezérlő híd. A kapcsoló FET – ek közül amikor a Q5 és a Q8 nyitott, akkor a motor az egyik, amikor pedig a Q6 és Q7 nyitott, akkor a másik irányba forog. Azt, hogy az azonos ágban lévő FET – ek (Q5,Q6 illetve Q7,Q8) „összenyissanak”, mindenképpen meg kell akadályozni vagy hardveres, vagy szoftveres úton.

### 2.3.3 Önellenőrzési feladatlap a 3. számú részcelkitűzéshez

1. Melyik állítás nem igaz? Indításkor az egyenáramú motor...
  - a. indukált feszültsége 0.
  - b. armatúra árama a névleges érték sokszorososa.
  - c. kapocsfeszültsége 0.
2. Milyen módon változtatható az egyenáramú motor fordulatszáma?
  - a. Kapocsfeszültség változtatásával.
  - b. A főáramköri ellenállás változtatásával.
  - c. Mindkét válasz helyes.



3. Ellenállásos (dinamikus) fékezésnél:
  - a. a motor teljesen megállítható.
  - b. a motor által termelt energiát a hálózatba vezetjük vissza.
  - c. a motor táplálását megszüntetjük.
  
4. Melyik motornak változik meg a forgásiránya, ha a kapocsfeszültség polaritását megfordítjuk?
  - a. A soros gerjesztésűnek.
  - b. A párhuzamos gerjesztésűnek.
  - c. A külső gerjesztésűnek.
  
5. Mi a szerepe a forgójeladónak (enkóder)?
  - a. Érzékeli, hogy forog – e a motor.
  - b. Érzékeli a motor fordulatszámát, forgásirányát és esetleg a tengely pozícióját.
  - c. Tájékoztat a motor forgásirányáról.
  
6. Miért van a forgójeladó A és B csatornáján megjelenő jelek között kb. 90° fáziseltolás?
  - a. Hogy meghatározható legyen a forgásirány.
  - b. A pontosabb fordulatszám meghatározás miatt.
  - c. A pontosabb pozíció meghatározás miatt.
  
7. Melyik a legnagyobb felbontású forgójeladó?
  - a. Az optikai.
  - b. A mágneses elven működő.
  - c. A magnetorezisztív.
  
8. Mi a különbség az inkrementális és az abszolút forgójeladók között?
  - a. Az abszolút pontosabb.
  - b. Az inkrementális nem ad konkrét pozíció információt, az abszolút igen.
  - c. Az abszolút forgójeladók konkrét fordulatszám értéket adnak.
  
9. Mi a rezolver?
  - a. Abszolút forgójeladó típus.
  - b. Inkrementális forgójeladó típus.
  - c. Az optikai elven működő forgójeladók gyűjtőneve.
  
10. Mire szolgál a fenti motorvezérlő kapcsolásban található 4db dióda?
  - a. Megakadályozza, hogy a FET – ek összenyissanak.
  - b. Védik a FET – eket a túlfeszültségtől.
  - c. Segítségükkel az áramkör váltakozó feszültségről is üzemeltethető.

### 2.3.4 Megoldókulcs a 3. számú részcelkitűzéshez tartozó önellenőrzési feladatlaphoz

1. c ; 2. c ; 3. c ; 4. c ; 5. b ; 6. a ; 7. c ; 8. b ; 9. a ; 10. b

Teljesítményszint:

Az önellenőrzési feladatnál az Ön által adott válaszoknak a fenti helyes válaszokkal kell egyeznie. Ha valamelyik pontnál hibát követett el, vagy kérdése van, *akkor ismételten nézze át az ajánlott olvasmányokat/ ismételje meg a tanulási tevékenység szükséges részeit/ kérjen segítséget az oktatótól stb.*

### 2.4.1 Tanulási gyakorlat a 4. számú részcelkitűzéshez

Részcelkitűzés: Elektronikus kommutációjú motorok

Óraszám: 3

Tanulási tevékenységek	Tanulási tevékenységet segítő tanácsok
<i>Hallgassa meg az oktatója előadását, készítsen saját jegyzetet! Oldja meg az oktató által adott feladatokat!</i>	<i>Oldja meg az önellenőrzési feladatokat, és beszélje meg a hibáit az oktatójával!</i>

### 2.4.2 Információs lap a 4. számú részcelkitűzéshez

Az egyenáramú motoroknak a mechanikus kommutáció miatt a következő hátrányaik vannak:

- érintkezési bizonytalanság
- korlátozott élettartam
- viszonylag nagy helyigény
- járulékos zajok
- súrlódási veszteség
- a kommutátor mechanikai szilárdsága korlátozott

A mechanikus kommutáló berendezést elektronikusra cserélve megtarthatóak az egyenáramú gépek kedvező tulajdonságai, a fenti hátrányokat megszüntetve. Az elektronikus kommutátorú motorokban az állórész és a forgórész szerepe felcserélődik. A forgórész tartalmazza az állandómágnest, az állórész pedig a tekercselést. Ahhoz, hogy az állórész tekercseit megfelelően kapcsolni tudjuk, a forgórész szöghelyzetét ismerni kell. Ehhez különféle vezérléseket alkalmaznak:

- Hall generátoros



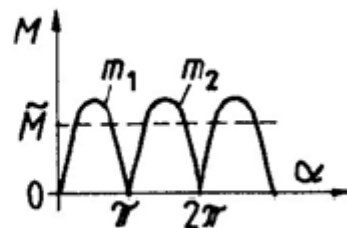
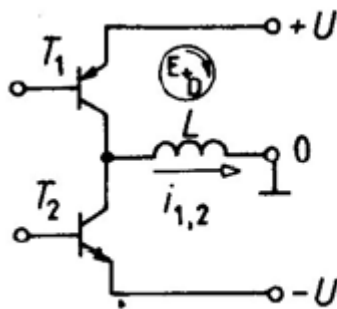


- Optoelektronikai
- Csatolótranszformátoros
- Indukált feszültséges

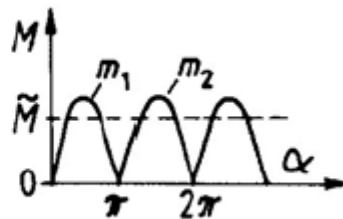
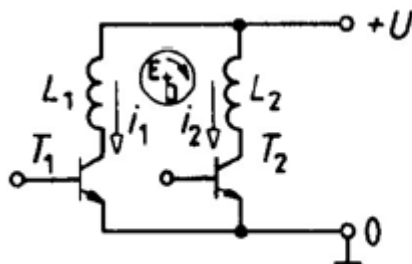
### Az állórész tekercselése

#### 1. Egyfázisú, kétütemű motorok

- Jó tekercskihasználás
- Egyszerű tekercselés
- Különleges tápegység
- Nehézkes a fordulatszámmal arányos jel előállítása



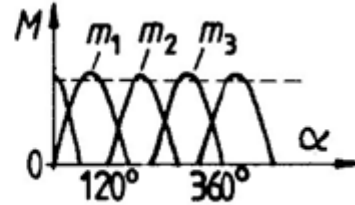
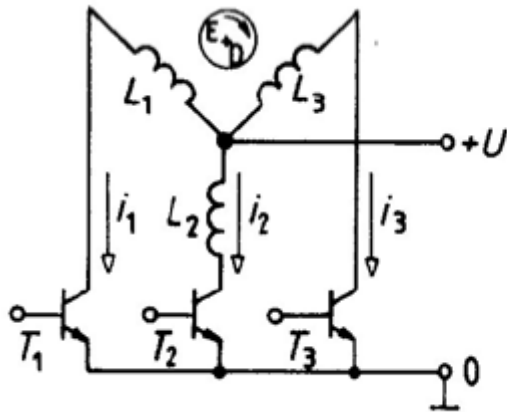
Készülhet bifiláris tekercseléssel is, ekkor a fordulatszámmal arányos jelet a kikapcsolt tekercs adhatja. Hátránya, hogy nő a tekercselési költség és rosszabb a tekercskihasználat.



Az egyfázisú tekercselés előnye, hogy egyszerű lesz a kapcsoló elektronika, hátránya viszont, hogy vannak nulla nyomatékú helyek, melyeket – egyirányú forgás esetén – légrés – aszimmetriával lehet kiküszöbölni.

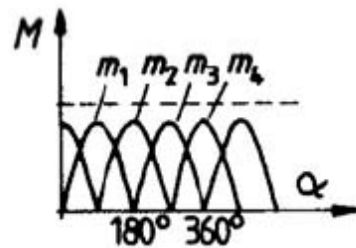
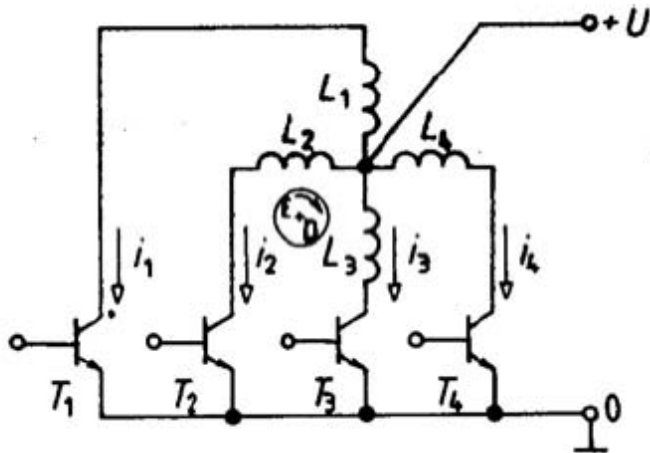
#### 2. Háromfázisú, háromütemű motorok

- A forgórész minden helyzetében keletkezik nyomaték
- Kedvezőtlen a tekercskihasználás



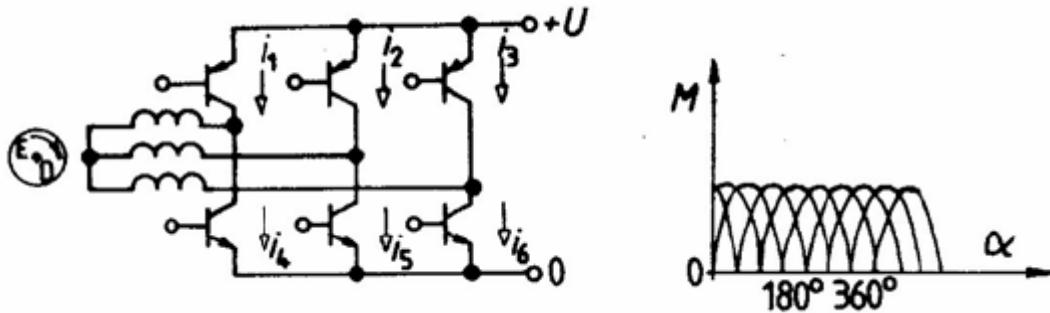
### 3. Négyfázisú, négyütemű motorok

- A nagyobb fázisszám miatt kisebb a nyomatéklüktetés, és jobb a kihasználás
- Előnye, hogy az éppen nem gerjesztett tekercsekben keletkező indukált feszültség könnyen felhasználható a tekercsek vezérlésére



### 4. Háromfázisú, hatütemű motorok

- A tekercselés klasszikus háromfázisú tekercselés, amelyet híd táplál
- Előnye a minimális lüktetés és a legkedvezőbb kihasználás
- Hátránya, hogy az indukált feszültséggel nem lehet a vezérlést megvalósítani, és a vezérlés bonyolultabb



### Az elektronikus kommutáció megvalósítása:

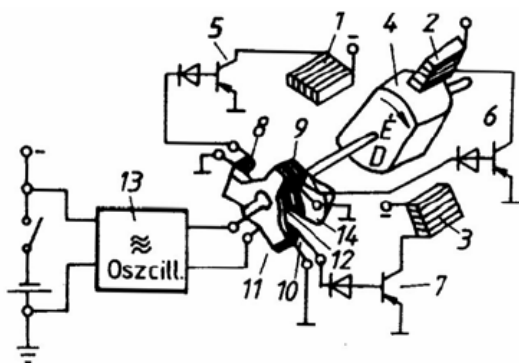
A vezérlés erősen befolyásolja a motor nyomatékát, kihasználtságát. Az érzékelőkkel, kapcsolásokkal szemben támasztott főbb követelmények:

- ne tartalmazzon mozgó, csúszó érintkezőt
- minimális helyzetérzékelési bizonytalanság
- érzéketlenség a tápfeszültség és hőmérséklet változásra
- minimális időállandó
- az érzékelés irányhelyes legyen

A kapcsolóelemek vezérlésének kiválasztása függ attól, hogy milyen a hajtás jellege. A szabályozás készülhet állandó fordulatszámra, széles tartományban változtatható fordulatszámra, és igen nagy fordulatszámra.

### Vezérlés csatolótranszformátorról:

Az állórész tekercsek kapcsolását kapcsolótranzisztorok végzik. A kapcsolótranzisztorok kapcsolása vezérlőtekercsekkel (egyenirányítók közbeiktatásával) van megoldva. Ezek a vezérlőtekercsek egy különleges vasmagú transzformátor szekunder tekercsei, amelynek primer tekercsét egy oszcillátor kb. 100Hz váltakozó feszültséggel táplálja. A transzformátor mágneses köre a rotorral együtt forgó szabályozó szegmenssel záródik. Az egymást követő tekercsek bekapcsolását átlapolással végzik, így megvalósítható a motor biztos indulása. A motor forgórésze addig gyorsul, amíg az állórész tekercs bekapcsolt fázisában az indukált feszültség és a telepfeszültség különbsége éppen a feszültségeséssel tart egyensúlyt, amely a forgórész terhelésének hatására folyó áram miatt jön létre. A telepfeszültség vagy a terhelés megváltoztatása esetén a fordulatszám is megváltozik.



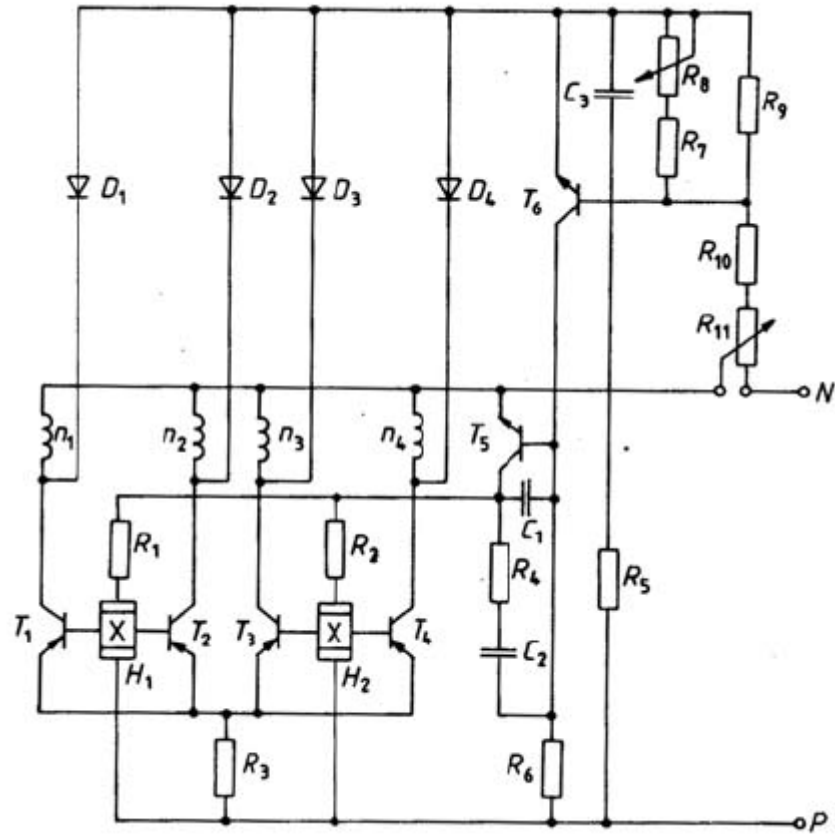
5.8. ábra. Háromfázisú csillagpontos kapcsolású motor csatolótranszformátoros vezérléssel  
1, 2, 3 a fázistekercsek; 4 a rotor; 5, 6, 7 a kapcsolótranszisztorok; 8, 9, 10 a csatolótranszformátor szekunder tekercse; 11 álló vasmag; 12 primer tekercs (táplálás a 13 oszcillátorral); 14 a rotorral együttforgó fegyverzet

### Vezérlés indukált feszültséggel:

A kapcsolótranszisztorokat az éppen nem gerjesztett tekercsben indukált feszültséggel vezéreljük. Csak akkor van indukált feszültség, amikor a motor már forog, ezért a vezérlés is csak ekkor működik. Indításkor a vezérlőáramkör többfokozatú multivibrátorként működik, a motor léptetőmotorként indul. Előnye, hogy hiányzik a forgórész helyzetének meghatározására szolgáló alkatrész. A vezérlés fázistolást is végez, a tekercsek átfedéssel történő bekapcsolásához. A motor jó kihasználása és stabil üzeme akkor teljesül, ha az egyes tekercsek kikapcsolt állapotaiban a fázistoló kapcsolás a tekercsen mérhető indukált feszültséghez képest  $60^\circ$  - os késleltetéssel tolja el a nullátmenetet, azaz a következő fázis bekapcsolásának pillanatát. Ez a fázistoló csak meghatározott fordulatszámra méretezhető, és a motor ebben a szűk tartományban üzemeltethető.

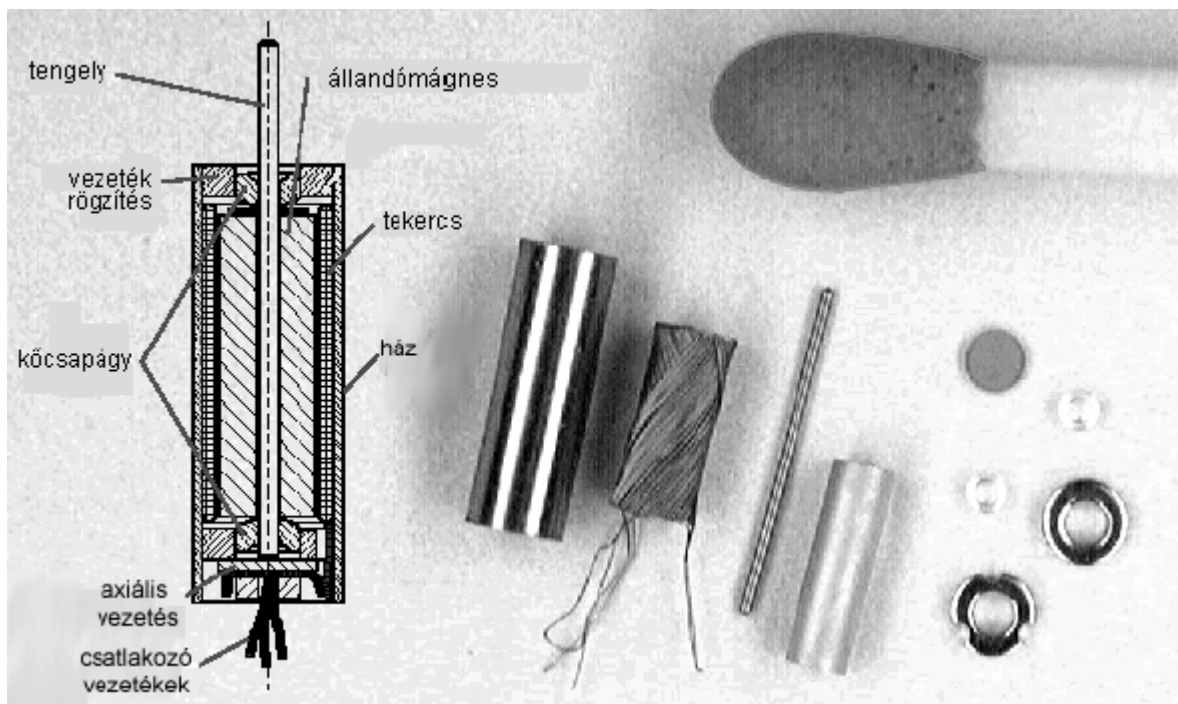
### Hall generátoros vezérlés

A legelterjedtebb vezérlés típus. Előnye, hogy mivel a Hall generátor előjelhelyesen érzékeli a mágneses teret, ezért egy Hall generátorral két, egymástól  $180^\circ$  - ra lévő tekercs is vezérelhető. A négyfázisú vezérlés megvalósítására így elegendő két Hall generátor egymástól  $90^\circ$  - ra elhelyezve. Ha a vezérlőtranszisztorok a lineáris tartományban működnek, a Hall feszültséggel arányos fázisáramot adnak a motor tekercseire. Így mindkét fázis vezet, az egyik árama szinuszosan csökken, míg a másiké koszinuszosan növekszik. Az így kialakuló áramokkal a teljes körülfordulás alatt állandó, lüktetésmentes nyomaték hozható létre. Ennek eredménye a különösen egyenletes, zajmentes járás. Hátrány, hogy nagy a tranzisztorok disszipációs teljesítménye, így csak kisebb teljesítmények esetén alkalmazzák. Egy másik lehetséges módszer a Hall generátorokkal történő szokásos kapcsolóüzemű vezérlés, amikor az egyes Hall generátorok egy – egy negyed periódusidőre teljesen kivezérlik a tranzisztorokat.



Konstrukciós kialakítások:

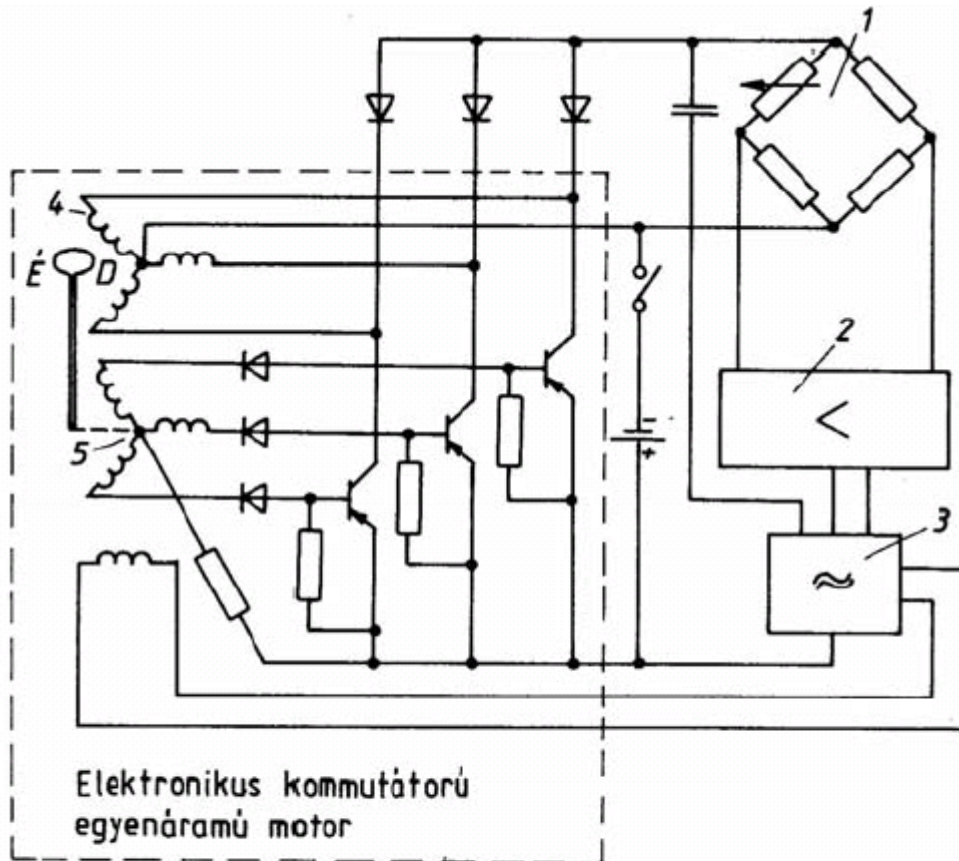
Miniaturizáció esetében az elektronikus kommutáció segítségével a viszonylag nagy méretűnek mondható, illetve kis méretben nehezen gyártható mechanikus kommutátor és kefe eltűnik.



Az elektronikus kommutáció előnyeinek megtartásával kifejezetten egy célra kifejlesztett olcsó motorok általában egy forgásirányúak, egyfázisúak. A nulla nyomatékú helyek elkerülését, azaz az indítási nehézségeket mágneses aszimmetriával kerülik el. Ezeknek a motoroknak a működése hasonló a reluktanciamotorokéhoz.

### Az elektronikus kommutált motorok fordulatszám-szabályozása

A fordulatszám-szabályozáshoz, a hagyományos egyenáramú motortól eltérően, nem szükséges tachogenerátor. Egy armatúratekercs két egymást követő hálózatra kapcsolása között az indukált feszültség előjelet vált, így ebben az időszakban a forgás által előállított indukált feszültség nagysága egyenirányító segítségével fordulatszám-jeladóként felhasználható (a munkaáram hatása nagy koercitív erejű mágnesek esetében elhanyagolható). A fordulatszámmal arányos simított egyenfeszültséget hídra kapcsoljuk. Névleges fordulatszámnál a híd kiegyenlített állapotban van, ettől eltérő fordulatszám esetén a hídfeszültség nem lesz nulla. Ezt felerősítve a jel alkalmas egy oszcillátor amplitúdójának és ezzel a tranzisztorok munkapontjának változtatására.



**6.4. ábra.** Elektronikus kommutátorú, egyenáramú motor visszacsatolt fordulatszám-szabályozással  
1 feszültségfüggő hid; 2 erősítő; 3 oszcillátor (a kimenő jel amplitúdóját a felerősített hibajel vezérli); 4 motor; 5 speciális pozícióadó transzformátor

### 2.4.3 Önellenőrzési feladatlap a 4. számú részcelkitűzéshez

1. Melyik állítás hamis?
  - a. A mechanikus kommutátor élettartama korlátozott.
  - b. Az elektronikus kommutációjú motorok hangosabbak.
  - c. A mechanikus kommutátornál érintkezési bizonytalanság léphet fel.
  
2. Melyik állítás igaz?
  - a. Az elektronikus kommutációjú motornál a forgórész állandómágnes.
  - b. Az elektronikus kommutációjú motornál a forgórész többfázisú tekercselésű.
  - c. Az elektronikus kommutációjú motornál az állórész állandómágnes.

3. Az elektronikus kommutációnál az érzékelővel szemben támasztott egyik fő követelmény:
  - a. nagy jelfeszültség szolgáltatása
  - b. nagy felső határfrekvencia
  - c. ne tartalmazzon mozgó érintkezőt
  
4. Az elektronikus kommutációjú motornál az állórész tekercsüket...
  - a. folyamatosan egyenárammal tápláljuk.
  - b. állandó háromszögjellel tápláljuk.
  - c. a forgórész helyzetének megfelelően kapcsolgatjuk ki/be.
  
5. Milyen vezérlést NEM alkalmaznak elektronikus kommutációjú motoroknál?
  - a. Hall generátoros
  - b. Kapacitív csatolású
  - c. Indukált feszültségű
  
6. Melyik típusú motornál fordulhat elő olyan helyzet, hogy nem keletkezik forgatónyomaték és a motor esetleg nem indul el?
  - a. Az egyfázisú kétütemű motornál.
  - b. A háromfázisú háromütemű motornál.
  - c. A négyfázisú négyütemű motornál.
  
7. A háromfázisú hatütemű motoroknál ...
  - a. a vezérlés könnyen megvalósítható indukált feszültséggel.
  - b. rossz a tekercskihasználás.
  - c. minimális a nyomaték lüktetése.
  
8. Négyfázisú vezérléshez...
  - a. egy Hall generátor szükséges.
  - b. két Hall generátor szükséges.
  - c. négy Hall generátor szükséges.
  
9. Indukált feszültséggel történő vezérlésnél:
  - a. Speciális érzékelőtekercsre van szükség.
  - b. Csatolótranszformátorra van szükség.
  - c. Az éppen nem gerjesztett tekercsről vesszük a vezérlőjelet.
  
10. Hall generátoros vezérlésnél a tranzisztorok...
  - a. kapcsolóüzemben működnek.
  - b. lineáris üzemben működnek.
  - c. lineáris és kapcsolóüzemben egyaránt működhetnek.



## 2.4.4 Megoldókulcs a 4. számú rész célkitűzéshez tartozó önellenőrzési feladatlaphoz

1. **b** ; 2. **a** ; 3. **c** ; 4. **c** ; 5. **b** ; 6. **a** ; 7. **c** ; 8. **b** ; 9. **c** ; 10. **c**

Teljesítményszint:
Az önellenőrzési feladatnál az Ön által adott válaszoknak a fenti helyes válaszokkal kell egyeznie. Ha valamelyik pontnál hibát követett el, vagy kérdése van, <i>akkor ismételten nézze át az ajánlott olvasmányokat/ ismételje meg a tanulási tevékenység szükséges részeit/ kérjen segítséget az oktatótól stb.</i>

## 2.5.1 Tanulási gyakorlat az 5. számú rész célkitűzéshez

Rész célkitűzés: Szinkron motorok működése	
Óraszám: 2	
Tanulási tevékenységek	Tanulási tevékenységet segítő tanácsok
<i>Hallgassa meg az oktatója előadását, készítse saját jegyzetét! Oldja meg az oktató által adott feladatokat!</i>	<i>Oldja meg az önellenőrzési feladatokat, és beszélje meg a hibáit az oktatójával!</i>

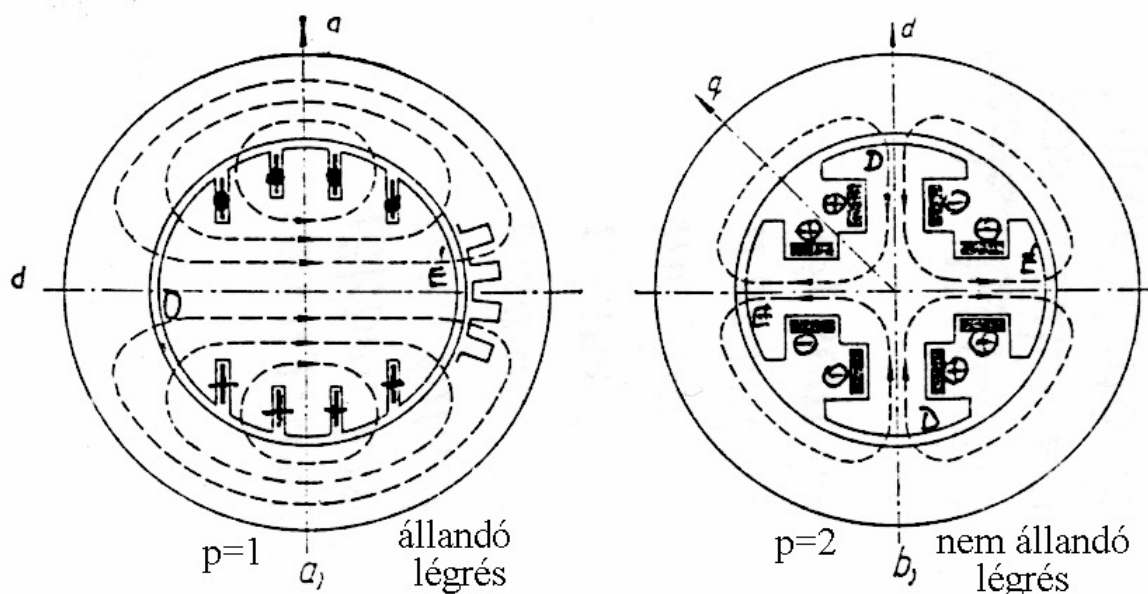
## 2.5.2 Információs lap az 5. számú rész célkitűzéshez

A szinkron motorok a váltakozó áramú gépek csoportjába tartoznak. Szinkron gépekkel tipikusan generátorként találkozhatunk a mindennapi gyakorlatban, főként az erőművekben. Motorként ritkábban használják. Ebben a segédletben a szinkron motorok részletes működését mellőzve, inkább a kisebb teljesítményű szinkron motorok felépítését mutatjuk be.

### Szinkron motor felépítése:

A szinkron motorok állórésze (armatúra) olyan – általában háromfázisú – tekercsrendszert tartalmaz, amely a rákapcsolt váltakozó feszültség által benne hajtott árammal, a motor belsejében forgó mágneses teret gerjeszt. A gép szögsebessége az állórész  $f_1$  frekvenciájához mereven kötődik az  $\omega_0 = 2\pi f_1/p$  képlet szerint, ahol  $p$  az állórész póluspárjainak száma. A gép csak ezen a szögsebességen tud állandósult nyomatékot kifejteni. A forgórész kb. 5 kVA -

nél nagyobb teljesítményeknél két csúszógyűrűn be- ill. kivezetett, egyenárammal gerjesztett elektromágnes, amely hengeres, vagy kiálló pólusú lehet. Póluspár száma megegyezik az állórész póluspár számával. A törpe, ill. automatikai szinkron gépek lehetnek un.: reluktancia, állandó mágnesű, illetve hiszterézis forgórésűek. Ezek egyben az ilyen gépek elnevezését is jelentik.



Szinkron gépek elvi szerkezete: a) hengeres forgórésű, b) kiálló pólusú (póluskerekes) gép

A szinkron gépeket hálózatra kapcsolás előtt „szinkronizálni” kell. Ez azt jelenti, hogy nyitott állórész kapcsoknál (üresjárásban) a forgórész mágnes forgatásával egy forgó mágneses mezőt létesítünk, ami váltakozó feszültséget indukál az állórész (armatúra) tekercsekben. Ezt az indukált feszültséget  $U_p$  pólusfeszültségnek hívjuk, (mert a forgórész pólusfluxus hatására keletkezik).

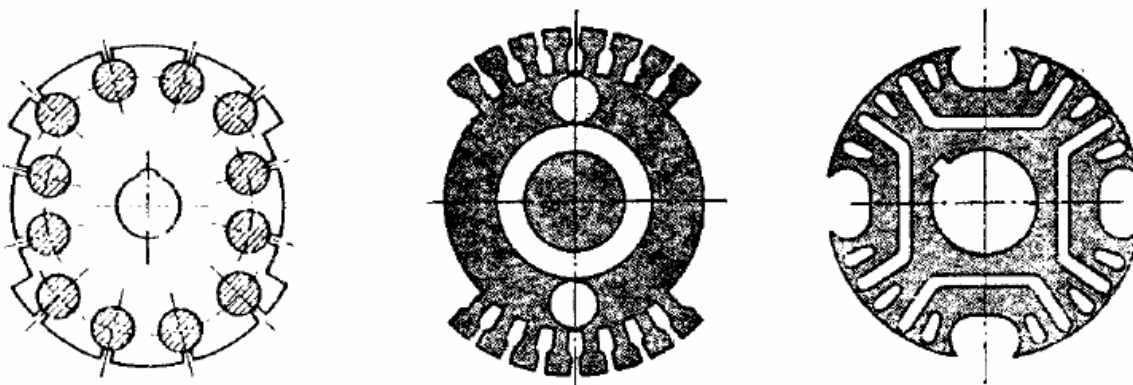
Motoroknál az indítás:

- indító segédgéppel történhet, amellyel a frekvencia beállítására szinkron fordulatra hozzuk a forgórészt. A további egyeztetések után a hálózatra kapcsolás elvégezhető.
- legtöbbször a pólussarukba épített indító kalicka segítségével történik. A kalickákkal aszinkron módra közel szinkron fordulatszámra gyorsul a forgórész. Ezután a forgórész tekercselés egyenáramú gerjesztésével megjelenik a szinkronozó nyomaték és a gép „beugrik” a szinkronba.
- a tápláló frekvencia folyamatos növelésével is történhet. Ehhez frekvenciaváltó szükséges, amelynek frekvenciája (közel) 0 Hz-től a kívánt frekvenciáig folyamatosan változtatható, és a motor terhelésekor is képes táplálni a motort. A frekvenciaváltóval a szinkron motor mechanikai jelleggörbáját, így fordulatszámát is változtathatjuk.

A törpe és automatikai szinkron motorok állórészén az aszinkron törpe motorokéhoz hasonló forgómezős tekercselés van. A forgórészén nincs gerjesztő tekercs, ezért szerkezetük egyszerűbb.



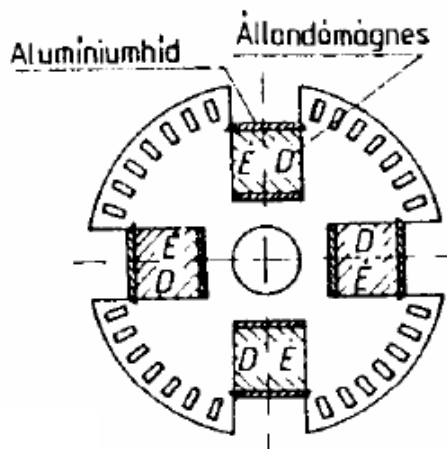
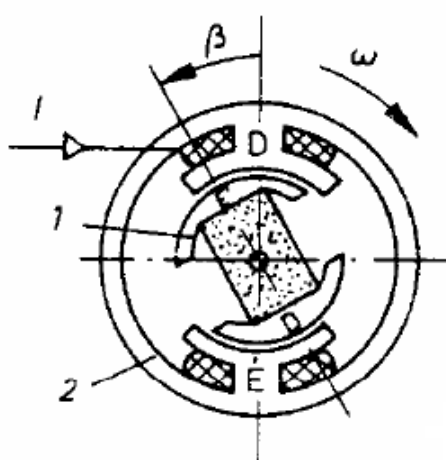
A reluktancia motorok 50-200 W teljesítményre készülnek. Forgórészük az aszinkron motorok kalickás forgórészére emlékeztet, de a reluktancia nyomaték keletkezése érdekében a forgórészt kiálló pólusokkal látták el azáltal, hogy kb. a pólusok felének megfelelő részeken a légrést a fogak kimarásával megnövelték. A kimarások helyét és a forgórész hornyait alumíniummal öntik ki, amit a homlokoldalakon gyűrűk kötnek össze. Ily módon egyrészt kialakul a kiképzett pólusú (nem állandó légrésű) forgórésztest, másrészt indítókalicka is keletkezik.



Reluktancia forgórész vaslemez

Indításuk a kalickák révén aszinkron motorként történik. Az  $\omega_0$  szinkron szögsebesség közelébe gyorsulva a forgórész a reluktancia nyomaték hatására „beugrik” a szinkronizmusba.

Az állandó mágnesű szinkron motornál a forgórész vastestét állandó mágnessel kombinálják. Az ilyen gépek teljesítménye ma már 50 W- 10 kW-ig terjedhet.



A reluktancia nyomaték mellett 3-4-szer nagyobb az állandó mágnes miatt keletkező elektromágneses nyomaték, aminek  $2\pi$  a periódusa. További előny a

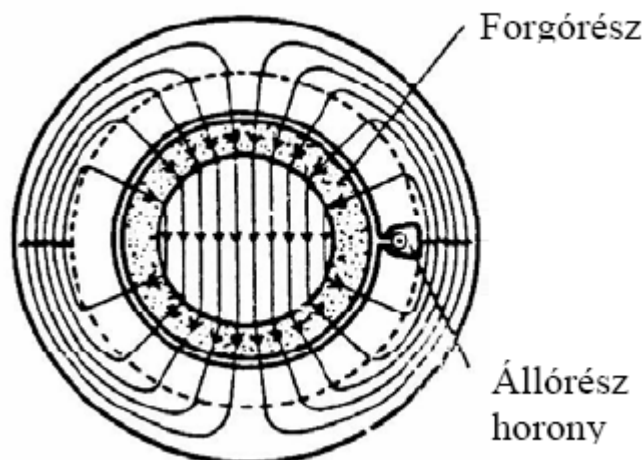


csak reluktancia motorokhoz képest: a jobb  $\cos\phi$ ,  $\eta$ , ugyanolyan teljesítmény esetén kisebb méret. Hátránya, hogy az indításhoz speciális megoldások kellene:

- kalickarendszer a pólusokban
- különleges (kilincskerekes, rugós) indító mechanizmus
- aszinkron-szinkron motor közös házban. Az aszinkron csak indításkor üzemel

Túlterheléskor a motor kieshet a szinkronizmusból és leállhat.

A hiszterézis motorok 50-100 W teljesítményekre készülnek. A szerkezeti kialakítását az ábra mutatja.



A forgórészen levő mágnesezhető, (kemény mágneses anyagból készült) acélgyűrű, egy nem mágnesezhető vas, vagy műanyag belső hengeren helyezkedik el. Aszinkron üzemben, pl. indításkor kétféle nyomaték lép fel:

- a forgórész vastestében, (az acélgyűrűben) idukáló áramok miatt  $M_{asz}$  aszinkronos nyomaték
- az acélgyűrű átmágneseződése miatt hiszterézis veszteség ill.  $M_h$  hiszterézis nyomaték.

Szinkron szögsebességen átmágnesezés nincs, a mágnesezettség „befagy, megáll”, a forgórész, mint állandó mágneses forgórész üzemel tovább a terhelésnek megfelelő  $\beta$  szöggel. A hiszterézis motorok előnye a nagy indítónyomaték, illetve a rendkívüli nyugodt járás a forgórész tökéletes (horonymentes) körszimmetriája miatt. Hátránya, hogy viszonylag drága. Alkalmazások: stúdió, lemezjátszó, magnó hajtások, filmtechnikai hajtások, regisztrálók, számítógép perifériák hajtásai, hiszterézis fékek, (ekkor az állórész egyenárammal van gerjesztve).

### 2.5.3 Önellenőrzési feladatlap az 5. számú rész célkitűzéshez

1. Melyik a szinkron motor armatúrája?
  - a. A forgórész.
  - b. Az állórész.
  - c. Reluktancia motornál a forgórész, egyébként az állórész.
  
2. Szinkron motornál a forgórész szögsebessége...
  - a. valamivel kisebb, mint az állórész mágneses mezejének szögsebessége.
  - b. az állórész által gerjesztett forgó mágneses tér szögsebességével azonos.
  - c. bármekkora lehet.
  
3. A szinkron motor forgórésze...
  - a. általában állandómágnes, vagy egyenárammal gerjesztett elektromágnes.
  - b. kalickás szerkezetű.
  - c. szinuszos feszültséggel táplált háromfázisú tekercsrendszer.
  
4. Hogyan indítható a szinkron motor?
  - a. Segéd fázis alkalmazásával.
  - b. Indító kondenzátorral.
  - c. Indító segédgéppel.
  
5. A reluktancia motor...
  - a. forgórésze állandómágnes.
  - b. indítása aszinkron motorként történik.
  - c. 5kVA teljesítmény felett használatos.
  
6. A reluktancia motor az állandómágnesű szinkron motorhoz képest...
  - a. jobb hatásfokkal rendelkezik.
  - b. nehezebben indítható.
  - c. könnyebben indítható.
  
7. Hol találkozhatunk hiszterézis motorokkal?
  - a. Például lemezjátszó, magnó hajtásokban.
  - b. Villamos járművekben, pl.: trolis.
  - c. Háztartási gépekben, pl.: fűrógép.

8. Az állandómágnesű szinkron motor melyik eddig tanult motortípusra hasonlít az alábbiak közül?
- soros gerjesztésű egyenáramú motorok
  - elektronikus kommutációjú motorok
  - külső gerjesztésű egyenáramú motorok
9. Körülbelül mekkora egy 3000 1/perc névleges fordulatszámú, háromfázisú, egyenárammal gerjesztett forgórészű szinkron motor indítónyomatéka?
- viszonylag kicsi
  - viszonylag nagy
  - 0
10. Mekkora egy háromfázisú, 50Hz – es feszültséggel táplált, 4 pólusú szinkron motor fordulatszáma?
- 6000 1/min
  - 3000 1/min
  - 1500 1/min

#### 2.5.4 Megoldókulcs az 5. számú rész célkitűzéshez tartozó önellenőrzési feladatlaphoz

1. **b** ; 2. **b** ; 3. **a** ; 4. **c** ; 5. **b** ; 6. **c** ; 7. **a** ; 8. **b** ; 9. **c** ; 10. **c**

Teljesítményszint:

Az önellenőrzési feladatnál az Ön által adott válaszoknak a fenti helyes válaszokkal kell egyeznie. Ha valamelyik pontnál hibát követett el, vagy kérdése van, *akkor ismételten nézze át az ajánlott olvasmányokat/ ismételje meg a tanulási tevékenység szükséges részeit/ kérjen segítséget az oktatótól stb.*

#### 2.6.1 Tanulási gyakorlat a 6. számú rész célkitűzéshez

Rész célkitűzés: Aszinkron motorok működése

Óraszám: 5

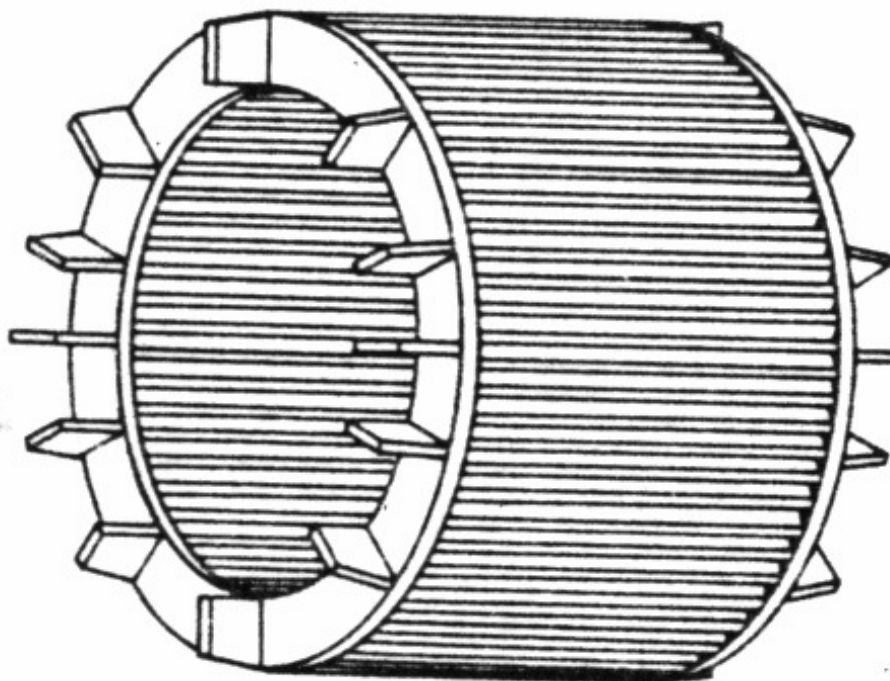
Tanulási tevékenységek	Tanulási tevékenységet segítő tanácsok
<i>Hallgassa meg az oktatója előadását, készítse saját jegyzetét! Oldja meg az oktató által adott feladatokat!</i>	<i>Oldja meg az önellenőrzési feladatokat, és beszélje meg a hibáit az oktatójával!</i>

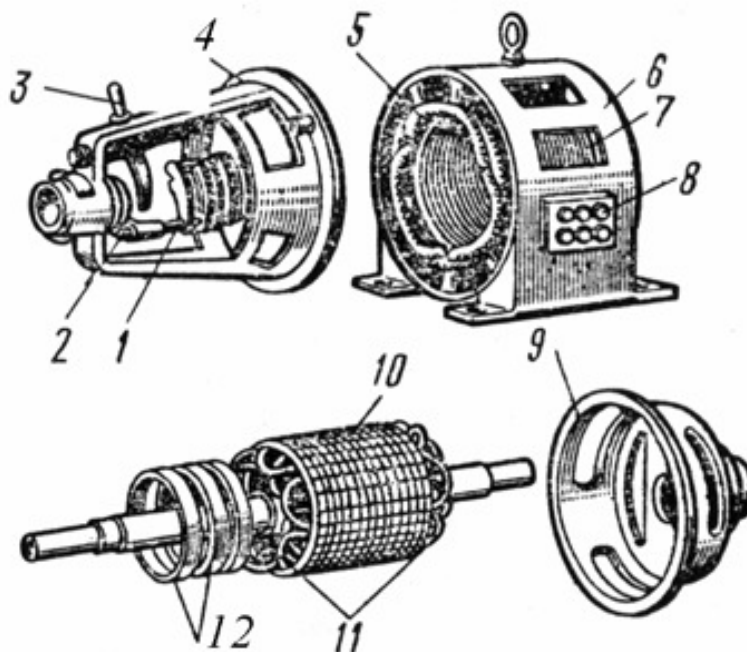
## 2.6.2 Információs lap a 6. számú részcelkitűzéshez

Az aszinkron (indukciós) motorok a leggyakrabban alkalmazott váltakozó áramú motorok.

### Felépítése:

Az aszinkron motor állórésze megegyezik a szinkron motor állórészével, benne olyan – általában szimmetrikus háromfázisú – tekercsrendszer található, amellyel megfelelő táplálás esetén körforgó mágneses mezőt tudunk gerjeszteni. Az aszinkron gép forgórész tekercselése kalickás, vagy csúszógyűrűkön keresztül kivezetett. A kalickás tekercselés általában a (hornyokban) szigeteletlen vezetőrudakból és a rudakat a forgórész vastest két homloklapján összekötő rövidrezáró gyűrűkből áll. A csúszógyűrűs vagy tekercselt forgórész ugyanolyan póluspárszámú tekercselést tartalmaz, mint az állórész. A forgórész tekercselés áramának kivezetésére szolgál a gép tengelyére szigetelten felerősített 3 csúszó kontaktus, 3 csúszógyűrű. Innen az elnevezés. Egy egykalickás forgórészt, ill. egy csúszógyűrűs motor szerkezeti részeit (kefe szerkezeteit, pajzsokat, a tekercselt állórészt) látjuk az ábrán.





1 kefék; 2 kefetartó; 3 kefe emelő kar; 4 ,9 pajzsok; 5 állórész tekercselés; 6 koszorú; 7 állórész lemezek; 8 csatlakozó kapcsok

A forgó mező  $\omega_0$  szögsebessége, ill. az  $n_0$  percenkénti fordulatszáma, amit szinkron szögsebességnek, ill. fordulatszámnak is nevezünk:

$$\omega_0 = 2\pi f_1 / p ; n_0 = 60f_1 / p$$

ahol  $f_1$  az állórész áram frekvenciája,  $p$  a póluspárok száma.

Működés közben a forgó mező - a külső mágnes- erővonalai metszik az állórész és a forgórész tekercseit, és bennük feszültséget indukálnak. Az állórész tekercseiben indukált feszültség és a tekercseken létrejövő feszültségesések összege a hálózat feszültségével tart egyensúlyt. Az  $\omega \neq \omega_0$  szögsebességű forgórész tekercseiben indukált feszültség a forgórész tekercselés zárt áramköreiben áramot indít. Ez hozza létre a belső mágneses teret. A forgórész áram és a forgó mező egymásra hatásából erő ill. nyomaték keletkezik, amely a Lenz törvény értelmében a forgó mező és a forgórész szögsebesség különbségét az  $(\omega_0 - \omega)$ -t csökkenteni igyekszik. Ha a forgórész szögsebessége kisebb a szinkron szögsebességnél - a nyomaték iránya megegyezik a forgásiránnyal, - amely a forgórészt és a vele tengelykapcsolatban lévő gépet hajtja. Ha a forgórész szögsebessége nagyobb a szinkron szögsebességnél - a nyomaték iránya ellentétes a forgásiránnyal -, amely a forgórészt és az azt hajtó gépet fékezi. A szögsebesség nem érheti el a szinkron szögsebességet, mert akkor teljesen megszűnne az indukált áram és a forgatónyomaték. Vagyis az  $\omega = \omega_0$  kivételével minden nem szinkron szögsebességnél van nyomaték. Innen az aszinkron elnevezés. Mivel a forgórész áramok indukció révén keletkeznek, e gépeket indukciósoknak is nevezik.



A külső és belső mágneses tér minden  $\omega$ -nál együtt marad, relatív helyzetük változatlan marad, mert a forgórész  $\omega$  szögsebességénél a forgórészben indukált áramok eloszlása egy olyan forgó mezőt (belső mágneses teret) hoz létre, ami pontosan  $(\omega_0 - \omega)$ -val forog a forgórész vastestéhez képest. Azaz eredőben együtt forog a külső mágneses térrel.

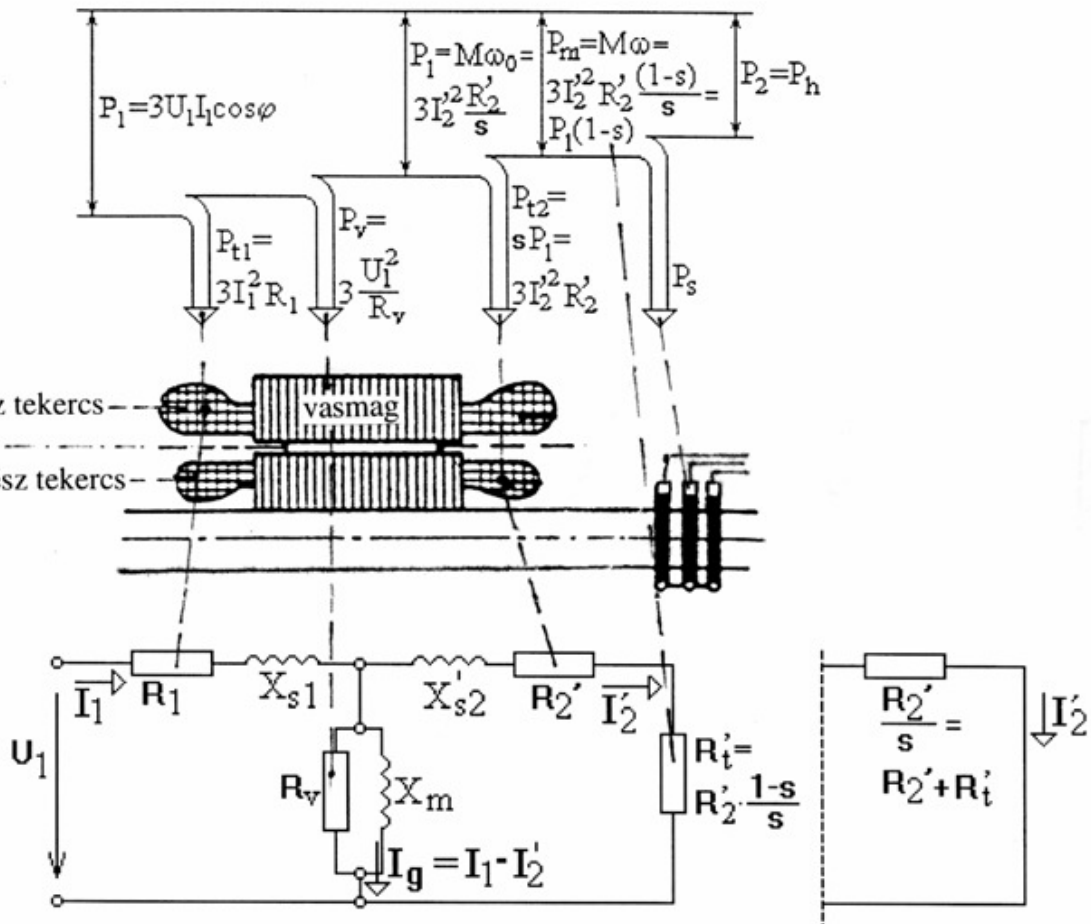
Az üzem fontos jellemzőjeként definiálták a forgó mező és a forgórész szögsebesség különbségének viszonyát a mező szögsebességéhez, ez a szlip (csuszamlás).

$$s = (\omega_0 - \omega) / \omega_0$$

A szlip névleges értéke általában 1 – 6 %.

Amíg a terhelőnyomaték 0-ról  $M_n$  - ig nő, a szögsebesség a szinkronhoz képest  $s_n$  %-kal csökken. Az aszinkron motor tehát a jelleggörbe üzemi szakaszán (stabil munkapontok szakasza) szögsebesség tartó (fordulatszám-tartó) gép.

A következő ábrán látható egy háromfázisú aszinkron gép teljesítménymérlege, helyettesítő kapcsolása, és, hogy melyik veszteség, melyik elemmel köthető össze a helyettesítő kapcsolatban.



A helyettesítő kapcsolatban:

$R_1$  - az állórész tekercselés egy fázisának ellenállása,

$X_{s1} = \omega_0 * L_{s1}$  - az állórész tekercselés egy fázisának szórási reaktanciája,



$L_{s1}$  - az állórész tekercselés egy fázisának szórási induktivitása,

$X_m = \omega_0 * L_m$  - a mágnesező reaktancia,

$L_m$  - a mágnesező induktivitás, m

$X_{s2}' = \omega_0 * L_{s2}'$  - a forgórész egy fázisának szórási reaktanciája az állórész tekercselés menetszámára átszámítva

$L_{s2}'$  - a forgórész egy fázisának szórási induktivitása az állórész tekercselés menetszámára redukálva,

$R_2'$  - a forgórész egy fázisának ellenállása az állórész tekercselés menetszámára átszámítva,

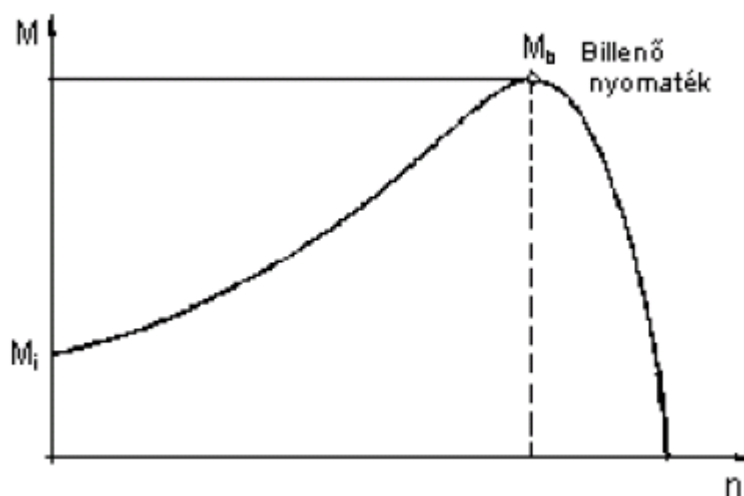
$\omega_0$  - az állórész áram körfrekvenciája is, mert feltételezzük, hogy  $p=1$ ,

$R_v$  - a vasvesztési ellenállás,

$R_t' = R_2' * (1-s) / s$  - a terhelésnek megfelelő ellenállás.

A motorüzemre vonatkozó teljesítményszalag az ábrán mutatja, hogy a gép állórészébe bevezetett  $P_1$  villamos teljesítmény fedezi az állórész  $P_{t1}$  tekercs- és  $P_v$  vasvesztését. A megmaradt teljesítmény a légréven keresztül a forgó mező közvetítésével jut a forgórészbe, ezért légrésteljesítménynek nevezzük. Ez valójában a forgórész összes teljesítménye. A  $P_1$  légrésteljesítményből vonódik le a  $P_{t2}$  forgórész tekercsvesztés, a többi  $P_m$  mechanikai teljesítménnyé alakul át. A gép mechanikai vesztesége a  $P_s$  súrlódási vesztség, melynek levonása után a tengelyen leadott  $P_2$ , vagy  $P_h$  hasznos (névleges) teljesítményt kapjuk. Az aszinkron gép forgórészében keletkező vasvesztés a kicsiny névleges  $f_2$  miatt (2-3 Hz) elhanyagoljuk. A vasvesztés szinkronjárási mérésből, a súrlódási veszteséget ezután üresjárási mérésből határozhatjuk meg. Ezeket azután állandónak tekintjük.

Az aszinkron motor fordulatszám – nyomaték jelleggörbéje:



A motor maximális nyomatékát  $M_b$  – billenő nyomatéknak nevezzük. A nagy  $I_i$  indítási áram és a kis  $M_i$  indító nyomaték kedvezőtlen tulajdonságai az

indukciós motorok, amin kétkalickás, vagy mélyhornyú forgórész alkalmazásával lehet javítani.

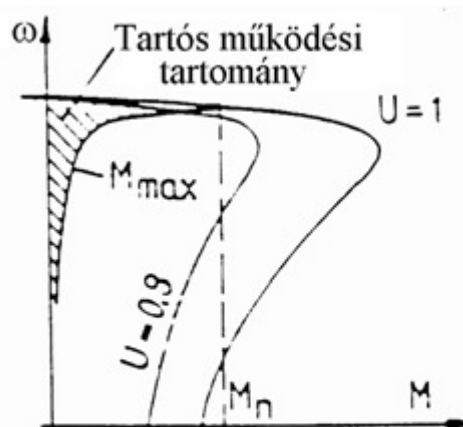
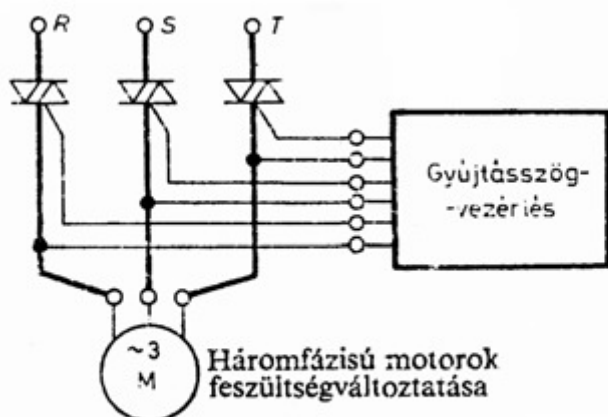
### A fordulatszám változtatása

Háromfázisú csúszógyűrűs motoroknál lehetőség van a csúszógyűrűkhöz csatlakozó keféken keresztül beavatkozni a forgórész áramkörébe. Ez legtöbbször ellenállás beiktatását jelenti. A beiktatott ellenállás rontja a hatásfokot.

Kalickás forgórészű motoroknál a fordulatszám változtatására háromféle lehetőség van:

- az  $U_1$  fázisfeszültség csökkentése
- a  $p$  póluspárszám változtatása
- az  $f_1$  frekvencia változtatása

Az  $U_1$  fázisfeszültség csökkentésére a gyakorlatban csak az ábrán látható kapcsolás terjedt el. A motor minden fázisa elé ellenpárhuzamosan kapcsolt tirisztor párok, (az ábrán triakok) gyűjtésével a motor kapocsfeszültségét zérustól a hálózati feszültségig lehet változtatni. A szögsebesség csak növelt forgórészkerületű ellenállás esetén változik jelentősebben, de akkor a hatásfok romlik. Szellőzők hajtására, ill. „lágý”, csökkentett nyomatékú indításra használják.



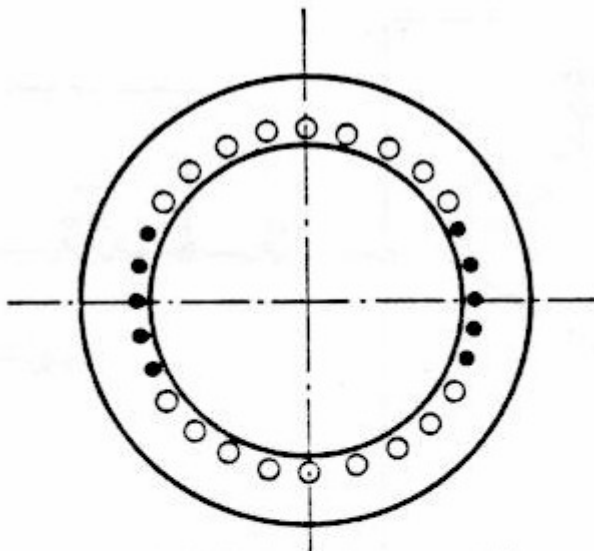
A póluspárszám változtatásával, mivel a  $p$  csak természetes egész szám lehet, csak néhány diszkrét fordulatszám állítható elő. A Dahlander-tekerceselésű motoroknál ugyanannak az állórész tekerceselésnek a pólusszámát átkapcsolással 1:2 arányban lehet változtatni. Nagyobb arányú pólusszám változtatást használnak lift motoroknál (gyors ill. lassú menetre), vagy az automata mosógépeknél (mosás ill. centrifugálásra), de ekkor két különböző póluspárszámú tekerceselés van az állórészen. A forgórész mindig kalickás.



Az  $f_1$  tápláló frekvencia folyamatos változtatása veszteségmentes fordulatszám változtatást tesz lehetővé, és 50 Hz-nél nagyobb frekvenciáknál 3000 1/min-nál nagyobb fordulatszámokat is el lehet érni. Ma ez az egyik leggyakoribb fordulatszám változtatási módja a háromfázisú indukciós motoroknak.

Egyfázisú, segédfázisos aszinkron motor:

Két merőleges tengelyű állórész tekercs esetén az egyik tekercset főfázisnak nevezzük. Ez közvetlenül rákapcsolódik egy egyfázisú hálózatra. A másik tekercset segédfázisnak hívjuk. Ez egy vagy két kondenzátor közbeiktatásával kapcsolódik ugyanarra az egyfázisú hálózatra. Az egyfázisú táplálás miatt ezeket a motorokat egyfázisú motoroknak is hívjuk.

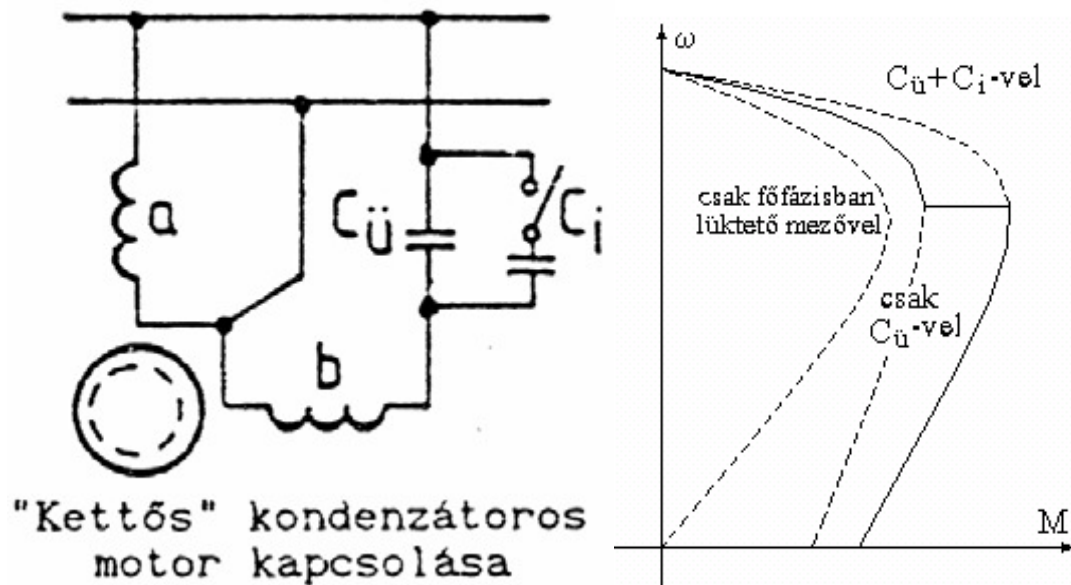


○ Főfázis tekercselés  
● Segédfázis tekercselés

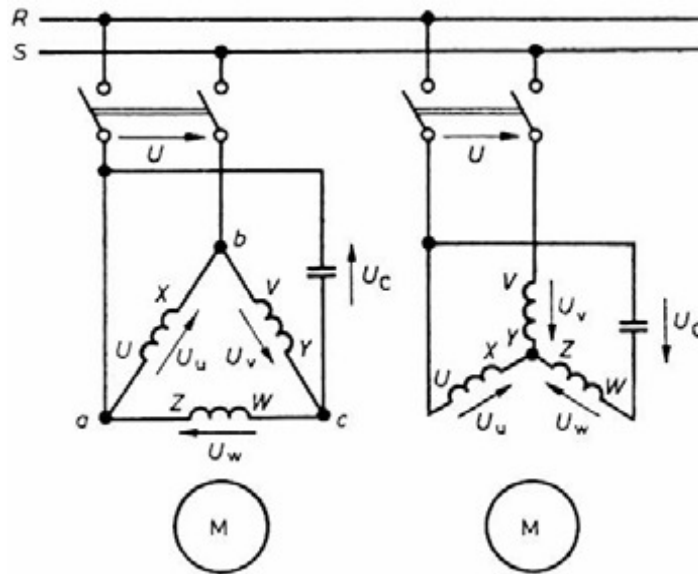
Az egyfázisú aszinkron motor főfázis-tekercselése az állórész kétharmadát foglalja el

Az ilyen motoroknál gyakran elliptikus forgó mező keletkezik. A fázisban eltolt áramot a segédfázissal sorba kapcsolt kondenzátor hozza létre. Ez csak egy bizonyos fordulatszámnál (impedanciánál) létesít éppen  $90^\circ$ -os fáziseltolású áramot, ill. körforgó mezőt. Az elliptikusan forgó mező felbontható egy nagyobb amplitúdójú és vele szembeforgó kisebb amplitúdójú körforgó mezőre. A két körforgó mezőhöz tartozó mechanikai jelleggörbék összege adja az eredő

jelleggörbét. Indító és üzemi kondenzátoros motor kapcsolását és jelleggörbét látjuk az alábbi ábrán.



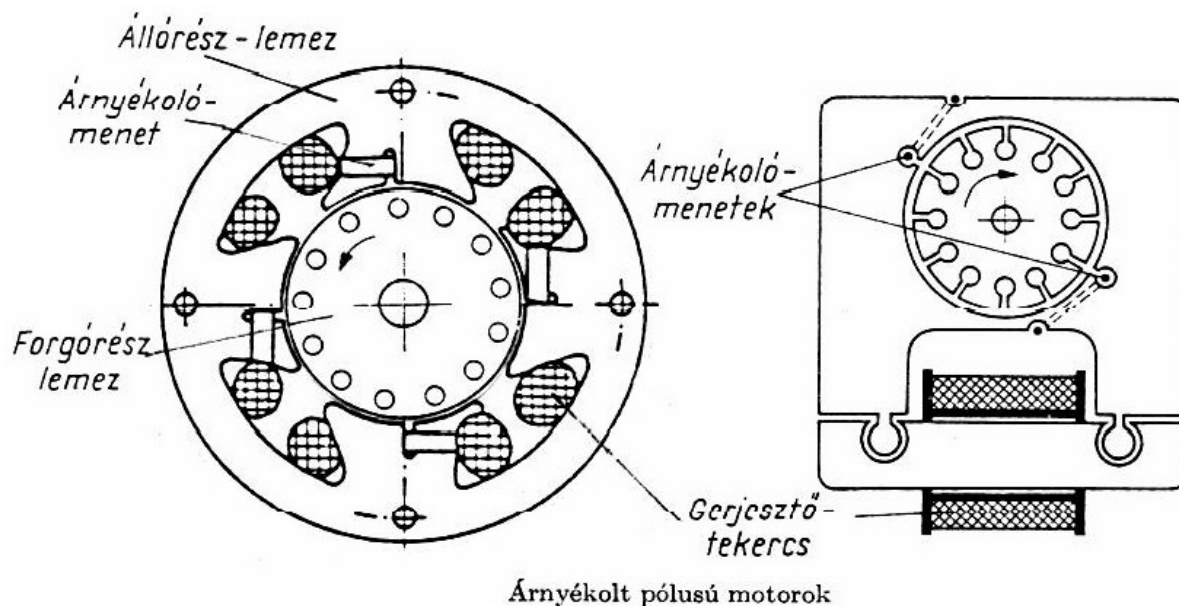
Néha kisteljesítményű háromfázisú motorokat is használnak egyfázisú kondenzátoros motorként. Két ilyen kapcsolást mutat az alábbi ábra.



### Árnyékolt vagy hasított pólusú motorok:

Egészen kis teljesítményekre (max. 50 W) használatosak. Az egyfázisú hálózatra kapcsolt tekercs lüktető fluxusa áthalad a pólusokon. A „másik” tekercs, vagy „árnyékoló menet” tulajdonképpen rézgyűrű, ami a felhasított pólus egy részét öleli körül. A pólusokon áthaladó fluxus egy része az árnyékoló menetekkel kapcsolódik. A gyűrűben indukálódó áramok mágnesere fázisban

eltér az árnyékolatlan részen áthaladó fluxushoz képest. Így egy elliptikus forgómező keletkezik, amelynek hatásaként a kalickás forgórész forgásba jön. A forgásirány nem változtatható meg, mert az egyetlen tekercs kivezetésének felcserélésekor az árnyékoló menet áramának iránya is megváltozik.



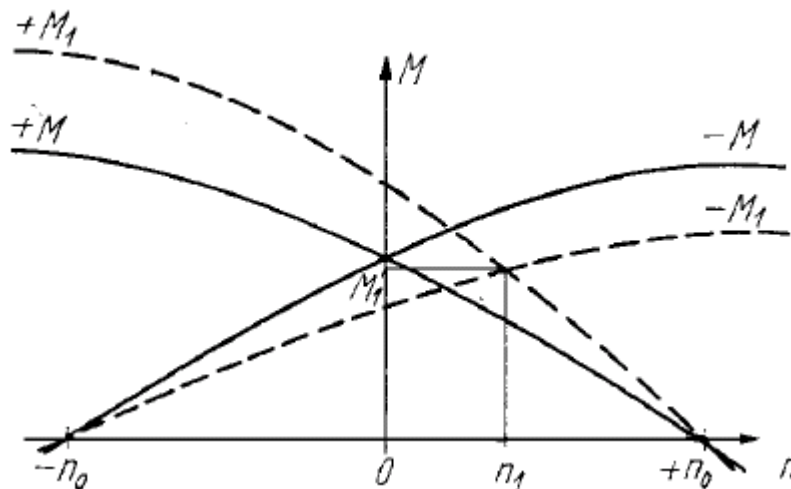
A kondenzátoros és az árnyékolt pólusú motorok fordulatszámát nem változtatják, ezért itt nem beszélhetünk „működési tartományról”, csak egyetlen jelleggörbéről, amely mentén a terhelés szabja meg a fordulatszámot. Ez a jelleggörbe igyekszik alkalmazkodni a hajtott berendezés igényéhez.

### Aszinkron szervomotorok:

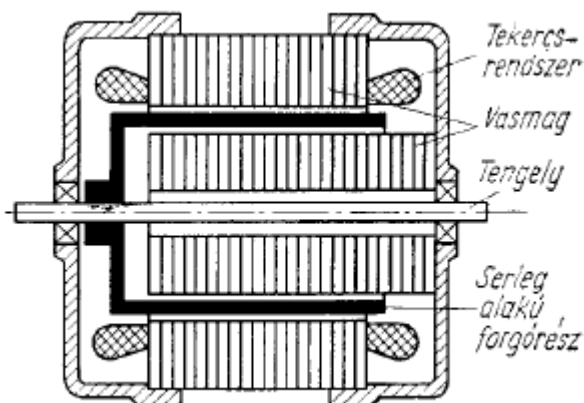
Legjelentősebb képviselői az úgynevezett serleges motorok, de lehetnek kalickás forgórészüek is. Felépítésüket tekintve hasonlóak a segédfázisos motorokhoz, négyfázisú (kétfázisú) aszinkron motorok. Két tekercsrendszerük van, a gerjesztőtekercs és a vezérlőtekercs. Gerjesztése állandó amplitúdójú szinuszos, vezérlése a gerjesztőfeszültséghez képest  $\pm 90^\circ$ -kal eltolt fázisú, változó amplitúdójú feszültséggel lehetséges. A forgórészt olyan nagy ellenállásra készítik, hogy a billenőnyomaték a negatív fordulatszámok tartományába, ( $s > 2$ ) essen. A nagy forgórész-ellenállás miatt a hatásfokuk rossz. A vezérlőfeszültség fázisa a forgásirányt, amplitúdója pedig a fordulatszámot határozza meg. A motortípus nyomaték – fordulatszám jelleggörbéjén a folytonos görbék arra az esetre vonatkoznak, amikor a gerjesztőfeszültség értéke zérus. Ekkor ugyanis a motor két egymással szembe fordító mágneses mezőnek tekinthető, amelynek eredője zérus. A vezérlőfeszültség megjelentével a görbék



eltorzulnak, az ábrán szaggatott vonallal jelölt görbékre, és a motor a jelölt nyomatékkal és fordulattal forgásba jön.



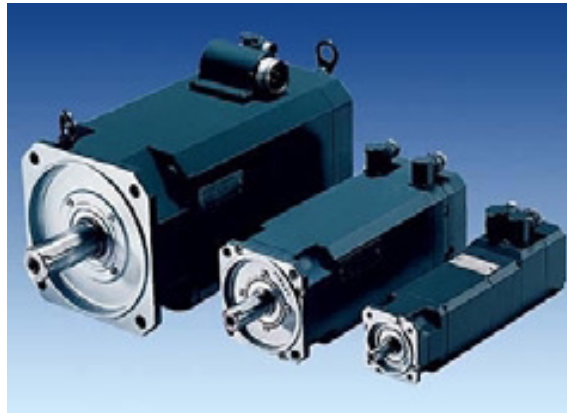
Lényeges tulajdonsága a motornak, hogy álló helyzetben is van nyomatékuk, így külső terhelés hatására fékező hatást gyakorolnak. Ennek a nyomatéknak és a serleges kialakításnak köszönhetően meglehetősen széles körben alkalmazzák szabályozási körökben.



Előnyeik:

- A fordulatszám széles körben változtatható
- Gyors indítás, fékezés

Tipikus AC szervomotorok láthatóak a következő képen:



### 2.6.3 Önellenőrzési feladatlap a 6. számú rész célkitűzéshez

1. Az aszinkron gép fordulatszáma állandósult állapotban
  - a. nagyobb, mint az állórészmező fordulatszáma, mert csak így keletkezik hajtó nyomaték.
  - b. megegyezik az állórészmező fordulatszámaival.
  - c. mindig kisebb, mint az állórészmező fordulatszáma.
  
2. Indításkor a szlip értéke:
  - a. végtelen
  - b. 0
  - c. 1
  
3. Az aszinkron motor forgórészének tekercselése:
  - a. kalickás szerkezetű
  - b. háromfázisú tekercselés, csúszógyűrűkre kivezetve
  - c. mindkettő lehetséges
  
4. A billenőnyomaték az aszinkron motor...
  - a. maximális nyomatéka.
  - b. indításakor keletkező nyomaték.
  - c. maximális fordulatszámánál leadott nyomaték.



5. Hogyan nem változtatható a kalickás aszinkron motor fordulatszáma?
  - a. Az állórész fázisfeszültség változtatásával.
  - b. Ellenállások beiktatásával a forgórész áramkörbe.
  - c. Az állórész feszültség frekvenciájának változtatásával.
  
6. Az egyfázisú aszinkron motor állórészében általában...
  - a. egy tekercs van.
  - b. két tekercs van, egymáshoz képest 120 fokkal elforgatva.
  - c. két tekercs van, egymáshoz képest 90 fokkal elforgatva.
  
7. Az árnyékolt pólusú motoroknál...
  - a. egy mágneses pólus rövidrezárt gyűrűvel van körülveve.
  - b. minden mágneses pólus két részre tagolódik, és ezek közül az egyiket rövidrezárt gyűrű veszi körül.
  - c. minden mágneses pólust rövidrezárt rézgyűrű vesz körül.
  
8. Milyen kialakítású a leggyakrabban alkalmazott aszinkron szervomotor forgórésze?
  - a. serleges (pohárszerű)
  - b. árnyékolt pólusú
  - c. állandó mágnesű
  
9. Mekkora a fordulatszáma annak a háromfázisú, 2pólusú aszinkron motornak, amelyet 50Hz-es háromfázisú feszültséggel táplálunk, és a szlipje 5% ?
  - a. 2950 1/min
  - b. 3000 1/min
  - c. 2850 1/min
  
10. Milyen veszteségek lépnek fel az aszinkron motor állórészében?
  - a. tekercsveszteség és súrlódási veszteség
  - b. tekercsveszteség és vasveszteség
  - c. vasveszteség és súrlódási veszteség

#### **2.6.4 Megoldókulcs a 6. számú rész célkitűzéshez tartozó önellenőrzési feladatlaphoz**

1. c ; 2. c ; 3. c ; 4. a ; 5. b ; 6. c ; 7. b ; 8. a ; 9. c ; 10. b

Teljesítményszint:
--------------------

Az önellenőrzési feladatnál az Ön által adott válaszoknak a fenti helyes válaszokkal kell egyeznie. Ha valamelyik pontnál hibát követett el, vagy kérdése van, *akkor ismételten nézze át az ajánlott olvasmányokat/ ismételje meg a tanulási tevékenység szükséges részeit/ kérjen segítséget az oktatótól stb.*

### 2.7.1 Tanulási gyakorlat a 7. számú rész célkitűzéshez

Rész célkitűzés: Léptetőmotorok felépítése, működése

Óraszám: 4

Tanulási tevékenységek	Tanulási tevékenységet segítő tanácsok
<i>Hallgassa meg az oktatója előadását, készítsen saját jegyzetet! Oldja meg az oktató által adott feladatokat!</i>	<i>Oldja meg az önellenőrzési feladatokat, és beszélje meg a hibáit az oktatójával!</i>

### 2.7.2 Információs lap a 7. számú rész célkitűzéshez

A léptetőmotorok főbb ismérvei:

- Szakaszosan érkező jelekkel táplálva meghatározott nagyságú szögelfordulásokat – amelyek nem folytonosak – tesznek.
- Jellegzetesen az összes tekercselés a motor állórészén helyezkedik el és a rotor, konstrukciótól függően, állandó mágnes, vagy valamilyen mágnesesen lágy anyag.
- A mozgáshoz szükséges összes kommutációt a motor vezérlésének kell megoldania, ami nem szerves része a motornak. A motorokat és a vezérlő elektronikákat úgy tervezik, hogy képesek legyenek mindkét irányba forogni, illetve a motort képesek legyenek egy fix helyzetben tartani.
- A modern léptetőmotorok legtöbbször képesek audio-frekvenciás tartományban lépni, ami meglehetősen gyors mozgást tesz lehetővé.
- A léptetőmotoros hajtások alkalmasak a nyílt körű szabályozásokra, de sokszor, a sebesség növelése érdekében visszacsatolásos szabályozást alkalmaznak. Ezek a visszacsatolásos szabályozások általában mikroprocesszorral működnek. A mikroprocesszoros visszacsatolású léptetőmotorokat a szakirodalom gyakran elektronikus kommutátorú gépeknek tekinti.



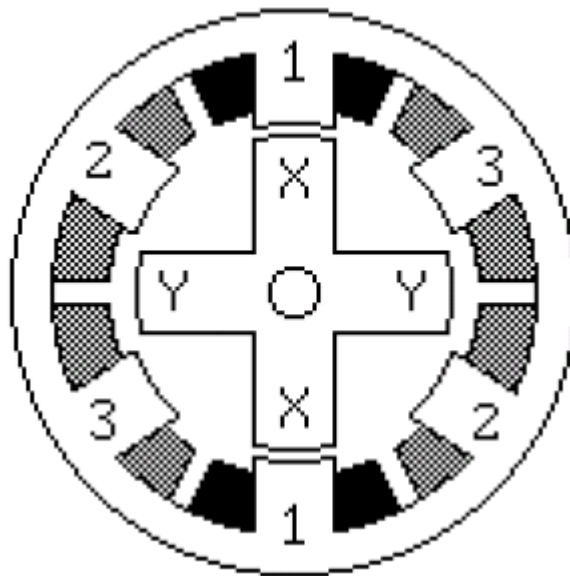
### A léptetőmotorok típusai:

A forgó mozgást végző léptetőmotoroknak három fő típusa ismert:

- a változó reluktancia,
- az állandómágneses és
- a hibrid motor.

Léteznek más, nem elektrodinamikus elven működő motorok is (mint például a kilincskerekes léptetőmotor), de ezek mára már elavultnak tekinthetők..

### Változó reluktancia motorok:



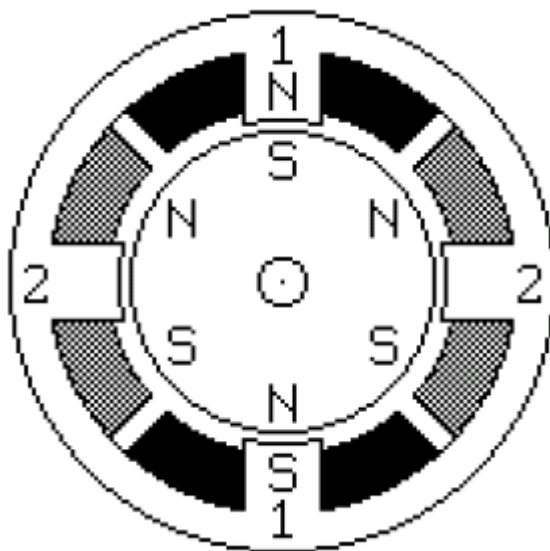
Forgórésze fogazott, mágnesesen lágy anyag. Az állórész és a forgórész fogszáma különböző. Az állórész gerjesztésekor a mágneses erővonalak energiaminimumra törekszenek, amit a mágneses ellenállás minimumánál érnek el, tehát a forgórész fogát a legközelebbi helyzetbe húzza. A minimumra való törekvéskor fellépő nyomatékot nevezik reluktancia-nyomatéknak, innen ered a típus elnevezése.

Mivel a rotor nem állandó mágnes, a motornak nincs tartónyomatéka a tekercsek gerjesztetlen állapotában. A változó reluktancia motorok nyomaték, tehetetlenségi nyomaték aránya jó, viszont a méret és a nyomaték aránya rossz, ezért ritkán alkalmazzák ipari környezetben.

A fogak számának növelése érdekében a forgórészt több fogazott elemből építik fel, amelyek egymáshoz képest el vannak forgatva, illetve az állórészen többfázisú tekercselést hoznak létre.



Állandómágnesees léptetőmotorok:

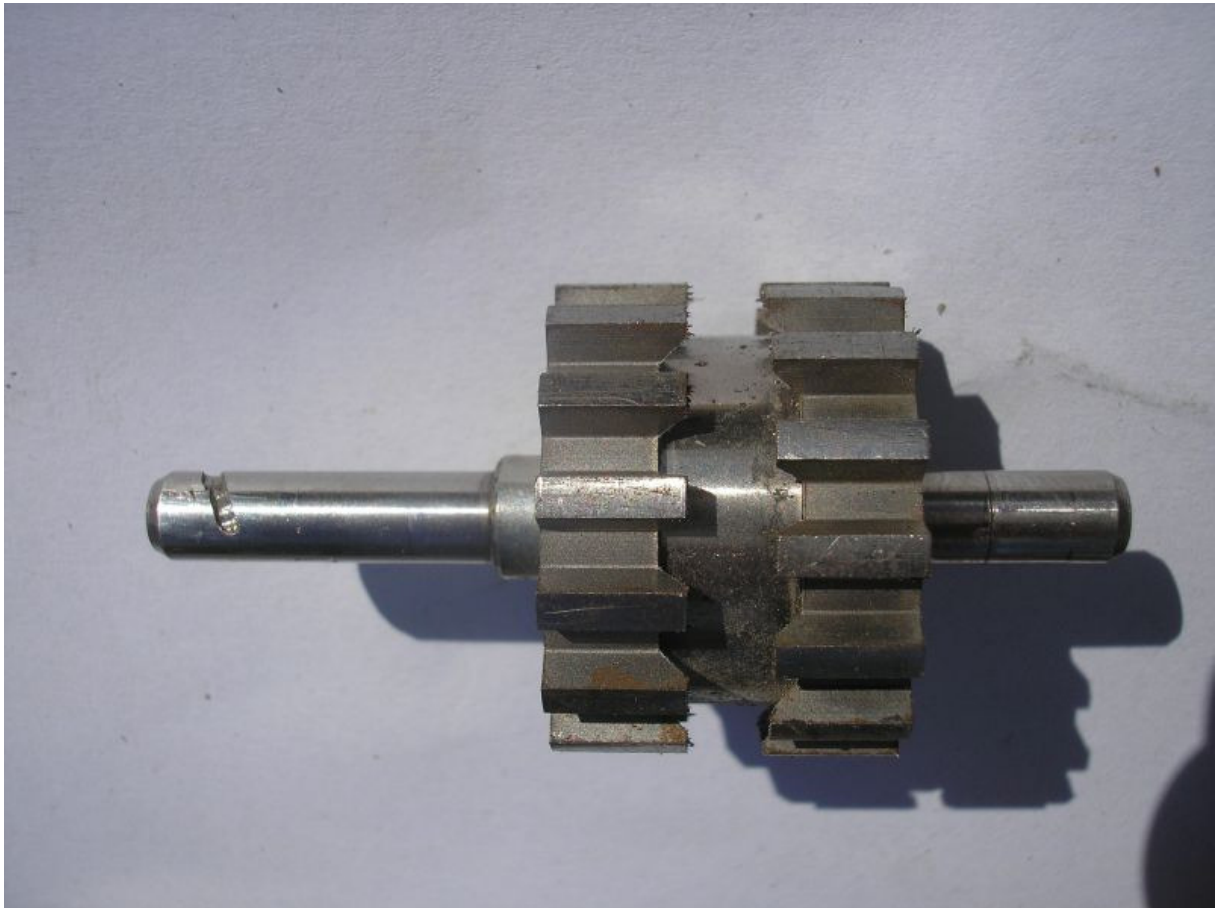
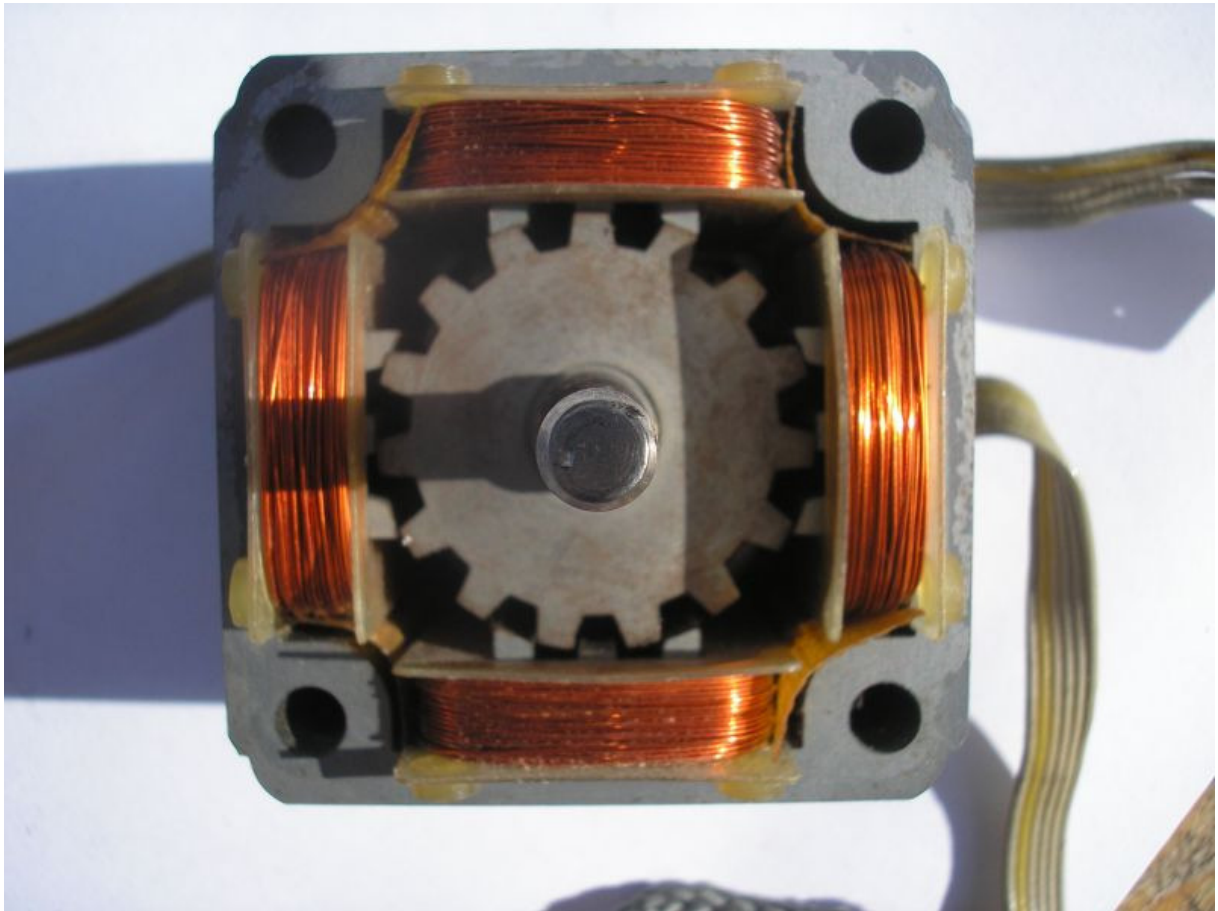


Forgórésze radiálisan mágnesezett permanens mágneseből készül, állórésze pedig hasonló a változó reluktancia motoréhoz. Az állandómágnese miatt a tekercsek gerjesztetlen állapotában is van tartó nyomaték.

A tekercsek gerjesztésekor a kialakult mágnesező energiáminimumra törekszik, amit a legrövidebb mágnesees erővonalakkal ér el, ezért a tekercs a polaritásával ellentétes fogat vonzani fogja, létrehozva így a rotor elfordulását.

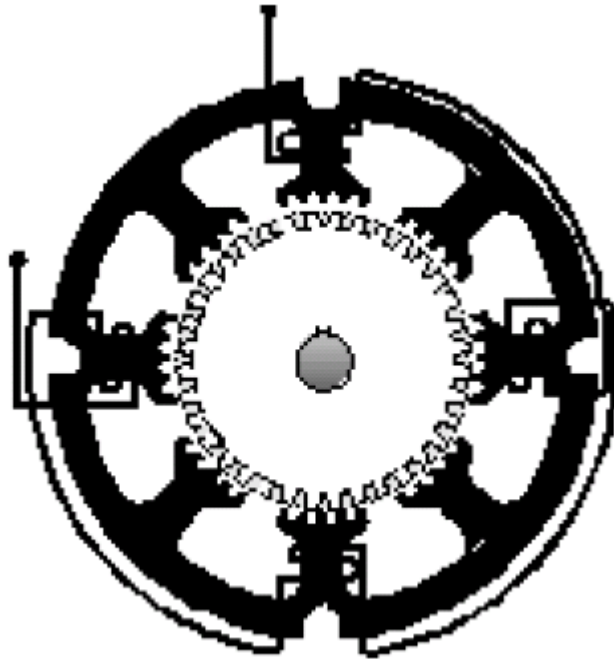
Az állandómágnesees léptetőmotorok előnye a változó reluktancia motorokhoz képest a nagyobb statikus nyomaték, hátránya viszont az alacsonyabb határfrekvencia (ennek oka az állandómágnese fluxusának csillapításában rejlik). További hátrány lehet, hogy a villamos gerjesztés az állandómágnese lemágneseződését okozza, így a lépések alatt a mágneseek munkapontja jelentősen változik.

Az alábbi képen látható egy 4 tekercses állandómágnesees forgórésű léptetőmotor. A második képen látható a kiemelt rotor, a két ellentétes polaritású fogazott résszel. Valójában ezt (általában) úgy készítik, hogy a tengelyre rápréselik a két "fogaskereket", közöttük az állandómágnesees. A mágnese polarizációja miatt az egyik fogazott rész É-i pólust kap, a másik D-it.





Hibrid léptetőmotorok:



A hibrid léptetőmotorok a legelterjedtebb típusú léptetőmotorok. Elterjedésüket kedvező paramétereik indokolják. A hibrid motorok ötvözik a változó reluktancia és az állandómágneses motorok előnyeit.

Az állórész is és a forgórész is fogazott (az állórész fogainak száma meg is egyezhet, de különbözhet is a forgórész fogainak számával), mint a változó reluktancia motornál, azzal a különbséggel, hogy a forgórész állandómágnesset tartalmaz.

Egyesíteni tudja a változó reluktancia motorok nagy működési sebességét és kis lépésszögét az állandómágneses motorok nagyobb nyomatékával.

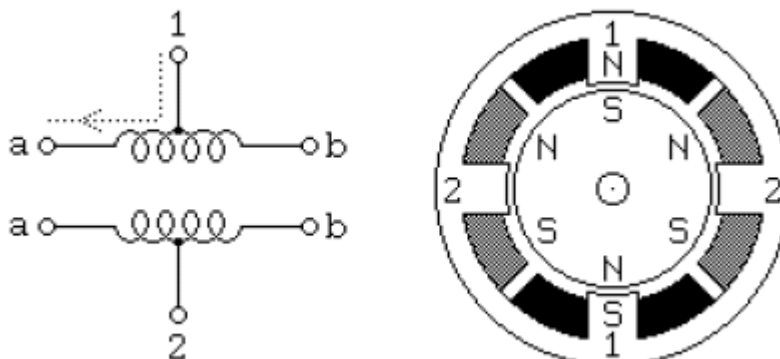
A léptetőmotorok vezérlése:

Vezérlés szempontjából a léptetőmotorokat két csoportra osztjuk:

- unipoláris és
- bipoláris tekercselésűre



Unipoláris tekercselésű léptetőmotorok:



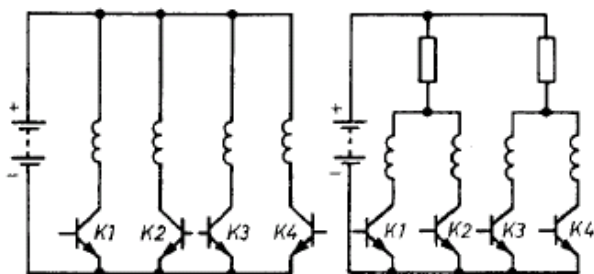
Mindkét tekercs középleágazással vannak huzalozva. A tekercsek középleágazásai jellemzően a pozitív tápfeszültségre vannak kötve, és a tekercsek kivezetései vannak felváltva földre kapcsolva.

A motorok állórészén lévő tekercsek megosztottak az egymással szemben álló pólusok között (jelen esetben az 1-es tekercs meg van osztva az alsó és a felső, a 2-es tekercs pedig a jobb és a bal pólus között).

Az unipoláris vezérlés előnye, hogy a vezérlő áramkörnek összesen két tranzisztort kell tartalmaznia fázisonként.

Hátránya viszont, hogy a beépített rézmennyiségnek csak a fele vesz részt a mágneses tér létrehozásában, ezért a teljesítménye kissé csökken.

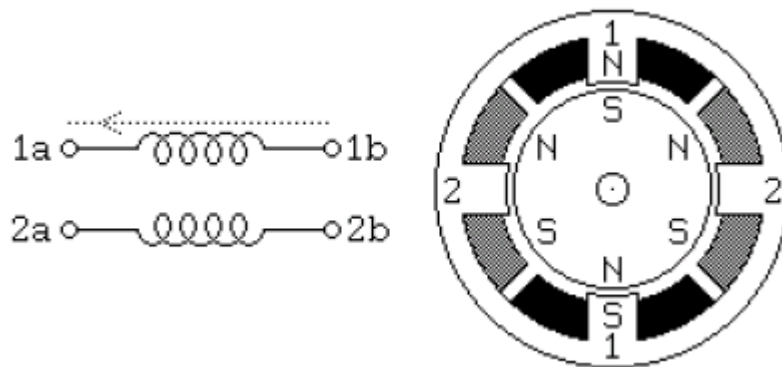
A léptetés sebessége növelhető a  $T=L/R$  időállandó csökkentésével.



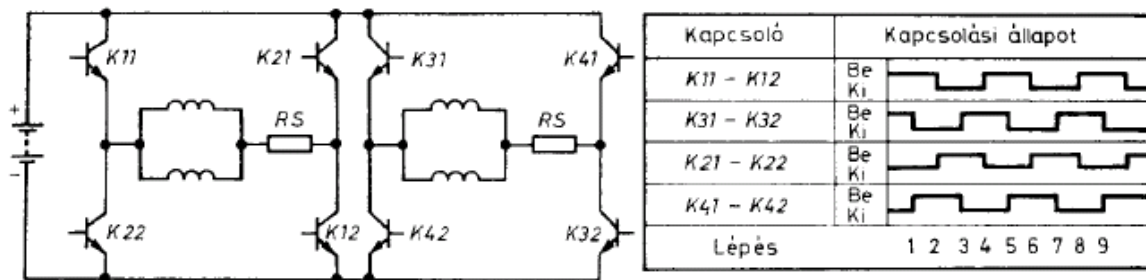
Kapcsoló	Kapcsolási állapot	
K1	Be	Ki
K3	Be	Ki
K2	Be	Ki
K4	Be	Ki
Lépés	1 2 3 4 5 6 7 8 9	



Bipoláris tekercselésű léptetőmotorok:



Tekercselésük egyszerűbb, minden motorfázis csak egy tekercselést tartalmaz, nem található rajtuk középleágazás. Ezzel a motor egyszerűbbé válik, viszont a motor vezérlő áramköre lesz némileg bonyolultabb, mivel rá hárul a mágneses pólusok fordításának feladata. A bipoláris vezérlés létrehozásához motorfázisonként négy tranzisztorra van szükség, viszont a teljes beépített rézmennyiség részt vesz a mágneses tér felépítésében, ezért hatásfokuk nagyobb az unipoláris motorokénál.



A léptetőmotorokat általában nyolc, vagy hat kivezetéssel lehet beszerezni. Ennek oka az, hogy a gyártás során nem tesznek különbséget az unipoláris és bipoláris motorok között, a vezérlési módok között a felhasználó tud választani.

A léptetőmotorok vezérlésénél négyféle üzemmódot különböztetünk meg:

- Hullámhajtás
- Egészlépéses üzemmód
- Féllépéses üzemmód
- Mikrolépéses üzemmód

Hullámhajtás:

- Egyszerre csak egy tekercs gerjesztett
- Ha a két tekercset A – val és B – vel jelöljük, a vezérlési szekvencia:  
A -> B -> (-A) -> (-B)





- Hátránya a rossz tekercskihasználás (unipoláris motor esetében 25%, bipoláris motor esetében 50%), ezért kicsi a leadott teljesítmény

### Egészlépéses üzemmód:

- Egyszerre két tekercs gerjesztett
- A vezérlési szekvencia:  $AB \rightarrow (-A)B \rightarrow (-A)(-B) \rightarrow A(-B)$
- Az egészlépéses üzemmód ugyanazt a szögelfordulást hozza létre, mint a hullámhajtás, de közel kétszer akkora teljesítménnyel.

### Féllépéses üzemmód:

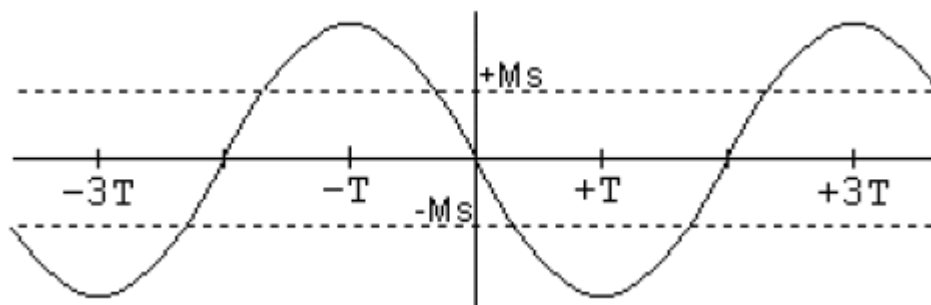
- az egészlépéses üzemmód és a hullámhajtás kombinációja. Az elérhető lépésszög a fenti két hajtással elérhetőnek a fele.
- A vezérlési szekvencia:  
 $AB \rightarrow B \rightarrow (-A)B \rightarrow (-A) \rightarrow (-A)(-B) \rightarrow (-B) \rightarrow A(-B) \rightarrow A$
- A féllépéses üzemmód alkalmazásával a motor dinamikai tulajdonságai is javulnak.

### Mikrolépéses üzemmód:

- mikrolépéses üzemmódban a lépéseket még jobban aláosztjuk.
- Ez a vezérlő áram erősségének változtatásával érhető el.

### Léptetőmotor statikus jellemzői:

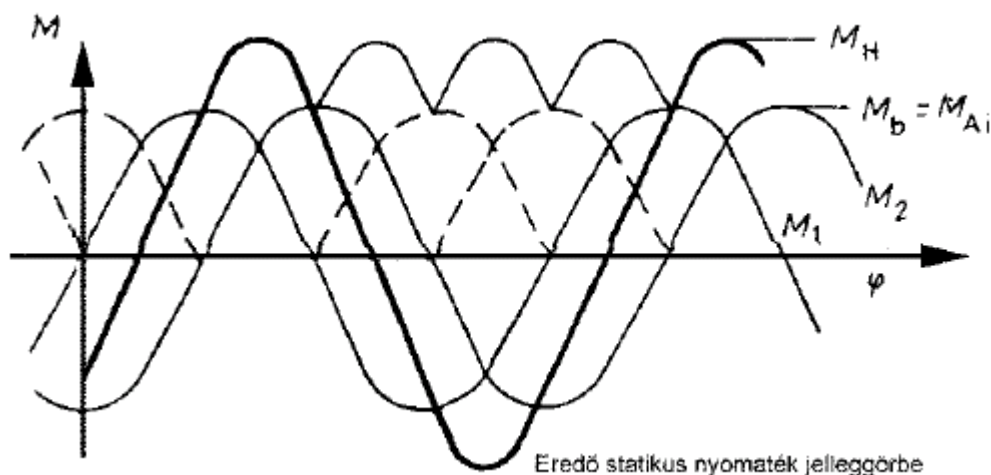
A léptetőmotorok egyik leglényegesebb jellemzője a statikus jelleggörbéje. Ez a jelleggörbe általában szinuszos jellegű, de főleg a változó reluktancia motoroknál ettől meglehetősen eltérhet (nem ritka a fűrészfog jelleg sem). A görbe alakja függ az állórészen és a forgórészen kialakított pólusok geometriájától.



A statikus jelleggörbéből meg lehet határozni a súrlódás hatását a beállási pontosságra. Ha két tekercs egyszerre van gerjesztve, akkor a nyomaték - lépésszög görbe az egyes tekercsek hatására kialakult jelleggörbéknek az

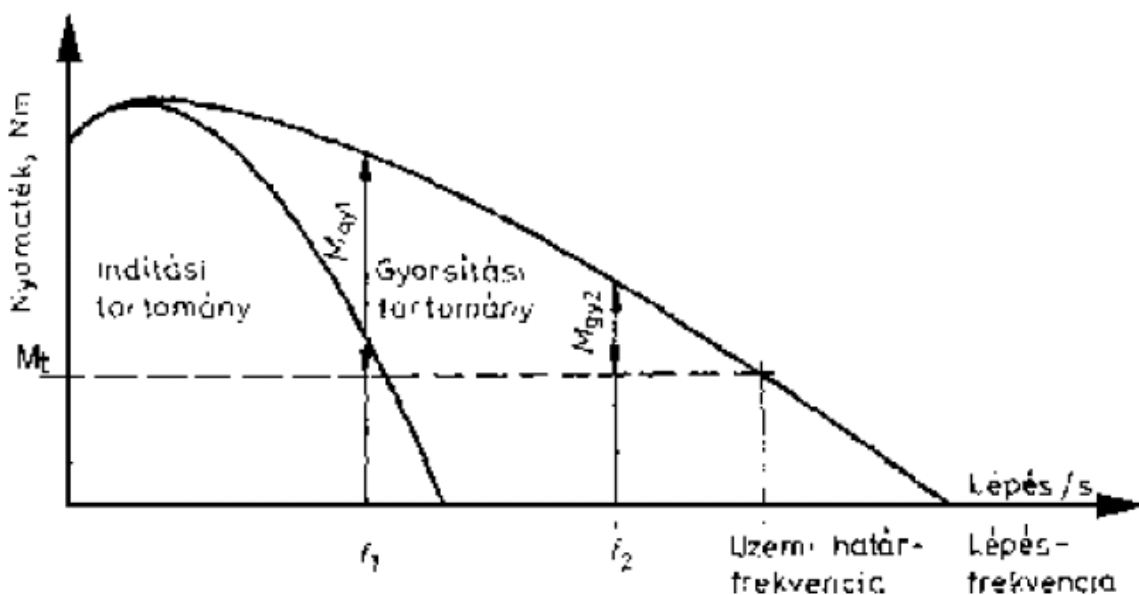


összege. Ennek következménye, permanens mágneses motor esetében, hogy a jelleggörbe csúcsa a lépésszög felével elmozdul, a csúcs értéke pedig  $\sqrt{2}$ -szöröse lesz az egy tekercs esetében kialakult csúcserőértéknek. Ez az alapja a féllépéses üzemmódnak.



### A léptetőmotor dinamikai viselkedése:

A motor tengelyéről maximálisan levehető nyomaték a motor tartónyomatéka. Ekkora nyomatékkal azonban nem lehet léptetés közben terhelni a motort.



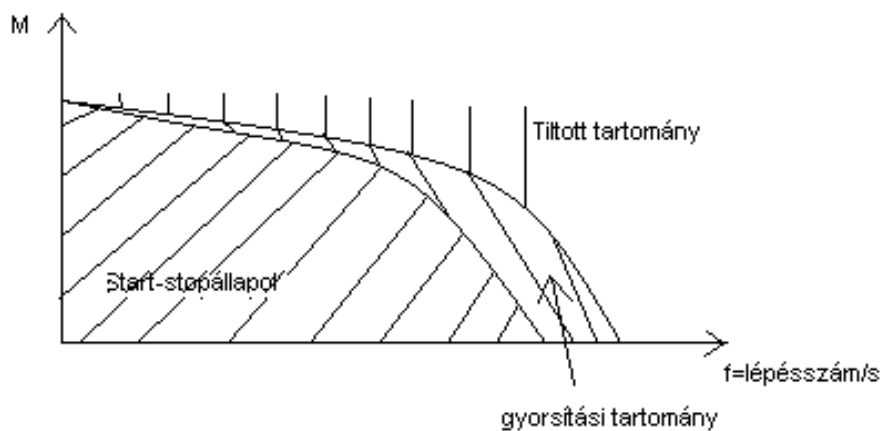
Kis lépési frekvenciákon a motor nyomatékát az is csökkenti, hogy a forgatott tehetetlenségekben tárolt energia nem elegendő a nyomatéki görbe mélypontján való átjutáshoz. (Ötfázisú motornál a nyomatékgörbe hullámossága jóval kisebb, ezért ott nem alakul ki ez a maximum.)



A felső frekvenciatartományban kialakuló nyomaték csökkenése az áramváltás nem pillanatszerű változása (a vezérlőáramkör és a tekercselés időállandói miatt) és a forgórész által indukált feszültség együttes hatására következik be.

Ha adott nyomaték mellett a motort nagyobb frekvenciával indítjuk, mint a hozzá tartozó határfrekvencia, akkor a motor lépést téveszt és leáll.

A léptetőmotorok nyomaték – lépésfrekvencia diagramja két részből áll. Az első tartomány, amelyik az alacsonyabb frekvenciákhoz tartozik, az úgynevezett start – stop üzemmód tartománya. A második tartományban a léptetőmotort csak fokozatosan gyorsítva, majd a leállítás előtt lassítva lehet lépéstévesztés nélkül vezérelni.



A léptetőmotorok dinamikai viselkedésében egy másik problémát a lépésekkor bekövetkező lengések jelentik. Ezek a lengések nemcsak a léptetőmotor tulajdonságaitól, hanem motort meghajtó áramkör tulajdonságaitól és a motorral meghajtott rendszer tulajdonságaitól is függenek.

### 2.7.3 Önellenőrzési feladatlap a 7. számú rész célkitűzéshez

1. A változó reluktancia motorok forgórésze:
  - a. állandómágnes
  - b. mágnesesen lágú anyagú, fogazott
  - c. háromfázisú tekercselés
2. Az állandómágneses léptetőmotorok...
  - a. tartónyomatéka a tekercsek gerjesztetlen állapotában sem 0.
  - b. statikus nyomatéka kisebb, mint a változó reluktancia motoroké.
  - c. határfrekvenciája nagy.

3. Unipoláris vezérlésnél...
  - a. nem valósítható meg féllépéses üzemmód
  - b. nagyobb teljesítmény érhető el, mint bipoláris vezérlésnél.
  - c. fázisonként két tranzisztor szükséges.
  
4. Melyik állítás hamis?
  - a. A bipoláris tekercselés egyszerűbb, mint az unipoláris.
  - b. Bipoláris tekercselésű motornál a teljes beépített rézmennyiség részt vesz a mágneses tér felépítésében.
  - c. A bipoláris léptetőmotor vezérlő áramkör egyszerűbb felépítésű, mint az unipoláris.
  
5. Hullámhajtásos vezérlésnél:
  - a. egyszerre mindig egy tekercs gerjesztett
  - b. van olyan állapot, hogy egyetlen tekercs sem gerjesztett
  - c. maximális az elérhető forgatónyomaték
  
6. Melyik vezérlésmódok hoznak létre ugyanakkora szögelfordulást?
  - a. A hullámhajtás és a féllépéses üzemmód.
  - b. A féllépéses és a mikrolépéses üzemmód.
  - c. A hullámhajtás és az egészlépéses üzemmód.
  
7. Melyik vezérlési módnál változtatjuk a tekercsek áramát is?
  - a. Hullámhajtásnál.
  - b. Mikrolépéses üzemmódnál.
  - c. Féllépéses üzemmódnál.
  
8. A léptetőmotorok nyomatéka a lépésfrekvencia növelésével...
  - a. növekszik.
  - b. csökken.
  - c. nem változik.
  
9. Melyik nem jellemző a léptetőmotorokra?
  - a. Digitális vezérléshez közvetlenül csatlakoztatható.
  - b. Pontos lépésszerű pozicionálást tesznek lehetővé.
  - c. Kis fordulatszámnál csak kis nyomatékot képesek produkálni.
  
10. Egy kétfázisú ( $m=2$ ), 15 póluspárú ( $p=15$ ) állandómágneses léptetőmotor hány lépés alatt tesz meg egy fordulatot egészlépéses üzemmódban?
  - a.  $Z = 2 * p * m = 60$  lépés
  - b.  $Z = p * m = 30$  lépés
  - c.  $Z = 4 * p * m = 120$  lépés

## 2.7.4 Megoldókulcs a 7. számú rész célkitűzéshez tartozó önellenőrzési feladatlaphoz

1. **b** ; 2. **a** ; 3. **c** ; 4. **c** ; 5. **a** ; 6. **c** ; 7. **b** ; 8. **b** ; 9. **c** ; 10. **a**

Teljesítményszint:

Az önellenőrzési feladatnál az Ön által adott válaszoknak a fenti helyes válaszokkal kell egyeznie. Ha valamelyik pontnál hibát követett el, vagy kérdése van, *akkor ismételten nézze át az ajánlott olvasmányokat/ ismételje meg a tanulási tevékenység szükséges részeit/ kérjen segítséget az oktatótól stb.*

## 2.8.1 Tanulási gyakorlat a 8. számú rész célkitűzéshez

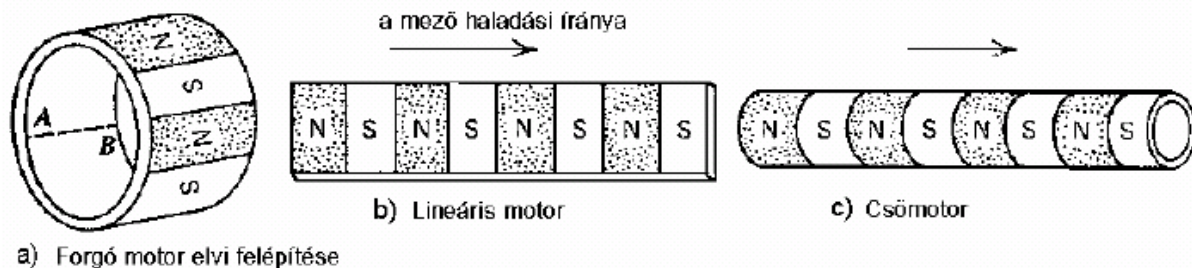
Rész célkitűzés: Lineáris motorok

Óraszám: 2

Tanulási tevékenységek	Tanulási tevékenységet segítő tanácsok
<i>Hallgassa meg az oktatója előadását, készítsen saját jegyzetet! Oldja meg az oktató által adott feladatokat!</i>	<i>Oldja meg az önellenőrzési feladatokat, és beszélje meg a hibáit az oktatójával!</i>

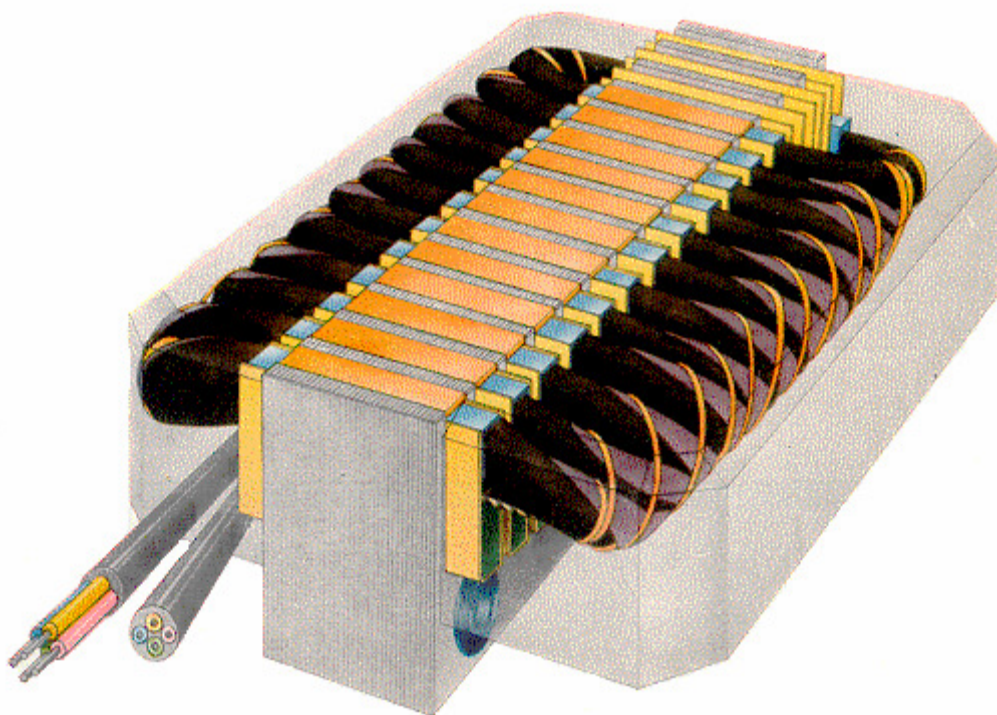
## 2.8.2 Információs lap a 8. számú rész célkitűzéshez

A lineáris motorok működési elvét tekintve olyanok mint a forgó villamos gépek, ezért lényegében minden forgó villamos gépnek elkészíthető a lineáris változata. Így beszélhetünk egyenáramú lineáris motorokról, szinkron lineáris motorokról, indukciós lineáris motorokról és különleges vagy speciális lineáris motorokról. A forgó motorok nagyszámú változata miatt sokfajta lineáris motort építhetünk, ha az egyes forgó motorokat lineáris alakítjuk át. Sík lineáris motort legegyszerűbben talán egy az alkotója mentén felhasított és azután síkba kiterített forgó motorból lehet származtatni.



### A lineáris aszinkron motor:

A lineáris indukciós motor primer része legtöbbször téglatest alakú lemezelt vasmagból áll, amelynek hornyaiban helyezik el a többfázisú elosztott tekercselés. A hornyokba elosztott és általában háromfázisú árammal táplált tekercselés (a sík lineáris felépítés miatt) haladó mágneses teret hoz létre.

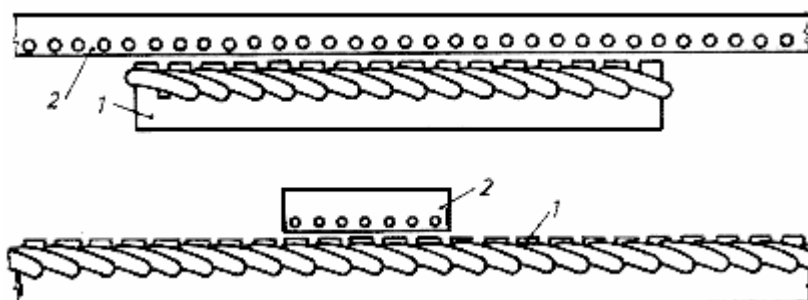


A szekunder rész ebben az esetben szintén téglatest alakú, amelynek ha vannak hornyai, akkor ennek tekercselése a forgó motor kalicka rúdjaihoz hasonlóan, létra-szerűen kialakított. A haladó mágneses tér a szekunder rész kalickájában feszültséget indukál, ez a feszültség a zárt kalickarendszer esetén áramot hoz létre. A szekunder kalicka rúdjaiban folyó áram és a haladó mágneses tér kölcsönhatásaként olyan erő keletkezik, amely a mozgórész egyenes vonalú mozgását eredményezi. A mozgórész akár a primer, akár a szekunder rész is lehet, ezért a lineáris motorokat - ebből a szempontból - két csoportba

sorolhatjuk. Megkülönböztetünk mozgó primer részű, ill. mozgó szekunder részű lineáris motorokat.

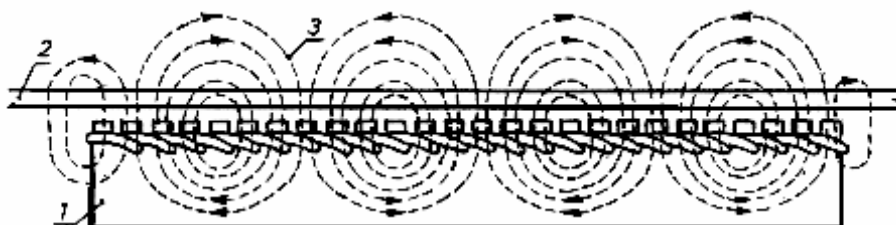
A lineáris motorok másik csoportosítási lehetősége abból következik, hogy a gyakorlatban kivitelezhető motorok véges hosszúsággal rendelkeznek. Ily módon a lineáris motorok további két fajtáját szokás megkülönböztetni, mégpedig a rövid primer részű (ebben az esetben a szekunder rész az adott pálya hosszúságú), ill. a rövid szekunder részű motorokat, (természetesen ebben az esetben az adott pályahosszt kell tekercseléssel ellátni).

Rövid primer, illetve rövid szekunder részű motorok:

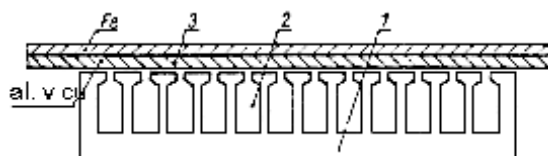


Az előzőekben vázolt lineáris indukciós motorok felépítése túlságosan bonyolult, mind a primer, mind a szekunder részt tekercselten kell elkészíteni, mindkét rész vastestét - a vasveszteség csökkentése céljából - lemezelt, dinamólemezből kell készíteni. Ebben a formában legyártott motorok nagyon drágák, és a forgó indukciós motoroknál jóval nagyobb légrés miatt gazdaságtalanok.

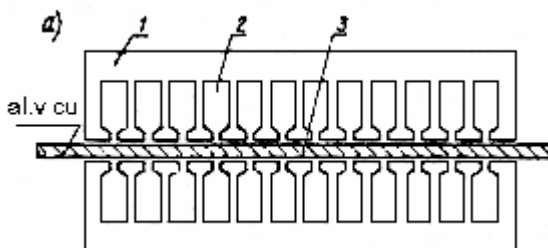
A lineáris indukciós motorok szekunder részének jelentős leegyszerűsítésével a magas gyártási költség csökkenthető. A szekunder részből el lehet hagyni a lemezelt vastestét, a tekercselés pedig egyszerű villamosan jó vezető fémllemezrel helyettesíthető. Ilyen átalakítás után nyerhető az egyoldalas síkmotort. Az ilyen motor előnye az egyszerűsége, de a mágneses kör reluktanciája nagy, mivel nagy a mágneses fluxus levegőben megtett útja.



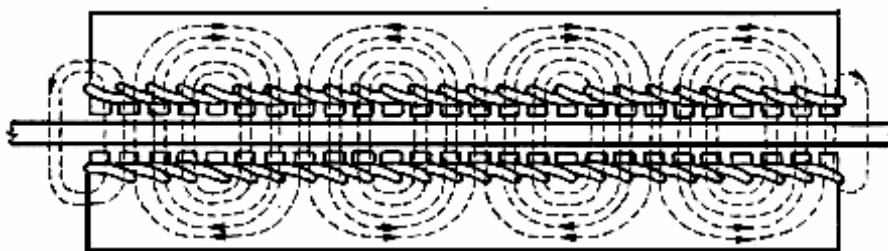
A gyakorlatban jobban elterjedtek az olyan egyoldalú lineáris indukciós motorok, ahol a szekunder rész egy nem ferromágneses, villamosan jól vezető lemezből (alumínium vagy ritkábban réz), valamint a mágneses fluxust jól vezető acél (vas) lemezből tevődik össze (következő ábra).



A vonóerő fokozása, valamint a primer és szekunder rész közötti mágneses vonzás megszüntetése (csökkentése) érdekében az egyoldalas motorok helyett gyakrabban alkalmaznak ún. kétoldalas lineáris motorokat:



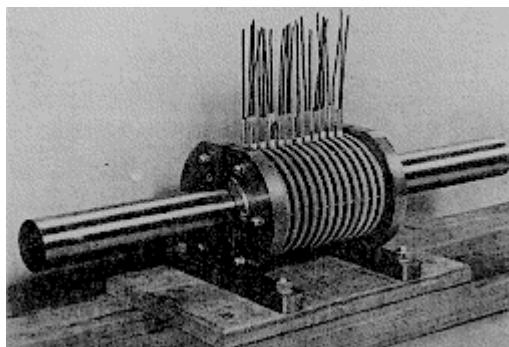
A kétoldalas motorban a mágneses indukció eloszlását a következő ábra mutatja.



Látható, hogy a fluxus a szekunder részen merőlegesen halad át. A szakirodalmak szerint a  $B$  mágneses indukció értéke azonos gerjesztés mellett az egyoldalúnak kétszerese, ezért azonos nagyságú légrés és konstrukciós paraméterek mellett a kétoldalú motor teljesítménye négyszerese az egyoldalúnak.

Ha a mozgórésznek néhány centiméter, de legfeljebb néhány méter utat kell megtennie, a sík motor túlságosan drága, ezért inkább hengeres szekunder részű motort alkalmaznak, és így egyúttal a lineáris indukciós motorok légrését csökkenthetjük. Ha a hagyományos forgó motort először sík lineáris motorra alakítjuk, a kapott síkot pedig a haladó mágneses tér irányával párhuzamos tengely körül hajtjuk össze, egy új geometriai szerkezetű motor, ún. cső alakú indukciós motorhoz jutunk. A motor állórésze, és az egész motor megőrzi a forgó motor hengeres felépítését, de a szekunder rész egyenes vonalú mozgást végez. A cső alakú motorok legfőbb előnye, hogy nincs tekercsfaj tere, valamint, hogy itt nem lép fel az ún. keresztirányú véghatás.





A lineáris aszinkron motorok alkalmazása:

Rövid primer részű kivitelben:

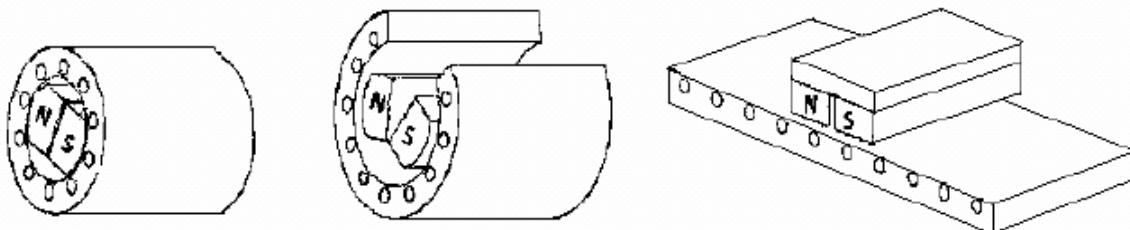
- ajtómozgatók, féklazítók motorjaiként
- daruk, hajógyárakban vontatótargoncák hajtómotorjaiként
- szállítóberendezések hajtásaiként, beleértve a folyékony fém továbbítást is
- huzal- vagy szalaghúzó, ill. –feszítő motorként
- felvonók hajtásánál
- szegmens sztátoros kivitelben kiegyensúlyozó gépek háztartási és ipari forgódobos mosógépek hajtására
- vontatási célra, egysínű vagy nyeregvasút kivitelben
- lineáris léptető motorként.

Rövid szekunder részű kivitelben

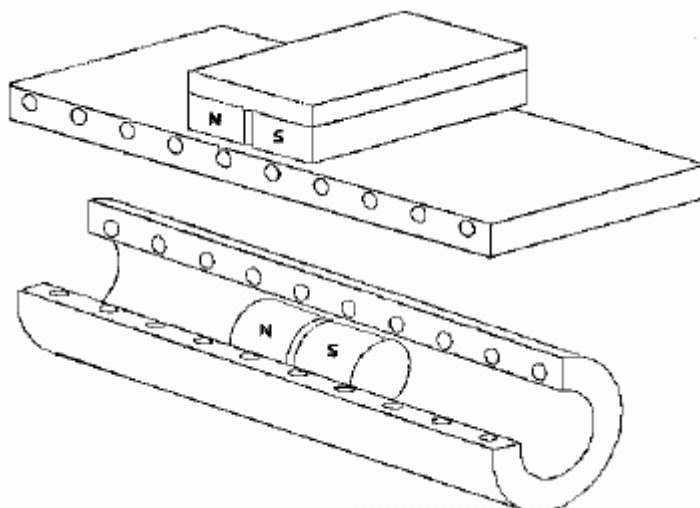
- vetelő hajtásokra
- speciális esetekben fékezési és felgyorsítási célra.

Lineáris szinkron motor:

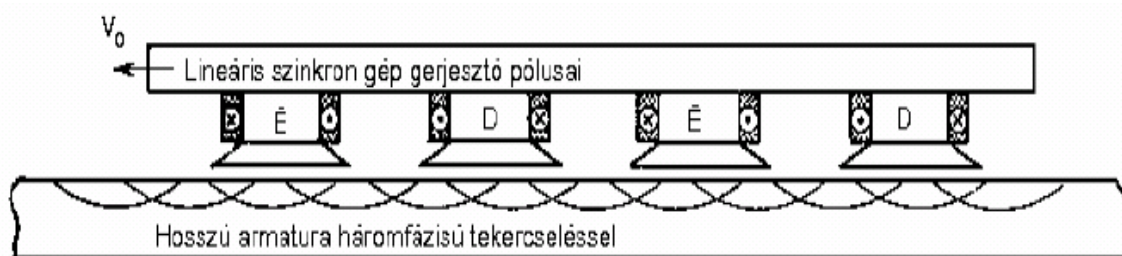
A lineáris szinkron motorok hasonlóan az indukciós motorokhoz, származtathatók a forgó motorokból. Így beszélhetünk a kiálló pólusú szinkron gépnek a síkban kiterített változatáról:



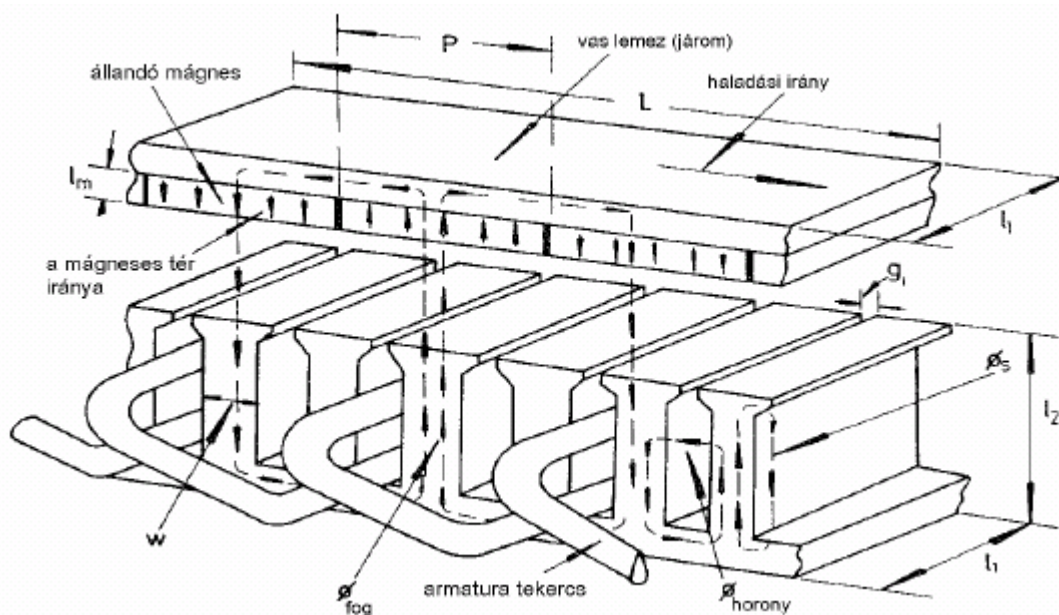
Hasonlóan az aszinkron motorokhoz a szinkron gépnél is kialakítható ún. cső mozgórészű motor. Ennek a konstrukciónak a sík lineáris motorból való leképzése látható a következő ábrán.



Mint ahogy indukciós lineáris gépeknél megkülönböztethetünk rövid primer résszel és hosszú szekunder résszel rendelkező motor elrendezést, itt is beszélhetünk rövid armatúrájú, vagy hosszú armatúrájú gépekről. A kiálló pólusú lineáris szinkron motorok gerjesztő pólusai lehetnek tekercseltek:



vagy kisebb teljesítményű gépeknél szokásos a permanens mágnes alkalmazása:

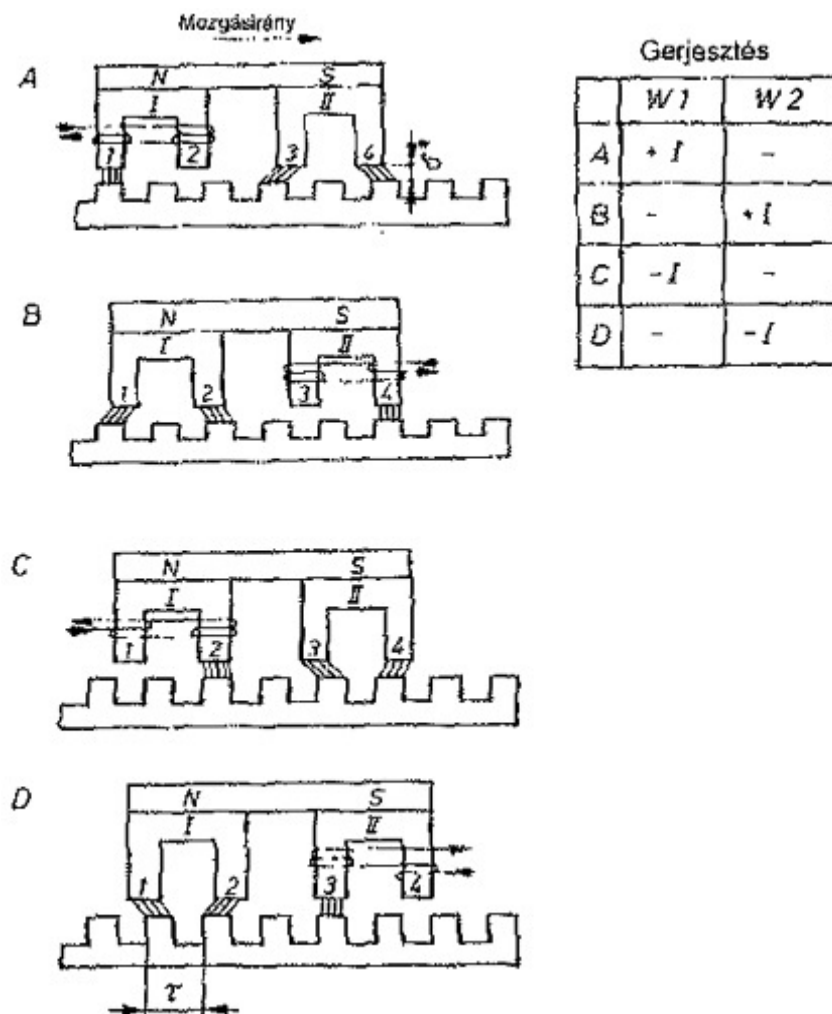




A villamos vontatási feladatok megvalósításával kapcsolatban számos a forgógépeknél nem elterjedt konstrukciójú lineáris szinkron motortípust fejlesztettek ki. Szokás megkülönböztetni vasat nem tartalmazó és vasat tartalmazó motortípusokat. A vasat tartalmazó konstrukcióknál annak érdekében, hogy a beruházási költséget minél jobban csökkentsék, mind az egyenárammal gerjesztett pólustekercset, mind a váltakozó árammal táplált háromfázisú tekercsrendszert a gép mozgó részén helyezik el. Ezek rendszerint rövid armatúrával rendelkező motorok.

Lineáris hibrid léptetőmotorok:

A léptetőmotor mozgórésze egy állandómágnestől és két elektromágnestől áll. Gerjesztetlen állapotban a permanens mágneskör az elektromágnesek szárain, a légrésen és az állórészek szárain záródik. Az elektromágnes két résztekercse úgy van bekötve, hogy gerjesztéskor az állandómágnes fluxusát az egyik póluson erősítse, a másikon kompenzálja. Tangenciális mágneses erő csak a gerjesztett pólusnál ébred és így a mozgórész fél osztásértéknyit lép.



Ezeknél a léptetőmotoroknál a teljesítményt a légrés nagysága befolyásolja a legjobban. A motor billentőereje annál nagyobb, minél kisebb légrést tudunk létrehozni. A legjobb eredmény légcsapágyazáskor adódik, ekkor a légrés körülbelül 15-20  $\mu\text{m}$  nagyságú. A légcsapágy további előnye, hogy gyakorlatilag nem lép fel súrlódás, illetve kopás.

### 2.8.3 Önellenőrzési feladatlap a 8. számú rész célkitűzéshez

1. Milyen fajtái léteznek a lineáris motoroknak?
  - a. Aszinkron és szinkron lineáris motorok.
  - b. Aszinkron (indukciós) és lineáris léptetőmotorok.
  - c. Minden forgó motornak megépíthető a lineáris változata és sok speciális kivétel is létezik.
2. A lineáris aszinkron motor primer része..
  - a. Haladó mágneses teret hoz létre.
  - b. Lüktető mágneses teret hoz létre.
  - c. Állandó mágneses teret hoz létre.
3. Lineáris aszinkron motoroknál:
  - a. Mindig a primer rész mozog.
  - b. Mindig a szekunder rész mozog.
  - c. Bármelyik rész mozoghat.
4. Miből épül fel a lineáris aszinkron motor szekunder része?
  - a. Egy nem ferromágneses, villamosan jól vezető és egy a mágneses fluxust jól vezető lemezből.
  - b. Villamosan jó vezető fémlemez.
  - c. Mindkettő elképzelhető.
5. Azonos konstrukciós paraméterek mellett milyen a teljesítményviszonya az egyoldalas és a kétoldalas lineáris aszinkron motoroknak.
  - a. A kétoldalas teljesítménye kétszer akkora.
  - b. A kétoldalas motor teljesítménye négyszerese az egyoldalasénak.
  - c. A kétoldalas motor teljesítménye valamivel nagyobb.

6. Milyenek lehetnek a kiálló pólusú lineáris szinkron motor gerjesztő pólusai?
- Tekercselt és permanens mágnes egyaránt lehet.
  - Csak tekercselt.
  - Csak állandómágneses kivitelű.
7. Miből áll a lineáris léptetőmotor mozgórésze?
- Egy állandómágnesből.
  - Két elektromágnesből.
  - Egy állandómágnesből és két elektromágnesből.
8. Mi befolyásolja leginkább a lineáris léptetőmotorok teljesítményét?
- Az elektromágnesben folyó áramerősség.
  - Az elektromágnes tekercsének menetszáma.
  - A légrés nagysága.
9. Légcsapágyazáskor, mekkora körülbelül a légrés?
- 15 – 20  $\mu\text{m}$
  - 0,15 – 0,2 mm
  - 1,5 – 2  $\mu\text{m}$
10. Milyen felépítésű a lineáris szinkron gép armatúrája?
- Állandómágneses.
  - Tekercselt.
  - Mindkettő előfordulhat.

#### **2.8.4 Megoldókulcs a 8. számú részcélkitűzéshez tartozó önellenőrzési feladatlaphoz**

1. c ; 2. a ; 3. c ; 4. c ; 5. b ; 6. a ; 7. c ; 8. c ; 9. a ; 10. b

Teljesítményszint:

Az önellenőrzési feladatnál az Ön által adott válaszoknak a fenti helyes válaszokkal kell egyeznie. Ha valamelyik pontnál hibát követett el, vagy kérdése van, *akkor ismételten nézze át az ajánlott olvasmányokat/ ismételje meg a tanulási tevékenység szükséges részeit/ kérjen segítséget az oktatótól stb.*



Felhasznált források:

**Dr. Tóth Ferenc:** A lineáris indukciós és szinkron motorok kialakításának, alkalmazásának és elméletének irodalmi áttekintése

**Zsufa Attila:** Villamos hajtások és mozgásvezérlők

**Dr. Mádai Ferenc honlapja** (Miskolci Egyetem): <http://nw.elektro.uni-miskolc.hu/~madai/index.htm>

<http://www.mogi.bme.hu/letoltes/ERZEKELOK%20ES%20MUKODTETOK/M%C5%B1k%C3%B6dtet%C5%91k.pdf>



### 3. Kompetenciamérés

#### KOMPETENCIAMÉRŐ TESZTLAP

Tanuló neve:	Kitöltés dátuma:

Modul neve:	Száma:
Kompetencia:	Száma:

Utasítások (A fő célkitűzésben meghatározott feladat szerint)	Általános értékelés	
	Elért szintek	Teljesítményszintek
Ismerje fel az adott típusú motort! Magyarázza el annak működését, sajátosságait, előnyös és hátrányos tulajdonságait! Lehetséges – e az adott típusú motornál forgásirányváltás? Ha igen, hogyan? Rajzoljon kapcsolási rajzot! Valósítsa meg a kapcsolást!	5-jeles	A feladatokat jól és önállóan oldja meg, esetleg apróbb hibákkal, de segítség nélkül működő kapcsolást készít és üzemelteti.
	4-jó	A feladatokat jól oldja meg, apróbb segítséget igényel, lényeges tévedést nem követ el.
	3-közepes	Felismeri a motort, ismeri annak működését, lényeges tulajdonságait. A motor vezérlését nehezen látja át, sok hibát vét, csak segítséggel képes összeállítani a vezérlést.
	2-elégséges	Az alapvető részegységeket felismeri, ismeri a működés alapjait, a tulajdonságokat keveri, önállóan nem képes a kapcsolat elkészítésére.
	1-elégtelen	Nem ismeri fel a motor részeit, nincs tisztában a működés alapjaival, alapvető munkavédelmi hibákat követ el.
<b>A teljesítmény elért szintje:</b>		
<b>Az oktató/vizsgáztató(k) aláírása:</b>		



Teljesítmény-értékelés	Igen	Nem	Nem jellemző
A tanuló ...			
Képes felismerni és egymástól megkülönböztetni az egyes motortípusokat.			
Felismeri az egyes motorok részegységeit.			
Szakszerűen beköti és üzemelteti az egyes motortípusokat.			
Ismeri az egyes motortípusok előnyeit, hátrányait.			
Kiválasztja az adott feladathoz alkalmazható motortípust és választását indokolja.			
Felismeri a motorok hibáit és kijavítja azokat.			
Az oktató aláírása:			

**Teljesítményszint:**

Amennyiben valamelyik kérdésre a válasz „nem”, a vizsga sikertelennek minősül. Forduljon az oktatójához, aki megmondja, milyen további tevékenységet kell végeznie ahhoz, hogy a hiányosságokat/hibákat kijavítsa, és sikeres vizsgát tegyen.