

A tananyag címe

## Villamos hajtások

Egyenáramú állandómágnese motorok és hajtástechnikai alkalmazásaik. Szinkron- és aszinkron motoros járműhajtások

---

1. A modul címe **Egyenáramú, állandó mágneses motorok és hajtások**

1.1 lecke: A lecke címe **Állandómágnese egyenáramú motorok felépítése, működési elve.**

## Cél

Az állandómágneses egyenáramú motorok felépítésének, működési elvének, jelleggörbéinek, főbb sajátosságainak megismerése.

## Követelmények

A hallgató legyen képes

- *ismertetni* a mágneses térben lévő áramjárta vezetőre ható erő-, és általa a forgórészben a nyomaték keletkezését, a motor mágneses erővonalainak útját, a tekercselés szerepét, a kommutátor szerepét, a motor alapegyenleteit, a fluxus és a nyomaték számítását, a motor szögsebesség-függvényeit, a mozgásegyenletet, a viszonylagos egységeket, a motor karakterisztikáját, az R ellenállás jelentőségét.
- *lerajzolni* a motor elvi felépítését, egy vezetőkeret végeinek kommutátor-kefe csatlakozását az indukciómentes zónában, elvi kapcsolási vázlatát, szögsebesség-áram karakterisztikáját változó feszültségekre, a sebességcsökkenés mértékét terhelt motorban.

## Kulcsfogalmak

A mágneses térben lévő áramjárta vezetőre ható erő, légrés, állórészkoszorú, kapocs- és a belső feszültség, gépállandó, hurkos tekercselés, kommutátor, indukciómentes zóna, mágneses indukció, fluxus, nyomaték, mozgásegyenlet, szögsebesség-függvény, motor karakterisztika, névleges ellenállás

## Időszükséglet

A tananyag elsajátításához *körülbelül 140 percre* lesz szüksége

## 1. Tananyag

**Állandómágneses egyenáramú motorok felépítése, alkalmazásuk**

*Egyenáramú motorok: az állandó mágneses egyenáramú motor*

Az igen széles körben alkalmazott, különféle módokon létrehozott mágneses áramú motorok közül többségük mára háttérbe szorult a frekvenciaszabályozott váltakozóáramú motorok terjedése által, és új építéssel, fejlesztéssel gyakorlatilag szinte már csak az állandó mágneses fajták léteznek, főként az automatizált rendszerekhez, kis, és egészen kis teljesítményekkel és növekvő alkalmazási területtel (egy nagyobb felszereltségű korszerű autóban számuk elérheti az ötvenet.) Gyártóik rendszerint már motorhajtó, illetve motor-irányító vezérlővel együtt forgalmazzák, tipikusan számítógépen történő programozási- és nagyobb rendszerekbe illesztési lehetőséggel.

Vezérlőik a beavatkozáshoz szükséges egyenfeszültség nagyságát elektronikus vezérléssel, impulzus-szélesség modulációval, folytonos jelleggel - fokozat nélkül- változtatják.

Fajlagos teljesítmény-adottságaik a folyamatos fejlesztéseknek köszönhetően sokat javultak. Irányító rendszereik révén sebesség-, vagy gyakrabban pozíciószabályott üzemet láthatnak el, utóbbiak egyes feladatokhoz egy szögmásodpercnél kisebb beállási hibájúak is lehetnek.

Nő a felhasznált mennyiség a repülési-űrtechnikai, az orvosi-sebészeti, más különféle vizsgálati, és a lézeres mérés-technikai eszközökben.

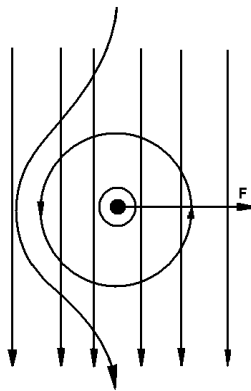
A tanulmányok során az elméleti ismereteket a tárgy célkitűzésének megfelelően a működés megértéséhez szükséges mélységben vesszük.

*Az állandómágneses („permanent magnet”, „PM”) egyenáramú, „DC” rövidítve: PMDC motor felépítése, működési elve, alapegyenletei*

Tevékenység:

- Jegyezze meg az erő keletkezését mágneses térben lévő, áramjárta vezetővel kölcsönhatásban! Tanulja meg lerajzolni az 1. ábrát!

A B indukciójú állandósult mágneses térben, annak irányára merőleges helyzetű vezetőben folyó áram hatására fellépő F erőt az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra. Az erő keletkezése mágneses térben lévő, áramjárta vezetővel kölcsönhatásban

Tevékenység: jegyezze meg, milyen tartalmú összefüggés (1) írja le az erő keletkezését!

Az  $I$  [A] árammal átjárt,  $l$  [m] hosszúságú vezető körül keletkező mágneses tér erővonalai a vezető iránya és az áram értéke által meghatározottak. A két mágneses tér kölcsönhatásaként a berajzolt vezető körüli kétféle eredetű erővonalak irányának helyi változásai a vezetőre erőt fejtenek ki, eredőként itt jobbra mutatóan. Értéke az indukció és az áram

$$F = B \times I l \text{ [N]} \quad (1)$$

vektor-, míg a hosszúsággal skalárszorzataként számítható (Lorentz-törvény). Itt  $B$  a mágneses indukció [ $\text{Vs}/\text{m}^2$ ],  $I$  a vezetőkben folyó áram, és  $l$  a vezető hossza [m].

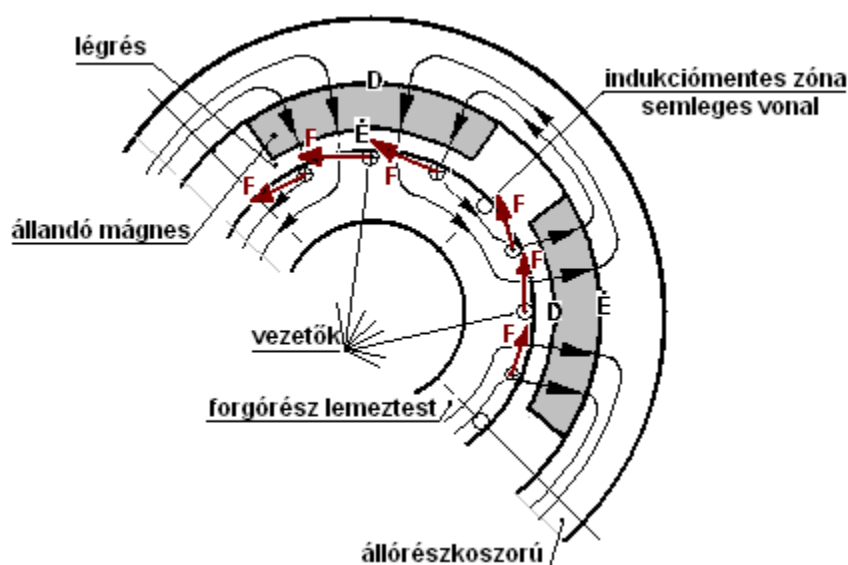
**Tevékenység:** jegyezze meg az alábbi skalárszorzat és az (1) összefüggés kapcsolatát és indokolását!

Skalárszorzatként  $F = B I l$ , ha 90 fok szöghelyzetet tételezünk fel a mágneses tér és a vezetőkben folyó áram iránya, továbbá a keletkezett erő iránya között, három, egymásra merőleges irányt feltételezve. A 2-nél többpólusú motorokban a mágnesek elhelyezése és mágnesezési iránya a légrésben gyakorlatilag sugárirányú mágneses indukció irányt eredményeznek, azaz a fenti skalárszorzat az összes vezetőre kis elhanyagolással alkalmazhatónak mondható.

Az állandó mágneses egyenáramú motor felépítését, szerkezeti elrendezését, az erők keletkezését a 2. ábra mutatja.

**Tevékenység:**

Tanulja meg lerajzolni a 2. ábrát!



2.ábra. Állandó mágneses egyenáramú motor felépítése és a nyomatékot képző erők keletkezése

Tevékenység: jegyezze meg az egyenáramú motor felépítését! Fogalmazza meg, hogyan épül fel a DC motor, hol helyezkednek el az áramjárta vezetők, mi a kommutátor szerepe!

A motor állórésze nem lemezelt, tömör lággyvas koszorú, amelyre felerősítik a mágnes íveket, a pólusszámnak megfelelően. A mágnesekből az északi jelű oldalon lépnek ki az erővonalak, gyakorlatilag merőlegesen áthaladnak a légrésen, majd a forgórésznek a 0,3-0,5 mm vastag lemezekből összeállított vasmagjában haladva a következő, most déli pólus felé ismét átlépnek a légrésen, végül az állórészkoszorúban a nyilak szerint haladnak, zárt folyamat képezve.

A behelyezett forgórészt megfelelő gépészeti kialakítás tartja a motor – villamos gép – forgástengelyében. A vezetők egyenletes elosztásban vannak elhelyezve, rögzítve a forgórész –rotor - palástjához közel kialakított hornyokban, vagy modern kis motorokban egy vékony héjszerkezetet alkotnak, a légrésben még biztonságosan elfordulhatóan. E megoldás csak egészen kis gépekben lehetséges, a nagyobbakban a vezetők nagy méretük, s a fellépő jelentős kerületirányú erők miatt csak a rotorpalást tengelyirányú hornyaiban helyezhetők el.

A vezetők vezetőkeretet, tekercselemet alkotnak egy vagy több menettel, és végeik a kommutátor egymástól elszigetelt szeleteihez, megfelelő sorrendben csatlakoznak. Ma lággyforrasztás helyett besajtolást vagy hegesztést alkalmaznak a vezető és a kommutátor réz szeletei között.

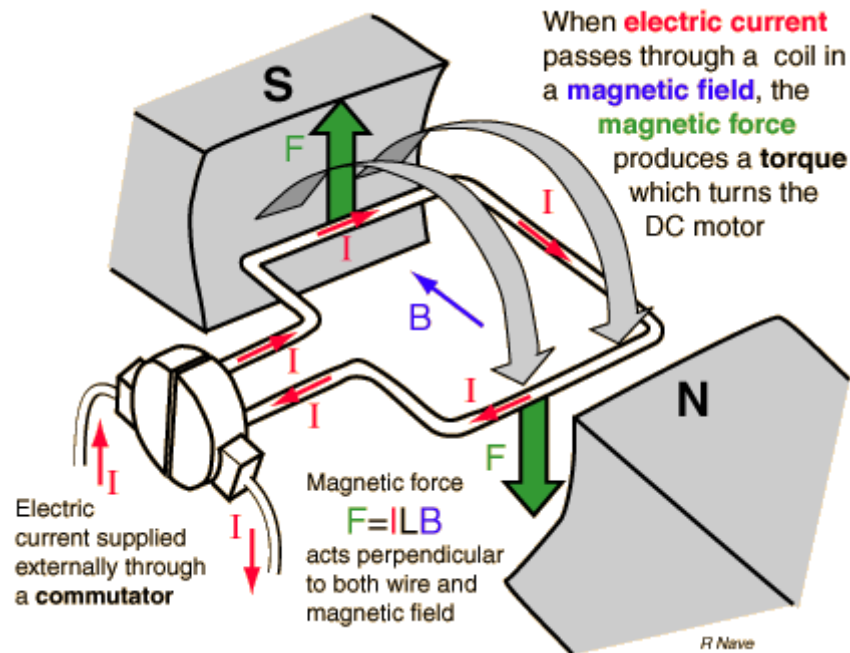
Adott vezetőkeret – ami már egy menetet jelent - más-más oldalaiként azok a vezetők, amelyek az ábrában rajzolva vannak, az egyes pólusok alatt hasonló viszonylagos helyzetben vannak. A berajzolt 3-3 vezető párijai, amelyek egy –egy menetet alkotnak, a pólusív ugyanazon helyein vannak a másik pólus alatti légrésben. Mivel a két szomszédos pólus alatt az indukció irányai ellentétesek, ugyanazon jellegű, tangenciális  $F$  erők létrehozatalához a megváltozott indukcióirány miatt az áram irányának is változnia kell. Ezt valósítja meg a forgó mechanikus szerkezet, a kommutátor, a kefékkel együttesen.

A következő ábra szemléletesen mutatja be mindezt. A mágnessaruk közötti indukció értéke  $B$ -vel jelölt. Mivel a vázlat szerinti motorból hiányzik a forgórész-vastest, a sokszorosra növekedett áthidalandó légtér miatti nagy mágneses ellenállás következtében csak igen kis indukció állhat fenn, így csak kis erőhatás és nyomaték keletkezhet.

Valós motorok mágneskörének útjában csak igen rövid légrés, nagy fajlagos mágneses ellenállású vasmentes szakasz van. Mikromotorokban néhány tized mm, nagyobb gépekben egy-két mm-nyi a légrés, és így a motor mágneskörének relatíve kis összes mágneses ellenállásának köszönhetően a légrésben akár  $0,7-1 \text{ Vs/m}^2$  mágneses indukció is létrehozható.

A 3. ábrán látható DC-motor vázlat térbelileg szemlélteti az áramjárta vezetők és a mágneses tér kapcsolatát, s a kommutátor szerepét a vezetőben folyó áram irányának megfordításában. A vázlat leegyszerűsített, nem tartalmazza a forgórész vastestét, amellyel elérhető a valós

motorban a rövid légrés. A vázlat szerinti motor teljes forgórész-átmérőnyi légrést mutat, amelynek igen nagy mágneses ellenállása miatt csak elenyészően kis értékű a B mágneses indukciója, ezzel nyomatóka és indukált feszültsége is.



3. ábra. Az erők keletkezésének szemléltetése egyszerűsített motormodellben. Az egymenetű tekercs végeihez itt 180 fok ívhosszúságú kommutátorszeletek csatlakoznak, lehetővé téve az áramirány megfordítását

**Tevékenység:** jegyezze meg, milyen tartalmú összefüggés (2) írja le az indukált feszültség keletkezését!

A 4. ábra valós motorban lévő vezetőkeretekből álló tekercselést ábrázol, amelyből a vastag pirossal rajzolt vezetőkeret a pólusok között tartózkodik éppen, az indukciómentes zónában. A menet két végéhez kapcsolt kommutátor szelet-pár éppen egy kefe előtt fut el, amely most rövidre zárja az itt egyetlen menet végeit. A mágneses térben mozgó vezetőben feszültség indukálódik:

$$U_{\text{ind}} = B \times v \cdot l \text{ [V]}, \quad (2)$$

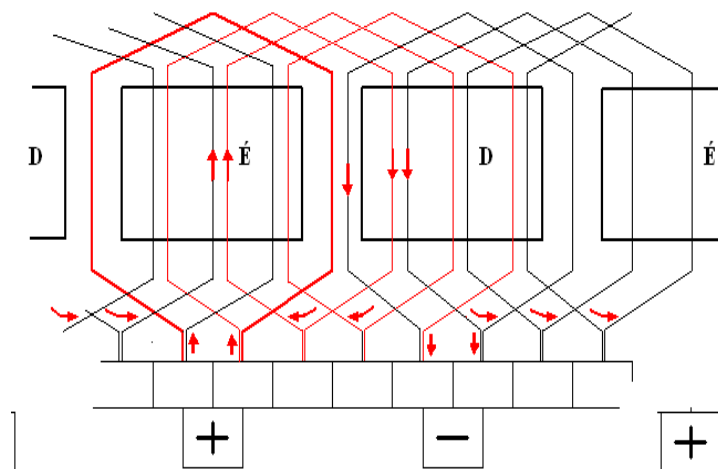
ahol  $v$  a sebesség [m/s],  $l$  a hasznos vezető hossz [m], amelyben a feszültség indukálódhat. Skalárszorzata az erő keletkezésénél említett  $90^\circ$  irányokkal  $U_{\text{ind}} = B \cdot l \cdot v$ .

**Tevékenység:**

A tekercselés vázlatán kövesse a + kefénel befolyó áram irányát!

Figyelje meg az egyes vezetőkeretek egymásba hurkolódását egészen a – keféig!

Tanulja meg lerajzolni a vastagon jelölt vezetőkeret és az É pólus elhelyezkedését és a + kefével való kapcsolatát!



4. ábra. Hurkos tekercselés vázlata egyenáramú gépben a kefék helyével és az áram kétirányú behaladásával, jobbra és balra hurkolódva történő tovahaladásával, körbejárva a teljes tekercselést

**Tevékenység:** Jegyezze meg, hogyan helyezendők el az egyenáramú gép keféi!

Ha a kefével érintkező keretben volna indukált feszültség, akkor a kefével zárt végű vezetőkeretben zárlati áram folyna. Ennek elkerülésére a keféket ott helyezik el, ahol az előttük elfutó tekercselemek végein indukált feszültség nem jelenik meg.

Az egymás után következő menetek a kommutátorhoz csatlakozásnál összekötődnek, azok egymáshoz hurkolódnak (az egyik fajta, ún. hurkos tekercselésnél). A kiterített tekercselési vázlatot, ha hengerként körbehajlított módon, végtelenítve képzeljük el, annak a folytonossá tétele minden horonyban (legalább) kettő vezetővel lesz csak lehetséges, egyik a másik alatt vagy mellett. Ezzel a továbbépítéssel a pozitív kefénél befolyó áram két irányban fog haladni: jobbra is és balra is tovahurkolódik a következő, negatív keféig. Az ábra így egy teljes, de csak egy menetű tekercsekből álló tekercselést mutat be.

**Tevékenység:** figyelje meg az alábbi DC motor- modell működését, az áramirány fordításának és a vezetőkeret helyzetének kapcsolatát!

A forgórészsel együtt forgó tekercsnek a kefével találkozási pontjain az áram iránya megfordul a kefétől való tovahaladásakor, amint ezt az alábbi szemléltető program is mutatja:



*A motor mágneses viszonyainak néhány szempontja*

**Tevékenység:** jegyezze meg a (3) összefüggés tartalmát!

A motor vasból készült szakaszaiból összeállított mágneskörének mágneses ellenállását a kör mágneses feszültségét szolgáltatató állandó mágnes győzi le. A változó vaskeresztmetszetű szakaszok eltérő mágneses vezetése szabja meg a helyi indukció értékét, miközben a mágneskörön áthaladó fluxus értéke a kör teljes hosszában állandó marad:

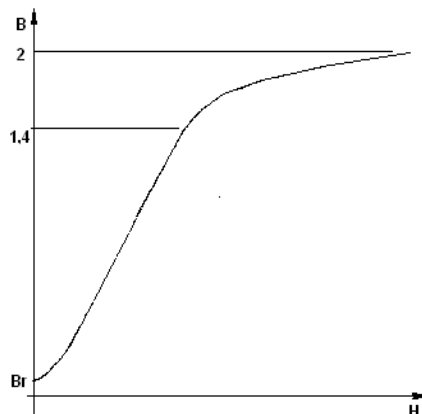
$$\Phi = B A \quad [\text{Vs}], \quad (3)$$

ahol a  $B$  indukció és az  $A$  vaskeresztmetszet [ $\text{m}^2$ ] értékei egy-egy mágnesköri szakaszra jellemzőek. A fenti 2. ábrán az állórészkoszorúé a legkisebb, és a pólusok alatt, a légrésre merőlegesen a legnagyobb a fluxus útjára merőleges vaskeresztmetszet. A forgórész hornyai, ha vannak, ott jelentősen lecsökkentik a fluxus útjába eső vaskeresztmetszetet, és emiatt a  $B$  értéke nagyra nőhet, ami már a vas telítődését eredményezheti. Ilyenkor a  $B$  értéke a szokásos

$1 \sim 1,4$  helyett  $2 \sim 2,2 \text{ Vs/m}^2$ -re nőhet, amely az esetleg szükségessé váló további átmágneseződést már nem, vagy alig teszi lehetővé.

**Tevékenység:** Tanulja meg lerajzolni a 3. ábrát!

Az 5. ábra a mágnesezési görbe jellemző alakját és értékeit mutatja a térerősség függvényében. A görbe a  $B_r$  remanens indukciótól indul, és a könyöknek mondott meredekség-csökkenéstől kezd megjelenni a telítődés jelensége.



5. ábra. A vas mágnesezési görbéje és fontosabb pontjai

A telítési határ felett a vas mágnesezhetősége már csak a levegőével lesz azonos, azaz mintegy 800-szor kisebb, ekkora a vas és a levegő relatív permeabilitásának aránya. E tartományban a megfelelő indukció fenntartása akár ekkora arányú többlet-mágnesezést is igényelhetne. A természetes vas mágnesezési adottságai még költséges ötvözőkkel sem javíthatók jelentősen, emiatt adott fluxust igénylő villamos gép keresztmetszeti méreteit, vele az egész villamos gép méreteit a fluxus szükségessége arányában növelni kell, ugyanolyan indukció értékek mellett. A keresztmetszeteket, valamint a kívánt indukciót eredményező mágneses térerősséget, ebből a szükséges gerjesztést adó állandó-mágnes térfogatot a tervezési mágneses igénybevételek értékei szerint határozzák meg, sok részletszámítással elvégezhetően.

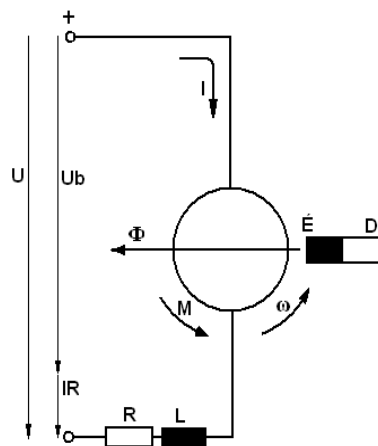


A motor forgatónyomatéka az 1. és 2. ábrák szerinti, áramjárta vezetőkenti  $F$  erők algebrai összegeként értelmezett tangenciális irányú erő-összeg és a sugár szorzataként keletkezik.

### Elvi kapcsolási vázlat

Tevékenység: Tanulja meg lerajzolni a 6. ábrát! Fogalmazza meg az  $U$  és  $U_b$  jelölések és nyilak, az  $R$  és  $L$  áramköri elemek szerepét! Jegyezze meg a (4) és (5) összefüggések tartalmát!

A PMDC motorok működés közbeni állapotot jelentő elvi kapcsolási vázlata, rákapcsolt  $U$  tápfeszültségénél a 6. ábrán követhető.



6. ábra. Állandó mágneses egyenáramú motor elvi kapcsolási vázlata

A tápfeszültség hatására kialakuló áram átfolyik a forgórész tekercsén. Az  $R$  forgórész-köri, másként nevezve armatúra-ellenállás jelképe akár el is hagyható, beleértődik a forgórész-jelképbe. Az  $L$  induktivitás az armatúra tekercs menetszámával és a mágneses jellemzőkkel arányos. Időben változó áramoknál az induktivitáson

$$U_L = L \frac{dI}{dt} \quad (4)$$

induktív feszültség keletkezik, amely az áramváltozást késlelteti, a

$$T_v = L/R \quad (5)$$

villamos időállandó szerint.  $L$  jelképe is elhagyható, és hatása a lassan változónak tekintett áramú üzemben akár el is hanyagolható, de gyorsan változó áramerősség esetén már számítani szükséges, amit a szimulációk realizálnak, lásd a hatásvázlat modellezése c. anyagot.

A berajzolt feszültség-jelképek, nyilak hossza célszerűen feszültség-arányos. Előjeleik megfelelnek a feszültségegyenletben lévő tagokénak, elősegítve az egyenletek grafikus ábrázolását, vele a motorüzem különböző eseteinek könnyebb megértését. Az  $U_b$  belső-, vagy indukált feszültség, és az  $IR$  áramarányos ohmos feszültség-esés összege azonos nagyságú az  $U$  kapcsolófeszültséggel, motoros üzemben.

Tevékenység: jegyezze meg a nyomaték és szögsebesség jelölésének tartalmát!

Az M nyomaték iránya szabványos motornál, szembe a tengelyre tekintve óramutató szerinti, de belülről, ahol keletkezik, a tengely felé tekintve előbbiével ellenkező, azaz balra forgató. A hatására kialakuló szögsebesség előjele is ilyen.

Tevékenység: jegyezze meg a PMDC motor (6)-(14) alapegyenleteit, elnevezéseit, kapcsolatait, műszaki tartalmukat!

A PMDC motor alapegyenletei az alábbiak szerint fogalmazhatóak meg,  $\Phi$ = állandó fluxus feltételezésével:

- kapocsfeszültség teljes alakja (6):

$$U = U_b + IR + L \frac{dI}{dt}$$

de elhanyagolható mértékű áramváltozási sebességnél röviden csak (7):

$$U = U_b + IR.$$

- belső, vagy indukált feszültség, (8):

$$U_b = k\Phi\omega$$

- gépállandó, (9):

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

ahol:  $z$  az összes vezető-,  $p$  a póluspárok-,  $a$  a párhuzamos ág párok száma. A szokásos hurkos tekercselésnél  $p/a = 1$ .

- nyomaték: a mechanikaival egyenértékű  $P_b$  belső teljesítményből, (10):

$$M = \frac{P_b}{\omega} = \frac{U_b I}{\omega} = \frac{k\Phi\omega I}{\omega} = k\Phi I, \quad [\text{Nm}].$$

- szögsebesség, vagy csak sebesség az áram függvényében (11):

$$\omega = \frac{U_b}{k\Phi} = \frac{U}{k\Phi} - \frac{IR}{k\Phi} = \frac{U}{k\Phi} - \frac{IR}{k\Phi}, \quad \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right].$$

Itt csak az  $I$  áram változó, és így az  $\omega = f(I)$  sebességi jelleggörbét kapjuk.

- a sebesség a nyomaték függvényében: mivel  $M = k\Phi I$ , ebből  $I = M/k\Phi$ , s ezt beírva  $I$  helyére, (12)

$$\omega = \frac{U_b}{k\Phi} = \frac{U}{k\Phi} - \frac{IR}{k\Phi} = \frac{U}{k\Phi} - \frac{MR}{(k\Phi)^2},$$

az  $\omega = f(M)$  terhelési jelleggörbe összefüggését kapjuk;

- a mozgásegyenlet, amely meghatározza, mikor fog változni a szögsebesség, (13):

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

a pillanatnyi sebességtől függetlenül, és ebből  $d\omega/dt=0$ , ha  $M=M_t$ , ahol  $M_t$  a terhelés nyomatéka a motor tengelyén, tehát a számláló nem lehet zérus, ha a sebességet változtatni akarjuk. Itt  $\Theta$  a motor tengelyére visszaszámított - redukált- eredő tehetetlenségi nyomaték [ $\text{kgm}^2$ ].

- az elektromechanikai időállandó, (14):

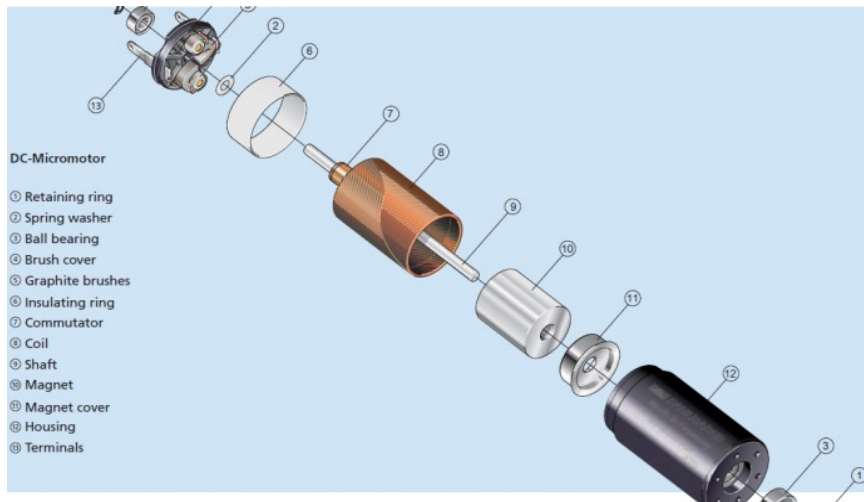
$$T_{em} = \frac{\Theta R}{(k\Phi)^2} \text{ [s]}.$$

Ebben az összefüggésben mind a mechanikai energiátároló késleltető hatása a  $\Theta$  tehetetlenségi nyomatékkal, mind a villamos időállandó az  $L$  és  $R$  értékeivel szerepel.  $T_{em}$  főként tájékoztató jellegű, mert a villamos időállandó tipikusan kis értéke miatt csak a  $\Theta$  hatása lesz domináns, s mivel egy képletbe összevontan szerepelnek, a külön-külön létező, és sorba kapcsolt egytárolós tagokból születő kéttárolós, kedvezőtlen arányú időállandók esetében akár valóban lengő tag ilyen tulajdonságainak megjelenését elfedi. A mai vizsgálati lehetőségek, szimulációk már mindkét tárolós tag jelenlétét, együttes hatását elemezhetik, lásd a hatásvázlattal kapcsolatban leírtakat, így a  $T_{em}$ , mint összevont alak az elfedő jellege miatt háttérbe szorul.

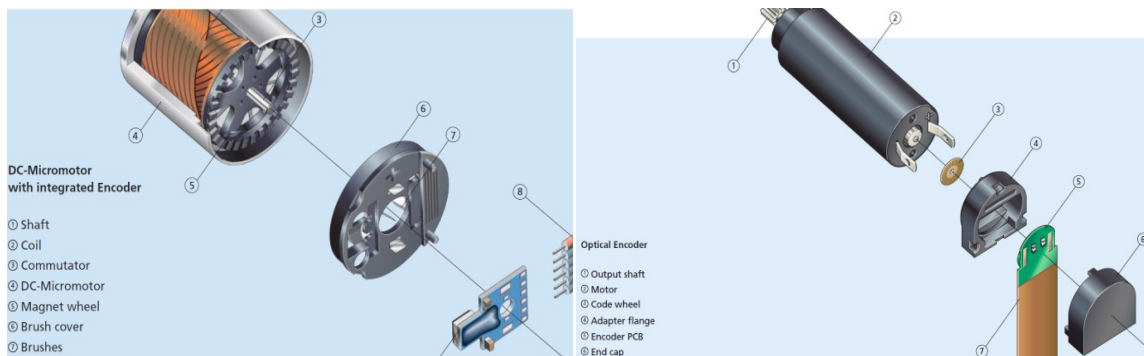
*Néhány építési példa a legújabb motorfejlesztési eredményekből*

**Tevékenység: olvassa el és figyelje meg az alábbi 7.-10. ábrákon bemutatott korszerű DC motorokat és hajtásokat!**

A forgórésznek csak a tekercse forog, speciális héj-konstrukcióként, a rotor vasteste áll, de itt még az álló és forgó részek is helyet cseréltek: a mágneses pólusokat tartalmazó állórész lett a belső henger, és az eddig volt rotor vashengere pedig a motor külső lágvas-hengere, azaz a háza. Csak a héjtekercs forog egy kissé növelt légrésben, míg mindkét henger áll. A héjtekercs  $\Theta$  értéke közel 2 nagyságrenddel kisebb, mint a normál kivitelé, és rendkívül nagy szöggyorsulásokat tesz lehetővé, kis méreteknél  $1000 \text{ rad/s}^2$  felett is. Az átlós vezető-elrendezés merevíti a tekercset, és egyúttal extrém kicsi nyomatéklüktetést, kisebb, mint 0,2 %-ot eredményez a szögelfordulás függvényében, némi hatásfokromlás árán. A belülré tett mágnes-henger, mint állórész kisebb kívülré jutó mágneses teret idéz elő, amely egyes alkalmazásoknál fontos lehet, 7. ábra.

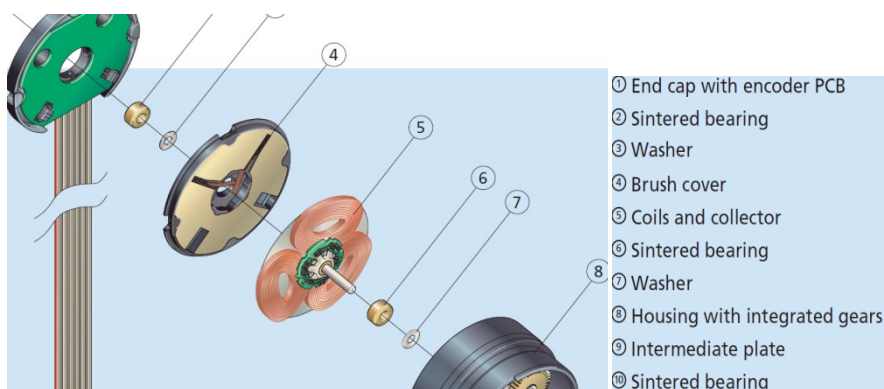


7. ábra. Héjtekercesléssel és nem forgó forgórész-vastesttel épült PMDC motor (Faulhaber)

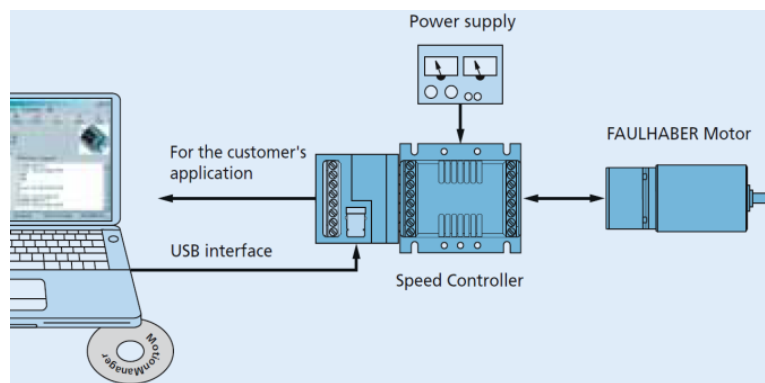


8. ábra. Az előző motorhoz választható mágneses és optikai inkrementális útmérők képei, a pozíciószabályozási feladatokhoz

Tárcsa alakú rotor, rövid építési hossz elérhetősége érdekében, 9. ábra. Axiális irányú mágnesmezőt hoztak létre, amely erővonalai a tárcsa alakú mágnesből indulnak, a 8 házban rögzítve, és a 4 tárcsa vasbetétjein fordulnak vissza. A nyomaték az 5 rotor tekercseiben keletkezik, és itt is annak ragasztásával kapott merevsége folytán adódik át a tengelyre. A kis nyomatékot áttétel növeli meg.



9. ábra. Tárcsa alakú forgórészrel épült PMDC motor



10. ábra. Számítógépirányítású, mikroprocesszorvezérelt PMDC motoros hajtásrendszer vázlata

*Az állandó-mágneses egyenáramú motor tulajdonságai jelleggörbéi alapján*

*Ábrázolási módok. A motor üzemének síknegyedei*

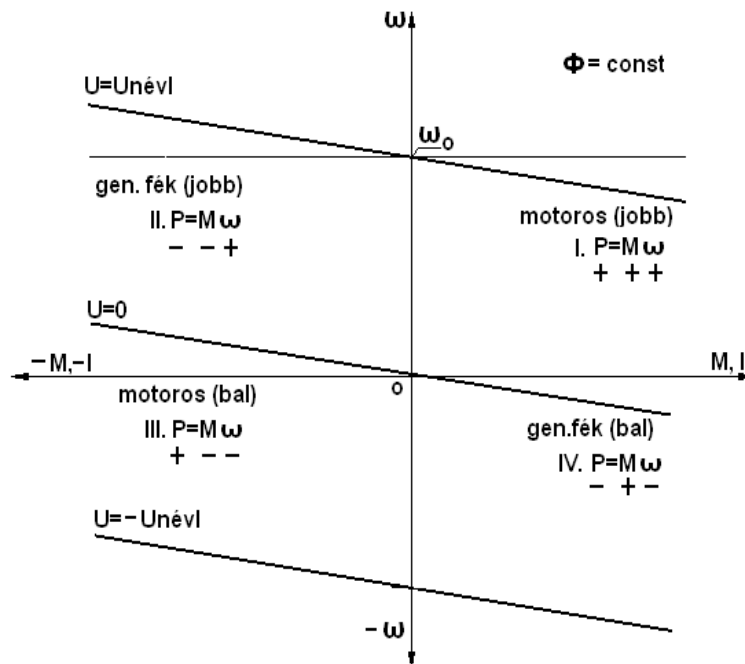
**Tevékenység:** Tanulja meg lerajzolni a 11-13. ábrákat! Jegyezze meg az ábrák felépítését, az egyes jelleggörbék helyzetét, az előjeleket és a feltüntetett jelöléseket és összefüggéseket, az alkalmazási példákat, a DC motor üzemmódjait, előjeleit, sebességváltóztatási módját, az üresjárási állapot tartalmát!

Villamos hajtások tulajdonságait általában a szögsebesség-nyomaték, DC motoroknál az összevont szögsebesség – nyomaték és/vagy áram jelleggörbéken követhetjük. A motorok karakterisztikáin tipikusan a kapocsfeszültség adott, konstans értékű, azaz paraméter. A mai motorok állandó mágnesével a motor fluxusa különböző üzemállapotokban is csak kismértékben csökken a terhelés hatására, így a tárgyalást megkönnyítendő, a fluxust állandónak tekintjük (a motorok tervezése során természetesen részletes elemzéssel tárják fel az eltérések jellegét és mértékét).

A 11. ábrán egy PMDC motor jelleggörbéi láthatók névleges-, zérus-, és ellenkező polaritású, negatív előjelű, de névleges kapocsfeszültségekre. A görbék alakját a 12. ábrán elemezzük, itt csak azt jegyezzük meg, hogy a karakterisztikák vízszintestől eltérése, ferdesége a motor belső ellenállásától függ,  $R=0$  esetén párhuzamos az abszcisszával. Az ordinátán, az  $\omega$  - tengelyen a motor nem vesz fel áramot, és nem fejt ki nyomatékot. Pozitív áramok, nyomatékok motoros, negatívok generátoros féküzemhez tartoznak. Az áramok-nyomatékok csak a  $k\Phi$  szorzó értékével térnek el egymástól, így kettős lépték alkalmazásával azonos értékeik ábrázolhatók.

Az egyes üzemmódok negyedeit I-IV. számokkal jelölik, amelyekben a teljesítmények előjelei szerint nevezzük motorosnak vagy generátorosnak az üzemet, illetve röviden a síknegyedet. A pozitív  $\omega$  mező egy adott, tipikusan a + forgásirány szerint lehetséges motoros vagy generátoros fék I és II negyedeit tartalmazza, míg a negatív  $\omega$  mező, az origó alatt az

ellenkező irányban forgásúakat. Ehhez az áttérés a motoron a kapcsolófeszültség polaritásának megváltoztatásával valósítható meg.

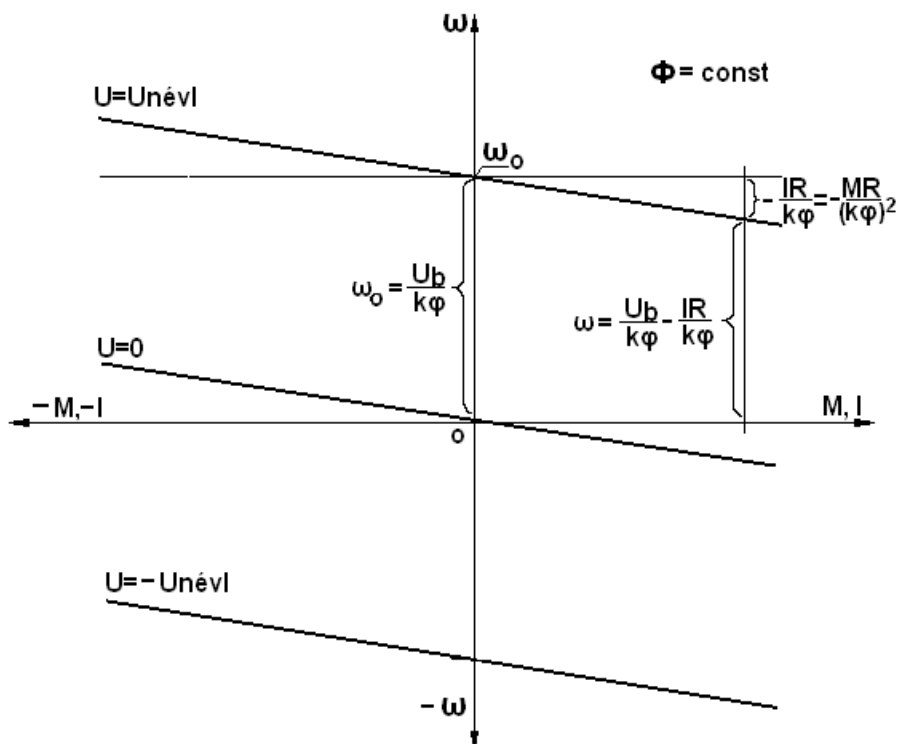


11. ábra. PMDC motor jelleggörbéi változó kapcsolófeszültségekre.

Az egyes síknegyedek szükségessége a villamos hajtástól elvárt tulajdonságok szerint fogalmazódik meg: egy ventilátor, köszörű, fűrógép stb. jellemzően egy forgásirányú, és nem igényel féküzemet, ezekhez egynegyedes üzem elegendő. Egyszerű daruhajtás le-fel üzemben, de villamos lassító fékezés nélkül dolgozik, így az I és III negyedeket használja, hasonlóan egy visszapillantó tükör két irányban lehetséges állító mozgatásához. Szerszámgép-, robot-, járműhajtások elindulásuk után villamos féküzemükben fognak lassítani, szükség esetén megállásig, és ezt a másik forgásirányban is elvárjuk tőlük, tehát az I-II, illetve a III-IV negyedekben is azonos módon tudnak dolgozni.

A motorokat tápláló áramforrásnak a motor által igényelt feszültség- és áramértékeket kell szolgáltatnia, a megfelelő polaritás-irány szerint. Egy egyszerű ventilátort csak egy feszültség szinten, s csak egyféle áramirányra képesen kell táplálni, míg egy robot-, vagy járműhajtást forgásirány szerint más-más polaritáson, és 0-tól a legnagyobb lehetséges értékig változtatható szintű feszültségen kell tudni táplálni. Utóbbi tápforrás felépítésében, rendszerében jelentősen összetettebb, ára magasabb ugyanazon teljesítménykategóriában.

A 12. ábrán a PMDC motor karakterisztikájának menetét vizsgáljuk. Az üresjárásnak is nevezett terheletlen állapotokban a munkapontok az  $\omega$  – tengelyen vannak, s ezeknek egymástól mért távolságaik feszültségárányosak. Itt  $\omega_0$ -al jelöltük az adott feszültséghez tartozó görbe üresjárási sebesség-értékét.



12. ábra. PMDC motor karakterisztikájának R -függése

Az előzőekben megismert egyenletekben láttuk a szögsebesség függését az áramtól és a nyomatéktól. Árammentes állapotban  $IR=0$ , a kapocs- és a belső feszültségek azonos értékűek,  $\omega_0$  az  $U$  vagy  $U_b$  értékéből egyaránt számítható. A növekvő áramokhoz tartozó sebességsökkenés értékeit a  $-IR/k\Phi$  összefüggés adja, ezek lesznek a függőleges metszések az  $\omega_0$ -hoz tartozó vízszintes vonaltól a motor jelleggörbe egyes pontjaihoz, míg az áramnyomatéktengelytől mérve a karakterisztika egy eső egyenes, ahol  $\omega$  értékeit az  $U_b/k\Phi$ -ból kivonással kapjuk.  $R=0$  esetén a karakterisztikák feszültségfüggő vízszintes egyenesek lennének.

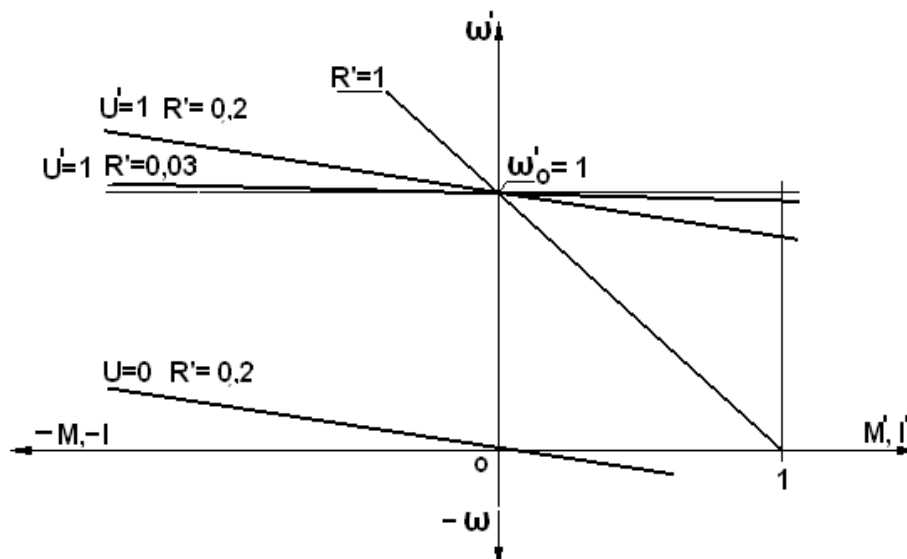
### Viszonylagos mennyiségek alkalmazása

**Tevékenység:** jegyezze meg a viszonylagos mennyiségek fogalmát, és az  $R'$  tartalmát!

A 13. ábrán az egyes mennyiségek vesszővel jelölt viszonylagos egységeit tüntettük fel. Bevezetésével a százalékos mennyiségekhez hasonló módon, a névleges értékhez viszonyított nagyságokat szerepeltethetjük, ami realisztikusabb ábrázolást ad, konkrét motoradatok nélkül is. Az egyes viszonylagos mennyiségeket a névlegeshez tartozóan képezzük:

$U'=U/U_{névl}$ ,  $I'=I/I_{névl}$  stb., és csak az  $R'=R/R_{névl}$  értéke kíván kiegészítést. Az  $R_{névl}=U_{névl}/I_{névl}$  számérték pontosan akkora értékű ohmos ellenállást jelent, amelyhez az ábrán az  $R'=1$  értékkel jelölt, -1 meredekségű egyenes, mint motorjelleggörbe tartozik, és amelyen a névleges áram a feszültségegyenletben az  $I'R'=1$  értékű névleges kapocsfeszültséget jelenti. Nem tud helyet hagyni  $U_b$  bármilyen kis értékének sem – az ilyen módon épült motor a névleges nyomatékkal terhelve, névleges áramot felvéve, és névleges nyomatékot kifejtve épp nem tud megmozdulni, csak zérus sebességű forgás lenne lehetséges:  $U'=I'R'=1$ ,  $U'_b=0$

mellett. E motoron névleges áramnál az  $I^2R$  veszteségteljesítmény a teljes felvett  $P=U I$  teljesítménynek felel meg, a hatásfok értéke zérus.



13. ábra. Viszonylagos mennyiségek alkalmazása, és az  $R'=1$  jelleggörbe menete

Eszerint az egyes valós motorok hatásfokát alapvetően meghatározó  $R'$  értéke a motor veszteségeinek mértékét is megjelöli: az  $R'=0,2$  értékkel gyártott motor hatásfoka

$\omega'_0 - \omega' = 1 - 0,2 = 0,8$ , azaz 80 % lehet az esetben, ha a veszteségeket csak a tekercsveszteség adja. Valójában ehhez további, 1-2 % mértékű veszteségek társulnak. 1000 kW feletti, pl. villamos mozdonyba épített DC motorok 3-5 %-os veszteségei, és ennek megfelelő 95-97 % hatásfoka az  $R'=0,03-0,05$  értékű viszonylagos ellenállásokkal érhető el, amelyek görbéinek esése  $-0,03, -0,05$  értékű meredekséggel írható le.

### Önellenőrző kérdések

1 Válassza ki a *hibás* válaszokat az állandómágneses motor tulajdonságok közül: (mind *hibás*)

- rugalmas, nem fordulatszám tartó,
- sebessége hiperbolikusan függ a terheléstől,
- indító nyomatéka áramfüggetlen,
- sebessége független a belső feszültségtől,
- hatásfoka az  $R'$ -nél nagyobb értékű,
- indítási árama kedvezően alacsony, nem igényel korlátozást.



2 Jelölje meg azokat a szempontokat, amelyektől *függ* a nyomaték: *a menetszámtól, a légrésindukciótól*, a légrés nagyságától, a feszültségtől, *a fluxustól*, fordulatszámától, a frekvenciától, *az áramtól*, a terhelő nyomatéktól, az időállandótól.

3. Jelölje meg a *hibás* válaszokat! (*a, b, c mind hibásak*):

- a) *„Mivel a két szomszédos pólus alatt az indukció irányai ellentétesek, a másik pólus alatt ugyanazon jellegű tangenciális F erők létrehozatalához a megváltozott indukcióirány miatt az áram irányának már nem kell változnia.”*
- b) *„Mivel a két szomszédos pólus alatt az indukció irányai ellentétesek, a másik pólus alatt ugyanazon jellegű tangenciális F erők létrehozatalához az áram irányának nem kell változnia.”*
- c) *„Mivel a két szomszédos pólus alatt az indukció irányai ugyanazok, a másik pólus alatt ugyanazon jellegű tangenciális F erők létrehozatalához az áram irányának változnia kell.”*

4. Jelölje meg a *helyes* válaszokat:

- a) *a nyomaték a mágneses térben lévő áramjárta vezetőkre ható erőkől származik,*
- b) a nyomaték a feszültségtől függ,
- c) a gépállandó csak az indukált feszültséget és az időállandót befolyásolja,
- d) a kommutátor végzi a fordulatszám szabályozását,
- e) az indukált feszültség és a kifejtett nyomaték egymásra hatnak,
- f) *a motor szögsebesség- áram, illetve szögsebesség-nyomaték függvényeinek meredeksége csak az R ellenállástól függ,*
- g) *a mozgásegyenlet a gyorsulás/lassulás nagyságát adja meg a nyomaték és a tehetetlenségi nyomaték függvényében.*
- h) *a sebesség változása alatt a nyomaték értéke változatlan maradhat, ha áramszabályozót alkalmazunk.*
- i) a DC motor álló helyzetben nem képes nyomatékot kifejteni.