



Budapest Műszaki Főiskola Bánki Donát Gépész és
Biztonságtechnikai Kar
Mechatronikai és Autotechnikai Intézet

Elektrotechnika

Egyenáramú gépek

Összeállította: **Langer Ingrid**
főisk. adjunktus

Elektromechanikai energiaátalakítók

Villamos energia: Legkönnyebben felhasználható és átalakítható energiafajta:

Villamos energiából			
kémiai	fény	hő	mechanikai
<ul style="list-style-type: none"> • akkumulátor töltése 	<ul style="list-style-type: none"> • izzólámpa • Fénycső • ív 	<ul style="list-style-type: none"> • Főzőlap • Ívkemence • vasaló 	<ul style="list-style-type: none"> • villanymotor • mágneskapcsoló • relé
Villamos energia keletkezik			
kémiaiból	fényből	hőből	mechanikaiból
<ul style="list-style-type: none"> • akkumulátor kisütése • galvánelem 	<ul style="list-style-type: none"> • napelem 	<ul style="list-style-type: none"> • MHD generátor 	<ul style="list-style-type: none"> • villamos generátorok

Villamos - mechanikai energiaátalakítók

1. Alakhű energiaátalakítók: a villamos és a mechanikai jel arányos egymással

- elektromechanikus műszerek
- hangszóró
- mikrofon
- lemezjátszó hangszedő

2. Egyenesvonalú energiaátalakítók:

- mágneskapcsoló
- mágneses tengelykapcsoló
- relé
- lineáris motor

3. Forgógépes átalakítók:

- motorok
- generátorok

Villamos forgógépek csoportosítása

1. Váltakozó áramú gépek:

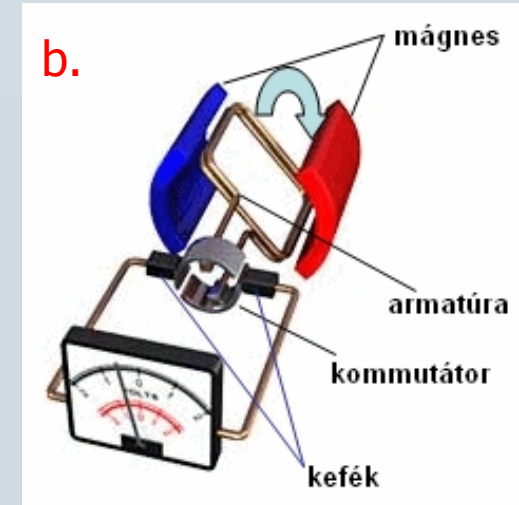
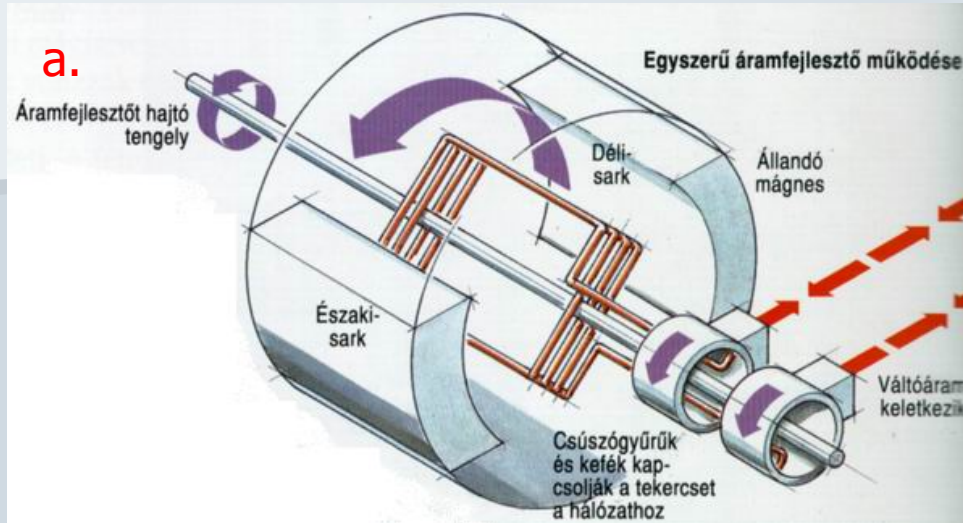
- Aszinkron (indukciós) gépek
 - csúszógyűrűs
 - kalickás (rövidrezárt forgórészű)
- Szinkrongépek
 - hengeres pólusú
 - kiálló pólusú
- Kommutátoros váltakozó áramú gépek
- Léptető motorok

2. Egyenáramú gépek:

- Külső gerjesztésű
- Párhuzamos gerjesztésű
- Soros gerjesztésű
- Vegyes gerjesztésű
- Permanens mágneses gerjesztésű

3. Univerzális motorok: egyen és váltakozó árammal egyaránt működnek

Egyenáramú generátor működési elve



a. ábra: Ha homogén B indukciójú mágneses térbe az ábrán látható módon vezető keretet helyezünk, melyet Ω szögsebességgel forgatunk, abban feszültség indukálódik. Az indukálódó feszültség a B indukció radiális komponenséből számítható:

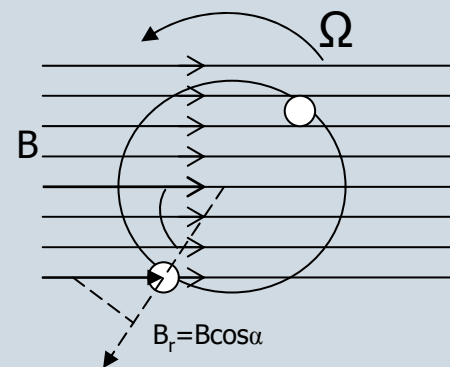
$$u_i = B_r \cdot 2 \cdot l \cdot v = B \cdot \cos\alpha \cdot 2 \cdot l \cdot v = 2 \cdot l \cdot B \cdot v \cdot \cos\Omega t$$

Ahol $\mathbf{v} = \Omega \mathbf{r}$ a kerületi sebesség, \mathbf{r} a keret sugara, l a keret ábra síkjára merőleges hossza.

Ez a gép (a.) *váltakozó feszültséget* szolgáltat.

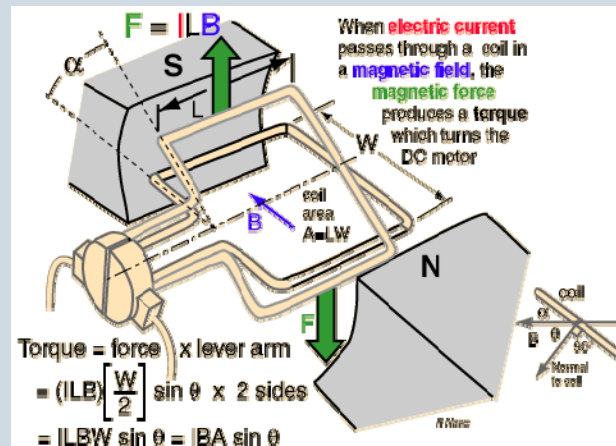
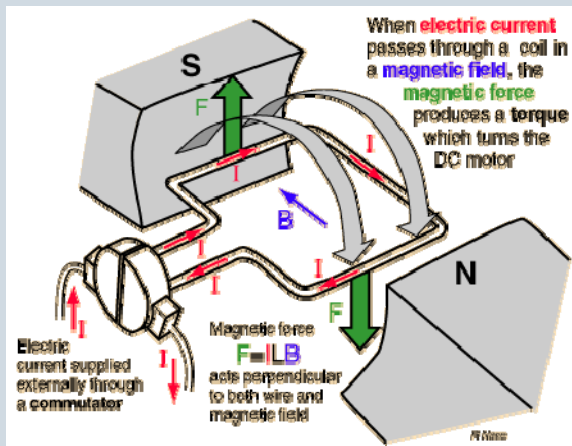
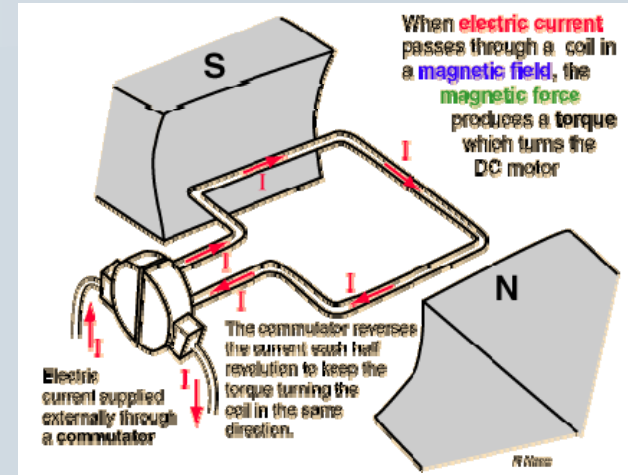
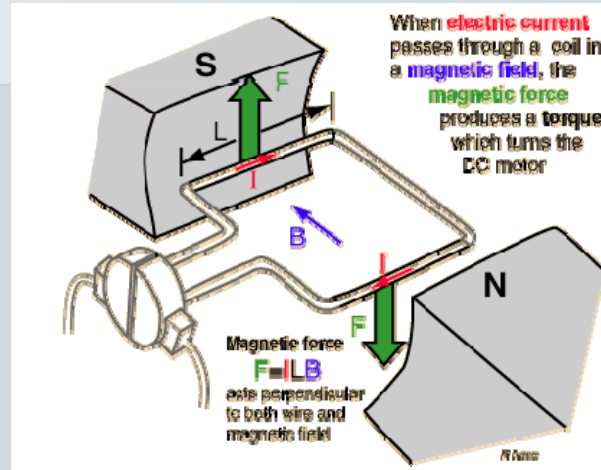
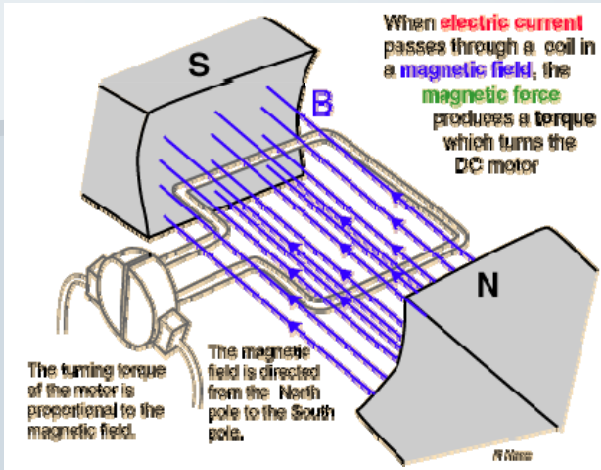
Ahhoz, hogy egyenáram folyjék a kefékre csatolt terhelésen a megjelenő szinuszos feszültséget *egyenirányítani* kell erre a gyakorlatban a mechanikus egyenirányító a **kommutátor** szolgál. (b. ábra)

Amikor a keretben az indukált feszültség iránya megfordul, a kefékkel érintkező félgyűrűk is megcserélődnek, így a kefék közötti feszültség *mindig egyirányú marad*.



http://www.walter-fendt.de/ph14hu/generator_hu.htm

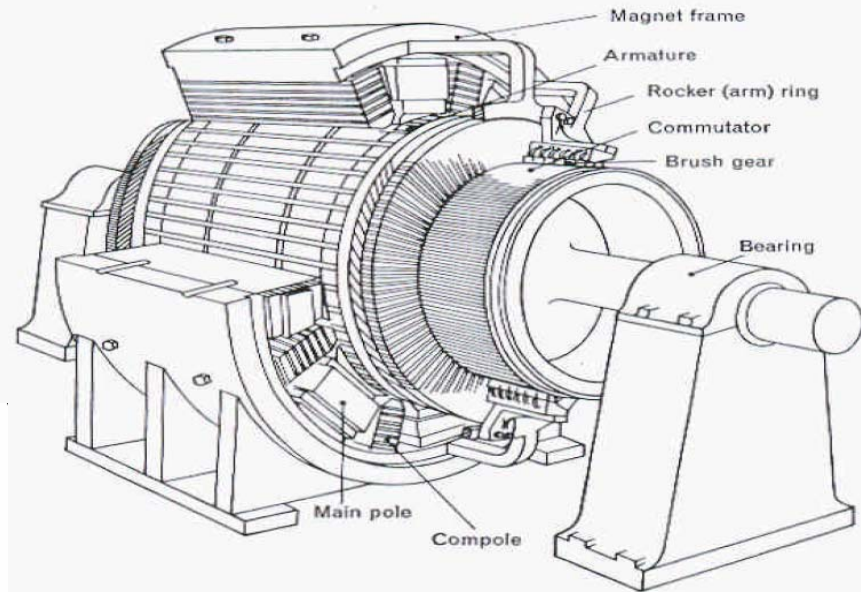
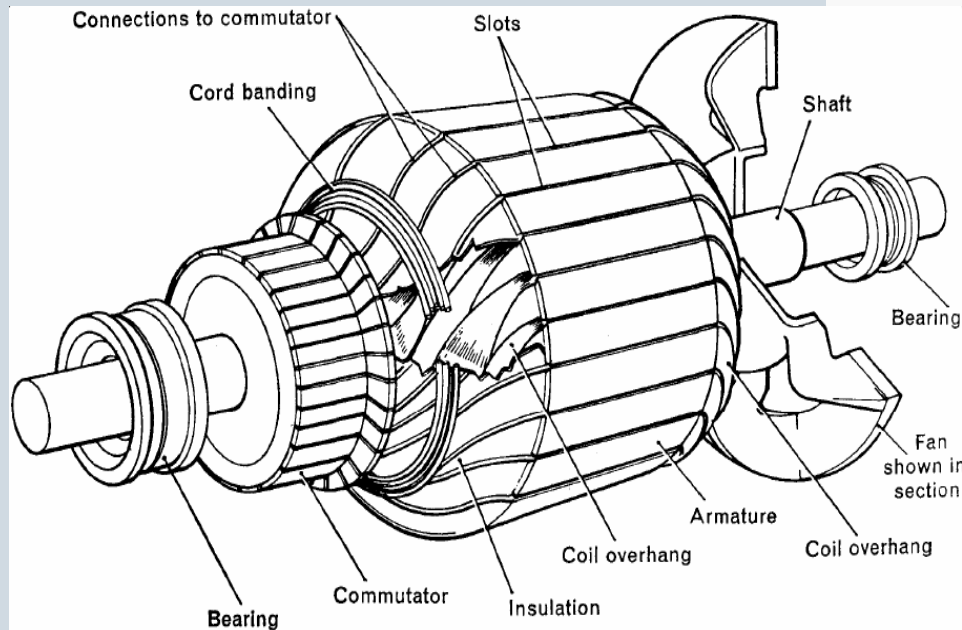
Egyenáramú motor működési elve



Az állandó mágnes mágneses terében helyezkedik el az áramjárta vezetőkeret. Az áram hatására a vezetőkeret körül is mágneses mező alakul ki. A két mágneses mező kölcsönhatása eredményezi azt a nyomatékot, amelynek hatására a vezetőkeret elfordul..

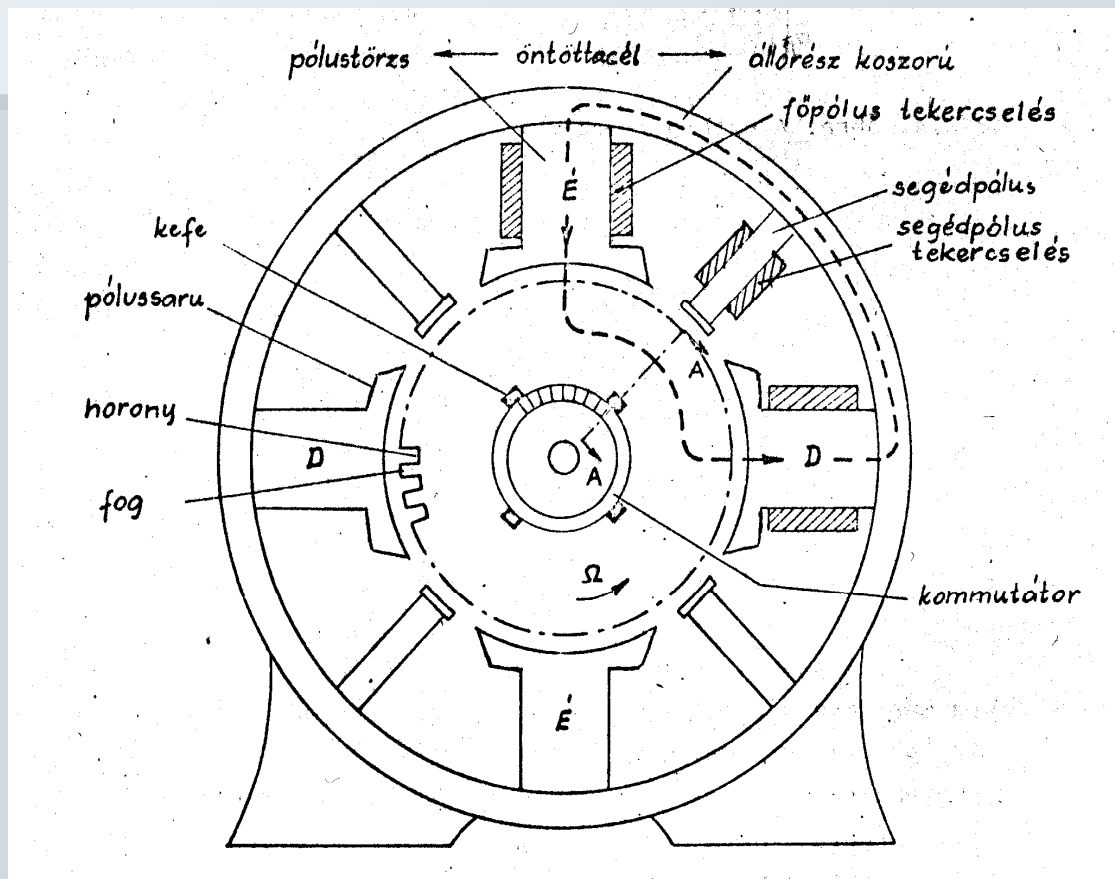
Az egyenáramú gép szerkezeti felépítése

A valóságos egyenáramú gépekben a vezető keret helyett tekercselést alkalmaznak. A tekercselés több kivezetése több kommutátor szegmenshez csatlakozik.



A *kefe* által rövidrezárt mindenkori két kommutátor szegmenshez tartozó menetben megfordul, *kommutál* az áram iránya.

Az egyenáramú gép szerkezeti felépítése



Állórész:

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

Armatura (forgórész):

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

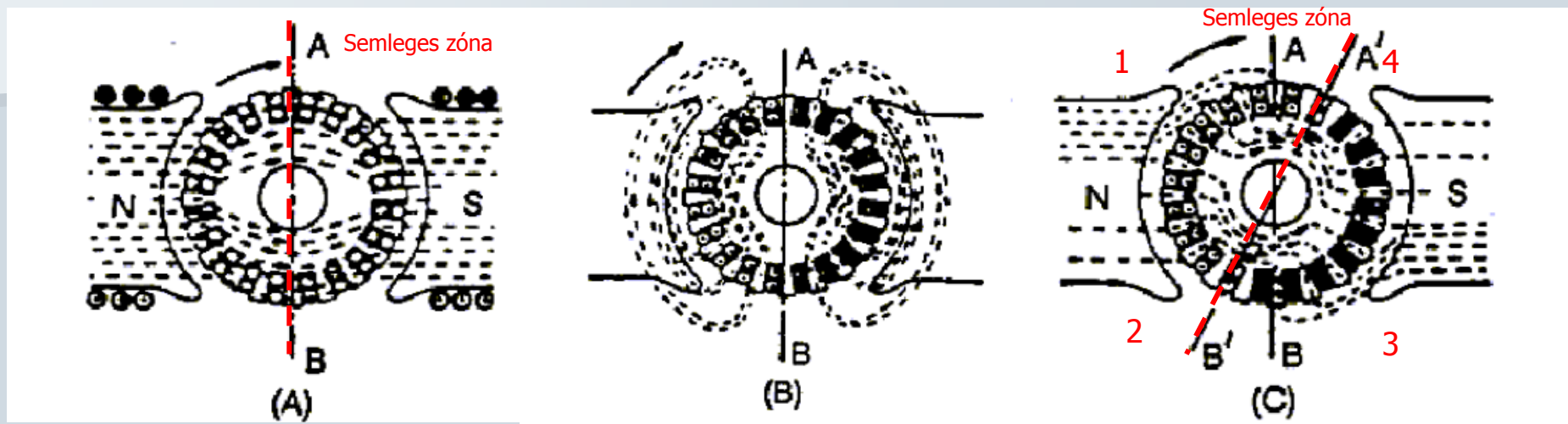
Kommutátor:

Egymástól és az armaturától szigetelt részszegmensekből felépített henger. A szegmensek közötti maximális feszültség kb. 15-20 V. Adott armaturafeszültség esetén ez megszabja a szükséges minimális szegmensszámot.

Kefék:

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

Armatura reakció, kompenzáló tekercselés és segédpólus



Ha a forgórészben nem folyik áram, a semleges zóna a főpólus fluxusára merőleges (A ábra). Ha az armatúrában is folyik áram, ez is létrehoz egy mágneses mezőt (B ábra). Az eredő mező e kettő eredője lesz. Ez az *armatura visszahatás* jelensége. Következményi:

- a *semleges zóna* helye megváltozik (A'-B') Ha a kefék az eredeti A-B vonalban maradnak, kefeszikrázás lép fel.
- A pólussaruk 1-3 szélén nő, 2-4 szélén csökken a mágneses indukció, összességében az eredő fluxus csökken.

E hatások kiküszöbölésére:

- a pólussaruk hornyaiba *kompenzáló tekercselést* helyeznek amit az armatura árama gerjeszt, így a pólussaruk mentén az armatura és a kompenzálótekercs eredő gerjesztése 0 lesz,
- az armatúrával sorba *segédpólus tekercset* kapcsolnak, melyek a rövidrezárt menet helyén kompenzálja az armatura reakció hatását a kefeszikrázást.

Az egyenáramú gép egyenletei

Indukált feszültség: A főpólus mágneses terében forgó vezetőkeretben indukálódó feszültség középértéke:

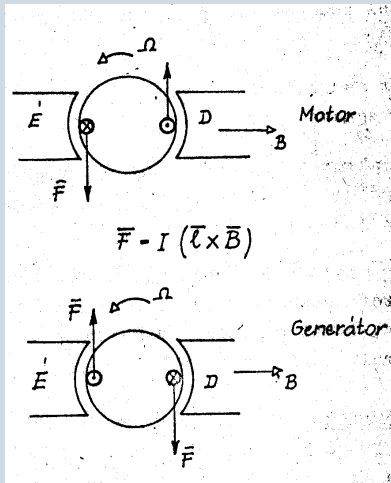
$$u_{i1} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} u_i d\omega t = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \frac{d\Phi}{dt} d\omega t = \frac{2}{\pi} \omega \int_{-\Phi_{\max}}^{\Phi_{\max}} d\Phi = \frac{2}{\pi} \omega \cdot \Phi_{\max}$$

N sorba kapcsolt vezetőketret esetén a gépben indukálódó feszültség, figyelembe véve, hogy $\omega = p\Omega$ (ahol ω a villamos, Ω a mechanikai szögsebesség, p a póluspárok száma):

$$U_i = N \cdot U_{i1} = \frac{2}{\pi} \cdot N \cdot p \cdot \Omega \cdot \Phi_{\max} = k \cdot \Phi_{\max} \cdot \Omega$$

Nyomaték:

Ahol $k = 2Np/\pi$ a *gépállandó*

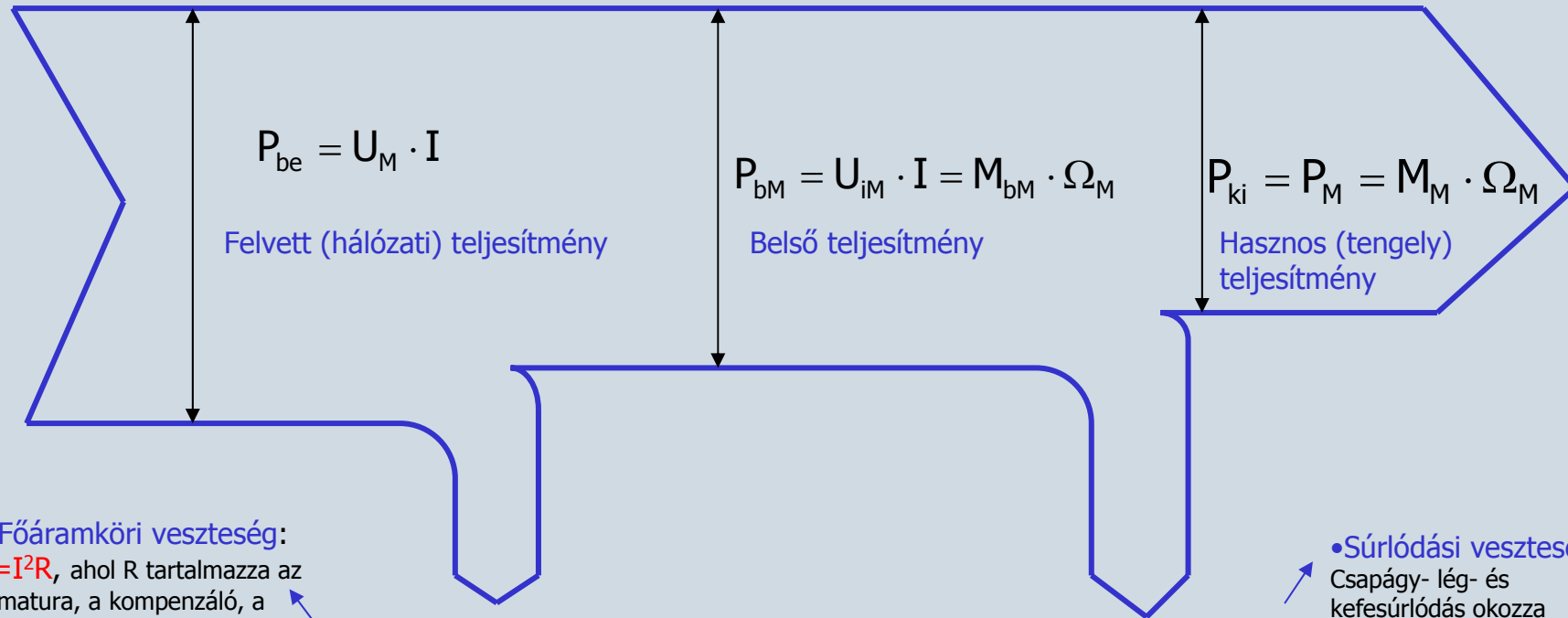


Az egyenáramú gép belső teljesítménye:

$$P_b = U_i \cdot I = M \cdot \Omega = k \cdot \Phi \cdot \Omega \cdot I$$

$$M = k \cdot \Phi \cdot I$$

Teljesítménymérleg, hatásfok Motor



- **Főáramkörüi veszteség:**

$P=I^2R$, ahol R tartalmazza az armatura, a kompenzáló, a segédpólus és a soros gerjesztőtekercs ohmos ellenállását és a kefék átmeneti ellenállásait

- **Gerjesztési veszteség:**

a sönt- és a külső gerjesztésű tekercsek veszteségei:

$P=U_g I_g$

Villamos veszteségek (3-15%)

Forgási veszteségek (3-15%)

$$\eta_M = \frac{P_M}{P_h + P_{gM}} = \frac{P_M}{P_M + \sum P_{veszt} + P_{gM}}$$

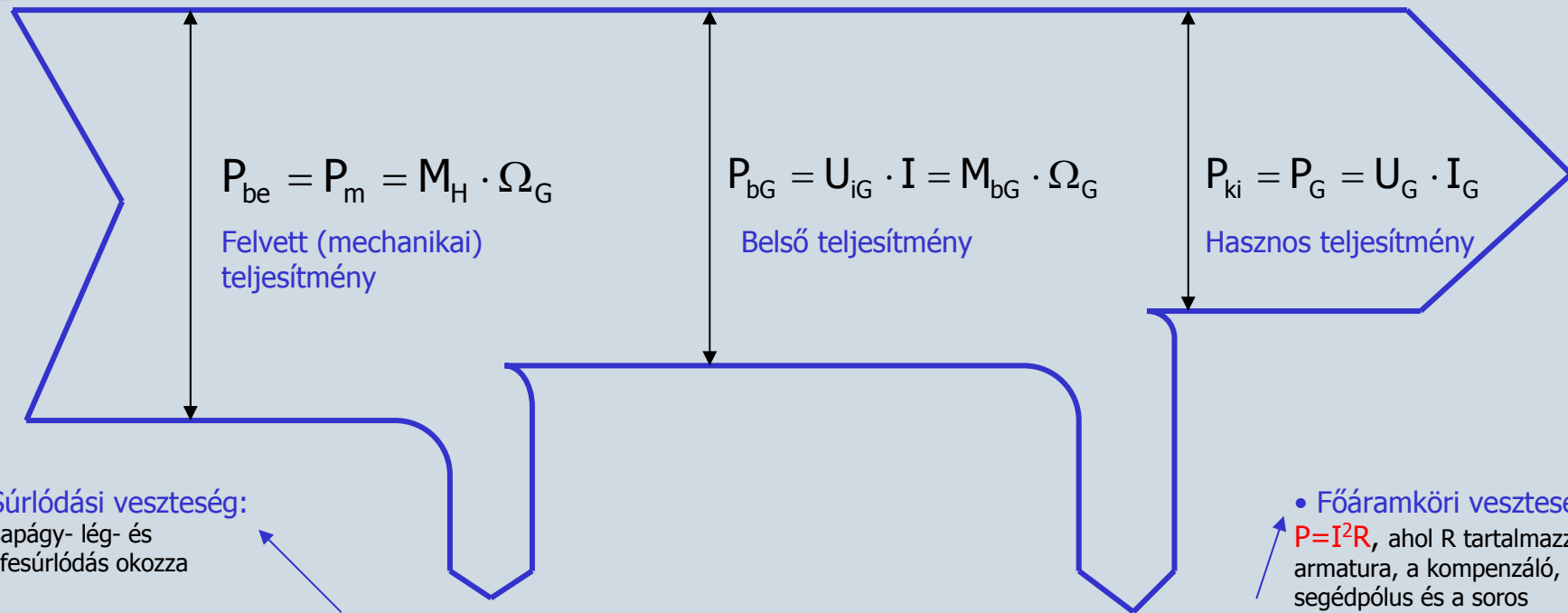
- **Súrlódási veszteség:**

Csapágy- lég- és kefesúrlódás okozza

- **Vasvesztés:**

Az örvényáram és hiszterézis veszteségből adódik.

Teljesítménymérleg, hatásfok Generátor



•**Súrlódási veszteség:**

Csapágy- lég- és kefesúrlódás okozza

•**Vasveszteség:**

Az örvényáram és hiszterézis veszteségből adódik.

Forgási veszteségek (3-15%)

Villamos veszteségek (3-15%)

•**Főáramköri veszteség:**

$P=I^2R$, ahol R tartalmazza az armatura, a kompenzáló, a segédpólus és a soros gerjesztőtekercs ohmos ellenállását és a kefék átmeneti ellenállásait

•**Gerjesztési veszteség:**

a sönt- és a külső gerjesztésű tekercsek veszteségei:

$P=U_g I_g$

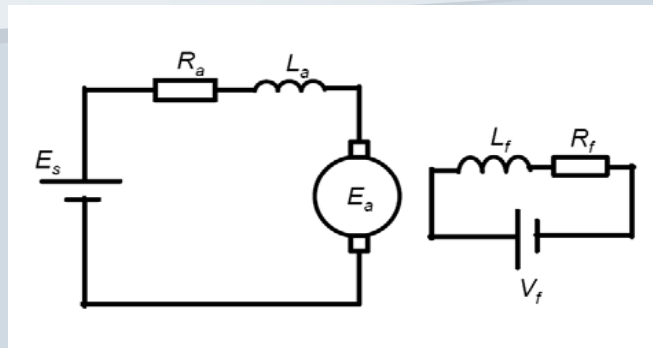
$$\eta_G = \frac{P_G}{P_m + P_{gG}} = \frac{P_G}{P_G + \sum P_{veszt} + P_{gG}}$$

Egyenáramú gépek gerjesztő teljesítmény- szükséglete és armaturaköri feszültségesése

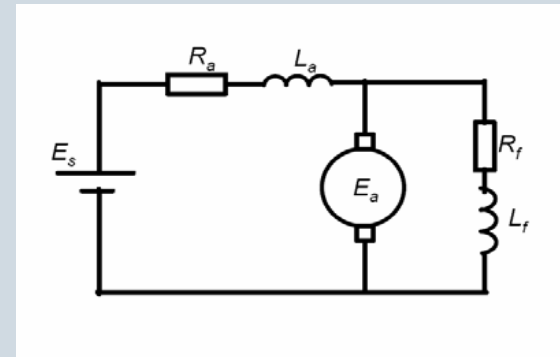
P_n [kW]	$\frac{P_g}{P_n}$ [%]	$\frac{I_n \cdot R}{U_n}$ [%]
1 - 5	5 - 3	8 - 5
5 - 20	3 - 2	5 - 3
20 - 100	2 - 1	3 - 2
100 -	1	2 - 1

Az egyenáramú gépek gerjesztése

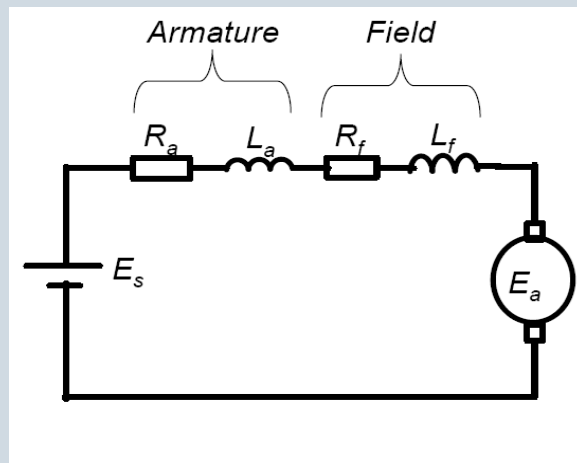
Gerjesztési mód = A főpólus fluxusának létesítése



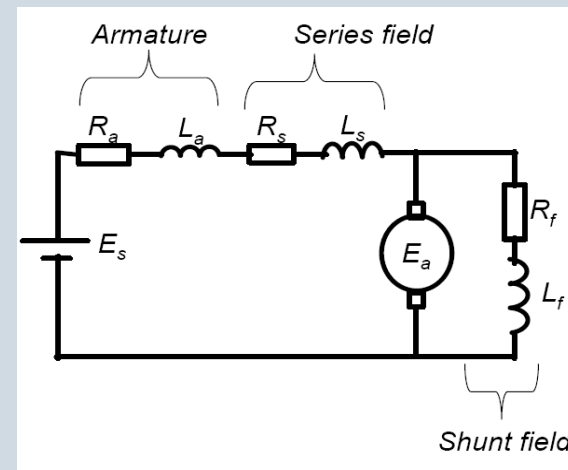
Külső gerjesztés



Párhuzamos (sönt) gerjesztés

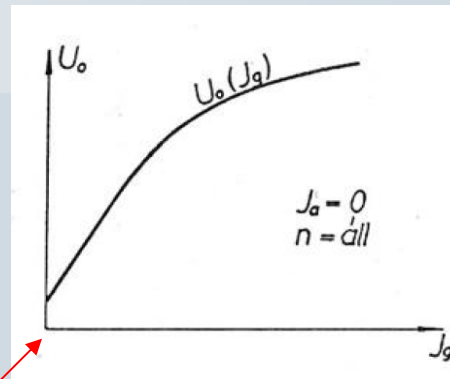
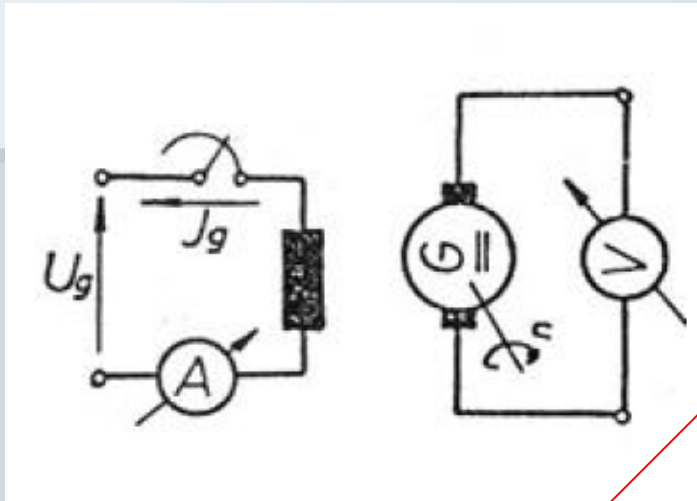


Soros gerjesztés

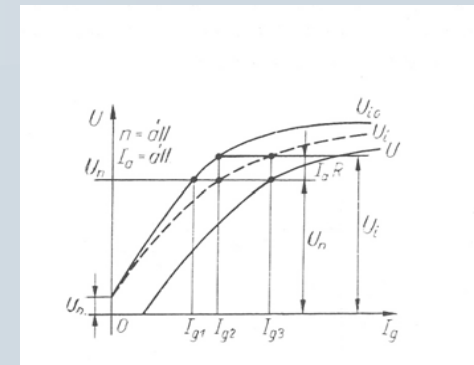


Vegyes (kompaund) gerjesztés

Külső gerjesztésű egyenáramú generátor jelleggörbéi

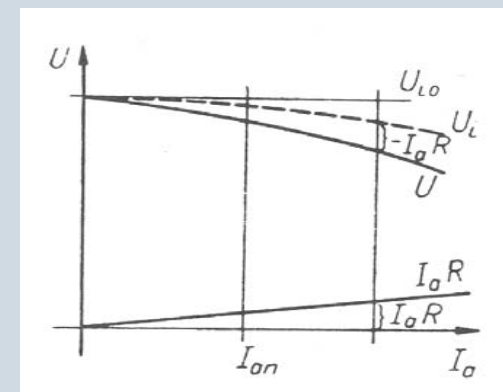


Üresjárási jelleggörbe



Terhelési jelleggörbe

A gép állórészét külső gerjesztő hálózatra kapcsolják és a forgórészét egy hajtógép segítségével állandó fordulatszámmal forgatják. Az armatúra kapcsain mérve az indukált feszültséget az ún. *üresjárási jelleggörbét* kapjuk. A görbe érdekessége, hogy *nem az origóból* indul zérus gerjesztő áram esetén sem. Ennek oka: a ferromágneses anyagokban van *visszamaradott mágnesség* a korábbi működés miatt (*remanencia*). A ferromágneses anyag telítődése miatt nem lineáris a görbe menete. A kapocsfeszültség *terheléskor* kisebb, mint *üresjárásban*. A feszültségesés nagyobb az ohmos belső feszültségesésnél, mert az armatúra-visszahatás csökkenti a gép főfluxusát és ez az indukált feszültség csökkenését eredményezi. A kapocsfeszültséghez az ohmos feszültségesést hozzáadva nyerjük a gép *indukált feszültségét*. (szaggatott vonal)



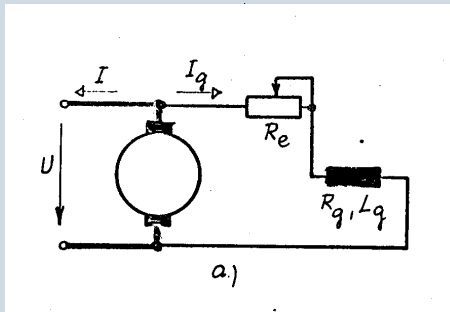
Külső jelleggörbe

Az ábrán látható, hogy a feszültség tág határok között stabilan beállítható.

Párhuzamos gerjesztésű egyenáramú generátor

A párhuzamos gerjesztésű egyenáramú generátor *villamos energia befektetése* nélkül, csak mechanikai energia segítségével állít elő villamos energiát. → **Generátor elv, az öngerjedés elve (Jedlik Ányos 1861):**

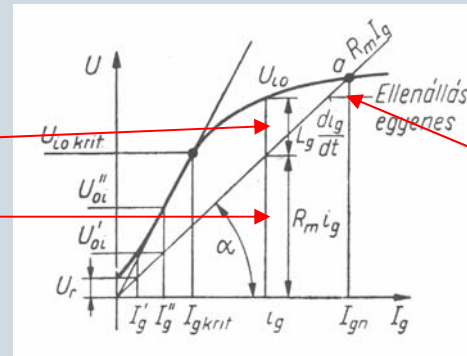
A generátor gerjesztő árama a gerjesztőkör zárása után fokozatosan alakul ki. Ez a folyamat a *felgerjedés*. Ennek feltétele, hogy a generátor vastestében *remanens fluxus* legyen. Ha a remanens feszültség olyan áramot hajt keresztül a gerjesztőtekercsen, amely növeli a remanens fluxust, az öngerjedés végbemegy. Új gép esetén, a gerjesztőtekercs pólusainak felcserélésekor vagy ellentétes irányú forgatáskor az öngerjedés folyamata nem indul meg.



$$U = U_R + U_L$$

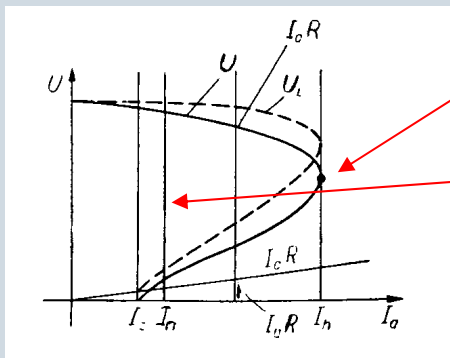
$$U_L = L \frac{di_g}{dt}$$

$$U_R = i_g(R_e + R_g)$$



Ha u_L feszültség >0 , az áram deriváltja pozitív, így i_g növekszik. $u_L=0$ esetén alakul ki az állandósult állapot

Az öngerjedés folyamata



A terhelés növelésével a generátor árama I_h határáramig növekszik, ezután csökken. A névleges áramig a sönt generátor is *feszültségtartó*.

Terhelési jelleggörbe

Egyenáramú motorok jelleggörbéi

$$u_i = k \cdot \Phi \cdot \Omega$$

$$M = k \cdot \Phi \cdot I$$

$$u_k = u_i + I \cdot R$$

Üresjárásban ($I=0$):

$$U_k = U_{i0} = k \cdot \Phi \cdot \Omega_0$$

Terheléskor ($I \neq 0$):

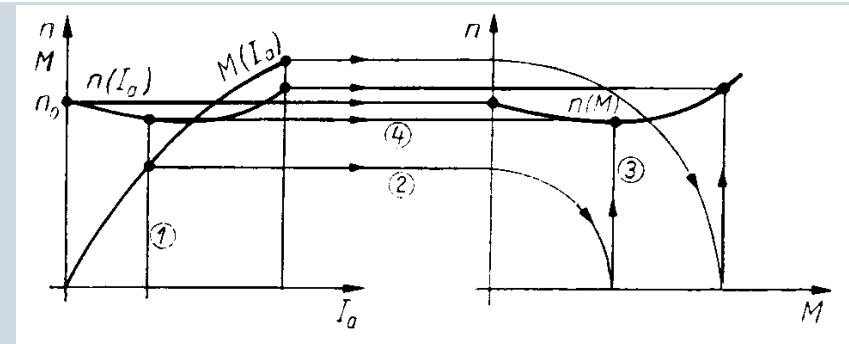
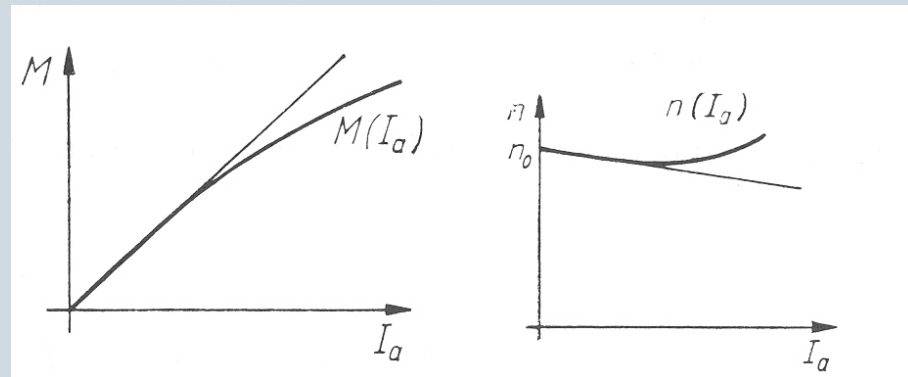
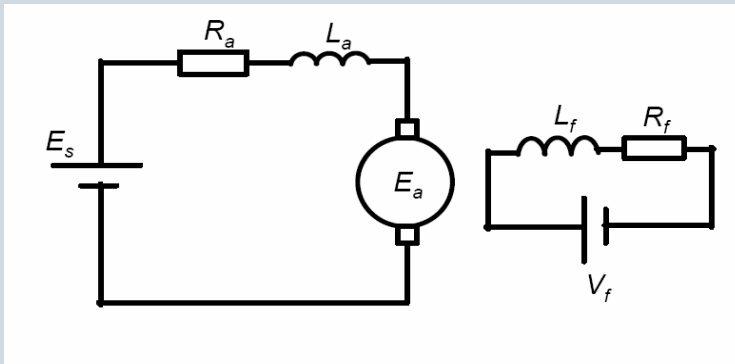
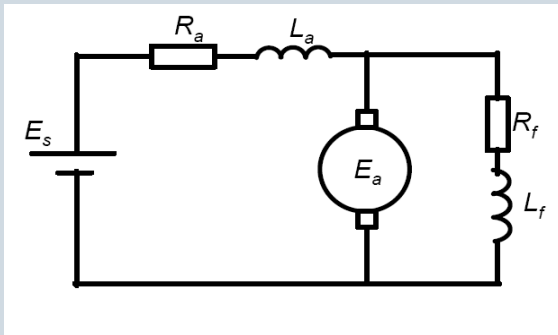
$$U_i = k \cdot \Phi \cdot \Omega = U_k - IR = k \cdot \Phi \cdot \Omega_0 - \frac{M}{k\Phi} \cdot R \quad / : k \cdot \Phi$$

$$\Omega = \Omega_0 - \frac{M}{(k\Phi)^2} \cdot R$$

ahol $\Omega_0 = \frac{U_k}{k \cdot \Phi}$

Külső és párhuzamos gerjesztésű egyenáramú motor

Motorüzemben a sönt és a külső gerjesztésű gép között nincs különbség: a fluxus állandó (a kompenzált gépeknél). A motor egyik legfontosabb tulajdonsága a *fordulatszám tartás*, azaz növekvő nyomaték mellett nem változik meg lényegesen a fordulatszám.



A nyomaték-fordulatszám jelleggörbe szerkesztése

Soros gerjesztésű egyenáramú motor

A gép fluxusa arányos az armatura árammal:

$$\Phi = c \cdot I$$

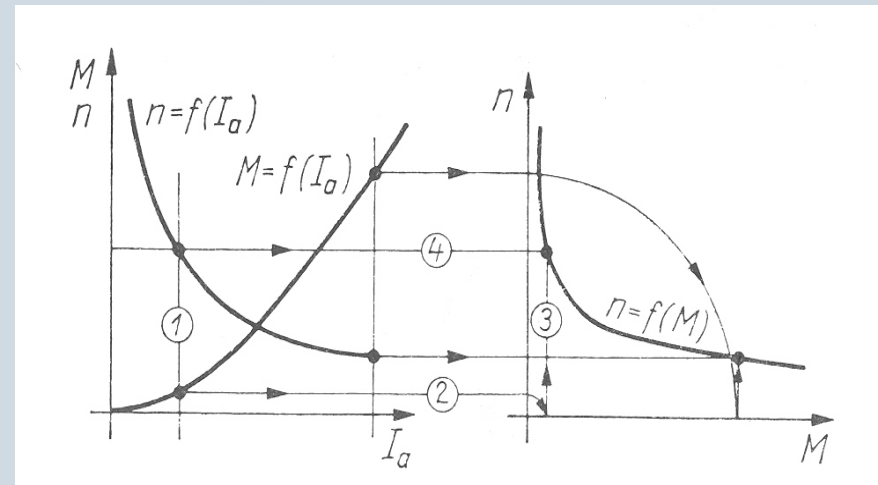
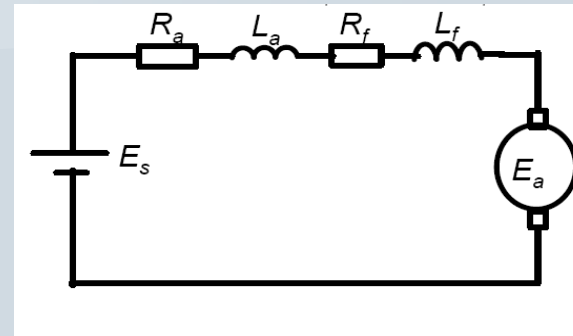
A nyomaték:

$$M = k_1 \cdot \Phi^2 = k_2 \cdot I^2$$

$$U = k \cdot \Phi \cdot \Omega + R \cdot I = k \cdot \Phi \cdot \Omega + R \cdot \frac{\Phi}{c}$$

$$\Omega = \frac{U}{k \cdot \Phi} - \frac{R}{k \cdot c}$$

$$\Omega = \sqrt{\frac{k_1}{M}} \cdot \frac{U}{k} - \frac{R}{k \cdot c} = k_3 \cdot \frac{U}{\sqrt{M}} - k_4 \cdot R$$



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 nyomatékra, az elért fordulatszámot már kisebb nyomatékkal is fenn lehet tartani.

Egyenáramú motorok üzemi kérdései

1. A fordulatszám változtatása

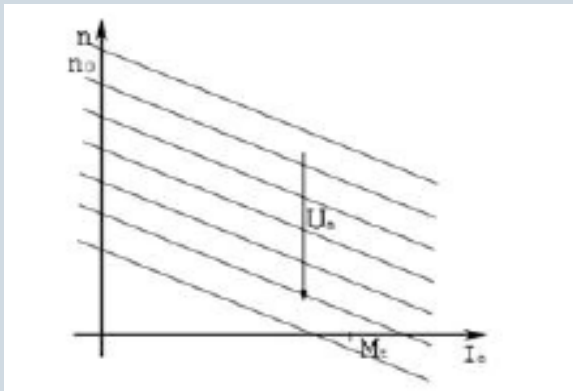
$$\Omega = \frac{U}{k\Phi} - \frac{M}{(k\Phi)^2} \cdot R$$

Az egyenlet alapján a fordulatszám-változtatás lehetőségei:

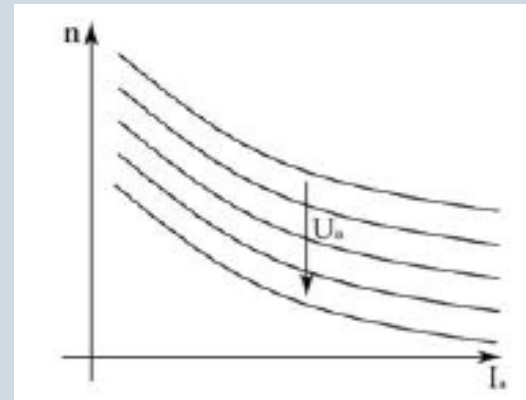
- I. U kapcsolásfeszültség-változtatásával
- II. $M \neq 0$ esetén R változtatásával
- III. Φ változtatásával

I. U_a (armatúra kapcsolásfeszültség) változtatása

- veszteségmentes
- ez a leggyakoribb és legjobb módszer



Külső- és párhuzamos gerjesztésű motor

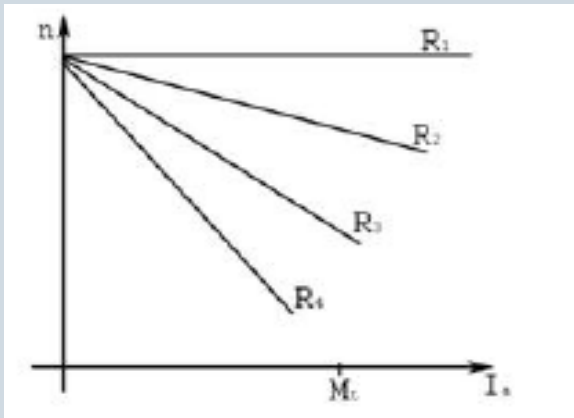


Soros gerjesztésű motor

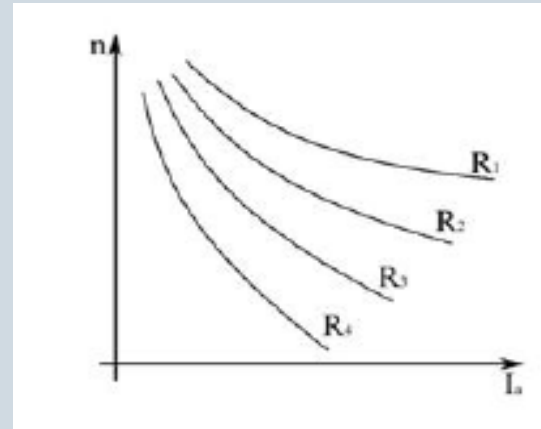
A fordulatszám változtatása

II. R (főáramköri ellenállás) változtatása

- az üresjárás pont nem változik (külső gerjesztésűnél), a sorosnál nincs üresjárás fordulatszám
- veszteséges, hőenergiát termel



Külső- és párhuzamos gerjesztésű motor



Soros gerjesztésű motor



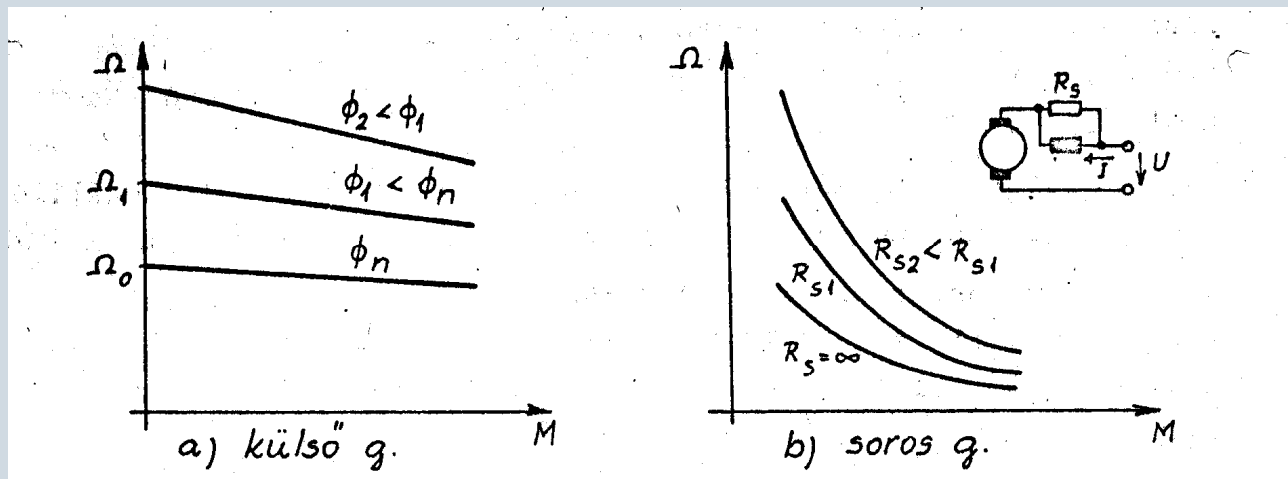
A gyakorlatban az ellenállásokat a velük párhuzamosan kapcsolt mágnescapcsolókkal kapcsolják be és ki.

A fordulatszám változtatása

III. Φ (fluxus) változtatása

- Előny: kis teljesítményen lehet beavatkozni
- Hátrány: a gerjesztőkör időállandója nagy, ezért lassú a fluxus változás, valamint Φ csökkenésekor a motor nyomatéka is csökken

A gyakorlatban a vas telítődése és a gerjesztőtekerecs túlmelegedése miatt a fluxus a névleges érték fölé tartósan nem emelhető. Ezért csak a fluxus csökkentés (mezőgyengítés) jöhet szóba.

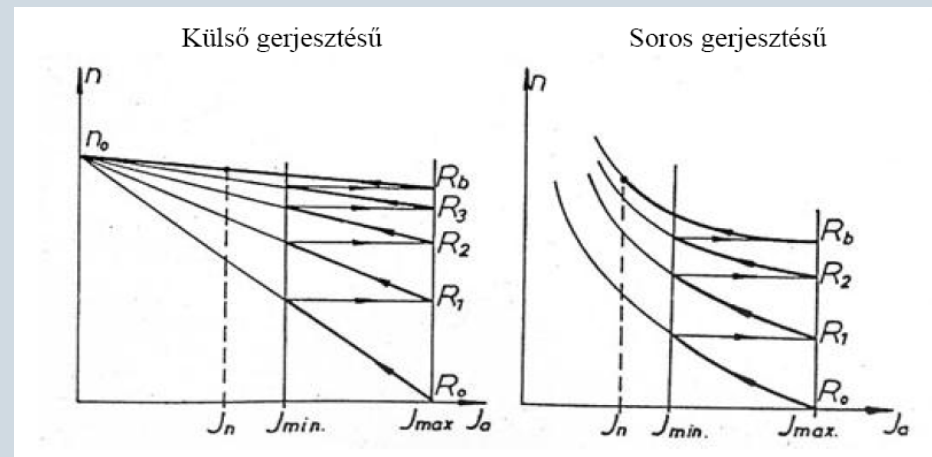
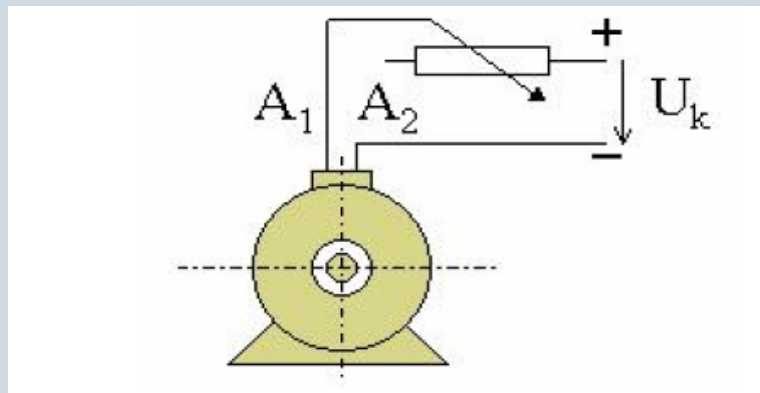


2. Indítás

$$U_K = U_i - I_a \cdot R_a \Rightarrow I_a = \frac{U_K - U_i}{R_a} \quad \text{ahol} \quad U_i = k \cdot \Phi \cdot \Omega$$

Indításkor $\Omega=0$, ezért nem indukálódik feszültség az armatúrában: $U_i=0$, ezért az armatura áram 10-30 szorosa is lehet a névleges áramnak. Ez a nagy armatura áram nemcsak a hálózatra nézve káros, hanem a motorra nézve is, ugyanis nagy teljesítményű motornál olyan nagy áram adódik, amely tönkretelheti a kommutátort és a szénkeféket is. Ezért az indítási áramot mindenképpen csökkenteni kell:

I_a -t csökkenthetjük például az armatúrával sorba kötött ellenállások bekapcsolásával (a tört nevezője nő) Ennél a módszernél kihasználjuk, hogy a motor rövid ideig elviseli a névlegesnél kissé nagyobb armatúraáramot. (Az ellenállások használata miatt ez is veszteséges megoldás.)



3. Fékezés

1. Visszatápláló (generátoros) fékezés

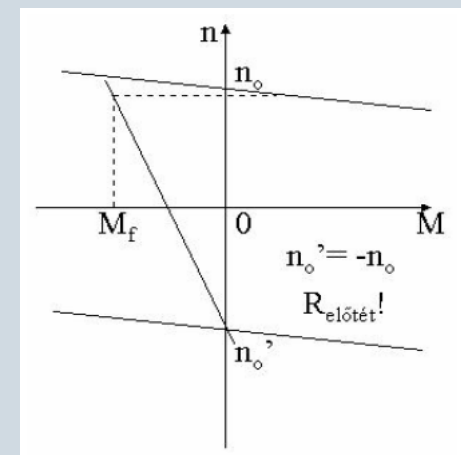
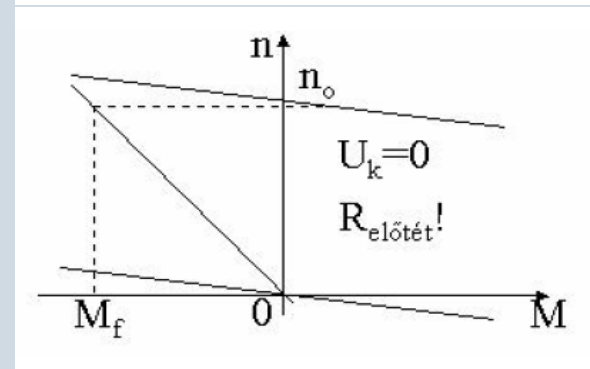
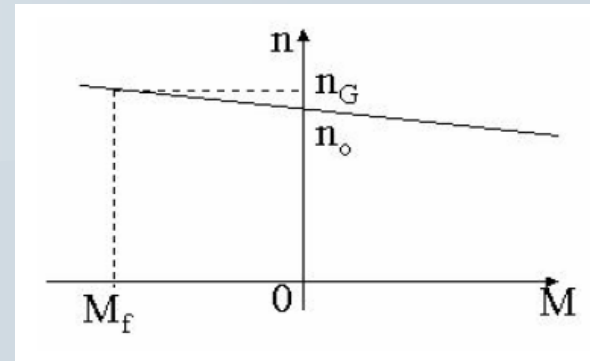
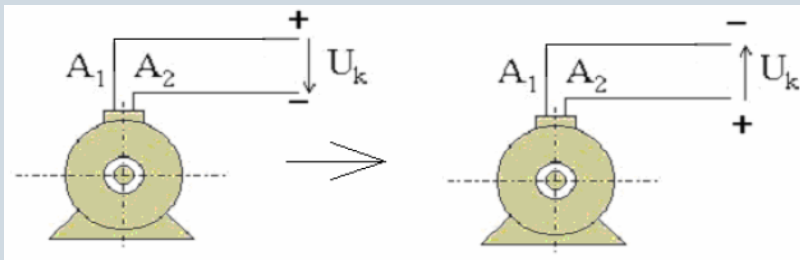
Ez a módszer csak az üresjárási fordulattal felett használható, azaz generátoros üzemmód esetén. Generátoros fékezés esetén a motort, mint generátort üzemeltetik, és a motor által termelt energiát a hálózatba visszatáplálják. Ez a fajta fékezési mód a soros motornál nem alkalmazható. Hátrány, hogy a 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 hasonlóan, mint az előzőnél.

3. Ellenáramú (irányváltásos) fékezés

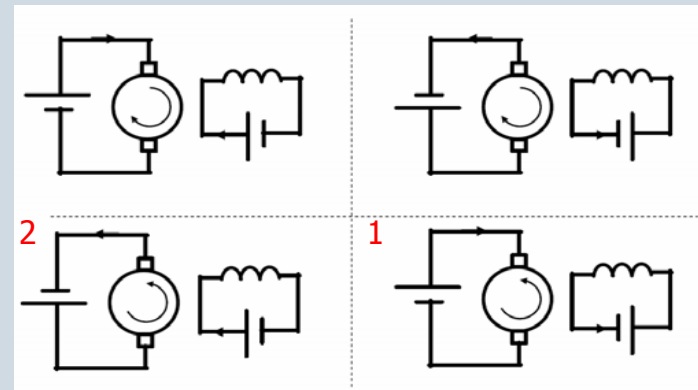
Ebben az esetben, mint ahogy az ábrán is látszik, a motor armatúra kapocsfeszültségének a polaritását megcserélik, ezáltal a motorban folyó áram ellenkező iránya miatt a motor a másik irányba akarna forogni, ez azonban csak úgy lehetséges, ha a motor először megáll. Tehát ezzel a módszerrel meg lehet teljesen állítani a motor forgását, de ez nagy veszteségekkel jár (névleges mechanikai, névleges villamos teljesítmény).



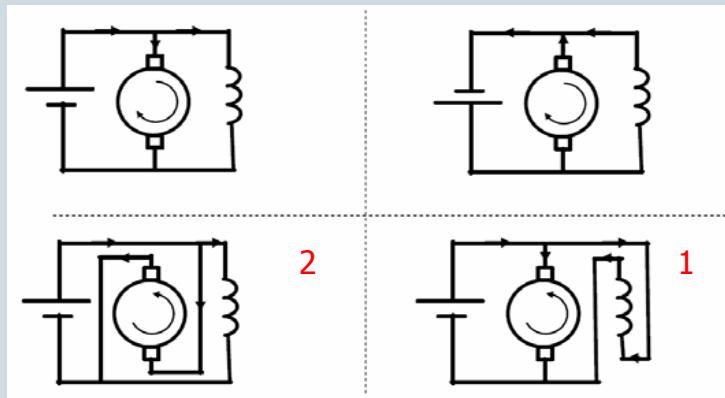
4. Forgásirány váltás

Megváltozik a motor forgásiránya ha:

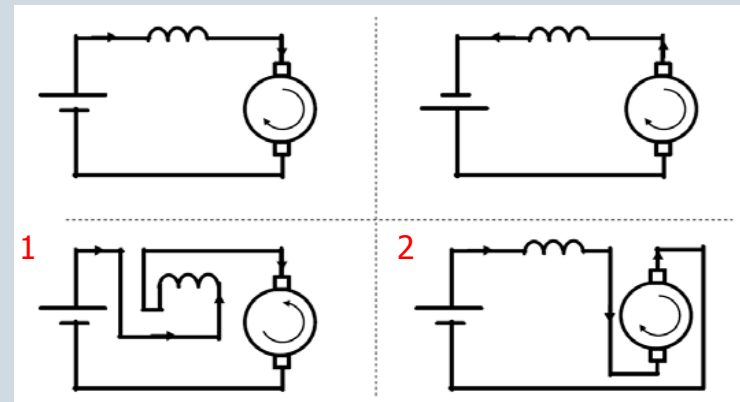
1. Változatlan armatura áram mellett megváltoztatjuk a gerjesztés irányát
2. Változatlan irányú gerjesztés mellett megváltoztatjuk az armaturaáram irányát



Külső gerjesztésű motor



Párhuzamos gerjesztésű motor



Soros gerjesztésű motor