

# 13. DC motorok

Írta: Csapó Dániel

Lektorálta: Veréb Szabolcs

A tananyagrészt végére megértjük az egyenáramú motorok működésének alapjait, felépítésüket, főbb felhasználási területeit és ennek a tudásnak birtokában magabiztosan fogjuk őket kezelni a mérnöki és mindennapi életben.

## BEVEZETŐ

---

Bizonyára minden Kedves Olvasó, akit már gyermekkorában is vonzott a tudomány és technika világa, szétszerelte távirányítós kisautóját, hogy megnézze mit is talál a motorháztető alatt. A következő képen szereplő alkatrész ezért ismerős lehet mindenki számára és akár kellemes gyermekkori emlékeket is idézhet.



Szerző: Dcaldero8983 [CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)]  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DC\\_Motor.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DC_Motor.jpg)

**1. ábra** - Kis DC motor

Most itt az idő, hogy még elemibb alkatrészekre bontsuk villamos versenyautónkat és megértsük mi és milyen elven hajtotta azt.

## MŰKÖDÉSI ALAPELV

Minden villamos gép működése két mágneses mező kapcsolatán és egymásra hatásán alapul. Ez ugyanaz a hatás, amivel már mindenki találkozott, amikor két mágnest közelített egymáshoz. Azonos pólusok esetén taszító erő lépett fel, eltérő pólusok esetén a mágnesek vonzották egymást.

Álljunk is itt meg egy rövid időre, hogy tisztázzunk pár alapvető fogalmat a mágnesesség témakörében. Egy mágnes legalapvetőbb tulajdonsága, hogy mágneses teret hoz létre. Ezt a teret különböző, természetben megtalálható anyagok ötvöztetésével (állandó mágnesek), vagy épített szerkezetekkel (elektromágnesek) kelthetjük. A mágneses mező poláris, mindig két ellentétes pólus létezik (észak és dél), önmagában csak az egyik sosem. Ahogy Földünk mágneses mezejét, úgy más mágneses mezőket sem látunk szabad szemmel, csak hatásuk alapján érzékeljük őket. Szemléltetésük mágneses erővonalakkal vagy más néven fluxusvonalakkal történik, melyek minden esetben zárt görbék, az egyik pólusból kiindulva az ellentétes pólusba futnak.

Azt, hogy iránytűnk a mágneses mezőben milyen erősen orientálódik észak-déli irányba, a mágneses mező erőssége, vagy a fizika szóhasználatával, a mágneses indukció nagysága jellemzi. Ennek mértékegysége a Tesla ( $T$ ), a XIX. század nagyhatású feltaláló, fizikusa, Nikola Tesla (1856-1943) emlékére.

Mindenki találkozott már azzal a jelenséggel, hogy bizonyos anyagok 'vonzzák' a mágnesünket, míg más anyagok semlegesen viselkednek velük szemben. Valójában minden anyag reagál a mágneses tér jelenlétére, ugyanakkor a reakció jellege és erőssége eltérő.

Azokat az anyagainkat amelyek erősen kölcsönhatnak a mágnessel, ferromágneses anyagoknak nevezzük. Úgy is elképzelhetjük a ferromágnesünket, mintha azok belsejében sok-sok kicsi elemi mágnes lenne, melyek külső tér hatására azonos irányba rendeződnek, így kifelé mágneses tulajdonságot mutatnak. Az úgynevezett lágy-mágneses anyagok, elvesztik mágnesezettségüket a külső tér megszűnése esetén, míg a kemény-mágneses anyagok (állandó mágnesek), belső mágneses rendezettségüket megtartva, állandó teret hoznak létre, külső gerjesztés nélkül is.

### Kitekintés

Bár a latin ferrum szó vasat jelent, nem csak a vas mutat ferromágneses tulajdonságot. Az anyagok mágnesességének gyökerei a kvantumfizika jelenségeire vezethetők vissza. Az elektronok atommag körüli mozgása (pálya-momentum) és saját tengelyük körüli forgása (spin-momentum) határozza meg az alapvető mágneses tulajdonságokat, így bizonyos elektronszerkezettel rendelkező elemei a periódusos rendszernek ferromágneses elemek. A vas, kobalt és nikkel és ezek ötvözeit, valamint bizonyos ritkaföldfémek, úgymint a neodímium vagy szamárium, az ipar által leggyakrabban használt állandó mágneses anyagai.

Itt érdemes kitérni az elektromágnesesség és elektromosság egy másik fontos fogalmára az induktivitásra.

Az áramjárta tekercs mágneses teret hoz létre, melynek erőssége változik az áram változásával. A mágneses-tér megváltozása ezzel egyidejűleg feszültséget indukál a vezetőben. Ez a feszültség (elektromotoros erő) olyan áramot kelt a vezetőben (ha az zárt áramkört képez), amely olyan mágneses teret hoz létre, ami az őt létrehozó hatást gyengíteni igyekszik. Ezt a törvényszerűséget mondja ki **Lenz-törvénye**.

Egy tekercset is tartalmazó áramkörben tehát az áram nem változhat ugrásszerűen. A tekercs áramváltozásával szemben kifejtett ellenálló képességét jellemezzük az **induktivitással**.

Heinrich Lenz után jelölésére az  $L$  szimbólumot használjuk, SI-beli mértékegysége pedig a  $H$  (Henry). Minél nagyobb tehát az induktivitása egy áramkörnek, annál nehezebb az áramát hirtelen változtatni. Egy tekercs induktivitását elsősorban a geometriai paraméterei, menetszáma és anyagjellemzői határozzák meg (vasmagos, légmagos tekercs).

A villamos gépeink tárgyalásakor elengedhetetlen fontosságú az induktivitás fogalma, hiszen tekercselést tartalmazó gépeink alapvetően induktív-jellegű áramkörnek tekinthetők.

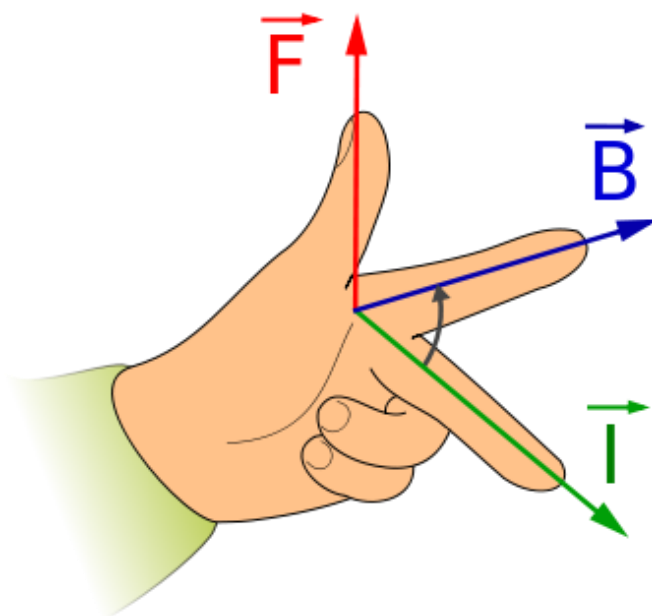
Vizsgáljuk meg tehát, hogy a kis villamos versenyautóinkban hogyan jön létre mágneses tér és mi kényszeríti forgásra azt.

Ehhez először idézzük fel Ampère-törvényét (**André-Marie Ampère 1775-1836**), amely kimondja, hogy ha egy vezetőben áramot vezetünk, akkor az mágneses teret hoz létre maga körül. Abban az esetben, ha ezt az áramjárta vezetőt mágneses térbe helyezzük, akkor abban erő fog ébredni, ami arányos az áram és a külső mágneses tér nagyságával. Ezt az összefüggést Hendrik Antoon Lorentz holland fizikus fedezte fel, így a róla elnevezett Lorentz-törvény a következő alakban írható fel:

$$F = B \cdot I \cdot l$$

ahol  $B$  a mágneses indukció nagysága,  $I$  az áram értéke és  $l$  a vezető hossza (amennyiben a vezető merőleges szöget zár be a mágneses erővonalakkal).

Az erő irányát a balkéz-szabály (Fleming-féle balkéz-szabály) használatával állapíthatjuk meg, ahol a középső ujjunk jelöli az áram, a mutató ujjunk a mágneses tér és a hüvelyk ujjunk pedig az ébredő erő irányát.

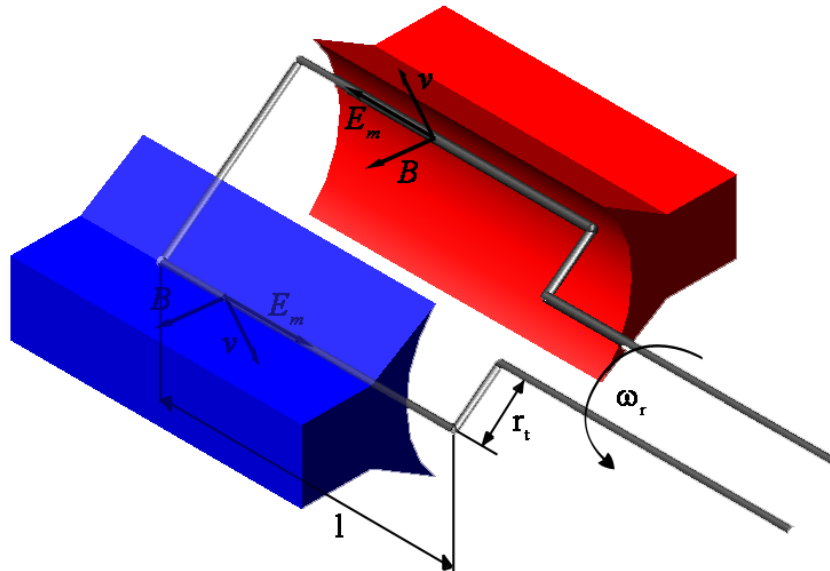


Szerző: Jfmeleiro [CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)]  
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LeftHandRule.svg>

**2. ábra** - Balkéz-szabály

Az általunk vizsgált, legegyszerűbb felépítésű DC motorban a mozdulatlan mágneses teret állandó mágnesek (PM - Permanent Magnet) hozzák létre.

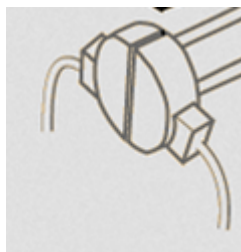
Képzeld el, hogy mi történik abban az esetben, amikor mágneses térbe egy áramjárta vezető hurkot helyezünk, ahogyan azt az alábbi ábrán is láthatjuk.



3. ábra - Vezető keretben mozgó elektronokra ható erő mágneses térben

A vezetőre ható Lorentz-erő forgásra készíti a hurkot, forgatónyomatékot hoz létre. A forgatónyomaték egy adott erőhatás forgásállapot változtató képességének nagyságát megadó mennyiség, melyet Nm-ben (newtonméter) mérünk. Amikor a játszótéri körhintát 'behajtjuk', megváltoztatjuk annak forgásállapotát, forgatónyomatékot gyakorolunk rá. A Lorentz-erő is hasonló hatást fejt ki a vezető hurokra, addig a pontig, ahol a vezető két ágára ható erő közös hatásvonalú, de ellentétes irányú lesz (közös tengelybe esik). Ekkor egyensúlyi állapot alakul ki, forgatónyomaték nem jön létre, a vezető hurok nem végez forgómozgást. Mit kell tehát tennünk, hogy ezen a ponton túljussunk és folyamatos forgásra készítsük szerkezetünket?

Ezzel a problémával találkozott Jedlik Ányos is, a 19. század egyik legnagyobb feltalálója. Jedlik rájött, hogy ha az egyensúlyi állapot beállta előtt megfordítjuk az áram irányát egy ilyen elrendezésben, akkor állandó forgómozgás létesíthető. Ha utánagondolunk, akkor láthatjuk, hogy a felső pozícióban levő vezetőre ható erő így ellentétes irányú lesz és az alsó pozícióba igyekszik azt mozgatni, míg a másik ágban fordítva. Amennyiben 180 fokos elfordulás után az áram irányát rendre megváltoztatjuk, állandó forgómozgás érhető el. Ezt a feladatot az úgynevezett áramváltó, vagy kommutátor látja el.

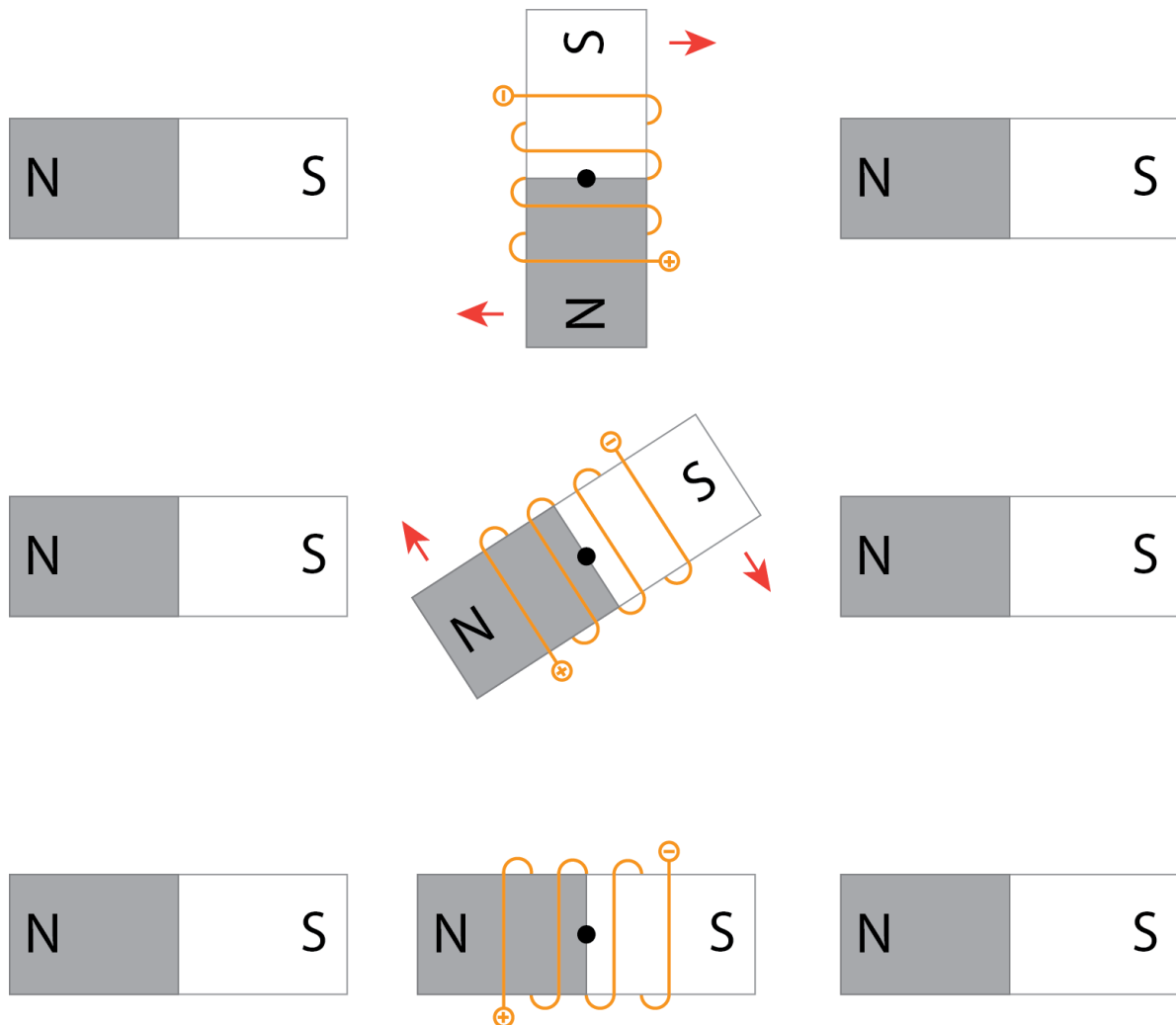


4. ábra - Kommutátor

## Kitekintés

Jedlik az áram irányának megfordítására két higanycsatornát alkalmazott, amelyek el voltak szigetelve egymástól és egy kezdetleges galvánelem pozitív és negatív pólusaihoz csatlakoztak. A forgó vezető két kivezetése belemerült a higanyba és 180 fokal fordulat után ellentétes polaritású higanyal érintkezett, ami megváltoztatta a vezetőben folyó áram irányát, így forgó mozgást hozva létre.

A legnagyobb erő akkor hat a vezető hurokra, amikor az általa létrehozott mágneses mezőt egy mágnesként elképzelve, az merőleges az állandó mágnesekre (a két mágnes azonos irányba szeretne fordulni).

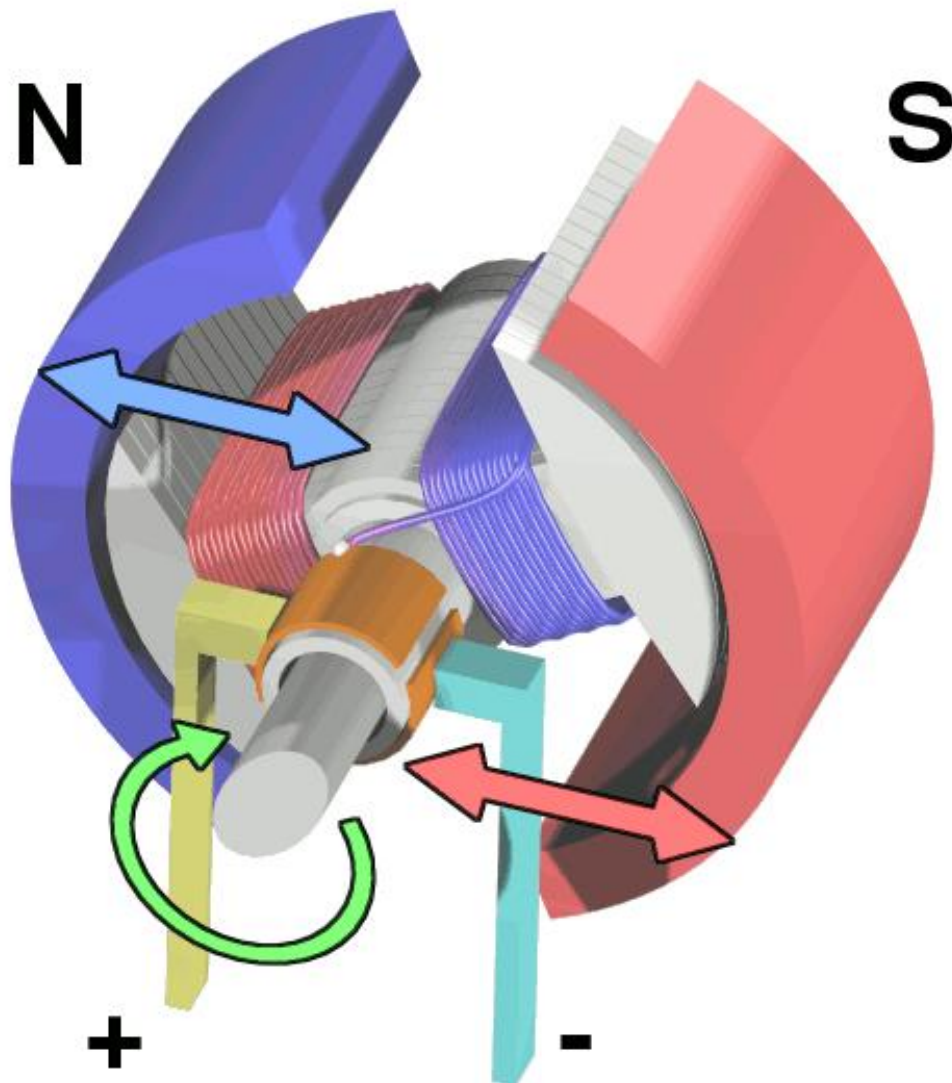


5.ábra - Mágnesre/tekercsre ható erők

Ahogy a hurok elfordul, a rá ható forgatónyomaték csökken. Így ez az elméleti gépünk nem produkálna egyenletes forgómozgást, fél fordulatonként "ugrana" egyet. Ha a vezető hurokra merőleges pozícióban elhelyezünk egy második vezetőt, ami negyed fordulatonként kapcsolódik a kommutátoron keresztül az egyenfeszültségű forrásunkhoz, a nyomaték "lücktetése" kisebb lesz. Ha a vezető hurkok számát tovább növeljük, egyenletes forgómozgás érhető el.

Jedlik 1829-ben konstruált gépe volt a világ első működő elektromos motorja és már megtalálható volt benne a mai DC motorok mindhárom alapvető eleme:

- az állórész (stator), amely az álló mágneses mezőt létrehozza
- a tekercselt forgórész (rotor)
- és az úgynevezett kommutátor, amely az áram irányának megfordításáért felel a forgórészen (ezt a folyamatot kommutációnak nevezzük)



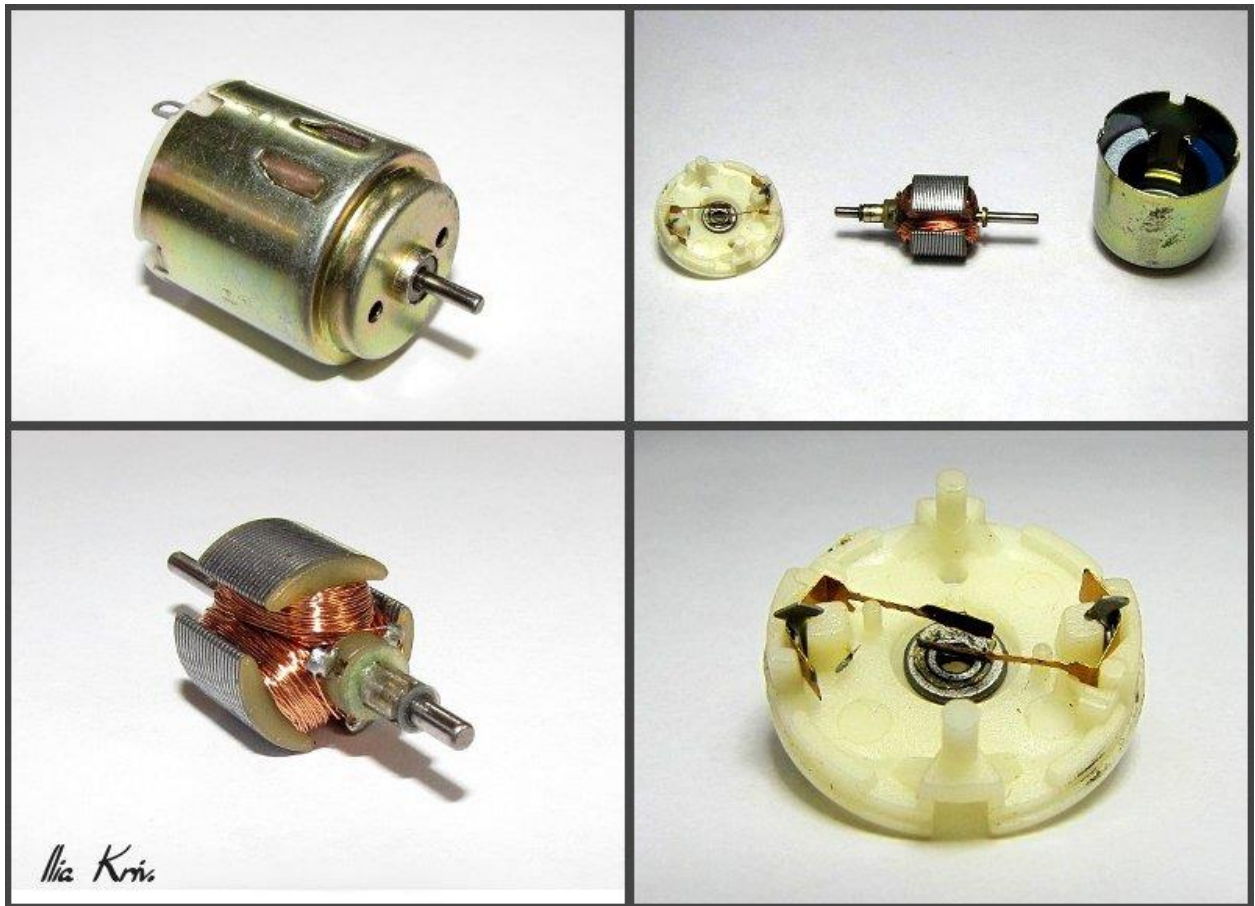
Szerző: Wapcaplet [CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)]  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Electric\\_motor\\_cycle\\_3.png](http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Electric_motor_cycle_3.png)

**6. ábra** - A kommutátorral és a feszültségforrással.

(Az ábra szemléltető jellegű, ilyen kialakítás esetén a telep rövidre záródna a kommutátor elfordulásával.)

## FELÉPÍTÉSE

Egy DC-motor 3 fő részre bontható:



Szerző: Ilia Krivoruk [CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)]  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brushed\\_dc\\_motor\\_assembly.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brushed_dc_motor_assembly.jpg)

7. ábra - DC-motor fő részei

### AZ ÁLLÓRÉSZ VAGY STATOR:

Gépünk azon része mely nem mozog és a mozdulatlan mágneses mezőt létrehozza. Az állórészen eddig állandó mágneseket tételeztünk fel, melyek hozzájárulnak az állandó mágneses tér kialakításához. A valóságban sok DC-motor állórésze tekercselt, így a mágneses tér elektromágneses úton jön létre.

#### Kitekintés

Ennek előnye, hogy a mágneses tér erősségét befolyásolni tudjuk, míg állandó mágnesek - jellemzően ritkaföldfém mágnesek - használatával a létrejövő tér erőssége a használt mágnes anyagától függ.

Az állórészen használt ferromágneses (vas) anyagok, a mágneses erővonalak terelésén túl, a mechanikai szilárdságot és védelmet is biztosítják.



### **FORGÓRÉS VAGY ROTOR VAGY ARMATÚRA:**

A DC motor forgórésze jellemzően szintén ferromágneses anyagból készül. A rotor hornyaiban helyezzük el a réz vezetőket. A vasnak ebben az esetben is (a vezetők rögzítésén túl) az erővonalak koncentráálásában van szerepe. A tekercsek a kommutátorhoz csatlakoznak.



Szerző: Jjmontero9 [CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)]  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Small\\_DC\\_Motor\\_Rotor.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Small_DC_Motor_Rotor.JPG)

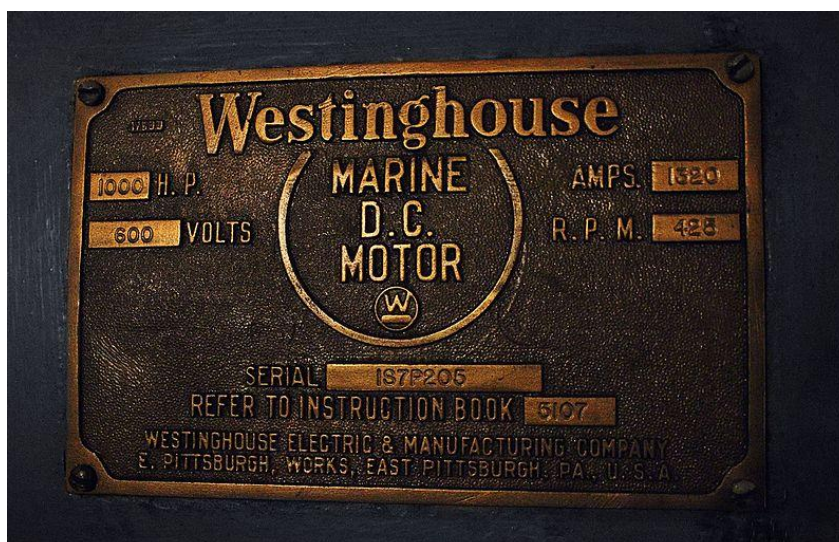
**8. ábra** – Forgórész és kommutátor

### **KOMMUTÁTOR ÉS KEFÉK:**

A kommutátor a rotor tengelyére szerelt, azzal együtt forgó, egymástól elszigetelt réz szegmensekből álló henger. A kommutátorhoz mozdulatlan kefék nyomódnak, amelyek általában szénből, vagy grafitból készülnek és feladatuk a forgórész vezetőinek táplálása az egyenfeszültségű forrásból. A keféket rugóerő szorítja a kommutátorhoz. Ennek a megoldásnak hátránya, hogy az elkopó keféket időnként cserélni kell, a keletkező szénpor pedig a kommutátor elszigetelt szegmenseit rövidre zárhatja.







Szerő: Kaylee La Spisa [CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)]

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wuxi\\_TECO\\_Electric\\_%26\\_Machinery\\_3-phase\\_induction\\_motor\\_plate\\_20160319.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wuxi_TECO_Electric_%26_Machinery_3-phase_induction_motor_plate_20160319.jpg)

10b. ábra - DC motor paraméterei

## Kitekintés

Egy DC motor adatlapján feltüntetett legfontosabb villamos információk a gép árama (rated current), feszültsége (rated voltage), nyomatéka (rated torque), teljesítménye (rated power) és fordulatszáma (rated speed).

A megengedhető áram nagyságát a gép melegedése korlátozza. A maximális áram meghatározza a maximális nyomaték nagyságát is. Általánosan elmondható, hogy nagyobb maximális áramú géphez nagyobb nyomaték is tartozik.

A megengedhető legnagyobb feszültséget a gépben használt szigetelés határozza meg. A maximális feszültséggel összefügg a gép maximális fordulatszáma. Magasabb feszültségértékhez nagyobb elérhető fordulatszám tartozik adott gép esetében.

A gép névleges teljesítménye a feszültségéből és áramából már számítható. Névleges teljesítmény alatt azt a teljesítményt értjük, amelyet leadva a gép hosszú távon biztonságosan üzemelhet. A névleges értékeket meghaladó feszültség vagy áram a DC motorunk károsodásához vezethet. Bizonyos esetekben a gyártó feltünteti azokat a maximális értékeket is, amivel rövid ideig túlterhelhetjük a motorunkat meghibásodás nélkül.

## AZ UNIVERZÁLIS MOTOR

Gondolkodtunk már azon, hogy a konyhai botmixert, vagy akár fúrógépet, amelyet a konnektorba csatlakoztatunk, milyen motor hajtja? Talán hallottunk is arról, hogy ezekben az eszközökben is DC-motorok működnek. Hogyan lehetséges, hogy az előzőekben megismert felépítésű gép váltakozó feszültségről táplálva is működhet?

Ehhez először gondoljuk végig, mi történne, ha egy hagyományos állandó mágneses DC-motort az 50 Hertz-es hálózatra kötnénk. A vezetőben az áram egy másodperc alatt százszor irányt váltana, attól függetlenül, hogy a kommutátor milyen állásban áll és melyik tekercs kerül feszültség alá. Ennek eredményeképpen, a vezetőre ható erő a rotort is egy másodperc alatt százszor próbálná az ellentétes irányba mozgatni. Így állandó irányú forgató erő nem lép fel, a gépünk nem működik váltakozó feszültségről táplálva.

Amennyiben az állandó mágnesek polaritását megcserélhetnénk ugyanabban a pillanatban, amikor a rotor vezetőben az áram iránya megfordul, az ébredő nyomaték (erő) iránya nem változna (balkéz-szabály használatával ellenőrizhető). Ennek elérése érdekében cseréljük le az állandó mágneseket az állórészen elektromágnesekre és a tekercselésüket kössük sorba a rotor tekercseivel a kommutátoron keresztül. Ebben az esetben az áram együtt változik az álló és forgórészben, állandó irányú nyomatékot biztosítva.

### Kitekintés

Kézszerszámaink legnagyobb része univerzális motorokat használ, jellemzően 1 kW alatti teljesítménnyel, de nagy teljesítményű elektromos mozdonyokban is találhatunk ilyen felépítésű gépeket.

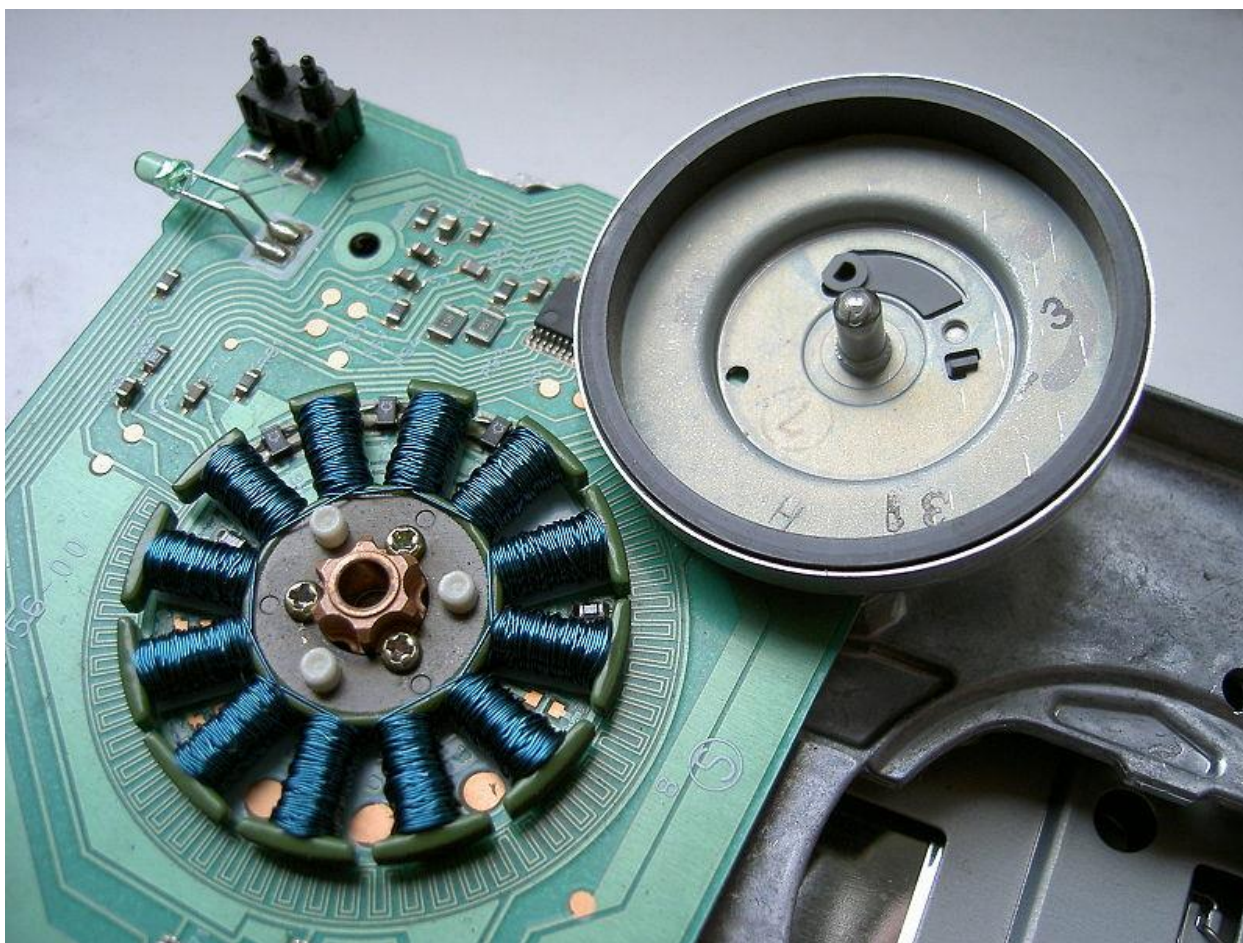
Érdekes megfigyelni, hogy sok kézszerszámban szikrázással találkozunk a motor forgása közben. Ezt a jelenséget eddigi ismereteink alapján már meg tudjuk magyarázni. A motor tekercselésén (induktív jellege miatt) az áram nem változhat pillanatszerűen. A kommutátor azonban, a kommutáció pillanatában, megszakítja az áramkört, az áram azonban nem csökkenhet azonnal nullává, így a levegőn keresztül villamos ív jön létre, melyen az áram rövid ideig tovább tud folyni. Ennek a jelenségnek a megnyilvánulása a kommutátoros motorokban megfigyelhető szikrázás.

## BLDC MOTOR

Játsszunk el a gondolattal, hogy mi történne akkor, ha DC-motorunkat úgy építenénk meg, hogy a forgórészen helyeznénk el az állandó mágneseket, az állórész pedig tekercselt lenne. (Ha kifordítanánk a megismert DC-motorunkat és a forgórészen helyeznénk el az állandó mágneseket, az állórész pedig tekercselt lenne). Ebben az esetben nem alkalmazhatunk mechanikus kommutációt, de a tekercsek feszültségének ki- és bekapcsolásával, elektronikus kapcsolók segítségével hasonló eredményt érhetünk el.

Ezzel az ötlettel született meg a kefe nélküli egyenáramú gép (vagy BLDC - Brushless DC), ahol a rotoron találhatóak az állandó mágnesek, az állórészen pedig a vezérlő elektronika elektronikus kapcsolói segítségével oldjuk meg a kommutációt.





Szerző: Sebastian Koppehel [CC BY 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>)]  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Floppy\\_drive\\_spindle\\_motor\\_open.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Floppy_drive_spindle_motor_open.jpg)

**11. ábra** - BLDC motor

A stator tekercseire olyan sorrendben kapcsoljuk az egyenfeszültséget, hogy a létrejövő mágneses tér megpróbálja a rotor mágneseit befordítani az erővonalak irányába, de mielőtt ez megtörténne, egy következő tekercsre kapcsoljuk a feszültséget, így mint a versenyagarak a nyúl után, úgy fut a forgórész a körbeszaladó mágneses mező után, anélkül, hogy azt elérné.

Ahhoz, hogy helyes sorrendben oldjuk meg az elektronikus kommutációt, tudnunk kell, hogy adott pillanatban milyen pozícióban helyezkedik el a rotor. Ehhez pozíció érzékelő szenzorra van szükségünk a BLDC motorok esetében.

A BLDC motorok különböző fizikai kivitelezésben készülnek. Találkozhatunk külső forgórészű (outrunner) és belső forgórészű (inrunner) kivitelekkel is. Ahol korlátozott a rendelkezésre álló hely, lapos típust használnak, ekkor a tárcsa alakú álló- és forgórész egymással szemben van elhelyezve.

## Kitekintés

Fontos tisztáznunk, hogy egy BLDC motor és egy állandó mágneses szinkron motor (PMSM - Permanent Magnet Synchronous Motor) felépítésében nagyon hasonló, ami megkülönbözteti őket, az alkalmazott táplálási és vezérlési mód.

Váltakozó áramú motorokat is meg lehet hajtani elektronikusan. Ilyen gép például az állandó mágneses szinkron gép, mely felépítésben hasonló, a rotoron a BLDC-hez hasonlóan állandó mágneseket használ, mégis működése lényegileg különböző.

## ALKALMAZÁSOK

A hagyományos DC motorokat számtalan alkalmazásban megtalálhatjuk, legyenek azok játékok, szervo mechanizmusok, szelepek, robotok vagy autó-elektronikai eszközök.

BLDC motorok szintén körülvesznek bennünket a mindennapi életben, elég csak a számítógépes alkalmazásokra gondolnunk. BLDC motorok hajtják a számítógépeink ventilátorait, merevlemezeit, de nagy teljesítményű BLDC motorokat villamos járművekben és ipari alkalmazásokban is használnak.

Egy BLDC motor a vezérléssel együtt általában drágább megoldás, mint a hagyományos kefések DC-motor, ugyanakkor a mechanikus kommutáció hiányában, hosszabb az élettartama (nincsenek elkopó kefék), nagyobb a megbízhatósága és hatásfoka és pontosabban szabályozható. Előszeretettel alkalmazzák ezt a géptípust magas fordulatszámokon és ahol a precíz beavatkozás fontos szempont (mikroprocesszoros programozhatóság).

## Kitekintés

Villamos hibrid járművekben is találkozhatunk BLDC motorokkal, ahol a belső égésű motor kiegészítésére használják ezt a típust. Számos elektromos roller, robogó, és kerékpár használ BLDC motort, amit gyakran a kerékagyba építenek.

Most hogy megértettük, hogyan működött a gyermekkorunkban használt villamos versenyautónk, itt az idő, hogy a ceruzaelemeket akkumulátorokra, a távirányítót motorvezérlő elektronikára és a DC motorunkat nagyobb teljesítményűre cseréljük és megtervezzük saját villamos versenyautónkat!