
VILLANYSZERELŐ KÉPZÉS

2015

VILLAMOS GÉPEK 6.

EGYENÁRAMÚ GÉPEK

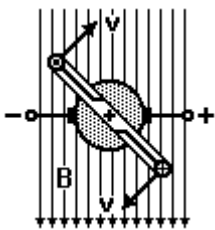
ÖSSZEÁLLÍTOTTA
NAGY LÁSZLÓ
MÉRNÖKTANÁR

Tartalomjegyzék

Egyenáramú gépek működési elve	3
Egyenáramú gépek felépítése	3
A forgórész tekercselése	4
Armatúra visszahatás	5
A forgórész feszültségviszonyai	5
Egyenáramú gépek nyomatékviszonyai	6
Kapcsolási módok	7
Egyenáramú gépek veszteségei	7
Egyenáramú gépek energiaviszonyai	8
Generátoros jelleggörbék	8
Külső gerjesztésű generátor	8
Párhuzamos gerjesztésű generátor	9
Soros gerjesztésű generátor	10
Vegyes gerjesztésű generátor	10
Motoros jelleggörbék	11
Külső és párhuzamos gerjesztésű motor	11
Soros vagy főáramkörű motor	11
Vegyes gerjesztésű motor	12
Egyenáramú motorok indítása	12
Egyenáramú motorok forgásirány változtatása	13
Egyenáramú motorok fordulatszám változtatása	13
Egyenáramú motorok fékezése	13
Egyenáramú gépek alkalmazása	14

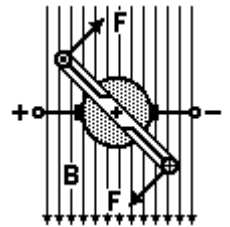
Egyenáramú gépek működési elve

Homogén mágneses térben, a tér irányára merőleges tengelyű, félgyűrűkre (kommutátor) kivezetett vezető keret (forgórész) helyezkedik el. Generátorüzemben külső nyomaték for-



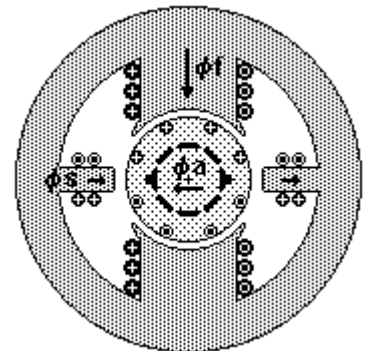
gatja a vezető keretet. Az indukált szinuszos váltakozó feszültséget a kommutátor, mint mechanikai egyenirányító alakítja lüktető egyenfeszültséggé. Motorüzemben a vezető keretben áram folyik. A két mágneses tér kölcsönhatása nyomatékot hoz létre. Elfordulásakor a kommutátor, mint áramirányító biztosítja a vezető keret egyirányú mágneses

terét a homogén mágneses térhez viszonyítva.



Egyenáramú gépek felépítése

Állórész (sztátor): acélöntvény vagy lemezelt hengeres ház, belső felületén a fő és segédpólusokkal. A **főpólusok** részei a pólustörzs és a pólussarú. A pólustörzs tartja a dinamóhuzalból készült gerjesztő tekercset. A pólussarú egyrészt a tekercs elmozdulását, lecsúszását akadályozza meg, másrészt a fluxust az armatúra palástján szétterítve biztosítja, hogy az armatúra vezetői minél hosszabb úton mozoghassanak a mágneses térben. A pólusokat, a szerelhetőség miatt csavarokkal rögzítik az állórész koszorúhoz. A koszorú a gép állványa és a mágneses körnek is része, ezért nagy permeabilitású acélöntvényből készül. Az állórész pólus párjainak száma általában egy vagy több, az É és D pólusok felváltva követik egymást. A segédpólusok feladata, hogy a forgórész mágneses tere lehetőleg minél kevésbé torzítsa el a fő fluxus eloszlását.



Kompenzáló menetek: nagy keresztmetszetű vörösrézről készült tekercselés, amelyet a főpólus saru hornyaiban helyeznek el, feladata az armatúra-visszahatás miatti mezőtorzulás megszüntetése a főpólus ívében.

Forgórész (armatúra): a vasvesztesség miatt lemezelt hengeres vastest, palástján hornyokba erősített tekercsekkel. A kommutátor a forgórészszel együtt forog és szegmenseinek száma a forgórész palástján lévő hornyok számával egyezik meg. A forgórész tekercselésének megfelelő -hullámos, hurkos- kialakításával elérhető, hogy egy pólus alatt minden vezető keretben áram folyjon, illetve feszültség indukálódjon. A forgórész tekercselése zárt tehát nincs kezdete sem vége. Az armatúrában egy pólus alatt indukálódó feszültségek összeadódnak, de az ellentétes pólus alatt indukált feszültségekkel egyensúlyt tartanak. A forgórészhez annyi szénkefe pár csatlakozik, ahány póluspárú a gép.

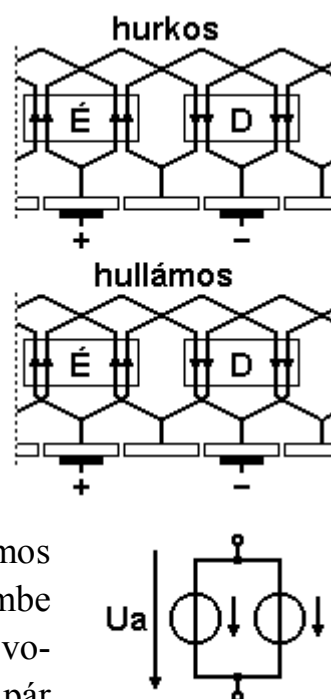
Szénkefe tartó: sajtolat vagy öntött sárgaréz, bronz, vagy korrózió-védett acél, amelyekben a

szénkeféket helyezik el. A keféket rugók rögzítik a kommutátorra merőleges helyzetben, és megfelelő nyomóerőt fejtenek ki a biztos érintkezéshez.

A forgórész tekercselése

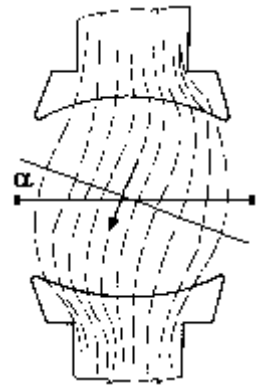
A forgórész tekercselése tekercsoldalakból és az ezeket összekötő tekercsfejből áll. A tekercsoldalak a hornyokban, a tekercsfej azon kívül az armatúra tengelyét megkerülve helyezkedik el. Az egyes tekercsoldalakban az indukált feszültség akkor lesz azonos nagyságú, ha azok kb. pólusosztásnyira vannak egymástól. Egy pólus-pár esetén az armatúra kerülete mentén, az átmérőben lévő hornyok távolsága azonos a pólusosztással. A tekercsek végei egy-egy kommutátor szelethez csatlakoznak. Minden horonyba (általában) két tekercsoldal kerül, egymás alá, tehát az összes tekercsoldal fele a horony alsó részén, a fele a horony felső részén helyezkedik el. Hurkos tekercselés esetén a tekercs a kezdő horonyból kiindulva egy pólusosztásnyit előre, majd közvetlenül a kezdő horony elé visszalép. Hullámos tekercselés esetén a tekercs a kezdő horonyból kiindulva egy pólusosztásnyit előre, majd közvetlenül a kezdő horony mögé tovább lép. Mindkét esetben az armatúra palástjának körbejárása után az utolsó tekercs a kezdőhoronynál végződik.

Az armatúra tekercselése a két állórész pólusra nézve két párhuzamos ágból áll, melyekben az azonos nagyságú indukált feszültségek szembe kapcsolódnak. A feszültségek találkozási pontjában az ún. semleges vonalban helyezkednek el a szénkefék. Két póluspárú gépnek két pár szénkeféje van (és így tovább), melyekből az azonos polaritásúakat párhuzamosan lehet kapcsolni. A gyártási pontatlanságok miatt az egyes pólusok fluxusai és a légrés méretek eltérőek lehetnek. A párhuzamosan kapcsolt szénkeféken az eltérő indukált feszültségek kiegyenlítő áramokat hoznak létre, melyek szegmensváltásnál kefeszikrázást okoznak. Ez a kefeszikrázás megszüntethető a póluspár távolságra lévő tekercsoldalak összekötésével. A kiegyenlítő áramok így nem a szénkeféken, hanem ezeken a kiegyenlítő kötéseken folyhatnak. A hurkos tekercselésű armatúra horonyszáma csak páros lehet és akkor célszerű alkalmazni, ha nagyobb áram, de kisebb feszültség szükséges. A hullámos tekercselésű armatúra ritkább, többnyire nagyobb feszültséghez, de kisebb áramhoz alkalmazható és páratlan horonyszámra is elkészíthető.



Armatúra visszahatás

Árammentes armatúra mellett, a gerjesztő tekercsek által létrehozott mágneses tér eloszlása a légrés mentén közel egyenletes. Ha az armatúrában áram folyik, akkor az általa létrehozott mágneses tér merőleges lesz a főpólusok fluxusának irányára. A két 90° -ot bezáró fluxus kölcsönhatása miatt a főpólus mágneses tere deformálódik. A forgórész mágneses terének, az állórész mágneses terére gyakorolt torzító hatását armatúra visszahatásnak vagy armatúra reakciónak nevezzük.



Az armatúra visszahatás miatt:

A semleges vonal α szöggel elfordul, generátoroknál forgásirányban, motoroknál ellenkezőleg. A kefék az eredeti semleges vonalban olyan szegmensekkel érintkeznek melyekben feszültség indukálódik ezért minden szegmensváltásnál káros kefeszikrázás lép fel.

A besűrűsödő fluxus az állórész pólusát helyileg telítésbe viszi, ezért eredőben a fluxus csökken, mezőgyengülés lép fel. Generátor üzemben csökken a kapocsfeszültség, motorüzemben növekszik a fordulatszám.

Az armatúra visszahatás csökkenése érdekében alkalmazható a:

Kefe eltolás: a kefetartó megfelelő szöghelyzetbe állításával a kefeszikrázás megszüntethető. Csak állandó terhelés esetén használható.

Segédpólus: az armatúra fluxussal kb. azonos nagyságú, de ellenkező irányú mágneses tér a semleges vonalban megszünteti az indukciót. Mivel a segédpólus gerjesztő tekercsei az armatúra tekercsel vannak sorba kötve, ezért különböző terhelés esetén is használható.

Kompenzáló menetek: a főpólusok belső palástján kialakított hornyolásban helyezkednek el és az armatúrával vannak sorba kötve. A kompenzáló menetek fluxusa szembe kapcsolódik a forgórész által létrehozott fluxussal és így az állórész deformálódott fluxusát helyreállítva, megszünteti az armatúrareakció mezőgyengítő hatását.

A segédpólusok az egészen kis gépektől eltekintve, csaknem minden egyenáramú gépben megtalálhatók. A kompenzáló menetek a költséges előállítás miatt csak a nagyobb teljesítményű (10kW) gépekben kerülnek alkalmazásra.

A forgórész feszültségviszonyai

Az armatúra vezetőiben a forgás következtében, akár generátorként akár motorként működik a gép, feszültség indukálódik. Az indukált feszültség a mozgási indukció összefüggése alapján:

$$U_i = B l v \text{ [V]}$$

Az állórész által létrehozott és az armatúrán áthaladó indukció a fluxus és a forgórész felületének a viszonya. A felületet a tekercselés hossza és a pólus párokra eső forgórész kerület

határozza meg. A tekercs vezetőinek kerületi sebessége a forgórész átmérőjétől és a fordulatszámtól függ. A tekercsoldalak és a menetek számát illetve a gép mechanikai méreteiből származó állandókat egy C_u konstansba összevonva az egyenáramú gép indukált feszültsége:

$$U_i = C_u \Phi n \text{ [V]}$$

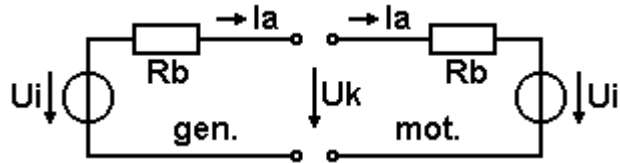
Generátoros üzemben, terheletlen állapotban a szénkeféken megjelenő kapocsfeszültség az armatúrában indukált feszültséggel lesz azonos. Terhelés esetén az indukált feszültség a fogyasztón áramot hajt, mely a forgórész belső ellenállásán is átfolyva egy belső feszültségesezt hoz létre. A három feszültségre a hurokegyenletet felírva:

$$U_k = U_i - U_b = U_i - I_a R_b$$

Motoros üzemben a gép állandó kapocsfeszültségű hálózatról vesz fel áramot. A forgás miatt az armatúrában indukált feszültség a Lenz törvény értelmében, a létrehozó okkal, tehát az armatúra árammal kapcsolódik szembe. A kapocsfeszültséggel tehát az indukált feszültség és a belső feszültségesezt tart egyensúlyt. A három feszültségre a hurokegyenletet felírva:

$$U_k = U_i + U_b = U_i + I_a R_b$$

A motor mindig a terheléshez éppen szükséges armatúra áramot veszi fel a hálózatból. Változó terhelés esetén a fordulatszám és az indukált feszültség ellenkező, az áramfelvétel azonos irányban változik. Az R_b ellenállás az egész főáramkört (armatúra, segédpólus, kompenzáló menetek, kefe átmeneti ellenállás) magába foglalja. A feszültségviszonyok helyettesítő képe:



Egyenáramú gépek nyomatékviszonyai

Az armatúra vezetőiben folyó áramra, a főpólusok mágneses terében, akár generátorként akár motorként működik a gép, erő hat. Az áramjárta vezetőre ható erő összefüggése alapján:

$$F = B I \ell$$

Az armatúra nyomatéka az armatúra átmérőjével és a kerületén a tekercs vezetőire ható tangenciális erővel arányos:

$$M = F D = B I_a \ell D$$

Az indukció a fluxus és a forgórész felületének a viszonya. A felületet a tekercselés hossza és a pólus párokra eső forgórész kerület határozza meg. A tekercsoldalak és a menetek számát illetve a gép mechanikai méreteiből származó állandókat egy C_M konstansba összevonva a gép nyomatéka:

$$M = C_M \Phi I_a$$

A nyomaték tehát az állórész fluxussal és az armatúra árammal arányos.

Az egyenáramú gépben az indukált feszültség és az armatúra áram meghatároz egy belső teljesítményt:

$$P_b = U_i I_a$$

Generátoros üzemben a felvett mechanikai teljesítmény, ami egyben a belső teljesítmény is, kapocs és veszteségi teljesítményekre oszlik meg. A generátor nyomatéka a belső teljesítmény és a szögsebesség viszonya:

$$M_g = P_b / \omega$$

Motoros üzemben a kapcsokon felvett villamos teljesítmény belső és veszteségi teljesítményekre oszlik meg. A motor nyomatéka a belső teljesítmény és a szögsebesség viszonya:

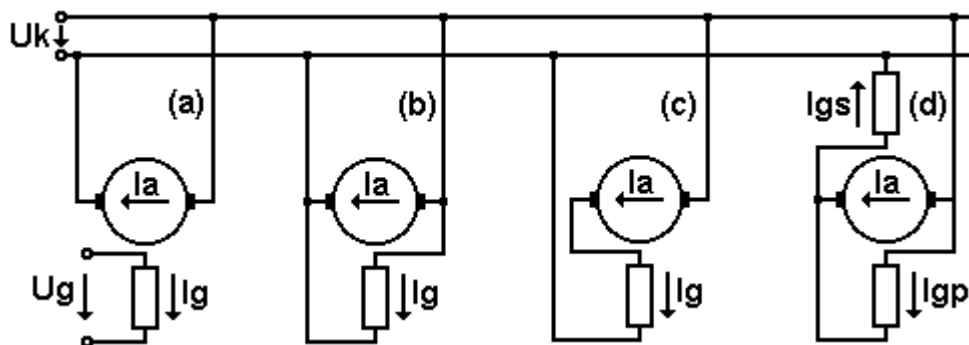
$$M_m = P_b / \omega$$

Az üzemmódtól függetlenül a nyomaték:

$$M = P_b / \omega$$

Kapcsolási módok

Az egyenáramú gépekben két áramkör van. A két áramkör, a gerjesztő és az armatúra vagy főáramkör egymással való kapcsolata határozza meg a kapcsolási módot.



külső gerjesztés (a) esetén a két áramkör egymástól független, közöttük nincs semmilyen villamos kapcsolat.

párhuzamos vagy mellékáramkörű (sönt) gerjesztés (b) esetén a két áramkör kapcsolása párhuzamos, a gerjesztő és az armatúra feszültség részben vagy teljesen közös.

soros vagy főáramkörű gerjesztés (c) esetén a két áramkör kapcsolása soros, a gerjesztő és az armatúra áram részben vagy teljesen közös.

vegyes gerjesztés (d) esetén a gerjesztő tekercs két részből áll, melyből az egyik sorosan a másik párhuzamosan kapcsolódik az armatúrával. Ha a két gerjesztés iránya azonos, akkor KOMPAUND és ha különböző, akkor ANTIKOMPAUND az elnevezés.

Egyenáramú gépek veszteségei

Az egyenáramú gépek főáramkörű vesztesége alatt a főáramkör ellenállásain fellépő teljesítmények összességét értjük. A főáramkörbe tartozik az armatúra, a soros gerjesztő, a segédpólus és a kompenzáló tekercsek valamint a szénkefék átmeneti ellenállása. Gerjesztési veszteség alatt a gerjesztő tekercsen eső feszültség és a gerjesztő áram által meghatározott teljesítményt értjük. Soros gerjesztésű gép esetén ez a teljesítmény a főáramkörű veszteség része. Súrlódási és vasvesztés a forgórész mozgását fékező hatásokból tevődik össze. A súrlódási veszteség a csapágy és a szénkefe súrlódásából származó, valamint a ventiláció miatt fellépő fékező hatásokat foglalja magába. A vasvesztéset, ami a forgórészben jön

létre, az örvényáram és hiszterézis miatt keletkező teljesítmények hozzájárulnak létre. A súrlódási és a vasveszteséget mindig a mechanikai teljesítmény fedezi, meghatározása motorként, üresjárásban üzemeltetett gép felvett teljesítményének mérésével történik. Az így kapott üresjárási teljesítmény a főáramkörüi üresjárási teljesítményből, párhuzamos gerjesztés esetén a gerjesztési teljesítményből és a súrlódási és vasveszteséget fedező teljesítményekből áll.

Egyenáramú gépek energiaviszonyai

A generátort a hajtómotor P mechanikai teljesítménnyel forgatja. Ennek a mechanikai teljesítménynek egy része súrlódási és vasveszteség formájában elvész, a többi része átalakul villamos teljesítménnyé. Ezt a teljesítményt nevezzük belső teljesítménynek, mivel az indukált feszültség és az armatúra áram határozza meg. A belső teljesítmény kis része a főáramkörüi veszteség, a többi része a kapocsfeszültséggel és az armatúra árammal arányos armatúra teljesítmény. Párhuzamos és vegyes gerjesztésű gépekben az armatúra teljesítmény fedezi a gerjesztési veszteséget. Az armatúra teljesítmény megmaradt része lesz a hasznos teljesítmény. A hasznos és az összevont veszteségek összege a bevitt mechanikai teljesítmény, így a generátor hatásfoka:

$$\eta_g = P_h / (P_h + P_{\text{vösszes}})$$

A motor a hálózatról P villamos teljesítményt vesz fel. Ez a teljesítmény fedezi a párhuzamos és vegyes gerjesztésű motorokban a gerjesztési veszteséget, a megmaradó rész az armatúra teljesítmény. Az armatúra teljesítmény kis része a főáramkörüi veszteségekre fordítódik, a többi a belső teljesítmény lesz. A belső teljesítmény a vas és súrlódási veszteségekkel csökkentett része alakul át mechanikai teljesítménnyé. A mechanikai, tehát a hasznos teljesítmény a hálózatról felvett villamos teljesítmény és az összes veszteség különbsége, így a motor hatásfoka:

$$\eta_m = (P - P_{\text{vösszes}}) / P$$

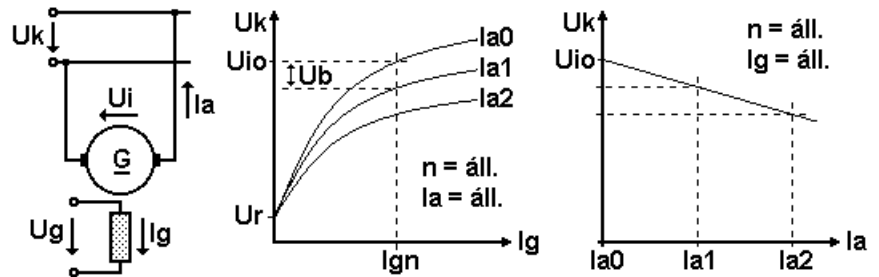
Generátoros jelleggörbék

A generátorok üzemi tulajdonságait, villamos jellemzőinek viszonyait szemléletesen a jelleggörbék adják meg. A belső jelleggörbék a generátor feszültségei és a gerjesztő áram, a külső jelleggörbék a kapocsfeszültség és az armatúraáram közötti függvénykapcsolatot mutatják be. A jelleggörbék állandó fordulatszámra vonatkoznak.

Külső gerjesztésű generátor

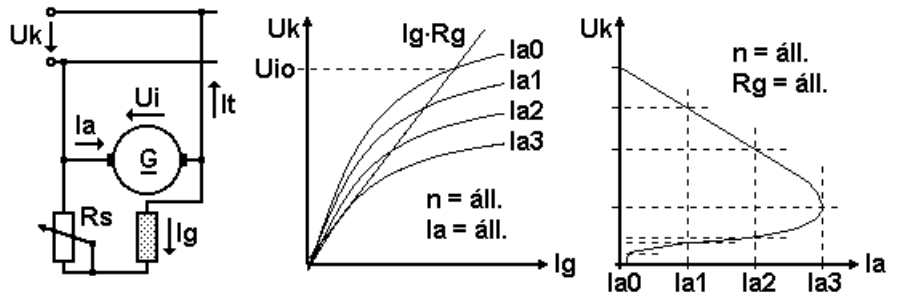
Külső gerjesztésű generátor belső jelleggörbéje az indukált feszültségek és a gerjesztőáram kapcsolatát mutatja be. Az üresjárásban indukált feszültség -mivel a forgási sebesség állandó-

dó- a fluxussal és így végső soron az indukcióval arányos. Az indukciót és a gerjesztőáramot a vas mágnesezési görbéje kapcsolja össze. Az indukált feszültség menete a hiszterézis görbét követi. Az állandó armatúra áramokhoz tartozó feszültséggörbék a belső ellenálláson eső feszültséggel térnek el. A külső terhelési jelleggörbe méréssel vagy a belső jelleggörbéből szerkesztéssel határozható meg. A mérés alatt a fordulatszámot és a gerjesztőáramot állandó értéken kell tartani. Mivel a forgórész ellenállása igen kicsiny, ezért a névleges árammal terhelt gép kapocsfeszültsége csak néhány százalékkal kisebb az üresjárási feszültségnél. A külső gerjesztésű generátor feszültségtartó kategóriába sorolható. A kapcsok zárlata esetén a névleges áram 8 ÷ 10 -szerese jöhet létre.



Párhuzamos gerjesztésű generátor

Párhuzamos gerjesztésű generátor önmagának állítja elő a gerjesztő áramot. A gép indítása-
kor a kapocsfeszültség és így a gerjesztőáram is nulla. A forgó armatúrában a főpólusok
remanens indukciója feszültséget indukál, mely a gerjesztő tekercseken a remanens induk-
ciót növelő áramot hajt át. Ez az önmagát erősítő jelenség a felgerjedési folyamat. A ka-
pocsfeszültség addig nő, míg az üresjárási jelleggörbe sze-
rint változó indukált feszültség és a gerjesztő kör ohmos
feszültsége egyensúlyba ke-
rül. Az U_{i0} görbe egy pontjá-
ból az I_g tengelyre bocsátott

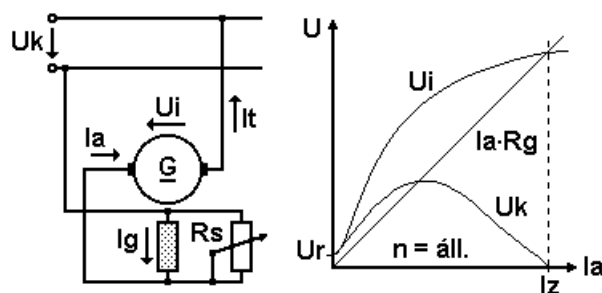


merőleges az $I_g R_g$ ellenállás egyenest (söntvonalat) két részre metszi, melyből az alsó rész
a gerjesztő tekercs ohmos összetevőjén, a felső rész a gerjesztő tekercs induktív összetevő-
jén eső feszültséggel arányos. Egyensúlyi helyzetben a gerjesztőáram állandósul, így a ger-
jesztő tekercsben nem jön létre önindukciós feszültség. Az öngerjedés nem indul meg, ha a
generátor vastestében nincs remanens fluxus, vagy a gerjesztő tekercs végeit felcseréljük,
vagy ellenkező irányba forgatjuk az armatúrát. Egy új gépet motorként kell elindítani, hogy
generátorként tudjon működni. A gerjesztőkör ellenállásának növelésével beállítható egy
olyan kritikus helyzet, amelynél az ellenállás egyenes éppen belesimul a feszültséggörbe
kezdeti szakaszába. Az együttfutó görbék tartományában nem lehet stabil kapocsfeszültsé-
get generálni mert a feszültség bármilyen értékre beállhat. Emiatt a párhuzamos gerjesztésű
generátor teljes belső jelleggörbét csak külső gerjesztéssel lehet felvenni. A külső terhelé-
si jelleggörbe méréssel vagy a belső jelleggörbéből szerkesztéssel határozható meg. A mé-

rés alatt a fordulatszámot és a gerjesztő kör ellenállását állandó értéken kell tartani. A kapocsáram a terhelés növelésekor csak egy I_h határáramig növekszik, majd a terhelés további növelésére egyre kisebb, zárlat esetén mindössze a névleges áram néhány százaléka lesz. A visszahajló jelleggörbe oka, hogy ha a terhelő ellenállás kisebb mint a gerjesztő kör ellenállása, akkor a gerjesztőáram is a terhelés felé folyik és a gép önmagától legerjed. A gerjesztőáram csökkenésével a fluxus is és a kapocsfeszültség is csökken. A névleges áramig a párhuzamos gerjesztésű generátor is feszültségtartó. Az öngerjedés elvét Jedlik Ányos, a budapesti Tudományegyetem fizika tanára 1861-ben fedezte fel. Az öngerjedésre vonatkozó szabadalmat 1867-ben Németországban Siemens és Angliában Wheatstone jelentette be. A szakirodalom az öngerjedő generátorokat dinamónak is nevezi.

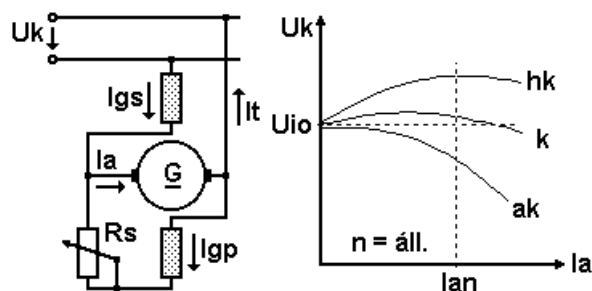
Soros gerjesztésű generátor

Soros gerjesztésű generátor remanens indukció által létrehozott feszültsége csak zárt áramkör esetén tud gerjesztő áramot áthajtani a gerjesztő tekercsen. Az indukált feszültség a gerjesztő áramtól, ami viszont a terheléstől függ. A kapocsfeszültséget tehát jellemzően a pillanatnyi terhelés határozza meg. Mivel az armatúraáram folyik a gerjesztő tekercsen is, ezért nem különböztetünk meg külön belső és külön külső jelleggörbét. A kapocsfeszültség görbe a terhelés függvényében kezdetben emelkedik, majd tetőzik, további terhelésre azonban csökken. A soros gerjesztésű generátor állandó feszültséget igénylő fogyasztók táplálására nem alkalmas. Ha a kapocsfeszültség görbe feszültség értékeihez pontonként hozzáadjuk az $I_a R_g$ belső feszültségesést, akkor az U_i feszültséget kapjuk meg.



Vegyes gerjesztésű generátor

Vegyes gerjesztésű generátor pólustörzsén a párhuzamos gerjesztő tekercsen kívül létezik egy soros tekercs is. Ha a soros tekercs gerjesztése hozzáadódik a párhuzamos tekercs gerjesztéséhez és a soros tekercs kompenzálja az armatúreakció fluxus csökkentő hatását, akkor a generátor feszültsége az armatúra áramtól függetlenül állandó lehet (kompaund). Ha a soros tekercs gerjesztése az armatúreakció fluxus csökkentő hatásán kívül még a belső feszültséget is kompenzálja, akkor a növekvő armatúraáram hatására a gép kapocsfeszültsége is nő (hiperkompaund). Ha a soros tekercs gerjesztése - az



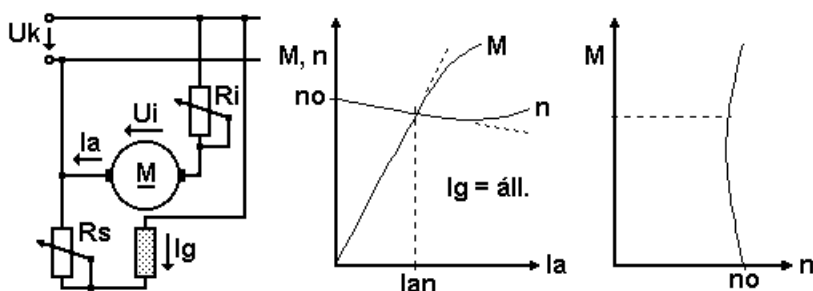
ellenkező bekötés miatt - szembe dolgozik a párhuzamos tekercs gerjesztésével, akkor a növekvő armatúraáram erőteljesen csökkenő kapocsfeszültséget eredményez (antikompaund). A kapocsfeszültséget az R_s ellenállással lehet változtatni.

Motoros jelleggörbék

A motorok üzemi tulajdonságairól a jelleggörbék adnak tájékoztatást. A jelleggörbék az armatúraáram, a fordulatszám és a nyomaték között fennálló kapcsolatokat mutatják be.

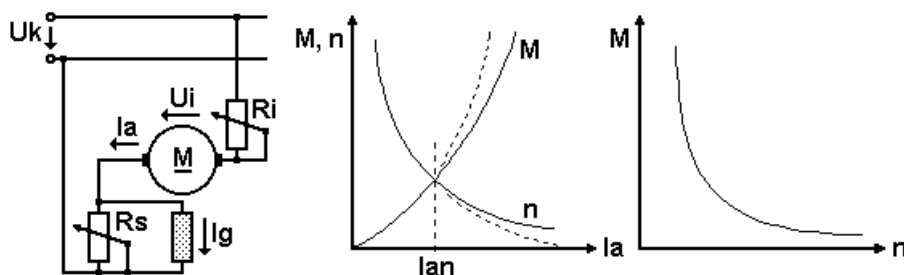
Külső és párhuzamos gerjesztésű motor

Külső és párhuzamos gerjesztésű gép motoros üzemében a jelleggörbék szempontjából nincs különbség, mert mindkét esetben a gerjesztő tekercsek feszültsége terheléstől független. Ha a gerjesztőkör ellenállása nem változik, akkor a gerjesztőáram és így a főfluxus is állandó marad. Üresjárásban a motor akkora fordulatszámmal forog, melynél az indukált feszültség a kapocsfeszültséggel csaknem egyenlő, az armatúraáram pedig tart a nullához. Terheléskor a növekvő armatúraáram a belső ellenálláson feszültségesést hoz létre mely kis mértékben csökkenti az üresjárási fordulatszámot. A fordulatszám jelleggörbe az I_a tengellyel közelítőleg párhuzamos. A névleges armatúraáram felett a jelleggörbe enyhén emelkedik, mert az armatúra visszahatás miatt csökken a fluxus, és az indukált feszültség csak nagyobb fordulatszámon tud egyensúly tartani a kapocsfeszültséggel. A nyomaték az armatúraárammal arányos de a fluxus csökkenésével a nyomaték is csökken. A külső illetve a párhuzamos gerjesztésű motor fordulatszám-tartó, mert a forgási sebessége csak kis mértékben változik a terhelés hatására.



Soros vagy főáramkörű motor

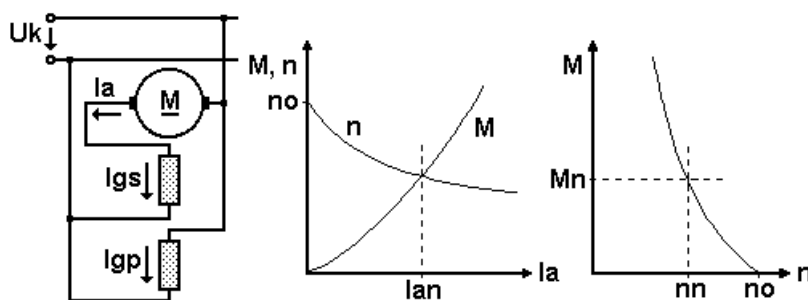
Soros vagy főáramkörű motorban a gerjesztőáram egyben az armatúraáram is. A belső feszültségtől eltekintve a fordulatszám az armatúraáram reciprok értékével arányos, azaz a fordulatszám jelleggörbe hiperbolikus. Üresjárásban, a nullához tartó ar-



matúraáram, végtelenhez tartó fordulatszámot jelent. A soros gerjesztésű motornak nincs stabil üresjárási fordulatszáma, ezért csak terhelten szabad működtetni. Mivel az armatúra nyomatéka a fluxussal is és az armatúraárammal is arányos, ezért nyomaték az armatúraáram négyzetével arányos. A nyomaték jelleggörbe parabolikus. Nagyobb áramoknál a vas telítődése miatt a fluxus már nem lesz az árammal arányos. A fizikai jelleggörbék eltérnek (folytonos vonal) a matematikai jelleggörbétől. A nyomaték és a fordulatszám egymással fordítottan arányos, azaz $M \cdot n \approx \text{állandó}$. A soros gerjesztésű motor teljesítmény tartó. Előnyösen alkalmazható azoknál a hajtásoknál, melyeknél a terhelőnyomaték lökészerűen ingadozik, mivel a hálózatot terhelő áramlökés kisebb, mint a párhuzamos gerjesztésű motor esetén. A soros motor felhasználási területe széles (gépkocsi önindító, villamos vontatás, sajtológép hajtás, stb.), de üresjárásban hajlamos akkora fordulatszámra gyorsulni, melyet a forgórész szilárdságilag már nem képes elviselni (megszaladás).

Vegyes gerjesztésű motor

Vegyes gerjesztésű motor egyesíti a mellékáramkörű motor stabil üresjárási üzemét és a főáramkörű motor nagy indító nyomatékát. A két gerjesztés azonos irányú, de arányuk megválasztása határozza meg, a motor inkább párhuzamos vagy inkább soros jellegét. A fordulatszám jelleggörbe a párhuzamos gerjesztésű motoréhoz hasonló, de a soros gerjesztés miatt a nagyobb armatúraáramok tartományában jobban csökken. A nyomaték jelleggörbe a soros gerjesztésű motorhoz hasonló, de a párhuzamos gerjesztés miatt kevésbé parabolikus, egyenesebb. A vegyes gerjesztésű motor nem tartozik a fordulatszám tartó gépek közé, de nagy indítónyomatéka és stabil üresjárási fordulatszáma van.



Egyenáramú motorok indítása

Álló állapotban hálózatra kapcsolt motor áramfelvételét a hálózat feszültsége és a gép belső ellenállása határozza meg. A motorban $n = 0$ esetén nincs indukált feszültség, ezért az áramot csak a belső ellenállás korlátozza. Az indítási áram a névlegesnek $10 \div 30$ -szorosa lehet. Ekkora áramlökés a gép épségét, kommutációs, dinamikus és termikus szempontból veszélyezteti, a hálózatban meg nem engedhető feszültségesést okoz. Az indítási áram korlátozása mind a gépre mind a hálózatra nézve szükséges. Az armatúra áramkörébe helyezett R_i indító ellenállással a gép indítási áramfelvétele beállítható. Az indító ellenállást úgy kell

megválasztani, hogy az armatúraáram a megengedhető $1,25 \div 2$ (indokolt esetben $2,5$) I_n értéket ne haladja meg. Az indító ellenállással sorbakapcsolt motor gyorsulva elindul, a kapocsfeszültséggel szembe dolgozó indukált feszültség növekszik, a motor áramfelvétele és ezzel együtt a nyomatéka is csökken. A motor addig gyorsul, amíg a nyomatéka a terhelő nyomatékkal egyensúlyba jut. Az indító ellenállás fokozatos csökkentésével az armatúraáram ismét megnő és a motor tovább gyorsul az új egyensúlyi helyzetig. Ez a folyamat folytatódik az utolsó ellenállás fokozat kiiktatásáig. Az ellenállás fokozatok számát és ennek megfelelően az indítási jelleggörbéket a megengedett maximális áram illetve nyomaték ingadozás határozza meg. A fokozatok száma általában $4 \div 10$, és az indítási folyamat automatizálható. Kisebb gépek 1 kW alatt közvetlenül is indíthatók.

Egyenáramú motorok forgásirány változtatása

A külső gerjesztésű motor kivételével az egyenáramú motorok forgásiránya nem változik meg a hálózati feszültség polaritásának felcserélésével. A forgásirány megváltoztatása, vagy a gerjesztő tekercsek, vagy az armatúra kapcsok felcserélésével lehetséges. Az állórészben, gyors polaritás váltásakor károsan nagy feszültség lökés jöhet létre a nagy induktivitás miatt. Ezért az armatúraáram irányának megfordítása a gyakorlatban elterjedtebb forgásirány váltási megoldás.

Egyenáramú motorok fordulatszám változtatása

A motor forgási sebessége háromféle módon változtatható meg:

- a fluxus változtatásával. A fluxust csak csökkenteni lehet, és a mezőgyengítéssel csak növelni lehet a fordulatszámot.
- az armatúrakör ellenállásának növelésével. Előtét ellenállások hatása az indító ellenállásokkal azonos, de tartós üzemeltetés esetén jelentős teljesítmény veszteség lép fel. Ezen hátrány miatt ritkán alkalmazott fordulatszám változtatási módszer.
- a kapocsfeszültség változtatása. A kapocsfeszültség változása azonos irányban változtatja a fordulatszámot, így a fordulatszám bizonyos határok között növelhető és csökkenthető is a kapocsfeszültséggel. Gyakori megoldás, hogy a változtatható kapocsfeszültséget félvezetős vezérelt teljesítmény egyenirányító állítja elő.

Egyenáramú motorok fékezése

Az egyenáramú motorok fékezésére három féle, a haszon a dinamikus és a ellenáramú lehe-

tóság van.

Haszon fékezés akkor jöhet létre, ha a motor forgási sebességének növekedése miatt (villamos vontatás lejtmenet, daruüzemben teherüllyesztés, stb.) az indukált feszültség nagyobb lesz mint a kapocsfeszültség. A motor átalakul generátorrá és energiát ad vissza a hálózatba (más néven rekuperáció). Erre a fékezésre a soros gerjesztésű motor nem alkalmas, mivel nincs stabil üresjárási fordulatszáma.

Dinamikus fékezés akkor valósul meg, ha a forgórész mozgási energiája a kapcsokra kötött ellenálláson diszipálódik el. Ehhez a kapcsokat a hálózatról előzőleg le kell választani. Soros motor esetén az átkapcsoláskor a gerjesztő tekercs kapcsait is fel kell cserélni.

Ellenáramú fékezést a motor forgásirányának megváltoztatásával lehet megoldani. Az armatúra kapcsok felcserélése következtében az indukált feszültség a kapocsfeszültséggel sorba fog kapcsolódni. A kialakuló áramlökést külső ellenállásokkal kell korlátozni. A motor a tengelyén mechanikai, a kapcsain villamos energiát vesz fel és mindkettő az armatúrában alakul át hővé. Az erőteljesen fékeződő motort a megállás pillanatában a hálózatról le kell választani, különben megindul ellenkező irányban.

Egyenáramú gépek alkalmazása

Az egyenáramú gépek mind az ipari hajtásoknál, mind az automatizálásban széleskörűen használatosak. Tipikus felhasználási terület a gépkocsi ipar mellett a városi, a helyközi és a vasúti villamos vontatás.
