

Rafbók



**Jafnstraumsmótorar**

**Kennslubók**

Þetta hefti er án endurgjalds á rafbókinni.

[www.rafbok.is](http://www.rafbok.is)

Allir rafiðnaðarmenn og rafiðnaðarnemar geta fengið aðgang án endurgjalds að rafbókinni.

Þetta hefti er þýtt með góðfúslegu leyfi EVU í Danmörku.

Íslensk þýðing: Sigurður H. Pétursson

Mynd á kápu er fengin af Internetinu

Umbrot: Ísleifur Árni Jakobsson

Faglegur yfirllestur: Heimir Jón Guðjónsson

# Efnisyfirlit

1 Jafnstraumsmótorar.....	3
Jafnstraumsmótorar.....	3
Uppbygging.....	6
Snúðurinn.....	7
Hvernig jafnstraums-mótorinn vinnur .....	9
Hvernig vendipólarnir virka.....	13
Mótíspenna.....	16
Snúðstraumur .....	16
Reikningsdæmi .....	17
Startstraumur.....	18
Reglun á snúningshraðanum .....	19

# 1 Jafnstraumsmótorar

## Jafnstraumsmótorar

Á íslensku er venjulega talað um jafnstraumsvélar en á ensku og ýmsum öðrum málum er skammstöfunin DC notuð fyrir jafnstraum og er þá talað um DC-mótor og DC-rafal.

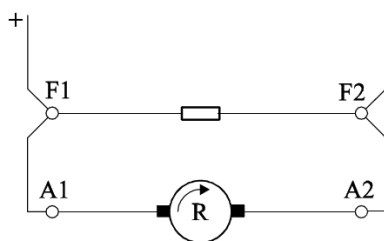
DC stendur fyrir „direct current“ sem hefur verið þýtt á íslensku sem jafnstraumur.

Jafnstraumsmótorar eru notaðir bæði í iðnaði og samgöngutækjum, t.d. í rafknúnum lestum.

Jafnstraumsmótorar hafa meira startsnúningsvægi (minnsta vægi, sem mótorinn gefur, þegar hann fær í kyrrstöðu álagða málspennu) en riðstraumsmótorar við sama startstraum. Auk þess er auðvelt að vera með þrepalausa hraðastýringu á jafnstraumsmótorum og þægilegt að nota mótorinn sem varasamstæðu í sambandi við rafgeymi.

Aðalhlutar mótorsins eru sátor (stator), fasti hlutinn og snúður (rotor), snúandi hlutinn auk þess sem oft má sjá hugtakið „burstar“ í merkingunni kol.

Bygging snúðsins í jafnstraumsmótor er flóknari en í riðstraumsmótor sem veldur því að jafnstraumsmótorar eru dýrari og viðhaldsfrekari en riðstraumsmótorar.

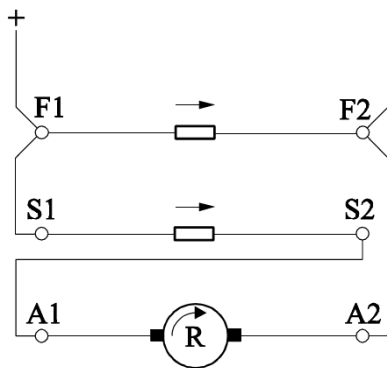


Þrjár gerðir eru til af jafnstraumsvélum og liggur munurinn í innbyrðis tengslum milli sátor- og snúðvafsins.

Mótor, sem er með hliðtengd sátor- og snúðvöf, er kallaður affallsmótor (e. shunt-mótor).

Ef vöfin eru raðtengd er mótorinn nefndur raðarmótor.

## Jafnstraumsmótorar

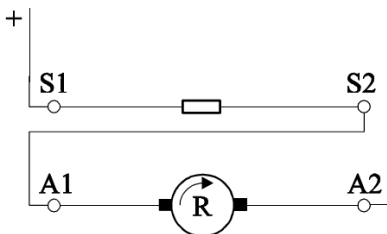


Ef mótorinn er bæði með rað- og hliðtengd vöf er hann kallaður slyngi mótor (e. compound-mótor).

Compound merkir samband eða samsettur.

Hver þessara mótoranna hefur sína sérstöku eiginleika.

Eiginleikar mótoranna snerta snúningsvægið og hæfni mótorsins til að halda réttum og jöfnum snúningshraða við mismunandi álag. Jafnstraumsrafall (generator) hefur mismunandi eiginleika hvað snertir hæfni til að viðhalda jafnri og réttri spennunni við mismunandi álag.



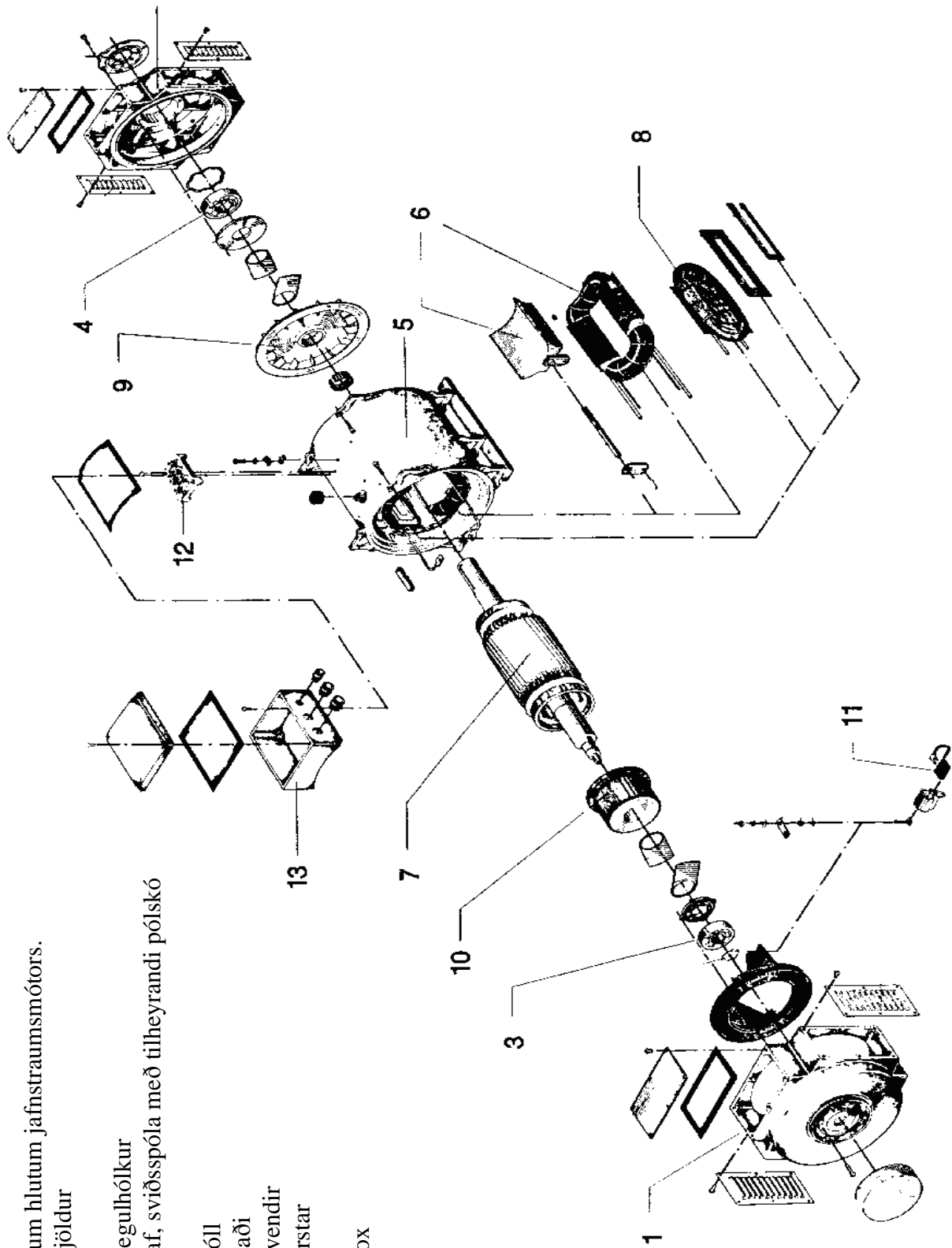
Eins og teikningarnar sýna eru spóluendarnir merktir með bókstöfum. Á seinni árum hafa merkingarnar verið samræmdar og á nýjum mótorum má sjá þessar merkingar

- Snúðvaf: A
- Vendipólar: B
- Raðtengivaf: C
- Affallsvaf: D/E/F/ eftir tegund affallsvafsins

Teikningin hér að neðan sýnir hvernig merkiskilti á jafnstraumsmótor getur litið út.

G		Mot. Typ	GFRK		090 - 22		IP	54	
K	3/36321		Nr.				VDE 0530		
420	V	5.3	A	360	V	0.3	A Err.		
2950			min <sup>-1</sup>		1.8		kW		
⊕ Isol.Kl.		F						⊕	

## Jafnstraumsmótorar



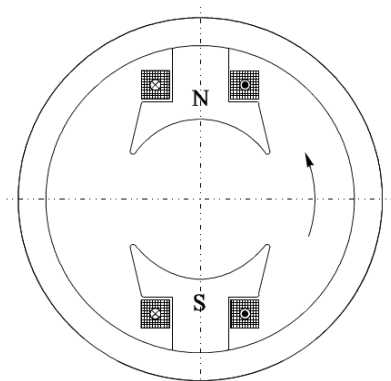
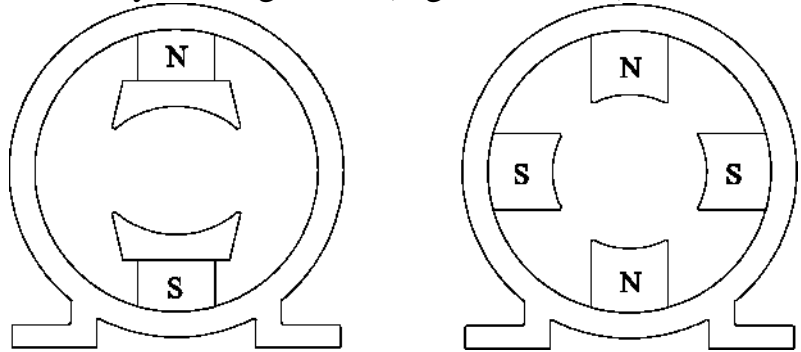
Nöfn á einstökum hlutum jafnstraumsmótors.

- 1, 2 Leguskjöldur
- 3, 4 Lega
- 5: Sátur, segulhólkur
- 6: Segulvaf, sviðsspóla með tilheyrandi pólskó
- 7: Snúður
- 8: Vendipóll
- 9: Viftuspaði
- 10: Straumvendir
- 11: Kolaburstar
- 12: Tengi
- 13: Tengibox

**Uppbygging**

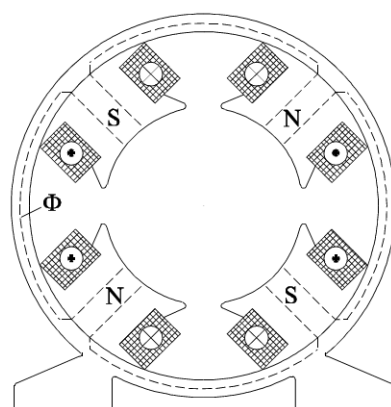
Helstu hlutar jafnstraumsmótors (-rafals) eru sátor, snúður og leguskjöldur.

Sátrið myndar segulhólk (segulkrans ÍÁJ)



Tveggja póla segulkerfi

Segulhólkurinn er gerður úr pottjárni, stálplötu eða þynnujárni sem er formað sem hólkur. Á úthlið hólsins er gjarnan fótur til að festa mótórin niður. Inni í segulhólknum eru tveir eða fleiri segulkjarnar (alltaf slétt tala). Segulkjarnarnir eru ýmist úr gegnheilu járni eða þynnujárni. Á segulkjarnanum er skautskór sem alltaf er úr þynnujárni. Segulkjarninn og pólskórinn eru stundum sambyggð sem heild og eru þá alltaf gerð úr þynnujárni.



Fjögra póla segulkerfi

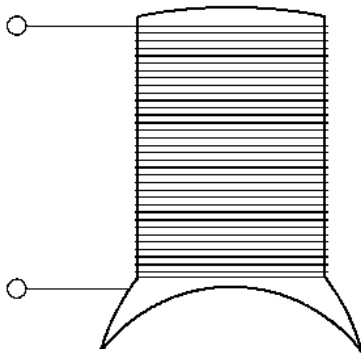
Ef mótórin er gerður fyrir púlsandi jafnspennu, sem er algengast nú í dag, eiga bæði segulhólkurinn, segulkjarnarnir og skautskórarnir að vera gerðir úr þynnujárni til að komast hjá ónauðsynlegri hitnun vegna hvirfilstrauma í segulsviðinu.

Segulvafsspólum er smeygt upp á segulkjarnana. Segulvafið er oft kallað segulsviðsraf eða segulsvið. Segulvafið er gert úr tveim eða fleiri spólum.

Spólurnar eru venjulega raðtengdar.

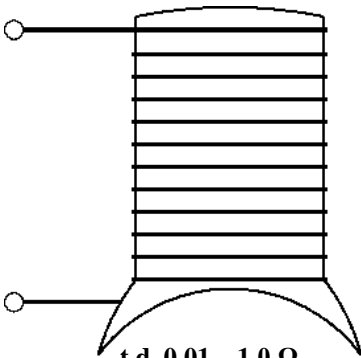
Stórir mótórar eru oft með sátor með 6- eða 8-pólum. Í affallsmótórum er straumurinn í segulvafinu óháður straumnum í snúðnum.

## Jafnstraumsmótorar



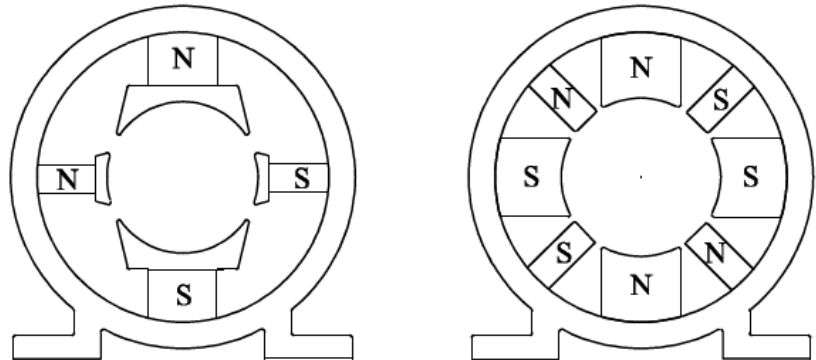
t.d. 300 – 1000  $\Omega$

Hægt er að komast af með lítinn straum í segulvafinu, en það útheimtir marga vafninga ef segulsviðið á að vera öflugt. Mörgum vafningum fylgir mikið viðnám, gjarnan 10 – 1000  $\Omega$ , breytilegt eftir stærð mótorsins. Í raðtengimótor rennur snúðstraumurinn, sem getur verið nokkuð mikill, um segulvafið. Þar sem straumurinn er mikill þarf að nota gildan vír í vöfin með ekki of mörgum vafningum. Fáum vafningum og gildum vír fylgir lítið viðnám, oftast minna en 2  $\Omega$ .

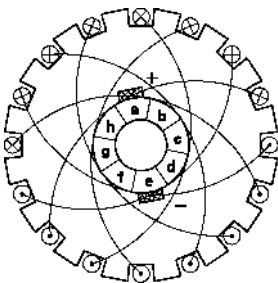


t.d. 0,01 – 1,0  $\Omega$

Venjulega eru jafnstraumsmótorar með vendipóla. Vendipólarnir eru hafðir mitt á milli aðalpólanna. Spólur vendipólanna eru raðtengdar við snúðinn og þess vegna rennur í þeim snúðstraumur. Venjulega eru vendipólarnir ekki hafðir með skautskó. Seinna verður fjallað um hlutverk vendipólanna.



## Snúðurinn



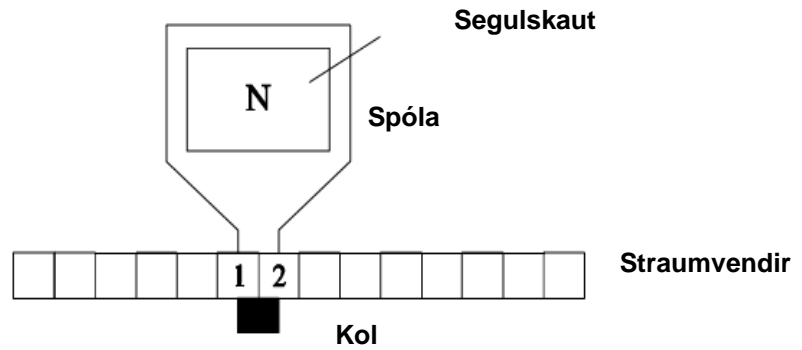
Þar sem snúðurinn snýst í kyrrstæðu segulsviði verður hann stöðugt fyrir breytilegum seguláhrifum. Þess vegna er snúðurinn alltaf gerður úr járnþynnum. Járnplöturnar, sem snúðurinn er gerður úr, eru með þunnt einangrunarlag á annarri hliðinni. Á kantinum á plötunum eru búin til hök sem mynda raufar fyrir spóluvírinn.

Þegar plötunum er þrýst á öxulinn er þeim snúið mismikið svo raufarnar sem hökin mynda liggja ekki samsíða öxlinum, heldur dálítið á ská miðað við hann.

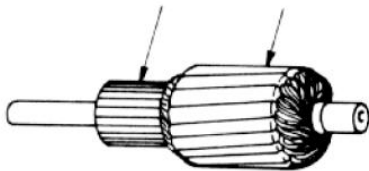


Jafnstraumsmótorar

Hliðar snúðspólanna liggja í raufunum og spóluendarnir liggja í koparþynnur straumvendisins svo endar einnar spólu liggja í næstliggjandi þynnu.

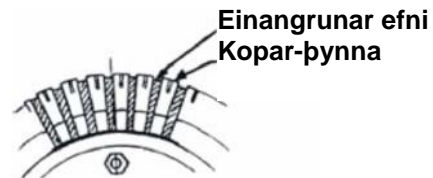
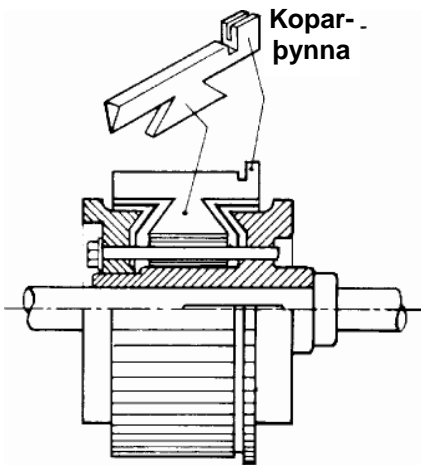


Straumvendir Raufar



Spólunum er fest í raufarnar með fleyg úr einangrunarefni. Um spóluendana sem liggja í straumvendiþynnurnar er vafið hampi eða nælonsnúru.

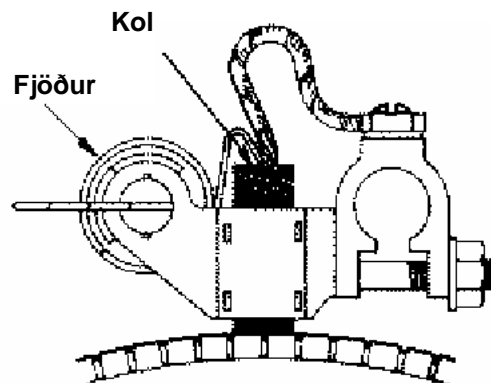
Straumvendiþynnurnar eru jafnmargar spólunum. Þynnurnar eru einangraðar hver frá annarri.



Straumurinn fer milli innri og ytri rásar mótorsins um snertikoll sem er þrýst að með fjöður í festingu á leguskildinum.

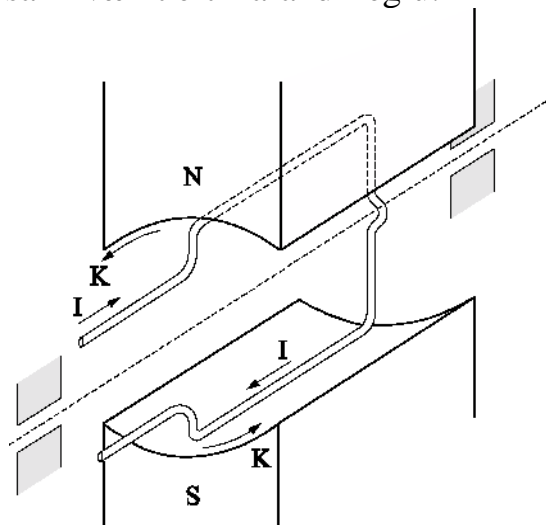
## Jafnstraumsmótorar

Snertiflötur kolanna á að hafa eins boga og yfirborð straumvendisins.



### Hvernig jafnstraumsmótorinn vinnur

Jafnstraumsmótorinn byggist á lögmálinu um gagnkvæm áhrif segulskautanna. Ef straumur er sendur um rafleiðara sem liggur í gegnum segulsvið, myndast segulsvið umhverfis leiðarann sem leitast við að ýta leiðaranum út úr segulsviðinu. Krafturinn, sem verkar á leiðarann, er kominn undir styrk segulsviðsins og straumnum sem fer um leiðarann. Hreyfistefnan er fundin út samkvæmt eftirfarandi reglu:



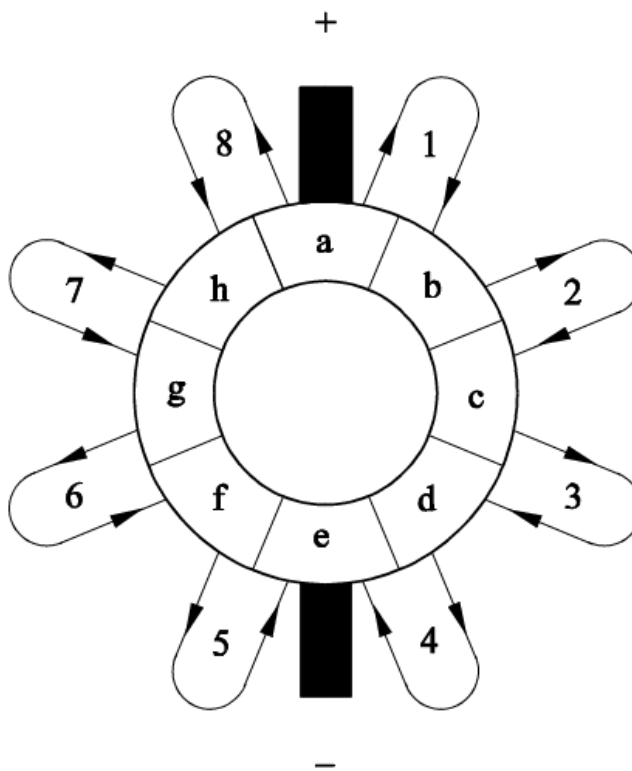
Hægri hönd er haldið þannig að segulkraftlínurnar stefni inn í lófann og fingurnir vísi í straumstefnuna. Leiðarinn hreyfist þá í átt að litla fingri.

## Jafnstraumsmótorar

Venjulega er segulsviðið í jafnstraumsmótorum fast og óhreyfanlegt en aftur á móti eru leiðararnir festir á snúðinn sem snýst á öxli. Leiðurunum er dreift jafn á snúðhringinn og þeim er komið fyrir niðri í raufunum til þess að bilið milli segulskauts og snúðs sé sem allra minnst.

Hlutverk straumvendisins er að halda straumstefnunni alltaf eins í öllum leiðurunum þegar þeir eru í stöðu undir norðurskautinu og á sama hátt í þeim leiðurum sem eru í stöðu undir suðurskautinu, en með öfugri straumstefnu.

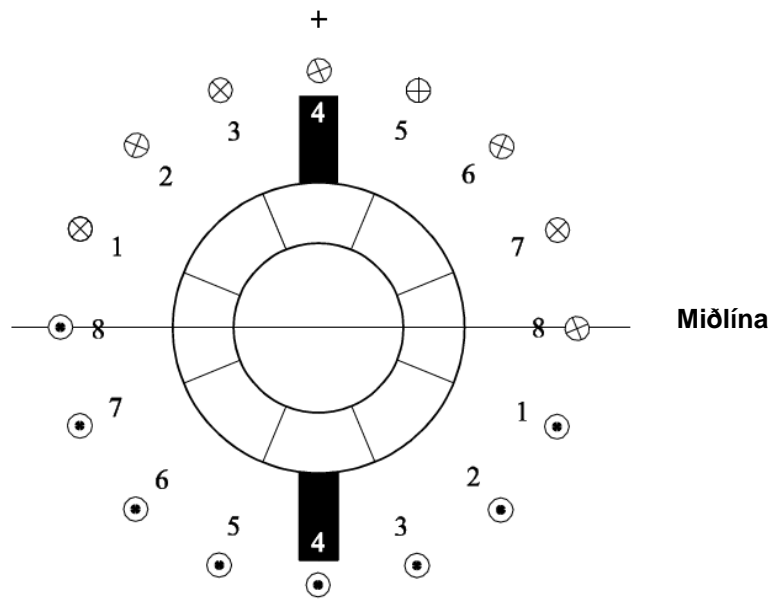
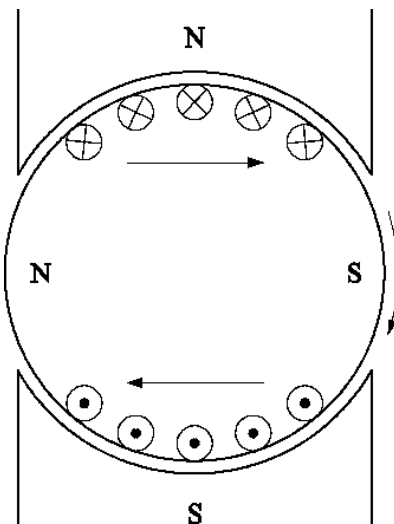
Ef send er spenna á spólurnar við tvo gagnstæða punkta á straumvendinginum rennur straumurinn í leiðurunum eins og myndin sýnir.



### Snúður með „útbreiddar“ spólur

Ef snúðnum er snúið til hægri svo kolin myndi samband við þynnurnar h og d breytir straumurinn um stefnu í spólum 4 og 8.

Þegar kolin snerta næstu tvær þver þynnur er spólunni, sem tengist þessum þynnum, skammhleyppt og straumurinn verður núll en rennur síðan í gagnstæða stefnu.


**Stráumstefnur og spóluhlíðar sem eiga saman**


Stráumstefnan er sú sama í öllum spóluhlíðum fyrir ofan miðlínu og fyrir neðan miðlínu er stráumstefnan í öllum spóluhlíðum einnig sú sama en í gagnstæða stefnu.

Þannig er það alltaf og skiptir þá ekki máli um hversu margar gráður snúðurinn snýst eða hversu marga hringi hann fer.

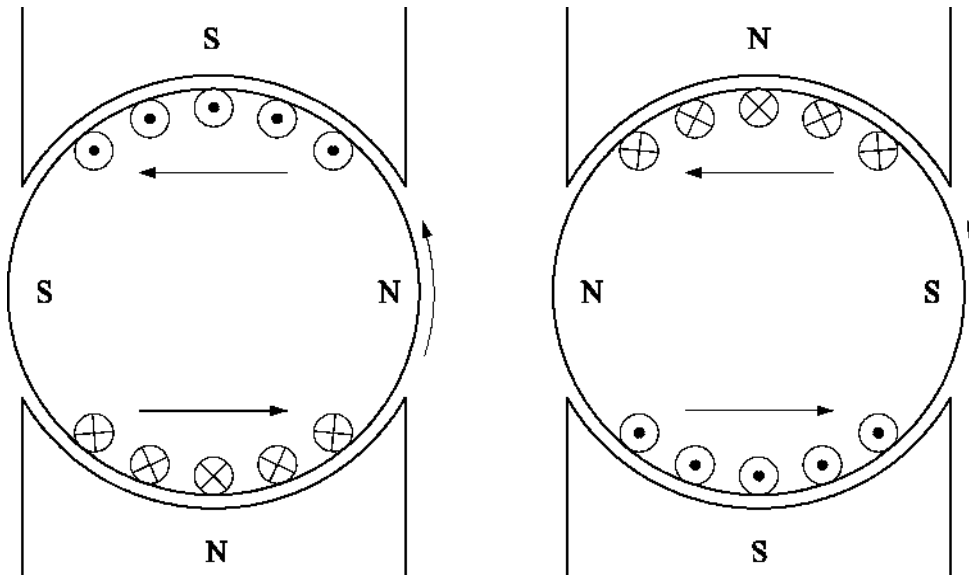
Ef snúðnum er komið fyrir í segulsviði með suðurskaut uppi og norðurskaut niðri hreyfast spóluhlíðarnar með X-stráumstefnu til hægri en spóluhlíðarnar með •-stráumstefnu til vinstri og þar með snýst snúðurinn réttsælis (til hægri) með skírskotun til meginreglu mótorsins.

Þar sem spóluhlíðarnar undir suðurskauti hafa áfram X-stráumstefnu og undir norðurskauti áfram •-stráumstefnu, snýst snúðurinn réttsælis (til hægri) með jöfnum hraða.

## Jafnstraumsmótorar

Ef straumstefnunni í snúðleiðurunum er snúið við snýst mótörinn í gagnstæða átt.

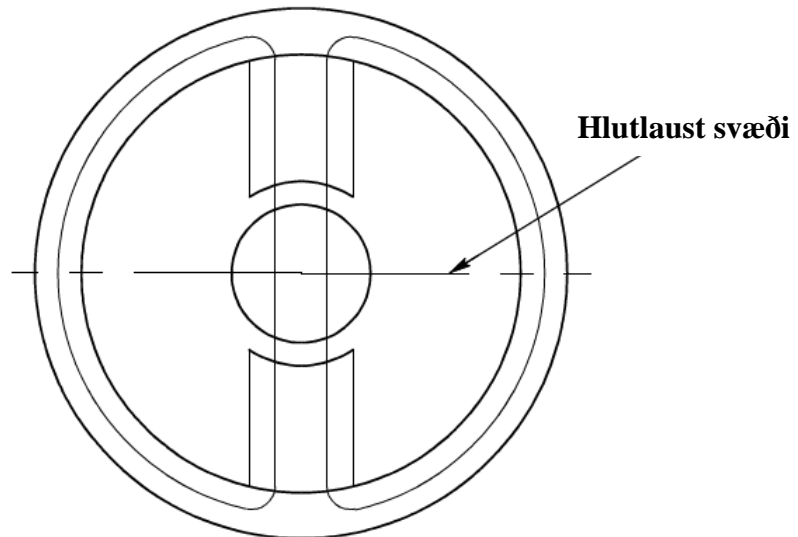
Ef straumstefnunni í segulsviðsspólunum er snúið við breytist líka snúningsstefna mótorsins.



Myndirnar þrjár sýna að viðsnúningur á straumstefnu í segulsviðsleiðurum eða snúðleiðurum veldur viðsnúningi á snúningsátt mótorsins en aftur á móti ef straumstefnu í bæði segulsviðs- og snúðleiðurum er snúið við verður ekki viðsnúningur á snúningsátt mótorsins. Það er þess vegna ekki nóg að umpóla mótörnum til að snúa við snúningsáttinni. Það þarf að víxla tengingunum við mótörinn.

**Hvernig vendipólarnir virka**

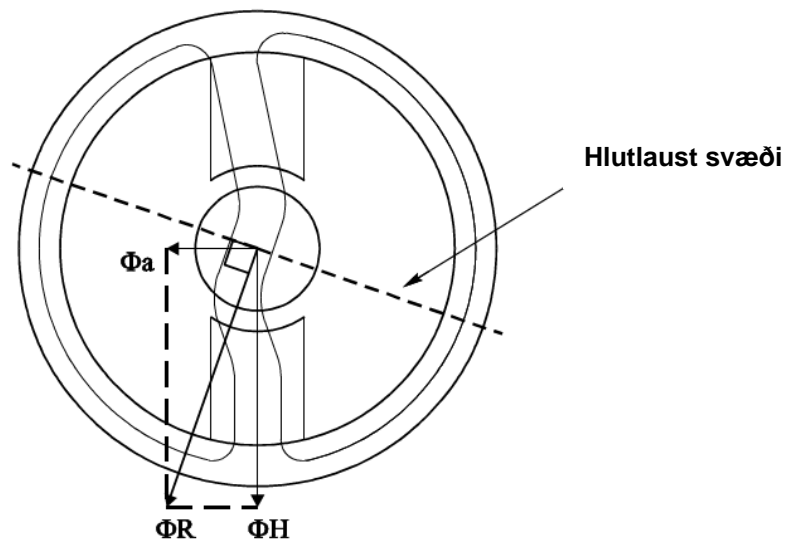
Þegar kolin gefa samtímis samband við tvær samliggjandi straumbreytiþynnur þá er skammhleyppt þeirri spólu sem tengist báðum þynnunum samtímis.



Til þess að komast hjá neistamyndun við straumstefnuviðsnúninginn er nauðsynlegt að kolunum sé þannig fyrir komið að aðeins sé skammhleyppt þeim spólum sem eru staðsettar á hlutlausu svæði.

Í lausagangi er hlutlausa svæðið hornrétt á segulsviðið vegna lítils snúðstraums.

Við álag myndar straumurinn í snúðvöfunum segulsvið sem gengur þvert á aðalsegulsviðið. Við þetta verður aðalsegulsviðið veikara þar sem kraftlínur beggja sviða ganga inn í snúðjárníð og þá snýst hlutlausa svæðið um nokkrar gráður.



Við vaxandi álag eykst snúningurinn á hlutlausu svæðinu. Í mótorum snýst hlutlausu svæðið um nokkrar gráður á **móti** snúningsáttinni. Í rafölum snýst hlutlausu svæðið um nokkrar gráður í **sömu átt** og snúningurinn er.

Ef mótorinn (rafallinn) er með vendipól getur hann haldið hlutlausu svæðinu stöðugu ef álagið er innan venjulegs málálags mótorsins (rafalsins).

Vendipólarnir mynda segulsvið af sama styrk og þversegulsvið snúðsins en í gagnstæða stefnu.

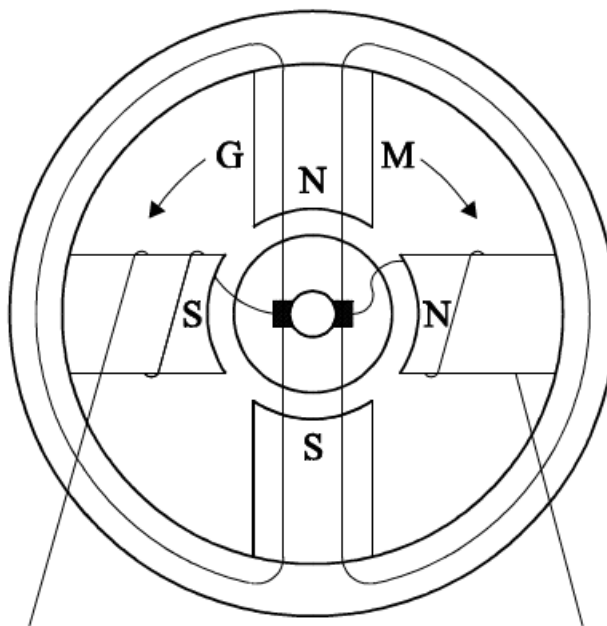
Þegar um mótor er að ræða, þá á vendipóll að koma á eftir aðalpól miðað við snúningsátt, báðir með sömu pólu.

---

### Jafnstraumsmótorar

---

Þegar um rafal er að ræða, þá á vendipóll að koma á eftir aðalpól en með gagnstæða pólun.



Vendipólarnir eiga að geta myndað segulsvið sem er í réttu hlutfalli við strauminn í snúðnum og eru þess vegna raðtengdir við snúðvöfin. Annar kostur fylgir notkun vendipólanna. Ekki er alveg hægt að komast hjá neistamyndun við kolin hversu vel sem vendipólarnir eru gerðir og reiknaðir út. Neistarnir senda raftruflun til baka í veitunetið. Þessi raftruflun er á nokkuð hárrí tíðni. Á leið í veitunetið þarf raftruflunin að fara um vendipólana og þar sem vendipólarnir eru spólur, deyfa þær þessa háu tíðni.



**Mótíspenna**

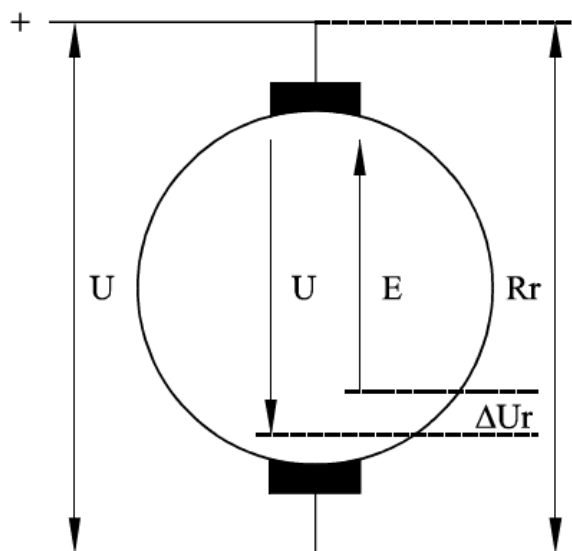
Þegar snúðurinn snýst skera spóluhliðarnar segulkraftlínurnar svo að spenna spanast upp í spóluvafningunum.

Stærð spennunnar ræðst af styrk segulsviðsins, snúningshraða og fasta sem er reiknaður út frá vafningsfjölda spólunnar og lengd hliðarvírsins. Rafkrafturinn er reiknaður út samkvæmt eftirfarandi formúlu.

$$E_m = \Phi \cdot n \cdot k$$

Stefna spennunnar ákvarðast, samkvæmt grunnlögmáli rafalsins, af stefnu segulsviðsins og hreyfistefnu leiðaranna.

Stefna spanaðrar spennu er gagnstæð stefnu aðfenginnar spennu og er því kölluð mótíspenna, táknað með  $E_m$ .


**Snúðstraumur**

Straumurinn í spóluinni ræðst ekki eingöngu af viðnáminu í spóluvírnum og stærð aðfenginnar spennu heldur hefur mótíspennan þar einnig áhrif.

## Reikningsdæmi

Mótor með  $4 \Omega$  viðnám er tengdur við  $230 \text{ V}$  spennugjafa.

Á því augnabliki þegar rofinn er sleginn inn og spennan fer á er snúðurinn kyrrstæður og þess vegna spanast ekki upp nein mótíspenna. Því má reikna strauminn svona út:

$$I_n = \frac{U - E_m}{R_n} = \frac{230 - 0}{4} = 55 \text{ A}$$

Þessi straumur er mesti straumur sem mótorinn getur tekið og má líta á hann sem startstraum þegar ekki er notaður sérstakur startútbúnaður.

Þessi straumur setur snúðinn af stað og mótíspenna, sem ræðst af hraða snúðsins, spanast upp. Við  $2100 \text{ sn/m}$  er spönuð mótíspenna t.d.  $210 \text{ V}$ .

$$I_n = \frac{U - E_m}{R_n} = \frac{230 - 210}{4} = 2,5 \text{ A}$$

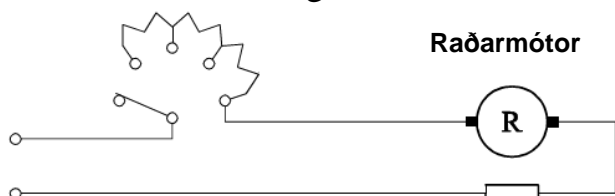
Eins og útreikningarnir bera með sér minnkar straumurinn með vaxandi snúningshraða. Þar með verður snúningshraði mótorsins stöðugur og jafn við ákveðinn hraða þegar styrkur hverfisegulsviðsins vegur nákvæmlega upp á móti núningsviðnámi í legum og hugsanlega kæliviftu. Aflið, sem mótorinn tekur, er kallað tómgangsafl og er reiknað svona:

$$P_{\text{tap}} = U \cdot I_{\text{tómgang}} = 230 \cdot 2,5 = 550 \text{ W}$$

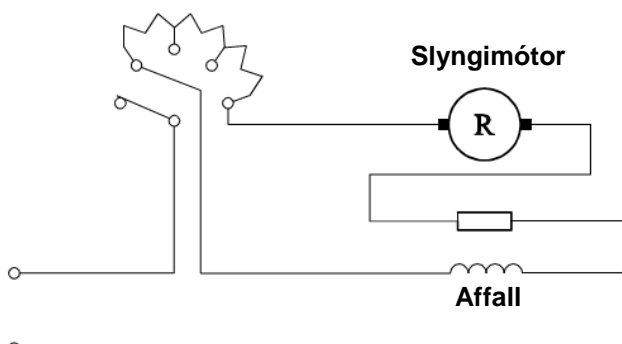
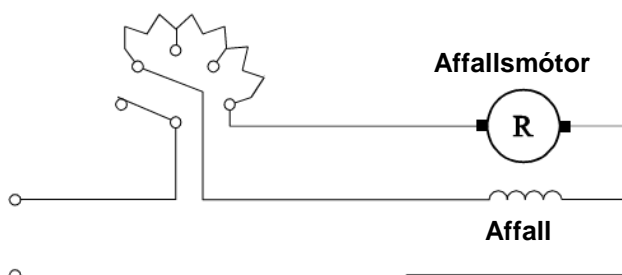
Þessir útreikningar eru einfaldaðir dálítið þar sem ekki er tekið tillit til mótorgerðarinnar. Auk þess er ekki tekið tillit til spennufalls yfir kolin og þess hvort segulsviðið sé stöðugt. En útreikningarnir eiga þó að geta gefið hugmynd um strauminn, sem mótorinn tekur, miðað við snúningshraða.

**Startstraumur**

Startstraumur, sem dæmið hér á undan sýnir, er yfirleitt ekki ásættanlegur. Þess vegna er oft notaður ræsir til að takmarka startstrauminn svo hann verði ekki meiri en sem svarar 1,5 – 3 sinnum meiri en straumur við fullt álag.



Hægt er að minnka startstrauminn með því raðtengja viðnám við mótorinn til þess að auka með því heildarviðnámið. Þetta má einnig orða á þá leið að aðsend spenna til mótorsins er lægri í startinu. Svona ræsir er oft byggður upp sem röð viðnáma sem eru slegin út, eitt og eitt í einu, eftir því sem mótorinn eykur hraðann.



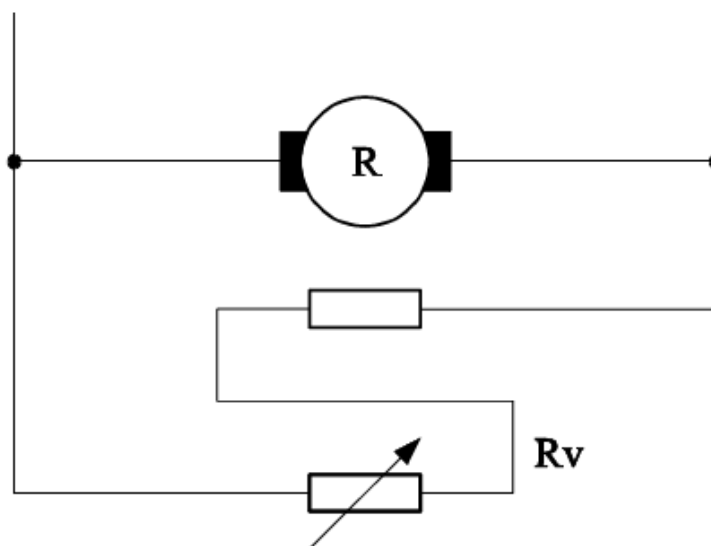
Svona ræsir eru ekki mikið notaðir í dag þar sem sá böggull fylgir skammrifi að mikil hitamyndun á sér stað í startinu þegar viðnámín eru á.

Í dag eru að mestu notaðir rafeindaræsir.

Sá kostur fylgir auk þess nýjustu gerðum rafeindaræsnum að hægt er að nota þá til að stýra snúningshraðanum.

**Reglun á snúningshraðanum**

Mjög þægilegt er að stýra snúningshraðanum á affallsmótorum. Til að minnka snúningshraðann undir málhraða verður að lækka spennuna til mótorsins. Aukningu á snúningshraðanum yfir málhraða má hins vegar ná fram með því að minnka styrk segulsviðsins. Þegar styrkur segulsviðsins minnkar á snúðurinn að herða á sér til að sama mótíspenna ( $E$ ) geti myndast. Svona reglun á snúningshraða má ná fram með því að raðtengja stilliviðnám við affallsvafið.



En þó verður að tryggja að straumurinn um segulvafið verði ekki of lítill eða rofni ekki alveg þar sem það myndi valda því að snúðurinn yrði að snúast mjög hratt til að spana upp nauðsynlega mótíspennu. Þessi snúningshraði yrði það mikill að snúðurinn myndi skemmast þar sem snúðvöfin myndu þrýstast út frá miðju.

Ekki er hægt að stýra snúningshraða raðarmótors því að hraði hans ræðst af álaginu á mótorinn. Segulsviðið er myndað af raðtengivöfum sem fá sama straum og snúðvöfin. Ef ekkert álag er á mótornum minnkar straumurinn þegar snúðurinn herðir á sér. Við það minnkar um leið styrkur segulsviðsins þar sem straumurinn er sá sami í snúðvöfunum og segulvöfunum sem eru raðtengd saman.

---

### Jafnstraumsmótorar

---

Þá eykst snúningshraði snúðsins til að spana upp nauðsynlega mótispennu. Afleiðingin verður venjulega skemmdur eða ónýtur snúður vegna of mikils hraða. Aldrei má starta raðtengimótor án álags. Hægt er að hraðastýra slyngi mótor á sama hátt og affallsmótor en sömu varúð þarf að viðhafa við að draga úr styrk segulsviðsins.