



Rafbók



Rafmagnsfræði

Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Þetta hefti er án endurgjalds á rafbókinni.

www.rafbok.is

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

Höfundur er Eggert Gautur Gunnarsson

Umbrot: Ísleifur Árni Jakobsson

Heimilt er að afrita textann til fræðslu í skólum sem reknir eru fyrir opinbert fé án leyfis höfundar eða Fræðsluskrifstofu rafiðnaðarins.

Hvers konar sala á textanum í heild eða að hluta til er óheimil nema að fengnu leyfi höfundar og Fræðsluskrifstofu rafiðnaðarins.

Vinsamlegast sendið leiðréttingar og athugasemdir til

Báru Halldórsdóttur á netfangið bara@rafnam.is

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Efnisyfirlit

17 Jafnstraumsvélar	4
17.1 Bygging jafnstraumsvéla	4
Inngangur	4
Segulpólar	6
Segulspólur	7
Vendipólar	9
Snúðurinn	12
Straumvendirinn	13
Kolburstar	15
Legur	17
Jafnstraumsvélin sem rafali og mótur	17
Vinnumáti straumvendisins	18
Rafmagnsgjafi	25
Tengingar jafnstraumsvéla	26
Sjálfstæð segulmögnun	26
Affalsvél	27
Raðarvél	27
Slyngivél	28
Merking tengibrettis	29
Spönuð spenna og stjórnun hennar	30
Æfingadæmi úr 17.1	Error! Bookmark not defined.
17.2 Rafalar	35
Affallsrafali	35
Rafali með sjálfstæða segulmögnun	39
Raðarrafali	39
Slyngirafali	40
Sýnidæmi 2	42
Afl, tap og nýtni jafnstraumsvéla	44
Sýnidæmi 3	46
17.3 Mótorar	48
Snúningsvægi, spönuð mótspenna og snúningshraði	48
Keyrsla jafnstraumsmótora	55

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Afl jafnstraumsmótora	55
Kostir og gallar jafnstraumsmótora	55
Afallsmótorinn	56
Raðarmótorinn.....	64
Slyngimótorinn.....	68
Hraðastjórnun jafnstraumsvél	70
Inngangur	70
Hraðastýring með breytingu á Φ	70
Hraðastýring með breytingu á spennunni, U.	71
Stillanleg jafnspenna	72
Stillanleg jafnspenna framleidd með rafala.	73
Ward Leonard kerfi	76
Hífling	77
Slökun.....	78
Týristorakerfi.....	82
Ein týristorabré.....	82
Tvær týristorabryr	86
WL-kerfi með týristorum	88
Hirðing rafvéla	90
Raki	90
Legur	91
Viðhald straumvendis.....	91
Hreinsun	93
Endurnýjun kolbursta	94
Nokkur heilræði	97
Bilanayfirlit	98
Spurningar úr 17. kafla	99
Svör við æfingadæmum úr kafla 17.....	115

17 Jafnstraumsvélar

17.1 Bygging jafnstraumsvéla

Inngangur

Aðalhlutar jafnstraumsvélar eru segulmögnunarkerfið og snúðurinn. Segulmögnuninni tilheyra segulpólarnir með segulspólum), húsið og snúðjarnið. Segulsviðið myndast í pólunum þegar straumur fer um segulspólur þeirra og það hringrásar um póla, hús og snúðjárn. Snúðurinn skiptist í snúðjárn, snúðvindinga og straumvendi.

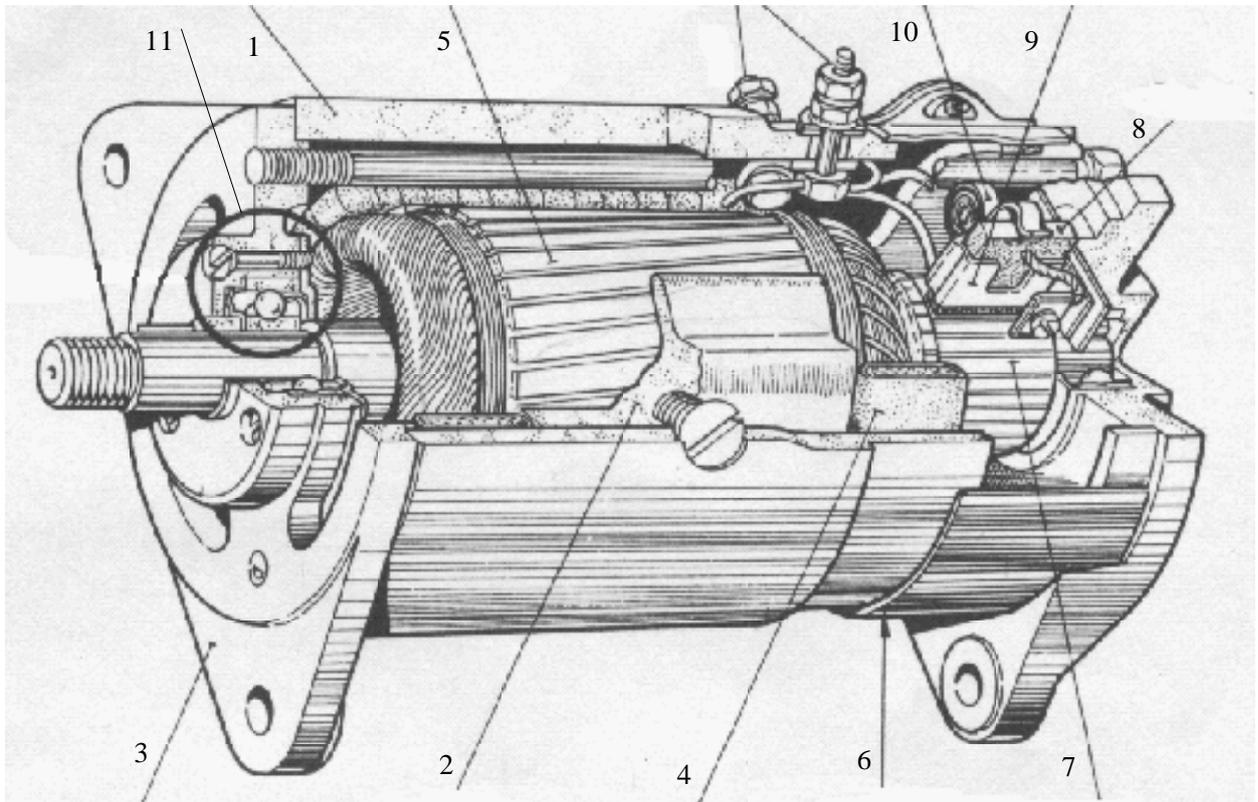
Segulmögnunin myndast í kyrrstæðum pólum í húsi vélarinnar, og snúðurinn snýst í segulsviðinu.

Þegar jafnstraumsvélin vinnur sem rafali myndast (spanast upp) riðstraumur í snúðvöfunum þegar þau hreyfast í segulsviðinu frá pólum segulmögnunarkerfisins. Riðstraumnum er breytt í jafnstraum í straumvendinum. Sjá nánar um spanaða spennu í kafla 14. Þegar vélin vinnur sem mótör má segja að ferlið snúist við. Þá fær vélin jafnspennu inn og straumvendirinn breytir henni í riðspennu í vöfum vélarinnar. Þannig verður alltaf sama straumstefna við ákveðinn pól og kraftur myndast sem snýr mótörnum.

Jafnstraumsvélar eru framleiddar bæði sem rafalar og mótórar. Enginn munur er á hönnun rafala og mótors. Allir jafnstraumsrafalar geta unnið sem mótórar og öfugt.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Mynd 17.1 sýnir í grófum dráttum uppbyggingu jafnstraumsvélar. Nr. 1 er húsið, sem er holur sívalningur úr steypustáli, eða járnplötu, sem völsuð hefur verið í hring og soðin saman. Húsið hefur því hlutverki að gegna að vera leiðir fyrir segulkraftlínurnar, festing fyrir pólskóna og festing fyrir endaplöturnar, nr. 3 á mynd 17.1



Mynd 17.1

Á mynd 17.2 er sýnd nýrri hönnun jafnstraumsvéla. Hér er hús vélarinnar kantað og allt járníð í vélinni er úr blikkplötum með einangrun á milli. Efnið í blikkplötunum hefur betri seguleiginleika, vélarinnar geta verið minni um sig og nýtnin verður meiri. Sjá nánar um blikk í rafvélum í kaflanum um snúðinn.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Mynd 17.2a sýnir hús vélarinnar og mynd 17.2b sýnir inn í enda hennar þar sem aðal- og vendipólar koma vel í ljós. Vinnumáti þessara véla er eins og vinnumáti véla með eldra byggingarlag.

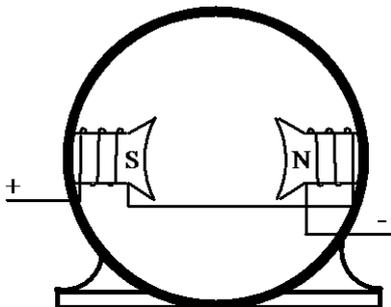


Mynd 17.2a

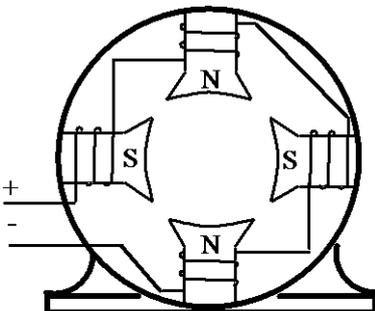


Mynd 17.2b

Segulpólar



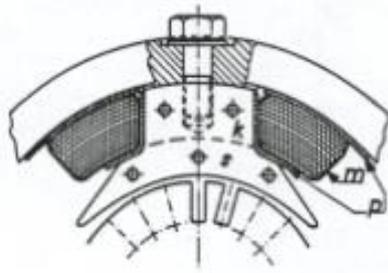
Mynd 17.3 a



Mynd 17.3 b

Nr. 2 á mynd 17.1 er annar aðalpóll vélarinnar. Aðal-pólunum er komið fyrir með jöfnu millibili innan í húsinu og skiptast á norðurpóll og suðurpóll, jafn-margir af hvoru. Pólarnir eru skrúfaðir fastir innan í húsið. Mynd 17.3a sýnir hús með tveimur pólum, einu pólpari og mynd 17.3b hús með tveimur pólpörum.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar



Mynd 17.3c

Mynd 17.3c sýnir einn pól ásamt hluta snúðsins. Pólinn er í tveimur hlutum, kjarninn, k, og pólskórinn, s. Pólskórinn hefur þannig lögun, að segulkraftlínustraumurinn gegnum loftbilið verði sem jafnastur. Pólskórinn er alltaf gerður úr þunnum blikkplötum (u.þ.b. 0,5mm), sem hnoðaðar eru saman. Þetta er nauðsynlegt til að minnka hvirfilstrauma í sjálfum pólskónum, því að hann sker alltaf segulkraftlínur, þegar leiðar snúðsins skera segulkraftlínur segulpólanna.

Segulspólur

Utan um pólkjarnann er segulspóla pólsins. Kjarninn má vera úr venjulegu járni, því að kraftlínustraumurinn, sem um hann fer, er ekki breytilegur, þ.e. skiptir ekki um stefnu og það myndast því ekki hvirfilstraumar. Pólkjarninn er samt oft gerður úr sérstökum blikkplötum, en það er einungis vegna þess að auðveldara er að stansa kjarnann og pólskóinn í einu lagi, mynd 17.3c. Sjá nánar um hvirfilstrauma í kaflanum um byggingu snúðsins.

Nr. 4 á mynd 17.1 og m á mynd 17.3c sýnir segulvöf pólsins og eru þau gerð úr einangruðum eirleiði, sem komið er fyrir á fíberþynnum (p á myndinni) eða þynnum úr Nomexeinangrun.

Ef segulvöfin eru affallsvöf, er þeim ætlað að flytja lítinn straum, og eru þess vegna mjög mörg vöf úr mjóum leiði.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Ef segulvöfin eru raðarvöf, er þeim ætlað að flytja mikinn straum, og þess vegna fá vöf úr gildum þræði. Raðarvöfin eru raðtengd snúðnum og flytja því sama straum og hann. Mundu að það er margfeldi straums, I , og vindingafjölda, N , sem ræður styrk kraftlínustraumsins, F . (Sjá bls. 14.3 í Raf.bók 1). Margfeldið $I \cdot N$ er oft kallað „ampervindingatala“ pólsins.



Mynd 17.4

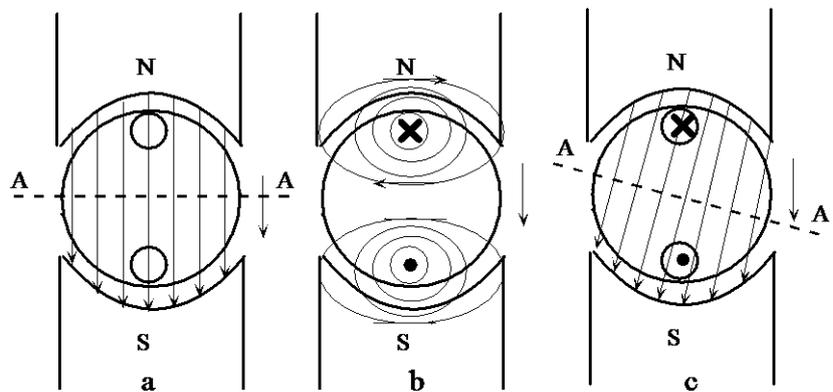
Í slyngi vélum eru bæði affallsvöf og raðarvöf. Þau eru annaðhvort staðsett hlið við hlið á kjarnanum mynd 17.4a eða öðru er vafið utan um hitt, mynd 17.4b. Sjá nánar um mismunandi tengingar á bls. 42

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Vendipólar

Vendipólar eru nauðsynlegir til að koma í veg fyrir neistamyndun á straumvendinum við álag. Neistamyndunin stafar af því að segulsviðið kringum snúðleiðana hefur áhrif á aðalsviðið og veldur því að það skekkist, svokölluð snúðspyrna.

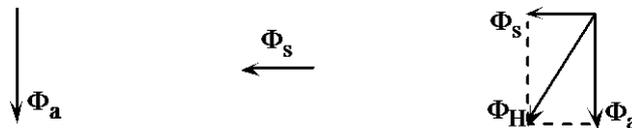
Snúðspyrna er nokkurskonar gagnverkun snúðsviðsins á aðalsviðið í vélinni þegar vélin er lestuð. Áhrif snúðsviðsins á aðalsviðið er sýnt á mynd 17.5. Þegar vélin gengur álagslaus er snúðstraumurinn lítill eða nærri því að vera núll. Þá er aðalsviðið alsráðandi og segulkraftlínurnar í tveggja póla vél fara milli póla í beinum línum, mynd 17.5a. Aðalsviðið er við þessar aðstæður jafnt svið og við getum táknað það með vektornum Φ_a . (a fyrir aðalsvið á mynd 17.5d.) Meðan vélin er álagslaus liggur hlutlausu beltið mitt á milli aðalpólanna.



Mynd 17.5

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Sé vélin lestuð, notuð sem rafali og látin snúast rétt-sælis, verður straumstefnan í snúðleiðunum eins og mynd 17.5 b sýnir. Snúðurinn myndar nú sjálfur segulsvið og við sjáum sviðsstefnuna út frá tappa-togarareglunni (Mynd 14.1 í 1.hefti). Á mynd 17.5 b er snúðsviðið teiknað eitt sér og þar kemur greinilega fram að stefna snúðsviðsins inni í snúðnum er þvert á stefnu aðalsviðsins. Við táknum það með vektorum Φ_s . (s fyrir snúð á mynd 17.5 d.)



Mynd 17.5d

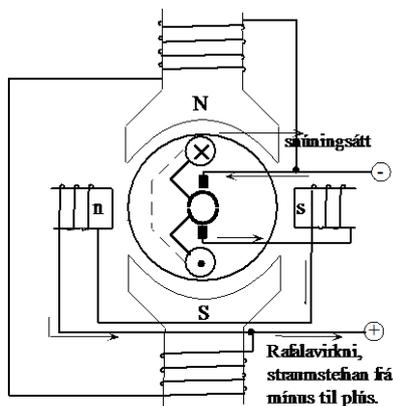
Á mynd 17.5c sést síðan summa segulsviðanna, þ.e. ríkjandi segulsvið í vélinni. Á mynd 17.5d er þetta sýnt með summu vektoranna Φ_a og Φ_s í heildarvektor Φ_H .

Auk þessa eru áhrif snúðspyrnunnar breyting á stefnu segulkraftlínanna og þar með stöðu hlutlausu beltisins A-A, sjá myndir 17.5 a og c.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

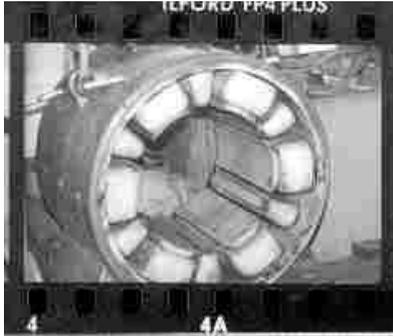
Í rafala færist hlutlausu beltið með snúningsáttinni og í mótur á móti snúningsáttinni. Flutningur hlutlausu beltisins er í réttu hlutfalli við snúðstrauminn. Ef ekkert er gert við þessari breytingu hlutlausu beltisins er ennþá að spanast spenna í þeirri snúðspólu sem kolin skammhleypa og það orsakar öflugan straum sem getur skemmt eða jafnvel eyðilagt straumvendinginn.

Til að komast hjá eyðileggingu eru eldri jafnstraumsvélar útbúnar með stillanlegri burstabré. Burstunum er snúið þegar vélin er í gangi, þannig að þeir lenda í hlutlausu beltinu. Í rafala er þeim snúið með snúningsátt, í mótur á móti. Rétt burstastaða er þegar vélin gengur án neistamyndunar. Ókostur þessa fyrirkomulags er að hlutlausu svæðið flyst til með álaginu. Þar að auki hindrar flutningur burstabréarinnar ekki sviðsveikinguna í aðalpólunum.



Nýrri vélar eru þess vegna útbúnar með svokölluðum hjálpar- eða vendipólum, sem upphefja áhrif snúðsviðsins. Þeir eru staðsettir mitt á milli aðalpólanna og spólu þeirra vafðar og tengdar þannig að segulsviðið sem þeir mynda hefur gagnstæða stefnu miðað við snúðsviðið, sjá mynd 17.5d. Hér eru N-S aðalpólar og n-s vendipólar. Vendipólavöfin eru þannig að styrkur segulsviðsins í vendipólunum er í réttu hlutfalli við segulsvið snúðsins, þ.e.a.s. aukist snúðstraumurinn og þar með skekkjan eykst líka leiðréttingarsegulsvið vendipólanna.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar



Mynd 17.6

Vöfin á vendipólunum eru fá og gild, því þau eru gerð fyrir mikinn straum, snúðstrauminn. Á mynd 17.6 er hús jafnstraumsvélar með aðalpólum, A, og vendipólum, V.

Snúðurinn

Nr. 5 á mynd 17.1 sýnir snúðinn, sem er sívalningur samsettur úr mörgum blikkplötum 0,1-0,5mm þykkum. Hann er settur saman á þennan hátt til að draga úr hvirfilstraumum. Hvirfilstraumar eru straumar sem spanast í leiðandi efni sem er í breytilegu segulsviði eins og snúðurinn þegar hann snýst.

Plöturnar eru einangraðar hver frá annarri með lakki eða oxíð himnu og eru gerð göt á þær fyrir öxulinn og stundum einnig göt fyrir loftrás til kælingar. Í þær eru einnig stansaðar nótir fyrir snúðleiðana.

Plötunum er þrýst saman með gegnumgangandi boltum og eru þrýstiplötur til endanna.

Kæling snúðsins fer þannig fram að á öxlinum er komið fyrir blásarahjól, sem við snúning sýgur loft gegnum loftrásir snúðsins. Í sumum tilfellum er sjálfstæður blásaramótor utan við aðalvélinu sem blæs kælilofti í gegnum hana. Sjá mynd 17.7. Það er sérstaklega mikilvægt þegar vélin er keyrð með breytanlegum snúningshraða.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar



Snúðvöfin eru venjulega úr lakkeinangruðum eirleiðum, sívölum eða ferköntuðum.

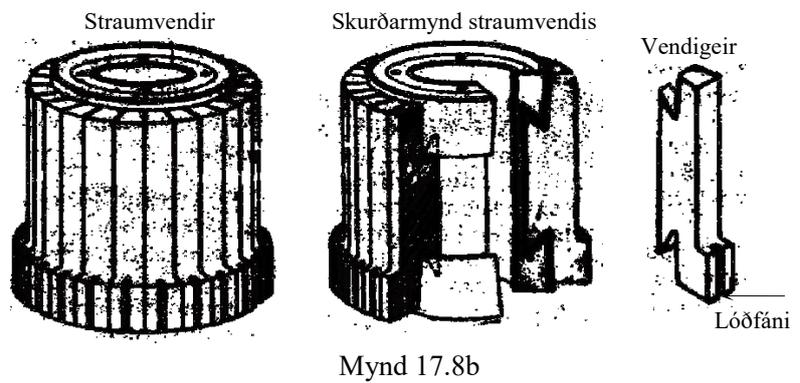
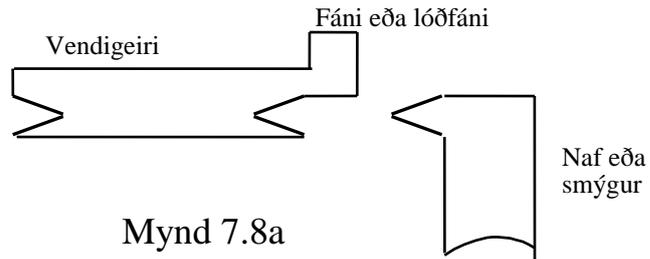
Fjöldi snúðvafanna er mismunandi. Í minni vélum er oft vafið beint í nótirnar á snúðnum, en algengt er að vöfin séu fyrst undin, síðan sett niður í nótirnar á snúðnum, nokkrir vírar í einu, þar til vöfin eru komin á sinn stað, einangruð frá snúðkjarnanum með hitaþolinni einangrun. Að lokum er nótinni lokað með því að sleginn er mjúkur tré- eða fíberlisti inn í nótina, sem heldur vöfunum föstum. Snúðurinn er síðan lakkaður og bakaður í ofni við 120-150°C.

Nauðsynlegt er að binda spólurnar niður vegna miðflóttaaflsins sem vex hratt með vaxandi snúningshraða. Áður fyrr var stálvír vafinn um spólurnar mjög þétt og síðan lóðað fyrir. Í dag er notaður glerþráður sem er undinn utanum og steypur saman með hita, u.þ.b. 150°C.

Straumvendirinn

Nr. 7 á mynd 17.1 og mynd 17.8 b sýna straumvendinn. Geirum úr harðvölsuðum eir er raðað kringum naf eða smýg, sem oft er úr steypujárni. Geirarnir eða vendigeirarnir eru einangraðar hvor frá öðrum með u.þ.b. 1,5 mm þykkri einangrun úr gljásteini (glimmer). Endar snúðvafanna eru síðan lóðaðir beint á plöturnar eða á sérstaka lóðfána sem standa upp úr vendigeirunum eins og sýnt er á mynd 17.8 a. Vendigeirarnir og einangrunin eru pressuð saman með smýgnum.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

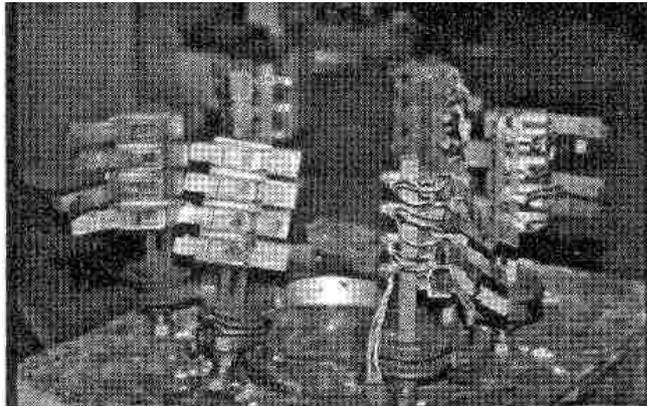


Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

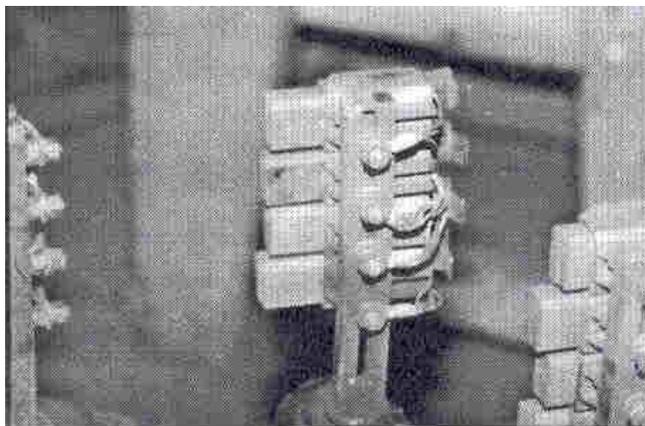
Kolburstar

Mynd 17.1 sýnir hvernig kolburstunum, nr. 8, er komið fyrir í sérstökum höldum, nr. 9, og þrýst að straumvendinginum með fjöður eða gormi, nr. 10. Nr. 6 er hlíf sem er hægt að losa til að komast að kolunum.

Kolburstahöldurnar festast við undirstöður sínar, kolburstabrúna, með skrúfum og er einangrað á milli. Með því að losa festiskrúfu á kolburstabrúnni er hægt að snúa henni til, með eða á móti snúningsátt vélarinnar, og stilla þannig stöðu kolburstanna. Sjá mynd 17.9a sem sýnir burstabrú úr vél með 6 pólum og jafn mörgum kolapörum. Stundum eru kolin fleiri en eitt í ásstefnu til að dreifa straumnum og minnka þar með straumálagið á hvert kol. Þetta kemur vel fram á mynd 17.9b.



Mynd 17.9a

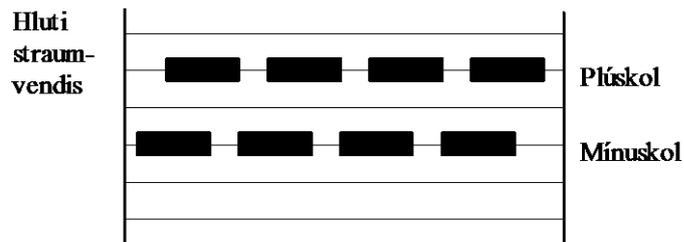


Mynd 17.9b

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Í jafnstraumsvélum með 100 V spennu og þar yfir eru mest notuð kolefni og grafít, en við lægri spennu eru blöndur af kopar og grafít mikið notaðar. Þó eru í mörgum tilfellum notuð kolefni og grafít í slíkar vélar, t.d. í rafala í ökutækjum.

Venjulega eru í vélinni jafnmargir kolburstar eða kolburstaráðir og aðalpólar. Í stærri vélum eru kolburstararnir oft staðsettir hlið við hlið í ásstefnu til að dreifa straumnum á fleiri kol. Kolaröðunum er síðan hliðrað til að álagið á straumvendinn verði jafnara. Sjá mynd 17.9c.



Mynd 17.9c

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Legur



Mynd 17.10

Jafnstraumsvélin sem rafali og mótör

Í seinni tíð eru rafvélar aðallega búnar kúlu- eða rúllu- legum, því að með þeim getur maður fengið minnst loftbil milli snúðs og pólskóa. Sintraðar koparfóðringar eða hvítmálmfóðringar eru oft í smærri mótörum, t.d. mótörum sem eru notaðir sem ræsar. Meginhluti ampervindingafjöldans, $I \cdot N$, á pólunum fer í að koma segulkraftlínunum yfir loftbilið milli pólanna og snúðsins. Eftir því sem loftbilið er minna nýtast betur ampervindingar vélarinnar eða við getum haft þá færri. Það þýðir minni straum í segulvöfum affallsvélar eða vöfum vélar með sjálfstæða seglun.

Við samsetningu á rafvélum eftir viðgerð er mikilvægt að legurnar séu óþvingaðar og þarf að gæta að því að snúðurinn snúist liðlega áður en spenna er sett á vélin. Nr. 11 á mynd 17.1 sýnir legur vélarinnar og á mynd 17.10 sést leguhlífin, merkt með L.

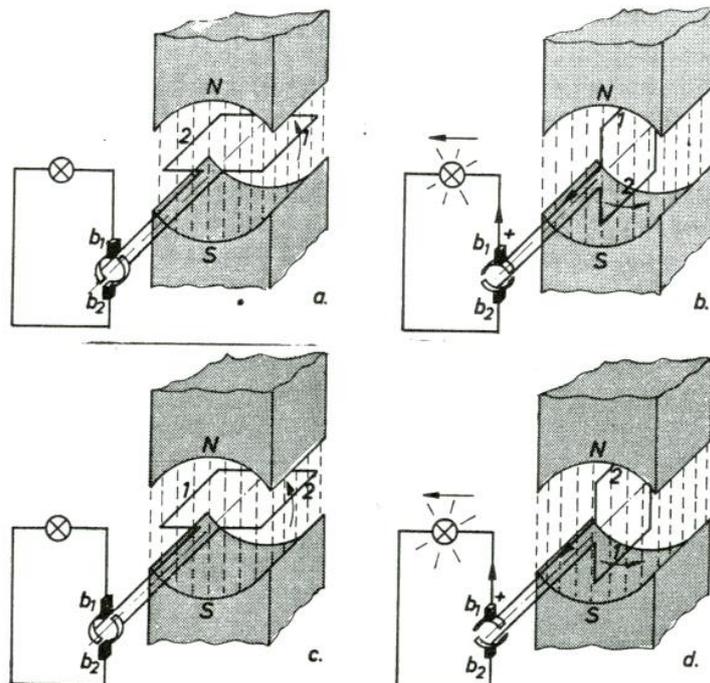
Jafnstraumsvél má nota jafnt sem rafala og mótör. Uppbyggingin er í grundvallaratriðum sú sama. Vélin vinnur sem rafali þegar hún er tengd og knúin af aflvél og sem mótör þegar hún er tengd neti og knýr einhverja vinnuvél.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Vinnumáti strau-
mvendisins

Á bls. 15.2 í 1. hefti var sýnt fram á hvernig riðstraumur myndast í spólu eða vafi sem snýst í segulviði og tengist álagi gegnum kol og sleituhringi. Við skiptum nú á sleituhringjunum og strauvendi eins og sýnt er á mynd 17.11. Straumvendirinn er myndaður úr tveimur koparþynnum, vendigeirum, einangruðum hvor frá annarri og frá ásnum, sem þær eru festar á og fylgja þannig snúningi spólunnar en endar hennar eru festir hvor við sinn vendigeira.

Kolburstarnir, b_1 og b_2 , sem flytja spönuðu spennuna út frá spólu og vendigeirunum, eru staðsettir þannig að þeir skammhleypa enda spólunnar þegar hún er í hlutlausu beltinu, mynd 17.11a. Álagið (ytri straumrásin) er í þessu tilfalli ljósapera.



Mynd 17.11

Þegar spólan snýst, spanast riðspenna í leiðum spólunnar, eins og áður hefur verið útskýrt. Ef við fylgjum nú straumnum gegnum ytri straumrásina, sést

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

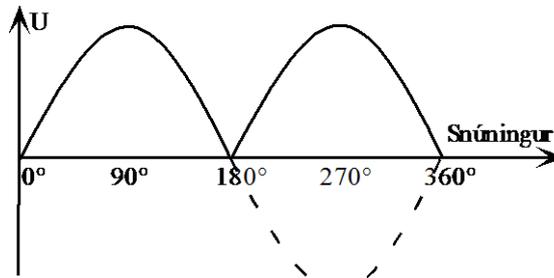
að þar verður alltaf um sömu straumstefnu að ræða, þ.e. frá hægri til vinstri, gegnum peruna, mynd 17.11 b og d.

Efri burstinn, b1 (sem við köllum + bursta) hefur stöðugt samband við leiðinn, sem er við efri pólinn hverju sinni. Í þeim leiði spanast aftur á móti straumur, sem stefnir út úr pappírnum. Af þessu leiðir, að straumstefnan í álaginu er alltaf sú sama. Sannreyndu þetta með hægrihandarreglunni, sjá mynd 17.42.

Útlit spennunnar yfir álagið verður eins og sýnt er á mynd 17.12. Á hálfum snúningi (180°) fer spennan úr 0V í jákvætt mesta gildi og fellur svo aftur í núll. Í næsta hálfhring fer spennan aftur frá núlli í jákvætt mesta gildi og svo aftur í núll. Spennan er í hámarki þegar staða spólunnar er eins og myndir 17.11 b og d sýna, þ.e. hámarks kraftlínuskurður.

Við fáum eins og myndin sýnir tvo jákvæða spennutoppa í staðinn fyrir einn jákvæðan og einn neikvæðan eins og við hefðum fengið með sleituhringjunum. Jafnstraumurinn er það sem kallað er púlserandi, þ.e. styrkur hans er breytilegur í ytri straumrásinni en skiptir ekki um stefnu. Mynd 17.12. Til að fá jafnari jafnspennu er spólum og vendigeirum fjölgað og skipt jafnt niður á snúðinn.

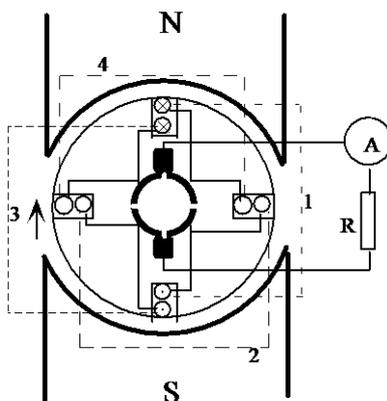
Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar



Mynd 17.12

Við skulum samt taka þetta stigvaxandi og líta aðeins nánar á vinnumáta snúðs með fjórum spólum. Mynd 17.13 sýnir þverskurð vélar með tveimur pólum og fjórum spólum í snúðnum. Straumvendirinn verður þá einnig fjórskiptur og spóluendarnir tengjast saman á vendigeirunum. Snúðspólurnar eru merktar með tölustöfunum 1-4. Litlu hringirnir í nótnunum eru þverskurður spóluhliðanna, sem liggja eftir endilöngum snúðnum.

Í spóluhliðunum spanast spennan því þær skera segulkraftlínurnar þegar snúðurinn snýst. Brotnu línurnar tengja saman spóluhliðarnar að aftan og heilu línurnar tengja spóluendana við vendigeirana.

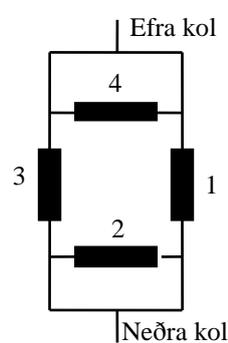


Mynd 17.13

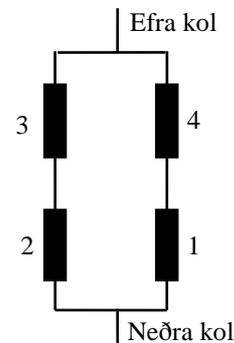
Við skulum fylgja eftir spólu 1 til að átta okkur betur á myndinni. Fylgjumst með hvernig straumur gæti streymt eftir leiðslunni frá straummælinum inn í efra kolið, í vendigeirann hægra megin að ofan og upp í spóluhliðina, eftir henni og brotnu línunni niður í neðri spóluhliðina, þaðan upp í vendigeirann, hægra megin að neðan, í neðra kolið, út í álagið og straummælinn og hringrásinni er lokið. Þannig gætum við tekið fyrir allar spólurnar fjórar.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Í þeirri stöðu snúðsins sem myndin sýnir, snúningsátt með úrvísinum, er hámarksspan í spóluhliðunum sem eru staddar undir pólunum, þ.e. í spólum 1 og 3. Spanið í spólum 2 og 4 er hinsvegar núll á þessu augnabliki miðað við að hlutlausu beltið sé mitt á milli aðalpólanna. Það gerir því ekkert til þó kolin skammhleypi þessar spólur því í þeim er engin spönuð spenna. Við getum hinsvegar ímyndað okkur hvað gerist ef hlutlausu beltið færast til vegna snúðsþrygnar því þá væri enn span í spólum 2 og 4 með tilheyrandi skammhlaupi. (Sjá kaflann um snúðsþrygnu.) Straumurinn frá spólum 1 og 3 kemur í báða helminga straumvendisins og sameinast í kolunum og fer þaðan út í ytri straumrásina. Straumrásin er sýnd á mynd 17.14.



Mynd 17.14

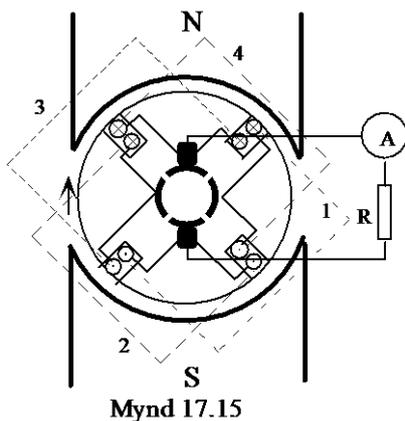


Mynd 17.16

Lítum á aðstæður þegar snúðurinn hefur snúist u.þ.b. 45° eins og sýnt er á mynd 17.15. Kolin eru nú á miðjum vendigeira, spanið fer minnkandi í spólu 1 og 3 og spólur 2 og 4 eru farnar að framleiða spennu, sem fer vaxandi. En hvernig verður straumleiðin nú í gegnum snúð og ytri straumrás? Ef við byrjum á sama stað og áðan, þ.e. í leiðslunni inn í efra kolið þá skiptist straumurinn í spólur 3 og 4.

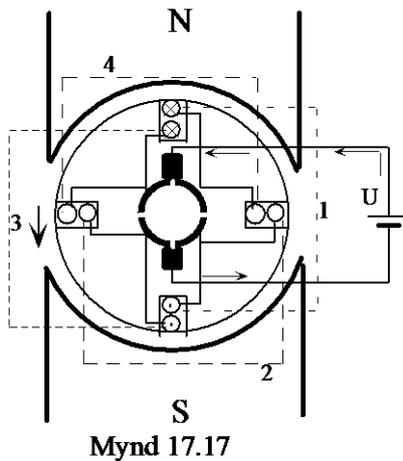
Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Hinn endi þeirra kemur á vendingeira sem hefur ekki samband við kol og verður því einnig að fara um spólur 1 og 2 til að ná aftur sambandi við neðra kolið og ytri straumrásina. Straumrásin um snúðinn verður því, í þessari stöðu hans, eins og mynd 17.16 sýnir, þ.e.a.s. tvær og tvær raðtengdar spólur sem aftur hliðtengjast. Við 45° snúning í viðbót koma spólur 1 og 3 í hlutlausu beltið og 2 og 4 verða í hámarksspani. Ef við göngum út frá að vélin sé rafali verður straumstefnan í spólum 1 og 3 inn í blaðið við norður pólinn á mynd 17.13 og út úr blaðinu við suður pólinn.



Fylgjum eftir straumstefnunni í spólu 1. Við 90° snúning frá stöðunni á mynd 17.13 fellur spenna og straumur í núll og fer síðan vaxandi aftur með gagnstæðri stefnu við frekari snúning. Straumstefnan í spólu 1 hefur m.ö.o. snúist og er því, samkvæmt skilgreiningunni, riðstraumur. En ef við skoðum strauminn í ytri rásinni sést að hann heldur alltaf sömu stefnu vegna þess að kolin taka við straumi sem hefur stöðugt sömu stefnu. Efra kolið tekur bara við straumi sem myndast í spóluhliðum undir norðurlpólum og neðra kolið við straumi sem myndast í spóluhliðum undir suðurlpólum. Straumstefnan í kolum og ytri straumrás verður því stöðug og fer upp í gegnum álagið á myndinni. Straumvendirinn og kolin afriða strauminn sem myndast í snúðvöfunum.

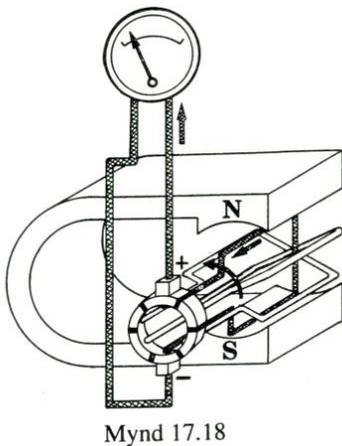
Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar



Skoðum þetta sama út frá móturvirkninni. Á mynd 17.17 er kominn spennugjafi í stað álagsins og straummælisins.

Straumurinn stefnir inn í efra kolið og inn í blaðið í efri spóluhliðum spóla 1 og 3. Samkvæmt vinstri-handarreglunni, mynd 17.41, gefur það kraftstefnu eins og örin sýnir. Kolin skammhleypa spólur 2 og 4 og í þeim verður því enginn straumur og engin kraftáhrif. Eftir 45° snúning er straumur í öllum spóluhliðunum og kraftáhrif þeirra leggjast saman.

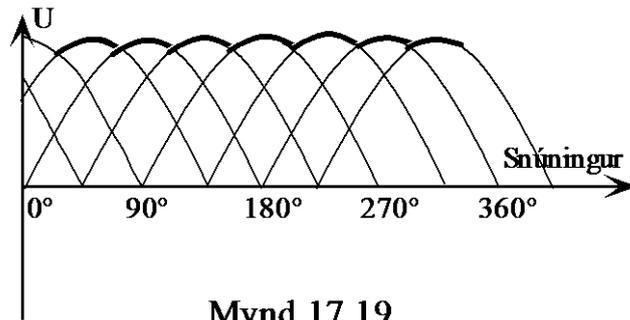
Við 180° snúning hefur straumstefnan í spólum 1 og 3 snúist við og við sjáum að nú framkvæmir straumvendirinn áriðun og gerir það að verkum að straumstefnan verður stöðugt sú sama í spóluhliðum undir norðurpól og sama er að segja um spóluhliðar við suðurpólinn. Snúðurinn fær stöðuga kraftvirkni í ákveðna átt, sem snýr honum í hringi.



Mynd 17.18 sýnir vél með þremur vöfum eða spólum á snúðnum. Endar spólanna festast við vendigeirana og eru þeir því sex. Í hvert skipti sem leiðir er beint út frá segulpól er span hans í hámarki. Í heilum snúningi fást jafnmargir spennutoppur og fjöldi vindinga segir til um.

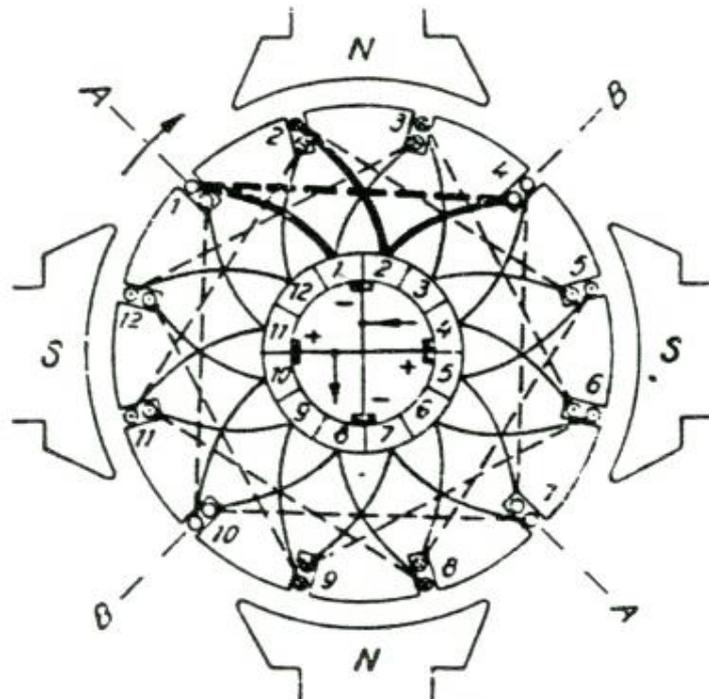
Kúrfurnar þekja hvor aðra að hluta og í álaginu verður straumur sem púlserar með spennutoppunum. Þessi spenna er teiknuð með breiðu striki á mynd 17.19

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar



Mynd 17.19

Þegar fjöldi raðtengdra spóla er mikill verður lítið vart við púlsana og við höfum svo til jafnan jafnstraum (spennu). Þverskurður slíkrar vélar er sýndur á mynd 17.20. Það er fjögurra póla vél með 12 spólum og 12 vendigeirum í straumvendinginum.



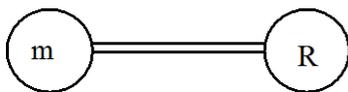
Mynd 17.20

Uppbygging þessarar myndar er keimlík mynd 17.13 og þarfnast ekki frekari skýringar en við skulum skoða fáein atriði.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Hlutlausu beltin eru tvö, táknuð með línunum A-A og B-B. Spólan sem kemur frá vendigeira 1 á spóluhliðar í hlutlausu beltunum A og B. Taktu eftir hvernig endar þeirrar spólu koma á vendigeira 1 og 2 og efra mínuskolið skammhleypir þessari spólu á þessu augnabliki. Tvær næstu spólur eru í framleiðslu og endar þeirra koma á vendigeira 2-3 og 3-4. Önnur spóluhlið spólu 2 er undir norðurpól og hin undir suðurpól níutíu gráður frá vegna þess að þetta er fjögurra póla vél.

Rafmagnsgjafi



Mynd 17.21

Mynd 17.21 er tákmynd, sem sýnir sambyggðan rafala og aflvél. Oftast er aflvélin dísilvél eða gufutúrbína, en mögulegt er að nota næstum hvaða aflgjafa sem er í þessu samhengi, t.d. olíu, vatnsorku, gufu eða gas. Auðvitað eru einnig til handsnúnir rafalar eins og t.d. í einangrunarmæli, megger.

Nú á tímum eru jafnstraumsrafalar mjög fátíðir nema í sérstökum kerfum s. s. hraðastýrikerfum, sem oftast ganga undir nafninu Ward Leonardkerfi. Um það verður fjallað aftar í 17. kafla.

Annars staðar hefur riðstraumsrafalinn leyst jafnstraumsrafalann af hólmi, jafnvel þó um jafnstraumskerfi sé að ræða eins og í smærri bátum og skipum og í bílum. Þá er notaður riðstraumsrafali og riðspennunni frá honum breytt í jafnspennu með afriðlum. Sjá nánar í kaflanum um riðstraumsrafala.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

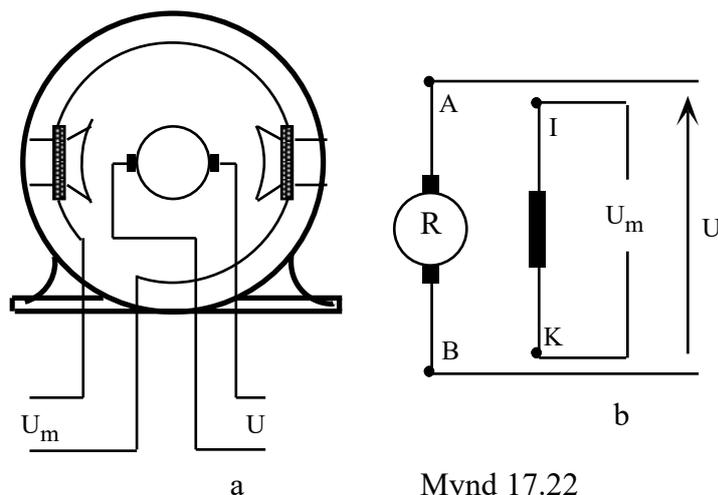
Tengingar jafnstraumsvéla

Jafnstraumsvélar má flokka í tvo aðalflokka, þ.e. vélar með sjálfstæða segulmögnun og sjálfsegulmagnaðar vélar. Seinni flokknum má svo skipta í þrjár gerðir, þ.e. affalls-, raðar- og slyngivélar.

Sjálfstæð segulmögnun

Á mynd 17.22 er sýnd jafnstraumsvél með sjálfstæða eða utanaðkomandi segulmögnun. Á henni eru segulpólarnir sýndir ásamt segulspólunum og hvernig þær tengjast sjálfstæðum spennugjafa, U_m . Snúðurinn er táknaður með hring og tveimur svörtum reitum, sem tákna kolin. Hann er tengdur öðrum spennugjafa, U , og þess vegna verður segulmögnunin óháð snúðspennunni. Þetta er mikið notað t.d. í hraðastýrikerfum.

Á mynd 17.22b er tákmynd fyrir jafnstraumsvél með utanaðkomandi segulmögnun. Slíkar tákmyndir eru mikið notaðar til að sýna straumrás vélarinnar á sem einfaldastan hátt. Segulvafið er teiknað sem ein spóla, þó að það skiptist á tvo eða fleiri póla og snúðurinn á sama hátt og á mynd 17.22a.

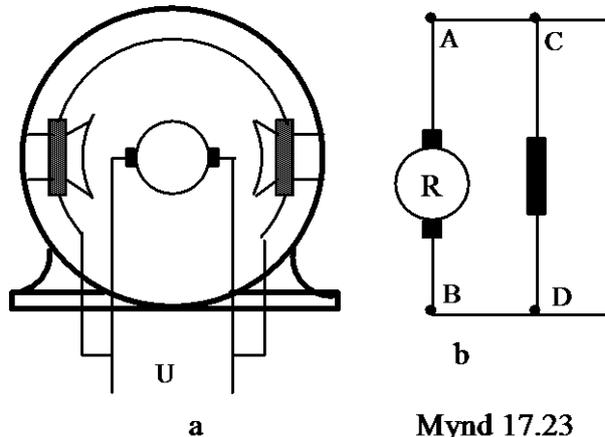


Mynd 17.22

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Affalsvél

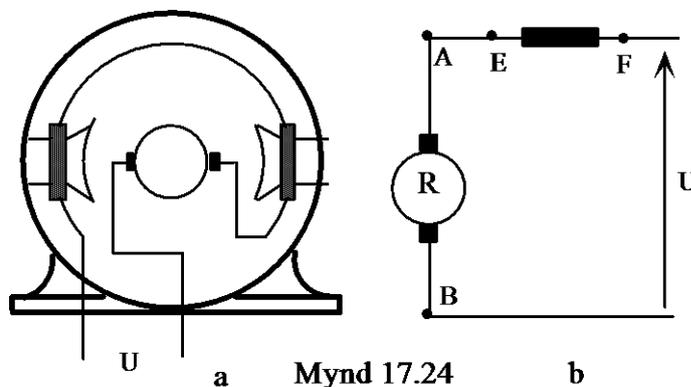
Mynd 17.23a sýnir tengingu affallsvélar. Í henni eru segulvöfin hliðtengd snúðnum og fá því sömu spennu og snúðurinn en straumurinn um segulvöfin er aðeins brot af snúðstraumnum. Segulvöfin á pólunum eru með marga vindinga úr tiltölulega grönnum vír. Á mynd 17.23b er tákmynd affallsvélar sem sýnir mjög vel straumrás vélarinnar.



Mynd 17.23

Raðarvél

Mynd 17.24a sýnir tengingu raðarvélar. Hér er segulmögnunarrásin raðtengd snúðnum og flytur því sama straum og hann. Þetta sést enn betur á tákmyndinni á mynd 17.24b. Segulvöfin á pólum raðarvélarinnar eru með tiltölulega fáa vindinga úr gildum vír til að þola snúðstrauminn.

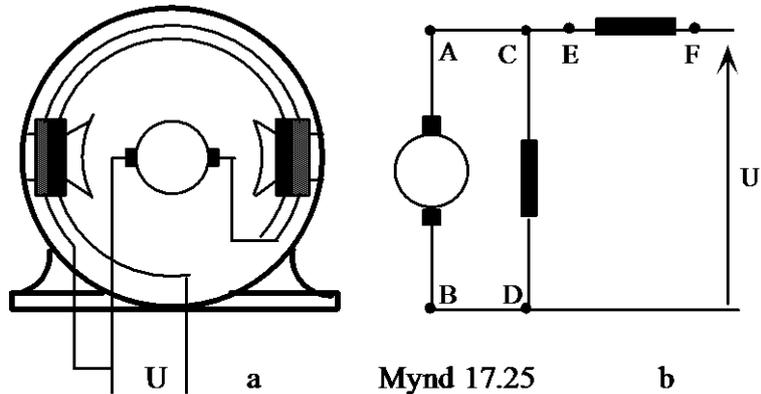


Mynd 17.24

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Slyngivél

Mynd 17.25a sýnir tengingu slyngivélar. Hún hefur bæði affalls- og raðarvöf og sameinar að vissu leyti eiginleika hinna tveggja. Raðarvöfin eru dökku reitirnir. Mynd 17.25b sýnir straumrás vélarinnar. Á myndinni sést vel hvernig raðarvafið raðtengist snúðrásinni og affallsvafið hliðtengist henni. Þegar affallsvafið tengist á þennan hátt, beint yfir snúðinn, er talað um stutta tengingu affalls en langa tengingu ef raðarvafið kemur á milli snúðs og affalls.



Mynd 17.25

b

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

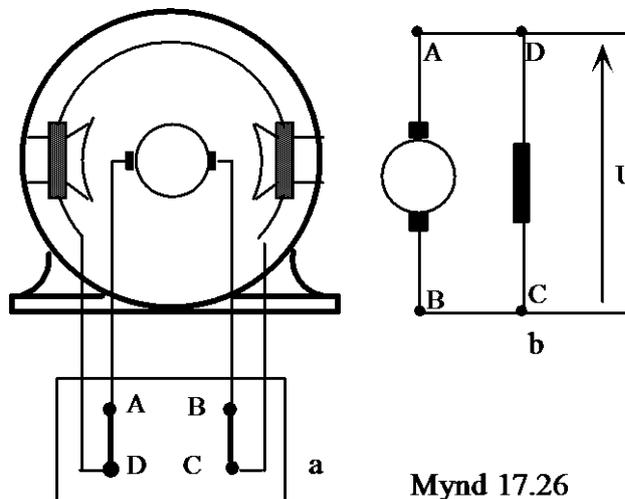
Merking tengibrettis

Til að auðvelda tengingu eru endar vafanna á tengibretti merktir bókstöfum og stundum líka númerum. Einn staðall byggir á eftirfarandi bókstafamerkingum:

A-B	=	snúðvaf
C-D	=	affallsvaf
E-F	=	raðarvaf
I-K	=	segulvaf fyrir ytri segulmögnun
GA-HB	=	snúð- og vendipólavöf.

Stundum eru notaðir bókstafir og númer. Merkingarnar gætu þá litið út á eftirfarandi hátt:

A_1-A_2	=	snúðvaf
F_1-F_2	=	affallsvaf
S_1-S_2	=	raðarvaf



Mynd 17.26

Á mynd 17.26 a er sýnt hvernig innri tengingar affallsvélar koma út í tengibretti og hvernig tengt er í tengibrettinu til að vélin virki sem affallsvél. Á mynd 17.26 b er táknmynd með bókstafamerkingum tengibrettisins.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Spönuð spenna og stjórnun hennar

Táknmyndin getur verið mjög gagnleg til að auðvelda tengingu í tengibrettinu, þar sem hún sýnir ljóslega milli hvaða bókstafa á að tengja.

Spanlögmál Faradays segir að spönuð spenna sé jöfn breytingu segulkraftlínustraums á tímaeiningu sinnum vafafjöldinn.

$$U_L = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \cdot N$$

ath

Sjá líka bls. 14.11 í 1.hefti.

Þetta þýðir að í rafvél er hin spanaða spenna í beinu hlutfalli við segulkraftlínustrauminn og snúningshraðann.

Fjöldi skorinna segulkraftlína á tímaeiningu (t.d. hverju augnabliki) eykst bæði með því að fjölga segulkraftlínunum (þ.e. með því að auka segulkraftlínustrauminn) og með því að auka snúningshraðann. Hver vél hefur þar að auki einn vélarfasta, k . Í þessum fasta er m.a. vafningafjöldi snúðs og segulpóla, lengd snúðs og fleira.

Fyrir spanaða spennu jafnstraumsvélar gildir eftirfarandi formúla:

$$E = k \cdot \Phi \cdot n \quad (1)$$

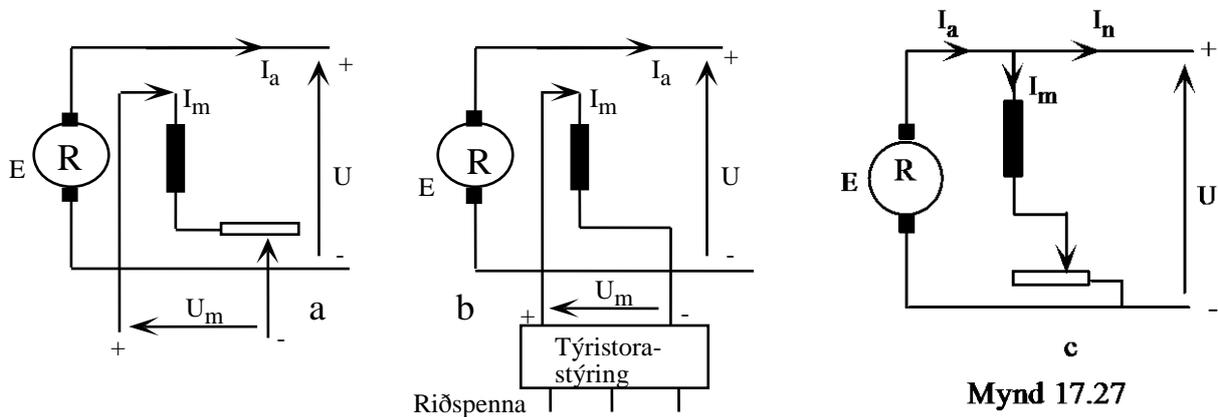
Hér er:

- k = vélarfasti viðkomandi vélar,
- Φ = segulkraftlínustraumurinn í Wb og
- n = snúningshraðinn í sn/mín.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Samkvæmt formúlu (1) er hægt að stjórna spanaðri eða framleiddri spennu rafala á tvo vegu:

1. Með því að breyta snúningshraðanum, n .
2. Með því að stjórna styrk segulkraftlínustraumsins, Φ



Styrk segulkraftlínustraumsins (styrk segulsviðsins) er breytt með því að breyta segulmagnunarstraumnum inn á segulvafið annað hvort með breytilegri mótstöðu í segulrásinni eins og sýnt er á myndum 17.27 a og 17.27 c eða með því að setja breytanlega jafnspennu inn á segulvafið, t.d. frá týristorastýringu, mynd b.

Snúningshraðanum er stjórnað með hraðastillingu aflvélarinnar. En bent skal á, að venjulega er lögð áhersla á, að snúningshraðinn sé jafn og er því aflvélin búin sjálfvirkum gangstilli (gangráð) og er ætlast til þess að hann sé svo góður, að hraðabreytingar verði ekki meiri en 10% og þegar fullt álag er sett snögglega á eða tekið af verði breytingin ekki meiri en 5% af málhraða.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Spönuð spennan snúðsins skiptir um pólun, þ.e. rafalinn umpólast ef:

1. segulkraftlínustraumurinn (segulmögnunarstraumurinn) skiptir um stefnu og
2. snúningsáttinni er breytt.

Ef stefnu kraftlínustraumsins og snúningsáttinni er breytt samtímis, heldur rafalinn sömu pólun.

Á sjálfsegulmögnum rafala er EKKI hægt að breyta pólun með því að breyta um snúningsátt eða víxla tengingum á segulvafi, því að öfug straumstefna í segulvöfum vinnur á móti segulleifum segulkjarnans, en þessar segulleifar eru nauðsynlegar til þess að byggja upp segulsviðið við ræsingu rafalans. Án segulleifa er ekki hægt að ná upp spennunni. Mynd 17.27 c.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Æfingadæmi úr 17.1**17.01**

Við hvort kolið á mynd 11 er mínuspóllinn?

Hver er straumstefnan í vafinu?

Hvernig kemur það heim við regluna um straumstefnu að straumurinn streymi frá + til -?

17.02

Hvað er átt við með orðinu jafn jafnstraumur?

17.03

Hvaða aðferð er notuð í jafnstraumsrafala til að fá jafnan jafnstraum?

17.04

Teldu upp aðalhluta jafnstraumsvéla.

17.05

Hvar eru vendipólarnir staðsettir?

17.06

Hvernig er aðalpólunum raðað niður?

17.07

Hvaða aðferðir eru notaðar við kælingu rafvéla?

17.08

Hvert er hlutverk kolburstanna og straumvendisins?

17.09

Á hvern hátt er kolburstunum haldið að straumvendum?

17.10

Hvenær getur maður sagt að rafvél sé rafali og hvenær mótör?

17.11

Hve mörg kW þarf til að snúa rafala, sem er 100kW og hefur 90% nýtni?

17.12

Hver er ástæðan fyrir því að snúðurinn er gerður úr þunnum blikkplötum?

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

17.13

Eru aðalpólar og vendipólar hannaðir á sama hátt? Rökstyddu svarið.

17.14

Hvert er hlutverk vendipóla?

17.15

Hver er tilgangurinn með því að hægt sé að snúa til burstabrúnni eða kolburstabrúnni?

17.16

Hvaða kost hafa kúlulegur fram yfir legufóðringar með tilliti til segulmögnunarinnar?

17.17

Dísilvél hefur 34% nýtni og knýr rafala með nýtnina 90%. Rafalinn framleiðir 180A við 220V spennu

Finndu:

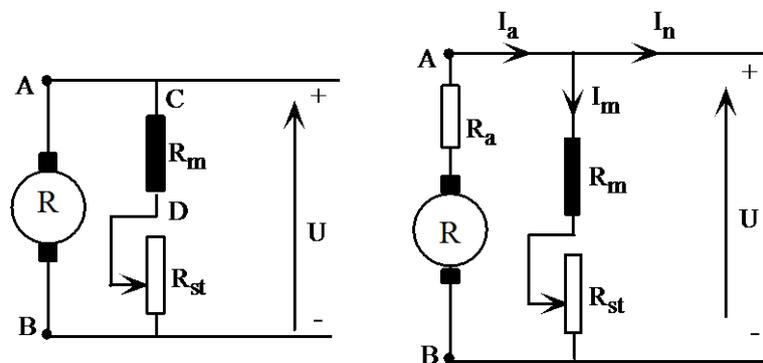
1. Aflið frá rafalanum
2. Aflið frá dísilvélinni
3. Nýtni rafstöðvarinnar í heild.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

17.2 Rafalar

Affallsrafali

Mynd 17.28 a sýnir tákmynd affallsrafala. Eins og áður hefur komið fram er segulvaf hans hliðtengt snúðnum (Myndar affall við snúðinn, þar af er nafnið dregið). Þegar rafalinn er gangsettur er enginn straumur í segulvafinu og eina segulsviðið eru segulleifarar í póljárninu. Þegar snúðnum er snúið með aflvélinni spanast lítil spenna í snúðnum sem sendir örlítinn straum gegnum segulvafið sem styrkir segulleifarar, ef straumstefnan er rétt. Við vaxandi segulmögnun spanast hærri spenna í snúðinn sem sendir sterkari straum gegnum segulvafið og þannig byggist spennan upp í eðlilega vinnuspennu. Ef snúningsátt rafalans er öfug, eða segulvafið hefur verið tengt öðruvísi miðað við síðast þegar rafalinn var í notkun, myndar straumur segulleifanna segulsvið sem vinnur gegn segulleifunum og hindrar að rafalinn nái að byggja upp spennu. Segulleifarar geta þá orðið það litlar að rafalinn nái ekki upp spennu eftir að snúningsátt eða tengingu hefur verið breytt og þarf þá að byggja upp segulleifar á nýjan leik með utanaðkomandi spennugjafa.



a Mynd 17.28

b

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Þegar affallsrafali er gangsettur er hann fyrst stilltur á réttan snúningshraða og síðan er skautsspennan stillt á málgildi með mótstöðunni í segulrásinni, sjá mynd 17.28a. Á mynd 17.28b sést að skautspenna affallsrafala verður samkvæmt formúlunni (Sjá jafnframt kafla 12 í 1.hefti):

$$U = E - I_a R_a \quad (2)$$

þar sem U er skautspennan, E er spanaða spennan í snúðnum, I_a er snúðstraumurinn og R_a er heildarviðnám snúðrásar. Viðnámið er myndað af leiðslum snúðsins, kolum og snertiviðnáminu milli kola og straumvendis. Inn í það geta líka komið viðnám vendipólavafanna. Góð puttaregla er að þetta viðnám sé 1Ω en það er þó heldur stærra í litlum vélum en miklu minna í stórum. Á mynd 17.28 b er það teiknað sér, utanvið snúðinn. Við hugsum okkur þá að allt viðnám snúðrásarinnar, þ.e. viðnám vafanna, burstaviðnámið, snertiviðnámið milli bursta og vendis og jafnvel viðnám hjálparpólanna, sé dregið saman í eitt viðnám og teiknað sér sem mótstaðan, R_a , á myndinni.

Segulmögnunarstraumurinn verður:

$$I_m = \frac{U}{R_m + R_{st}} \quad (3)$$

þar sem R_m er viðnám segulvafsins og R_{st} er viðnám stillimótstöðunnar. Lítil hluti snúðstraumsins fer í að segulmagna vélina og því verður straumurinn í ytri straumrásinni:

$$I = I_a - I_m \quad (4)$$

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

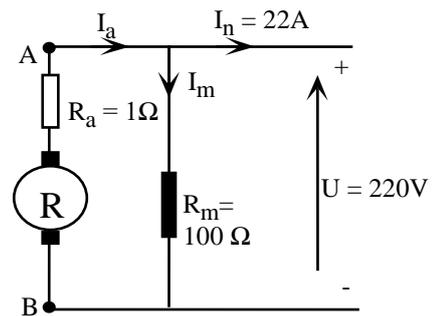
Sýnidæmi 1.

Affallsrafali gefur út 220 V skautspennu og 22 A straum. Viðnámið í snúðrásinni er 1Ω og í segulvafi 100Ω .

- Teiknaðu táknmynd og merktu inn á hana gefnar stærðir.
- Reiknaðu strauminn í segulvafi og snúð. Við getum sleppt því að taka tillit til spennistillimótstöðunnar.
- Reiknaðu spanaða innri spennu snúðsins.
- Reiknaðu innra spennufall snúðsins.

Lausn:

- Táknmyndin er sýnd á mynd 17.29
- Straumurinn í segulvafinu finnum við eftir formúlu (3):



Mynd 17.29

$$I_m = \frac{U}{R_m + R_{st}} = \frac{220}{100 + 0} = 2,2 \text{ A}$$

Straumurinn í snúðnum verður:

$$I_a = I_n - I_m = 22 - 2,2 = 19,8 \text{ A}$$

- Notum formúlu (2) og leysum hana með tilliti til E:

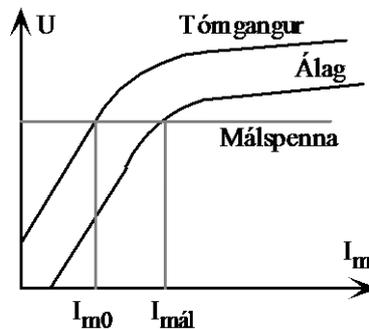
$$E = U + I_a R_a = 220 + 19,8 \cdot 1 = 239,8 \text{ V}$$

d)

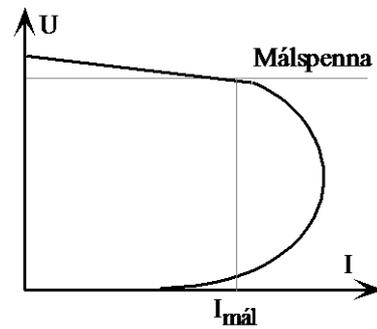
$$\Delta U_a = I_a R_a = 19,8 \cdot 1 = 19,8 \text{ V}$$

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Mynd 17.30 sýnir tómgangs- og álagskennilínur af fallsrafala. Málspennan er rétt ofan við mettunarhnéð á kennilínunum. Lítil aukning í segulmögnunarstraumnum hefur því lítil áhrif á spennuna. Ytri kennilínan er sýnd á mynd 17.31. Vegna snúðspyrnunnar og innra spennufallsins í snúðnum, fellur skautspennan dálítið frá tómgangi upp í fullt álag. Ef rafalinn á að gefa sömu spennu við álag og álagslaus verður að vera hægt að auka segulmögnunarstrauminn til að upphefja spennufallið. Það er bilið I_{m0} til $I_{mál}$ á mynd 17.30



Mynd 17.30

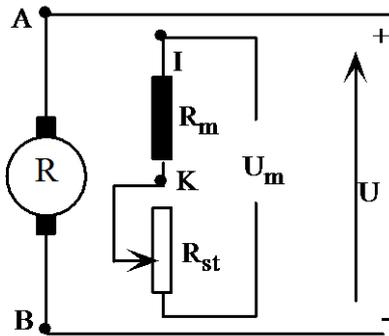


Mynd 17.31

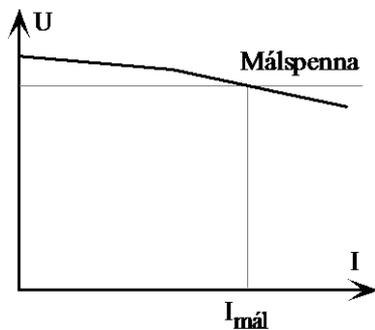
Ef rafalinn er yfirlestaður, án þess að segulmögnunin sé aukin, fellur skautspennan áfram. Við það verður segulsviðið ennþá minna og spennan fellur hraðar þar til hún verður núll við skammhlaup. Skammhlaupsstraumurinn verður ekki stór því það eru bara segulleifarnar sem framleiða hann. (Ath! Hér er átt við rafala án spennustýringar.)

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Rafali með sjálfstæða segulmögnun



Mynd 17.32



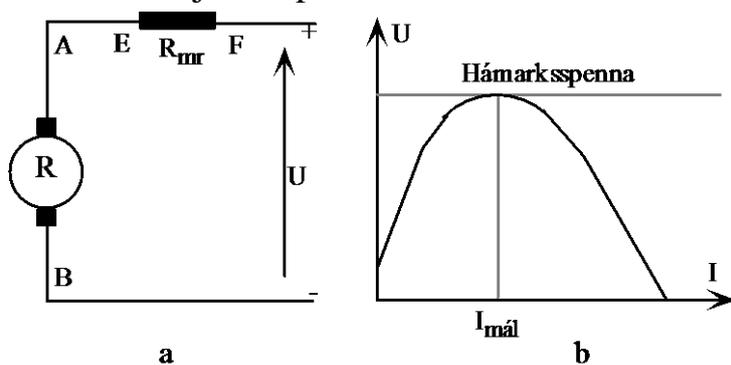
Mynd 17.33

Raðarrafali

Táknmynd fyrir þessa gerð rafala er sýnd á mynd 17.32. Þessi aðferð er aðallega notuð í stærri rafölum og við sérstakar aðstæður eins og t.d. í hraðastýrikerfi með týristorum.

Tómgangs- og álagskennilínur þessa rafala eru nánast eins og fyrir affallsrafalann en ytri kennilínan er öðruvísi þar sem segulmögnunarstraumurinn er óháður eigin framleiðslu vélarinnar. Ytri kennilínan fellur því ekki eins hratt við yfirálag og fer ekki niður í núll við skammhlaup eins og var tilfellið með affallsrafalann, sjá mynd 17.33.

Mynd 17.34a sýnir táknmynd raðarrafala. Á henni kemur fram að segulmögnunarstraumurinn er sá sami og snúðstraumurinn, þar sem segulvafið er raðtennt snúðnum. Skautspennan verður því mjög háð álaginu eins og fram kemur á kennilínu rafalans á mynd 17.35b. Vélin er lítið notuð sem rafali vegna þess hve erfitt er að stjórna spennunni.

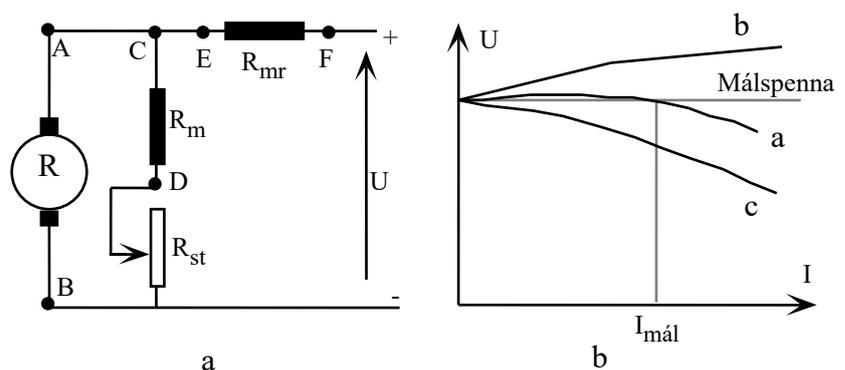


Mynd 17.34

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Slyngirafali

Mynd 17.35 sýnir tákmynd slyngirafala. Hann er sambland af affalls- og raðarafala. Tómgangskennilínan er sú sama og fyrir affallsrafalann vegna þess að í tómgangi fer enginn straumur um ytri rásina og þá ekki heldur um raðar- eða slyngivafið. Við álag fer straumur um slyngivafið og ef það er tengt þannig að það styrki segulsvið affallsvafsins verður heildarsegulsviðið sterkara við álag. Við tölum þá um meðslýngdan rafala. Á mynd 17.36a sést vel hvernig straumarnir koma inn í E í raðarvafinu og inn í C í affallsvafinu og segulsviðin sem þeir framleiða styrkja hvort annað. Sannprófaðu það með hægrihandarreglunni. (Taktu með hægri hendi utanum spólurnar þannig að fingurnir viti í straumstefnuna þá bendir þumalfingerinn í stefnu segulkraftlínanna.) Það má líka segja að bókstafa merkingarnar segi til um vindingsafstöðu spólanna. Þannig hefur endi C á affallsvafinu sömu vindingsafstöðu og endi E á raðarvafinu.

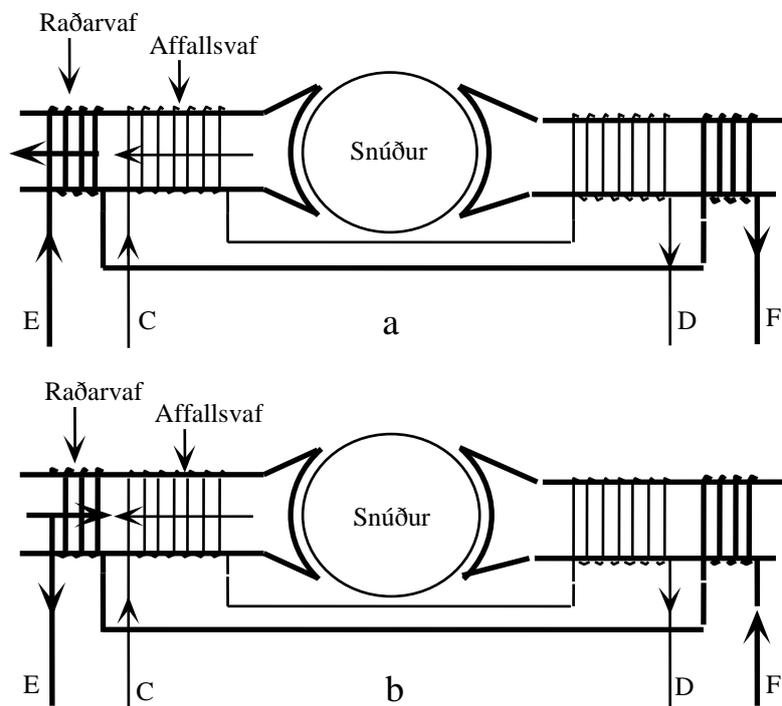


Mynd 17.35

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Á mynd 17.36 b hefur straumstefnunni í raðarvafinu verið snúið. Straumurinn í því kemur nú inn í vafið við F og út við E. Straumstefnan er á móti stafrófsröðinni í raðarvafinu (F til E) en með stafrófsröðinni í affallsvafinu (C til D). Segulsviðin vinna nú hvort gegn öðru og við tölum um mótslyngdan rafala.

Mynd 17.35 b sýnir ytri kennilínu slyngirafala með þrjú misjafnlega stór slyngivöf. Lína a er rafali með raðarvaf sem gefur flata kennilínu, þ.e. spennan við fullt álag er jafn stór tómgangsspennunni. Lína b er rafali með stærra raðarvaf og því verður spennan við fulla lestun stærri en spennan við tómgang og lína c er undirstærð þar verður spennan við fulla lestun minni en við tómgang.



Mynd 17.36

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Táknmynd slyngirafalans á mynd 17.35 sýnir rafala með stutt affallsvaf. Það þýðir að affallsvafið tengist beint yfir snúðinn. Öfugt væri talað um langt affallsvaf ef það tengdist bæði yfir snúð og raðarvaf. Skautspenna rafala með stutt affall verður:

$$U = E - I_a R_a - I_n R_{mr} \quad (2a)$$

þar sem R_{mr} er viðnám slyngivafsins (raðarvafsins). Formúla álagsstraumsins verður sú sama og fyrir affallsrafalann.

Sýnidæmi 2.

Slyngirafali, með stutta tengingu affalls, gefur 220 V spennu og 30 A straum við fulla lestun.

Viðnám affallsvafs er 100 Ω , snúðrás 0,3 Ω og slyngivafs 0,1 Ω .

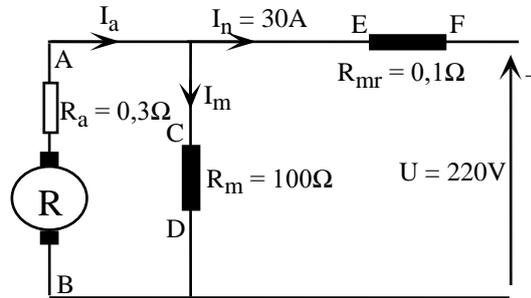
- Teiknaðu táknmynd og merktu inn gefnar stærðir.
- Finndu spanaða spennu rafalans, E.
- Hvort er rafalinn með- eða mótslyngdur?

Rökstyddu svarið

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Lausn:

a) Sjá mynd 17.37



Mynd 17.37

b) Til að finna spönuðu spennuna, E , getum við notað formúlu (2a) og snúið henni með tilliti til E . Til að geta sett inn í hana þurfum við að vita snúðstrauminn og til að finna hann þurfum við að vita spennuna yfir affallsvafið og strauminn I_m :

$$I_m = \frac{U + I_n R_{mr}}{R_m} = \frac{220 + 30 \cdot 0,1}{100} = 2,23A$$

Og snúðstraumurinn verður:

$$I_a = I_n + I_m = 30 + 2,23 = 32,23A$$

Formúla (2a) snúið m.t.t. E og sett inn í hana:

$$U = E - I_a R_a - I_n R_{mr}$$

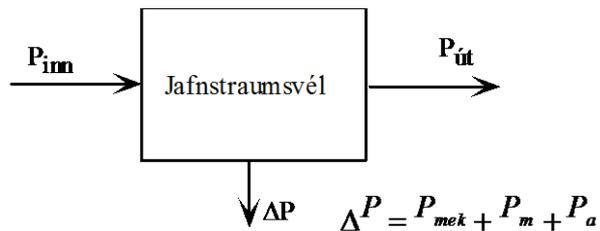
$$\begin{aligned} E &= U + I_a R_a + I_n R_{mr} \\ &= 220 + 32,23 \cdot 0,3 + 30 \cdot 0,1 = 232,7V \end{aligned}$$

c) Rafalinn er með-slyngdur vegna þess að straumstefnan í affallsvafi er inn í C og í raðarvafi inn í E eða m.ö.o. út úr D og F . Sjá mynd 17.37.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Afl, tap og nýtni jafnstraumsvéla

Jafnstraumsvélar geta bæði unnið sem rafalar og mótórar. Þegar vélin er rafali er hún knúin af aflvél og gefur út rafafli. Þegar hún vinnur sem mótór fær hún rafafli inn en gefur út vélrænt afl. Aflið inn er alltaf stærra en aflið út og mismunurinn er það sem tapast í vélinni. Þetta er sýnt á mynd 17.38 sem gildir bæði fyrir rafala og mótór.

**Mynd 17.38**

Á myndinni er P_{inn} , aflið inn á vélina, $P_{út}$ aflið sem hún gefur frá sér og ΔP heildaraflið sem tapast í vélinni. Þegar vélin vinnur sem **rafali** er formúlan fyrir aflið út:

$$P_{út} = U \cdot I \quad (5)$$

Aflið út er m.ö.o. skautspenna rafalans sinnum straumurinn sem hún gefur frá sér.

Þegar vélin vinnur sem **mótór** er margfeldi skautspennu og straums, aflið inn á mótórin.

$$P_{inn} = U \cdot I \quad (5a)$$

Töpin í jafnstraumsvélum eru, eins og í öðrum rafvélum, vélræntöp og eirtöp.

Þau er hægt að tengja í eftirfarandi formúlu.

$$\Delta P = \Delta P_{mek} + \Delta P_m + \Delta P_a \quad (6)$$

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Vélrænutöpin, ΔP_{mek} , orsakast af loft-, legu- og burstatregðu annars vegar og járantöpum hins vegar. Þessi töp eru nánast óháð álagi vélarinnar og það er best að finna þau með því að draga eirtöpin frá heildartöpum vélarinnar.

Loft-, legu- og burstatregðutöpin eru í beinu hlutfalli við snúningshraða vélarinnar. Járntöpin eru einungis í snúðnum og lítilega í pólskónum, þar eð þetta eru einu hlutar vélarinnar, sem eru í breytilegu segulsviði. Járntöpin eru háð spaninu og tíðninni, þ.e. spennu og snúningshraða.

Eirtöpunum er gott að skipta í tvennt. Eirtöp í snúð annars vegar og í segulvöfum hins vegar. Snúðtöpin stafa af viðnámi í einstökum hlutum snúðrásarinnar. Þar má telja snúðvöfin sjálf, kolin, snertiviðnám milli kola og straumvendis og vendipólavöfin. Heildarviðnám þessara þátta er táknað með R_a . Töpin í segulvöfunum stafa af viðnámi í vír segulvafanna, affalls- og/eða raðarvöfum. Snúðtöpin og töp í raðarvöfum eru háð álaginu á vélina en ekki töpin í affallsvöfum. Til segulmögnunartapa reiknast einnig töpin í spennu- stillimótstöðunni, ef hún er til staðar.

Eftirfarandi formúlur má skrifa fyrir eirtöpin.

Í snúðvöfum:

$$\Delta P_a = I_a^2 \cdot R_a \quad (7)$$

Í affallsvöfum þegar við þekkjum spennuna yfir vafið og strauminn í gegnum það:

$$\Delta P_m = U_m \cdot I_m \quad (7a)$$

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Eða ef við þekkjum viðnámið og strauminn:

$$\Delta P_m = I_m^2 \cdot R_m \quad (7b)$$

Töpin í raðarvafi í raðarvélum eða slyngivélum er einfaldast að finna út frá straumnum í gegnum vafið og viðnáminu í því:

$$\Delta P_r = I_r^2 \cdot R_{mr} \quad (7c)$$

Ath. að þegar slyngivél er tengd stuttri tengingu affalls þá er I_r og I_n sama stærðin. Sjá líka sýnidæmi 2.

Nýtnin er hlutfallið milli aflsins út og aflsins inn, þ.e.:

$$\eta = \frac{P_{út}}{P_{inn}} \quad (8)$$

Nýtnin getur verið frá u.þ.b. 0,8 í minni vélum til u.þ.b. 0,97 í mjög stórum.

Sýnidæmi 3

- Reiknaðu aflið inn á rafalann í sýnidæmi 2 ef nýtni hans er 0,85.
- Hver eru heildar eirtöpin í slyngirafalanum í sýnidæmi 2? Teiknaðu tengimynd rafalans og skrifaðu töpin inn á hana.
- Hver verða vélræntöp rafalans í sýnidæmi 2?

Lausn:

- Aflið út fæst með formúlu (5)

b)

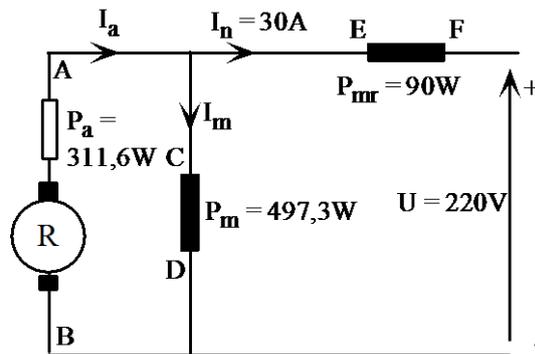
$$P_{út} = U \cdot I = 220 \cdot 30 = 6600W$$

Nýtnin er hlutfallið milli aflsins út og aflsins inn samkvæmt formúlu (8). Við leysum hana m.t.t. P_{inn} :

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

$$\eta = \frac{P_{út}}{P_{inn}} \Rightarrow P_{inn} = \frac{P_{út}}{\eta} = \frac{6600}{0,85} = 7764,7W$$

b) Sjá mynd 17.39.



Mynd 17.39

$$\Delta P_a = I_a^2 \cdot R_a = 32,23^2 \cdot 0,3 = 311,6W$$

$$\Delta P_m = I_m^2 \cdot R_m = 2,23^2 \cdot 100 = 497,3 W$$

$$\Delta P_{mr} = I_r^2 \cdot R_{mr} = I_n^2 \cdot R_m = 30^2 \cdot 0,1 = 90 W$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{eir} &= \Delta P_a + \Delta P_m + \Delta P_{mr} = \Delta P_{eir} \\ &= 311,6 + 497,3 + 90 = 899 W \end{aligned}$$

c) Finnum fyrst heildartöpin ΔP .

$$\Delta P = P_{inn} - P_{út} = 7764,7 - 6600 = 1164,7 W$$

Vélrænutöpin eru mismunur heildartapa og eirtapa eða:

$$\Delta P_{mek} = \Delta P - \Delta P_{eir} = 1164,7 - 899 = 265,7 W$$

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

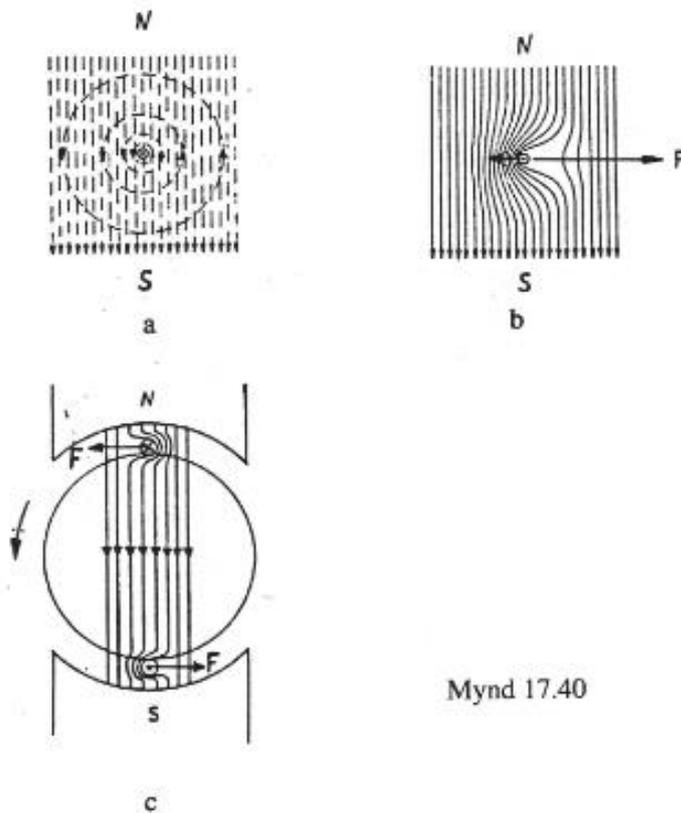
17.3 Mótorar

Snúningsvægi, spönuð mótspenna og snúningshraði

Bygging jafnstraumsmótors er samsvarandi jafnstraumsrafala. Ef mótörinn tengist jafnstraumsneti, fer straumur um snúð og segulvöf.

Straumstefnan í snúðnum er þannig að ef hún er í ákveðna átt undir norðurskauti, er stefna hans í gagnstæða átt undir suðurskauti. Straumvendirinn sér um að breyta straumstefnunni í leiðunum þegar þeir fara fram hjá hlutlausu beltinu eins og fram kom í kaflanum um vinnumáta straumvendis.

Þegar straumur fer um leiði og leiðirinn er í segulsviði, virkar á hann kraftur, sjá bls. 14.4 og 14.5 í 1.hefti. Í mótör fer stefna kraftsins eftir hringferli snúðsins. Krafturinn myndar snúningsvægi og snúðurinn snýst.



Mynd 17.40

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Krafturinn, sem virkar á hvern snúðleiði er:

$$F = B \cdot I_a \cdot l \quad (9)$$

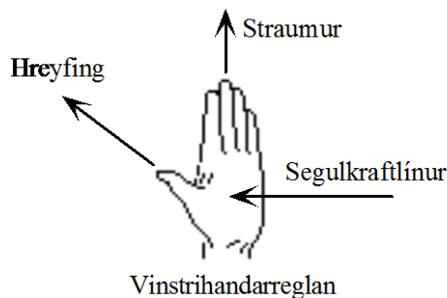
þar sem:

B er kraftlínubéttleikinn í weber á fermetra (Wb/m^2),

I_a er snúðstraumurinn í amperum (A) og

l er lengd snúðleiðis í metrum (m).

Myndir 17.40 a, b og c eru samsvarandi myndum 14.7 og 14.9 í 1. hefti. Á mynd a er segulsviðið frá föstu pólunum teiknað sem beinar línur og segulsviðið umhverfis straumfara leiðinn sem hringferlar. Á mynd b er sýnt hvernig þessi segulsvið leggjast saman og mynda kraftinn, F , sem reynir að ýta leiðinum út úr segulsviðinu. Á mynd c er þetta sama sýnt á einfaldaðri þverskurðarmynd af jafnstraumsmótor og hvernig kraftáhrifin leitast við að snúa snúðnum. Sannreyndu þetta með vinstrihandarreglunni á mynd 17.41.



Mynd 17.41

Krafturinn á hvorn leiði snúðsins veldur snúningsvægi sem er jafn stórt og krafturinn sinnum radíus snúðsins. Heildar snúningsvægið verður því samanlögð áhrifin á leiðana. Þetta heildar snúningsvægi er hægt að skrifa:

$$M = K_2 \cdot \Phi \cdot I_a \quad (10)$$

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Hér er:

k_2 = fasti vélarinnar

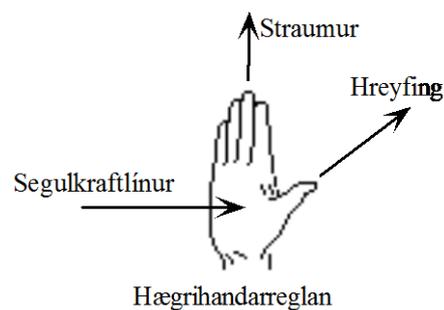
Φ = segulkraftlínustraumurinn í (Wb)

I_a = snúðstraumurinn í (A).

Kraftlínustraumurinn, Φ , kemur inn í formúlu (10) í stað kraftlínuþéttleikans í formúlu (9). Stærðir sem hafa áhrif á fasta vélarinnar eru m.a. lengd snúðleiða, radius snúðsins, fjöldi snúðleiða, þverflatarmál segulpóla o.fl.

Samkvæmt formúlu (10) er snúningsvægið því í beinu hlutfalli við kraftlínustraum og snúðstraum. Þegar snúðurinn snýst í segulsviði spanast, eins og í rafala, spenna í snúðvöfunum. Þessi spenna er oft kölluð mótspenna eða spönuð mótspenna vegna þess að hún vinnur á móti spennugjafaspennunni, kemur fram eins og spennufall, hægrihandarreglan.

Hægrihandarreglan sýnir enn fremur að mótspennan vinnur á móti straumnum í snúðnum og þar af leiðandi einnig á móti netspennunni. Sannreyndu þetta með hægrihandarreglunni sem er sýnd á mynd 17.42.



Mynd 17.42

Spennufallið í snúðnum, $I_a \cdot R_a$, og spanaða spennan, E , eru til samans jöfn netspennunni (affallsmótor) samanber formúluna (sjá líka formúlu (2)):

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

$$U = E + I_a R_a \quad (11)$$

Spanaða mótsþennan er í beinu hlutfalli við kraftlínustrauminn, Φ , og snúningshraðann, n , samantek formúlu (1):

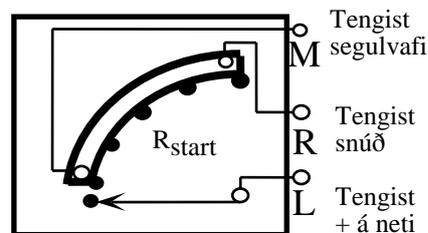
$$E = k \cdot \Phi \cdot n$$

Á ræsiaugnablikinu er snúðurinn í kyrrstöðu og þess vegna er engin spönuð spenna. Það eina sem takmarkar strauminn er því viðnámið í snúðrásinni. Þetta sést vel á formúlu (11).

Setjum $E = 0$ og leysum hana með tilliti til snúðstraumsins, sem er í þessu tilfalli ræsistraumurinn. Hann verður því:

$$I_{start} = \frac{U}{R_a} \quad (12)$$

Þar eð viðnámið R_a er mjög lítið (u.þ.b. 1Ω) verður ræsistraumurinn næstum eins stór og skammhlaupsstraumur. I_{start} getur orðið mörgum sinnum stærri en málstraumurinn.



Mynd 17.43

Við getum ekki látið svo stóran ræsistraum viðgangast.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Bæði getur hann skaðað mótórin og einnig veldur hann miklu álagi á netið. Þess vegna er mótstöðu komið fyrir í snúðrásinni á ræsiaugnablikinu, svo-kallaðri ræsímótstöðu, eins og myndir 17.43 og 17.46 sýna. Formúla (12) breytist þá og verður:

$$I_{start} = \frac{U}{R_a + R_{start}} \quad (12a)$$

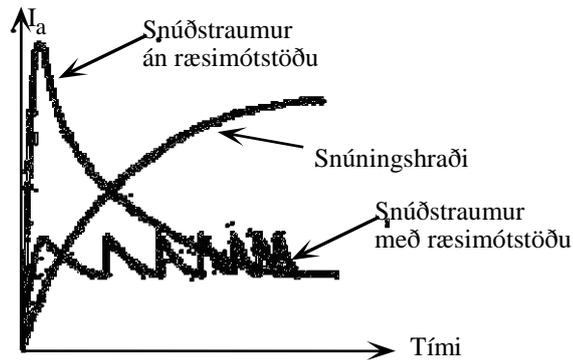
Góð viðmiðunarregla er að velja stærð ræsímótstöðunnar þannig að ræsistraumurinn eða startstraumurinn verði u.þ.b. 1,5 sinnum málstraumur mótorsins. Við sjáum líka á formúlu (12a) að við getum fengið þann ræsistraum sem við óskum með réttu vali á ræsímótstöðu.

Þegar hraði mótorsins eykst, þá eykst einnig spanaða mótspennan, en þá minnkar snúðstraumurinn því annars mundi ekki haldast jafnvægi milli netspennunnar og spennufallsins í rásinni samkvæmt formúlunni:

$$U = E + I_a(R_a + R_{start}) \quad (13)$$

Þegar hraðinn hefur aukist svolítið og straumurinn minnkað, þá er ræsímótstöðunni snúið þannig að viðnámið minnki, en þá eykst straumurinn snögglega en minnkar síðan aftur þegar hraðinn hefur aukist meira og spanaða mótspennan þar af leiðandi hækkað. Sjá mynd 17.44.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar



Mynd 18.44

Á þennan hátt er hraðinn aukinn með ræsímótstöðunni þar til fullum hraða er náð og viðnám hennar orðið núll. Af þessu getum við séð að spanaða spennan er í réttu hlutfalli við hraðann.

Af formúlu (10) fyrir snúningsvægi:

$$M = K_2 \cdot \Phi \cdot I_a$$

sést að straumurinn verður að aukast í beinu hlutfalli við álagið ef kraftlínustraumurinn er óbreyttur og mótörinn á að halda nægu snúningsvægi.

Þegar straumurinn eykst, þá eykst einnig spennufallið í snúðrásinni, en þá verður spanaða spennan að minnka ef fyrrnefnt jafnvægi á að haldast. Spanaða spennan getur ekki minnkað, nema snúningshraðinn minnki. Snúningshraði jafnstraumsmótora minnkar því við aukið álag.

Af þessu sést að hverju álagi eða bremsuvægi fylgir ákveðinn snúningshraði. Við skulum nú finna hvaða stærðir hafa áhrif á snúningshraðann með því að ganga út frá formúlu (1) og leysa hana m.t.t. snúningshraðans, n .

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

$$E = k \cdot \Phi \cdot n \quad \text{og} \quad n = \frac{E}{k \cdot \Phi}$$

Með því að setja inn fyrir k , $k_1 = \frac{1}{k}$ verður formúlan fyrir snúningshraða:

$$n = k_1 \frac{E}{\Phi} \quad (14)$$

Út úr þessari formúlu má lesa að snúningshraði jafnstraums-mótors er í beinu hlutfalli við spanaða mótspennu og í öfugu hlutfalli við styrk segulsviðsins í vélinni.

Við venjulegar aðstæður er spennufallið í snúðrásinni svo lítið að hægt er að segja, án mikillar skekkju, að netspennan sé jöfn spönuðu mótspennunni. Snúningahraðinn verður því í beinu hlutfalli við netspennuna, samkvæmt formúlunni:

$$n = k_1 \frac{E}{\Phi} = k_1 \frac{U}{\Phi} \quad (15)$$

Út frá þessari formúlu sést að snúningshraða má breyta með þremur aðferðum, þ.e. með því að breyta spönuðu spennunni, breyta netspennunni og breyta segulsviðinu. (Sjá nánar kaflann um hraðastjórnun jafnstraumsmótora á bls.17.27)

Snúningsátt jafnstraumsmótora er breytt með því að annað hvort er straumstefnu snúðrásar snúið við, eða þá straumstefnu segulmögnunarrásar. ATH. að sé báðum straumstefnunum snúið, heldur mótörinn áfram sömu snúningsátt.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Keyrsla jafnstraumsmótora

Afl jafnstraumsmótora

Rafaflíð sem jafnstraumsmótor tekur frá neti er margfeldi skautspennu og straums frá neti:

$$P_{inn} = U \cdot I_n \quad (16)$$

Töpin eru þau sömu og í rafalanum og nýtnin hlutfallið milli aflsins út og aflsins inn. Sjá kaflann um afl, tap og nýtni á bls. 46.

Vélræna aflíð út af mótornum er háð snúningsvægi og snúningshraða mótorsins. Samhengi þessara stærða sést best í eftirfarandi formúlu:

$$P_{út} = \frac{M \cdot n \cdot 2\pi}{60} \quad (17)$$

Sjá líka um afl og vægi riðstraumsmótora í kafla 19.

Kostir og gallar jafnstraumsmótora

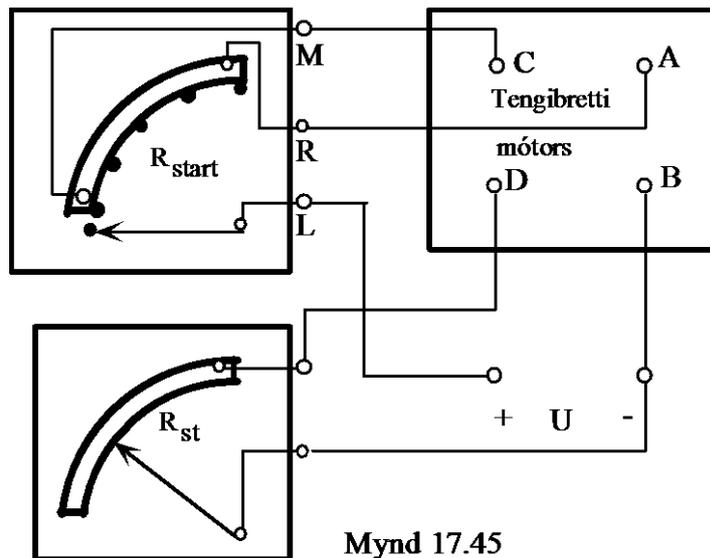
Jafnstraumsmótorar hafa þann kost umfram flesta aðra rafmótora að mögulegt er að framleiða þá fyrir hvaða snúningshraða sem er, innan hagnýtra marka, og með mismunandi segulmögnunaraðferðum er auðvelt að ná fram mismunandi notkunareiginleikum. Það er einnig mjög auðvelt að hraðastýra þeim.

Straumvendirinn og kolin eru hins vegar helsti ókostur jafnstraumsmótorsins. Þó sýnir reynslan að með reglu-bundnu eftirliti endist straumvendir í meira en 20 ár án þess að það þurfi að renna hann ef rétt kol eru notuð. Helsta ástæða bilana í jafnstraumsmótorum eru óhreinindi og mikið yfirálag í langan tíma.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

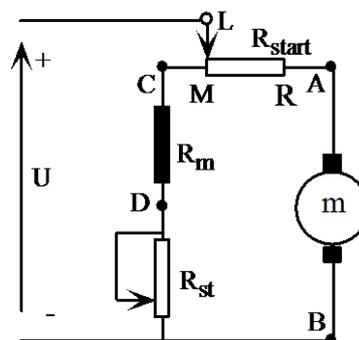
Affallsmótorinn

Í affallsmótor eru segulvöfin hliðtengd við snúðinn. Á mynd 17.45 eru spennugjafi, tengibretti mótors, ræsi-mótstaða og hraðastillimótstaða og tengingar þar á milli.



Mynd 17.45

Mynd 17.46 sýnir táknmynd affallsmótors með ræsi-mótstöðu og hraðastillimótstöðu í segulvafinu. Ræsi-mótstaðan er raðtengd við snúðinn meðan á ræsingu stendur og er hún leyst út í þrepum, þar til mótorinn hefur náð fullum snúningshraða. Berðu saman merk-ingar og tengingar á myndum 17.45 og 17.46.



Mynd 17.46

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Þegar ræsímótstaðan er stillt á síðasta þrep er full netspenna tengd snúðnum. Affallsvafið er tengt þannig að það fær fulla spennu meðan á ræsingu stendur og þar af leiðandi fullan segulmögnunarstraum. Það er mjög mikilvægt að segulsvið mótorsins sé í hámarki í ræsingu því þá fær mótörinn betra ræsivægi.

Eftir ræsingu er síðan hægt að setja inn mótstöðu í segulmögnunarstraumrásina og stilla með henni hraðann. Minnkandi segulmögnunarstraumur, I_m , veldur auknum snúningshraða, samanber formúlu (14):

$$n = k_1 \frac{E}{\Phi}$$

Ef ekki væri segulmettun í segulrás rafvéla, snúð, pólum og húsi, mætti setja I_m inn í formúluna hér að ofan í staðin fyrir Φ .

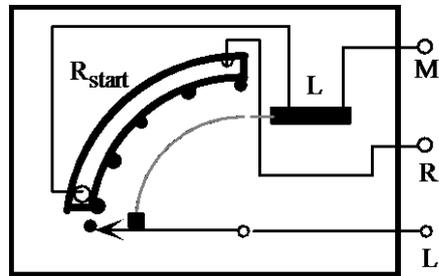
Þetta er stundum gert og þá sjást enn betur áhrif segulmögnunarstraumsins, I_m , á snúningshraðann. Formúlan lítur þá svona út:

$$n = k \frac{E}{I_m} \quad (18)$$

Ath. að fastinn, k_1 , fær nú annað tölugildi en áður og er því merktur k' . Stjórnun snúningshraða fær nánari umfjöllun í kaflanum um hraðastjórnun hér að aftan.

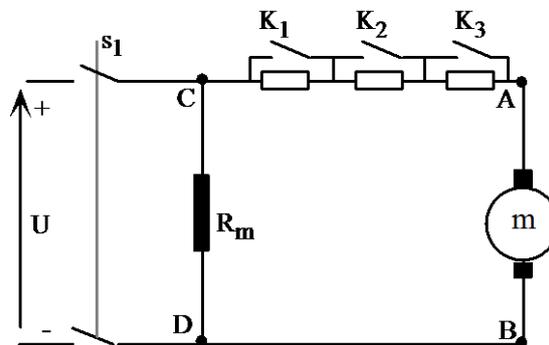
Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Þegar mótorinn er stöðvaður, er ræsímótstaðan færð í ræsistöðu, til að komið verði í veg fyrir að ræsistraumar geti orðið hættulega miklir við næstu ræsingu. Oft er ræsibúnaðurinn þannig úr garði gerður, að ræsímótstaðan fer á sjálfvirkan hátt í ræsistöðu við stöðvun. Spólan, L , á mynd 17.47 er segulspóla. Um hana fer sami straumur og um segulvaf mótorsins. Segulkrafturinn sem myndast í henni heldur arminum uppi þegar mótorinn er í notkun.



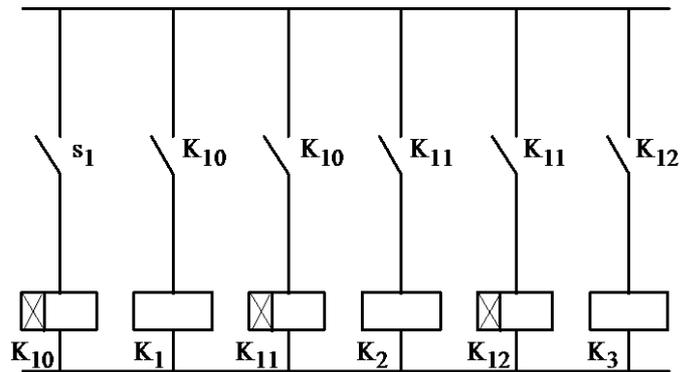
Mynd 17.47

Ræsibúnaður jafnstraumsmótora getur líka verið sjálfvirkur. eru þá 2-3 fastar mótstöður tengdar við snúðinn og segulrofar, stýrðir með tímalíðum, notaðir til að tengja framhjá ræsímótstöðunum þegar mótorinn fer í gang eins og sýnt er á myndum 17.48 a og b.



Mynd 17.48a

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar



Mynd 17.48b

Frá netinu tekur mótórin ströum sem er samanlagður segulmöggnunarströumur, I_m , og snúðströumur, I_a .

$$I_n = I_a + I_m \quad (19)$$

Snúðströumurinn, í ræsingu með ræsímótstöðu, verður:

$$I_{start} = \frac{U}{R_a + R_{start}} \quad (20)$$

Þegar stillímótstaðan er öll inni, í hámarki, er segulmöggnunarströumurinn:

$$I_m = \frac{U}{R_m + R_{st}} \quad (20a)$$

Þegar segulkraftlínuströumurinn er jafn eykst snúningsvægið í beinu hlutfalli við snúðströuminn, þ.e. nokkurn veginn í beinu hlutfalli við heildarströuminn, samanber formúlu (10):

$$M = K_2 \cdot \Phi \cdot I_a$$

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Snúningshraðinn verður nokkurn veginn jafn í affalls-
vél og breytist tiltölulega lítið við álag samanber
formúlu (14):

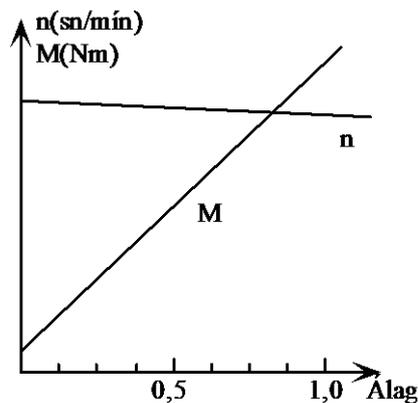
$$n = k_1 \frac{E}{\Phi}$$

Venjulega fellur hann samt nokkuð vegna spennu-
fallsins í snúðrásinni samkvæmt formúlu (11):

$$U = E + I_a R_a$$

Þegar álagið eykst, og þar með I_a , verður E að lækka til
að summan haldist jöfn U . Og á hraðaformúlunni
sjáum við að ef E lækkar, lækkar líka n .

Hraða- og vægiskennilínur affallsmótors eru á mynd
17.49. Berðu þær saman við formúlurnar fyrir snún-
ingshraða, (14) og vægi, (10).



Mynd 17.49

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

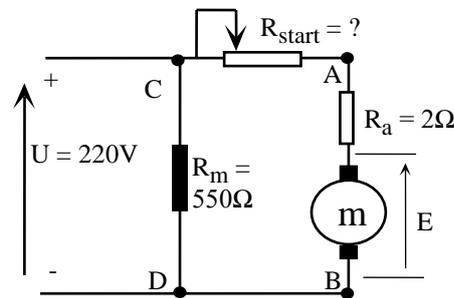
Sýnidæmi 4.

Affallsmótor er gerður fyrir 220 V spennu og notar 10,4 A frá neti við fullt álag. Viðnám segulvafsins er 550Ω og viðnámið í snúðrás í er 2Ω .

- Teiknaðu tákmynd mótorsins, með ræsímótstöðu, og merktu inn á hana gefnar stærðir.
- Finndu strauminn í segulvafi og strauminn í snúð.
- Reiknaðu spennufallið í snúðrásinni og
- spanaða mótspennu í snúðnum við fullt álag.
- Hve stór þarf ræsímótstaðan að vera, ef við miðum við að ræsistraumurinn verði 1,5 sinnum málstraumur.

Lausn:

- Sjá mynd 17.50.



Mynd 17.50

- Straumurinn í segulvafi verður, formúla (20 a), ($R_{st} = 0$):

$$I_m = \frac{U}{R_m + R_{st}} = \frac{220}{550 + 0} = 0,4 \text{ A}$$

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Straumurinn í snúðnum verður, formúla (19):

$$I = I_a + I_m \Rightarrow$$

$$I_a = I - I_m = 10,4 - 0,4 = 10 \text{ A}$$

c) Spennufallið í snúðviðnáminu verður:

$$\Delta U_a = I_a \cdot R_a = 10 \cdot 2 = 20 \text{ V}$$

og spanaða mótsþennan m. hjálp formúlu 11:

$$U = E + I_a R_a \Rightarrow$$

$$E = U - I_a R_a = 220 - 20 = 200 \text{ V}$$

d) Ræsistraumurinn verður $1,5 \cdot 10,4 \text{ A}$ eða $15,6 \text{ A}$.
Stærð ræsimótstöðunnar verður þá, samanber formúlu (20):

$$I_{start} = \frac{U}{R_a + R_{start}} \Rightarrow$$

$$R_a + R_{start} = \frac{U}{I_{start}} \Rightarrow$$

$$R_{start} = \frac{U}{I_{start}} - R_a = \frac{220}{15,6} - 2 = 12,1 \Omega$$

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Sýnidæmi 5.

Snúningshraði mótorsins í sýnidæmi 4 er 1800sn/mín við fulla lestun og fer upp í 1950 snúninga álagslaus.

- Hve stór verður spanaða mótspennan þegar mótörinn er álagslaus?
- Hve stór verður snúðstraumurinn þegar mótörinn er álagslaus?

Lausn:

- Vegna þess að vélarfastinn er ekki gefinn er einfaldast að nota hlutföll og setja upp eftirfarandi með hjálp formúlu (1):
-

$$\frac{E_{1950}}{E_{1800}} = \frac{k \cdot \Phi \cdot n_{1950}}{k \cdot \Phi \cdot n_{1800}}$$

Vélarfastinn og segulkraftlínustraumurinn stytast út (Φ styttest út vegna þess að þetta er affalls-mótor) og hlutfallið einfaldast þá í eftirfarandi:

$$\frac{E_{1950}}{E_{1800}} = \frac{n_{1950}}{n_{1800}}$$

Leysum út E við 1950sn/mín því það er eina stærðin sem er óþekkt og fáum:

$$E_{1950} = \frac{n_{1950}}{n_{1800}} \cdot E_{1800} = \frac{1950}{1800} \cdot 200 = 216,6 \text{ V}$$

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

- b) Snúðstraumurinn leysum við út frá formúlu (11) og táknum I_a með 0 fyrir álagslausan mótör:

$$E = U - I_{a0} \cdot R_a \Rightarrow$$

$$I_{a0} = \frac{U - E_{1950}}{R_a} = \frac{220 - 216,6}{2} = 1,7 \text{ A}$$

Frá neti tæki mótörinn þá:

$$I_n = I_a + I_m = 1,7 + 0,4 = 2,1 \text{ A}$$

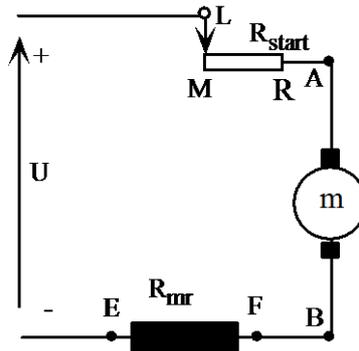
Raðarmótörinn

Mynd 17.51 sýnir tákmynd raðarmótors og á henni sést vel hvernig segulvafið raðtengist snúðnum. Það gefur honum líka sérstaka eiginleika. Ef við lítum á formúlu (10) fyrir snúnings-vægi:

$$M = k_2 \cdot \Phi \cdot I_a$$

og höfum í huga að segulmögnumarstraumurinn og snúðstraumurinn eru sami straumurinn sjáum við að snúningsvægið hlýtur að vera lítið í lausagangi. Straumurinn er þá lítill og þá verður segulsviðið líka lítið. Við aukið álag eykst segulkraftlínustraumurinn í hlutfalli við strauminn sem mótörinn tekur frá neti og þar sem snúningsvægið er í beinu hlutfalli við margfeldi straums og segulkraftlínustraums verður það í raðarmótörnum nærri því að vera í hlutfalli við strauminn í öðru veldi.

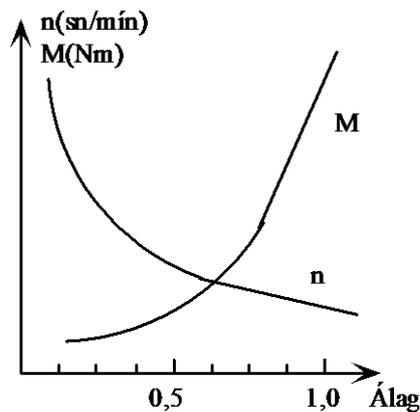
Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar



Mynd 17.51

Snúningsvægi raðarmótors eykst því miklu meira við aukið álag, en það gerði í affallsmótornum, og hann hefur mjög gott ræsivægi.

Það er ekki fyrr en við mettun segulrásar mótorsins að vöxtur vægisins verður nokkurn veginn í beinu hlutfalli við álagið. Sjá kennilínu raðarmótors á mynd 17.52. (Ath. líka í þessu sambandi dæmi 60 og 61.)



Mynd 17.52

Við skulum líka skoða hraðaformúluna, (14):

$$n = k_1 \frac{E}{\Phi}$$

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Á henni sjáum við að í tómgangi, þegar straumurinn og þar með seglunin eru í lágmarki, verður snúningshraðinn mjög mikill. Þetta hefur það í för með sér að raðarmótorinn má aldrei ganga án álags við fulla spennu, því að þá er hættu á að hann auki hraðann þar til hann eyðileggst. Formúlan segir okkur líka að snúningshraðinn breytist mjög með álaginu eins og líka kemur fram á kennilínunni á mynd 17.52.

Berðu kennilínurnar saman við formúlurnar fyrir hraða og vægi.

Raðarmótorar eru notaðir þar sem þörf er á miklu ræsivægi og þar sem mótorar eru fasttengdir við álagið. Áður fyrr voru þeir mikið notaðir í krönum, stýrisvélum og þ.h. en núorðið eru þeir fyrst og fremst notaðir sem ræsar fyrir bensín eða dísilvélar. Ræsir í bíl er, nær undantekningarlaust, raðarmótor. Ennfremur eru raðarmótorar notaðir í rafdrifnum lyfturum.

Sýnidæmi 6.

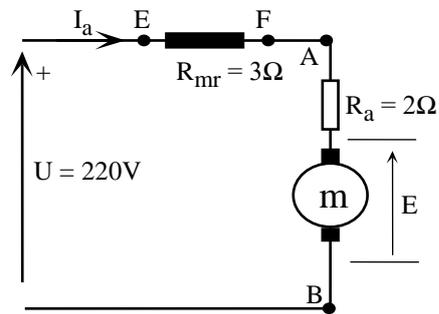
Raðarmótor er gerður fyrir 220 V spennu. Þegar snúningshraðinn er 1450 sn/mín notar hann 3 A snúðstraum en 6 A þegar álagið er þannig að hann snýst 430 sn/mín. Viðnámið í segulvafinu er 3Ω og $2,0 \Omega$ í snúðvafinu.

- Teiknaðu táknmynd og merktu inn gefnar stærðir.
- Finndu hlutfallið milli segulkraftlínustraumsins við 6 A og við 3 A.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Lausn:

a) Sjá mynd 17.53



Mynd 17.53

b) Við að leysa svona dæmi er hægst að nota hlutfallsreikning svipað og í sýnidæmi 5. Við setjum upp eftirfarandi:

$$\frac{E_{6A}}{E_{3A}} = \frac{k \cdot \Phi_{6A} \cdot n_{6A}}{k \cdot \Phi_{3A} \cdot n_{3A}}$$

Fastarnir styttast út en við þurfum að reikna út mótspennuna við 3 A og við 6 A.

$$E_{3A} = U - I_a(R_a + R_{mr}) = 220 - 3(3 + 2) = 205 \text{ V}$$

$$E_{6A} = U - I_a(R_a + R_{mr}) = 220 - 6(3 + 2) = 190 \text{ V}$$

Einangrum segulkraftlínustrauminn Φ_{6A} úr hlutfallsformúlunni hér fyrir ofan og setjum inn gildin á E_{3A} og E_{6A} :

$$\Phi_{6A} = \frac{E_{6A} \cdot n_{3A}}{E_{3A} \cdot n_{6A}} = \frac{190 \cdot 1450}{205 \cdot 430} \cdot \Phi_{3A}$$

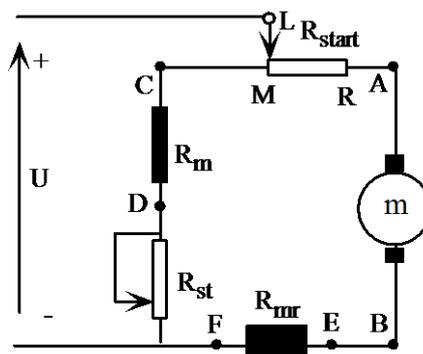
$$\Phi_{6A} = 3,1 \cdot \Phi_{3A}$$

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Þetta þýðir m.ö.o. að segulkraftlínustraumurinn við 6A snúðstraum er 3,1 sinnum stærri en við 3A. Ef ekki væri metnun í segulrás mótorsins, hefði þetta hlutfall orðið fjórfalt.

Slyngimótorinn

Mynd 17.54 sýnir tákmynd slyngimótors og eins og áður hefur komið fram er hann búinn bæði affalls- og raðarvafi (slyngi-vafinu). Raðarvafið er oftast tengt þannig að það eykur segulkraftlínustrauminn við aukið álag, þ.e. vinnur með affallsvafinu. Mótorinn er meðslýngdur.

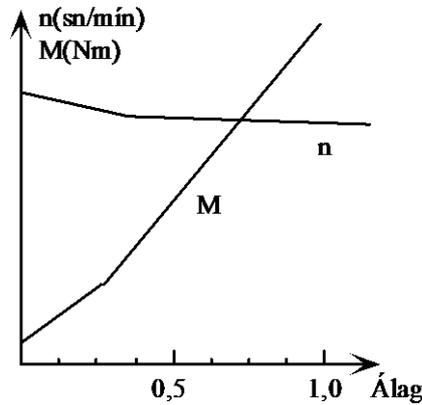


Mynd 17.54

Meðslýngdur mótur með stórt raðarvaf hefur svipaða eiginleika og raðamótur og meðslýngdur mótur með lítið raðarvaf hefur svipaða eiginleika og affallsmótur.

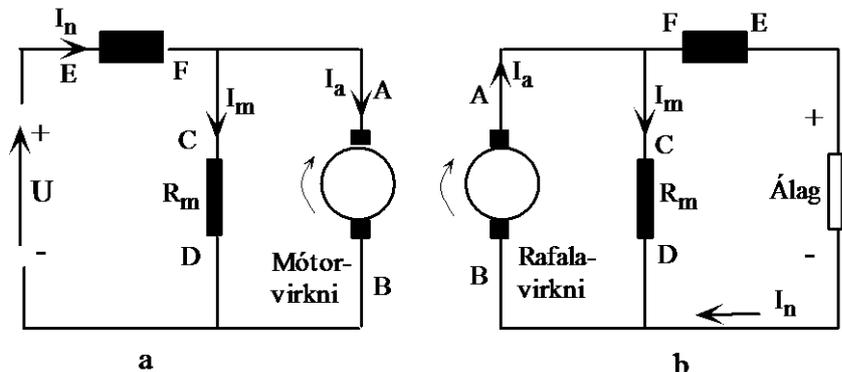
Meðslýngdur mótur er vægismeiri en affallsmótur, vegna þess að segulkraftlínurnar styrkjast við álag og auka þannig snúningsvægið. Aftur á móti minnkar hraðinn aðeins meira við aukið álag. Berðu saman kennilínu affallsmótors á mynd 17.49 og kennilínu slyngimótors á mynd 17.55. Skoðuðu einnig hraða- og vægisformúlurnar og athugaðu hvort þær styðja ekki þessa fullyrðingu.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar



Mynd 17.55

Slyngivél er ekki hægt að nota jöfnum höndum sem mótör og rafala, því að sé vél meðslýngd sem mótör verður hún mótslyngd sem rafali. Þetta kemur fram ef mynd 17.56 er skoðuð. Á mynd a er táknmynd vélarinnar í mótörvirkni, straumurinn er frá + pól spennugjafans, gegnum segulvöf og snúð og samkvæmt bókstafamerkingunni er þetta meðslýngdur mótör. (Sjá útskýringar á notkun bókstafamerkinga segulvafanna í kaflanum um rafalana.) Á mynd b hefur vélin skipt yfir í rafalavirkni, snúningsáttin er sú sama og pólunin er sú sama. En nú er vélin spennugjafi og því er straumstefnan í snúðnum frá - til + og hefur því einnig snúist í raðarvafinu. Hún er hinsvegar áfram sú sama í affallsvafinu. Vélin er því orðin mótslyngd. Athugaðu þetta vandlega, því þetta er mikilvægt atriði í sambandi við spilkerfin þar sem spilmótörinn skiptir úr mótörvirkni yfir í rafalavirkni við slökun.



Mynd 17.56

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Hraðastjórnun jafnstraumsvél

Inngangur

Á mörgum stöðum er þörf fyrir mótur, sem auðvelt er að hraðastýra, t.d. í togvindum skipa. Í slíkum kerfum þarf móturinn að vera fær um að standa kyrr á fullu átaki. Til skamms tíma var þetta eingöngu á færi jafnstraumsmótorsins. En á seinni árum hafa þróast tíðni-breytar sem geta stýrt hraða riðstraumsmótors niður í núll á fullu átaki. Sjá nánar um það í kafla 19.

Jafnstraumsmótur er auðvelt að hraðastýra, og er það ein meginástæðan fyrir því, að þeir eru notaðir í spilkerfum.

Á bls. 62 var leidd út formúla (15):

$$n = k_1 \frac{E}{\Phi} \approx k_1 \frac{U}{\Phi} \quad (15)$$

Út frá henni sést að snúningshraðinn, n , er háður þremur stærðum, þ.e. spönuðu spennunni, E , segulkraftlínustraumnum, Φ og netspennunni, U . (Mundu að munurinn á E og U í jafnstraumsmótur er háður innra spennufalli snúðsins, $I_a \cdot R_a$. Þetta er yfirleitt mjög lítil hluti spennunnar U . Sjá formúlu 11.)

Hér á eftir verður farið í tvær síðasttöldu aðferðirnar en sú fyrsta (breyting á E) er óhagkvæm í stórum móturum vegna lélegrar nýtni. Sjá dæmi 57.

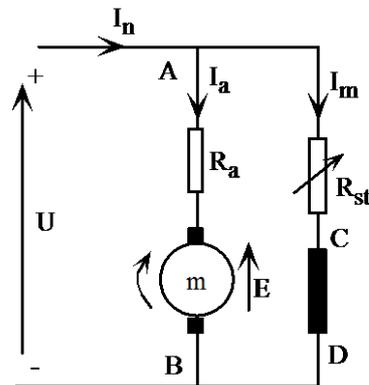
Hraðastýring með breytingu á Φ .

Þessi hraðastýriaðferð byggir á því að breyta segulkraftlínustraumnum Φ í pólum vélarinnar.

Það sem ræður fjölda segulkraftlínanna er hversu

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

mikill straumur fer í gegnum segulvafið. Ef við raðtengjum stillanlega mótstöðu, R_{st} , við affallsvafið, eins og sýnt er á mynd 17.57, þá er hægt að minnka strauminn, I_m . Þegar straumurinn minnkar, þá fækkar segulkraftlínunum og hraðinn eykst. (Sjá formúlu 15).



Mynd 17.57

Með þessari aðferð er aðeins hægt að auka hraðann frá málhraða vélarinnar vegna segulmettunar. Afl mótorsins getur haldist stöðugt því vægið minnkar og snúningshraðinn vex. Samkvæmt formúlu (17), sem segir að aflið sé margfeldi vægis og hraða, getur aflið út verið fasti.

Eins og sjá má af seinni hluta formúlu (15):

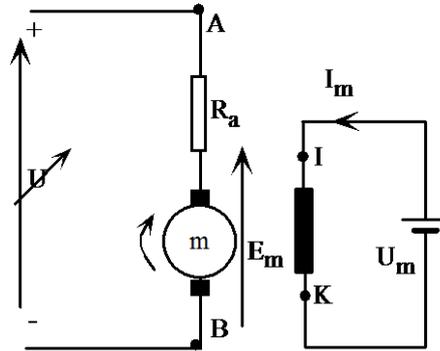
Hraðastýring með breytingu á spennunni, U.

$$n = k_1 \frac{U}{\Phi}$$

er hægt að hraðastýra affallsmótor, með því að stýra spennunni, U. En þá má ekki tengja affallsvafið við þessa breytanlegu spennu því þá breytist Φ líka.

Þess vegna eru affallsmótorar, sem hraðastýrt er með breytanlegri snúðspennu, jafnan segulmagnaðir frá einhverjum sjálfstæðum segulmögnumarspennugjafa, sem gefur stöðuga spennu, U_m . Sjá mynd 17.58.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar



Mynd 17.58

Þessi hraðastýriaðferð getur gefið stöðugt vægi, og aflið út breytist þá línulega með hraðanum. Berðu þetta saman við formúlu (15).

Stillanleg jafnspenna

Hægt er að búa til breytanlega jafnspennu á marga vegu. Þó eru aðallega tvær aðferðir notaðar til þess.

Hvor aðferðin er valin fer eftir ýmsu t.d. hversu mikla orku þarf að nota, og einnig hverskonar búnaður er á staðnum.

Önnur aðferðin byggist á því, að notaður er sérstakur rafali til að framleiða breytanlegu spennuna. Sú aðferð er kennd við Ward Leonard.

Í togurum liggur beinast við að framleiða þessa breytanlegu jafnspennu með sérstökum jafnstraumsrafala, sem er þá tengdur við aðalvél eða ljósavél skipsins. (Ward Leonard).

Hin aðferðin er sú að afriða riðspennu með týristorum eða stýrðum afriðlum (SCR), sem gefa möguleika á stjórnun jafnspennunnar.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

**Stillanleg jafnspenna
framleidd með rafala.**

Í seinni tíð hafa týristorakerfi orðið algengari, sérstaklega með tilkomu sjálfvirkni í togbúnaðinum („autotroll“). Aflið fyrir spilkerfið er þá tekið frá rafkerfi skipsins og breytanlega spennan framleidd með týristorabré.

Framleidd spenna jafnstraumsrafala er háð snúningshraða hans og fjölda segulkraftlína eins og fram kom í formúlu (1):

$$E = k \cdot \Phi \cdot n$$

Ef við horfum fram hjá metun í járni vélarinnar getum við sagt að fjöldi segulkraftlínanna, Φ , séu í beinu hlutfalli við segulmögnunarstrauminn, I_m og skrifað formúlu (1) sem:

$$E = k \cdot I_m \cdot n \quad (21)$$

Ef snúningshraða aflvélar rafalans er haldið stöðugum getum við tekið snúningshraðann, n , inn í fasta vélarinnar og skrifað (21) sem:

$$E = k_3 \cdot I_m \quad (22)$$

Með því að horfa fram hjá spennufalli snúðrásarinnar getum við skrifað framleidda spennu rafalans sem:

$$U = k_3 \cdot I_m \quad (23)$$

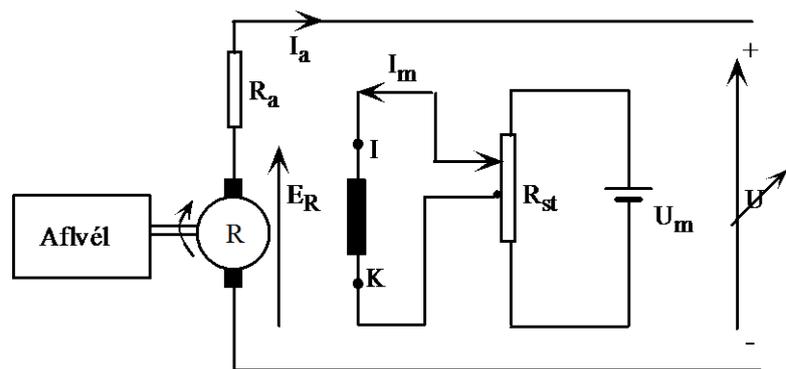
ath

Hér er sem sagt U , spennan, sem rafalinn gefur frá sér, I_m er straumurinn, sem sendur er inn á segulvaf rafalans, og k_3 er $k \cdot n$.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Af formúlu (23) sést að með því að breyta I_m , breytist spennan, U , í beinu hlutfalli. (Mundu að við sleppum segulmettun í þessari fullyrðingu.)

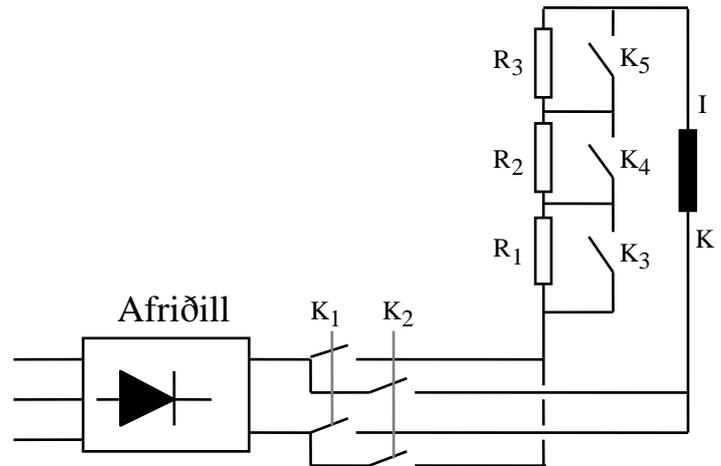
Á mynd 17.59 sést, hvernig hægt er að stilla I_m . Á meðan hreyfanlega tengingin á R_{st} er ofan við miðju, hefur straumurinn, I_m , þá stefnu, sem örin sýnir, en þegar hreyfanlega tengingin er komin niður fyrir þá föstu, breytir segulmögnunarstraumurinn, og þar með segulflæðið í pólunum, um stefnu. Þetta verður til þess, að spenna rafalans umpólast og þar með snúningsátt mótors, sem við hann væri tengdur.



Mynd 17.59

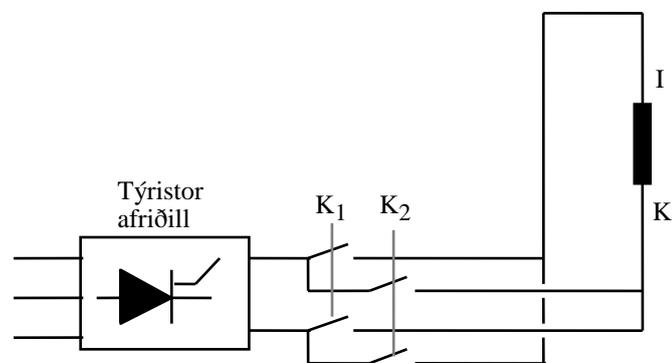
Algengara er að segulmögnunarstraumnum sé stjórnað eitthvað í líkingu við það sem mynd 17.60 sýnir. Þar er segulmögnunarspennan fengin frá riðspennuneti, ein- eða þriggja fasa, og afriðuð. Stærð straumsins í segulvafinu er stjórnað með því að tengja fram hjá mótstöðunum, einni eða fleiri í senn. Segulrofarnir K_1 og K_2 sjá um að víxla straumstefnunni í rásinni. Þegar K_1 er tengdur er straumstefnan frá I-K í segulvafinu en frá K-I þegar K_2 tengir. Að sjálfsögðu mega K_1 og K_2 aldrei vera tengdir samtímis og verður að vera trygging fyrir því í stýrirásinni, sem er ekki sýnd á mynd á næstu síðu.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar



Mynd 17.60

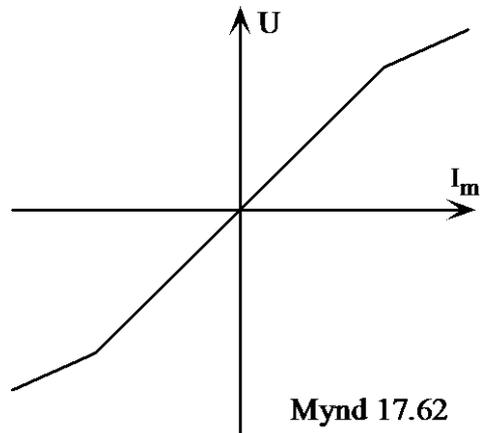
Í stöku hraðastýrikerfum eru týristorar í afriðilsbrúnni og gæti mynd 17.60 breyst í það sem mynd 17.61 sýnir. Þá sjá týristorarnir um stjórnun spennunnar og við getum sleppt mótstöðunum og segulrofum K_3 - K_5 . K_1 og K_2 gegna sama hlutverki og á mynd 17.60.



Mynd 17.61

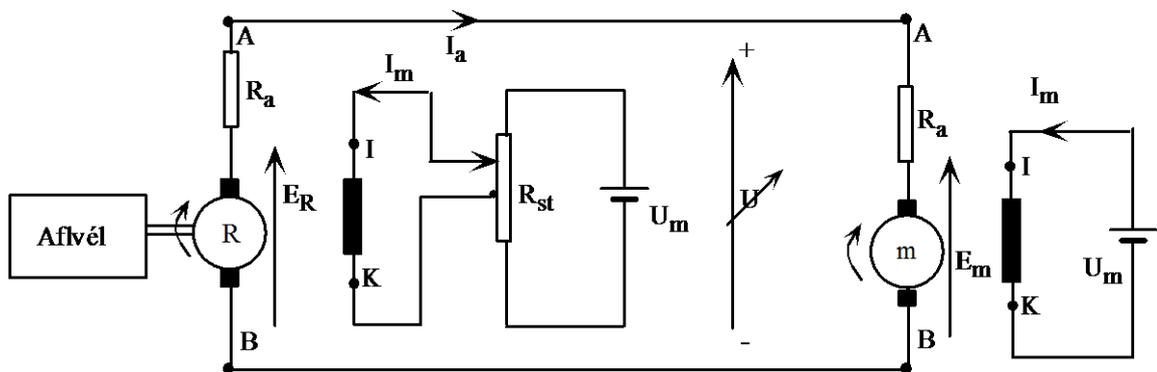
Með tengingu, eins og sýnd er á myndum 17.59-61 er sem sagt bæði hægt að stilla spennu rafalans og um-póla henni. Hlutfallið á milli segulmögnumar-straumsins, I_m , og spennunnar, U , er sýnt á mynd 17.62. Brotið í línunni er vegna segulmettunar.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar



Ward Leonard kerfi

Ef mótörinn á mynd 17.58 er tengdur við rafalann á mynd 17.59, þá er komið það sem kallast Ward Leonard hraðastýrikerfi. Það er alltaf myndað úr þremur vélum: aflvél, rafala og mótör.



Mynd 17.63

Aflvélin er ekki alltaf dísilvél, heldur getur hún allt eins verið rafmótör, t.d. þriggja fasa skammhlaups-mótör.

Mynd 17.63 sýnir kerfið í heild í mjög einfaldaðri útgáfu.

Til að lýsa vinnumáta kerfisins er best að hugsa sér þetta sem hraðastýrikerfi fyrir togvindu togara.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Hífiing

Aflvélin er þá í flestum tilfellum aðalvél skipsins, sem knýr rafalann með fastri snúningsátt og föstum snúningshraða. Spennan frá rafalanum er þá eingöngu háð segulmögnunarstraumnum eins og áður hefur komið fram. Við skulum hér á eftir taka fyrir tvö tilfelli, þ.e. hífiingu og slökun.

Í hífiingu vinnur rafalinn sem rafali og mótör sem mótör. Snúningshraða mótörsins er stjórnað með spennunni frá rafalanum samkvæmt formúlum (15) og (23). En lítum aðeins á formúlu (10), vægisformúluna.

$$M = k_2 \cdot \Phi \cdot I_a$$

Snúningshraði mótörsins kemur ekki fyrir í henni og því er vægið óháð honum. Þetta þýðir m.ö.o. að mótörinn getur tekið á með fullu snúningsvægi án þess að snúast. Það er að vísu komið undir kælingu snúðsins, sem verður að vera óháð snúningshraða mótörsins, t.d. með auka viftumótör eins og sýnt er á mynd 17.7.

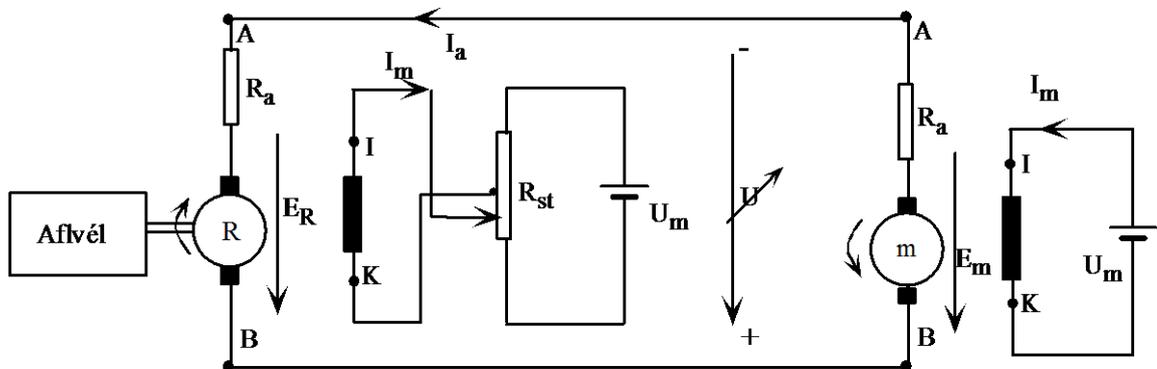
Stundum er komið fyrir raðarvafi, mótslyngdu, í rafalanum. Tilgangurinn með því er tvíþættur. Í fyrsta lagi kemur það í veg fyrir að rafalinn framleiði spennu á segulleifum þegar spennustillimótstaðan er stillt á núll. Í öðru lagi verður spilið eftirgefanlegra. Við skulum hugsa okkur að í hífiingu á ákveðnum hraða verði aukin fyrirstaða eða festa. Samkvæmt formúlu (10), vægisformúlunni, eykst straumur mótörsins og þar með straumurinn í hringrásinni.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Við það eykst segulmögnun slyngivafsins og þar sem það vinnur á móti seglun aðalvafs rafalans minnkar heildarsegulmögnun hans og þar með framleidd spenna í sama hlutfalli. Átak mótorsins minnkar að sama skapi. Hreyfing skips getur líka haft svipuð áhrif, t.d. þegar það lyftist á öldu. Þá gerir mótslyngt slyngivaf það að verkum að spilið verður eftirgefandlegra og mýkra.

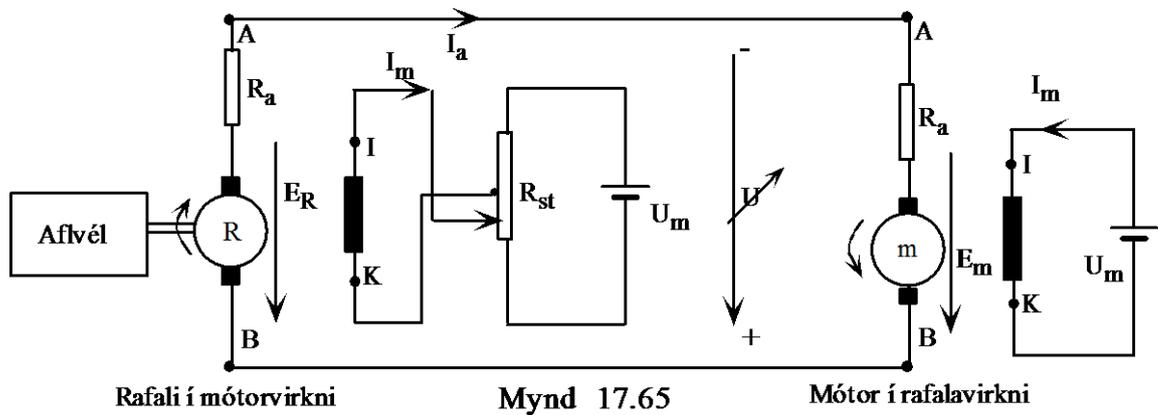
Slökun

Í slökun er spennunni umpólað á rafalanum og snúningsátt mótorsins þannig snúið við. Mótorinn vinnur sem sagt sem mótur með öfugri snúningsátt miðað við það sem hann gerði í hífingu. mynd 17.64 sýnir þetta. Hreyfanlegi armurinn á R_b er kominn niður fyrir fasta punktinn og spennur og straumar hafa snúist ásamt snúningsátt mótorsins.



Mynd 17.64

Þegar trollið fer að toga í vírana breytist virkni vélanna þannig að mótorinn verður rafali, sem trollið og hreyfing skipsins knýr, en rafalinn verður mótur sem reynir að knýja aflvélinu og eyðir þannig bremsuafliinu. Á mynd 17.65 sést hvernig straumstefnan í snúð mótors og rafala breytist, þegar mótorinn breytir yfir í rafalavirkni, en annað er óbreytt miðað við mynd 17.64.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar


Mótorinn virkar sem hemill á slökunina, sem er nauðsynlegt til þess að trollið skveri sig. Hægt er að stjórna hemluninni með segulmögnun rafalans. Það má útskýra á tvo vegu með hjálp formúlanna (1) og (10).

Formúla (1), $E = k \cdot \Phi \cdot n$ segir okkur að spönuð mótspenna mótors fari eingöngu eftir segulmögnuninni ef snúningshraðanum er haldið föstum, eins og er tilfellið hér. Fyrir gefna skautspennu, U , verður snúðstraumurinn þeim mun stærri, sem mótspennan minnkar, samanber formúlu (11):

$$U = E + I_a R_a$$

Eftir því sem rafali framleiðir meiri straum verður erfiðara að snúa honum, hann hemlar betur.

Þetta mætti líka segja þannig: Mótorinn, sem nú virkar sem rafali, framleiðir meiri straum, eftir því sem rafalinn, sem nú virkar sem mótor, er minna segulmagnaður.

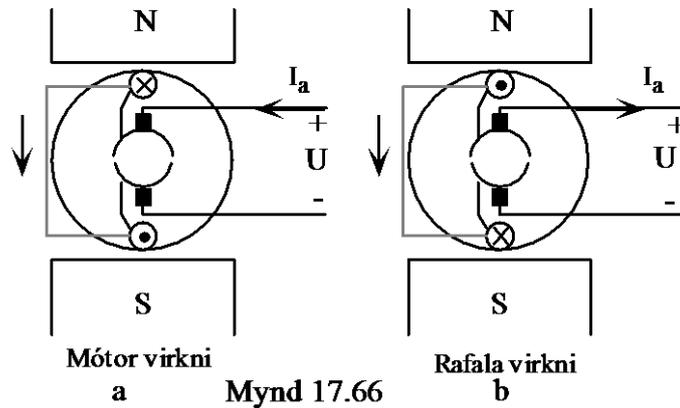
Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Formúla (10), $M = K_2 \cdot \Phi \cdot I_a$, segir okkur aftur á móti að ákveðið vægi fáist með margfeldi segulmögnunar og snúðstraums. Ef bremsuvægið er fasti og við minnkum segulmögnunina þá verður snúðstraumurinn, I_a , að aukast. M.ö.o. með því að minnka segulmögnun rafalans, sem nú vinnur sem mótör, aukum við strauminn frá mótörnum, sem nú vinnur sem rafali, og hann hemlar því meira.

Við skulum kanna nánar það sem gerðist í mótörnum þegar hann er að skipta frá mótörvirkni yfir í rafalavirkni, því þetta er mikilvægt í sambandi við að skilja vinnumáta spilkerfa af þessu tæi, ekki síst þegar við komum að týristora spilkerfunum.

Lítum á mynd 17.66 sem sýnir þverskurð jafnstraumsvélar með mjög einfölduðum snúð, sem tengist ákveðinni spennu. Segulmögnunin er sjálfstæð og við lítum á hana sem fasta. Á mynd 17.66a er merkt ákveðin straumstefna í snúðnum sem gefur ákveðna snúningsátt miðað við að þetta sé mótör. Sannreyndu það með vinstrihandarreglunni. Spennan, U , gefur mótörnum líka ákveðinn snúningshraða. Ef hraðinn eykst upp fyrir þennan hraða, vegna utanaðkomandi áhrifa, verður spanaða spennan hærri en skautspennan og straumstefnan snýst við eins og sýnt er á mynd 17.66b. Sannreyndu þetta með hægrihandarreglunni. Það sem gerist á því augnabliki sem mótörinn breytir úr mótörvirkni yfir í rafalavirkni er að straumstefnan í snúðnum breytist.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar



Pólun spennunnar verður áfram sú sama.

Í spilkerfum skipa er margs konar viðbótarbúnaður við það sem sýnt er á mynd 17.63.

Þar má t.d. nefna yfirálagsvörn, sem varnar því að rafali eða mótor yfirlestist, búnað sem kemur í veg fyrir að hægt sé að gangsetja spilkerfið nema stjórnstöngin sé á núlli. Einnig búnað, sem hindrar að straumur komist á segulvaf rafalans á undan segulvafi mótorsins. Mótor sem fær snúðspennu en enga segulmögnun getur tekið gífurlegan straum þegar hann byrjar að gefa vægi eingöngu með snúðstraumnum.

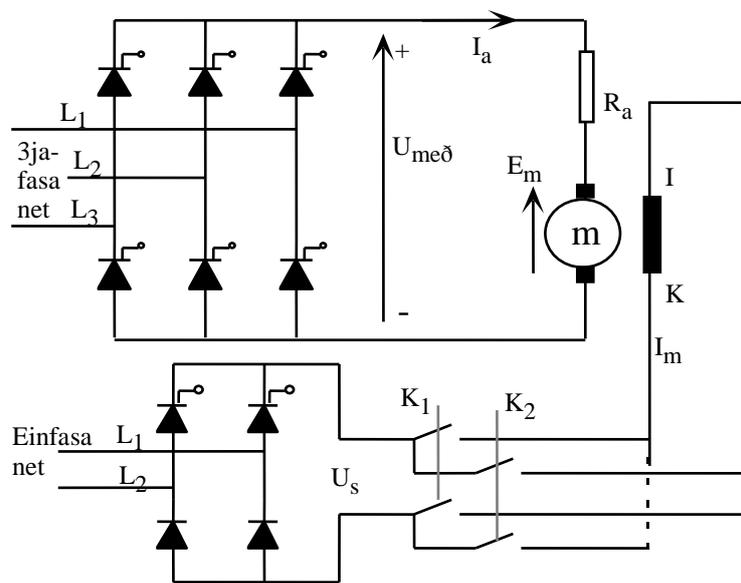
Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Týristorakerfi

Í týristora hraðastýrikerfum er aðallega um tvær aðferðir að ræða. Annarsvegar kerfi sem nota eina týristorabru til að framleiða stillanlega spennu fyrir mótörinn og hinsvegar kerfi sem nota tvær brýr, eina fyrir hífingu og aðra fyrir slökun.

Ein týristorabru

Mynd 17.67 sýnir hraðastýrikerfi sem notar eina týristorabru. Bruin tengist 3jafasa riðspennu og spennan frá henni, $U_{með}$, breytist eftir því hvenær stýripúlsar opna týristorana og skammta þannig spennu inn á snúð mótorsins sem á að hraðastýra. Segulvafið fær spennu frá einfasa afriðilsbrú, sem getur verið stýrð eða óstýrð. Víxlöfarnir K_1 og K_2 eru til að breyta straumstefnu í segulvafinu.



Mynd 17.67

Um vinnumáta týristora er vísað til rafeindatekninnar.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Týristorabrúin er heilstýrð, þ.e. eingöngu byggð upp af týristorum, og meðalgildi spennunnar frá henni fylgir eftirfarandi formúlu, þegar um spanað álag er að ræða:

$$U_{með} = \frac{3 \cdot U_m}{\pi} \cdot \cos \alpha \quad (24)$$

Hér er:

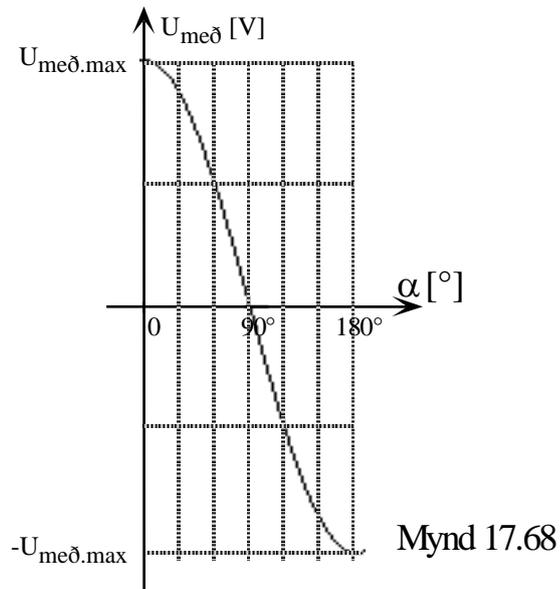
$U_{með}$ meðalgildi breytanlegu spennunnar frá brúarafriðlinum

U_m hámarksgildi riðspennunnar og

α opunarhorn týristoranna í gráðum.

Spennan, $U_{með}$, breytist, samkvæmt þessu, frá jákvæðu hámarki við $\alpha = 0^\circ$ niður í 0 V við $\alpha = 90^\circ$ kveikihorn. Síðan í neikvætt hámark við $\alpha = 180^\circ$. Sjá mynd 17.68. Spennan, $U_{með}$, getur orðið neikvæð ef álagið framleiðir spennu. Þetta er tilfellið með álög eins og spólur og/eða mótor. Þegar spenna lækkar yfir spólu, verður segulsviðsbreyting í henni. Þessi segulsviðs-breyting leitast við að viðhalda straumnum og spanar spennu til þess. Spólan verður spennugjafi með öfugri pólun miðað við það sem hún var upphaflega. Sjá mynd 15.25 í RAF.bók 1. Mótor virkar á svipaðan hátt ef honum er snúið hraðar en skautspenna hans segir til um, þá breytist hann í spennugjafa, eða m.ö.o. breytir yfir í rafalavirkni eins og fram kom frammar í þessum kafla. Þegar spennan, $U_{með}$, er neikvæð kemur afl frá álaginu og týristorarnir áriða þetta afl og senda það til baka til riðspennunetsins.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar



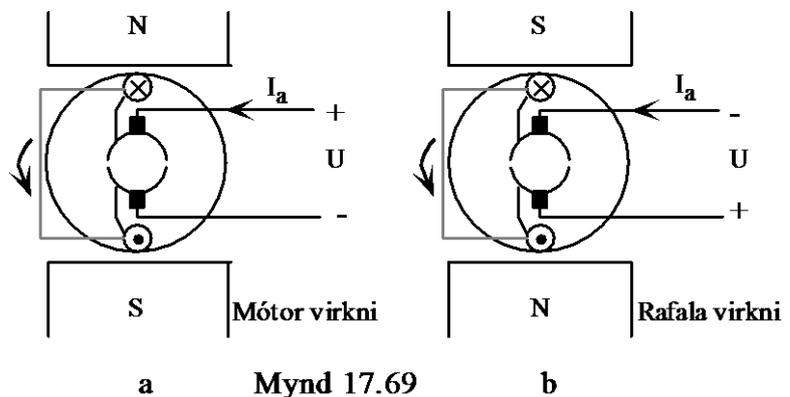
En hvað gerist þegar mótur breytir úr móturvirkni yfir í rafalavirkni? Jú, straumstefnan í snúðnum snýst við en pólun spennunnar helst óbreytt. Við vitum að týristorar geta aðeins leitt í eina átt og því verður að gera sérstakar ráðstafanir til þess að straumstefnan sé alltaf sú sama í snúðrásinni hvort heldur móturinn vinnur sem mótur eða rafali.

Við skulum nú hugsa okkur að verið sé að slaka út trolli. Móturinn er fyrst látinn vinna sem mótur. Þegar hlerarnir fara að taka í eykur móturinn snúningshraða sinn. Við það eykst spanaða spennan, E_m , þar til hún verður jöfn $U_{með}$. Á því augnabliki verður straumurinn í snúðrásinni núll. (Göngum út frá að spanáhrif snúðsins séu það lítil að hægt sé að sleppa þeim.) Við meiri snúningshraða verður E_m stærri en $U_{með}$ og vélin breytir yfir í rafalavirkni og straumurinn leitast við að snúast.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Þar sem týristorarnir geta ekki leitt straum nema í aðra áttina verður að víxla spennupóluninni þannig að straumurinn streymi í sömu átt bæði í mótör- og rafalavirkni. Þetta er gert þannig að á því augnabliki sem vélin breytir um virkni, þá sér stjórnbúnaður kerfisins um að víxla straumstefnunni í segulvafinu með hjálp K_1 og K_2 á mynd 17.67.

Lítum aðeins á mynd 17.69. Mynd a sýnir þær aðstæður þegar vélin er í mótörvirkni með ákveðna snúningsátt og mynd b rafalavirkni með sömu snúningsátt og sömu straumstefnu en segulpólunum hefur verið víxlað. Sannreyndu þetta með hjálp vinstri- og hægrihandarreglum.



Á því augnabliki sem virknin breytist, er segulsviðinu snúið í segulpólunum og því umpólast spennan, + að neðan og - að ofan, en straumstefnan, gegnum snúðinn, verður áfram sú sama. Týristorabruin er nú að vinna með opunarhorn á bilinu $90^\circ - 180^\circ$, þ.e. spennan $U_{með}$ er neikvæð, miðað við það sem hún var áður, og áriðar. Bremsuaflið er þannig keyrt frá mótornum gegnum týristorana og til baka til riðspennunetsins.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Eftir því sem týristorarnir opna meira þeim mun meiri verður áriðunin og um leið aukin hemlun á mótörinn. Þannig er í rauninni hægt að stjórna hemlun mótorsins með tímanum á stýripúlsunum.

Segulmögnunarrásin á mynd 17.67 er með hálfstýrðri brú. (Tvær díóður og tveir týristorar.) Það gerir okkur kleift að auka hraða mótorsins, umfram það sem $U_{með}$ gerir, með því að minnka seglumögnunina. Annar kostur við það að hafa afriðilsbrúna stýrða er að þegar straumstefnunni er víxlað er fyrst dregið úr segulmögnunarstraumnum niður í núll, rofunum víxlað og síðan er straumurinn aukinn aftur. Þessi aðferð dregur úr neistamyndun á snertum rofanna, sem getur orðið mikil þar sem stórar spólur, segulspólurnar, eru í rásinni.

Tvær týristorabrýr

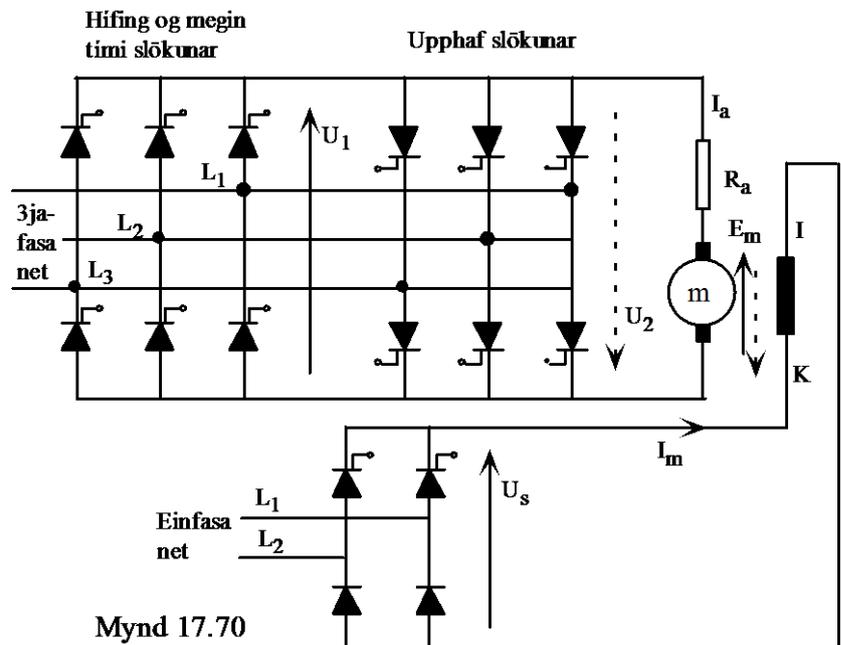
Mynd 17.70 sýnir hraðastýrikerfi fyrir jafnstraumsmótor sem notar tvær týristorabrýr, eina fyrir hífingu og aðra fyrir slökun.

Týristorabréin vinstra megin er fyrir hífingu. Hún gefur spennuna U_1 og straum sem streymir niður í gegnum snúðinn. Pílurnar sýna stefnu spennanna í rásinni. Heilu pílurnar eiga saman og brotalínu pílurnar sömuleiðis. Þannig gefur brúin hægra megin út spennu með plúsinn við neðri enda pílunnar og stefna spönuðu mótspennunnar er táknuð með strikálínupílunni.

Við slökun notum við brúna hægra megin sem gefur spennuna U_2 með gagnstæðri stefnu miðað við U_1 .

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Hún gefur mótornum gagnstæða straumstefnu (upp) og snúningsátt. Þegar trollið fer að toga í og snúa mótornum hraðar en U_2 segir til um, þreifar stýri-búnaðurinn eftir því þegar straumurinn í snúðnum verður núll og skiptir þá yfir á hina brúna (vinstra megin) sem áriðar spennuna frá vélinni í rafalavirkninni. Ath. að plúspóllinn er að neðanverðu í slökuninni. Brúin vinstra megin flytur þannig afl til mótorsins í hífingu og bremsuaflið frá honum þegar hann er í rafalavirkninni.



Mynd 17.70

Ávinningurinn með þessari aðferð er að losna við búnaðinn sem skiptir um straumstefnu í segulvafinu, en við borgum fyrir það með fleiri og dýrari týristorum. Stjórnúnaðurinn þreifir eftir núll straumi í snúðrásinni í báðum tilfellum. Í fyrra tilfellinu víxlaði hann straumstefnu í segulvafinu, en hér skiptir hann yfir á aðra týristorabru.

Rafmagnsfræði Kafi 17 Jafnstraumsvélar

WL-kerfi með týristorum

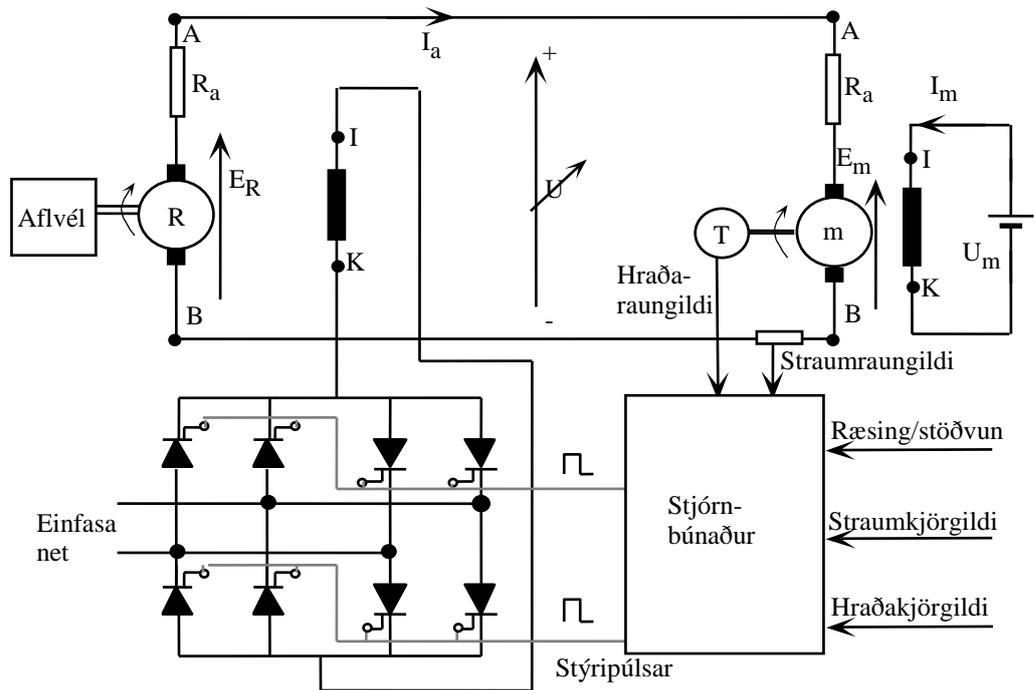
Það Ward Leonard kerfi sem farið er í hér að framan, er handvirkt. Þ.e.a.s. hraðastjórnunin er framkvæmd með því að viðnámsgildi mótstaða í segulmögnunarrásinni er breytt.

Til að þessi kerfi geti orðið sjálfvirk verður að gera stjórnun segulmögnunarstraumsins þannig að hægt sé að breyta honum með stýrimerkjum eins og t.d. stýrimerkjum inn á týristora.

Þetta er gert með því að taka burtu mótstöðurnar í segulrás rafalans og setja týristorabré eða brýr í staðinn.

Á mynd 17.71 sjáum við hefðbundið WL-kerfi með rafala og mótör, en í stað breytilegu mótstöðunnar á mynd 17.63 eru komnar tvær heilstýrðar týristorabryr. Þær eru tvær til þess að hægt sé að skipta um straumstefnu í segulvafinu, sem umpólar spennunni frá rafalanum og breytir snúningsátt mótorsins.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar



Mynd 17.71

Á myndinni er líka kassi merktur „stjórn-búnaður“. Í honum er rafeindabúnaðurinn sem framleiðir stýri-púlsa týristoranna og inn á hann koma líka nokkur merki.

„Ræsing/stöðvun“ er til að gangsetja og stöðva spilkerfið. Með „hraðakjörgildi“ er stillt á þann hraða sem mótorinn á að snúast. „Straumkjörgildi“ er til að stilla inn þann hámarksstraum sem æskilegt er að sé í snúðrás mótorsins. „Hraðaraungildi“ og „straumraungildi“ eru mæligildin. Fari hraðaraungildi yfir hraðakjörgildi sér stjórn-búnaðurinn um að hægja á mótornum með því að stýripúlsarnir koma seinna í spennuriðinu. Sama er að segja um straumraungildið.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Ef straumraungildið fer yfir kjörgildið dregur stýringin úr spennunni og lækkar þannig strauminn sem mótörinn tekur. Straumraungildið er fengið með lítilli mótstöðu, affallsmótstöðu, í snúðrásinni. Sjá kafla 16 um straummælingu. Hraðaraungildið er fengið með litlum rafala sem gefur spennu sem er í beinu hlutfalli við snúningshraða mótorsins. „T“ stendur fyrir „Tachogenerator“ sem er erlenda heitið á slíkum mæli-rafala.

Hirðing rafvéla

Hreinlæti er geysilega mikilvægur þáttur í rekstri rafvéla og reyndar alls rafbúnaðar. Rafvélum þarf að halda hreinum, lausum við raka, olíu, ryk o.s.frv. Reglulegt eftirlit með þessum atriðum er mjög mikilvægt fyrir snurðulausan gang.

Raki

Raki, samfara óhreinindum, getur valdið útleiðslu. Sérstaklega ef vél hefur staðið ónotuð nokkurn tíma. Við slíkar aðstæður er gott að einangrunarmæla vöf vélarinnar, til að tryggja að einangrunarviðnámið sé ekki minna en eftirfarandi formúla gefur til kynna:

$$\frac{\text{málspenna}}{1000 - \text{afkastagetan í kW}} [M\Omega]$$

Dæmi:

Málspenna jafnstraumsvélar er 440V og skráð afl 151kW. Hvert er lágmarks einangrunarviðnám í MΩ?

Lausn:

Setjum inn í formúlu (25) og fáum:

$$\frac{440V}{1000 - 151} = \frac{440}{849} = 0,52 M\Omega$$

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Legur

Ef einangrunarviðnámið er minna er ráðlegt að þurrka vélina með því að blása volgu, þurru, lofti gegnum hana. Einnig er mögulegt að setja lága spennu á hana meðan hún er að þorna.

Legur rafvéla þarf að athuga reglulega. Skemmdar legur geta skaðað aðra hluta vélarinnar. T.d. getur titringur skaðað einangrun vafa vélarinnar og slit getur valdið því að snúðurinn nái að strjúkast utan í sátrið. Um endingartíma og smurningu lega er vísað til handbóka framleiðenda.

Viðhald straumvendis

Þegar rafvél gengur eðlilega verður straumvendirinn sjálfkrafa gljáfægður. Það er mjög mikilvægt að straumvendirinn sé vel hreinn og ráðlegt að blása burtu ryki reglulega eða þurrka af honum og kolunum með þurrum klút.

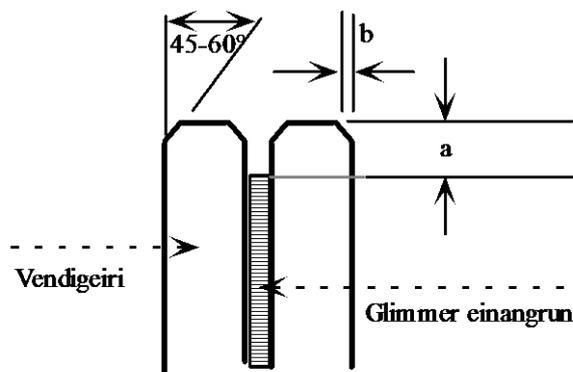
Ef blettir eða rispur koma á straumvendinn er ráðlegt að slípa yfirborð hans varlega með sandpappír eða sérstökum slípisteini fyrir straumvendi. Þeir eru fáanlegir í ýmsum stærðum og gerðum eins og sýnt er á mynd 17.72. Mikilvægt er að finna út ástæðuna fyrir skemmd á straumvendinum, því það getur verið bilun í vélinni sem orsakar hana, og þá gagnar lítið að slípa skemmdina í burtu án þess að ráða bót á orsökinni. Sjá bilanayfirlitið hér á eftir.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar



Mynd 17.72

Við meiri áverka á straumvendinginum eða för eftir kolburstana þarf að renna hann í rennibekk. Til að fá sem besta endingu er ráðlegt að taka ekki meira af straumvendinginum en nauðsynlegt er. Gæta þarf að því að straumvendirinn sé vel sammiðja eftir meðhöndlunina í rennibekknunum og er talað um að frávikið frá því sé ekki meira en 0.03 mm og að enginn vendigeiri sé meira en 0,003 mm yfir þeim næsta. Á eftir þarf að fasa brúnir þeirra og skrapa einangrunina niður þannig að hún sé hæfilega undir yfirborði vendigeiranna. Mynd 17.73 sýnir hvernig vendirinn á að líta út eftir fösun vendigeiranna og skröpun einangrunarefnisins. a á myndinni á að vera jafnt bilinu milli vendigeira og b 1/4-1/3 bilsins milli þeirra og fösunin 45° - 60° .



Mynd 17.73

Rafmagnsfræði Kafi 17 Jafnstraumsvélar

Hreinsun

Eins og áður var sagt er hreinlæti mikilvægur þáttur í hirðingu rafvéla. Óhreinindi geta stíflað kælirásir vélarinnar þannig að hún hitnar óeðlilega mikið með tilheyrandi skemmdum á einangrun vélarinnar. Einnig geta þau sest á milli vendigeira straumvendisins og myndað leiðni milli þeirra.

Óhreinindi í rafvélum fara mjög eftir staðsetningu þeirra, umhverfi og hvernig þær eru kældar. Ef um er að ræða utanaðkomandi kælingu er kæliloftinu blásið í gegnum síur sem hindra óhreinindi í að komast inn í vélina ef þeirra er gætt vel, hreinsaðar eða skipt um þær reglulega. Ef vélin er opin og sýgur kæliloftið úr umhverfinu fer það eftir ástandi þess hversu fljótt hún óhreinkast.

Til að hreinsa vélar eins og jafnstraumsvél á notkunarstað er gott að nota þurrt þrýstiloft til að blása burtu ryki. Ef óhreinindin eru föst, vegna raka- og/eða olíu-mettunar, verður að þvo vélina. Terpentína („White spirit“) hefur mikið verið notuð til þess og er henni þá sprautað á snúð, póla og straumvendi, en kolin tekin úr á meðan. Síðan þarf að láta vélina þorna vel áður en hún er gangsett. Ef um rafala er að ræða getur verið gott að láta hann snúast á meðan hann er að þorna, án þess að hann framleiði spennu. Til að flýta fyrir þornun er mögulegt að nota svolítið af rafhreinsiefni. Til að hreinsa almennilega mikið óhreinar vélar er nauðsynlegt að taka þær á sérútbúin rafvéla verkstæði. Þá eru þær þvegnar með gufu og þrýstingi og þurrkaðar vel á eftir.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Endurnýjun kolbursta

Þegar skipta þarf um kol er mælt með því að skipta um öll kol vélarinnar. Þurfi að smíða nýja kolbursta er öruggast að láta smíða eftir gömlum bursta og skal þá velja gott sýnishorn með greinilegum merkjum ef til eru. Ennfremur þarf að tilgreina

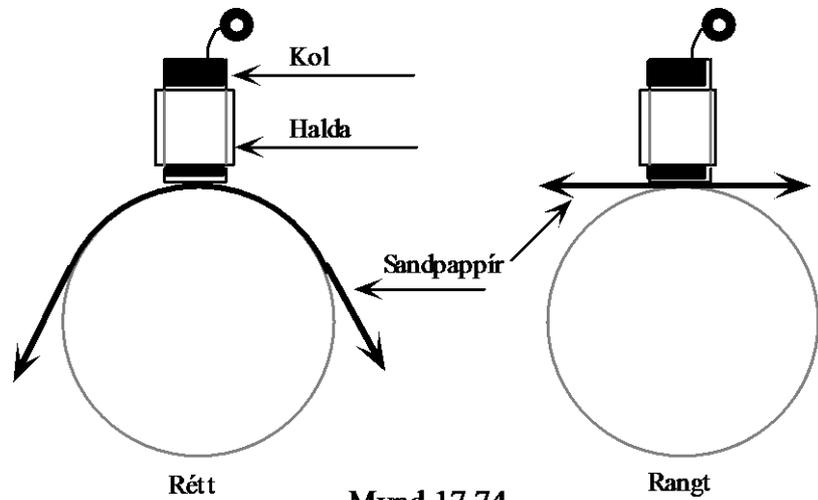
lengd nýju burstanna og gerð vélarinnar. Með gerð vélar er átt við nafn framleiðanda, heiti vélarinnar og gerð.

Sé ekki hægt að senda sýnishorn til að smíða eftir er nauðsynlegt að mæla gömlu burstana með mikilli nákvæmni, ekki minni en 0,1mm, athuga vandlega hvort einhver merki eru á þeim, mæla lengd þráða, gefa upp fjölda þeirra og staðsetningu og gerð tengiskónna á þráðarendunum, en tvö síðasttöldu atriðin eru best sýnd með teikningu. Ef ekki er til sýnishorn af réttri stærð, þarf að mæla innanmál burstahöldunnar og lengd, ákveða lengd þráðanna og staðsetningu þeirra.

Þegar kolburstar eru settir í rafvélar þarf að gæta eftirtalinna atriða. Burstarnir þurfa að vera nægilega rúmir í höldunum, en hæfilegt bil milli bursta og höldu er 0,1-0,2mm. Slípa þarf kolin vandlega að straumvendinginum, þannig að allur end aflöturinn falli vel að straumvendinginum.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Tvær aðferðir eru til að slípa kolin niður.

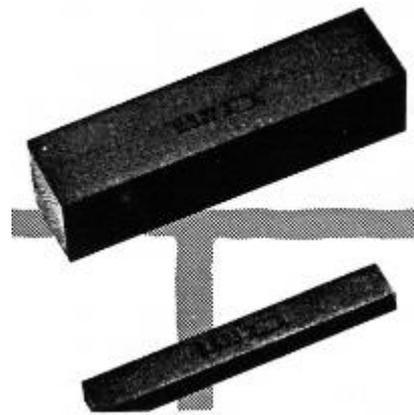
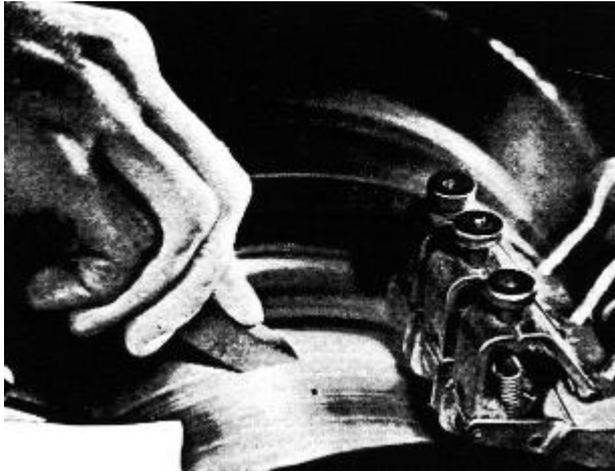


Mynd 17.74

Önnur er sú að slípipappír er lagður á milli kolsins og straumvendisins og slípiflötur pappírsins látinn snúa að kolinu. Síðan er pappírinn dreginn til í sömu átt og vélin snýst og kolinu þrýst að honum, en lyft upp meðan hann er dreginn til baka. mynd 17.74 sýnir rétta og ranga notkun sandpappírs.

Hin aðferðin er sú að nota sérstaka steina. Þá eru burstarnir settir í vélina, hún sett í gang og steininum þrýst niður á straumvendinn þannig að duftið sem kemur úr steininum fari undir kolin og slípast þeir þá niður á mjög skömmum tíma. Þessi aðferð er mjög handhæg og fljótleg. Sjá mynd 17.75 er sýnd notkun slíkra steina, mynd a, og nokkrar gerðir þeirra, mynd b.

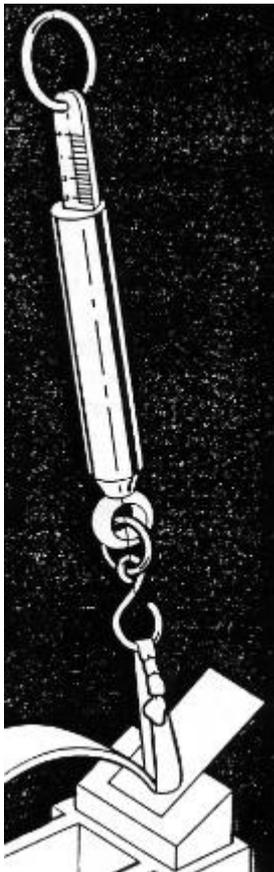
Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar



a)

b)

Mynd 17.75



Mynd 17.76

Oftast er þó nauðsynlegt að nota báðar aðferðirnar, þannig að fyrst eru burstarnir slípaðir niður með slípi-pappír og síðan fínslípaðir með steini. Þegar slípingunni er lokið þarf að taka kolin úr vélinni og blása eða soga allt ryk úr höldunum og allri vélinni ef með þarf.

Að síðustu þarf svo að athuga hvort þrýstingur á kolburstunum sé réttur, en það er mjög þýðingarmikið að svo sé. Algengasti þrýstingur á endaflöt kola úr kolefni og grafit er 180g/cm^2 og 210g/cm^2 á kol úr kopar og grafiti. Þrýstingurinn er mældur með sérstakri vog eða pundara. Mynd 17.76 sýnir slíkt áhald.

Það er því miður allt of algengt að bilanir verði á rafvélum af völdum slitinna eða skemmdra kolbursta, en slíkar bilanir valda oft óþægindum og fjárhagslegu tjóni sem hægt væri að komast hjá með reglubundnu eftirliti.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Nokkur heilræði

- a) Fylgjast reglulega með því að kolburstarnir hreyfist liðlega í burstahöldunum og halda höldunum hreinum.
- b) Þegar skipta þarf um kolbursta, að skipta þá um alla. EKKI einn eða nokkra þeirra.
- c) Halda straumvandinum hreinum, lausum við ryk, olíu o.s.frv.
- d) Hafa tiltæk sérhæfð verkfæri fyrir rafvélina, s.s. pundara fyrir burstaþrýsting, sandpappír, slípi-steina, þurra klúta, hreinsiefni o.s.frv.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar**Bilanayfirlit**

Lýsing bilunar:	Hugsanleg ástæða	Úrræði:
A) Neistar á straumvendi	1. Röng staðsetning á burstabrú	Finna nákvæma stöðu hlutlausa beltisins og staðsetja kolburstana þar.
	2. Burstaprýstingur ekki réttur	Stilla á réttan burstaprýsting
	3. Kolin föst í höldunum	Hreinsa kol og höldur
	4. Einangrunin milli vendigeira of há.	Skrapa niður einangrunina.
	5. Olía eða önnur óhreinindi milli vendigeiranna.	Hreinsa vendigeirana
	6. Kolin falla ekki nógu vel að vendinum	Slípa þau vandlega með slípisteini og hreinsa vendinn vandlega á eftir.
	7. Straumvendirinn illa miðjaður	Renna straumvendinn
	8. Kolin þekja of marga geira	Endurstilla stöðu burstabruarinnar á upphaflega staðsetningu samkvæmt leiðbeiningum framleiðanda.
	9. Köld lóðning spóluenda	Lóða upp á nýtt við vendigeira
	10. Óhóflega mikið bil milli kola-höldu og vendis.	Stilla bilið milli vendis og kolbursta-höldu þannig að bilið sé ekki meira en 2mm.
B) Blettir eða bruni á yfirborði straumvendisins.	1. Útstæðir eða lausir vendigeirar	Renna og stilla straumvendinn (Sjá mynd 17.73).
	2. Einangrunin milli vendigeira of há.	Skrapa niður einangrunina.
	3. Straumvendir ekki nógu vel sammiðja eða snúður illa jafnvægisstilltur	Renna straumvendinn og jafnvægisstillta snúðinn
	4. Léleg tenging milli spóla og straumvendis (einkennist af samhverfum blettum á straumvendinum).	Lóða betur endana frá snúðspólunum sem koma á vendigeiranna.
C) Ójafnt eða óhóflega mikið slit á straumvendinum.	1. Yfirálág á eitthvert kolið vegna þess að straumurinn skiptist ójafnt.	Stilla burstaprýstinginn Ath. samband kolburstanna
	2. Ryk í kæli loftinu	Nota síur og utanaðkomandi kælingu.
	3. Korn úr smergli milli bursta og vendis	Hreinsa burstana.
	4. Áraun á vendigeiranna	Skipta um tegund kolbursta.
D) Kolburstarnir titra eða hristast	1. Vendigeirarnir ekki sammiðja	Renna straumvendinn
	2. Burstahöldurnar illa festar	Festa bustahöldurnar
	3. Einangrunin milli vendigeiranna stendur út eða vendigeirarnir sjálfir	Renna og stilla straumvendinn. Skrapa niður einangrunina.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Spurningar úr 17. kafla**18**

- a) Af hverju eru jafnstraumsmótorar útbúnir með ræsímótstöðu. Rökstyddu svarið.
- b) Teiknaðu tengimynd affalsmótors með ræsímótstöðu. Skiptir máli hvoru megin við affallsvafið hún tengist?

19

Af hverju er raðarmótor vægismeiri en sambærilegur affallsmótor? Útskýrðu með hjálp formúlu (10) fyrir snúningsvægi.

20

Af hverju hefur affallsmótor jafnari snúningshraða við breytilegt álag en raðarmótor? Útskýrðu með hjálp hraðaformúlunnar, formúlu (15).

21

Skrifaðu fjórar aðalformúlur jafnstraumsvéla, þ.e. formúluna fyrir spanaða spennu, snúningsvægi, snúningshraða og skautspennu. Útskýrðu formúlurnar.

22

- a) Teiknaðu tengimyndir slyngivéla með stutta og langa tengingu affallsvafsins.
- b) Merktu vöfin með bókastafamerkingunum sem talað er um í kaflanum og útskýrðu hvernig hægt er að sjá hvort vélin er með- eða mótslyngd.
- c) Hvaða aðferðir eru notaðar við að breyta snúningsátt jafnstraumsmótora? Hvað þarf að varast í því sambandi þegar snúningsátt er breytt í slyngimótor?

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

23

Í raðarrafala er viðnám raðarvafsins $0,024 \Omega$ og viðnám snúðvafsins $0,036 \Omega$. Álagsstraumurinn er 125 A og spennumælir tengdur pólum rafalans sýnir 230 V .

Gerðu tengimynd af vélinni

- Hver er spönuð spenna rafalans?
- Hve mikið afl tapast í snúðrásinni?

24

Í affallsrafala er snúðviðnámið $0,025 \Omega$ og viðnámið í affalsvafinu 80Ω . Álagið tekur 150 A og skautspennan er 230 V .

Gerðu tengimynd af vélinni

- Hver er spönuð spenna rafalans?
- Reiknaðu $P_{\text{út}}$.

25

Fjarlægð milli rafala og álags er 150 m . Viðnám álagsins er $4,3 \Omega$ og straumurinn um það er 50 A . Gildleiki vírsins sem tengir álag og rafala er 6 mm^2 og eðlisviðnám hans er $0,017$. Um rafalann vitum við eftirfarandi:

Gerð: Affallsrafali

Snúðviðnám: $R_a = 0,04 \Omega$

Viðnám í segulvafi: $R_m = 100 \Omega$.

Gerðu tengimynd af rásinni og reiknaðu eftirfarandi:

- Spanaða spennu rafalans.
- Skautspennu rafalans.
- Heildaraflið sem er tekið frá rafalanum.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

26

Í slyngirafala er affallsvafið tengt langri tengingu. Samkvæmt merkiskilti rafalans er skautspenna hans 230 V og $P_{\text{út}} = 250 \text{ kW}$. Viðnámsæling á vöfum rafalans gefa eftirfarandi niðurstöður:

$$R_a = 0,025 \Omega$$

$$R_m = 115 \Omega \text{ og}$$

$$R_{mr} = 0,02 \Omega$$

- Teiknaðu tengimynd rafala og álags.
- Reiknaðu spanaða eða framleidda spennu rafalans.

27

Skautspenna rafala mælist 240V þegar rafalinn er álagslaus og 234V við fulla lestun.

- Hve mörg % er spennubreytingin í rafalanum.
- Hvað er hægt að gera til að spennan frá rafalanum haldist jöfn og óháð álaginu?

28

Jafnstraumsrafali segulmagnast þannig að segulvafið tengist spennugjafa með stöðugri spennu. Þar með er segulsvið vélarinnar einnig stöðugt. Spennumælir tengist burstum vélarinnar og vélin er ólestuð að öðru leyti. Snúningshraða aflvélar rafalans er breytt í þrepum og hraðinn lesinn af mæli. Tómgangsspennan lesin af spennumæli. Mæligildin færð í meðfylgjandi töflu.

n [sn/mín]	400	800	1000	1300
E [V]	80	160	200	260

Teiknaðu í sama hnitakerfi:

- samhengið milli E og n og
- samhengið milli E og n þar sem segulstraumurinn í vélinni er 50% stærri en í a.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

29

Jafnstraumsrafali vinnur með stöðugt segulsvið og snýst 940sn/mín. Spenna rafalans er þá 160V.

- Hve mikill þarf snúningshraðinn að vera til að spennan verði 240V? (Við reiknum með sama segulsviði).
- Hve há verður spennan ef snúningshraðanum er breytt í 1200sn/mín?

30

Snúningshraði jafnstraumsrafala er stöðugur 600sn/mín.

Framleidd spenna í rafalanum er 200V. Nú er segulmögnunarstraumnum breytt með spennustillimótstöðunni, þannig að seglun vélarinnar eykst. Við það hækkar spenna rafalans í 250V. Hve mörg % jókst segulstraumurinn?

31

Jafnstraumsrafali fær segulmögnunarstraum frá neti. Í röð með segulvafinu er spennustillimótstaða. (Breytir segulmögnunarstraumnum, I_m). Snúningshraði vélarinnar er 1000sn/mín. Segulmögnunarstraumnum er breytt í þrepum, og stærð hans og snúðspennunnar lesin af mælum og færð í eftirfarandi töflu:

I_m [A]	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
E [V]	100	173	205	225	236

Teiknaðu í hnitakerfi kúrfu sem sýnir sambandið milli I_m og E, við 1000 sn/mín (I_m í láhnit).

Teiknaðu einnig í sama hnitakerfi kúrfu fyrir 1500sn/mín og kúrfu fyrir 500 sn/mín.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

32

Hvað verður segulsviðið í dæmi 31 mörgum sinnum sterkara:

- a) Þegar I_m er aukinn úr 0,2 A í 0,4 A eða
- b) þegar I_m er aukinn úr 0,2 A í 0,6 A?

33

Hve stór straumur er í segulvafi vélarinnar í dæmi 31 þegar spönuð spenna er 230 V við:

- a) 1000 sn/mín,
- b) 1500 sn/mín?

Lestu lausnina út úr hnitakerfinu sem þú teiknaðir í dæmi 31.

34

Viðnám segulvafsins (+ spennustillimótstaðan) í dæmi 31 er áætlað 300 Ω . Reiknaðu spennufallið í vafinu við: 0,2 - 0,4 - 0,6 - 0,8 - 1,0 A segulmögnunarstraum

Teiknaðu kúrfu spennufallsins í hnitakerfið úr dæmi 31.

- a) Hve stór tómgangsspenna fæst úr rafalanum með sjálfseglun ef snúningshraðinn er 1000 sn/mmín?
- b) Reiknaðu viðnámið sem þarf að vera í segulvafinu (+ spennustillimótstöðunni) til að fá 236 V tómgangsspennu með sjálfsseglun. Sami snúningshraði og í a.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

35

Framleidd spenna jafnstraumsrafala er 120 V á snúð hans. Viðnámið í snúðrásinni er 0,40 Ω .

- a) Finndu skautspennu rafalans þegar 20 A mælast út frá snúð hans.
- b) Reiknaðu skautspennuna við nokkur straumgildi í viðbót, t.d. 10 A og 30 A og teiknaðu kúrfu sem sýnir sambandið milli skautspennunnar, U, og snúðstraumsins, I_a , við stöðugan snúningshraða. (U í lóðhnit).

Í þessu dæmi, eins og í dæmunum hér að framan, er sleppt áhrifum snúðspyrnunnar.

36

Snúningshraði affallsrafala er 750 sn/mín og straumur í segulvafi 1,5 A. Straumur til álags er 58,5 A. Skautspennan er þá 124 V. Í tómgangi er spennan við 1,5 A segulmögnunarstraum 129 V. (Sami snúningshraði).

- a) Teiknaðu tengimynd rafalans og merktu inn á hana gefnar stærðir.
- b) Finndu viðnámið í snúðrásinni.
- c) Reiknaðu skautspennu rafalans við 700 sn/mín, 1,5 A segulmögnunarstraum í segulvafi og 38,5 A álagsstraum.

37

Affallsrafali er reiknaður fyrir 230 V skautspennu og 0,40 A segulmögnunarstraum. Viðnámið í snúðrásinni er 1,4 Ω . Fullt álag á vélina er 3 kW. Reiknaðu afltapið í snúð- og segulrásum (eir-töpin).

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

38

Fullt álag á slyngirafala er 160 kW við 240 V skautspennu. Viðnám snúðsins er 0,0060 Ω , raðarvafsins 0,0025 Ω og affallsvafsins 36 Ω .

- Teiknaðu tengimynd og merktu inn á hana gefnar stærðir.
- Finndu strauminn frá rafalanum.
- Finndu strauminn í affallsvafinu.
- Finndu strauminn í snúðnum.
- Finndu heildar eirtöpin í vélinni.

39

Frá jafnstraumsrafala eru tekin 200A við 240V skautspennu. Heildar töp í vélinni eru 6000W við þetta álag.

Finndu nýtni rafalans.

40

Viðnámið í snúðrás affallsrafala er 0,80 Ω .

Straumurinn í segulvafinu við fullt álag er 0,60 A, skautspennan 230 V og straumur til álagsins 20 A.

- Teiknaðu tengimynd vélarinnar og merktu inn á hana gefnar stærðir.
Reiknaðu eftirfarandi:
- Strauminn í snúðrásinni,
- afltakið í snúðrásinni,
- afltakið í segulvafi plús spennustillimótstöðu og
- heildareirtöp í vélinni.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

41

Til að meta samanlagt gildi járn- og núningstapa í jafnstraumsvél, var hún keyrð sem rafali með fullri segulmögnun ($E = 230 \text{ V}$) og eðlilegum snúningshraða. Vélin var án álags en 2 A fóru um segulvafið.

Til að knýja vélina var notaður lítill jafnstraumsmótor. Nýtni hans við mismunandi álag var þekkt. Mótorinn notaði 15 A við 110 V spennu til að knýja rafalann. Nýtni hans við þetta álag var 75% . Hve mikil voru járn og núningstöp rafalans við þessar aðstæður? Við getum horft fram hjá eirtöpum snúðsins.

42

Í jafnstraumsrafala, 60 kW , 230 V , eru vélræn töp (járn- og núningstöp) 2500 W . Með þessum töpum má reikna óbreyttum við mismunandi álag. Viðnámið í snúðrásinni er $0,050 \Omega$.

- Finndu afltapið í snúðrásinni þegar snúðstraumurinn er 50 A , 100 A o.s.frv. upp í 300 A .
- Reiknaðu nýtni vélarinnar við áðurnefnda snúðstrauma og 230 V skautspennu. Við reiknum með 5 A segulmögnunarstraumi við öll álög.
- Settu útreiknuð gildi úr liðum a) og b) upp í töflu. Teiknaðu kúrfu sem sýnir nýtnina sem fall af álaginu í wöttum.

43

Um snúðleiða mótors fara 10 A . Hve stór kraftur virkar á snúðinn, ef 20 cm af snúðlengdinni eru í kraftlínupéttleikanum $0,90 \text{ Vs/m}^2$.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

44

Eins hestafls, 220V, affallsmótor notar 4,4A við fullt álag. Viðnám segulvafsins er 550Ω .

Teiknaðu tengimynd mótorsins.

Finndu strauminn í segulvafi og strauminn í snúðnum.

45

Viðnámið í snúðrás mótorsins í dæmi 44 er 3Ω .

Reiknaðu:

- Spennufallið í snúðrásinni og
- spanaða mótspennu í snúðnum við fullt álag.

46

Snúðviðnám affallsmótors er $0,05\Omega$. Snúðstraumurinn er 25 A og skautspennan 230 V.

- Gerðu tengimynd.
- Reiknaðu spanaða mótspennu mótorsins.

47

Aflið inn á affallsmótor er 21,4 kW frá 230 V spennugjafa. 454 W tapast í snúðrásinni. Viðnám segulvafsins er 100Ω .

- Teiknaðu tengimynd.
- Reiknaðu strauminn inn á mótorinn I_n .
- Reiknaðu segulmögnunarstrauminn I_m .
- Reiknaðu viðnám snúðrásarinnar R_a .
- Reiknaðu spanaða mótspennu snúðsins E.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

48

Snúðviðnám í affallsmótor er $1,5 \Omega$ og viðnám í affallsvafi er 115Ω . Mótorinn er gerður fyrir 230 V og straumurinn við fulla lestun er 20 A .

- Teiknaðu tengimynd ásamt ræsímótstöðu og merktu inn á myndina gefnar stærðir.
- Reiknaðu spanaða mótspennu snúðsins.
- Hve stóran ræsistraum tekur mótorinn ef hann væri tengdur beint við netspennuna?
- Hve stóra ræsímótstöðu þarf að tengja með mótornum til að takmarka ræsistrauminn við 30 A ?

49

Affallsmótor tekur 40 A straum frá 220 V neti við fulla lestun. Viðnámið í affallsvafinu er 125Ω og viðnám snúðrásarinnar er $0,04 \Omega$.

- Teiknaðu tengimynd af mótornum ásamt ræsímótstöðu.
- Reiknaðu spanaða mótspennu snúðsins.
- Ákvarðaðu stærð ræsímótstöðu fyrir mótorinn þannig að ræsistraumur fari ekki yfir 75 A .

50

Spönuð mótspenna í affallsmótor er 215 V . Straumurinn í affallsvafinu er 2 A og viðnám þess er 110Ω . Snúðviðnámið er $0,05 \Omega$.

- Teiknaðu tengimynd mótorsins ásamt ræsímótstöðu og merktu inn á myndina gefnar stærðir.
- Hve stór er skautspenna mótorsins eða m. ö. o. hve stór er netspennan, sem mótorinn tengist?
- Hve stóran straum tekur mótorinn frá netinu?
- Reiknaðu stærð ræsímótstöðu sem takmarkar ræsistrauminn við 150 A .

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

51

12,5 kW affallsmótor tekur 15 kW frá netinu.
Viðnámið í affallsvafinu er 80Ω og í því tapast
720 W. Eirtöpin í snúðrásinni eru 490 W.

- a) Teiknaðu tengimynd og merktu inn á hana gefnar stærðir.

Reiknaðu eftirfarandi:

- b) Strauminn í affallsvafinu I_m .
c) Spanaða mótspennu snúðsins E .
d) Viðnám snúðrásarinnar R_a .
e) Netspennuna U .
f) Nýtni mótorsins.

52

4,2 kW affallsmótor tekur 5,25 kW frá netinu.
Viðnámið í affallsvafinu er 180Ω og í því tapast
294 W. Töpin í snúðrásinni eru 93 W.

- a) Teiknaðu tengimynd og merktu inn á hana gefnar stærðir. Sýndu ræsímótstöðu á tengimyndinni.

Reiknaðu eftirfarandi:

- b) Strauminn í affallsvafinu I_m .
c) Spanaða mótspennu snúðsins E .
d) Viðnám snúðrásarinnar R_a .
e) Netspennuna U .
f) Nýtni mótorsins.
g) Stærð ræsímótstöðu sem takmarkar ræsistrauminn við $1,5 \cdot$ málstraum.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

53

Í snúð affallsmótors er spönuð mótspenna 218V þegar snúningshraðinn er 1000sn/mín.

- a) Hve stór verður mótspennan ef snúningshraðinn breytist í 950sn/mín. Segulkraftlínustraumur mótorsins er stöðugur svo lengi sem netspennan breytist ekki.
- b) Hver verður snúðstraumurinn við 1000sn/mín og við 950sn/mín? Viðnám snúðrásarinnar er 2Ω og netspennan 220V.

54

220 V affallsmótor notar 20,5 A við fullt álag. Þar af fara 0,5 A í segulvafið. Snúningshraðinn er 1000 sn/mín. Viðnám snúðrásarinnar er 0,80 Ω .

- a) Teiknaðu tengimynd og merktu inn á hana gefnar stærðir.

Reiknaðu:

- b) Spennufallið í snúðrásinni,
- c) spanaða mótspennu snúðsins við 1000 sn/mín,
- d) spanaða mótspennu snúðsins ef álagið minnkar það mikið að snúningshraðinn eykst í 1050 sn/mín,
- e) snúðstrauminn við 1050 sn/mín og
- f) heildarstrauminn frá neti við 1050 sn/mín.
- g) Dragðu ályktun af niðurstöðum, t.d. ef við gefum okkur að 1000 snúningar sé hraðinn við fulla lestun og 1050 hraðinn við tómgang.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

55

Snúðstraumur í jafnstraumsmótor sem gengur án álags er svo lítill að það má sleppa honum í útreikningi hér á eftir.

Spennufallið í snúðnum er þá jafnt og núll og spönuð mótspenna snúðsins jöfn netspennunni.

Mótor er segulmagnaður með straumi frá jafnstraumsneti með stöðugri spennu. Snúður mótorsins tengist öðrum spennugjafa (rafala) með breytilegri spennu. Mótorinn er látinn ganga í lausagangi. Þegar spennan inn á snúðinn er 100 V er snúningshraðinn 320 sn/mín.

Milli hvaða marka er hægt að breyta snúningshraðanum í lausagangi, ef spennan inn á snúðinn breytist milli 60 V og 240 V. (Ward Leonard stýring)

Gerðu tengimynd.

56

Snúður mótors tengist neti með stöðugri spennu en segulvafið er matað með straumi frá neti með breytilegri spennu. Vélin gengur ólestuð, og þá er snúðstraumurinn svo lítill að ekki þarf að reikna með spennufalli í snúðnum.

- a) Styrkur segulsviðsins er minnkaður um helming með því að breyta segulmögnunarstraumnum. Hvaða áhrif hefur það á snúningshraðann við tómgang?
- b) Hvaða áhrif hefur tvöföldun segulsviðsins á hraðann?

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

57

220 V affallsmótor snýst 1000 sn/mín þegar snúðstraumurinn er 30 A Viðnám snúðrásarinnar er 0,5 Ω .

Nú á að minnka snúningshraðann niður í 400 sn/mín við 30 A með því að setja mótstöðu inn í snúðrásina. Gerðu tengimynd og reiknaðu:

- Stærð mótstöðunnar og
- afltakið í mótstöðunni.
- Hver er snúningshraðinn í lausagangi þegar þessi mótstaða er í snúðrásinni?

Lausagangsstraumurinn í snúðnum er 1,5 A.

- Dragðu ályktun af niðurstöðum dæmisins.

58

110 V affallsmótor notar 22 A við fullt álag, þar af fara 0,6 A í segulvafið. Viðnám snúðrásar er 0,2 Ω . Viðnám ræsímótstöðunnar er 3,3 Ω .

- Gerðu tengimynd.
- Hve stórt er ræsivægið miðað við vægið við fullt álag?

59

Affallsmótor er útbúinn með breytilega mótstöðu í segulvafi. Álag mótorsins er stöðugt og snúðstraumurinn 30 A. Nú er segulsviðið minnkað með breytilegu mótstöðunni.

- Gerðu tengimynd.
- Hvaða áhrif hefur það á snúðstrauminn?
- Hve mörg % og á hvorn veginn hefur sviðsstyrkurinn breyst ef snúðstraumurinn eykst frá 30 A í 36 A?

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

60

Raðarmótor er gerður fyrir 220 V spennu. Þegar hann notar 6 A snúðstraum er snúningshraðinn 2000 sn/mín. Þegar álagið er þannig að hann notar 12 A er hraðinn 1280 sn/mín. Viðnámið í segulvafinu er $1,5 \Omega$ og $1,0 \Omega$ í snúðvafinu.

Finndu hlutfallið milli segulkraftlínustraumsins við 12 A og við 6 A.

61

Hvað er hlutfallið milli snúningsvægisins við 6 A og snúningsvægisins við 12 A í dæmi 60?

62

Finndu tilsvarendi hlutfall, og í dæmi 61, fyrir af-fallsmótor þegar hann notar 6 A og 12 A snúðstraum.

63

Hvaða aðferðir eru notaðar til að hraðastýra jafnstraumsmótor?

64

Hvernig er hægt að framleiða stillanlega jafnspennu?

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

65

Tvær eins affallsvélar eru tengdar saman í WL tengingu eins og á mynd 17.63. Rafalinn er tengdur við dísilvél sem snýst 1000sn/mín. Samhengið milli segulmögnunarstraums og spanaðrar spennu rafalans í tómgangi er sett fram í töflunni: (Ath! Hér er ekki tekið tillit til segulmettunar.)

I_m [A]	2	3	4	5	6
E [V]	200	300	400	500	600

Affallsstraumur mótorsins er 6A og er ekki breytanlegur. Viðnám snúðrásar rafalans er $0,05\Omega$ og það er sama viðnám í snúðrás mótorsins. Teiknaðu mynd af rásinni og merktu inn á hana gefnar stærðir. Finndu síðan snúningshraða mótorsins við eftirfarandi tilfelli:

- a) $I_a = 100A$ og $I_m = 3A$
- b) $I_a = 200A$ og $I_m = 5A$
- c) $I_a = 400A$ og $I_m = 6A$
- d) $I_a = 0$ og $I_m = 6A$
- e) $I_a = -100A$ og $I_m = 3A$

Hafðu í huga að þegar rafalinn er segulmagnaður með 3A mögnunarstraum ($I_m = 3A$) þá framleiðir hann 300 V innri spennu samkvæmt töflunni. Í a) lið dæmisins er snúðstraumurinn 100 A og sá straumur veldur spennufalli í snúðrásum vélanna, sem þú verður að taka tillit til. Út frá innri spennu mótorsins getur þú síðan fundið snúningshraðann með hlutfallareikningi. Sjá sýnidæmi 5 og 6.

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

Svör við æfingadæmum úr kafla 17.

- 11 111kW
- 17 1) 39,6kW
2) 44kW
3) 30,6%
- 23 a) $E = 237,5V$
b) $P_a = 562,5W$
- 24 a) $E = 233,82V$
b) 34,5kW
- 25 a) 259,6 V
b) 257,5 V
c) 12875 W
- 26 b) 279V
- 27 a) 2,5%
- 29 a) 1410sn/mín
b) 204,3V
- 30 25%
- 32 a) 1,7 sinnum sterkara
b) 2,0 sinnum sterkara
- 33 a) 0,9A
b) 0,33A
- 34 a) u.þ.b. 218V lesið úr hnitakerfi
b) 236Ω
- 35 112V
- 36 b) $0,083\Omega$
c) 117,1V
- 37 343W
- 38 b) 667A
c) 6,67A
d) 674A
e) 5460W
- 39 0,89
- 40 b) 20,6A
c) 340W
d) 138W
e) 478W
- 41 778W

Rafmagnsfræði Kafli 17 Jafnstraumsvélar

42

$I_a(\text{A})$	50	100	150	200	250	300
$P_a(\text{W})$	125	500	1125	2000	3125	4500
$P_H(\text{W})$	3375	4150	4725	5650	6775	8150
$P_{\text{út}}(\text{kW})$	10,3	21,8	33,3	44,8	56,3	67,8
$\eta(\%)$	73,3	84,0	87,0	89,0	89,0	89,0

43 1,8 N

44 $I_m=0,4$ A og $I_a=4$ A.

45 a) 12 V b) 208 V

46 b) 228,75 V

47 b) 93 A c) 2,3 A

d) $0,055 \Omega$ e) 225 V

48 b) 203 V c) 153,3 A

d) 6,1 Ω 49 b) 218,5 V c) 2,96 Ω

50 b) 220 V c) 102 A

d) 1,54 Ω

51 b) 3 A c) 231,8 V

d) 0,138 Ω e) 240 V

f) 83,3%

52 b) 1,27 A c) 225,7V

d) 0,2 Ω e) 230,0Vf) 0,8 g) 6,7 Ω

53 a) 207 V b) 6,5 A

54 b) 16 V c) 204 V

d) 214,2 V e) 7,25 A

f) 7,75 A

55 192sn/mín til 768sn/mín.

56 a) 2x b) Hann helmingast.

57 a) 4,1 Ω b) 3690W

c) 1040sn/mín.

58 b) 1,47 sinnum stærra

59 b) Hann eykst. c) minnkar um 16,7%

60 $\Phi_{12A} = 1,44 \times \Phi_{6A}$ 61 $M_{12A} = 2,9 \times M_{6A}$ 62 $M_{12A} = 2,0 \times M_{6A}$

65 a) 483 sn/mín. b) 800 sn/mín,

c) 933 sn/mín. d) 1000 sn/mín.

e) 516,6 sn/mín.