



Rafbók



Háspennukerfið

Kafli 3 Háspennurofar

RAM 702 Kennsluhefti

Háspennukerfið

Þetta hefti er án endurgjalds á rafbókinni.

www.rafbok.is

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

Forsíðu mynd er fengin af heimasíðu Landsnets

Höfundur er Einar H. Ágústsson

Umbrot: Ísleifur Árni Jakobsson

Vinsamlegast sendið leiðréttingar og athugasemdir til Ísleifs Árna Jakobssonar á netfangið iaj@rafis.is

Háspennukerfið

Efnisyfirlit

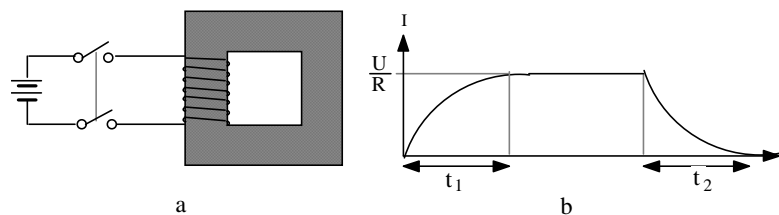
3 Háspennurofar.....	4
3.1 Rof í háspennurásun.....	4
Straumrof í sjálfsspansrás.	4
3.2 Háspennurofar.....	15
Aflrofar.....	15
Sparolíurofar	19
Loftrofar	24
Vacumrofar	25
Hreyfibúnaður	30
Gasrofar (SF ₆).....	32
3.3 Málstraumsrofar.....	37
3.4 Skilrofar	38
3.5 Spurningar.....	42
Spurningar úr kafla 3.1.....	42
Spurningar úr kafla 3.2.....	43
Spurningar úr kafla 3.3.....	45
Spurningar úr kafla 3.4.....	45

3 Háspennurofar

3.1 Rof í háspennurásum

Straumrof í sjálfsspansrás.

Ef breyting verður straumstyrk í rás sem inniheldur spólu, spanast spenna í vöfum spólunnar. Slík rás þar sem myndast getur sjálfspan kallast sjálfspansrás. Spennan sem sjálfspanið myndar leitast við að vinna gegn straumbreytingunni, orsök sinni. Þannig vinnur spanaða spennan móti vaxandi straum, en með minnkandi straum. Þetta kemur fram sem "mótspenna" við tengingu, en "meðspenna" við rof.



Mynd 3.1

Mynd 3.1a sýnir straumrás með jafnspennugjafa, rofa og spólu með járnkjarna. Þegar rofinn tengir vex straumurinn í rásinni frá stærðinni 0 amp. upp í stærðina U/R (amp) á tímanum t_1 , eins og sjá má af línuritinu á mynd b.

Við rof fellur straumurinn aftur í 0 amp. á tímanum t_2 . Við tengingu og rof spanast spennan U_s í rásinni.

$$U_s = -L \cdot \Delta i / \Delta t$$

L stendur fyrir sjálfspansstuðul rásarinnar (spólunnar) mælt í Henry, Δt er lítil tímaeining og Δi er breyting straumsins á þeirri tímaeiningu. Mínusmerkið táknar að spennan vinnur á móti straumbreytingunni.

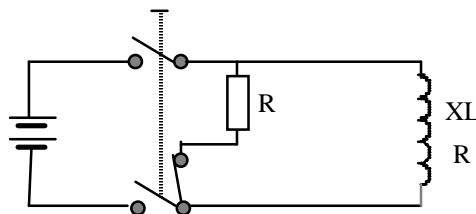
Háspennukerfið

Þegar straumi er hleypt á spóluna safnast upp segulorka í henni, þessi orka er til staðar þegar rofinn rýfur strauminn og hún getur ekki horfið allt í einu. Þess vegna verður straumurinn að minnka smám saman á meðan segulorkan er að afhlaðast. Í rás sem flytur strauminn (I) mun segulorkan vera:

$$W = L \cdot I^2 \cdot 1/2 \text{ wattsek}$$

Ef L er mælt í Henry og I í amperum verður orkan í watt-sekúndum.

Þegar jafnstraumsrás með sjálfsspani er rofin breytist segulorkan í varma í snertum rofans og á milli þeirra, þá í formi neista eða ljósboga. Ef segulspólan hefur mörg vöf og góðan járnkjarna getur spanspennan við snöggt rof orðið margfalt hærri en spenna spennugjafans í rásinni og jafnvel valdið skemmdum.

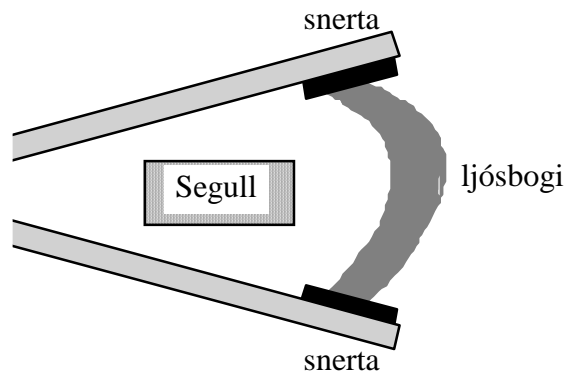


Mynd 3.2

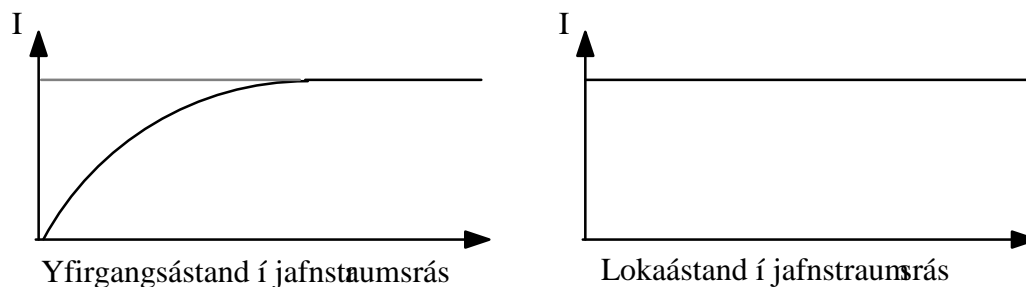
Til þess að straumurinn minnki rólega eru jafnstraumsrofar oft hannaðir þannig að þeir tengi mótstöðu um leið og þeir rjúfa eins og sýnt er á mynd 3.2. Segulorkan breytist þá í varma í mótstöðunni og líka í raunviðnámi rásarinnar.

Háspennukerfið

Önnur leið til þess að forðast of háa rofspennu er að láta snerturnar rjúfa hægt. Þá minnkar straumurinn eftir því sem viðnámið í ljósbogannum eykst. Einnig er hægt að lengja ljósbogann með segulblæstri. Þá er segli komið fyrir þannig að pólur hans séu hornrétt á hreyfingarstefnu snertanna. Við það lendir ljósboginn í segulsviði og verður fyrir sömu kraftáhrifum og straumhafandi leiðir í segulsviði (mótorreglan). Segulkrafturinn beygir ljósbogann út og lengir hann þannig að viðnám hans eykst. Sjá mynd 3.3.



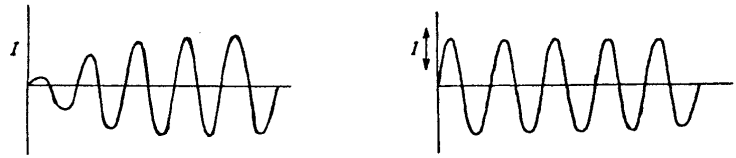
Tíminn sem líður frá því að rofi tengir og straumur hefur náð sínu endanlega gildi í jafnstraumsrás er háður sjálfsspansseiginleikum rásarinnar. Þessi tími getur verið mislangur eða frá nokkrum millisekúndum, upp í nokkrar sekúndur. Þetta tímabil má kalla yfiringarástand en þegar straumaukningu er lokið, lokaástand. Sjá mynd 3.4



Mynd 3.4

Háspennukerfið

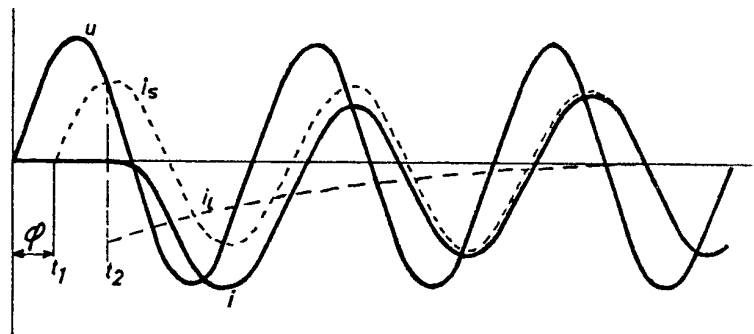
Yfirgangsástand á sér líka stað við tengingu riðstraumsrásar.



Yfirgangsástand í riðstraumsrás. Lokaástand í riðstraumsrás.

Mynd 3.5

Rásin sem línuritið á mynd 3.6 á við hefur bæði raun- og spanviðnám. Í lokaástandi er straumurinn sínuslaga riðstraumur sem hefur fasvikið F frá spennunni U .



Mynd 3.6

Við tengingu getur myndast yfirgangsástand en það er háð því á hvaða augnabliki hún á sér stað. Ef tengingin gerist í tímapunktinum t_1 , þegar straumurinn ætti að hafa gildið núll þá kemst hann strax í lokaástand, sjá strikálínu (i_s).

Ef tengingin aftur á móti gerist í punktinum t_2 , þegar straumurinn ætti að hafa sitt hámarksgildi, þá gegnir öðru máli. Eins og útskýrt var í sambandi við jafnstraumsrásir getur straumurinn ekki vaxið skyndilega upp í lokagildi sitt.

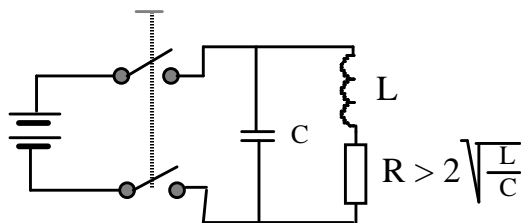
Háspennukerfið

Straumurinn sem myndast í rásinni verður þess vegna eins og sýnt er með heilu línunni (i) í línuritinu. Straumkúrfan sveigir út frá miðlínu í fyrstu, en mun síðan ná sínu lokaástandi. Straumurinn í fyrstu riðunum er samsettur af lokaástandsstraumnum i_s og jafnstraumnum i_L .

Jafnstraumshlutinn hefur í þessu tilviki neikvætt gildi og mun á tengiaugnablikinu vera jafnstór og riðstraumurinn hefði orðið ef hann hefði náð lokaástandi strax við tengingu. Jafnstraumshlutinn minnkar síðan eftir "exponentialkúrfu" líkt og í mynd 3.4.

Rofspenna

Oft er í sömu straumrás bæði span- og rýmdarviðnám, oftast hliðtengt. mynd 3.7 sýnir rás sem inniheldur spanviðnám X_L , rýmdarviðnám X_C og raunviðnám R . Ef raunviðnámið er minna en $2\sqrt{L/C}$ telst rásin vera sveiflurás. Þegar sveiflurás er rofin myndast spenna yfir snertur rofans sem er hærri en spenna rásarinnar U . Þessi spenna er kölluð rofspenna.

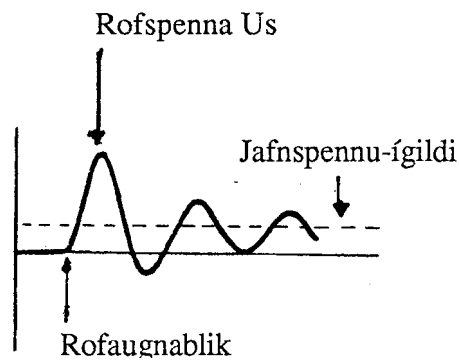


Mynd 3.7

Ef rásin á myndinni er tengd jafnspennu mun segulorka spanviðnámsins viðhalda straum í rásinni og þéttirinn hleðst upp. Þegar spenna þéttisins er orðin hærri en spanspenna spólunnar, snýr straumurinn við og þéttirinn afhleðst.

Háspennukerfið

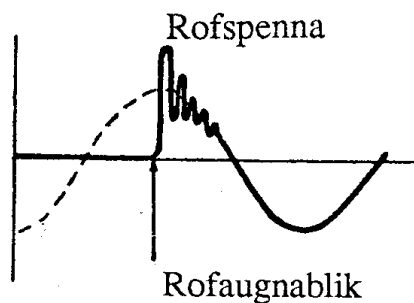
Þá er segulorkan kominn til spólunnar aftur þannig að hún viðheldur straum og þéttirinn hleðst upp á ný, en nú með gagnstæðri pólun. Á þennan hátt skiptast spólan og þéttirinn á að hlaðast upp á víxl þar til öll segulorkan hefur breyst í varma í raunviðnámi rásarinnar.



Mynd 3.8

Það má líta á þéttinn og rofann sem raðtengda við spennugjafann og þess vegna verður spennan yfir rofann jafnt og samanlögð spenna þéttis og spennugjafa. Þannig getur rofspenna orðið miklu hærri en spenna spennugjafans. Sjá línurit á mynd 3.8.

Við rof á sveiflurás sem tengd riðspennu verður rofspennan eins og á mynd 3.9.



Mynd 3.9

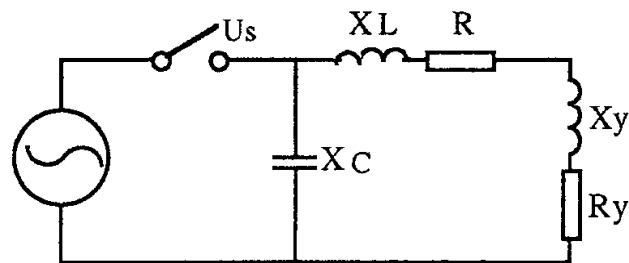
Háspennukerfið

Eins og sést á myndinni mun rofspennan verða mikið hærri en netspennan, en lækkar síðan. Hér er gengið út frá að eigintíðni rásarinnar sé hærri en tíðni netspennu, en þannig er það alltaf í venjulegum rafkerfum.

Eigintíðni rásar ákvarðast af stærðarhlutfalli sjálfsspans og rýmdaráhrifa:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Hér hefur verið fjallað um rof í mismunandi rásum og alltaf gengið út frá því að ekki hafi myndast ljósbogi milli snerta við rofið. Það þýðir að óendanlega hátt viðnám hafi myndast milli snertanna strax við rofið, en í raun myndast alltaf ljósbogi. Við rof á jafnstraum veldur ljósboginn því að rofspennan verður lægri, þannig að það er að því leiti kostur að ljósbogi myndist.



Mynd 3.10

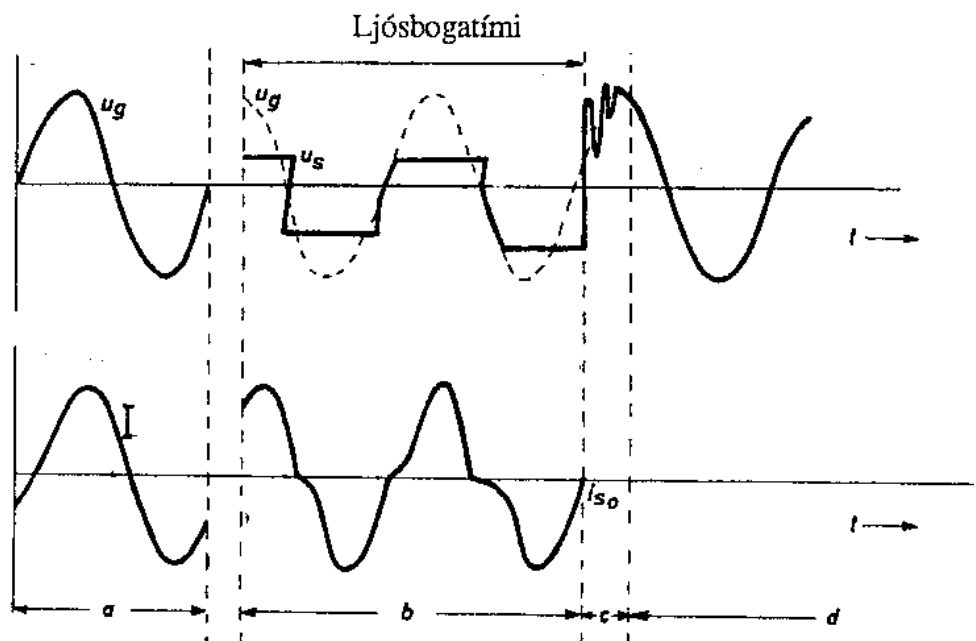
Riðstraum er auðveldast að rjúfa þegar hann er við núllpunktinn. Ljósboginn mun valda því að straumurinn rofnar ekki við fyrsta núll eftir rof. Í riðstraumskerfum er því reynt að slökkva ljósbogann sem fyrst þannig að hann kvikni sem sjaldnast og þannig er flýtt fyrir rofinu.

Háspennukerfið

Rof í riðstraumrás með venjulegri lestun.

Á mynd 3.10 er rás sem er tengd riðspennugjafa. Álagið hefur raunviðnámið R_y og spanviðnámið X_y . Flutningslína hefur raunviðnámið R , spanviðnámið X_L og rýmdarviðnámið X_C .

Fyrir rof eru straumur og spenna í lokaástandi sem sýnt er yst til vinstri á línuritinu á mynd 3.11 a-hluta. Þegar snertur rofans byrja að opnast myndast ljósbogi sem leiðir strauminn. Hlutfallið milli straums og spennu er ekki rétt lína, þannig að straumur og spenna fylgja ekki sínuskúrfu eftir rof snertanna.



Mynd 3.11

Ástandið getur orðið eins og sýnt er á miðri mynd 3.11b. Strikalínan á b-hluta myndarinnar táknar spennu spennugjafans, en heila línan spennuna yfir ljósbogann. Neðri helmingur b-hluta myndarinnar sýnir kennilínu straumsins á sama tíma.

Háspennukerfið

Á c-hluta myndarinnar hefur stærra bil myndast milli snertanna í rofanum og spennan nær ekki lengur að viðhalda ljósboganum þ.e. straumurinn rofnar. Á straumkúrfunni má sjá að þetta gerist þegar straumurinn er á núllínunni eða er sem sagt 0 amp. á því augnabliki. Á sama augnabliki og straumurinn hefur núllgildi hefur segulsviðið líka núllgildi og þess vegna kviknar ljósboginn ekki aftur vegna segulkrafta. Af þessu má sjá að það er ekki kostur að rofið verði of snögg því ljósboginn á ekki að slokkna fyrr en straumurinn verður í núllgildi. Auðvitað er þýðingarmikið að ljósboginn endurkvikni sem sjaldnast því hann veldur bruna á snertum sem myndar gas í rofanum, sem aftur getur hindrað rof.

Á d-hluta myndarinnar er rofi endanlega lokið og spennan liggur þá yfir rofann og hefur þá náð eðlilegu ástandi þ.e. kúrfa hennar er sínuslaga.

Háspennukerfið

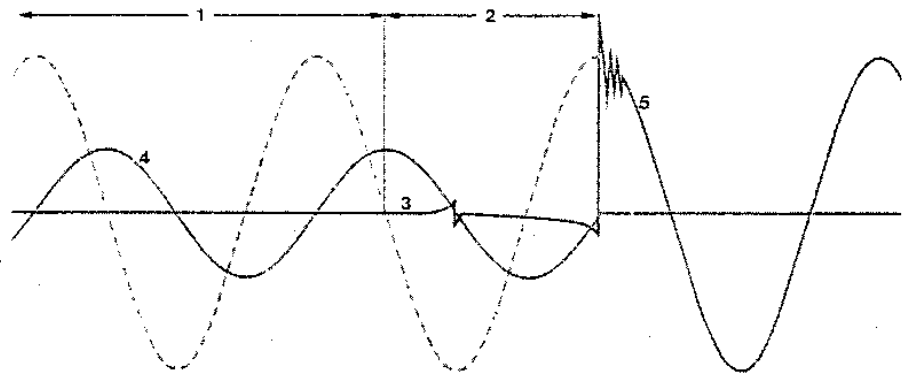
Rof við skammhlaup.

Við skammhlaup á neti verður geisi mikill straumur í þeim fösum sem eru skammhleypdir. Þessi straumur verður margfaldur málstraumur netsins, en spennan á skammhlaupsstaðnum verður núll en vex í áttina að spennugjafanum.

Við skammhlaup verður aflstuðullinn ($\cos\phi$) mjög lítill og það þýðir að straumurinn er nálægt 90° á eftir spennunni. Spennan hefur hámarksgildi þegar straumurinn er í núllgildi. Sjá línurit straums og spennu við skammhlaupsrof á mynd 3.12.

Skýringar:

1. Opnunartími rofa
2. Ljósbogatími
3. Spenna yfir rofsnertur
4. Skammhlaupsstraumur
5. Spenna eftir rof



Mynd 3.12

Eins og áður var sagt er ljósboginn slökktur þegar straumurinn hefur núllgildi, en við skammhlaup er spennan þá einmitt í hámarki. Við rof eykst spennan yfir rofann mjög mikið og þess vegna verður að gera meiri kröfur til hans.

Aflrofar í háspennukerfum eru oft þannig útbúnir að þeir hafa tvær eða þrjár raðtengdar snertur sem vinna samtímis og þannig er bilið milli snertanna aukið og rofálaginu dreift. Áður var sagt að ljósbogatíminn mætti ekki vera of langur því þá skaðaði hann snerturnar.

Háspennukerfið

Við skammhlaup verður yfirgangsskammhlaupsstraumurinn miklu hærri en skammhlaupsstraumur í lokaástandi. Það er því ekki æskilegt að straumurinn rofni fyrir en yfirgangsástandi er lokið.

Nýrri gerðir rofa geta rofið skammhlaupsstraum á 150 ms eða skemmri tíma, en áður fyrir gat roftíminn verið allt að 2000 ms (2 sek.).

Háspennukerfið

3.2 Háspennurofar

Rofum háspennukerfa má skipta í eftirtalda þrjá flokka:

Aflrofar

Aflrofar geta tengt og rofið mesta afl sem myndast getur í þeim hluta kerfisins sem við þá er tengt, þ.e. rofið þá skammhlaupsstrauma sem hugsanlega geta myndast .

Málstraumsrofar

Málstraumsrofar geta tengt og rofið málstraum, en ráða ekki við strauma sem myndast geta t.d. við skammhlaup.

Skilrofar

Skilrofar geta einungis tengd og rofið kerfishluta háspennukerfis sem er í straumlausu ástandi.

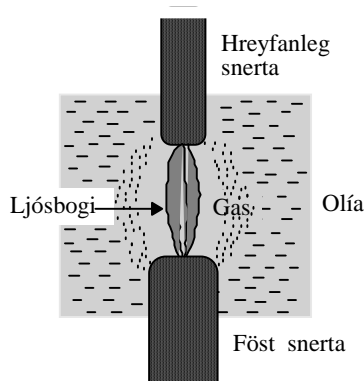
Aflrofar

Háspennurof

Til þess að geta skilað hlutverki sínu samkvæmt skilgreiningunni hér að framan verða aflrofar í háspennukerfum að vera öflugir, hraðvirkir og öruggir í rekstri.

Það myndast alltaf ljósbogi við rof í háspennukerfi. Ljósboginn fer eftir jónuðu efni, en jónun þýðir að frjálsar rafeindir og frjálsar jónir (jákvætt hlaðnar sameindir) hafa myndast. Þrýstingur, hiti og styrkleiki rafsviðs hafa áhrif á myndun jóna. Jónun eykst við aukinn hita og aukna spennu, en minnkar við aukinn þrýsting.

Háspennukerfið



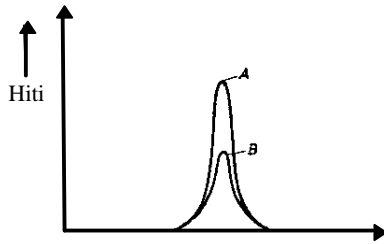
Mynd 3.13

Séu jónaðar lofttegundir í rafsviði, t.d. á milli rofasnerta með spennunum, munu frjálssar rafeindir fara til jákvæða skautsins (anóðu) og frjálssar jónir til neikvæða skautsins (katóðu). Því sterkara sem rafsviðið er, því sterkari verður krafturinn sem verkar á rafeindir og jónir, og hraði þeirra eykst. Til þess að jónun geti átt sér stað verður hitinn að vera a.m.k. 3000°C .

Inni í kælimiðlinum (olíunni) myndast kjarni með mjög miklum hita og í honum eru frjálssar rafeindir og jónir. Utan hans myndast svæði með gasi, en hitinn minnkar með fjarlægð frá kjarnanum. Þykkt kjarna ljósbogans fer eftir styrkleika straumsins. Ástandið við neikvæða skautið (katóðuna) hefur sérstaka þýðingu vegna ljósbogans, því mjög nálægt katóðunni, c.a. einn hundraðasta úr millimetra, myndast 15-20 V spennufall, svokallað katóðuspennufall.

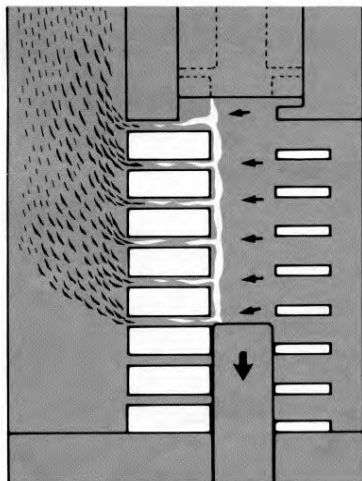
Við mikla skammhlaupsstrauma verður þetta til þess að mörg hundruð kílówött geta breyst í varma á þessu litla svæði. Katóðupunkturinn þar sem straumurinn fer frá katóðunni er mjög lítill og þar getur straumþéttleikinn orðið 10.000 A/cm^2 . Í þessum punkti verður hitinn yfir 3000°C . Uppgufunarhiti eirs er um 2000°C og því mun mikill eir gufa upp. Það hefur því mikla þýðingu að katóðupunkturinn sé úr málm sem hefur hátt uppgufunarmark og því er wolfran oftast notað þar sem uppgufunarhiti þess er 5000°C .

Háspennukerfið



Mynd 3.14

Hitinn í ljósboganum er eins og áður sagði háður straumstyrknum og breytist eftir sínuskúrfu. Á mynd 3.14 er sýnt hvernig hitinn dreifist eftir ljósboganum. Kúrfa A sýnir hitadreifinguna þegar skammhlaupsstraumur hefur sitt hámarksgildi, en kúrfa B tilsvareandi hitadreifingu þegar straumurinn hefur núllgildi. Þessar kúrfur sýna að þegar straumurinn nálgast núllgildi mjókkar kjarni ljósbogans og þá er auðveldara að afjóna hann.



Mynd 3.15

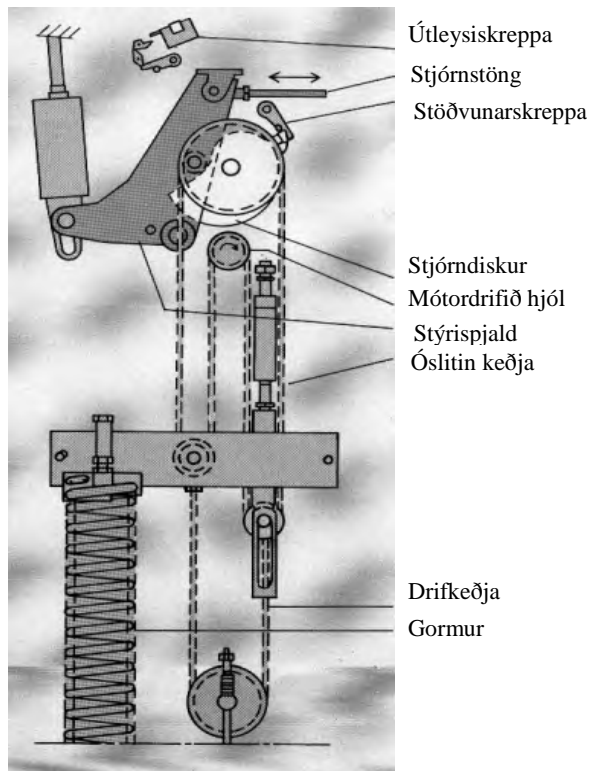
Með kæliblæstri, annaðhvort þvert á ljósbogann eða langs eftir honum er hægt að auka mjög kælingu hans. Í öllum aflrofum er þessi kæling gerð eins öflug og kostur er.

Sjá olústreymi þvert á ljósboga á mynd 3.15.

Tilhögun rofa verður að vera þannig að þeir ljúki alltaf byrjaðri tengingu eða rofi. Ef snerturnar stöðvast í einhverri millistöðu getur rofinn eyðilagst vegna þess að ljósboginn slokknar ekki.

Til tenginga er gormkraftur mikið notaður. Gormurinn er þá spenntur upp með rafmótor og þegar rofinn á að tengja er fjaðurkrafturinn leystur út og tengingu lokið. Fjöðrina er líka hægt að spenna með handtrekktri sveif. Rof er einnig framkvæmt með gormkrafti. Sjá mynd 3.16.

Háspennukerfið



Mynd 3.16

Háspennukerfið

Fjórar gerðir aflrofa í háspennukerfum eru teknar fyrir hér:

Sparolíurofar (oil minimum), þar sem olía er notuð sem kælimiðill. Þeir eru algengir hérlendis.

Loftrofar, þar sem þrýstiloft er bæði notað sem hreyfikraftur og slökkvimiðill. Þeir voru algengir í háspennukerfum hér á landi, en hefur í allmörgum tilfellum verið skipt út fyrir gasrofa t.d. í tengivirkinu við Geitháls og í Búrfellsvirkjun.

Vacumrofar, þar sem rofið á sér stað í lofttæmdu slökkvihólfi. Gera má ráð fyrir vaxandi notkun hérlendis.

Gasrofar (SF₆), þar sem rofið fer fram í gasfylltu slökkvihólfi. Gera má ráð fyrir vaxandi notkun hérlendis

Sparolíurofar

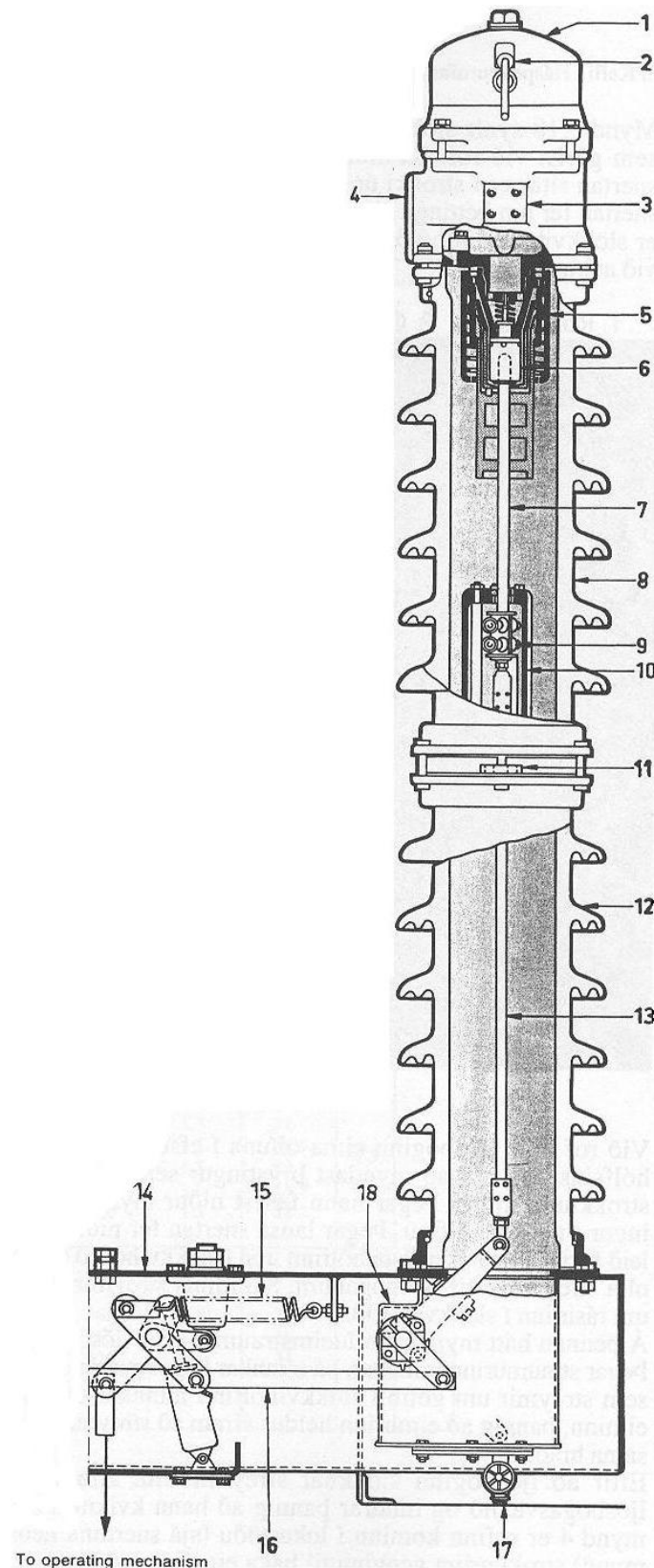
Fyrstu aflrofarnir voru svokallaðir olíurofar, þar sem rofanum var sökkt í olíutank. Ljósboginn sem alltaf myndast við rof fékk að brenna óhindraður í olíunni, sem var bæði kælimiðill og einangrari.

Þegar aflstöðvar stækkuðu og meira varð um samkeyrslur dugðu olíurofarnir ekki fyrir það álag. Til þess að bæta rofeiginleika aflrofanna voru þeir hannaðir með slökkvihólfi þar sem kælimiðillinn streymir kröftuglega á ljósbogann. Við það fara jónuð efni frá ljósbognum og hindrar að hann kvikni aftur eftir að hann hefur slokknað við núllgildi straumsins.

Háspennukerfið

Myndskýring:

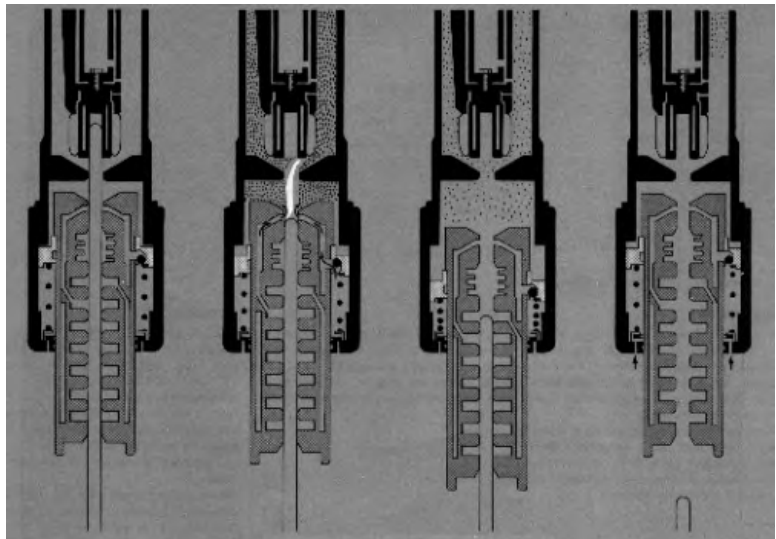
1. Hetta
2. Útblástursventill
3. Efra línutengi
4. Olíuhæðarvísir
5. Slökkvihólf
6. Föst snerta
7. Hreyfanleg snerta
8. Postulínseinangrun
9. Keflatengi
10. Tengishús
11. Neðra tengi
12. Postulínseinangrun
13. Hreyfistöng úr einangrunarefni
14. Hús um hreyfibúnað
15. Gormur
16. Tengiarður
17. Olíuaftöppun
18. Olíuhús



Mynd 3.17

Háspennukerfið

Mynd 3.18 sýnir slökkvihólf sparolíurofa og skýrir út það sem gerist við rof. Sá hluti slökkvihólfsins þar sem fasta snertan situr er í strokki úr einangrunarefni, en hreyfanlega snertan fer um þéttingu einnig úr einangrunarefni. Auk þessa er slökkvihólfið útbúið með lausum strokki sem gefur eftir við aukinn þrýsting.



1. Rofi tengdur
2. Olúþrýstingur á ljósboga
3. Ljósbogi slökktur
4. Rofferli lokið

Mynd 3.18


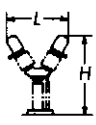

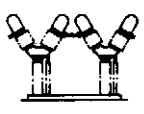

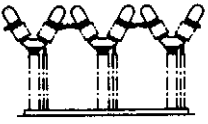
Við rof mun ljósboginn eima olúna í efsta hluta slökkvihólfsins og við það myndast þrýstingur sem þrýstir lausa strokknum niður. Þegar hann færast niður myndast þrýstingur í neðsta hólfinu. Þegar lausa snertan fer niður opnast leið fyrir olúna úr neðsta hólfinu upp í slökkvihólfið og þessi olía streymir eftir ljósboganum. Samtímis streymir olían út um rásir inn í slökkvihólfið.

Háspennukerfið

Á þennan hátt myndast olúeimstraumur eftir ljósboganum. Þegar straumurinn minnkar, þá minnkar líka eimunin, en olían sem streymir um götin í slökkvihólfinu minnkar opin fyrir eiminn, þannig að eimurinn heldur áfram að streyma út með sama hraða. Eftir að ljósboginn slokknar streymir olía áfram inn á ljósbogasvæðið og hindrar þannig að hann kvikni á ný. Á mynd 4 er rofinn kominn í lokastöðu (sjá snertuna neðst á mynd) strokkurinn genginn til baka eins og staða hans var í tengdri stöðu rofans.

Háspennukerfið

Taflan á mynd 3.19 sýnir hvernig raða má saman 72 kV sparolíurofum og fá þannig raðtengda rofa sem vinna samtímis. Á þennan hátt er hægt að auka rofgetu bæði hvað varðar spennu og straum.

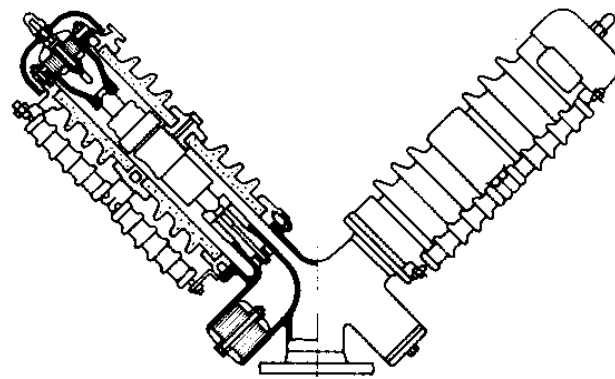
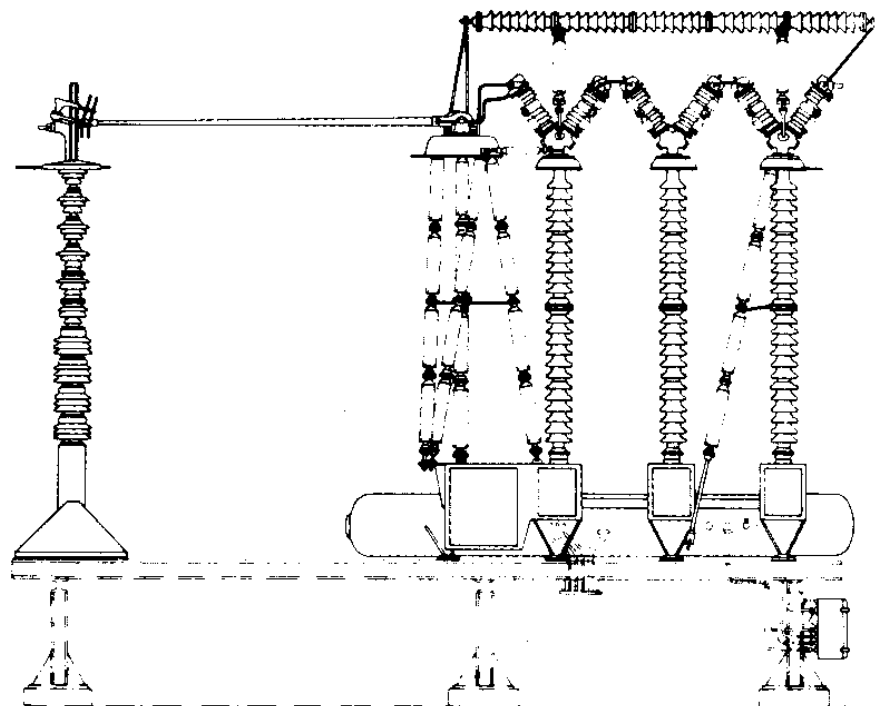
Design	Type designation	Rated voltage (IEC) kV	Earthing factor	Short-circuit breaking capacity GVA	Dimensions	
					L m	H m
 Fr 4780	HLR 84/2001	72.5 72.5 84 84	1.3 1.5 1.3 1.5	4.4 3.5 4.0 3.3	0.9	3.2
	HLR 145/2002	100 123 123 145 145 170 170	1.5 1.3 1.5 1.3 1.5 1.3 1.5	7 8.5 6.8 7.8 6.3 7.2 6	2.4	3.5
	HLR 170/2003	145 170 170 245 245	1.5 1.3 1.5 1.3 1.5	10 11.8 10.6 11.0 9.0	3.8	3.7
	HLR 245/2004	245 245 300 300 362	1.3 1.5 1.3 1.5 1.3	17.0 13.5 15.5 12.5 13.8	4.9	4.3
	HLR 362/2005	245 300 300 362 362 420	1.5 1.3 1.5 1.3 1.5 1.3	17 21 16.5 19 15.7 18.2	6.3	5.1
	HLR 420/2006	362 362 420	1.3 1.5 1.3	25 20 23	7.4	5.4

Mynd 3.19

Háspennukerfið

Loftrofar

Í sparolíurofum sem lýst hefur verið hér að framan er slökkvigeitan háð straumstyrk, þar sem við rof verður eimun slökkvimiðilsins í réttu hlutfalli við straumstyrkinn. Í loftþrýstirofum er slökkvigeitan hinsvegar óháð straumstyrknum og því hafa þeir stærra notkunarsvið en sparolíurofar. Venjulega er notaður um 20 - 40 atm. þrýstingur á loftstreymið sem slekkur ljósbogann.



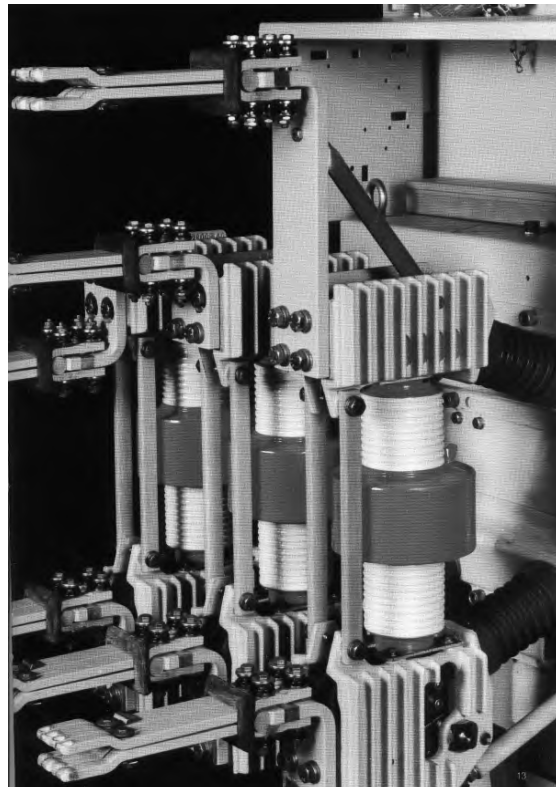
Mynd 3.20

Háspennukerfið

Loftþrýstirofinn á mynd 3.20 er staðsettur ofaná loftþrýstikút sem inniheldur loft sem notast bæði fyrir hreyfiafl rofans og til að slökkva ljósbogann. Stýrikerfi rofanna er einnig knúið þrýstilofti. Á myndinni er einn fasi sem rofinn er með sex raðtengdum loftrofum. Framleiðsla á loftrofum er orðin mjög takmörkuð í dag og stofnkostnaður loftþrýstikerfa er mikill. Líklegt er að þeir verði leystir af hólmi með SF₆-gasrofum í framtíðinni.

Vacumrofar

Um 1960 framleiddi Siemensfyrirtækið fyrsta lofttæmda rofann (vacum). Um 1970 hafði fyrirtækið þróað þennan rofa með tilraunum varðandi efnisval, og stærð og gerð snerta. Rofarnir eru framleiddir fyrir spennur upp í 32 kV. Mörg önnur fyrirtæki tóku upp framleiðslu vacumrofa og t.d. eru japanskir Fuji vacumrofar notaðir sem rafalarofar í Blönduvirkjun.

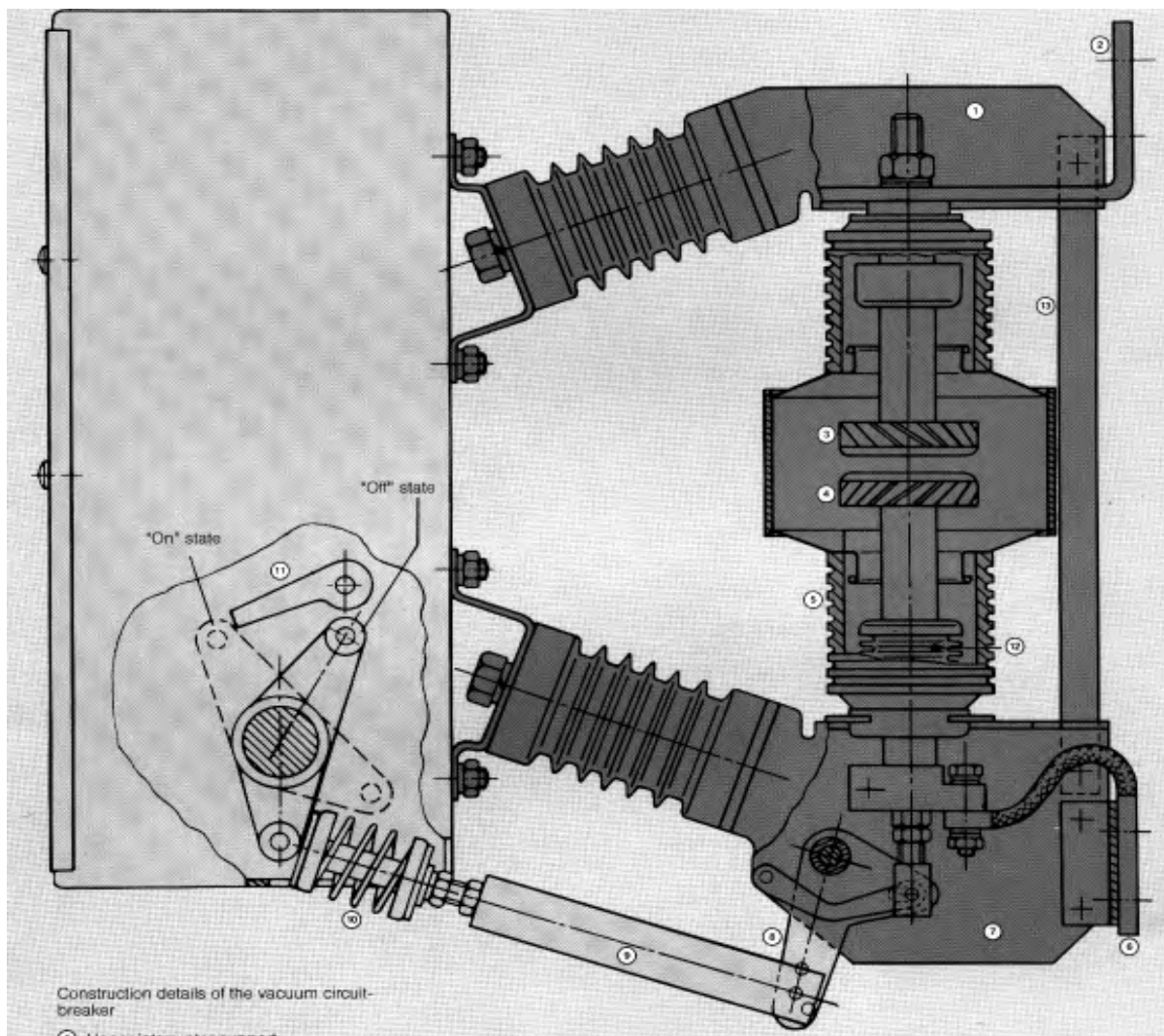


Mynd 3.21

Háspennukerfið

Sparolíuofar (oilminimum breakers) hafa verið fánlegir fyrir vítt notkunarsvið og þótt mjög hagkvæmir. Þeir hafa því verið ráðandi á markaðnum í langan tíma. Í sumum tilfellum eru þó sparolíuofar ekki hentugir, t.d:

- þar reglur krefjast þess að olía sé ekki notuð sem kælimiðill.
- þar sem há roftíðni er með tiltölulega háum straumi.
- þar sem krafist er sérstakra rofeiginleika vegna álagsins.



Mynd 3.22

Háspennukerfið

Myndskýringar:

1 Efri burðarstoð	7 Neðri burðarstoð
2 Efri leiðaratenging	8 Hreyfiarmur
3 Föst snerta	9 Hreyfiarmur úr einangrunarefni
4 Hreyfanleg snerta	10 Gormur fyrir snertuþrýsting
5 Rofahús	11 Útleysipall
6 Neðri leiðaratenging	12 Membra
	13 Burðarstoð

Fyrir margra hluta sakir er rof á ljósboga í lofttæmdu rými mjög hagkvæm aðferð og "vacumrofar" geta rofið málstraum allt að 20.000 sinnum og skammhlaupsstraum 100 sinnum.

Hreyfibúnað rofanna er ekki nauðsynlegt að smyrja fyrir en eftir 10.000 hreyfingar eða eftir 10 ára stöðuga notkun.

Líftími hreyfibúnaðarins er allt að 60.000 hreyfingar og snerta er 30.000 rof.

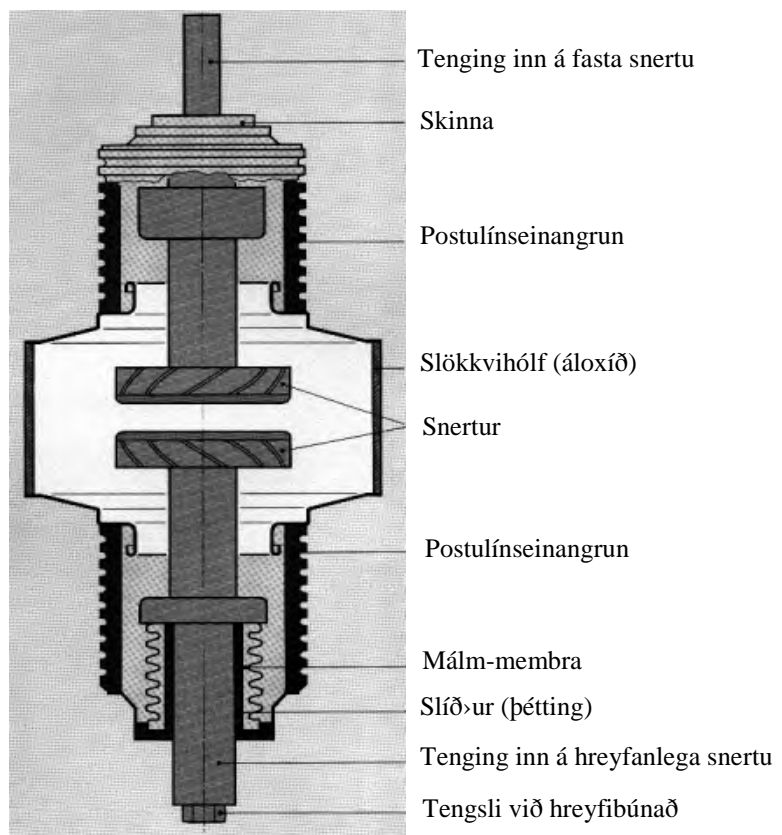
Sjálfvirk endurtenging (autorecloseure) með vacumrofa er ekkert vandamál því torleiðni myndast strax eftir ljósbogarof.

Við rof í lofttæmdu slökkvihólfi myndast ekkert hliðarefni (byproduct) eins og gerist í öðrum rofum, þar sem hvorki olía, gas né andrúmsloft kemst í snertingu við ljósbogann. Vegna mikils þrýstings á snertiflötunum er rafmagnsviðnám þeirra mjög lítið og það breytist ekki, eða er nánast óháð fjölda hreyfinga. Snertifletirnir verða ekki fyrir ildun og er málmurinn því hreinn eftir margra ára notkun.

Háspennukerfið

Bygging "vacumrofa"

Rofarnir eru byggðir með tilliti til þess að auðvelt sé að tengja þá fyrirliggjandi kerfi. Sjálfum rofunum með slökkvihólfi, hreyfanlegri snertu og fastri snertu er komið fyrir lóðrétt milli postulínseinangraðra burðarstoða sem festar eru í skápinn sem geymir hreyfibúnaðinn.



Háspennukerfið

Lóðréttar stoðir liggja samhliða rofahúsunum og koma í veg fyrir að utanaðkomandi kraftar hafi áhrif á þau. Slökkvihólfið er gert úr krómnikkelstáli og flangsarnir eru logsóðnir á það og áloxíð einangrarar eru kveiktir við flangsana. Kostir þess að nota áloxíð einangrara eru eftirtaldir:

- Að hægt er að kveikja þá við flangsana.
- Að hitaþennslustuðlar ál-oxíðs og stáls eru næstum þeir sömu svo ekki myndast þenslu kraftar á milli.
- Áloxíð keramik er sterkara en önnur einangraraefni.

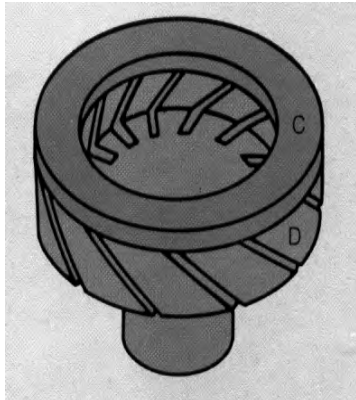
Í 24 kV rofa þarf membran í botni rofans að taka við allt að 16 mm hreyfingu 30.000 sinnum án þess að brestir komi fram.

Við tilraunir komu brestir fyrst fram eftir u.þ.b. 200.000 hreyfingar.

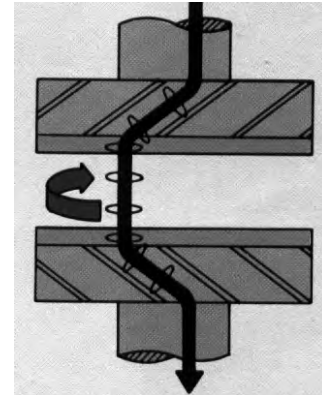
Rofhæfni

Þegar snerturnar opna myndast málmgufa sem ljósboginn ferðast eftir þar til straumurinn verður næst núll. Ljósboginn slokknar þegar straumurinn nálgast núllgildi og jónuð málmgufan sest aftur á snerturnar innan nokkurra míkrósekúndna. Af þessum orsökum myndast strax eftir rof torleiðni á ný í slökkvihólfinu og bruni á snertum er í algjöru lámarki. Snertifletirnir eru gerðir úr krómeirblöndu og ljósboginn dreifist jafnt um þá vegna þess að hann snýst vegna seguláhrifa um hringlagaða snertifletina. Þetta ver þá fyrir yfirhitun og gefur þeim mikla endingu Sjá mynd 3.24.

Háspennukerfið



Hreyfanleg snerta



Leið ljósboga við snúning snertu

Mynd 3.24

Hreyfibúnaður

Einn af kostum vacuumrofa er að þeir krefjast mun minna hreyfiafls heldur en samsvarandi sparolíufar. Eins og fyrr getur er ábyrgt að hann þoli 60.000 hreyfingar.

Búnaðinn þarf að smyrja eftir 10.000 hreyfingar eða eftir 10 ára notkun.

Aflgjafinn er jafnstraumsmótor sem lestar gormkraft til inn- og útsetningar, einnig fylgir sveif til handvirkar gormlestunar. Vísir sýnir hleðsluástand innsetningargormsins. Hreyfingateljari er einnig hluti af búnaði auk annars.

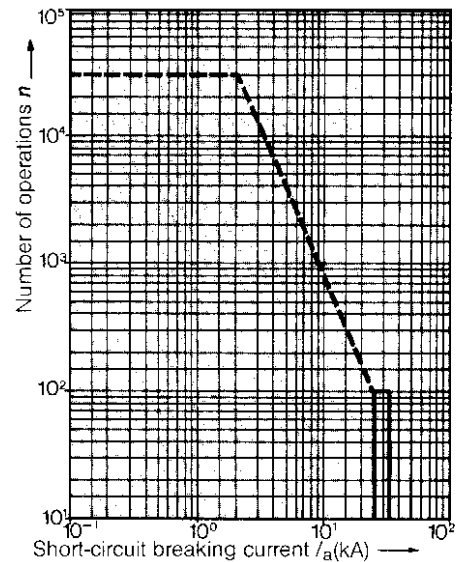
60.000 hreyfingar er geysi há tala, en viðhald er líka í lámarki. Allsherjar skoðun (general inspection) er ekki framkvæmd fyrr en eftir:

- 30.000 hreyfingar, eða
- 100 skammhlaupsrof, eða
- 20.000 málstraumsrof.

Háspennukerfið

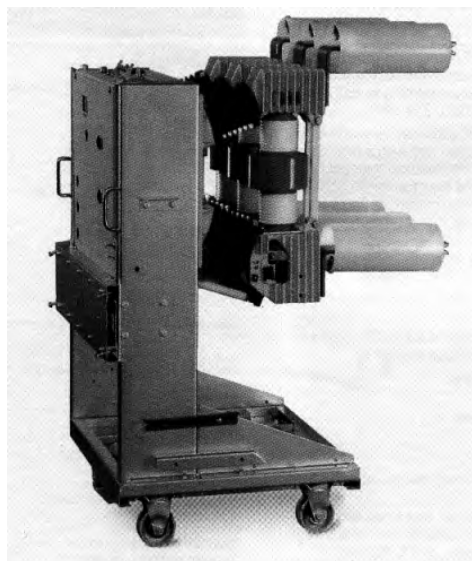
Á mynd 3.25 má sjá línurit sem sýnir fjölda hreyfinga sem fall af straum.

Dæmi er tekið um 25 og 31,5 kA skammhlaupsstrauma.



Mynd 3.25

Mynd 3.26 sýnir vacuumrofa til innbyggingar í rofaskáp. Rofinn er á hjólum og hægt að aftengja hann og keyra út úr skápnunum. Við það myndast stórt einangrunarbil og því má segja að rofinn sé bæði í hlutverki aflrofa og skilrofa.



Mynd 3.26

Háspennukerfið

Gasrofar (SF6)

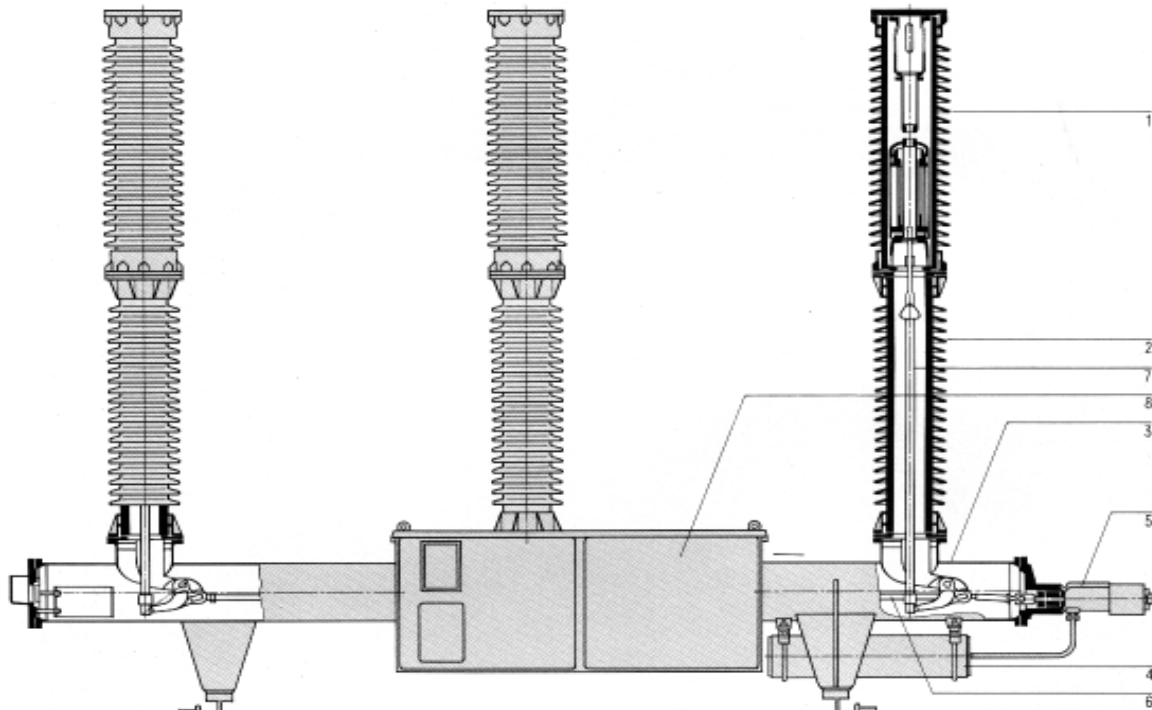
Gasrofar hafa náð mikilli útbreiðslu á seinni árum. Hér á landi hafa þeir verið notaðir bæði í úti- og innitengivirkjum. Fyrstu rofarnir í útitengivirki voru settir upp í Sigölduvirkjun, en fyrsta inni gastengi- virkið var sett upp í Hrauneyjavirkjun, en bæði kerfin eru 220 kV. Gasrofar eru einnig notaðir sem rafala- rofar og fyrir 11 kV dreifikerfi virkjana og rafveitna.

Bygging

Rofarnir nota súlfur-hexa-flúoríð gasið bæði sem slökkvimiðil og einangrun. Rofahúsið er gert eins og í öðrum gerðum háspennurofa postulínshólkur, en fylltur með SF6-gasi og er þrýstingurinn oft nálægt 5 bör við 20 gráður á celesius. Þrýstingsvakt er á rofunum sem gefur aðvörun ef þrýstingsfall verður. Hreyfibúnaður er oft líkur því sem er á sparolíurofum þar sem alstraumsmótor lestar gormkraft sem notaður er til inn- og útsetningar. Einnig er hægt að fá þá með loft- eða vökvahreyfibúnaði.

Gasrofar eru framleiddir fyrir öll stöðluð spennugildi milli 12 til 550 kV og með straumrofsgetu upp að 50 kA. Á mynd 3.27 má sjá þriggja fasa gasrofa fyrir útivirki.

Háspennukerfið



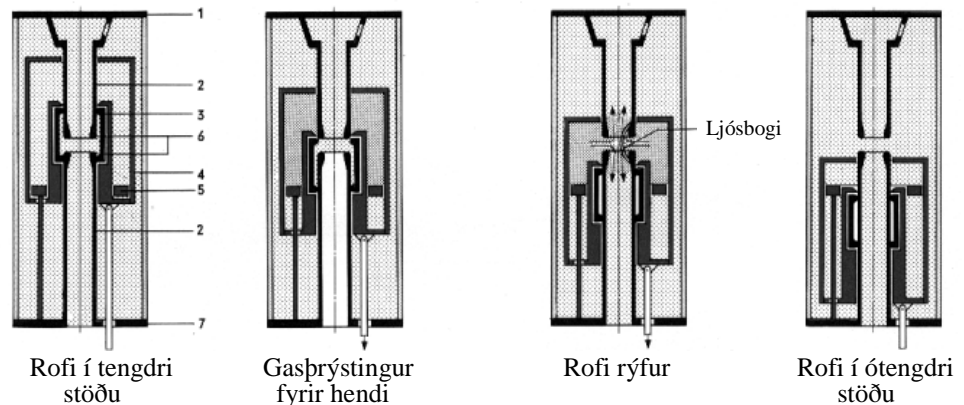
Mynd 3.27

- | | |
|-------------------------|----------------------------|
| 1 Rofahús | 2 Postulínseinangrari |
| 3 Grunnhólkur | 4 Vökvastimpill |
| 5 Hreyfibúnaður | 6 Samtenging hreyfibúnaðar |
| 7 Stöng úr einangr.efni | 8 Stjórn búnaður |

Vinumáti

Rofinn á myndinni vinnur með svokallaðri "blástursaðferð" (puffer system) þannig að hinn hreyfanlegi hluti ljósbogahússins vinnur eins og bullustrokkur við rof og byggir upp hærri gasþrýsting í neðri hluta slökkvihólfsins. Þegar hreyfibúnaðurinn byrjar að opna snerturnar er gasstreymi hindrað með búnaði fremst á hreyfanlegu snertunni, en þegar snerturnar fjarlægjast meira streymir gasið langsum eftir ljósboganum, sem þá er farinn að myndast. Gasstreymið kælir ljósbogann og slekkur við næsta núllgildi straumsins.

Háspennukerfið



Mynd 3.28

- | | |
|--------------------------------|------------------|
| 1 Tenging á fasta snertu | 2 Föst snerta |
| 3 Hreyfanleg snerta | 4 Strokkur |
| 5 Stimpill | 6 Ljósbogafletir |
| 7 Tenging á hreyfanlega snertu | 8 Stjórnstöng |

Við skammhlaupsrof getur ljósboginn orðið það mikill að hann hindrar alveg gasstreymi á meðan opnun snertanna stendur yfir. Þetta veldur því að ennþá meiri þrýstingur safnast upp, og þegar straumurinn nálgast núllgildi næst verður því mjög öflugt gasstreymi (puff) sem slekkur ljósbogann þegar núllgildinu er náð. Rofinn á að geta rofið skammhlaupsstraum á 40 ms eða á tveimur riðum í 50 Hz kerfi.

SF₆-gasið er góður slökkvimiðill vegna þess að það hefur mjög lága varmaleiðni við hátt hitastig en háa við lægra hitastig. Þegar straumur er nálægt hámarksgildi og ljósboginn sterkastur veldur gasstreymið því lítilli kælingu, en þegar straumurinn nálgast núllgildið og hitastig lækkar verður kælingin hinsvegar öflugri.

Háspennukerfið

Eftir rof fær gasið meiri torleiðni og hindrar þannig endurkviknun ljósboga og skaðlegar rofspennusveiflur. Gasrofinn hefur það fram yfir aðra rofa að hann rýfur alltaf strauminn við núllgildi, án tillits til hvert fasvikið er.

Viðhald

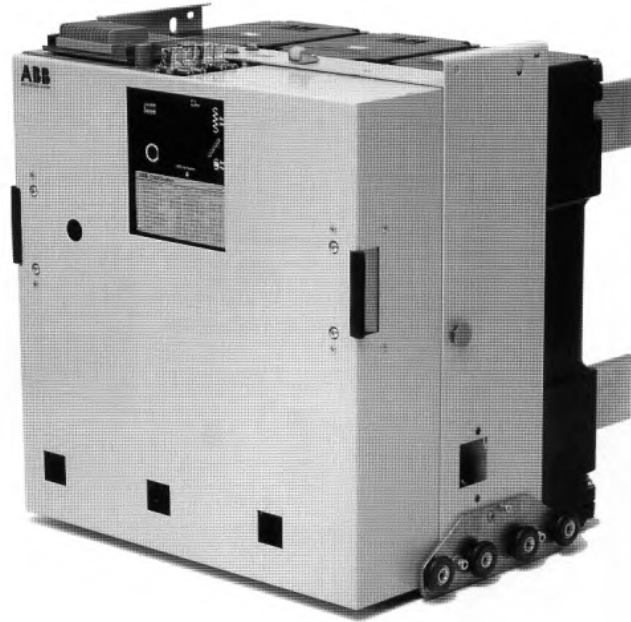
Yfirleitt er ekki nauðsynlegt að opna rofann til eftirlits og viðhalds, ef notkun er innan þeirra marka sem framleiðandi gefur upp varðandi roffjölda með tilliti til straumstyrks. Sjá línurit á mynd 3.29.



Mynd 3.29

Háspennukerfið

Hreyfibúnaðurinn krefst hinsvegar eftirlits og þjónustu sem ekki þarf sérhæfða starfsmenn til að framkvæma.



Mynd 3.30

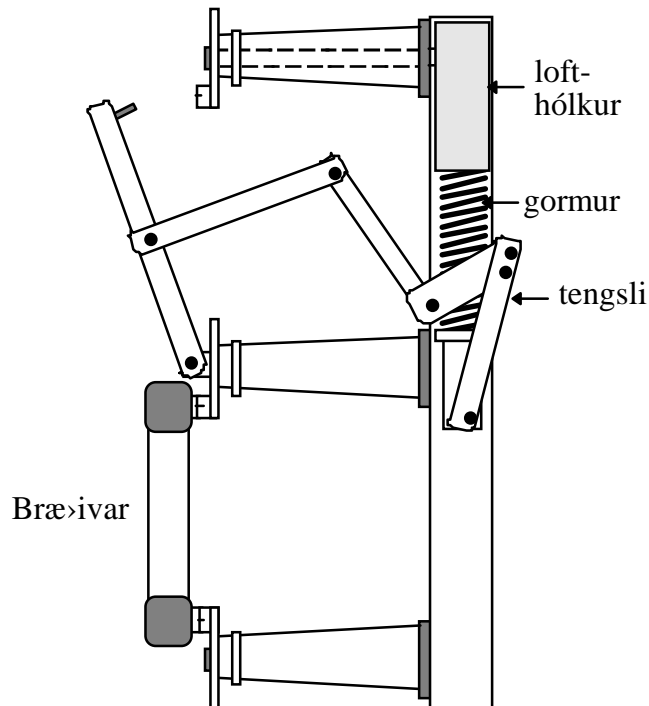
Mjög hefur aukist notkun gasrofa fyrir lægri háspennugildi, þeir leystu t.d. af hólmi 13,5 kV loftrafalarofa í Búrfellsvirkjun og eru notaðir í háspennudreifikerfum virkjana og aðveitustöðvum rafveitna. Slíkir rofar eru yfirleitt skáprofar sem hægt er að aftengja frá safnteinum og fjarlægja úr viðkomandi skáp. Þegar slíkur rofi hefur verið fjarlægður úr skáp hefur myndast stórt einangrunarloftbil í rásina og virkar þá rofinn líka sem skilrofi. Sjá mynd 3.31 og sjá má tengibúnað á bakhlið rofans.

Háspennukerfið

3.3 Málstraumsrofar

Afrofur eru mjög dýrir en í sumum tilfellum er hægt að spara og notast við málstraumsrofa fyrir tengingu og rof á álagi.

Málstraumsrofar geta ekki rofið skammhlaupsstrauma og því er háspennubræðivörum komið fyrir í þeim. Málstraumsrofar geta haft mismunandi slökkvimiðla t.d. loft, olíu eða gas í slökkvihólfi. Þegar olía er notuð sem slökkvimiðill er bygging rofans lík sparolíurofa, en slökkvihólf er minna. Þegar nota á rofann sem skilrofa verður rof að vera sýnilegt utanfrá séð. Hreyfanlega snertan gengur út úr slökkvihólfinu í því tilfalli.



Mynd 3.31

Mynd 3.31 sýnir málstraumsrofa fyrir 12 kV spennu með blástursloft sem slökkvimiðil. Loftbólki með bullu er komið fyrir í rofanum og þegar rofinn tengir er bullan neðst í hólkinum.

Háspennukerfið

Við rof þrýstist bullan hratt upp í hólkinn og loftstreymi verður eftir holum einöngurum sem föstu snerturnar sitja á og gegnum dísu sem beinir streyminu langsum eftir ljósbognum. Rofinn er handstýrður með stöng úr einangrunarefni og þegar hann er með sambyggð háspennuvör er hann einnig með útleysispólu, þannig að hann leysi sjálfvirkt út ef eitt bræðivar brennur.

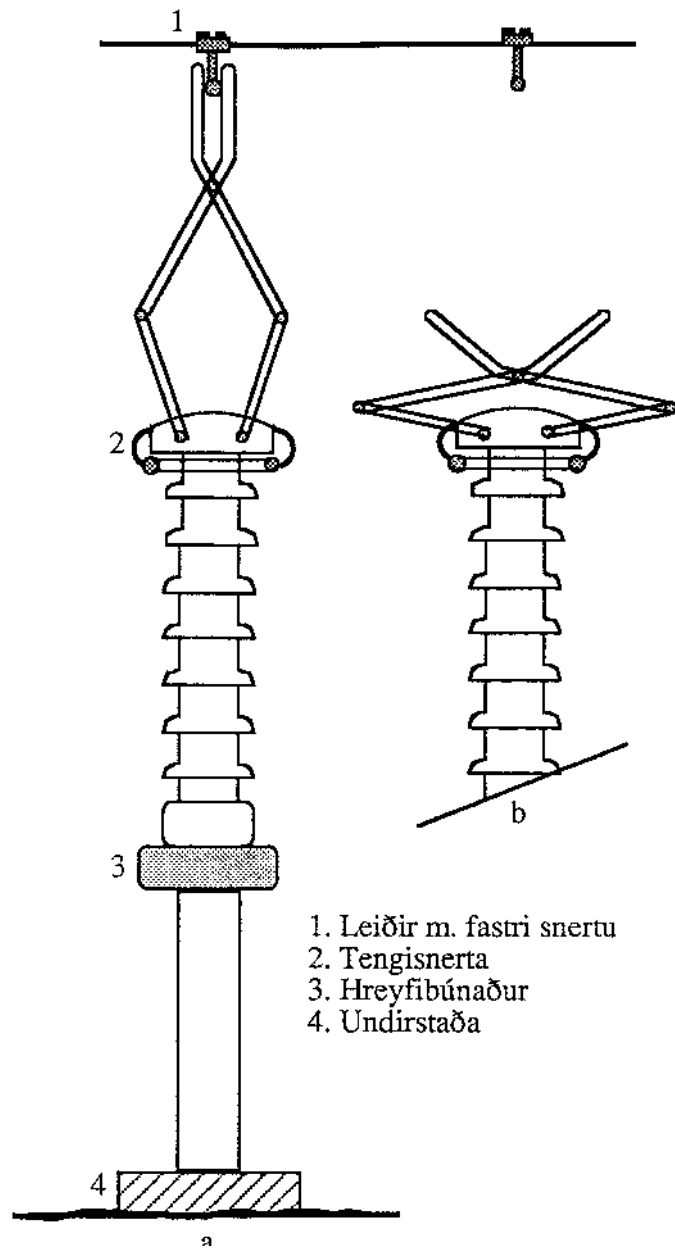
3.4 Skilrofar

Eins og getið var í upphafi kaflans eru skilrofar ekki ætlaðir til þess að rjúfa straum, heldur aðeins til að fráskilja hluta háspennuvirkis þannig að þeir verði spennulausir. Í tengivirkjum eru skilrofar tengdir sitthvoru megin við aflrofa og mynda þannig einangrunarbil ef vinna á við aflrofann.

Skilrofar fyrir háa spennu og útinotkun eru af nokkrum gerðum og hér er fjallað um tvær algengustu tegundirnar.

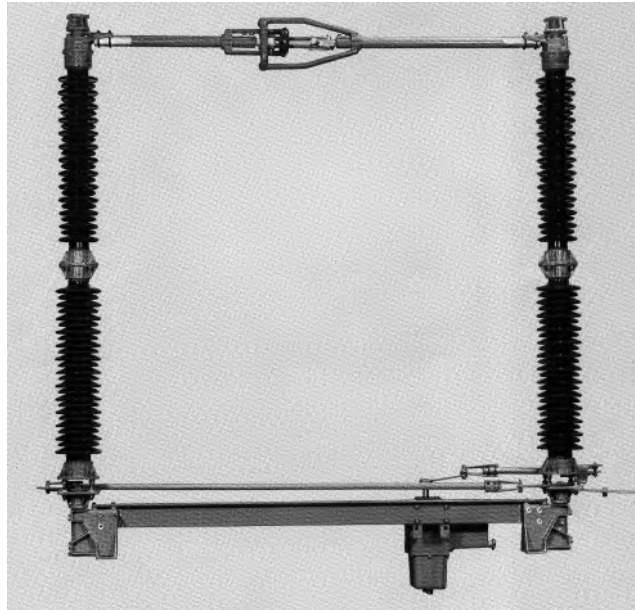
Samsíðungsteinarofar eru notaðir í útivirkjum með spennugildi 220-300 kV. og mynd 3.32 sýnir slíkan rofa bæði tengdan og rofinn. Þeir taka minna rými heldur en snúningsteinarofar.

Háspennukerfið



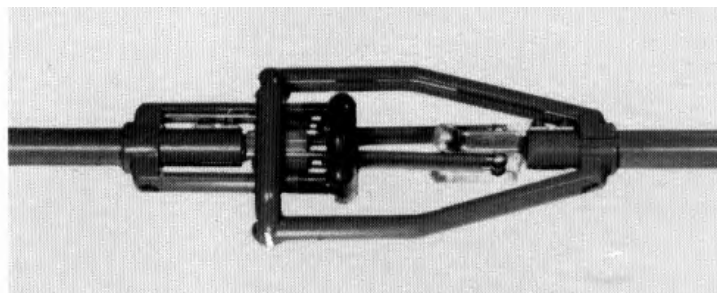
Snúningsteinarofi fyrir 110-245 kV spennugildi er sýndur á mynd 3.33.

Háspennukerfið



Mynd 3.33

Snertu armarnir eru láréttir og eru úr áli, þeir geta snúist um 90 gráður og eru festir á lóðréttu einangrara. Eins og sést á mynd 3.33a er hólkur á öðrum snertu endanum en klemma með fjöður á hinum. Hólksnertan er sjálfsmyrjandi úr silfri og kolefni en hin snertan er úr koparkadmíum blöndu.



Mynd 3.33a

Einangrararnir eru festir á lárétta undirstöðu og hreyfibúnaðurinn þar undir. Rofinn á mynd 3.33 er fyrir einn fasa en í útvirkjum er þremur stillt upp hlið við hlið og samvirkir þannig að allar snerturnar hreyfast samtímis.

Háspennukerfið

Hægt er að handstýra rofunum eða fjarstýra þeim með rafmótor, loft- eða vökvastýringu. Þessa rofa má einnig nota sem jarðtengirofa (jarðblað), sem geta tengst við skilrofana.

Skilrofar fyrir lægri háspennugildi upp að 36 kV eru oft útfærðir sem hnífrofar eins og sýnt er á mynd 3.34, þarna er um handstýrðan innirofa að ræða, en þeir eru einnig framleiddir til fjarstýringar og þá loft-, vökva- eða mótordrífir.

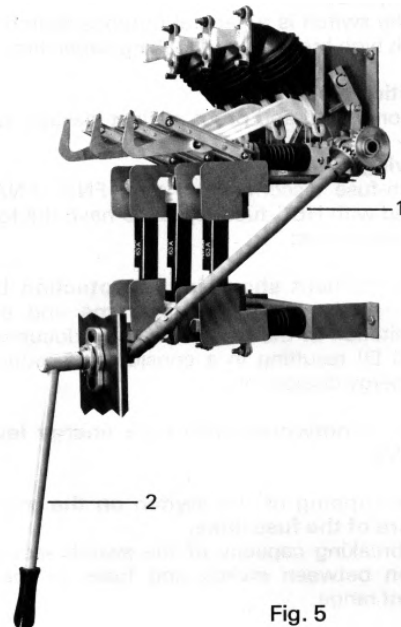


Fig. 5

Mynd 3.34

Á mynd 3.35 er hnífrofi þar sem hnífurinn er tvöfaldur og fer utanum föstu snertuna. Snertiþrýstingurinn kemur frá hnífnum. Þessi útfærsla hefur þann kost að snertiþrýstingurinn eykst með auknum straum. Straumurinn sem fer um rofann skiptir sér í báða helminga hnífsins og þar sem straumarnir eru í sömu átt verður kraftverkun á milli þeirra sem leitast við að draga þá saman.

Háspennukerfið

3.5 Spurningar

Spurningar úr kafla 3.1

3.1

Hvernig vinnur sjálfspan í straumrás varðandi straum?

3.2

Hvað verður um segulorku straumrásar við rof?

3.3

Nefndu tvær leiðir til þess að minnka rofspennu.

3.4

Útskýrðu með fáum orðum svokallað yfirgangs-ástand í jafnstraums- og riðstraumsrásum (myndir 3.4 og 3.5).

3.5

Hvað táknar strikálínan (is) á mynd 3.6?

3.6

Hvenær kallast straumrás sveiflurás?

3.7

Nefndu ókosti og kosti ljósbogamyndunar.

3.8

Hvert verður fasvikið í rás sem skammhleypist?

3.9

Hvað gerist með rofspennuna við skammhlaup?

Háspennukerfið

Spurningar úr kafla 3.2

3.10

Háspennurofum má skipta í þrjá flokka (eftir rofgetu), þeir eru?

3.11

Hvernig eru aflrofar skilgreindir?

3.12

Hvaða þrjú atriði hafa áhrif á myndun jóna í ljósboga?

3.13

Við hvaða hitastig hefst jónun í olíunni?

3.14

Hvernig er hiti fjarlægður frá ljósboga?

3.15

Lýstu stuttlega hvernig nýlegar gerðir endurtengingar búnaðar vinnur.

3.16

Þrjár algengustu tegundir aflrofa eru?

3.17

Nefndu fjórar mismunandi tegundir aflrofa.

3.18

Lýstu fyrstu olíurofunum stuttlega.

3.19

Hversvegna eru sparolíurofar nefndir svo?

Háspennukerfið

3.20

Hvað er það sem veldur því að olía streymir eftir ljós boganum í slökkvihólfi sparolíurofa, kælir hann þannig og rýfur?

3.21

Hvaða kost hafa loftrofar fram yfir sparolíurofa?

3.22

Hver er hæsta málspenna sem vacuumrofar eru framleiddir fyrir?

3.23

Nefndu þrjú atriði sem gera vacuumrofa fýsilegan kost.

3.24

Hve margar hreyfingar er gert ráð fyrir að hreyfi búnaður vacuumrofa þoli?

3.25

Hve oft gæti vacuumrofi rofið 25 kA skammhlaups straum? Sjá línurit (mynd 3.25).

3.26

Hve hár þrýstingur er hafður á gasrofunum?

3.27

Hvað eru gasrofar framleiddir fyrir stórt spennusvið?

3.28

Hvaða kost hefur gasrofi fram yfir aðrar gerðir varðandi rof?

Háspennukerfið

3.29

Hve oft gæti gasrofi rofið 10 kA straum samkv. línuriti á mynd 3.29?

Spurningar úr kafla 3.3**3.30**

Hvað gerist ef eitt af þremur bræðivörum í málstraums rofa brennur yfir?

Spurningar úr kafla 3.4**3.31**

Við hvað takmarkast hlutverk skilrofa?