



Rafbók



**Háspennukerfið**

**Kafli 6 Liðavarnir**

**Kennsluhefti**



## Háspennukerfið

---

Þetta hefti er án endurgjalds á rafbókinni.

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

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

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](mailto:iaj@rafis.is)

---

## Háspennukerfið

---

### Efnisyfirlit

6 Liðavarnir í háspennukerfum.....	5
6.1 Hlutverk og uppbygging liðavarna. ....	5
Útfærsla liðavarna .....	10
6.2 Bilanir.....	11
Skammhlaup.....	12
Leiðnirof.....	13
Bilun í vöfum .....	13
6.3 Varnarliðar .....	14
Yfirstraumsliðar .....	15
Yfirspennuliðar .....	20
Fjarlægðaliðar (differential relays) .....	21
Mismunastraumsliði.....	23
Summustraumsliði.....	25
Gasliði (Buchholz-liði).....	26
6.4 Rafalavarnir.....	28
Algengustu bilanir í rafölum .....	28
Blokkarvör í virkjun.....	30
Jarðhlaup .....	32
Dæmi 6.1 Núllpunktstenging með spennni.....	34
Sýndarviðnámsvörn.....	35
Bakaflsvörn .....	36
Mettunarvörn.....	38
Legustraumsvörn.....	38
Titringsvörn.....	40
Hitavarnir .....	41
Hraðavörn.....	42
Mislestunarvörn.....	43
Dæmi: .....	46
Stöð A.....	47

---

**Háspennukerfið**

---

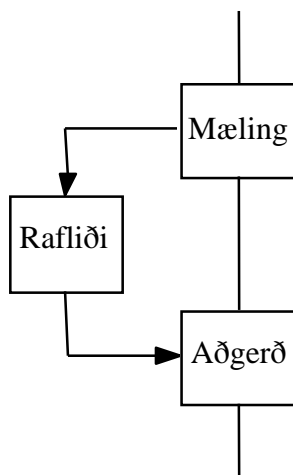
6.5 Straumstillingar varna.....	53
Vörn 4.....	53
Vörn 5.....	54
Vörn 6.....	54
Vörn 2.....	55
Vörn 3.....	55
Vörn 1.....	56
Tímastillingar .....	57
Athugasemdir .....	59
6.6 Spurningar .....	60

## 6 Liðavarnir í háspennukerfum

### 6.1 Hlutverk og uppbygging liðavarna.

Hlutverk liðavarna í raforkukerfi er að takmarka áhrif truflana í kerfinu sem gætu valdið skemmdum og / eða rekstrarerfið-leikum í lengri eða skemmri tíma. Þessar truflanir geta orsakast af bilunum (skammhlaup, slit á línu eða jarðhlaups), aflsveiflum, vegna náttúruhamfara (óveðurs, ísingar, eldinga) eða vegna manlegra mistaka.

Varnarliðar eru í raun verkfæri sem nauðsynlegt er að stilla þannig að það komi að réttum notum í kerfinu við hverjar þær truflanir sem upp geta komið. Það þarf því yfirgripsmikla þekkingu á kerfinu til þess að stilla saman liðaverndina.



Mynd 6.1

Ef við reynum að gera okkur mjög einfalda mynd þá er liðavörn í grófum dráttum byggð upp af þremur þáttum:

- Skynjunarþætti eða mælingu þess gildis sem um ræðir.
- Raflíða sem vinnur ef viðkomandi gildi yfirstígur
- ákveðin mörk.
- Aðgerðarþætti, t.d. rofi á aflrofa og tengingu gaums

---

## Háspennukerfið

---

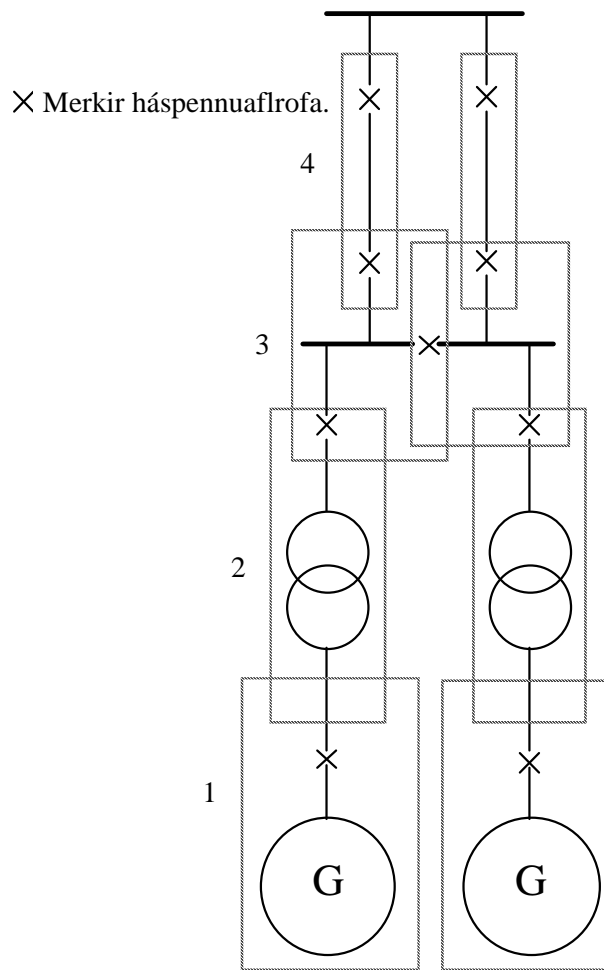
Mæligildin sem búnaðurinn skynjar er venjulega straum- eða spennugildi og liðarnir vinna ýmist tafarlaust eða með ákveðinni seinkun. Boð frá einum skynjunarþætti geta virkjað fleiri en einn raflíða og með tímaseinkunum er hægt að ákveða virkniröð liðanna. Í sumum tilfellum geta nokkrir liðar í röð orðið virkir, þannig að sá fyrsti vinnur tafarlaust en hinir síðan í ákveðinni tímaröð eftir mikilvægi þeirra. Ef útleysing fyrsta liða er fullnægjandi miðað við ástand stöðvast virkni hinna liðanna.

Gaumbúnaður liðavarna eru ljósmerki, hljóðmerki og flaggliðar. Með aðstoð þessara merkja á að vera hægt að greina truflun hverju sinni. Það getur þó reynst flókið ef margir liðar hafa leyst út, og krefst greiningin þá tals-verðrar þekkingar á kerfinu.

Í nýjum gerðum liðaverndar er hægt að fá tölvuútskrift sem sýnir í hvaða tímaröð hinir ýmsu liðar leystu út og þannig gera sér grein fyrir orsök útleysingarinnar.

Mikilvægt er að geta treyst því að liðabúnaður skili sínu hlutverki ef á reynir. Gera verður prófanir við uppsetningu búnaðar til að ganga úr skugga um að ekki séu hönnunar- eða tengigallar fyrir hendi. Einnig er nauðsynlegt að prófa búnað reglulega vegna hugsanlegs slits. Dæmi um slit gæti verið bruni á snertum vegna endurtekinna útleysinga.

## Háspennukerfið



Mynd 6.2

Þegar liðavarnir eru hannaðar fyrir eitthvert kerfi eða kerfishluta er það spurningin um kostnað sem takmarkar hve langt skal gengið í sambandi við áreiðanleika og öryggi varnarbúnaðarins. Spurning getur verið um það hvort setja eigi upp tvöfalt liðakerfi, eða í hve miklu mæli eigi að "yfirlappa", þ.e. að liðavörn fyrir ákveðinn hluta kerfisins vinni einnig ef óeðlilegt ástand skapast í tengdum kerfishluta.

---

## Háspennukerfið

---

Raforkukerfum er alltaf skipt í afmörkuð varnarsvæði eða einingar(blokkir) þar sem stærðir (straums, spennu) eru mældar og liðar sjá um að leysa út rofa og einangra þannig bilunina frá öðrum hlutum kerfisins sem síðan eru láttnar skerast við aðrar einingar til að tryggja nægjanlegt öryggi. Með þessu móti er unnt að tryggja að flestar varnir séu einnig varavörn fyrir næsta svæði. Sjá skýringarmynd6.2.

Myndin sýnir gróflega flokkun varnarbúnaðar raforku-virkjunar í ákveðin svæði (blokkir) afmörkuð með brotnum línunum.

Rafalavarnir eru á svæði 1 á myndinni og sker inn á svæði 2 fyrir spennu. Varnarbúnaður spennu (svæði 2) nær síðan bæði inn á svæði 1 og svæði 3 fyrir safnteina. Varnarsvæði 4 fyrir flutningslínur nær inn á svæði 3.

Liðum liðaverndar má flokka í fimm mismunandi þætti eftir hlutverki:

### 1. Varnarliðar

Þeir sjá um að staðsetja og ákvarða bilanir.

Þeir geta séð um útleysingar eða gefið aðvörun.

### 2. Mæli-liðar

Þeir mæla ákveðnar stærðir í raforkukerfinu eða í einstökum liðarásum.

Hér getur verið um að ræða mælingu á fjarlægð til bilunarstaðar, viðvaranakerfi o.fl..



---

## Háspennukerfið

---

### 3. Skilyrtir liðar

Þeir byggja á röð upplýsinga. Dæmi um slíkan búnað eru samfösunarbúnaður og endurlokunarbúnaður.

### 4. Reglunarliðar

Hlutverk þeirra er að halda ákveðnum stærðum innan stilltra marka, sem dæmi má nefna spennustilla.

### 5. Hjálparliðar

Þeir vinna eftir að boð hafa borist frá öðrum liðum, s.s. tímaliða, sjálfhaldsliða, útleysiliða o.s.v. frv.

Við hönnun liðaverndar eru eftirfarandi atriði mikilvægust:

- Áreiðanleiki varnar sé mikill, þ.e. að vörnin vinni rétt þegar þörf er á.
- Öryggi varnar sé mikið, þannig að ekki komi til ónauðsynlegrar útleysingar.
- Valvísi sé mikil, þannig að einungis hin bilaða eining sé leyst út.
- Vörnin sé fljótvirk, þannig að bilanatíma og sköðum sé haldið í lágmarki.
- Vörnin sé einföld, þannig að búnaði sé haldið í lágmarki.
- Vörnin sé ódýr, þannig að kostnaði sé haldið niðri.

---

## Háspennukerfið

---

### Útfærsla liðavarna

Útfærsla liðaverndar er mjög fjölbreytileg og ræðst af aðstæðum og kröfum á hverjum tíma.

Fullt yfirlit þarf að vera yfir eftirtalin atriði verður að fást ef tryggja á viðunandi svörun liðaverndar.

- Gerð raforkukerfis.

- Núverandi vörn og galla hennar.

-Hve langt skal ganga í vörn einstakra hluta kerfisins.

- Hvernig rekstri kerfisins er háttáð.

- Áætlanir um nýbyggingar í kerfinu.

-Skammhlaupsstrauma kerfisins og þróun mesta álags.

-Staðsetningu, stærð og umsetningu allra mæla-spenna.

- Viðnámsgildi allra lína, spenna rafala o.sv.fr.v.

Af þessari upptalningu má ljóst vera að liðavernd nær til allra þátta raforkukerfisins.

---

## Háspennukerfið

---

### 6.2 Bilanir

Veitukerfi rafmagns er samsett úr mörgum þáttum, s.s. rafölum, spennum, loftlínunum, jarðköplum og rofabúnaði. Verði bilanir í einhverjum þessara þátta valda þær rekstrar-truflunum í lengri eða skemmri tíma. Með liðavarnarbúnaði má stytta þennan tíma og minnka skaðann sem ella gæti orðið á búnaði kerfisins. Liðavarnir geta aðgreint hinar ýmsu bilanir og brugðist við þeim á viðeigandi hátt.

Bilun er viðamikilið hugtak og getur meðal annars falið í sér afleiðingarrangrar stjórnunar (mannlegra mistaka við stjórnun) og hinsvegar vegna galla sem koma geta fram í búnaði við ýmsar aðstæður og / eða vegna slits á búnaði. Í eftirfarandi kafla verður einungis fjallað um varnir gegn því síðarnefnda.

Ógerlegt er að telja upp allar hugsanlegar bilanir sem fyrir geta komið í háspennukerfi, en hér á landi eru orsakir helstar þær að ísing og/eða selta hleðst á flutningslínur og búnað í tengivirkjum. Hér á eftir verður minnst á helstu flokka bilana.

## Háspennukerfið

### Skammhlaup

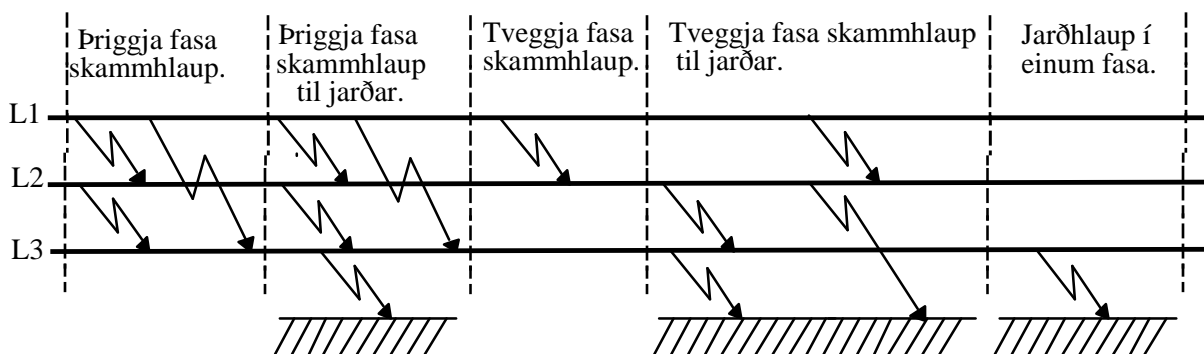
Skammhlaup nefnist það ástand þegar óeðlilega lítið viðnám verður í rafkerfi, annarsvegar á milli fasanna, eða hinsvegar á milli fasa og jarðskauts.

Verði skammhlaup milli tveggja eða þriggja fasa verður styrkur skammhlaupsstraums í réttu hlutfalli við það "skammhlaupsafl" sem er í kerfinu á viðkomandi bilunarstað. Slík bilun veldur oftast mjög háum skammhlaups-straumi. Styrkur skammhlaupsstraums milli eins fasa og jarðskauts er hinsvegar háður byggingu kerfisins.

Ef kerfið er jarðtengt (0-kerfi) verður skammhlaupsstraumurinn  $\sqrt{3}$  sinnum minni en skammhlaupsstraumur milli fasa. Sé kerfið hinsvegar einangrað frá jörð (fljótandi) eða jarðtengt í gegnum spólu verður skammhlaupsstraumurinn sjaldnast yfir 100A.

Skammhlaupstraumur til jarðar getur spanað spennu í nærliggjandi línur og þannig valdið skemmdum á símakerfi t.d.

Á mynd 6.3 má sjá hvernig skammhlaup getur orðið á ýmsa mismunandi vegu í þriggja fasa loftlínu.



Mynd 6.3

---

## Háspennukerfið

---

**Leiðnirof**

Leiðnirof lýsir sér í mörgum tilfellum sem óendanlega stórt viðnám hafi raðtengst viðkomandi fasa eða fösum. Bilunin getur t.d. verið slit á leiðara eða bilun í tengi- eða rofabúnaði.

**Bilun í vöfum**

Í vöfum rafala, spenna og spóla geta komið fram bæði skammhlaup og leiðnirof auk útleiðslu. Á mynd 6.4 eru sýnd dæmi um bilanir í vöfum.

---

## Háspennukerfið

---

### 6.3 Varnarliðar

Varnarliðar í háspennuvirkjum hérlendis eru af mörgum gerðum og aldur þeirra spannar allt tímabil rafvæðingar.

Liði er í raun stillanlegt mælitæki með sambyggðum rofa sem er hannað til þess að bregðast við ef einhver rafmagnsleg stærð fer yfir eða undir innstillt hámarks- eða lágmarksgildi.

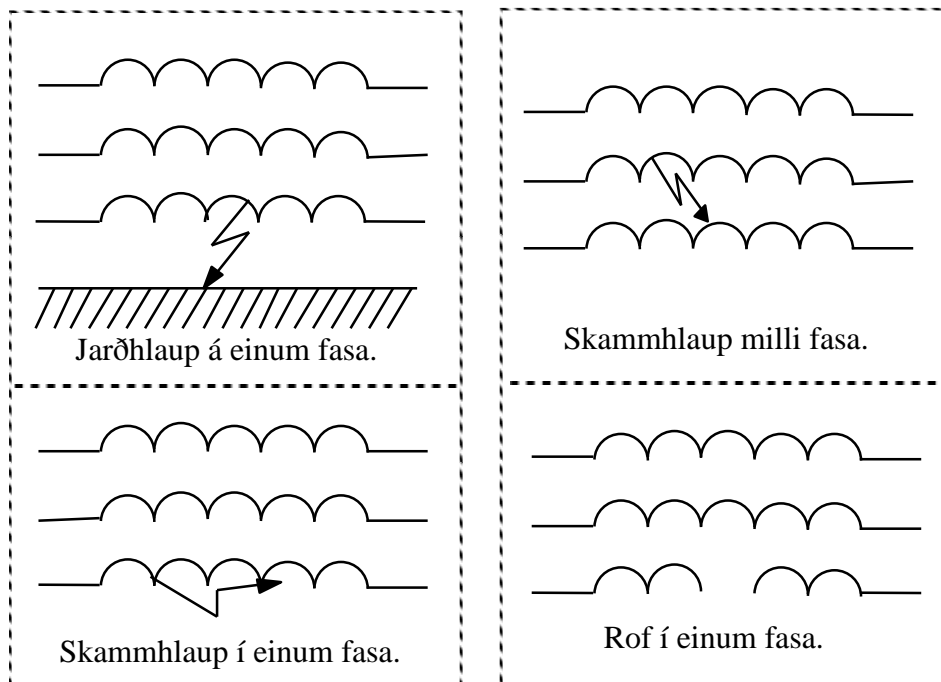
Ekki er raunhæft að fjalla hér um einstakar gerðir liða því tegundir eru margar, en setja má liða í nokkra flokka eftir mælivirkni þeirra:

- a. Bifjárnsliðar,      b. Bifspóluliðar,
- c. Spanliðar              d. Hitavirkir liðar,
- e. Mótorvirkir liðar, f. Vélvirkir liðar,
- g. Segulvirkir liðar.

Nýjustu gerðir liða byggja á hálfleiðaratækni og nefnast á ensku einu nafni "static relays". Þessir liðar hafa ýmist enga hreyfanlega íhluti, eða einungis segulliða í útgangi. Þar sem þessi búnaður tekur miklu minna rými heldur en eldri gerðir, er mögulegt að byggja saman í einingu þá liða sem eiga að vernda einhvern ákveðinn hluta kerfis, t.d. rafalavörn, vörn fyrir spennu, safnteina, línur o.s.v fr.v. Einingunum er síðan raðað saman í þar til gerða skápa.

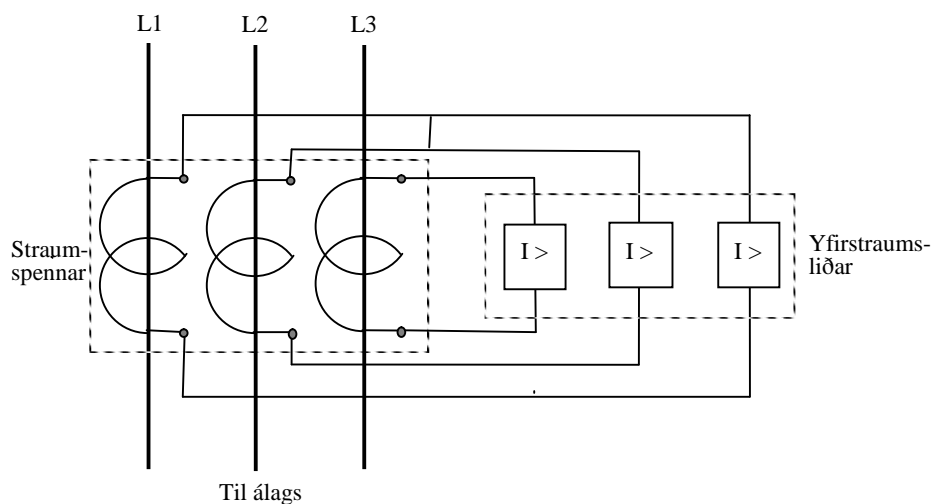
Þessa liða má tengja við tölvu í gegnum "gátt" sem breytir merkjum í tölvutækt form og einnig inn á gátt (modem) fyrir síma eða fjarskiptakerfi.

## Háspennukerfið



## Yfirstraumsliðar

Hlutverk yfirstraumsliða getur verið að gefa aðvörun við ákveðið straumgildi og gefa boð um rof með aflrofa við hærra straumgildi. Skynjunarþáttur liðans eru straumspennar á einum, tveimur eða þremur fösum. Sjá mynd 6.5.



Mynd 6.5

---

## Háspennukerfið

---

Yfirstraumar geta orsakast af yfirálagi, jarðhlaupi eða skammhlaupi. Stafi yfirstraumurinn af of miklu álagi er venjulega einhver töf á aðgerð (með tímaliða), þannig er komist hjá óþarfa aðvörun eða útleysingu ef um skammtíma yfirstraum er að ræða. Þegar um skammhlaup er að ræða er aðgerð hinsvegar tafarlaus.

Í löngum raflínumgetur skammhlaupsstraumur í sumum tilfellum verið af svipaðri stærðargráðu og mesti álagsstraumur. Þetta getur gerst þegar skammhlaup á sér stað á raflínum í mikilli fjarlægð frá yfirstraumsliðanum. Í slíkum tilfellum er því yfirstraumsliði gagnslaus, en hinsvegar myndi svokallaður fjarlægðarliði skynja viðnámsminnkun á línunni og leysa út. Fjallað er um fjarlægðaliða fyrir raflínur hér síðar í kaflanum.

Algengt er að framleiðendur sambyggi yfirstraumsvarnir og á mynd 6.6 er ein slík af gerðinni Strömberg ABB.

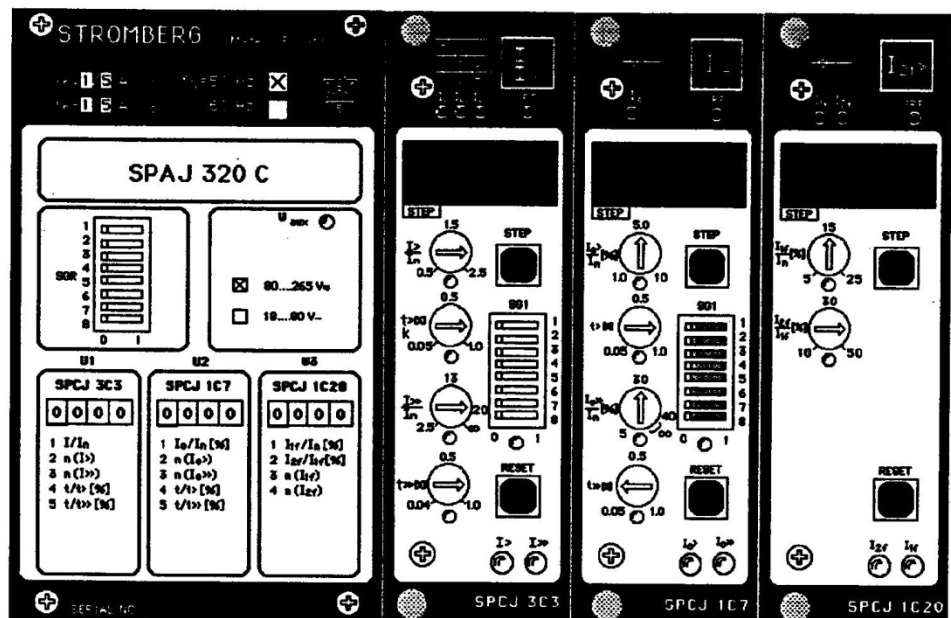
Raflíðarnir eru staðsettir í einingunni yst til vinstri (SPAJ 320 C) og inn á þá einingu eru straumspennarnir tengdir. Útgangsmérkin fara einnig frá þessari einingu inn á gaum og viðkomandi rofa.



## Háspennukerfið

Einingin SPCJ 3C3 er skynjunar- og stillibúnaður fyrir yfirstraums- og skammhlaupsvörn og inniheldur:

- yfirstraumsstillingu ( $I>$ ) ásamt stillingu á útleysitíma.
- Skammhlaupsstraumsstillingu ( $I>>$ ) ásamt stillingu á útleysitíma.
- Stafrænan upplýsingabúnað (digital display) sem sýnir stillingar og tímasetningu ef vörnin hefur unnið.
- stöðuga "sjálfsathugun" á hugbúnaði og vélbúnaði.



MYND 6.6

---

## Háspennukerfið

---

Einingin SPCJ 1C7 er skynjunar- og stillibúnaður fyrir jarðhlaupsvörn og hefur sömu uppbyggingu og SPCJ 3C3.

Einingin SPCJ 1C20 er skynjunar- og stillibúnaður fyrir vörn sem skynjar hlutfall straums á yfirtíðni (100 Hz).

Mynd 6.7 er straumrásir í einingunni SPAJ 320 C ásamt tengingu við ytri búnað s.s. straumspenna, jafnspennugjafa, gaumbúnað og aflrofa. Búnaðurinn er í þessu tilfalli vörn fyrir Y/Y-tengdan spenni.

Straumspennar eru á öllum fösum að spenninum og einnig á jarðtengingu núllskauts og þeir tengjast inn á einingu U6 sem eru innbyggðir straumspennar sem færa strauminn örfá milliamper.

Frá einingu U6 fer viðkomandi merki áfram sem hlutfallsleg jafnspenna inn á stilli- og skynjunarþættina U1, U2 og U3.

Eining U1 er fyrir yfirstraum ( $I_{>}$ ) og skammhlaupstraum ( $I_{>>}$ ) milli fasa.

Eining U2 er fyrir yfirstraum ( $I_{>}$ ) og skammhlaupstraum ( $I_{>>}$ ) til jarðar.

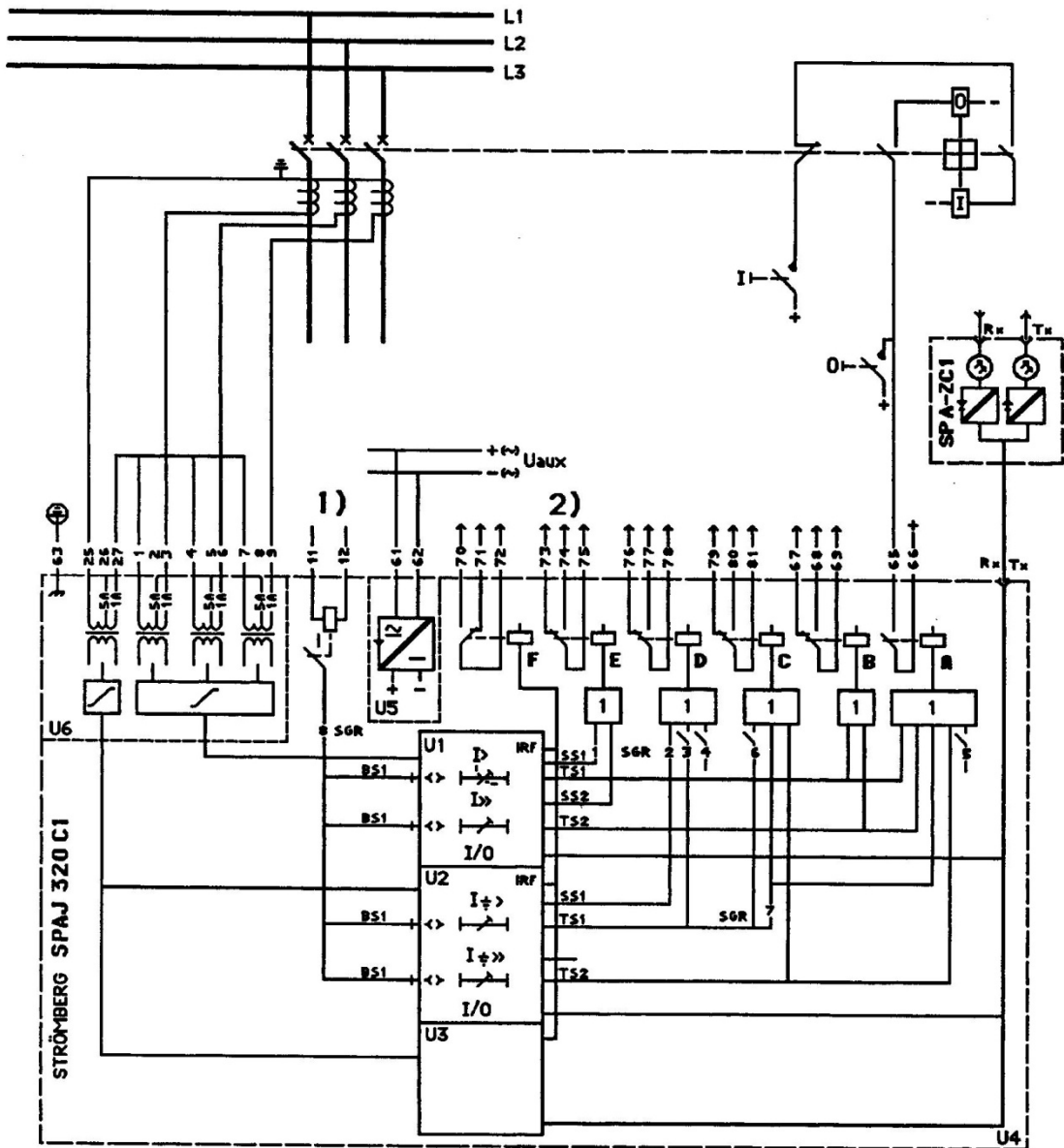
Eining U3 er fyrir straum með tvöfalda tíðni ( $I_{2f}$ ).

Eining U5 er jafnspennugjafi fyrir vinnslu búnaðarins.

Einingar merktar 1 breyta útmerkjum í vinnuspennu rafliða.

Einingar A-F eru rafliðar. Búnaður SPA-ZC1 breytir útmerkjum í ljósmerki fyrir ljósleiðaralagnir.

### Háspennukerfið

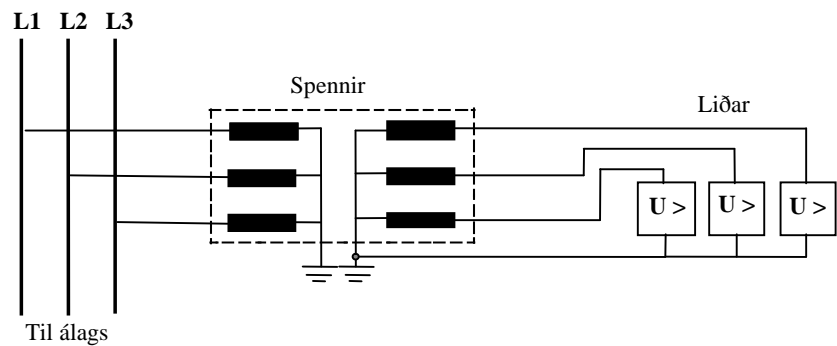


MYND 6.7

## Háspennukerfið

### Yfirspennuliðar

Til þess að fylgjast með spennuhæð og halda henni innan ákveðinna marka, eru notaðir yfirspennuliðar. Hér er átt við spennu sem getur orsakast af ýmsum ástæðum í raf-kerfinu. Yfirspenna sem orsakast af eldingum er hinsvegar leidd til jarðar með svokölluðum eldingavörum. Mynd 6.8 sýnir yfirspennuliða ásamt spennni. Mælaspennar eru venjulega einsfasa og eftirvafsspenna um 100V eða lægri.

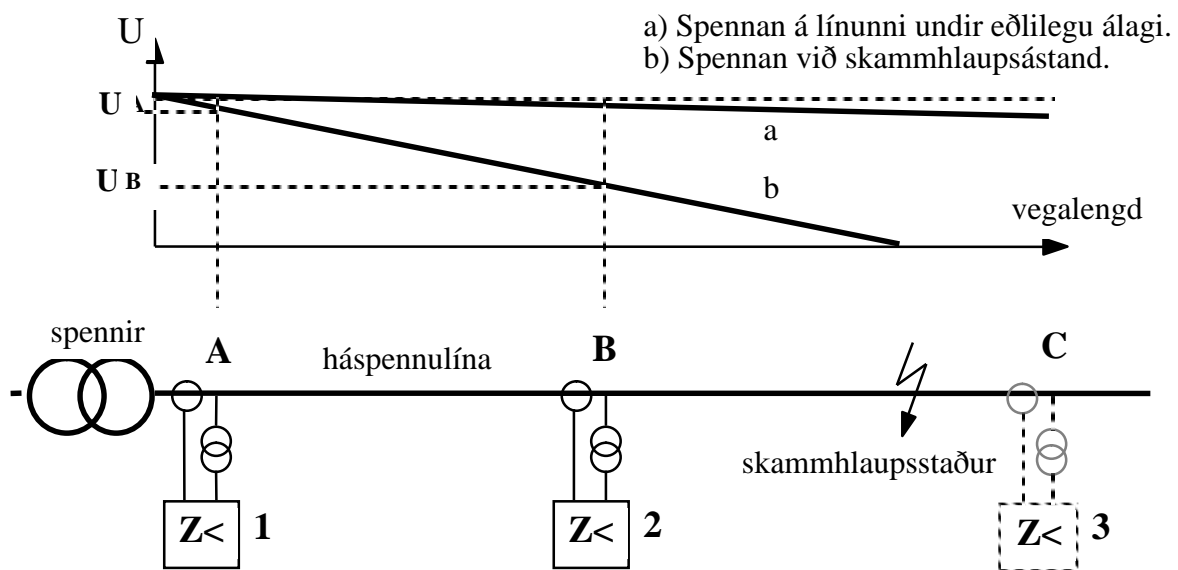


Mynd 6.8

## Háspennukerfið

### Fjarlægðaliðar (differential relays)

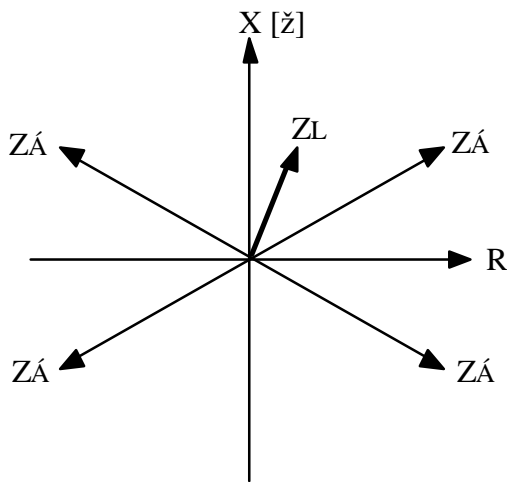
Fjarlægðaliðar eru staðsettir í aflstöðvum og tengivirkjum háspennulína og eru mjög þýðingarmikill liður í varnar-búnaði háspennudreifikerfa. Þeir mæla í raun spennu og straum á mælingarstað og bera saman. Virkni þeirra er hinsvegar í hlutfalli við það sýndarviðnám sem er á mælingarstað ( $Z = U / I$ ) og bera saman við eðlilegt gildi.



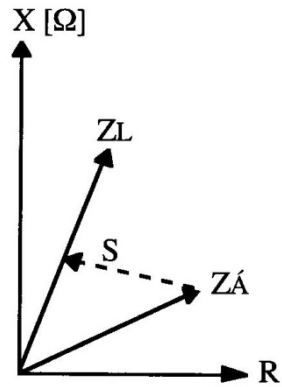
Mynd 6.9

Sýndarviðnámið sem fjarlægðarliðinn mælir við eðlilegt álag má til aðgreiningar merkja með  $Z_A$ . Mismunurinn á sýndarviðnáminu ( $Z_A$ ) á mælingarstöðunum A og B á mynd 6.9, er í samræmi við viðnám leiðarans á milli þessara mælistaða.  $Z_A$  er í beinu hlutfalli við spennuna á mælistöðunum, þar sem liðarnir mæla í raun sama strauminn.

Háspennukerfið

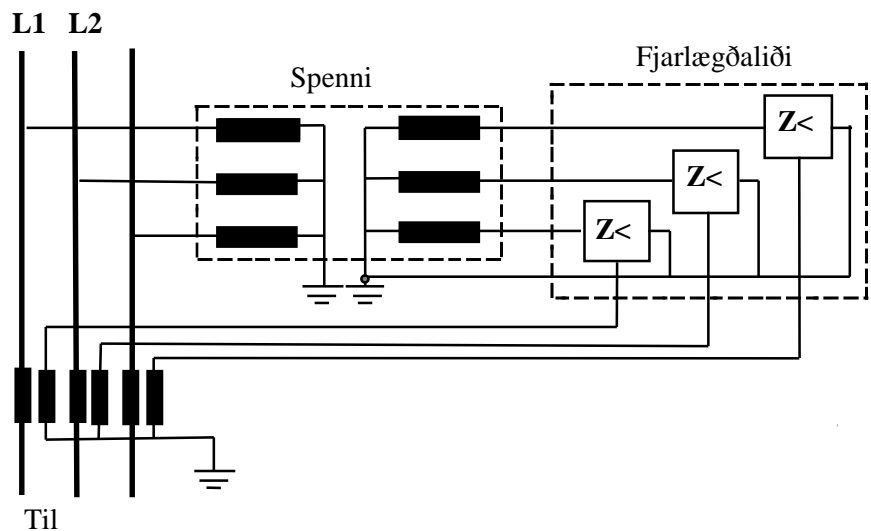


Mynd 6.10



Mynd 6.11

Ef sýndarviðnámið ( $Z_A$ ) er sett inní viðnámsvektoramynd þar sem launviðnámið ( $X$ ) er í lóðhnit og raunviðnámið ( $R$ ) í láhnit, getur það í raun legið í einhverjum hinna fjögurra 90 gráða geira, hugsanlega líkt og sjá má á mynd 6.10. Þetta ræðst af raun- og launálagi, auk stefnu aflflutningsins eftir línunni.  $Z_L$ -vektorinn táknar sýndarviðnám leiðarans.



Mynd 6.12

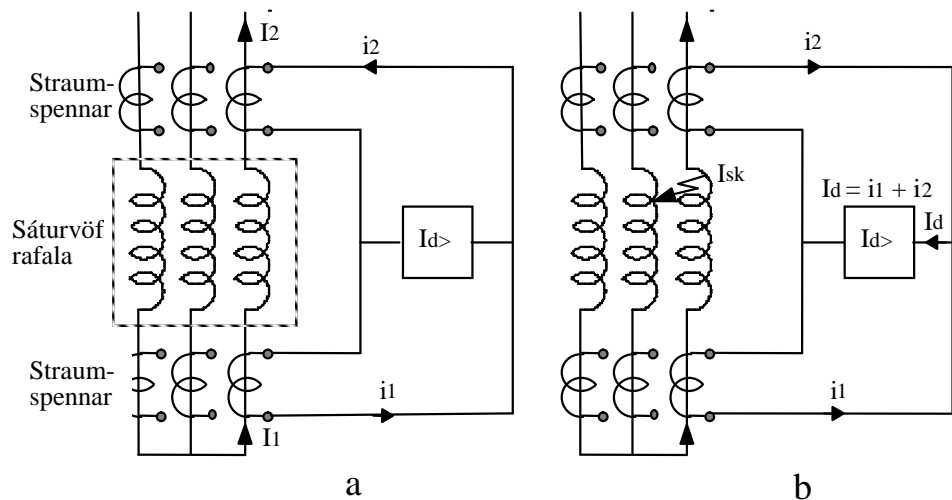
## Háspennukerfið

Ef skammhlaup verður á línu milli mælingarstaðanna B og C mun sýndarviðnámið sem fjarlægðaliðarnir 1 og 2 munu skynja ráðast af spennunni á mælingarstað og skammhlaupsstraumnum. Ef sami skammhlaupsstraumur fer í gegnum báða liðana, mun liði 2 mæla viðnámið frá B til skammhlaupsstaðar (S), en liði 1 frá A til S. Sýndarviðnámið sem mælist af liða 2 getur t.d. verið í líkingu við það sem táknað er með vektoramynd (mynd 6.11).

Mismunur sá sem mælist á sýndarviðnámi á mælingar-stöðunum A og B er nýttur til þess að framkalla mismunandi útleysitíma aflrofanna og verður tíminn þannig í samhengi við viðnámið. Með þessu móti má ná fram raðútleysingu, þannig að sá rofi leysir fyrst út sem er næstur skammhlaupsstað.

### Mismunastraumslíði

Mismunastraumslíðar eru notaðir til þess að verja ákveðna kerfishluta t.d. rafala og spenna. Þeir byggja á fyrsta lög-máli Kirchoffs þ.e. að summa þeirra strauma sem koma að og fara frá ákveðnum mælipunkti sé á hverjum tíma jafnt og núll. Mynd 6.13 sýnir tengingu yfirstraumslíða við rafala í virkjun.



Mynd 6.13

---

## Háspennukerfið

---

Við eðlilegar aðstæður eru straumarnir  $I_1$  og  $I_2$  jafnstórir og þar af leiðandi straumarnir  $i_1$  og  $i_2$  í eftirvöfum straumspennanna, sem þýðir að enginn straumur fer um rafliðann ( $I_d$ ) eins og sýnt er á mynd 6.13a.

Ef leki eða skammhlaup verður milli vafa í rafalum (mynd b) verður  $I_{sk} = I_1 + I_2$ , þá lækkar straumurinn  $i_2$  og/eða skiptir um stefnu miðað við  $i_1$ .

Mismunastraumurinn ( $i_1 + i_2$ ) fer þá um rafliðann sem leysir út aflrofa rafalans.

Þegar mismunastraumslíðar eru notaðir við spenna krefst það að notaðir séu straumspennar með mismunandi breytihlutfalli, við for- og eftirvaf, sem sagt í hlutfalli við breytihlutfall viðkomandi spennis.

Við ræsingu spennis getur myndast hár straumtoppur í eftirvafi hans (þeim vöfum sem tengjast álagi). Þennan straumtopp skynjar liðinn sem mismunastraum.

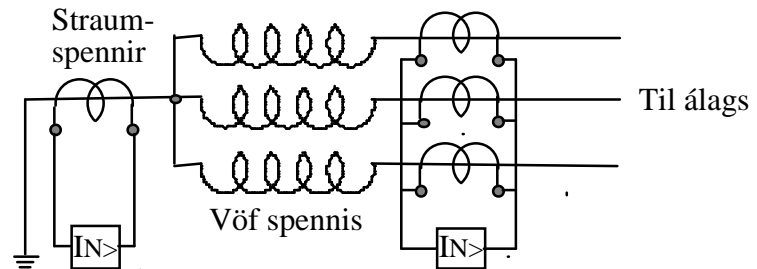
Hægt er að nýta þær yfirtíðnisveiflur sem alltaf myndast við ræsingu og sem sljógga næmni liðans, til þess að koma í veg fyrir útleysingu.



## Háspennukerfið

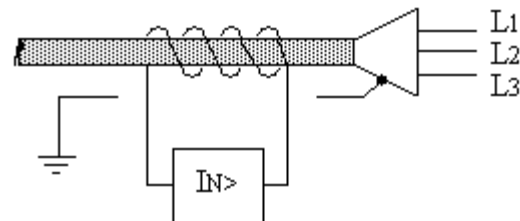
### Summustraumslíði

Í þriggja fasa kerfi verður summa fasastraumanna jafnt og núll þegar engin bilun (leki) er í kerfinu. Mæling á summu fasastrauma er gerð með tengingu þriggja straumspenna eins og mynd 6.14 sýnir.



Mynd 6.14

Mæliskekkjur geta orðið vegna mismunar breytihlutfalls eða fasviks í straumspennunum, sem orsakað gæti summustraumsmælingu þrátt fyrir forvafsstraumur straumspennanna sé raunverulega núll. Ef þetta vandamál verður fyrir hendi er sá möguleiki að nota aðeins einn straumspenni til að mæla summustrauminn. Þennan straumspenni má kalla kapalstraumspenni. Sjá mynd 6.15.



Mynd 6.15

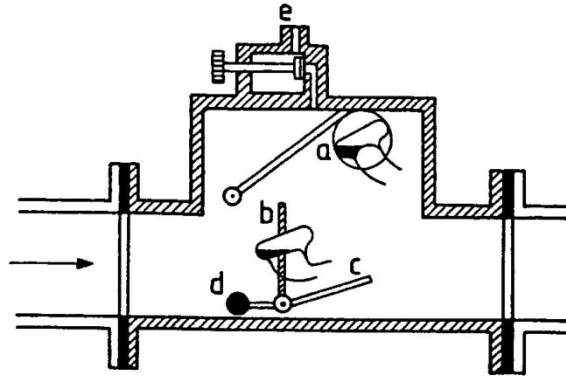
Ef kapalmúffan er jarðtengd verður jarðleiðirinn að liggja í gegnum straumspenninn og mælingin verður þannig af fasastraumum, skermi kapalsins og jarðleiðaranum.

## Háspennukerfið

### Gasliði (Buchholz-liði)

Ef kæliolía spennis hitnar myndast gas sem stígur upp og fer þá um rörið sem tengir spennistank og fæðitank. Verði einangrunarbilun í vafi spennis getur myndast ljósbogur á bilunarstað þótt í smáu sé, sem orsakar gasmyndun í spennisolífunni. Einangrunarbilunin getur verið óveruleg í byrjun en ef hún nær að breiðast út getur það leitt til skammhlaups milli vafa og / eða jarðhlaups, sem eyðileggur vöfin, eða í versta tilfalli valdið sprengingu.

Fyrirnefnda gasmyndun er hægt að nýta til þess að koma í veg fyrir að stórskaði eigi sér stað.



Mynd 6.16

Svonefndur gasliði (Buchholz-) er staðsettur á olúfæði rörinu milli spennistanks og þrýstitanks. Sjá mynd 6.16. Gasið stígur upp í gegnum fæðirörið og safnast efst í liðann. Við það eykst þrýstingur á olúflötinn í liðanum og hann lækkar. Flothylki a í liðanum lækkar einnig og í ákveðinni stöðu tengir kvikasilfursrofinn sem er áfastur flothylkinu aðvörun.

Við meiriháttar gasmyndun mun olían þrýstast í gegnum rörið og velta spjaldi b til hægri, armur c slær niður og mótvægið d lyftist. Kvikasilfursrofinn, sem er áfastur spjaldi b, tengir og orsakar útleysingu aflrofa.

---

## Háspennukerfið

---

Flothykið a getur einnig þrýst á arminn c og orsakað þannig útleysingu. Þetta getur gerst ef t.d. aðvörun er ekki svarað, eða ef leki hefur komið að spennistankinum.

Gas safnast saman við ventilinn e og er hægt að notfæra sér það til sýnatöku, einnig er hægt að dæla lofti inn um ventilinn til þess að prófa virkni liðans.

---

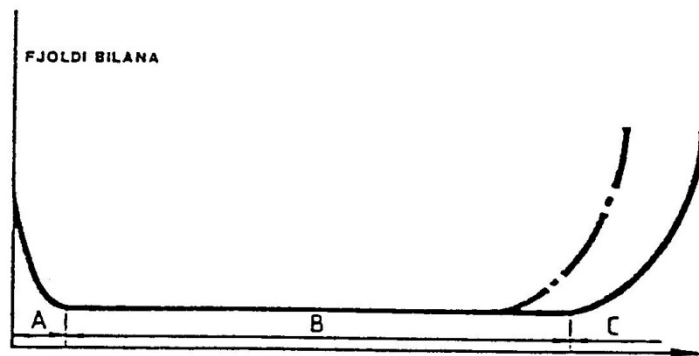
## Háspennukerfið

---

### 6.4 Rafalavarnir

#### Algengustu bilanir í rafölum

Hér fremst í kaflanum var rætt um bilanir í háspennukerfum almennt, en það gildir um rafala sem og annan búnað virkjana að bilanir eru óhjákvæmilegar. Bilanir á rafölum í orkuverum fara gjarnan eftir svokölluðum "baðkersferli". Sjá mynd 6.17.



Mynd 6.17

Á svæði A í ferlinum er helst um að ræða svokallaða "barnasjúkdóma" sem ráðast öðru fremur af:

- Hönnun
- Framleiðslu
- Samsetningu / frágangi

Svæði B er svo til laust við bilanir en lengd þessa tímabils ræðst öðru fremur af:

- Rekstrarmáta ( samfelldur / slitróttur)
- Umhverfi
- Viðhaldi
- Bilunum

Á svæði C byrjar öldrun að ráða bilanatíðninni, sem ræðst fyrst og fremst af því hvernig rekstrinum var háttað á svæði B.

---

## Háspennukerfið

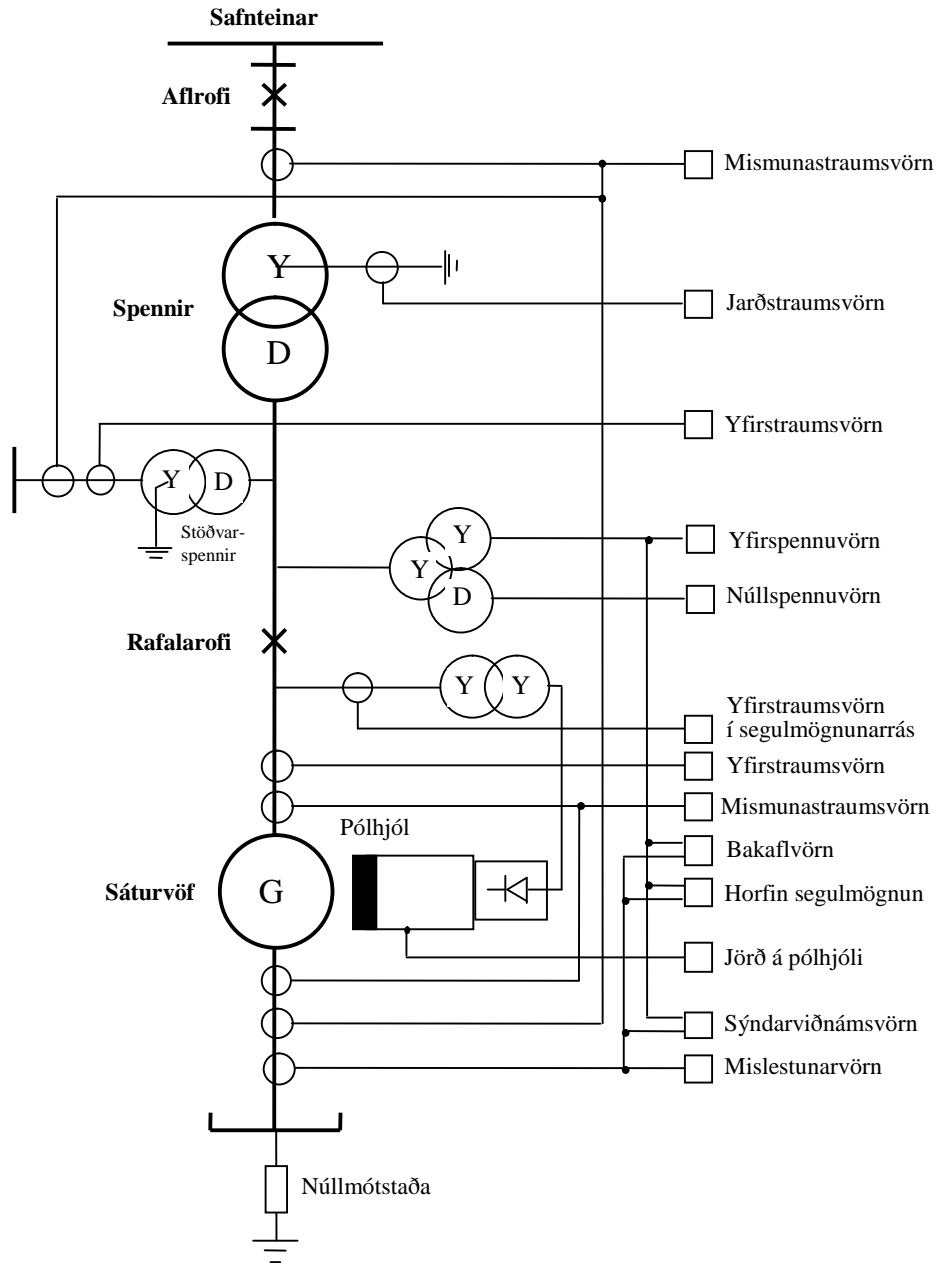
---

Sáturvöf rafala er sá hluti hans sem hefur hæsta bilanatíðni. Þar ræðst bilanatíðnin helst af öldrun einangrunarefnanna. Þetta á við um þá rafala sem teknir voru í notkun fyrir nokkrum áratugum. Á þeim tíma voru eingöngu lífræn efni notuð til einangrunar s.s. baðmull, pappír, og lífræn lökk sem standast illa öldrun.

Það sem hefur langmest áhrif á niðurbrot einangrunarinnar er varmamyndun vegna yfirálags, bilun í kælikerfi, gagn-sviðsstraumar og úrhleðslur í holrúmum í efnanna.

## Háspennukerfið

### Blokkarvör í virkjun.



Mynd 6.18

---

## Háspennukerfið

---

Af þessu má sjá að óvarlegt er að yfirlesta eldri rafala. Með tilkomu nýrra efna og gegndreypingar hafa líkur á bilunum vegna öldrunar minnkað.

Helstu bilanir í rafölum og tilheyrandi búnaði í raforkuverum eru:

- Skammhlaup og jarðhlaup og yfirálag getur orðið í snúð og sátri rafala, vélarspenni, segulmögnunarspenni ásamt tilheyrandi búnaði og stöðvarnotkunarspenni.
- Skammhlaup og jarðhlaup getur orðið á skinum, rofum og tengingum.
- Titringur og bilun í legum rafala.
- Bilun í gangráð getur orsakað frávik á tíðni.
- Bilun í spennustilli getur orsakað yfirspennu.
- Missir segulmögnunar getur valdið skemmdum á rafala.
- Bakafli getur valdið skemmdum á drifhluta vélasamstæðu.
- Ýmsar kerfistrufanir geta valdið skemmdum á rafala.

---

## Háspennukerfið

---

### Jarðhlaup

Rafalar undir 1 MVA með 0,4 kV rekstrarspennu eru oftast án sérstakrar núllmótstöðu, en rafalar sem eru yfir 1 MVA að stærð og með hærri rekstrarspennu, hafa mótstöðu stað-setta milli núllpunkts og jarðar. Þeir hafa því hátt viðnám í núllpunkti sínum og eru bilanastraumar við jarðhlaup því eins og í "fljótandi kerfi".

Bilanastraumur við jarðhlaup er þá takmarkaður, eða innan við 10 A og veldur því sjaldnast skaða. Þó getur jarðhlaup sem stendur lengi á hitað sáturblikkið svo mikið að járnbruni eigi sér stað, en slík bilun er bæði erfið viðureignar og dýr í viðgerð. Margar bilanir í pólhjóli og sátri byrja sem sakleysis-leg jarðhlaup, sem síðar leiðir til skammhlaups.

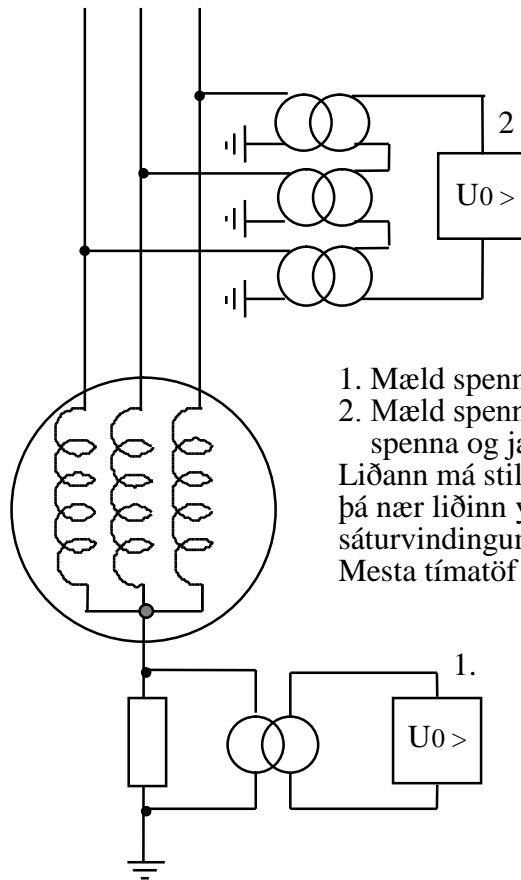
Við jarðhlaup einhversstaðar í sátrinu kemur fram spenna yfir núllpunktsmótstöðuna. Spennugildið ræðst af staðsetningu jarðhlaupsins og bilanaviðnáminu. Það getur verið frá 0 voltum til fullrar fasaspennu til jarðar og hækkar því nær sem bilunin er úttakinu.

Jarðhlaupsvörn á að verja sáturvöf rafalans og tengdan búnað skemmdum. Þessi búnaður getur verið forvaf spennis, segulmögnunarspennir eða aflrofi rafalans.

Sjá mynd 6.19. Jarðhlaupsliðar eru gjarnan í sambyggðum einingum ásamt yfirstraums- og skammhlaupsliðum sem fjallað var um á bls. 3 - 4 framar í kaflanum.



## Háspennukerfið



Mynd 6.19

---

## Háspennukerfið

---

### Dæmi 6.1 Núllpunktstenging með spenni.

Rafali : Málafl 81,5 MVA

Málspena 13,8 kV

Mesta spenna 18,0 kV

Rýmd 0,22  $\mu\text{F}$

Spennir: Umsetning 220 / 13,8 kV, Rýmd 0,006  $\mu\text{F}$

Rýmd: Rafali 0.220  $\mu\text{F}$

Spennir 0,006  $\mu\text{F}$

Skinnur 0,001  $\mu\text{F}$

Samtals: 0,227  $\mu\text{F}$

Rýmdin verður eitthvað hærri ef strengur er notaður milli rafala og spennis. Einnig þarf að taka tillit til eldingavara og yfirspennu-þétta ef þeir eru til staðar.

Heildarrýmd:  $C_0 = 3C = 0,681 \mu\text{F}$

Sýndarviðnám:

$$Z_c = \frac{1}{j\omega \cdot C_0} = \frac{10^6}{j314 \cdot 0,681} = 4680 \Omega$$

Núllviðnámið er valið jafnt þessu gildi.

Jarðhlaupsstraumur verður þá við bilun við úttak:

$$I_j R = 13,8 \times 10^3 / \sqrt{3} \cdot 4680 = 1,7 \text{ A}$$

Heildarjarðhlaupsstraumur verður þá:

$$I_j = 1,7 + j_L \cdot 1,7 = 2,4 \text{ A}$$

## Háspennukerfið

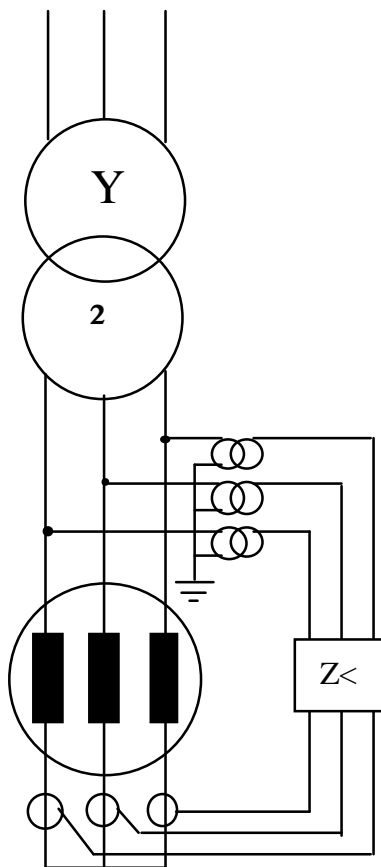
Enginn straumur fer um núllmótstöðuna nema þegar jarðhlaup verður í rafalanum og þegar það gerist stendur hann aðeins í stutta stund.

Algengt er að reikna með 30% spennuhækkun við jarðhlaup, sem eykur þá jarðhlaupsstrauminn að sama skapi. Sýndarafl spennisins má reikna á eftirfarandi hátt:

$$S = (10,4 / 8) \cdot 1,7 \cdot 10,4 = \mathbf{22,9 \text{ kVA}}$$

Algengast er að nota hefðbundna dreifispenna til tengingar í núllpunktinum. Þar sem straumurinn stendur aðeins í stutta stund er hann yfirlestaður verulega. Stærð á bilinu 6-10 kVA er því algengust.

### Sýndarviðnámsvörn



Mynd 6.20

Sýndarviðnámsvörn er varavörn gagnvart skammhlaupi í rafölum, aflspennum og skinnum á milli þeirra. Yfirleitt er vörnin með einu þrepi, en í sumum tilvikum getur verið æskilegt að hafa tvö þrep. Liðinn er tengdur straumspennum við núllpunktinn og spennuspennum á milli rafala og spennis, sjá mynd 6.20. Straumspennarnir eru staðsettir þarna vegna þess að skammhlaup hvar sem er í sátrinu mælast þá. Væru straumspennarnir staðsettir við úttak rafalans, væri mæling skammhlaupsstrauma háð innmötun frá raforkukerfinu.

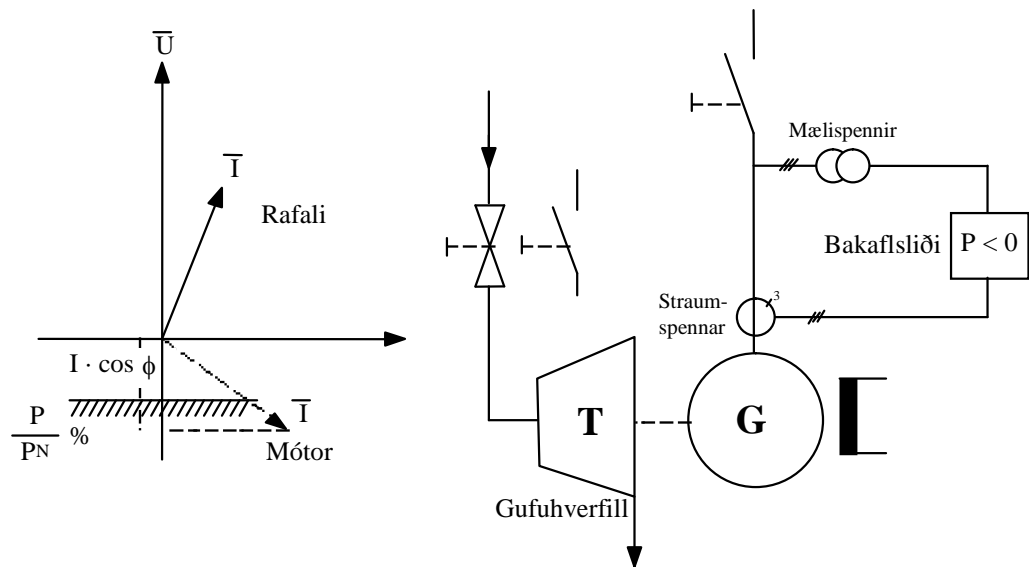
Þessi tengimáti þýðir að hinn mældi straumur við bilun í sátrinu verður ekki samstæður spennunni sem mælist á rafalaúttakinu. Þetta á bæði við hlutfallið milli straums og spennu og fasvikið.

Undirviðnámsvörnin er fyrst og fremst notuð sem varavörn fyrir mismunastraumsvörnina og því er útleysing hennar oftast seinkuð til þess að tryggja valvísni.

## Háspennukerfið

### Bakflsvörn

Þessi vörn er fyrir hverfilinn en ekki rafalann, enda er honum ekki hættu búinn nema við langvarandi bakflsrekstur þ.e. í margar klukkustundir. Afleiðing bakflsrekstrar er öðru fremur yfirhiti (vegna skertrar kælingar), yfirhraði (við lokun á loku), útleysing á rofa og kraftrænni áraun (hverfill snýst í hálfótómum snigli).



Mynd 6.21

Vatnshverflar geta orðið fyrir tæringarskemmdum (cavitation) þegar þeir snúast í litlu vatni. Þetta á jafnt við um Kaplan- og Francisshverfla. Einnig myndast titringur við slíka keyrslu. Annað atriði sem skiptir miklu máli er sú staðreynd að kælivatn rafalans er yfirleitt tekið frá sniglinum eða frá-vatninu. Þetta hefur það í för með sér að hitastig kælivatnsins hækkar þegar hverfillinn hrærir í vatninu.

---

## Háspennukerfið

---

Gufuhverflar geta hitnað verulega þegar tekið er fyrir gufu-streymi hverfilsins þar sem gufan, þó heit sé hefur viss kæli-áhrif á hverfilinn. Hitaaukning getur líka orðið veruleg ef gufa lokast inni í hverflinum þegar lokað er fyrir gufu-streymið.

Bakafl verður þegar aðstreymi vatns eða gufu verður ekki nægjanlegt til þess að standa undir töpum vélasamstæðunnar. Verður þá rafalinn að taka afl frá netinu til þess að halda snúningshraða réttum.

Við samfösun getur það átt sér stað að vél fari í bakafl ef hún er á undirhraða þegar rofinn tengir. Einnig geta aflsveiflur rafala orsakað bakafl á meðan sveiflur eiga sér stað gagnvart netinu. Í þessum tilvikum er ekki æskilegt að bakaflsvörnin vinni og er hægt að tryggja það með því að raðtengja snertu liðans við snertu í hverfilslokanum.

Hægt er að notfæra sér bakaflsvörn til þess að leysa út aflrofa rafala með því að loka fyrir aðstreymi vatns eða gufu. Þetta tryggir að vélin verði álagslaus og kemur í veg fyrir að vélin fari á yfirsnúning. Er þetta oft kallað mjúk stöðvun.

Á mynd 6.21 má sjá að straumbeindin er í fyrsta fjórðungi þegar rafallinn er í eðlilegum rekstri, en við bakafl færirst straumbeindin í þriðja fjórðung.

Stilling bakaflsvarnar fyrir vatnshverfil er 1 - 3% af raunafli samstæðunnar, en við gufuhverfil er það 2 - 4%.

## Háspennukerfið

### Mettunarvörn

Yfirsegulmögnunarvörn er vörn rafala og vélarspennis gegn yfirhitun af auknu segulflæði. Slíkt ástand skapast einkum af eftirtöldum atriðum:

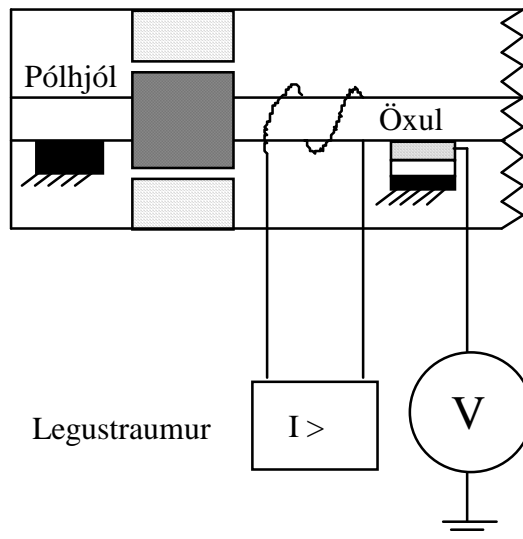
- við máltíðni og yfirspennu.
- við málsennu og undirtíðni.

$$M = f (U / f) \text{ V/Hz}$$

Yfirhitun getur átt sér stað bæði í rafölum og spennum vegna aukinna járantapa. Mjög mikil mettnun í spennum getur aukið segulmögnunarstrauminn nægjanlega til þess að mismunastraumsvörninn vinni. Rétt er að hafa útleysingu tafða svo yfirspennu- eða undirtíðnivörn fái tækifæri til þess að vinna valvíst áður.

### Legustraumsvörn

Ein helsta ástæðan til þess að legustraumar myndast í öxli snúðsins er ójafnvægi í segulmögnun.



Mynd 6.22

---

## Háspennukerfið

---

Viðnám snúðsins er mjög lítið jafnframt því að jarðbinding öxulsins, sem er í vatni hverfilsins, er mjög góð. Þetta þýðir að háir straumar geta myndast þótt spennan sé lág.

Nær öll spennan legst yfir olíufilmu legunnar þar sem viðnám hennar er hærra en öxulsins. Þegar slíkt gerist getur olían eyðilagst og legan brætt úr sér, komi ekki til útleysingar áður.

Leguspennan er breytileg eftir rekstrarástandi rafalans á hverjum tíma og ræðst einkum af eftirfarandi atriðum:

- Stærð rafalans.
- Fjölda pólpára.
- Rafalaspennu.
- Gerð vélar.

Yfirleitt er leguspenna hærra í rafölum sem hafa oddatölu pólpára. Leguspennan er yfirleitt hærra við lága rafalaspennu, einkum við ræsingu og stöðvun, en við tómgang við fulla spennu. Lægstar eru þessar spennur við fullt álag og mikla segulmögnun.

Vörnin er byggð úr straumspenni sem er utan um öxulinn og nænum yfirstraumsliða sem er í bakvafi spennisins. Stilli-gildið er aðeins nokkur mA. Ef einangrunin rofnar verður yfirsláttur í olíunni og fer þá straumur um spenninn og vörnin vinnur.

---

## Háspennukerfið

---

### Titringsvörn

Ójafnvægi á þeim hlutum vélasamstæðunnar sem snúast eða legubílanir geta orsakað verulegan titring.

Nánar geta orsakir verið eftirtaldar:

- vegna legubílanar.
- við skammhlaup í pólhjóli.
- þegar hluti snúðsins losnar.
- vegna ójafns loftbils.
- þegar aðskotahlutur kemst í hverfil.

Titringsvörnin hefur skynjara sem festir eru við legubúkkana og tengjast mælabúnaðinum. Reynslan af þessum búnaði hefur vægast sagt verið blendin. Við ójafnt álag, í ræsingu og við stöðvun, getur oft myndast titringur á ákveðnum snúningshraða sem orsakað getur útleysingu varnarinnar. Spanspennur í öxlinum geta einnig valdið óvalvísium útleysingum.

Titringsvör getur gefið mikilvægar upplýsingar um ástand vélasamstæðu og í mannlausum stöðvum er ákveðinn ávinningur að hafa slíka vörn. Sumar kraftrænar bílanir skynjast ekki á annan máta. Oft má merkja titringsstaði á því að þar myndast rústrauðir flekkir.

Þegar vörnin vinnur er nauðsynlegt að vélin fari á neyðar-stöðvun. Þetta þýðir að lokað er fyrir inntaksloka og bremsur eru settar á við 80% hraða. Er þetta yfirleitt gert þegar um kraftrænar bílanir er að ræða.



---

## Háspennukerfið

---

### Hitavarnir

Stillingar eru gerðar af framleiðanda enda ákvarðar hann hve mikinn hita einstakir vélarhlutar eiga að þola. Í rekstri kemur svo fram hve vinnuhitinn er hár og á grundvelli slíkra mælinga er hægt að fínstilla vörnina ef óskað er.

Eldri vélar hafa oft ekki viðnámshitamæla. Því verður að nota strauminn til þess að fylgjast með hitastiginu. Í flestum tilvikum er hitavörn eingöngu notuð til þess að gefa aðvörun, en í sumum tilvikum til útleysingar.

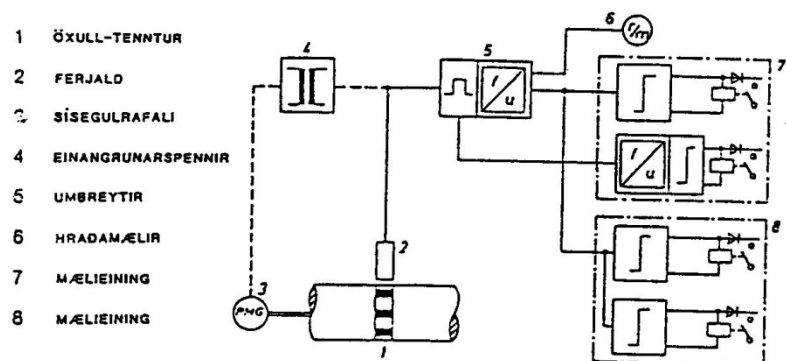
Algeng stilligildi eru:

Viðvörðun	Útleysing
Sátuvöf	100-105 105-120
Sáturkjarni	80- 85
Legur	65- 85 70- 85

## Háspennukerfið

### Hraðavörn

Mikilvægt er að fylgjast náið með hraða rafala svo ekki geti komið til yfirhraða sem getur haft mjög skaðvænleg áhrif. Hraðann má mæla með mælingu á tíðni eða snúningshraða. Á eldri vélum er algengt að nota sísegulrafala til þessarar mælingar. Tíðnimæling er yfirleitt nægjanleg á minni vélum. Á stærri vélum er hraðinn mældur með sísegulrafala sem tengdur er á öxulinn, eða sérstakri skífu, með skynjara tengdum rafeindaliða.



Mynd 6.23

Mynd 6.23 sýnir hraðamælibúnað. Sísegulrafalinn 3 fram-leiðir riðspennu og tíðni sem er línuleg við snúningshraðann. Einnig er kambskífa 1 notuð til þess að gefa púlsa sem rafeindabúnaðurinn telur á tímaeiningu.

Algengur rásunarhraði vélasamstæðna er:

Pelton vélar	$1,6 - 1,9 * n$
Kaplan vélar	$2,4 - 2,8 * n$
Francis vélar	$1,6 - 2,0 * n$
Launaflsvél	$1,0 * n$

Stilligildi útleysingar ræðst af framleiðanda.

## Háspennukerfið

Algengar hraðamælingar eru:

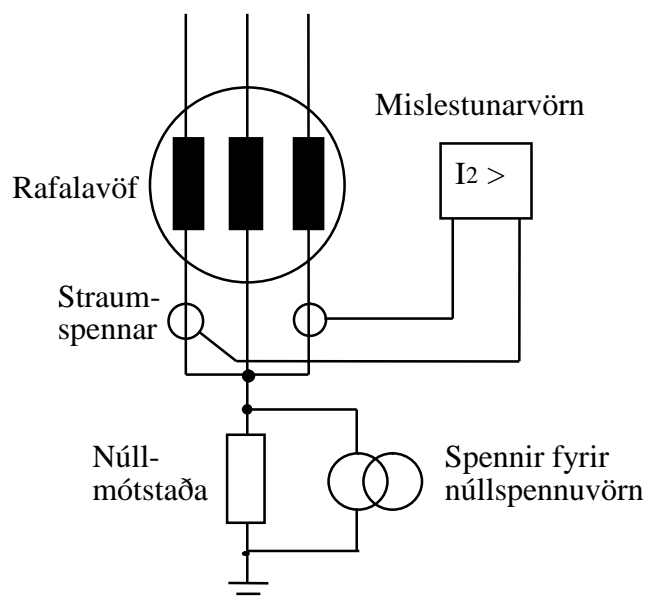
- 0,5% af n Skriðmæling.
- 15% af n Bremsur inn / leiðiskóflum lokað.
- 30% af n Opnunartakmörk sett á.
- 90% af n Segulmögnun inn.
- 150% af n Yfirhraðaútleysing.

### Mislestunaryörn

Mislestunaryörn er aðallega til þess að verja yfirborð pól-hjólsins yfirhita sem orsakast af gagnsviðsstraumum. Þessir straumar hafa 100 Hz tíðni í snúðnum og það eru þeir sem valda hitaáhrifunum. Vörnin byggir á því að mæla gagnsviðsstrauminn þ.e. hún síar hann frá samfasastraumnum og vinnur eins og yfir-straumsvörn.

Gagnsviðsstraumar myndast við eftirtalin skilyrði:

- Jarðhlaup
- Tveggja fasa skammhlaup
- Slit á fasa
- Bilun á pól í aflrofa teinarofa.



Mynd 6.24

---

## Háspennukerfið

---

Í flestum tilvikum þarf ekki að hafa áhyggjur af fyrstu tveimur atriðunum, þar sem útleysing verður yfirleitt innan 1,5 sekúndna. Það eru því þær tvær síðastnefndu sem þarf að verja snúðinn gegn.

---

## Háspennukerfið

---

Þar sem gagnsegulsviðið snýst í öfuga átt miðað við pól-hjólið, verða straumarnir sem það myndar með tvöfaldri tíðni eða 100Hz. Þessir straumar eru mjög hitaaukandi og staðbundin bráðnun getur átt sér stað við langvarandi rekstur við slík skilyrði. Einkum hefur borið á tilvikum þar sem járneið verður deigt vegna hitamyndunar og miðflótttaflsverkunin gerir það að verkum að tota myndast á pólhjólið þar sem bráðnunin er. Afleiðingin getur orðið sú að pólhjólið rekist í sátrið og valdið miklum skemmdum.

Stilling varnarinnar tekur mið af hitaeiginleikum pól-hjólansins eða svokölluðu K-gildi sem er gagnsviðsstraumurinn í öðru veldi sinnum tími í sekúndum, eða:

$$I^2 \cdot t = K$$

Algennt K-gildi fyrir vatnsaflhverfla er  $K = 40$ , en gufuhverfla  $K=30$ .

## Háspennukerfið

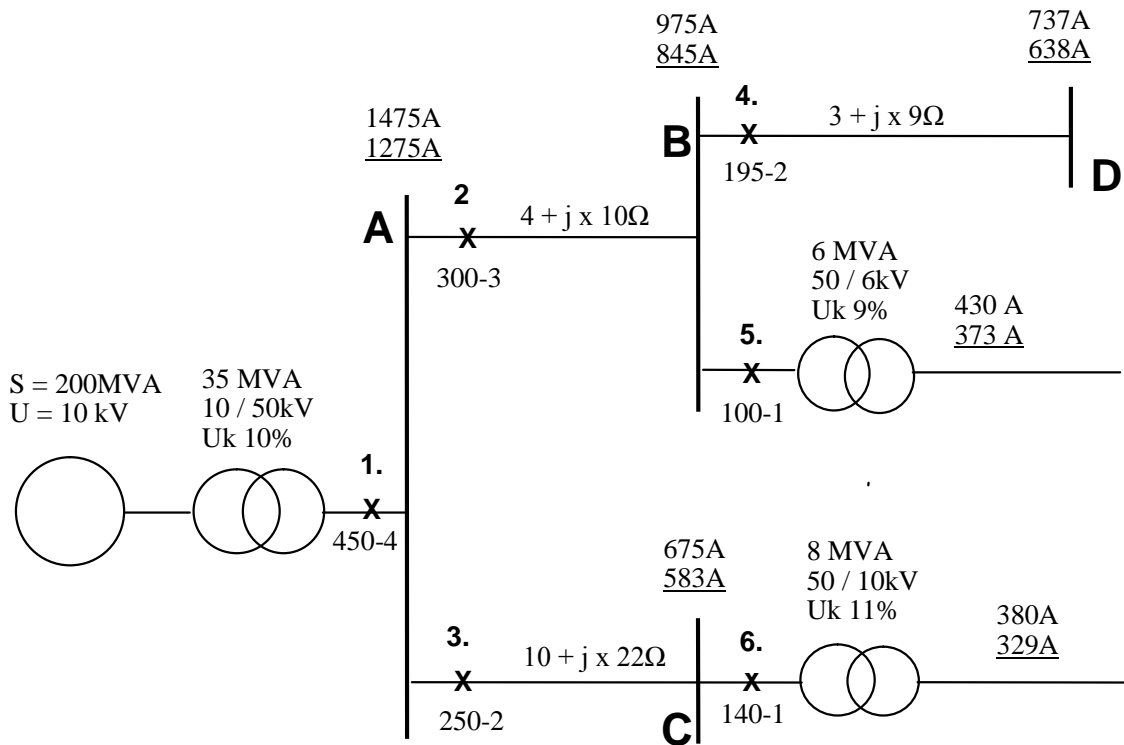
Dæmi:

### Skammhlaupstraumar í geislaneti með innmötun úr einni átt með konstant-tímalíðum.

Netið sem reikna á er sýnt á einlínumynd.

Rekstrarspennur eru þær sömu og málspennur.

Tölur sem eru undirstrikaðar eru lægstu skammhlaupsstraumar ( $I_k$  og  $I_{k2}$ ).



Mynd 6.25

Fyrst eru reiknuð skammhlaupsviðnám og skammhlaupsstraumar.

Sýndarviðnámið er reiknað yfir á 50 kV hlið ef annað er ekki tekið fram.

**Skammhlaupsstraumur:**

$$I_K = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot I_{k2}$$

---

**Háspennukerfið**

---

**Stöð A****10 kV****Sýndarviðnám:**

$$Z = \frac{U^2}{S_k} = \frac{50^2}{200} = \mathbf{12,5\Omega}$$

**Spennir:**

$$Z_t = U_k \cdot \frac{U^2}{S_k} = \frac{10}{100} \cdot \frac{50^2}{35} = \mathbf{7,1\Omega}$$

**50 kV**

$$Z = 12,5 + 7,1 = \mathbf{19,6\Omega}$$

( Raunviðnámi er sleppt = ca 0,5 $\Omega$  )

$$I_{k2} = \frac{U}{2 \cdot Z} = \frac{50}{2 \cdot 19,6} = \mathbf{1,275 kA}$$

Ath. gert er ráð fyrir skammhlaupi milli tveggja leiðara og því er notað fasaviðnámið  $\cdot 2$ .

$$I_{k1} = I_{k2} \cdot \frac{2}{\sqrt{3}} = \mathbf{1,475 kA}$$

Hlutfallið milli raun- og launviðnáms R / X -hlutfallið er ca:  $0,5 / 20 = 0,025 \Rightarrow N1 = 2,55$

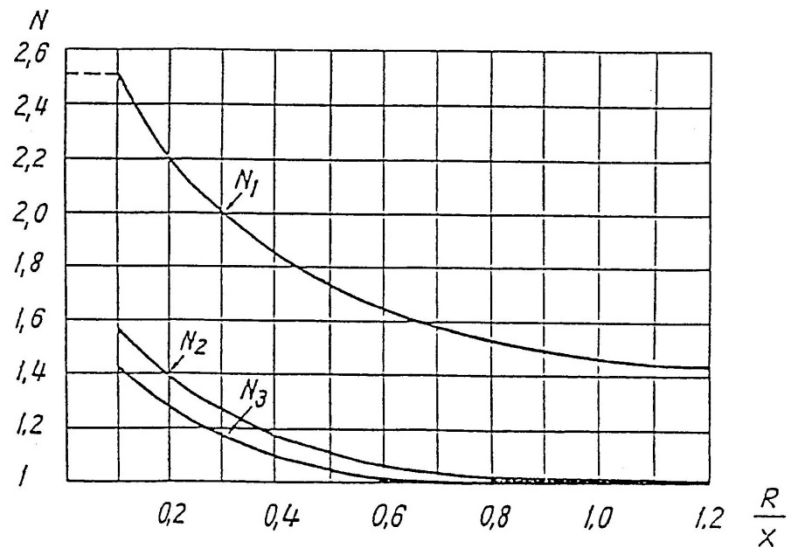
Ath. N1 lesið úr kúrfu.

Stuðstraumurinn  $i_s$  (fyrsta hálfariðið) nær þá gildinu:

$$N_1 \cdot I_{k1} = 2,55 \cdot 1,475 = \mathbf{3,75 kA}$$

Virkt gildi straums  $i_{sk}$  (fyrsta hálfariðið) fær ca gildið:

$$N_2 \cdot I_{k1} = 1,55 \cdot 1,475 = \mathbf{2,286 kA}$$

**Háspennukerfið**


Mynd 6.26

$N_1 \cdot I_{k1} = i_s$  stuðstraumurinn ( toppgildi á fyrsta hálfriði ).

$N_2 \cdot I_{k1} = i_{sk}$  ( virktgildi á fyrsta hálfriði ).

**Stöð B**
**50 kV:**

$$Z = 19,6 + 10 = 29,6\Omega$$

( Raunviðnámi  $R = 4\Omega$  er sleppt. )

$$I_{k2} = \frac{U}{2 \cdot Z} = \frac{50}{2 \cdot 29,6} = \mathbf{0,845 \text{ kA}}$$

$$I_{k1} = I_{k2} \cdot \frac{2}{\sqrt{3}} = \mathbf{0,975 \text{ kA}}$$

$R / X$  -hlutfallið er ca:  $4,5 / 30 = 0,15 \Rightarrow N = 2,35$

$$i_s = N_1 \cdot I_{k1} = 2,35 \cdot 0,975 = \mathbf{2,3 \text{ kA}}$$

**6 kV**

$$Z_t = U_k \cdot \frac{U^2}{S_k} = \frac{9}{100} \cdot \frac{50^2}{6} = \mathbf{37,5\Omega}$$

$$Z = 29,6 + 37,5 = 67,1\Omega$$

( Raunviðnámi (R) er sleppt = ca  $3\Omega$  )



---

### Háspennukerfið

---

$$I_{k2} = \frac{U}{2 \cdot Z} = \frac{50}{2 \cdot 67,1} = \mathbf{0,373 \text{ kA}}$$

( 50 kV megin )

$$I_{k1} = I_{k2} \cdot \frac{2}{\sqrt{3}} = 0,373 \cdot \frac{2}{\sqrt{3}} = \mathbf{0,43 \text{ kA}}$$

R / X -hlutfallið er ca:  $7,5 / 67 = 0,11$

=> N1 = 2,5 samkv. kúrfu

Stuðstraumurinn is ( fyrsta hálfra riðið )  $i_s = N_1 \cdot I_{k1}$   
= ca  $2,5 \cdot 0,43 = \mathbf{1,08 \text{ kA}}$

---

### Háspennukerfið

---

$$\begin{aligned} \text{Virkt gildi straums ( fyrsta hálfra riðið ) } i_{sk} &= N_2 \cdot I_{k1} \\ &= 1,55 \cdot 0,43 = \mathbf{0,666 \text{ kA}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fullur álagsstraumur á spennu er : } I &= S / ( U \cdot \sqrt{3} ) = \\ 6 / ( 50 \cdot \sqrt{3} ) &= \mathbf{0,07 \text{ kA}} \end{aligned}$$

**Stöð D**

**50 kV:**

$$Z^2 = (R_A + R_B + R_D)^2 + j(X_A + X_B + X_D)^2$$

$$\begin{aligned} Z^2 &= (0,5 + 4 + 3)^2 + j(19,6 + 10 + 9)^2 \\ &= 7,5^2 + j38,6^2 = 1546 \end{aligned}$$

$$Z = \sqrt{Z^2} = \sqrt{1546} = 39,2\Omega$$

$$I_{k2} = \frac{U}{2 \cdot Z} = \frac{50}{2 \cdot 39,2} = \mathbf{0,638 \text{ kA}}$$

$$I_{k1} = I_{k2} \cdot \frac{2}{\sqrt{3}} = 0,638 \cdot \frac{2}{\sqrt{3}} = \mathbf{0,737 \text{ kA}}$$

R / X -hlutfallið er ca:  $7,5 / 39 = 0,2 \Rightarrow N_1 = 2,2$

$$i_s = N_1 \cdot I_{k1} = 2,2 \cdot 0,737 = \mathbf{1,62 \text{ kA}}$$

$$i_{sk} = N_2 \cdot I_{k1} = 1,4 \cdot 0,737 = \mathbf{1,03 \text{ kA}}$$

---

## Háspennukerfið

---

### Stöð C

50 kV:

$$Z^2 = (R_A + R_C)^2 + j(X_A + X_C)^2$$
$$Z^2 = (0,5 + 10)^2 + j(19,6 + 22)^2 = 10,5^2 + j41,6^2 = 1841$$

$$Z = \sqrt{1841} = 42,8\Omega$$

$$I_{k2} = \frac{U}{2 \cdot Z} = \frac{50}{2 \cdot 42,8} = 0,583 \text{ kA}$$

$$I_{k1} = I_{k2} \cdot \frac{2}{\sqrt{3}} = 0,583 \cdot \frac{2}{\sqrt{3}} = 0,675 \text{ kA}$$

R / X -hlutfallið er ca: ( 10,5 / 42 = 0,25 => N1 = 2,1

$$i_s = N_1 \cdot I_{k1} = 2,1 \cdot 0,675 = 1,42 \text{ kA}$$

$$i_{sk} = N_2 \cdot I_{k1} = 1,27 \cdot 0,675 = 0,857 \text{ kA}$$

### 10 kV

$$Z_t = U_k \cdot \frac{U^2}{S_k} = \frac{11}{100} \cdot \frac{50^2}{8} = 34,4\Omega$$

$$Z = 41,6 + 34,4 = 76,0\Omega$$

( Raunviðnámi (R) er sleppt = ca 2,5  $\Omega$  )

$$I_{k2} = \frac{U}{2 \cdot Z} = \frac{50}{2 \cdot 76,0} = 0,329 \text{ kA}$$

$$I_{k1} = I_{k2} \cdot \frac{2}{\sqrt{3}} = 0,329 \cdot \frac{2}{\sqrt{3}} = 0,380 \text{ kA}$$

---

## Háspennukerfið

---

R / X -hlutfallið er ca: (  $13 / 76 = 0,17 \Rightarrow N_1 = 2,3$

$$i_s = N_1 \cdot I_{k1} = 2,3 \cdot 0,380 = \mathbf{0,87 \text{ kA}}$$

$$i_{sk} = N_2 \cdot I_{k1} = 1,44 \cdot 0,380 = \mathbf{0,547 \text{ kA}}$$

---

## Háspennukerfið

---

### 6.5 Straumstillingar varna.

Þegar stilla á straumgildi þarf annarsvegar að þekkja skammhlaupsstraumana og hinsvegar mestu álagsstrauma.

Gefum okkur eftirtalda álagsstrauma:

Stöð B 70 A (spennir)

Stöð C 95 A

Stöð D 130 A

Mesti eðlilegi álagsstraumur í stöð A verður þá 295 A  
Málstraumur spennisins á eftirvafi er:

$$I = \frac{S}{U_2 \cdot \sqrt{3}} = \frac{35000}{50 \cdot \sqrt{3}} = \mathbf{404\ A}$$

#### Vörn 4

Við útreikninga á straumstilligildum er gott að byrja lengst úti í kerfinu.

Hæsti álagsstraumur í stöð D er 130 A og minnsti skammhlaupsstraumur er 638 A

Með tilliti til endurstillingarhlutfalls liðans og öryggisstuðla þá ætti stilling liðans ekki að vera lægri en :

$$I \cdot 1,5 = 130 \cdot 1,5 = \mathbf{195\ A}$$

Með þeirri stillingu næst örugglega ræsing á liða við skammhlaup á 50 kV hliðinni í stöð D.

---

## Háspennukerfið

---

Ef vörn 4 á að vera varavörn fyrir hugsanlega spennisvörn í stöð D þarf að þekkja málgildi spennisins til þess að finna minnsta skammhlaupsstraum. Ef hann er lægri en 195 A í skammhlaupi á lágspennuhlið spennisins getur orðið erfitt að finna hentuga stillingu á vörn 4 (sjá athugasemd í lok dæmis).

### Vörn 5

Ef tekið er tillit til álagsstraums spennisins í stöð B þá er lágsta stilling á vörninni:

$$I = \frac{S}{U_2 \cdot \sqrt{3} \cdot 1,5} = \frac{6000}{50 \cdot \sqrt{3} \cdot 1,5} = \text{ca } 100 \text{ A}$$

Við skammhlaup á 6 kV hlið verður bilanastraumur minnst 373 A sem er meira en nóg til þess að liðar vinni.

### Vörn 6

Ef tekið er tillit til álagsstraums spennisins í stöð C þá er lágsta stilling á vörninni:

$$I = \frac{S}{U_2 \cdot \sqrt{3} \cdot 1,5} = \frac{8000}{50 \cdot \sqrt{3} \cdot 1,5} = \text{ca } 140 \text{ A}$$

Við skammhlaup á 10 kV hlið verður bilanastraumur minnst 329 A sem er meira en nóg til þess að liðar vinni.

---

## Háspennukerfið

---

### Vörn 2

Hér þarf að athuga hvort hægt sé að nota þessa vörn sem varavörn fyrir varnir 4 og 5.

Þá þurfa eðlilegir álagsstraumar í stöðvum B og D að vera þekktir.

Lægsti bilanastrumur við bilun í stöð D 638 A

Sama við bilun í stöð B (við spennu) 373 A

Mesti álagsstrumur í stöð D 130 A

Mesti álagsstrumur í stöð B 70 A

Mesti álagsstrumur á línunni A - B 200 A

Lægsta liðastýring með tilliti til endurstillingar er því:

$$1,5 \cdot 200 = \mathbf{300 \text{ A}}$$

Þar sem lægsti bilanastrumur er 373 A er hægt að velja 300 A stillingu fyrir vörn 2.

### Vörn 3

Álagsstrumur í stöð C er 95 A

Lægsti bilanastrumur í stöð C (bilun á 10 kV) er 329 A

Hér er bilið milli lægstu liðastillingar og minnsta bilunar-straums nægilegt með tilliti til álagsstraumsins:

$$1,5 \cdot 95 = 140 \text{ A}$$

Hér er því hæfilegt að velja stillinguna 250A.

---

## Háspennukerfið

---

### Vörn 1

Þessi vörn á fyrst og fremst að leysa út við bilanir á stöð A.

Minnsti skammhlaupsstraumur þar er 1275 A þannig að hægt er að velja stillinguna 1100 A Það er að aftur á móti hentugt að láta þessa vörn vera varavörn fyrir varnir 2 og 3 .

Lægsti skammhlaupsstraumur á þeim svæðum sem þessar varnir eiga að verja er annarsvegar (B) 845 A og hinsvegar (C) 583A. Ef tekið er tillit til hæfilegra frávíka og öryggisstuðla á þessi vörn að vinna við 500A straum.

Athuga þarf hvort þetta gildi ræður við mesta álagsstraum.

Spennirinn í stöð A hefur málstrauminn 404 A

Liðarnir eiga að geta ráðið við 50% yfirlestun þ.e. í kringum 600 A Þó þarf að hafa í huga að samkvæmt því álagi sem við gefum okkur verður mesti álagsstraumur ca 300 A Stilling upp á 450 A ætti því að vera fullnægjandi.



---

## Háspennukerfið

---

### Tímastillingar

Byrjað er lengst frá innmötunarstöðinni. Í þessu dæmi er hægt að byrja á stöð D, en þar er ekkert gefið upp á einlínummyndinni. Hér ættu að vera einn eða fleiri spennar.

Við bilun á lágspennuhlið er gert ráð fyrir snöggri útleysingu á lágspennurofanum, tímaþrep 0. Fyrir spennisvörnina á 50kV hliðinni verður tímaþrep 1.

Fyrir vörn 4 í stöð B verður tímaþrep 2 og í stöð A fær vörn 2 tímaþrep 3 og vörn 1 fær tímaþrep 4.

Fyrir vörn 5 í stöð B er hægt að velja tímaþrep 1 ef að á lágspennuhlið spennisins er rofi með snöggútleysingu. Milli varnar 2 og varnar 5 eru því tvö tímaþrep.

Í stöð C er reiknað með sömu spennisvörnum og í stöð B og D, eða tímaþrepi 1 á 50kV vörninni, vörn 3 getur því haft tímaþrepið 2.

Á einlínummyndinni er liðastillingar gefnar undir viðkomandi vörn þ.e. straumstilling og tímaþrep. Tímavalvísiplanið þarf að velja þannig að fullt valvísi náist, en jafnframt að ekki sé um óhóflega langan útleysitíma sé að ræða. Ef rofarnir eru snöggir, með eigintíma minni en 50 ms þá er hættulaust að velja tímamun á milli þrepa 0,4 sek. eða jafnvel 0,3 sek.. Ef við veljum 0,4 sek. milli þrepa verðu lengsti tíminn (vörn 1) 1,6 sek.

Þetta krefst nákvæmra tímaliða og að þeir séu stilltir með tækjum. Ef þau skilyrði eru ekki ætti að velja tímana 0,4 - 0,9 - 1,4 - 2,0 sek..

---

## Háspennukerfið

---

Til þess að stytta útleysitímann við bilanir nálægt stöðinni er skammhlaupsstillingin (snöggútleysingin) í vörn 3 í stöð A stillt á ca 750 A (mesti straumur í bilun á 50 kV í stöð C er 675 A. Sú stilling má þó ekki vera svo lág að stuðstraumurinn sem kemur við skammhlaup á lágspennuhlið spennisins í stöð C valdi snöggútleysingu.

Samkvæmt því sem áður er búið að reikna þá er stuðstraumurinn 870 A ( $I_{\max}$ ), en það gildi minnkar með tilliti til liðagerðar með hlutfallinu 0,6 ( $0,6 * 870 = 520$  A) sem þýðir að óhætt er að stilla snöggútleysinguna í stöð A á 750 A.

Vörn 1 getur haft snöggútleysingu sem rétt ræsir við bilun í fjarsta enda stystu línunnar

A - B ( $I_{\max}$  975 A) stilling ca 1000A + álagsstraumur annarra lína, segjum ca 1100 A, og leysir þá út á tíma sem er lengri en útleysitími snöggútleysinganna á vörnum 2 og 3 ca 0,4 sek..

Ljóst er að varnir 2 og 3 þurfa að vera með snöggútleysingu til þess að þetta sé mögulegt. Hættan á óvalvísri útleysingu vegna stuðstraumsins með svo löngum tíma er lítil þar sem dempun hans svo langt úti á línu er mjög hröð.

---

## Háspennukerfið

---

### Athugasemdir

Að framansögðu sést að spennirinn í stöð A er ekki lestaður nema sem svarar 75% af málstraum.

Álagsaukningin í framtíðinni er því vel hugsanleg og þá gæti þurft að endurreikna liðastillingarnar, en vörn 1 gæti þá valdið vandræðum.

Samkvæmt því sem fram er komið þá ætti stillingin við fulla lestun á spenninum að vera lægst 600 A.

Minnsti skammhlaupsstraumur í bilun á línunni A - C var 583A (til viðbótar kemur álagsstraumurinn á línunni A - B).

Það þarf því að velja eftirfarandi eftir því sem við á:

1. Falla frá kröfunni um að vörn 1 skuli vera fullkomin varavörn fyrir vörn 3.
2. Taka áhættuna á að vörn 1 leysi út óvalvíst út við truflanir í undirstöðvum. Stillingin 530A (áhættan er lítil).
3. Málamiðlun, stilling ca 570 A. Það þýðir að óvíst er um liðaaðgerð við bilun með háu ljósbogaviðnámi nálægt stöð C. Þokkalega gott með tilliti til yfirálags á spenninn.

---

## Háspennukerfið

---

### 6.6 Spurningar

**6.1**

Hvernig má skilgreina hlutverk liðavarna í háspennukerfum í einni setningu?

**6.2**

Hvað er átt við með hugtakinu leiðnirof?

**6.3**

Liðavarnir eru byggðar upp á þremur þáttum, þeir eru?

**6.4**

Nefndu dæmi um þrennskonar gaumbúnað liðavarna.

**6.5**

Hvernig er skynjunarþáttur yfirstraumsliða?

**6.6**

U.þ.b. hve há er mælaspennan í háspennukerfum?

**6.7**

Hvert er hlutverk fjarlægðaliða?

**6.8**

Á hvaða mæligildum vinnur fjarlægðaliði?

**6.9**

Hvar eru mismunastraumsliðar notaðir?

---

## Háspennukerfið

---

**6.10**

Hvar eru summustraumsliðar notaðir?

**6.11**

Hvar er gasliði (Bucholz-) staðsettur og hver eru tvö vinnuþrep hans?

**6.12**

Hvað segir "baðkersferillinn" okkur um rafala í virkjunum, í stuttu máli?

**6.13**

Hvaða hluti rafala hefur hæsta bilanatíðni?

**6.14**

Hvaða búnað ver svokölluð blokkarvörn?

**6.15**

Hvaða munur er á að jarðhlaup verði nálægt úttaki sáturs eða núllpunkti þess?

**6.16**

Út frá hvaða stærð er núllmótstaða rafala valin?

**6.17**

Hve stórt viðnám yrði valið á rafala með heildarrýmd  $0,3 \mu\text{F}$  og hve hár yrði jarðhlaupsstraumur við úttak sáturs?

**6.18**

Skýrðu frá tengingu sýndarviðnámsvarnar.

## Háspennukerfið

---

### 6.19

Nefndu dæmi um hvenær rafali fær bakafli.

### 6.20

Af hvaða atriðum ræðst stærð leguspennu?

### 6.21

Lýstu stuttlega neyðarstöðvun vélasamstæðu.

### 6.22

Hvernig skynjarar eru notaðir við hitamælingu í vélasamstæðu?

### 6.23

Hvað ver mislestunarvörn?