

Rafbók



Raforkudreifikerfi

RAM 602 Kennsluhefti



Raforkudreifikerfi

Höfundur Ófeigur Sig. Sigurðsson

Þetta hefti er án endurgjalds á rafbókinni.

www.rafbok.is

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

Myndir eru frá höfundi, ýmsum stöðum á veraldarvefnum og víðar.

Umbrot: Ísleifur Árni Jakobsson

Komið leiðréttingum og athugasemdum til Ísleifs Árna Jakobssonar á netfangið iaj@rafis.is



Raforkudreifikerfi

Efnis yfirlit

| | |
|---|----|
| 1 Vinnsla og flutningur raforku | 5 |
| 2 Raforkuveitur | 6 |
| 3 Ein- og þrífasa riðspenna | 8 |
| 4 Uppbygging raforkukerfisins | 11 |
| 5 Jarðskaut og spennujöfnun..... | 15 |
| 6 Varnir gegn snertuhættu..... | 18 |
| 7 Dreifikerfi og dreifistöðvar | 21 |
| 8 Háspennuskápar og búnaður þeirra | 23 |
| Álagsvarskilrofar | 27 |
| Háspennuvör | 28 |
| Val á háspennuvörum..... | 31 |
| Mælaspennar í háspennukerfi | 32 |
| 12 – 24 kV straumspennar | 33 |
| 12 kV – 24 kV spennuspennar | 35 |
| SF6 háspennuskápar..... | 38 |
| Háspennurofar í skáp frá Merlin Gerin | 41 |
| 9 Dreifispennar..... | 43 |
| 10 Lágspennuhluti dreifistöðvar | 47 |
| Lágspennudreifiskápar | 49 |
| Vör í lágspennuskápum..... | 51 |
| 11 Jarðskaut og jarðtengingar í dreifistöðvum | 53 |
| Lágspennutæki í háspennuvirkjum: | 56 |
| Burðarvirki sem hluti af jarðtengirás: | 57 |
| Jarðtengitaugar og jarðskaut: | 57 |
| 12 Kerfisgerðir og spennukerfin | 59 |
| 13 Lágspennudreifikerfi..... | 67 |
| Lágspennustrengir (1 kV) | 67 |
| Hliðtenging jarðstrengja..... | 68 |
| Götuskápar | 69 |
| 14 Einfasa dreifikerfi | 71 |
| Einfasa dreifikerfi..... | 71 |
| Álagsstraumar | 71 |

Raforkudreifikerfi

| | |
|---|----|
| Spennufall | 72 |
| Afltap..... | 74 |
| Skammhlaupsstraumur (einfaldað) | 74 |
| Einfasa tveggjaleiðarakerfi | 75 |
| Einfasa þriggjaleiðarakerfi | 75 |
| 15 Þrífasakerfi..... | 77 |
| Þrífasakerfi | 77 |
| Álagsstraumar | 77 |
| Spennufall | 77 |
| Afltap..... | 78 |
| Skammhlaupsstraumur einpóla (einfaldað) | 78 |
| Skammhlaupsstraumur þriggja póla (einfaldað)..... | 78 |
| Þrífasa þriggjaleiðarakerfi..... | 78 |
| Þrífasa fjögraleiðarakerfi..... | 80 |
| 16 Samanburður á einfasa og þrífasa kerfum | 82 |
| 17 Hættur af völdum rafstraums | 84 |
| Áhrif rafstraums á mannlíkama | 85 |
| Viðnám í mannlíkama við rafstraum..... | 87 |
| Brunahætta of völdum rafstraums..... | 88 |
| 18 Öryggis ráðstafanir vegna vinnu við raforkuvirki | 89 |
| Fullrof..... | 89 |
| Trygging gegn innsetningu | 90 |
| Prófun á spennuleysi | 90 |
| Skammhleyping og jarðtenging | 90 |
| Klæða eða girða af nálæga spennuhafa hluti | 90 |
| Öryggisfjarlægð og hættufjarlægð | 91 |
| 19 Yfirstraumsvarnir..... | 92 |
| Bræðivör..... | 93 |
| Straumtakmörkun..... | 94 |
| Valvísi | 94 |
| Kröfur til bræðivara..... | 95 |
| Tappavör..... | 95 |
| Gripvör | 97 |



Raforkudreifikerfi

| | |
|-------------------------------|-----|
| Sjálfvirk vör (sjálfvör)..... | 98 |
| Gerðir sjálfvara..... | 99 |
| Viðauki 1 | 100 |
| Viðauki 2 | 101 |
| Viðauki 3 | 105 |
| Viðauki 4 | 106 |

1 Vinnsla og flutningur raforku

Einn helsti kostur raforku er hve auðvelt er að flytja hana frá einum stað til annars. Línur og rafbúnaður, sem orkan fer um, eru einu nafni nefnd raforkukerfi. Í raforkukerfi eru tveir aðalhlutar; raforkuverið og raforkuveitan. Í orkuverinu er framleidd raforka en hlutverk orkuveitunnar er að flytja mikið magn raforku til ákveðinna svæða eða iðjuvera (flutningskerfi) og dreifa raforkunni til einstakra notanda á ákveðnu svæði með lægri spennu (dreifikerfi). Þau fyrirtæki sem annast vinnslu, flutning og dreifingu á raforku nefnast rafveitur.

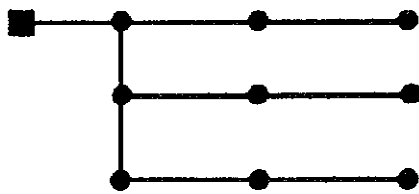
Nýtni er mikilvægur þáttur í hönnun raforkukerfa og rekstri þeirra. Kerfið verður að flytja orku þangað, sem þörf er á henni, með lágmarks töpum við flutninginn. Orkutap við raforkuflutning er háð straumvarmatapi kerfanna. Með vaxandi orkumagni, sem flutt er, verður flutningsspennan að hækka til þess að straumáraun vaxi ekki um of og valdi lakari nýtni við orkuflutninginn. Því hærri sem spennan er, því lægri verður straumurinn og því minna verður tapið. Hæsta spenna í raforkukerfi á Íslandi er 220 kV, en í sumum löndum eru notuð allt að 1000 kV kerfi. Með þessum háu spennum myndast öflugt rafsvið en því fylgja ýmis tæknileg vandamál. Í því sambandi má nefna meiri áraun á einangrun kerfanna og aukin orkutöp við flutninginn vegna kóróna. Kóróna myndast við jónun lofts umhverfis línurnar og veldur hún ljómun eða bliki frá línunum á svipaðan hátt og geislun frá

Raforkudreifikerfi

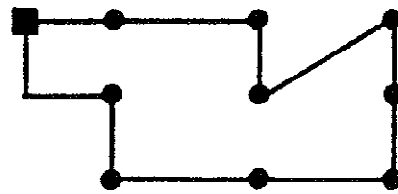
úrhleðslulömpum.

2 Raforkuveitur

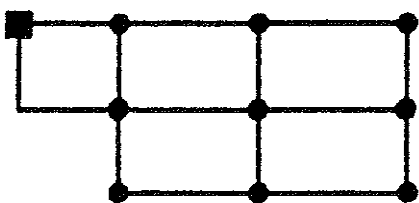
Raforkuveita hefur það hlutverk að flytja orkuna til neyslusvæðisins og dreifa henni þar til orkunotendanna. Uppbygging raforkukerfis fer eftir staðháttum, raforkuþörf o.fl. Með orðinu uppbygging er hér átt við hina raffræðilegu tengingu kerfisins. Í því sambandi er talað um fernskonar kerfi, það er geislað, hringtengt, möskvað og tvöfalt kerfi.



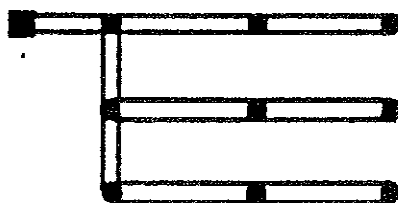
A. Geislað



B. Hringtengt



C. Möskvað



D. Tvöfalt

Mynd 2.1. Samanburður á mismunandi kerfum (einlínummyndir)

Til þess að ná viðunandi rekstraröryggi í dreifikerfi er oft notuð blanda af þessum fjórum útfærslum. Í stað hringtengds kerfis er talað um hringtengjanleg kerfi. Þá er átt við að kerfið sé rekið með hringinn rofinn (geislað), en á fljótlegan hátt sé hægt að færa þetta rof til, ef um bilun er að ræða. Fyrstu raforkukerfin voru

Raforkudreifikerfi

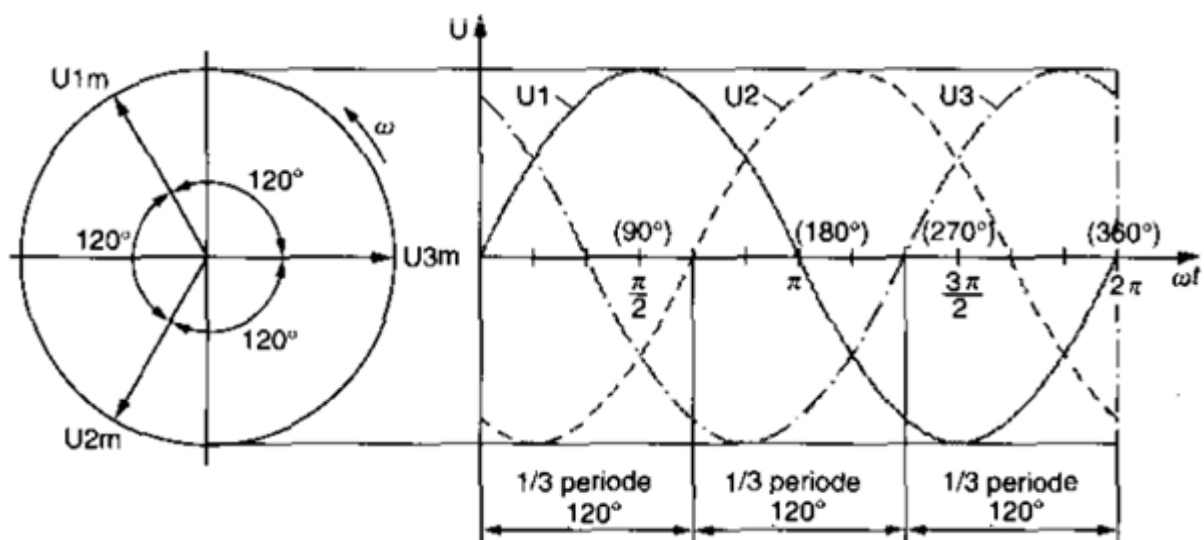
geisluð og gáfu þannig ekki möguleika á hringtengingu.

Í vissum tilvikum er þannig uppbygging allskostar óviðunandi vegna aukinna krafna um rekstraröryggi fyrir orkunotendur. Nefna má að almennt er talið að rafhitun íbúðarhúsa krefjist mun meira rekstraröryggis en geislað kerfi getur veitt.

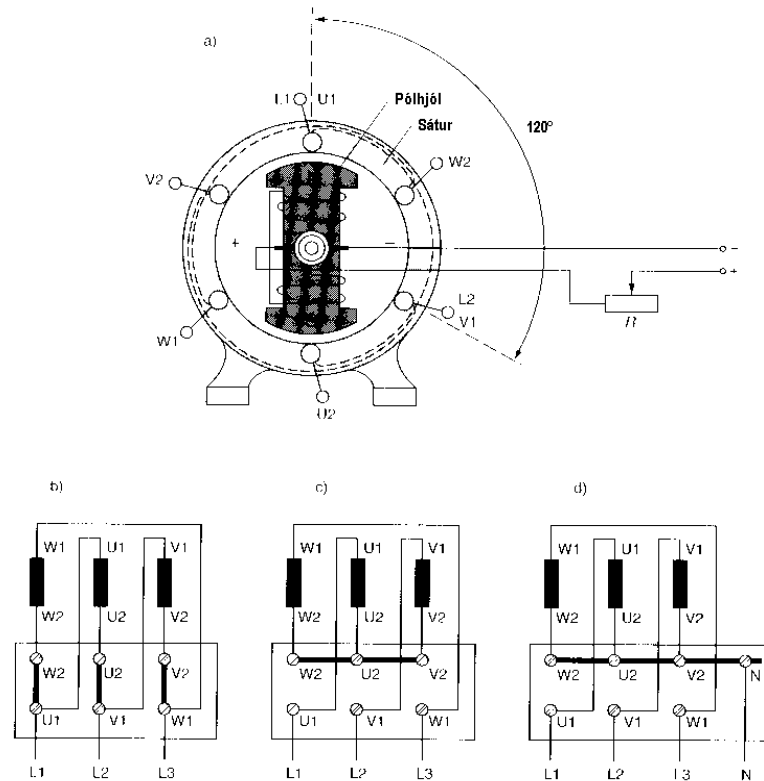
Hringtengt kerfi er fullkomnara en geislað veitukerfi, þar sem stöðvarnar eru tengdar í eina samfellda hringrás. Orkan getur þá komið að hverri stöð úr tveimur áttum. Á stórum veitusvæðum, þar sem raforkupörfin er mjög mikil, eru spennistöðvarnar tengdar saman með þéttmöskvuðu veitukerfi, svo að hver spennistöð fær orkuna aðflutta frá tveimur eða fleiri stöðvum í senn. Þannig kerfi eru talsvert dýrari en veita mikið rekstraröryggi. Í tvöföldu veitukerfi eru ávallt tvær leiðir til þess að flytja orku milli stöðva og gefur þannig kerfi því ávallt kost á óbreyttum rekstri þó bilun komi upp í veitukerfinu.

3 Ein- og þrífasa riðspenna

Einfasa riðspenna er sjaldan notuð í venjulegum raforkukerfum. Ástæðan er sú að slík kerfi eru dýrari í rekstri (meiri töp) en í þrífasakerfi og einfasa rafhreyflar hafa ýmsa ókosti í samanburði við hreyfla fyrir þrífasa spennu. Minnstu neysluveitur geta verið einfasa ef notkunin er fyrst og fremst til ljósa eða eldunar. Algengt er að þannig neysluveitur tengist við þrífasa lágspennudreifikerfi. Þrífasa riðspenna eru þrjár einfasa riðspennur sem hafa ákveðinn fasamun hver frá annari en þó tengdar saman í kerfi (mynd 3.1). Þrífasa riðspenna er langmest notuð vegna þess hve auðvelt er að mynda hverfisegulsvið í rafhreyflum með henni. Snúningshraði þess ræðst af tíðni spennunnar og fjölda pólpára í hreyflinum. Þess vegna er þrífasa riðstraumur stundum nefndur hverfistraumur.



Mynd 3.1. Þrífasa spenna.

Raforkudreifikerfi


Mynd 3.2. Tengingar á þrífasa rafala.

Í raftækjum fyrir þrífasa straum er sérstakt vaf fyrir hvern fasa og nefnast þessi vöf fasavöf. Spenna og straumur í hverju vafi nefnast fasaspenna U_f og fasastraumur I_f .

Hvernig myndast þrífasa spenna? Í einföldu sátri tveggja póla þrífasarafala (sjá mynd 3.2 a) er komið fyrir þrem vöfum með innbyrðis afstöðu 120° . Þegar pólhjólið sem segulmagnar rafalinn (með rakstraum) snýst spanast spenna í vöfunum þannig að hún verður í hámarki í hverju vafi (fasa) á eftir öðru og því er ætíð spennunumur milli þeirra. Þannig vinna þrjú, aðgreind vöf eða fasar sem þrír aðgreindir rafalar í einni vél. Ef fasavöfin eru þríhyrningstengd (mynd 3.2 b)) verður spenna milli fasaleiðara (ytri leiðara) jöfn fasaspennunni en ef fasavöfin eru stjörnutengd (myndir 3.2 c) og d)) verður spenna milli fasaleiðara 1,73 sinnum fasaspennan. Þetta er vegna þess að

Raforkudreifikerfi

fasarnir mynda 120° horn sín á milli og spennan milli hverra tveggja fasaleiðara (ytri leiðara) verður þá $U=2 \cdot U_f \cdot \sin(120^\circ)$.

Hvað er þrífasakerfi? Tengja má þessa þrjá fasa á ýmsa vegu. Með sex leiðurum má nota þá sem þrjá óháða spennugjafa fyrir einfasa notkun á þremur stöðum. Ef notkunin er á sama stað nægja þrír leiðarar ef fasavöfin eru þríhyrningstengd en fjórir leiðarar, einn fyrir hvern fasa og einn sameiginlegur leiðari fyrir strauminn til baka, ef fasavöfin eru stjörnutengd. Straumur um þennan sameiginlega leiðara er vektorsumma hinna þriggja straumanna. Hve mikill straumur fer um þennan sameiginlega leiðara? Í fljótu bragði gæti virst, að hann væri þrefaldur. En með jöfnu álagi á öllum fösum verða straumarnir í jafnvægi og summa þeirra núll. Fjórði leiðarinn er því óþarfur ef álag er jafnlægt. Þrífasakerfi þarf því aðeins helming þeirra leiðara sem þrjú einfasa kerfi þarfnast til að flytja sama afl og er það því mun hagkvæmara. Í þrífasa háspennukerfi eru aðeins þrír fasaleiðarar (L1, L2 og L3) enda leitast rafveitur við að tryggja að álag á kerfi þeirra sé ávallt í jafnvægi eða jafnlægt.

| | Raunafl (w) | Launafl (VAr) | Sýndarafl (VA) |
|----------------------|---|---|--------------------------------|
| Einfasa kerfi | $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$ | $Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi$ | $S = U \cdot I$ |
| Þrífasakerfi | $P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$ | $Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin \varphi$ | $S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$ |

Tafla 3.1. Afl í raforkuveitum (jafnlægt álag í þrífasakerfi).

4 Uppbygging raforkukerfisins

Spenna raforkuveitna er mjög mismunandi en yfirleitt verður hún hærrí eftir því sem orkuflutningur er meiri og flutningsvegalengdin lengri. Raforkuveitur má greina í tvo flokka eftir rekstrarspennu:

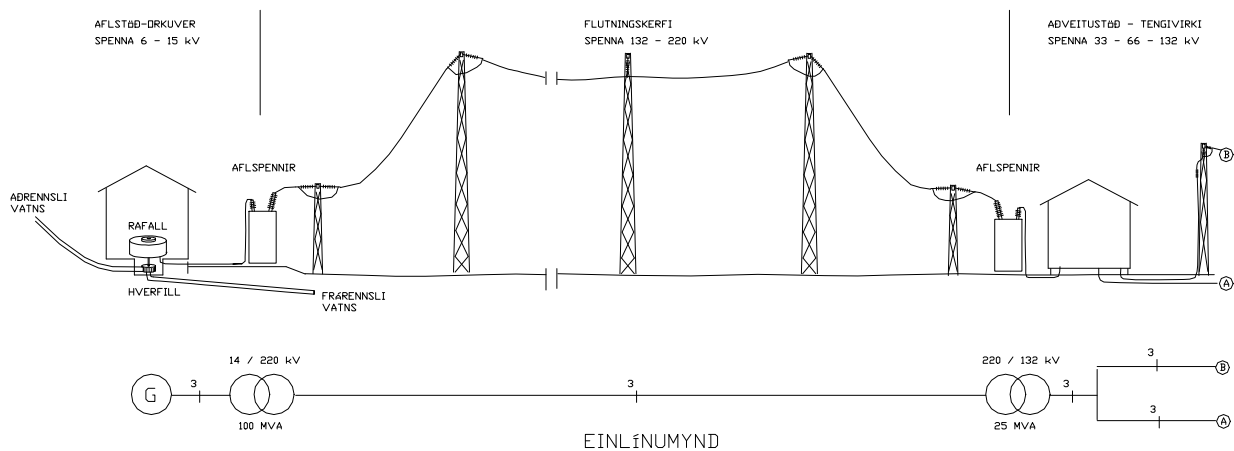
1. Háspennukerfi (kerfisspenna hærrí en 1000V) eru notuð við flutning orkunnar frá orkuverinu, ýmist beint til spennistöðvar á neyslustað eða til aðveitustöðvar, en þaðan er orkunni svo veitt eftir háspenntudreifikerfi um allt veitusvæðið. Er þá notuð önnur spenna til flutnings á orkunni en til dreifingar, nefnist hin fyrri flutningsspenna en hin síðari dreifispenna. Flutningskerfi eru rekin á 66 kV spennu og þar yfir, en dreifikerfi starfa við lægri spennu (6 til 33 kV). Hér á landi er algengasta dreifispenna með háspennu 11 kV.



Mynd 4.1. Stagað stálstólpamastur í Reykjaneslínu, 132 kV.

Raforkudreifikerfi

2. Lágspennudreifikerfi (kerfisspenna lægri en 1000V) eru notuð til að dreifa orkunni um neyslusvæði með neysluspennu. Neysluspennan í lágspennudreifikerfum er 230V 50Hz, eða með tveimur spennum 460/230V eða 400/230V svo sem í fjórleiðara þrífasa veitukerfum.



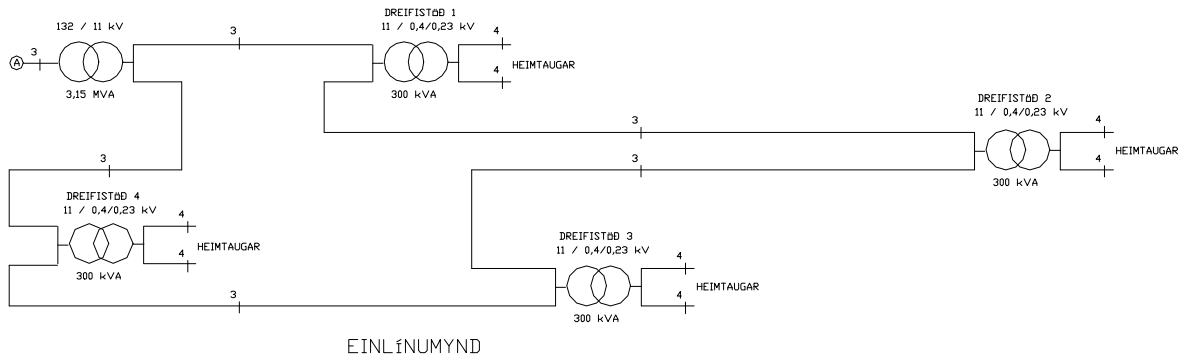
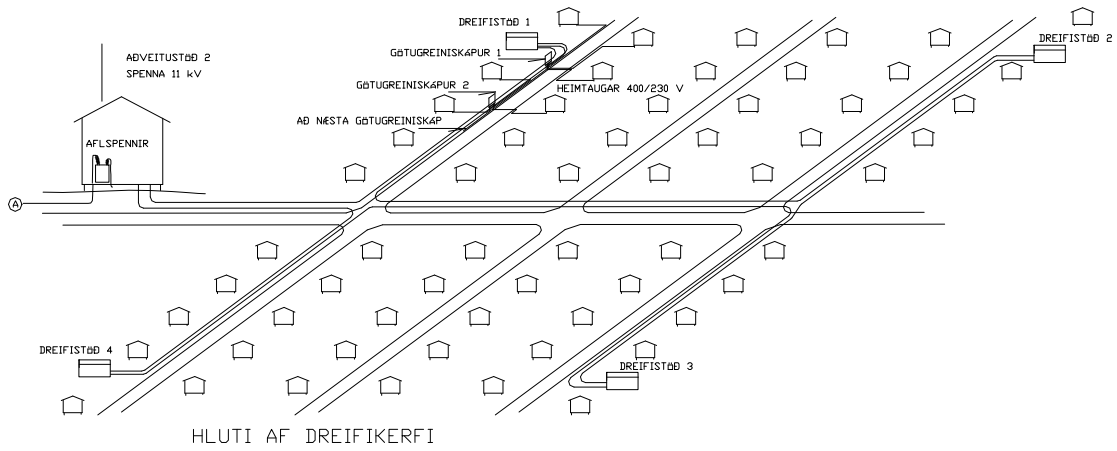
Mynd 4.2. Orkuver og flutningskerfi (einfaldað). A er á mynd 4.4 og B á mynd 4.3.

Þegar nauðsynlegt er að hafa margar spennur í raforkuveitum koma aðeins riðstaumsveitur til greina vegna þess hversu hagkvæmt er að breyta spennu þeirra. Af þessari ástæðu hafa þær náð mikilli útbreiðslu og eru notaðar í flestum ríkjum heims.

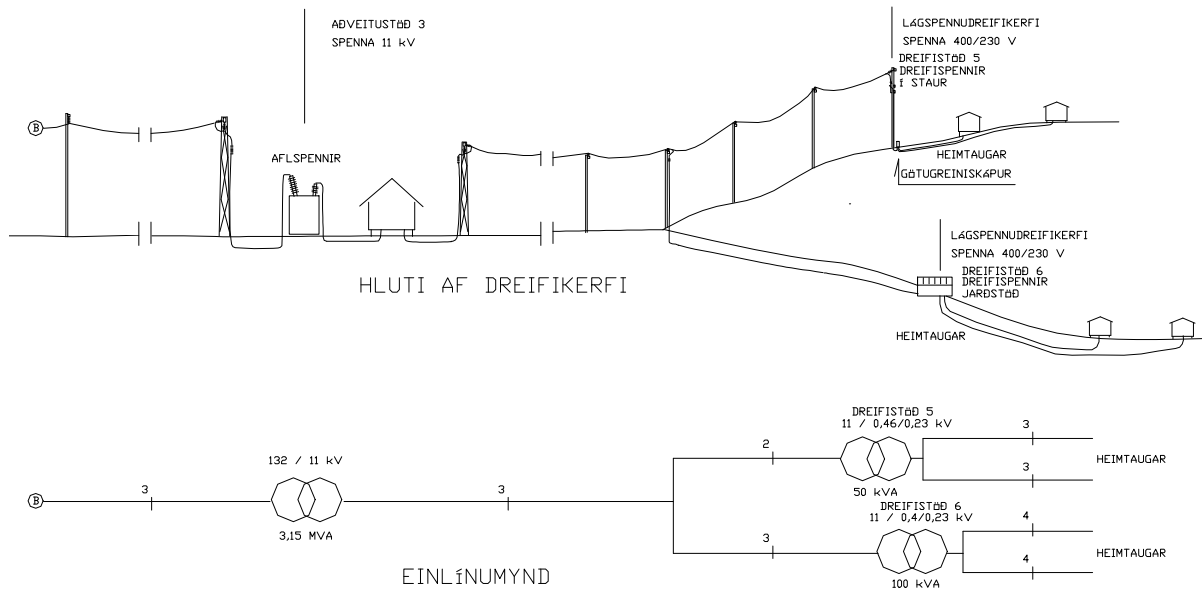
Þeir staðir í veitukerfinu, þar sem spennunni er breytt, kallast spennistöðvar. Í þeim er orkan, sem rafalar orkuversins framleiða, ýmist áspennt, þ.e. spenna þess er hækkuð, til flutnings, (venjulega við orkuverið) eða afspennt, þ.e. spenna þess er lækkuð, til dreifingar með hæfilegri dreifingarspennu (mynd 4.2). Í

spennistöðvunum er auk spennanna sem breyta spennunni ýmis tengivirki til umtengingar á raflínunum. Aðveitustöðvar kallast spennistöðvar og tengivirki sem taka við raforku þeirri sem veitt er að stóru veitusvæði og dreifa henni áfram til undirstöðva.

Raforkudreifikerfi



Mynd 4.3. Einfölduð mynd af raforkudreifikerfi í þéttbýli. A, sjá mynd 4.2



Mynd 4.4 Einfölduð mynd af raforkudreifikerfi í dreifbýli. B, sjá mynd 4.2

Raforkudreifikerfi

Undirspennistöð (aðveitustöð 2 á mynd 4.3 og aðveitustöð 3 á mynd 4.4) er sú spennistöð, sem tekur við hinni afspenntu raforku frá aðveitustöðinni og afspennir hana á ný til frekari dreifingar en að lokum fer orkan um dreifistöð en þar er hún afspennt yfir á neysluspennu. Í aðveitustöðvum eru spennar, rofa-, mæla-, stjórn- og varnarbúnaður fyrir háspennuhluta dreifikerfisins. Spennistöðvarnar eru ýmist í sérstökum húsum eða afgirtar úti undir beru lofti og fer raforkan frá þeim ýmist um loftlínur eða jarðstrengi. Loftlínurnar eru meira notaðar í flutningslínur og langar raflínur til dreifingar á raforku með háspennu í strjálbýli. Jarðstrengirnir frekar notaðir við dreifingu með háspennu í þéttbýli en á síðustu árum hefur notkun þeirra í 11 kV kerfi í strjálbýli aukist mjög.

5 Jarðskaut og spennujöfnun

Jarðskaut gegna mikilvægu hlutverki í rekstri raforkudreifikerfa. Einn megin tilgangur þeirra er að draga úr spennunum sem getur myndast í kerfunum og í vissum tilvikum að tryggja virkni varnartækja með því að mynda straumrás fyrir bilanastrauma til jarðar. Jarðskautin eiga að ná eins góðu leiðni sambandi við jarðveginn og unnt er til þess að spenna þeirra verði núll eða með öðrum orðum spennugildi hlutlausrar jarðar. Jarðskautin eru þannig hluti af öryggisþáttum raforkukerfanna sem eiga að tryggja öryggi og virkni varna gegn snerti- og brunahættu og draga úr rekstrartruflunum. Vaxandi kröfur um að dregið verði úr rafsegulgeislun frá raf- og rafeindabúnaði auka enn á mikilvægi jarðskauta. Í iðnaði er mikið af sjálfvirkni og stjórnubúnaði sem sendir frá sér rafsegulbylgjur og truflanir inn á raforkukerfið. Hér skipta góð jarðskaut og réttur frágangur jarðtenginga miklu varðandi varnir gegn truflunum frá rafbúnaði (EMC-kröfur, sjá ÍST 200, grein 444.3).

Jarðskaut getur verið gert úr húðuðu stáli eða kopar t.d. borða, pípu, teini eða vír sem lögð eru óeinangruð í jarðveginn eða komið er fyrir í steinsteypu sem er í snertingu við jarðveginn. Tilgangurinn að ná sem bestri leiðni við jarðveginn. Jarðskautum er skipt í tvö flokka eftir hlutverki, rekstrarjarðskaut og varnarjarðskaut. Rekstrarjarðskaut er ávallt tengt við einhvern rekstrarhluta veitukerfisins (oftast miðpunkt spennis) en varnarjarðskaut er eingöngu tengt við

Raforkudreifikerfi

leiðandi hluti utan straumrása.

Hlutverk rekstrarjarðskautsins er fyrst og fremst að vernda menn, dýr, byggingar og rafbúnað fyrir hættu af völdum bilanna sem upp kunna að koma í kerfinu en einnig að gefa leiðurum dreifikerfisins fasta spennu til jarðar. Hlutverk varnarskautsins er aðeins það fyrrnefnda. Virkni (útbreiðsluviðnám) jarðskauta getur verið afar mismunandi eftir gerð, fyrirkomulagi og eðlisviðnámi jarðvegs á staðnum. Allt efni efni í þau verður að velja með tilliti tæringarhættu og krafna um krafrænan styrk í jarðveginum (sjá ÍST200:2006, grein 542.2 og töflu 54.1 og ÍST170, undirkafla 9.3 og viðauka A).

Sá leiðari sem tengir jarðskautið við PE-tein (skinnu) kerfisins nefnist jarðtengitaug eða jarðleiðari (ÍST200, hluti 2) eða jarðtengileiðari (ÍST170, hluti 2). Þegar þessi leiðari er lagður óeinangraður neðanjarðar telst hann hluti jarðskautsins. Þegar rafstraumur fer um jarðskaut mun hann valda spennufalli í jarðveginum umhverfis skautið. Þessi spenna getur komið fram á yfirborði jarðvegs og nefnist þá skrefspenna.

Skrefspenna getur reynst hættuleg fari hún yfir ákveðin mörk og verður þá að gera endurbætur á jarðskautinu t.d. með því að koma fyrir jöfnunarskautum. Skrefspenna er mæld með því tengja sérstakan voltmæli við tvo mæliskaut. Mæliskautin eru síðan látin snerta jarðveginn í eins metra fjarlægð hvort frá öðru á meðan mæling fer fram.

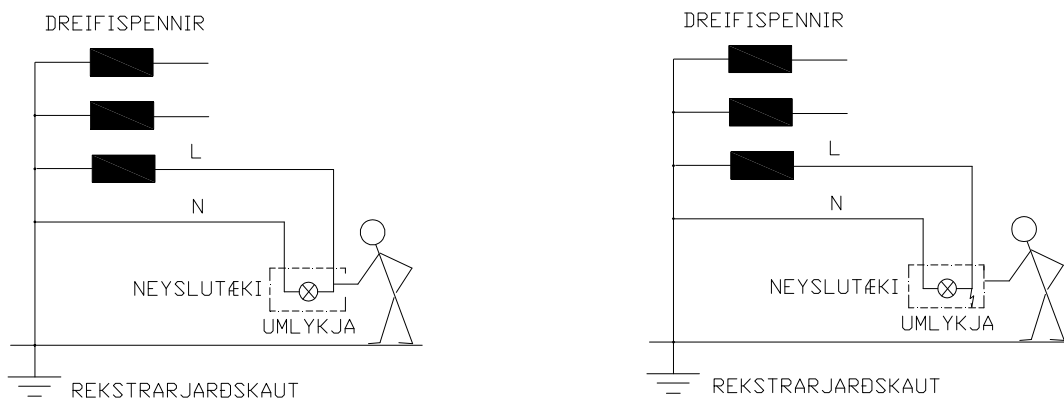
Spennujöfnun er fólgin í því að tengja saman leiðandi hluti utan rekstrarstraumrása til að minnka spennunum milli þeirra. Þeir leiðarar sem notaðir eru í þessum

Raforkudreifikerfi

tilgangi nefnast spennujöfnunarleiðarar (sjá ÍST200, grein 544). Þessir leiðarar geta verið einangraðir og verða þá að vera auðkenndir með gulgrænum lit eða óeinangraðir t.d. skinnur, berir leiðarar o.þ.h. sem þarf þá ekki að auðkenna sérstaklega með litamerkingu.

6 Varnir gegn snertuhættu

Í neysluveitum og raforkuvirkjum verður að setja upp varnir til þess að koma í veg fyrir snertihættu við rekstur þeirra. Þetta getur reynst erfitt uppfylla því þrátt fyrir að farið sé eftir settum reglum og vandvirkni höfð að leiðarljósi við gerð veitunnar þá er ekki hægt að tryggja að veitan verði ágallalaus um alla framtíð. Takmörkuð ending á rafbúnaði, ófullnægjandi viðhald eða röng meðferð á raftækjum og slæm umgengni eru meðal þess sem geta valdið hættum í rekstri veitna.



a) GÖLLUB UMLYKJA, ÓFULLNÆGJANDI VERNDARSTIG b) UMLYKJA SPENNUHAFA VEGNA BILUNAR Í TÆKI

a) Bein snerting

Mynd 6.1 Bein eða óbein snerting.

b) Óbein snerting

Gerður er greinarmunur á snertingu við spennuhafa hluti eftir aðstæðum þ.e. eftir því hvort um beina eða óbeina snertingu er að ræða.

Talað er um beina snertingu (mynd 6.1 a)) þegar viðkomandi getur snert hluti sem eru spennuhafa í venjulegum rekstri (t.d. leiðandi hluti í straumrásum raftækja) en óbeina snertingu (mynd 6.1 b)) þegar berir

Raforkudreifikerfi

leiðandi hlutar utan straumrásá hafa orðið spennuhafa t.d. af völdum einangrunarbilunar. Til spennuhafa hluta straumrásá teljast m.a. vöf rafvéla og leiðarar sem flytja rekstrarstrauma.

Samkvæmt ÍST200, grein 612.3, skal einangrunarviðnám í raflögnum bygginga vera hærra en 0,5 MΩ. Lægra einangrunarviðnám en 0,5 MΩ telst einangrunarbilun og getur valdið raflosti við óbeina snertingu.

Varnaraðgerðir gegn beinni snertingu eru fyrst og fremst fólgnar í vönduðum frágangi t.d. með því að einangra spennuhafa hluta, setja upp tálma eða umlykju, með notkun hindrana eða staðsetningu spennuhafa hluta utan seilingar (sjá nánar ÍST200, grein 410 og ÍST170, hluta 6, Virki, almennar kröfur).

Varnir gegn óbeinni snertingu byggjast m.a. á að því að ná sjálfvirku rofi, verði bilun í veitunni, eða styrkja einangrunina þannig að leiðandi hlutar utan straumrásá verði ekki spennuhafa þótt galli komi fram í rekstrareinangrun. Varnaraðgerðir byggjast m.a. á virkni jarðtenginga og spennujöfnunar og að kerfin uppfylli ákveðin útleysiskilyrði, sjá nánar ÍST200, grein 413.

Starfsmenn sem sinna viðhaldi raforkuvirkja eru í sérstakri áhættu vegna þess að þeir þurfa að umgangast virkin og vera í nálægð við spennuhafa hluta þeirra. Um þetta segir í ÍST170, hluta 7, Öryggisráðstafanir. “Virki skulu vera þannig úr garði gerð, að rekstrar- og viðhaldsstarfsmenn geti hreyft sig um allt virkið til að sinna daglegum störfum sínum innan þeirra marka sem

Raforkudreifikerfi

Þeim eru sett við þessi störf og að því er varðar ábyrgð. Sérstök viðhaldsvinna, undirbúningsvinna og viðgerðarvinna, sem unnin er í námunda við spennuhafa hluta virkis eða vinna við spennuhafa hluti, lýtur varúðarreglum, verklagsreglum og kröfum um vinnufjarlægðir, sem skilgreindar eru í stöðlunum EN 50110-1 og EN 50110-2. Um þess háttar vinnu, sem krefst sönnunar á sérþekkingu til þeirra verka, gilda landsreglugerðir.”

Öryggisráðstöfunum vegna vinnu í eða nálægt háspennuvirkjum er einnig lýst í Orðsendingu 1/84, Rekstur, eftirlit og viðhald raforkuvirkja.

7 Dreifikerfi og dreifistöðvar

Hverri dreifistöð má skipta í þrennt; háspennuhluta spennahluta og lágspennuhluta. Í háspennuhlutanum er inntak fyrir háspennustrengi eða tengitaugar við háspennulínu, jarðtengiteinn og háspenntur búnaður, í spennahluta er að sjálfsgöðu spennirinn með því sem honum tilheyrir og í lágspennuhluta er lágspennudreifiskápur, rafbúnaður fyrir götuljós og jarðstrengir fyrir lágspennudreifikerfi. Stærð dreifistöðva er afar mismunandi, þær minnstu einfasa frá 10 kVA til 37,5 kVA en þriggjafasa frá 50 kVA en stærstu allt að 2500 kVA. Að jafnaði er rekstri og viðhaldi rafbúnaðar stærri stöðva sinnt inni í stöðvarhúsi en minni stöðvunum verður að sinna utanfrá. Dreifistöðvum má skipta í fjóra flokka eftir gerð

Dreifistöðvar



Mynd 7.1

Dreifistöð í þéttbýli, Rarik

1. Stöðvar í sérbyggðum húsum. Viða hafa verið byggð sérstök hús fyrir dreifistöðvar í þéttbýli. Húsin hafa verið byggð úr steinsteypu eða reist úr forsteyptum einingum eða sett saman t.d. úr trefjaplasi en algeng stærð þeirra er 10–15 m². Á síðari árum hafa tilbúnað spennistöðvar verið fluttar til landsins t.d. Maxi frá ABB.
2. Stöðvar í iðnaðar- og þjónustuhúsnæði. Þessar stöðvar eru breytilegar hvað rými og búnað snertir. Í mörgum tilvikum eru þessar stöðvar aðeins fyrir rekstur í viðkomandi húsnæði en í einhverjum tilvikum þjóna þær einnig öðrum notendum í nágrenni stöðvanna.

Raforkudreifikerfi



*Mynd 7.2
Möre jarðspennistöð í
dreifbýli, Rarik*

3. Jarðspennistöðvar. Hér er um að ræða minni dreifistöðvar sem eru ekki manngengar og verður því allt viðhald að framkvæma utandyra. Jarðstöðvarnar eru innfluttar og er framleiðsla miðuð við að þær uppfylli öryggiskröfur sem gerðar eru á evrópska efnahagssvæðinu. Þessar stöðvar eru einkum setta upp þar sem jarðstrengir eru notaðir í dreifikerfum í strjálbýli.

Dreifistöðvarnar sitja á steyptri undirstöðu en geta að öðru leyti verið úr stáli, tré eða trefjaplötum. Þær minnstu eru innan við 2 m² en þær stærstu um 5 m². Á meðal framleiðanda stöðva eru Möre í Noregi og ABB í Svíþjóð.



*Mynd 7.3
Stauraspennistöð í dreifbýli,
Rarik*

4. Útistöðvar. Í útistöð er dreifispenninum komið fyrir í mastri eða á palli. Spennirinn verður þannig óvarinn fyrir verðrun og öðrum ytri áhrifum sem geta leitt til meira viðhalds og tíðari rekstrartruflana. Skipta má þessum stöðvum í tvö flokka. Í fyrri flokknum eru stauraspennistöðvar (spennar eru festir í möstur/staura) en þetta er algengt í dreifbýli.

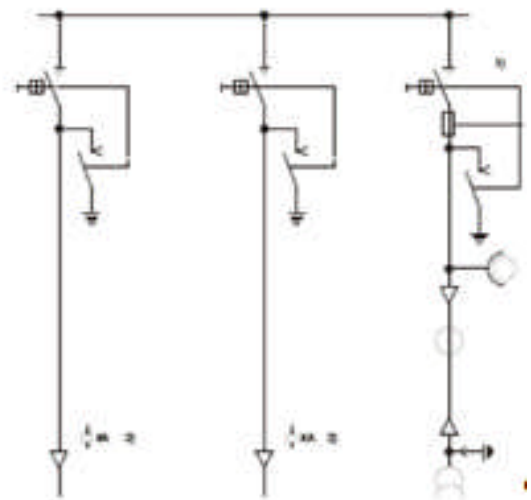


*Mynd 7.4
Spennistöð á palli, HS*

Í hinum flokknum eru svonefndar pallstöðvar sem reistar voru þegar loftlínur voru notaðar við raforkudreifingu í þéttbýli og dreifbýli. Mörgum pallstöðvum hefur þegar verið breytt í spennistöð eða jarðstöð.

8 Háspennuskápar og búnaður

þeirra



Mynd 8.1. Háspennuskápar 12 kV t.v. og einlínmynd af háspennuhluta dreifistöðvar t.h.

Mynd 8.1 sýnir fjöldaframleidda 12 kV AIS háspennuskápa í dreifistöð. Í skápunum eru álagsskilrofar, álagsvarskilrofar, með eða án jarðtengi-rofa og mælaspenningar fyrir 12 kV. Almennt geta skilrofar ekki rofið virki sem er undir álagi en álagsskilrofar eru nægilega öflugir til þess. Skilrofar eru mikilvægir vegna þess að þeir hafa nægilegt skilbil fyrir fullrof (sjá kafla 18). Afrofar geta rofið alla strauma bæði álags- og skammhlaupsstrauma. Framleiðandi háspennuskápa verður að uppfylla ákvæði viðurkenndra staðla í Evrópu og láta gerðarprófa þá áður en þeir eru settir á markað. Skáparnir eru úr rafgalvaniseruðum stálplötum sem skrúfast á sérstaka stálgrind.

Raforkudreifikerfi

Ofan á skápunum eru opnanlegar lokur sem eiga að opnast verði ljósboga skammhlaup í þeim. Skápunum (t.d. 3 stk.) má raða saman og mynda þannig samtengda rofareiti. Efst í skápunum eru straumskinnur sem liggja milli þeirra. Milliplötur aðgreina skápana frá hver öðrum. Í milliplötum eru einangrar (gegnumtök) fyrir skinnur og í endaplötum eru endaeinangrar fyrir skinnur. Bakplötur eru heilar og fastskrúfaðar á hvern skáp sem og hliðarplötur (endaplötur) á endaskápa. Hurðir eru úr 2 mm þykku stáli með styrktum ramma og öflugum festingum. Í hverri hurð er læsibúnaður þannig að ekki er hægt að opna skápinn án áhalda. Í hurð er gluggi svo greina megi stöðu rofans án þess að opna skápinn. Fyrir innan hurðina er komið fyrir slá (tálma) í öryggisskyni. Innri jarðtengingar í skápunum koma tilbúnar og þarf þá aðeins að tengja skápana við jarðtengitein stöðvarinnar. Inntök strengja eru neðst í skápunum og er endabúnaður þeirra inni í skápunum. Mikilvægt er að festa strengina vandlega með strengfesti, þannig að togáraun verði ekki á tengistaði og þetta inntak með viðeigandi þéttiefni.

| | | |
|--------------------------|-----------|-----------|
| Málspena | 12 kV | 24 kV |
| Einangrunarstig IEC 265 | 75-35 kV | 125-55 kV |
| Málstraum skinnur | 630/1250A | 630/1250A |
| Varstærð (max) | 100 A | 63 A |
| Skammtímastraumþol (1 s) | 20,2 kA | 14,4 kA |
| Ljósboga styrkur | 350 MVA | 500 MVA |
| Verndarstig | IP 23 | IP 23 |

Tafla 8.1. Nokkrar tæknilegar upplýsingar frá framleiðanda háspennuskápa

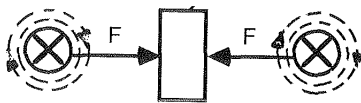
Raforkudreifikerfi



Mynd 8.2 Álagsskilrofi 12 kV
frá BBC



Mynd 8.3. Hreyfanlega
snertan í álagsskilrofa.



Mynd 8.4 Kraftar á leiðara
vegna segulsviðs

Á mynd 8.2 er álagsskilrofi í háspennuskáp. Þessi gerð rofa er fyrir spennur að 12 kV og rofgetu allt að 24 MVA. Í álagsskilrofanum á myndinni er gormur sem er spennur þegar rofinn er hreyfður sem tryggir að rofinn opnar eða lokar með sama hraða, óháð því hve hratt stjórnandinn hreyfir stjórnþúnaðinn. Í skilrofanum eru snertur, sú hreyfanlega er hníflaga og leggst hún að föstu snertunni á einangraranum. Hreyfanlega snertan er í raun gerð með úr tveim hnífum, aðalhníf og neistahníf. Aðalhnífurinn fer álvált fyrir út og seinna inn en neistahnífurinn þannig að hann er straumlaus við rofaðgerð. Neistahnífurinn gengur í lítið neistahólf sem er við föstu snertuna þannig að við rof þrýstist loft gegnum neistahólfið sem slekkur ljósbogann. Í aðalhníf hvers fasa eru tvær samsíða straumleiðir og skiptist straumurinn milli þeirra. Við straumálag verður segulsviðið minnst milli straumleiðanna sem veldur kraftverkan á hnífinn þannig að hann leggst fastar að föstu snertunni (aðdráttarkraftar, sjá mynd 8.4).

Jarðtengja skal alla leiðandi hluta háspennuvirkja svo sem ytri umgerð spenna, háspennuskápa, lágspennuskápa o.þ.h. með jarðvír frá aðaljarðtengiteini virkisins. Jarðtengingar skulu útfærðar samkvæmt fyrirmælum og leiðbeiningum frá framleiðanda á merktum tengistöðum, sjá mynd 8.5.

Raforkudreifikerfi



Mynd 8.5. Merki við tengistað jarðtengingar

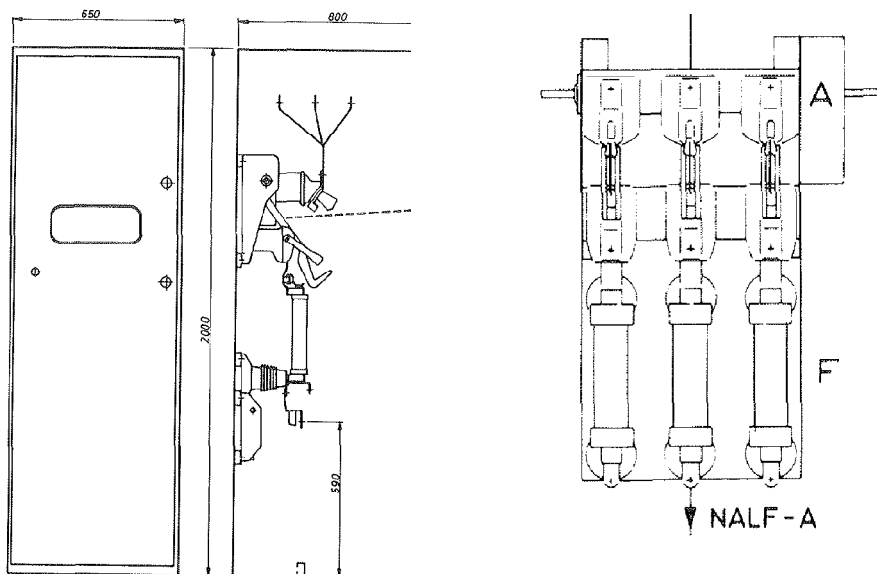
Samkvæmt öryggisreglum skal jarðtengja rofið háspennuvirki með jarðtengi-rofa eða lausum jarðtengitækjum þegar það er ekki í rekstri eða meðan unnið er við virkið. Ekki má setja inn jarðtengi-rofa fyrir en virkishlutinn er kominn úr rekstri og fullrofinn frá raforkukerfinu. Til þess að koma í veg fyrir þetta má fá rofa með millilæsingu sem læsir jarðtengi-rofanum í opinni stöðu þegar álagsskilrofinn er lokaður og læsir álagsskilrofanum í opinni stöðu þegar jarðtengi-rofinn er lokaður.

Á háspennuskápum er jarðtengibolti (kúlulaga haus) fyrir laus jarðtengitæki. Við notkun lausra jarðtengitækja verður fyrst að tengja tækin við jarðtengiboltann og síðan við fullrofinn virkjahluta.

Raforkudreifikerfi

Álagsvarskilrofar

Í háspennuskáp fyrir dreifispenntu er álagsvarskilrofi. Þessi rofi er í raun álagsskilrofi með varhöldum fyrir háspennuvör. Í álagsvarskilrofa eru tveir gormar fyrir rofaðgerðir, annar fyrir innsetningu og hinn fyrir útslátt. Þegar rofinn er inni er útsláttargormur spenntur og er þá unnt á slá honum út handvirkt, með útsláttarspólu (trip spólu) eða með pinna á háspennuvörum. Þegar rofinn er settur inn verður fyrst að spenna útsláttargorminn með því að snúa handfangi réttisælis og síðan snúa því rangsælis þar til rofinn fer inn. Við útslátt er nægilegt að snúa handfanginu u.þ.b. 20° rangsælis til þess að rofinn fari út.



Mynd 8.6. Myndin sýnir háspennuskáp með álagsvarskilrofa t.v. og rofann t.h.

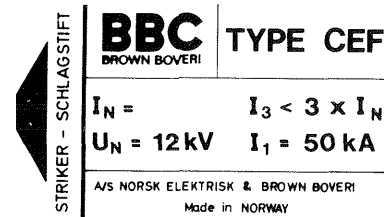
Athugið að vera ekki nærri álagsvarskilrofa þegar hann er lokaður (útsláttargormur er spenntur) því ekki þarf mikla hreyfingu til að hann slái út.

Raforkudreifikerfi

Háspennuvör

Vör í rofana eru straumtakmarkandi og með mikla rofgetu. Minnsti útleysistraumur er u.þ.b. 2 – 3 faldur málstraumur. Tæknilegar stærðir á háspennuvörum eru:

| Merking: | Tæknilegar upplýsingar: |
|----------|-------------------------|
| I_N | Málstraumur (A) |
| U_N | Málspena (kV) |
| I_3 | Minnsti útleysistraumur |
| I_1 | Mesta rofgeta vars |

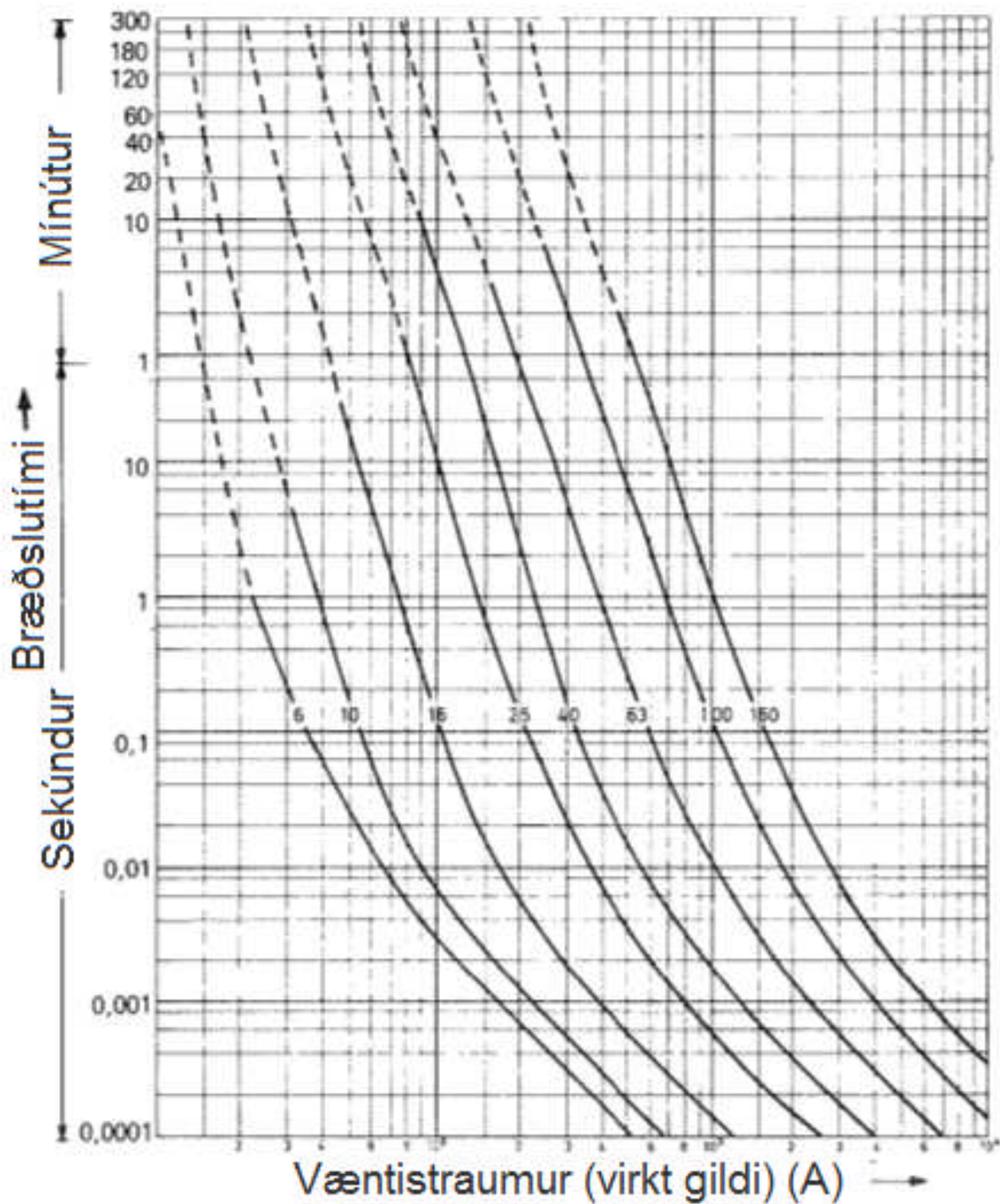


Mynd. 8.7. Dæmi um merkingu háspennuvars t.h. og skýringar t.v.

Álagsvarskilrofi er fyrir spenninn í stöðinni og er hlutverk háspennuvara að verja hann og lagnir frá honum að lágspennudreifiskáp fyrir skaðlegum áhrifum yfirstrauma s.s. við skammhlaup.

Rekstraröryggi er mikilvægur þáttur í rekstri raforkukerfis og verður því að taka tillit til valvísi við val á varnarbúnaði. Talað er um valvísa vörn (selective protection) þegar aðeins það var sem næst er orsökum yfirstraumsins leysir út en ekki önnur. Í því sambandi verður að gera samanburð á útleysieiginleikum þeirra vara sem verða fyrir yfirstraumnum til þess að ganga úr skugga um að valvísi sé fyrir hendi. Sjá útleysilínur á mynd 8.8.

Raforkudreifikerfi



Mynd 8.8. Útleysilínur fyrir háspennuvör.
Bræðslutími sem fall af væntistraum (virkt gildi).

Raforkudreifikerfi

Við háa skammhlaupsstrauma ($I_k > 10 \times I_n$) verður útleysing mjög fljót eða áður en skammhlaupsstraumurinn nær hámarki sínu. Þessi áhrif varsins nefnist straumtakmörkun. Kosturinn við straumtakmarkandi háspennuvör er stuttur roftími við skammhlaup svo kraft- og varmaáraun yfirstraumsins minnkar verulega, en á móti kemur að við kröftuga yfirstrauma (skammhlaup) getur myndast rofyfirspenna sem er hærri en rekstrarspennan.

Raforkudreifikerfi
Val á háspennuvörum

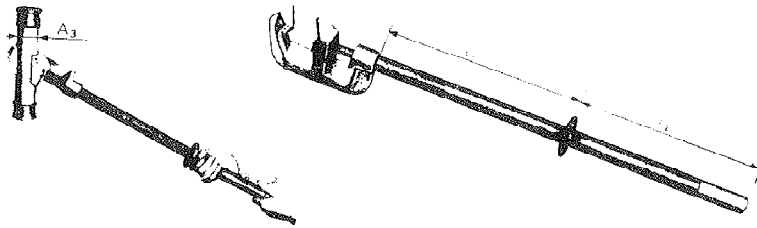
Þegar velja skal varstærð fyrir dreifispenna verður að taka tillit til stærðar spennanna (kVA) og ræsistrauma (tengistrauma). Þá skal málspena varsins vera hærri eða jöfn rekstrarspennu kerfisins. Í meðfylgjandi töflu eru leiðbeiningar um val háspennuvara fyrir dreifispenna og stærsta var í útgangi (í lágspennudreifiskáp) ef tryggja á valvísi milli háspennuvara og lágspennuvara við skammhlaup í lágspennudreifikerfinu.

| Net-spenna (kV) | Málafli spennis (kVA) | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 50 | 75 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 |
| | Varstærð (háspennu) (A) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 25 | 25 | 40 | 40 | 63 | 63 | 63 | 100 | 100 | 100 | 160 | 2x100 | 2x160 | | | | |
| 5 | 16 | 25 | 25 | 25 | 40 | 40 | 63 | 63 | 63 | 100 | 100 | 100 | 160 | 2x100 | 2x160 | | |
| 6 | 16 | 16 | 25 | 25 | 25 | 40 | 40 | 63 | 63 | 63 | 100 | 100 | 100 | 160 | 2x100 | 2x160 | |
| 10 | 10 | 16 | 16 | 16 | 25 | 25 | 25 | 40 | 40 | 63 | 63 | 63 | 100 | 100 | 100 | 160 | 2x100 |
| 12 | 10 | 16 | 16 | 16 | 16 | 25 | 25 | 25 | 40 | 40 | 63 | 63 | 63 | 100 | 100 | 160 | 160 |
| 15 | 10 | 10 | 16 | 16 | 16 | 16 | 25 | 25 | 25 | 40 | 40 | 63 | 63 | 63 | 100 | 100 | 2x100 |
| 20 | 10 | 10 | 10 | 16 | 16 | 16 | 16 | 25 | 25 | 25 | 40 | 40 | 53 | 63 | 63 | 100 | 100 |
| 24 | 10 | 10 | 10 | 10 | 16 | 16 | 16 | 16 | 25 | 25 | 25 | 40 | 40 | 63 | 63 | 63 | 100 |
| 30 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 16 | 16 | 16 | 16 | 25 | 25 | 25 | 40 | 40 | 40 | 2x40 | 2x40 |
| 36 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 16 | 16 | 16 | 16 | 25 | 25 | 25 | 40 | 40 | 2x40 | 2x40 |

| Lágsp. | Varstærð lágspennu (A) | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|
| 230 V | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | | | | | | |
| 400 V | 50 | 63 | 100 | 100 | 125 | 125 | 200 | 250 | 250 | 350 | 400 | 400 | 500 | 630 | | | |
| 500 V | 40 | 50 | 80 | 80 | 100 | 100 | 160 | 160 | 200 | 250 | 350 | 350 | 400 | 500 | 630 | | |

Tafla 8.1 Háspennuvör og lágspennuvör í dreifistöð

Raforkudreifikerfi



| Prøvespenning kV | Vekt kg | Mál i mm | | |
|---------------------|------------|----------------|----------------|------------------|
| | | L ₁ | L ₂ | A ₃ Ø |
| 100 | 2,2 | 700 | 600 | 30---90 |

Mynd 8.9. Einangrunarstangir til að skipta um háspennuvör.

Álagsvarskilrofi á að vera úti þegar skipt er um háspennuvörin og gormar óspenntir. Samkvæmt IEC 60282 skal skipta um öll vörin ef eitt þeirra hefur leyst út nema öruggt sé að hin hafi ekki orðið fyrir yfirstraum.

Mælaspennar í háspennukerfi

Við mælingar í háspennukerfi verður að nota mælaspenna. Mælaspennum er ekki ætlað að yfirfæra mikið afl enda er álag þeirra eigin notkun mælitækja að viðbættum töpum í mælarásun. Mælaspennum má skipta í tvo flokka, straumspenna fyrir straummælingar og spennuspenna fyrir spennumælingar. Við raforkumælingar í þrífasakerfi verður að setja upp þrjá straumspenna og tvo til þrjá spennuspenna ásamt mælum og raforkumæli.

Mælaspennum er skipt í flokka eftir fráviksmörkum (nákvæmni). Hver flokkur (class) vísar til fráviksmarka í hundraðshluta (%) og eru þessir:

- 0,1 við tilraunir og rannsóknir
- 0,2 við orkumælingar og solumælingar
- 0,5 við minniháttar orkusölu
- 1 við stjórn og rekstur
- 3 við varnarbúnað og grófari rekstrarmælingar

Raforkudreifikerfi

Helstu kostir við notkun straumspenna að með þeim verður:

1. Aðskilnaður (einangrun) milli háspennukerfis og mælarása sem gefur kost á að jarðtengja annan pól í mælarásunum.
2. Straum- og spennugildi eru lækkuð til mælitækja.
3. Útgangar frá mælaspennum gefa stöðluð gildi straums og spennu sem gerir framleiðendum kost á að fjöldaframleiða mælitæki og varnarliða sem tengjast við spennana.

Meðal ókosta við mælaspenna má nefna að þeir geta aukið mæliskekkju og að ekki má leggja meira álag á þá (mælitæki og straumrásir) en sem nemur málafli þeirra.

12 – 24 kV straumspennar

Straumspennar í háspennuskápum eru með mismunandi málstraum. Á forvafi getur málstraumur verið frá nokkrum tugum amper upp í 1 kA en málstraumur eftirvafs er 1A eða 5A samkvæmt staðli. Til eru straumspennar sem hafa umtengjanlegt forvaf þannig að mælisviðið verður breytilegt eftir tengingum. Eftirvöf (bakvöf) í straumspenni geta verið frá einu allt að fjórum og þá hvert á sérstökum kjarna. Með þessu má fá mismunandi eiginleika eftir stærð kjarnans. Málafli hvers eftirvafs er frá u.þ.b. 25 VA til 150 VA.

Í forvafi straumspennis eru fáir vafningar með gildum leiðurum enda eiga þeir að flytja þann straum sem verið er að mæla. Í eftirvafi eru hinsvegar margir vafningar með grönnum leiðurum sem flytja straum að mælitækjunum.

Ef eftirvaf straumspennis er fyrir tvö eða fleiri

Raforkudreifierfi

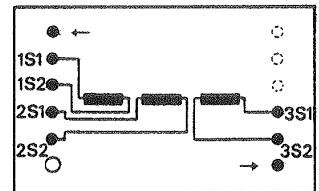
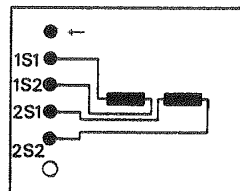
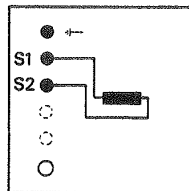
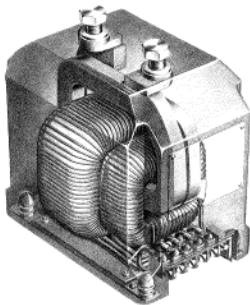
mælitæki skulu þau raðtengjast.

Jarðtengja skal annan pól frá eftirvafi straumspennis til þess að gefa mælarásum fasta spennu til jarðar og til varnar gegn snertihættu.

Breytihilutfall straumspenna er:

$$y = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \text{ eða } \frac{I_{1N}}{I_{2N}} = \frac{I_1}{I_2}$$

Hér eru: 1; forvaf, 2; eftirvaf, N; vafningafjöldi, I_N ; málstraumur og I rekstrarstraumur.



Mynd.8.10. Straumspennir með tveimur eftirvöfum t.v. og tengimyndir af spennu með eitt, tvö og þrjú eftirvöf

Eftirvafsrás (straumrás) straumspennis má aldrei vera rofin þegar straumur fer um forvafið. Gerist það, spanast háspenna yfir rofstaðinn sem gæti eyðilagt spenninn og auk þess valdið skaða í mælarásinni. Af þessum sökum má ekki setja vör eða rofa í eftirvafsrás straumspenna.

Raforkudreifikerfi

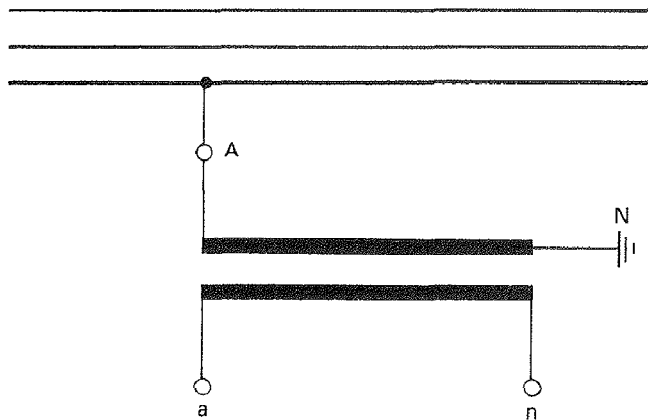
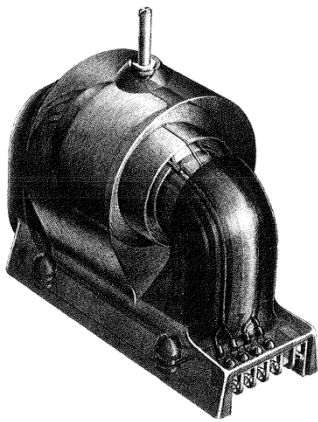
**12 kV – 24 kV
spennuspennar**

Spennuspennar í háspennuskápum eru fyrir spennumælingar og eru málspennur á forvafi 12, 17,5 og 24 kV en spenna á eftirvafi stöðluð 100 V eða 110 V. Hægt er að fá spennuspenna fyrir mælingar milli fasaleiðara og jarðar eða milli tveggja fasaleiðara. Breytihlutfall spenna fyrir spennumælingu í 11 kV kerfi frá fasaleiðara til jarðar er t.d. $12000/\sqrt{3}/110/\sqrt{3}$ V en fyrir spenna til mælinga milli fasaleiðara $12000/110$ V

Breytihlutfall spennuspenna er:

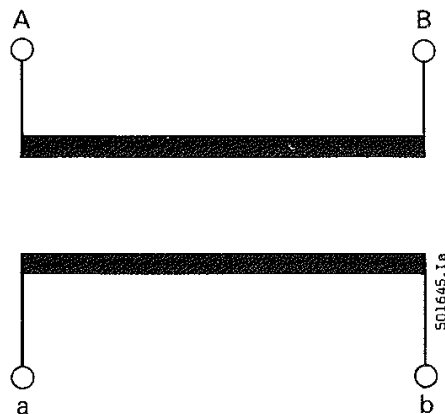
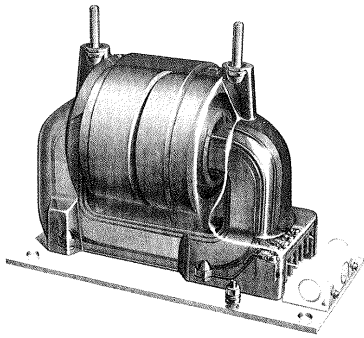
$$y = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} \text{ eða } \frac{U_{1N}}{U_{2N}} = \frac{U_1}{U_2}$$

Hér eru: 1; forvaf, 2; eftirvaf, N; vafningafjöldi, U_N ; málspenna og U rekstrarspenna



Mynd 8.11. Spennuspennir fyrir spennumælingu fasi – jörð með tengimynd t.h.

Raforkudreifikerfi



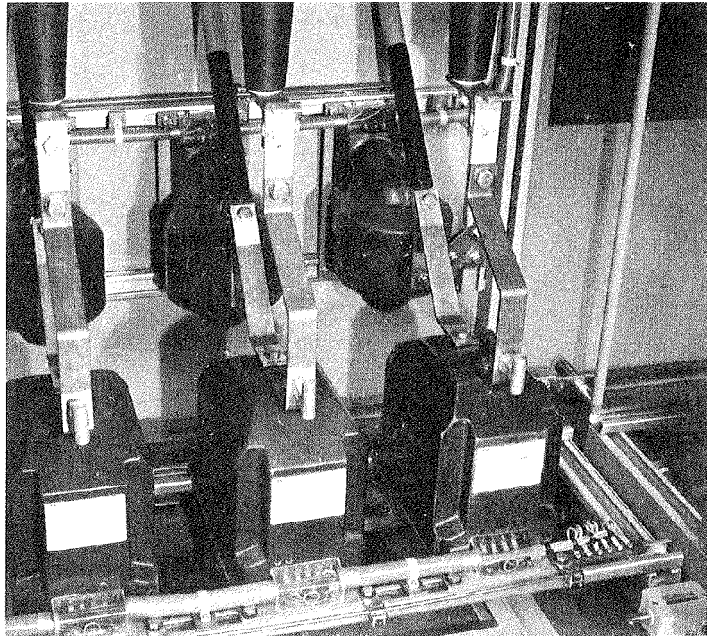
Mynd 8.12. Spennuspennir fyrir spennumælingu fasi – fasi með tengimynd t.h.

Aldrei má skammhleypa eftirvafi spennuspenna. Gerist það vex straumur um spenninn mjög og hann brennur á skömmum tíma. Vegna þessa verður að setja upp yfirstraumsvarnir við útgang spennuspenna. Þessar varnir skal staðsetja eins nálægt spenninum og unnt er.

Ef tengja skal tvö eða fleiri mælitæki við spennuspenni skulu þau hliðtengjast.

Á sama hátt og við straumspenna skal jarðtengja skal annan pól frá eftirvafi spennuspennis til þess að gefa mælarásum fasta spennu til jarðar og til varnar gegn snertihættu.

Raforkudreifikerfi



Mynd.8.13. Mælaspenningar, fulltengdir í 12 kV háspennuskáp.

Raforkudreifikerfi

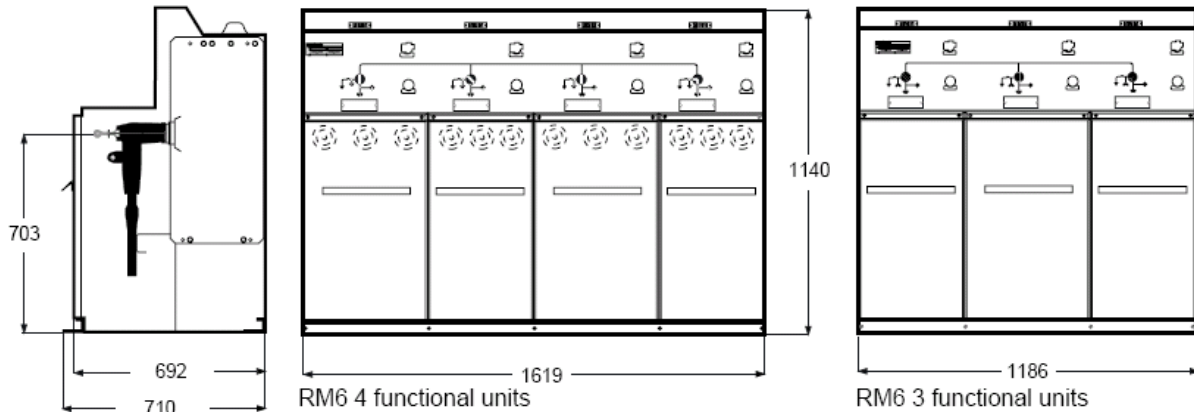
SF₆ háspennuskápar

Á síðustu árum hafa flestir nýir háspennuskápar verið gaseinangraðir og með SF₆ rofum (GIS). SF₆ er óbrennanleg lofttegund sem gefur ekki lykt og er ósýnilegt í umhverfinu. SF₆ er u.þ.b. fimm sinnum þyngra en loft og safnast því saman neðst í rýmum ef það sleppur út úr gaseinangruðum rafbúnaði. Þó rannsóknir hafa leitt í ljós að hlutfall SF₆ í andrúmslofti geti farið upp í 80%, án þess að valda heilsutjóni á mönnum og dýrum, verður að ganga úr skugga um að hlutfall SF₆ í rýmum geti ekki orðið of hátt og valdið súrefnisskort.

SF₆ sameindir eru afar stöðugar og það þarf hátt hitastig (t.d. ljósboga) og sterkt rafsvið til þess að brjóta niður einangrunargildið (mynda neikvæðar jónir). En þetta ástand varir aðeins skamma stund því ferlið gengur strax til baka þegar áraunin hverfur. Einangrunarþol SF₆ er u.þ.b. 2,5 sinnum hærra en andrúmslofts (rafsviðsþol andrúmslofts er 3 MV/m) en með auknum þrýstingi má hækka þetta gildi þannig að það verði svipað og í einangrunarolíu. Vegna þessara eiginleika SF₆ hefur það reynst vel sem slökkvimiðill ljósboga í háspennurofum.

Allur rafbúnaður sem er gaseinangraður verður mun fyrirferðarminni en eldri gerðir sem einangraður eru með lofti (AIS). Þetta á sinn þátt í að dreifistöðvar með SF₆ búnaði komast af með minna húsnæði en eldri gerðir.

Raforkudreifikerfi



Mynd 8.14. 12 kV SF₆ skápar frá Merlin Gerin

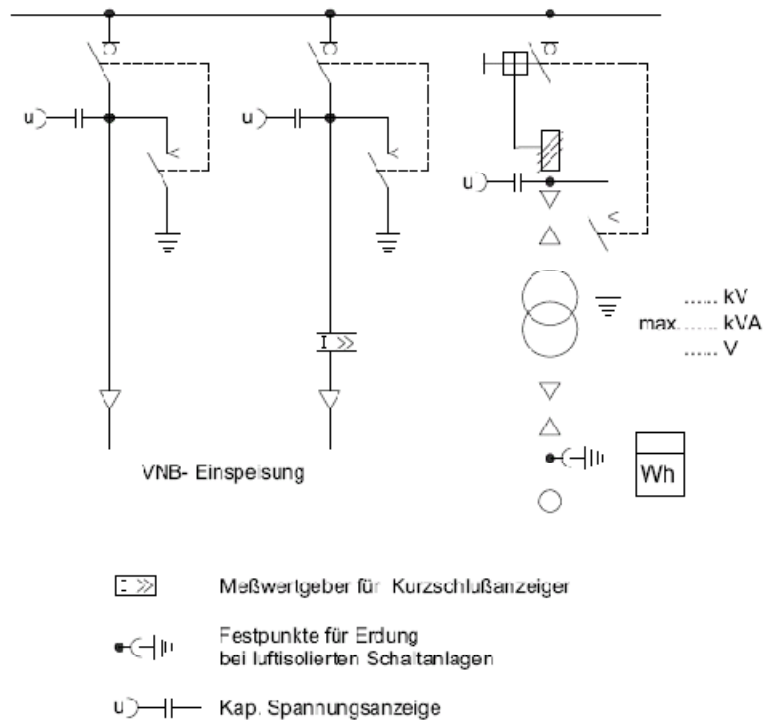
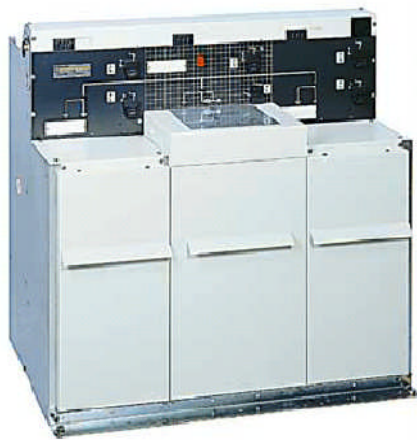
SF₆ skápar eru fánlegir í ýmsum útfærslum, bæði hvað varðar rofabúnað og stjórnúnað, til dæmis með jarðtengirofum, álagsskilrofum, varhöldum og aflrofum.

Innkomandi strengir koma í skápana að neðan, beint inn í sérstakt tengirými, sjá mynd 8.13.

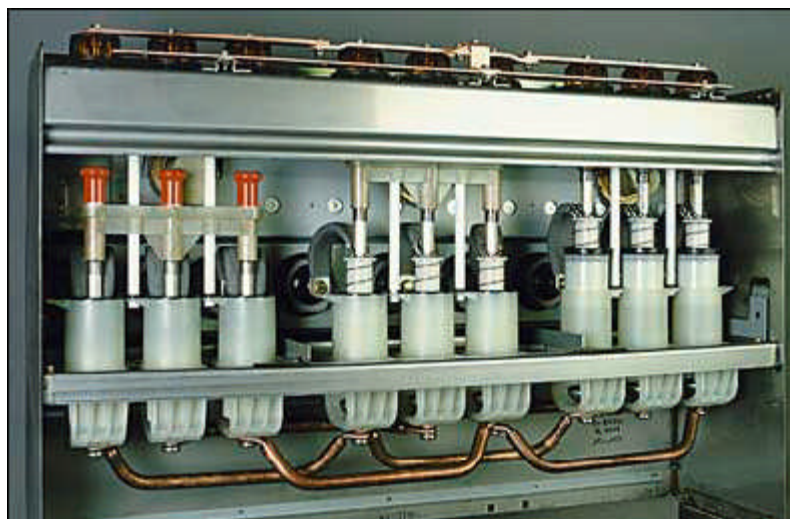
Háspennurofarnir eru þrístöðu með þessari aðgerðaröð; J (jarðtenging) – 0 (úti) – I (inni) og öfugt. Þetta gerir stjórnun álagsskilrofa öruggari því ekki er hægt að setja inn jarðtengirofa nema taka hann út fyrst. Samkvæmt tæknilegum upplýsingum frá framleiðanda má gera ráð fyrir að endingartími rofanna sé allt að 30 ár, án viðhalds. Allur búnaður er snertivarinn.

Skáparnir eru gerðarprófaðir og framleiddir samkvæmt IEC- stöðlum.

Raforkudreifikerfi



Myndin 8.15. 12 kV SF₆ skápaeyning frá Merlin Gerin. Útgangur fyrir spenninn er í miðju og álagsskilrofa fyrir innganga í hvorum enda. Stöðuvísun jarðtengirofa er efst á skápunum.



Mynd 8.16. Hásennurofar í SF₆ skáp frá Merlin Gerin

Raforkudreifikerfi

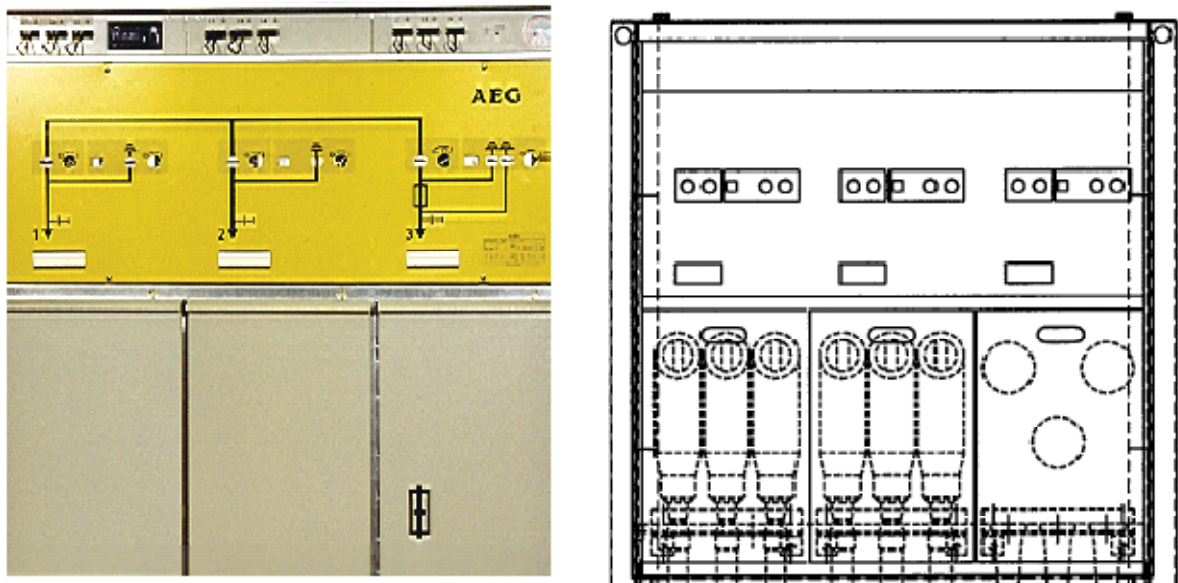
**Háspennurofar í skáp
frá Merlin Gerin**

Álagsskilrofar og aflrofar eru byggðir á svipaðan hátt þ.e. með hreyfanlega snertu sem hefur 3 stöður (lokuð – opin – jörð) snertan hreyfist lóðrétt, sjá mynd 8.16. Hönnun rofans miðast við að ekki sé hægt að loka álagsskilrofa eða aflrofa og jarðtengirofa samtímis. Tengigeta jarðtengirofans er í samræmi við ákvæði alþjóðlegra staðla (IEC). Rofarnir geta bæði framkvæmt straumrof og fullrof. Hægt að setja millilæsingu frá jarðtengirofa eða álagsskilrofa eða aflrofa við lokunar-búnað á hurð fyrir tengirými strengja.

| | | |
|-------------------------------|-------|--------|
| Málspena | 12 kV | 24 kV |
| Höggspennuþolpróf einangrunar | 75 kV | 125 kV |
| Málstraum skinnur | 630 A | 630 A |
| Varstærð (max) | 100 A | 63 A |
| Skammtímastraumþol (1 s) | 21 kA | 16 kA |
| Verndarstig | IP 67 | IP 67 |

Tafla 8.2 Nokkrar tæknilegar upplýsingar frá framleiðanda SF₆ rofabúnaðar.

Raforkudreifikerfi



Mynd 8.17. SF₆ háspennuskápar frá Alstrom,

Hér er mynd af skáp frá öðrum framleiðanda og eins og sjá má eru uppbygging hans svipuð og þess sem lýst var hér fyrir framan.

Við uppsetningu og rekstur raforkuvirkja er mikilvægt að fylgja leiðbeiningum framleiðanda. Hér eru dæmi aðvörunarmerkingar í fylgiskjölum með rafbúnaði.



Warning of a danger area



Warning of electrical voltage



Refers to guidelines and specifications

Mynd 8.18 Aðvörunarmerkingar; efst er hættusvæði, aðvörun vegna spennuhafa búnaðarog neðst er tilvísun í leiðbeiningar og upplýsingar.

9 Dreifispennar



Mynd 9.1. Þrífasa ONAN dreifispennir. Um snið í ytri umlykju spennisins má greina kjarnann og vöfin.

Með dreifispenni er átt við spenni sem breytir spennu raforkunnar á neysluspennu til almennra notenda. Þeir fá þannig raforku frá háspennu dreifikerfi (t.d. 11 kV) og skila henni til lágspennudreifikerfisins (t.d. 230V). Dreifispennar gegna þannig mikilvægu hlutverki við að aðskilja háspennukerfi frá lágspennukerfi og verða því að uppfylla strangar kröfur varðandi einangrunarstig milli for- og eftirvafs og til ytri umlykju (jarðar). Dreifispennar geta verið vökvafyllir og sjálfkældir (með olíu nefnist þessi kæliaðferð ONAN) eða svonefndir þurrspennar (kæliaðferð AN). Stærð dreifispenna getur verið allt að 2,5 MVA með inngangsspennu allt að 36 kV. Spennar í raforkukerfum sem eru stærri en þetta eru nefndir aflspennar. Tæknilega verða spennarnir að uppfylla kröfur staðla t.d. IEC 60076, ásamt samræmdum kröfum (HD and EN) á evrópska efnahafssvæðinu (EES). Varðandi mengunarkröfur verður að setja þró undir spenna sem getur tekið við einangrunarvökva, komi upp leki í spenninum, sbr. Orðsendingu (RER) nr. 2/84 kafla 5.4.2. (3) og (4) og ÍST170 gr. 7.7.

Flestir dreifispennar 50 kVA og stærri eru þrífasa og er þá forvafið venjulega þríhyrningstengt (D) en eftirvafið (bakvafið) stjörnutengt (y) eða krókatengt (z) með miðjuúttaki. Algengir tengihópar eru; Dyn5 og Dyn11. Tengingar við spenninn eru oftast ofan á honum. Ef ekki er um stauraspennistöð að ræða verður

Raforkudreifikerfi

annaðhvort að nota snertivarðan tengibúnað eða koma fyrir hlífum/grindum yfir tengistaðinn.

Allar tengingar inn á spenni skulu vera með réttri herslu og tengiklemmur skulu vera af réttri stærð og gerð. Skermar strengja skulu vera jarðtengdir eða þannig frá þeim gengið, ef þeir eru ekki jarðtengdir, að hugsanleg spennuhækkun á skermum geti ekki valdið hættu eða skaða. Einangrarar gegnumtaka skulu vera heilir og hreinir. Gæta skal þess að frágangur uppfylli ákvæði um fjarlægðir, sjá ÍST170 gr. 4.3.

Stilla má breytihlutfall dreifispenna með þrepastillum (tappings). Í dreifispennum er þrepastillirinn settur við háspennuvafið (forvafið) og er hægt að stilla spennu um nokkur prósent í hverju þrepi t.d. um +/-5.0% með þrepin (stillingarnar) +5.0%, + 2.5%, 0%, - 2.5% and - 5.0%. Ekki má breyta stillingu þrepastillis nema spennirinn sé tekinn úr rekstri og frátengdur veitukerfinu. Þrepastillir skal hafa stöðuvísun svo greina megi stöðu hans þó spennirinn sé í rekstri.

Til að draga úr áhrifum skammhlaupsstraums skal lágmarksskammhlaupsspenna dreifispenna vera samkvæmt ákvæðum (IEC við 75°C):

4.75% fyrir spenna að 1000 kVA

5.5% fyrir spenna 1000 - 1500 kVA

6.0% fyrir spenna 1500 - 2000 kVA

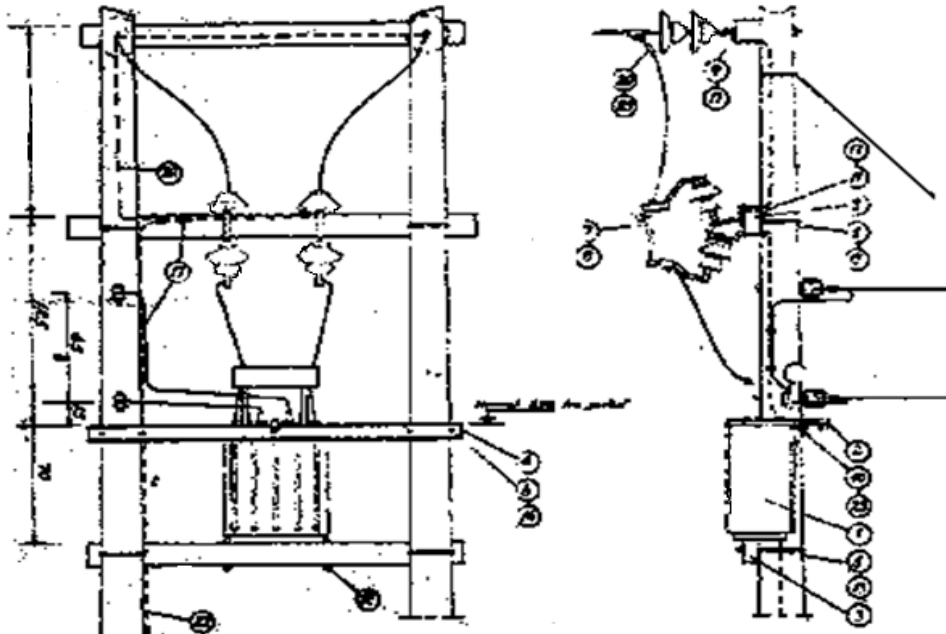
Dreifispennar verða að þola yfirspennur og standast höggspennu próf með neikvætt pólaðri 1,2/50 míkrosekúndna púlsspennu, við 11 kV spenni er þetta gildi 75 kV. Þrátt fyrir þessa kröfum um höggspennuþol einangrunar í dreifispennum verður að

Raforkudreifikerfi

setja upp yfirspennuvarnir (t.d. eldingavara) vegna yfirspennupúlsa sem geta komið um veitukerfið vegna eldinga eða rofaaðgerða í kerfunum.

Dreifispennar sem tengjast við loftlínur skulu varðir fyrir yfirspennum með eldingavörum eða neistagapi.

Nýtni dreifispenna er há eða u.þ.b. 97% fyrir 100 kVA spennu upp í 98% fyrir 1000 kVA. Þó töpin (sem breytast í varma) séu lág eða 2 til 3% þá verður að taka tillit til þeirra við uppsetningu spennanna. Sérstaklega á þetta við um spenna sem eru innandyra en þá þarf að tryggja næga kælingu (loftræstingu) svo spennirinn ofhitni ekki. Einnig verður að gæta þess að spennirinn hafi nægt rými til þess að kælingin verði ekki hindruð. Algengustu spennastærðir eru 315, 500 og 800 kVA í þéttbýli og 15, 25, 37,5, 50 og 100 kVA í strjálbýli.

Raforkudreifikerfi


Mynd 9.2 Stauraspennistöð frá um 1960, hluti af gamalli teikningu frá RARIK
Tafla 9.1 Efnislisti fyrir stauraspennistöð á mynd 9.2

| Nr | Heiti | Ein. | Magn: | Skýring: |
|----|-----------------|------|-------|------------------------|
| 1 | Spennir | stk. | 1 | Rafha 10 kVA |
| 2 | Spennafesting | stk. | 1 | M/bolta |
| 3 | Öryggjaslá | stk. | 2 | 3,5" x 5" x 220 cm |
| 4 | Járnslá | stk. | 1 | 6 x 8 x 200 cm |
| 5 | Klafi | stk. | 4 | 5/8 " með 2 róm |
| 6 | Klafi | stk. | 2 | 5/8 " með 2 róm |
| 7 | Varhalda | stk. | 2 | 11 kV |
| 8 | Varþræðing | stk. | 2 | 3 A |
| 9 | Jarðtengiskinna | stk. | 2 | ¾ " |
| 10 | Jarðtengiskinna | stk. | 1 | 5/8 " |
| 11 | Jarðtengiskinna | stk. | 2 | ½ " |
| 12 | Bolti | stk. | 2 | ½ " x 6" m/ró og skífu |
| 13 | Skífa | stk. | 8 | 5/8 " rétthyrnd |
| 14 | Skífa | stk. | 4 | 5/8 " hringlaga |
| 15 | Jarðtengiklossi | stk. | 1 | |
| 16 | Prímúta | stk. | 2 | 70 mm ² |
| 17 | Prímúta | stk. | 7 | 25 mm ² |
| 18 | Þaksaumur | stk. | 2 | 3" |
| 19 | Girðingarlykkja | stk. | 50 | |
| 20 | Cu – Ál tengi | stk. | 2 | |
| 21 | No-Oxid | kg. | ½ | |
| 22 | Ber eirvír | m. | 40 | 25 mm ² |
| 23 | Ró | stk. | 1 | 5/8 " |

10 Lágspennuhluti dreifistöðvar

Í raflögn frá spennni að lágspennudreifingu geta verið einleiðara strengir eða skinnustokkar. Miklu skiptir að frágangur sé vandaður og festingar tryggar svo lögnin standist þá áraun sem vænta má í þessum hluta raforkukerfisins. Í dreifistöðvum er algengt að nota einleiðara og skulu gildleikar og uppröðun leiðara vera eins fram kemur í töflu í stöðlunarhandbók veitusviðs RARIK (dags. janúar 2007).

Tafla 10.1 Leiðarar frá lágspennu úttaki á skinnur

| Málafi stöðvar | Lágspennuhlíð | Tegund og sverleiki vírs frá lágspennuúttaki á skinnu | Tegund og sverleiki vírs frá N-úttaki inn á PEN skinnu |
|-----------------|----------------|---|--|
| 25 kVA 1-fasa | 230 V (109 A) | 70 mm ² Cu | 70 mm ² Cu gulgrænn*) |
| 25 kVA 1-fasa | 460 V (54 A) | 70 mm ² Cu | 70 mm ² Cu gulgrænn*) |
| 50 kVA 1-fasa | 230 V (217 A) | 70 mm ² Cu | 70 mm ² Cu gulgrænn*) |
| 50 kVA 1-fasa | 460 V (108 A) | 70 mm ² Cu | 70 mm ² Cu gulgrænn*) |
| 100 kVA 1-fasa | 460 V (217 A) | 70 mm ² Cu | 70 mm ² Cu gulgrænn*) |
| 25 kVA 3-fasa | 400 V (36 A) | 70 mm ² Cu | 70 mm ² Cu gulgrænn*) |
| 50 kVA 3-fasa | 400 V (72 A) | 70 mm ² Cu | 70 mm ² Cu gulgrænn*) |
| 100 kVA 3-fasa | 400 V (144 A) | 70 mm ² Cu | 70 mm ² Cu gulgrænn*) |
| 200 kVA 3-fasa | 400 V (289 A) | 150 mm ² Cu | 70 mm ² Cu gulgrænn*) |
| 315 kVA 3-fasa | 400 V (455 A) | 150 mm ² Cu | 150 mm ² Cu gulgrænn*) |
| 500 kVA 3-fasa | 400 V (722 A) | 2x150 mm ² Cu | 150 mm ² Cu gulgrænn*) |
| 630 kVA 3-fasa | 400 V (909 A) | 2x150 mm ² Cu | 300 mm ² Cu gulgrænn*) |
| 800 kVA 3-fasa | 400 V (1155 A) | 2x300 mm ² Cu | 300 mm ² Cu gulgrænn*) |
| 1000 kVA 3-fasa | 400 V (1443 A) | 2x300 mm ² Cu | 300 mm ² Cu gulgrænn*) |

*) og bláu ádragi á endum

Raforkudreifikerfi

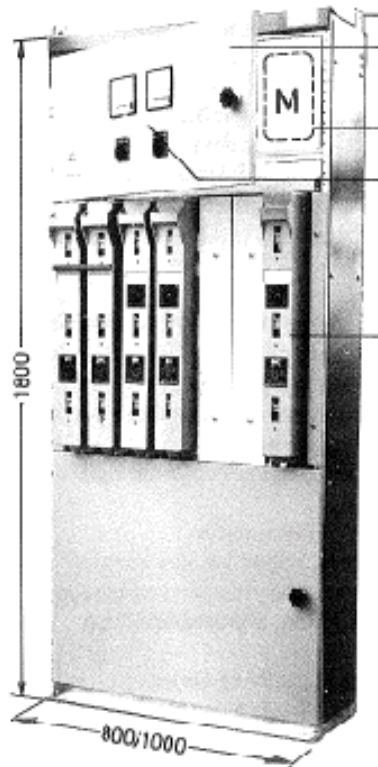


Mýnd 2 Uppröðunar einleiðara þegar tveir, þrjú eða fjórir leiðarar eru í hverjum fasa

Tafla 10.2 Val og uppröðun leiðara frá spennu að lágspennudreifiskáp

Raforkudreifikerfi

Lágspennudreifiskápar



Mynd 10.1

Lágspennudreifiskápur

Um lágspennudreifiskápinn fer öll raforkan frá stöðinni til frekari dreifingar í götuskápum eða til götulýsingar. Í skápnum eru staðlaður rafbúnaður s.s. safnskinnur úr eir eða áli, varrofar o.þ.h. Algengast er að strengir frá spennu komi inn í skápinn að neðan og liggi þá undir upphækkuðu gólfi. Varrofar eru fyrir gripvör (hnífvör) af NH – gerð (samkvæmt DIN staðli). Fjöldi varrofa fyrir útgangandi strengi er nokkuð mismunandi, algengur fjöldi er 4 til 9. Útgangandi notendastrengir tengjast beint við varrofa og liggja frá skápnum undir gólfi (eða í strenggryfju) út úr stöðinni. Skápurinn þarf að vera tryggilega festur við stöðvarhúsið. Þá þarf að festa alla strengi vandlega með strengfestum við inntök neðst í skápnum. Í skápnum er einnig rafbúnaður fyrir stöðvarnotkun og götuljós. Mikilvægir eiginleikar lágspennudreifiskápa eru:

Varrofar eiga að rjúfa álagsstrauma og veita fullnægjandi aðskilnað þegar rofið er.

Búnaður sé snertivarinn.

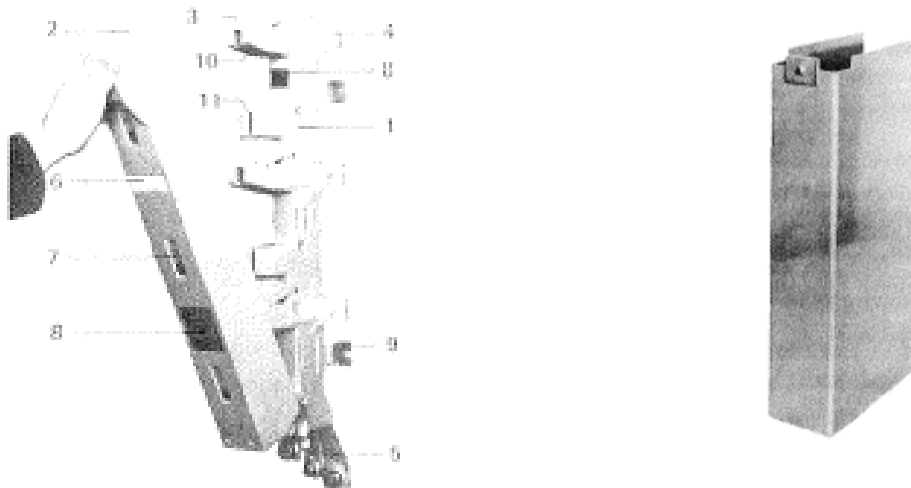
Allar rekstrarmerkingar séu fyrir hendi og greinilegar. Skápurinn sé þoli mesta skammhlaup (50 kA) og líka beina innsetningu við skammhlaup.

Merkja skal töflubúnaðar til leiðbeininga og upplýsinga við notkun og lagnir frá dreifiskáp. Merkingar skulu gerðar úr varanlegu efni og vera greinilegar.

Flest slys í lágspennukerfum verða vegna ljósboga-skammhlaups sem myndast við rof á vörum undir álagi eða þegar reynt er að setja vör inn á skammhleyptan útgang. Vegna þessa er mikilvægt að varrofar séu

Raforkudreifikerfi

vandaðir og vel sé frá þeim gengið. Þeir eiga að vera með snertivörn þegar kerfið er í rekstri og líka þegar verið er að skipta um vör. Þá verða þeir geta rofið alla álagsstrauma og þola skammhlaup allt að 50 kA. Allar rofaðgerðir með varrofum eiga að framkvæmast hratt og ákveðið. Ef taka þarf útgang úr rekstri er hægt að fá hlíf til að setja yfir varhölduna til varnar gegn snertihættu.



Mynd 10.2 Gripvarrofi fyrir útgangandi strengi t.v. og hlíf yfir varhöldu t.h.

Raforkudreifikerfi

Vör í lágspennuskápum

Girpvör eru notuð til að verja leiðara, strengi, rafbúnað og tæki gegn áhrifum yfirálags og skammhlaups. Gripvör eru notuð í varhöldur, varskilrofa og álagsvarskilrofa.

Nokkur eiginleikar gripvara:

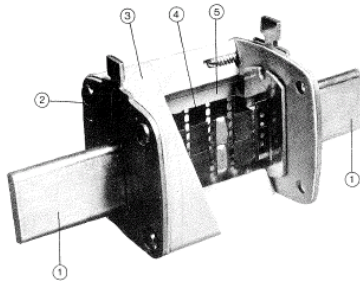
Útleysieiginleiki gripvara gefur góða vörn við skammhlaup og þau hafa mikla rofgetu eða >100 kA við $\cos \varphi = 0,2$.

Tryggja má valvísi ef hlutfall milli málstrauma raðtengdra gripvara í kerfinu sömu gerðar er 1,6 eða meira.

Raforkudreifierki

Við útleysingu myndast engin eða hverfandi rofspenna.

Í varinu er auðsýnilegur fjöðurflipi sem losnar við útleysingu.



Uppbygging varsins:

1. Hnífhlutar eru úr silfurhúðuðum eir.
2. Fjöðurflipinn er auðsýnilegur og gefur merki um að bræðvarið hafi leyst út.
3. Varhúsið er úr efni sem þolir vel rafmagns- hita- og kraftáraun.
4. Bræðihlutinn er soðinn við hnífhlutana og hannaður til að gefa mikla rofgetu. Við yfirálag er útleysing treg en við skammhlaup snögg.
5. Neistavörn er kvartssandur sem uppfylla þarf ákveðnar gæðakröfur

Mynd 10.3 Uppbygging gripvars

Tafla 3 Heimtaugar - stærð stofnvara neysluveitu og heimtaugarvara

| Stærð heimtaugar samkvæmt gjaldskrá | 400 V | | 230 V | | 460 V | |
|-------------------------------------|--------------------------|---|--------------------------|---|--------------------------|---|
| | Stofnvar í töflu notanda | Heimtaugarvar í lággspennuhólf/götuskáp | Stofnvar í töflu notanda | Heimtaugarvar í lággspennuhólf/götuskáp | Stofnvar í töflu notanda | Heimtaugarvar í lággspennuhólf/götuskáp |
| A | A | A | A | A | A | A |
| 20 | 20 | 35 | 50 | 63 | 25 | 35 |
| 50 | 50 | 63 | 125 | 160 | 63 | 80 |
| 100 | 100 | 125 | x | x | 125 | 160 |
| 200 | 200 | 250 | x | x | 250 | 315 |
| 315 | 315 | 400 | x | x | x | x |
| 400 | 400 | 500 | x | x | x | x |
| 500 | 500 | 630 | x | x | x | x |
| 630 | 630 | 800 | x | x | x | x |
| 800 | 800 | 1000 | x | x | x | x |
| 1200 | 1200 | 1500 | x | x | x | x |
| 1600 | 1600 | 2000 | x | x | x | x |
| 2000 | 2000 | 2500 | x | x | x | x |

x – heimtaug af þessari stærð er ekki afgreidd

Tafla 10.3 Varstærðir fyrir heimtaugar eiga að vera eins fram kemur í töflu í stöðlunarhandbók veitusviðs RARIK (dags. janúar 2007)

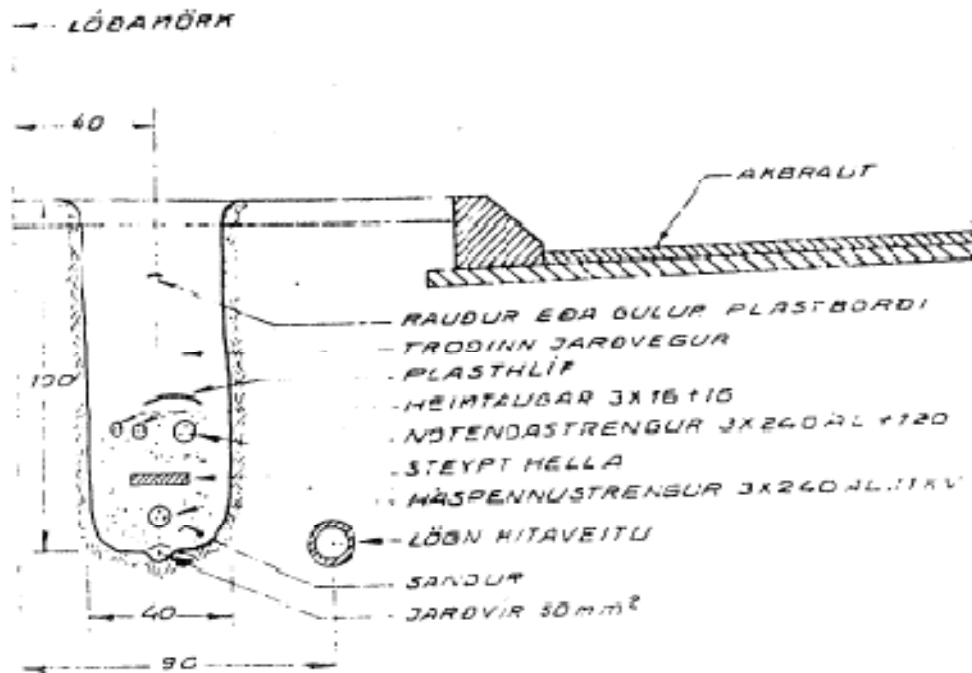
11 Jarðskaut og jarðtengingar

í dreifistöðvum

Í kafla 5 var fjallað almennt um jarðskaut og mikilvægi þeirra. Samkvæmt ÍST170 gr. 9.4 verður að koma upp jarðskautum og jarðtengikerfi í hverju raforkudreifikerfi. Hér á landi er algengast að þessi skaut sé gerð með berum eirvírurum með lágmarksgildleika 25 mm^2 og ef hann er margþættur verður hver þáttur vírsins að vera a.m.k. 1,8 mm að þvermáli (sjá ÍST170, viðauki A).

Tengibúnaður jarðleiðara skal vera sterkur og hafa góða rafmagnsleiðni. Greinilegt skal vera hvert hlutverk hvers jarðleiðara er. Þó má tengja saman fleiri en tvö leiðara ef tenging er varanleg, t.d. klemmd (C-klemma eða vírskór), soðin (Cadweld) eða sambærileg. Að jafnaði skal nota slíkan tengibúnað en hann þykir öruggari en prí mútur. Sé annar búnaður notaður skal hann hæfa gildleika jarðleiðara, hann hæfilega hertur og skal hann eingöngu tengja einn leiðara við jarðleiðara. Eingöngu er heimilt að nota varanlegan tengibúnað, soðinn eða klemmdan, til þess að tengja saman jarðleiðara rekstrarjarðskauts. Jarðleiðarar skulu lagðir í skurði með jarðstrengjum, sjá mynd 11.1 og Orðsendingu RER nr. 10/88 (í viðauka).

Raforkudreifikerfi



Mynd 11.1 Jarðleiðari (jarðvír) er neðar en jarðstrengir í skurði, mynd frá RR 1979

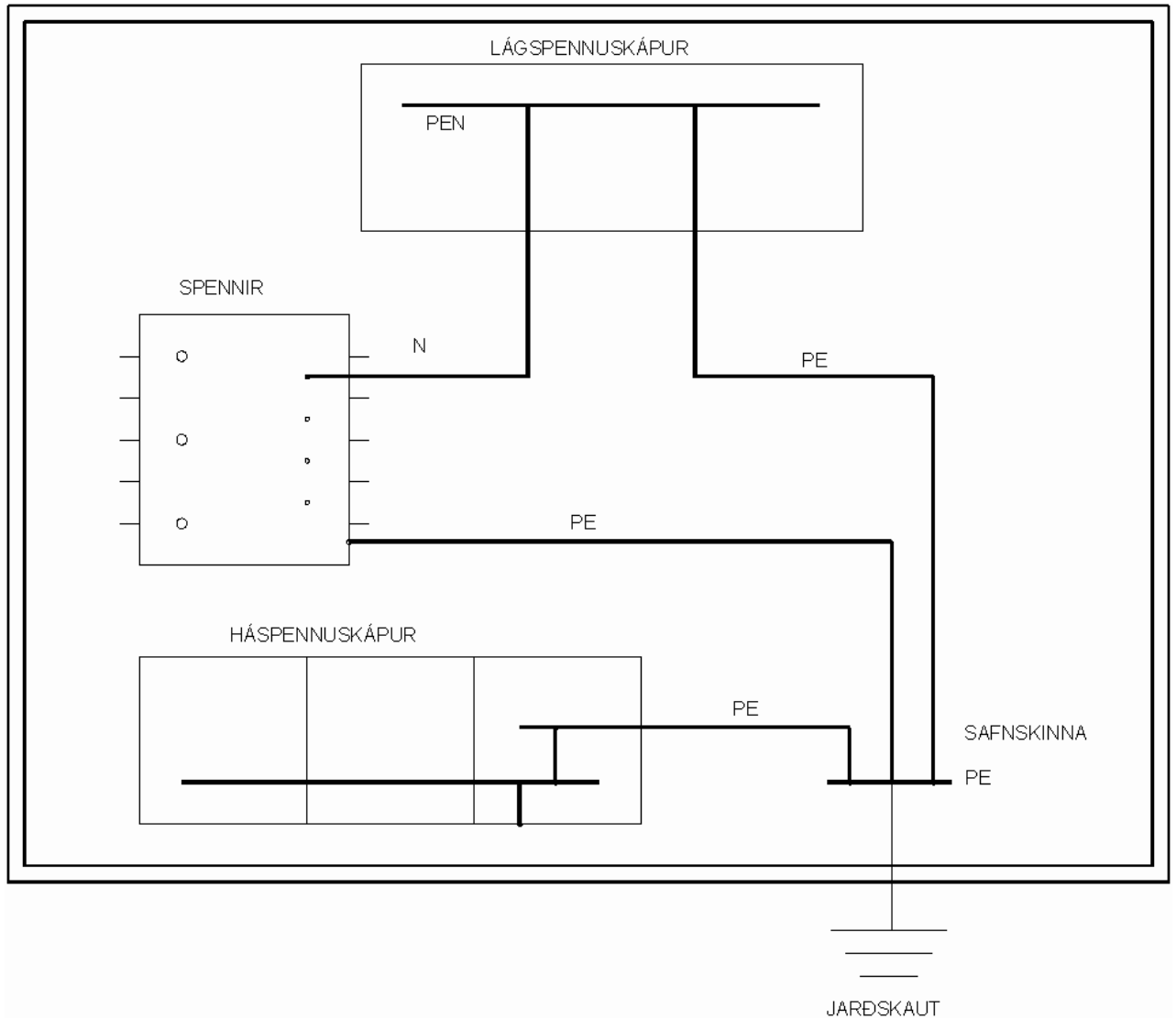
Í dreifistöð skal tryggja að hægt sé að jarðtengja spennulausa leiðandi hluta straumrásar með fastuppsettum jarðrofum og/eða færanlegum jarðtengibúnaði, sjá grein 4.3.4 í Orðsendingu RER nr. 2/84.

Setja skal upp aðaljarðtengitein (safntein) þar sem jarðskautstaugar og jarðtengi-taugar tengjast inná. Merkja skal taugar á aðaljarðtengiteini. Í hverju háspennuvirki skal vera tengibolti fyrir þau jarðtengitæki sem rafveitan á og notar í viðkomandi virki. Núllleiðari (N) frá miðju spennis skal tengdur inná varnarnúlltein (PEN) í lágspennuskáp.

Núllleiðarinn skal vera einangraður og vera lagður á sama hátt og fasaleiðarar. Sjá eftirfarandi dæmi um frágang jarðtenginga í dreifistöð á mynd 11.2.

Varðandi fyrirkomulag og frágang á jarðskautum við strauraspennistöðvar er vísað til Orðsendingar (RER) nr. 5/91, sjá viðauka 2.

Raforkudreifikerfi



Mynd 11.2. Dæmi um fyrirkomulag jarðtenginga í dreifistöð.

Raforkudreifikerfi

Í háspennuvirkjum skal jarðtengja eftirfarandi hluta:

1. Burðar- eða byggingarhluti úr málmum sem við bilun geta komist í snertingu (t.d. með ljósboga) við spennuhafa hluta háspennuvirkis.

Dæmi:

- Leiðandi umgerðir tækja og búnaðar fyrir háspennu.
- Tengimúffur háspennustrengja.
- Hlífur og grindur fyrir framan háspennubúnað.
- Leiðandi stjórnhandföng o.þ.h.
- Festistykki standeinangrara og flangsar á eða utan um einangrara háspennugegnumtaka ef þau eru fest á einangrandi undirlagi.

2. Blýkápur, hlífarlög og leiðandi skerma háspennustrengja.

Undantekning:

Fyrir einleiðara er jarðtenging strengskerms í öðrum enda hans fullnægjandi ef slíks er óskað til að minnka töp í skermi. Það verður hinsvegar að tryggja snertivörn skermsins í ótengda endann.

3. Jarðvír háspennuloftlína sem enda í aðveitustöð.

4. Allar eftirvafsstraumrásir mælaspenna.

5. Samtengd, leiðandi burðarvirki í húsum fyrir háspennuvirki og útvirkjum, þ.m.t. brautarteinar, vatnsleiðslur o.þ.h.

Varðandi frágang jarðskauta og jarðtengitauga skal vísað til viðauka 4.

Lágspennutæki í háspennuvirkjum:

Þess er ekki krafist að lágspennutæki séu jarðtengd sérstaklega umfram fyrirmæli framleiðenda. Ef það er gert skal varnarleiðarinn (PE) tengjast jarðskauti háspennuvirkisins.

Raforkudreifikerfi

Burðarvirki sem hluti af jarðtengirás:

Stór samhangandi burðarvirki úr stáli svo sem umlykjur spenna, stálmöstur o.þ.h. mega vera hluti af jarðtengirás búnaðar svo framarlega sem hægt er að sýna fram á fullnægjandi straumflutningsgetu búnaðarins. Aðrir fastir hlutir burðarvirkisins svo sem standar, burðarjárn o.þ.h. geta verið hluti af jarðtengirás viðkomandi tækis eða búnaðar. Burðarvirki, þ.e. háspennumöstur úr stáli og umlykjur spenna mega ekki vera hluti af jarðtengirás rekstrarjarðskauta.

Jarðtengitaugar og jarðskaut:

Jarðtengitaugar og tengingar þeirra skulu þannig gerðar að þær þoli það álag sem þær kunna að verða fyrir, bæði straumálag og kraftáraun, við skammhlaup þar til rof á sér stað. Hitastig jarðtengitauga og jarðtenginga eftir skammhlaup skal ekki vera það hátt að umhverfinu stafi hætta af. Undantekning frá þessari kröfu eru jarðtengitaugar sem tengjast eftirvafsrás mælaspenna, þar þarf ekki að gera ráð fyrir að taugin flytji skammhlaupsstraum við yfirslátt frá forvafi sem er háspennt (sjá ÍST170-viðauki F5). Talið er að hitastig óeinangraðra jarðtengitauga eftir skammhlaup megi vera allt að 300 °C og allt að 200 °C í umhverfi þar sem íkveikjuhætta kann að vera. Miðað við að skammhlaup sé rofið innan 1 s þá má straumbéttleiki jarðtengitauga vera:

| Leyfilegur straumbéttleiki miðað við að skammhlaup sé rofið innan 1 s. | | |
|--|-----------------------------|-----------------------------|
| Efni jarðtaugar | 200 °C [A/mm ²] | 300 °C [A/mm ²] |
| Cu, (Kopar) | 160 | 190 |
| Al, (Ál) | 100 | 120 |
| Fe, (Járn) | 60 | 70 |

Tafla 11.1 Straumbéttleiki jarðtengileiðara.

Raforkudreifikerfi

Jarðtengitaugar í háspennuvirkjum skulu ekki vera grennri en 16 mm^2 ef þær eru úr Cu eða 35 mm^2 Al og ekki grennri en 50 mm^2 ef þær eru úr Fe (sjá ÍST170-9.2.2.2). Undantekningar frá þessu eru jarðtengitaugar sem tengjast eftirvafsrásum mælaspenna þar sem forvafið er háspennt. Þar skulu jarðtaugar vera minnst $2,5 \text{ mm}^2$ Cu (sjá ÍST170-viðauki F5).

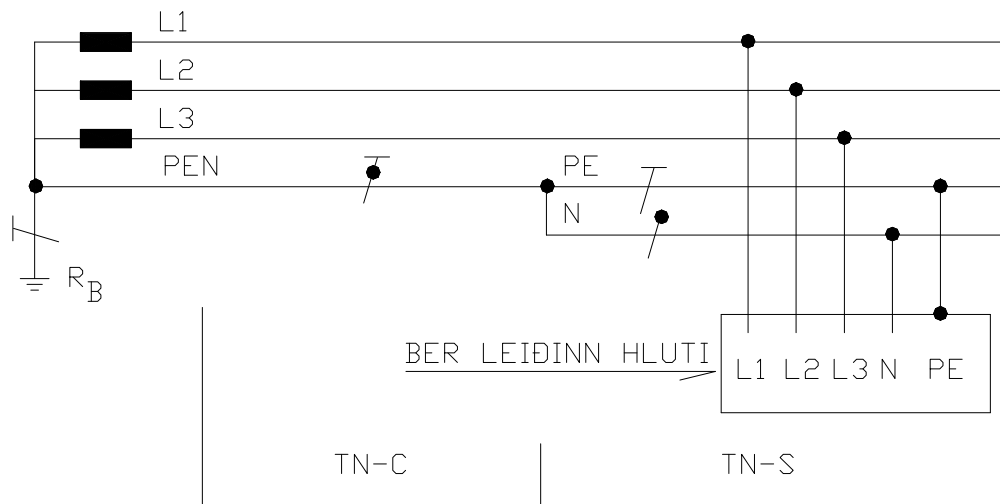
Jarðskaut eru í beinni snertingu við jarðveginn og skulu því gerð til þess að standast tæringu (efnaáraun) eða áraun lífræns eðlis, oxun, myndun raflausnar, rafgreiningar o.þ.h. Þau verða að standast kraftræna áraun og þola þá varmamyndun sem upp kann að koma í daglegum rekstri s.s. af völdum skammhlaupsstrauma og eldinga. Leyfilegt er að nota stál og kopar með lágmarksgildleika samkvæmt töflu í ÍST170-viðauka A.

12 Kerfisgerðir og spennukerfin

Helsta vörn gegn snertingu við spennuhafa búnað er augljóslega að einangra hann frá umhverfinu eða koma tryggilega í veg fyrir aðgengi að honum. Slík aðgerð nefnist vörn gegn beinni snertingu eða grunnvörn. En þrátt fyrir þessar aðgerðir getur einangrun slitnað, skemmst eða gefið sig með tímanum og snertihætta myndast. Nauðsynlegt er að koma upp vörnum gegn þess háttar bilunum. Varnaraðgerð gegn snertihættu af völdum innri einangrunarbilunar í rafbúnaði nefnist vörn gegn óbeinni snertingu eða bilunarvörn.

Greint er á milli lágspennukerfa eftir því hvernig jarðtengingum og snertispennuvörn-um í þeim er háttað. Þessu má lýsa með því að skoða meðfylgjandi myndir af dreifveitum, sjá ÍST200, grein 312.2. Almennt er ákvörðun um gerð kerfis tekin af viðkomandi rafveitu (sjá Tæknilega tengiskilmála raforkudreifingar, TTR 3.3.1). Myndirnar sýna eftirvöf dreifispennis (lágspennuhluta spennis), leiðara í dreifiveitunum og hvernig berir leiðnir hlutar eru jarðtengdir í hverri kerfisgerð. Takið eftir teiknitáknum sem sýna hvort um PE-, N- eða PEN-leiðara sé að ræða.

Raforkudreifikerfi



Mynd 12.1 TN kerfi (áður núllun)

Í TN kerfi er einn punktur beint jarðtengdur og leiðnir snertanlegir hlutar eru tengdir við þann punkt með varnarleiðurum. Gerður er greinarmunur á þrenns konar TN kerfum eftir sambandi milli núllleiðara (N) og varnarleiðara (PE):

TN-S kerfi: Sérstakur varnarleiðari lagður um allt veitukerfið.

TN-C-S kerfi: N- og PE-leiðari eru sameinaðir í einum leiðara, varnarnúllleiðara (PEN-leiðara) í hluta veitukerfisins.

TN-C kerfi: N- og varnarleiðari sameinaðir í öllu veitukerfinu.

TN-C kerfið er algengasta kerfisgerð í veitukerfum hér á landi, en eftir að inn í byggingu (neysluveitu) er komið breytist kerfið í TN-S.

Í TN kerfi eru allir leiðnir hlutar tengdir með varnarleiðurum við jarðtengipunkt rafkerfisins í dreifistöð, venjulega núllpunkt spennisins. Varnir gegn óbeinni snertingu í TN kerfum byggist á útleysingu, komi upp einangrunarbilun í kerfinu eða í búnaði sem

Raforkudreifikerfi

tengdur er við það.

Öryggi TN-kerfis

Öryggi TN-kerfis byggist á að:

- allir leiðandi hlutar utan straumrása skulu í tengdir við varnarnúllleiðara (PEN)
- sett hafi verið upp rekstrarjarðskaut fyrir hverja dreifistöð og varnarskaut í hverri neysluveitu
- í hverri neysluveitu skal vera spennujöfnun
- heildarjarðskautsviðnám skal vera lægra en 2 ohm eða $R_b/R_e < 1/3,6$
- eiginleiki varna og gildleiki leiðara skal vera þannig að útleysing verði innan tiltekins tíma við einpóla skammhlaup í hvar sem er í veitunni.

Raforkudreifikerfi

Í TN-kerfi er snertispenna skilgreind sem spennufall í PE- og PEN-leiðurum við einangrunarbílun, á milli bilunarstaðar og miðju spennisins. Kanna verður hvort útleysiskilyrði eru uppfyllt þ.e. hvort skammhlaupsstraumur sé nægur til þess að vörnin leysi út tafarlaust (sjálfvirkt rof). Heildarviðnám í skammhlaupsrásinni nefnist hringrásarviðnám og nær það til allrar straumrásarinnar frá spennu að skammhlaupsstað og til baka að spennu. Útleysitími skal þá vera skemmri en tiltekið er í reglum (t.d. 400 ms) og telst fullnægjandi ef;

$$Z_s * I_a < U_0$$

U_0 er spenna fasaleiðara til jarðar

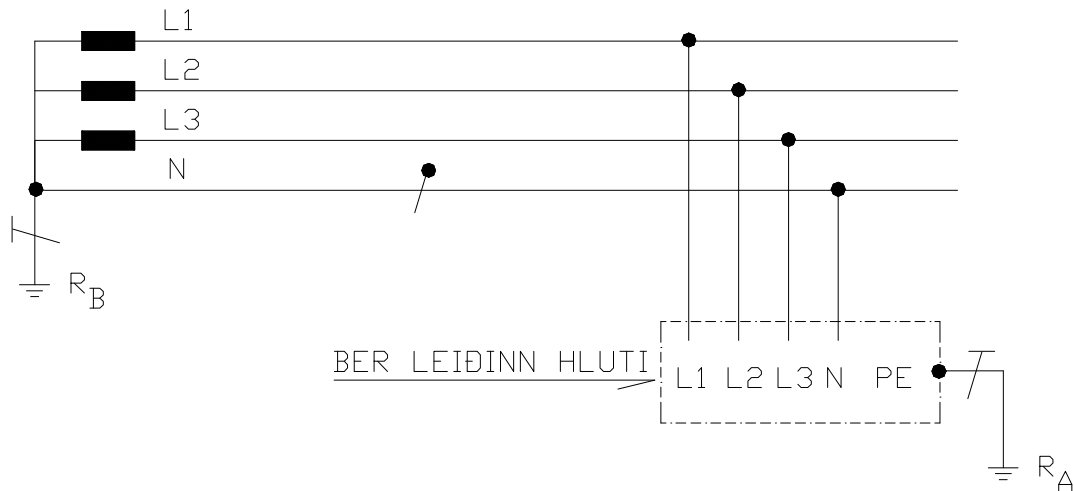
Z_s er hringrásarviðnám

I_a er útleysistraumur yfirstraumsvarnar sem tryggir tafarlausu útleysingu.

Sjá ÍST200, gr. 131.2, 413.1, 413.1.3.3, 413.1.3.4, 413.1.3.5, tafla 41.1, 413.1.7, tafla 41.3 og 531.2.3.

Raforkudreifikerfi

TT kerfi



Mynd 12.2 TT kerfi (áður hlífðarjarðtenging um sérskaut)

Í TT kerfi er einn punktur beint jarðtengdur í eigið jarðskaut (kerfisjarðskaut). Berir leiðni hlutar raflagnarinnar eru tengdir við sérstök jarðskaut (varnarskaut) sem eru óháð kerfisjarðskautinu. TT kerfin eru nokkuð notuð hér á landi og þá aðallega þegar ekki er unnt að setja upp TN kerfi vegna ófullnægjandi útleysiskilyrða.

Öryggi TT-kerfis

Öryggi TT-kerfis byggist á að:

- miðja spennis sé jarðtengd í dreifistöð (rekstrarjarðskaut)
- heildarjarðskautsviðnám kerfisins skal vera lægra en 2 ohm
- allir leiðandi hlutar utan straumrásu skulu í tengdir við varnarleiðara (PE) og varnarskaut viðkomandi byggingar
- í hverri neysluveitu skal vera spennujöfnun
- eiginleiki varna skal vera þannig að útleysing verði innan tiltekins tíma (t.d. 200ms).

Raforkudreifikerfi

Snertispennuvörnin telst fullnægjandi ef framangreind atriði reynast í lagi og spennuhækkun yfir varnarskaut er innan við 50 V við einpóla jarðhlaup í hvar sem er í veitunni.

$$R_a * I_a < U_L \text{ eða } R_a * I_{\Delta N} < U_L$$

I_a er útleysisstraumur yfirstraumsvarnar sem tryggir tafarlausu útleysingu

$I_{\Delta N}$ er málstraumur bilanastraumsrofa.

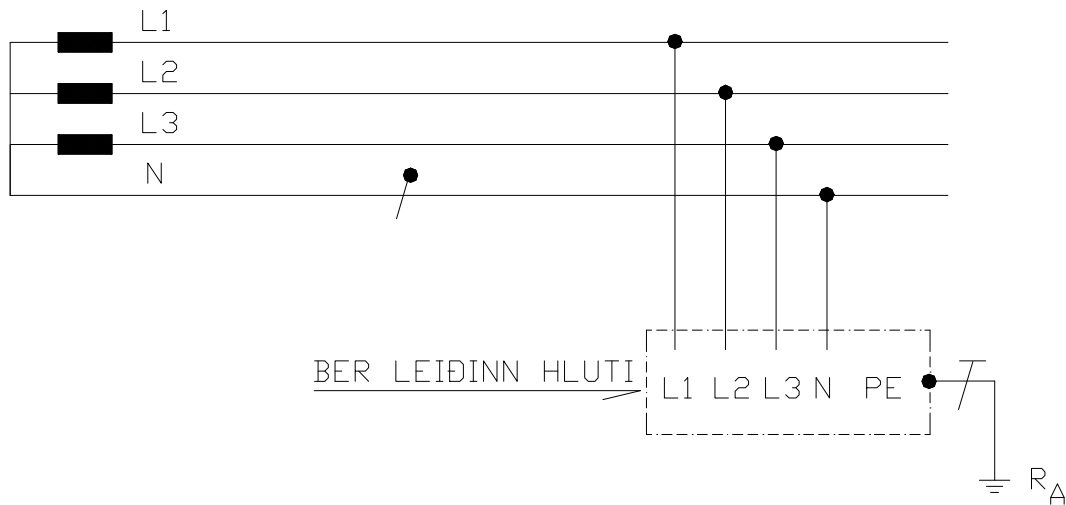
Ef rofi er af S-gerð (með tímatöf) skal miða við $2 * I_{\Delta N}$

U_L er 50 V eða 25 V eftir staðháttum.

Í TT-kerfi verður að ná sjálfvirku rofi með bilanastraum sem leitar til jarðar um varnarskaut neysluveitunnar. Þessir straumar verða mun lægri en hringrásarstraumar í TN-kerfi vegna viðnáms í varnarskautinu. Hér kemur því einungis bilanastraumsrofavörn (RCD) til greina og verður þá að beita hlífðareinangrun frá inntaksstað í neysluveitu að bilanastraumsrofanum. Sjá ÍST200, gr. 413.1.4, 531.2.4, 413.1.4.3 og 532.1.2

Raforkudreifikerfi

IT kerfi



Mynd 12.3 IT kerfi (áður varnarleiðiskerfi)

Í IT kerfi eru allir spennuhafa hlutar einangraðir f rá jörð eða einn punktur jarðtengdur í gegnum samviðnám. Berir leiðnir hlutar raflagnarinnar eru jarðtengdir hver fyrir sig, sameiginlega, eða tengdir sameiginlega við jarðtengingu varnarskaut (sjá 413.1.5).

IT kerfi eru ekki notuð í almenningsveitum hér á landi, en þau má finna í sérstökum neysluveitum. Ekki verður fjallað nánar um IT kerfi í þessu riti.

Skylt er að sannreyna virkni snertispennumarna í neysluveitum, áður en þær eru teknar í notkun. Þetta verður að gera með viðeigandi mælingum, s.s. einangrunarmælingu, lágohmsmælingu á varnar- og spennujöfnunarleiðurum, hringrásarviðnámsmælingu, mælingu á jarðskautsviðnámi og mælingu á virkni bilunarstraumsrofa, eftir því sem við á hverju sinni.

Raforkudreifikerfi

Spennukerfi á Íslandi

Samkvæmt IEC 60038 eru nafnspennum skipt í flokka eftir styrk. Fyrir riðspennu eru þrír flokkar; á spennusviði I eru 6, 12, 24 og 48V, spennusviði II eru 110, 120/240, 230/400, 277/480, 400/690 og 1000V og spennusvið III með háspennu (yfir 1 kV).

Lágspennudreifikerfi rafveitna eru að jafnaði rekin með þrífasa riðstraumi, samkvæmt samræmingarskjali um nafnspennu SAM HD 472 S1. Samkvæmt því skal nafnspenna vera á spennusviði II:

| Spennukerfi | Algengar kerfisgerðir: | Spennur í kerfinu |
|-------------|------------------------|--|
| 3~230V | TT kerfi | 230V milli fasa í þrífasa þriggjaleiðara kerfum |
| 3N~400/230V | TN-C-S kerfi | 230V milli fasa og N-leiðara og 400V milli fasa í þrífasa fjögraleiðara kerfum |

Tafla 12.1 Spennukerfi og kerfisgerðir fyrir þrífasa kerfi.

Í strjálbýli eru rekin einfasa riðstraumskerfi með þessum nafnspennum.

| Spennukerfi | Kerfisgerð: | Spennur í kerfinu |
|-------------|--------------------|--|
| 1N~230V | TN og TT kerfi | 230V milli fasa og N-leiðara í einfasa tveggjaleiðara kerfum |
| 2N~460/230V | TN-C-S og TT kerfi | 230V milli fasa og N-leiðara og 460V milli fasa í einfasa þriggjaleiðara kerfum. |

Tafla 12.2 Spennukerfi og kerfisgerðir fyrir einfasa kerfi í strjálbýli.

13 Lágspennudreifierkerfi

Lágspennustrengir (1 kV)

Í dag eru þessi kerfi nánast öll með jarðstrengjum. Til einföldunar á birgðahaldi og hagræðingar velja rafveitur nokkrar staðlaða gildleika á strengjum í raforkukerfin. Algengast er að nota álstrengi sem notendastrengi og í stærri heimtaugar.

Gerð 1 kV jarðstrengja

| Birgðanúmer | Gerð | Leiðari |
|-------------|--------------------------|--|
| 2015000 | 4x10 mm ² Cu | Sívalir og massifir |
| 2015100 | 4x25 mm ² Al | Sívalir og massifir |
| 2015300 | 4x50 mm ² Al | Helst sívalir og massifir, annars sektorformaðir og fjölþættir |
| 2015400 | 4x95 mm ² Al | Sektorformaðir og fjölþættir |
| 2015500 | 4x150 mm ² Al | Sektorformaðir og fjölþættir |
| 2015700 | 4x240 mm ² Al | Sektorformaðir og fjölþættir |

Tafla 13.1 Lágspennustrengir samkvæmt stöðlunarhandbók RARIK

Samkvæmt CENELEC merkingum er merking þessara strengja A1VV-A-S 4G150 (fjórir 150 mm² álstrengir með geirlaga leiðurum, einn af þeim gulgrænn).

Eirstrengir er helst notaðir í grennstu heimtaugarnar (50A), gildleiki 10 mm² og er marking þeirra samkvæmt CENELEC A1VV 4G10 (fjórir 10 mm² Cu leiðarar, einn af þeim gulgrænn). Gildleika strengja verður að velja í samræmi við álag en einnig þarf að huga að spennufalli við mesta álag og útleysiskilyrði yfirstraumsvarna. Mikilvægt er að staðsetja dreifistöðina þannig að hún verði u.þ.b. miðsvæðis í byggðinni og velja síðan strengi í samræmi við það.

Raforkudreifikerfi

**Hliðtenging
jarðstrengja**

Varðandi frágang jarðstrengja er vísað til Orðsendingar (RER) Mannvirkjastofnunar nr. 10/88 í viðauka.

Þegar flytja þarf mikið afl langa vegalengd getur verið hagkvæmt að hliðtengja tvö strengi. Þetta getur t.d. átt við um jarðstreng að fyrsta götuskáp. Mikilvægt er að álagsstraumur skiptist jafnt milli strengjanna en það má tryggja með því að hafa báða strengi með sama gildleika (að sjálfsögðu af sömu gerð) og jafnlanga. Nú ætti straumur að skiptast jafnt á strengina og spennufall að verða aðeins helmingur af því sem verður ef um einn streng era ð ræða. Í þessu sambandi verður að huga að vörnum og má í því sambandi benda á ákvæði í ÍST 200:2006 greinar 433.6 (yfirálagsvörn) og 434.3 (skammhlaupsvörn). Þegar notaðir eru tvær varhöldur (varskilrofar) verður að tryggja að þannig sé frá þeim gengið að þær fari báðar út þegar gera á strenginn spennulausan. Þetta má gera með því að festa varhöldurnar tryggilega saman þannig að útilokað sé að taka aðra varhölduna út þegar hin er inni. Þetta er mikilvægt öryggisatriði.

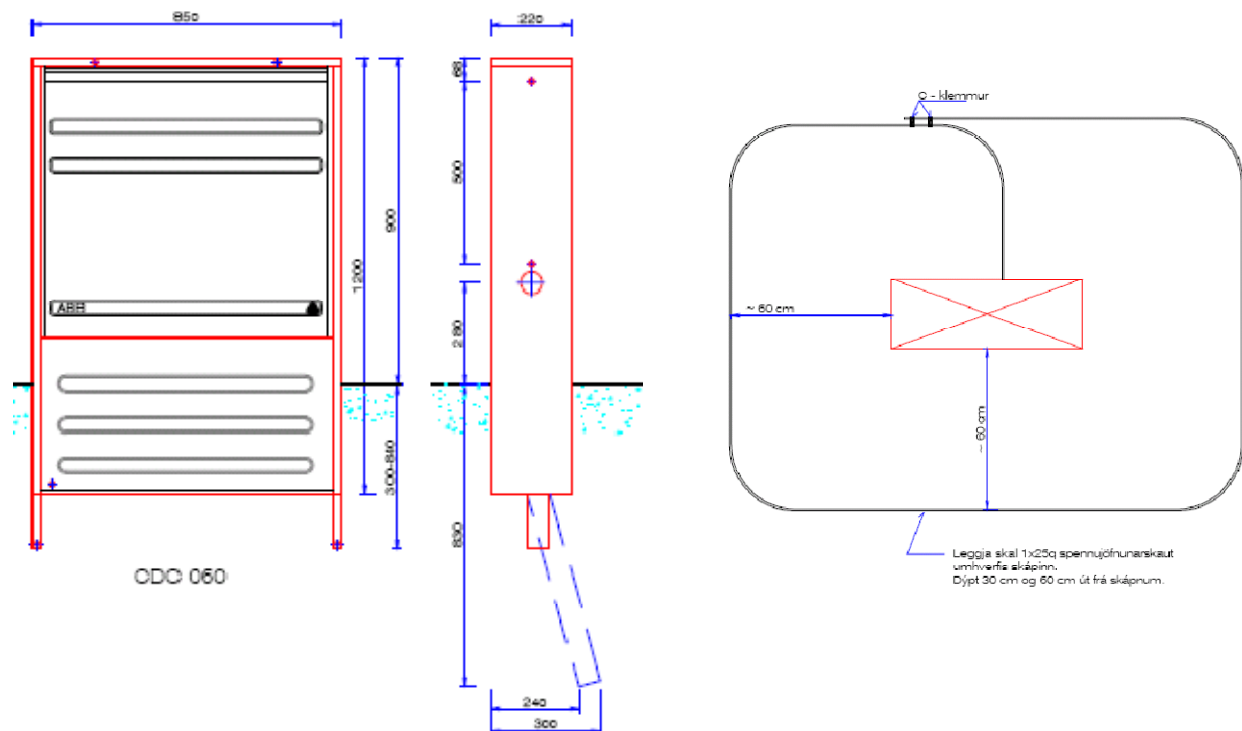
Raforkudreifikerfi

Götuskápar

Mynd 13.1 Götuskápur með tengibúnaði fyrir fjóra notendastrengi (í miðju) og varrofum fyrir fimm heimtaugar.

Á síðustu árum hafa allir nýjir götuskápar verið með snertivörðum búnaði sem auðveldar alla vinnu við skápana og dregur úr slyshættu. Ýmsar gerðir hafa verið notaðar fyrr á árum og má þar nefna skápa Elge, Triax og Kabeldon. Oft hafa innkaup á skápum verið ákveðin í framhaldi af útboði sem hefur leitt til þess að margar mismunandi skápagerðir geta verið í rekstri hjá sömu rafveitu. Á sama hátt og við jarðstrengi einfaldast birgðahald mjög ef hver rafveita notar aðeins skápa frá einum framleiðanda og þá um leið allan búnað sem skápnunum fylgir. Sem dæmi má nefna að í stöðlunahandbók RARIK er mælt fyrir um að nota skuli skápa og skápaþúnað frá ABB-Kabeldon, sjá nánar vörulista þeirra og viðauka 3.

Raforkudreifikerfi



Mynd 13.2 Frágangur Kabeldon götuskáps t.v. og spennujöfnunarskaut götuskáps t.h.
ÚR stöðlunarhandbók RARIK

Við val á skápastærð þurfa upplýsingar um þann búnað sem setja á upp í skápinum þ.e. fjölda inn- og útganga og hvernig þeir eiga að tengjast í skápinum. Með þessar upplýsingar er hægt að ákvarða skápstærð. Þegar staðsetning götuskáps er valin verður að taka tillit til áverkahættu og að notendastrengir verði sem stystir. Góð staðsetning er við lóðamörk, fjarri innkeyrslu á lóð. Einnig er mikilvægt að miðað sé við endanlega jarðvegshæð á lóð og gangstétt, þegar skápur er settur niður, þannig að ekki sé hættu á að skápurinn grafist óhóflega djúpt í jörð eða standi of hátt þegar gatnaframkvæmdum er lokið. Setja verður upp spennujöfnunarskaut við götuskápa sjá mynd 13.2. Mikilvægt er að merkja alla strengi og rafbúnað sem eru í götuskápum.

14 Einfasa dreifikerfi

Einfasa dreifikerfi

Eins og áður hefur komið fram eru einfasa dreifikerfi ekki notuð nema í allra smæstu veitum. Í dreifbýli hér á landi eru þó víða notaðar einfasa háspennuálmur, sem liggja frá þrífasa línunum, til dreifingar á raforku. Stofnkostnaður við þessar línur er lægri en við samsvarandi þrífasa línur og geta þær því verið hagkvæmar á strjálbýlustu svæðum landsins. Allar neysluveitur á þessum svæðum verða þá sjálfkrafa einfasa. Í þéttbýli með þrífasa dreifikerfum eru minnstu neysluveiturnar einfasa þó rafdreifikerfin sjálf séu þrífasa.

Álagsstraumar

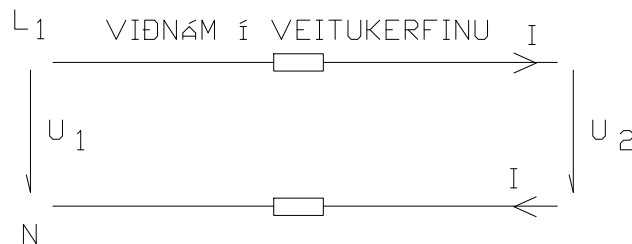
Straumar í raforkukerfi ákvarðast af álagi kerfisins eins og það er hverju sinni. Við reikning á þeim verður að taka tillit til aflstuðuls álagsins eins og fram kemur í jöfnunni

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \phi} \quad (A)$$

Raforkudreifikerfi

Spennufall

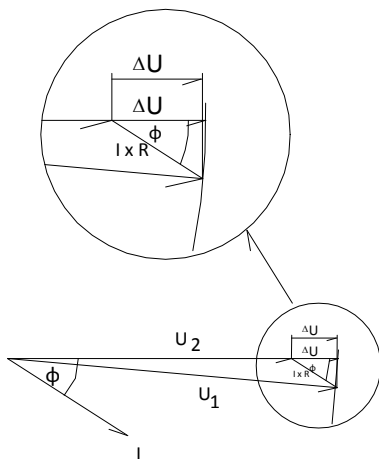
Í leiðurum dreifikerfanna er viðnám en auk þess myndast spanviðnám í þeim, mismikið eftir uppbyggingu dreifikerfisins. Vegna þessa mun spenna við álagið (notandann) að vera lægri en spennan inn á kerfið. Þetta ástand nefnist spennufall og er stærð þess skilgreind sem spennunundur á milli inn- og útgangsspennu kerfis eða hluta kerfis þ.e.a.s. mældra gilda á spennu.



Mynd 14.1. Jafngildismynd fyrir einfasa veitukerfi

Ákvörðun spennufalls við tiltekið álag er því einfalt ef kerfið er í rekstri og hægt að koma mælingum við. Við hönnun er þetta að sjálfsögðu ekki raunin og verður því oft að beita útreikningum við ákvörðun spennufalls. Hér er gert ráð fyrir að samviðnám kerfanna sé að mestu leiti raunviðnám en þetta á við um rakstraumskerfi og greinar, kvíslar og grennri jarðstrengi (að u.þ.b. 50 mm²) í riðstraumskerfi.

Algengt er að miða við að hámarksspennuföll verði, í dreifikerfi 5%, í kvíslum í neysluveitum 1-2% og í greinum 2-4%. Reikna má spennufall í kerfi með hreinu raunálagi ($\cos \phi = 1$) og viðnámið R_L í hvorum í leiðara:



Mynd 14.2. Spennufall þegar álag er með fasviki.

$$\Delta U = U_1 - U_2 \approx I \cdot 2 \cdot R_L \quad (V)$$

Raforkudreifikerfi

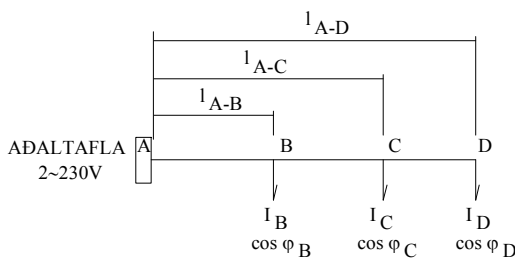
Ef álagið er með fasviki verður að taka tillit til þess. Vektoramyndin (mynd 14.2) sýnir samband straums og spennu við inn- og útgang á rafdreifikerfi. Ef stækkaða myndin er skoðuð nánar má sjá að með útreikningi má námunda spennufallið með því að nota þessa jöfnu:

$$\Delta U = U_1 - U_2 \approx I \cdot 2 \cdot R_L \cdot \cos \phi \quad (V)$$

eða ef raunafl álagsins er þekkt:

$$\Delta U = U_1 - U_2 \approx \frac{P}{U} \cdot 2 \cdot R_L \quad (V)$$

Við dreifingu á raforku greinast oft margir útgangar frá sömu línu (greinótt dreifing). Þetta þýðir að álagsstraumar og afl-stuðull í einstökum hlutum kerfisins verða misstórir og verður því að taka tillit til þess við útreikning á spennu-fallinu. Ef aflstuðular fyrir álagið í B, C og D eru frábrugðnir verður að finna aflstuðul heildarálagsins, $\cos \varphi_h$. Spennufallið í dreifikerfinu má þá reikna þannig:



$$\Delta U_{AD} = \left(\frac{2 \cdot \rho \cdot \cos \phi_h}{A} \right) \cdot \sum (I \cdot l) \quad (V)$$

og

$$\sum (I \cdot l) = I_B \cdot l_{AB} + I_C \cdot l_{AC} + I_D \cdot l_{AD} \quad (Am)$$

Mynd 14.3. Greinótt raforkudreifing.

Raforkudreifikerfi

Afltap

Afltap í einfasa raforkudreifikerfi verður;

$$\Delta P = 2 \cdot (I)^2 \cdot R_L \quad (W)$$

eða, ef raunafl álagsins er þekkt, má reikna afltapið:

$$\Delta P = \left(\frac{P}{U \cdot \cos \phi} \right)^2 \cdot 2 \cdot R_L \quad (W)$$

Við greinóttu dreifingu má ákvarða afltap í kerfinu:

$$\Delta P = \frac{2 \cdot \rho \cdot \sum (I^2 \cdot l)}{A} \quad (W) \quad \text{og}$$

$$\sum (I^2 \cdot l) = I_{AB}^2 \cdot l_{AB} + I_{BC}^2 \cdot l_{BC} + I_{CD}^2 \cdot l_{CD} \quad (A^2 m)$$

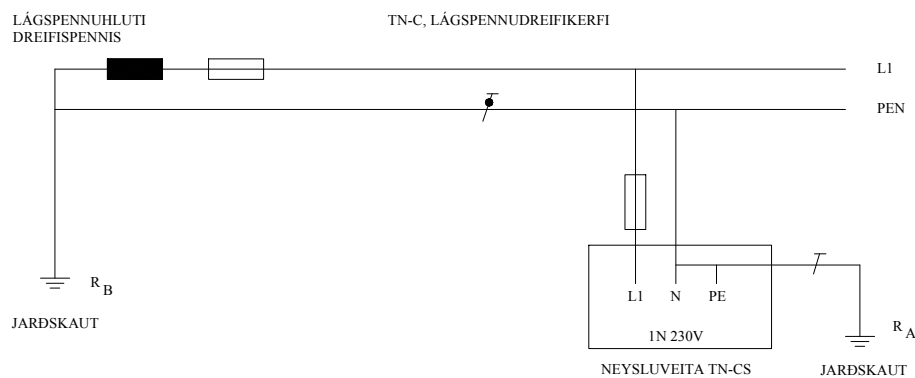
**Skammhlaupsstraumur
(einfaldað)**

$$I_k = \frac{U}{2 \cdot R_L} \quad (A)$$

Raforkudreifikerfi

Einfasa tveggjaleiðarakerfi

Tveggjaleiðara kerfið er einfaldasta gerð raforkuveitu. Í kerfinu eru tveir leiðarar og er veituspennan 230V á milli þeirra. Ef kerfið er hluti af þrífasa kerfi geta leiðarar þess annaðhvort verið tveir fasaleiðarar frá þríggjaleiðarakerfi eða fasaleiðari og núllleiðari frá fjögraleiðarakerfi.

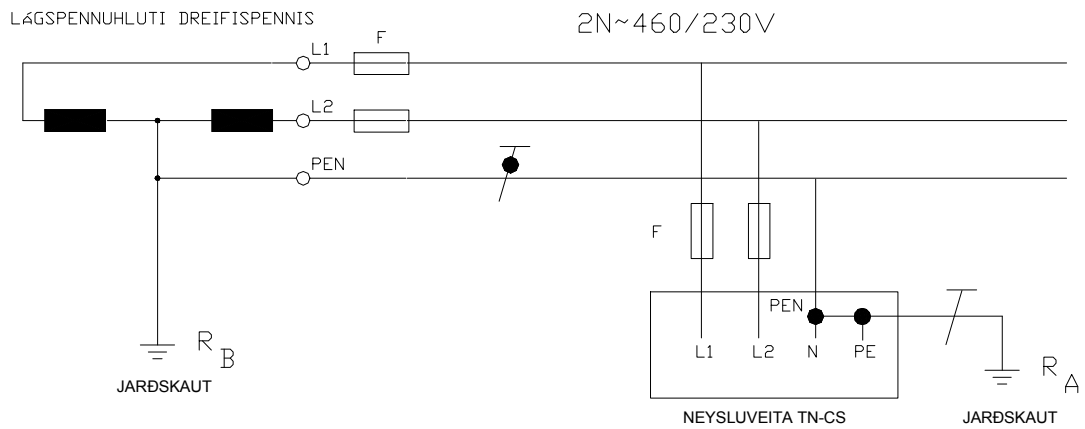


Mynd 14.4. Eeinfasa tveggjaleiðara TN-C-S kerfi.

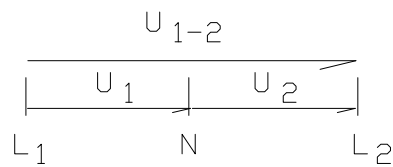
Einfasa þríggjaleiðarakerfi

Þessa gerð veitukerfa er einkum að finna í dreifbýli hér á landi og þá eingöngu þar sem ekki er kostur á þrífasa kerfi. Kerfið hefur tvo fasaleiðara og núllleiðara sem er jarðtengdur. Spenna á milli fasaleiðaranna er 460V en spennan frá hvorum fasaleiðara til núllleiðara er 230V. Einfasa neyslutæki eru tengd við annan fasaleiðarann og núllleiðarann (N-leiðarann) en aflmeiri tæki á milli fasaleiðaranna séu þau gerð fyrir 460V.

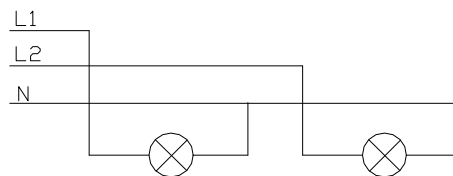
Raforkudreifikerfi



Mynd 14.5. Einfasa þriggjaleiðara TN-C-S kerfi



Mynd 14.6 Spenna í neysluveitu



Mynd 14.7. Tenging á 230V álagi í 2N ~ 460/230V neysluveitu

15 Þrífasakerfi

Þrífasakerfi

Eins og áður kom fram er summa allra strauma í þrífasakerfi á hverju augnabliki núll sé tekið tillit til straumstefnu þeirra. Í vektormynd verður summan af fallmyndum straumvektora á lóðrétta ásinn ætíð núll. Ávallt er reynt að jafna álagi á fasaleiðarana, því þannig næst hámarks nýtni í kerfinu og auk þess verður spennuskekkja þá í lágmarki.

Álagsstraumar

Straumur í þrífasa dreifikerfi með jafnlægt álag er:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \phi}$$

Spennufall

Ef gert er ráð fyrir að samviðnám kerfanna sé að mestu leiti raunviðnám en þetta er raunin þegar um er að ræða greinar, kvíslar og grennri jarðstrengi (að u.þ.b. 50 mm²). Spennufall í kerfinu má þá reikna þannig:

$$\Delta U = U_1 - U_2 = \frac{P}{U} \cdot R_L$$

Þegar reikna á spennufall í loftlínunum verður að taka tillit til spanviðnámsins X . Reikna má stærð spanviðnáms loftlínunnar sem fall af lengd hennar þannig:

$$X = x \cdot l \quad (\Omega)$$

Hér er; $x = 0,3 \Omega/\text{km}$ og l lengd línunnar í km.

Raforkudreifikerfi

Spennufall í loftlínudreifikerfi má þá reikna þannig:

$$\Delta U = U_1 - U_2 = \sqrt{3} \cdot I \cdot (R_L \cdot \cos \phi + X \cdot \sin \phi) \quad (V)$$

Afltap

Afltap í dreifikerfi verður:

$$\Delta P = \left(\frac{P}{U \cdot \cos \phi} \right)^2 \cdot R_L$$

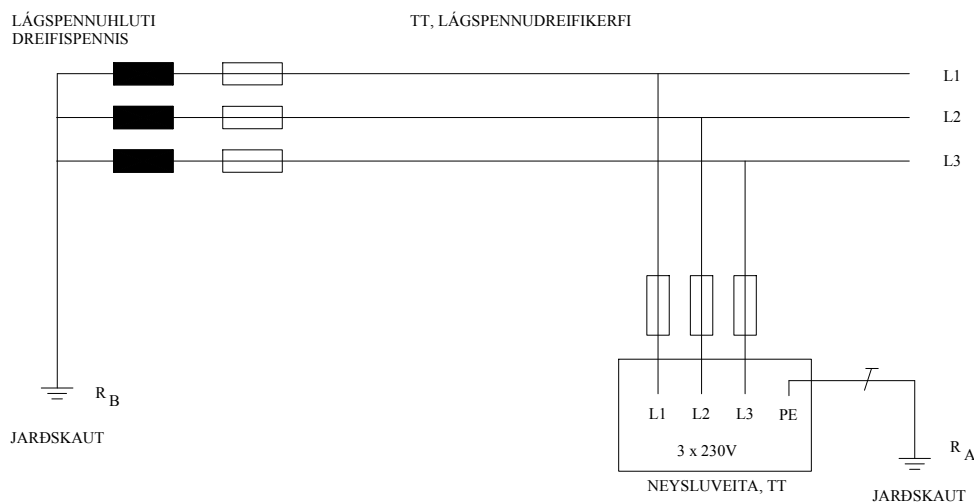
Skammhlaupsstraumur
einpóla (einfaldað)

$$I_{k1} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot (R_L + R_{PEN})} \quad (A)$$

Skammhlaupsstraumur
þriggja póla (einfaldað)

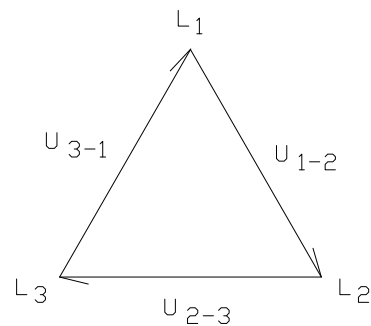
$$I_{k3} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot R_L} \quad (A)$$

Þrífasa þriggjaleiðarakerfi

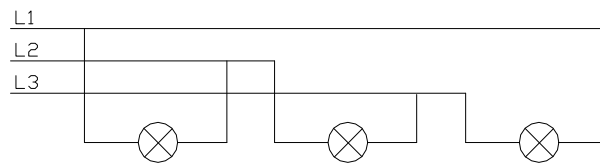


Mynd 15.1. Þriggjaleiðara TT kerfi.

Raforkudreifikerfi



Mynd 15.2. Spennur í neysluveitu.

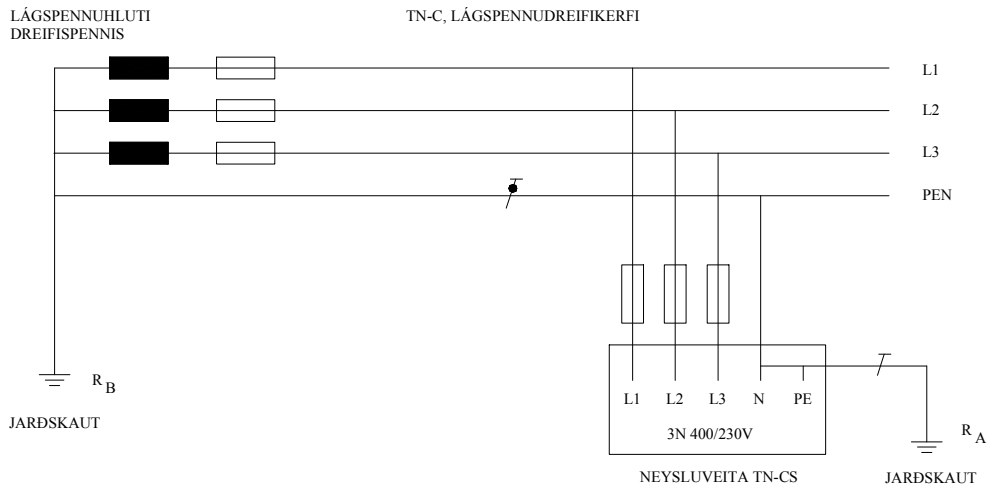


Mynd 15.3. Tenging á 230V álagi í 3 ~ 230V neysluveitu.

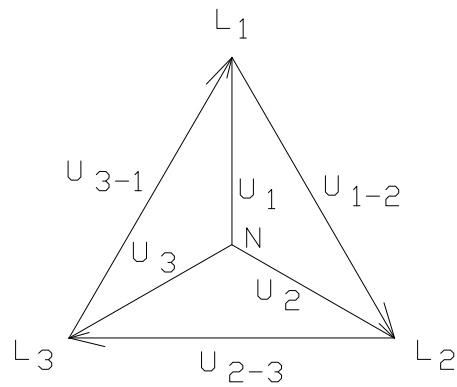
Þriggjaleiðarkerfi eru aðallega notuð í háspennukerfum en sjaldgæfari í lágspennukerfum hér á landi. Lágspennukerfið hefur þrjár jafngilda fasaleiðara en er án N-leiðara. Línuspena kerfisins er venjulega 230 V 50 Hz nema í skipskerfum en þar getur spennan einnig verið 400 V 50 Hz eða 440 V 60 Hz. Öll einfasa neyslutæki eru tengd við einhverja tvo fasaleiðara kerfisins en þrífasa tæki t.d. rafhreyflar eru tengd við alla þrjá fasa þess.

Raforkudreifikerfi

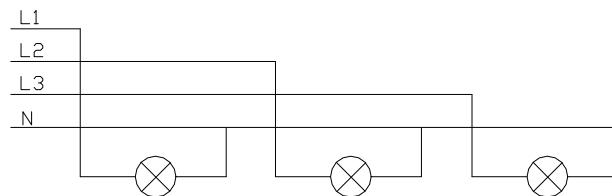
Þrífasa
fjögraleiðarkerfi



Mynd 15.4. Þrífasa fjögraleiðara TN-C-S kerfi.



Mynd 15.5. Spennur í neysluveitu.



Mynd 15.6. Tenging á 230V álagi í 3N ~ 400/230V neysluveitu.

Raforkudreifikerfi

Fjórleiðarakerfið af TN-C gerð er algengasta þrífasa lágspennudreifikerfið. Þetta kerfi hefur fjóra leiðara, þrjá fasaleiðara og varnarnúllleiðara (PEN) .

Varnarnúllleiðarinn er jafngildur fasaleiðurum en heimilt er að hafa hann grennri ef fasaleiðarar eru gildari en 16 mm^2 . Í þessu kerfi eru tvær spennur 230V á milli fasaleiðara og varnarnúllleiðarar og 400V á milli tveggja fasaleiðara. Í neysluveitum er gerður greinamunur á rekstrarstraumum og bilanastraumum. Varnarnúllleiðari greinist því í núllleiðara (N-leiðara) og varnarleiðara (PE-leiðara) og er kerfið þá af TN-S gerð. Einfasa tæki tengjast annaðhvort við núllleiðara og einn fasaleiðara t.d. lampar og önnur aflminni tæki eða við tvö fasaleiðara t.d. hitarar og rafsuðutæki, sem eru þá gerð fyrir hærri spennuna. Þrífasa tæki tengjast við alla þrjá fasa kerfisins. Þegar álagið er samsett af einfasa notendum er reynt að jafna því á milli fasaleiðara kerfisins. Takist þetta mun núllleiðarinn (N) verða straumlaus en ef hinsvegar álag kerfisins er ójafnlægt kemur fram straumur í honum. Þennan straum má finna með því að leggja saman straumvektora fasastraumanna. Vektorsumma þeirra verður þá jöfn straumnum í núllleiðaranum en þó þannig að tekið sé tillit til innbyrðis stefnu þeirra.

16 Samanburður á einfasa og þrífasakerfum

Þegar gerður er samanburður á einfasa og þrífasakerfum verða kostir þrífasakerfanna augljósir. Fyrst ber að taka það fram að hreyflar eru einfaldari og ódýrari ef þeir eru þrífasa í stað einfasa. Þá verða bæði spennuföll og afltöp lægri í þrífasa kerfi. Forsenda samanburðarins er að öll kerfin hafi sama álag (jafnað á alla fasaleiðara kerfisins), sama gildleika leiðara og sömu spenna á öllum neyslutækjum (230V). Spennufall í kerfi með núllleiðara miðast við einfalda lengd hvers leiðara {núllleiðari straumlaus), í þriggjaldeiðara þrífasakerfum við einfalda lengd hvers leiðara en verður þó $\sqrt{3}$ sinnum stærri vegna fasamunar og í einfasa tveggjaldeiðarakerfi við tvöfalda lengd hvers leiðara (fram og til baka). Spennufallið og afltapið í kerfunum verður þá sem hér segir:

| Gerð kerfis, hlutfallslegt, afltap | spennufall | |
|------------------------------------|------------|-----|
| Einfasakerfi, tvíleiðara: | 1 | 1 |
| Einfasakerfi, þríleiðara: | 1/2 | 1/4 |
| Þrífasakerfi, þríleiðara: | 1/2 | 1/2 |
| Þrífasakerfi, fjórleiðara: | 1/6 | 1/6 |

Á framangreindu má sjá að þrífasa fjögraleiðarakerfið ber af hinum hvað varðar lægra spennufall og afltap en



Raforkudreifikerfi

hvort um sig er aðeins $1/6$ hluti þess sem það er í einfasa kerfum. Með öðrum orðum, í þrífasa kerfi geta leiðarar verið allt að sex sinnum grennri en í einfasa, miðað við sama álag, spennufall og afltap.

17 Hættur af völdum rafstraums

Allar lífverur geta orðið fyrir varanlegu heilstjóni verði þær fyrir rafstraum. Þetta á að sjálfsögðu bæði við um menn og dýr. Orsakir fyrir slíkum rafstraum geta verið margvíslegar en því miður má oft rekja þær til vankunnáttu og óvarkárni þeirra sem hlut eiga að máli. Það er því afar mikilvægt að þeir sem starfa í rafiðnaði sýni fyllstu aðgæslu og hafi haldgóða þekkingu á viðfangsefni sínu. Fagmanni í rafiðnaði ber skylda til þess að haga störfum sínum þannig að farið sé eftir gildandi öryggisreglum og að forðast áhættu leiki vafi um framkvæmd þeirra. Allir fagmenn eiga að hafa góða þekkingu í skyndihjálpi því rétt viðbrögð geta ráðið úrslitum fyrir þann sem verður fyrir slysi og flýtt fyrir bata.

Raforkudreifikerfi

Áhrif rafstraums á mannlíkama

Slysum vegna rafmagns má skipta í tvo flokka, annarsvegar slys sem eru of völdum straums sem fer um líkamann (sérstaklega ef leið straumsins liggur í námunda við hjartað) og hinsvegar straums með miklum styrk sem veldur þá fyrst og fremst bruna (t.d. vegna ljósboga eða háspennu). Áhrif rafstraumsins eru aðallega háð styrk hans, snertistöðum og þeim tíma sem snertingin varir. Þá getur heilsufar þess sem fyrir slysinu verður skipt miklu máli, þannig getur minnsti straumstyrkur valdið dauða hjá heilsuveilum einstaklingi en hinsvegar myndi heilsuhraustur kenna sér einskis meins. Talið er að straumur sem hefur lægri styrk en 0,5 mA sé innan við straumskynjunarmörk (varla greinanlegur) en þegar styrkurinn nálgast 1 mA valdi hann sviða á snertistað. Til skýringar má lýsa áhrifum straumsins þannig (mjög einfaldað):

Strraumstyrkur: Áhrif á mannlíkama:

1 - 10 mA Getur valdið krampa eða lömum einkum ef áhrif hans vara í nokkurn tíma.

10 - 30 mA Þessi styrkur (krampastraumur) telst hættulegur því hann veldur krampa í vöðvum sem geta komið í veg fyrir að menn geti losað sig og þar með rofið straumrásina. Vari straumur í meira en eina sekúndu getur hann valdið hjartsláttartruflunum og lömum.

30 - 80 mA Straumstyrkur á þessi sviði er einnig nefndur flöktstraumur og er hann mjög hættulegur sérstaklega þegar hann nálgast efri mörkin. Hann getur m.a. valdið köfnun vegna lömunar í öndunarfærum, ógleði, meðvitundarleysi og hjartsláttartruflunum sem geta leitt menn til dauða.

Raforkudreifikerfi

80 mA - 5 A Straumur með þessum styrk er hættulegastur vegna þess að áhrif hans valda nær samstundis valda hjartsláttartruflunum og hjartastöðvun.

Yfir 5 A Þessi styrkur veldur fyrst og fremst bruna og innvortis skaða á frumum og vefjum líkamans en sjaldan hjartsláttartruflunum. Slík slys geta engu að síður verið mjög alvarleg og ber að leita læknis án tafar.

Ljósbogi Bein áhrif eru einkum þau að óvarðir líkamshlutar sviðna eða brenna og mikil hætta er á rafsuðublindu vegna leiftursins sem myndast. Ef straumstyrkur er mikill getur orðið sprenging sem valdið getur ýmsum áverkum.

Hér er hefur verið miðað við 50 Hz riðstraum en reynslan hefur sýnt að rakstraumur og hátíðnitraumur eru mun hættuminni. Þannig má allt að tvöfalda styrk rakstraums til þess að fá sömu áhrif og of völdum 50 Hz riðstraums og 50 mA straumur með tíðnina 10 kHz hefur svipuð áhrif og 10 mA 50 Hz riðstraumur.

Raforkudreifikerfi

Viðnám í mannslíkama við rafstraum

Samkvæmt Ohmslögmáli mun styrkur straumsins sem fer um líkamann fara eftir því viðnámi sem er á leið hans og þeirri spennu sem myndast yfir líkamann (snertispenna). Viðnám líkamans er samsett úr innra viðnámi og, snertiviðnámi. Hættan of völdum straumsins vex augljóslega með vaxandi snertispennu og lækkandi viðnámi líkamans. Rannsóknir benda til þess að viðnám líkamans sé breytilegt m.a. eftir líkamsvexti, ástandi húðar, stærð snertiflatar og styrk snertispennunar. Áætla má að viðnám líkamans sé á bilinu $1000 \Omega - 3000 \Omega$ þegar snertispennan er 230 V. Vert er að vekja athygli á því að snertiviðnámið er mjög háð raka húðar þannig hefur þurr húð miklu herra viðnám en rök t.d. mun sviti lækka viðnámið verulega.

Eins og áður sagði fer straumstyrkurinn einnig eftir snertispennuni UL og hafa því verið settar ákveðnar reglur um hámarksstyrk hennar. Almennt er talið að spenna með lægri styrk en 50 V sé hættalaus nema við sérstakar aðstæður og eru þá þessi mörk þá lækkuð í 25 V. Þetta á t.d. við um byggingarstaði, gripahús, lækningastofur og sérstök neyslutæki s.s. leikföng.

Raforkudreifikerfi

Brunahætta of völdum rafstraums

Eins og fram hefur komið myndar rafstraumur varma er þeir fara eftir leiðurum. Þessi varmi getur valdið ofhitun í leiðarunum fari straumstyrkurinn yfir ákveðin mörk. Yfirstraumar geta þannig valdið íkveikju sé ekki viðeigandi vörnum beitt.

Margar aðrar ástæður geta leitt til íkveikju of völdum rafmagns en meðal þeirra má nefna:

- röng meðferð á tækjum
- raki sem komist hefur í lagnir og valdið útleiðslu
- lélegar lausataugar
- lélegir tenglar og klær
- raflagnaefni ekki valið í samræmi við aðstæður
- eðlileg kæling á rafbúnaði hindruð t.d. lampi lokaður of
- lampi settur á brennanlegt efni jafnvel þótt harm sé ekki gerður fyrir slíkt
- ófullnægjandi yfirstraumsvarnir fyrir taugar og tæki
- skemmdir á huldum lögnum t.d. vegna þess að neglt hefur verið í pípu
- bilun í tæki
- hitatæki gleymst í gangi

Fjölmargar aðrar ástæður mætti nefna en besta ráðið til þess að komast hjá tjóni of völdum rafmagns er að tileinka sér nákvæmni og samvirkusemi við þau verk sem verið er að vinna og að sjálfsögðu að fara eftir gildandi reglum. Það er þó ekki eingöngu á valdi fagmanna sem vinna við raforkuvirki að koma í veg fyrir að tjón hljótist of rekstri þeirra heldur ekki síður notandans sem umgengst þau daglega.

18 Öryggis ráðstafanir vegna vinnu við raforkuvirki



Mynd 18.1. Hér var ekki farið eftir öryggisreglum.

Við vinnu í raforkuvirkjum er oft nauðsynlegt að fjarlægja hlífar eða gera aðrar snertivarnir óvirkar. Allir rafiðnaðarmenn verða að gera sér grein fyrir þeirri hættu sem af þessu stafar og fara eftir ákveðnum reglum við rekstur og viðhald raforkuvirkja. Í Orðsendingu 1/84 eru sérstök ákvæði sem miða að því að draga úr hættu vegna þessa. Við undirbúning á vinnu við raforkuvirki í rekstri er nauðsynlegt að fylgja ákveðnum vinnureglum til þess að tryggja öryggi við framkvæmd verksins. Fyrsta skrefið í þessu ferli er að fullrjúfa þann veituhluta sem ætlunin er að vinna við, þá skal tryggt gegn innsetningu, spennuleysi kannað, skammhleyppt og jarðbundið (þegar um háspennu er að ræða) og að lokum hylja eða breiða yfir spennuhafa búnað sem er innan seilingar.

Fullrof

Með fullrofi eru allar rekstrartaugar virkis eða neysluveitu rofnar áður en vinna hefst. Þetta er gert með skilrofum.

Raforkudreifikerfi

Trygging gegn innsetningu

Nauðsynlegt er að koma í veg fyrir að spenna verði sett á fullrofna veitu í ógáti eða vegna mistaka. Þetta má tryggja með því t.d. að fjarlægja vartappa, líma aðvörun yfir rofabúnað eða læsa rofum með hengilás. Auk þessa verður að setja upp aðvörunarskilti sem gefur upplýsingar um hvar verið er að vinna og hver er ábyrgur fyrir rofinu (hver má setja veituna í rekstur að verki loknu).

Prófun á spennuleysi

Ýmsar ástæður geta valdið því að virki sé álitid spennulaust án þess að vera það. Skýringin er oftast mannleg mistök t.d. rofið hafi verið með röngum rofa. Einnig getur spenna komið inn á virkið um núlltaug eða mælataugar. Vegna þessa er nauðsynlegt að kanna spennuleysi með spennuprófara áður en vinna hefst við raforkuvirki og sannreyna að virkið sé spennulaust.

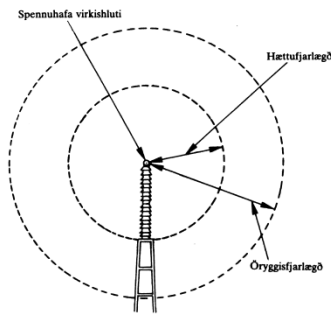
Skammhleyping og jarðtenging

Þessi aðgerð er einkum miðuð við vinnu við háspennuvirki og er þá framkvæmd þegar lokið hefur verið við þrjár fyrstu aðgerðirnar. Jarðtenging er annaðhvort gerð með sérstökum jarðtengirofa (jarðblað) eða lausum jarðtengitækjum. Jarðtengitæki skal fyrst tengja við jarðskautið og síðan við þann hluta kerfisins sem hefur verið fullrofinn frá veitukerfinu.

Klæða eða girða af nálæga spennuhafa hluti

Vinna við opin raforkuvirki veldur aukinni slyshættu. Þetta getur átt við þegar unnið er við töflu sem gerð hefur verið spennulaus að hluta og spennuhafa búnaður er innan seilingar eða neðan við vinnustaðinn. Draga má úr þessari hættu með því að hylja eða loka of spennuhafa búnað t.d. með einangrandi dúk eða hlífum.

Raforkudreifikerfi

Öryggisfjarlægð og hættufjarlægð


Mynd 18.2. Hættufjarlægð og öryggisfjarlægð.

Í háspennuvirkjum (spenna yfir 1 kV AC) er svæði sem takmarkast af lágmarksbili umhverfis spennuhafa hlut nefnt hættusvæði. Ef farið er inn á hættusvæðið er það talið jafngilda snertingu við spennuhafa hlut. Við vinnu í nálægð við spennuhafa virkishluta má enginn koma nær óvörðum spennuhafa virkishluta en nemur hættufjarlægðinni að viðbætti hæfilegri viðbót. Þessi viðbót er lögð við hættufjarlægðina og þá tekið tillit til vinnuaðferða, tækjabúnaðar, efnis, kunnáttu starfsmanna, veðurfars og öryggisgæslu. Fjarlægð þessi er nefnd öryggisfjarlægð og skal hún tilkynnt öllum sem koma að verkinu sem minnsta vinnufjarlægð frá nánar tilgreindum líkamshlutum, hluta tækis eða búnaðar að spennuhafa virkishluta.

| Málrekstrarspenna kV | Hámarksrekstrarspenna kV | Hættufjarlægð (talin jafngilda snertingu) cm |
|----------------------|--------------------------|--|
| 1-33 | 36 | 50 |
| 5-66 | 72,5 | 75 |
| 120-132 | 145 | 120 |
| 150 | 170 | 140 |
| 220 | 245 | 210 |
| 380-400 | 420 | 310 |

Tafla 18.1 Hættufjarlægð og öryggisfjarlægð. (Orðsending RER nr. 1/84, 10.4.)

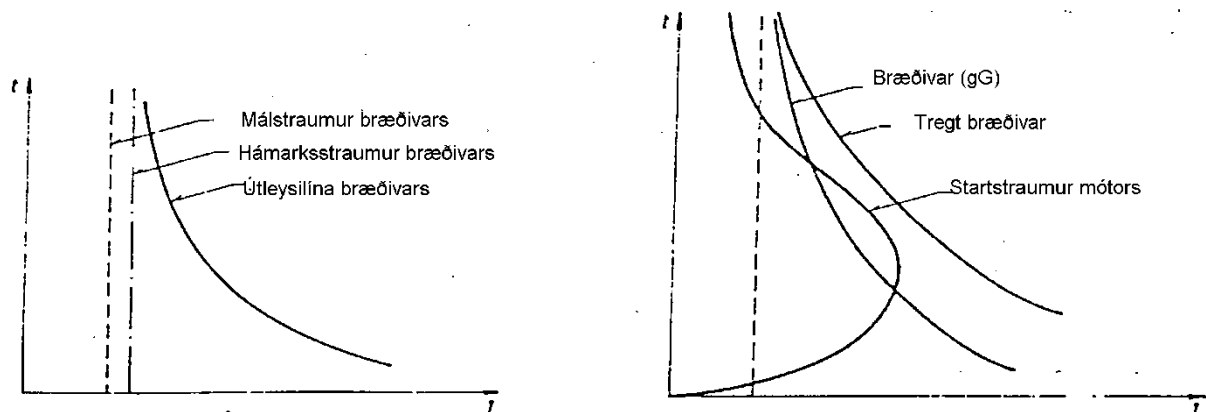
19 Yfirstraumsvarnir

Rafstraumar valda hitamyndun í leiðurum og öðrum búnaði sem þeir fara um. Leyfilegt stöðugt álag á taugar er sá straumur sem leiðari getur þolað í langan tíma án þess að ofhitna. Ef straumur leiðarans er meiri getur hann valdið tjóni á einangrun eða búnaði sem tengdur er raflögninni. Þetta getur aftur leitt til íkveikju eða slyshættu (of hárrar snertispennu) í veitunni. Yfirstraumar geta verið tvenns konar, af völdum yfirálags eða skammhlaups. Hlutverk yfirstraumsvarna er að koma í veg fyrir hættu af völdum yfirstrauma með sjálfrofi. Rafbúnaður til varnar gegn yfirstraumum geta t.d. verið bræðivör, sjálfvirk vör eða aflrofar með straumvörnum.

Raforkudreifikerfi

Bræðivör

Bræðivör eru algeng gerð yfístraumsvarna. Hér verður fjallað nánar um tvær gerðir, tappavör og gripvör. Í bræðivari fer álagsstraumur um sérstakan bræðiþráð. Bræðiþráðurinn er úr silfri, nýsilfri eða annari málmblöndu. Þegar yfístraumar myndast, mun bræðiþráðurinn hitna og ef yfístraumurinn er stór eða varir í nógu langan tíma mun þráðurinn bráðna og þar með rjúfa viðkomandi straumrás. Roftíminn er háður stærð yfístraumsins. Í einföldustu bræðivörum er bræðiþráðurinn óvarinn t.d. í loftlínunum en algengast er að hann sé lagður í kvartssand í postulínshús. Kvartssandurinn hefur einkum það hlutverk að deyfa ljósboga sem óhjákvæmilega myndast við stóra yfístrauma.



Mynd 19.1. Sstraum-tíma ferla bræðivara án og með álagsstraum.

Myndirnar sýna straum-tíma ferla bræðivara án og með straumálagi.

Þegar straum-tíma ferill bræðivars er skoðaður sést að því stærri yfístraumur því fljótari útleysing. Þessi eiginleiki varanna er í góðu samræmi við álagsþol leiðaranna því þeir þola einnig nokkurn yfístraum í takmarkaðan tíma.

Eins og áður sagði eru bræðivör flokkuð í stærðir eftir

Raforkudreifikerfi

Straumtakmörkun

málstraum og hefur hver stærð ákveðinn lit til aðgreiningar. Litirnir eru: málstraumur (litur), 2A (ljósrauður), 4A (brúnn), 6A (grænn), 10A (rauð), 16A (grár) 20A (blá), 25A (gulur), 35A (svartur), 50A (hvítur) og 63A (ljósbrúnn).

Verði bræðivar fyrir stórum yfirstraumi (skammhlaupsstraumi) myndast öflugur ljósbogi þegar þráður varsins bráðnar og rýfur straumrásina. Ljósboginn myndar mótstöðu sem dregur úr vexti straumsins og þar með áhrifum skammhlaupsins. Þessa áhrifa fer einkum að gæta við mjög háa skammhlausstrauma eða stærri en u.þ.b. hundraðfaldan málstraum varsins. Straumtakmörkun og mikil rofgeta bræðivara valda því að þau henta vel sem forvör í veitukerfum.

Valvísí

Í rafdreifikerfi mun straumur veitunnar fara um fjölda vara, hvert á eftir öðru, þegar afl er flutt til notandans. Verði bilun er mikilvægt að það var sem næst er bilunarstað leysi út og komi þannig í veg fyrir óþarfa truflun á rekstri veitunnar. Þetta er ekki tryggt nema að vörum sé raðað þannig að það sem hefur lægstan málstraum sé næst notandanum og að málstraumur varanna fari síðan stig hækkandi eftir röð og fjarlægð frá notanda. Hlutfallið á milli varstærða má ekki vera lægra en 1/1,6 (gG-gerð) og er þá talað um að veitan sé valvís (selective).

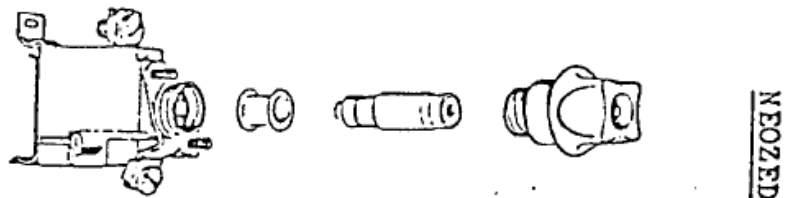
Raforkudreifikerfi

Kröfur til bræðivara

Bræðivör sem notuð eru í raflögnum verða að uppfylla ákveðnar kröfur samkvæmt stólum. Þær kröfur sem skilgreindar eru í 1-3 eiga við varstærðina 6A-10A, kröfur til vara of öðrum stærðum hafa önnur viðmiðunargildi. (Gerð gG samkvæmt IEC 60269)

1. Bræðivarið skal þola straumáraunina $1,5xI_n$ í eina klst. og rjúfa innan einnar klst. ef straumur þess er $1,9xI_n$.
2. Varið má ekki rjúfa með strauminn $1,75xI_n$ innan 10 sek. og með $2,75xI_n$ verður varið að hafa rofið innan 10 sek.
3. Var með straumálagið $7xI_n$ verður að hafa styttri bræðitíma en 0,1 sek.

Tappavör



Mynd 19.2. NEOZED tappavar.

Hér á landi eru aðallega notaðar tvær gerðir of tappavörum, DIAZED og NEOZED. DIAZED gerðin er sett saman úr varhúsi, varhaus, vartappa og botnskrúfu. Vartappinn er settur í varhausinn sem síðan er skrúfaður á varhúsið. Botnskrúfan er með postulínshring sem umlykur neðsta hluta vartappans. Hringurinn hefur mismunandi þvermál, en það eykst með auknum málstraum vartappans. Þetta kemur í veg fyrir að hægt sé að setja of stór vör í varhölduna. Málsþenna þessara vara er 500V AC og rofgeta a.m.k. 50kA AC. DIAZED-varhús eru of tveim gerðum DII

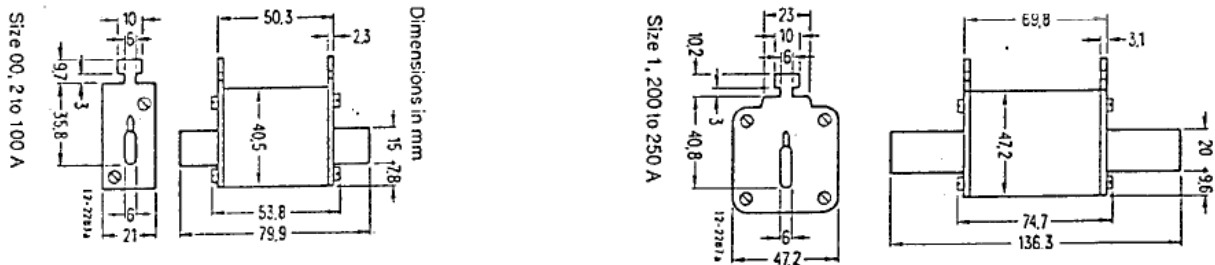
Raforkudreifikerfi

með E27 gengjum og straumsvið 2A-25A og DIII með E33 gengjum og straumsvið 35A-63A.

NEOZED gerðin er nýrri og fyrirferðar minni en DIAZED en uppbyggð á svipaðan hátt. Í stað botnskrúfu er settur hringur í varhúsið sem gegnir sama hlutverki. Málspenna er 380V AC og rofgeta 50kA AC. NEOZED varhús eru of þrem gerðum, D 01 með E14 gengjum og straumsvið ZA-16A, D 02 með E18 gengjum og straumsvið 20A-632A og D 03 með M30x2 gengjum og straumsvið 80A-100A.

Raforkudreifikerfi

Gripvör



Mynd 19.3. Gripvör of Siemens-gerð 00, stærð 2 til 100 A.

Gripvör: (Þ: NH, Niederspannungs-Hochleistungssicherungen, E: LV HRC, Low Voltage High Ratings Currents Fuses).

Gripvör eru mikið notuð í lágsþennukerfum. Þau eru fánleg í ýmsum stærðum og með málstraum frá 6A til 1250 A. Aðaleinkenni þeirra er mikil rofgeta eða u.þ.b. 100 kA og lítið afltap. Þau eru einkum notuð sem yfirstraumsvörn fyrir leiðara í veitum með mikinn aflflutning t.d. dreifikerfum eða í stærri stofnum og kvíslum. Gripvör eru framleidd í sex stærðarflokkum: 00, 0, 1, 2, 3 og 4a og með mismunandi málstraum í hverjum flokki.

Raforkudreifikerfi

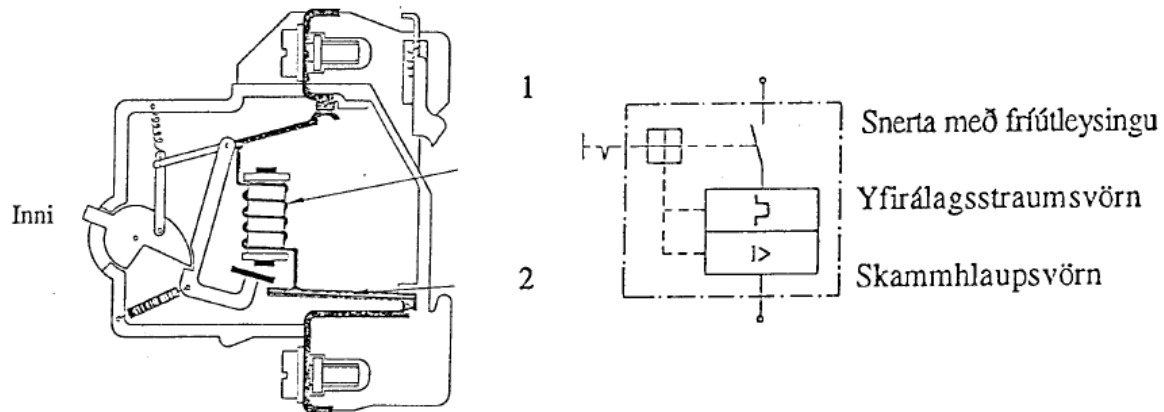
Sjálfvirk vör (sjálfvör)

Notkun sjálfvirkra vara til varnar gegn yfirstraumum í raflögnum er stöðugt vaxandi, sérstaklega á þetta við um varstærðir að 63 A. Sjálfvör eru fánleg einpóla, tveggjapóla og þriggjaþóla. Þegar notuð eru sjálfvör skal setja bæðivör sem forvör vegna takmarkaðar rofgetu þeima. Kostir við notkun sjálfvara í stað bræðivara eru þessir helstir: Ekki þarf að skipta um var eftir sjálfrof og því engin þörf fyrir varavör, engin hætta á að röng varstærð sé notuð, fljótlegt að finna hvaða var er rofið og auðvelt að setja spennu á greinina að nýju eftir að bilun hefur verið lagfærð. Á síðustu árum hafa sjálfvirk vör orðið sífellt öflugri þ.e. rofgeta þeirra hefur vaxið og er nú allt að 10 kA eða meira. Þessi þróun hefur leitt til þess að notkunarsvið þessara vara hefur aukist og eru nánast eingöngu notuð sjálfvirk vör fyrir greinar í raflögnum.

Sjálfvör hafa tvíþætt sjálfrof, annarsvegar of völdum rafseguláhrifa (segulspólu) og hinsvegar of völdum varmamyndunar frá álagsstraum (tvímálmur) einnig má setja þau í af/á stöðu handvirkt (rofi).

Rafseguláhrifin (sjá 1 á mynd á næstu síðu) valda fljótvirku sjálfrofi ef yfirstraumur verður nokkuð stór (skammhlaupstraumur) en varmamyndun (sjá 2 á mynd á næstu síðu) mun orsaka seinvirkt sjálfrof þ.e. þegar yfirstraumur hefur varað nokkurn tíma, (yfirálagsstraumar). Sjálfrof þarf þannig ekki að verða þrátt fyrir yfirálag í stutta stund t.d. vegna ræsingar á hreyfli eða innsetningar á glólömpum

Raforkudreifikerfi



Mynd 19.4. Uppbygging sjálfvara og útleysibúnaður þeirra.

Gerðir sjálfvara

Sjálfvör eru flokkuð eftir útleysieiginleikum þeirra. Samkvæmt þýskum landsstaðli VDE 0641 mun sjálfrof ekki verða í vari af L-gerð þó það hafi allt að 40% yfirálag en hinsvegar mun sjálfrof verða innan 0,1 s ef yfirstraumur verður stærri en fimmfaldur málstraumur. Eiginleikar H-gerðar eru svipaðir og L-gerðar nema að sjálfrof verður innan 0,1 s ef yfirstraumur verður stærri en 2,5 faldur málstraumur. Í annarri gerð sjálfvara, G-gerð, mun sjálfrof verða innan 1 klst. ef yfirálag verður stærra en 5% en hinsvegar mun tafarlaust sjálfrof verða ef yfirstraumur verður tífoldur málstraumur innan 0,1 s. Vör of U-gerð eru framleidd samkvæmt CEE 19, jafngilda G-gerð. Þegar gerður er samanburður á tafarlausu (fljótvirku) sjálfrofi þessara vara sést að sjálfrof í L-gerð verður við lága skammhlaupsstrauma og henta þau því vel til notkunar í raflögnum. Sjálfrof í G-gerð verður hinsvegar ekki nema skammtíma yfirstraumur verði nokkuð stór. Þessi eiginleiki gerir G-vörin hentug þegar álagið myndar stóra ræsistrauma eins og t.d. hreyflar eða spennar. Í nýrri stöðlum (IEC 60898/1987) er farið að miða við aðrar gerðir sjálfvara B-gerð og C-gerð. B-gerð samsvarar L-gerð og C-gerð G-gerð sem lýst er hér að ofan.

Raforkudreifikerfi

Viðauki 1

Orðsending nr. 10/88

1.nóvember 1988

Varðar: Rafveitur, rafverktaka og eftirlitsmenn.

Skýring á § 307, Jarðstrengir, í Reglugerð um raforkuvirki.

Lágspenntir jarðstrengir skulu lagðir samkvæmt § 307.

Jafnframt skal taka tillit til eftirfarandi atriða:

1. Sé jarðstrengur lagður skv. gr. 307 b) á a.m.k. 70 cm dýpi nægir að jafnaði að merkja strenginn með borða (mynd 1). Á stöðum þar sem talin er hætta á áverkum, skal auk þess setja hlífar yfir strenginn.
2. Þurfi að leggja streng grynna skal leggja hlífar og borða yfir hann, skv. grein 307 c)

1. og 2. Dýpt ofan á streng skal þó ekki vera minni en 50 cm. Gerð hlífa ræðst af aukinni áverkahættu vegna lagningar strengsins á minna dýpi en 70 cm (mynd 2). Auk hlífa úr steinsteypu má t.d. nota hlífar úr sterku plastefni eða öðru samsvarandi efni.

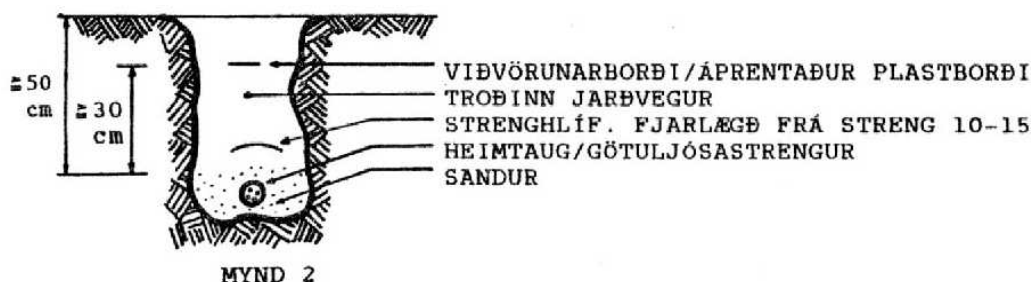
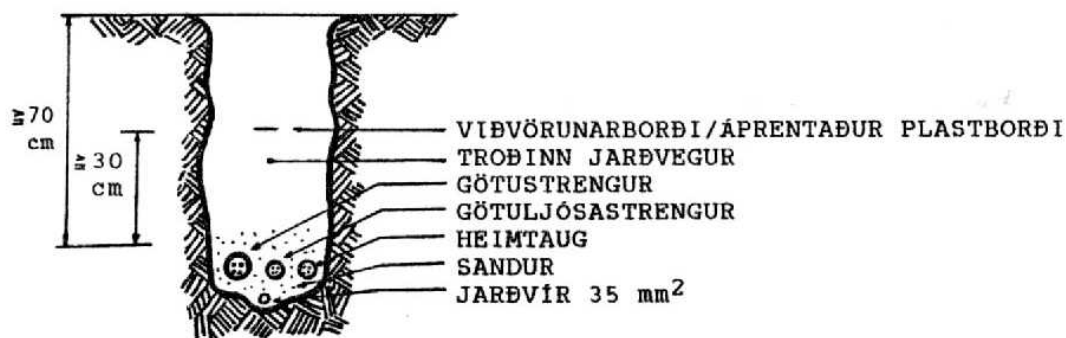
Við lagningu strengja ber að gæta þess að flutningsgeta þeirra minnkar við það að:

- a) strengir liggja samsíða.
- b) strengir liggja í pípum.

Varast ber að leggja jarðstrengi í jörðu þar sem jarðhiti er.

RAFMAGNSEFTIRLIT RÍKISINS

Bergur Jónsson



Raforkudreifikerfi

Viðauki 2

Orðsending nr. 5/91 (með breytingum ÓS)

1.nóvember 1991

Kemur í stað orðsendingar nr 9/88.

Varðar: Rafveitur.

Sérstök ákvæði um spennistöðvar og dreifikerfi í strjálbýli.

Eftirfarandi ákvæði og skýringar eiga við um setningu og meiri háttar breytingar spennistöðva og dreifikerfa

1. Almennt

1.1 Mönnum stafar hættu af snerti- og skrefspennu hærrí en 50 V en húsdýrum af spennu hærrí en 24 V. Því skal leitast við að spenna á leiðandi hlutum utan straumrásu geti hvorki staðið of lengi né farið yfir hættumörk. Ávallt skal tryggja sem besta spennujöfnun.

1.2 Í lágspennudreifikerfum er heimilt að vera með tengiskápa fyrir stofnstrengi og heimtaugar. Í neysluveitum má velja hlífðareinangrun eða núllun sem snertispennevörn, en í báðum tilvikum skal nota lekastraumsrofvörn sem viðbótarvörn. Tryggja skal spennujöfnun bæði í dreifikerfum og neysluveitum.

2. Háspennukerfi með lágum jarðhlaupsstraumum (háspennudreifikerfi, þar sem núllpunktur kerfisins er einangraður, eða jarðstraumar eru takmarkaðir á annan hátt)

2.1 Við jarðhlaup eða aðra bilun í háspennukerfinu skal tryggja að útleysing verði og að snerti- og skrefspenna fari ekki yfir leyfileg mörk.

2.2 Varnarjarðskaut (einnig nefnd varnarskaut) háspennu og rekstrarjarðskaut (einnig nefnd rekstrarskaut) lágspennu eiga að vera sameiginleg. Jarðskautsviðnám sameiginlega skautsins skal vera innan við 10 Ohm. (Sjá mynd 1).

3. Háspennukerfi með háum jarðhlaupsstraumum (háspennudreifikerfi með beint jarðtengdum núllpunkti eða fasaleiðara).

3.1 Varnarskaut háspennu.

Skammtíma jarðskautsspenna, sem stafar af jarðhlaupi eða annarri bilun í háspennukerfinu, má ekki fara yfir $750 / \sqrt{t}$ V, en þó aldrei yfir 1500 V, enda sé roftími ekki yfir 1 s (t er roftími

Raforkudreifikerfi

háspennukerfisins í sekúndum við einfasa jarðhlaup). Jarðskautsviðnám varnarskaups háspennu skal vera innan við 10 Ohm. Sjá þó gr. 3.3.

3.2 Rekstrarskaut háspennu.

Jarðskautsspenna, sem stafar af rekstrarstraumum um jarðskautið, má ekki fara yfir 50 V. Rekstrarskaut háspennu skal vera aðskilið frá varnar- og rekstrarskautum **lágspennu**.

3.3 Rekstrarskaut lágspennu.

Skammtíma jarðskautsspenna, sem stafar af jarðhlaupi eða annarri bilun í háspennukerfinu, má ekki fara yfir $500 / \sqrt{t}$ V, en þó aldrei yfir 1000 V, enda sé roftími ekki yfir 1 s (t er roftími **háspennukerfisins** í sekúndum við einfasa jarðhlaup). Jarðskautsviðnám rekstrarskaups lágspennu skal vera innan við 5 Ohm.

3.4 Þegar spennar eru tengdir háspennumegin (á forvafshlíð) milli fasaleiðara, eiga varnarskaut háspennu og rekstrarskaut lágspennu að vera sameiginleg (jörð ekki notuð til að flytja rekstrarstrauma). (Sjá mynd 1).

Séu spennar tengdir háspennumegin milli fasa og jarðar, eiga varnarskaut háspennu að vera samtengd rekstrarskauti í lágspennu. (Sjá mynd 2).

3.5 Jarðskautstaugar að rekstrarskautum háspennu skulu dregnar í traustar einangrandi plastpípur sem ná a.m.k. 0,5 m niður í jarðveginn og upp á móts við spennu. Plastpípuna skal spenna niður með mest 50 cm millibili. (Sjá mynd 2).

Spennar, málmhlífar eða annar búnaður, sem tengist rekstrarskauti háspennu skal vera varinn gegn snertingu með staðarvali eða einangrun.

4. Frágangur spennistöðva og jarðskauta

4.1 Hæð í neðri brún á háspennueinangrurum skal vera a.m.k. 5,5 m, ef ekki er girðing í fullnægjandi hæð umhverfis virkin. Jarðstrengir skulu varðir með hlífum.

4.2 Fjarlægð milli aðskilinna jarðskauta skal að jafnaði vera a.m.k. 20 m. Við minni fjarlægð skulu jarðskautstaugar vera fulleinangraðar eða dregnar í trausta einangrandi plastpípu.

Raforkudreifikerfi

Tryggja skal að jarðskautsleiðni sé fullnægjandi við verstu aðstæður t.d. frost og þurrka. Þar sem aðstæður leyfa er rétt að nota djúpskaut.

4.3 Séu tengiskápar í lágspennudreifikerfinu, skal setja stýriskaut umhverfis þá eða draga úr snertihættu frá þeim með öðrum ráðstöfunum, sem RER samþykkir.

4.4 Í neysluveitum þarf að samtengja varnarnúlleiðara og varnarleiðara (PEN og PE) sökkulskautum, pípulögnum úr málmum eða öðrum jarðskautum á PEN- eða PE-tein í aðaltöflu.

5. Yfirstraumsvarnir

Með yfirstraumsvörnum er átt við skammhlaups- og yfirálagsvarnir.

Tryggja skal, að lágspennudreifikerfi séu varin gegn yfirstraumi.

5.1 Ef aðeins einn strengur liggur frá spennistöð, má skammhlaupsvörn hans vera háspennumegin við spenni. Ef tveir eða fleiri strengir liggja frá spennistöð, skal skammhlaupsvörn þeirra vera lágspennumegin (á eftirvafshlíð spennis) og sem næst spenni. Skammhlaupsvörn strengjanna má vera sameiginleg eða fyrir hvern streng.

5.2 Hringrásarviðnám í dreifikerfinu skal vera í samræmi við gr. 207 b) í Reglugerð um raforkuvirki, einnig þótt ekki sé beitt núllun í neysluveitu. Samkvæmt töflu 207-2 er margföldunarstuðull fyrir bræðivör í dreifikerfi 2,5. Fyrir háspennuvör (þræðingar) má ekki nota lægri stuðul en 5.

Skammhlaupsvörn fyrir lágspennudreifikerfið telst uppfyllt, ef hún er í samræmi við gr. 302 í Reglugerð um raforkuvirki, má leggja heimtaugar inn í aðaltöflu eftir sömu reglum og gilda um heimtaugar í þéttbýli.

5.3 Séu yfirstraumsvarnir lágspennustrengja lágspennumegin við spenni og í samræmi við gr. 302 í Reglugerð um raforkuvirki, má leggja heimtaugar inn í aðaltöflu eftir sömu reglum og gilda um heimtaugar í þéttbýli.

5.4 Þegar útilýsing fær orku frá dreifikerfi eða spennistöð, skal yfirstraumsvörn fyrir hana vera lágspennumegin og í samræmi við ákvæði í gr. 302 í Reglugerð um raforkuvirki.

6. Háspennujarðstrengir

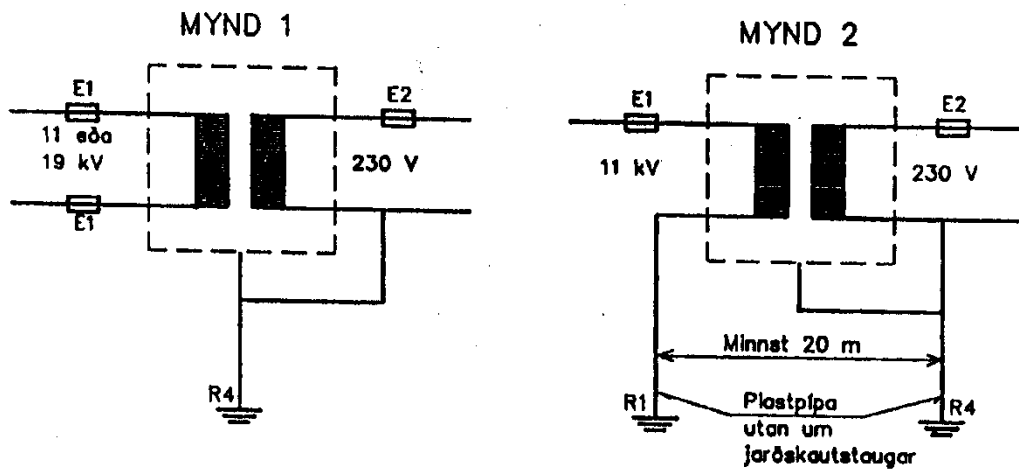
6.1 Í háspennustrengjum skulu leiðarar, sem flytja rekstrarstrauma, vera innan strengkápu og fullinangraðir fyrir hæstu rekstrar spennu dreifikerfisins. Skerm háspennustrengja má ekki nota fyrir rekstrarstrauma. Um aðskilnað jarðskauta er vísað í stafliði 3 og 4 hér að framan. (Sjá mynd 2).

Raforkudreifikerfi

Þess skal gætt að uppbygging dreifikerfa sé við það miðuð að jörðin sé ekki notuð sem leiðari fyrir rekstrarstrauma nema þegar um er að ræða EVJ línur, og skulu þær einanagraðar frá aðallínunni með sérstökum einfasa millispennum sem að jafnaði eru ekki stærri en 300 kVA.

RAFMAGNSEFTIRLIT RÍKISINS

Bergur Jónsson



E 1. Háspennuvör (þræðingar)

E 2. Lágspennuvör

R 1. Rekstrarskaut háspennu

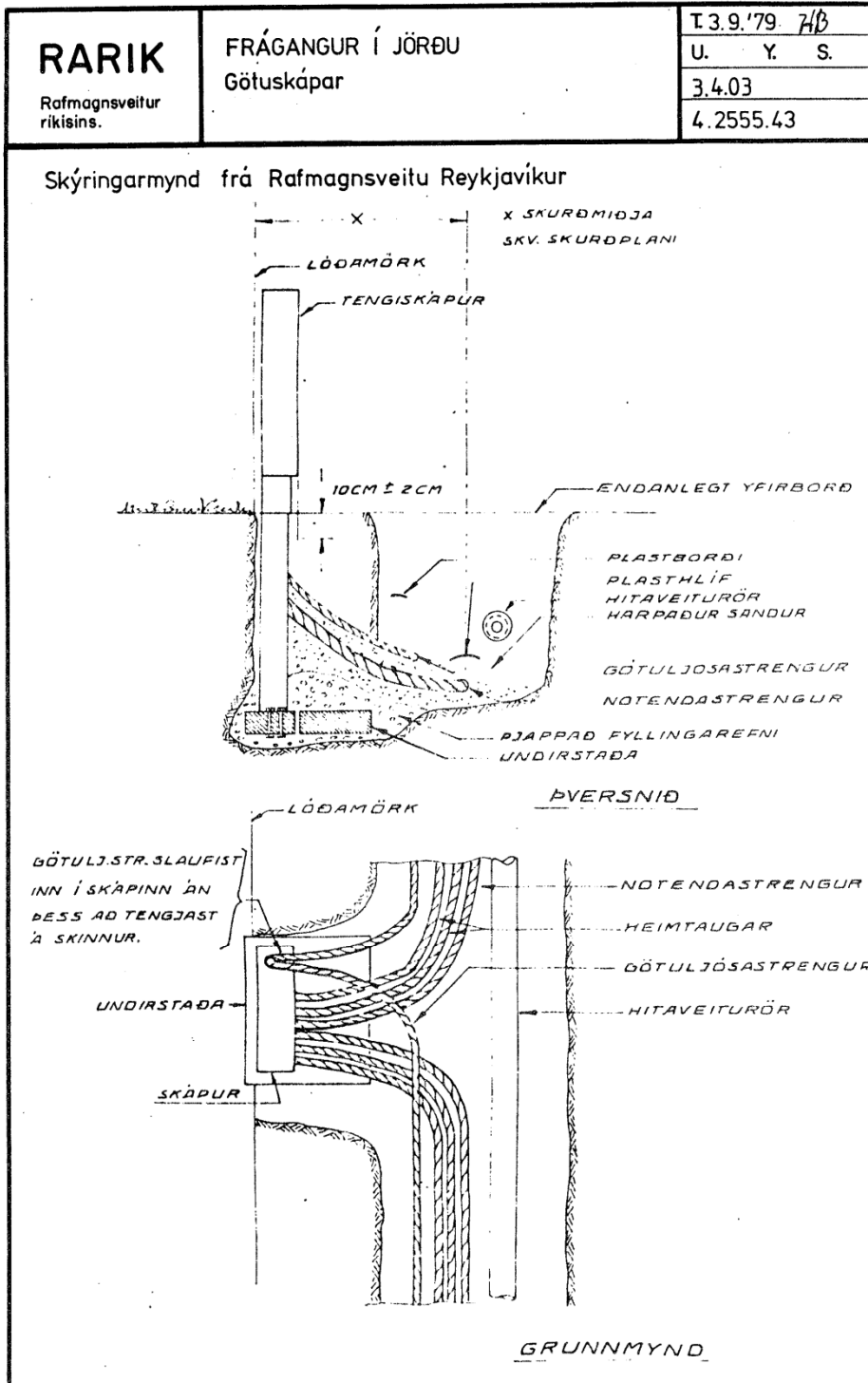
R 2. Rekstrar- og varnarskaut háspennu

R 3. Rekstrarskaut lágspennu

R 4. Rekstrarskaut lágspennu og varnarskaut háspennu

Raforkudreifikerfi

Viðauki 3



Raforkudreifikerfi

Viðauki 4**ÍST 170****Viðauki L (til upplýsingar): Frágangur jarðskauta og jarðtengitauga****L.1 Frágangur jarðskauta****L.1.1 Yfirborðsskaut**

Yfirborðsskaut eru venjulega logð í skurðbotn eða í gryfju fyrir undistoðu eða sókkul.

Raðlegt er, að

- umhverfis jarðskautið sé leéþjappaður jarðvegur,
- steinar og mól séu ekki í beinni snertingu við niðurgrafin jarðskaut,
- skipta á upphaflegum jarðvegi, ef hann tærir efni jarðskautsins, og heppilegri jarðvegi.

L.1.2 Lóðrétt eða skárekin stafskaut

Lóðrétt eða skárekin stafskaut ættu að vera aðskilin með fjarlægð sem ekki er minni en lengd stafanna.

Nota skal viðeigandi verkfæri til að komast hjá því að skemma skautin þegar þau eru rekin niður.

L.1.3 Samskeyting jarðskauta

Samskeyti sem notuð eru til að tengja leiðna hluta jarðskautskerfis hvern við annan skulu vera af fullnægjandi stærð til að tryggja rafleiðni, styrk og varmaþol í sama mæli og jarðskautin sjálf.

Jarðskaut verða að vera tæringarþolin og þau ættu ekki að vera líkleg til að mynda galvaníhlað.

Samskeyti sem notuð eru til að setja saman stafina skulu hafa sama styrkleika og stafirnir sjálfir og ættu að vera hæf til að standast þá áraun sem þau verða fyrir þegar stafirnir eru reknir niður. Ef skeyta þarf saman mismunandi málma sem mynda galvaníhlað, sem kynni að valda gölvunartæringu, skal vernda samskeytin varanlega gegn snertingu við raflausnir í umhverfi þeirra.

L.2 Frágangur jaratengileiðara

Almennt skal leið jaratengileiðara vera eins stutt og kostur er.

L.2.1 Lagning jaratengileiðara

Eftirfarandi aðferðir má nota við lagninguna:

- Grafa niður jaratengileiðarana: Vernd gegn skemmdum vegna áverka kann að vera nauðsynleg.
- Aðgengilegir jaratengileiðarar: Ofanjarðar skal leggja jaratengileiðarana á þann hátt að þeir verði aðgengilegir til frambúðar. Þá ætti að verja nægilega vel, ef hætta er á áverkum.
- Jaratengileiðarar lagðir í steinsteypu: Jaratengileiðara má leggja inn í steinsteypu. Á báðum endum skulu vera tengiklemmur sem auðvelt er að komast að.

Til að komast hjá tæringu skal veita þeim stöðum sérstaka athygli þar sem berir jaratengileiðarar ganga upp úr jorðu eða út úr steypu.

L.2.2 Samskeyting jaratengileiðara

Samskeyti skulu tryggja gott, órofið rafrænt samhengi til að koma í veg fyrir allt óásættanlegt hitaris ef bilunarstraumur flýtur.

Samskeyti skulu ekki geta losnað og skulu vera varin gegn tæringu. Ef skeyta þarf saman mismunandi málma sem mynda galvaníhlað, sem kynni að valda gölvunartæringu, skal vernda samskeytin varanlega gegn snertingu við raflausnir í umhverfi þeirra.

Til að tengja jaratengileiðara við jarðskaut, við aðaljarðtengistað og við hvaða hlut úr málmum sem er, skal nota viðeigandi tengi. Gagnlegt getur verið að nota skilbunað eins og þann sem notaður er við prófanir.

EKKI skal vera unnt að losa um þessar samtengingar án sérstakra verkfæra.