



Rafbók



Rafmagnsfræði

Kafli 20 Spennar



Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

Þetta hefti er án endurgjalds á rafbókinni.

www.rafbok.is

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

Höfundar eru Eggert Gautur Gunnarsson og Einar H. Ágústsson

Umbrot: Ísleifur Árni Jakobsson

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

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

Vinsamlegast sendið leiðréttingar og athugasemdir til

Ísleifs Árna Jakobssonar á netfangið iaj@rafis.is

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

Efnisyfirlit

20. SPENNAR	3
Hlutverk.....	3
Bygging spenna.....	4
Vinnumáti spenna í tómgangi	6
Vinnumáti við álag.....	9
Afl, töp og nýtni	14
Tenging 3 fasa spenna.....	18
Hliðtenging spenna.....	22
Ræsing spenna.....	24
Prófanir á spennum	24
Skammhlaup í rekstri	27
Kæling spenna.....	29
Varnarbúnaður.....	31
Valrofi (spennusnari)	32
Einvefjuspennar (Autospennar)	33
Breytanlegir spennar	35
Mælaspennar	36
Straumspennar.....	37
Spennumælaspennar.....	40
Spurningar og æfingadæmi úr 20. kafla:	42

20. SPENNAR

Hlutverk

Spennir er tæki sem í stórum dráttum er samsett úr spólum og járnkjarna. Spólur sem tengjast spennugjafa eða veitu nefnast forvaf, en spólur sem tengjast neyslutækjum nefnast eftirvaf. Spennar eru mikið notaðir í riðstraumskerfum, bæði til **hækkunar og lækkunar spennugildis**. Spennar eru af ýmsum gerðum og fer bygging þeirra eftir því hvaða hlutverki þeir eiga að gegna. Þau geta verið :

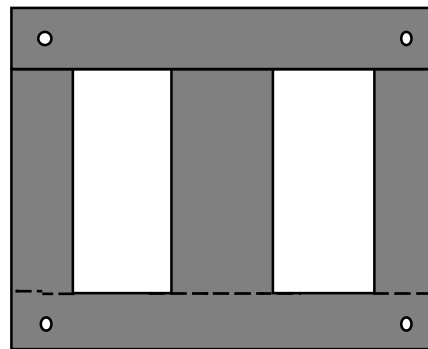
- a) Að yfirfæra rafmagnsafli við ákveðið fast spennugildi yfir í afl við annað ákveðið spennugildi, með sem minnstum töpum.
- b) Að breyta ákveðnu föstu spennugildi yfir í breytilegt gildi þrepað eða þreplaust .
- c) Að mynda „leiðni“ aðskilnað milli veitu og neyslutækis, með eða án spennubreytingar.
- d) Að breyta háu straum- eða spennugildi í hentugt mælanlegt gildi, með eins litlu frávik og mögulegt er.

Í umfjöllun um vinnumáta spenna hér á eftir, er aðallega fjallað um spenna sem breyta kerfisspennu í fast gildi samanber lið a og eru með aðskildum vöfum. Um aðrar gerðir er fjallað sérstaklega síðar í kaflanum.

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

Bygging spenna

Járnkjarni spennis er samsettur úr ca. 0.25-0,35 mm þykkum, völsuðum þynnum úr kísilblönduðu járni. Kísillinn eykur segulleiðni efnisins og **veldur því minni töpum vegna segultregðu** og hækkar eðlisviðnám þeirra. Þær hafa því allhótt eðlisviðnám og kemur það að mestu leiti í **veg fyrir myndun hvirfilstrauma**, auk þess að þær eru **einangraðar hver frá annarri með örþunnri lakkhúð.**



Mynd 20.1

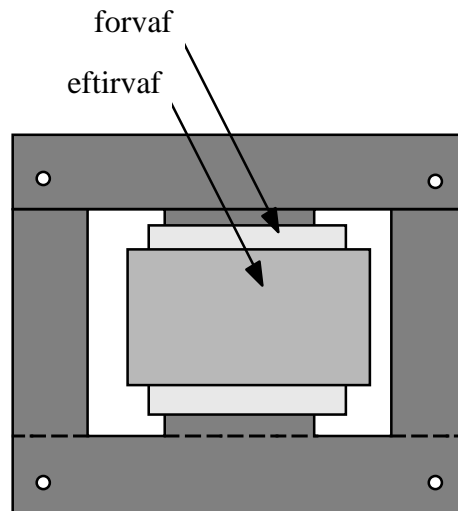
Þær eru pressaðar saman með boltum sem eru teknir í gegnum stönsuð göt í þeim. Utan um boltana eru hafðir hólkar úr einangrunarefni til þess að útiloka að þeir verði leiðarar fyrir hvirfilstrauma. Á stórum spennum eru járnþynnurnar skornar í 45° á hornunum, því segulleiðni er betri langsum eftir efninu í völsunarátt járnins.

Járnkjarni spenna myndar alltaf lokaða segulrás og eru tvær gerðir einfasa spenna algengastar þ.e. **bolspennar** og **leggjaspennar**. Mynd 20.1 sýnir járnkjarna bolspennis.

Járnkjarni bolspennis hefur þrjá leggi og hefur miðleggurinn tvöfalt þverflatarmál þeirra ytri. Leggirnir lokast síðan með þverstykki sem kallast **ok**. Spólur eftirvafs og forvafs umlykja miðlegginn eins og sjá má

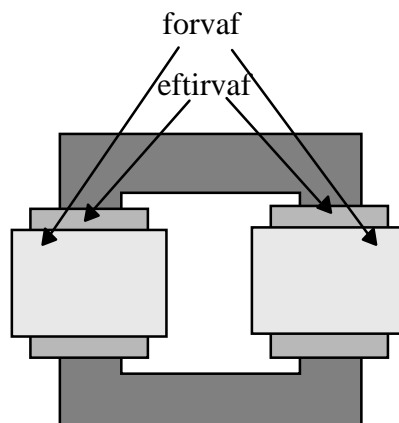
Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

á mynd 20.2. Þær eru undnar úr lakkeinangruðum eirvír og síðan undnar með bendli og lakkaðar. Milli for- og eftirvafs er sérstök einangrun. Bolspennar eru aðeins framleiddir í litlum stærðum.



Mynd 20.2

Leggjaspennir hefur tvo eða þrjá jafn svera leggi , eftir því hvort hann er eins eða þriggja fasa. Á mynd 20.3 er sýndur einfasa leggjaspennir.



Mynd 20.3

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

Spólunum er komið fyrir umhverfis leggina og oftast er forvafsspólum komið fyrir utanum eftirvafsspólurnar eða öfugt. Spólum for- og eftirvafs er alltaf komið fyrir á sama legg nema í sérhæfðum spennum, þegar mikið spennufall vegna spanáhrifa er talið æskilegt, eins og t.d. í rafsuðuspennum.

Háspennuvöf eru ýmist undin úr eir- eða álvír með lakk, glertrefja eða pappírseinangrun. Í stórum spennum þarf að skorða spólurnar vel af, vegna þeirra miklu hreyfíkrafta sem geta myndast við t.d. skammhlaup.

Leggjaspennar eru framleiddir allt frá mjög litlum upp í stærstu gerðir.

Vinumáti spenna í tómgangi

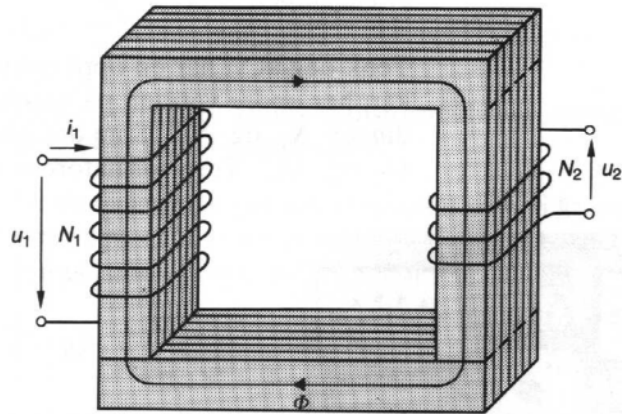
Í umfjöllun um vinnumáta spenna er hér til einföldunar talað um einfasa spenni.

Ef ólestaður spennir er tengdur netspennu U_1 fer um forvafið svo kallaður tómgangsstraumur I_{10} . Hann myndar segulsvið Φ í járnkjarnann sem sveiflast í styrkleika og pólun með riðstraumnum. Segulsviðið er 90 rafmagnsgráðum á eftir netspennunni og næstum, en ekki alveg í fasa með tómgangsstrauminum I_{10} . Hér á talan 1 við forvaf og 0 við tómgang.

Tómgangsstrauminum má skipta annarsvegar í I_x (launstraum) sem er 90° á eftir netspennunni U_1 og myndar segulsviðið og hinsvegar I_R sem er í fasa með netspennunni og veldur raunafli P_{10} sem kallast tómgangstap.

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

Segulkraftlínur streyma í gegnum allan járnkjarnann og spanar því spennur bæði í for- og eftirvaf. Báðar þessar spennur eru 90° á eftir segulsviðinu. Í forvafið spanast spennan E_1 , sem kalla má mótspennu því hún er í 180° tímahorni á eftir netspennunni U_1 og í eftirvafið spanast spennan E_2 . Þar sem þessar spennur eru spanaðar af sama segulsviði fá þær sama spennugildi á hvert vaf.



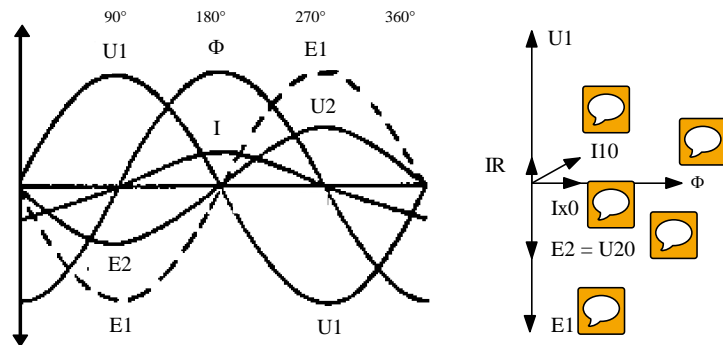
Mynd 20.4

Ath. að N_1 merkir vindingafjölda í forvafi og N_2 vindinga í eftirvafi.

Það sem ræður heildar spennustærð í vöfunum er vindingafjöldi þeirra spóla sem mynda þau, þ.e. spennan er í réttu hlutfalli við vindingafjöldann. Tómgangsstraumurinn I_{10} er mjög lítill í samanburði við málstraum I_1 . Það verða því mjög lítil straumvarmatöp og spennufall í forvafi ólestaðs spennis. Ef horft er framhjá þessu litla spennufalli yfir raunviðnám forvafsins, má segja að tómgangstöpin séu járntöp, þ.e. segul-tregðu- og hvirfilstraumatöp.

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

Mótspennan E_1 í forvafinu verður svo til sú sama og skautspennan U_1 , en með gagnstæða pólun. Það er því af völdum þessarar mótspennu sem segulsviðið spanar í forvafið, sem tómgangsstraumurinn verður svona lítill.



Mynd 20.5

MYND 20.5 sýnir sínuskúrfur skautspennu U_1 , kraftlínustraums Φ , tómgangsstraums I_{10} og spönuðu spennanna E_1 og E_2 og vektormynd við tómgang.

Fasvikið milli verður mjög stórt við tómgang u.þ.b. 80° og þar af leiðandi lágur aflstuðull ($\cos\phi$) eða ca. 0,05 - 0,2.

Þar sem enginn straumur er í eftirvafinu verður skautspenna þess U_{20} jöfn spönuðu spennunni E_2 og þar sem spönuð spenna forvafsins E_1 er svo til jöfn skautspennu þess U_1 , verður breytihlutfall spennisins:

$$u = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2}$$

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

Sýnidæmi 20.1

- a) Hvert er breytihlutfall einfasa spennis sem breytir 400 V í 230 V?

Lausn:

$$u = \frac{U_1}{U_2} = \frac{400}{230} = 1,74$$

- b) Spennirinn hefur 1000 vafninga í forvafi. Hve margir vafningar eru í eftirvafi?

Lausn:

$$u = \frac{N_1}{N_2} \quad N_2 = \frac{N_1}{u}$$

$$N_2 = \frac{1000}{1,74} = 574 \text{ vafningar}$$

Vinumáti við álag

Ef eftirvaf spennis er tengt neyslutæki, myndast lokuð straumrás um vafið og eftirvafsstraumur I_2 , sem er drifinn af spanspennunni E_2 . Straumur eftirvafsins I_2 myndar segulsvið sem hefur gagnstæða pólu við segulsviðið, sem er myndað af forvafsstraumnum I_1 . Af þessu leiðir að eftirvafsstraumurinn veikir í raun segulkraftlínustrauminn Φ og þá einnig spönuðu spennuna í forvafinu E_1 . Ef þessi mótspena í forvafinu lækkar, eykst straumurinn I_1 , sem aftur leiðir af sér sterkara segulsvið. Það má því segja að segulsviðið haldist í jafnvægi en afleiðing lestunarinnar sé aukinn straumur í forvafi I_1 . Segulsviðsstyrkur forvafsins $I_1 \cdot N_1$ verður að aukast sem nemur sviðsstyrk eftirvafsins $I_2 \cdot N_2$, eða:

$$I_1 \cdot N_1 = I_{10} \cdot N_1 + I_2 \cdot N_2$$

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

Sviðsstyrkurinn við 0-álag er yfirleitt það lítil í hlutfalli við sviðsstyrk eftirvafsins, að honum er sleppt í útreikningi, eða:

$$I_1 \cdot N_1 = I_2 \cdot N_2 \quad eða \quad \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

Af formúlunni má sjá að í lestuðum spennu eru straumarnir í vöfunum í öfugu hlutfalli við vafningafjöldann.

Ef horft er framhjá hinum hlutfallslega litlu járn- og straumvarmatöpum og því launafli sem þarf til segulmögnunar, verður tilfært afl P_1 jafnt og afgefið afl P_2 . Fyrir einfasa spennu má þá setja fram:

$$U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$$

og út frá þessari líking:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Sýnidæmi 20.2

Einfasa spennir hefur 230 V spennu á forvafi og gefur 24 V spennu á eftirvaf. Við fulla áraun fer 0,5 A um forvaf.

Hver verður þá straumur í Eftirvafi?

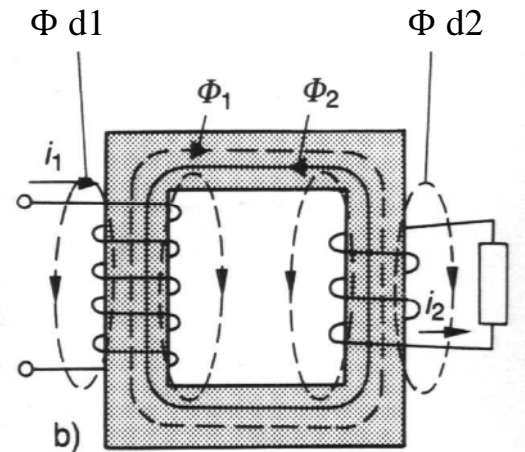
Lausn:

$$I_2 = U_1 \cdot \frac{I_1}{U_2} = 230 \cdot \frac{0,5}{24} = 4,79 \text{ A}$$

Í spennu má yfirfæra afl með ákveðnu spennugildi yfir í afl við annað spennugildi án leiðnis sambands, aðeins með segulsviðsyfurfærslu í járnkjarna spennisins.

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

Við lestun eru straumar í for- og eftirvafi hlutfallslega jafn stórir miðað við spennur. Fyrir utan spennufall vegna raunviðnáms vafanna $I \cdot R$, er einnig spennufall vegna launviðnáms $I \cdot X$ í báðum vöfum.



Mynd 20.6

Heildar segulkraftlínusviðið Φ sem myndast umhverfis for- og eftirvafsspólurnar fer ekki allt eftir járnkjarnanum. Hluti segulkraftlínanna fer eftir loftrými umhverfis spólurnar og mynda svokölluð „dreifisegulsvið“ $\Phi d1$ og $\Phi d2$, sem eru í fasa með straumunum I_1 og I_2 . Stærð þessara dreifisviða ráðast af straumstyrk, vafningafjölda spólanna, mettnarstigs járnkjarnans hverju sinni og afstöðu milli járnkjarnans og spólanna.

Segulkraftlínur sem forvafið myndar fara eftir járninu Φ_1 og spanar spennu í eftirvafið, en Φ_2 eru segulkraftlínur sem eftirvafið myndar og vinnur gegn Φ_1 . Mynd 20.6 sýnir segulkraftlínur í einfasa leggja-spenni við álag.

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

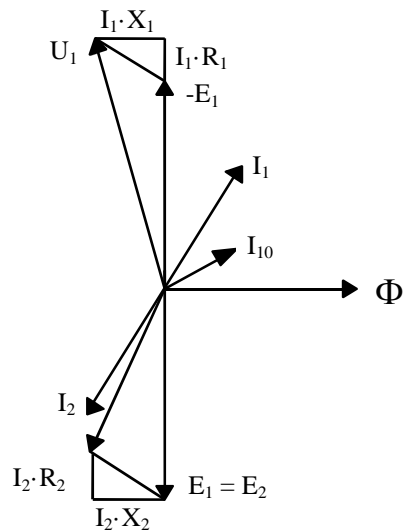
Dreifisegulsviðin spana spennu í bæði vöfin, sem er í réttu hlutfalli við straumanna og 90° á eftir þeim í fasa. Sjálfsspansspennurnar valda straumtregðu sem við köllum launviðnám (X) í báðum vöfum.

Mynd 20.7 er vektoramynd spennis sem er lestaður blönduðu álagi þ.e. bæði raun- og launálagi. Þar sem oft er mikill munur á spennugildi for- og eftirvafs er ekki hentugt að teikna þær í sama mælikvarða. Því er miðað við að umsetningshlutfallið sé 1 á myndinni ($E_1 = E_2$).

Fyrst eru spönuðu spennurnar E_1 og E_2 teiknaðar með lóðréttu vísun niður og síðan vektor fyrir $-E_1$ lóðrétt upp. Vektor fyrir segulsviðið Φ er teiknaður lárétt eða 90 rafmagnsgráður á spönuðu spennurnar. Þar næst er settur vektor fyrir skautspennu eftirvafs U_2 með fjarlægðinni $I_2 \cdot Z_2$ frá E_2 og síðan straumvektorinn I_2 sem er horninu ϕ_2 á eftir spennunni. Spennufallið yfir raunviðnám eftirvafsins $I_2 \cdot R_2$ teiknast við enda U_2 en með sömu stefnu og straumurinn I_2 , þar sem það er í fasa með honum. Spennufallið yfir launviðnám eftirvafsins $I_2 \cdot X_2$ teiknast sem hornréttur vektor á strauminn I_2 og lokar þannig hornréttum þríhyrningi spennufallanna í eftirvafinu.

Af þessu má sjá að skautspenna eftirvafsins U_2 er lægri spanspennunni E_2 , sem nemur spennuföllum eftirvafsins samanlögðum sem vektorum með 90° horni og með tilliti til hornsins milli spennanna.

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.



Mynd 20.7

Tómgangsstraumurinn I_{10} er teiknaður eins og á mynd 20.7 og segulsviðið sem hann myndar spanar spennurnar E_1 og E_2 og er því í raun áfram til staðar í forvafinu þegar álag er sett á spenninn. Vektorinn I_{10} leggst þess vegna við álagsstraumsvektor forvafsins sem hefur stefnuna 180° á vektorinn I_2 og veldur þannig stærra fasviki ϕ_1 í forvafinu ϕ_1 verður því nokkru stærra en ϕ_2 , en þetta er að vísu talsvert ýkt á myndinni.

Ef spennutöp forvafsins eru þekkt, leggjast þau við neikvætt gildi spanspennunnar $-E_1$, þar sem vektor fyrir spennufallið $I_2 \cdot R_2$ hefur sömu stefnu og I_1 . Að lokum má teikna vektor fyrir spennuna U_1 sem verður hærri en mótspegnan ($-E_1$) sem nemur spennutöpum forvafsins.

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

Afl, töp og nýtni

Afl spenna er alltaf gefið upp sem „sýndarafl“ eftirvafsins S_2 , mælt í VA, kVA eða MVA. Formúla fyrir sýndarafl einfasa spennis verður:

$$S_2 = U_2 \cdot I_2 \quad [VA]$$

eða

$$S_2 = U_2 \cdot I_2 \cdot \sqrt{3}$$

fyrir þriggja fasa spennu.

Á sama hátt má reikna sýndarafl í forvafi S_1 út frá skautspennu U_1 og forvafsstraum I_1 . Ef spenna, straumur og aflstuðull er þekkt verður raunafl í forvafi einfasa spennu:

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\phi_1 \quad [W]$$

og

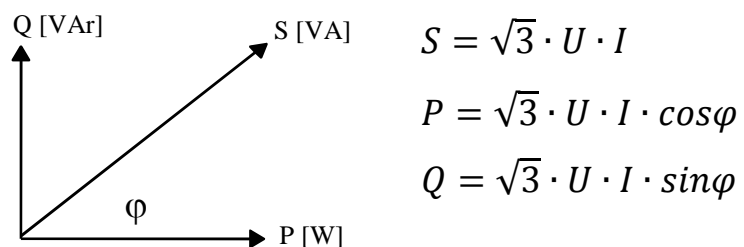
$$P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\phi_1 \cdot \sqrt{3}$$

fyrir þriggja fasa.

Við fulla lestun verður afgafið raunafl háð aflstuðli álagsins.

$$P_2 = S_2 \cdot \cos\phi_2$$

Setja má upp aflvektoramynd fyrir aflíð í for- og eftirvafi:



Formúlurnar eru miðaðar við þriggja fasa spenna.

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

Töpum í spennu má skipta annarsvegar í járnöt ΔP_0 og hinsvegar í straumvarmatöpu eða öðru nafni eirtöpu ΔP_k . Járnötum má svo skipta í segultregðutöpu og hvirfilstraumatöpu. Járnötin koma strax fram við 0-lestun og breytast ekkert sem nemur við aukið álag. Eirtöpin vaxa hinsvegar með straumnum í öðru veldi:

$$\Delta P_k = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2$$

Ef hlutfallið milli mállestunar og lestunar hverju sinni er táknað með m verður:

$$m = \frac{P_2}{P_{2mál}}$$

Þar sem eirtöpin vaxa með straumnum í öðru veldi má segja að eirtöpin séu hverju sinni:

$$\Delta P_k = \Delta P_{kmál} \cdot m_2$$

Nýtni fulllestaðs spennis er hlutfallið milli afgefins og tilfærðs raunafls og þar sem tilfært afl er jafnt og afgefið plús töpin má setja fram líkinguna:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P_0 + \Delta P_k}$$

Nýtni við mismunandi (m) lestun má nú reikna:

$$\eta_m = \frac{P_2 \cdot m}{P_1 \cdot m} = \frac{P_2 \cdot m}{P_2 \cdot m + \Delta P_0 + \Delta P_k \cdot m^2}$$

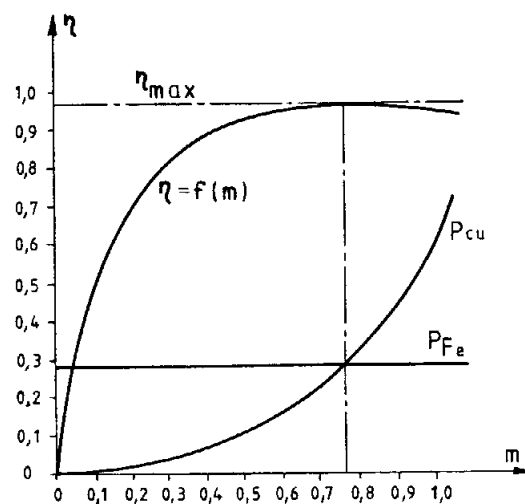
Þar sem afl spenna er gefið upp sem sýndarafl á eftirvafi (S_2) er algengara að líkingin sé sett upp á eftirfarandi hátt:

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

$$\eta_m = \frac{S_2 \cdot \cos\phi_2 \cdot m}{S_2 \cdot \cos\phi_2 \cdot m + \Delta P_0 + \Delta P_k \cdot m^2}$$

Spennar hafa mjög háa nýtni miðað við rafmótora t.d. vegna þess að í spennu eru engir hreyfanlegir hlutir. Þar sem járnþöpin breytast ekkert með lestun, en eirtöpin hinsvegar með straumnum í öðru veldi verður hæsta nýtni spenna við tiltölulega litla lestun. Hámarksnýtni spenna verður þegar járnþöp og eirtöp hafa sama gildi og það er misjafnt eftir byggingu og stærð spenna við hvaða lestun það er.

Á mynd 20.8 er nýtnikúrfa spennis og þar er hámarksnýtni við 0,77 lestun, sem er tiltölulega hátt. Kúrfa fyrir járnþöp (P_{fe}) er alveg lárétt og eru komin fram við 0-lestun. Kúrfa fyrir eirtöp (P_{cu}) vex með lestun í öðru veldi og veldur því að nýtnikúrfan lækkar frá 0,77 lestun til fullrar lestunar.



Mynd 20.8

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

Sýnidæmi 20.3

Spennir er merktur 1 kVA, eirtöp við fullt álag er 80 W og járntöp 20 W.

- a) Hver er nýtni spennisins við fulla lestun með hreinu raunálagi, þ.e. $\cos\varphi_2$ er 1.

Lausn:

$$\eta = \frac{S_2 \cdot \cos\varphi_2}{S_2 \cdot \cos\varphi_2 + \Delta P_0 + \Delta P_k}$$

$$\eta = \frac{1000 \cdot 1}{1000 \cdot 1 + 20 + 80} = 0,909 \cdot 100 = 90,9\%$$

- b) Sami spennir hefur hálfu straumlestun við aflstuðulinn 0,7. Hver er nýtni hans þá?

Lausn:

$$\eta_m = \frac{S_2 \cdot \cos\varphi_2 \cdot m}{S_2 \cdot \cos\varphi_2 \cdot m + \Delta P_0 + \Delta P_k \cdot m^2}$$

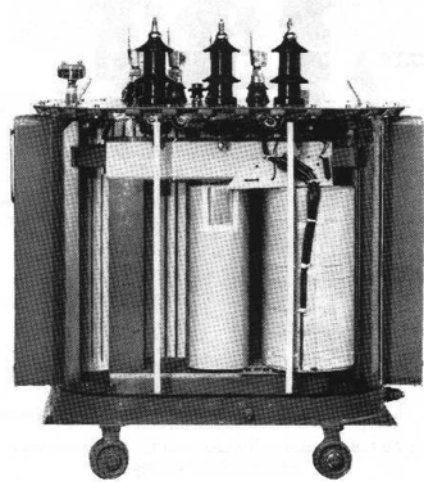
$$\begin{aligned}\eta_m &= \frac{1000 \cdot 0,7 \cdot 0,5}{1000 \cdot 0,7 \cdot 0,5 + 20 + 80 \cdot 0,5^2} \\ &= 0,897 \cdot 100 = 89,7\%\end{aligned}$$

Litlir spennar hafa nýtni nálægt 90% en þeir stærstu allt að 98% nýtni. Þetta er t.d. mjög mikilvægt í veitukerfum í landi, þar sem raforkan fer í gegnum marga spenna á leið sinni frá rafala í virkjun, til notanda.

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

Tenging 3 fasa spenna

Á mynd 20.9 er þriggja fasa spennir af svipaðri stærð og eru í dreifistöðvum rafveitna.



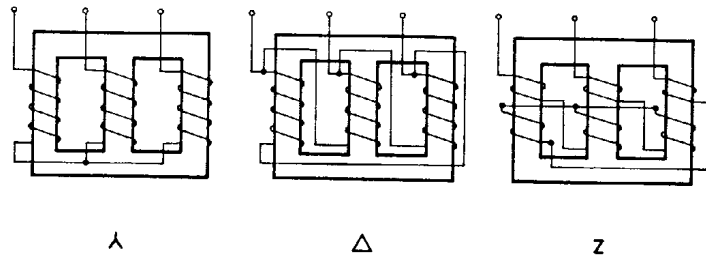
Mynd 20.9

Á þriggja fasa spennum eru möguleikar á að tengja for- og eftirvaf á mismunandi vegu. Þetta gefur möguleika á að tengja forvaf við mismunandi spennur og fá fleiri en eitt spennugildi á eftirvaf. Aðallega eru notaðar þrjár eftirtaldar tengingar:

- Stjörnutenging táknuð með Y eða
- þríhyrningstenging táknuð með D eða Δ
- krókatenging táknuð með Z.

Þessar tengingar eru notaðar á ýmsa vegu og spennir sem hefur Y-tengt forvaf getur t.d. haft D-tengt eftirvaf og öfugt. Spennar í dreifistöðvum sem lækka háspennu í notendaspennu 400/230 V eru gjarnan með D-tengt forvaf, en Y-tengt eftirvaf. Ef álag er misjafnt á fasa eftirvafsins, yfirfærast það ekki beint á hvern fasa í forvafinu, heldur jafnast að mestu út á fasana við þennan tengimáta.

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.



Mynd 20.10

Ennþá virkara að þessu leyti er Z-tenging eftirvafs, vegna þess að hverju fasavafi er þá skipt til helminga á tvo leggi járnkjarnans, sjá mynd 20.10. Þessi tenging er því notuð þar sem búast má við mjög ójöfnu álagi á fasa, en er lítið notuð hérlendis.

Spennar sem hafa háspennu bæði á for- og eftirvafi eru oft Y-tengdir á báðum vöfum, sem þýðir lægri fasaspennu og því lægri kröfur um einangrun.

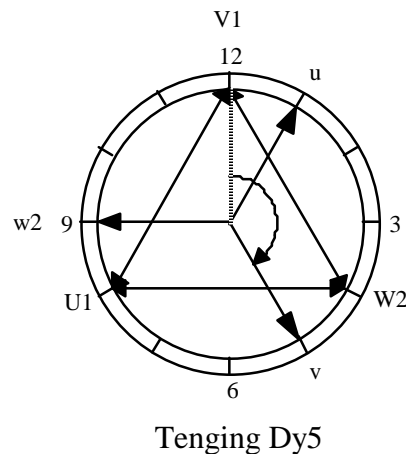
Upplýsingar um tengimáta spenna eru gefnar upp með stórum bókstaf fyrir forvaf og litlum bókstaf fyrir eftirvaf. Einnig þarf að geta um fasasnúning spennunnar í eftirvafinu miðað við forvafsspennuna. Þetta horn á milli spennana er gefið upp með tölustöfum og skal það skýrt nánar.

Að lokum ef stjörnpunktur er tengdur til jarðar í forvafi er það táknað með N og með n í eftirvafi. Tökum dæmi um spenni sem er merktur Dyn5. Hann hefur þríhyrningstengt forvaf, stjörnutengt eftirvaf og jarðbundinn stjörnpunktur. Fasaspenna eftirvafsins er $5 \cdot 30$ rafmagnsgráðum á eftir fasaspennu forvafsins.

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

Merkingin YNyn0 táknar að bæði vöf eru stjörnu-tengd, stjörnuþunktur jarðbundinn og fasasnúningur er enginn, eða 360° . Talan fyrir fasasnúning er hugsuð út frá því að teikna spennuvektora for- og eftirvafs inn á klukku.

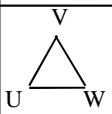
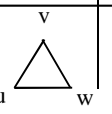
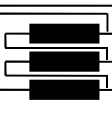
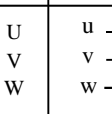
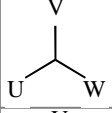
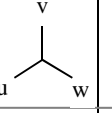
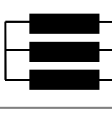
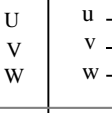
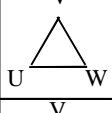
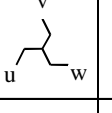

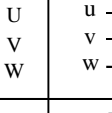
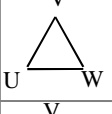
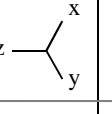

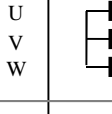
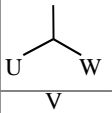
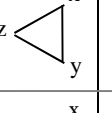
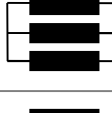
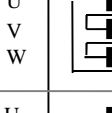
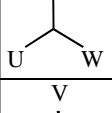
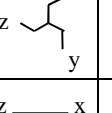
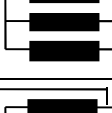

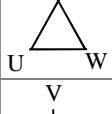
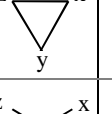


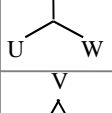
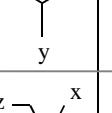
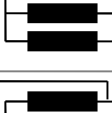
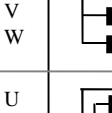
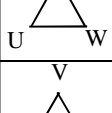
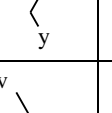

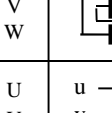
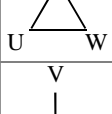
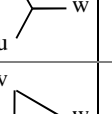
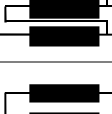
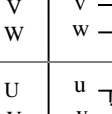
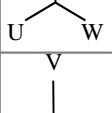
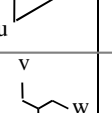

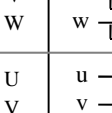
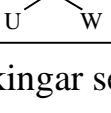
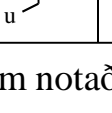
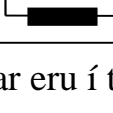
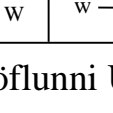
Á mynd 20.11 er tekin fyrir tengingin D_{y5} og vektorinn fyrir V-fasa hafður kl. 12. V-fasi eftirvafsins verður þá kl.5, sem er 150 rafm.gr. á eftir, eða $5 \cdot 30^\circ$.



Mynd 20.11

Taflan á næstu síðu sýnir hina ýmsu valmöguleika á tengingum þriggja fasa spenna. Af henni má sjá hver fasasnúningur og breytihlutfall verður við mismunandi tengingar.

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

Fasasnún.	Spennuvektorar		Tengingar vafa		Breytuhl.f. U_1 / U_2	
	Horn	Merking	Forvaf	Eftirvaf		Forvaf
0°	D d 0					$\frac{N_1}{N_2}$
						$\frac{N_1}{N_2}$
						$\frac{2}{3} \frac{N_1}{N_2}$
150°	D y 5					$\frac{N_1}{\sqrt{3} N_2}$
						$\frac{\sqrt{3} N_1}{N_2}$
						$\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{N_1}{N_2}$
180°	D d 6					$\frac{N_1}{N_2}$
						$\frac{N_1}{N_2}$
						$\frac{2}{3} \frac{N_1}{N_2}$
330°	D y 11					$\frac{N_1}{\sqrt{3} N_2}$
						$\frac{\sqrt{3} N_1}{N_2}$
						$\frac{2}{\sqrt{3}} \frac{N_1}{N_2}$

Merkingar sem notaðar eru í töflunni UVW,XYZ fyrir forvaf og uvw,xyz fyrir eftirvaf eru af eldri gerð, en þess ber að gæta að mikið af spennum eru í notkun með þessari gerð merkinga.

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

Hliðtenging spenna

Nýrri gerðir merkinga eru 1U,1V,1W fyrir forvaf og 2U,2V,2W fyrir eftirvaf.

Einnig er notað ABC fyrir forvaf og abc fyrir eftirvaf.

Þegar tveir eða fleiri spennar eru hliðtengdir þýðir það að bæði for- og eftirvöf þeirra eru samtengd, t.d. inn á safnteina. Til þess að spennar geti unnið saman hliðtengdir verður að uppfylla eftirfarandi skilyrði:

- Spennarnir verða að hafa sama breytihlutfall.
- Hlutfallsleg skammhlaupsspenna þeirra verður að vera næstum sú sama.
- Fasasnúningur eftirvafsspennu þeirra miðað við forvafsspennu sé sá sami.

Þessi atriði þarfnast nánari skýringar:

- Þar sem hliðtengdir spennar hafa sömu forvafsspennu mundi mismunur í breytihlutfalli valda mismun á eftirvafsspennum.
Þessi spennunmunur orsakar straum sem rásar í eftirvöfunum.
Af þessu leiðir að mismunur á breytihlutfalli má ekki vera meiri en 0,4%.
- Ef tveir hliðtengdir spennar hafa sömu hlutfallslegu skammhlaupsspennu U_{sk} , mun álag deilast jafnt á þá.
Það má líka orða þetta þannig að ef heildar-spennuföll tveggja hliðtengdra spenna eru jöfn, munu þeir lestast jafnt.

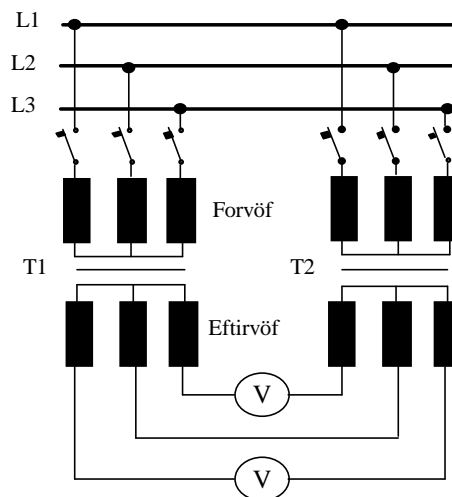
Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

- c) Ef bæði fyrri atriðin eru uppfyllt er möguleiki á að fasa snúningur sé ekki sá sami. Til þess að ganga úr skugga um þetta atriði má nota þá aðferð við þriggja fasa spenna, að tengja spennu inn á forvöf þeirra. Samtengja einn fasa í eftirvafi þeirra og mæla síðan hvort spenna er milli ótengdu skautanna.

Sjá mynd 20.12.

Ef mælarnir á myndinni sýna enga spennu er fasa-snúningur eins og óhætt að tengja vöfin saman.

Annars verður að gera frekari athuganir og umtengingar á for- eða eftirvafi.

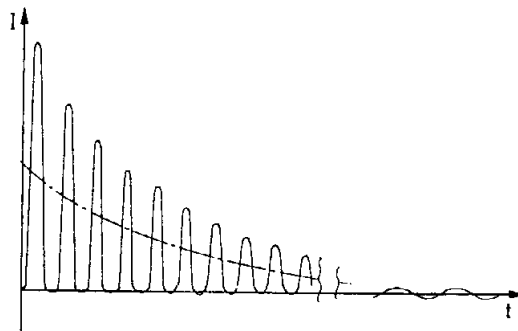


Mynd 20.12

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

Ræsing spenna

Spennir með opið eftirvaf, þ.e. ekkert álag tengt við það, er nánast spóla með járnkjarna. Hugsum okkur að augnabliksgildi spennunnar U_1 sé 0V við tengingu. Segulsviðið sem myndast er um 90° horni á eftir forvafsspennunni og mótspennan E_1 sem er afleiðing segulsviðsbreytinga í járnkjarnanum er 180° á eftir U_1 . Þar sem segulsviðið er ekki óendanlega fljótt að ná upp fullum styrk, geta nokkur rið farið í gegn áður en mótspennan E_1 nær að takmarka strauminn í eðlilegan tómgangsstraum I_{10} . Þetta ástand er skýrt með línuriti á mynd 20.13.



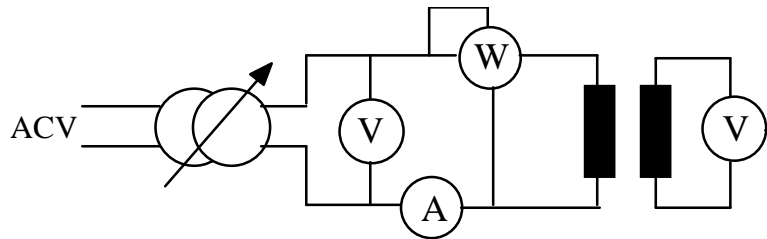
Mynd 20.13

Fyrsta straumhöggið getur orðið allt að 100 faldur tómgangsstraumur. Ef tenging gerist á því augnabliki þegar spennan U_1 hefur hámarksgildi, getur segulsviðið og þar með mótspennan stigið eðlilega.

Prófanir á spennum**Tómgangstilraun**

Áður hefur verið talað um að við tómgang sé fyrst og fremst um járnþöp að ræða í spennu. Það þýðir að þegar horft er framhjá hlutfallslega mjög litlum eirtöpum í forvafi, er hægt að mæla járnþöp spennisins í tómgangi. Tengimynd sem sýnir uppstillingu fyrir tómgangstilraun er á mynd 20.14.

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.



Mynd 20.14

Spennirinn er tengdur málsþennu U_1 inn á forvaf, með spennu-mæli, straummæli (I_{10}) og aflmæli (P_{10}) í rásinni. Við eftirvafið er einungis tengdur spennumælir með stóru innra viðnámi (U_{20}).

Tómgangstöp má lesa beint af aflmælinum ΔP_0 og út frá þessum upplýsingum má reikna eftirfarandi:

-Umsetningshlutfall

$$u = \frac{U_1}{U_{20}}$$

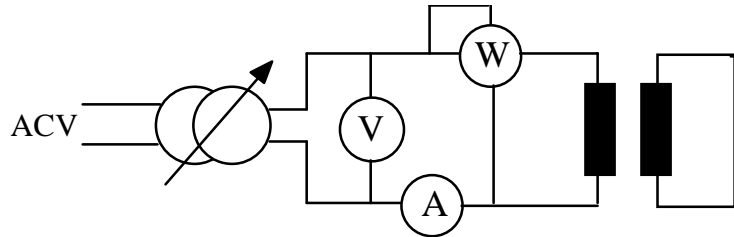
-fasvikið ϕ_0 af $\cos\phi_0 = \frac{P_0}{U_1} \cdot I_{10}$

Skammhlaupstilraun

Með skammhlaupstilraun má hinsvegar á sama hátt finna eirtöp spennis. Sjá mynd 20.15. Eftirvafi spennisins er skammhleypt með eirleiðara og aflmæli komið fyrir í forvafsrásinni, sem fær skammtaða spennu frá breyti. Ef full spenna væri sett á forvafið, kæmi upp margfaldur málstraumur á bæði vöf spennisins, með alvarlegum afleiðingum. Með eftirvafið skammhleypt verður skautspenna þess 0 volt og spenna forvafsins jöfn spennuföllum í vöfunum. Stilla skal spennu forvafsins með því að setja ampertöng á skammhlaupsslaufuna og hækka síðan forvafsspennuna þar til málstraums-gildi er náð í eftirvafinu.

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

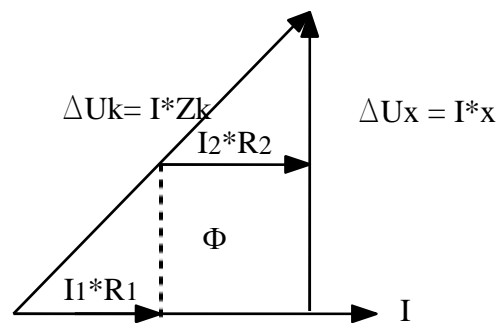
Sú spenna sem veldur málstraum í eftirvafinu er yfirleitt frá 3-10% af málspennu forvafs og nefnist skammhlaupsspenna ΔU_{sk} .



Mynd 20.15

Nú má lesa eirtöþ ΔP_k spennisins af aflmælinum.

Spennuvektormynd sem er miðuð við skammhlaupstíraun má sjá á mynd 20.16.



Mynd 20.16

Skautspenna eftirvafsins er 0 volt og samanlögð (með vektorum) spennuföll vafanna verða jöfn skautspennu forvafs U_1 sem er skammhlaupsspennan ΔU_{sk} .

$$\Delta U_{sk} = I \cdot Z_{sk}$$

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

Skammhlaupsspenna er eins og fyrr getur oft gefin upp sem hundraðshluti af málsþennu forvafs og hér er það táknað með usk :

$$usk = \frac{\Delta U_{sk} \cdot 100}{U_1} [\% \text{ af } U_1]$$

Stærðin Z_{sk} nefnist skammhlaupsviðnám spennis. Sá hluti spennuþríhyrningsins á mynd 20.16 sem er í fasa með straumnum mætti nefna „ohmska spennufall“ spennisins:

$$I_1 \cdot R_1 + I_2 \cdot R_2$$

Á stórum spennum fyrir riðstraumskerfi er þetta spennufall gefið upp á merkiskilti sem hundraðshluti af málsþennu forvafs. Auk þess er skammhlaupsspennan gefin upp. Þessar upplýsingar er nauðsynlegt að hafa ef t.d. tveir eða fleiri spennar eiga að hliðtengjast í kerfi.

Skammhlaup í rekstri

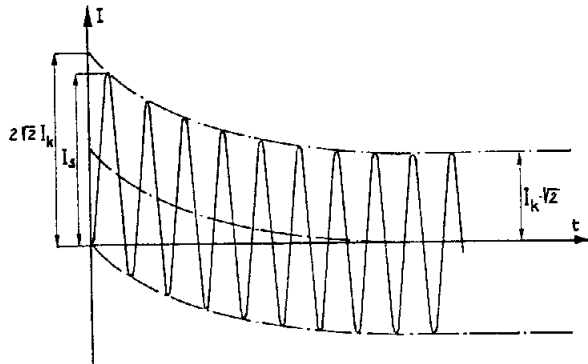
Við skammhlaupstilraun er forvafsspennan lækkuð í gildið usk % af málsþennu. Ef skammhlaup verður á tengingum eftirvafs á spennu í rekstri með fulla málsþennu á forvafi, verður skammhlaupsstraumur I_{sk} tilsvareandi stór:

$$Isk_1 = \frac{I_1 \cdot 100}{usk} [A] \text{ fyrir forvaf}$$

$$Isk_2 = \frac{I_2 \cdot 100}{usk} [A] \text{ fyrir eftirvaf}$$

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

Skammhlaupsstraumurinn (I_{sk}) er miðaður við virkt gildi, en augnabliksgildi forvafsspennunnar við skammhlaup, ef það verður á fyrri hluta hálfriðs, getur valdið hlutfallslega hærra straumhöggi.



Mynd 20.17

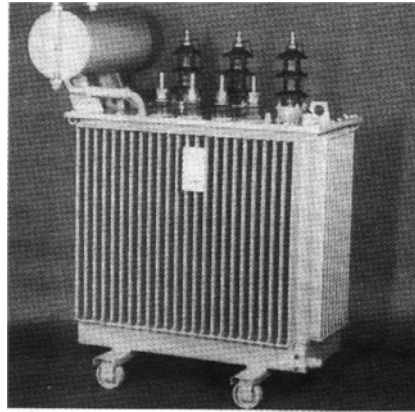
Skammhlaupsstraumurinn verður um 90° á undan forvafsspennunni U_1 þannig að straumurinn hefur 0-gildi þegar spennan U_1 er í hámarksgildi. Ef skammhlaup gerist við hámarksgildi U_1 fer straumgildið upp í I_{sk} -gildi. Ef skammhlaupið skeður hinsvegar á því augnabliki þegar spennan U_1 er 0 V verður skammhlaupsstraumurinn samkvæmt kúrfunni á mynd 20.17. Straumurinn hugsast samsettur úr sínuslaga straum með virkt gildi jafnt og I_{sk} að viðbættu jafnstraumsgildi sem fjarar út.

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

Kæling spenna

Litlir spennar sem eru staðsettir í þurru rými eru kældir með umhverfisolfti. Oftast eru spólur þeirra einungis lakkaðar, en stundum steypar í raflakk (epoxy), t.d. í mælaspennum. Stórum spennum í rafveitum er sökkt í spennalíu, sem er sérstaklega hreinsuð olía og vinnur bæði sem einangrari og kælimiðill. Olían flytur varma frá vöfunum til ytrabyrðis spennisins, sem gjarnan hefur „kælirillur“ og kælist af umhverfisolfti.

Á mjög stórum spennum er olíunni dælt í hringrás gegnum „kælielement“ með kæliviftu.



Mynd 20.18

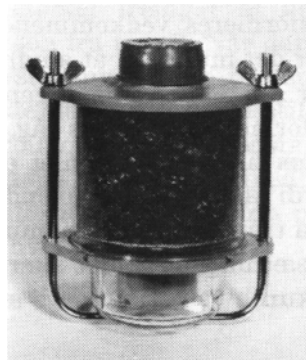
Þar sem olían eykur rúmmál sitt við hitastigsaukningu, t.d. vegna rafmagnslegrar lestunar eða og herra umhverfishitastigs, er sýnt að hleypa þarf þrýstingi af spennistanknum. Einfalt væri að hafa op út í andrúmsloftið efst á tankinum, en við það mundi olían ildast og raki og óhreinindi geta komist í hana. Ekkert af þessu þolir olían ef hún á að halda einangrunarhæfileikum sínum. Þetta er leyst með því að koma fyrir þrýstitanki ofan á spenninum, sem er tengdur spennistankinum með röri og er hálfylltur af olíu.

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

Yfir olúfletinum er þurr loft sem pressast saman við þensluaukningu olúnnar. Í sumum tönkum er membra sem skilur að olú og loftpúða.

Það eru líka framleiddir spennar í loftþéttum tönkum sem eru án þrýstítanks. Í þeim tilfellum er stundum notað köfnunarefni sem þenslupúði. Einnig má byggja tank spennis þannig að hann þoli ákveðna áætlaða þensluaukningu olúnnar og fylla hann af olú og koma þannig alveg í veg fyrir snertingu olú og lofts.

Utan á þrýstítankinum er staðsett glas með kísil-kristöllum, (mynd 20.19) sem dregur í sig raka úr loftinu og auk þess olúhæðarglas, sem sýnir olúhæð hverju sinni. Ildun er haldið í lágmarki vegna þess hve snertiflötur olú og lofts í þrýstítankinum er lítill að flatarmáli. Neðst á tanki spennisins er aftöppunarkrani, þar sem einnig má taka sýni af olúnni.

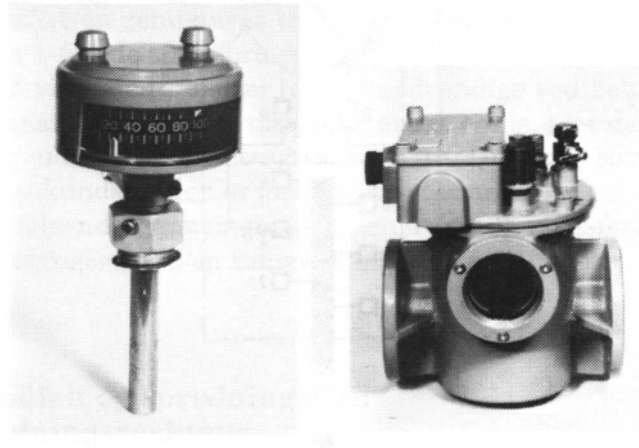


Mynd 20.19

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

Varnarbúnaður

Þeir stóru spennar sem helst er að finna hérlendis við virkjanir og í aðveituvirkjum, hafa sérstakan varnarbúnað auk venjulegra yfirstraums- og skammhlaupsvarna. Þetta eru hitaliði sem er staðsettur í ofarlega á spennistanknum og þreifar á olíuhitanum þar. Hitaliðinn ræsir kæliviftur þegar þörf er á einnig getur hann rofið aflrofa spennisins við hærra hitastigsgildi. Á sumum stórum spennum er komið fyrir þrýstiliða sem þreifar eftir þrýsting í spennistankinum.



Mynd 20.20

Á rörinu milli þrýstitanks og spennistanks er komið fyrir gasliða (Bucholsliða). Hann skynjar ef gasmyndun verður í spennistankinum og snerta í honum tengir aðvörunargaum.

Ef mikið olústreymi fer um liðann vegna snöggrar hitaaukningar í spennistanki, vinnur önnur snerta í liðanum sem slær út aflrofum spennisins. Til vinstri á mynd 20.20 er hitaliði en t.h. gasliði.

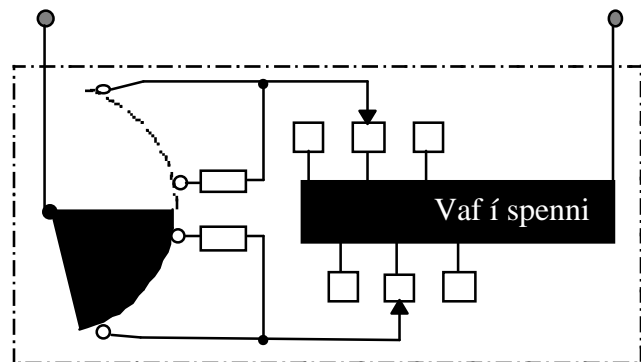
Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

Valrofi (spennusnari)

Með „spennusnara“ (skiptirofa) er hægt að fjölga eða fækka vindingum í for- eða eftirvafi spenna og breyta þannig vindingahlutfalli þeirra að einhverju marki. Þeir eru alltaf tengdir því vafi í spennu sem hefur hærra spennugildi og þar af leiðandi lægri straum.

Í spennum dreifistöðva er snarinn tengdur við forvaf og möguleikar á tveimur stillingum, sem breyta vindingahlutfalli um $+/- 2,5\%$ eða $+/- 5\%$. Snarinn er handvirkur og er ekki hreyfður nema við spennulaust ástand. Tilgangurinn með breytingu á vafningafjölda er sá að fá fram heppilegt meðalgildi á eftirvafsspennu, miðað við málgildi.

Snarar eru yfirleitt ekki hreyfðir nema t.d. einhverjar viðvarandi breytingar verði í álagskerfinu.



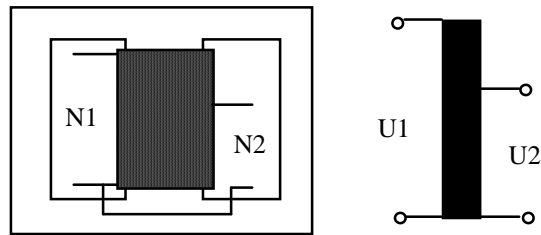
Mynd 20.21

Snarar við aðalspenna í háspennukerfinu geta haft allt að 20 þrep og verið sjálfvirkir og fjarstýrðir. Þannig breytist breytihlutfall þeirra eftir þörfum í gegnum álagssveiflur dagsins. Snarinn er mótordrífinn og stýrt af spennuvirkum liðum eða samkvæmt fyrirfram gerðri áætlun, með tilliti til álagssveiflna. Snarinn getur unnið þótt spennirinn sé undir álagi, en er þannig útbúinn að ekki verður spennurof, né skammhlaup milli tveggja úttaka frá vafningum spennisins.

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

**Einvefjuspennar
(Autospennar)**

Einvefjuspennar, oft nefndir „Autospennar“, hafa eins og nafnið bendir til aðeins eitt vaf á fasa. Það segir að úttök fyrir for- og eftirvaf eru í raun á sama vafinu og því eru þau ekki leiðnilega aðskilin. Á mynd 20.22 er einfasa einvefjuspennir (bolspennir) t.v og táknmynd af sama t.h.



Mynd 20.22

Hægt er að nota einvefjuspenna bæði til lækkunar og hækkunar spennugildis alveg eins og spenna með aðskilin vöf sem áður lýst. Vindingafjöldi forvafs N_1 á spenninum á myndinni er heildar vindingafjöldi spólunnar, en vindingafjöldi eftirvafsins N_2 er sá fjöldi vafninga sem er á milli sameiginlega úttaksins og úttaks eftirvafsrásar. Eins og á einangrunarspennum er vindingahlutfallið (breytihlutfallið u) milli vafninga í for- og eftirvafi:

$$u = \frac{N_1}{N_2}$$

og spenna í eftirvafinu ólestuðu verður því:

$$U_{20} = \frac{U_1}{u} [\text{volt}]$$

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

Ef horft er framhjá tómgangsstraum I_{10} er ($I_2 = I_1 \cdot u$), sem þýðir að ef breytishlutfallið væri 1, myndu straumar í for- og eftirvafi vera jafn stórir. Straumarnir I_1 og I_2 eru í mótfasa, þ.e. 180° horn á milli þeirra. Í þeim hluta spólunnar sem er sameiginlegur fyrir for- og eftirvaf fer því aðeins straumur sem svarar til mismunarins á þessum tveimur straumgildum eða:

$$I = I_1 - I_2 \text{ [A]}$$

Af þessu leiðir að þessi sameiginlegi hluti spólunnar má vera vafin úr mun grennri vír en sá hluti sem þjónar aðeins öðru vafinu. Því minni fyrirferð á spólu, því minni járnkjarna er hægt að komast af með og einvafsspennar eru þess vegna minni og ódýrari en tilsvarandi einangrunarspennar. Þessi munur er mestur ef breytihlutfallið (u) er nálægt 1, en er hverfandi ef það er mjög stórt eða mjög lítið.

Þar sem leiðið samband er á milli for- og eftirvafs í einvefju-spennum er ekki hægt að nota þá milli háspennu- og lágspennunets. Af sömu ástæðu eru þeir ekki nothæfir sem öryggisspennar, þ.e. til þess t.d. að breyta kerfisspennu í lágspennu til útilokunar snertihættu.

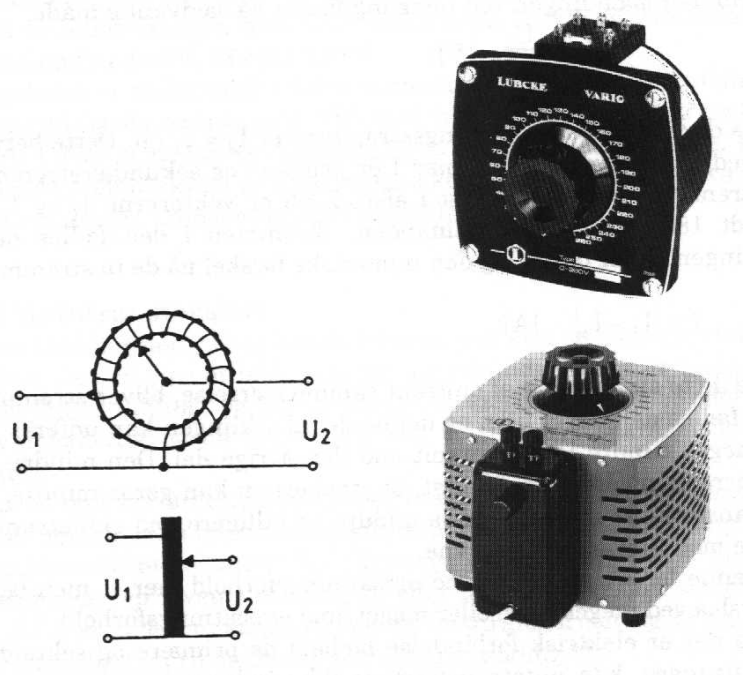
Einvafsspennar eru ekki einir og sér samþykktir til notkunar í skipum, samkvæmt ísl. reglugerð. Þeir eru mikið framleiddir í litlum stærðum til þess að þjóna einhverju ákveðnu tæki, en einnig finnast þeir meðal stærstu spenna í háspennukerfi landsins.

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

Allir eiga þeir það sameiginlegt, að hafa breytihlutfall ekki alltof langt frá 1, t.d. í lágspennukerfum til þess að breyta 400 V í 230 V ($u = 1,73$), eða 230 V í 115 V ($u = 2$) og í háspennukerfinu til þess að breyta 220 kV í 132 kV ($u = 1,67$).

Breytanlegir spennar

Breytanlegir spennar eru einfafsspennar þar sem annað skaut eftivafrásar tengist inn á kolbursta, sem er á snúanlegum öxli og í leiðnisambandi við vöf spólunnar, sem oftast er á hringlögðuðum járnkjarna. Algengt er að þeir séu gerðir fyrir að tengjast 230 V netspennu og breytimöguleikar á eftirvafsspennu séu frá 0 – 250 V. Sjá mynd 20.23.

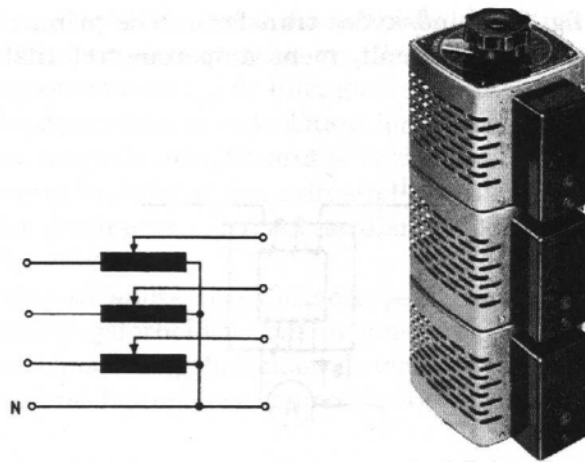


Mynd 20.23

Þriggja fasa spennar eru einfaldlega búnir til þannig að þremur einfasa spennum er staflað saman á sameiginlegan öxul og vöfin stjörnubundin.

Sjá mynd 20.24.

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.



Mynd 20.24

Þessir spennar eru m.a. notaðir á tilraunastofum, rafmagnsverkstæðum og sem hraðastýring fyrir litla viftumótora, svo einhver dæmi séu nefnd. Breytanlegir spennar eru einnig framleiddir sem einangrunar-spennar, til notkunar þar sem af öryggisástæðum er talið nauðsynlegt að hafa aðskilin vöf.

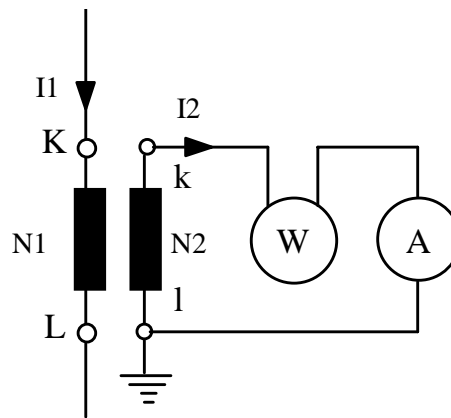
Mælaspennar

Við mælingar á rafmagnsstærðum eins og straum, spennu og afli eru oft notaðir spennar fyrir framan mælana. Í háspennukerfum eru þeir nauðsynlegir til þess að fá ekki háspennu inn á mælatöflu. Mælar eru gerðir í mörgum tilfellum fyrir stöðluð straum- og spennugildi, 1 eða 5 A straum og 100 eða 115 V spennu. Mælaspennar eru því gerðir fyrir þessar stöðluðu stærðir í eftirvafi. Með réttu vali á mælaspennum er hægt að mæla öll stærðargildi sem koma fyrir í rafkerfum.

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

Straumspennar

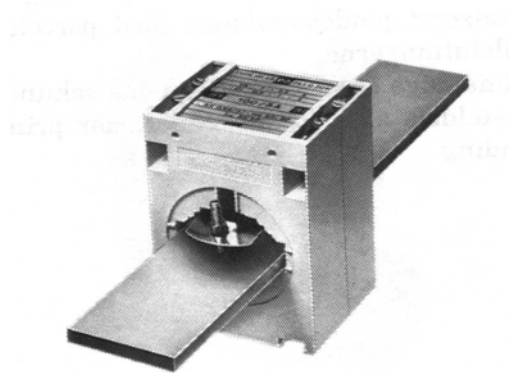
Í kafla 16 er fjallað um straumspenna og er því látið nægja að skýra frá nokkrum atriðum til viðbótar. Þar sem viðnám straumspennis og ampermælis er mjög lítið, er gert ráð fyrir að eftirvafsrásin sé skammhleyppt og segulsviðið sem myndast í járnkjarnanum veikt. Straumurinn í eftirvafinu hefur alltaf hlutfallslegt gildi miðað við strauminn í forvafinu og verður innan markanna 1 eða 5 amper eins og fyrr segir.



Mynd 20.25

Í háspennukerfum er nauðsynlegt að jarðbinda eftirvafið af öryggisástæðum, en það er einnig oft gert í lágspennukerfum þegar t.d. straumspóla í aflmæli er tengd straumspenni, sjá mynd 20.25. Þá er nauðsynlegt að jarðbinda eftirvafið til þess að fá fastan viðmiðunarpunkt gagnvart spennumælingunni. Annars yrði straumurinn „fljótandi“ miðað við spennu, þ.e. hornið milli straums og spennu í mælinum ekki í samræmi við hornið φ í rásinni, sem verið er að mæla.

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.



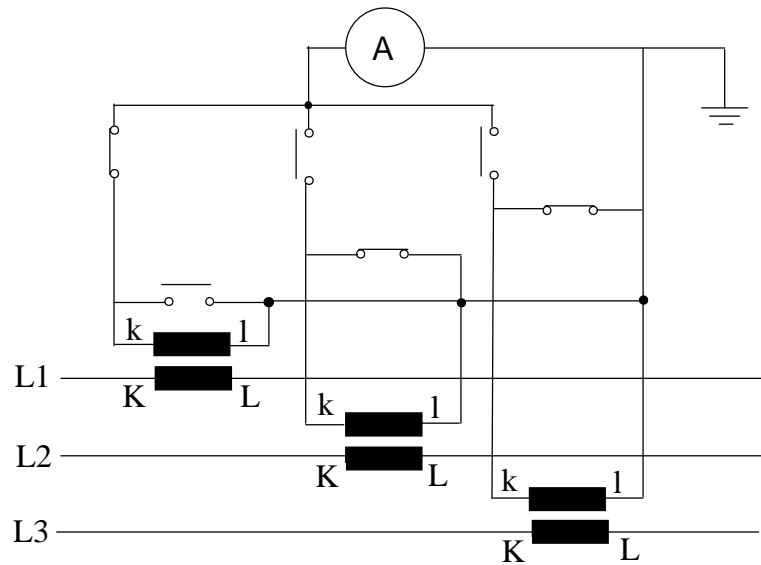
Mynd 20.26

Langalgengasta útfærsla á straumspennum er hringlaga járnkjarni með gegnumtak í miðju fyrir einn leiðara sem forvaf, en einnig eru þeir framleiddir með undnu forvafi.

Slíkir straumspennar eru t.d. gerðir til notkunar í tilraunastofum og þá er gjarnan möguleiki á að tengja inn á mismunandi vindingafjölda sem forvaf. Straumspennar eru oft steiptir í „epoxy“, sjá mynd 20.26.

Á þriggja fasa rafalastofnum eru hafðir þrír straumspennar, einn á hverjum fasa. Þeir eru Y-tengdir og stjörnupunkturinn jarðtengdur, sjá mynd 20.27. Ráðlegt er að nota ekki til tengingar við eftirvaf grenni leiðara en $2,5 \text{ mm}^2$.

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.



Mynd 20.27

Við val á straumspennum þarf m.a.að hafa í huga vinnustraum mælis, þ.e. málstraum eftirvafs, málstraum í forvafi, afkastagetu í VA, nákvæmi sem gefið er upp í % af málgildi og fyrirkomulag (festing). Dæmi um merkingar á straumspenni getur verið: 800 / 5A, cl. 0,5, 10 VA

Afkastageta er frá 5 til 15VA og valið fer m.a. eftir því hve miklu álagi er gert ráð fyrir á straumspenninn. Inn á sama straumspenni má t.d. raðtengja ampermæli, straumspólu í aflmæli eða einhverjum varnarbúnaði o.fl.

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

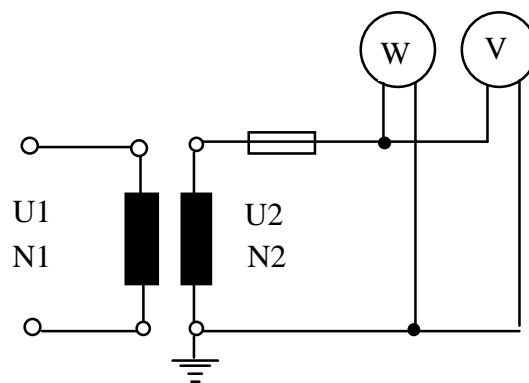
Spennumælaspennar

Forvaf spennisins tengist þeirri spennu sem á að mæla og spennumælirinn tengist eftirvafinu. Spennumælar hafa mjög mikið viðnám og því má segja að spennumælaspennar vinni svo til álagslausir. Vöf þeirra eru úr mjög grönnum þræði og geta ekki flutt mikinn straum. Til þess að verja þá er haft bræðivar í eftirvafsrásinni. Sjá mynd 20.28.

Við tómgang eða mjög litla lestun má segja að:

$$U_2 = \frac{U_1}{u}$$

Spennumælaspennar eru tiltölulega sjaldan notaðir nema við háspennumælingar. Þó eru þeir notaðir til þess að lækka kerfis-spennu í lágspennuvirkjum, niður í spennugildi sem ekki stafar snertihætta af. Þeir eru framleiddir tveggja póla upp að 12 kV og tengjast þá inn á fasaleiðara. Fyrir hærri spennu eru þeir framleiddir einpóla, þ.e. forvafið tengist þá einum fasaleiðara og jarðskauti. Þar með minnkar forvafsspennan úr netspennu í fasaspennu, eða um $\sqrt{3}$ og því hægt að minnka kröfur um einangrun sem því nemur.



Mynd 20.28

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

Sem fyrr getur er staðlað spennugildi eftirvafs við háspennu-mælingar 100 eða 115 V. Nauðsynlegt er að jarðbinda annað eftirvafsskautið til þess að tryggja spennurof ef háspennupóll nær af einhverjum orsökum að slá yfir í eftirvafið. Hliðtengja má tvo eða fleiri spennumæla, spennuspólu aflmælis, tíðnimæli eða spennuvarnir við eftirvaf. Mælinákvæmni er merkt á spenninn eins og getið var um í sambandi við straumspenna.

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

Spurningar og æfingadæmi úr 20. kafla:

20.01

Tvær helstu gerðir spenna nefnast?

20.02

Hvað nefnist sá hluti járnkjarnans sem bindur leggi hans saman?

20.03

Einfasa spennir breytir 230 V spennu í 24 V.
Hvert er breytihlutfall hans?

20.04

Spennirinn í dæmi 20.03 hefur 1000 vafninga í forvafi.

Hve margir vafningar eru í eftirvafi (N₂)?

20.05

Málstraumur í forvafi spennisins í dæmi 20.03 er 1 A.

Hver er málstraumur í eftirvafi? Ath.horfa skal framhjá töpum.

20.06

Spennir breytir háspennu í 400 V (U_2). Breytihlutfall hans er 27,5.

Hve há er forvafsspennan (U_1)?

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

20.07

Einfasa spennir er m.a. merktur 230/115 V, 200 VA.

Reiknaðu eftirfarandi:

- Breytihlutfallið (u).
- Málstraum í eftirvafi (I_2).
- Málstraum í forvafi (I_1) miðað við 85% nýtni.
- Raunafl í eftirvafi (P_2) miðað við málstraum og $\cos\varphi 0,8$.
- Raunafl í forvafi (P_1) miðað við sama aflstuðul og í lið d.

20.08

Þriggja fasa spennir er merktur 3 kVA 400/24 V.

Reiknaðu eftirfarandi:

- Breytihlutfall.
- Málstraum í eftirvafi.
- Málstraum í forvafi miðað við 90% nýtni.

20.09

Þriggja fasa spennir tekur 15,2 A. frá 400 V neti við fulla lestun. Nýtni hans er 90% og aflstuðullinn er 0,76.

Reiknaðu:

- Sýndarafl forvafs (S_1).
- Raunafl í forvafi (P_1).
- Raunafl í eftirvafi (P_2).
- Sýndarafl í eftirvafi (S_2).
- Straum í eftirvafi (I_2) miðað við 230 V spennu.

20.10

Uppgefið sýndarafl þriggja fasa spennis er 30 kVA. Tómgangstöp hans eru 300W (ΔP_0) og eirtöp við fulla lestun eru 2,6 kW (ΔP_k).

Reiknaðu nýtni spennisins við fulla lestun ef miðað er við aflstuðulinn 1.

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

20.11

- a) Reiknaðu nýtni spennisins í dæmi 20.10 miðað við 50% lestun og aflstuðulinn 0,7.
- b) Aflið inn (P_1).
- c) Aflið út (P_2).
- d) Heildar afltapið (ΔP).

20.12

- a) Reiknaðu nýtni spennisins í dæmi 20.10 miðað við 20% lestun og aflstuðulinn 0,6.
- b) Aflið inn (P_1).
- c) Aflið út (P_2).
- d) Heildar afltapið (ΔP).

20.13

Þrjú fasa spennir 440/115 V tekur 24 A. straum á forvaf viðfulla lestun. Tómgangstöp eru 0,26 kW og eirtöp 1,5 kW við fulla lestun.

- a) Finn nýtni spennisins við fulla lestun við aflstuðulinn 0,8.
- b) Finn nýtni spennisins við hálfa lestun og aflstuðulinn 0,7.
- c) Reiknaðu aflið út af spenninum samkvæmt liðum a og b.
- d) Reiknaðu strauminn í eftirvafi spennisins samkvæmt liðum a og b.

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

20.14

Þriggja fasa spennir er tengdur 400 V spennu á forvaf. Við Yy0-tengingu er spenna eftirvafsins 230 V.

- Hvert er breytihlutfall spennisins við Yy0-tenginguna.
- Tengingu spennisins er breytt í Yd5. Reiknaðu nýtt breytihlutfall og spennu eftirvafs. Hvert er fasvikið milli spennanna í for- og eftirvafi?
- Tengingu spennisins er nú breytt í Yz11. Reiknaðu sama og í b) lið.

20.15

Þriggja fasa spennir í háspennuvirki er tengdur Dyn5 og hefur 230 V spennu á forvafi og gefur þá út 133 kV spennu á eftirvaf.

- Reiknaðu breytihlutfallið.
- Reiknaðu breytihlutfallið og spennu eftirvafsins (U_2) við Dzn6-tengingu.
- Reiknaðu breytihlutfall og spennu eftirvafs við YNyn6-tengingu.
- Reiknaðu fasaspennur for- og eftirvafs (U_{f1} og U_{f2}).
- Útskýrðu tengingartáknin í lið c.

20.16

Þriggja fasa spennir hefur 11 kV spennu á forvafi og 400 V á eftirvafi og er YNy6-tengdur.

- Reiknaðu breytihlutfall hans.
- Tengingunni er breytt í YNd5. Reiknaðu U_2 .
- Reiknaðu eftirvafsspennu við YNz5-tengingu.
- Hvert er hornið milli for- og eftirvafsspennu í öllum tilfellum.

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

20.17

Þriggja fasa spennir hefur 6 kV spennu á forvafi og 0,4 kV á eftirvafi við Yz-tengingu.

- a) Reiknaðu eftirvafsspennu við Yy-tengingu.
- b) Reiknaðu eftirvafsspennu við Yd-tengingu.
- c) Gerðu ráð fyrir að spenninum hafi verið breytt þannig að hann þoli að D-tengjast við 6 kV á forvafi.

Hver verður eftirvafsspennan við D_z -tengingu.

20.18

Spennir hefur breytihlutfallið 1,73 við D_d -tengingu.

Hvaða spennu gefur hann á eftirvafið við eftirfarandi tengingar ef gert er ráð fyrir 400 V spennu á forvafi?

- a) Yy, b) Dz, c) Dy,

Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar.

Svör við dæmum í 20. kafla:

- 20.3 9,58
- 20.4 105 vindingar
- 20.5 9,58 A
- 20.6 11 kV
- 20.7 a) 2 b) 1,74 A c) 1,02 A d) 160W
e) 188 W
- 20.8 a) 15,8 b) 72,17 A c) 5,06 A.
- 20.9 a) 10.531 VA b) 8003 W c) 7203 W
d) 9478 VA e) 23,79 A
- 20.10 0,91 (91%)
- 20.11 a) 0,917 b) 11.450W c) 10.500W
d) 950W
- 20.12 a) 89,91% b) 4004W c) 3600W d) 404W
- 20.13 a) 0,868 b) 0,891 c) 72,43 A
37,18 A d) 11.542,2 W, 5184,7 W
- 20.14 a) 1,74 b) 3,02 132,8 V
150° c) 2,0 199,2 V 330°
- 20.15 a) 1,73 b) 2,0 115,2 kV c) 76,8 kV
d) 230 / 76,8 kV miðað við lið a) D_y - tengingu,
230 / 66,5 kV miðað við lið b) D_z -tengingu,
132,8 / 44,3 kV miðað við lið c) Y_y -tengingu.
e) N = N-tengt forvaf n = N-tengt eftirvaf.
- 20.16 a) 27,5 b) 231V c) 346,4V
d) 180°, 150°, 150°.
- 20.17 a) 462V b) 267V c) 692V
- 20.18 a) 230V b) 329V c) 400V