



**Rafbók**



**Rafmagnsfræði**

**Kafli 20 Spennar**

---

## Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar

---

Þetta hefti er án endurgjalds á rafbókinni.

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

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

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

Báru Halldórsdóttur á netfangið [bara@rafnam.is](mailto:bara@rafnam.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 rafmagnsafl 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.

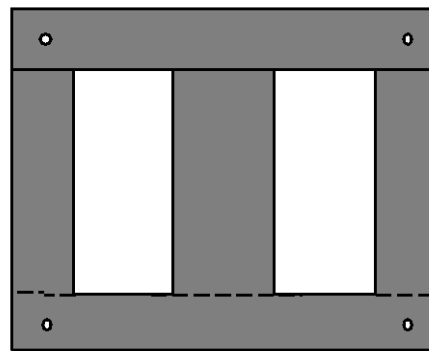
---

## 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 allhátt 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 járninsins.

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

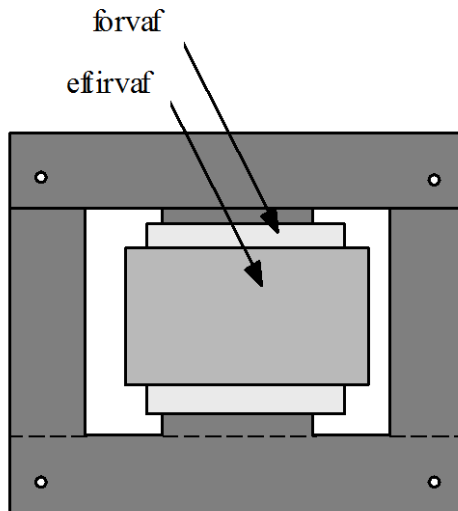
Járnkjarni bolspennis hefur þrjá leggi og hefur miðleggurinn tvöfalt þverflatarmál þeirra ytri. Leggirnir lokast síðan með þverstykki sem kallast **ok**. Spólur eftirvafs og forvafs umlykja miðlegginn eins og sjá má

---

## Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar

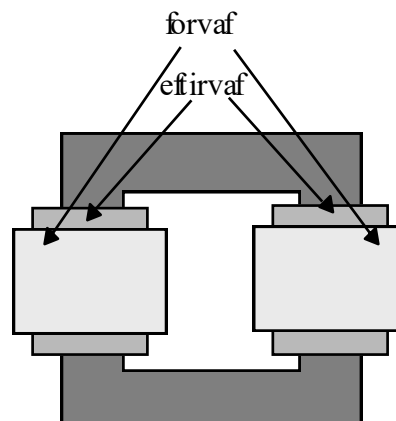
---

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 þrjú 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 hreyfikrafta sem geta myndast við t.d. skammhlaup.

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

### Vinumáti spenna í tómgangi

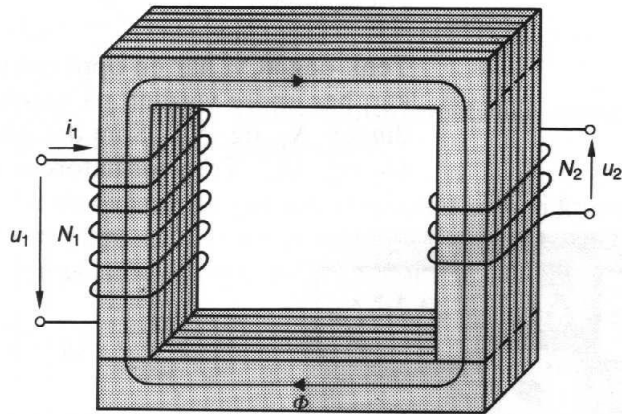
Í umfjöllun um vinnumáta spenna er hér til einföldunar talað um einfasa spenni.

Ef ólestaður spennir er tengdur netspennu  $U_1$  fer um forvafið svo kallaður tómgangsstraumur  $I_{10}$ . Hann myndar segulsvið  $\Phi$  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  $90^\circ$  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  $90^\circ$  á eftir segulsviðinu. Í forvafið spanast spennan  $E_1$ , sem kalla má mótspennu því hún er í  $180^\circ$  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

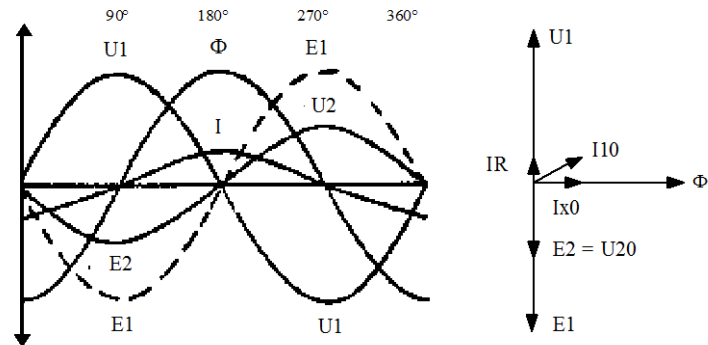
Ath. að  $N_1$  merkir vindingafjölda í forvafi og  $N_2$  vindinga í eftirvafi.

Það sem ræður heildar spennustærð í vöfunum er vindingafjöldi þeirra spóla sem mynda þau, þ.e. spennan er í réttu hlutfalli við vindingafjöldann. Tómgangstraumurinn  $I_{10}$  er mjög lítil 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 líttill.



Mynd 20.5

MYND 20.5 sýnir sínuskúrfur skautspennu  $U_1$ , kraftlínustraums  $\Phi$ , 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.  $80^\circ$  og þar af leiðandi lágur aflstuðull ( $\cos\varphi$ ) 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  $\Phi$  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?

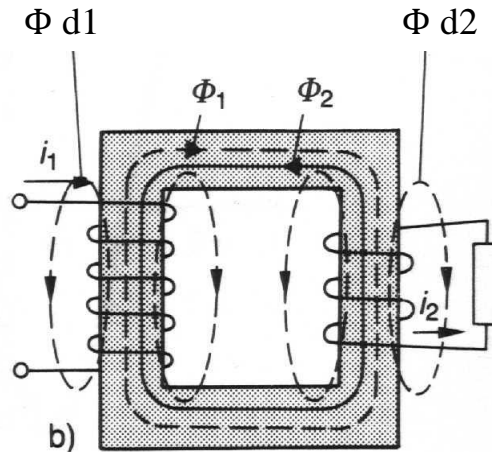
Lausn:

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

Í spennu má yfirfæra afl með ákveðnu spennugildi yfir í afl við annað spennugildi án leiðnisambands, 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  $\Phi$  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  $\Phi_1$  og spanar spennu í eftirvafið, en  $\Phi_2$  eru segulkraftlínur sem eftirvafið myndar og vinnur gegn  $\Phi_1$ . Mynd 20.6 sýnir segulkraftlínur í einfasa leggja-spenni við álag.

---

## Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar

---

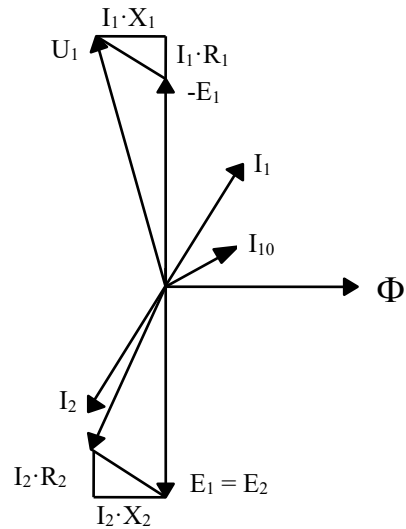
Dreifisegulsviðin spana spennu í bæði vöfin, sem er í réttu hlutfalli við straumanna og  $90^\circ$  á eftir þeim í fasa. Sjálfsspansspennurnar valda straumtrengðu sem við köllum launviðnám ( $X$ ) í báðum vöfum.

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  $\Phi$  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  $\phi_2$  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  $90^\circ$  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  $180^\circ$  á vektorinn  $I_2$  og veldur þannig stærra fasviki  $\phi_1$  í forvafinu  $\phi_1$  verður því nokkru stærra en  $\phi_2$ , 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

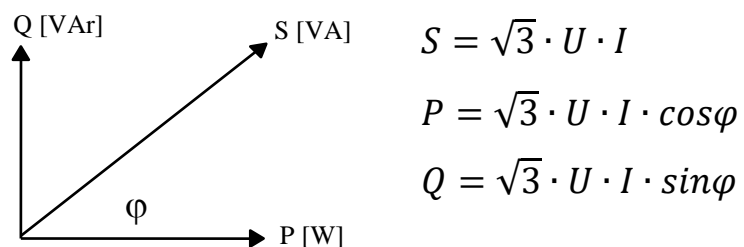
$$P_1 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\phi_1 \cdot \sqrt{3}$$

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  $\Delta P_0$  og hinsvegar í straumvarmatöpu eða öðru nafni eirtöpu  $\Delta P_k$ . 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:



---

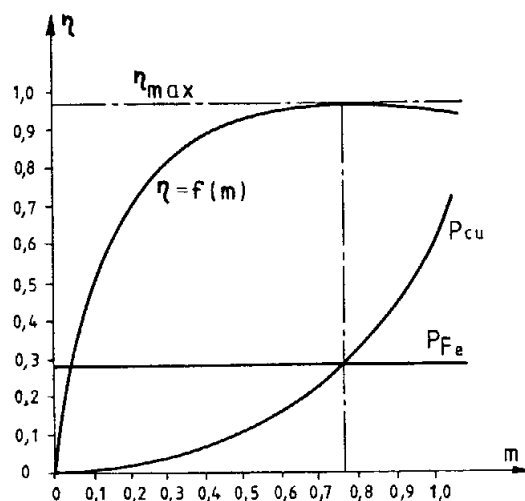
**Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar**

---

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

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.

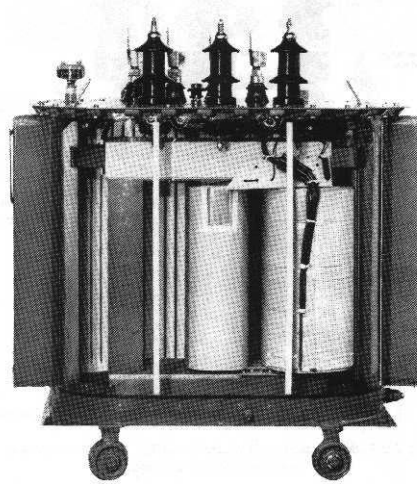
---

## 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:

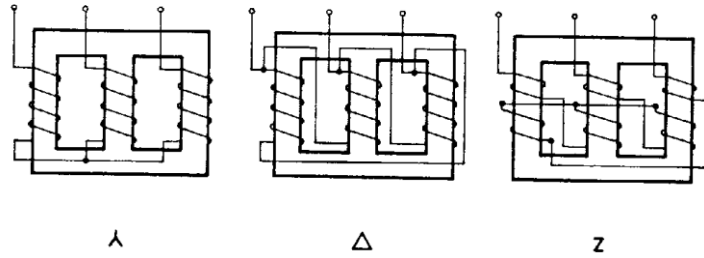
- Stjörnutenging táknuð með Y eða
- þríhyrningstenging táknuð með D eða  $\Delta$
- krókatenging táknuð með Z.

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, yfirfærir 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.

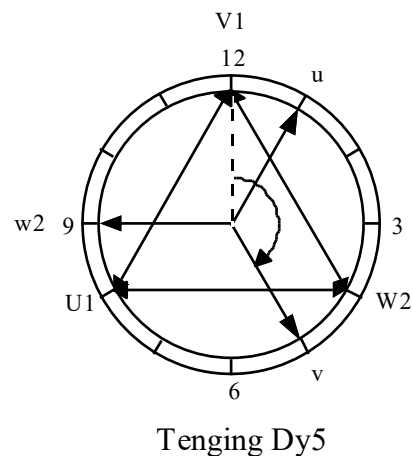
Upplýsingar um tengimáta spenna eru gefnar upp með stórum bókstaf fyrir forvaf og litlum bókstaf fyrir eftirvaf. Einnig þarf að geta um fasasnúning spennunnar í eftirvafinu miðað við forvafsspennuna. Þetta horn á milli spennana er gefið upp með tölustöfum og skal það skýrt nánar.

Að lokum ef stjörnuþunktur 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 stjörnuþunktur. 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  $360^\circ$ . Talan fyrir fasasnúning er hugsuð út frá því að teikna spennuvektora for- og eftirvafs inn á klukku.

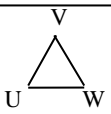
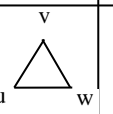
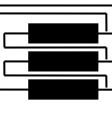
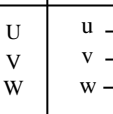
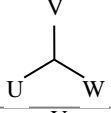
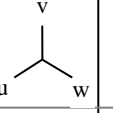
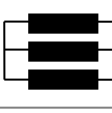
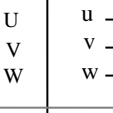
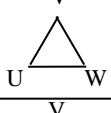
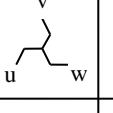

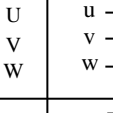
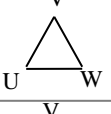
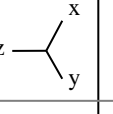

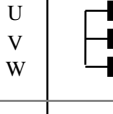
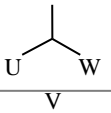
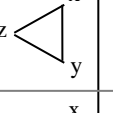
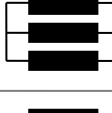
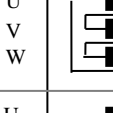
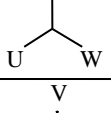
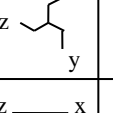
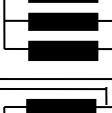

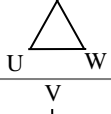
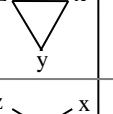

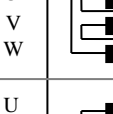
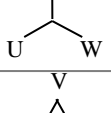
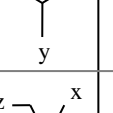
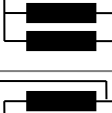
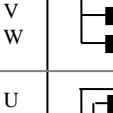
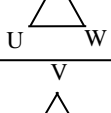
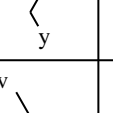

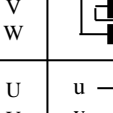
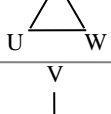
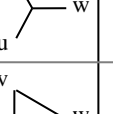
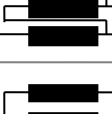
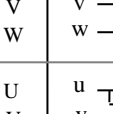
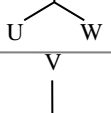
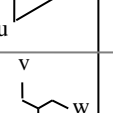

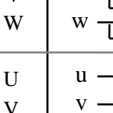
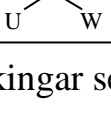
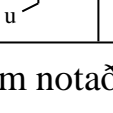
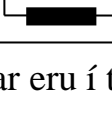
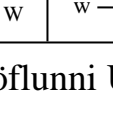
Á mynd 20.11 er tekin fyrir tengingin  $D_{y5}$  og vektorinn fyrir V-fasa hafður kl. 12. V-fasi eftirvafsins verður þá kl.5, sem er  $150$  rafm.gr. á eftir, eða  $5 \cdot 30^\circ$ .



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		Breytihl.f. U <sub>1</sub> / U <sub>2</sub>	
	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.

---

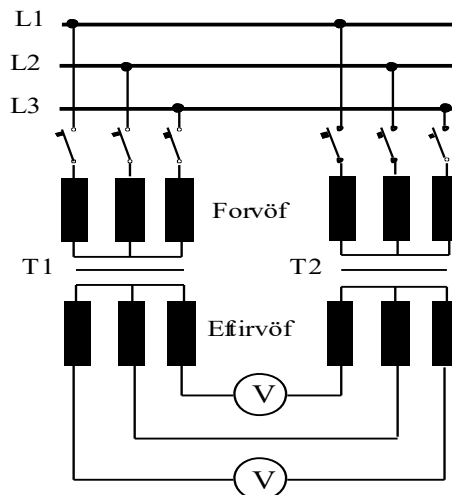
## Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar

---

- 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



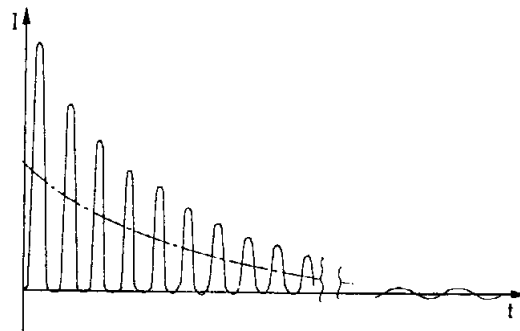
---

## 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  $90^\circ$  horni á eftir forvafsspennunni og mótspennan  $E_1$  sem er afleiðing segulsviðsbreytinga í járnkjarnanum er  $180^\circ$  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 spennem

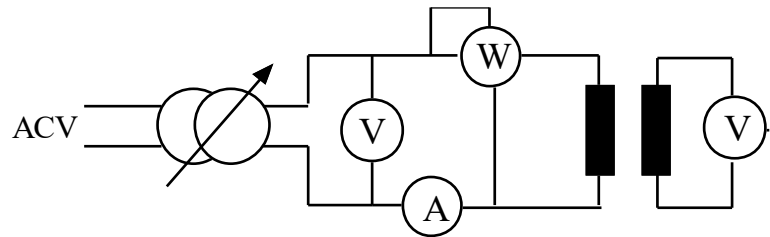
#### Tómgangstilraun

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

---

**Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar**

---



Mynd 20.14

Spennirinn er tengdur málspennu  $U_1$  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  $\Delta P_0$  og út frá þessum upplýsingum má reikna eftirfarandi:

-Umsetningshlutfall

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

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

**Skammhlaupstilraun**

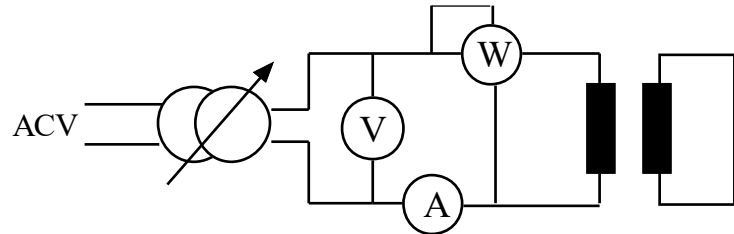
Með skammhlaupstilraun má hinsvegar á sama hátt finna eirtöp spennis. Sjá mynd 20.15. Eftirvafi spennisins er skammhleypt með eirleiðara og aflmæli komið fyrir í forvafsrásinni, sem fær skammtaða spennu frá breyti. Ef full spenna væri sett á forvafið, kæmi upp margfaldur málstraumur á bæði vöf spennisins, 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

---

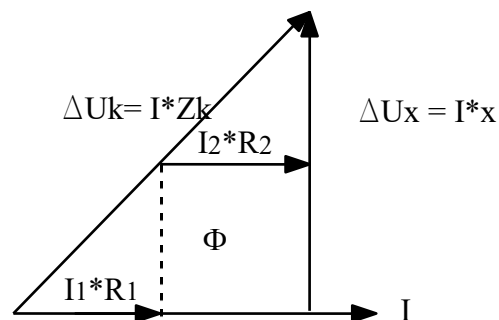
Sú spenna sem veldur málstraum í eftirvafinu er yfirleitt frá 3-10% af málsþennu forvafs og nefnist skammhlaupsspenna  $\Delta U_{sk}$ .



Mynd 20.15

Nú má lesa eirtöþ  $\Delta P_k$  spennisins af aflmælinum.

Spennuvektormynd sem er miðuð við skammhlaupstillraun 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  $\Delta U_{sk}$ .

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

---

## 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 skammhlaupsþennan gefin upp. Þessar upplýsingar er nauðsynlegt að hafa ef t.d. tveir eða fleiri spennar eiga að hliðtengjast í kerfi.

### Skammhlaup í rekstri

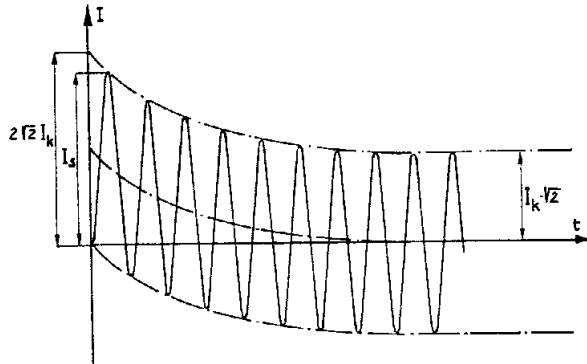
Við skammhlaupstilraun er forvafsspennan lækkuð í gildið  $usk$  % af málsþennu. Ef skammhlaup verður á tengingum eftirvafs á spennu í rekstri með fulla málsþennu á forvafi, verður skammhlaupsstraumur  $I_{sk}$  tilsvareandi stór:

$$I_{sk_1} = \frac{I_1 \cdot 100}{usk} [A] \text{ fyrir forvaf}$$

$$I_{sk_2} = \frac{I_2 \cdot 100}{usk} [A] \text{ fyrir eftirvaf}$$

## 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  $90^\circ$  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.

---

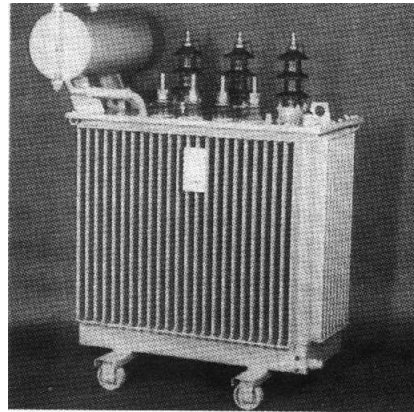
## Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar

---

### Kæling spenna

Litlir spennar sem eru staðsettir í þurru rými eru kældir með umhverfislöfti. Oftast eru spólur þeirra einungis lakkaðar, en stundum steypar í raflakk (epoxy), t.d. í mælaspennum. Stórum spennum í rafveitum er sökkt í spennaolíu, 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 umhverfislöfti.

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 hærra umhverfishitastigs, er sýnt að hleypa þarf þrýstingi af spennistanknum. Einfalt væri að hafa op út í andrúmslöftið 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.

---

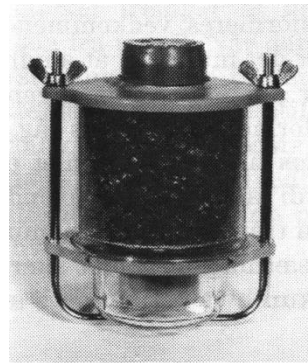
## Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar

---

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 þrýstitanks. 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 þrýstitankinum 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 þrýstitankinum er lítill að flatarmáli. Neðst á tanki spennisins er aftöppunarkrani, þar sem einnig má taka sýni af olúnni.



Mynd 20.19

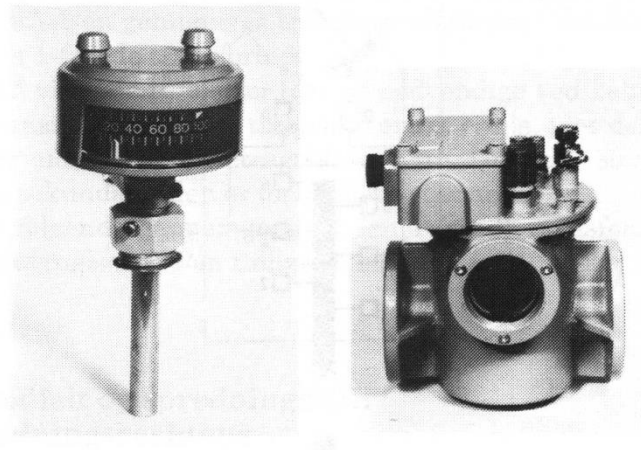
---

## 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 olúhitanum 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 (Buchholtsliða). 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.



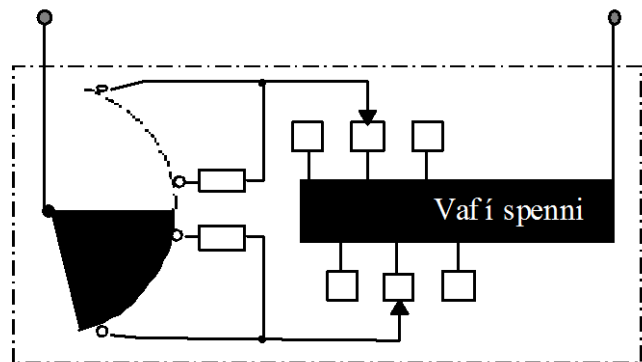
## Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar

### 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 álagsskerfinu.



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.

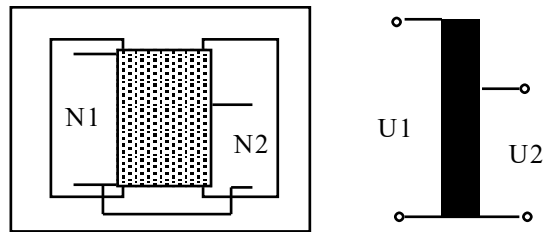
---

**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.  $180^\circ$  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.

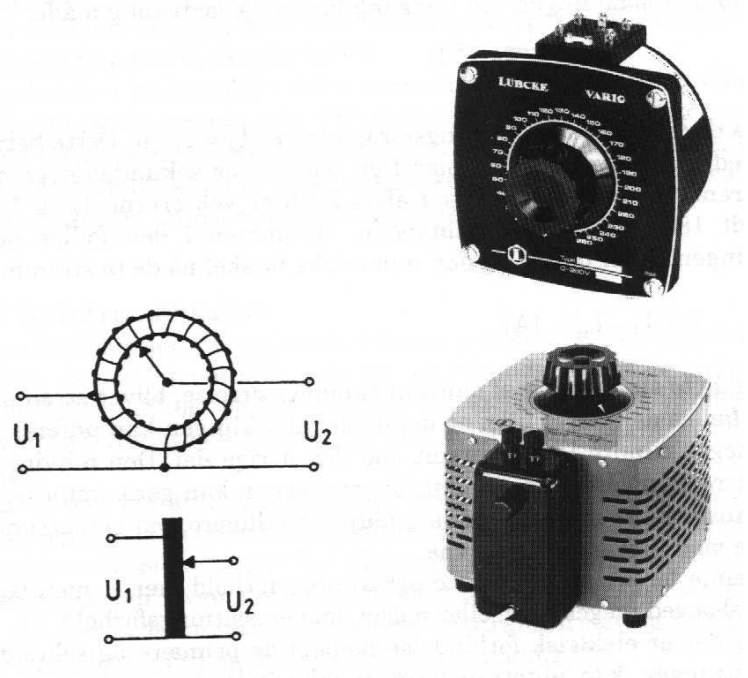
Einvafsspennar eru ekki einir og sér samþykktir til notkunar í skipum, samkvæmt ísl. reglugerð. Þeir eru mikið framleiddir í litlum stærðum til þess að þjóna einhverju ákveðnu tæki, en einnig finnast þeir meðal stærstu spenna í háspennukerfi landsins.

## 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 eftirvafsrásar 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

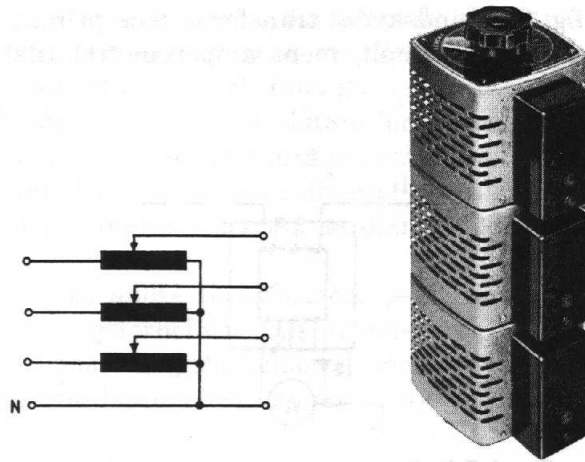
Þriggja fasa spennar eru einfaldlega búnir til þannig að þremur einfasa spennum er staflað saman á sameiginlegan öxul og vöfin stjörnubundin.

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.

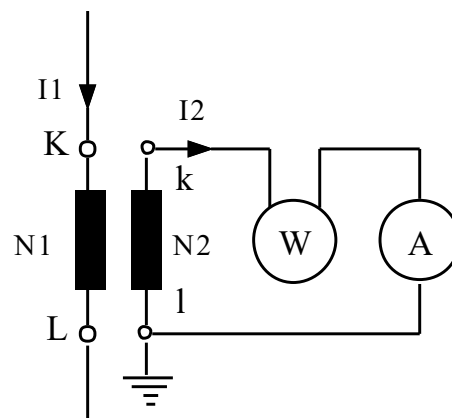
### Mælaspennar

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.



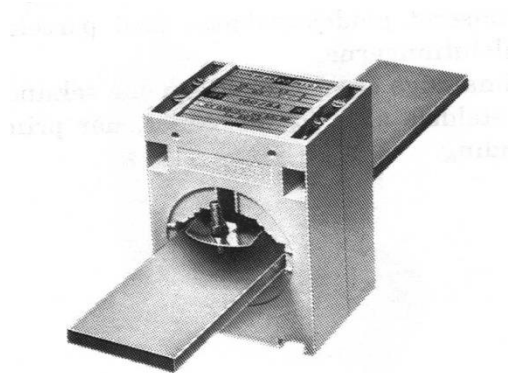
Mynd 20.25

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  $\varphi$  í rásinni, sem verið er að mæla.

---

## Rafmagnsfræði Kafli 20 Spennar

---



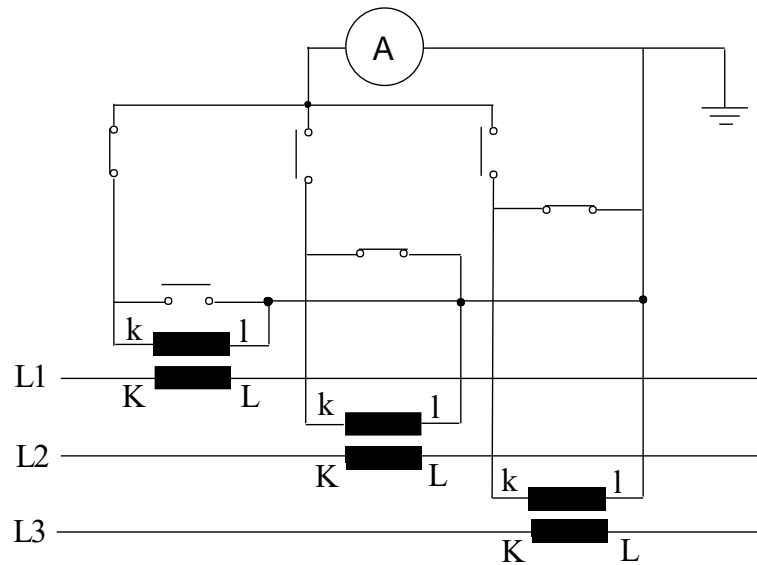
Mynd 20.26

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 steyptir 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 grennri 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

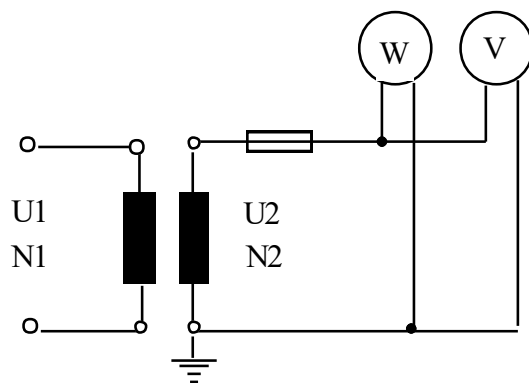
### Spennumælaspennar

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 (N<sub>2</sub>)?

#### 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 ( $\Delta P_0$ ) og eirtöp við fulla lestun eru 2,6 kW ( $\Delta P_k$ ).

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 ( $\Delta P$ ).

### 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 ( $\Delta P$ ).

### 20.13

Þriggja 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 kV 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**

Þrjú 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