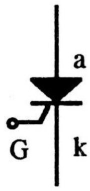
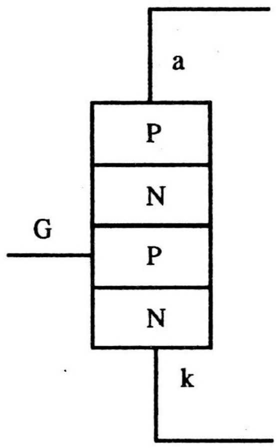
PNPN-samsetning, týristor

Týristor er þriggjaskauta hálfleiðaraíhlutur, sem er mikið notaður í aflstýringum. Mynd 2.33 sýnir táknmynd týristors og á henni sjáum við að hann hefur anóðu og katóðu eins og díóðan en þriðja skautið, stýriskautið (eða „Gate") veldur því að hann verður ekki leiðandi í leiðniátt fyrr en hann fær stýrispennu á stýriskautið. Hann er því oft nefndur stýrður afriðill, skammstafað SCR eftir ensku orðunum „Silicon Controlled Rectifier".

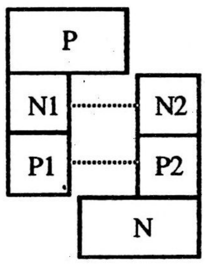


Mynd 2.33

Týristorinn er einkum notaður við stýrða afriðun, þ.e. að búa til breytanlega jafnspennu úr riðspennu og áriðun þ.e. búa til riðspennu úr jafnspennu.



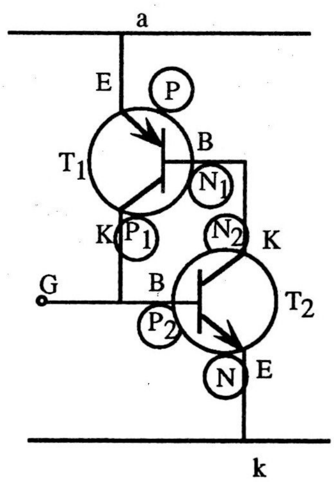
Mynd 2.34



Mynd 2.35

Týristorinn er gerður úr fjórum lögum P- og N-efna eins og sjá má á mynd 2.34. Til að einfalda útskýringu á vinnumáta týristora má skipta miðhluta PNPN-samsetningarinnar í tvo hluta eins og á mynd 2.35. Þá koma í ljós tveir transistorar, PNP-transistor vinstramegin og NPN-transistor hægra megin, sem nota P-og N-efnin sameiginlega. Í framhaldi af þessu er týristorinn teiknaður sem tveir transistorar T1 og T2 á mynd 2.36. Á myndina eru merkt skaut transistoranna, P-og N-efnin og skaut týristorsins í samræmi við táknmynd hans á mynd 2.33. Berðu saman myndir 2.35 og 2.36.

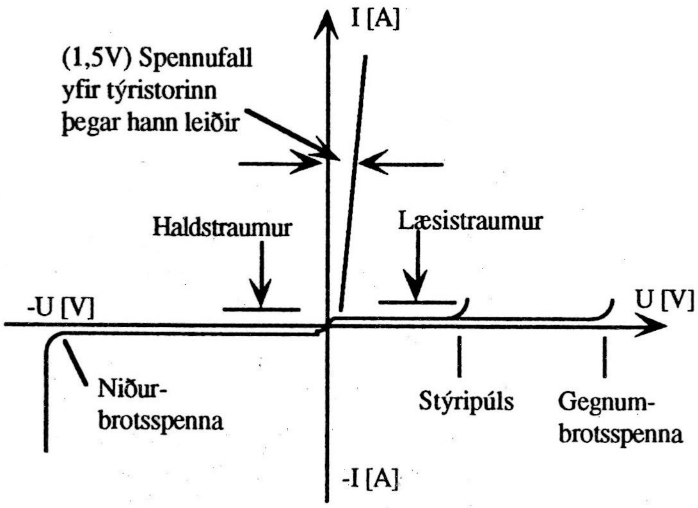
Samkvæmt mynd 2.36 er vinnumáti týristorsins eftirfarandi: Ef spenna er sett á rásina, plúsinn á anóðuna og mínusinn á katóðuna, gerist ekkert fyrr en stýrispenna kemur á milli B og E á transistornum T2. Þá verður T2 leiðandi milli kollektor og emitter og sá straumur er um leið beisstraumur fyrir T1 þannig að hann verður líka leiðandi milli emitter og kollektor. Sá straumur heldur T2 leiðandi og þannig halda þessir tveir transistorar hvor öðrum leiðandi þar til spennan til þeirra er rofin.



Mynd 2.36

Kennilína týristorsins

Kennilína týristorsins í hindrunarátt er eins og venjulegrar díóðu. Þetta kemur fram á mynd 2.37, sem sýnir örlítinn lekastraum þar til niðurbrotsspennu er náð. Þá eykst straumurinn mjög snögglega og týristorinn ofhitnar og eyðileggst ef straumurinn varir of lengi.



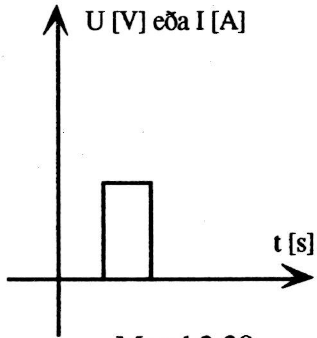
Mynd 2.37

Í leiðniátt er frávik frá kennilínu díóðunnar. Hér hindrar týristorinn líka þar til annaðhvort ákveðnu spennugildi er náð, gegnumbrotsspennunni, eða þar til hann fær stýrispennu eða stýripúls á stýriskautið en þá verður hann leiðandi. Yfirleitt er týristorinn gerður leiðandi með stýrispennu á stýriskautið og hér á eftir göngum við út frá því.

Á mynd 2.37 sjáum við að straumurinn um týristorinn þarf að ná svokölluðu læsistraumsgildi til að hann nái að haldast leiðandi. Þá fylgir straumurinn línunni sem er nærri lóðrétt á myndinni og stærð hans ræðst af álaginu. Til að týristorinn hætti að leiða þarf straumurinn um hann að minnka niður fyrir svokallað haldstraumsgildi. Haldstraumsgildið er yfirleitt heldur lægra en læsistraumurinn.

Á mynd 2.37 kemur fram að spennufallið yfir týristorinn er u.þ.b. 1,5V og er nokkuð óháð straumnum. Á mynd 2.34 var týristorinn sýndur sem tvær PN-samsetningar eða tvær raðtengdar díóður. Spennufallið ætti því að vera 2•0,7V eða 1,4V. Í rásum er þetta á bilinu 1-2V og góð þumalfingurregla er að miða við áðurnefnda tölu 1,5V.

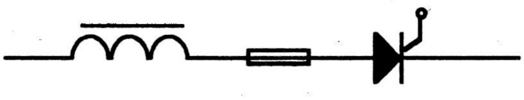
Týristorinn er gerður leiðandi með stýripúlsi (sumir vilja kalla þetta stýrikipp). Það er reynt að hafa púlsinn sem orkuminnstan, þ.e. halda spennugildinu (straumgildinu) sem lægstu og tímanum sem hann varir sem stystum. Sjá mynd 2.38. Spennan þarf þó að vera nægilega há til að týristorinn nái læsigildinu og vara nógu lengi til að hann nái að komast í leiðandi ástand.



Mynd 2.38

Í þessu sambandi er rétt að drepa á tvö hugtök sem varða hegðun týristora í straumrás. Þau eru kveikitími („turn on time") og slökkvitími („turn off time").

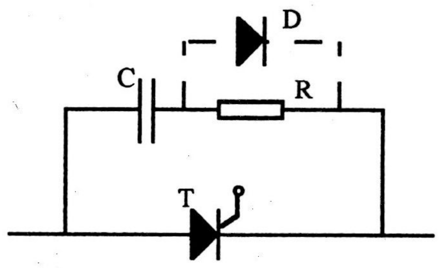
Í upphafi kaflans var útskýrt hvernig straumur fer um hálfleiðara með jákvæðum og neikvæðum straumberum (holur og rafeindir). Þegar stýripúls kemur á týristorinn tekur það smá tíma að gera straumberana virka og nýta allt svæðið eða þverflatarmálið sem er til umráða. Ef straumur eykst mjög hratt í rás með týristorum, hraðar en kveikitími hans segir til um getur það leitt til þess að of mikið straumálag verði á hluta af þverflatarmáli hans það ofhitnar og týrirstorinn eyðileggst. Til varnar þessu eru týristorar varðir með bræðivörum sem hafa styttri roftíma en kveikitími týristorsins. Einnig eru settar spólur í rás týrirstora til að hægja á hugsanlegri straumaukningu. Sjá mynd 2.39.



Mynd 2.39

Ef spenna yfir týristor umpólast mjög hratt, hraðar en slökkvitími segir til um nær týristorinn ekki að losa sig við straumberana og byggja upp hindrunarsvæðið. Hann getur því haldið áfram að leiða án þess að fá stýripúls. Slökkvitími getur verið 80-100µs í venjulegum týristorum og niður í 15-20µs í týristorum sem eru flokkaðir sem hraðir.

Ef spennuris í leiðniátt verður of hratt getur týristorinn orðið leiðandi eins og hann hefði fengið stýripúls. Til að hamla gegn þessu er notuð spennurisvörn en það er þéttir og mótstaða raðtengd og tengd yfir týristorinn eins og sýnt er á mynd 2.40. Í ensku er þetta nefnt „snubber circuit“.



Mynd 2.40

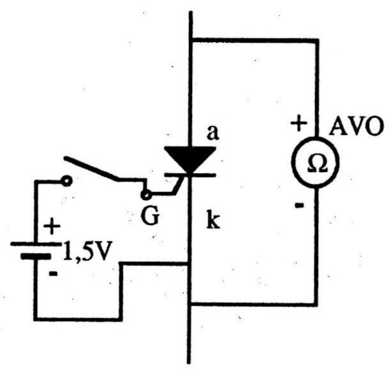
Spennurisvörnin virkar þannig að þegar spennan yfir týristorinn vex í leiðniátt ræður þéttirinn því hve hratt hún rís. Spennan getur m.ö.o. ekki vaxið hraðar en þéttirinn segir til um. Með því að velja þétti af hæfilegri stærð getum við varnað því að spennan vaxi hraðar en leyfilegur spennuristími týristorsins segir til um. Þegar týristorinn verður næst leiðandi afhleður hann þéttinn. Mótstaðan er til að hægja á afhleðslu þéttisins þannig að straumrisið verði ekki of mikið í týristornum.

Díóðan á mynd 2.40 er stundum höfð með í spennurisvörninni. Hún veldur því að hleðslutími þéttisins er ekki háður stærð mótstöðunnar því díóðan leiðir hleðslustrauminn. Þéttirinn afhleðst síðan í gegnum mótstöðuna. (Mundu að hleðslutími þéttis ræðst af margfeldi R og C. Sjá kaflann um tímastuðul þétta í kafla 15 Rafmagnsfræði 1.)

Dæmigerðar stærðir þéttis og mótstöðu í spennurisvörn í 380V kerfi með 20A týristor er 0,1μF og 100Ω, 6W.

Mæling týristora

Týristora má mæla með viðnámsmæli (AVO) á svipaðan hátt og díóður. Það gildir sama um þá og díóðurnar að þeir bila oftast þannig að þeir missa hindrunar eiginleikann og mælast því með lágt viðnám í báðar áttir. Ennfremur þurfum við að hafa í huga að ef hann er í lagi mælist hátt viðnám í báðar áttir.

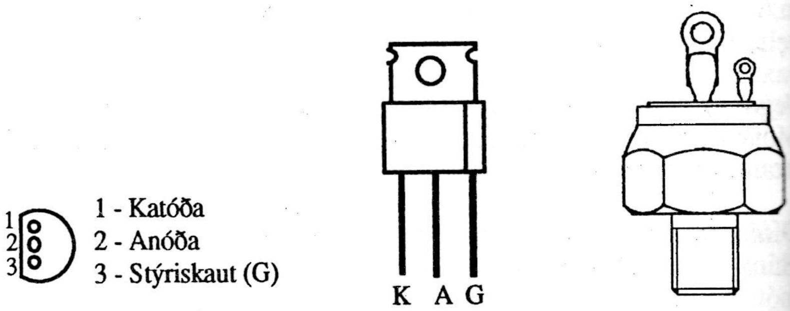


Mynd 2.41

Til að prófa hvort týristor verður leiðandi við það að fá stýripúls er hægt að tengja 1,5V rafhlöðu við stýriskautið eins og sýnt er á mynd 2.41. Þessa prófun er best að gera þannig að tengja viðnámsmælinn milli anóðu og katóðu á týristornum, anóðuna á plúspólinn. Mælirinn sýnir mjög hátt viðnám eða ∞. Gefðu svo samband augnablik með rafhlöðunni og snúðu henni eins og myndin sýnir. Viðnámsgildi mælisins ætti þá að falla í lágt viðnám,u.þ.b. 300-500Ω, ef týristorinn er í lagi og haldast þar þó þú aftengir rafhlöðuna. Gættu að því að ef þú snýrð viðnámsmælinum öfugt, + á katóðu og - á anóðu sýnir mælirinn líka lágt viðnám á meðan rafhlaðan er tengd stýriskautinu. Sjá líka mælingaverkefni 13.

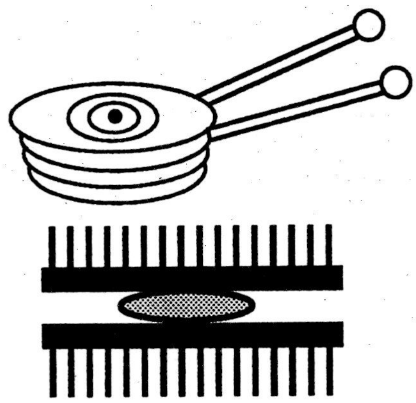
Hús týristora

PNPN-samsetningunni er komið fyrir í húsum sem svipar til húsa transistora og stærri díóða. Þar sem týristorinn hefur jafn mörg skaut og transistorinn er ekki hægt að þekkja þessa íhluti í sundur öðruvísi en að fletta þeim upp í listum.



Mynd 2.42a Mynd 2.42b Mynd 2.42c

Á mynd 2.42 eru nokkur dæmi um hús týristora. Á mynd 2.42a er týristor í TO92 húsi. Þessir týristorar eru mjög litlir eða í kringum 2A, 400V. Á mynd 2.42b er týristor í TO220 húsi. Í því geta verið týristorar 3-13A, 600V. Stærri týristorar eru oftast í húsum sem eru gerð til að skrúfast í kæliplötur. Dæmi er um það er á mynd 2.42c. Í þessum húsum eru týristorar allt að 300A, 400-1600V. Enn stærri týristorar eru síðan í húsum sem líkjast skífum. Þeir eru festir á milli kæliplatna líkt og sýnt er á mynd 2.43.



Mynd 2.43

Merkingar týristora og upplýsingar í listum

Á hús týristora eru eingöngu merkt tegundarheiti þeirra líkt og gert er á húsum transistora. Öðrum upplýsingum verður að fletta upp í listum framleiðenda. Við skulum líta á nokkrar algengustu upplýsingarnar.

Hámarksspenna í hindrunar- og leiðniátt. Ath. að hér er átt við hámarksspennu í leiðniátt þegar týristorinn er ekki leiðandi. Skammstafað: V_{DRM} fyrir leiðniátt og V_{RRM} fyrir hindrunarátt. Þetta er yfirleitt sama spennugildið og í sumum listum er eingöngu V_{RRM} gildið gefið.

Hámarksstraumur í leiðniátt. Skammstafaður I_{TAV} eða $I_{T(AVE)}$. Hér er átt við meðalgildi straumsins sem týristorinn getur leitt stöðugt. Sumir listar gefa líka upp virktgildi straumsins I_{TRMS} sem er mun hærra gildi.

Stýrispenna. Skammstafað V_{GT}. Samkvæmt skilgreiningu framleiðenda er uppgefin stýrispenna lágmarksgildi til að tryggja að týristorinn verði örugglega leiðandi. Ef stýrispennan varir styttri tíma en 100μs þarf stýrispennan að vera 1,4-2 sinnum uppgefin spenna.

Stýristraumur. Skammstafað I_{GT}. Straumurinn sem stýrispennan orsakar milli stýriskautsins og katóðu. Um tímalengd gildir sama og sagt var um V_{GT}.

Vinnuhiti á húsi. Annaðhvort gefið upp sem „case temperature" eða skammstafað T_{case}.

Leiðnihorn. Hve margar gráður týristorinn leiðir í hverju riði.

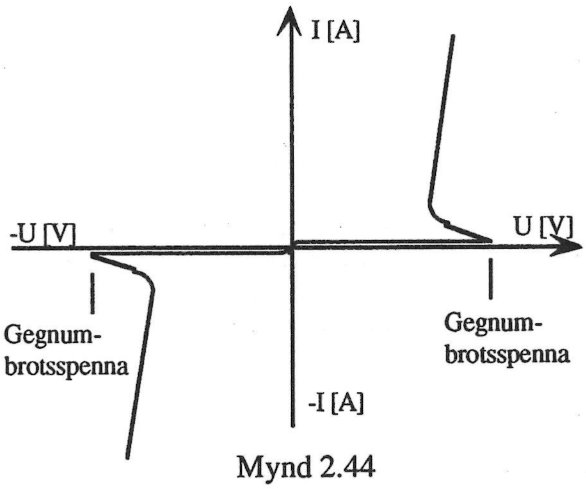
Að auki gefa sumir listar upp fjölmargar viðbótarupplýsingar s.s. læsistraum I_L, haldstraum I_H, kveikitíma, slökkvitíma, leyfilegt spennuris dv/dt, leyfilegt straumris di/dt o.s.frv.

Kæling týristora

Um kælingu týristora gildir það sama og var sagt í kaflanum um kæliplötur hálfleiðara. Ef við miðum við díóður er spennufallið í týristor tvöfalt stærra. Við getum því búist við tvöfalt meiri hitamyndun í sambærilegum týristor.

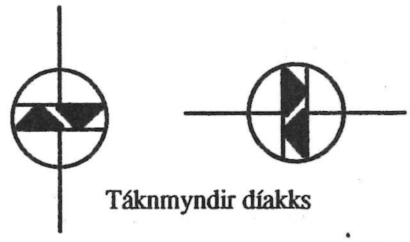
PNPN-samsetning, díakkur

Díakkur er tveggjaskauta hálfleiðaraíhlutur sem getur leitt straum í báðar áttir. Kennilína hans er á mynd 2.44. Þegar spennan vex yfir díakkinn gerist ekkert fyrr en við ákveðið spennugildi, gegnumbrotsspennuna. Þá verður tríakkurinn leiðandi og leiðir þar til spennan yfir hann fer niðurfyrir ákveðið gildi.



Mynd 2.44

Táknmynd díakksins er á mynd 2.45. Hún minnir á tvær díóður í öfugri hliðtengingu. Þetta er tákn númer 616 í IST 117-7. Þar er díakkurinn kallaður tvístefnu díóða. Vinnumáti díakksins svipar til vinnumáta zenerdíóðu. Mismunurinn er m.a. fólginn í því að vinnusvið zenerdíóðunnar er í kringum gegnumbrotsspennuna (zenerspennuna) en viðnám díakksins minnkar dálítið þegar hann verður leiðandi eins og fram kemur á mynd 2.44. Þar að auki getur díakkurinn leitt straum í báðar áttir. Gegnumbrotsspenna díakksins er u.þ.b. 30V.



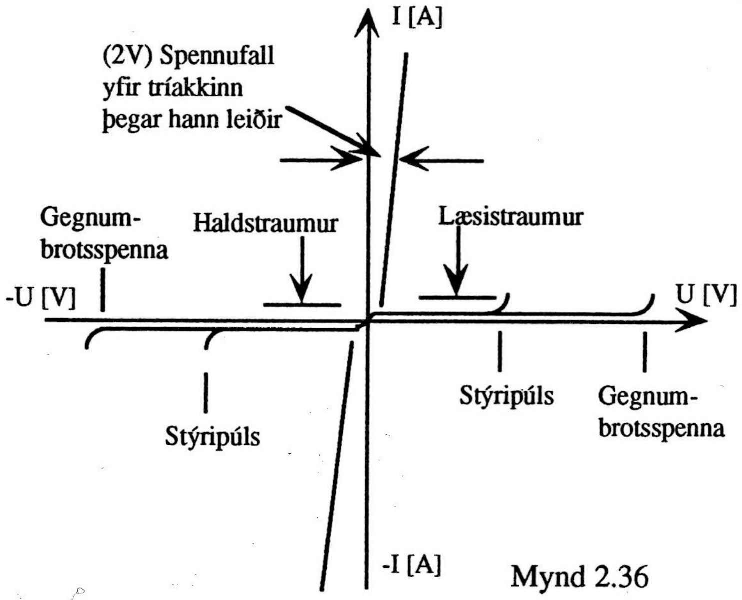
Táknmyndir díakks

Mynd 2.45

Díakkur er mest notaður í stýrirásir fyrir tríakka. Um þær rásir er fjallað nánar í kafla 5.

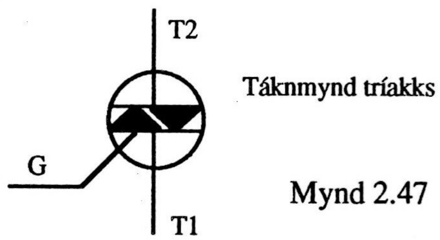
PNPN-samsetning, tríakkur.

Tríakkur er þriggjaskauta hálfleiðaraíhlutur eins og týristorinn en hann getur leitt straum í báðar áttir eins og fram kemdur á mynd 2.46. Hann líkist mjög týristornum og er í rauninni eins og tveir hliðtengdir týristorar í öfugri hliðtengingu. Á mynd 2.46 sjáum við að tríakkurinn getur orðið leiðandi ef spennan yfir hann nær ákveðnu marki, gegnumbrotsspennunni, og ef hann fær stýripúls. Það sem hann hefur framyfir týristorinn er að það er hægt að gera hann leiðandi í báðar með stýripúlsi inn á stýriskautið. Hann helst síðan leiðandi þar til spennan yfir hann hefur náð ákveðnu lágmarki eða straumurinn farið niður fyrir haldstraumsgildið.



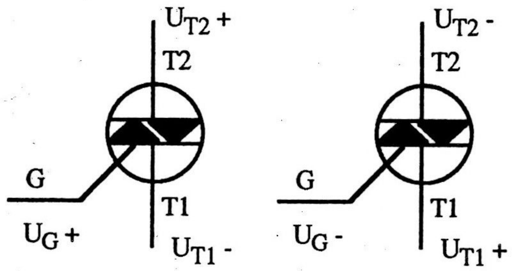
Mynd 2.36

Spennufallið yfir tríakkinn þegar hann er leiðandi er heldur meira en yfir týristorinn eða u.þ.b. 2V.



Mynd 2.47

Táknmynd tríakksins er á mynd 2.37. Sjá líka tákn nr.627 í ÍSL 117-7. Það er algengt að skautin séu merkt með T1, T2 og G. (Sumir framleiðendur nota líka MT1 og MT2.) Stýripúlsinn kemur á G-skautið og gefur stýristraum milli G og T1. Við það verður tríakkurinn leiðandi. Sumir tríakkar geta orðið leiðandi í báðar áttir við jákvæðan stýrikipp á G-skautið. Það er þó algengara að pólun stýriskautsins sé öfug við pólun T1-skautsins. Það má segja að næmni tríakksins sé mest þegar stýripúlsinn er eins og sýnt er á mynd 2.48.



Mynd 2.48

Tríakkurinn er notaður til að stýra riðstraumsafli. Sem dæmi má nefna hraðastýringu alstraumsmótora (handverkfæri eins og borvélar, hrærivélar o.fl.) og ljósastýringar („dimmer").

3. AFRIÐUN OG AFRIÐILSRÁSIR

Inngangur

Hvað er afriðun og hvenær er hún notuð?

Það sem er átt við með orðinu afriðun er að breyta riðspennu í jafnspennu. Ýmis tæki sem eru búin rafeinda rásum nota jafnspennu. Til að hægt sé að nota þau við 50Hz riðspennu, sem yfirleitt er í veitukerfum hér á landi, verður að setja spennuna gegnum afriðilsrás sem breytir henni í jafnspennu fyrir tækið. Oftast er afriðilsrásin innbyggð í tækið, s.s. í sjónvarps og útvarps tækjum en það kemur líka fyrir að afriðillinn sé í sérstökum kassa eða boxi.

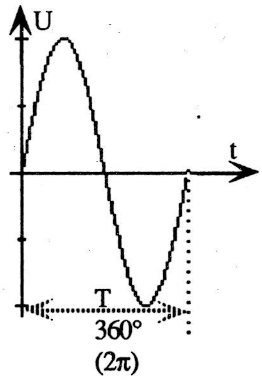
Riðspennan

Áður en tekið verður til við sjálfar afriðilsrásirnar er nauðsynlegt að nefna nokkur hugtök riðspennunnar og samhengið milli þeirra.

1. Hámarks- eða toppgildi riðspennu,
2. virktgildi riðspennu og
3. meðalgildið í hálfu riði riðspennu.

Hér á eftir verður bókstafurinn U notaður fyrir spennu með merkingunum m fyrir toppgildi, ómerkt fyrir virktgildi og með fyrir meðalgildi eða í sömu röð U_m, U og $U_{með}$.

Mynd 3.1 sýnir eitt rið sínuslaga riðspennu. Lóðrétti ásinn er stærð spennunnar en sá lárétti sýnir tímann eða hornið.



Mynd 3.1

Með tímanum á lárétta ásnum er átt við þann tíma sem það hefur tekið riðspennuna að myndast. Hafðu í huga að þegar riðspenna er búin til í rafala gerist það með hreyfingu segulsviðs miðað við spólurnar sem spennan spanast í. Þessi hreyfing tekur tíma. Á ákveðnu augnabliki er afstaða segulsviðs og spóla þannig að spennan er núll. Ákveðnum tíma síðar hefur spennan náð hámarki o.s.frv. Tíminn á heilu riði kallast riðtími og er táknaður með T.

Á sama hátt er hægt að merkja lárétta ásinn með snúningshorni segulsviðsins í gráðum eða radíönum. Við ákveðna afstöðu segulsviðs og spólu er spönuð spenna núll. Eftir 90° ($\pi/2$ radíana) hefur spennan náð hámarki og við 180° (π radíana) er hún aftur núll o.s.frv. Sjá kaflann um riðspennu í kafla 15 í Rafmagnsfræði 1.

Samhengið milli tíma og horns er línulegt og má finna það með hlutfallareikningi. T.d. er riðtíminn T í 50Hz riðspennu 20ms sem þá jafngildir 360° (2π radíönum). Fjórðungur úr riði er þá 5ms eða 90° ($\pi/2$ radíanar) o.s.frv.

Það sem einkennir riðspennu er að stærð hennar og stefna breytist í sífellu. Í hverju riði vex hún frá núlli upp í jákvætt hámarks gildi, minnkar aftur niður í núll og vex síðan í neikvætt hámark og endar í núlli. Prófaðu að fylgja þessari lýsingu eftir um leið og þú virðir mynd 3.1 fyrir þér.

Hámarksgildi riðspennu er, eins og nafnið bendir til, mesta stærð spennunnar jákvæð eða neikvæð.

Virkagildið er það gildi riðspennunnar sem átt er við þegar annað er ekki tekið fram. Skilgreining rafmagnsfræðinnar á virkugildi riðspennu er eftirfarandi (Sjá líka kaflann um virktgildi í Rafmagnsfræði 1, kafla 15):

> **Virktgildi riðspennu er jafnt því jafnspennugildi, sem gefur sömu hitaorku, ef báðar spennurnar eru tengdar jafn stórum viðnámum.**

Meðalgildið í einu riði riðspennu er núll, því jákvæði helmingurinn er jafn stór og sá neikvæði. Það hefur því engan tilgang að tala um meðalgildið úr heilu riði. Um meðalgildi úr hálfu riði gegnir öðru máli og það er það (meðalgildið í hálfu riði) sem skiptir máli varðandi afriðun.

Lítum nú á samhengið milli þessara stærða.

Með stærðfræði aðferðinni tegrun (sjá aftar) er hægt að sýna fram á að virkt gildi sínuslaga riðspennu (eða riðstraums) er 70,7% af hámarks gildi spennunnar og meðalgildið úr hálfu riði 64% eða

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707 \bullet U_m \qquad (3.1)$$

$$U_{með} = 0,637 \bullet U_m \qquad (3.2)$$

En hvert er samhengið milli virka gildisins og meðalgildisins?

Tökum hlutfallið milli U og $U_{með}$

$$\frac{U}{U_{með}} = \frac{0,707 \bullet U_m}{0,637 \bullet U_m}$$

Hér má stytta út U_m og ef við leysum formúluna með tilliti til $U_{með}$ fæst:

$$U_{með} = 0,9 \bullet U \qquad (3.3)$$

Þetta þýðir m.ö.o. að meðalgildið, úr hálfu riði, er 90% af virkagildinu.

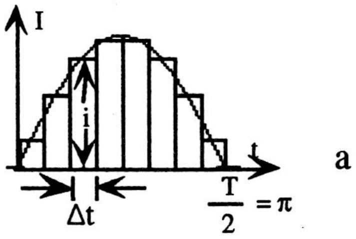
Útreikningur meðalgildis

Þegar við skoðum mynd 3.1 af sínuslaga riðspennu, eða sínuslaga riðstraum, sjáum við strax að meðalgildið í einu riði hlýtur að vera núll, þar sem jákvæða riðið er jafnstórt neikvæða riðinu. Það hefur því enga hagnýta þýðingu að tala um meðalgildið úr einu riði.
Meðalgildið úr hálfu riði er hinsvegar mikið notað, einkum í tengslum við afriðun, og við skulum skoða hvernig samhengið er milli meðalgildisins, úr hálfu riði, og toppgildi riðspennunnar eða riðstraumsins.

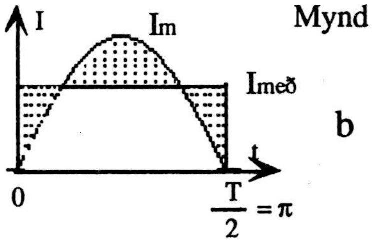
Fyrir meðalgildi spennu og straums skulum við nota bókstafina $U_{með}$ og $I_{með}$.

Það sem átt er við með meðalgildi riðstraums í hálfu riði er einhvert stöðugt straumgildi sem á tímanum T/2 (hálfum riðtíma) gefur sömu rafhleðslu og breytilegi straumurinn, i.
Við skulum taka einhvert augnabliksgildi straumsins og margfalda það með tímanum Δt, sem er svo lítill að við getum gengið út frá stöðugum straumi þetta stutta augnablik. Með þessu fæst ferhyrningurinn $i \bullet \Delta t$ eða m.ö.o. rafhleðslan $i \bullet \Delta t$. Á mynd 3.2a höfum við skipt hálfriði straumsins niður í svona ferhyrninga og summa þeirra er heildar flatarmál kúrfunnar en hlýtur þá einnig að vera rafhleðslan sem fæst út úr einu hálfriði.

Nú skulum við setja inn í myndina af hálfriðinu ferhyrning, þar sem önnur hliðin er T/2 og flatarmálið er það sama og heildar flatarmál kúrfunnar. Þá verður hin hliðin eða hæðin á ferhyrningnum jöfn meðalgildi straumsins, $I_{með}$, eins og sýnt er á mynd 3.2b. Lárétt strikaði flöturinn er jafn stór og lóðrétt strikuðu fletirnir í ferhyrningnum.



Mynd 3.2



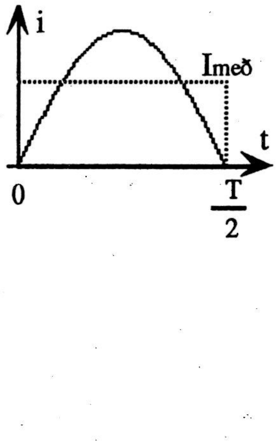
Ef við gætum mælt flatarmál hálfbylgjunnar og deilt í það með lengdinni sem T/2 afmarkar fengjum við út hæðina á ferhyrningnum eða Imeð. Sjá mynd 3.2b og formúlu (2). Sama gildir að sjálfsögðu um spennuna.

En hvernig getum við fundið flatarmál hálfriðsins?

Lítum fyrst á nokkurs konar handvirka aðferð. Teiknaðu sínuslaga hálfrið á millimetrapappír og teldu út reitina sem kúrfan afmarkar. Ef þú notar 30mm sem hálft rið í lárétta ásinn og 20mm lóðrétt, fyrir t.d. 1A toppgildi, ættu reitirnir að vera tæplega 390 eða 390mm^2. Ef við tökum þessa 390mm^2 sem flatarmál rétthyrnings og deilum í með 30mm (lengdinni) verður hæðin, $I_{með}$, = 390mm^2/30mm = 13mm. I_m var 20mm og hlutfallið 13/20 = 0,65, sem er mjög nærri þeirri niðurstöðu sem við fengum hér að ofan (0,637). Stærðfræðilega er hægt að gera þetta með reikniaðferðinni sem á íslensku hefur hlotið nafnið tegrun (stundum líka heildun). Hér á eftir skulum við sjá hvernig við getum sannað þetta með tegrun.

Útreikningur með tegrun.

Á mynd 3.3 er teiknaður ferhyrningur með sama flatarmál og það sem sínuskúrfan afmarkar. Hæðin er eins og áður meðalgildið, $I_{með}$, sem við erum að leita að. Eðlisfræðilega þýðir $I_{með}$ stöðugan straum, þ.e.a.s. jafnstraum, sem á hálfu riði gefur sömu rafhleðslu og riðstraumurinn.



Mynd 3.3

Með hjálp tegrunar lítur þetta þá svona út:

$$I_{með}\frac{T}{2} = \int_0^{\frac{T}{2}} idt = \int_0^{\frac{T}{2}} I_m \sin\omega t dt = \frac{1}{\omega} I_m[-\cos\omega t]_{t=0}^{t=\frac{T}{2}}$$

$$I_{með}\frac{T}{2} = \frac{1}{\omega} I_m[-(\cos\pi - \cos 0)] = \frac{1}{\omega} I_m \bullet 2 = \frac{2I_m}{\omega}$$

Ath! T/2=π, cosπ=-1 og cos0=1. Því er

$$[-(\cos\pi - \cos 0)] = 2$$

$$I_{með} = \frac{2}{T} \bullet \frac{2I_m}{\omega} = \frac{4I_m f}{2\pi f} = \frac{2}{\pi} I_m = 0{,}637 \bullet I_m$$

Berðu þetta saman við formúlu (3.2). Hér var reiknað út frá straumnum en það hefði líka verið hægt að ganga út frá spennunni. Þá hefði niðurstaðan orðið:

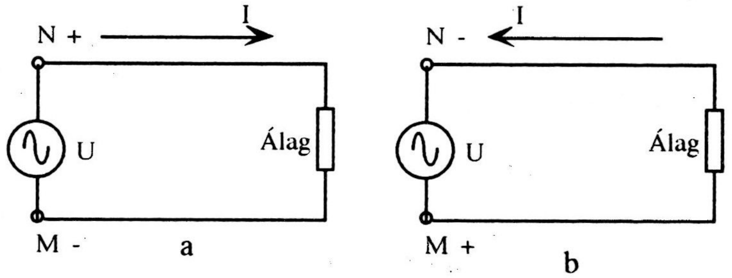
$$U_{með} = \frac{2}{\pi} U_m \qquad (3.3a)$$

Einföld afriðun eða hálfbylgju afriðun

Mynd 3.5 sýnir einfalda afriðun. Einföld afriðun dregur nafn af því að einungis jákvæðu helmingar riðspennunnar komast í gegnum díóðuna og mynda röð af jákvæðum púlsum yfir álagið. Við tölum líka um hálfbylgju afriðun í þessu sambandi. Þá hugsum við okkur eitt rið riðspennunnar sem heila bylgju. Sjá mynd 3.1. Ef rásin hleypir helmingnum í gegn þá er rökrétt að tala um hálfbylgju afriðun. Samkvæmt skilgreiningu eru púlsarnir jafnspenna þar sem þeir eru eingöngu jákvæðir (hafa alltaf sömu stefnu). Við tölum gjarnan um **púlserandi jafnspennu**.

En hvernig virkar rásin?

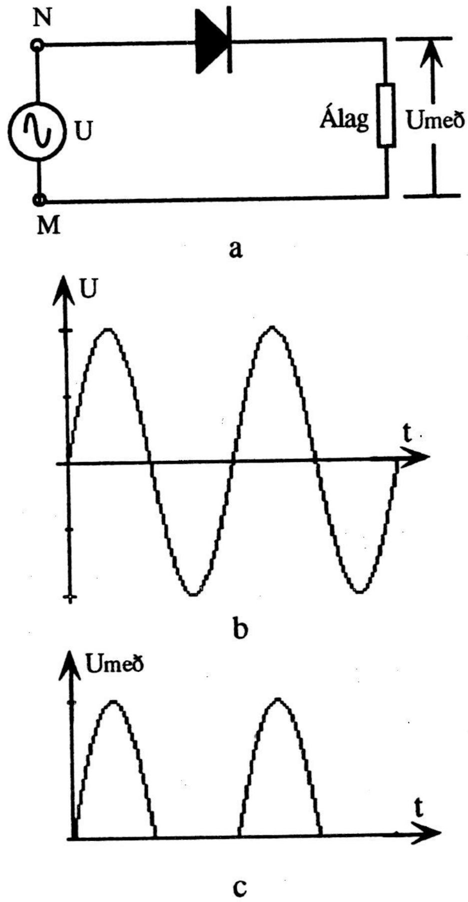
Lítum á mynd 3.4 sem sýnir álag tengt við riðspennu-gjafa og rifjum upp hvernig straumur streymir í riðstraumsrás. Meðan jákvæði hluti riðsins varir getum við merkt punkt N sem plús og punkt M sem mínus. Við fáum því straumstefnu eins og mynd a sýnir. Meðan neikvæði helmingur riðsins varir snýst þetta við. Þá getum við merkt punkt N mínus og punkt M sem plús. Við sjáum á þessu að straumurinn streymir fram og aftur í rásinni eftir því sem spennan umpólast.



Mynd 3.4

En hvað gerist þegar díóðan kemur í rásina?

Á mynd 3.5a er komin díóða milli álagsins og punktsins N á riðspennujafanum. Meðan jákvæði helmingur riðspennunnar varir er punktur N jákvæður og punktur M neikvæður eins og áður sagði. Anóða díóðunnar er því jákvæðari en katóðan og



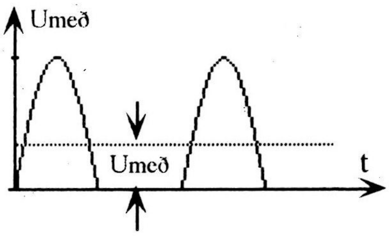
Mynd 3.5

díóðan verður leiðandi. Eins og fram kom í kafla 2 um kenni díóðu er viðnám díóðunnar mjög lítið þegar hún leiðir og spennufallið í henni því líka lítið eða u.þ.b. 0,7V. Jafnspenn yfir álagið verður því nánast jafn stór og jákvæði helmingur riðspennunnar. Sjá mynd 3.5c.

Meðan neikvæði helmingur riðspennunnar varir snýst pólu punktum N og M við, þannig að nú verður N neikvæður og jákvæður. Nú hindrar díóðan strauminn í að streyma um rás því anóðan er neikvæð miðað við katóðuna og það verður ekki spennu fall yfir álagið. Það kemur því spennulaust bil neikvæða riðið varir. Sjá mynd 3.5c.

En hvert verður meðalgildi jafnspennunnar yfir álagið?

Áður en við lítum á það tölulega skulum við hugsa okkur meðalgildið sem línu sem er dregin lárétt í gegnum toppa hálfriðanna, þannig að sá hluti flatarmáls toppanna sem ligg ofan við línuna nægi til að fylla upp í geilarnar sem eru á mill jákvæðu hálfriðanna. Sjá mynd 3.6. Hæðin frá núllásnum jafngildir meðalgildinu $U_{með}$ yfir álagið.



Mynd 3.6

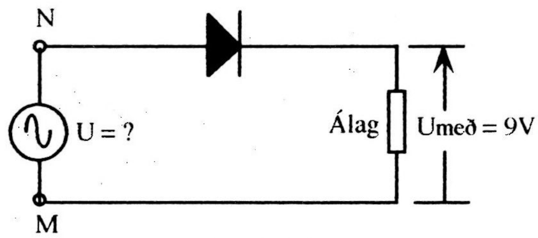
Formúla (3) segir okkur að meðalgildið úr hálfu riði sé 90% af virka gildinu. En þar sem við fáum bara annað hvert rið verður meðalgildið helmingi minna eða

$$U_{með} = \frac{1}{2} 0,9 \bullet U \qquad (3.4)$$

Ath að formúla (3.4) gildir eingöngu fyrir hálfbylgju afriðun.

Sýnidæmi 3.1.
Hve stór þarf riðspennan inn á einfalda afriðilsrás að vera til að meðalgildi jafnspennunnar yfir álagið verði 9V?
Teiknaðu mynd rásarinnar og merktu inn gefnar stærðir.

Lausn:
Sjá mynd 3.7.



Mynd 3.7

Við notum formúlu (3.4) og leysum hana með tilliti til U og fáum:

$$U = \frac{2 \bullet U_{með}}{0,9} = \frac{2 \bullet 9V}{0,9} = \underline{20V}$$

Jöfnun spennunnar

Í flestum tilfellum þarf að jafna spennuna sem kemur út úr afriðlinum svo hún verði nothæf fyrir rafeinda rásir.

Það er gert með **síuþétti**.

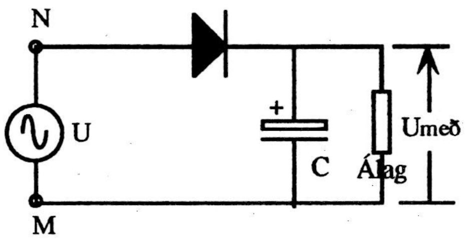
Vinnumáti þétta er útskýrður í rafmagnsfræðinni, en til upprifjunar má segja að þéttir sé áhald sem tekur í sig rafhleðslu ef spennugjafi er tengdur við hann og heldur henni í sér þar til hann er afhlaðinn aftur í gegnum einhvert álag eða viðnám. (Sjá líka kafla 1.)

Hleðslu og afhleðslu tími þétta er í beinu hlutfalli við stærð viðnámsins í ohmum (ohm), sem hann hleðst eða afhleðst í gegnum, og stærð eða rýmd þéttisins í faröd, (F). Hleðslu tíminn er táknaður með gríska bókstafnum τ (borið fram tá) og formúlan er svona:

$$\tau = R \cdot C \qquad (3.5)$$

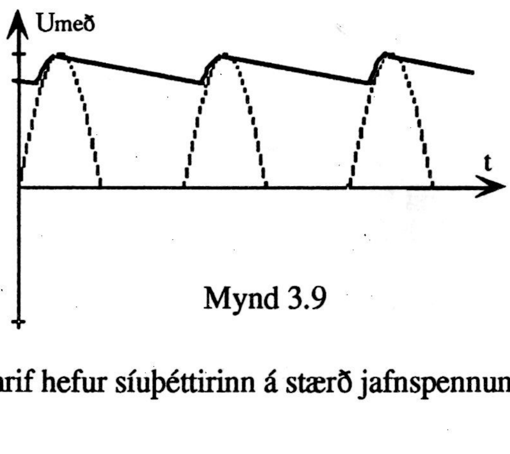
Hér er viðnámið sett inn í ohmum (Ω) og rýmdin í farödum (F) og þá kemur tíminn í sekúndum (s).

Sem síuþéttar eru notaðir stórir raflausnar þéttar, frá nokkrum hundruðum μF upp í nokkur þúsund μF að stærð. Síuþéttirinn er hliðtengdur við álagið og vinnumátinn er eftirfarandi. Sjá mynd 3.8 og 3.9.



Mynd 3.8

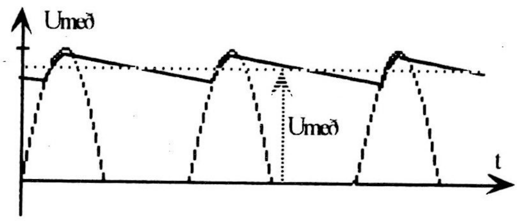
Þegar díóðan leiðir og spennan yfir álagið hækkar frá núlli upp í hámarks gildi, hleðst þéttirinn upp. Hleðslu tími þéttisins er nú mjög stuttur því hann hleðst upp gegnum díóðuna og hún hefur mjög lítið viðnám þegar hún leiðir. Þegar spennan lækkar aftur, fylgir spenna þéttisins ekki eftir heldur ræðst afhleðsla þéttisins af stærð viðnámsins í álaginu samanber formúlu (3.5). Spennan yfir álagið verður því eins og heila línan á mynd 3.9 og hallinn á línunni milli toppa afriðuðu spennunnar ræðst af því hve hratt þéttirinn afhleðst en því ræður stærð álagsins og stærð þéttisins.



Mynd 3.9

En hvaða áhrif hefur síuþéttirinn á stærð jafnspennunnar yfir álagið?

Við skulum rifja upp það sem sagt var hér að ofan um meðal-gildis línuna, sem sker af toppunum passlega stóran flöt til að fylla upp í geilarnar á milli toppanna. Ef við lítum á mynd 3.10 sést að geilarnar milli toppanna hafa minnkað verulega, en stærð þeirra ræðst af halla afhleðslulínu þéttisins. Ef afhleðslan er lítil sjáum við að mjög lítinn flöt þarf að skera af toppunum til að fylla upp í geilarnar milli þeirra og meðalgildið er verulega hærra með þétti en án.



Mynd 3.10

Tölugildi jafnspennunnar yfir álagið þegar þéttir er með í rásinni er erfitt að ákveða nákvæmlega því það er breytilegt eftir álaginu. Til einföldunnar skulum við líta á það tilfelli að álagsstraumurinn er lítill eða enginn. Ef álagsstraumurinn er núll, afhleðst þéttirinn ekkert milli spennutoppanna frá afriðlinum og því verður meðalgildis línan bein og jafn há toppgildi riðspennunnar. Formúla meðalgildisins verður þá:

$$U_{með} = \sqrt{2} \cdot U \qquad (3.6)$$

Berðu þetta saman við formúlu (3.1) sem sýnir samhengið milli virkagildis riðspennunnar og toppgildisins eða:

$$U_m = \sqrt{2} \cdot U$$

Þetta segir okkur að við þessar aðstæður verður meðalgildið yfir álagið (og þéttinn) sama og toppgildi riðspennunnar. Þéttirinn hleðst upp í þá hæðstu spennu sem riðspennan inn á rásina kemst í og heldur því gildi þar sem ekkert er tekið frá honum milli toppanna.

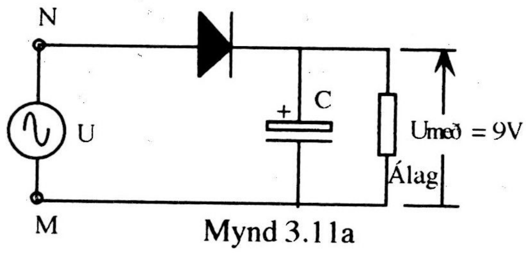
Ath. líka að formúla (3.6) gildir aðeins ef straumurinn sem álagið tekur er enginn. En hún getur verið til hjálpar ef álagsstraumurinn er lítill. Til að reikna þetta nákvæmlega við misstór álög þarf mun flóknari reikningsaðferð. Sjá kaflann um gáruspennu hér fyrir aftan.

Sýnidæmi 3.2.

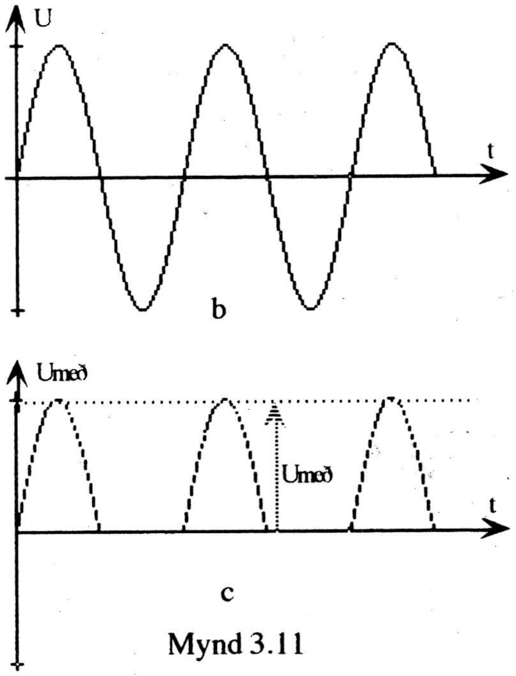
Hve stór þarf riðspennan inn á afriðilsrásina í talnadæmi 1 að vera ef síuþéttir er í rásinni og álags straumurinn er lítill? Teiknaðu mynd af rásinni, spennunni inn á afriðilinn og jafnspennunni yfir álagið. Merktu inn gefnar stærðir.

Lausn:

Sjá mynd 3.11. Rásin er á mynd a, riðspennan inn á afriðilinn á mynd b og spennan yfir álagið á mynd c.



Mynd 3.11a



Mynd 3.11

Leysum formúlu (3.6) með tilliti til U og fáum:

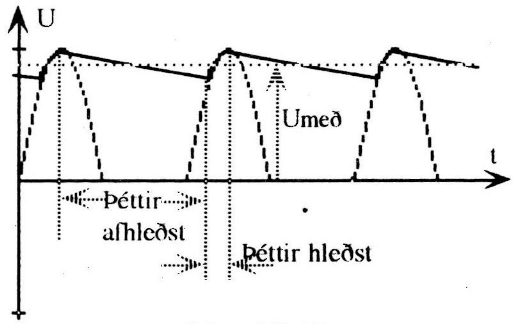
$U_{með} = \sqrt{2} \cdot U$ Leysum formúluna m.t.t. U:

$$U = \frac{U_{með}}{\sqrt{2}} = \frac{9V}{\sqrt{2}} = \underline{6{,}36V}$$

Ályktun:
Við sjáum á þessum dæmum að riðspennan inn á afriðils rásina lækkar úr 20V í 6,36V við það að nota þétti í rásinni. Athugaðu að í þessum dæmum höfum við ekki tekið tillit til spennufalls í díóðunni, en það er u.þ.b. 0,7V. Þannig hefði riðspennan inn á rásina í sýnidæmi 3.1 átt að vera 20,7V ef við tækjum tillit til spennutapsins í díóðunni. Í flestum tilfellum er þetta lítill hluti af spennugildinu, en þó er rétt að hafa það í huga.

Gáruspenna

Lítum nánar á mynd 3.10. Ofan á afriðuðu toppunum frá riðspennunni situr gárótt spenna sem oft er kölluð gáruspenna og fær sérstakt formúlutákn $U_{gára}$. Sjá mynd 3.14. Við skulum skoða þetta fyrirbæri nánar með því að skoða atburðarásina á mynd 3.12. Ef við fylgjum ferlinum ofan á toppunum sjáum við að hann fer jafn hátt toppgildi afriðuðu spennunnar eða U_m. Þegar afriðaði toppurinn fellur aftur niður í núll heldur þéttirinn spennunni uppi þar til næsti toppur kemur. Hve vel þéttirinn heldur spennunni ræðst af tvennu, annars vegar stærð þéttisins og hins vegar stærð straumsins sem álagið tekur. Þegar afhleðslulínan mætir nýjum toppi afriðuðu spennunnar hækkar spennan aftur upp í U_m. Þéttirinn tekur til sín hleðslu og það tekur örstutta stund af því hann hleðst í gegnum mjög lítið viðnám.



Mynd 3.12

Við sáum í sýnidæmi 2 og mynd 3.11 að þegar álagið tekur lítinn sem engan straum verður línan bein milli toppanna. Eftir því sem álagið tekur meiri straum (hefur minna viðnám) þeim mun meira fellur línan milli toppanna.

Á mynd 3.14 er gáruspennan sýnd sérstaklega eins og hún lítur út á sveiflusjá. Með sveiflusjá getum við líka mælt stærð hennar. En getum við reiknað út stærð gáruspennunnar?

Það er hægt að reikna út stærð gáruspennunnar með nokkurs konar reynslu formúlu. Við getum vel séð fyrir okkur að stærri álagsstraumur orsakar stærri gáruspennu, þ.e. lína fellur hraðar eins og sýnt er á mynd 3.13. Stór þéttir heldur hins vegar spennunni betur (heldur hleðslunni lengur), þ.e. lína fellur hægar með stórum þétti. M.ö.o. þá er gáruspennan í réttu hlutfalli við álagsstrauminn og í öfugu hlutfalli við stærð síuþéttisins. En þetta er ekki nóg. Okkur vantar stuðul eða fasta inn í formúluna. Stærð þess fasta er nokkuð mismunandi en hér er valið að nota töluna 12 fyrir hálfbyglju afriðun. Formúlan fyrir gáruspennu verður þá:

$$U_{gára} = 12 \bullet \frac{I\,(mA)}{C\,(\mu F)} \qquad (3.7)$$

Hér er:

$U_{gára}$	- Mesta breyting gáruspennunnar.
I	- Álagsstraumurinn í mA.
C	- Stærð síuþéttis í μF.
12	- Fasti fyrir hálfbylgju afriðun.

Útreikningur meðalgildis með hjálp gáruspennunnar.

En hvernig getum við notfært okkur stærð gáruspennunnar til að reikna út jafnspennuna yfir álagið?

Skoðum aftur mynd 3.12. Við sáum að gáruspennan fór upp í toppgildi afriðuðu spennunnar og féll síðan niður í einhvert lágmark. Við skulum gefa okkur að jafnspennan yfir álagið $U_{með}$ sé lína sem dregin er milli toppanna þannig að hún skipti þeim til helminga, þ.e. jafn stórir fletir fyrir ofan og neðan línuna sjá mynd 3.14. Ef við drögum helminginn af gáruspennunni frá toppgildi afriðuðu spennunnar ættum við að fá út meðalgildi jafnspennunnar yfir álagið eða:

$$U_{með} = U_m - \frac{1}{2} U_{gára}$$

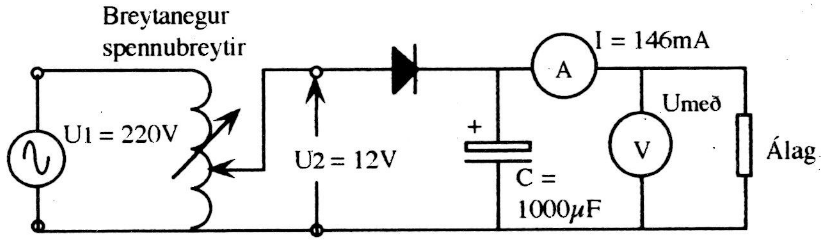
Ef við tökum tillit til spennufallsins í díóðunni U_D getum við skrifað formúluna á eftirfarandi hátt:

$$U_{með} = U_m - \frac{1}{2} U_{gára} - U_D \qquad (3.8)$$

Sýnidæmi 3.3

Hálfbylgju afriðilsrás er tengd eins og mynd 3.15 sýnir. Breytanlegi spennirinn breytir riðspennunni úr 220V í 12V. Álagið tekur 146mA straum og stærð þéttisins er 1000μF.

a) Reiknaðu gáru-spennuna.
b) Reiknaðu meðal-gildi jafn-spennunnar yfir álagið. Reiknaðu með 0,7V spennutapi yfir díóðuna.
c) Teiknaðu mynd sem sýnir spennuna yfir álagið.



Mynd 3.15

Lausn:

a) Setjum gefnar stærðir inn í formúlu (3.7) og fáum:

$$U_{gára} = 12 \bullet \frac{I\,(mA)}{C\,(\mu F)} = 12 \bullet \frac{146}{1000} = \underline{1{,}75V}$$

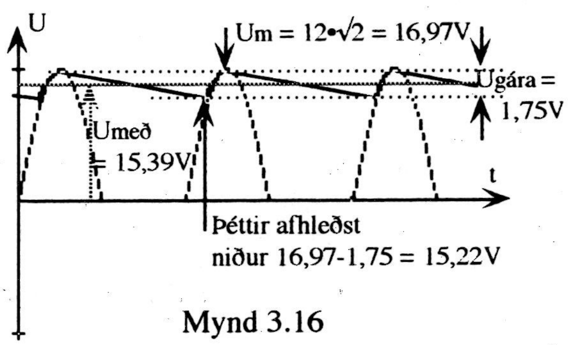
b)

$$U_{með} = U_m - \frac{1}{2} U_{gára} - U_D =$$

$$U_{með} = 12 \bullet \sqrt{2} - \frac{1}{2} 1{,}75 - 0{,}7 =$$

$$U_{með} = \underline{15{,}39V}$$

c) Sjá mynd 3.16



Mynd 3.16

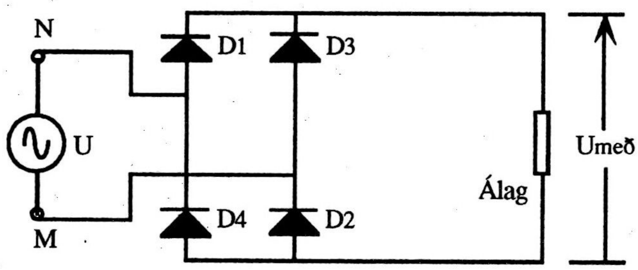
Niðurstöður dæmisins eru skrifaðar inn á myndina

Tvöföld afriðun eða heilbylgju afriðun

Tvær gerðir rása eru notaðar við heilbylgju afriðun, en það eru **brú-tenging** og **spennis-tenging**. Heilbylgju afriðunin hefur það fram yfir hálfbylgju afriðun að bæði hálfrið riðspennunnar nýtast og meðalgildi afriðuðu spennunnar, miðað við sömu riðspennu inn á afriðils rásina, verður hærra.

Brú-tenging

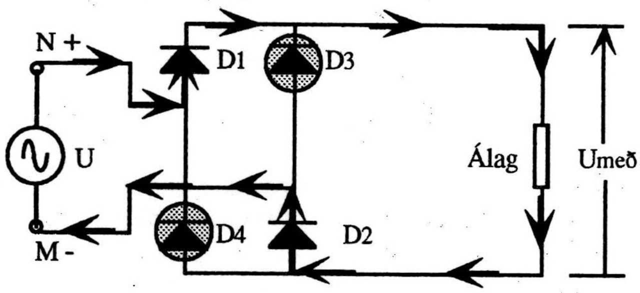
Mynd 3.17 sýnir tvöfalda afriðun með fjórum díóðum, tengdum í brútengingu, ásamt álagi.



Mynd 3.17

Vinnumáti rásarinnar er eftirfarandi.

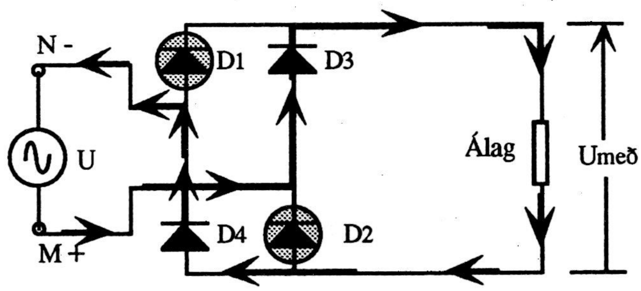
Á mynd 3.18 er búið að teikna inn örvar til að sýna straumstefnuna í rásinni. Meðan jákvæði helmingur riðspennunnar varir er punktur N jákvæður og punktur M neikvæður. Anóða díóðu 1 verður jákvæð og hún leiðir. Á sama tíma verður katóða díóðu 2 neikvæð og hún einnig leiðandi. Straumurinn sem jákvæða riðið veldur kemst því frá punkti N, í gegnum díóðu 1, niður í gegnum álagið, díóðu 2 og til baka í punkt M. Á meðan eru díóður 3 og 4 bakspenntar og koma ekki við sögu í jákvæða helmingi riðsins. Á mynd 3.18 eru díóður D_3 og D_4 sýndar í skyggðum hringjum til að minna á að þær eru ekki leiðandi við þessar aðstæður.



Mynd 3.18

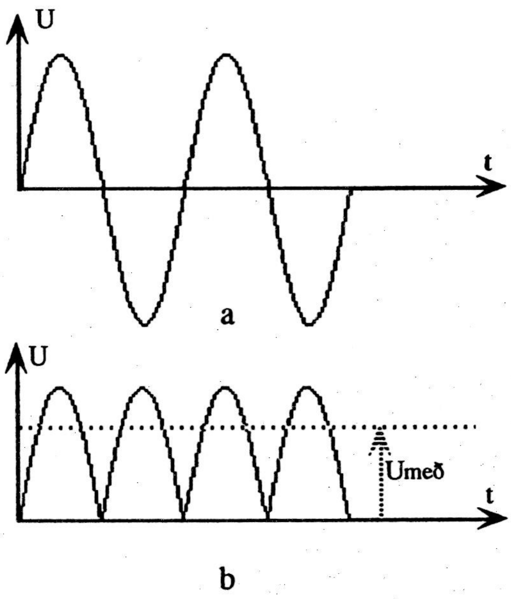
Meðan neikvæði helmingur riðspennunnar varir er punktur N neikvæður og punktur M jákvæður. Athugaðu vel mynd 3.19. Nú snúast hlutverk díóðanna við, díóður 3 og 4 leiða, þar sem anóða díóðu 3 verður jákvæð og katóða díóðu 4 neikvæð, en díóður 1 og 2 hindra. Straumurinn sem neikvæði helmingur riðspennunnar veldur kemst nú frá punkti M gegnum díóðu 3, niður í gegnum álagið, díóðu 4 og til baka í punkt N. Á mynd

3.19 eru díóður D_1 og D_2 sýndar í skygggðum hringjum til að minna á að þær eru ekki leiðandi við þessar aðstæður.



Mynd 3.19

Spennan yfir álagið verður, eins og mynd 3.20b sýnir, röð af jákvæðum púlsum þar sem straumstefnan í gegnum álagið er sú sama í báðum helmingum riðspennunnar. Sjá örvarnar á myndum 3.18 og 3.19.



Mynd 3.20

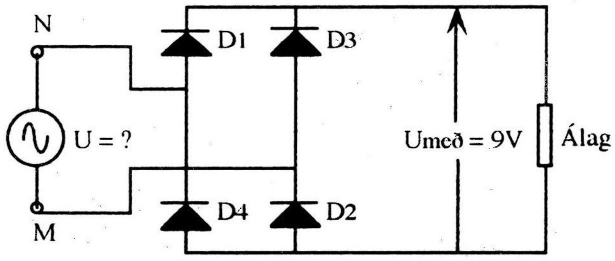
Meðalgildi afriðuðu spennunnar afmarkast, eins og í einföldu afriðuninni, af línu sem er dregin gegnum toppa púlsanna, þannig að afskurðurinn passar í geilarnar milli toppanna. Meðalgildið verður mun hærra hér en í einföldu afriðuninni þar sem bilin milli púlsanna eru minni vegna þess að nú nýtast líka neikvæðu helmingar bylgjunnar.

En hve stórt verður meðalgildi afriðuðu spennunnar?

Á bls. 3.2 var sýnt fram á að meðalgildið úr hálfu riði væri 90% af virku gildi rið-spennunnar. Í brútengingu fáum við röð af hálfriðum yfir álagið og því getum við notað formúlu (3.3) til að reikna út stærð meðalgildisins.

Sýnidæmi 3.4.
Hve stór þarf riðspennan inn á brú tengda afriðilsrás að vera til að meðalgildi jafnspennunnar yfir álagið verði 9V?
Teiknaðu mynd af rásinni og merktu inn gefnar stærðir.

Lausn.
Sjá mynd 3.21.



Mynd 3.21

Við notum formúlu (3.3) og leysum hana með tilliti til U og fáum:

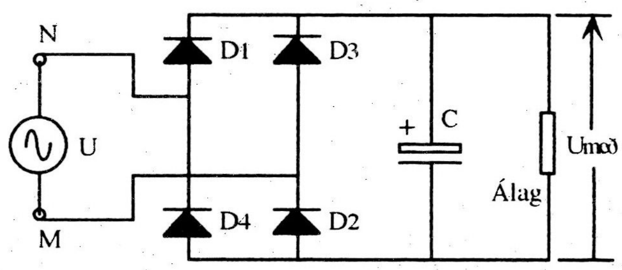
$U_{með} = 0,9 \cdot U$ Leysum formúluna m.t.t. U:

$$U = \frac{U_{með}}{0,9} = \frac{9V}{0,9} = \underline{10V}$$

Hér þarf riðspennan einungis að vera 10V en einfalda afriðils rásin í sýnidæmi 3.1 þurfti 20V riðspennu til að gefa jafn háa spennu yfir álagið. Í þessu dæmi er ekki tekið tillit til spennutaps í díóðunum.

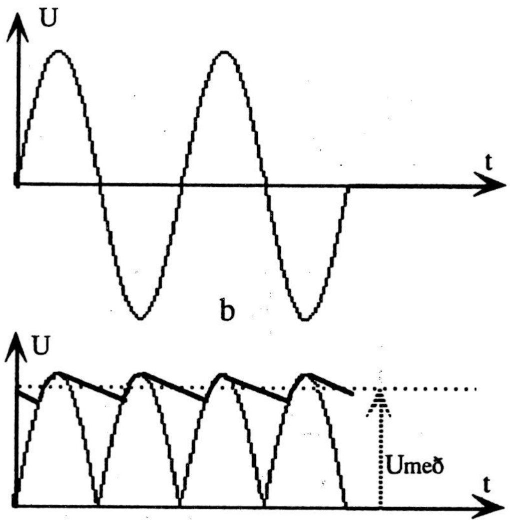
Brútenging með þétti

Mynd 3.22a sýnir brútengingu með síuþétti, mynd 3.22b riðspennuna inn á afriðilsrásina og mynd 3.22c útlit afriðuðu spennunnar við ákveðið álag.



Mynd 3.22a

Ef við berum mynd 3.22c saman við mynd 3.10 sést vel að þéttirinn afhleðst í styttri tíma í brútengingunni vegna þess hvað bilið milli toppanna er lítið. Brútengingin gefur því yfirleitt jafnari spennu og hærra meðalgildi heldur en hálfbylgju afriðunin miðað við sama álag og jafn stóran þétti. Það geta þó verið undantekningar frá þessu þegar álag er lítið vegna meira spennufalls í díóðum brútengingarinnar.



c

Mynd 3.22

En hve stórt verður meðalgildið í heilbylgju afriðun með þétti?

Hér gilda alveg sömu bollaleggingar og varðandi einföldu afriðunar rásina, þ.e.a.s. hallinn á línunni sem sýnir afhleðslu þéttisins er breytilegur eftir stærð álagsins. Eftir því sem halli afhleðslu línunnar er meiri þeim mun lægra verður meðalgildið. En til að reikna út meðalgildið við lítið sem ekkert álag getum við notað formúlu (3.6). Sjá sýnidæmi 5.

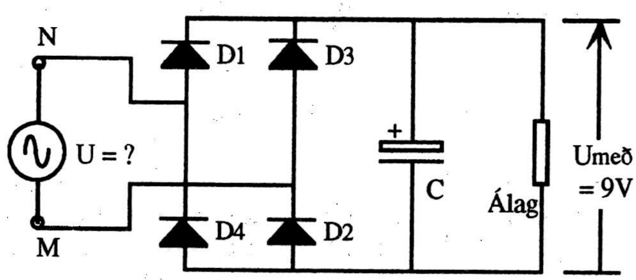
Sýnidæmi 3.5

Finndu hve háa riðspennu þarf að tengja inn á heilbylgju afriðilsrás með fjórum díóðum og þétti til að.meðalgildið yfir álagið verði 9V? Álagsstraumurinn er svo lítill að við þurfum ekki að taka tillit til hans.

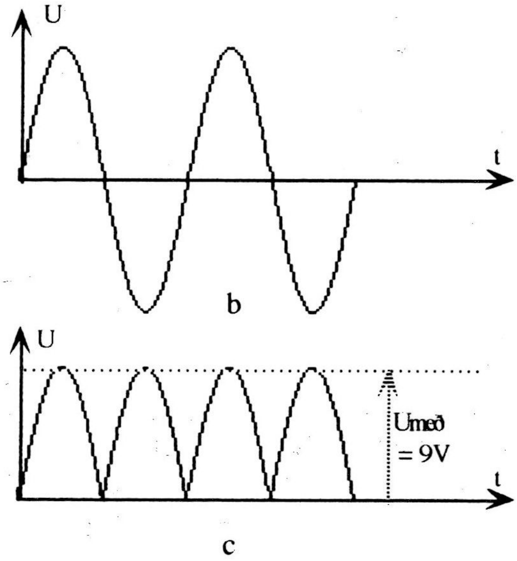
Teiknaðu mynd af rásinni, spennunni inn á afriðilinn og jafnspennunni yfir álagið. Merktu inn gefnar stærðir. Dragðu ályktun af niðurstöðum.

Lausn:

Sjá mynd 3.23. Rásin er á mynd a, riðspennan inn á rásina er á mynd b og spennan yfir álagið á mynd c.



Mynd 3.23a



Mynd 3.23

Við leysum formúlu (6) með tilliti til U og fáum:

$U_{með} = \sqrt{2} \bullet U$ Leysum formúluna m.t.t. U:

$U = \frac{U_{með}}{\sqrt{2}} = \frac{9V}{\sqrt{2}} = \underline{6{,}36V}$

Ályktun:
Við sjáum að niðurstaðan hér er sú sama og í sýnidæmi 3.2, þ.e.a.s. að riðspennan inn á afriðils rásina þarf að vera 6,36V til að jafnspennan yfir álagið verði 9V eða jöfn toppgildi riðspennunnar. Þegar álag kemur á rásina lækkar meðalgildið nokkuð eins og áður hefur komið fram, vegna gáruspennunnar, en oftast minna í brútengingunni en í einföldu afriðilsrásinni.

Gáruspenna í brúafriðilsrás

Gáruspenna í heilbylgju afriðun er fundin á svipaðan hátt og í hálfbylgju afriðuninni. Það gilda sömu lögmál um samhengið milli gáruspennunnar annars vegar og álagsstraums og þéttisstærðar hins vegar. Aftur á móti er styttra bil milli toppanna í heilbylgju afriðuninni þannig að þéttirinn afhleðst í helmingi styttri tíma og gáruspennan verður því helmingi lægri í heilbylgju afriðuninni. Formúlan fyrir gáruspennu í heilbylgju afriðun lítur þá svona út:

$$U_{gára} = 6 \bullet \frac{I\,(mA)}{C\,(\mu F)} \qquad (3.9)$$

Hér er:

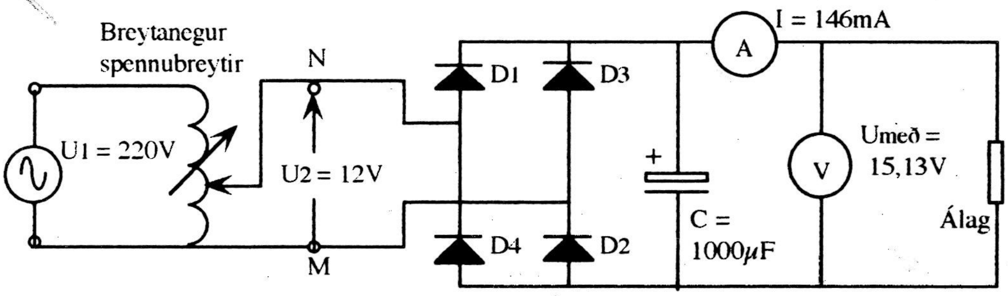
$U_{gára}$	-	Mesta breyting gáruspennunnar.
I	-	Álagsstraumurinn í mA.
C	-	Stærð síuþéttis í μF.
6	-	Fasti fyrir heilbylgju afriðun.

Athugaðu vel að hér er notað tölugildi 6 sem fasti í formúlu gáruspennunnar eða helmingi minni tala en við notuðum í hálfbylgju afriðuninni.

Formúlan fyrir meðalgildi jafnspennunnar út úr heilbylgju afriðli verður hliðstæð og í hálfbylgju afriðun nema að nú þurfum við að taka tillit til spennufalls í tveimur díóðum.

$$U_{með} = U_m - \frac{1}{2} U_{gára} - 2 \bullet U_D \qquad (3.10)$$

Sýnidæmi 3.6.
Heilbylgju afriðilsrás er tengd eins og mynd 3.24 sýnir. Breytanlegi spennirinn breytir riðspennunni úr 220V í 12V. Álagið tekur 146mA straum og stærð þéttisins er 1000μF.



Mynd 3.24

a) Reiknaðu gáruspennuna.
b) Reiknaðu meðalgildi jafnspennunnar yfir álagið. Reiknaðu með 0,7V spennutapi yfir hvora díóðu.
c) Teiknaðu mynd sem sýnir riðspennuna inn á afriðilsrásina og spennuna yfir álagið.
d) Dragðu ályktun af niðurstöðum. Berðu t.d. niðurstöður úr þessu dæmi saman við niðurstöður úr sýnidæmi 3.

Lausn:

a) Setjum gefnar stærðir inn í formúlu (3.9) og fáum:

$$U_{gára} = 6 \bullet \frac{I(mA)}{C(\mu F)} = 6 \bullet \frac{146}{1000} = \underline{0,876V}$$

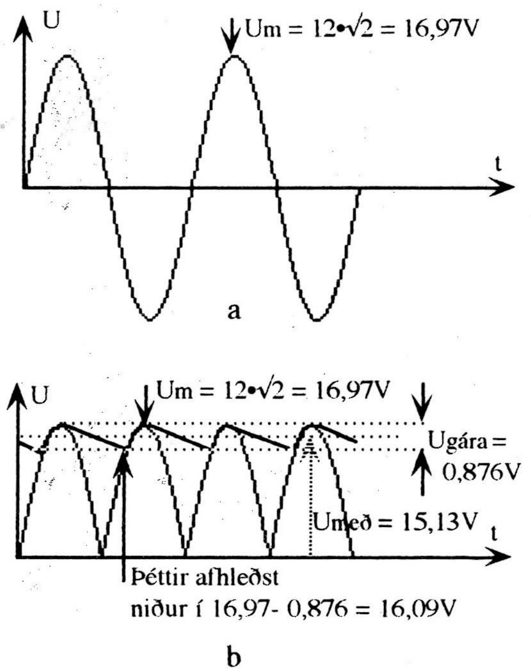
b)

$$U_{með} = U_m - \frac{1}{2} U_{gára} - 2 \bullet U_D$$

$$U_{með} = 12 \bullet \sqrt{2} - \frac{1}{2} 0,876 - 2 \bullet 0,7 =$$

$$U_{með} = \underline{15,13V}$$

c) Sjá mynd 3.25. Mynd a sýnir riðspennuna inn á afriðilsrásina og mynd b spennuna yfir álagið.



Mynd 3.25

d) Ályktun. Í þessu dæmi er Umeð aðeins lægra en í sýnidæmi 3. Gáruspennan er helmingi lægri hér miðað við hálfbylgju afriðunina en spennufall í díóðum aftur á móti meira. Við stærra álag verður munurinn hagstæður fyrir heilbylgju afriðunina. Sjá sýnidæmi 37.

Sýnidæmi 3.7.

Kannaðu hvað þarf háa riðspennu til að fá 24V meðalgildi jafnspennu yfir álag sem tekur 500mA í

a) hálfbylgju afriðun og
b) heilbylgju afriðun.

Síuþéttirinn er 220μF í báðum tilfellum.

c) Dragðu ályktun af niðurstöðum.

Lausn:

a) Notum formúlu (3.8) og leysum hana með tilliti til toppgildisins Um.

$$U_{með} = U_m - \frac{1}{2}U_{gára} - U_D \quad \text{Leyst m.t.t. } U_m$$

$$U_m = U_{með} + \frac{1}{2}U_{gára} + U_D \quad \text{Setjum (3.7) inn fyrir } U_{gára}$$

$$U_m = U_{með} + \frac{1}{2}\bullet 12\frac{I\,(mA)}{C\,(\mu F)} + \quad U_D$$

$$U_m = 24 + \frac{1}{2}\bullet 12\frac{500}{220} + 0,7 = 24 + 13,63 + 0,7 = 38,33V$$

Virkagildi riðspennunnar verður þá í hálfbylgju afriðuninni:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{38,33V}{\sqrt{2}} = \underline{27,1V}$$

b) Notum formúlu (3.10) og leysum hana með tilliti til toppgildisins Um.

$$U_{með} = U_m - \frac{1}{2}U_{gára} - 2 \bullet U_D \quad \text{Leyst m.t.t. } U_m$$

$$U_m = U_{með} + \frac{1}{2}U_{gára} + 2 \bullet U_D \quad \text{Setjum (3.9) inn fyrir } U_{gára}$$

$$U_m = U_{með} + \frac{1}{2} \bullet 6\frac{I\ (mA)}{C\ (\mu F)} + 2 \bullet U_D$$

$$U_m = 24 + \frac{1}{2} \bullet 6\frac{500}{220} + 2 \bullet 0,7 = 24 + 6,82 + 1,4 = 32,22V$$

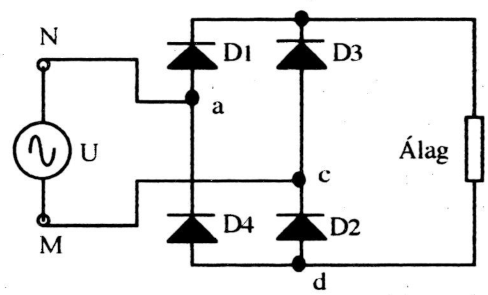
Virkagildi riðspennunnar verður þá í heilbylgju afriðuninni:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{32,22V}{\sqrt{2}} = \underline{22,78V}$$

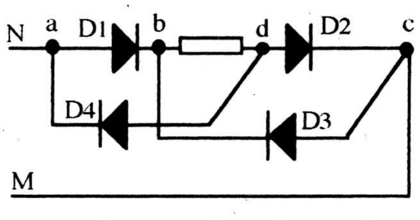
c) Ályktun. Við sjáum á þessum niðurstöðum að við þessar aðstæður þurfum við 27,1-22,78 = 4,3V hærri riðspennu í hálfbylgju afriðuninni til að fá sömu jafnspennu yfir álagið.

Sönnun á vinnumáta brútengingar

Í kaflanum um brútenginguna var það fullyrt að díóða D_1 og D_2 væru leiðandi á meðan jákvæða rið riðspennunnar varaði. Sjá mynd 3.26a.



a



b

Mynd 3.26

Hér á eftir verður gerð tilraun til að sýna fram á að þessi fullyrðing sé rétt.

Inn á mynd 3.26a er búið að merkja fjóra punkta a, b, c og d. Þetta er gert til að auðveldara sé að teikna rásina öðru vísi eða eins og mynd 3.26b sýnir. Á þeirri mynd eru díóður D_1 og D_2 sýndar í beinni línu ásamt álaginu er díóður D_3 og D_4 eru teiknaðar fyrir neðan. Við sjáum að á mynd 3.26a er álagið tengt milli b og d og það er það líka á mynd 3.26b, ennfremur er díóða 4 tengd milli a og d á báðum myndunum o.s.frv.

Ennfremur er gert ráð fyrir því að spennan á punkti N sé jákæð, neikvæð á punkti M og stærð hennar á þessari stundu 200V.

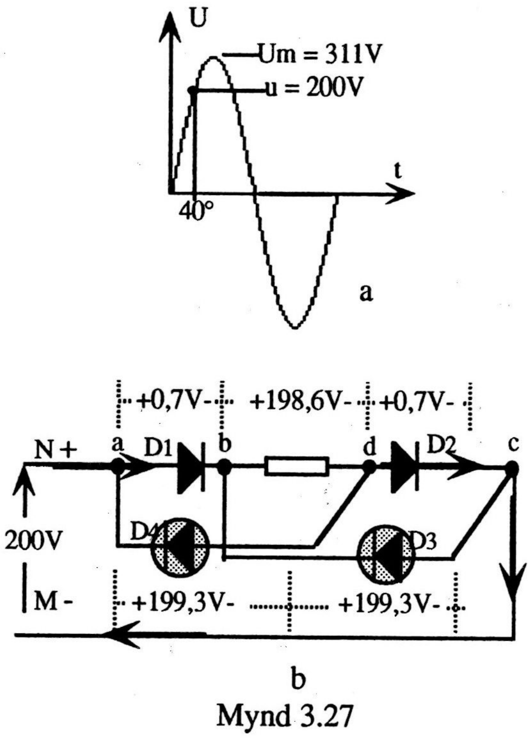
Ath. að augnabliks gildi riðspennu er síbreytilegt og hér hugsum við okkur að á þessu augnabliki sem við skoðum rásina sé það 200V með ofangreindri pólun. Frá rafmagnsfræðinni vitum við að formúla augnabliksgildis sínuslaga riðspennu er (sjá líka bls. 3.1):

$$u = U_m \bullet \sin\alpha$$

Hér er:

u	-	augnabliksgildi riðspennunnar,
U_m	-	hámarksgildið og
α	–	hornið sem spólan hefur snúist út frá upphafsstöðunni.

Með hjálp formúlunnar getum við fundið við hvaða horn augnabliksgildi 220V riðspennu verður 200V. Sjá mynd 3.27a. Við leysum út hornið a og fáum:



Mynd 3.27

$$\alpha = \sin^{-1}\frac{u}{U_m} = \sin^{-1}\frac{u}{U\sqrt{2}} = \sin^{-1}\frac{200}{220\sqrt{2}}$$

$$\alpha = 40{,}0°$$

Þ.e.a.s. 40,0° eftir að spennan fer í gegnum núll punktinn er augnabliksgildi hennar 200V. Við hugsum okkur að við getum fryst þetta augnablik á meðan við erum að skoða rásina.

Á mynd 3.27b eru merkt inn spennugildin miðað við 200V milli N og M og miðað við að straumur fari gegnum díóðu 1, álagið og díóðu 2. 0,7V er nokkuð stöðugt spennufall yfir silisíum díóður þegar þær eru leiðandi og því verður spennan yfir álagið:

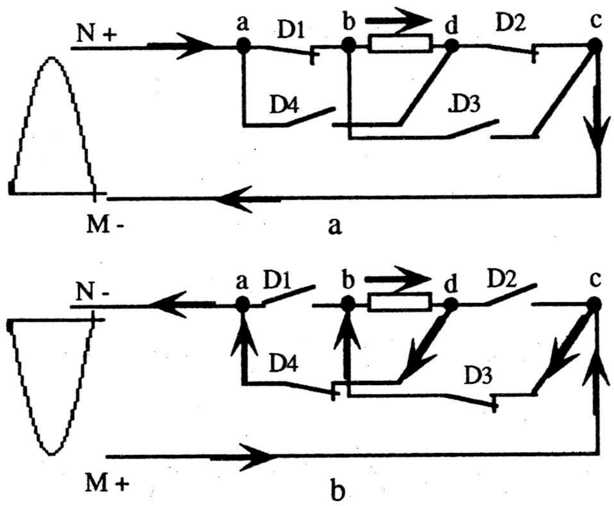
$$200V - 0,7V - 0,7V = 198,6V$$

Miðað við hefðbundna straumstefnu, frá + til -, verður pólun spennufallanna í rásinni eins og myndin sýnir eða m.ö.o. í díóðu 1 verður anóðan 0,7 voltum jákvæðari en katóðan, og eins er með díóðu 2. Þetta gerir það að verkum að t.d. díóða 4 verður með 0,7+198,6 = 199,3 volta spennumun milli anóðu og katóðu og anóðan er neikvæðari en katóðan. Hún er því bakspennt eða hindrar.

Hvernig verður spennuskiptingin í rásinni þegar punktur N verður 200 voltum neikvæðari en punktur M? Reyndu að svara því með hjálp myndar 3.27b.

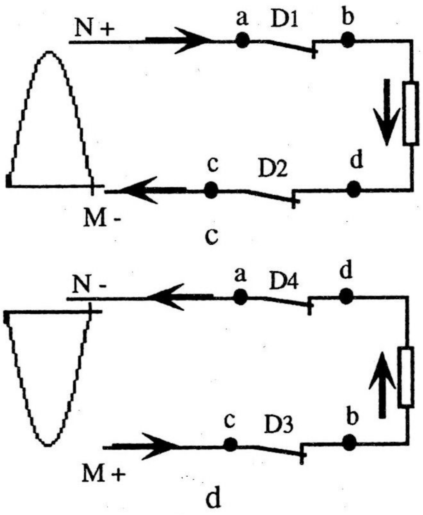
Díóður táknaðar með rofum.

Þegar díóðu rásir eru kannaðar getur oft verið gott að setja rofa í staðinn fyrir díóðurnar. Virkni rofa þekkjum við jú vel frá rafmagns-fræðinni. Þetta er sýnt á mynd 3.28a og b. Mynd a sýnir straumstefnuna á meðan jákvæði riðhelmingurinn varir og mynd b straum



Mynd 3.28

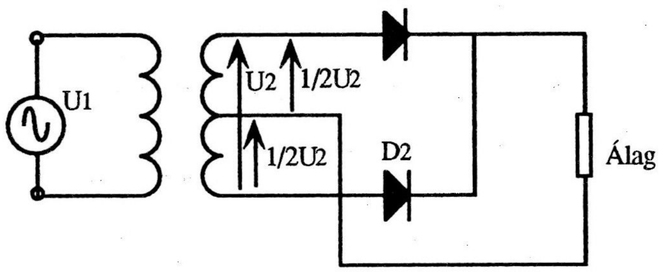
Á mynd 3.28c og d eru bara teknir með þeir rofar sem eru leiðandi í hvorum riðhelmingi og við sjáum þá betur að álagið tengist beint milli punkta N og M. Ef riðspennan lítur út eins og sýnt er á mynd c hlýtur þetta líka að verða spennan yfir álagið þar sem það tengist beint við riðspennuna. Sama er að gerast á mynd d nema þá er pólunin öfug en rofarnir snúa þessu þannig við að straumstefnan verður áfram sú sama þ.e. frá punkti b til punkts d í álaginu.



Mynd 3.28

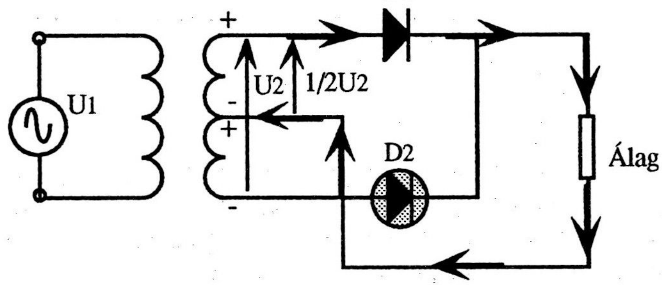
Spennis-tenging

Mynd 3.29 sýnir heilbylgju afriðilsrás sem notar tvær díóður. Orðið spennis-tenging er notuð fyrir þessa rás því afriðils díóðurnar verða að tengjast við bakvaf spennubreytis með miðúttaki. Eiginlega má líta á þessa rás sem samsetta úr tveimur hálfbylgju afriðils rásum.



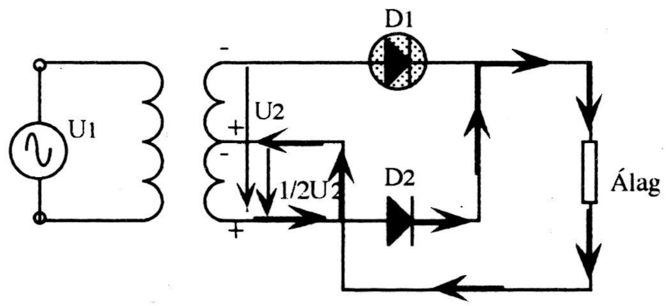
Mynd 3.29

Vinnumáti rásarinnar er svohljóðandi. Sjá mynd 3.30



Meðan efri endi bakvafsins er jákvæður leiðir D1 og D2 hindrar

Mynd 3.30



Meðan neðri endi bakvafsins er jákvæður
leiðir D2 og D1 hindrar

Mynd 3.31

Meðan jákvæða riðið varir er efri endi spennubreytisins jákvæður miðað við neðri endan og miðúttakið. (Ath. að miðúttakið er neikvætt miðað við efri endann og jákvætt miðað við þann neðri.) Ef við setjum fingur yfir díóðu 2 og neðri enda spennubreytisins sést að rásin lítur út alveg eins og einfalda afriðunin hér að framan. Díóða 1 leiðir því á meðan jákvæða riðið varir eins og örvarnar sýna.

Meðan neikvæða riðið varir snýst þetta við, efri endi spennubreytisins verður neikvæður og neðri endinn og miðúttakið jákvætt. Nú leiðir díóða 2 og straumstefnan verður eins og örvarnar sýna, þ.e. frá plúsnum við neðri endann gegnum díóðu 2 niður gegnum álagið og til baka í miðúttakið á spenninum.

Meðalgildi spennunnar yfir álagið verður eins og í brú tengingunni og útreikningar á því verða þeir sömu að undanskildu því atriði að ef spennan á bakvafi spennubreytisins er 20V þá er spennan yfir hvorn vafhelming aðeins 10V og það er það spennugildi sem er riðspennan inn á afriðilinn. Formúla (3.3) gildir því líka fyrir spennistengda afriðilsrás með þeirri breytingu að nota hálfa bakvafsspennuna:

$$U_{með} = 0,9 \bullet \frac{1}{2} U$$

og ef tekið er tillit til spennufalls í díóðum:

$$U_{með} = 0,9 \bullet \frac{1}{2} U - U_D \qquad (3.11)$$

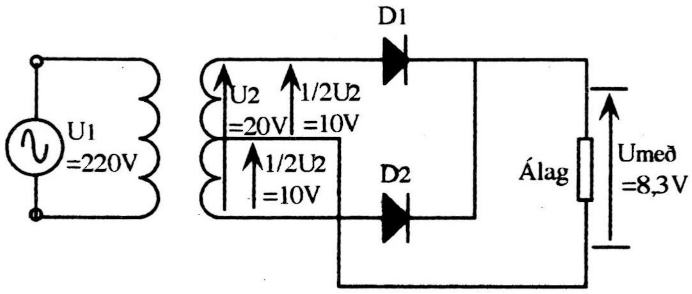
Ath. að hér er bara ein díóða leiðandi í senn og því verður spennufallið bara 0,7V.

Sýnidæmi 3.8

Mynd 3.32 sýnir spennis-tengda afriðilsrás. Spennirinn breytir riðspennunni úr 220V á forvafi í 20V á bakvafi.

a) Hve stórt verður meðalgildið yfir álagið? Taktu tillit til spennufalls í díóðunum.

b) Teiknaðu mynd af riðspennunni og spennunni yfir álagið.



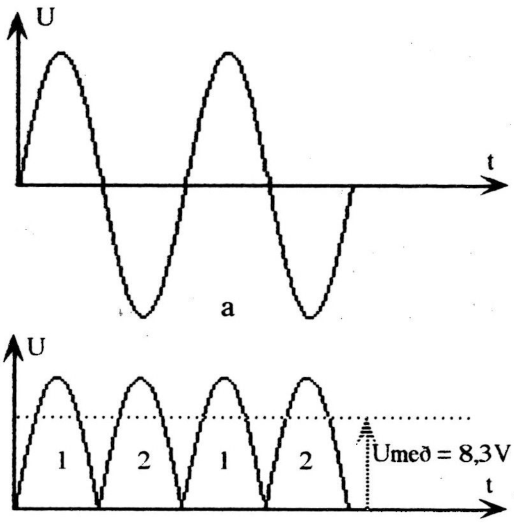
Mynd 3.32

Lausn:

a) Sú spenna sem nýtist fyrir álagið er helmingurinn af spennunni yfir bakvaf spennisins, eða 10V. Formúla (3,11) gerir ráð fyrir þessu þannig að inn í hana setjum við 20V fyrir U2 og 0,7V fyrir U_D eða:

$$U_{með} = 0,9 \bullet \frac{1}{2} U_2 - U_D$$

$$U_{með} = 0,9 \bullet \frac{1}{2} \bullet 20V - 0,7 = \underline{8,3V}$$



Mynd 3.33

b) Sjá mynd 3.33. Mynd a sýnir riðspennuna og mynd b meðalgildið yfir álagið.
Númerin í toppunum eiga að minna okkur á að líta má svo á að díóða 1 á mynd 3.32 leiði jákvæða hálfriðið og díóða 2 leiði það neikvæða.

Spennis-tenging með þétti

Það gilda sömu lögmál um spennistengda heilbylgju afriðilsrás með þétti og brúafriðun með þétti. Við þurfum bara að muna eftir að reikna með hálfri riðspennunni í bakvafi spennisins og spennufalli yfir eina díóðu. Gáruspennuna reiknum við út á sama hátt. Formúlan lítur þá svona út:

$$U_{með} = \frac{1}{2}U_m - \frac{1}{2}U_{gára} - U_D \qquad (3.12)$$

$$U_{gára} = 6\frac{I\,(mA)}{C\,(\mu F)}$$

Við skulum líta á eitt sýnidæmi um þetta.

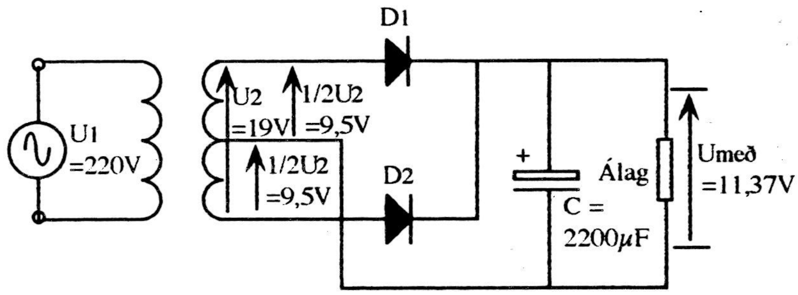
Sýnidæmi 3.9

a) Teiknaðu mynd af spennistengdum heilbylgju afriðli með þétti. Spennirinn breytir riðspennunni úr 220V í 19V, álagið tekur 1A og þéttirinn er 2200μF.

b) Reiknaðu meðalgildi jafnspenunnar yfir álagið.

Lausn:

a) Sjá mynd 3.34



Mynd 3.34

b) Við byrjum á að reikna út $U_{gáru}$:

$$U_{gára} = 6\frac{I\,(mA)}{C\,(\mu F)} = 6\frac{1000}{2200} = 2,72\,V$$

Setjum síðan inn í formúlu (3.12):

$$U_{með} = \frac{1}{2}U_m - \frac{1}{2}U_{gára} - U_D$$

$$U_{með} = \frac{1}{2}19\sqrt{2} - \frac{1}{2}2,72 - 0,7 =$$

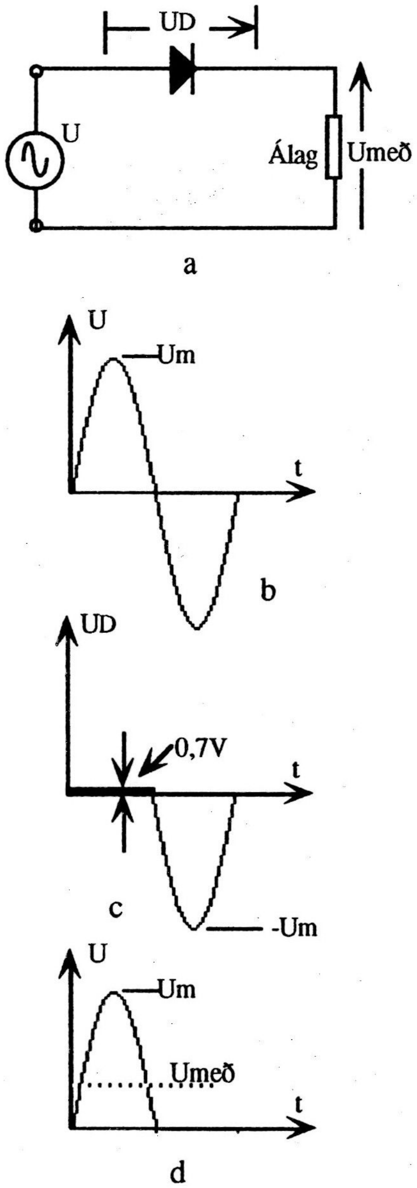
$$U_m = 13,43 - 1,36 - 0,7 = \underline{11,37V}$$

Val á díóðum

Tvær stærðir er mikilvægt að hafa í huga við val á díóðum í afriðilsrásum, en það er **hámarks hindrunarspenna** U_{PIV} og **hámarks straumur í leiðniátt** I_{FAVE}. Skammstöfunin PIV stendur fyrir „Peak Inverse Voltage“ sem merkir hámarks hindrunar spenna og FAVE stendur fyrir „Forward Average“ sem merkir leiðniátt meðalgildi. Það sem ákveður stærð straumsins er álagið sem díóðan, eða afriðilsrásin, er tengd við. Stærð riðspennunnar og gerð afriðilsrásarinnar ráða því hve há spenna getur orðið yfir afriðilsdíóðu þegar hún hindrar.

Hve há getur hindrunarspennan orðið U_{PIV}?

1. Einföld afriðun. Í einfaldri afriðun án þéttis verður hámarks hindrunarspenna jöfn toppgildi riðspennunnar.



Mynd 3.35

Á mynd 3.35 er hálfbylgju afriðilsrás ásamt spennunum inn á rásina, yfir díóðuna og yfir álagið. Skoðaðu vel mynd 3.35c. Taktu eftir að þegar díóðan leiðir er spennufallið yfir hana u.þ.b. 0,7V og þegar hún hindrar nær spennan yfir hana hámarksgildi riðspennunnar. Við getum sett upp eftirfarandi formúlu fyrir hindrunarspennuna:

$$U_{PIV} = U_m = U \cdot \sqrt{2} \qquad (3.13$$

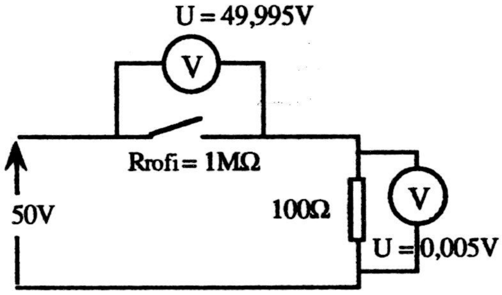
Sýnidæmi 3.10
Hver er hindrunarspenna díóðunnar U_{PIV} í sýnidæmi 3.1?

Lausn:

Virkagildi riðspennunnar í sýnidæmi 3.1 er 20V Setjum það gildi inn í formúlu 3.13:

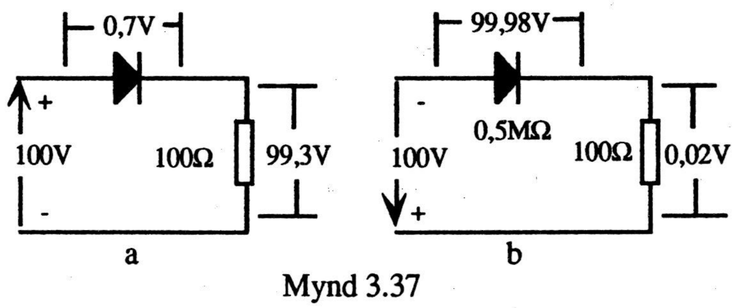
$$U_{PIV} = U \bullet \sqrt{2} = 20 \bullet \sqrt{2} = \underline{28,3V}$$

Til að skilja betur fyrirbærið hindrunarspenna skulum við líta aftur á rofa hliðstæðu díóðunnar. Sjá mynd 3.36.



Mynd 3.36

Frá rafmagnsfræðinni er það þekkt að þegar rofi rýfur straum að álagi verður spennan yfir rofann jafn há spennugjafa spennunni. Ástæðan fyrir þessu er lögmál spennudeilingar milli viðnáma straumrásar sem segir að spennan skiptist í réttu hlutfalli við stærð viðnámanna.. Það má líta á rofa sem mjög stórt viðnám, t.d. 1MΩ. Ef við gerum ráð fyrir að viðnám álagsins á mynd 3.36 sé 100Ω þá verður spennudeilingin milli þess og rofans eins og mælarnir á myndinni sýna. (Prófaðu að reikna þetta út sjálfur). Ath! Þegar spennumælar eru sýndir á þennan hátt í straumrás er gert ráð fyrir því að þeir hafi engin áhrif á straumrásina.



Mynd 3.37

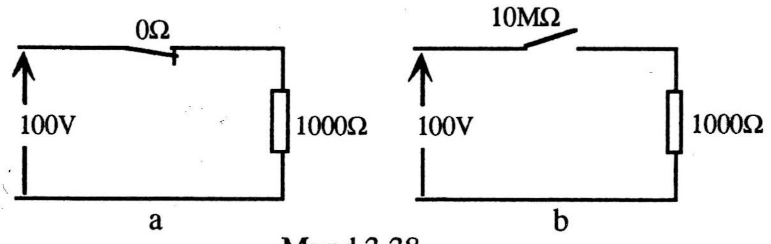
Afriðils díóða virkar á svipaðan hátt og rofi, þegar hún leiðir minnir hún á tengdan rofa, þegar hún hindrar minnir hún á rofa sem er rofinn. Sjá mynd 3.37. Á mynd a er pólun spennugjafans þannig að díóðan er leiðandi. Spennufallið yfir hana verður þá 0,7V og afgangur spennunnar verður yfir álagið. Það verður s.s. heldur meira spennutap í díóðu þegar hún leiðir en í rofahliðstæðunni á mynd 3.36. Á mynd 3.37b er pólun spennugjafans þannig að díóðan hindrar. Ef við gerum ráð fyrir því að viðnám díóðunnar sé 500kΩ eða 0,5MΩ þegar hún hindrar ætti spennufallið yfir hana að vera 99,98V og yfir álagið 0,02V. Samkvæmt Kirchhoffslögmáli er summa spennufalla í straumrás jöfn spennugjafa spennunni og 99,98+0,02 = 100V sem kemur heim. Prófaðu að reikna þetta út með hjálp sýnidæmis 3.11.

Sýnidæmi 3.11

Reiknaðu spennufallið yfir rofa sem tengir 1000Ω mótstöðu við 100V spennugjafa. Viðnám rofans er a) 0Ω þegar hann er tengdur og b) 10MΩ þegar hann er rofinn.
Teiknaðu skýringarmynd.

Lausn:

a)Sjá mynd 3.38a.



Mynd 3.38

Þegar rofinn er tengdur er heildarviðnámið í rásinni R_H = 1000Ω og straumurinn:

$$I = \frac{100}{1000} = 0,1A$$

Spennufallið yfir mótstöðuna verður þá:

$$U = I \cdot R = 0,1 \cdot 1000\Omega = \underline{100V} \text{ og yfir rofann}$$

$$U_{rofi} = I \cdot R_{rofi} = 0,1 \cdot 0\Omega = \underline{0V}$$

b) Sjá mynd 3.38b.
Þegar rofinn er rofinn er heildarviðnámið í rásinni:

$$R_H = 1000\Omega + 10.000.000\Omega = 10.001.000\Omega$$

og straumurinn:

$$I = \frac{100V}{10.001.000\Omega} = 9,999\mu A$$

Spennufallið yfir mótstöðuna verður þá:

$$U_R = I \cdot R = 9,999\mu A \cdot 1000\Omega = \underline{0,0099V}$$

og yfir rofann

$$U_{rofi} = I \cdot R_{rofi} = 9,999\mu A \cdot 10M\Omega = \underline{99,99V}$$

Liður b) reiknaður með hlutfalla reikningi. Hlutfallið milli heildarspennu og heildarviðnáms í raðtengdri rás er jafnt og hlutfallið milli einhvers viðnáms rásarinnar og spennunnar yfir það. Við getum því skrifað:

$$\frac{U_{rofi}}{R_{rofi}} = \frac{U}{R_H}$$

Þetta leyst með tilliti til U_{rofi} gefur:

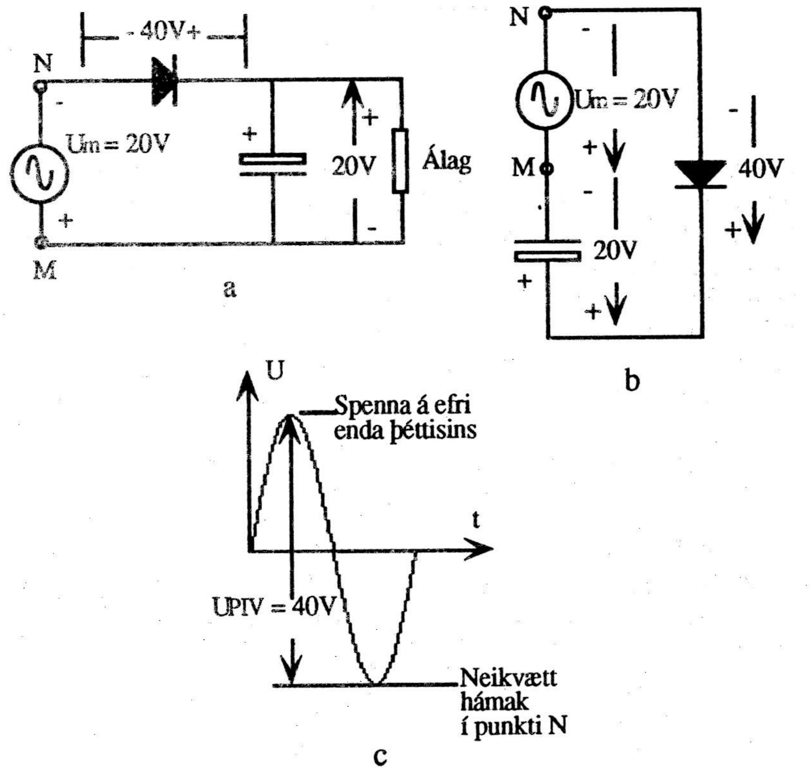
$$U_{rofi} = \frac{R_{rofi}}{R_H} \cdot U = \frac{10.000.000\Omega}{10.001.000\Omega} \cdot 100 = \underline{99,99V}$$

eða sömu niðurstöðu og með Ohmslögmálinu á undan. Við sjáum á þessum tölum að þegar mikill stærðarmunur er á raðtengdum viðnámum fær stærra viðnámið nærri alla spennu spennugjafans yfir sig.

Í einfaldri afriðils rás með þétti verður hindrunar spennan jöfn tvöföldu toppgildi riðspennunnar. Formúlan fyrir hindrunar spennunni verður þá:

$$U_{PIV} = 2 \cdot U_m = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot U \qquad (3.14)$$

Á mynd 3.39 er gerð tilraun til að útskýra þetta fyrirbæri. Þar er gert ráð fyrir að toppgildi riðspennunnar inn á afriðilsrásina sé 20V. Samkvæmt því sem við höfum lært áður hleðst þéttirinn upp í þetta gildi og ef álagsstraumurinn er lítill þá heldur þéttirinn þessari spennu meðan neikvæða hálfriðið varir og díóðan hindrar. Á meðan díóðan hindrar breytist riðspennan úr jákvæðu hámarki í neikvætt hámark og hindrunar spennan verður eins og áður er sagt tvöfalt hámarksgildi riðspennunnar. Á mynd 3.39b er búið að teikna mynd a þannig að spennugjafinn og þéttirinn eru raðtengd. Þá kemur betur fram hvernig spennugjafa spennan og þéttis spennan leggjast saman og mynda hindrunar spennu díóðunnar.



Mynd 3.39

Þetta er líka sýnt á mynd c. Á henni er sýnt hvernig þéttirinn hefur hlaðist upp í jákvætt hámark riðspennunnar. Á meðan spennugjafa spennan fer í gegnum neikvæða riðhelminginn hindrar díóðan og spennan yfir hana verður þá samanlögð spenna riðhelminganna eða 40V.

Sýnidæmi 3.12

Hve háa hindrunar spennu þarf díóðan í sýnidæmi 3.3 að þola?

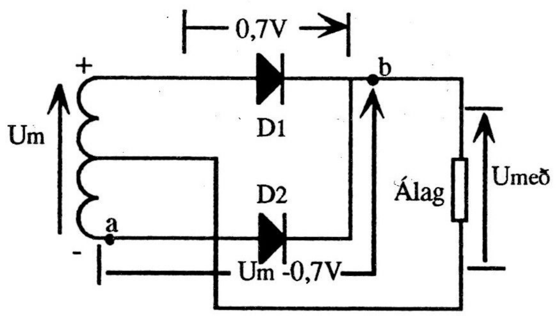
Lausn:

Virkagildi riðspennunnar inn á afriðilinn er 12V í sýnidæmi 3.3. Við setjum þetta inn í formúlu (3.14) og fáum:

$$U_{PIV} = 2 \bullet U_m = 2 \bullet \sqrt{2} \bullet U = 2 \bullet \sqrt{2} \bullet 12 = \underline{33{,}9V}$$

þ.e.a.s. tvöfallt hámarksgildi riðspennunnar.

2. Spennis-Tenging. Í spennis tengingu, án og með þétti, verður hindrunarspenna díóðanna jöfn toppgildi spennunnar á bakvafi spennisins að frádregnu spennufalli annarar díóðunnar. Á mynd 3.40 er gerð tilraun til að útskýra þetta nánar.



Mynd 3.40

Þegar spennan á bakvafi spennisins er í hámarki og díóðan D_1 leiðandi verður spennumunurinn milli punkta a og b Um-0,7V en það er um leið hámarks hindrunarspenna díóðu D_2. Það hefur hins vegar engan tilgang að reikna þetta svona nákvæmlega vegna þess að við þurfum að gera ráð fyrir einhverjum öryggis mörkum og veljum næsta staðlaða gildi fyrir ofan útreiknaða hámarks hindrunarspennu. Formúlan fyrir hindrunarspennunni í spennistengdri rás verður því:

$$U_{PIV} = U_{2m} = \sqrt{2} \bullet U_2 \qquad (3.15)$$

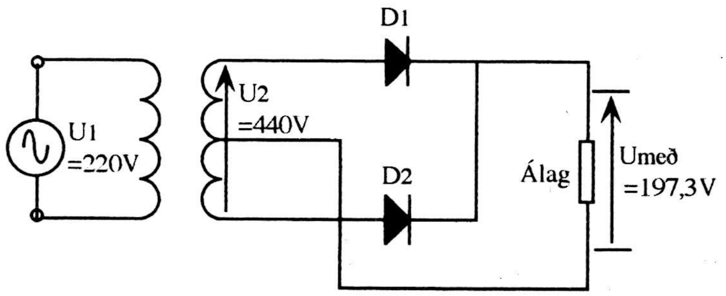
Sýnidæmi 3.13

Spennistengd afriðilsrás er tengd 220V,50Hz neti. Spennirinn breytir spennunni á bakvafinu upp í 440V þannig að hvor helmingur bakvafsins fær 220V.

a) Teiknaðu mynd rásarinnar.
b) Hvert verður meðalgildið yfir álagið?
c) Hver verður hindrunar spenna díóðanna UPIV?
d) Hvert er hlutverk spennisins í rásinni? Væri hægt að ná sama árangri með annars konar afriðilsrás? Rökstyddu svarið.

Lausn:

a)Sjá mynd 3.41.



Mynd 3.41

b) Setjum inn í formúlu (3.11):

$$U_{með} = 0,9 \bullet \frac{1}{2} U_2 - U_D =$$

$$U_{með} = 0,9 \bullet \frac{1}{2} 440 - 0,7 = \underline{197,3V}$$

Hér er í rauninni óþarfi að reikna með díóðu spennufallinu.

c) Setjum gildið á bakvafsspennunni inn í formúlu (3.15) og fáum:

$$U_{PIV} = U_{2m} = \sqrt{2} \bullet U_2 = \sqrt{2} \bullet 440V = \underline{622,25V}$$

d) Hlutverk spennisins er að gefa okkur tvær spennur inn á hvorn helming afriðilsrásarinnar þannig að við fáum heilbylgju afriðun með bara tveimur díóðum. Við gætum náð sama árangri með brúafriðilsrás sem tengdist beint við 220V netspennuna. Kostur spennis tengdu rásarinnar er að komast af með tvær díóður sem getur í sumum tilfellum verið hagstætt einkum ef við þurfum spenni hvort sem er til að breyta netspennunni.

3. Brú-Tenging. Í brú tengingu þarf hindrunar spenna hverrar díóðu að vera jöfn toppgildi riðspennunnar. Þetta gildir líka þegar síuþéttir er í rásinni. Til að vera alveg nákvæmur er hindrunar spennan spennufalli einnar díóðu lægri en toppgildið. Þetta sést vel ef mynd 3.27 er skoðuð. Það er hins vegar óþarfa nákvæmni og formúlan fyrir hindrunarspennu í brútengingu verður:

$$U_{PIV} = U_m = \sqrt{2} \bullet U \qquad (3.16)$$

Sýnidæmi 3.14

Reiknaðu út hindrunar spennuna fyrir díóðurnar í sýnidæmi 3.6.

Lausn:

Virkagildið inn á afriðilsrásina er 12V. Við setjum þetta inn í formúlu (14) og fáum:

$$U_{PIV} = U_m = \sqrt{2} \bullet U = \sqrt{2} \bullet 12 = \underline{16,97V}$$

Spurningar og æfingadæmi.

1. Hvert er samhengið milli virkagildis og hámarksgildis riðspennu?

2. Hvað er meðalgildi afriðaðrar riðspennu stórt hlutfall af hámarksgildinu?

3. Hver er riðtími 50Hz riðspennu?

4. Teiknaðu mynd og útskýrðu hvernig straumur streymir í riðstraumsrás.

5. a) Teiknaðu mynd af hálfbylgju afriðilsrás.
   b) Útskýrðu af hverju rásin hleypir bara jákvæða helmingi riðspennunar í gegn.
   c) Hvernig getur þú tengt díóðuna til að fá neikvæða hálfriðið yfir álagið?

6. Hálfbylgju afriðilsrás er tengd 220V riðspennugjafa.
   Sleppað ~~a)~~ Hvert er meðalgildið yfir álagið?
   b) Hvert er meðalgildið yfir álagið ef síuþéttir er tengdur yfir það?

7. Teiknaðu mynd af gáruspennu og útskýrðu hana. Notaðu myndina til að útskýra formúluna:

   $U_{með} = U_m - 1/2 \cdot U_{gára}$

8. Af hverju verður meðalgildið á mynd 3.11c bein lína?

9. Teiknaðu og útskýrðu mynd af brúafriðli. Notaðu mynd 3.27 til að sýna fram á að tvær díóður leiða og tvær hindra í hverju hálfriði riðspennunnar.

10. Brúafriðill er tengdur spennubreyti sem breytir 220V í 110V. Álagið sem er tengt við afriðilinn tekur 500mA og síuþéttirinn er 640µF.
    a) Teiknaðu mynd af rásinni.
    b) Reiknaðu gáruspennuna.
    c) Reiknaðu meðalgildi jafnspennunnar yfir álagið. Gerðu ráð fyrir 0,7V spennutapi í díóðum.
    d) Teiknaðu mynd af spennunni yfir álagið.
    e) Spennan yfir þétti og álag fellur niður í ákveðið lágmark þegar þéttirinn afhleðst. Sýndu þetta lágmark á myndinni í lið d) og reiknaðu tölugildi þess.

11. Útskýrðu hugtakið hindrunar spenna díóðu.

12. Hve stór er hindrunar spennan í dæmi 10? Hvaða staðlaða gildi getur þú valið.

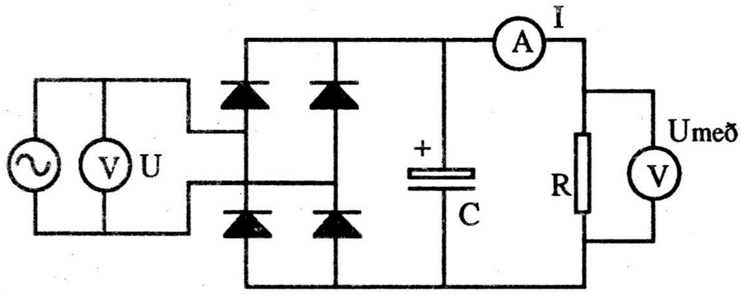
13. a) Teiknaðu mynd af spennistengdri heilbylgju afriðun með tveimur díóðum. Spennan á forvafi spennisins er 220V

b) Hve há þarf riðspennan á bakvafi spennisins að vera til að fá 13,8V meðalgildi yfir álagið?
c) Reiknaðu hindrunar spennu UPIV díóðanna.
d) Teiknaðu mynd af spennunni yfir álagið.

14. a) Teiknaðu mynd af hálfbylgju afriðli ásamt álagi.
b) Teiknaðu mynd af spennunni inn á afriðilinn og spennunni yfir álagið án þéttis.
c) Skrifaðu upp formúluna fyrir jafnspennuna yfir álagið, án þéttis.
d) Teiknaðu mynd af spennunni yfir álagið ef síuþéttir er tengdur yfir það.
e) Skrifaðu upp formúlu jafnspennunnar með þéttinum tengdum yfir álagið.
f) Útskýrðu gáruspennu (Ugára) og teiknaðu mynd af henni. Af hverju dregst helmingur gáruspennunnar frá toppgildi riðspennunnar til að fá út jafnspennugildið?

15.a) Teiknaðu mynd af heilbylgju afriðli ásamt álagi. (Brútengingu)
b) Teiknaðu mynd af spennunni inn á afriðilinn og spennunni yfir álagið án þéttis.
c) Skrifaðu upp formúluna fyrir jafnspennuna yfir álagið, án þéttis.
d) Teiknaðu mynd af spennunni yfir álagið ef síuþéttir er tengdur yfir það.
e) Skrifaðu upp formúlu fyrir meðalgildi jafnspennunnar með þéttinum tengdum yfir álagið.
f) Útskýrðu gáruspennu ($U_{gára}$) og teiknaðu mynd af henni.
g) Af hverju er gáruspennan lægri í heilbylgju afriðun en í hálfbylgju afriðun?

16. Eftirfarandi stærðir eru gefnar í rásinni á mynd 3.42: U = 18,9V, C = 950µF og I = 250mA.



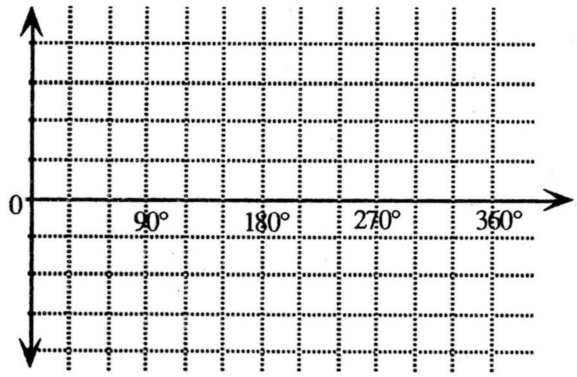
Mynd 3.42

a) $U_{með}$
b) $U_{gára}$
c) U_{PIV}. (Hámarks hindrunarspenna díóðunnar.)
d) Teiknaðu feril jafnspennunnar sem fall af tíma á millimetra pappír.

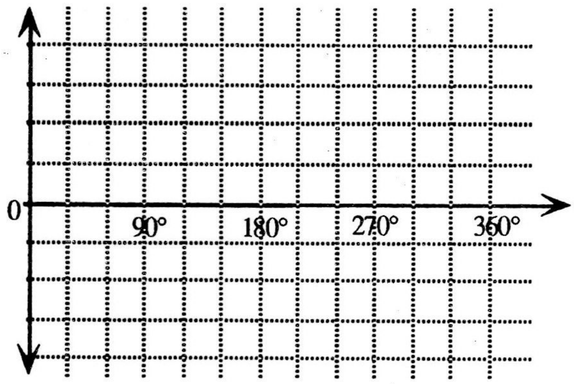
17. a) Teiknaðu mynd af brúafriðli með 1000µF síuþétti og álagi, sem tekur 500mA.

b) Teiknaðu inn á hnitakerfin á mynd 3.43, myndir af spennunum í rásinni, samkvæmt meðfylgjandi skýringum.

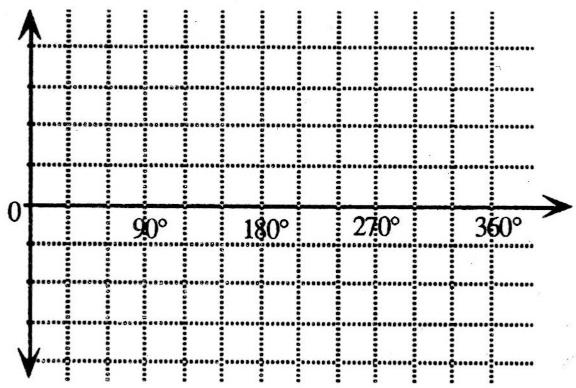
1. Mynd a. Spennuna inn á afriðilinn.
2. Mynd b. Spennuna yfir álagið ef þéttir er ekki tengdur.
3. Mynd c. Spennuna yfir álagið ef þéttir er tengdur en ekki álag.
4. Mynd d. Spennuna yfir álagið þegar þéttir er tengdur og álagið tekur 500mA.



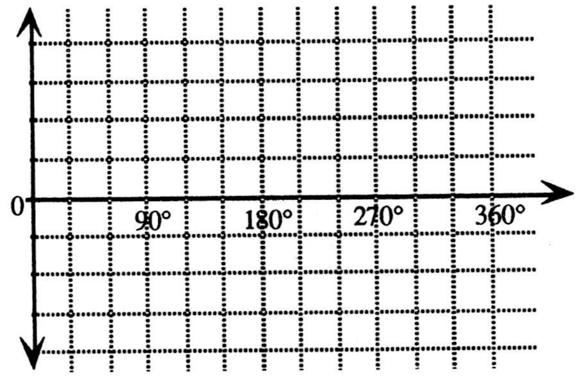
Mynd a



Mynd b



Mynd c

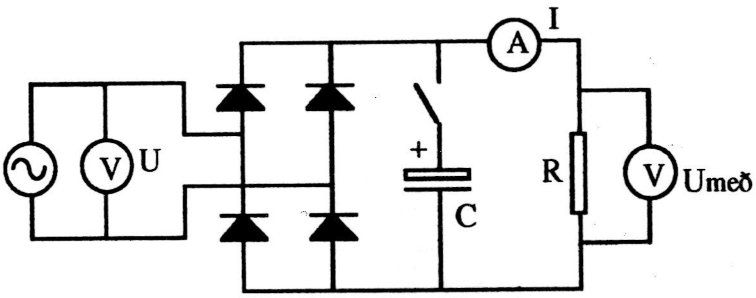


Mynd d

Mynd 3.43

c) Ef virktgildi riðspennunnar inn á afriðilinn er 12V, hve stór er þá afriðaða spennan á mynd 6c? En á mynd 6d?
d) Hvernig er hægt að bilanagreina afriðilsdíóðu með viðnámsmælingu? Teiknaðu skýringarmynd.

18. Eftirfarandi stærðir eru gefnar í rásinni á mynd3.44: $U = 24V$, $C = 1500\mu F$ og $I = 300mA$.



Mynd 3.44

Reiknaðu eftirfarandi stærðir þegar rofinn er í rofinni stöðu:
a) $U_{með}$
b) Viðnám álagsins.
c) U_{PIV}. (Hámarks hindrunarspenna díóðunnar.)
d) Teiknaðu feril jafnspennunnar sem fall af tíma á millimetra pappír.

19. Reiknaðu eftirfarandi stærðir í rásinni með dæmi 18 þegar rofinn er tengdur:
a) $U_{gára}$
b) $U_{með}$
c) U_{PIV}. (Hámarks hindrunarspenna díóðunnar.)
d) Teiknaðu feril jafnspennunnar sem fall af tíma á millimetra pappír.

20. a) Teiknaðu mynd af spennubreyti með afriðilsbrú (4 díóðum) og álagi.
b) Hvernig lítur spennan út yfir álagið?
c) Hve há er jafnspennan yfir álagið ef spennan inn á afriðilinn er 12V?

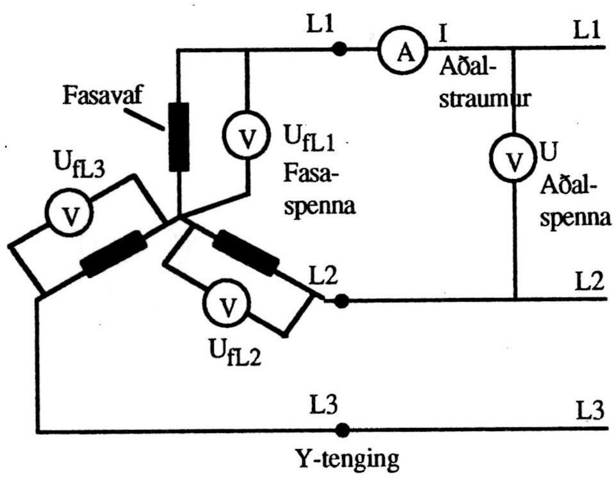
Þriggjafasa afriðun

Inngangur

Þriggjafasa afriðun getur gefið mun jafnari jafnspennu án síubúnaðar en einfasa afriðun. Þessi gerð afriðunar er því heppilegri sérstaklega þegar um er að ræða mikið afl, nokkur kW eða meira. Sem dæmi þar um má nefna notkun afriðla í stórum hleðslutækjum fyrir rafgeymasamstæður. Ýmiskonar efnaiðnað, s.s. álframleiðslu o.fl. Í farartækjum, sem eru með jafnstraumskerfi, er yfirleitt framleidd þriggjafasa spenna sem er síðan afriðuð með afriðilsdíóðum.

Nokkur hugtök í þriggjafasa rásum

Áður en lengra er haldið skulum við rifja upp nokkur hugtök úr þriggjafasa riðstraumsrásum. Sjá líka kafla 15 í Rafmagnsfræði 1. Mynd 3.50 sýnir vöf rafala (gæti líka verið bakvöf spennis) sem eru stjörnutengd (Y-tengd), mynd 3.50a, og þríhyrningstengd (Δ-tengd), mynd 3.50b. Spennan út af rafalanum er kölluð aðalspenna, táknuð með U. Spennan yfir hvert fasavaf er kölluð fasaspenna, táknuð með U_f. Í Δ-tengingu er aðalspennan jöfn fasaspennunni. Í Y-tengingunni er hlutfallið milli aðalspennu og fasaspennu $\sqrt{3}$ eða:

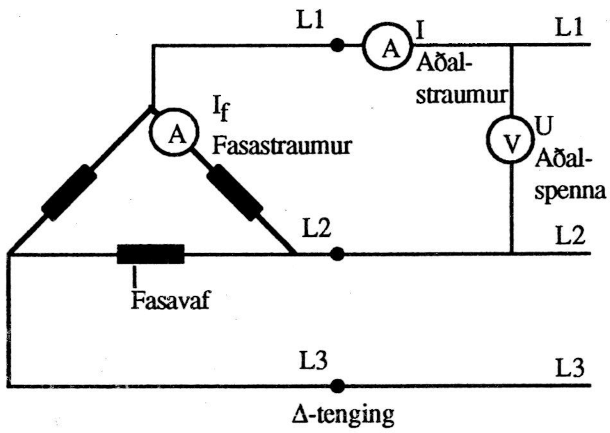


Mynd 3.50a

$$U = \sqrt{3} \cdot U_f \qquad (3.20)$$

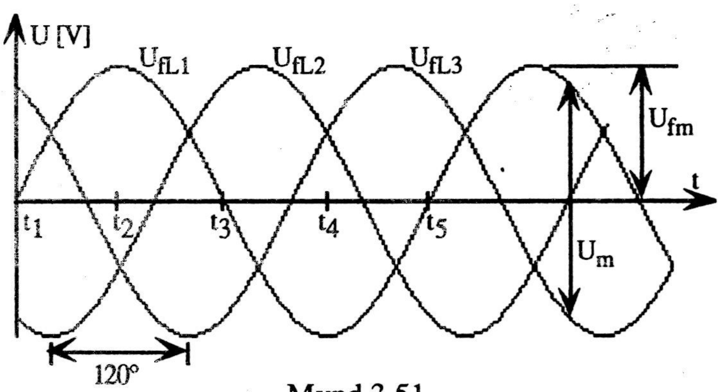
Spennupólar rafalans og leiðslurnar frá þeim eru merktir L_1, L_2 og L_3. Straumurinn í þeim er kallaður aðalstraumur I. Fasastraumur I_f er sá straumur kallaður sem streymir í gegnum hvert fasavaf. Í Y-tengingu eru aðal- og fasastraumarnir jafn stórir en í Δ-tengingunni er hlutfallið milli þeirra $\sqrt{3}$ eða:

$$I = \sqrt{3} \cdot I_f \qquad (3.21)$$



Mynd 3.50b

Á mynd 3.1 var sýnd sínuslaga riðspenna. Sú spenna getur t.d. myndast í einu fasavafi þriggjafasa rafla. Á mynd 3.51 eru þrjár slíkar spennur sýndar í sama hnitakerfi. Í þriggjafasa rafala er vöfunum komið fyrir í sátrinu með 120° millibili og því myndast eða spanast þrjár sjálfstæðar spennur þegar segulpólarnir hreyfast framhjá vöfunum. Á mynd 3.51 eru spennurnar þrjár merktar U_{fL1}, U_{fL2} og U_{fL3}. Inn á myndina er líka merkt hámarksgildi hverrar fasaspennu U_{fm}. Á milli fasaspennanna er svo aðalspennan U. Þar sem bilið er mest er hámarksgildi hennar U_m.



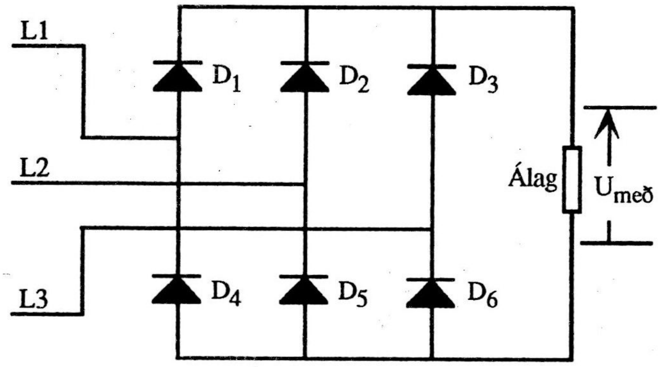
Mynd 3.51

Lítum aðeins nánar á mynd 3.51 og fylgjum breytingunni á U_{fL1}. Spennan vex frá núlli við tímann t_1 og nær jákæðu hámarki við tímann t_2, minnkar síðan aftur niður í núll við tímann t_3. Þar umpólast hún og vex í neikvæða átt og nær neikvæðu hámarki við tímann t_4, minnkar aftur og verður núll við tímann t_5. Þetta kallast eitt rið riðspennu. Við lýsinguna höfum við gengið út frá tímanum sem það tók spennuna að myndast en við hefðum líka getað hugsað þetta út frá snúningi segulpólanna í gráðum. Þá jafngildir tímabilið milli t_1 og t_2 90° snúningi segulpólanna og tíminn frá t_1-t_5 einum hring eða 360°. (Ath. að hér er gengið út frá einu pólpari í rafala þar sem rafmagns gráður jafngilda vélrænum gráðum.)

Á sama tíma og U_{fL1} fer í gegnum ofangreinda breytingu er U_{fL2} að nálgast neikvætt hámark og mætir U_{fL3} við tímann t_2. Þar eru þær jafn stórar. U_{fL2} er að minnka og nálgast núll og U_{fL3} er að stækka og nálgast neikvætt hámark.

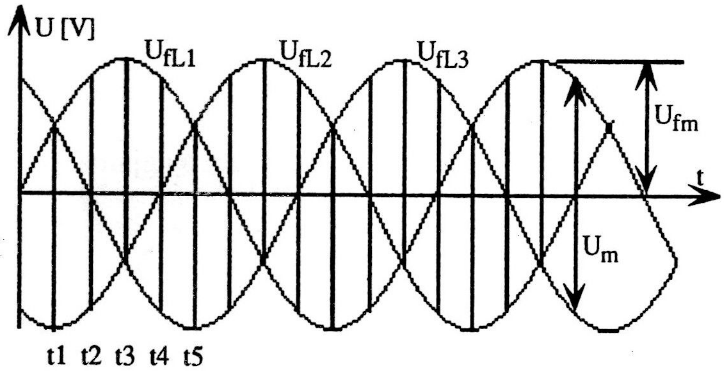
Þriggjafasa afriðun með sex díóðum

Ein algengasta aðferðin við afriðun þriggjafasa rafmagns er að nota rás með sex díóðum. Hún er líka kölluð heilbylgju afriðun samanber afriðun með fjórum díóðum í einfasa rásum. Í sumum bókum er talað um hana sem sex-púlsa afriðun vegna þess að við fáum sex púlsa eða spennutoppa í hverju riði eða hverjum 360°. Bilið milli þeirra er þá 60° Mynd 3.53 sýnir slíka afriðilsrás ásamt álagi. Díóðurnar eru merktar D_1 til D_6. Punktarnir L_1-L_3 gætu t.d. komið frá rafala eins og á mynd 3.50.



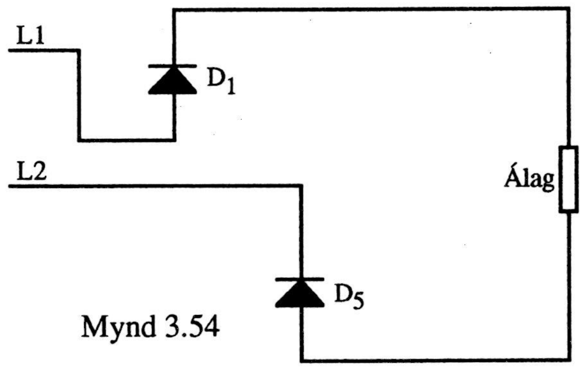
Mynd 3.52

Hvernig virkar svo 6 díóðu afriðilsrás?



Mynd 3.53

Til að skilja það skulum við skoða myndir 3.51 og 3.53 í samhengi. Við skulum hugsa okkur að við getum fylgst með breytingunni á því augnabliki sem U_{fL1} mætir U_{fL3}, verður m.ö.o. jákvæðari. Þetta augnablik er merkt t1 á mynd 3.53. Þessi spenna kemur anóðumegin á díóðu D_1 á mynd 3.52. Á þessu sama augnabliki er U_{fL2} neikvæðari en U_{fL3}. Díóðurnar D_1 og D_5 fá því jákvæðari spennu á anóðurnar en á katóðurnar og leiða. Straumrásin er sýnd á mynd 3.54. Þar sjáum við að álagið tengist beint við L_1 og L_2, þ.e.a.s. tengist aðalspennu spennugjafans. Þetta ástand varir að tímanum t_2. Þá verður U_{fL3} neikvæðari en U_{fL2} og díóðurnar D_5 og D_6 skipta um hlutverk, D_5 hindrar og D_6 verður leiðandi. Næsta skipting gerist við tímann t_3 þegar U_{fL2} verður jákvæðari en U_{fL1}. Þá skipta díóðurnar D_1 og D_2 um hlutverk. Og þannig koll af kolli.



Mynd 3.54

En hve stór er þá spennan yfir álagið?

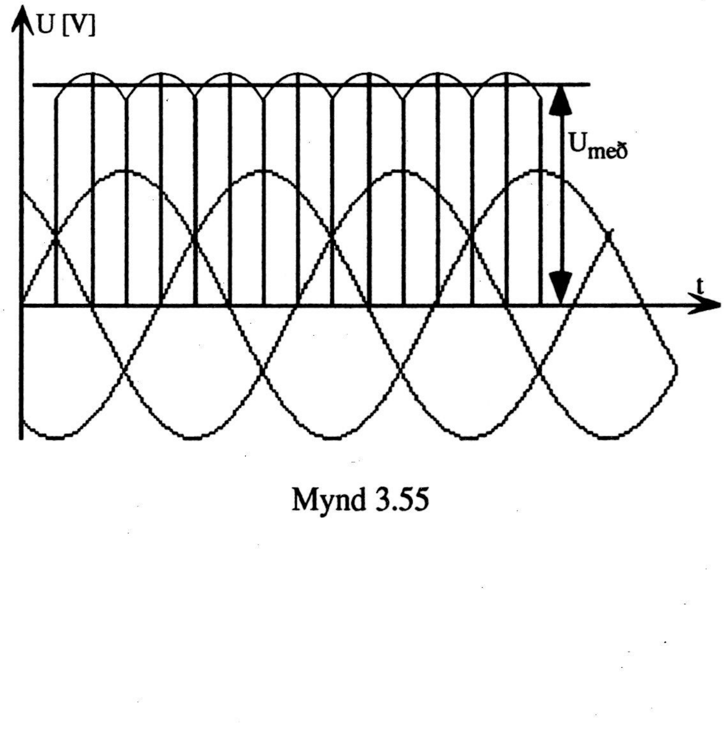
Á mynd 3.53 eru dregnar línur með 30° millibili á milli tveggja fasaspennanna. Þessar línur sýna spennumuninn milli fasa eða m.ö.o. aðalspennuna en það er sú spenna sem verður á hverju augnabliki yfir álagið. Ef við mælum með reglustiku lengd U_{fm} og og lengstu fjarlægð milli tveggja fasa mælist $U_{fm} = 35$mm og $U_m = 61$mm. Hlutfallið hér á milli er $\sqrt{3}$ en það einmitt hlutfallið milli aðal- og fasaspennu. Við getum því gengið út frá að spennan yfir álagið sé nálægt hámarksgildi aðalspennunnar.

En hvert er meðalgildið yfir álagið?

Stefna straumsins í gegnum álagið er alltaf sú sama, þ.e.a.s. jafnstraumur eða jafnspenna. Ef við flytjum allar línurnar á mynd 3.53 upp á núllásinn fáum við röð af mislöngum línum. Ef við hefðum teiknað línurnar þéttar hefðu þær myndað bylgjulínuna sem er teiknuð við línuendana. Þessi bylgjulína sýnir okkur hvernig afriðaða spennan lítur út á sveiflusjá. Teldu toppana. Þeir eiga að vera 6 á hverjar 360° eða hvert rið.

En hve stór er spennan?

Á mynd 3.55 er búið að teikna línu í gegnum bylgjurnar sem táknar meðaltal af hæsta og lægsta gildi. Við sjáum að þessi lína er aðeins neðanvið hámarksgildi aðalspennunnar. Við getum því búist við að $U_{með}$ yfir álagið sé örlítið lægri en U_m.



Mynd 3.55

Með tegrunarreikningi er hægt að reikna þetta meðaltal. Formúlan sem fæst út úr þeim reikningi er eftirfarandi:

$$U_{með} = \frac{3}{\pi} U_m \qquad (3.22)$$

$3/\pi \approx 0{,}95$ svo við sjáum að meðalgildið er um 95% af hámarksgildi aðalspennunnar inn á afriðilinn. Oftast notum við virkagildi riðspennunnar. Þegar það er sett í staðin fyrir hámarksgildið fær formúlan þetta útlit:

$$U_{með} = \frac{3}{\pi}\sqrt{2} \bullet U$$

Við sáum hér fyrir ofan, á mynd 3.54, að tvær díóður leiða í senn. Ef við tökum tillit til spennufallsins í þeim breytist formúlan fyrir þriggjafasa heilbylgju afriðun í:

$$U_{með} = \frac{3}{\pi}\sqrt{2} \bullet U - 2 \bullet U_D \qquad (3.23)$$

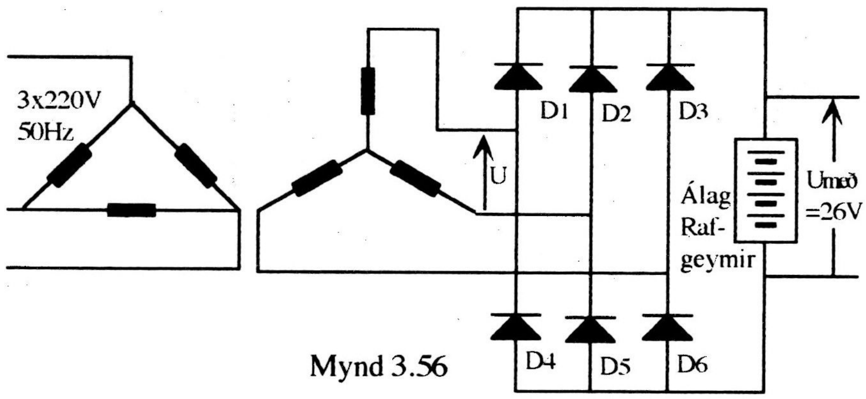
Sýnidæmi 3.20

Þú ætlar að útbúa 6 díóða afriðil fyrir hleðslutæki sem á að hlaða 24V rafgeymi. Þú gerir ráð fyrir að hleðsluspennan verði 2V hærri en spenna geymisins. Hleðslutækið tengist 3x220V riðspennugjafa.

a) Teiknaðu mynd sem sýnir afriðilsrásina ásamt spenni og álagi (geymi).
b) Hve há þarf spennan að vera á bakvafi spennisins til fá 26V hleðsluspennu á rafgeyminn? Taktu tillit til spennutaps í díóðum.

Lausn:

a) Sjá mynd 3.56. Forvaf spennisins er tengt í þríhyrning og bakvafið í stjörnu.



Mynd 3.56

b Við notum formúlu 3.23 og leysum hana með tilliti til U:

$$U_{með} = \frac{3}{\pi}\sqrt{2} \bullet U - 2 \bullet U_D$$

$$U_{með} + 2 \bullet U_D = \frac{3}{\pi}\sqrt{2} \bullet U$$

$$U = \frac{\pi}{3\sqrt{2}}\left(U_{með} + 2 \bullet U_D\right)$$

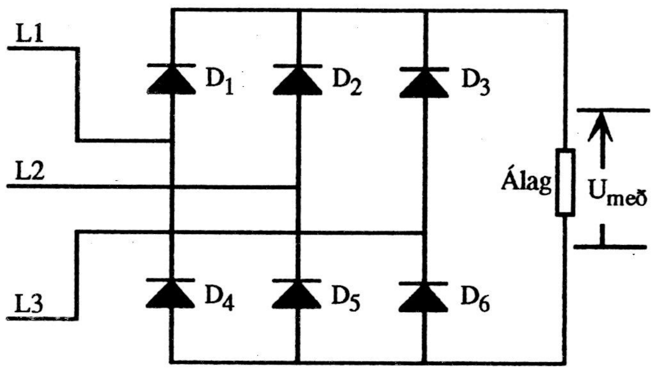
Setjum 26V fyrir $U_{með}$ og 0,7V fyrir U_D:

$$U = \frac{\pi}{3\sqrt{2}}(26 + 2 \bullet 0{,}7) = \underline{20{,}3V}$$

Spennan á bakvafi spennisins þarf s.s. að vera 20,3V. Það segir okkur líka að spennirinn þarf að breyta 220V riðspennunni niður í 20,3V fyrir sjálfan afriðilinn.

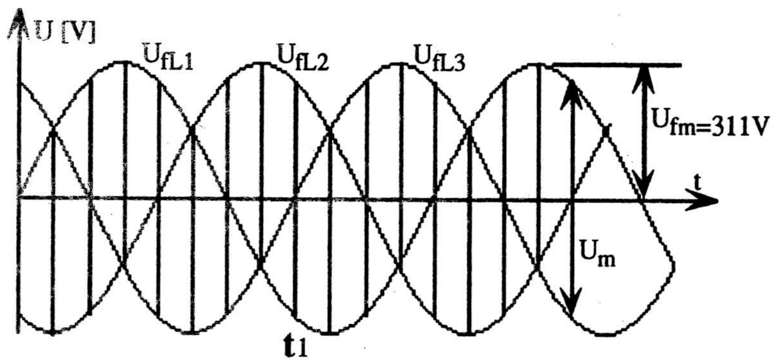
Sýnidæmi 3.21

Inn á afriðilinn á mynd 3.57 er sett þriggjafasa spennan á mynd 3.58.



Mynd 3.57

a) Hvaða díóður eru leiðandi við tímann t_1?
b) Hve stór er spennan $U_{með}$ yfir álagið ef hámarks fasaspennan U_{fm} er 311V? Það þarf ekki að taka tillit til spennufalls í díóðum.
c) Hvernig lítur spennan $U_{með}$ út ef hún er skoðuð með sveiflusjá? Teiknaðu mynd.



Mynd 3.58

Lausn:

a) Við tímann t_1 er spennan U_{fL2}, sem kemur á díóðu D_2, jákvæð. Spennan í fasa L_3 er núll á þessu augnabliki og spennan inn á L_1 neikvæð. Díóðurnar D_4 og D_2 hljóta því að vera leiðandi við tímann t_1.
b) Samkvæmt formúlu 3.20 er samhengið milli fasaspennu og aðalspennu $\sqrt{3}$. Það skiptir ekki máli hvort þú gengur út frá virku gildunum eða hámarks gildunum þegar um

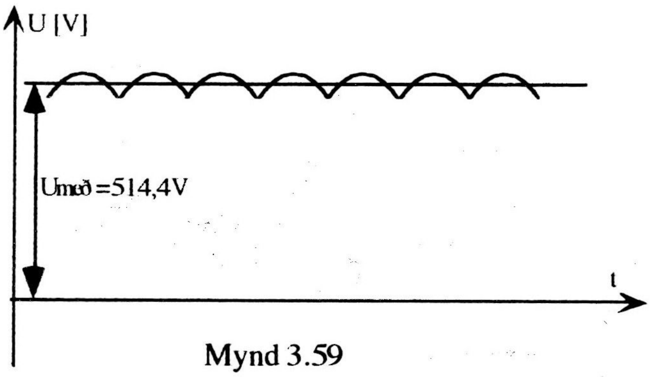
hlutfall er að ræða. Við finnum því fyrst U_m með formúlu 3.20:

$$U_m = \sqrt{3} \bullet U_{fm} = \sqrt{3} \bullet 311V = 538,7V$$

Setjum þetta inn í formúlu 3.22 og fáum:

$$U_{með} = \frac{3}{\pi} U_m = \frac{3}{\pi} \bullet 538,7 = \underline{514,4V}$$

c) Sjá mynd 3.59



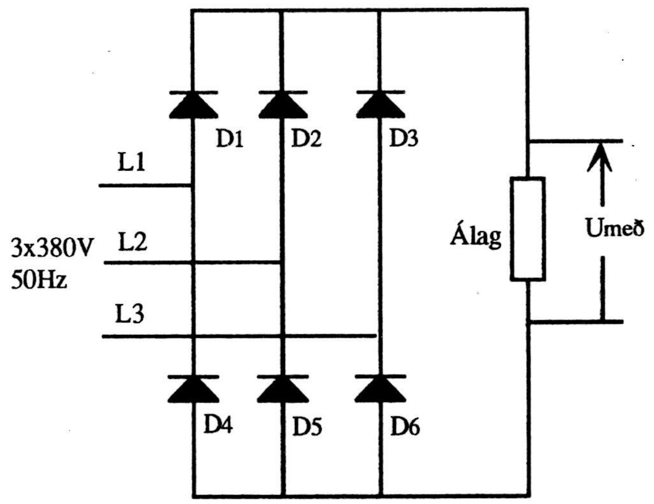
Mynd 3.59

Spurningar og æfingadæmi.

21 a) Teiknaðu mynd af heilbylgju, þriggjafasa afriðilsrás, ásamt álagi og spennumælum til að mæla riðspennuna inn og jafnspennuna yfir álagið.
Sýndu með mynd útlit jafnspennunnar eins og hún lítur út á sveiflusjá.
Hve margir toppar eru í einu riði?

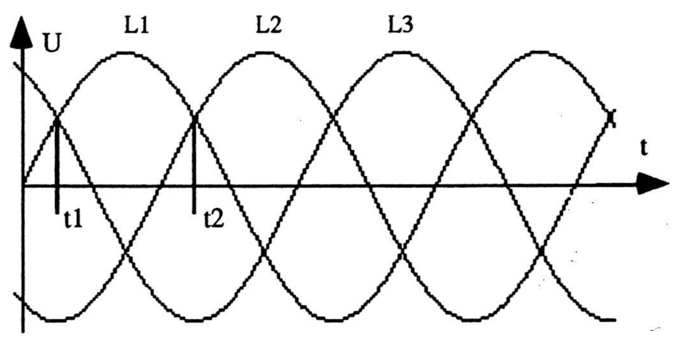
b) Hver verður jafnspennan út úr afriðlinum í lið 2.1 ef riðspennan inn á hann er 24V. Taktu tillit til spennutaps í díóðunum. Merktu spennugildin inn á myndina í lið a) eins og þú myndir mæla þau með spennumælum

22 a) Hve há er $U_{með}$ á mynd 3.60?



Mynd 3.60

b) Hvaða díóður á mynd 3.60 eru leiðandi á tímabilinu t1-t2, sem kemur fram á mynd 3.61?
Tilgreindu tímabilið, sem hver díóða leiðir.



Mynd 3.61

23 a) Teiknaðu mynd af þriggjafasa afriðilsrás með 6 díóðum, ásamt álagi og spenni.

b) Þú ætlar að nota afriðilinn til að hlaða 12V rafgeymi.
Hve háa spennu (virktgildi) þarf spennirinn að gefa inn á

afriðilsrásina? Þú skalt miða við að hleðsluspennan þurfi að vera einu volti hærri en málspenna geymisins.

24 a) Teiknaðu mynd af þriggjafasa afriðilsrás með 6 díóðum. Sýndu líka spenni og álag.

b) Reiknaðu út riðspennugildið, sem þarf inn á afriðilinn í lið a), til að gefa 13,8V jafnspennu yfir álagið. Taktu tillit til díóðuspennutapsins.