Fö 12 - TSFS11 Energitekniska System
Lik- och Växelriktning

Christofer Sundström

15 maj 2018

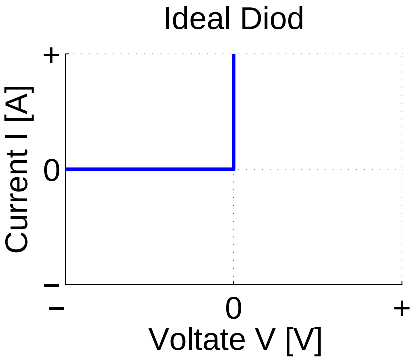
Outline

Kraftelektronik, översikt

- Används för att omvandla elektriska spänningar och strömmar
- Bred flora av komponenter, gemensamt är förmågan att switcha och agera strömventiler
  Exempel:
  - Diod, Zenerdiod
  - IGBT / FET - Transistorer
  - Diac, Triac, Tyristor
- Skillnaden mellan komponenterna är i princip möjligeten att styra dem, samt vilka strömmar och spänningar de tål.
- Olika tillämpningar
  - Likriktare - För att göra växelspänning till likspänning
  - Växelriktare - För att göra växelspänning av lik- eller växel-spänning

Likriktning, grunder

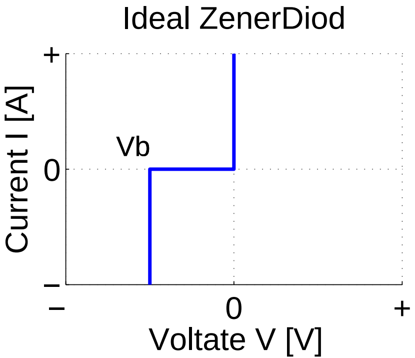
Aktiv komponent: Diod



- Leder i framriktningen
- Spärrar i backriktningen

Likriktning, grunder

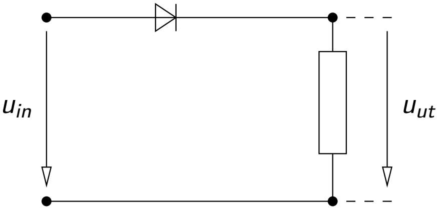
Aktiv komponent: Zenerdiod

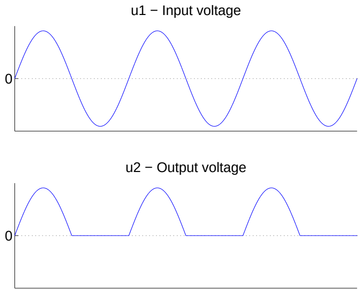


- Leder i framriktningen
- Spärrar i backriktningen till backspänningen (zenerspänningen) är uppnådd.

Likriktning, grunder

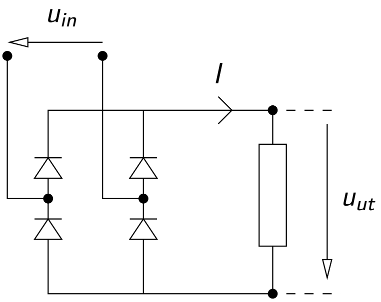
Enklaste fallet: **Enfas - Halvvågslikriktare** (Enpulskoppling)

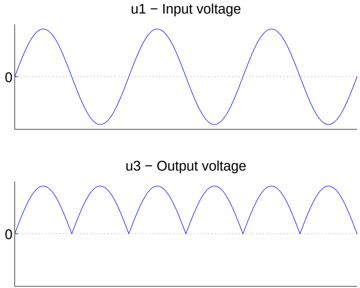




Likriktning, grunder

Steg 2 - **Enfas** - **Fullvågslikriktare** (Tvåpulskoppling)

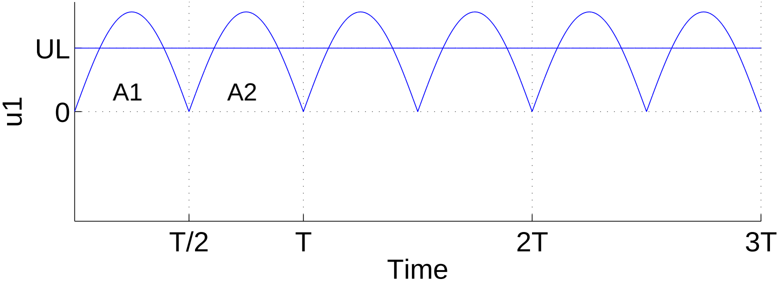




Likriktat medelvärde, exempel

Beräkna likriktade medelvärdet U_L av $u(t) = \hat{u} \cdot \sin(\omega t)$ för

1. Halvvågslikriktare, A1 är arean under en periodtid.
2. Helvågslikriktare, A1 + A2 är arean under en periodtid.



Likriktat medelvärde - repetition spänningar

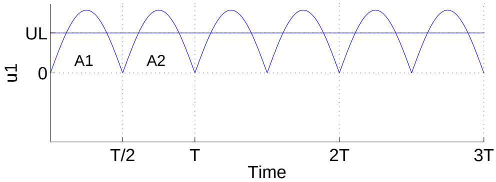
Olika mått på spänningens storlek

Storhet	Värde
Toppvärde	$\hat{u}$
Medelvärde	U_L
Effektivvärde	U

- Effektivvärdet är användbart vid effekt-räkningar där medeleffekten är intressant eftersom $p(t) = \frac{u^2(t)}{R}$.
- Medelvärdet är användbart för räkningar på t.ex. liksströmsmaskiner där medeleffekten är mindre intressant än medelspänningen.

Likriktat medelvärde, exempel

Beräkna likriktade medelvärdet U_L av $u(t) = \hat{u} \cdot \sin(\omega t)$



Helvåg:

$$U_L = \frac{1}{T}\int_0^T u(t)dt = \Big/ A_1 = A_2 \Big/ = \frac{1}{T} \cdot \left\{ 2 \cdot \int_0^{\frac{T}{2}} u(t)dt \right\} =$$

$$= \Big/ \omega = 2\pi f = \frac{2 \cdot \pi}{T} \Big/ = \frac{\omega}{\pi} \cdot \int_0^{\frac{\pi}{\omega}} \hat{u} \sin(\omega t)\, dt =$$

$$= \frac{\omega}{\pi} \cdot \hat{u} \left[\frac{-\cos(\omega t)}{\omega} \right]_0^{\frac{\pi}{\omega}} = \frac{\hat{u}}{\pi} [-\cos(\pi) - -\cos(0)] =$$

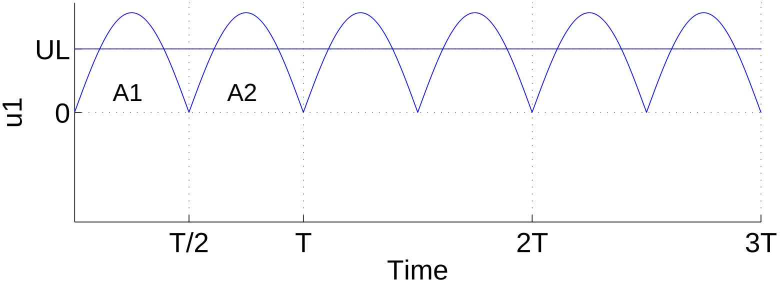
$$= \frac{\hat{u}}{\pi} [- -1 + 1] = \frac{2\hat{u}}{\pi}$$

Halvvåg: $A_2 = 0 \Rightarrow U_L = \frac{\hat{u}}{\pi}$

Effektivvärde av sinus (RMS)

Beräkna **effektivvärdet** U av $u(t) = \hat{u} \cdot \sin(\omega t)$ för helvågslikriktare (RMS = Root Mean Square = Effektivvärde)

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u(t)^2 dt}$$



Matematisk utvikning, Eulers sinussamband

Euler-formler: sinus-samband från $e^{jx} = \cos x + j \cdot \sin x$
(Istället för att memorera en massa trigonometriska formler)

$$e^{jx} = \cos(x) + j \cdot \sin(x) \quad \text{Detta räcker för att härleda resten}$$

$$e^{-jx} = \cos(-x) + j \cdot \sin(-x) = \cos(x) - j \cdot \sin(x)$$

$$\Longrightarrow$$

$$\sin x = \frac{e^{jx} - e^{-jx}}{2j}$$

$$\cos x = \frac{e^{jx} + e^{-jx}}{2}$$

$$\sin^2 x = \left(\frac{e^{jx} - e^{-jx}}{2j}\right)^2 = \frac{e^{2jx} + e^{-2jx} - 2e^0}{-4} = \frac{1 - \cos 2x}{2}$$

Effektivvärde av sinus (RMS)

Beräkna **effektivvärdet** av $u(t) = \hat{u} \cdot \sin(\omega t)$

$$U = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T u(t)^2 dt} = \sqrt{\frac{\hat{u}^2}{T}\left(\int_0^{T/2} \sin^2(\omega t)dt + \int_{T/2}^{T} \sin^2(\omega t)dt\right)} =$$

$$= \sqrt{\frac{2\hat{u}^2}{T}\int_0^{T/2} \sin^2(\omega t)dt} = \Big/ \sin^2(\omega t) = \frac{1-\cos(2\omega t)}{2}, \quad T = \frac{2\pi}{\omega} \Big/ =$$

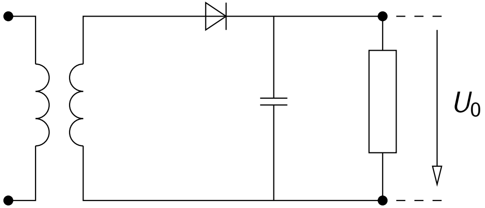
$$= \sqrt{\frac{2\hat{u}^2}{2\pi}\omega \int_0^{\frac{\pi}{\omega}} \left(\frac{1}{2} - \frac{\cos(2\omega t)}{2}\right) dt} = \hat{u}\sqrt{\frac{\omega}{\pi}\left(\int_0^{\frac{\pi}{\omega}} \frac{1}{2}dt - \int_0^{\frac{\pi}{\omega}} \frac{\cos(2\omega t)}{2}dt\right)} =$$

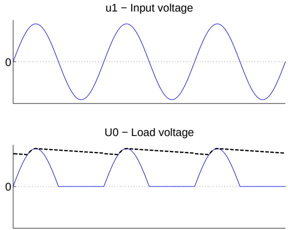
$$= \hat{u}\sqrt{\frac{\omega}{\pi}\left(\left[\frac{t}{2}\right]_0^{\frac{\pi}{\omega}} - \left[\frac{\sin(2\omega t)}{4\omega}\right]_0^{\frac{\pi}{\omega}}\right)} = \hat{u}\sqrt{\frac{\omega}{\pi}\left(\frac{\pi}{2\omega} - 0\right)} = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}}$$

Värden på olika spänningar i enfas likriktare

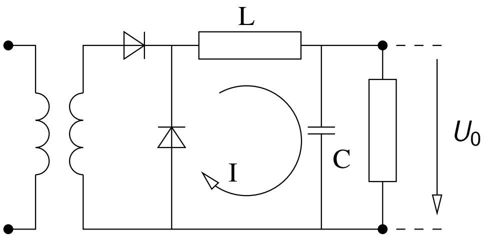
Storhet	Halvvåg	Hel-/Full-våg
Toppvärde	$\hat{u}$	$\hat{u}$
Medelvärde	$U_L = \frac{\hat{u}}{\pi}$	$U_L = \frac{2\hat{u}}{\pi}$
Effektivvärde	$U = \frac{\hat{u}}{2}$	$U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}}$

Exempel på likriktare: Krets med kondensator + Spole





a) Glättning, kapacitansen laddas upp på *sinus-topparna* och driver sedan lasten.

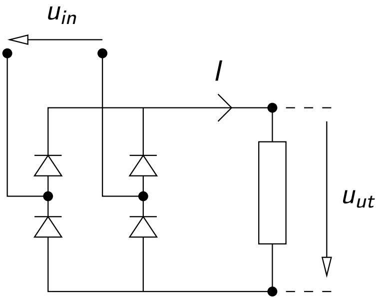


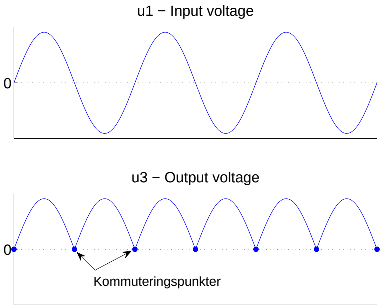
b) Drossel/Spole och frihjulsdiod

b) Matnings-sinusen laddar upp kapacitansen genom drosseln som då laddar upp magnetfält. När spänningen sjunker så fortsätter drosseln ladda upp kondensatorn genom att istället dra strömmen genom frihjulsdioden.

Kommuteringspunkter

Betrakta tvåpulskopplingen





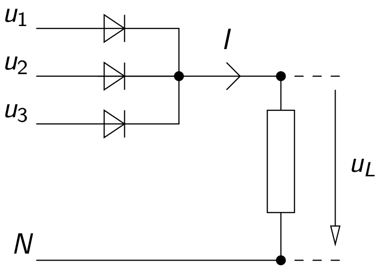
När spänningen passerar nollan så byts dioderna av så att de som förut spärrade leder o.s.v. Detta kallas **kommuteringspunkter**

Kommuteringspunkter

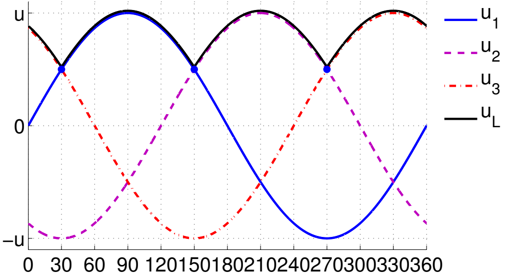
Kommuteringspunkterna behöver inte alltid inträffa vid noll-genomgång.

Likriktning, Trepulskoppling

Trepulskoppling (3-fas till DC)



Den Diod som för tillfället känner högst spänning leder medan de andra spärrar. Kommuteringspunkterna blir 30°, 150°, 270° o.s.v.

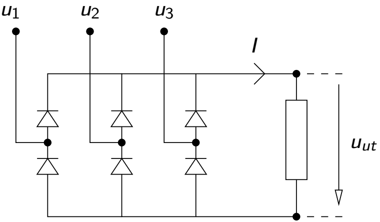


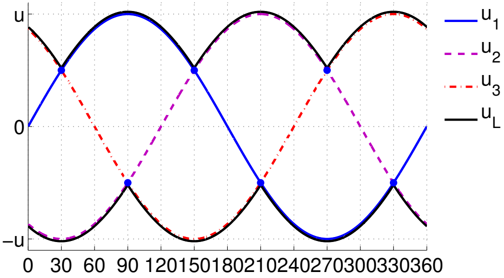
För trepulskopplingen fås likriktat medelvärde enligt nedan

Storhet	**Värde**
Toppvärde	$\hat{u} = \hat{u}_F$
Medelvärde	$U_L = \frac{3\sqrt{3}\cdot\hat{u}_F}{2\cdot\pi} = \frac{3\cdot\hat{u}_H}{2\cdot\pi}$

Likriktning, Sexpulskoppling

Sexpulskoppling





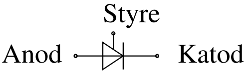
Dioderna leder parvis så att spänningen u_{ut} blir maximala skillnaden mellan de tre fasspänningarna. Kommuteringspunkterna blir 30°, 90°, 150° o.s.v.

För sexpulskopplingen fås likriktat medelvärde enligt nedan

Storhet	**Värde**
Toppvärde	$\hat{u} = \hat{u}_F$
Medelvärde	$U_L = \frac{3\sqrt{3}\cdot\hat{u}_F}{\pi} = \frac{3\cdot\hat{u}_H}{\pi}$

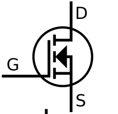
Styrning av likspänning, komponenter

Tyristor, styrbar diod

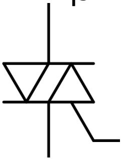


FET Transistor, Transistor med mycket hög isolation.

Tål hög spänning och ström

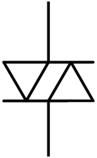


TRIAC Dubbelriktad tyristor kopplade till samma styre.



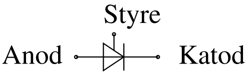
DIAC Dubbelriktad tyristordiod. Utan styre,

spontantänder vid ca 20V.



Styrning av likspänning, Tyristorn

Tyristor - Symbol



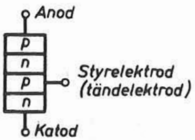
Tyristorn kan inta tre olika tillstånd

- Ledande, när ström flyter från anod till katod
- Spärrande, när en yttre spänning försöker driva ström baklänges, från katod till anod.
- Blockerande tillstånd, när en yttre spänning försöker driva ström från anod till katod, men ström i styret saknas.

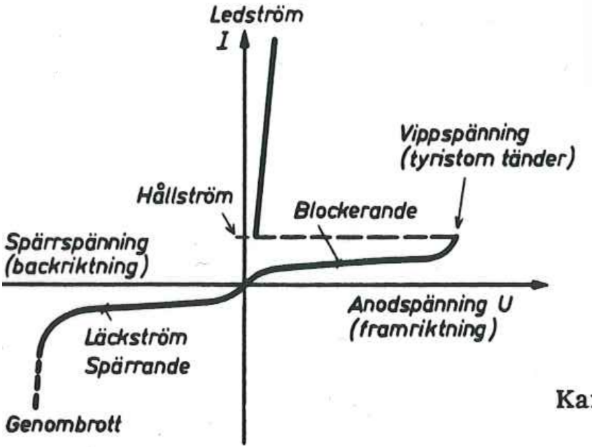
Tyristor, funktion

En tyristor tänds med hjälp av en strömpuls på styret. När tyristorn väl börjat leda så fortsätter den av sig själv så länge strömmen genom tyristorn är större än den s.k. hållströmmen.

Styrning av likspänning, Tyristorn forts.

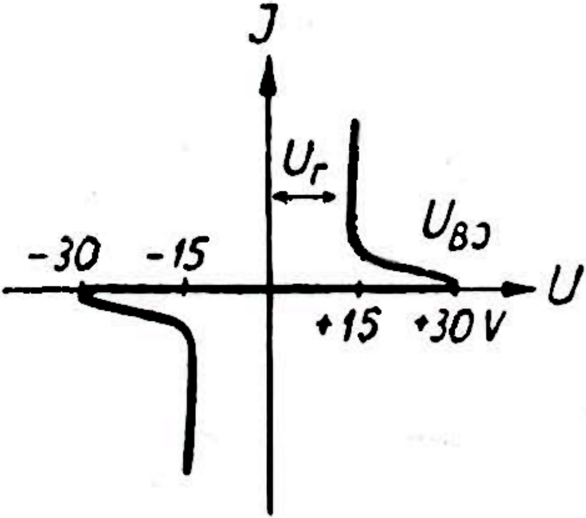


Schematisk uppbyggnad av tyristor med skikt av p- och n-typ



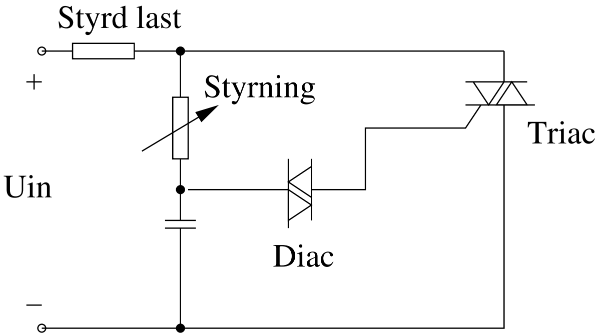
Karakteristik för tyristor

Styrning av likspänning, spänningsutseende för DIAC



DIAC-en är en dubbelriktad Tyristor (som TRIAC-fast utan styre) som tänder automatiskt vid en viss tändspänning. (Här U_{BJ})

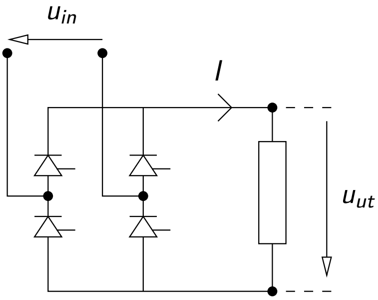
Styrning av likspänning, Exempelkrets med DIAC som tänder TRIAC

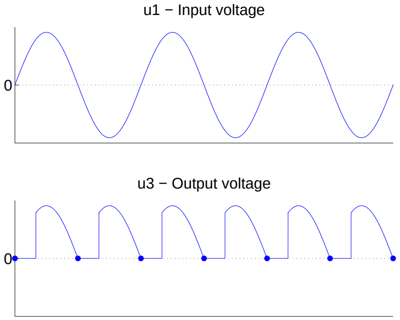


DIAC-en tänder automatiskt när spänningen över kondensatorn passerar tändspänningen. DIAC-en används i sin tur för att tända TRIAC-en som då släpper på ström genom den styrda lasten. Den varibla resistansen kan därmed användas för att justera tändvinkeln för TRIAC-en.

Styrning av likspänning, Exempel

Helstyrd tvåpulskoppling



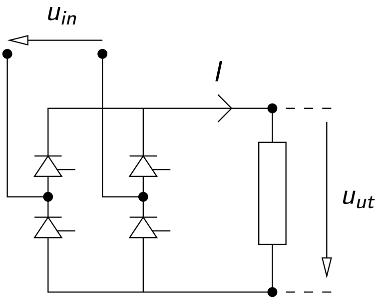


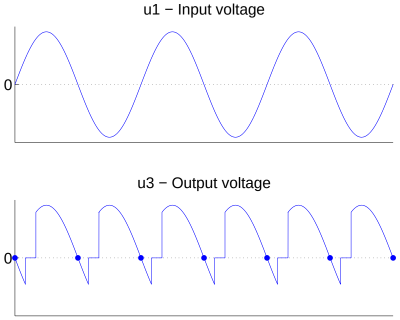
Tändvinkel $\alpha = 60°$, resistiv last

Exempel på styrning: Tändvinkeln α för tyristorerna räknas från den **naturliga kommuteringspunkten**.

Styrning av likspänning, Exempel

Helstyrd tvåpulskoppling - Induktiv last

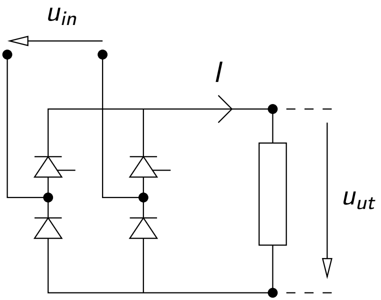




Tändvinkel $\alpha = 60^{\circ}$, starkt induktiv last

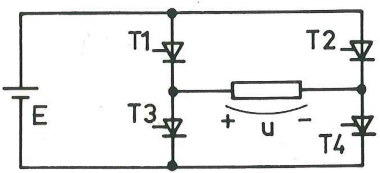
När matnings-spänningen över tyristorn växlar tecken fortsätter den induktiva lasten att dra ström och håller tyristorn öppen.

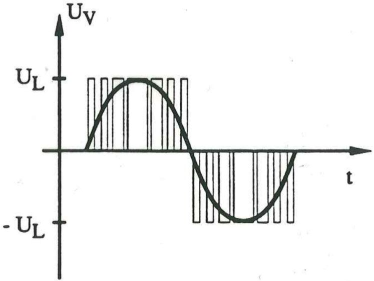
Halvstyrd tvåpulskoppling

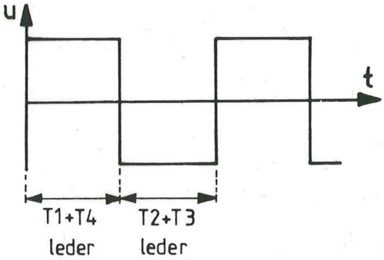


- Billigare än helstyrd
- Används i princip alltid om inte syftet är att agera växelriktare.

Växelriktning, grunder







Exempel på grundkrets för växelriktning och tillhörande utseende på utspänning. Elmaskinernas induktanser filtrerar kurvan så att strömmen som uppstår i lindningarna närmar sig sinusform.

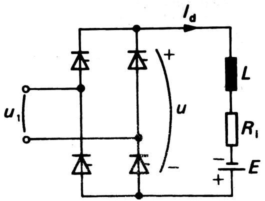
De förluster som uppstår i dioderna är beroende av diodernas switchtid i förhållande till switchfrekvensen.

Växelriktning, nätstyrd växelriktare

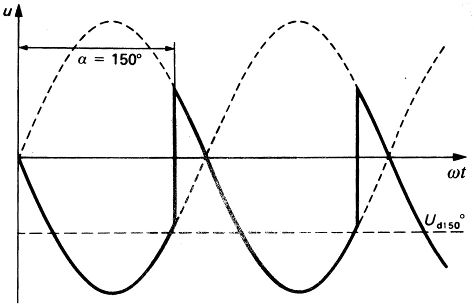
En nätstyrd växelriktare är en styrd likriktare som arbetar i växelriktar-mode.

De styrda likriktar-kopplingar som endast har tyristorer (s.k. *rena* kopplingar) kan även användas som likriktare.

Växelriktning, exempel - Tvåpulskoppling växelriktardrift



Figur 5.54. Nätstyrd tvåpuls växelriktare.
a. Koppling.

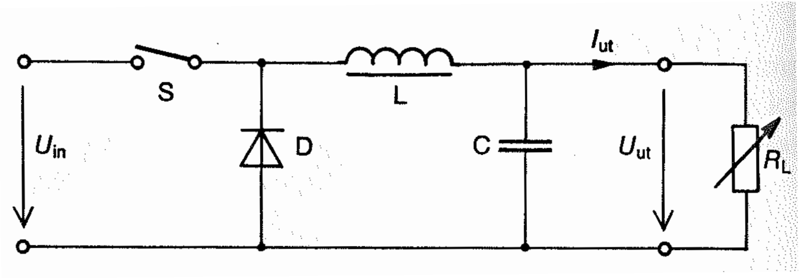


Figur 5.54.
c. Spänning vid α = 150°.

$$u \propto \cos\alpha \rightarrow \alpha \in \{90°, 180°\}$$

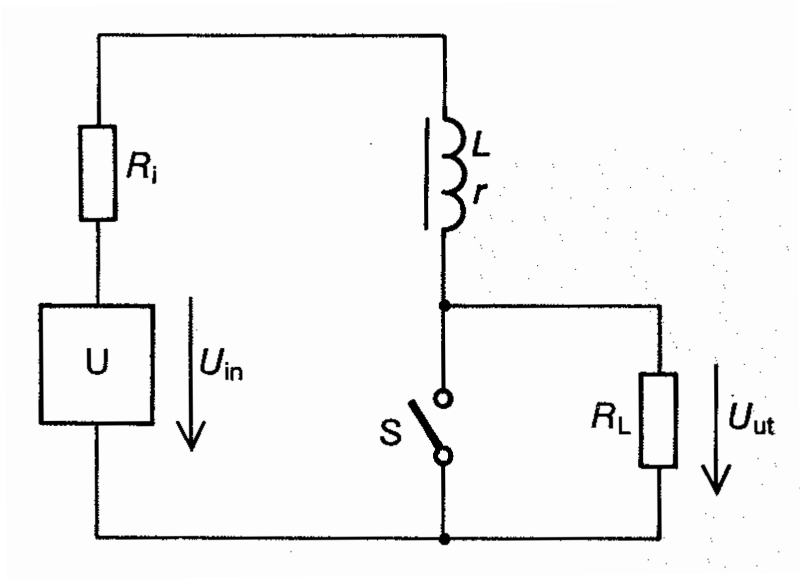
Vid HVDC-överföring arbetar sändarstationen som styrd likriktare och mottagarstationen som nätstyrd växelriktare. Reaktiv effekt måste genereras på mottagarsidan.

Likspänningsomriktare, Step Down



- När S är sluten blir $U_{ut} = I_{ut} R_L$
- När S är öppen är U_{in} bortkopplad. I_{ut} passerar då dioden D, spolen L, och lasten R_L. Strömmen avtar med tiden och går mot noll.
- U_{ut} blir medelvärdet av spänningen över dioden.

Likspänningsomriktare, Step Up



Exempel: Styrd likriktare

En tyristorstyrd trepulslikriktare ansluts till ett trefasnät med huvudspänning $U_H = 400$ V.

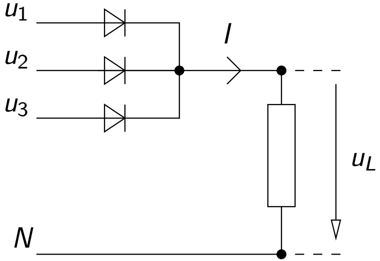
a) Rita ett kretsschema för kopplingen och sätt ut spänningar och strömmar.

b) Skissa spänningen över lasten för de två fallen med rent resistiv samt starkt induktiv last och tändvinkel $\alpha = 30°$.

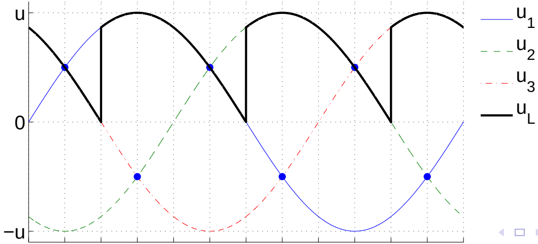
c) Vilken tändvinkel α skall tyristorerna ges för att den likriktade spänningens medelvärde skall bli 120 V? Antag att den anslutna lasten är rent resistiv.

Exempel: Styrd likriktare, lösning

a)



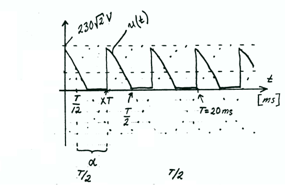
b) Figurerna för induktiv och resistiv last blir helt identiska eftersom tändvinkeln endast är 30°



Exempel: Styrd likriktare, lösning

c)

Låt x vara fördröjningen till tillslag mätt i periodandelar enligt figuren nedan.



Vi får då

$$U_L = 120\text{V}$$

$$U_L = \frac{1}{T}\int_0^T u(t)\cdot dt = \frac{3}{T}\int_{x\cdot T}^{T/2} u(t)\cdot dt = \frac{3}{T}\int_{x\cdot T}^{T/2} 230\cdot\sqrt{2}\cdot\sin\left(\omega\cdot t\right)\cdot dt =$$

$$= \Big/ T = \frac{2\pi}{\omega} \Big/ = \frac{3\cdot\omega}{2\pi}\cdot 230\sqrt{2}\left[\frac{-\cos\left(\omega\cdot t\right)}{\omega}\right]_{\frac{2\pi x}{\omega}}^{\frac{\pi}{\omega}} =$$

$$= 155,3\left[-\cos\left(\pi\right)+\cos\left(2\pi x\right)\right] \Longrightarrow$$

$$\Longrightarrow \cos\left(2\pi x\right) = \frac{120-155,3}{155,3} \Rightarrow x = 0.287$$

T motsvarar 360° så xT motsvarar $103,20^\circ$ och

$\alpha = 103,20 - 30 = 73,2^\circ$