



F2: Nätkommuterade likriktare

Diod- och Tyristorlikriktare

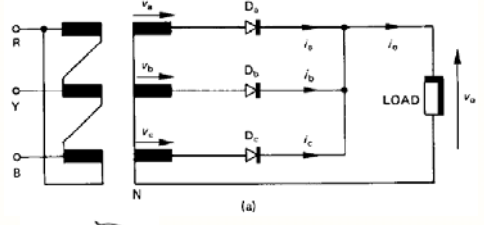
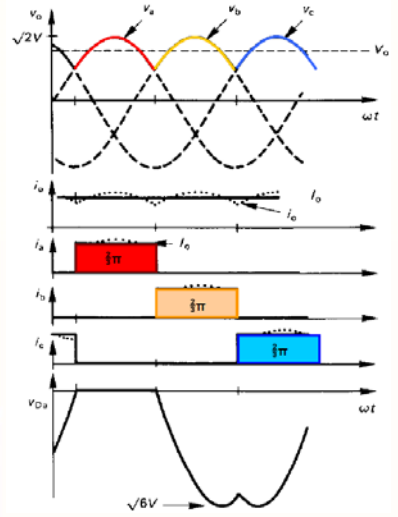


Allmänt om likriktare

- Den enfasiga diodlikriktaren utgör basen för att förstå hur likriktare fungerar
- Trefasiga likriktare är vanligast från kW-området och uppåt
- Styrda likriktare (med tyristorer) vanligt från 20 kW och uppåt



Trefasig ostyrd halvågslikriktare med RL-last

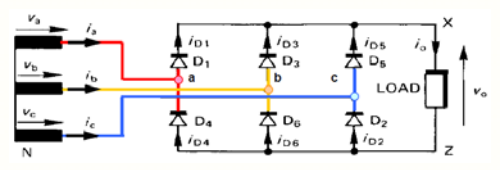
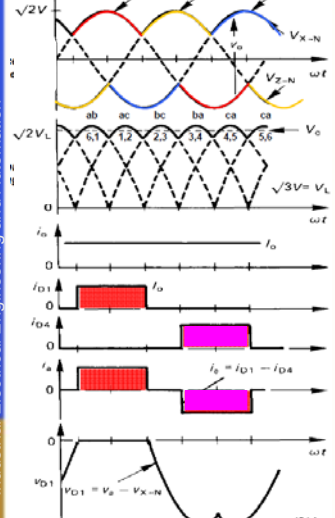


- Saknar praktisk betydelse
- Enbart viktig för förståelse!
- Läs kursivt!

Figure 11.11. Three-phase half-wave diode rectifier: (a) circuit diagram and (b) circuit voltage and current waveforms.



Trefasig ostyrd helvågslikriktare med RL-last



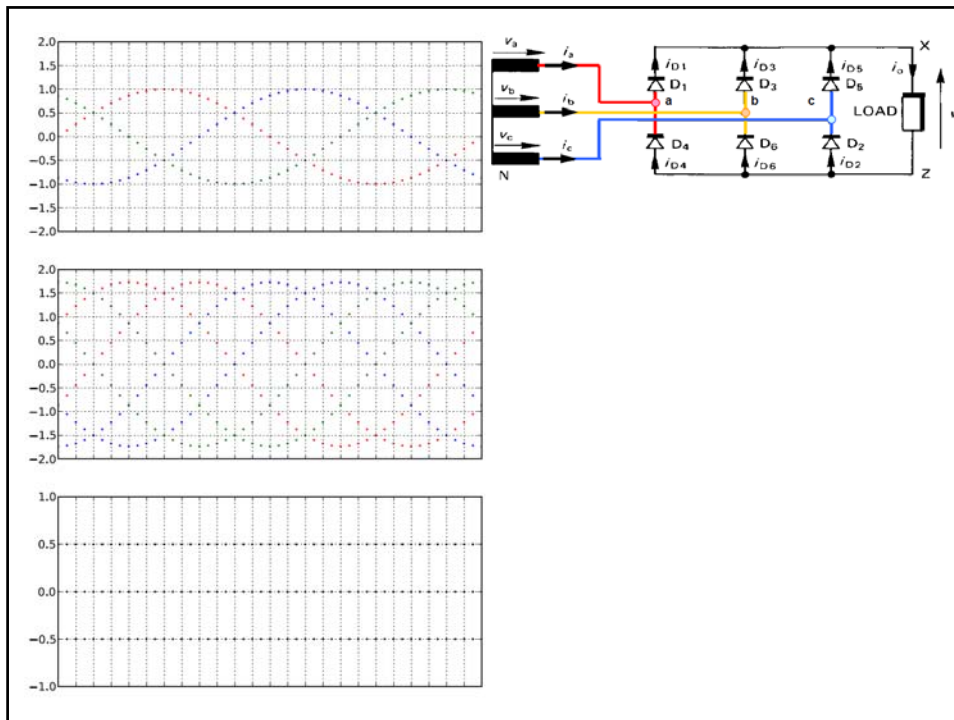
$$\begin{aligned}
 v_o(\omega t) &= \bar{V}_o + V_{o,6} \cos 6\omega t \\
 &= \frac{3}{\pi} \sqrt{2} V_L + \frac{3}{\pi} \sqrt{2} V_L \frac{2}{(n^2-1)} \cos n\omega t \quad \text{for } n=6 \\
 &= \frac{3}{\pi} \sqrt{2} V_L + \frac{3}{\pi} \sqrt{2} V_L \times \frac{2}{35} \cos 2\omega t \\
 &= 1.35 V_L + 0.077 V_L \cos 2\omega t
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 i_a &= i_{D1} - i_{D4} \\
 i_b &= i_{D3} - i_{D6} \\
 i_c &= i_{D5} - i_{D2}
 \end{aligned}$$

- Vanligt förekommande
- Viktigt! Ska kunna härleda V_o och veta att 6:e ton förekommer

Figure 11.13. Three-phase full-wave bridge rectifier: (a) circuit connection and (b) voltage and current waveforms.





Trefasig ostyrd halvågslikriktare

- Oavsett hur lasten (dvs mellanledet) ser ut så beräknas likspänningens medelvärde (vid ansluten drift) som:

$$\begin{aligned}
 \bar{V}_o &= \frac{1}{T_n} \int_0^{T_n} v_o dt = \frac{1}{T_n/6} \int_0^{T_n/6} v_o dt = \frac{1}{T_n/6} \int_{-T_n/12}^{T_n/12} \hat{v}_{LL} \cdot \cos(\omega t) dt = \\
 &= \frac{1}{T_n/12} \int_0^{T_n/12} \hat{v}_{LL} \cdot \cos(\omega t) dt = \frac{1}{T_n/12} \cdot \left[\frac{\hat{v}_{LL} \cdot \sin(\omega t)}{\omega} \right]_0^{T_n/12} = \\
 &= \frac{\hat{v}_{LL}}{\omega T_n/12} \cdot \left(\sin\left(\frac{\omega T_n}{12}\right) - \sin(0) \right) = \frac{\hat{v}_{LL}}{2\pi/12} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{12}\right) = \\
 &= \frac{6\hat{v}_{LL}}{\pi} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{6}\right) = \frac{6\sqrt{2}V_{LL}}{\pi} \cdot \frac{1}{2} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \cdot V_{LL} = 1.35 \cdot V_{LL}
 \end{aligned}$$

- Hur hög blir likspänningens medelvärde vid obelastad likriktare?



Trefasig ostyrd halvågslikriktare

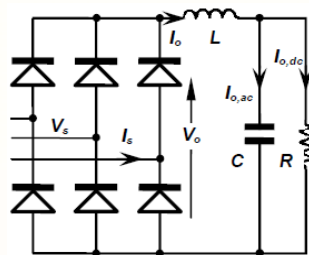
- Oavsett hur lasten (dvs mellanledet) ser ut så beräknas likspänningens rms-värde (vid ansluten drift) som:

$$\begin{aligned}
 V_{o,rms} &= \sqrt{\frac{1}{T_n} \int_0^{T_n} v_o^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T_n/6} \int_{-T_n/12}^{T_n/12} \hat{v}_{LL}^2 \cdot \cos^2(\omega t) dt} = \\
 &= \sqrt{\frac{\hat{v}_{LL}^2}{T_n/6} \int_{-T_n/12}^{T_n/12} \frac{1}{2} (1 + \cos(2\omega t)) dt} = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \frac{\hat{v}_{LL}^2}{T_n/12} \int_0^{T_n/12} (1 + \cos(2\omega t)) dt} = \\
 &= \sqrt{6 \cdot \frac{\hat{v}_{LL}^2}{T_n} \left[t + \frac{\sin(2\omega t)}{2\omega} \right]_0^{T_n/12}} = \sqrt{6 \cdot \frac{\hat{v}_{LL}^2}{T_n} \cdot \left(\frac{T_n}{12} + \frac{\sin(\pi/3)}{2\omega} \right)} = \\
 &= V_{LL} \sqrt{\left(1 + \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} \right)} = 1.352 \cdot V_{LL}
 \end{aligned}$$

- Hur hög blir likspänningens rms-värde vid obelastad likriktare?



Vanligaste trefas diodlikriktaren LC-filter

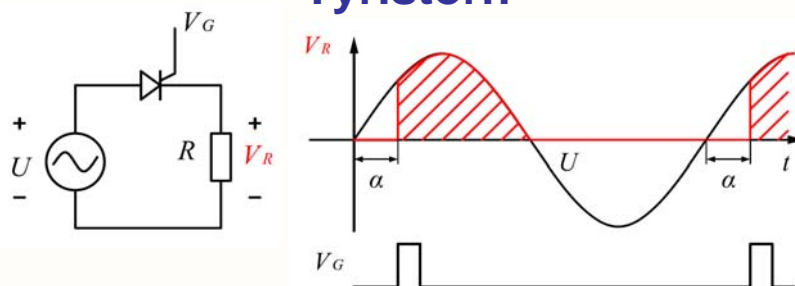


Styrda nätkommuterade likriktare

- Bryggor motsvarande diodlikriktare men med någon eller några (men inte nödvändigtvis alla) dioderna ersatta av tyristorer.
- Läs kap 12.1 kursivt - inte så viktigt!
- Läs kap 12.2 – 12.4 viktigare men studera med förstånd!



Tyristorn

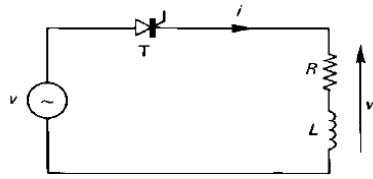
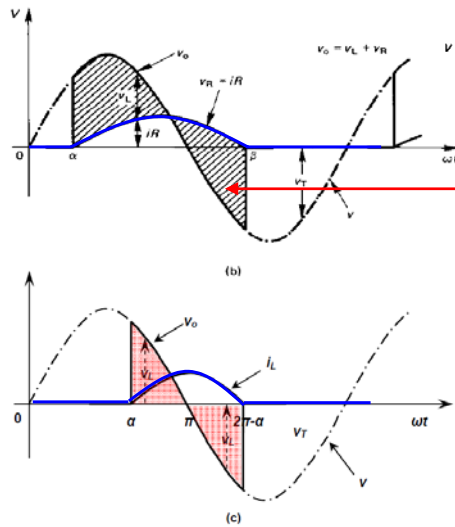


Tänds med en strömpuls på gaten, om den är framspänd
Släcks när den backspänns

Tändvinkeln α motsvarar färförskjutningen från det läge när motsvarande diod skulle ha börjat leda (alltid, oberoende av bryggtyp)!



Styrd halvågslikriktare, *RL*-last



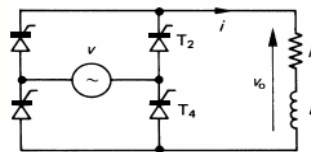
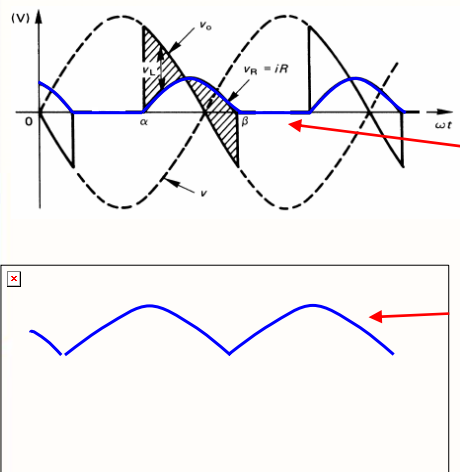
Induktansens *spänningstidyta* är noll över en period:

$$v_L = L \frac{di_L}{dt} \Rightarrow i_L = \frac{1}{L} \int v_L$$

Rent induktiv last: Strömmen max när spänningen har nollgenomgång



Styrd enfas halvågslikriktare, *RL*-last



Icke ansluten drift (DCM)
strömmen noll ibland

$$V_o = \bar{I}_o R = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\beta} \sqrt{2} V \sin \omega t \, d\omega t$$

$$= \frac{\sqrt{2} V}{\pi} (\cos \alpha - \cos \beta)$$

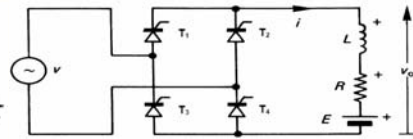
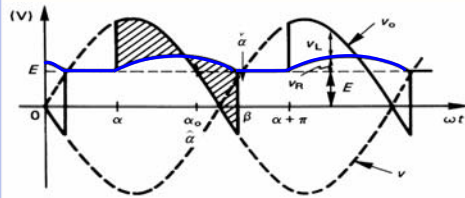
Ansluten drift (CCM)
strömmen aldrig noll

$$V_o = \frac{2\sqrt{2} V}{\pi} \cos \alpha$$

Bör kunna härleda dessa!



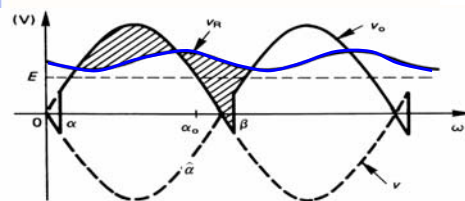
Styrd enfas halvågslikriktare, *RLE*-last



Icke-ansluten drift

$$V_o = \frac{\sqrt{2}V}{\pi} \left(\cos \alpha - \cos \beta + (\pi + \alpha - \beta) \frac{E}{\sqrt{2}V} \right)$$

$$0 < \beta - \alpha < \pi$$



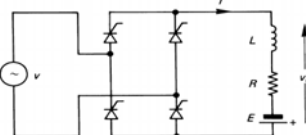
Ansluten drift

$$V_o = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} \sqrt{2} V \sin \omega t \, d\omega t$$

$$= \frac{2\sqrt{2}V}{\pi} \cos \alpha$$

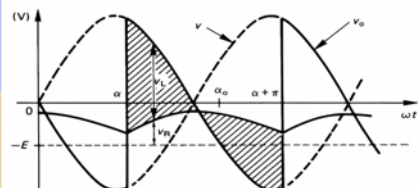
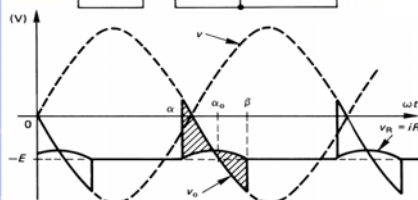


Enfas växelriktare



$$V_o = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi+\alpha} \sqrt{2} V \sin \omega t \, d\omega t$$

$$= \frac{2\sqrt{2}V}{\pi} \cos \alpha \quad \beta = \pi - \alpha$$



Om $\alpha > \pi/2$ blir medelspänningen över *RLE*-lasten negativ.

Strömmen i kan bara vara positiv

Effekten byter riktning, dvs tyristorbryggan arbetar som växelriktare

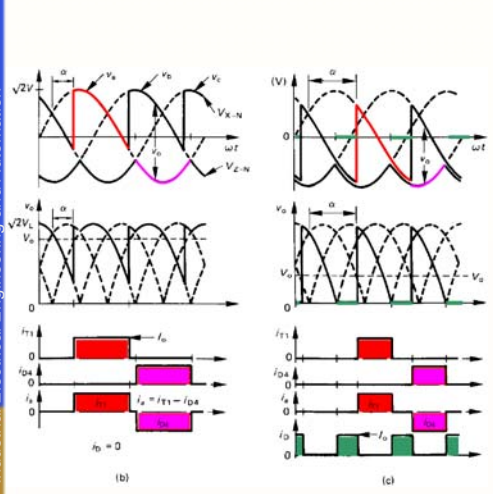
$$0 < \alpha < 90^\circ \rightarrow V_o > 0 \quad P_o > 0 \quad i_o > 0 \quad \text{rectification}$$

$$90^\circ < \alpha < 180^\circ \rightarrow V_o < 0 \quad P_o < 0 \quad i_o > 0 \quad \text{inversion}$$

Figure 12.9. A full-wave controlled converter with an inductive load and negative emf source: (a) circuit diagram; (b) voltage waveforms for discontinuous load current; and (c) continuous load current.



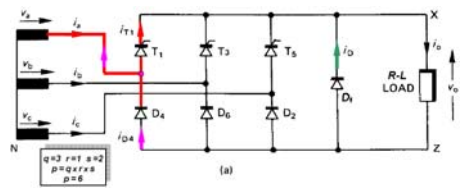
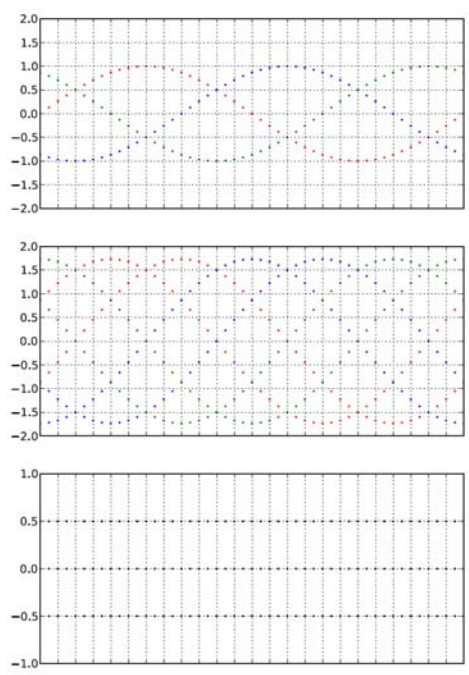
Halvstyrd trefas likriktarbrygga



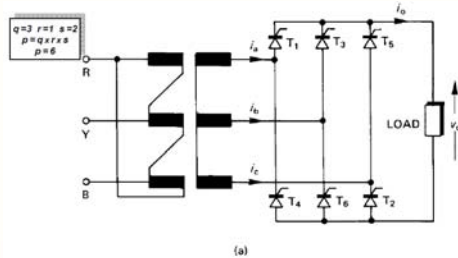
Används för att begränsa inkopplingsströmstöten vid uppladdning av mellanledet. Vid drift styrs den som om den vore en vanlig diodlikriktarbrygga

$$\bar{V}_o = \frac{3\sqrt{2}}{2\pi} \cdot V_L \cdot (1 + \cos \alpha)$$

Figure 12.10. Three-phase half-controlled bridge converter: (a) circuit connection; (b) voltage and current waveforms for a small firing delay angle α ; and (c) waveforms for a large.



Trefas styrd halvågslikriktare, RL -last



$$\begin{aligned}\bar{V}_o(t) &= \frac{3}{\pi} \int_0^{\pi/3} v_o(\omega t) d\omega t = \\ &= \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \cdot V_L \cdot \cos \alpha\end{aligned}$$

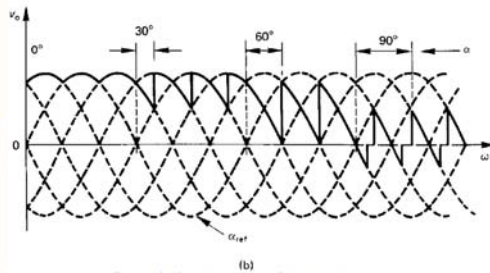


Figure 12.13. A three-phase fully controlled converter: (a) circuit connection and (b) load voltage waveform for four delay angles.



Sammanfattning

Strömmen till en trefasig diodlikriktare innehåller en **6:e** ton

Tändvinkeln α i en tyristorlikriktare räknas alltid från den tidpunkt där motsvarande diod skulle börja leda

Tändvinkel $\alpha < 90^\circ$ innebär att tyristorbryggan arbetar som **likriktare**

Tändvinkel $\alpha > 90^\circ$ innebär att tyristorbryggan arbetar som **växelriktare**

Tändvinkel $\alpha = 0^\circ$ innebär att tyristorbryggan beter sig som en **diodlikriktare**

