



F1: Introduktion till Kraftelektronik



Definition av kraftelektronik

Den engelska motsvarigheten till kraft elektronik är "Power electronics". På Wikipedia kan man hitta följande definition:

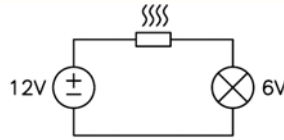
"Power electronics is the application of solid-state electronics for the control and conversion of electric power."

En sådan definition säger inte mycket om ämnet!



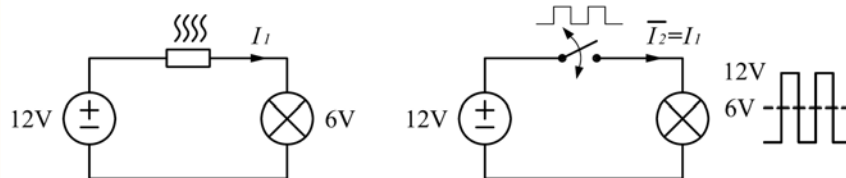
Ändra spänning och frekvens

- Seriereglering
 - Stor effektförlust
- Transformator
 - Fungerar bara för växelspänning
 - Ändrar inte frekvensen
- Roterande omformare
 - Fast förhållande mellan f_1 och f_2
 - Mekaniskt slitage
- Lösning
 - Kraftelektronik...



Vad vill man åstadkomma med kraftelektronik?

- Man vill höja verkningsgraden!
- Inte så mycket av miljöhänsyn (dvs spara energi)!
- Snarare för att minska värmen man måste kyla bort!



- En annan stor fördel är att transformatorerna (i de fall där galvanisk separation behövs) kan göras väldigt mycket mindre än vid 50 Hz.



Var används det?

- Elmotordrift
pumpar, fläktar, kranar, tåg, elbilar
- Kraftsystem
HVDC, sol/vindkraft,
reaktiv effektkompensering,
aktiv filtrering
- Strömförsörjning
TV apparater, datorer, batteriladdare, UPS
och på många andra ställen...



Switchat slutsteg?

- Krafterlektronisk omvandlare baseras alltså på fasta tillståndets elektronik (solid state electronics) alltså halvledare!
- Inom krafterlektronik arbetar halvledarna dock inte i linjära området utan som switchar dvs "av" (off) eller "på" (on)
- För en bipolär-transistor (BJT) innebär off strypt (cut-off)
- För en BJT innebär on bottnad (saturated)
- I schema ritas ofta halvledarna som brytare



Verkningsgraden hos ett Switchat slutsteg

- Maximal verkningsgrad hos ett linjärt slutsteg: $\eta < 78.5\%$
- Typisk verkningsgrad hos en industriell frekvensomriktare med $P_n > 10$ kW: $\eta > 98\%$
- ABB HVDC-Classic omformarstation (baserad på tyristor teknik): $\eta > 99.3\%$
- ABB HVDC-Light omformarstation (baserad på transistor teknik): $\eta > 98.7\%$



Vad tas upp i kursen?

- Krafterlektroniska grundkretsar som likriktare, switchade nättaggregat, likspänningsomvandlare och växelriktare
- Krafthalvledare som dioder, tyristorer och transistorer
- Halvledarförluster och kylning
- Skyddskretsar för krafthalvledare (snubbers)
- Drivkretsar för krafthalvledare
- Passiva komponenter som induktorer, transformatorer och kondensatorer



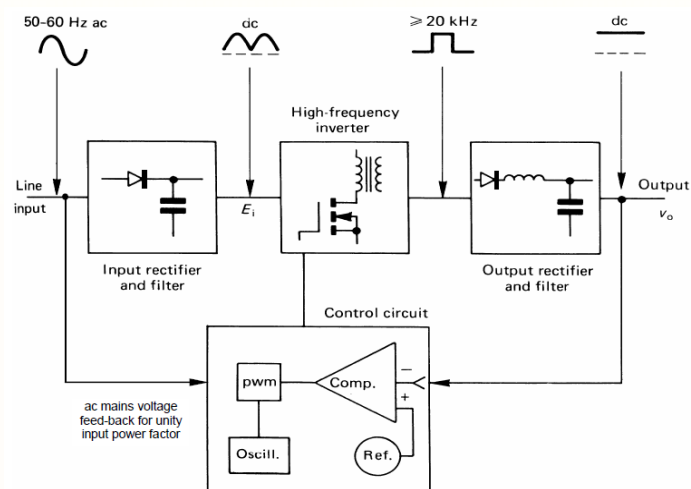
Klassificering av omvandlare

- Likriktare (eng. rectifier eller AC-DC converter):
Omvandling från växelspanning till likspänning
- Likspänningsomvandlare (Eng. DC-DC converter):
omvandling från en likspänningsnivå till en annan
- Växelriktare (eng. inverter eller DC-AC converter):
Omvandling från likspänning till växelspanning

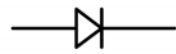
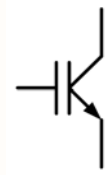
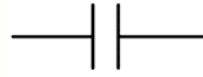
Det är vanligt att en omvandlare består av flera omvandlingssteg tex först en likriktare och därefter en växelriktare.



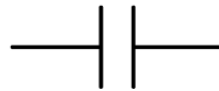
Exempel: Switchat nätaggregat



De viktigaste komponenterna i Kraftelektronik

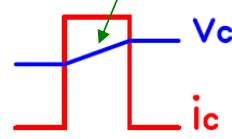
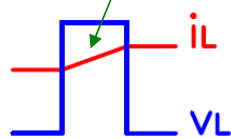


Induktans och Kapacitans



$$v_L = L \frac{di_L}{dt}$$

$$i_c = C \frac{dv_c}{dt}$$

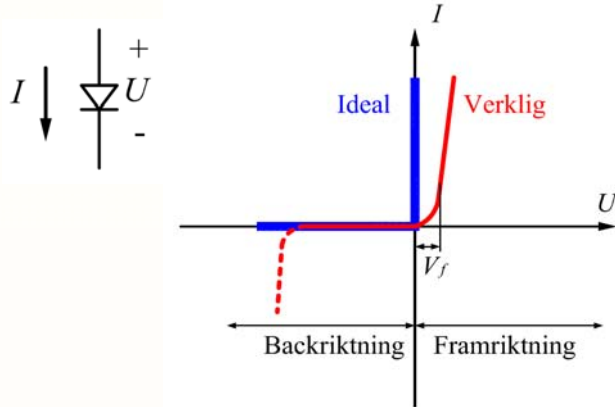


$$W_L = \frac{1}{2} L I_L^2$$

$$W_C = \frac{1}{2} C V_C^2$$



Dioden

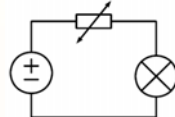


"Till" / "från" bestäms av kretsen

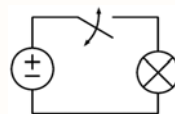


Transistorn

- Styrbar, en stor ström kan styras med en liten ström eller spänning
- Linjär förstärkare, "variabel resistans"



- Till / från, "strömbrytare utan rörliga delar"

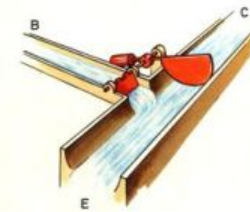
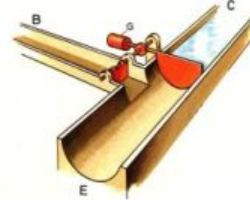
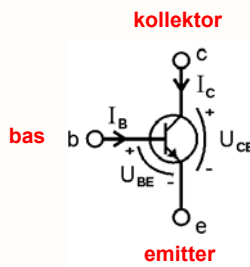
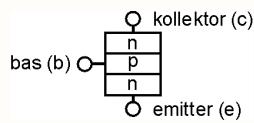


Bipolär transistor (BJT)

- Strömstyrd, basströmmen styr kollektorströmmen
- Strömförstärkningsfaktor h_{FE}

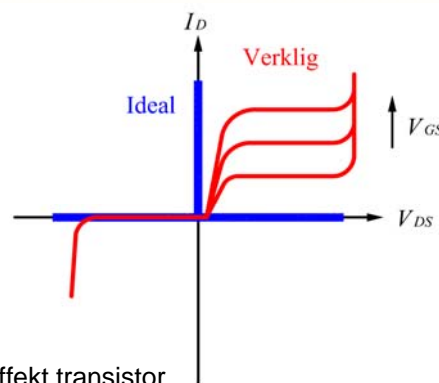
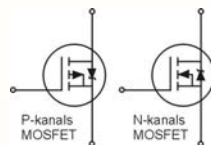
$$I_C = I_B \cdot h_{FE}$$

$$I_E = I_B + I_C$$

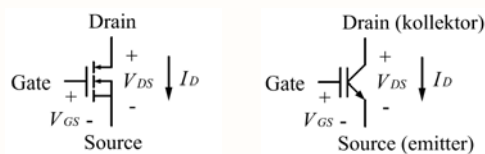


Fälteffekttransistor

- Spänningsstyrd
- Används till till/från styrning
- MOSFET

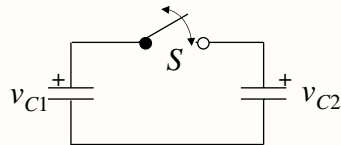


- IGBT
Kombination av bipolär och fälteffekt transistor
Används vid högre effekter



Mellanledets karaktär (I)

Eftersom halvledarna arbetar som switchar behöver man ett filter på utgången. Om mellanledet är kapacitivt försöker man göra filtret induktivt och vice versa. Om man försöker switcha två kapacitiva system mot varandra så får man en situation som kan beskrivas som:



När man sluter switchen S så kommer strömmen att bli väldigt hög om spänningarna är olika stora eftersom:

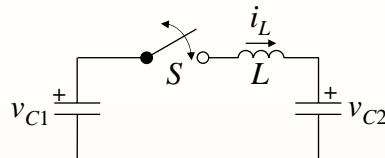
$$i_c = C \frac{dv}{dt}$$

vilket troligtvis innebär att något går sönder!



Mellanledets karaktär (II)

Motsvarande gäller om man försöker switcha två induktiva system mot varandra. I detta fall blir spänningen väldigt hög om induktansernas strömmar är olika höga. Det går bra att sluta switchen S om man kopplar in en induktor som nedan



MEN – när man öppnar switchen S så bryter man en induktiv ström! Detta är olämpligt eftersom

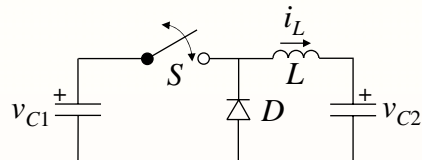
$$v_L = L \frac{di_L}{dt}$$

vilket betyder att spänningen blir väldigt hög och switchen S troligtvis går sönder!



Mellanledets karaktär (III)

Detta problem löser man genom att ansluta en frihjulsdiod (eng. free-wheeling diode) enligt nedan:

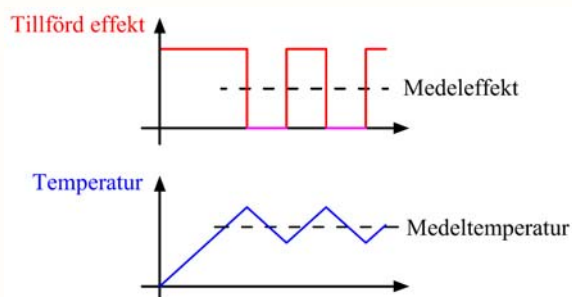


När man öppnar switchen S så finner strömmen i_L en alternativ väg genom frihjulsdioden D .



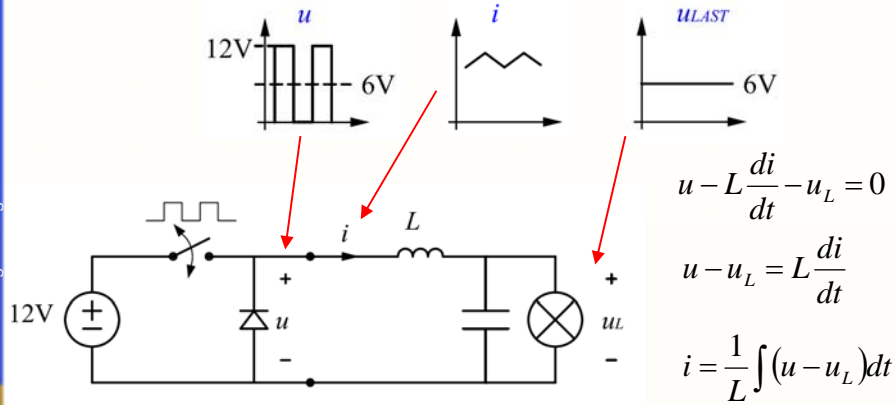
Switchning

- Vi vill sänka medelspänning och medelström
- Jämför: Hur regleras temperatur i ett hus?



Switchning

Sänk medelspänning och medelström

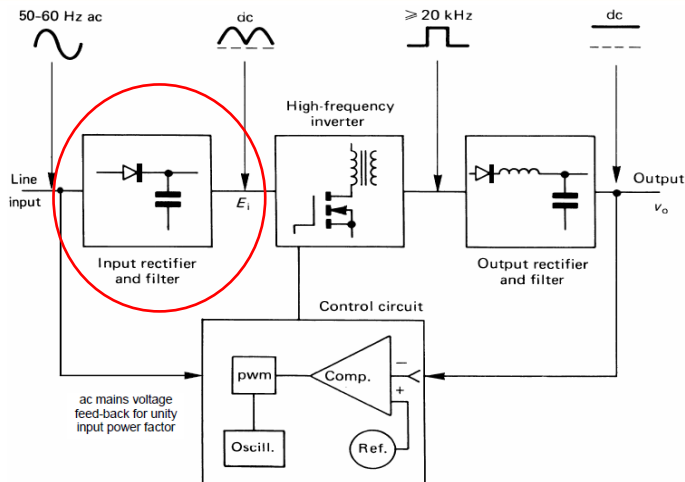


Ljusreglering Husuppvärmning
Spänning Tillförd effekt
Ström Temperatur



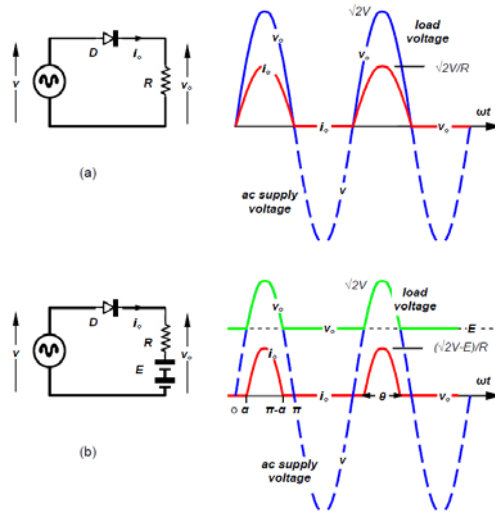
Likriktare

Ofta har man nätspänning som måste likriktas



Enfasig diodlikriktare (I)

- Halvvågslikriktaren med resistiv last



Integrera över en period och dividera med periodtiden:

$$v_o(\omega t) = i_o R = \begin{cases} \sqrt{2}V \sin \omega t & 0 \leq \omega t \leq \pi \\ 0 & \pi \leq \omega t \leq 2\pi \end{cases}$$

$$V_o = I_o R = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \sqrt{2}V \sin \omega t \, d\omega t = \frac{\sqrt{2}}{\pi} V = 0.45V$$

$$V_o = \left(V_2 + \frac{\alpha}{\pi} \right) E + \frac{1}{2\pi} \int_\alpha^{\pi-\alpha} \sqrt{2}V \sin \omega t \, d\omega t$$

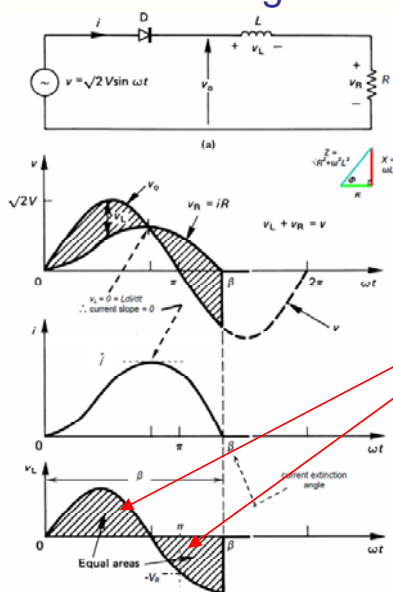
$$= \left(V_2 + \frac{\alpha}{\pi} \right) E + \frac{1}{\pi} \sqrt{2}V \cos \alpha$$

Figure 11.1. Single-phase half-wave rectifiers: (a) purely resistive load, R and (b) resistive load R with back emf, E.



Enfasig diodlikriktare (II)

- Halvvågslikriktaren med RL-last



Induktansens spännings-tidtyta noll över en period
→ medelströmmen konstant



Enfasig diodlikriktare (III)

- Helvågslikriktaren med resistiv last

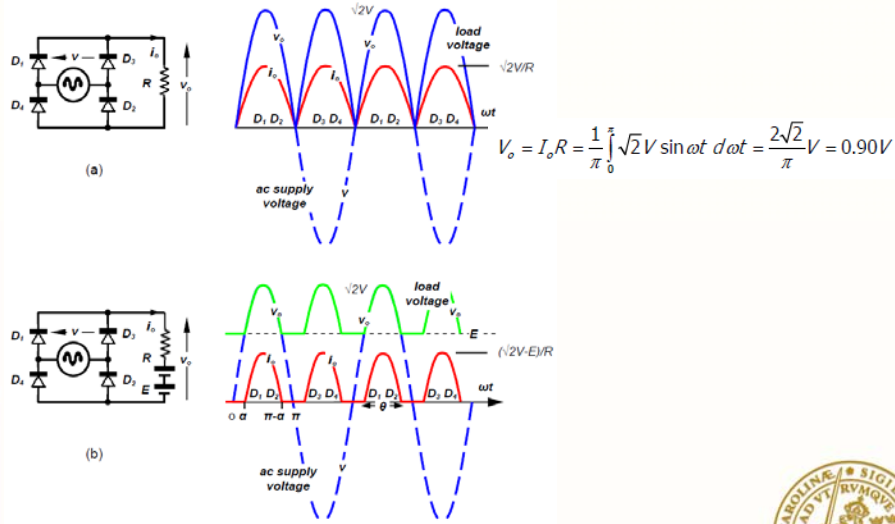


Figure 11.7. Single-phase full-wave rectifiers: (a) purely resistive load, R and (b) resistive load R with back emf, E.



Enfasig diodlikriktare (IV)

- Helvågslikriktaren C-utgångsfilter

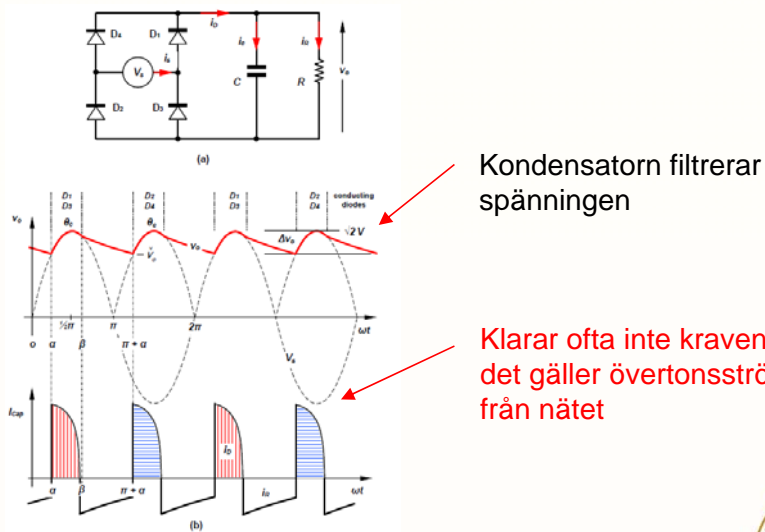
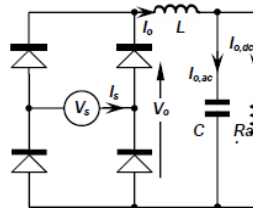


Figure 11.9. Single-phase full-wave rectifier bridge: (a) circuit with C-filter capacitor and (b) circuit waveforms.



Enfasig diodlikriktare (V)

- Helvägslikriktaren med LC -utgångsfilter



Viktigaste enfasiga likriktaren!



Sammanfattning

Spänningen över en induktans kan skrivas:

$$v_L = L \frac{di_L}{dt}$$

Strömmen i en kondensator kan skrivas:

$$i_c = C \frac{dv_c}{dt}$$

Ström i en induktans motsvarar energi:

$$W_L = \frac{1}{2} LI_L^2$$

Spänning i en kondensator motsvarar energi:

$$W_C = \frac{1}{2} CV_C^2$$

En switchad omvandlare har **lägre förluster** än en linjär

Medelspänningen kan sänkas genom att switcha

Medelspänningen från en likriktarbrygga fås genom att **integrera över** en period och dividera **med periodtiden**

