



F9: Snubbrar



Om dagens föreläsning!

Snubbrar är inte så vanligt att man hört talas om, om man inte jobbat med kraftelektronik! Snubbrar är en taskig översättning från engelskans snubbers och betyder skyddskretsar, vilket också är missvisande. Om man tittar på vilken typ av snubbrar som finns klarnar bilden något:

- Snubbrar för att styra bort switchförluster från krafthalvledare till passiva komponenter.
- Snubbrar för att förhindra EMI-problem (störningar alltså)
- Snubbrar för att minska stressen på komponenter
överspänning, etc

Denna överspänning har ofta sitt ursprung i att ledningar har en liten parasitisk ströinduktans, transformatorer har en kopplingsfaktor mindre än ett osv ...



Några olika sorters snubbrar

- Diodsnubber

Minskar överspänning vid reverse recovery pga ströinduktans

- Frånslagssnubber

Begränsar spänning eller spänningsderivata vid frånslag
Profilerar switch-kurvformerna

- Tillslagssnubber

Begränsar strömmen genom komponenten vid tillslag
Begränsar spänningsderivatan vid tillslag

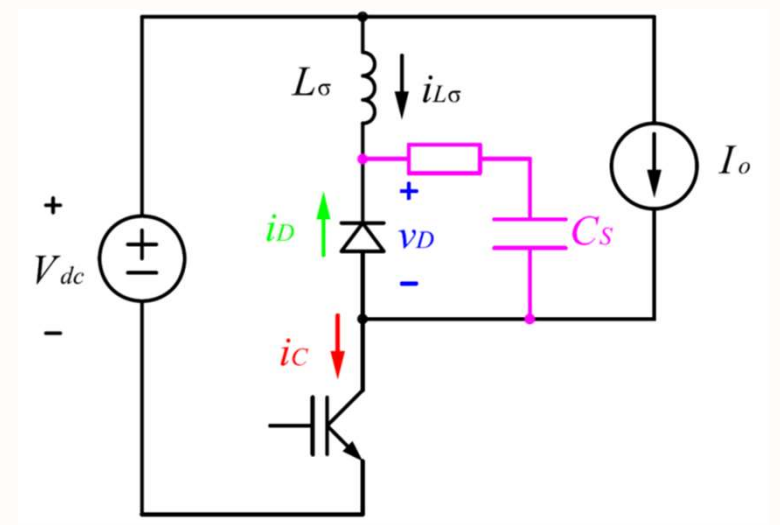
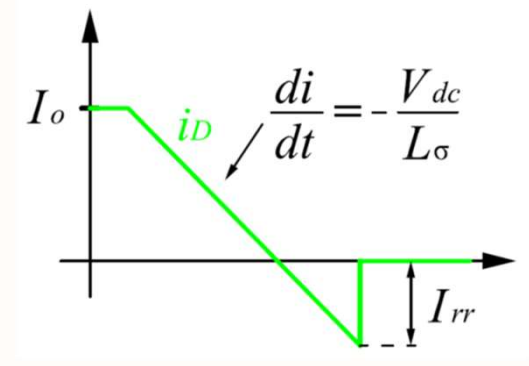
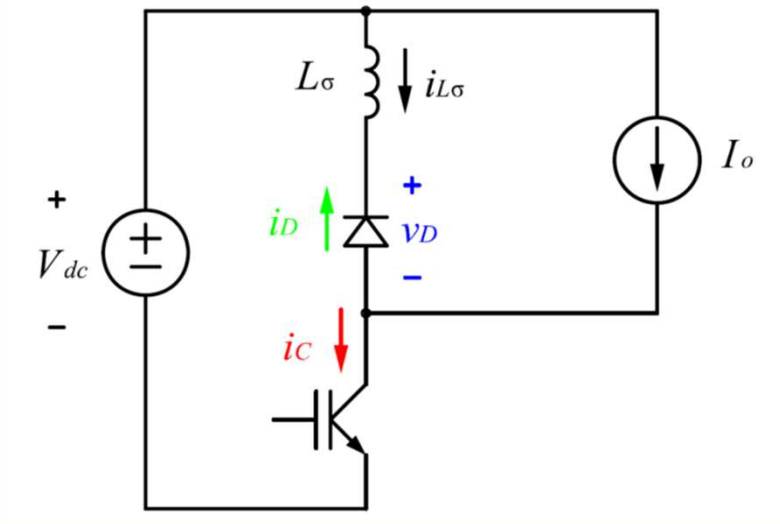
- Överspänningssnubber

Minskar överspänning pga ströinduktans

- Snubber för halvbrygga



Diodsnubber (frånslagsnubber)



RC-snubber

Förhindrar överspänning pga ströinduktans när I_{rr} slutar abrupt

För denna snubber är det tillräckligt att förstå funktionen

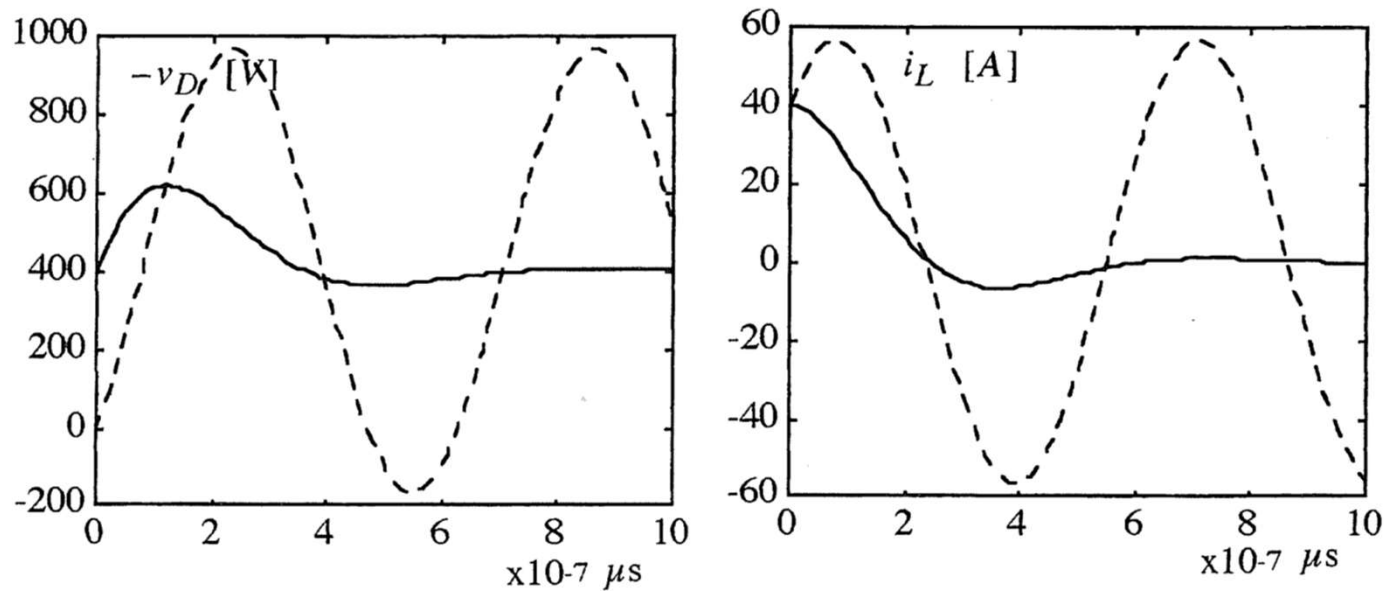


Kurvformer diodsnummer

$$C_S = L_\sigma \cdot \left[\frac{I_{rr}}{V_d} \right]^2$$

$$R_S = 1.3 \cdot \frac{V_d}{I_{rr}}$$

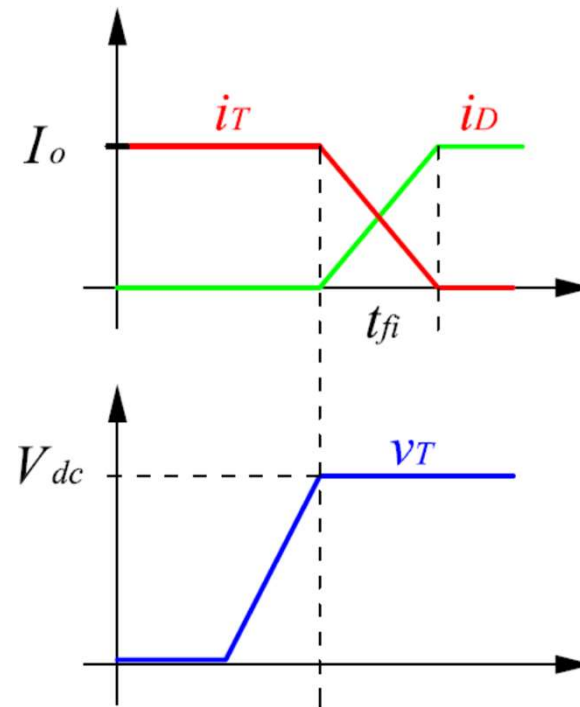
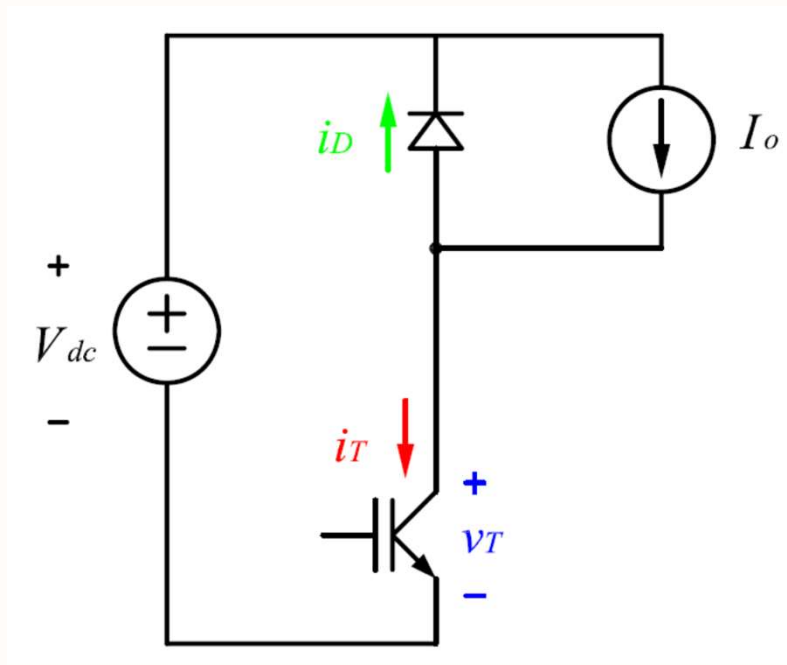
Figur 5.2 visar hur diodspänningen byggs upp med ovanstående val av C_S och R_S med $I_{rr} = 40$ A, $L_\sigma = 1 \mu\text{H}$ och $V_d = 400\text{V}$. Samma fall men med $R_S = 0$ är inlagd (streckad) som referens.



Figur 5.2 Diodspänning ($-v_D$) och induktansström ($i_{L\sigma}$). Optimalt R_S och C_S (heldragen), $R_S=0$ (streckad)

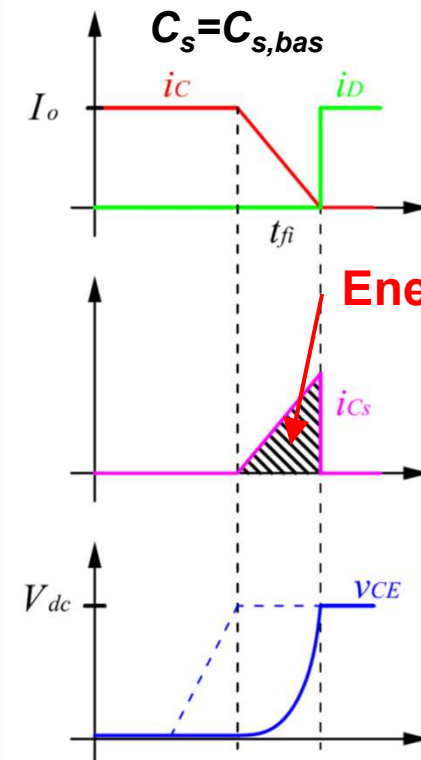
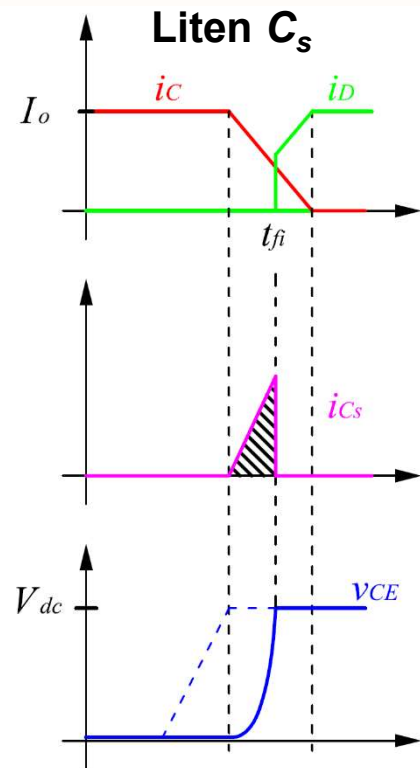
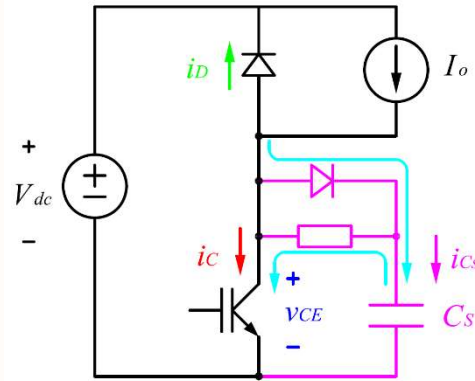
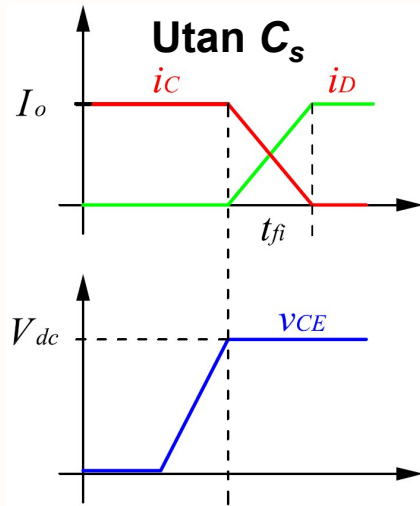


Frånslags av transistor

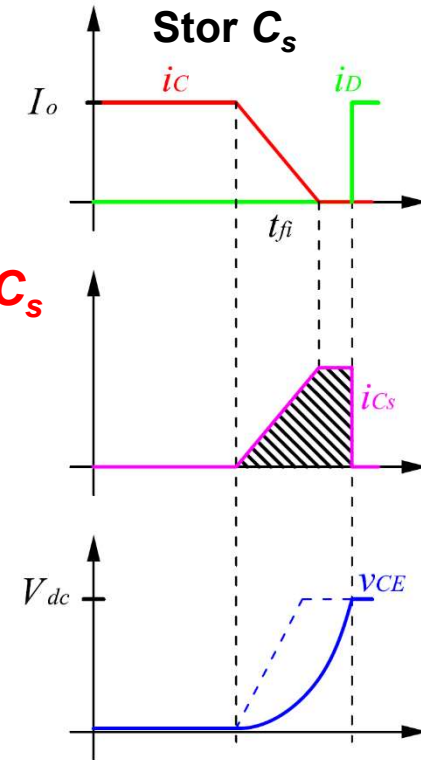


Frånslagssnubber för transistor

-Kurvformer vid frånslag

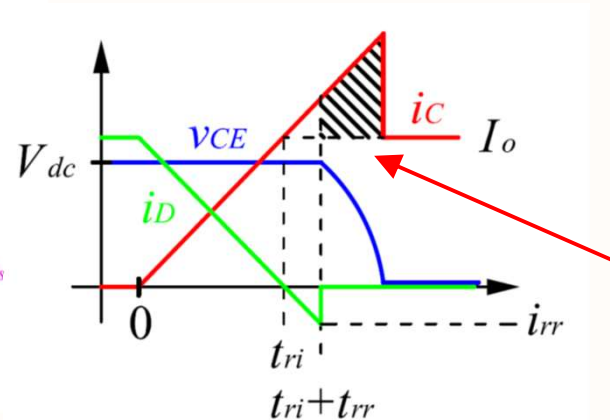
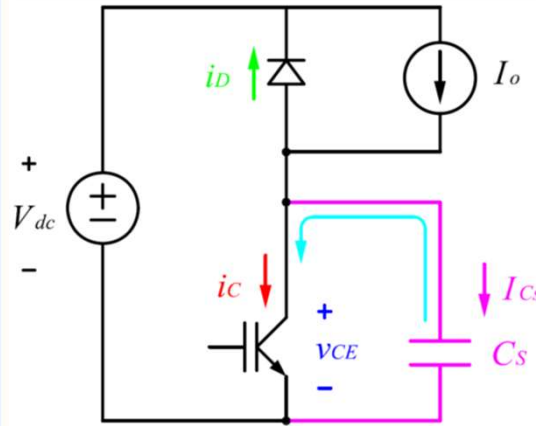


Energi i C_s



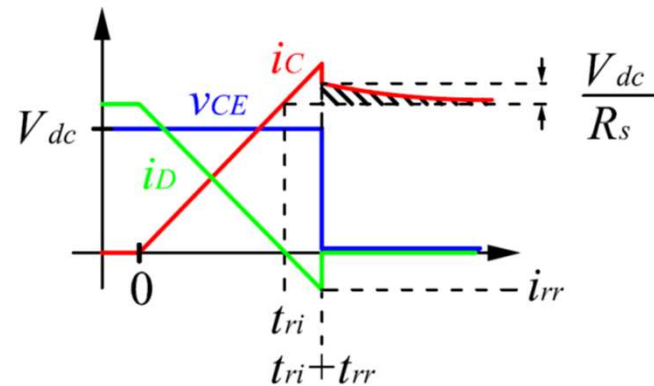
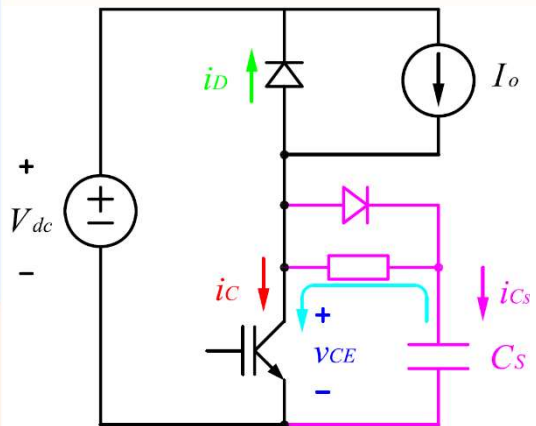
Frånslagssnubber för transistor

-Påverkan vid tillslag



Utan R_s
Längre t_{fv} ger förluster i transistorn vid tillslag

Energi i C_s från frånslaget



Med R_s
Kort t_{fv} alltså ingen ökning av förluster i transistorn vid tillslag
Energin i C_s bränns i R_s istället

Förlusterna flyttas från transistorn till resistorn som tål högre temperatur och är lättare att kyla

Välj R_s så att: $R_s > V_{dc} / I_{rr}$



Frånslagssnubber för transistor

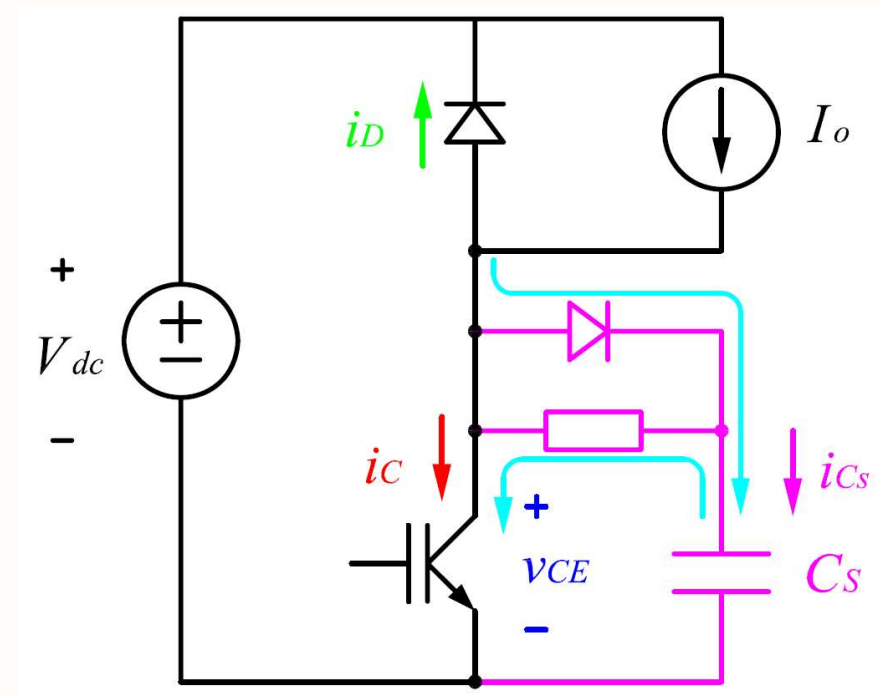
- RCD-Charge-Discharge-Snubber

Profilerar frånslaget för
bipolära transistorer

Begränsar dv/dt vid
frånslag

Alternativ väg för
strömmen vid frånslag

Inte så nödvändig för
MOSFET (och IGBT)



Denna ska ni kunna räkna på...



Frånslagssnubber för transistor

- Energiförlust med varierande C_s

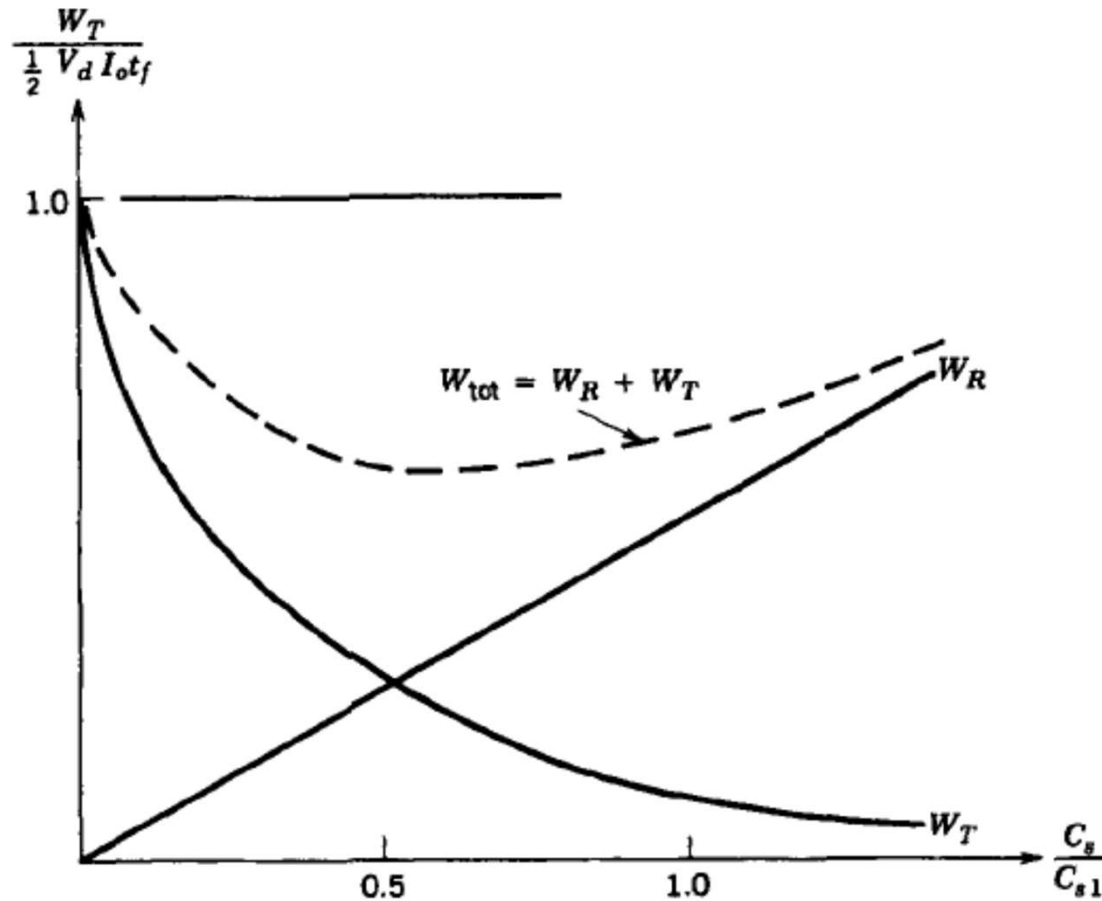


Figure 27-15 Turn-off energy dissipation in the BJT and the snubber resistance as a function of the snubber capacitance C_s .

Källa: Mohan, Undeland, Robbins. *Power Electronics*.



Frånslagssnubber för transistor

- Switch-trajektoria ritad ovanpå SOA

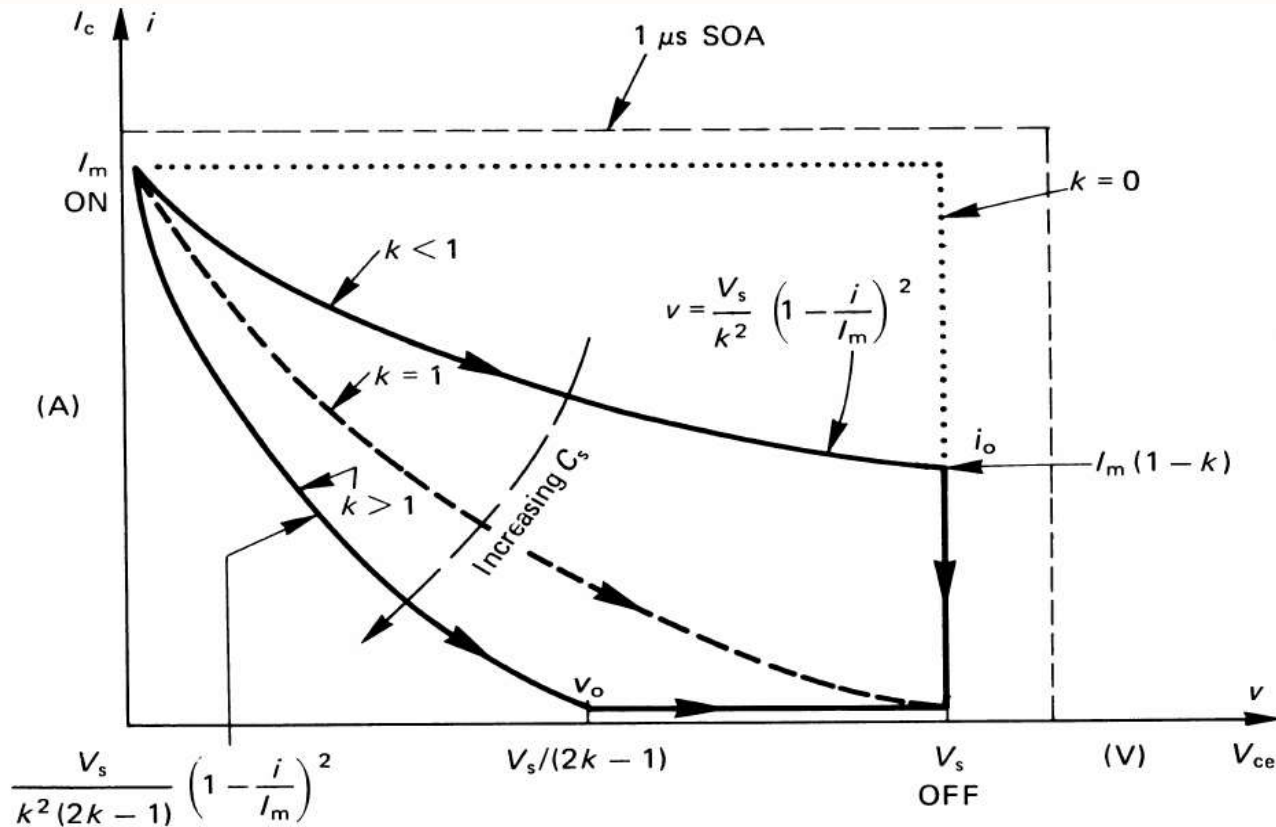
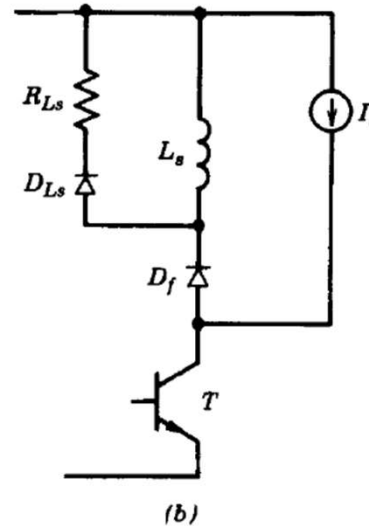
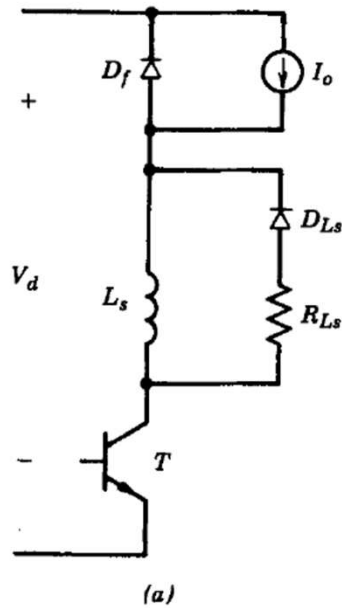


Figure 8.14. The collector I-V trajectory at turn-off with a capacitive switching-aid circuit.



Tillslagssnubber för transistor

- Kurvformer



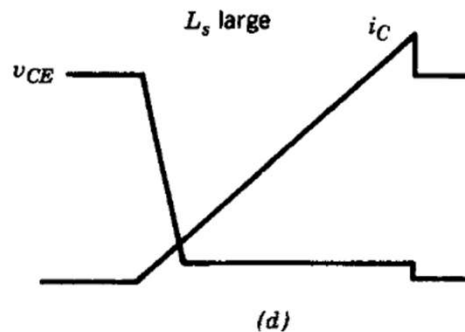
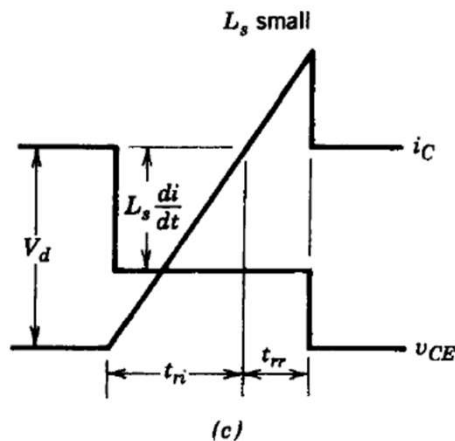
Minskar spänningen över transistor vid tillslag

Minskar förlusterna vid tillslag

Vid frånslag kommer L_s ge upphov till överspänning

Under framtiden laddas L_s ur via R_s

Strömmen i L_s måste hinna bli låg innan nästa tillslag



Tillslagssnubber för transistor

- Induktiv tillslagssnubber behöver ofta kapacitiv frånslagssnubber

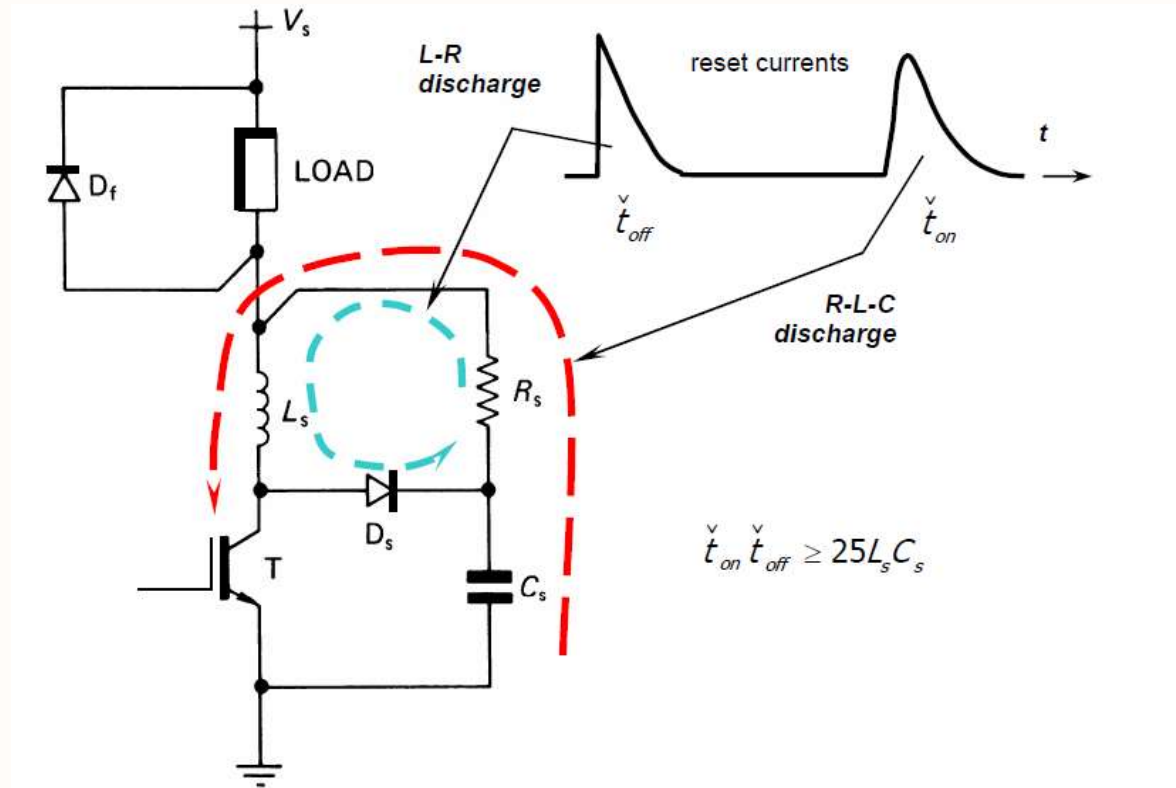


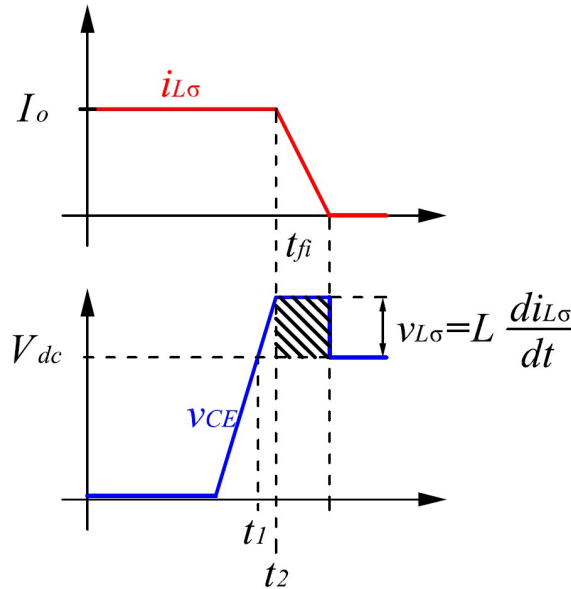
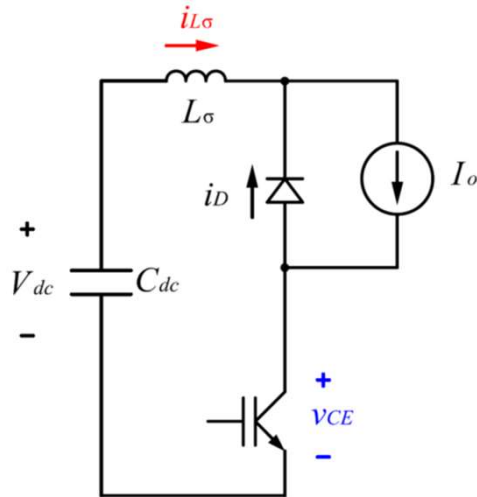
Figure 8.22. Unified snubber incorporating both a turn-on and a turn-off circuit which share the one dissipation reset resistor.

Kap 8.3.2 - 8.3.4 kan ni hoppa över helt
Snubbern i Kap 8.3.5 ska ni känna till



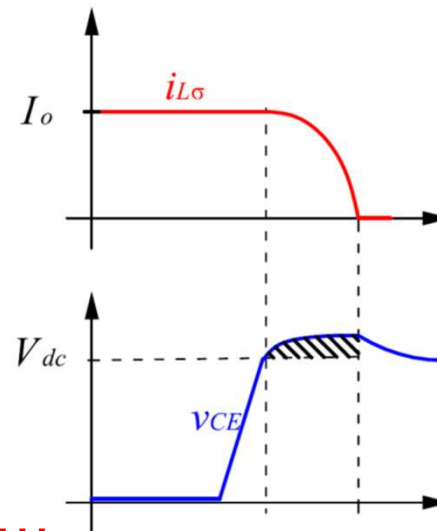
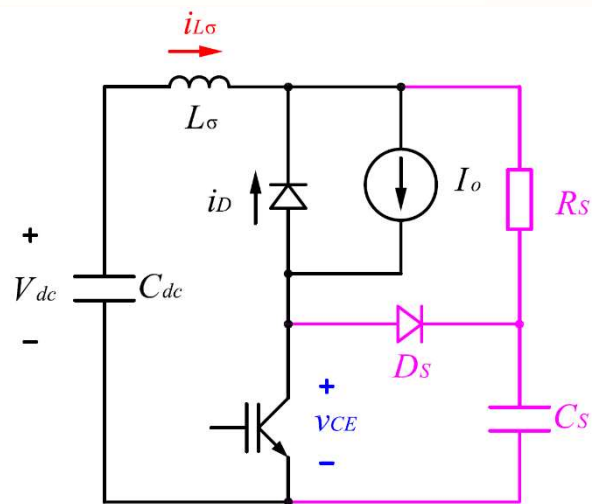
Överspänningsstubber (frånslag)

- RCD-Clamp-Snubber



t_1 : D_f skulle blivit framspänd här utan L_σ

t_2 : D_f blir framspänd här pga L_σ



Lägre överspänning

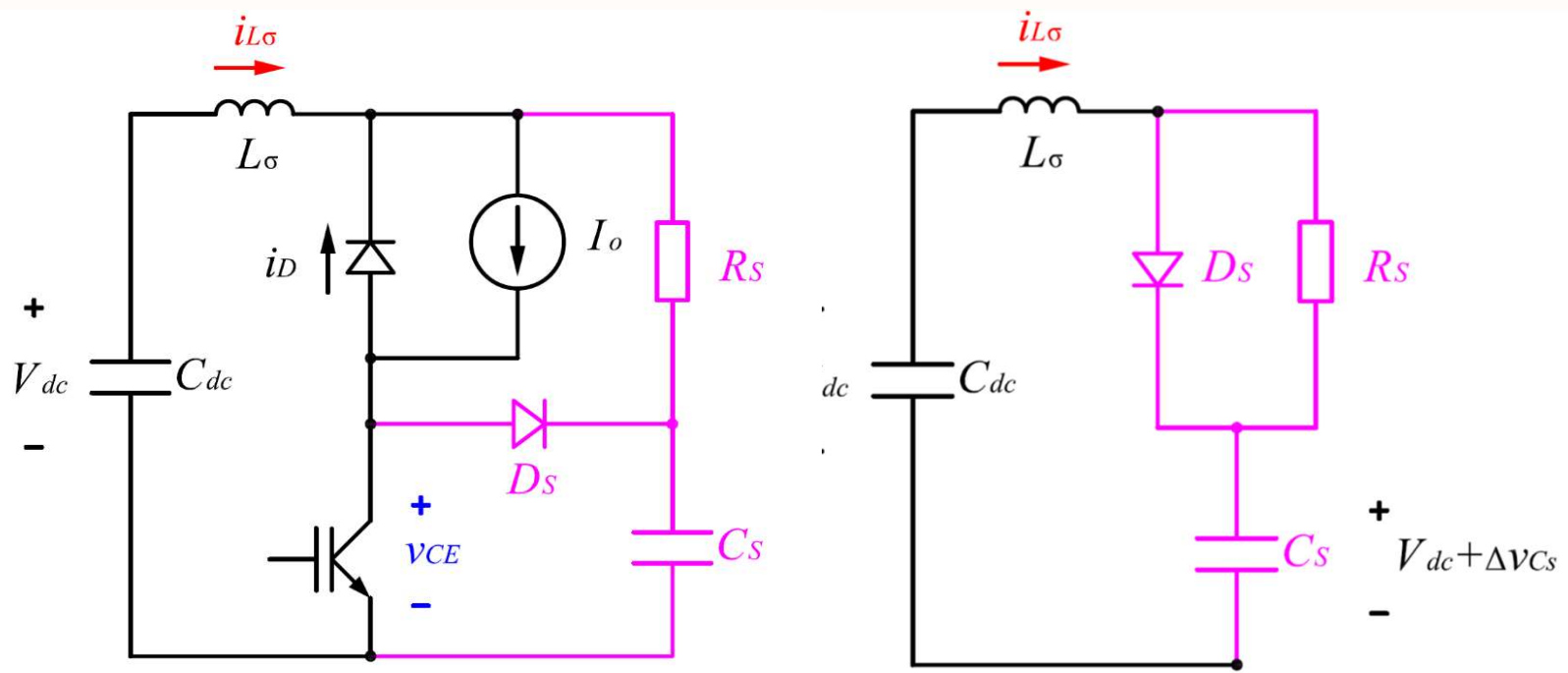
Energien i C_s bränns bort i R_s vid tillslag

Denna ska ni kunna räkna på...

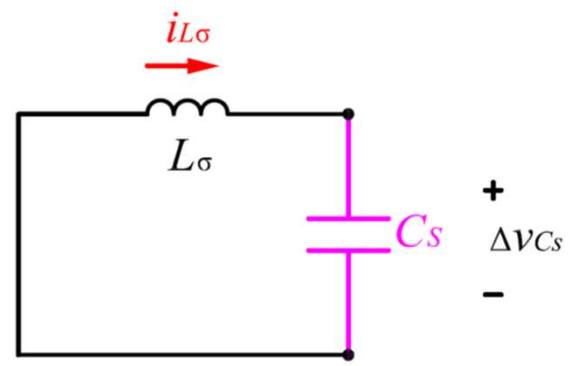


Överspänningsnubber

- RCD-Clamp-Snubber frånslagsögonblicket:

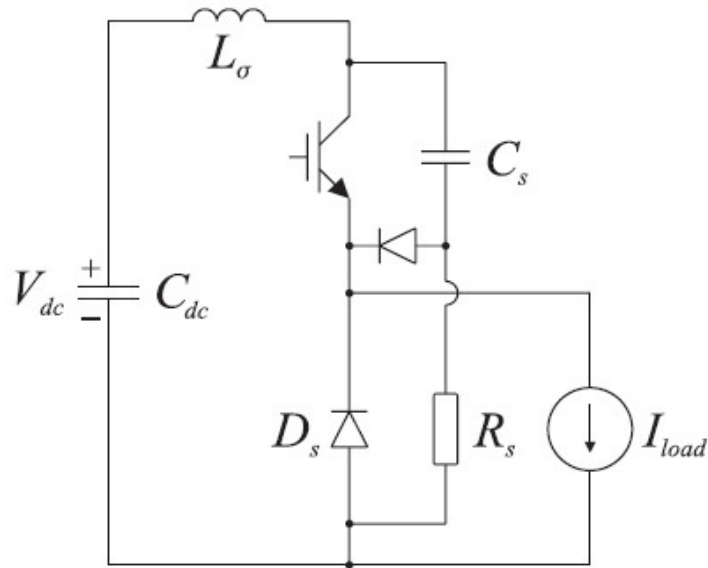


Ekvivalent vid frånslag:



Överspänningsnubber

- RCD-Clamp-Snubber



Överspänning pga ströinduktans:

$$v_{L\sigma} = L_{\sigma} \frac{di_{L\sigma}}{dt}$$

Ekvivalent krets vid frånslag:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_{dc}} + \frac{1}{C_s} \Leftrightarrow C_{eq} \approx C_s \quad \text{eftersom } C_{dc} \gg C_s$$

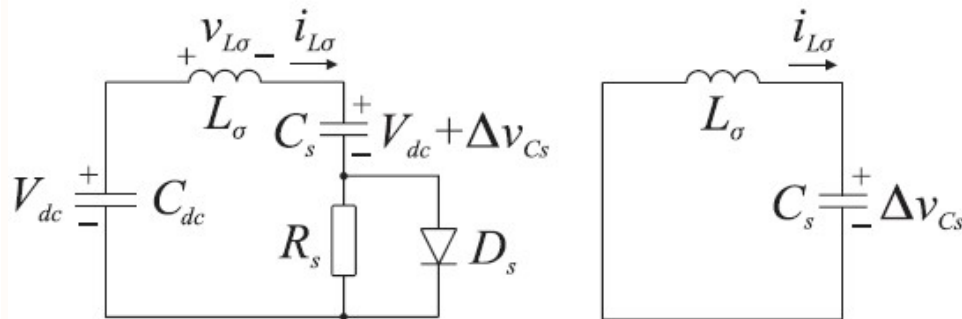
$$v_{Ceq} = v_{C_s} - V_{dc} = V_{dc} + \Delta v_{C_s} - V_{dc} = \Delta v_{C_s}$$

Transistoröverspänning vid frånslag:

$$\frac{1}{2} \cdot C_s \cdot \Delta V_{C_s,max}^2 = \frac{1}{2} \cdot L_{\sigma} \cdot I_0^2 \Rightarrow \Delta V_{C_s,max} = I_0 \cdot \sqrt{\frac{L_{\sigma}}{C_s}}$$

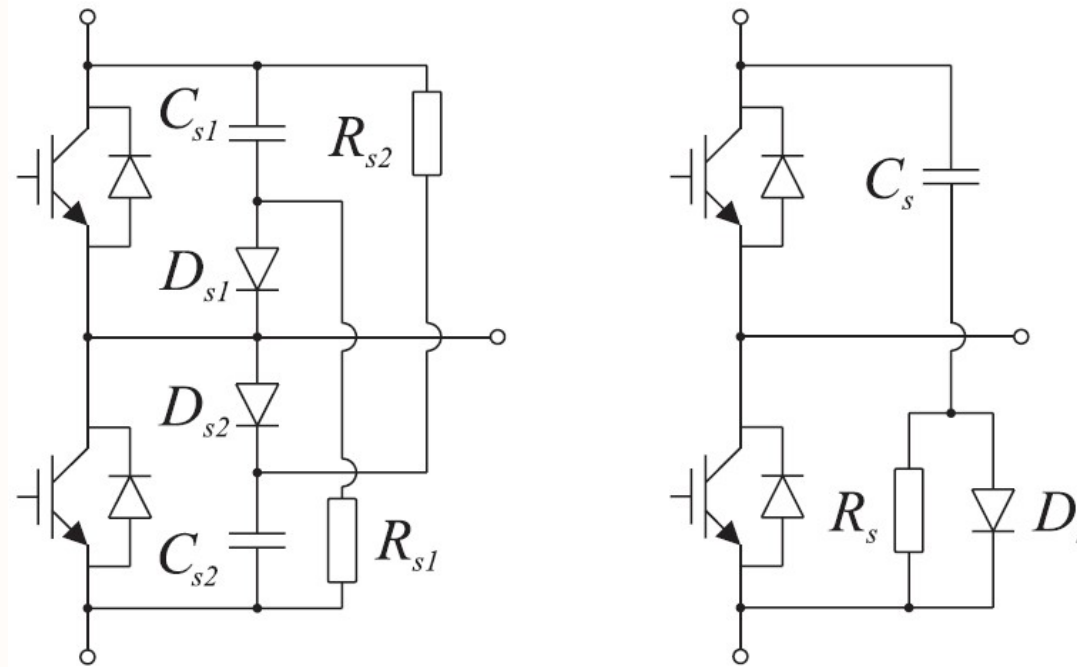
Snubber-resistans (bra val):

$$R_s < \frac{1}{6 \cdot C_s \cdot f_{sw}}$$



Snubbrar för halvbyggor

- RCD-Clamp-snubbrar



- Observera att snubbern till höger ser likadan ut som ekvivalenten till den vänstra (vid frånslag). Samma komponentvärden vid design!
- Allra vanligast för omriktare under 250 kW är att bara ha en rent kapacitiv snubber alltså som den högra men med R_s och D_s ersatta av en kortslutning.



Laboration 1

Flyback-omvandlaren

