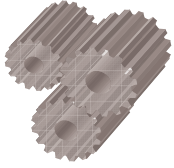




DEE
IPT

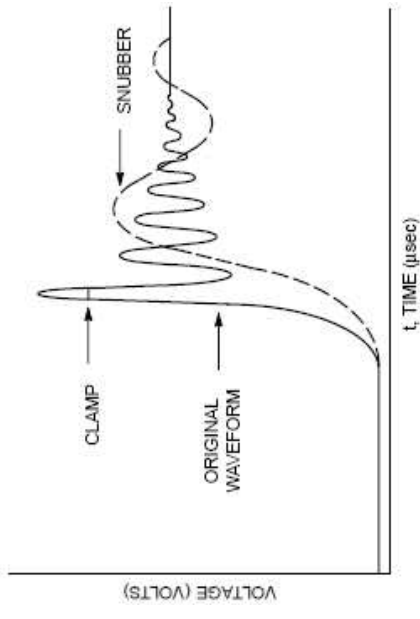
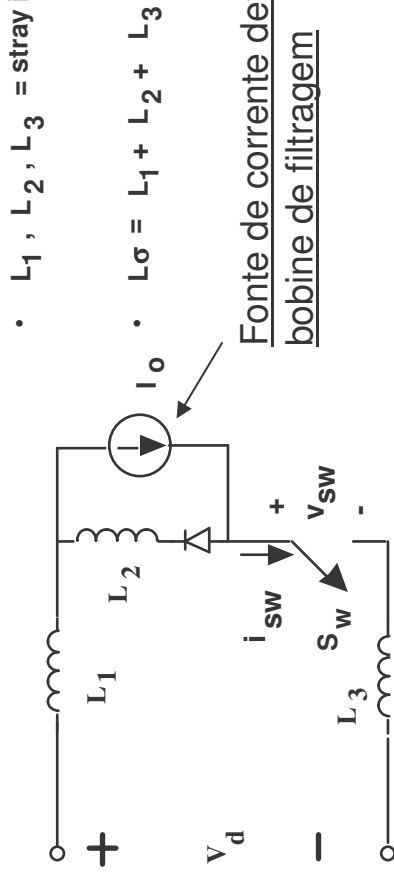


ACCIONAMIENTOS ELECTROMECAÑICOS

Accionamientos Electromecánicos Conversores Aspectos constructivos

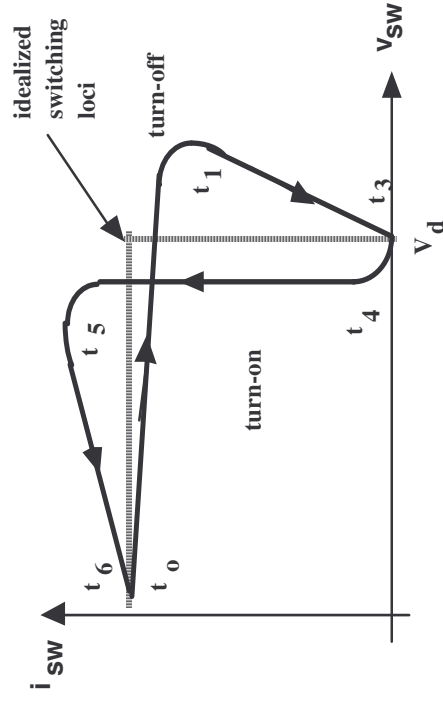
Snubbers - Circuitos auxiliares à comutação

Caso de estudo: Step-down converter (com transistor em baixo)



Effects of a Snubber versus a Clamp

Switching trajectory of switch

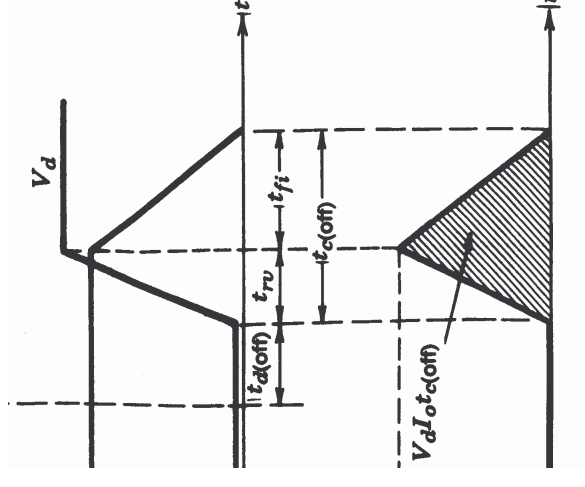


- Overvoltage at turn-off due to stray inductance
- Overcurrent at turn-on due to diode reverse recovery

Snubber turn-off

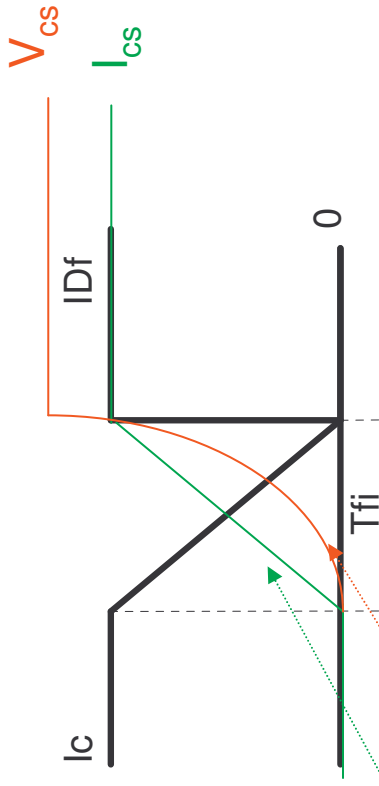
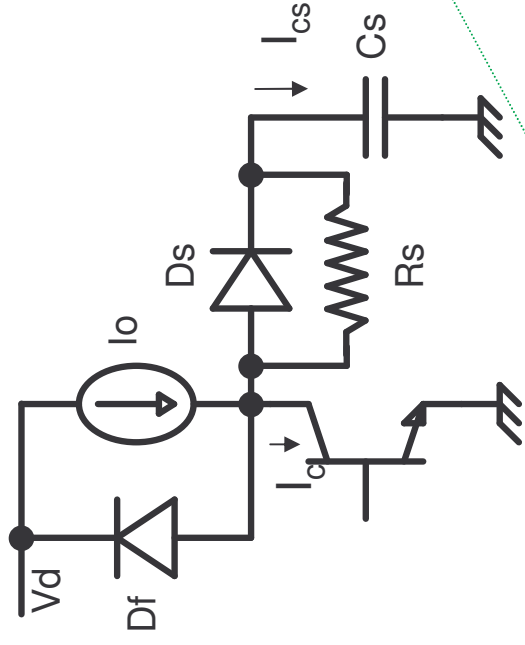
O objectivo é diminuir a tensão durante o turn-off
Se diminuirmos a tensão durante o desligar
as perdas diminuem

Normalmente, a desligar, primeiro
varia a tensão e só depois a corrente
As perdas correspondem à área a
tracejado



Conversores DC-DC ACCIONAMENTOS ELECTROMECAÑICOS

Snubber turn-off



Em vez de variar primeiro a tensão e depois a corrente variam as duas ao mesmo tempo diminuindo as perdas.

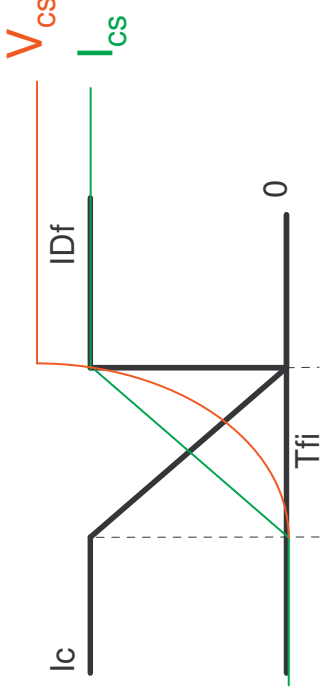
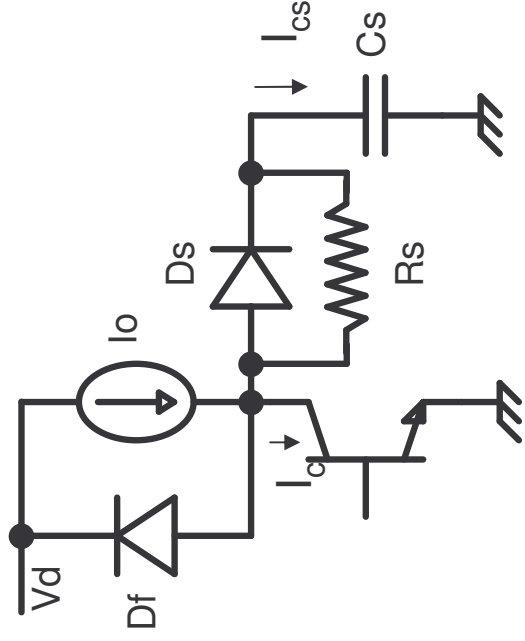
- Se C_s for muito pequeno a transição ocorre muito rapidamente e o stress ($U \times I$) é maior.
- Se C_s for muito grande a comutação prolonga-se e a energia armazenada no condensador (que será dissipada na próximo turn-on) será maior.

$$i_{C_s}(t) = \frac{I_o}{t_{fi}} t \quad 0 < t < t_{fi}$$

$$V_{C_s}(t) = \frac{1}{C_s} \int_0^t i_{C_s}(t) dt = \frac{I_o}{2C_s} t^2$$

Conversores DC-DC ACCIONAMENTOS ELECTROMECÂNICOS

Snubber turn-off



Potência extra dissipada na resistência:

$$W_{R_s} = \frac{C_s V_d^2}{2} \Rightarrow P = \frac{C_s V_d^2}{2} F_s$$

Escolha de C_s tal que o tempo de subida da tensão e de descida da corrente sejam iguais:

$$V_{C_s} = V_d, t = t_{fi}$$

$$V_{C_s}(t) = \frac{I_o}{2C_s} t^2 \Leftrightarrow C_s = \frac{I_o t_{fi}}{2V_d}$$

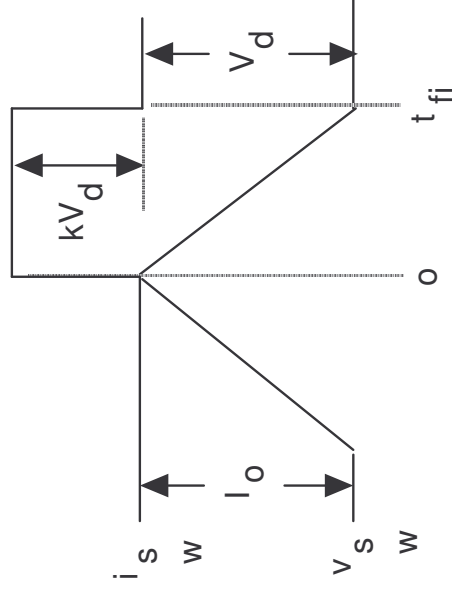
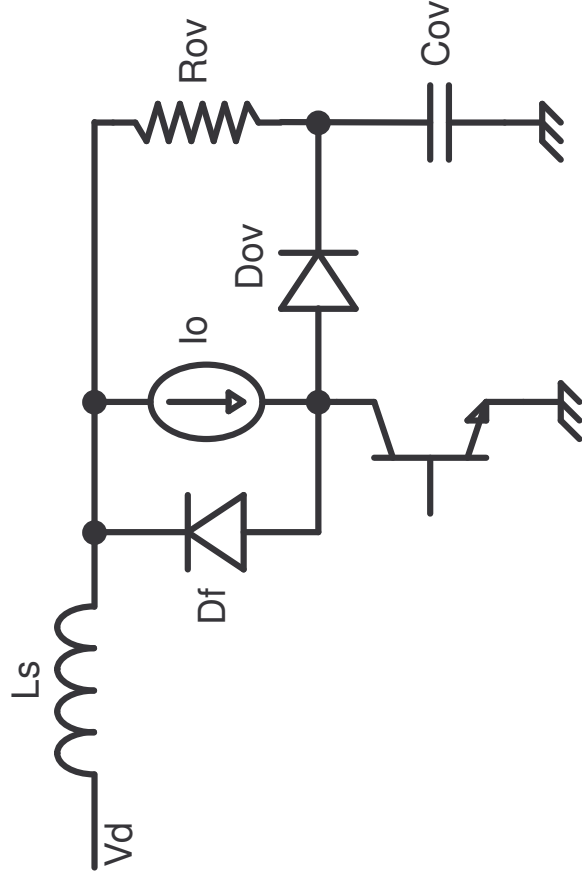
Convém limitar a corrente quando do reverse recovery do diódo:

$$\frac{V_d}{R_s} \approx 0.2I_o \Leftrightarrow R_s = \frac{V_d}{0.2I_o} \text{ (diódo } D_f)$$

Convém que o condensador descarregue durante t_{on} para efectuar a sua função:

$$T_{ON} > 3\tau = 3R_s C_s$$

Snubber de over voltage



A energia armazenada em L_s vai ser transferida para o C_{ov} :

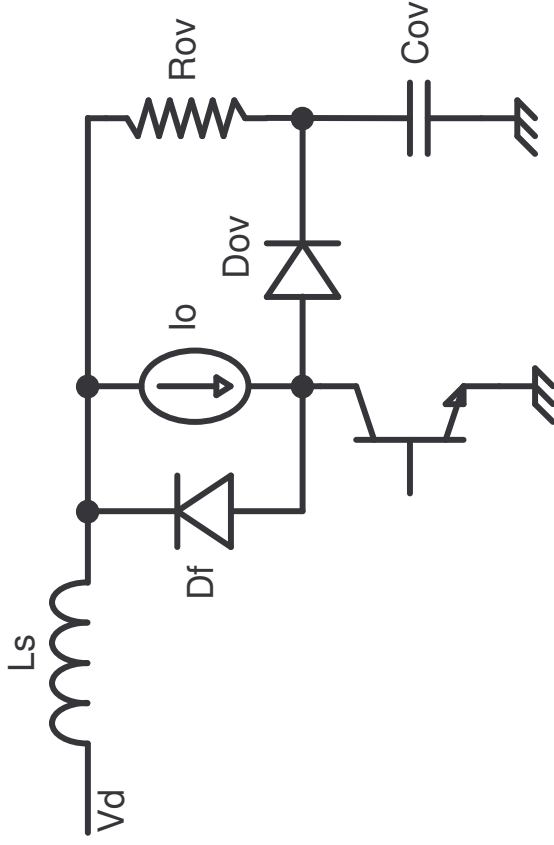
$$\frac{L_s I_o^2}{2} = \frac{C_{ov} \Delta V_{ce}^2}{2}$$

A sobretensão kV_d permite estimar L_s :

$$V_L = \frac{L \frac{di}{dt}}{t_{fi}} \Leftrightarrow kV_d = \frac{L_s I_o}{t_{fi}} \Rightarrow L_s = \frac{kV_d}{I_o} t_{fi}$$

Conversores DC-DC ACCIONAMENTOS ELECTROMECAÑICOS

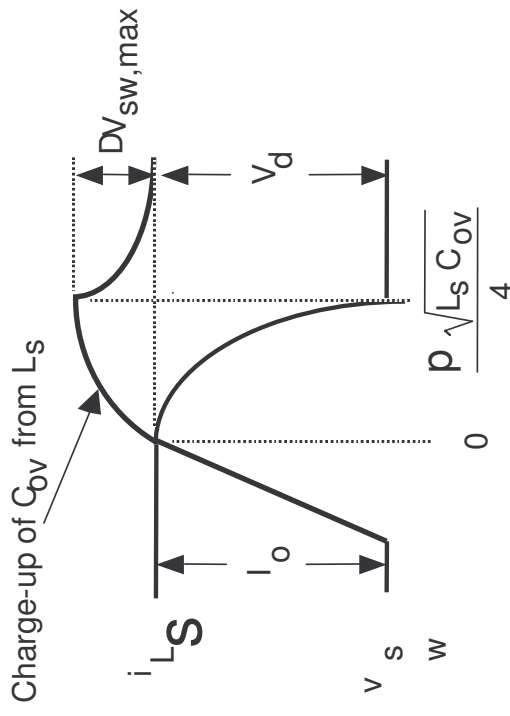
Snubber de over voltage



Se considerarmos aceitável $\Delta V_{CE} = 0.1 V_d$ utilizando a primeira equação:

$$\Delta V_{ce} = 0.1 V_d \Rightarrow C_{ov} = \frac{100 k L_s I_o t_{fi}}{V_d}$$

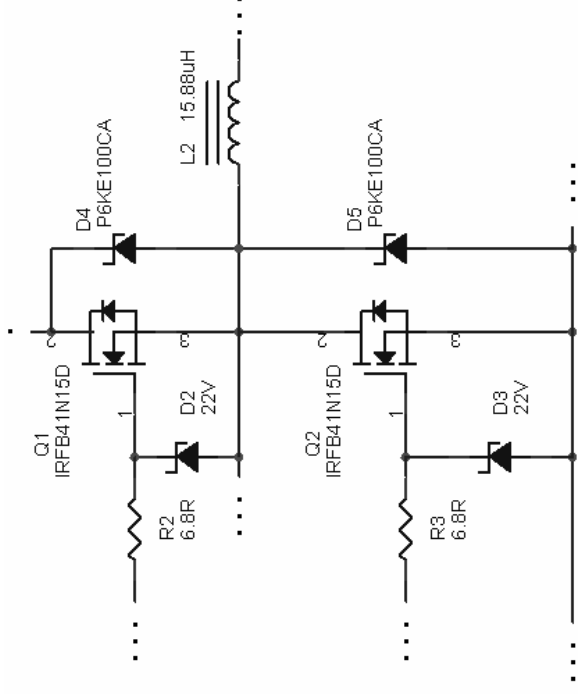
Em relação ao C_s de snubber turn-off pode chegar-se à conclusão que será cerca de 200x maior.



Dimensiona-se R_{ov} de maneira que C_{ov} esteja de novo descarregado na próxima transição:

$$T_{OFF} > 3\tau = 3R_{ov} C_{ov}$$

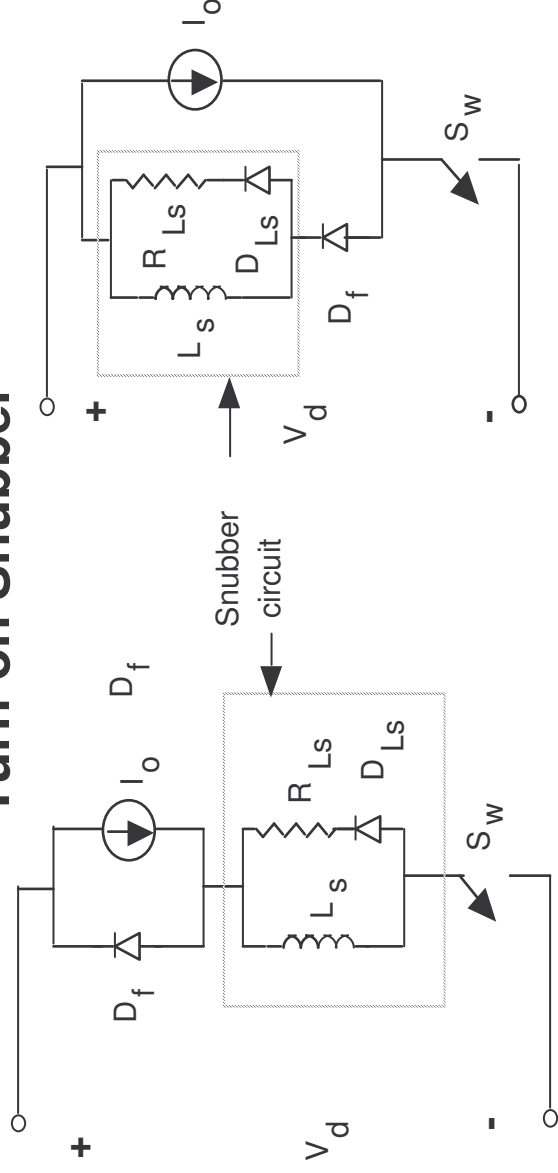
Over voltage:



Também se pode fazer o “clamping” com diodos zener, com a potência necessária.

Conversores DC-DC ACCIONAMENTOS ELECTROMECÂNICOS

Turn-on Snubber



Conversor redutor com snubber turn-on

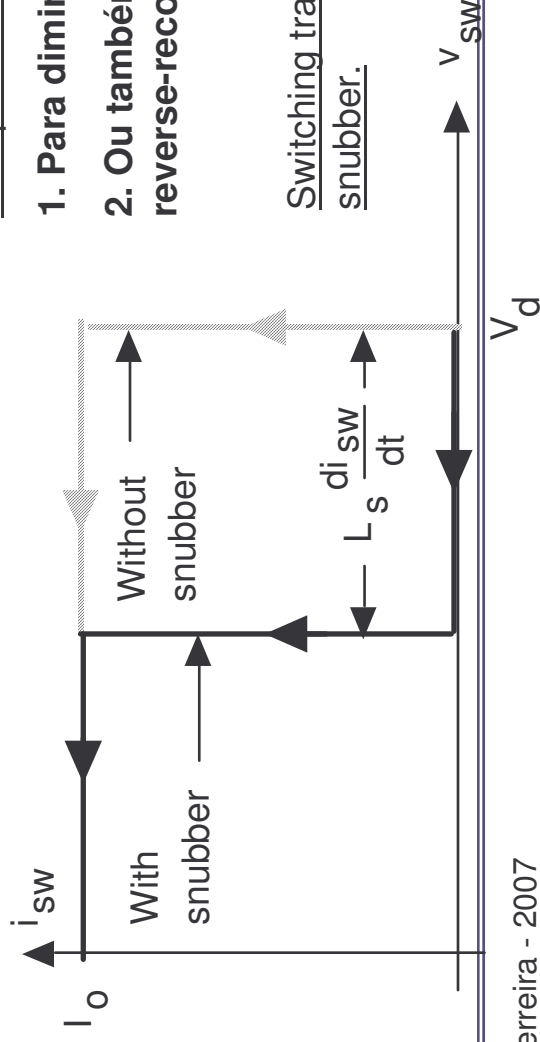
- Snubber reduz V_{sw} no turn-on, devido à queda em L_s .
- Irá limitar a taxa de subida da corrente no interruptor se L_s for suficientemente grande.
- Utiliza uma bobine

As duas realizações são idênticas.

Este pode ser utilizado para dois propósitos:

1. Para diminuir a tensão V_{ce} durante o turn-on
2. Ou também para para reduzir a corrente de reverse-recovery do diodo d_f

Switching trajectory with and without turn-on snubber.



Turn-on Snubber

1. Para diminuir a tensão V_{ce} durante o turn-on:

$$L_{S1} = \frac{V_d t_{ri}}{I_o}$$

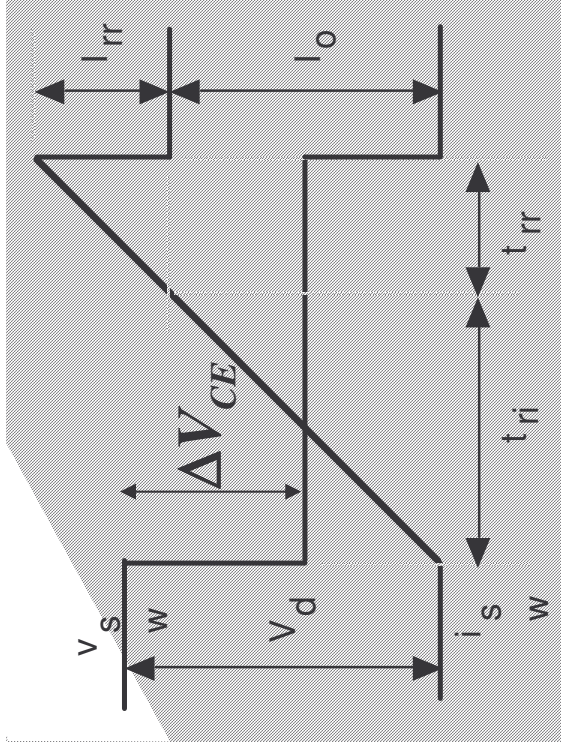
Para pequenos valores de L_s a taxa de variação da tensão no interruptor é comandada pelo circuito de “drive”. ($L_s > L_{S1}$).

A redução de tensão é:

$$V_L = \frac{L di}{dt}, \Delta V_{CE} = \frac{L_s I_o}{t_{ri}} \quad \text{É a tensão que fica na bobine}$$

Convém que quando o transistor abre o circuito “descarregue” a energia armazenada na bobine:

$$\tau = \frac{L_s}{R_{L_s}} \quad T_{OFF} > 3 \frac{L_s}{R_{L_s}}$$



Turn-on Snubber

2. Também para reduzir a corrente de “reverse-recovery” do díodo

Para valores de L_S elevados a taxa de variação da tensão no interruptor é comandada pelo circuito de snubber. ($L_S > L_{S1}$).

A tensão é quase zero durante a subida da corrente:

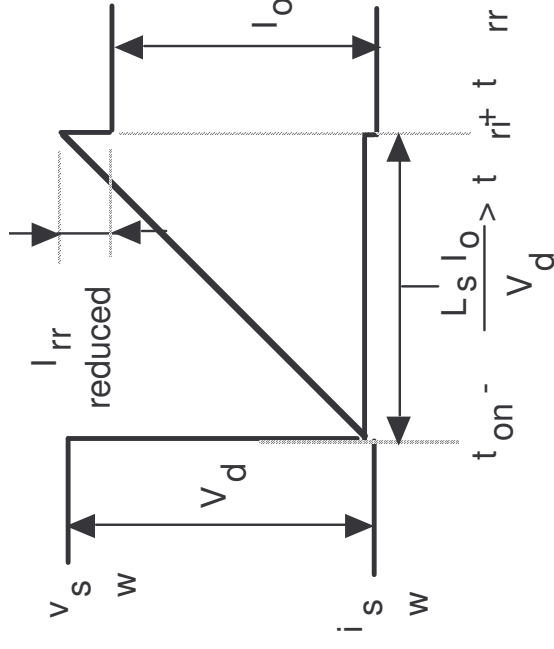
$$V_L = \frac{L di}{dt}, \quad \frac{V_L}{L} < \frac{I_o}{t_{ri}}$$

Podemos deduzir-se que a corrente de reverse recovery será:

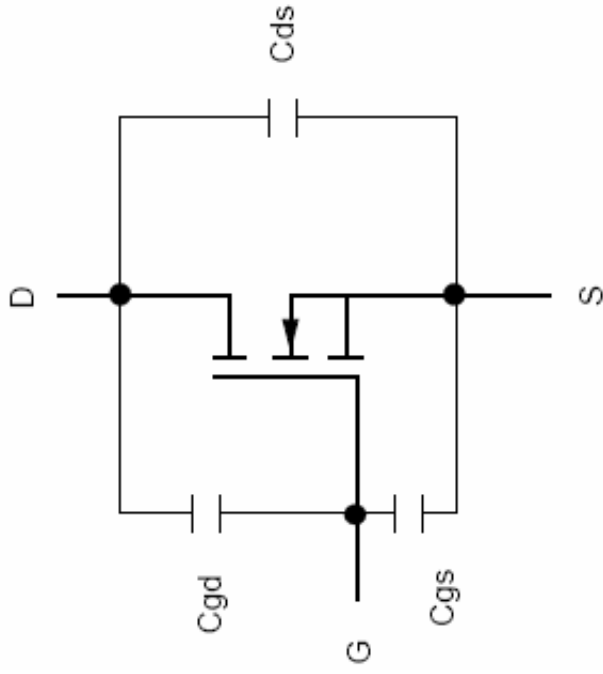
$$I_{RR} = \sqrt{\frac{2\alpha F V_d}{L_S}}$$

Mais uma vez, convém que quando o transistor abre o circuito “descarregue” a energia armazenada na bobine:

$$\tau = \frac{L_S}{R_{L_S}} \quad T_{OFF} > 3 \frac{L_S}{R_{L_S}}$$



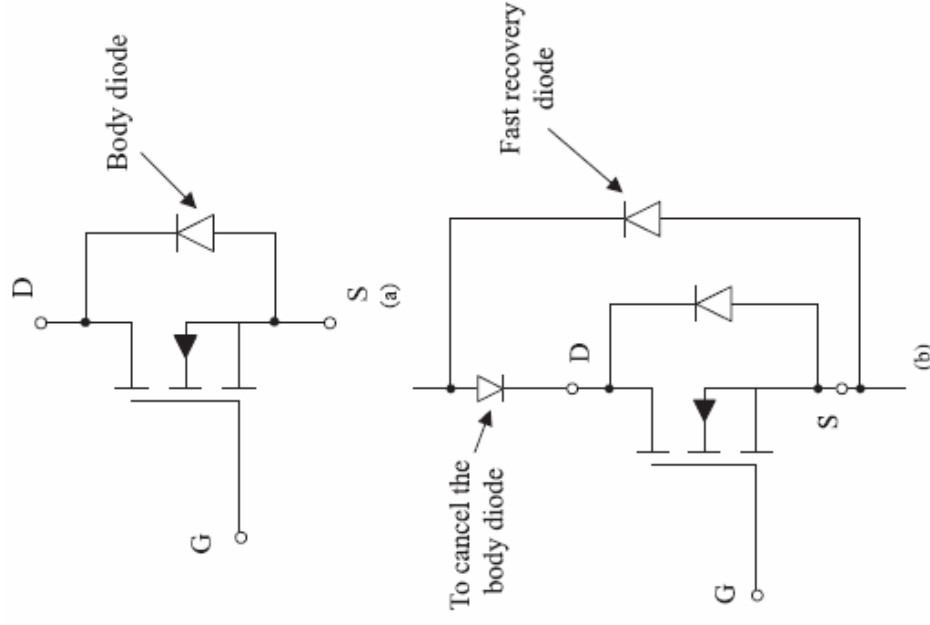
Drives - Circuitos auxiliares de controlo



The internal capacitances of a Power MOSFET.

Algumas vezes aparece outro arranjo:

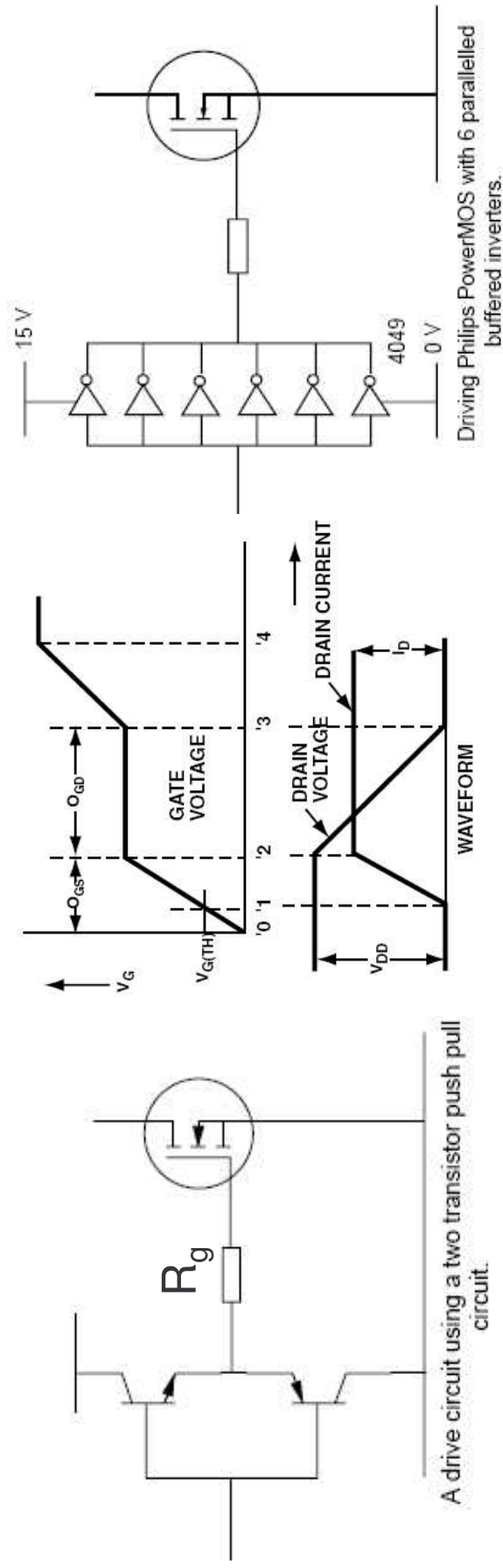
$$\begin{aligned}
 C_{gd} &= C_{r_{SS}} \\
 C_{gs} &= C_{i_{SS}} - C_{r_{SS}} \\
 C_{ds} &= C_{o_{SS}} - C_{r_{SS}}
 \end{aligned}$$



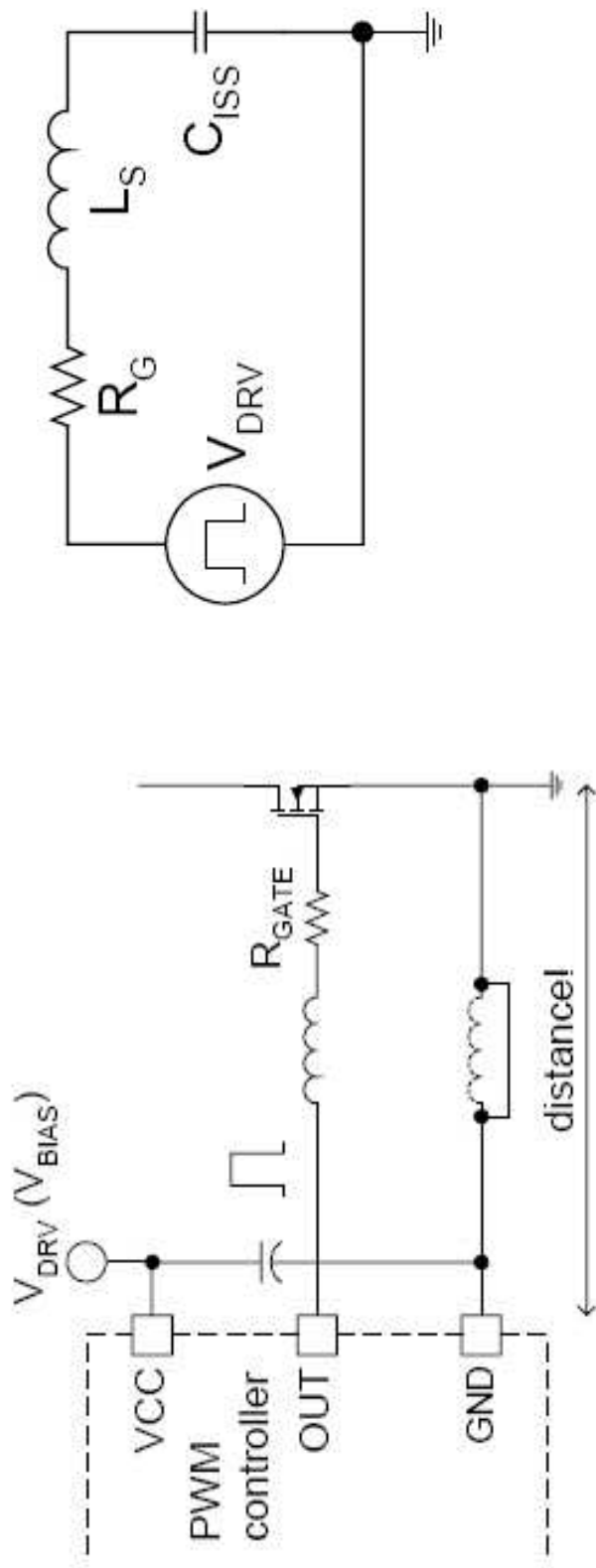
(a) MOSFET internal body diode; and (b) implementation of a fast body diode.

Conversores DC-DC ACCIONAMENTOS ELECTROMECAÑICOS

A capacidade de gate interage com a indutância parasita do circuito e produz oscilações, assim utiliza-se R para amortecer o circuito.



Conversores DC-DC ACCIONAMENTOS ELECTROMECAÑICOS



Exemplo de critério de dimensionamento:

$$W = QV$$

$$I = \frac{Q}{t_r}$$

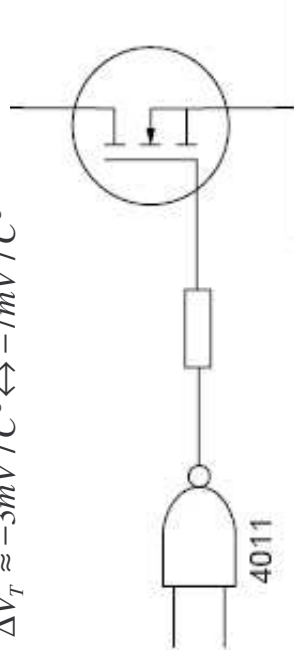
$$P = QVF_s$$

$$R_g \approx \frac{t_r}{2.2C_{iss}}$$

$$C_{iss} = C_{GD} + C_{GS}$$

Para componentes normalmente utilizados no laboratório r anda na ordem dos 5 a 10 Ω .

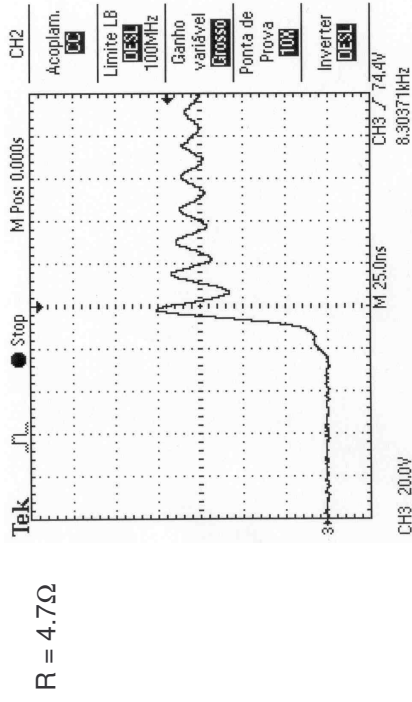
$$\Delta V_T \approx -3mV / C^\circ \leftrightarrow -7mV / C^\circ$$



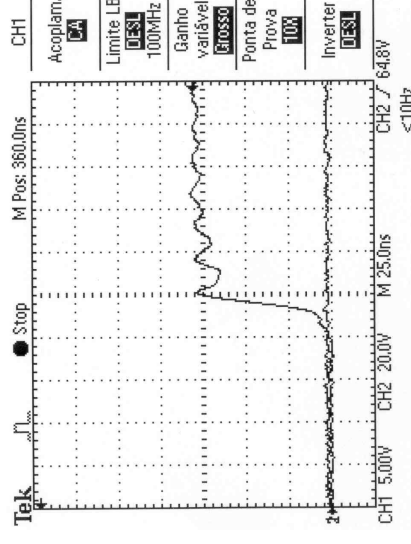
A very simple drive circuit utilizing a standard CMOS IC

O valor é “afinado” experimentalmente.

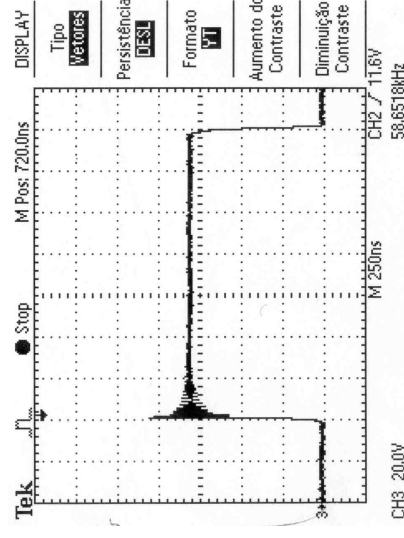
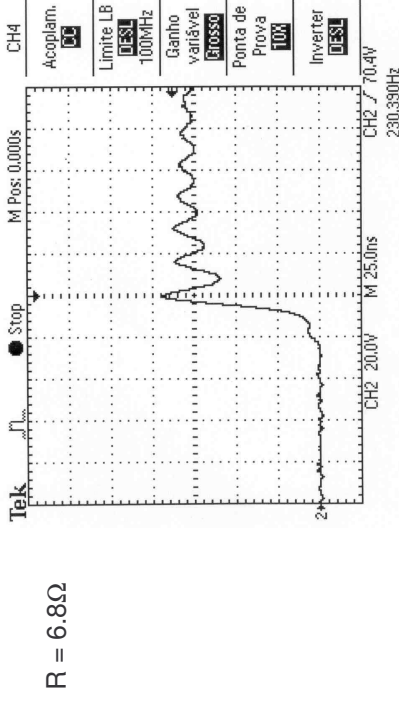
Exemplo (tensão de saída de meia-ponte):



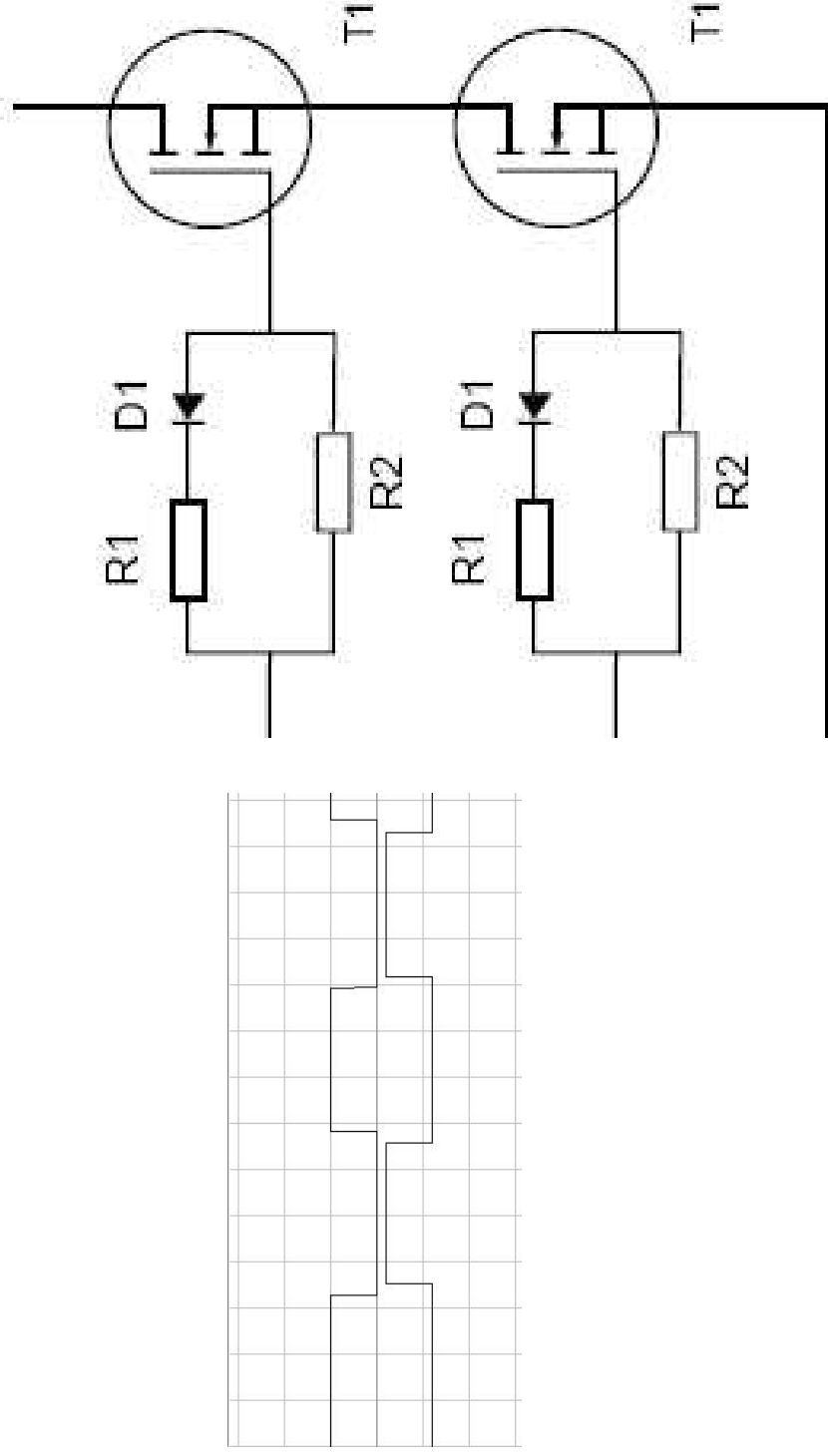
R = 10Ω



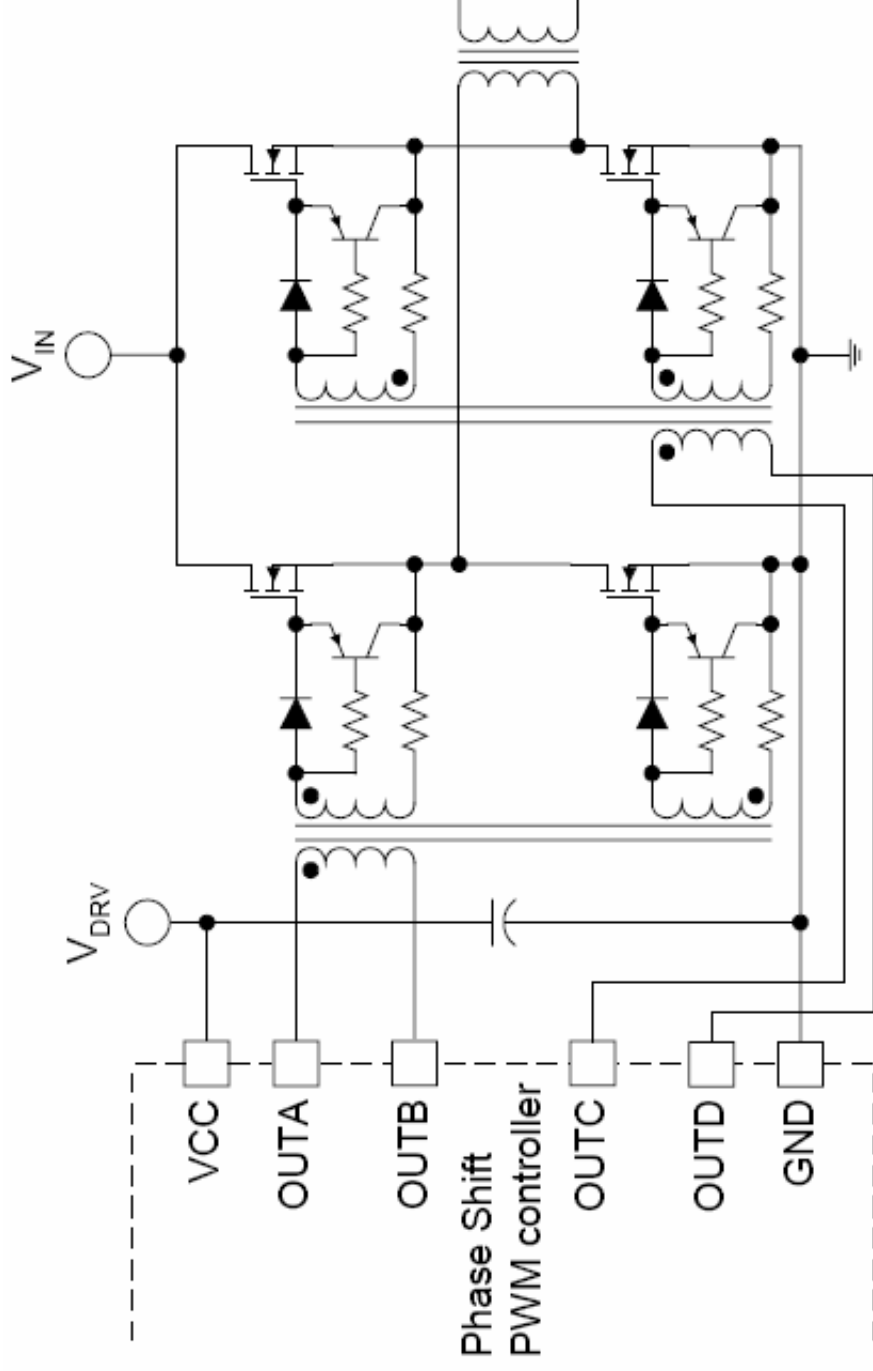
R grande aumenta perdas por comutação, R pequeno produz oscilações e ruído electromagnético.



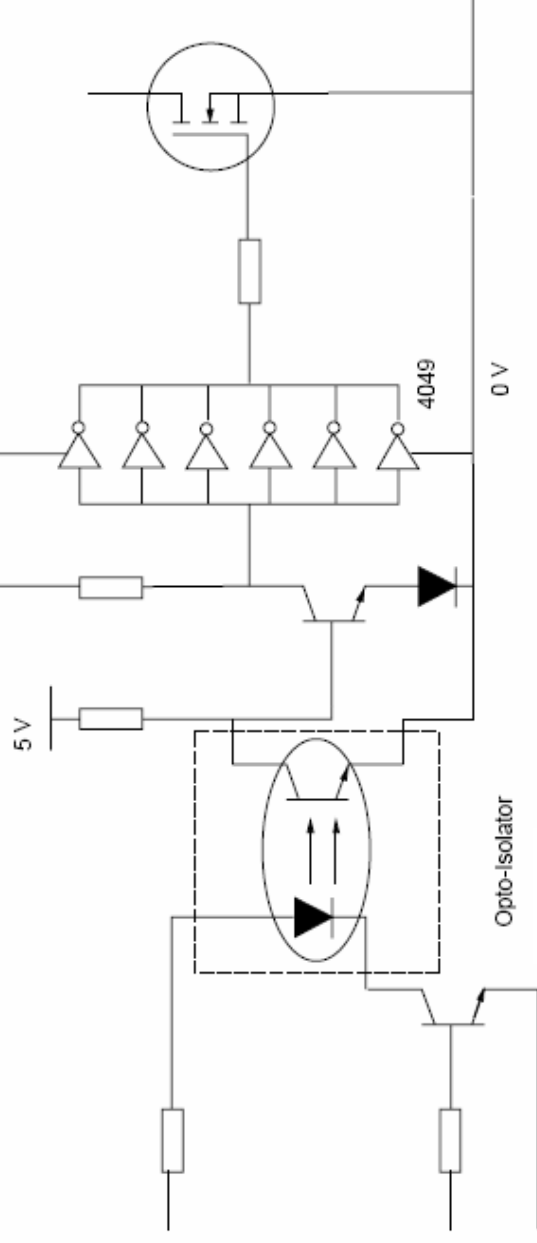
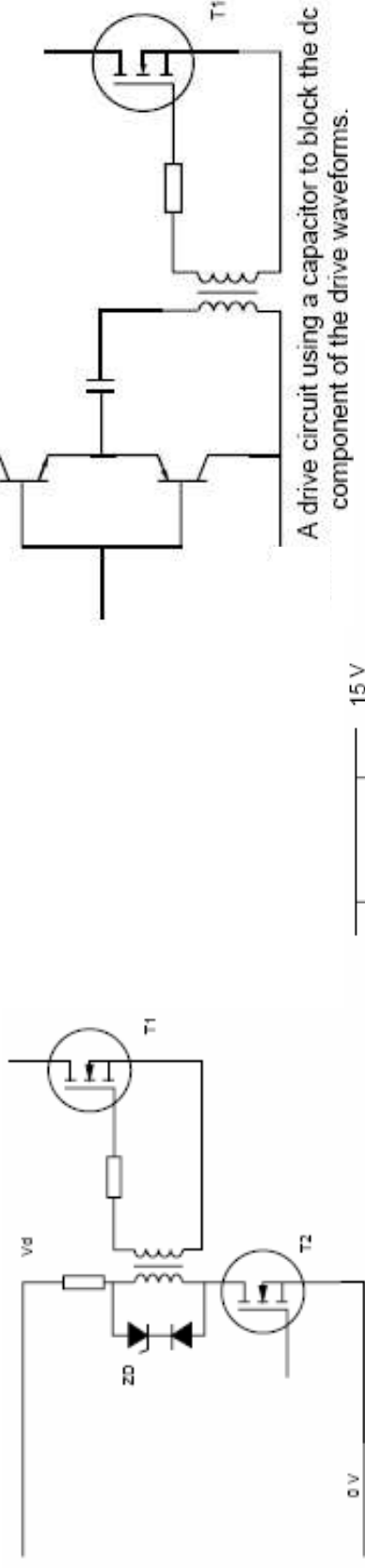
Em circuitos como a meia-ponte ou ponte onde existe o risco de curto-circuito da fonte por condução simultânea de dois transistores é inserido um tempo em que nenhum está à condução (tempo de protecção):



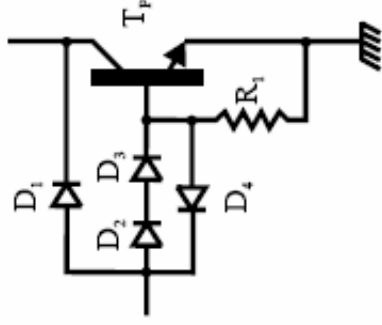
Drive para obter isolamento pode utilizar transformador, optocouplers e fontes isoladas, etc.:



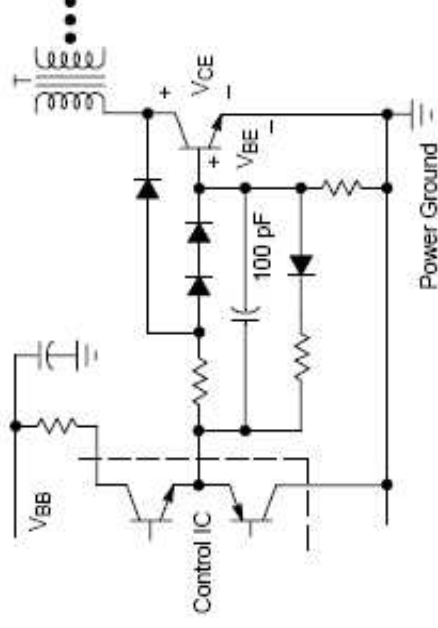
Drives com isolamento



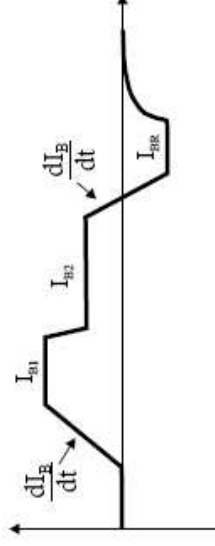
Drives para Bipolares



Antisaturation diodes (Baker clamps)

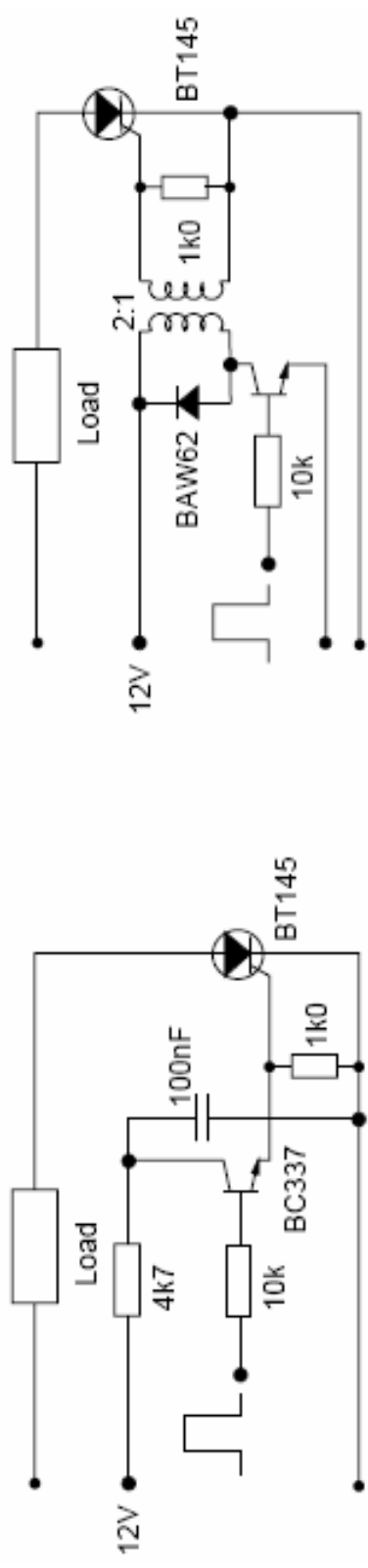
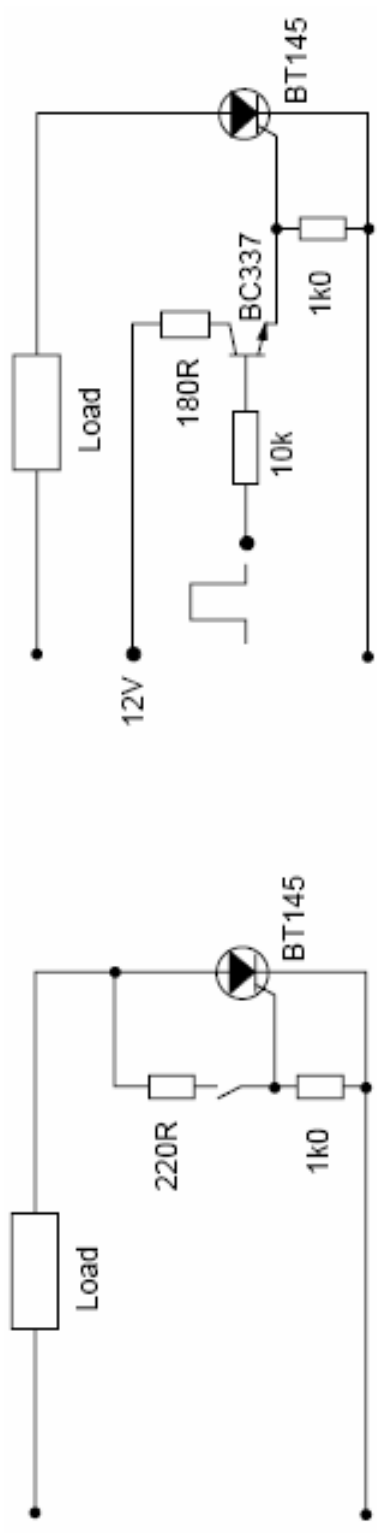


(b) Proportional Base Drive Circuit (Baker Clamp)



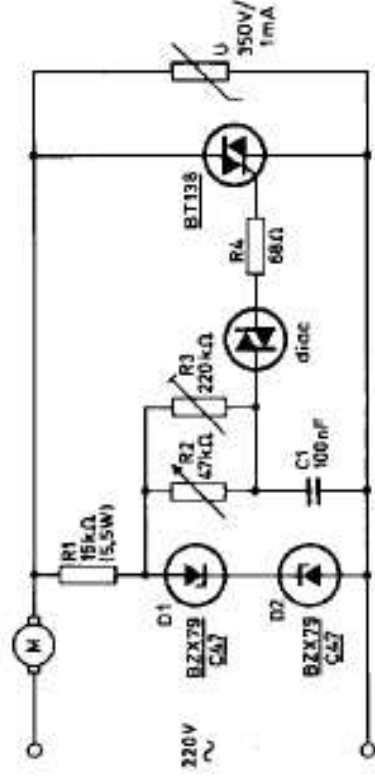
Recommended base current for BJT driving.

Drive para SCR

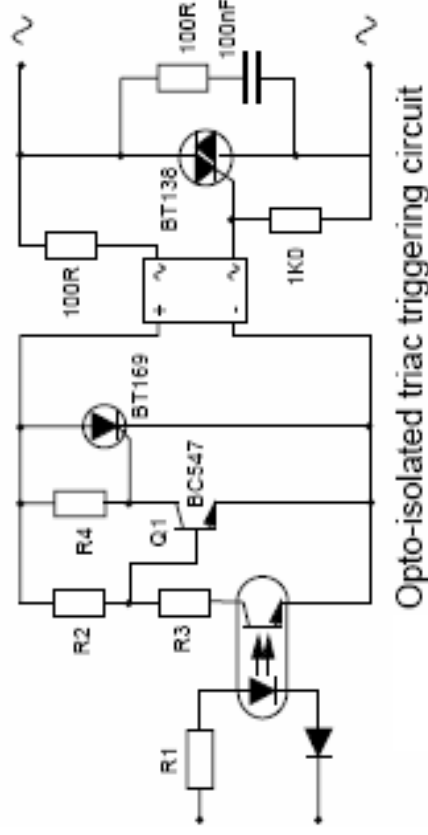


Alternative triac triggering circuits

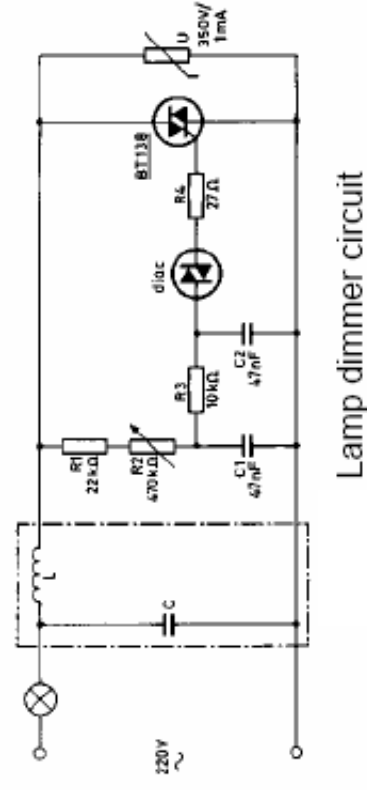
Conversores DC-DC ACCIONAMENTOS ELECTROMECÂNICOS



Vacuum cleaner suction control circuit



Opto-isolated triac triggering circuit



Lamp dimmer circuit

Fim