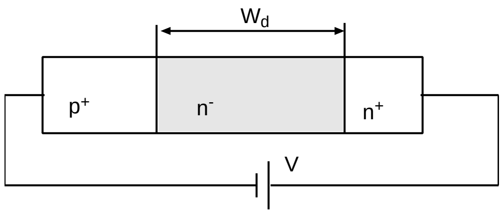
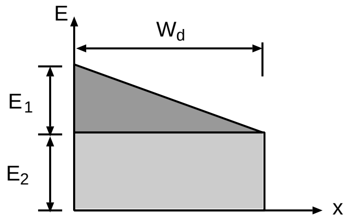
1.- Obtener el valor de extensión de la zona n$^-$ para un diodo de potencia de unión comparando los casos de admitir o no la condición de que la zona de carga espacial alcance la totalidad de la zona n$^-$ (punch-through).

Datos: $E_{BD} = 2 \cdot 10^5 \dfrac{V}{cm}$, $e = 1{,}05 \cdot 10^{-12} \dfrac{F}{cm}$, $BV_{BD} = 5000V$, $N_d = 10^{14} cm^{-3}$





$E = \int \dfrac{r}{e} dx$; $E = -\dfrac{dV}{dx}$ Se considera que la diferencia de potencial es función lineal de x

Sin punch-through

$$E_{BD} < \int_0^{W_d} \frac{qN_d}{e} dx \quad ; \quad E_{BD} < \frac{qN_d}{e} W_d$$

$$E = \frac{qN_d}{e} x \quad ; \quad V = \frac{qN_d}{2e} x^2 \quad ; \quad BV_{BD} < \frac{qN_d}{2e} W_d^2 \quad ;$$

$$BV_{BD} < E_{BD} \frac{W_d}{2}$$

$$W_d > \frac{2BV_{BD}}{E_{BD}} \quad ; \quad W_d > 500 mm$$

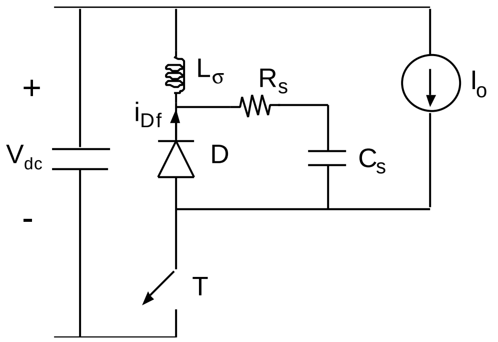
Admitiendo punch-trough

$$E_1 = \frac{qN_d W_d}{e} \quad ; \quad V_1 = \frac{qN_d W_d^2}{2e} \quad ; \quad E_2 = cte \quad ; \quad V_2 = E_2 W_d$$

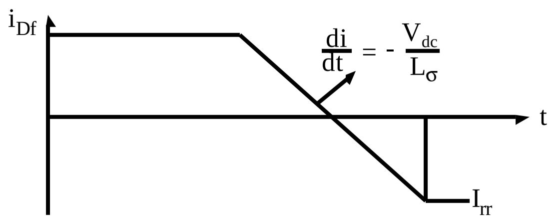
$$E_1 + E_2 < E_{BD} \quad ; \quad V_1 + V_2 < BV_{BD} \quad ; \quad V_1 + V_2 = E_2 W_d + \frac{qN_d W_d^2}{2e}$$

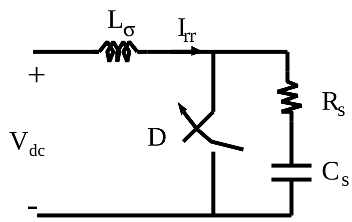
Si $E_2 >> E_1$; $BV_{BD} < E_{BD} W_d$; $W_d > \frac{BV_{BD}}{E_{BD}}$; $W_d > 250 mm$

2.- Calcular el snubber para el diodo de libre circulación de la figura. Datos: V_{dc}=300V, L_s=20µH, t_{rr}= 0,3µs. La tensión máxima que debe soportar el diodo es 500V. Calcular R_s para que la conmutación tenga un coeficiente de amortiguación superior a 0,5.



Evolución de la intensidad (peor caso) y circuito equivalente.





Ecuación que describe el comportamiento del circuito sin considerar R_s

a) Suponiendo V_{dc} = 0V, I(0) = I_{rr} y $v_{Cs}(0)$ = 0V, entonces

$$v_{Cs} = I_{rr}\sqrt{\frac{L}{C}}\sin(w_o t), \text{ siendo } w_o = \frac{1}{\sqrt{L_s C_s}}$$

b) Suponiendo V_{dc} = 200 V, I(0) = 0A y $v_{Cs}(0)$ = 0V

$$i_{Cs} = V_d\sqrt{\frac{C_s}{L_s}}\sin(w_o t), \text{ integrando } v_{Cs} = V_d\left[1-\cos(w_o t)\right]$$

Aplicando superposición si V_{dc} = 200 V, I(0) = I_{rr} y $v_{Cs}(0)$ = 0V

$$v_{Cs} = V_d\left[1-\cos(w_o t)\right] + I_{rr}\sqrt{\frac{L_s}{C_s}}\sin(w_o t), \text{ tomando } C_{base} = L_s\left[\frac{I_{rr}}{V_d}\right]^2 = 4{,}5nF$$

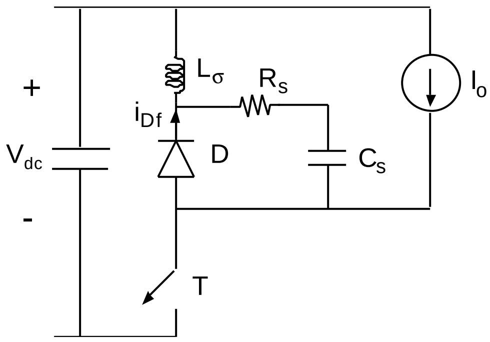
$v_{Cs} = V_d\left[1-\cos(w_o t)+\sqrt{\frac{C_{base}}{C_s}}\sin(w_o t)\right]$, cuyo máximo $V_{Cs\,\max} = V_d\left[1+\sqrt{1+\frac{C_{base}}{C_s}}\right]$

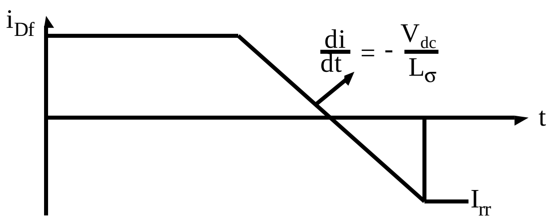
$I_{rr} = \frac{V_d}{L_s} t_{rr} = 4{,}5A$, se observa que para cualquier valor de C_s, si $R_s = 0\,\Omega$ la sobreoscilación mínima es $2V_d$. Para $C_s = C_{base}$ y $R_s = 0\,\Omega$ la sobreoscilación es $V_{Csmax} = 2{,}41\ V_d$.

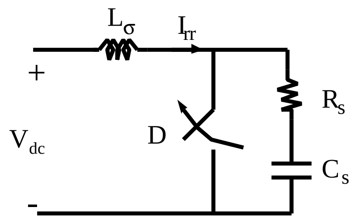
Si hacemos un sistema sobreamortiguado, $V = \frac{R_s}{2L_s w_o} = 1$, entonces no existe sobreoscilación pero si $C_s = C_{base}$, $R_s = 66{,}6\Omega$ y $V_{max} = R_s I_{rr} = 2\ V_d$.

Con $\xi = 0{,}7$ apenas existe sobreoscilación y para $C_s = C_{base}$, $R_s = 46\ \Omega$, y $R_s\ I_{rr} < 1{,}5V_d$

3.- Calcular C_s que actúa como snubber del diodo de libre circulación D. Datos V_d = 100 V, L_s = 10 μH, t_{rr} = 0,2 μs. La tensión máxima que debe soportar el diodo es V_{max} = 3 V_d. Calcular R_s para que L_s, R_s C_s tenga un coeficiente de amortiguación superior a 0,7.







Ecuación que describe el comportamiento del circuito sin considerar R_s

a) Suponiendo V_{dc} = 0V, I(0) = I_{rr} y $V_{Cs}(0)$ = 0V, entonces

$$v_{Cs} = I_{rr}\sqrt{\frac{L}{C}}\sin(w_o t), \text{ siendo } w_o = \frac{1}{\sqrt{L_s C_s}}$$

b) Suponiendo V_{dc} = 100 V, I(0) = 0A y $V_{Cs}(0)$ = 0V

$$i_{Cs} = V_{dc}\sqrt{\frac{C_s}{L_s}}sin(w_o t), \text{ integrando } v_{Cs} = V_d\left[1-\cos(w_o t)\right]$$

$$\frac{V_{dc}t_{rr}}{L_s} = I_{rr} = 2A$$

Aplicando superposición si V_{dc} = 100 V, I(0) = I_{rr} y $V_{Cs}(0)$ = 0V

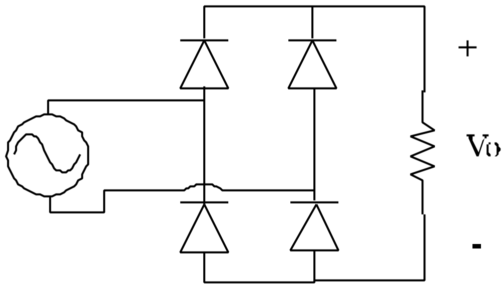
$$v_{Cs} = V_{dc}\left[1-\cos(w_o t)\right] + I_{rr}\sqrt{\frac{L_s}{C_s}}sin(w_o t), \text{ tomando } C_{base} = L_s\left[\frac{I_{rr}}{V_{dc}}\right]^2 = 4nF$$

$v_{Cs} = V_d\left[1-\cos(w_o t)+\sqrt{\frac{C_{base}}{C_s}}\sin(w_o t)\right]$, cuyo máximo $V_{Cs\max} = V_d\left[1+\sqrt{1+\frac{C_{base}}{C_s}}\right]$

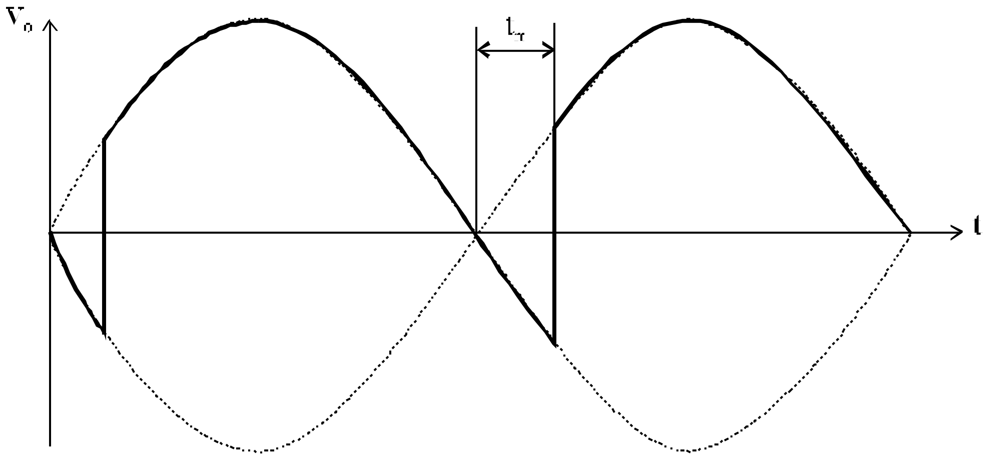
Si $V_{Csmax} \leq 300V$; C_s= 1,4nF

$V = \frac{R_s}{2L_s w_o} > 0{,}7$, R_s=120Ω. $R_s I_{rr} = 240V < 300V$

4.- En el convertidor de la figura los diodos tienen un tiempo de recuperación inversa t_{rr}=50μs. La tensión de entrada es alterna senoidal de valor eficaz V_i = 220V y frecuencia f_s. Determinar el efecto que tiene t_{rr} sobre la tensión media de salida V_o en los casos: a) f_s=2kHz y b) f_s=50Hz.



La reducción del valor medio de la tensión de salida se obtiene a partir de la figura



Caso a)

$$V_{rr} = \frac{1}{p}\int_0^{wt_{rr}} \hat{V}\,\mathrm{sen}(wt)\,dwt \qquad ; \qquad V_{rr} = \frac{\hat{V}}{p}\left(1-\cos wt_{rr}\right) \quad ; \qquad V_{rr} = 0{,}191\frac{\hat{V}}{p}$$

Caso b)

$$V_{rr} = 0{,}000123\frac{\hat{V}}{p}$$

Si no existiera tiempo de recuperación inversa la tensión de salida sería

$$\overline{V_o} = \frac{1}{p}\int_0^{p} \hat{V}\,\mathrm{sen}(wt)\,dwt \qquad ; \qquad \overline{V_o} = \frac{2\hat{V}}{p}$$

El caso a) por tanto representa 9,55% de V_o sin tener en cuenta trr y el caso b) representa 0,006% de reducción de V_o que es despreciable.

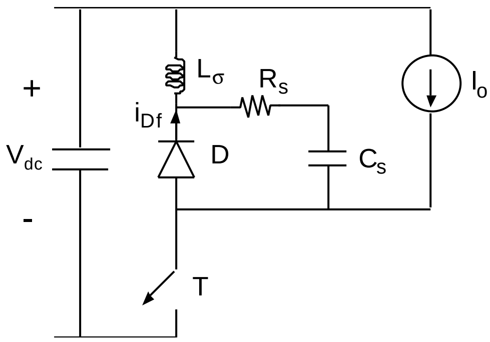
5.- En el circuito de la figura se produce una sobretensión importante en el paso de conducción a bloqueo del diodo D_f debido a la inductancia L_σ, que a su vez limita la máxima intensidad de recuperación inversa I_{rr}.

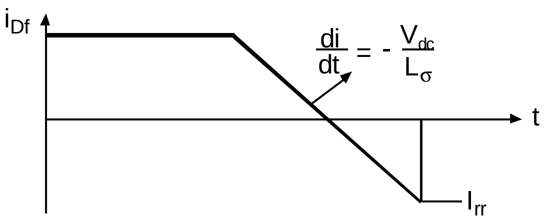
- Calcular I_{rr} y la carga de recuperación inversa Q_{rr}

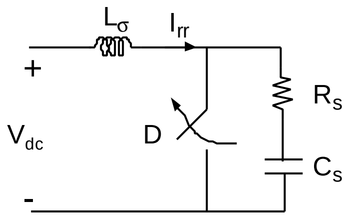
- Diseñar el snubber R_s C_s

Datos: Tiempo de recuperación inversa t_{rr} = 300 ns, V_d = 30 V, L_σ = 1µH

Criterios: La energía del condensador C_s cargado a la tensión de alimentación V_d es igual a la máxima energía de la inductancia L_σ, con intensidad I_{rr}. El factor de amortiguación del circuito R_s C_s L_σ equivalente es ξ = 0,5.







$$\frac{d\, i_{Df}}{dt} = \frac{V_d}{L_\sigma} = \frac{30\text{ V}}{1\ \mu\text{H}} = 30\ \frac{\text{A}}{\mu\text{s}}$$

$$I_{rr} = \frac{d\, i_{Df}}{dt}\, t_{rr} = 9\text{ A} \ ;\ Q_{rr} = \int_0^{t_{rr}} i_{rr}\, dt = \frac{t_{rr}\, I_{rr}}{2} = 1{,}35\ \mu\text{C}$$

$$\frac{1}{2} C_s V_d^2 = \frac{1}{2} L_\sigma I_{rr}^2 \ ;\ C_s = L_\sigma \left(\frac{I_{rr}}{V_d}\right)^2 \ ;\ C_s = 90\text{ nF}$$

$$\xi = \frac{R_s}{2 L_\sigma \omega_0} = 0{,}5 \ ;\ \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_\sigma C_s}} \ ;\ R_s = 3{,}3\ \Omega$$