

Progetto di convertitore Push-Pull

Dati di Progetto: $U_i = 36-72 \text{ V}$ (applic. Telecom)

$U_o = 12 \text{ V}$, $I_o = 20 \text{ A}$ (uscita isolata)

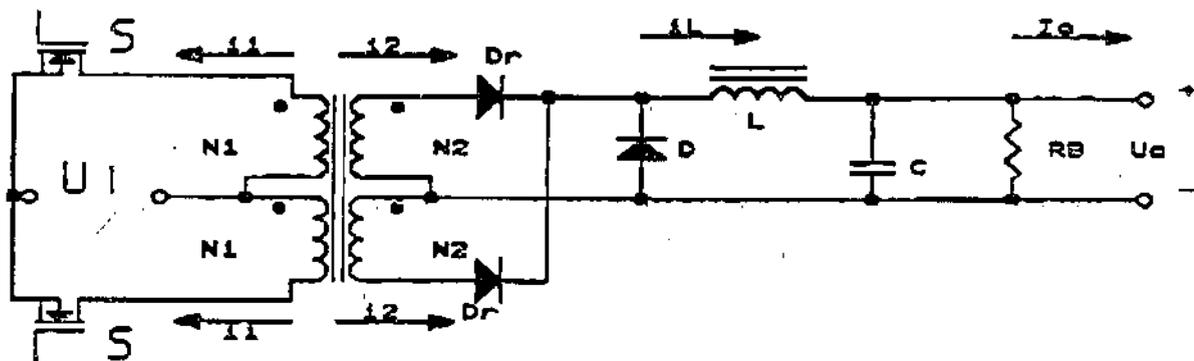
Precisione: statica 1%, dinamica 5%

Scelte Progettuali: frequenza di commutazione $f_s = 50 \text{ kHz}$

Switch a MosFet

Frequenza d'uscita $f_o = 2 f_s = 100 \text{ kHz}$

Schema del convertitore



Progetto

a) Resistenza bleeder R_B (per garantire il funzionamento continuo)

$$P_B \approx 2\% P_o = 5 \text{ W} \rightarrow R_B = U_o^2/P_B \approx 27 \Omega$$

(Nota: Scegliere P_B così basso è solo apparentemente conveniente)

b) Induttanza di filtro L

Condizione di funzionamento continuo:

$$L \geq R_B/(2 f_o) = 27/(2 \cdot 100 \cdot 10^3) \approx 135 \mu\text{H}$$

c) Tensione secondaria

Posto: C.d.t. sui diodi di raddrizzamento $D_r \approx 1 \text{ V}$

C.d.t. sul trasformatore, su L , ecc. $\approx 1.5 \text{ V}$ (10% U_o)

Max duty-cycle $\delta_{\text{MAX}} \approx 0.95$ (0.5 μs dead-time)

Si ha: $U_{2\text{min}}$ (per $U_i = 36 \text{ V}$) = $(U_o + \text{cdt})/\delta_{\text{MAX}} \approx 15 \text{ V}$

Quindi: $U_{2\text{MAX}}$ (per $U_i = 72 \text{ V}$) $\approx 30 \text{ V} \rightarrow \delta \approx 0.5$

d) Condensatore d'uscita

Calcolo statico: Il massimo ripple di corrente si ha per $\delta=0.5$, cioè per $U_i=U_{i\text{MAX}}$, e vale: $\Delta I_{\text{MAX}} = U_{2\text{MAX}}/(4 f_o L) \approx 0.55 \text{ A}$.

La carica scambiata con il condensatore vale:

$$\Delta Q = 1/2 \cdot \Delta I_{\text{MAX}}/2 \cdot T_o/2 \approx 0.7 \mu\text{C}$$

mentre il ripple di tensione è $\Delta U = \Delta Q/C$.

Posto $\Delta U = 0.01 U_o$ si ottiene: $C \approx 6 \mu\text{F}$.

Calcolo dinamico: La situazione peggiore si ha all'apertura del carico, quando tutta l'energia dell'induttanza di filtro viene trasferita al condensatore d'uscita. In tal caso si ha: $\Delta U \approx 1/2 L I_o^2/(C U_o)$, da cui, ponendo $\Delta U = 0.05 U_o$ si ottiene $C \approx 3750 \mu\text{F}$.

In definitiva si assume: $C = 4000 \mu\text{F}$.

e) Progetto dell'induttanza di filtro

Scelta del nucleo magnetico

$$L I_L = N \Phi = N A_e B_{MAX}$$

Assunta come corrente nominale I_L dell'induttanza la corrente d'uscita I_o e posto $B_{MAX} = 300$ mT (a 100 kHz) si ha:

$$N A_e = 135 \cdot 10^{-6} \cdot 20/0.3 = 9 \cdot 10^{-3} \text{ (9000 mm}^2\text{)}$$

Assunta una densità di corrente D_1 di 4 A/mm² la sezione utile del filo di rame risulta:

$$S_{Cu} = I_o/D_1 = 20/4 = 5 \text{ mm}^2 \rightarrow d_{int} \approx 2.5 \text{ mm}$$

Usando filo smaltato (isolamento da 0.2 mm) si ha $d_{ext} \approx 3$ mm e quindi $S_{filo} \approx 7 \text{ mm}^2$. Assunto un coefficiente di riempimento K_r di 0.5, si ha: $S_{avv} = N \cdot S_{filo}/K_r = N \cdot 14 \text{ mm}^2$

Si sceglie un nucleo tipo EC70 con:

sezione magnetica utile $A_e = \overset{279}{202} \text{ mm}^2$ ($A_{min} = 211 \text{ mm}^2$)

sezione di avvolgimento $A_N = 470 \text{ mm}^2$,

permeanza $A_L = 3900 \text{ nH}$ (senza traferro).

Si ha: $N = 9000/279 = 33$ spire; $S_{avv} = 14 \cdot 33 = 462 \text{ mm}^2$

Calcolo del traferro t

$$R_m = \text{riluttanza} = t/(\mu_o \cdot A_{\min}) = N I/\Phi$$

$$\text{dunque: } t = \mu_o N I_o A_{\min}/(B_{\text{MAX}} \cdot A_o) \approx 2 \text{ mm}$$

Calcolo della resistenza dell'avvolgimento

$$R_L = \rho \pi d_{\text{med}} N/S_{\text{Cu}}$$

ove $\pi \cdot d_{\text{med}}$ è la lunghezza media delle spire ($d_{\text{med}} = 30 \text{ mm}$)

$$R_L = 0.02 (\Omega \text{ mm}^2/\text{m}) \cdot \pi \cdot 0.03 (\text{m}) 33/2.5 (\text{mm}^2) \approx 25 \text{ m}\Omega$$

Perdite nell'avvolgimento

$$P_L \approx R_L I_o^2 \approx 10 \text{ W}$$

Nota:

La scelta di avere un piccolo carico bleeder è solo apparentemente favorevole dal punto di vista del contenimento delle perdite. Infatti essa implica un più elevato valore di induttanza, e quindi un più grande nucleo magnetico (con maggiori costi ed ingombri) ed un maggiore numero di spire, con conseguenti maggiori perdite nell'avvolgimento. Nel nostro caso $P_L = 2 P_B$. Di norma si assume $P_B \approx 5\%$ di P_o .

f) Progetto del trasformatore

$U_{\text{imin}} = 36 \text{ V}$; cdt dei MosFet (e altro) $\approx 3 \text{ V}$ \rightarrow tensione utile al primario $U_1 = 33 \text{ V}$. Dunque: $N_1/N_2 = 33/15 = 2.2$.

$T_o U_{\text{imin}} = N_1 \Phi_{\text{MAX}} = N_1 A_e B_{\text{MAX}}$; posto $B_{\text{MAX}} = 100 \text{ mT}$ (a 50 kHz, con piena escursione del flusso), si ha:

$$N_1 A_e = 3.6 \cdot 10^{-3} \text{ V} \cdot \text{s}.$$

Si assume ancora un nucleo EC70, con:

$$A_e = 279 \text{ mm}^2, A_N = 469 \text{ mm}^2, A_L = 3990 \text{ nH (N27)}$$

$$\text{Risulta } N_1 = 13 \text{ spire (x2)}, N_2 = 6 \text{ spire (x2)}$$

Avvolgimento secondario: $I_{2\text{rms}} = 20/\sqrt{2} = 14 \text{ A}$.

Posto $D_1 = 4 \text{ A/mm}^2$: $S_{\text{Cu}} = 4 \text{ mm}^2$; $\phi_{\text{int}} = 2.3 \text{ mm}$; $\phi_{\text{ext}} = 2.7 \text{ mm}$
 $S_{\text{filo}} = 6 \text{ mm}^2$; $S_{\text{invv}} = N_2 S_{\text{filo}}/K_r \approx 72 \text{ mm}^2$ (per $K_r = 0.5$).

La totale sezione degli avvolgimenti secondari è $\approx 150 \text{ mm}^2$.

Avvolgimento primario: $I_{12} = N_2 I_2/N_1 \approx 9.1 \text{ A}$ (corr. sec. riportata)

Induttanza magnetizzante: $L_\mu = N_1^2 A_L \approx 670 \mu\text{H}$

Corrente magnetizzante: $\hat{i}_\mu = U_{\text{imin}} T_o/L_\mu \approx 0.6 \text{ A}$

Corrente primaria: $\hat{i}_1 \approx 10 \text{ A} \rightarrow I_{1\text{rms}} \approx 7 \text{ A} \rightarrow S_{\text{int}} \approx 2 \text{ mm}^2$

$$\phi_{\text{int}} = 1.6 \text{ mm}, \phi_{\text{ext}} = 2 \text{ mm}, S_{\text{filo}} \approx 3.2 \text{ mm}^2$$

Dunque: $S_{\text{invv}} \approx 80 \text{ mm}^2$ e la totale sezione degli avvolgimenti primari risulta di 160 mm^2 .

Il nucleo è quindi largamente sufficiente (ma il nucleo inferiore, EC 52, non sarebbe adeguato).