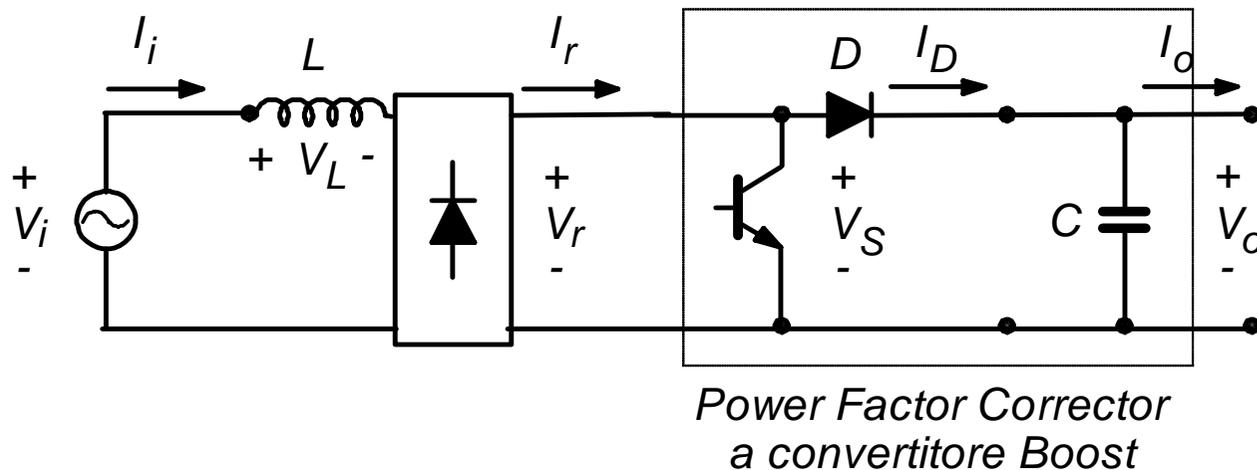


PFC Boost non isolato

Specifiche: $V_i = 180\text{-}260\text{ V}_{\text{rms}}$, $f_g = 50\text{ Hz}$, $V_o = 450\text{ V}$,
 $I_o = 100\text{ A}$, $\Delta U_o = 10\% U_o$,
 $\Delta I_L = 10\%$ del picco di $i_i(t)$.

Dato il livello di potenza piuttosto elevato si sceglie di realizzare il Power Factor Corrector con un convertitore di tipo Boost; per quanto riguarda lo switch si sceglie un IGBT con una frequenza di commutazione f_s di 20 kHz.



Dimensionamento del condensatore

$$P_o = V_o * I_o = 45 \text{ kW}$$

Energia scambiata tra rete e condensatore d'uscita;

$$W = P_o / 2\pi f_g = 45000 / 314 = 143 \text{ J}$$

essa genera un'ondulazione di tensione che si impone non superi il 10% della tensione d'uscita

$$\Delta V_o = 10\% V_o = 45 \text{ V}$$

si può quindi trovare il valore del condensatore d'uscita

$$C = W / (V_o * \Delta V_o) = 143 / (450 * 45) = 7 \text{ mF}$$

Dimensionamento dell'induttore

Si è posto l'induttore a monte del raddrizzatore, piuttosto che a valle, per farlo percorrere da una corrente è alternata. Il funzionamento del circuito rimane tuttavia lo stesso che si avrebbe se l'induttore fosse posto a valle del raddrizzatore.

Si assume modo di funzionamento continuo, quindi

$$V_o / |V_i(t)| = 1 / (1 - \delta(t)), \quad \text{ovvero:} \quad \delta(t) = 1 - |V_i(t)| / V_o$$

Si puo' osservare che, siccome la tensione di alimentazione $v_i(t)$ varia nel tempo con legge sinusoidale, anche il duty cycle $\delta(t)$ deve essere variato lungo il periodo di rete per garantire V_o costante in ogni istante.

Dimensionamento dell'induttore

Range di variazione del duty cycle

$$V_i \text{ (rms)} = 180\text{-}260 \text{ V} \quad \text{implica:} \quad V_i \text{ (peak)} = 255 - 368 \text{ V}$$

Il valore minimo del duty cycle si ha in corrispondenza del valore di picco di $v_i(t)$, quindi:

$$\delta_{V_{i\min}} = 1 - 368 / 450 = 1 - 0.82 = 0.18 \text{ se } V_i \text{ (peak)} = 368 \text{ V,}$$

mentre:

$$\delta_{V_{i\min}} = 1 - 255 / 450 = 1 - 0.57 = 0.43 \text{ se } V_i \text{ (peak)} = 255 \text{ V}$$

Il massimo valore di duty cycle è invece sempre pari a $\delta_{\max}=1$ e si ha quando $v_i(t) = 0$.

Dimensionamento dell'induttore

Il ripple di corrente è dato da:

$$\Delta I_L = \frac{|V_i(t)|}{L \cdot f_s} \cdot \delta(t) \quad \delta(t) = \left(1 - \frac{|V_i(t)|}{V_o}\right) \quad \Delta I_L = \frac{|V_i(t)|}{L \cdot f_s} \cdot \left(1 - \frac{|V_i(t)|}{V_o}\right)$$

che assume valore massimo per:

$$\frac{\partial \Delta I_L}{\partial V_i} = \frac{1}{L \cdot f_s} - \frac{2 \cdot |V_i(t)|}{V_o \cdot L \cdot f_s} = 0 \quad \frac{\partial \Delta I_L}{\partial V_i} = 0 \quad V_o - 2 \cdot |V_i(t)| = 0 \quad \delta = \frac{1}{2}$$

Sostituendo, si ottiene:

$$\Delta I_L = \frac{V_o \cdot (1 - 0.5) \cdot 0.5}{L \cdot f_s} = \frac{V_o}{4 \cdot L \cdot f_s}$$

Dimensionamento dell'induttore

Posto che il valore massimo del ripple non superi il 10% della corrente di picco, quindi:

$$\Delta I_{L_{\max}} = 10\% I_{L_{\max}}$$

Il massimo valore efficace della corrente nell'induttanza è:

$$I_{L_{\max} \text{ (rms)}} = P_o / V_{i_{\min}} = 45000 / 180 = 250 \text{ A}$$

ed il corrispondente valore di picco è:

$$I_{L_{\max} \text{ (peak)}} = 250 * \sqrt{2} = 353 \text{ A}$$

quindi $\Delta I_{L_{\max}} \approx 35 \text{ A}$

$$L = V_o / (4 \Delta I_{L_{\max}} f_s) = 450 / (4 * 35 * 20000) \approx 160 \mu\text{H}$$

Corrente e tensioni massime dei diodi e dello switch

$I_{Smax} = I_{Dmax} \approx \approx 360 \text{ A}$ (in corrispondenza al picco di corrente il valore del ripple è il minimo)

Valori medi: in un generico periodo di commutazione il valore medio della corrente nell'interruttore i_{Save} vale $i_r(t) * \delta(t)$. Per ottenere il valore medio complessivo occorre integrare la grandezza i_{Save} , che varia nel periodo di rete T , lungo il periodo stesso. Sostituendo $i_r(t) = I_{gpeak} * |\sin(\omega t)|$ e $\delta(t) = 1 - |V_i(t)| / V_o$ si ottiene:

$I_{Save} = I_{gpeak} (2 / \pi - |V_i(t)| / (2 * V_o)) \approx 127 \text{ A}$ (calcolato per $V_o = 255 \text{ V}$, che è la condizione peggiore per l'interruttore)

Corrente e tensioni massime dei diodi e dello switch

Il calcolo si puo' anche effettuare osservando che la massima sollecitazione in corrente dell'interruttore si ha con minima tensione (rms) d'ingresso e, corrispondentemente, massima corrente d'ingresso. In tali condizioni la resistenza equivalente d'ingresso vale:

$$R_{eq} = \frac{\hat{V}_{i \min}}{\hat{I}_{i \max}} = \frac{255}{360} \approx 0.7 \Omega$$

Valori medi: nel periodo di PWM si puo' assumere che v_i sia costante

$$\bar{I}_s = \frac{1}{T_s} \cdot \int_0^{T_s} \frac{V_i}{R_{eq}} dt = \frac{1}{T_s} \cdot \frac{1}{R_{eq}} \cdot \int_0^{t_{on}} V_i \cdot dt = \frac{V_i}{T_s} \cdot \frac{\delta \cdot T_s}{R_{eq}}$$

Il valor medio nel periodo di 10 ms è la sommatoria dei valori medi nei 200 periodi di PWM, visto il rapporto tra le due frequenze si sostituisce alla sommatoria l'integrale nel semiperiodo

$$\bar{I}_s = \frac{2}{T_g} \cdot \int_0^{\frac{T_g}{2}} \frac{V_i(t)}{R_{eq}} \cdot \delta(t) dt = \frac{2}{T_g} \cdot \int_0^{\frac{T_g}{2}} \frac{V_i(t)}{R_{eq}} \cdot \left(1 - \frac{V_i(t)}{U_o}\right) dt = \frac{2}{T_g} \cdot \int_0^{\frac{T_g}{2}} \left(\frac{\hat{V}_i \sin(\omega t)}{R_{eq}} - \frac{\hat{V}_i^2 \sin^2(\omega t)}{R_{eq} \cdot U_o} \right) dt$$

Corrente e tensioni massime dei diodi e dello switch

Considerando che:

$$\sin^2(\omega t) = 1 - \cos^2(\omega t) \quad \cos^2(\omega t) = \frac{1 + \cos(2\omega t)}{2} \quad \sin^2(\omega t) = \frac{1 - \cos(2\omega t)}{2}$$

Si ottiene

$$\bar{I}_s = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{\hat{V}_i}{R_{eq}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{\hat{V}_i^2}{R_{eq} \cdot U_o} = 229 - 102 \approx 127 A$$

$$I_{Dmed} = I_{rave} - I_{Save} = 2 / \pi * I_{gpeak} - I_{Save} = I_{gpeak} V_{ipeak} / (2 * V_o) \approx 150 A$$

(calcolato per $V_o = 368 V$, che è la condizione peggiore per il diodo)

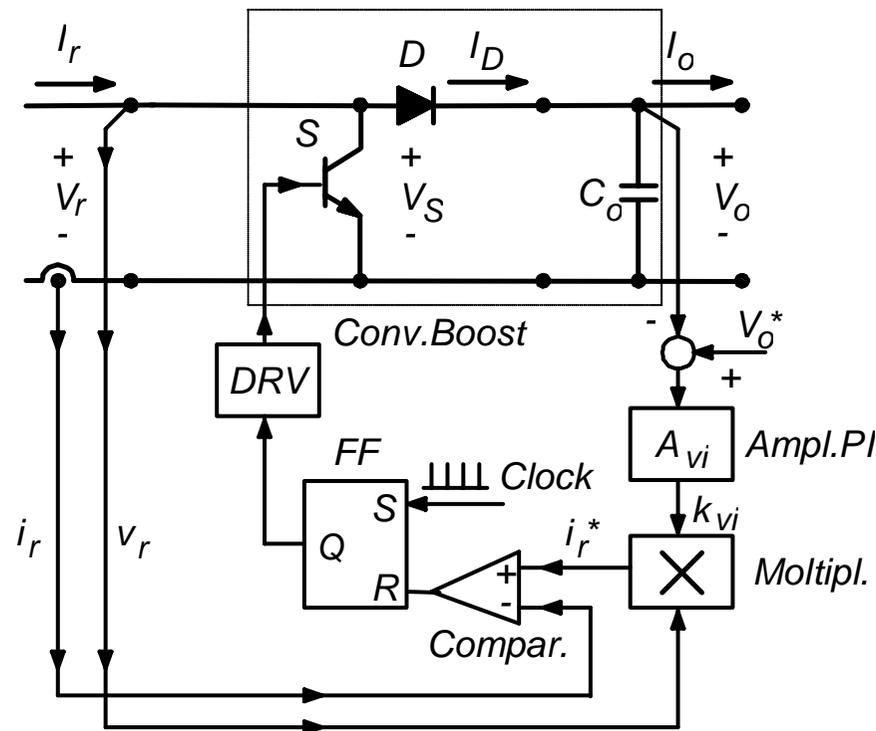
Sia il diodo che l'interruttore sono soggetti alla tensione d'uscita

$$V_o = 450 V$$

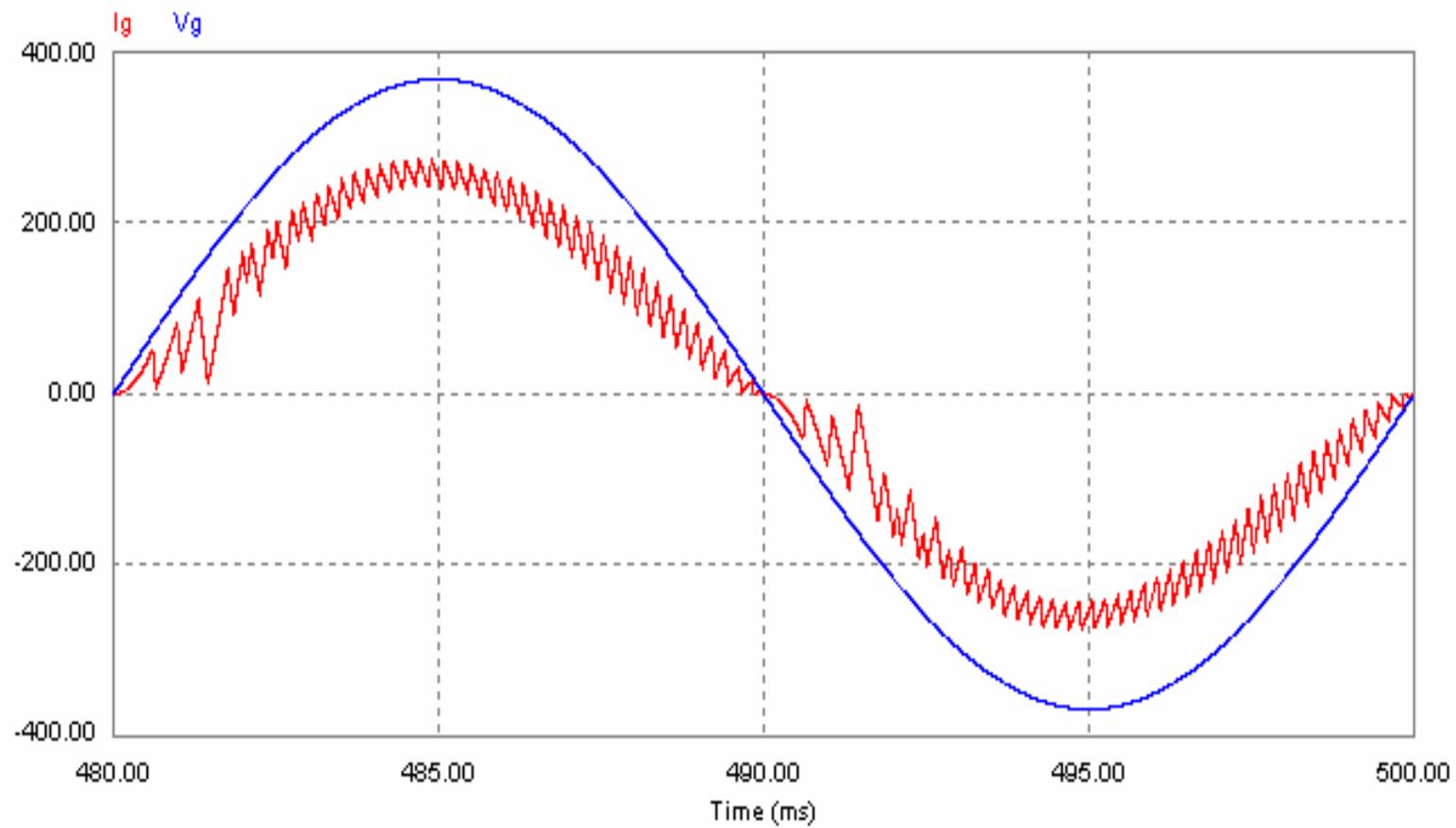
Controllo

Si può implementare un controllo di corrente di picco. L'andamento del riferimento di corrente, che si desidera sinusoidale, si ricava dalla tensione raddrizzata, mentre l'informazione relativa all'ampiezza viene dal regolatore di tensione che consente che V_o sia uguale a V_o^* .

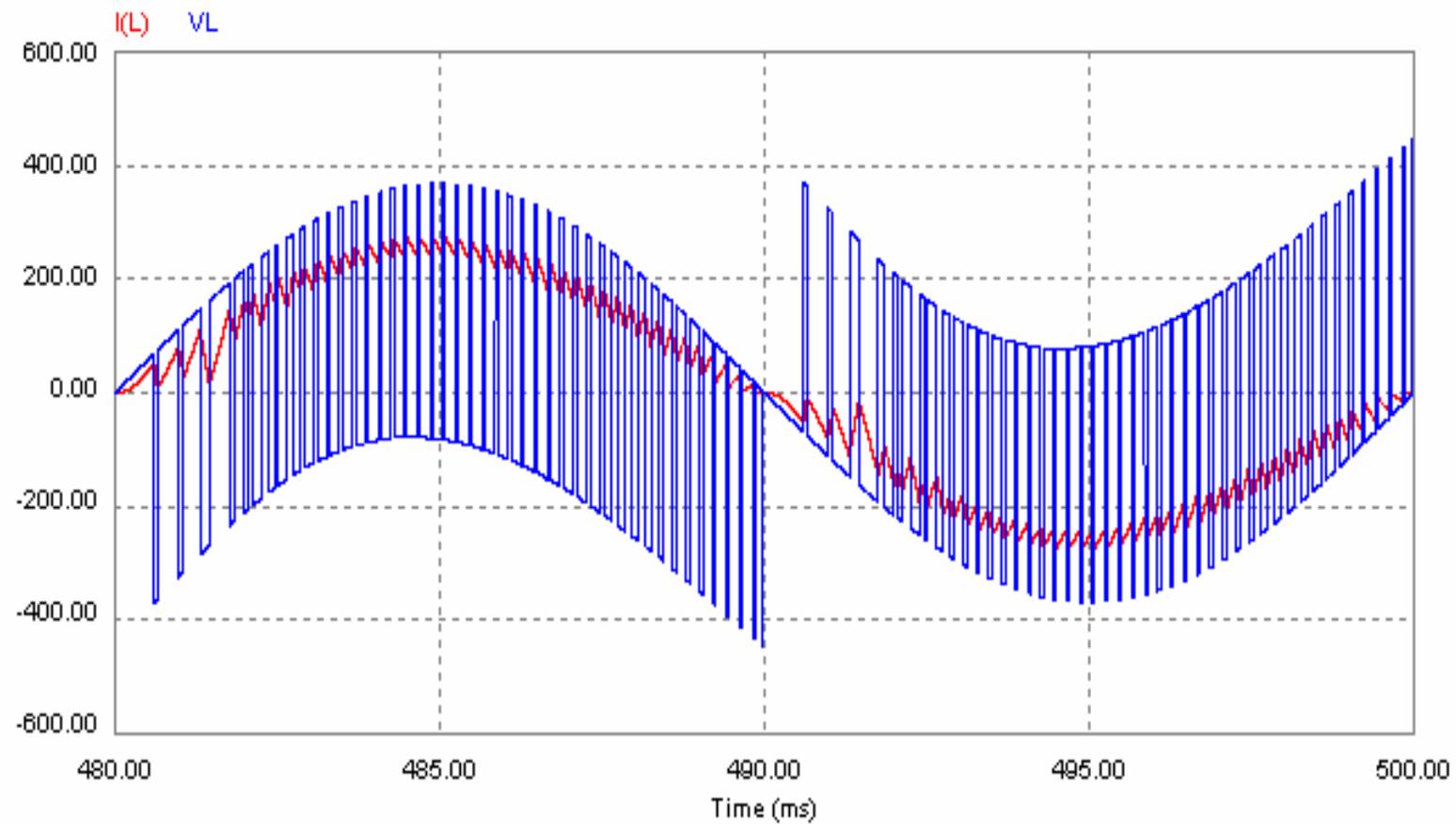
Avendo posto il raddrizzatore a valle dell'induttanza, bisogna aver cura di effettuare la misura di tensione a monte dell'induttanza e poi raddrizzarla prima di inviarla al controllo.



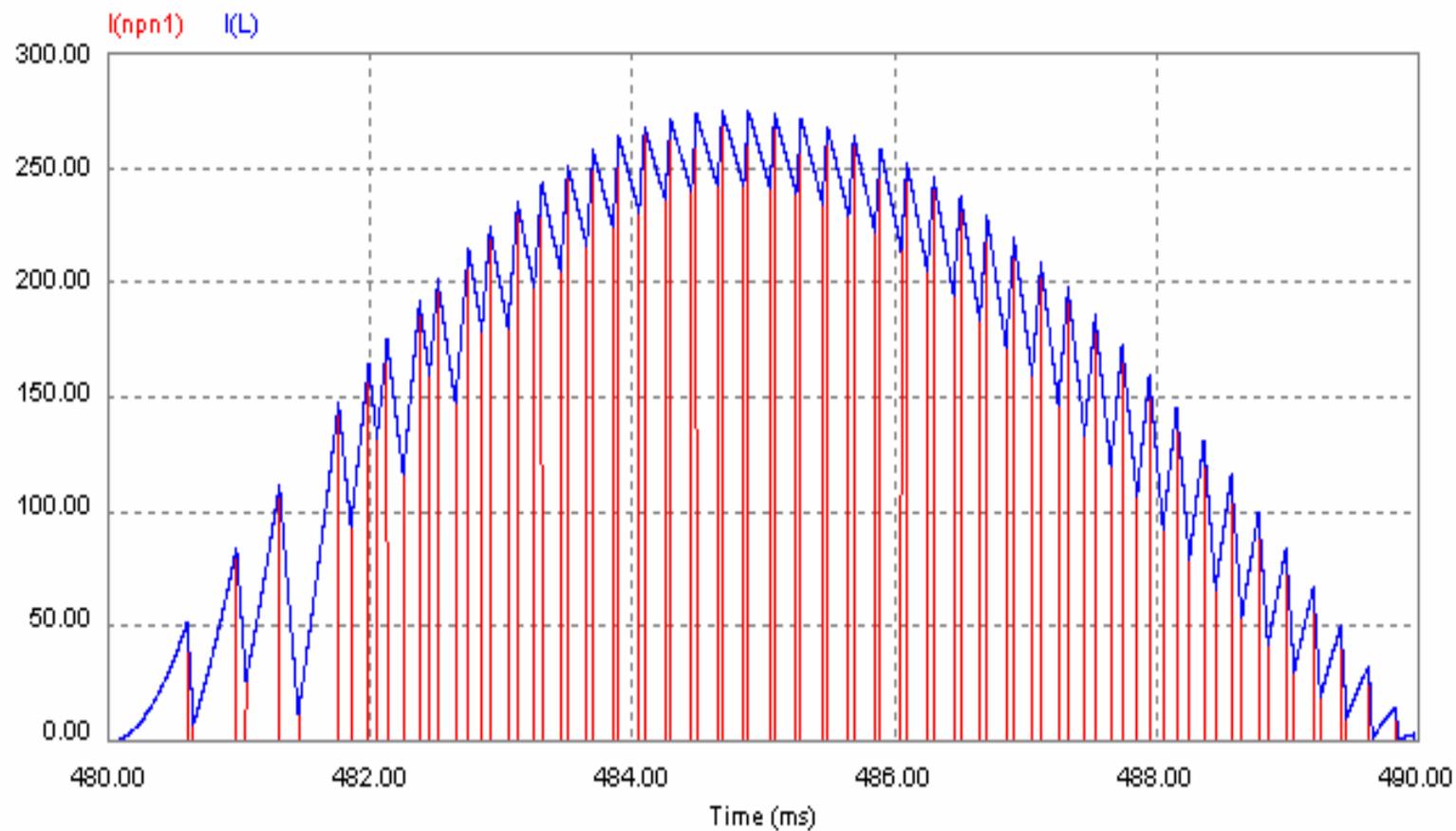
Tensione e corrente di alimentazione



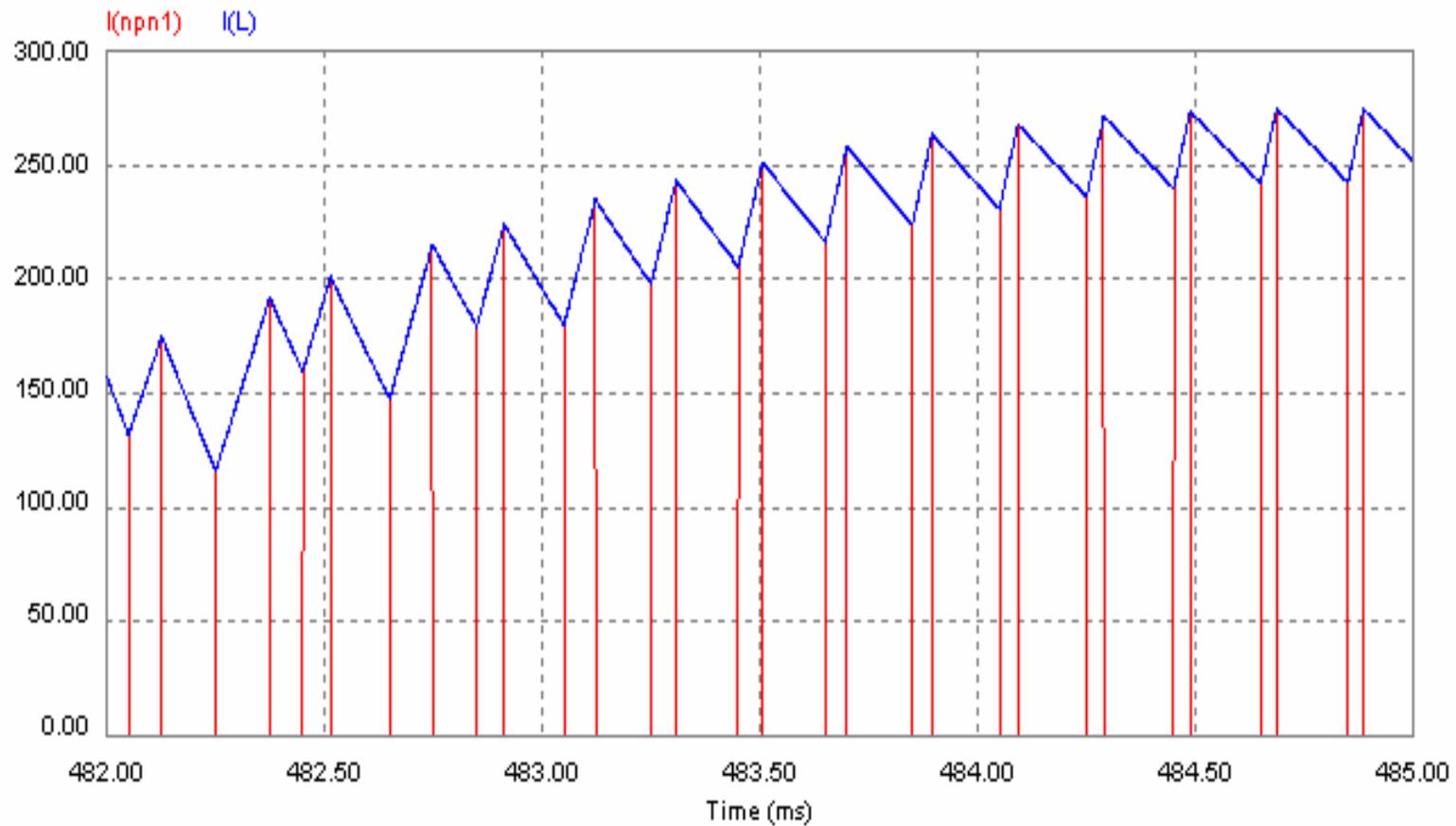
Tensione e corrente sull'induttanza L



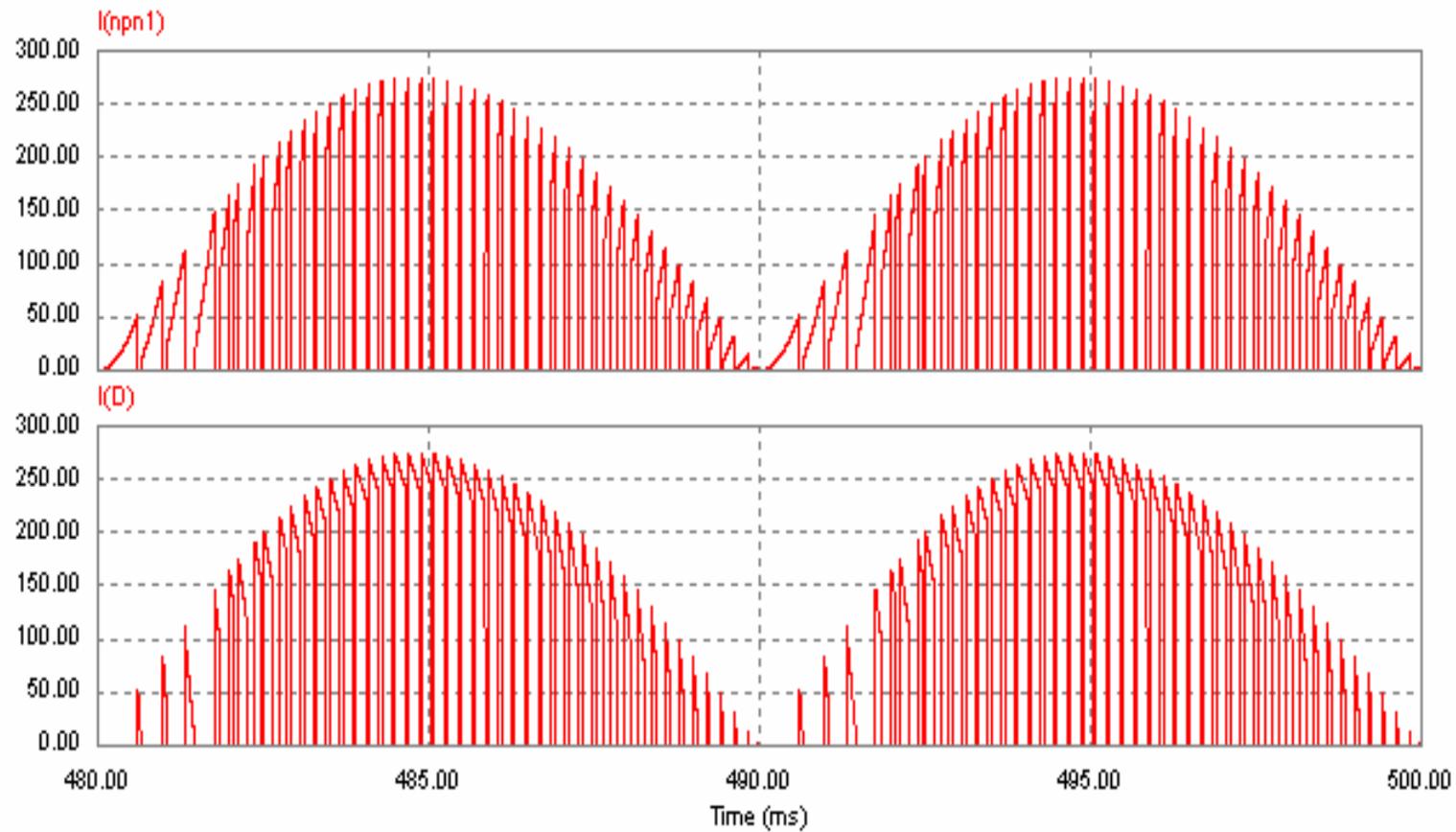
Correnti sullo switch e sull'induttanza L



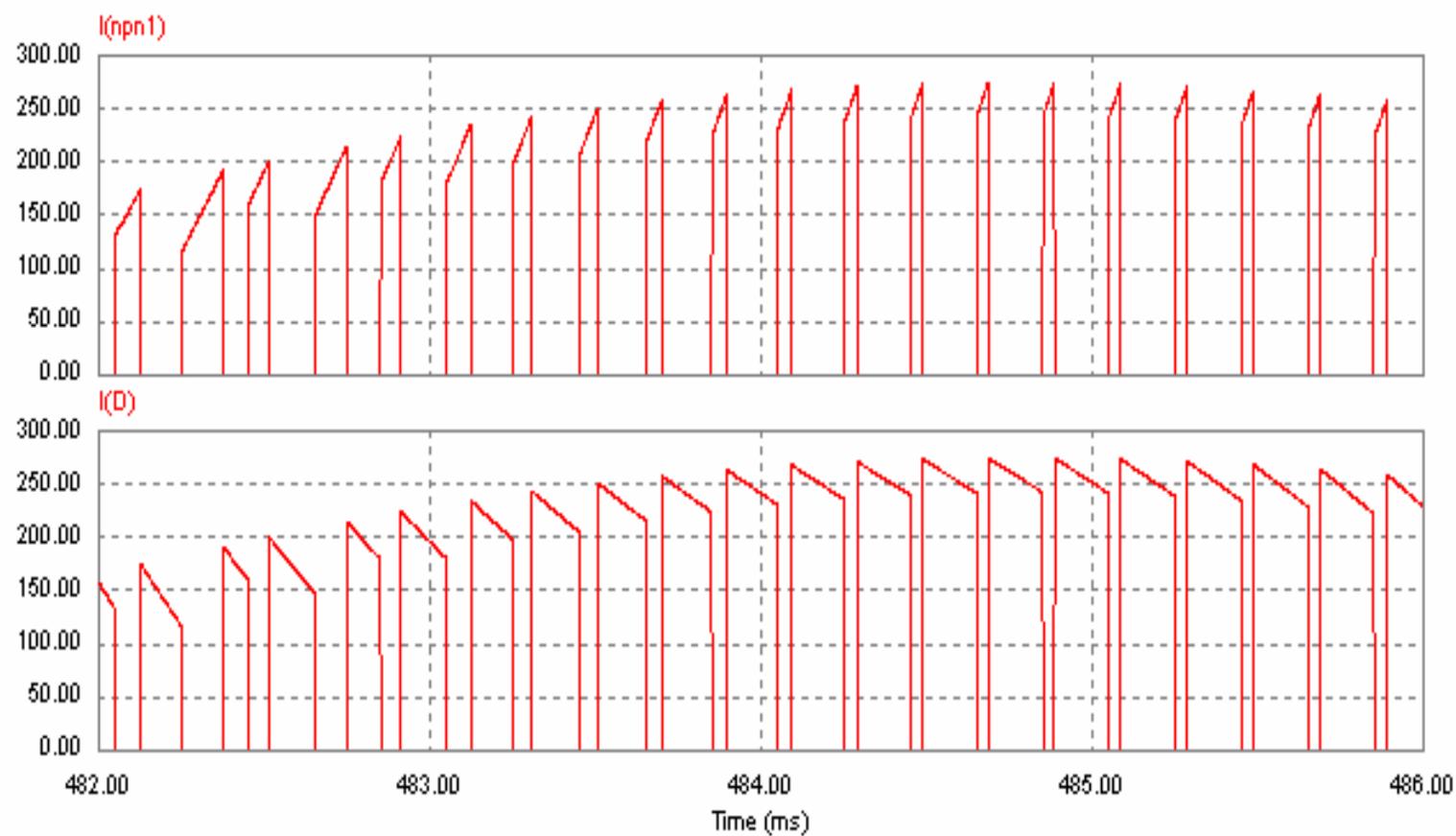
Correnti sullo switch e sull'induttanza L espanse



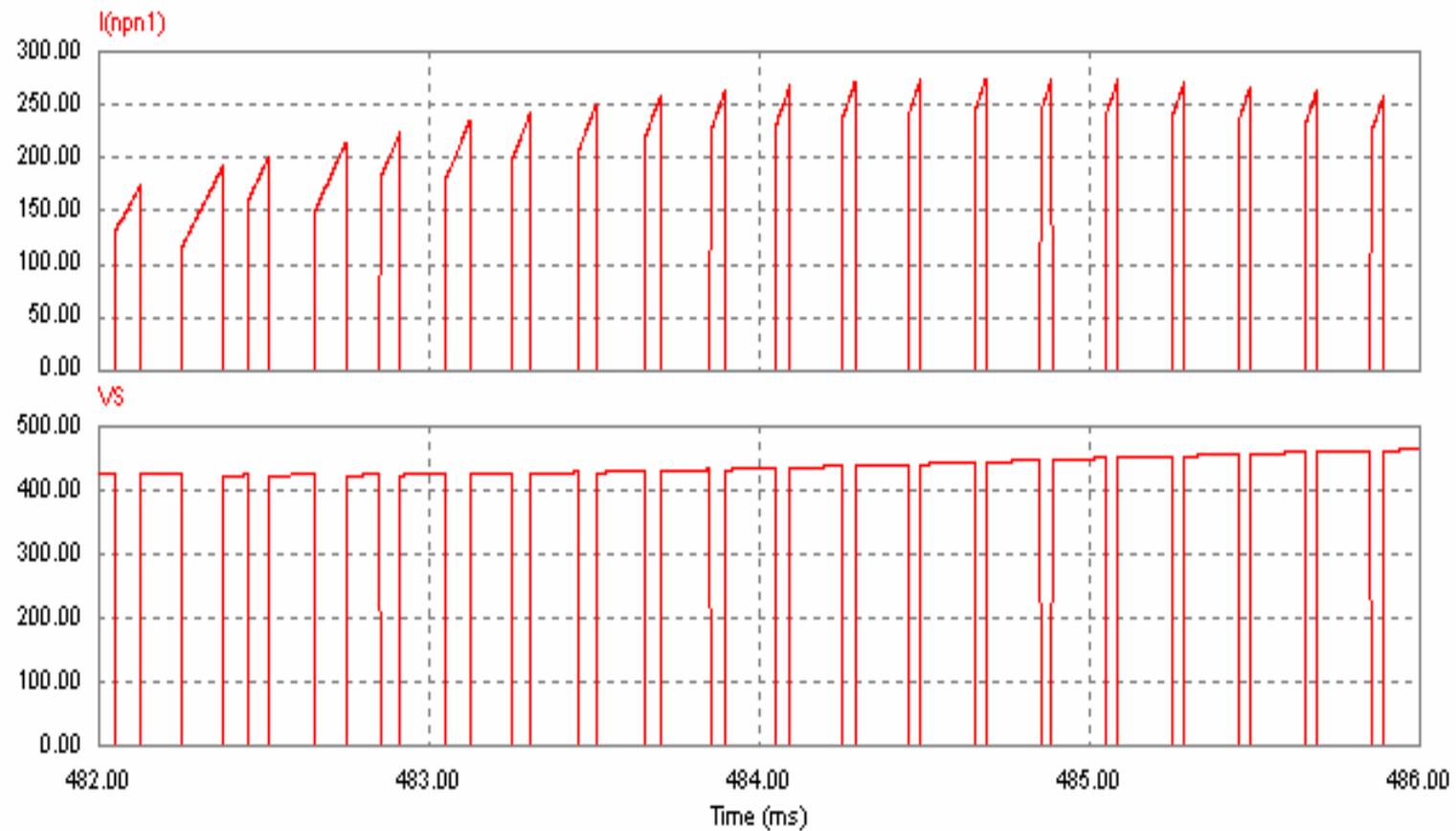
Correnti su switch e diodo



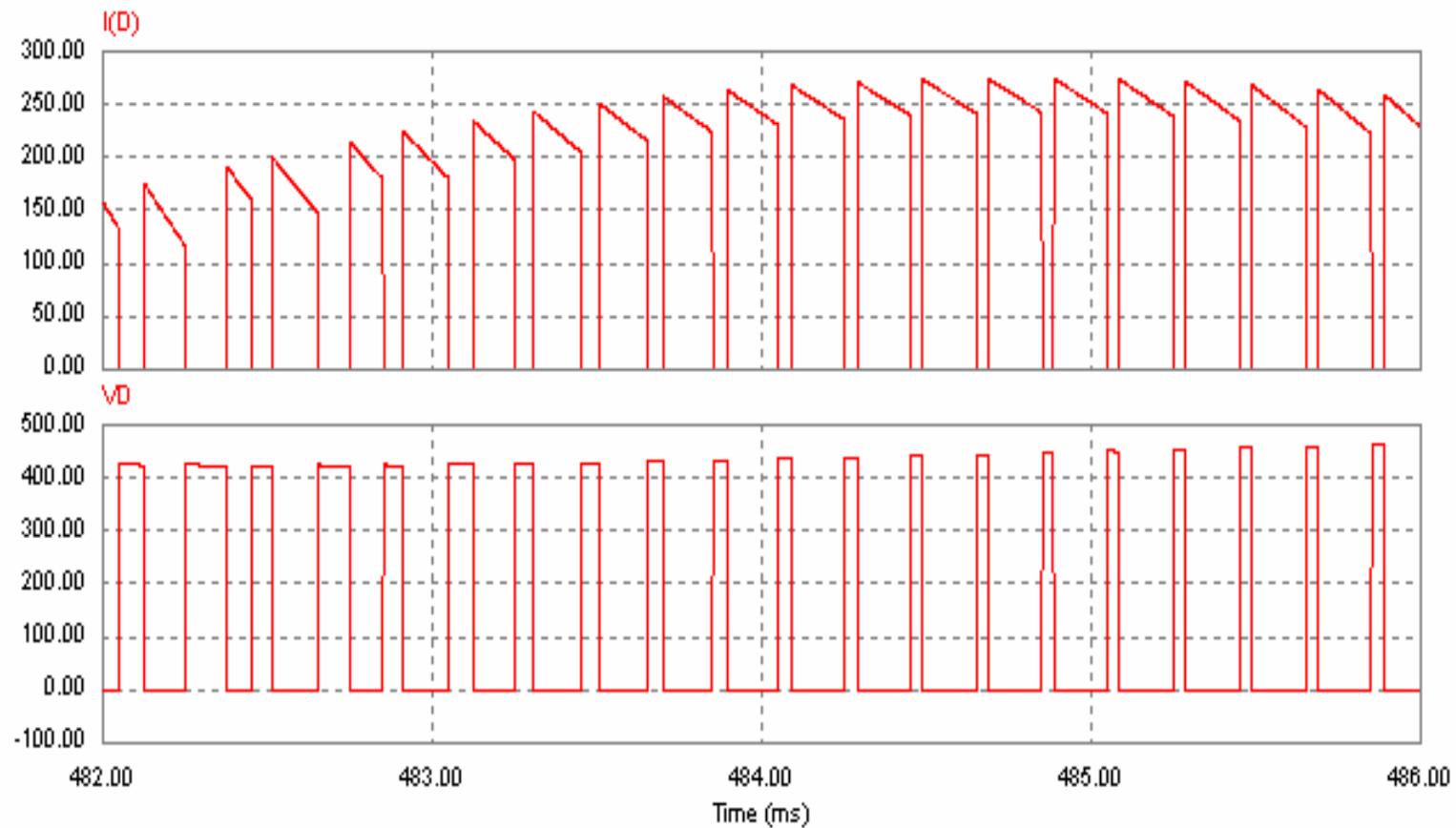
Correnti su switch e diodo espanse



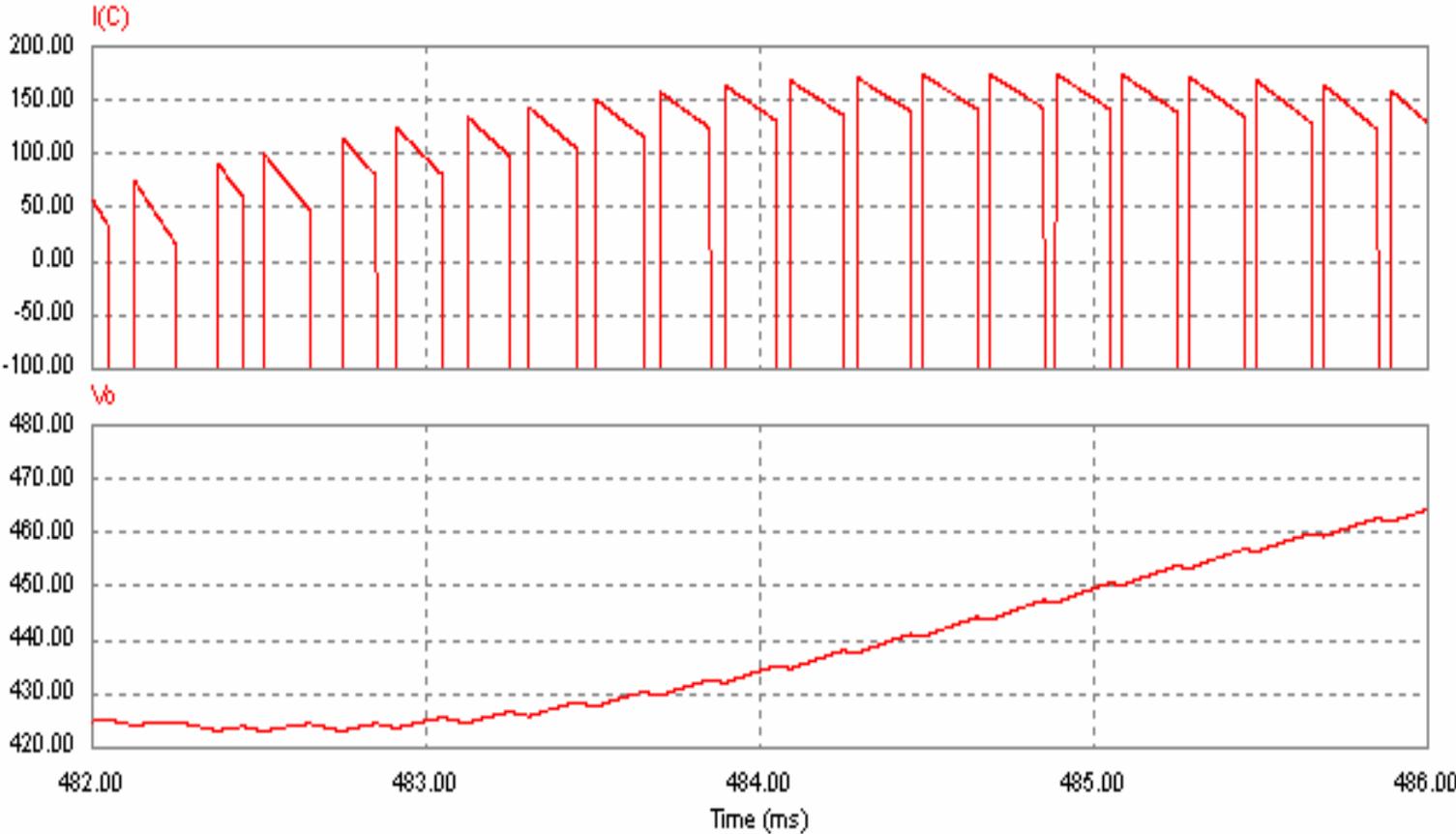
Corrente e tensione sullo switch



Corrente e tensione sul diodo



Corrente sul condensatore e Vout espande



Potenze d'ingresso e d'uscita

