

Corso di ELETTRONICA INDUSTRIALE

“Analisi del funzionamento continuo del convertitore Buck”

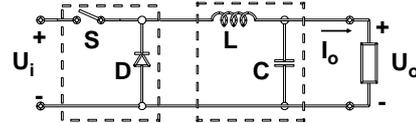
Argomenti trattati

- Analisi dei circuiti non lineari con interruttori e diodi
- Convertitore abbassatore di tensione (Buck):
Analisi del funzionamento continuo (Continuous Conduction Mode, CCM)
 - Fase di on (interruttore chiuso)
 - Fase di off (interruttore aperto)
 - Forme d'onda complessive
 - Caratteristica di controllo
 - Ondulazione di corrente e di tensione

Analisi dei circuiti con interruttori Approccio lineare a tratti

- Si studia separatamente ogni modo di funzionamento (corrispondente ad uno stato di diodi ed interruttori), in cui il circuito é lineare.
- Si compongono le sequenze di modi:
 - identificando le condizioni di inizio e di fine di ciascun modo
 - determinando la successione dei modi
 - trasferendo le condizioni finali di un modo come condizioni iniziali del modo seguente

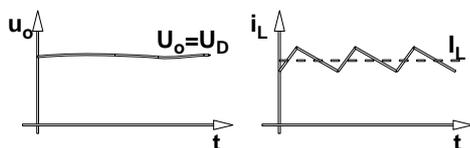
Schema del convertitore Buck



unità switching filtro

- interruttore ideale ($u_{S\text{on}}=0, i_{S\text{off}}=0, t_{\text{swon}}=t_{\text{swoff}}=0$)
- diodo ideale ($u_{D\text{on}}=0, i_{D\text{off}}=0, t_{\text{swon}}=t_{\text{swoff}}=0$)
- L,C ideali ($R_L=0, \text{ESR}=0, \text{ESL}=0$)
- $u_i = U_i = \text{costante}$
- $u_o = U_o = \text{costante} \quad (\omega_r \ll 2\pi f_s)$
- $i_o = I_o = \text{costante}$

Forme d'onda tipiche del convertitore

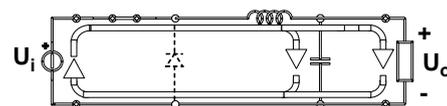


- u_o é effettivamente ben livellata ($u_o=U_o$)
- i_L ha ondulazione (ripple), ma é sempre > 0

Questo modo di funzionamento ($i_L > 0$) si chiama modo continuo (CCM = Continuous Conduction Mode)

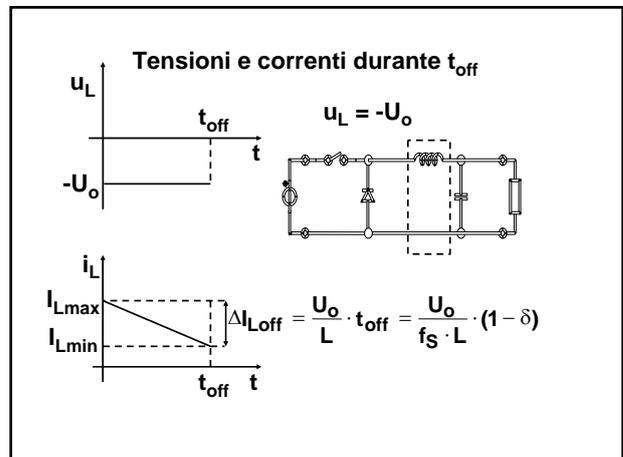
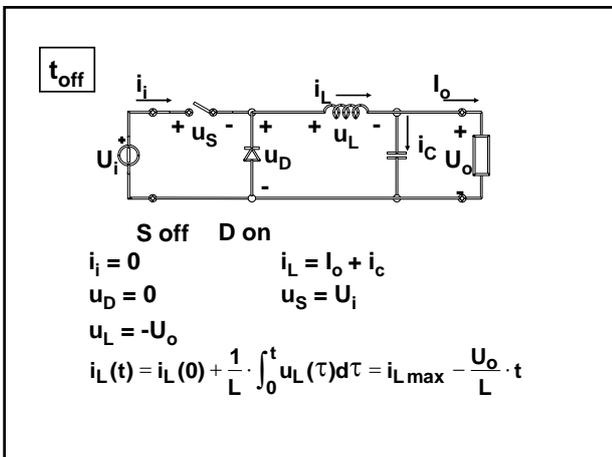
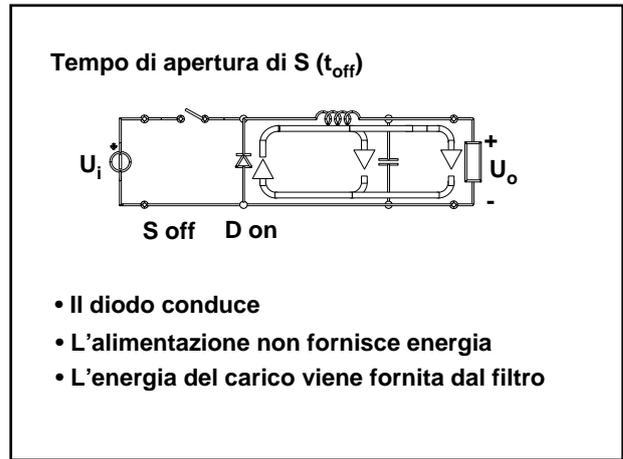
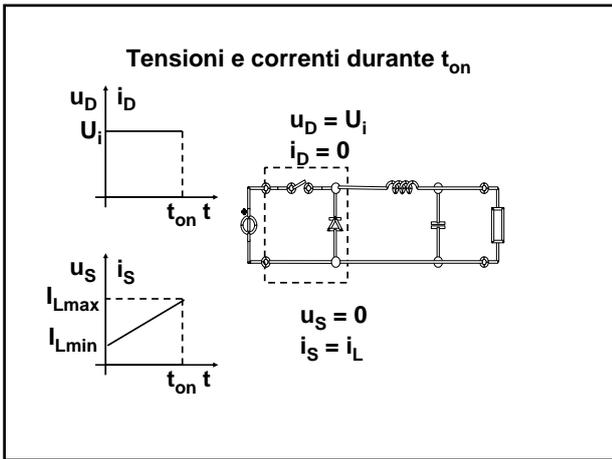
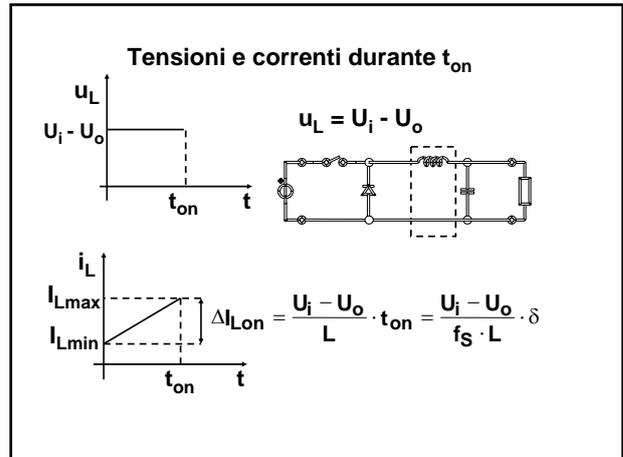
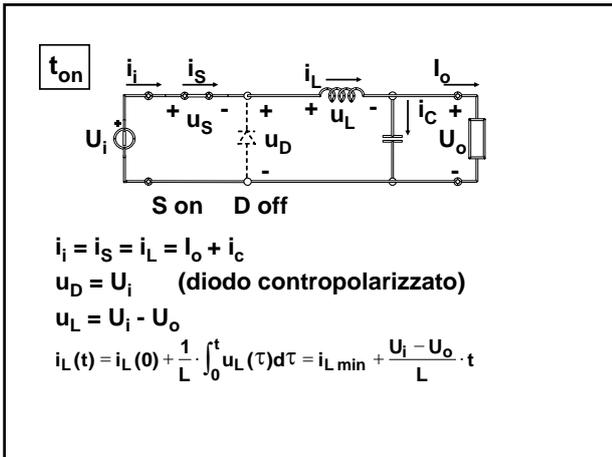
Analisi del funzionamento continuo

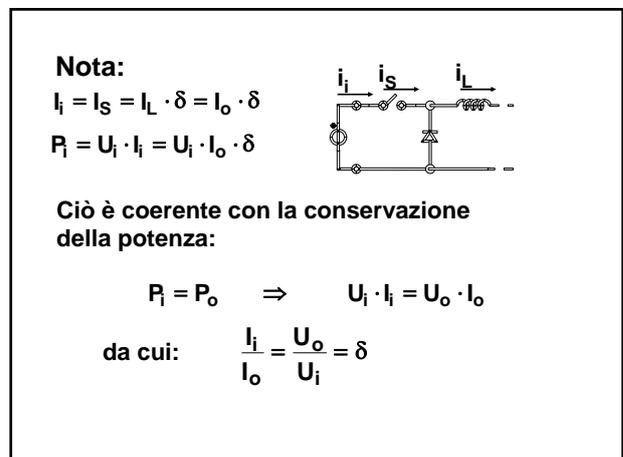
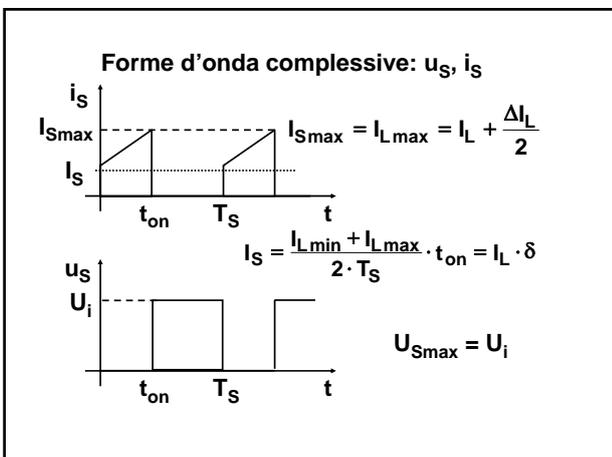
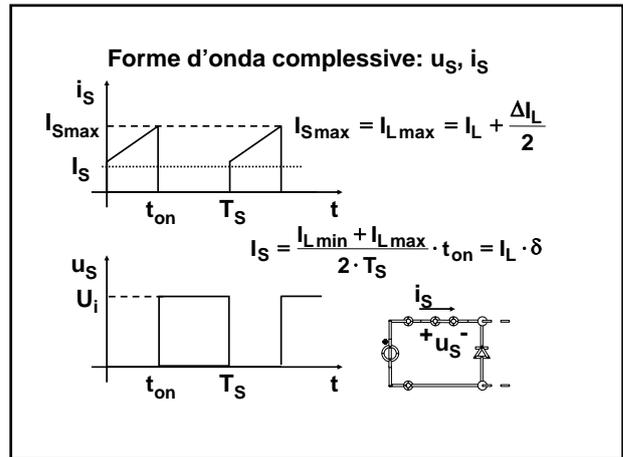
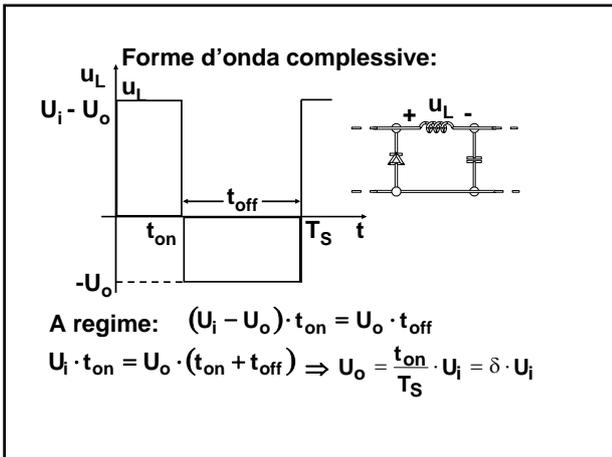
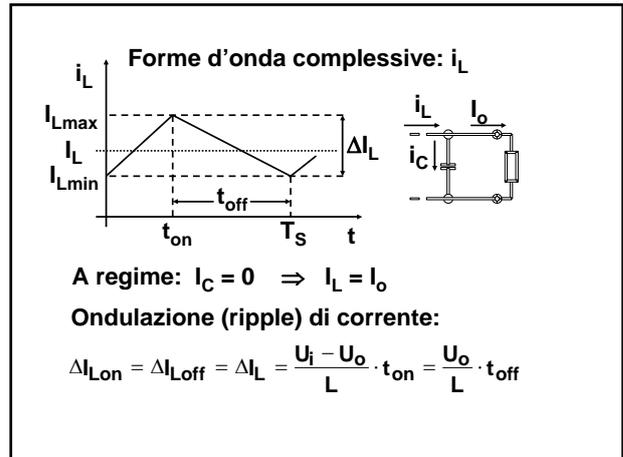
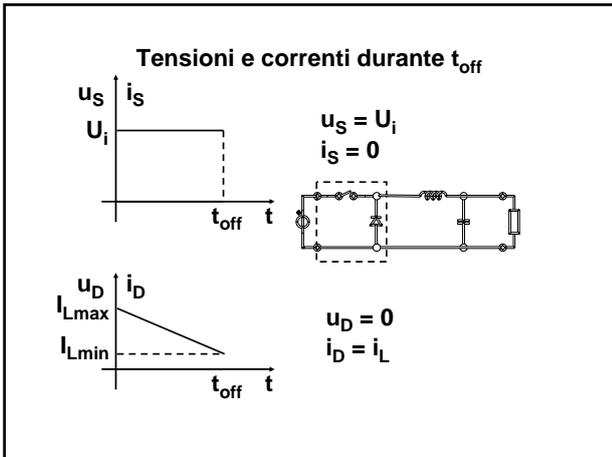
Tempo di chiusura di S (t_{on})

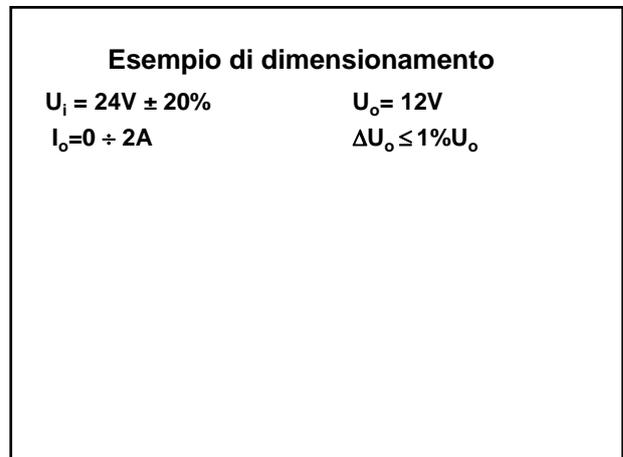
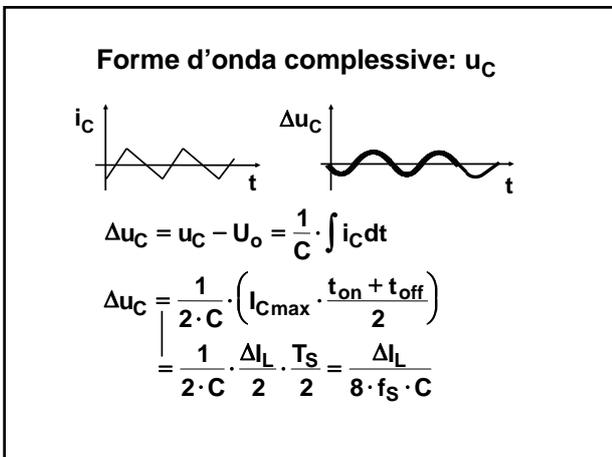
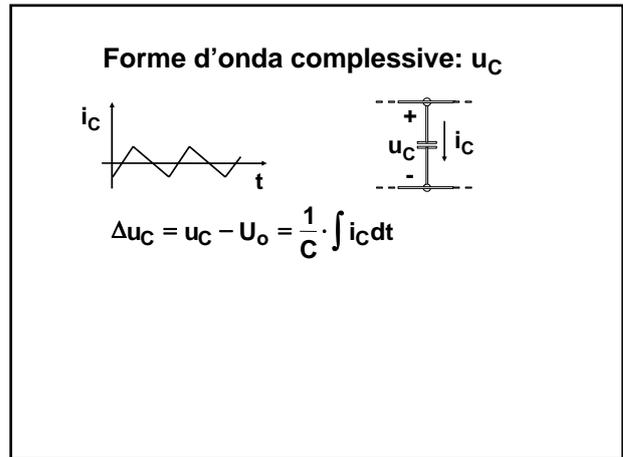
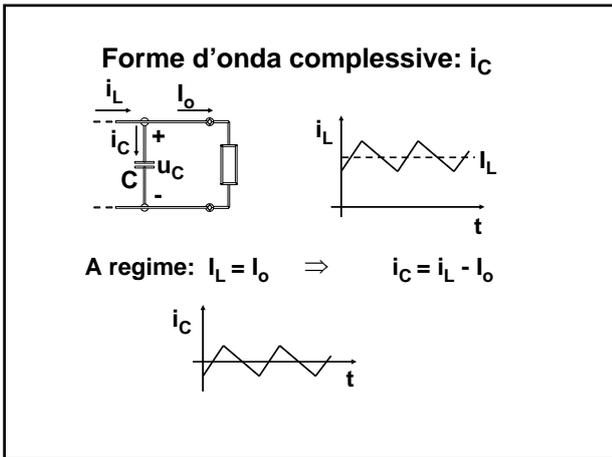
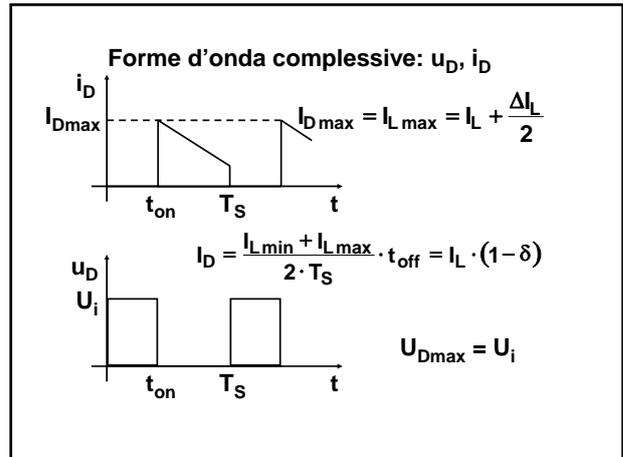
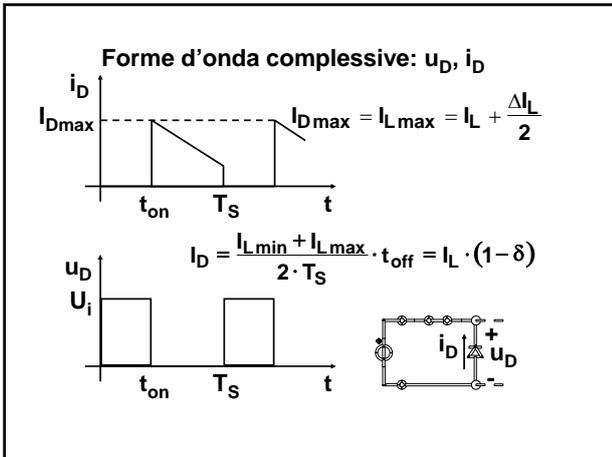


S on D off

- Il diodo é interdetto.
- Il generatore fornisce energia al filtro e al carico.







Esempio di dimensionamento

$$U_i = 19.6V \div 28.8V \quad U_o = 12V$$

$$I_o = 0 \div 2A \quad \Delta U_o \leq 120mV$$

$$\delta = \frac{U_o}{U_i} = \frac{12}{U_{imax}} \div \frac{12}{U_{imin}} = 0.416 \div 0.625$$

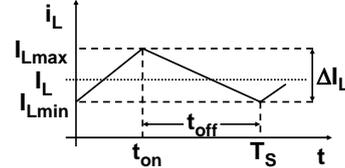
$$\Delta I_L = \frac{U_i - U_o}{L} \cdot t_{on} = \frac{U_o}{L} \cdot t_{off} = \frac{U_o}{f_s L} \cdot (1 - \delta)$$

Esempio di dimensionamento

$$U_i = 19.6V \div 28.8V \quad U_o = 12V$$

$$I_o = 0 \div 2A \quad \Delta U_o \leq 120mV$$

$$\delta = \frac{U_o}{U_i} = \frac{12}{U_{imax}} \div \frac{12}{U_{imin}} = 0.416 \div 0.625$$



Esempio di dimensionamento

$$U_i = 19.6V \div 28.8V \quad U_o = 12V$$

$$I_o = 0 \div 2A \quad \Delta U_o \leq 120mV$$

ΔI_L è massimo quando δ è minimo (se U_o è costante)

Esempio di dimensionamento

$$U_i = 19.6V \div 28.8V \quad U_o = 12V$$

$$I_o = 0 \div 2A \quad \Delta U_o \leq 120mV$$

$$\Delta I_L = \frac{U_o}{f_s L} \cdot \left(1 - \frac{U_o}{U_{imax}}\right)$$

Posto: $\Delta I_{Lmax} = 0.2 I_{on}$ (CCM per $I_o > 0.1 I_{on}$)

Esempio di dimensionamento

$$U_i = 19.6V \div 28.8V \quad U_o = 12V$$

$$I_o = 0 \div 2A \quad \Delta U_o \leq 120mV$$

$$\Delta I_L = \frac{U_o}{f_s L} \cdot \left(1 - \frac{U_o}{U_{imax}}\right)$$

Posto: $\Delta I_{Lmax} = 0.2 I_o$ e $f_s = 100kHz$

$$L = \frac{U_o}{f_s \Delta I_{Lmax}} \cdot \left(1 - \frac{U_o}{U_{imax}}\right) = 175 \mu H$$

Esempio di dimensionamento

$$U_i = 19.6V \div 28.8V \quad U_o = 12V$$

$$I_o = 0 \div 2A \quad \Delta U_o \leq 120mV$$

$$\Delta U_{Cmax} = \frac{\Delta I_{Lmax}}{8 f_s C} \Rightarrow C = \frac{\Delta I_{Lmax}}{8 f_s \Delta U_{Cmax}}$$

Esempio di dimensionamento

$$U_i = 19.6V \div 28.8V \quad U_o = 12V$$

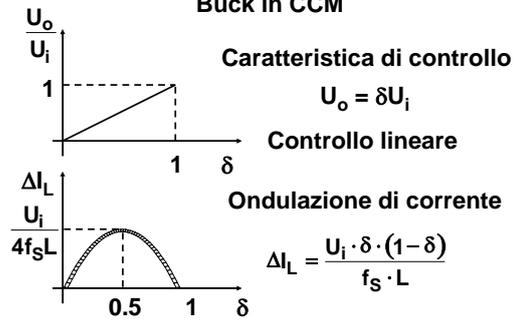
$$I_o = 0 \div 2A \quad \Delta U_o \leq 120mV$$

$$C = 4.16 \mu F \Rightarrow C = 4.7 \mu F$$

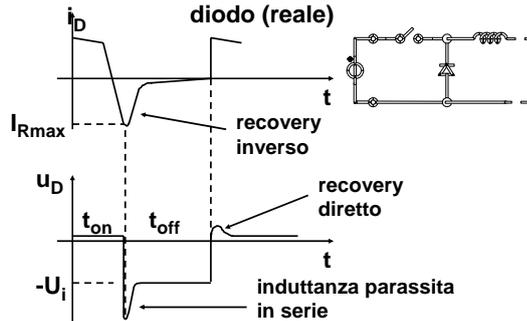
Pulsazione di risonanza:

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}} \cong 35 \text{ krad/s}$$

Caratteristiche statiche del convertitore Buck in CCM



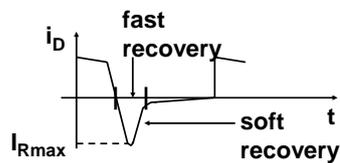
Andamenti di corrente e tensione del diodo (reale)



Osservazioni

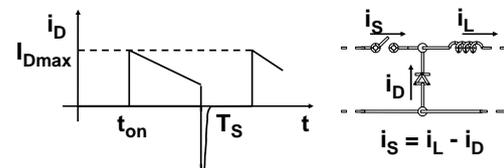
- La corrente di recovery inverso può avere lo stesso ordine di grandezza della corrente diretta
- Al recovery inverso sono associate perdite
- Il recovery diretto è normalmente influente
- I diodi vanno scelti soft-recovery (per ridurre la sovratensione) e fast-recovery (per ridurre I_{Rmax} e le perdite)

Osservazioni



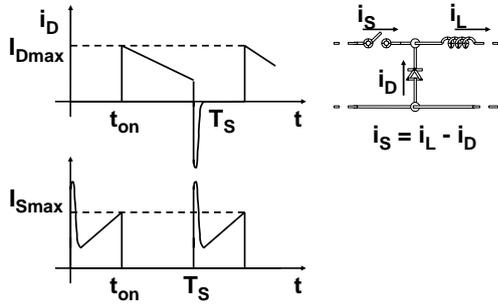
- I diodi vanno scelti soft-recovery (per ridurre la sovratensione) e fast-recovery (per ridurre I_{Rmax} e le perdite)

Andamenti reali della corrente in S e D



Il recovery inverso del diodo causa sovracorrenti nell'interruttore

Andamenti reali della corrente in S e D



Conclusioni

- Si è analizzato il funzionamento continuo (CCM) del convertitore abbassatore di tensione (buck)
- Il convertitore ha una caratteristica di controllo lineare
- I parametri del filtro vengono scelti per limitare l'ondulazione della tensione d'uscita e della corrente nell'induttanza
- Il filtro risulta tanto più piccolo quanto più elevata è la frequenza di commutazione
- Le sollecitazioni in tensione e corrente sono influenzate dal recovery inverso del diodo