

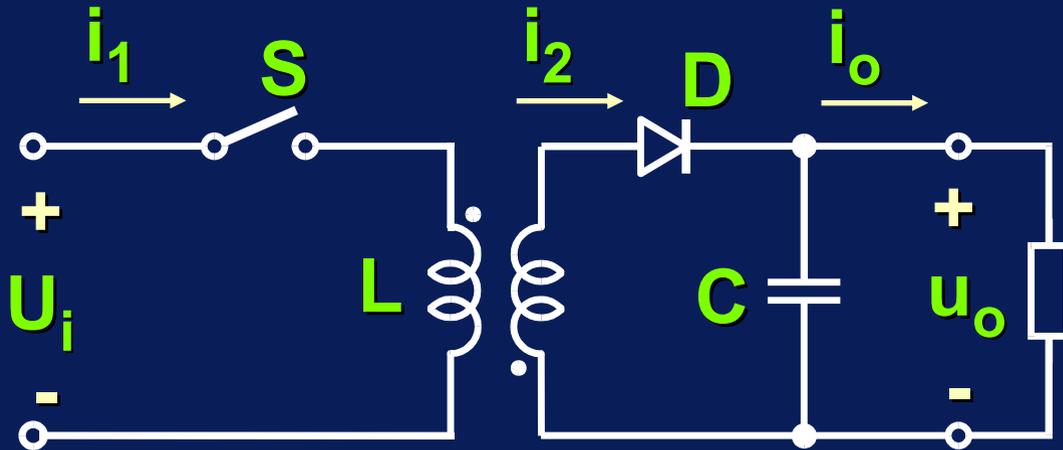
Corso di
ELETTRONICA INDUSTRIALE

***“Convertitore Flyback.
Esempio di progetto”***

Argomenti trattati

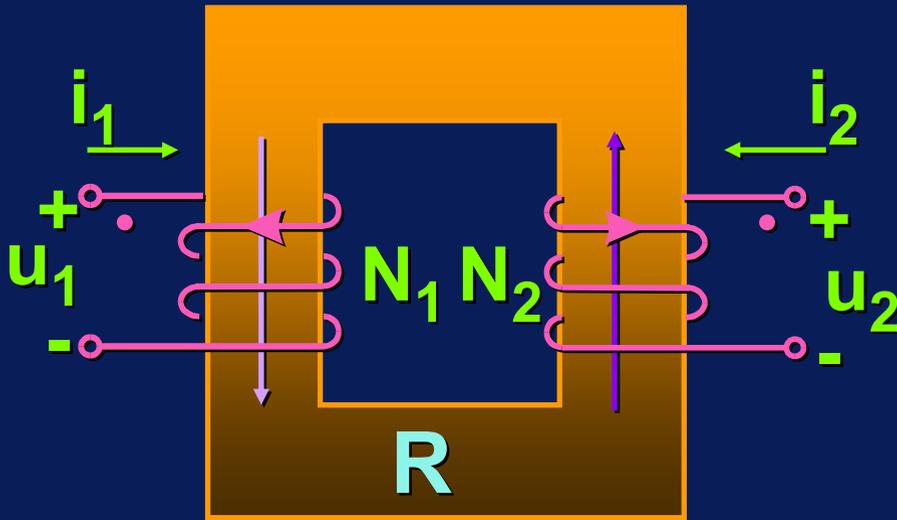
- **Struttura e caratteristiche del convertitore Flyback**
- **Progetto di un convertitore Flyback multi-uscita**

Convertitore Flyback



- è il più semplice schema a trasformatore
- l'induttanza del convertitore buck-boost viene sostituita da un mutuo induttore
- ha un basso fattore di utilizzo P_o/P_s

Mutuo Induttore



$$\Phi_{11} = \frac{N_1 i_1}{R}$$

$$\Phi_{22} = \frac{N_2 i_2}{R}$$

$$\Phi_{12} = \sigma_{12} \Phi_{22}$$

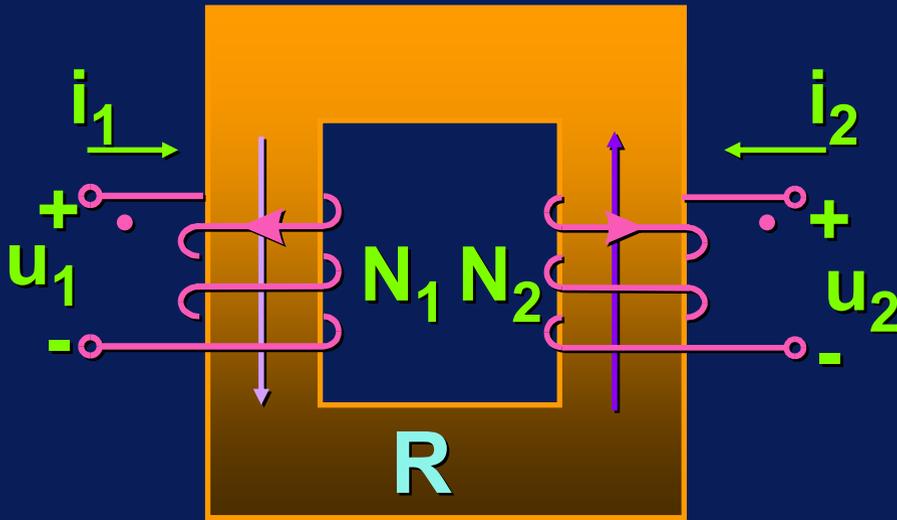
$$\Phi_{21} = \sigma_{21} \Phi_{11}$$

Flussi concatenati con gli avvolgimenti:

$$\lambda_1 = \lambda_{11} + \lambda_{12} = N_1 (\Phi_{11} + \Phi_{12})$$

$$= N_1 \left(\frac{N_1 i_1}{R} + \sigma_{12} \frac{N_2 i_2}{R} \right)$$

Mutuo Induttore



$$\Phi_{11} = \frac{N_1 i_1}{R}$$

$$\Phi_{22} = \frac{N_2 i_2}{R}$$

$$\Phi_{12} = \sigma_{12} \Phi_{22}$$

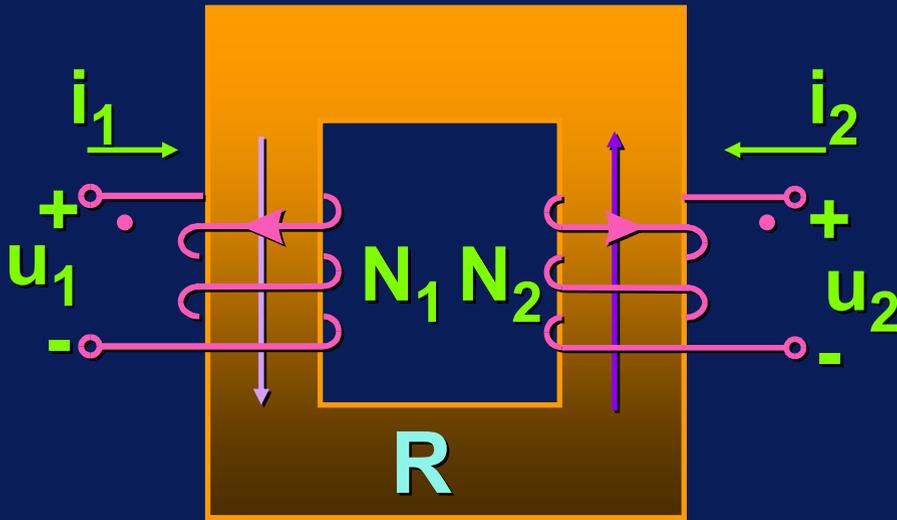
$$\Phi_{21} = \sigma_{21} \Phi_{11}$$

Flussi concatenati con gli avvolgimenti:

$$\lambda_2 = \lambda_{22} + \lambda_{21} = N_2 (\Phi_{22} + \Phi_{21})$$

$$= N_2 \left(\frac{N_2 i_2}{R} + \sigma_{21} \frac{N_1 i_1}{R} \right)$$

Mutuo Induttore



$$\Phi_{11} = \frac{N_1 i_1}{R}$$

$$\Phi_{22} = \frac{N_2 i_2}{R}$$

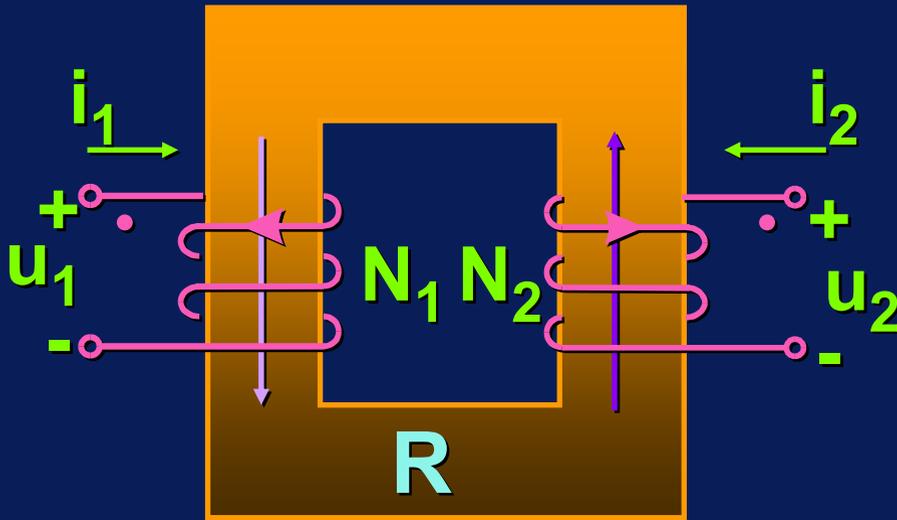
$$\Phi_{12} = \sigma_{12} \Phi_{22}$$

$$\Phi_{21} = \sigma_{21} \Phi_{11}$$

Coefficiente di accoppiamento:

$$\sigma_{12} = \frac{\Phi_{12}}{\Phi_{22}} = \sigma_{21} = \frac{\Phi_{21}}{\Phi_{11}} = \sigma$$

Mutuo Induttore



$$\Phi_{11} = \frac{N_1 i_1}{R}$$

$$\Phi_{22} = \frac{N_2 i_2}{R}$$

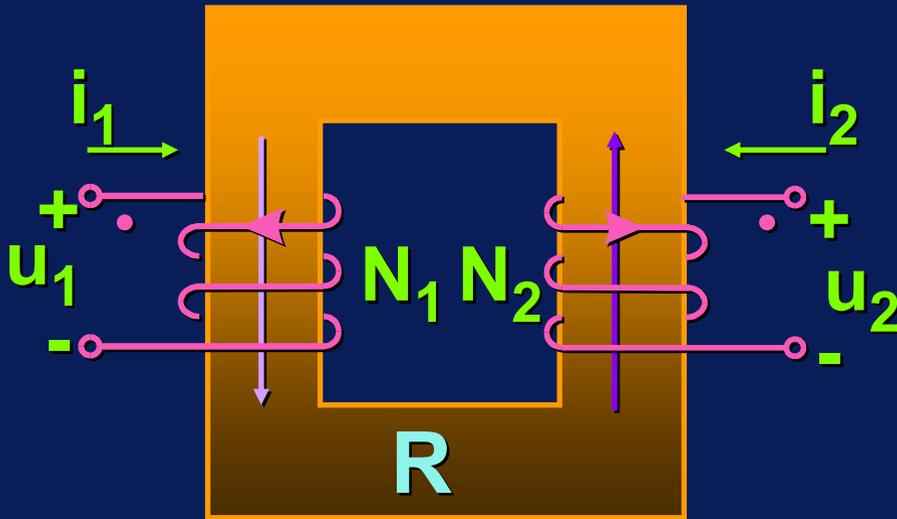
$$\Phi_{12} = \sigma_{12} \Phi_{22}$$

$$\Phi_{21} = \sigma_{21} \Phi_{11}$$

Accoppiamento perfetto:

$$\sigma = 1 \Rightarrow \Phi_{12} = \Phi_{22}, \Phi_{21} = \Phi_{11}$$

Mutuo Induttore



$$L_M = \sigma \sqrt{L_1 L_2}$$

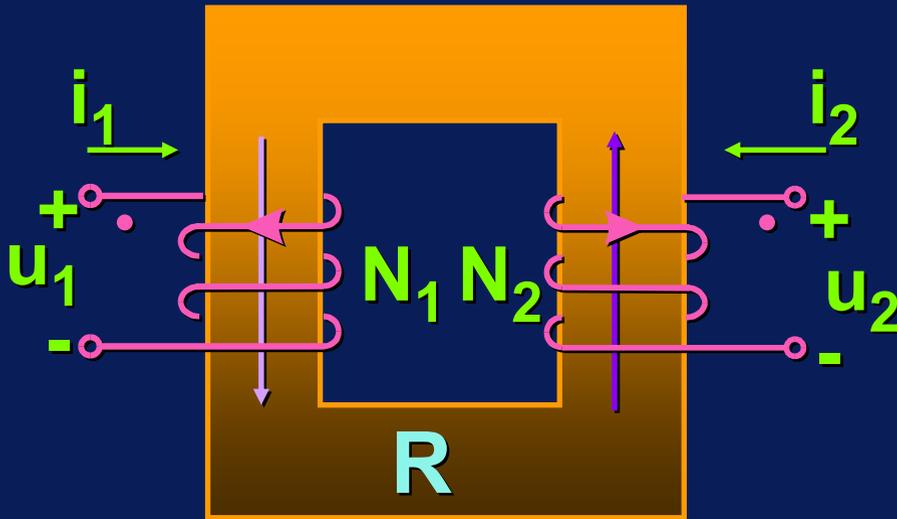
Accoppiamento perfetto:

$$L_M = \sqrt{L_1 L_2}$$

Coefficienti di autoinduzione:

$$\lambda_1 = \frac{N_1^2 i_1}{R} + \sigma \frac{N_2 N_1 i_2}{R} = L_1 i_1 + L_M i_2$$

Mutuo Induttore



$$L_M = \sigma \sqrt{L_1 L_2}$$

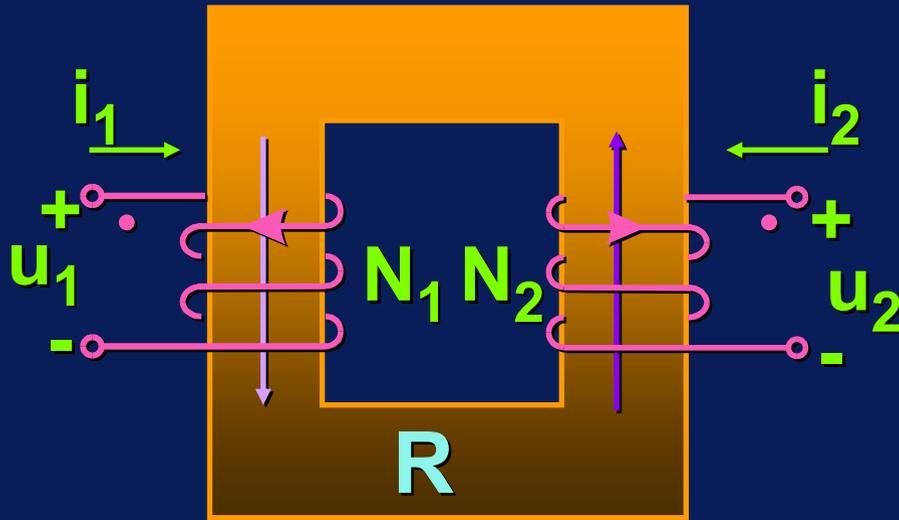
Accoppiamento perfetto:

$$L_M = \sqrt{L_1 L_2}$$

Coefficienti di autoinduzione:

$$\lambda_2 = \frac{N_2^2 i_2}{R} + \sigma \frac{N_1 N_2 i_1}{R} = L_2 i_2 + L_M i_1$$

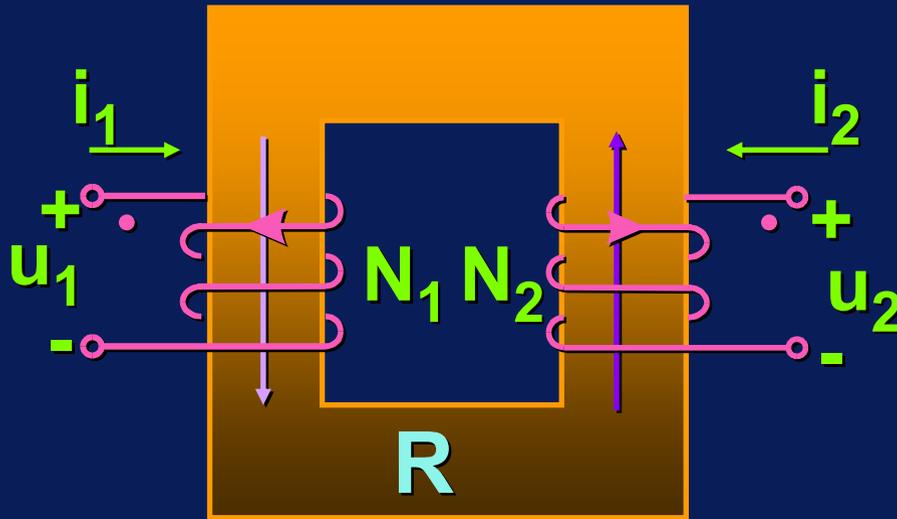
Mutuo Induttore



Energia accumulata:

$$W = \frac{1}{2} \lambda_1 i_1 + \frac{1}{2} \lambda_2 i_2 = \frac{1}{2} L_1 i_1^2 + \frac{1}{2} L_2 i_2^2 + L_M i_1 i_2$$

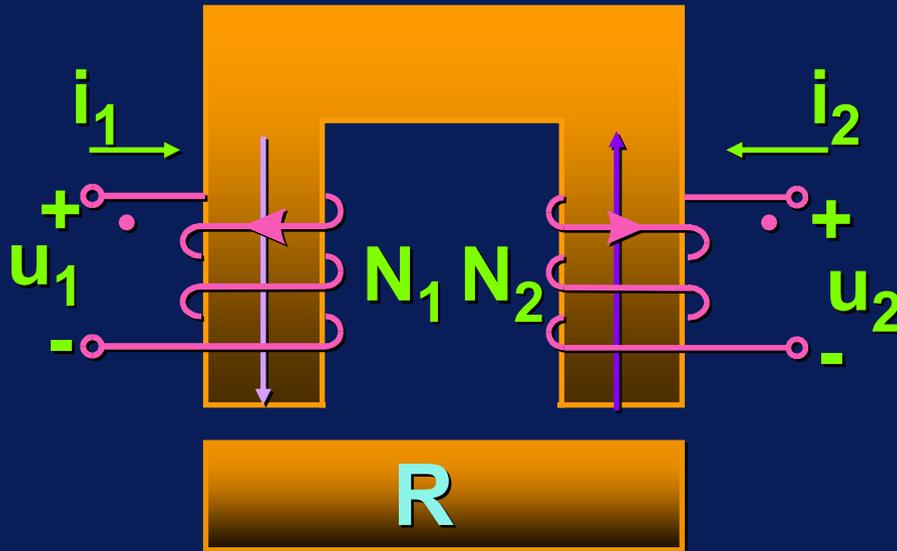
Mutuo Induttore



Nota:

Contrariamente al trasformatore ($R = 0$), il mutuo induttore ($R > 0$) accumula energia. A tal fine vengono introdotti dei traferri.

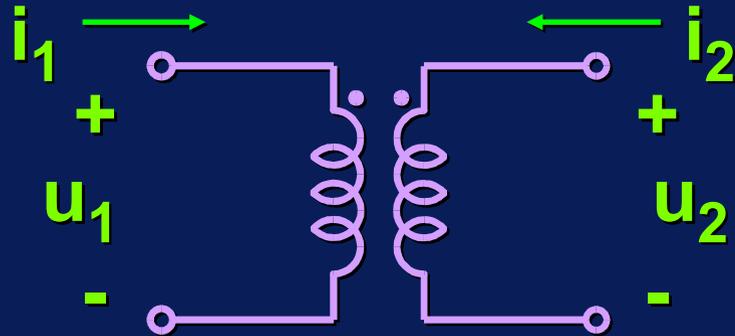
Mutuo Induttore



Nota:

Contrariamente al trasformatore ($R = 0$), il mutuo induttore ($R > 0$) accumula energia. A tal fine vengono introdotti dei traferri.

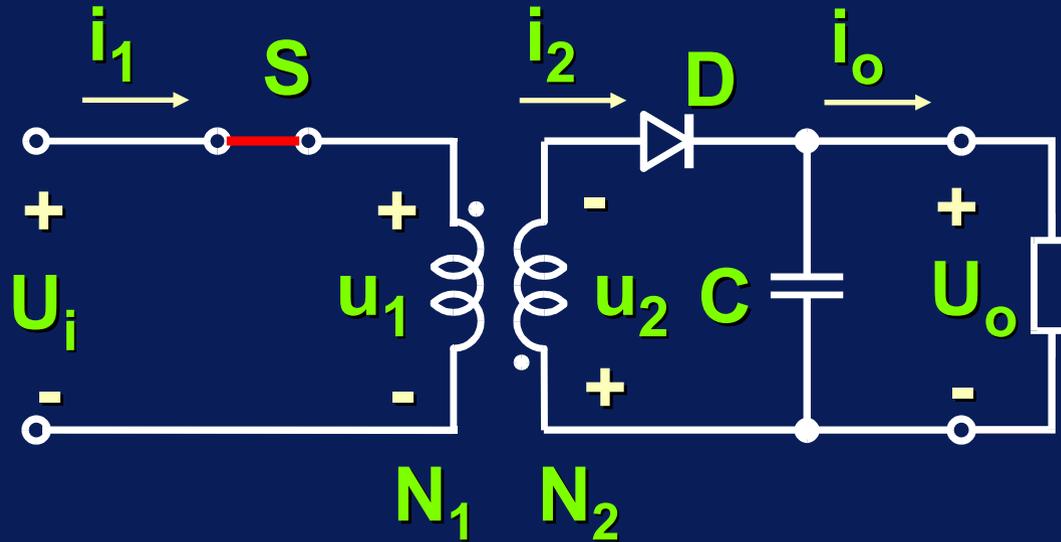
Equazioni del mutuo induttore



$$\begin{cases} u_1 = \frac{d\lambda_1}{dt} = L_1 \cdot \frac{di_1}{dt} + L_M \cdot \frac{di_2}{dt} \\ u_2 = \frac{d\lambda_2}{dt} = L_M \cdot \frac{di_1}{dt} + L_2 \cdot \frac{di_2}{dt} \end{cases}$$

Funzionamento del convertitore flyback

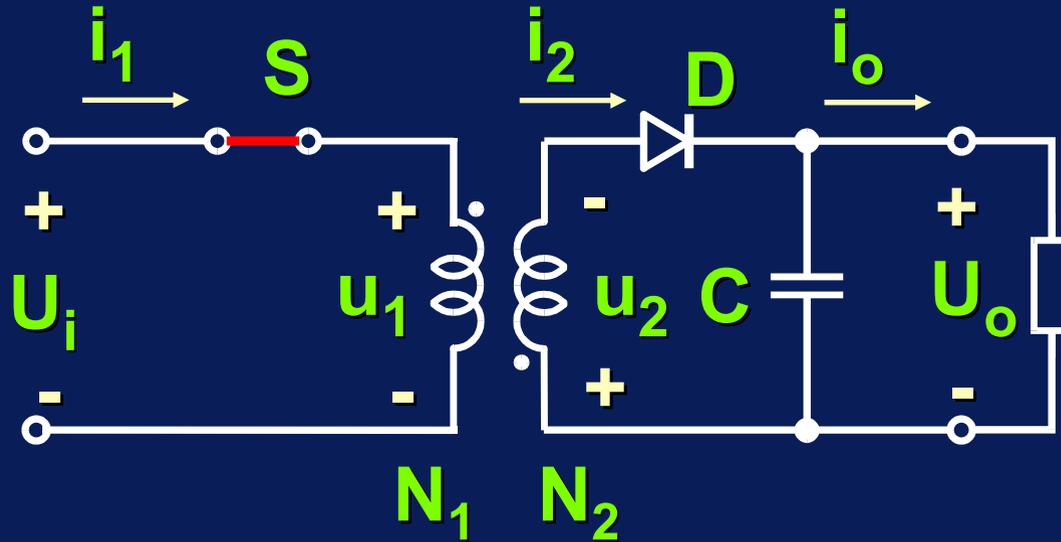
Fase di on (CCM)



S on $\Rightarrow u_1 = U_i \Rightarrow i_2 = 0 \Rightarrow D$ off

Funzionamento del convertitore flyback

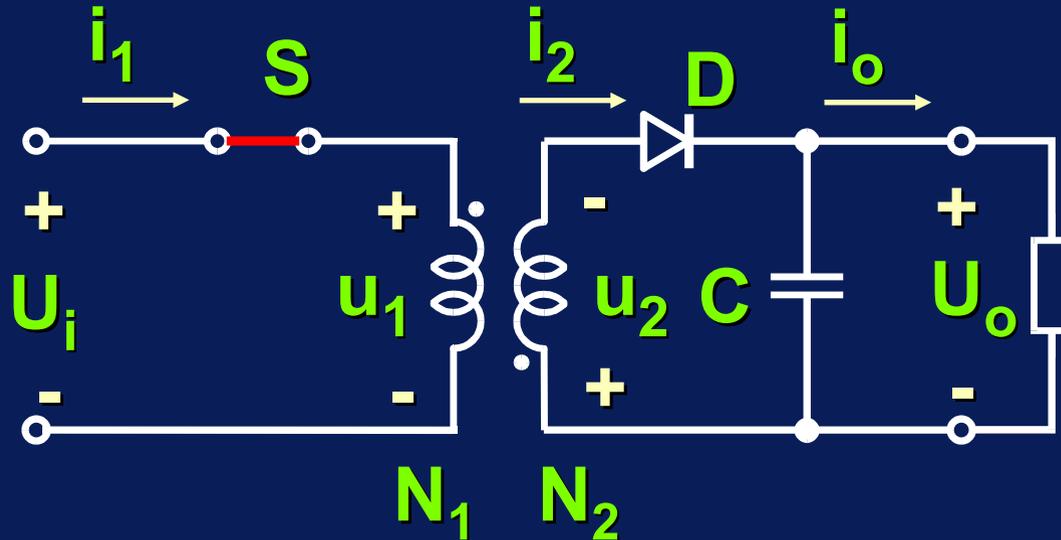
Fase di on (CCM)



$$\begin{cases} u_1 = L_1 \cdot \frac{di_1}{dt} \\ u_2 = L_M \cdot \frac{di_1}{dt} \end{cases} \Rightarrow \frac{u_1}{u_2} = \frac{L_1}{L_M} = \frac{N_1}{N_2}$$

Funzionamento del convertitore flyback

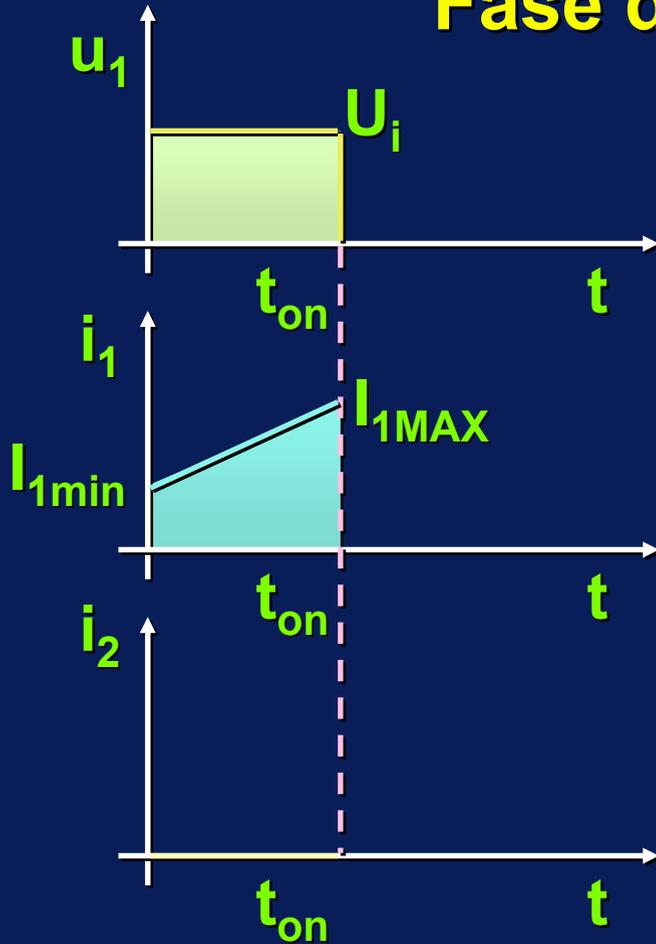
Fase di on (CCM)



$$i_1 = i_{\mu 1} = \frac{U_i}{L_1} t + I_{1\min} \quad I_{1\text{MAX}} = I_{1\min} + \frac{U_i}{L_1} t_{\text{on}}$$

Funzionamento del convertitore flyback

Fase di on (CCM)



$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{L_1}{L_M} = \frac{N_1}{N_2}$$

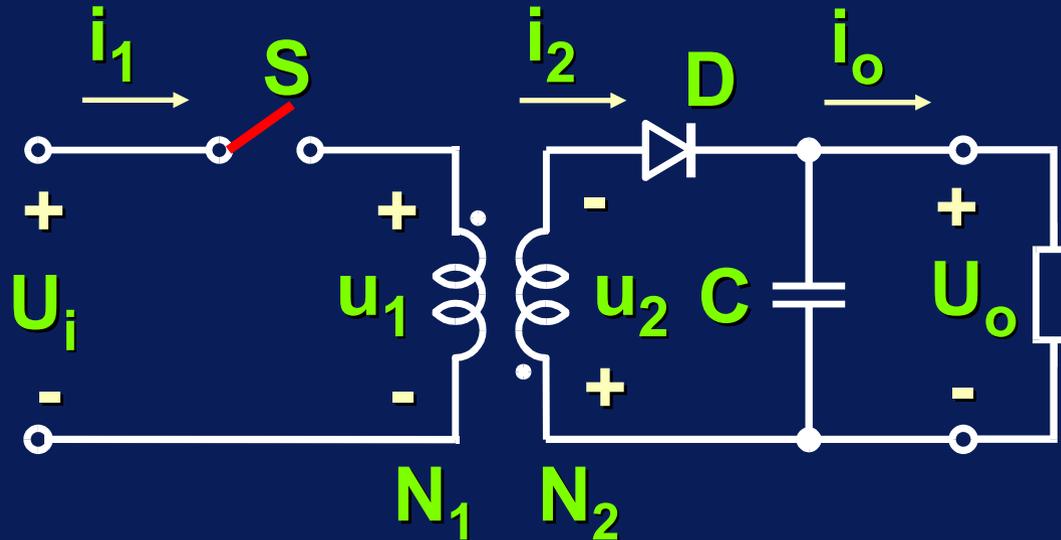
$$u_1 = U_i$$

$$i_1 = i_{\mu 1} = \frac{U_i}{L_1} t + I_{1min}$$

$$i_2 = 0$$

Funzionamento del convertitore flyback

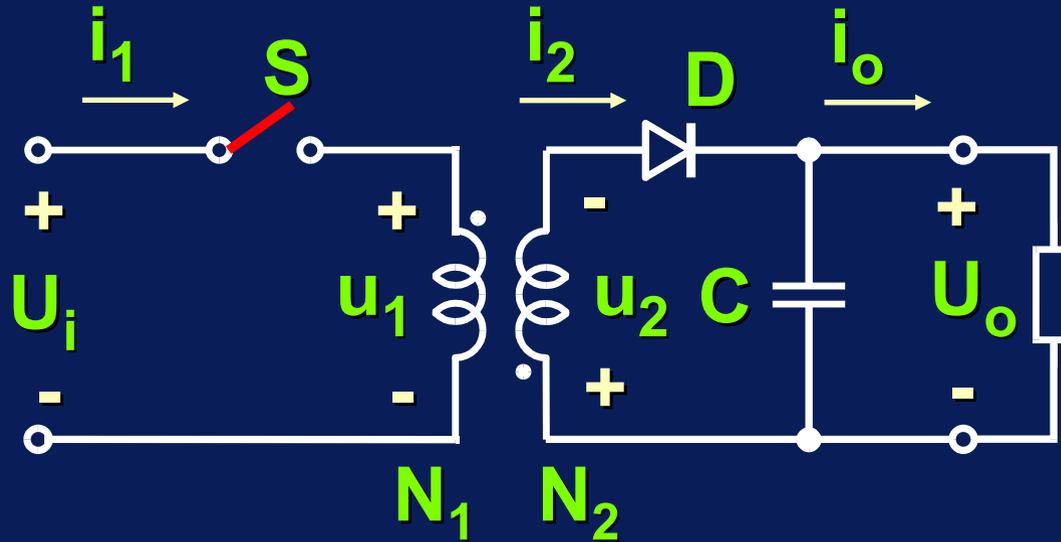
Fase di off (CCM)



$$S \text{ off} \Rightarrow i_1 = 0 \Rightarrow i_2 > 0 \Rightarrow u_2 = -U_o$$

Funzionamento del convertitore flyback

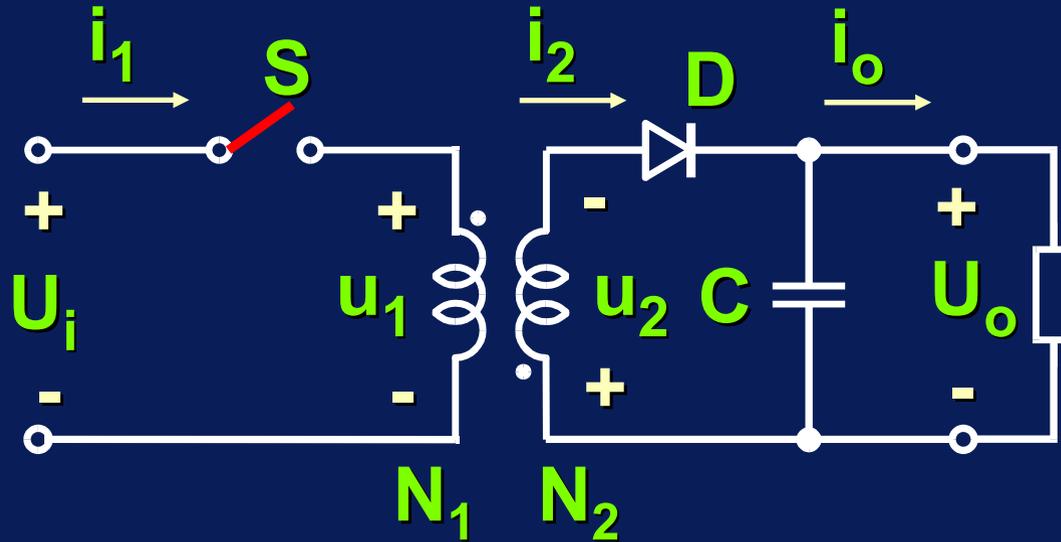
Fase di off (CCM)



$$\begin{cases} u_1 = L_M \cdot \frac{di_2}{dt} \\ u_2 = L_2 \cdot \frac{di_2}{dt} \end{cases} \Rightarrow \frac{u_1}{u_2} = \frac{L_M}{L_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Funzionamento del convertitore flyback

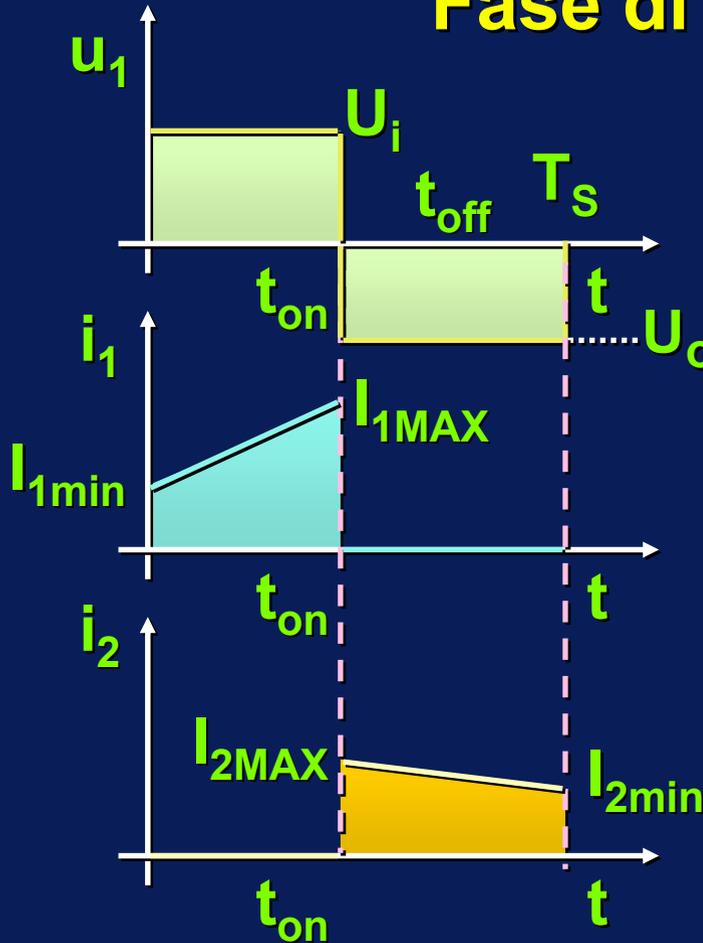
Fase di off (CCM)



$$i_2 = i_{\mu 2} = I_{2MAX} - \frac{U_o}{L_2} t = \frac{N_1}{N_2} I_{1MAX} - \frac{U_o}{L_2} t$$

Funzionamento del convertitore flyback

Fase di off (CCM)



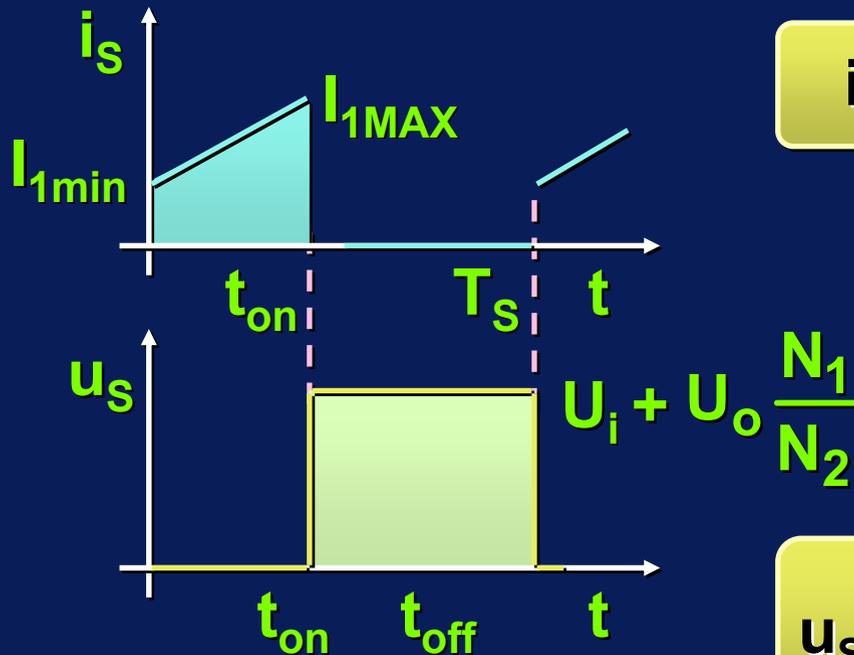
$$U_i t_{on} = U_o \frac{N_1}{N_2} t_{off}$$

$$i_1 = 0$$

$$i_2 = \frac{N_1}{N_2} I_{1MAX} - \frac{U_o}{L_2} t$$

Funzionamento del convertitore flyback

Sollecitazioni sugli interruttori

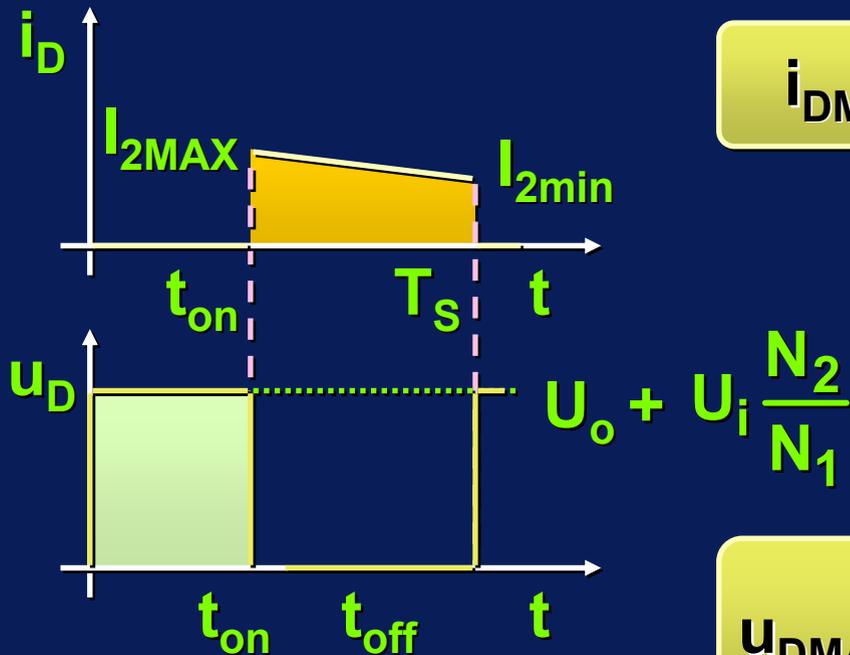


$$i_{sMAX} = I_{1MAX}$$

$$u_{sMAX} = U_i + U_o \frac{N_1}{N_2}$$

Funzionamento del convertitore flyback

Sollecitazioni sugli interruttori



$$i_{DMAX} = I_{2MAX}$$

$$u_{DMAX} = U_o + U_i \frac{N_2}{N_1}$$

Fattore di conversione del convertitore Flyback

Fattore di conversione del convertitore Flyback

CCM ($I_o > I_{olim}$)

$$M = \frac{U_o}{U_i} = \frac{N_2}{N_1} \frac{\delta}{1 - \delta}$$

Fattore di conversione del convertitore Flyback

$$\text{CCM } (I_o > I_{o\text{lim}}) \quad M = \frac{U_o}{U_i} = \frac{N_2}{N_1} \frac{\delta}{1 - \delta}$$

$$\text{DCM } (I_o < I_{o\text{lim}}) \quad M = \frac{U_o}{U_i} = \frac{I_N}{I_o} \delta^2$$

$$I_N = \frac{U_i}{2 f_S L_1}$$

Fattore di conversione del convertitore Flyback

$$\text{CCM } (I_o > I_{o\text{lim}}) \quad M = \frac{U_o}{U_i} = \frac{N_2}{N_1} \frac{\delta}{1-\delta}$$

$$\text{DCM } (I_o < I_{o\text{lim}}) \quad M = \frac{U_o}{U_i} = \frac{I_N}{I_o} \delta^2$$

$$I_N = \frac{U_i}{2 f_S L_1}$$

$$I_{o\text{lim}} = I_N \frac{N_1}{N_2} \delta (1-\delta)$$

Caratteristiche con carico resistivo

Caratteristiche con carico resistivo

CCM ($I_o > I_{olim}$)

$$M = \frac{U_o}{U_i} = \frac{N_2}{N_1} \frac{\delta}{1-\delta}$$

Caratteristiche con carico resistivo

CCM ($I_o > I_{olim}$)

$$M = \frac{U_o}{U_i} = \frac{N_2}{N_1} \frac{\delta}{1-\delta}$$

DCM ($I_o < I_{olim}$)

$$M = \frac{U_o}{U_i} = \frac{\delta}{\sqrt{k}}$$

$$k = \frac{2f_s L_1}{R_o}$$

Caratteristiche con carico resistivo

CCM ($I_o > I_{olim}$)

$$M = \frac{U_o}{U_i} = \frac{N_2}{N_1} \frac{\delta}{1-\delta}$$

DCM ($I_o < I_{olim}$)

$$M = \frac{U_o}{U_i} = \frac{\delta}{\sqrt{k}}$$

$$k = \frac{2f_s L_1}{R_o}$$

$$k_{lim} = \left[\frac{N_1}{N_2} (1-\delta) \right]^2$$

Modo di utilizzo

Modo di utilizzo

Il convertitore flyback si usa normalmente in DCM perchè:

- si sfrutta l'intera escursione del flusso ($\Delta\Phi = B_{\text{sat}} S$) e quindi il nucleo risulta più piccolo
- si ottengono migliori caratteristiche dinamiche

Tasso di utilizzo di un convertitore Flyback ($i_L = I_L$)

Tasso di utilizzo di un convertitore Flyback ($i_L = I_L$)

$$\frac{P_o}{P_s} = \delta(1 - \delta) \leq \frac{1}{4} \quad (\text{CCM})$$

Tasso di utilizzo di un convertitore Flyback ($i_L = I_L$)

$$\frac{P_o}{P_s} = \delta(1 - \delta) \leq \frac{1}{4} \quad (\text{CCM})$$

$$\frac{P_o}{P_s} = \frac{\delta(1 - \delta)}{2} \leq \frac{1}{8} \quad (\text{limite CCM - DCM})$$

Tasso di utilizzo di un convertitore Flyback ($i_L = I_L$)

$$\frac{P_o}{P_s} = \delta(1 - \delta) \leq \frac{1}{4} \quad (\text{CCM})$$

$$\frac{P_o}{P_s} = \frac{\delta(1 - \delta)}{2} \leq \frac{1}{8} \quad (\text{limite CCM - DCM})$$

Poichè il tasso di utilizzo è basso il convertitore si usa a bassa potenza

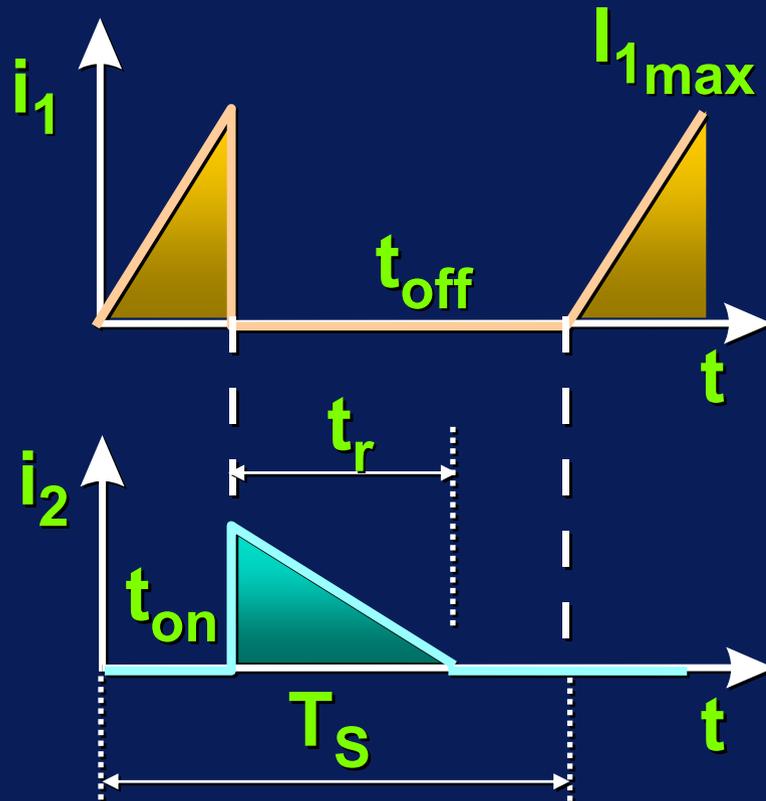
Funzionamento discontinuo (DCM)

Funzionamento discontinuo (DCM)

Correnti a primario e a secondario

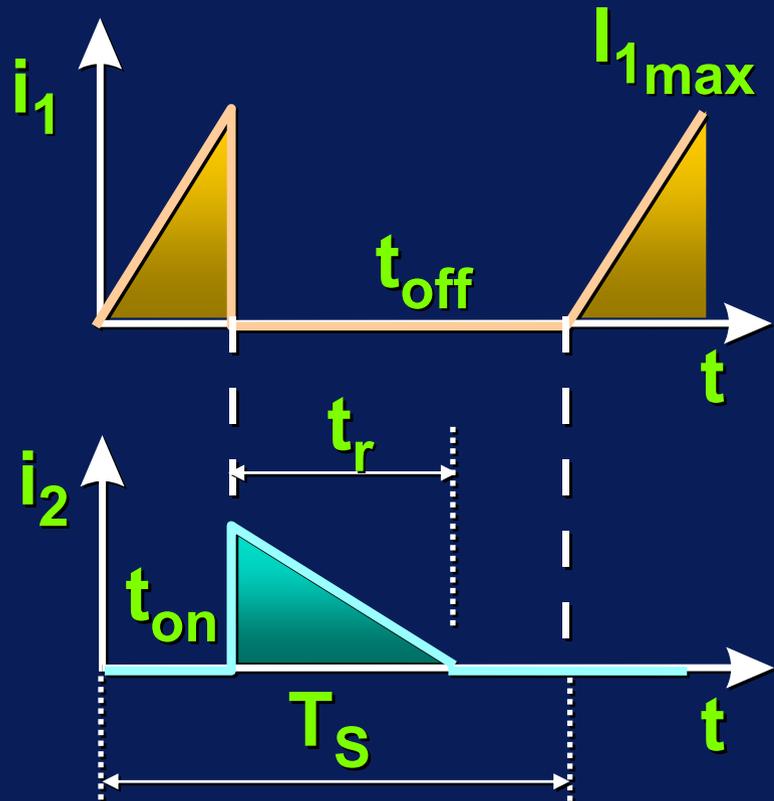
Funzionamento discontinuo (DCM)

Correnti a primario e a secondario



Funzionamento discontinuo (DCM)

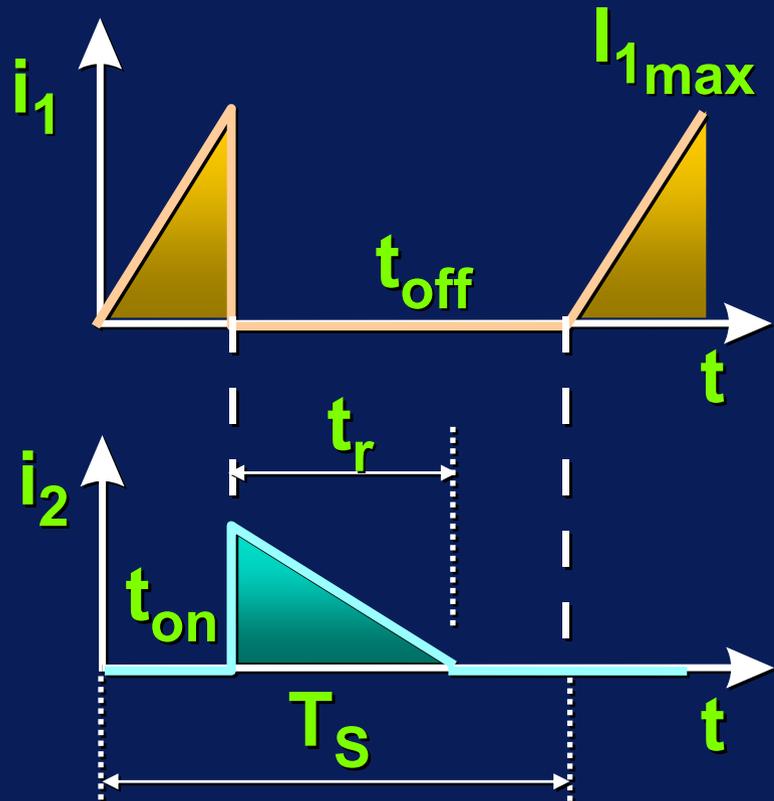
Correnti a primario e a secondario



$$I_{1max} = \frac{U_i}{L_1} t_{on}$$

Funzionamento discontinuo (DCM)

Correnti a primario e a secondario

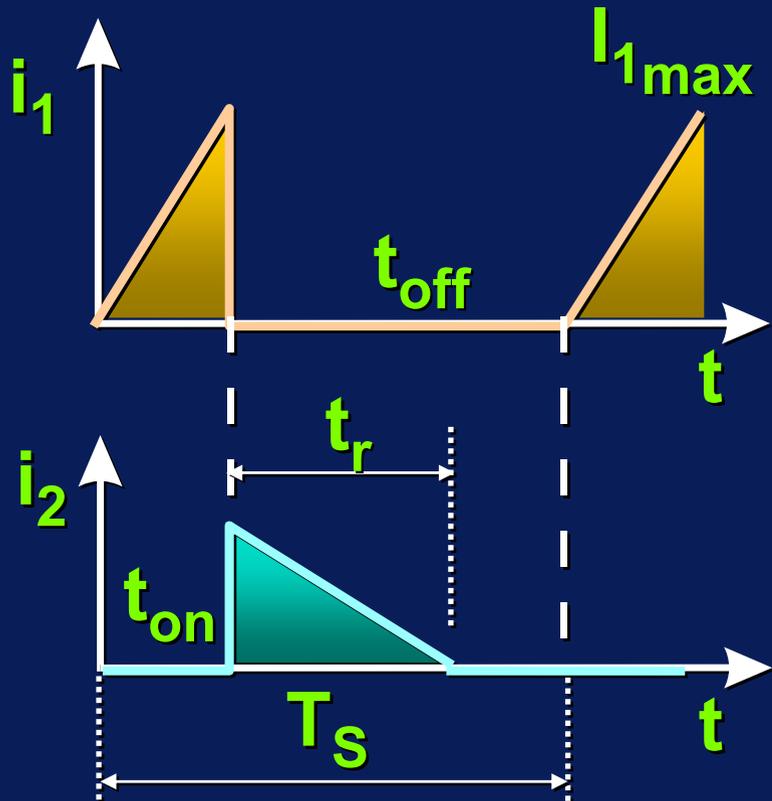


$$I_{1max} = \frac{U_i}{L_1} t_{on}$$

$$I_{2max} = \frac{N_1}{N_2} I_{1max}$$

Funzionamento discontinuo (DCM)

Correnti a primario e a secondario



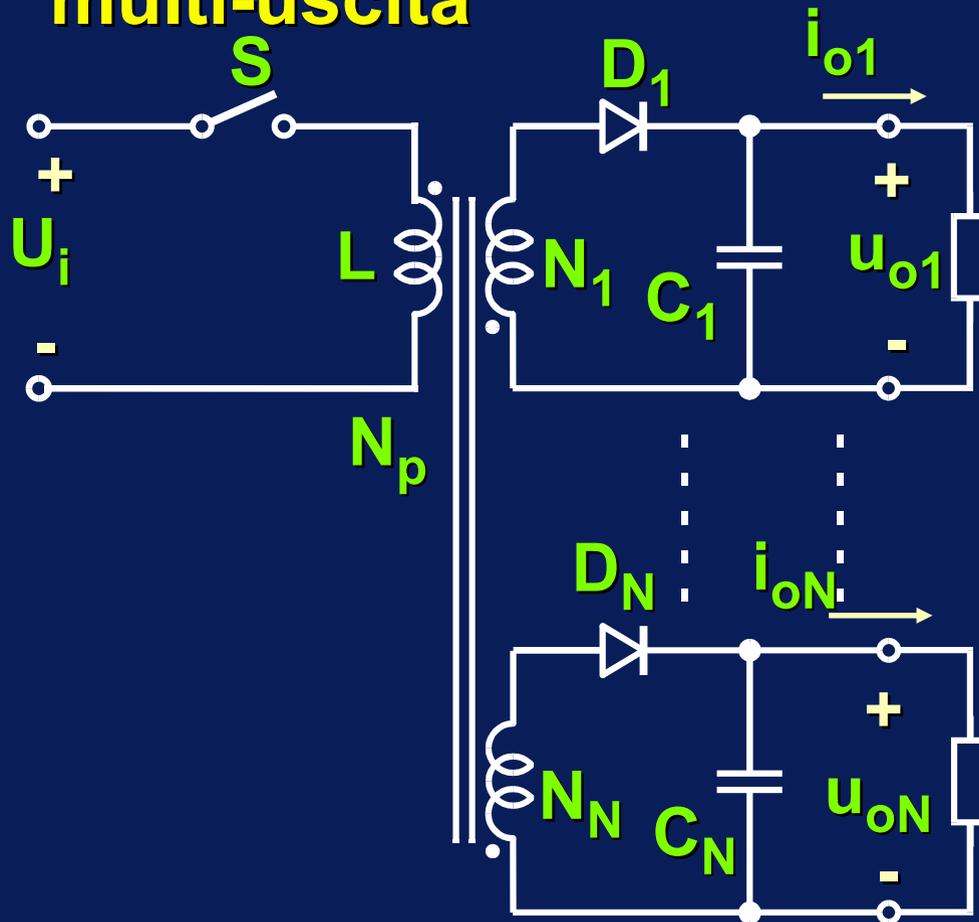
$$I_{1max} = \frac{U_i}{L_1} t_{on}$$

$$I_{2max} = \frac{N_1}{N_2} I_{1max}$$

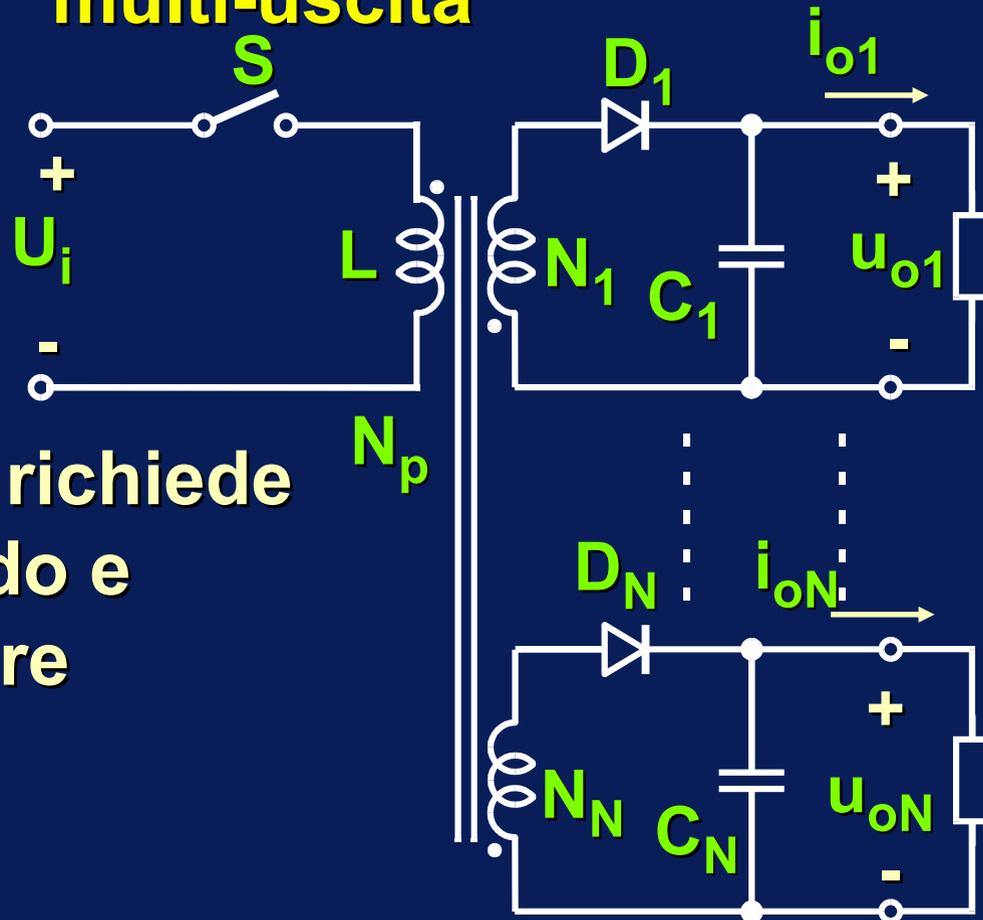
$$t_r = \frac{N_2}{N_1} L_1 \frac{I_{1max}}{U_o}$$

Progetto di un convertitore Flyback multi-uscita

Progetto di un convertitore Flyback multi-uscita

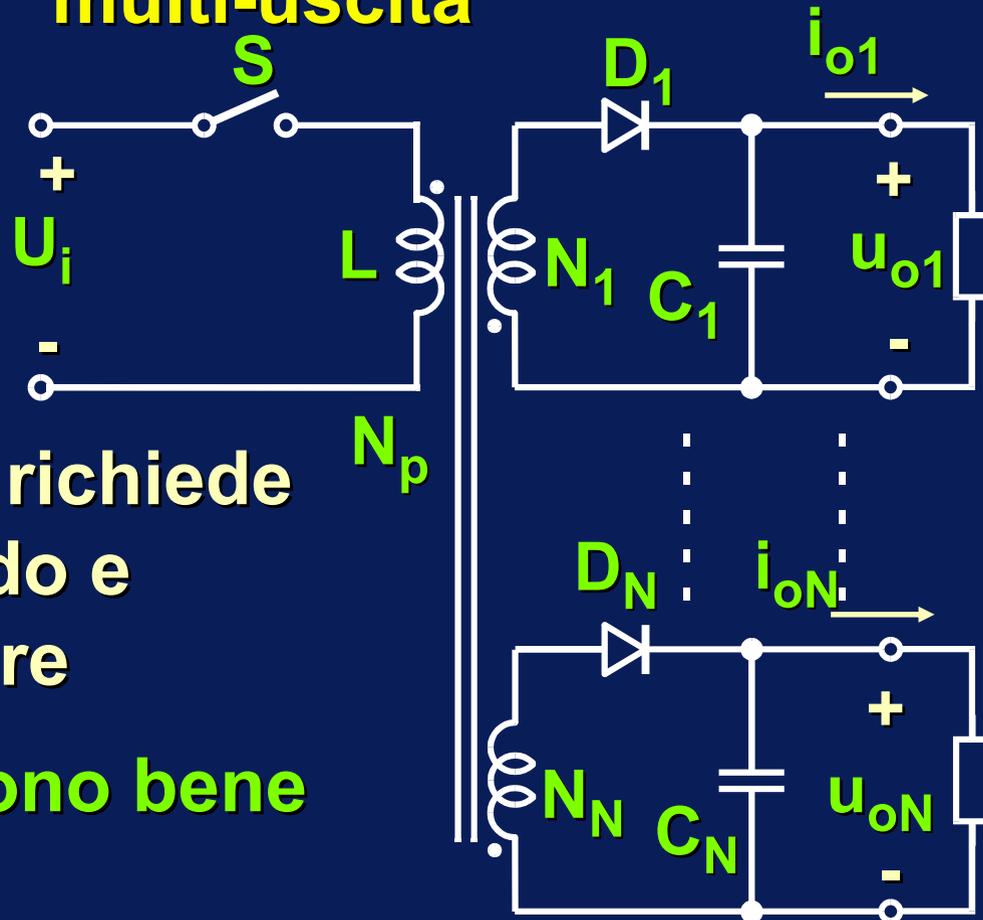


Progetto di un convertitore Flyback multi-uscita



Ogni uscita richiede un solo diodo e condensatore

Progetto di un convertitore Flyback multi-uscita



Ogni uscita richiede un solo diodo e condensatore

Le uscite sono bene accoppiate

Progetto di un convertitore Flyback multi-uscita

Applicazione:

**Alimentatore per scheda di
controllo e driver di un inverter per
azionamento**

Convertitore Flyback multi-uscita

Specifiche di progetto

Potenza di uscita totale=18W

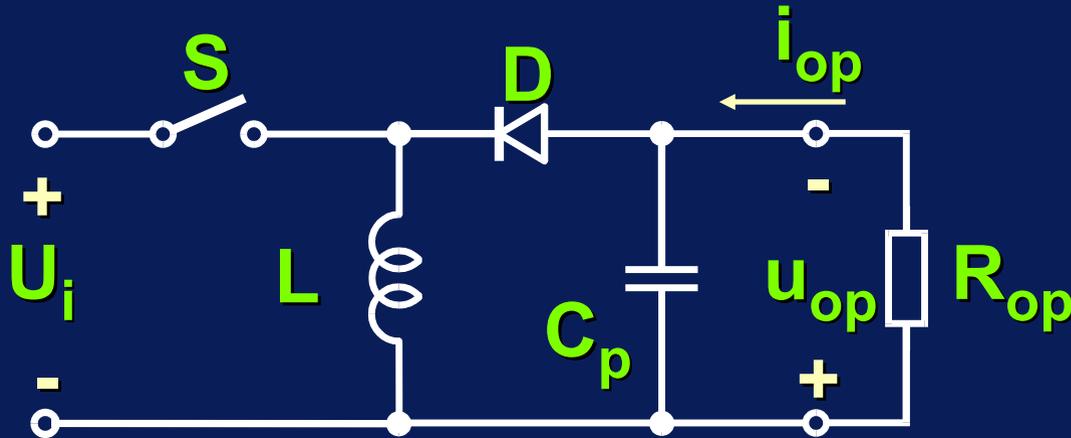
Frequenza di commutazione=50kHz

Tensione continua d'ingresso ...=180-710V

Specifiche per le singole uscite

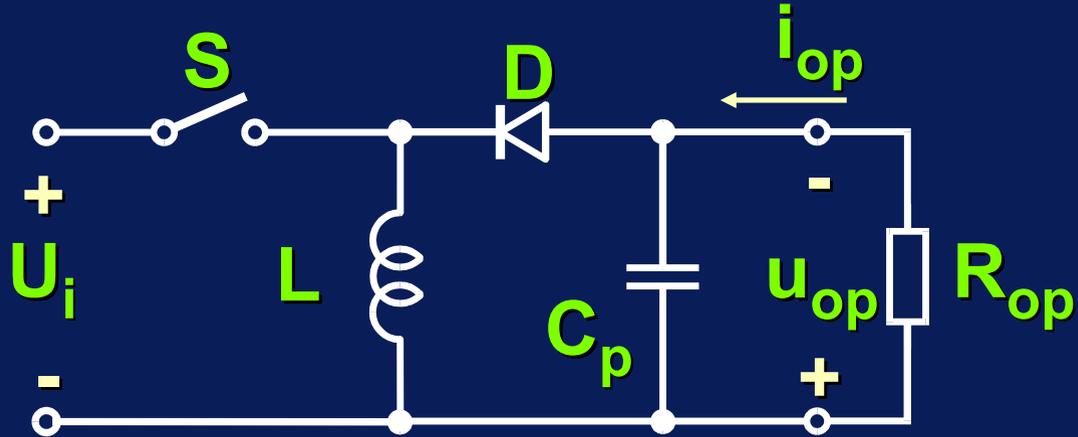
Tensioni di uscita [V]	Assorbimento (min-max) [mA]
$U_{01} - U_{03} = +15 \text{ V}$	13-25
$U_{04} = +15 \text{ V}$	44-83
$U_{05} = +5 \text{ V}$	100-350
$U_{06} = +15 \text{ V}$	150-400
$U_{07} = -15 \text{ V}$	80-280
$U_{08} = +24 \text{ V}$	0-100
$U_{09} = +15 \text{ V}$	50
$U_{10} = +15 \text{ V}$	1.7

Analisi del convertitore flyback multi-uscita



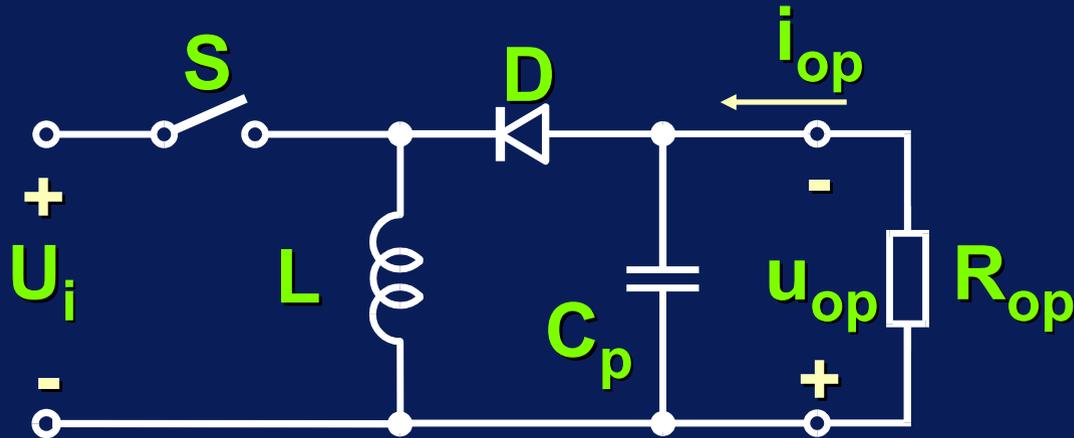
Riportando tutti i parametri a primario si possono utilizzare le relazioni del convertitore buck-boost

Analisi del convertitore multi-uscita



$$n_j = \frac{N_j}{N_p}$$

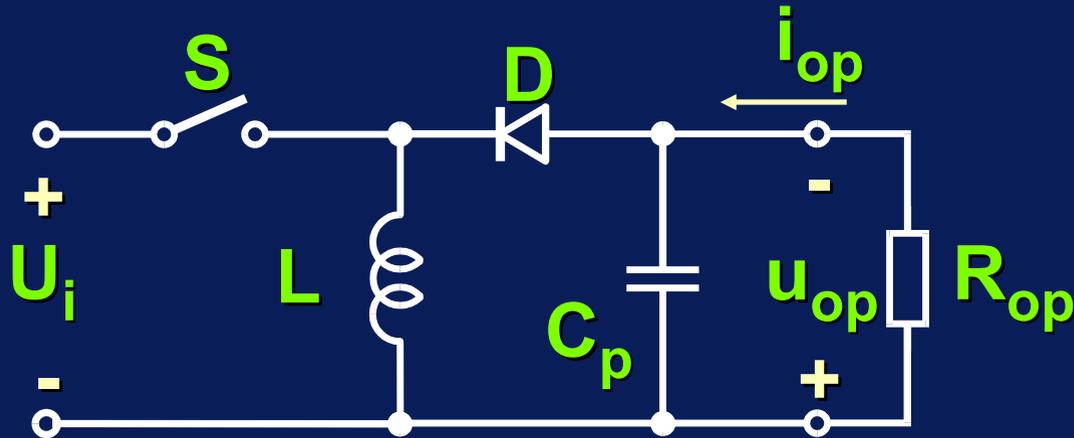
Analisi del convertitore multi-uscita



$$n_j = \frac{N_j}{N_p}$$

$$u_{op} = \frac{u_{oj}}{n_j}$$

Analisi del convertitore multi-uscita

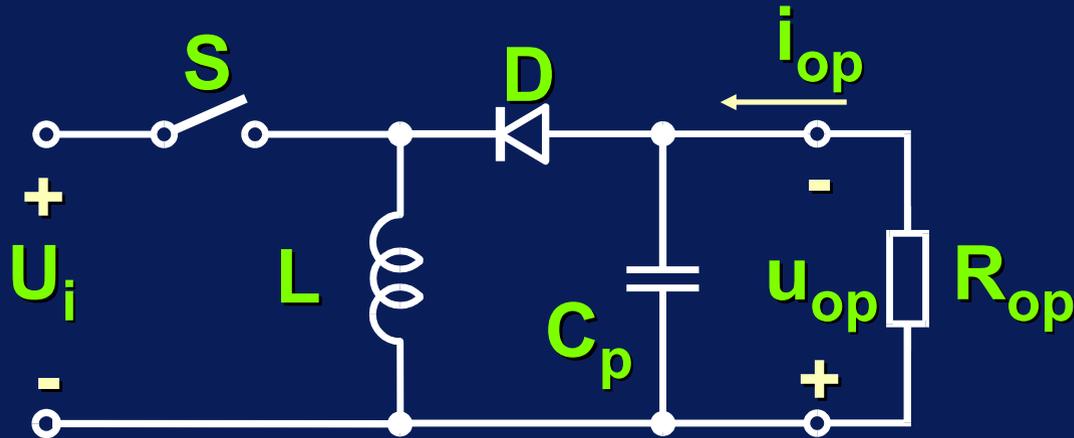


$$n_j = \frac{N_j}{N_p}$$

$$u_{op} = \frac{u_{oj}}{n_j}$$

$$i_{op} = \sum_{j=1}^N n_j i_{oj}$$

Analisi del convertitore multi-uscita



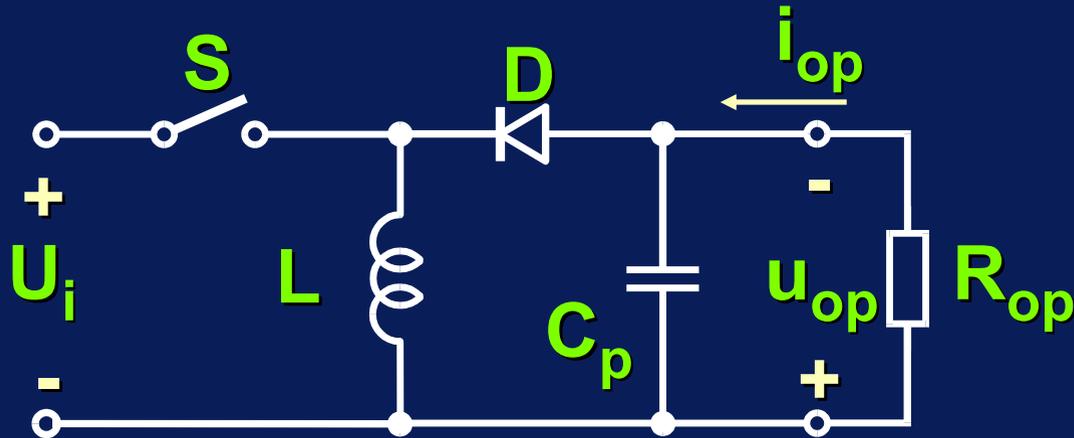
$$n_j = \frac{N_j}{N_p}$$

$$u_{op} = \frac{u_{oj}}{n_j}$$

$$i_{op} = \sum_{j=1}^N n_j i_{oj}$$

$$R_{op} = \frac{1}{G_{op}}$$

Analisi del convertitore multi-uscita



$$n_j = \frac{N_j}{N_p}$$

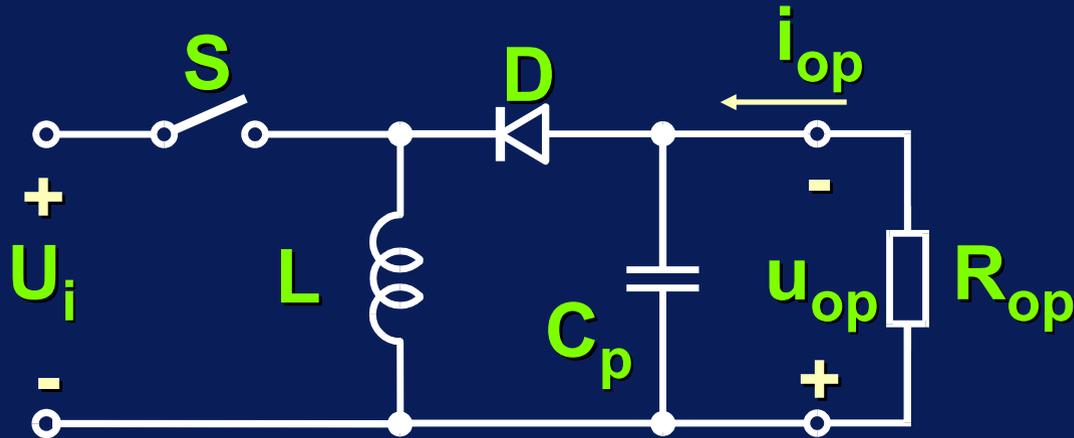
$$u_{op} = \frac{u_{oj}}{n_j}$$

$$i_{op} = \sum_{j=1}^N n_j i_{oj}$$

$$R_{op} = \frac{1}{G_{op}}$$

$$G_{op} = \sum_{j=1}^N G_{oj} n_j^2$$

Analisi del convertitore multi-uscita



$$n_j = \frac{N_j}{N_p}$$

$$u_{op} = \frac{u_{oj}}{n_j}$$

$$i_{op} = \sum_{j=1}^N n_j i_{oj}$$

$$R_{op} = \frac{1}{G_{op}}$$

$$G_{op} = \sum_{j=1}^N G_{oj} n_j^2$$

$$C_p = \sum_{i=1}^N C_j n_j^2$$

Dimensionamento della parte di potenza

1) Calcolo dei rapporti spire

Dimensionamento della parte di potenza

1) Calcolo dei rapporti spire

Ipotesi: **funzionamento CCM alla corrente nominale** ($I_{o\text{lim}} = 40\% I_{o\text{nom}}$)

Dimensionamento della parte di potenza

1) Calcolo dei rapporti spire

Ipotesi: funzionamento CCM alla corrente nominale ($I_{o\text{lim}} = 40\% I_{o\text{nom}}$)

Motivo: limitare inferiormente t_{onmin} ($2 \mu\text{s}$)

Dimensionamento della parte di potenza

1) Calcolo dei rapporti spire

Ipotesi: **funzionamento CCM alla corrente nominale**

Motivo: **limitare inferiormente $t_{on_{min}}$**

Rapporti di conversione



$$M_{min} = \frac{U_{op}}{U_{i_{max}}} = \frac{\delta_{min}}{1 - \delta_{min}}$$

$$M_{max} = \frac{U_{op}}{U_{i_{min}}} = \frac{\delta_{max}}{1 - \delta_{max}}$$

Dimensionamento della parte di potenza

1) Calcolo dei rapporti spire

Ipotesi: **funzionamento CCM alla corrente nominale**

Motivo: **limitare inferiormente $t_{on\min}$**

Rapporti di
conversione



$$M_{\min} = \frac{U_{op}}{U_{i_{\max}}} = \frac{\delta_{\min}}{1 - \delta_{\min}}$$

$$M_{\max} = \frac{U_{op}}{U_{i_{\min}}} = \frac{\delta_{\max}}{1 - \delta_{\max}}$$

δ_{\min} e δ_{\max} **dipendono dalla scelta di U_{op}**

Dimensionamento della parte di potenza

1) Calcolo dei rapporti spire

Il valore della tensione di carico riportata a primario (U_{op}) si determina in modo da limitare a valori opportuni:

- la tensione massima dell'interruttore
- il minimo t_{on} dell'interruttore

Dimensionamento della parte di potenza

1) Calcolo dei rapporti spire

Tensione massima dell'interruttore

$$U_{s_{\max}} = U_{i_{\max}} + U_{op}$$

Dimensionamento della parte di potenza

1) Calcolo dei rapporti spire

Tensione massima dell'interruttore

$$U_{s_{\max}} = U_{i_{\max}} + U_{op}$$



$$\delta_{\min} = 1 - \frac{U_{i_{\max}}}{U_{s_{\max}}}$$

Dimensionamento della parte di potenza

1) Calcolo dei rapporti spire

Minimo t_{on} dell'interruttore

$$t_{on_{min}} = \delta_{min} T_s \quad T_s = 20 \mu s$$

Dimensionamento della parte di potenza

1) Calcolo dei rapporti spire

Minimo t_{on} dell'interruttore

$$t_{on_{min}} = \delta_{min} T_S \quad T_S = 20 \mu s$$

NOTA: Se al diminuire della corrente di carico il convertitore entrasse in funzionamento intermittente si causerebbe una ulteriore diminuzione del duty-cycle. Per evitare ciò si tende ad evitare il DCM.

Dimensionamento della parte di potenza

1) Calcolo dei rapporti spire

Posto: $\delta_{\min} = 0.1$

Dimensionamento della parte di potenza

1) Calcolo dei rapporti spire

Posto: $\delta_{\min} = 0.1 \rightarrow t_{\text{onmin}} = 2\mu\text{s}$

Dimensionamento della parte di potenza

1) Calcolo dei rapporti spire

Posto: $\delta_{\min} = 0.1$  $t_{\text{onmin}} = 2\mu\text{s}$



$$U_{\text{op}} \approx 80 \text{ V}$$

Dimensionamento della parte di potenza

1) Calcolo dei rapporti spire

Posto: $\delta_{\min} = 0.1$ \rightarrow $t_{\text{onmin}} = 2\mu\text{s}$

$$U_{\text{op}} \approx 80\text{ V}$$

$$n_j = \frac{U_{\text{op}}}{U_{\text{oj}}}, j = 1 \div N$$

Dimensionamento della parte di potenza

2) Calcolo dell'induttanza L (a primario)

Dimensionamento della parte di potenza

2) Calcolo dell'induttanza L (a primario)

Si assume: $\alpha = 0.4$

(α = frazione della potenza d'uscita cui corrisponde il funzionamento limite tra CCM e DCM)

Dimensionamento della parte di potenza

2) Calcolo dell'induttanza L (a primario)

Si assume: $\alpha = 0.4$

(α = frazione della potenza d'uscita cui corrisponde il funzionamento limite tra CCM e DCM)

Ciò garantisce un funzionamento CCM anche alla minima potenza di uscita, evitando ulteriori riduzioni del duty-cycle.

Dimensionamento della parte di potenza

2) Calcolo dell'induttanza L (a primario)

L deve essere dimensionata per garantire CCM in ogni condizione

$$k_{\text{crit}} = \frac{1}{(1 + M)^2}$$

Dimensionamento della parte di potenza

2) Calcolo dell'induttanza L (a primario)

L deve essere dimensionata per garantire CCM in ogni condizione

$$k_{\text{crit}} = \frac{1}{(1 + M)^2}$$

$$k_{\text{crit}} = \frac{2Lf_s}{R_{\text{op}_{\text{max}}}}$$

Dimensionamento della parte di potenza

2) Calcolo dell'induttanza L (a primario)

L deve essere dimensionata per garantire CCM in ogni condizione

$$k_{\text{crit}} = \frac{1}{(1+M)^2}$$
$$k_{\text{crit}} = \frac{2Lf_s}{R_{\text{op}_{\text{max}}}}$$
$$R_{\text{op}_{\text{max}}} = \frac{R_{\text{op}_{\text{nom}}}}{\alpha}$$

Dimensionamento della parte di potenza

2) Calcolo dell'induttanza L (a primario)

L deve essere dimensionata per garantire CCM in ogni condizione

$$k_{\text{crit}} = \frac{1}{(1+M)^2} \quad k_{\text{crit}} = \frac{2Lf_s}{R_{\text{op}_{\text{max}}}}$$
$$R_{\text{op}_{\text{max}}} = \frac{R_{\text{op}_{\text{nom}}}}{\alpha}$$

$$L = \frac{R_{\text{op}_{\text{nom}}}}{2f_s(1+M_{\text{min}})^2} \cdot \frac{1}{\alpha}$$

Dimensionamento della parte di potenza

3) Calcolo degli stress di corrente e tensione dell'interruttore

Dimensionamento della parte di potenza

3) Calcolo degli stress di corrente e tensione dell'interruttore

$$I_{s_{\max}} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} = I_{op}(1 + M) \left(1 + \frac{1}{k(1 + M)^2} \right)$$

Dimensionamento della parte di potenza

3) Calcolo degli stress di corrente e tensione dell'interruttore

$$I_{s_{\max}} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} = I_{op}(1 + M) \left(1 + \frac{1}{k(1 + M)^2} \right)$$

$$U_{s_{\max}} = U_{i_{\max}} + U_{op}$$

Dimensionamento della parte di potenza

3) Calcolo degli stress di corrente e tensione dell'interruttore

$$I_{s_{\max}} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} = I_{op}(1 + M) \left(1 + \frac{1}{k(1 + M)^2} \right)$$

$$U_{s_{\max}} = U_{i_{\max}} + U_{op}$$



$$I_{s_{\max}} = 0.59 \text{ A}$$

$$U_{s_{\max}} = 790 \text{ V}$$

Dimensionamento della parte di potenza

4) Dimensionamento del mutuo induttore

Dimensionamento della parte di potenza

4) Dimensionamento del mutuo induttore

Nucleo in ferrite: ETD 34x17x11

Sezione del nucleo: $A_e = 92 \text{ mm}^2$

Dimensionamento della parte di potenza

4) Dimensionamento del mutuo induttore

Nucleo in ferrite: ETD 34x17x11

Sezione del nucleo: $A_e = 92 \text{ mm}^2$

Posto: $B_{\max} = 200 \text{ mT}$

Dimensionamento della parte di potenza

4) Dimensionamento del mutuo induttore

Nucleo in ferrite: ETD 34x17x11

Sezione del nucleo: $A_e = 92 \text{ mm}^2$

Posto: $B_{\max} = 200 \text{ mT}$



$$N_p = \frac{L I_{s_{\max}}}{B_{\max} A_e}$$

Dimensionamento della parte di potenza

4) Dimensionamento del mutuo induttore

Nota: è necessario un traferro (air gap)
per evitare la saturazione del
nucleo e accumulare energia

Dimensionamento della parte di potenza

4) Dimensionamento del mutuo induttore

Nota: è necessario un traferro (air gap) per evitare la saturazione del nucleo e accumulare energia

$$E_L = \frac{1}{2} L I_{L_{\max}}^2$$

Dimensionamento della parte di potenza

4) Dimensionamento del mutuo induttore

Trascurando la riluttanza del nucleo rispetto a quella del traferro si trova:

Dimensionamento della parte di potenza

4) Dimensionamento del mutuo induttore

Trascurando la riluttanza del nucleo rispetto a quella del traferro si trova:



$$\lambda_t = \frac{\mu_0 A_e N_p^2}{2L}$$

λ_t = lunghezza del traferro da realizzare su ciascuna colonna del nucleo

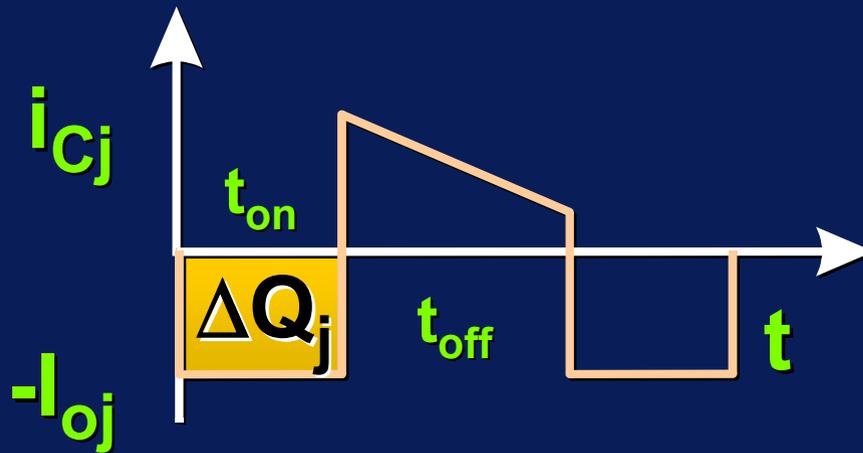
Dimensionamento della parte di potenza

5) Calcolo delle capacità di uscita

Dimensionamento della parte di potenza

5) Calcolo delle capacità di uscita

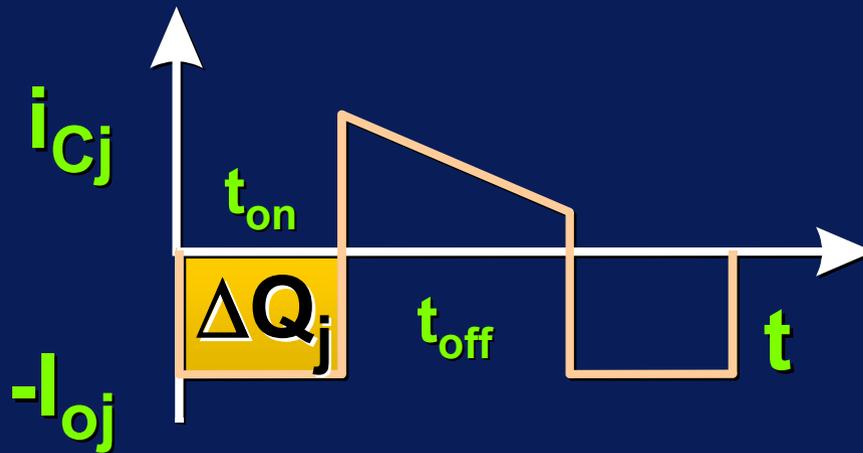
Ondulazione (ripple statico):



Dimensionamento della parte di potenza

5) Calcolo delle capacità di uscita

Ondulazione (ripple statico):



$$C_j = \frac{I_{oj}}{\Delta U_{oj} f_s} \cdot \delta_{max}$$