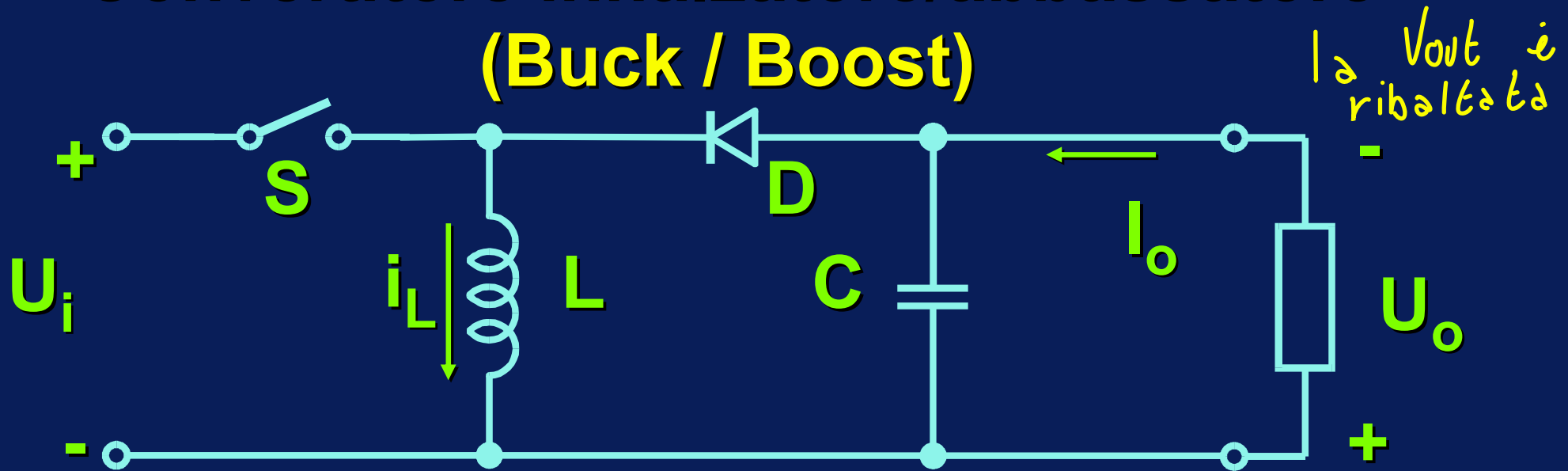


# Convertitore innalzatore/abbassatore (Buck / Boost)



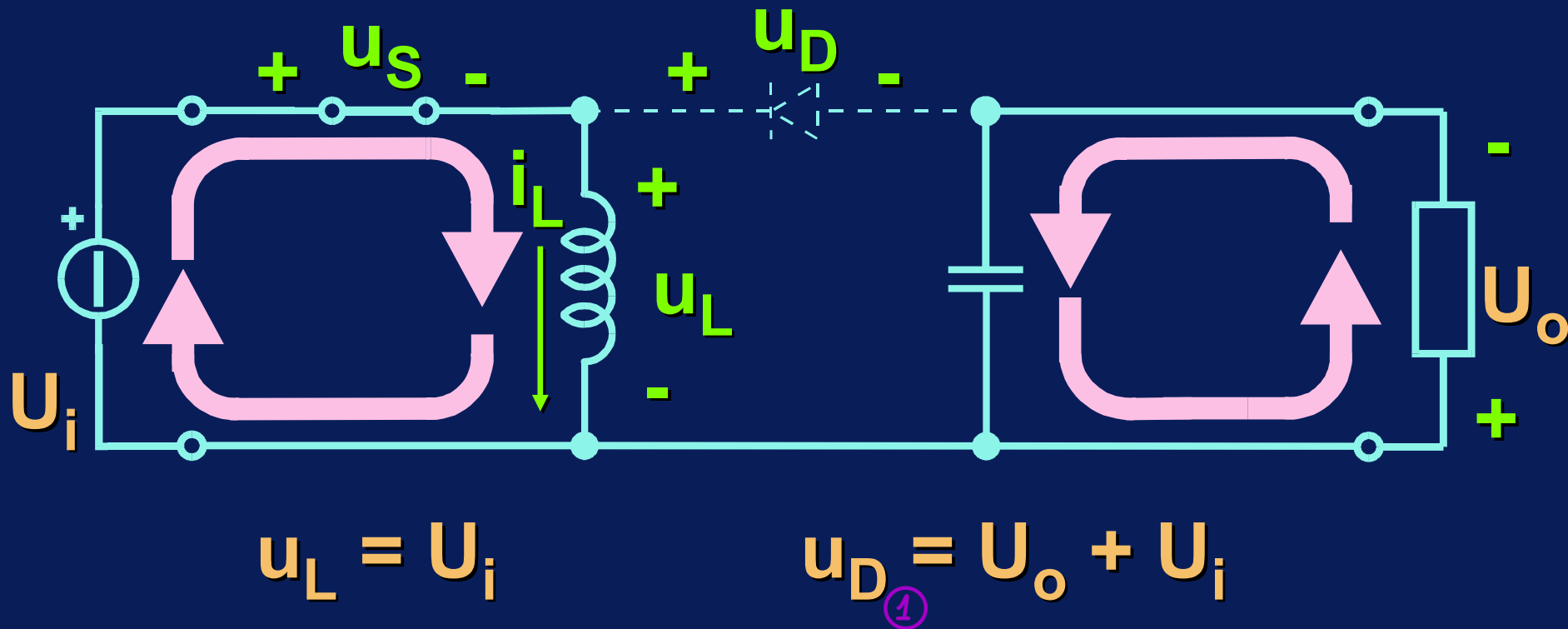
**Ipotesi per lo studio:**

- interruttore ideale ( $u_{son}=0, i_{soff}=0, t_{swon}=t_{swoff}=0$ )
- diodo ideale ( $u_{son}=0, i_{soff}=0, t_{swon}=t_{swoff}=0$ )
- $L, C$  ideali ( $R_L=0, ESR=0, ESL=0$ )
- $u_i = U_i = \text{costante}$
- $u_o = U_o = \text{costante}$
- $i_o = I_o = \text{costante}$

*la corrente su  $I_{non}$  va mai a 0*

# Analisi del funzionamento continuo (CCM)

Tempo di chiusura di S ( $t_{on}$ ) **S on - D off**



**Durante questa fase viene trasferita energia dall'alimentazione all'induttanza**

*come è la tensione in uscita e la corrente?? (qui dipende se il diodo conduce o no)*  
 *$I_p$ : D off "da verificare"*

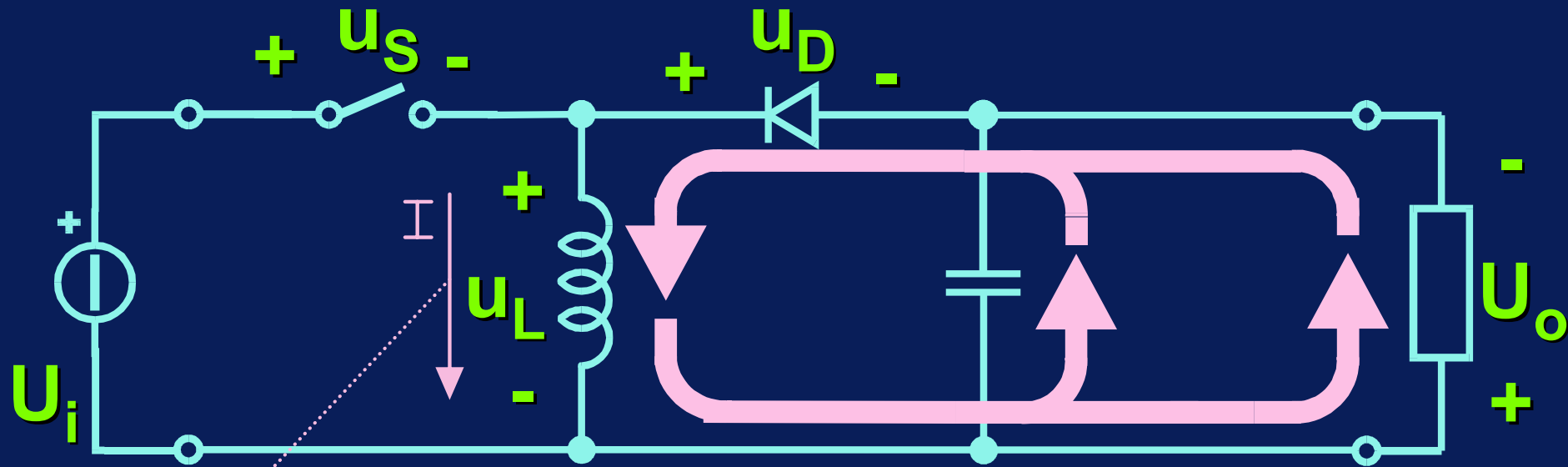
① Il diodo in questo circuito è più stressato dato che  $U_0 = U_0 + U_L$  rispetto al circuito boost o buck

- il diodo ha un suo tempo di commutazione e quindi il nodo non può far passare la corrente e quindi su  $L$  cresce la tensione fino ad essere  $\pm$  negativa del carico e allora il diodo conduce

↓  
picco di corrente che devo evitare  $\rightarrow$  mi serve un diodo molto veloce

# Analisi del funzionamento continuo (CCM)

Tempo di apertura di S ( $t_{off}$ ) S off - D on



quindi dalla  
corrente vediamo  
il verso della  
tensione

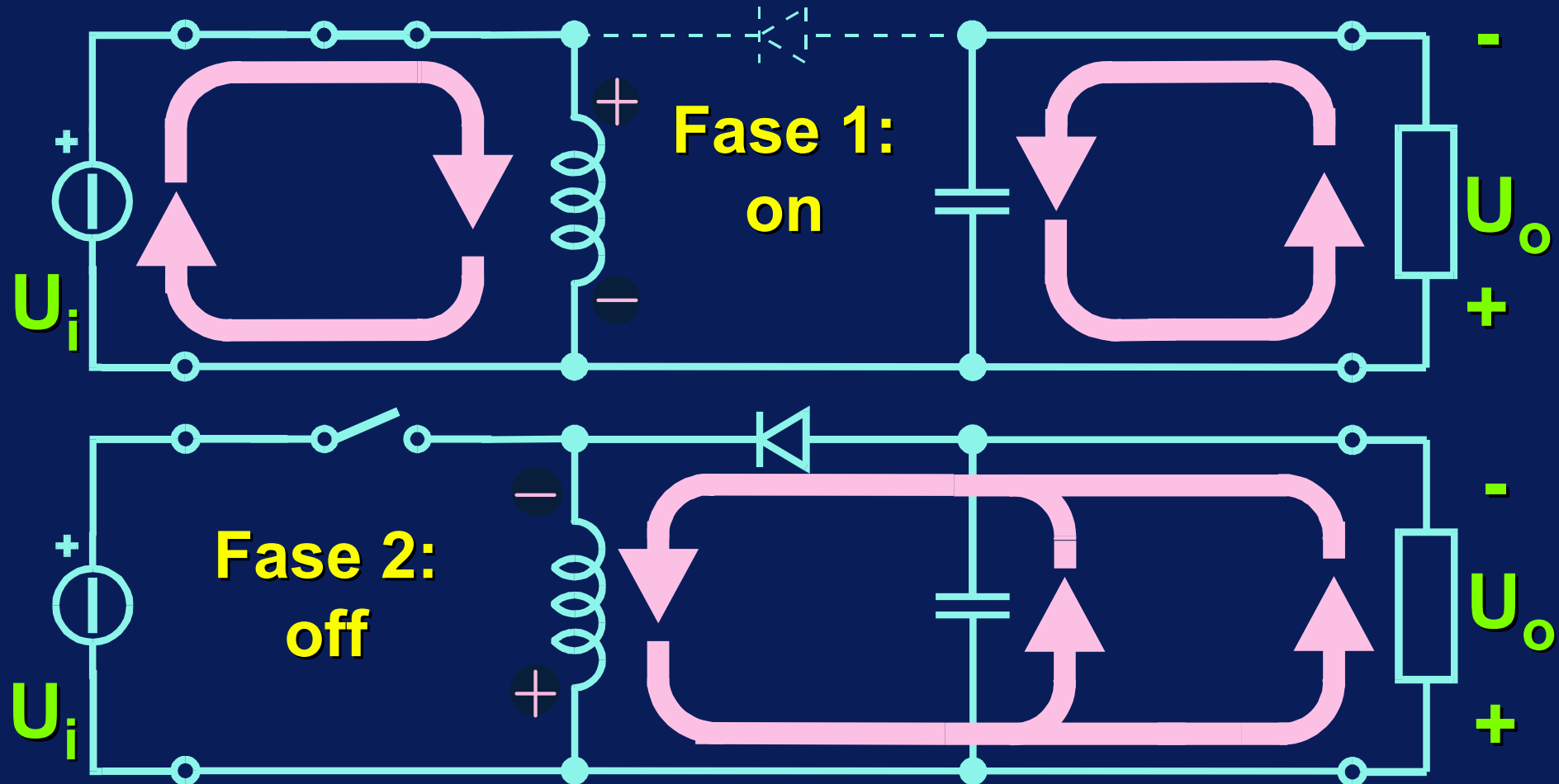
$$u_L = -U_o$$

$$u_S = U_o + U_i$$

**Durante questa fase la sola induttanza  
fornisce energia allo stadio di uscita**

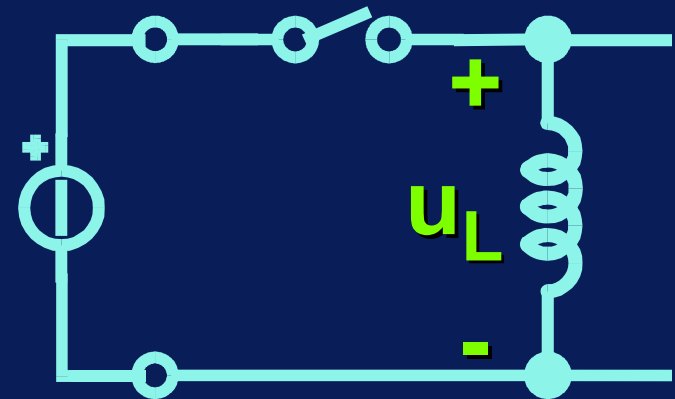
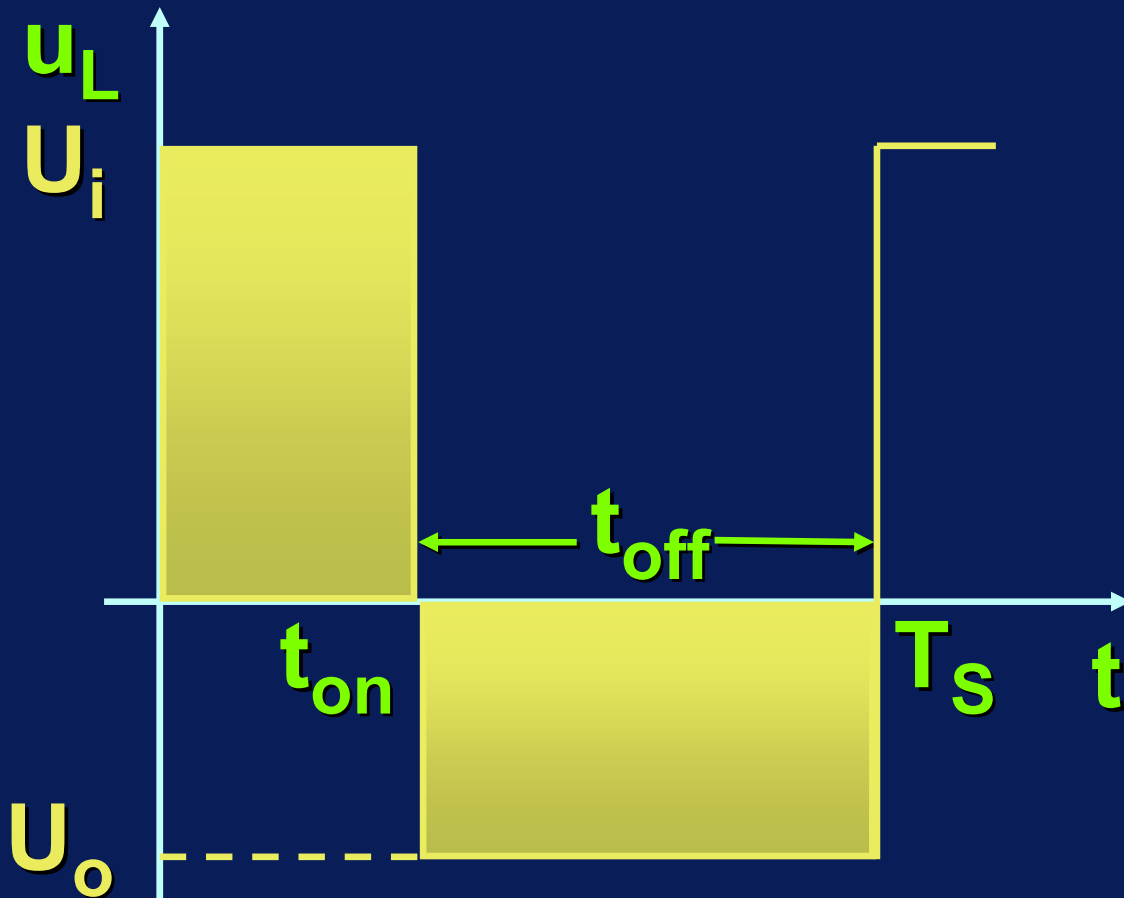
se chiudo l'interruttore ho che  $v_L = L \cdot \frac{di}{dt}$  se switcho la derivata cambia  
e cambio segno

# Analisi del funzionamento continuo (CCM)



Il meccanismo di trasferimento di energia in due fasi (sorgente  $\rightarrow$  induttanza  $\rightarrow$  carico) consente di alimentare il carico a qualunque tensione

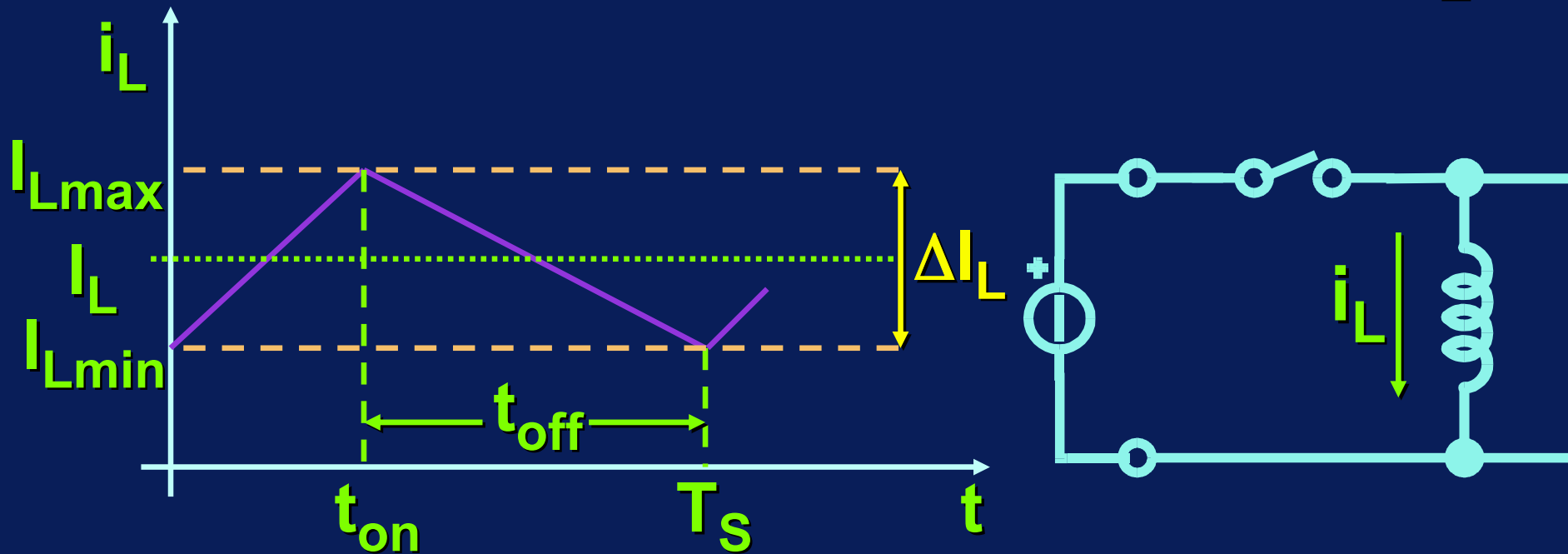
# Buck/Boost - Forme d'onda in CCM: $u_L$



$$U_i \cdot t_{on} = U_o \cdot t_{off}$$

$$M = \frac{U_o}{U_i} = \frac{t_{on}}{t_{off}} = \frac{\delta}{1 - \delta}$$

## Buck/Boost - Forme d'onda in CCM: $i_L$



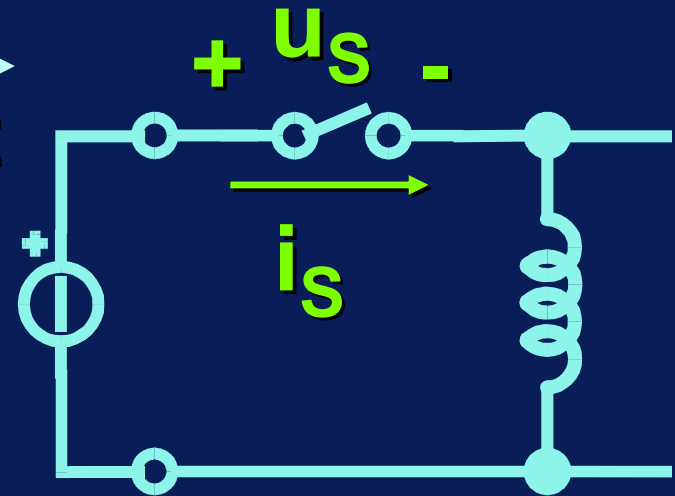
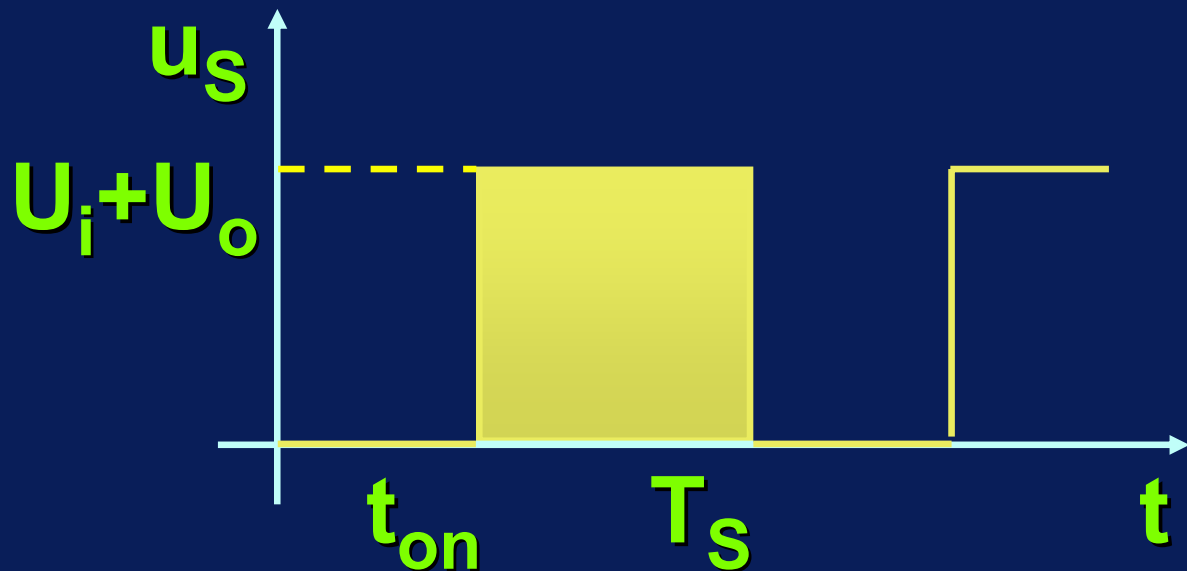
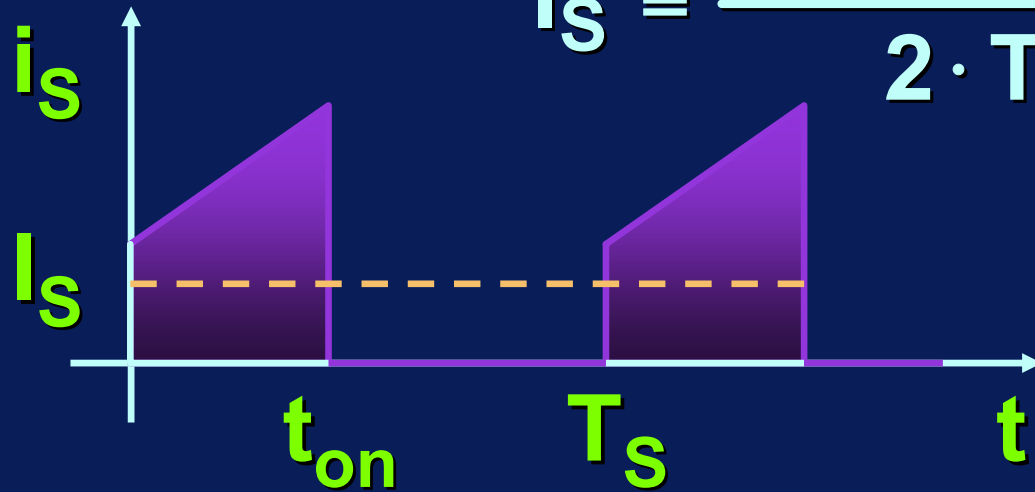
A regime:

$$\Delta I_{Lon} = \Delta I_{Loff} = \Delta I_L = \frac{U_i}{L} \cdot t_{on} = \frac{U_o}{L} \cdot t_{off}$$

$$M = \frac{U_o}{U_i} = \frac{t_{on}}{t_{off}} = \frac{\delta}{1 - \delta}$$

# Buck/Boost - Forme d'onda in CCM: $i_s, u_s$

$$I_s = \frac{I_{Lmin} + I_{Lmax}}{2 \cdot T_s} \cdot t_{on} = I_L \cdot \delta$$

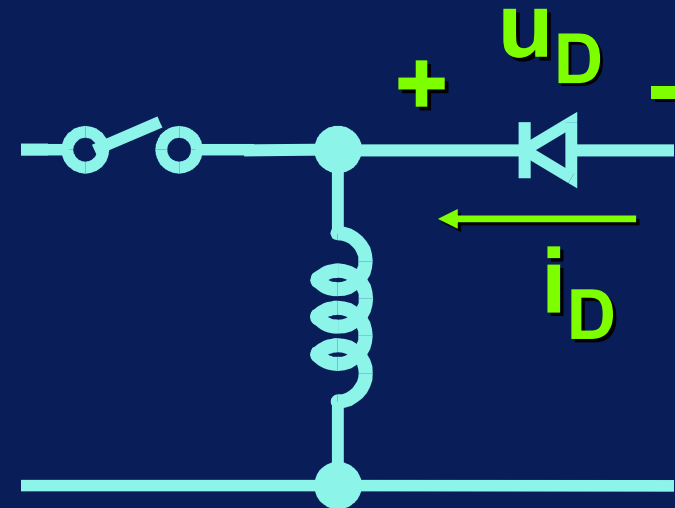
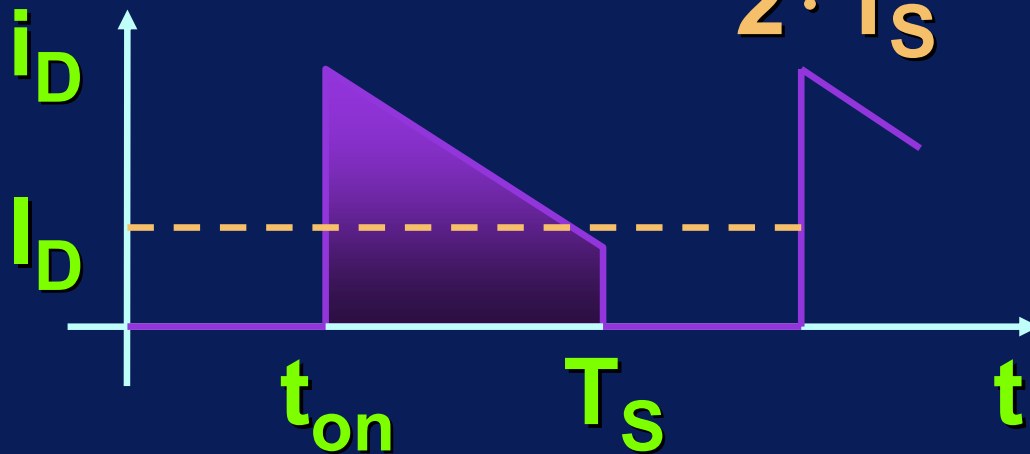


$$U_{Smax} = U_i + U_o$$



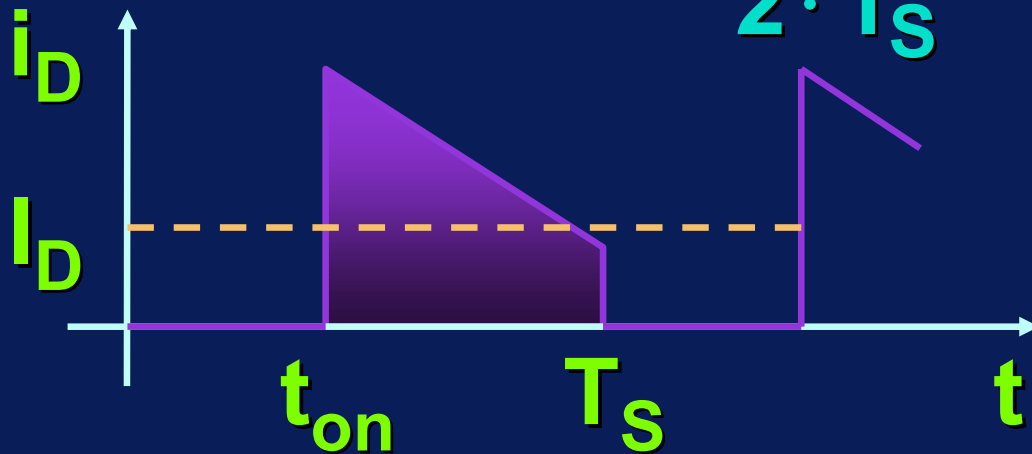
# Buck/Boost - Forme d'onda in CCM: $i_D, u_D$

$$I_D = \frac{I_{Lmin} + I_{Lmax}}{2 \cdot T_s} \cdot t_{off} = I_L \cdot (1 - \delta)$$

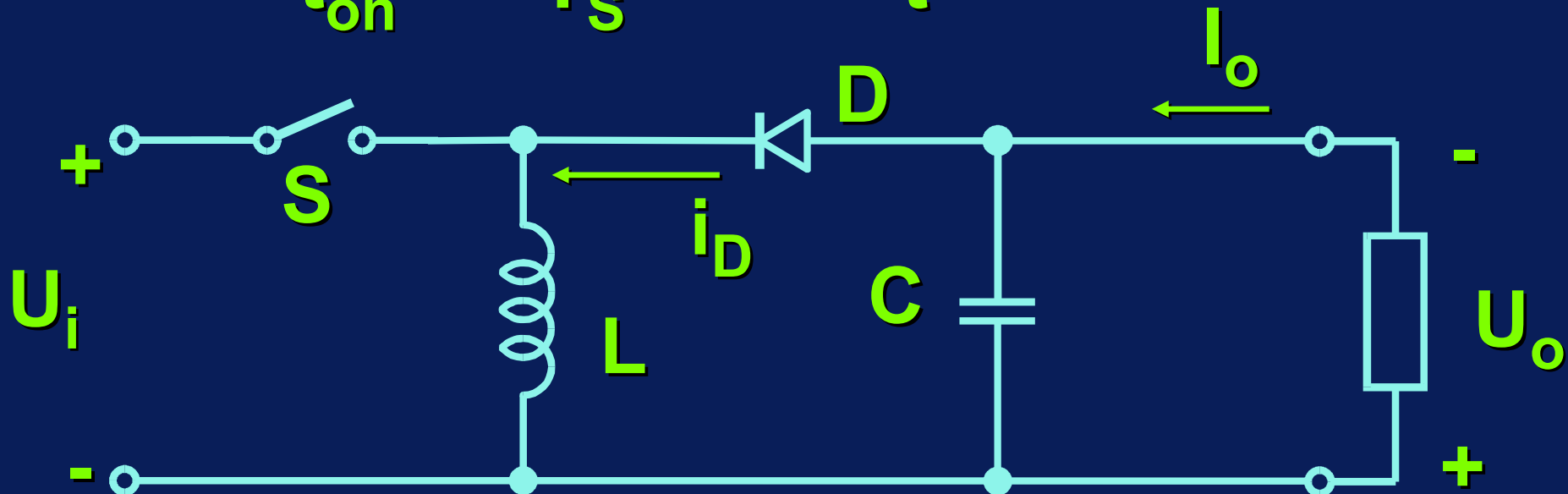


# Buck/Boost - Forme d'onda in CCM: $i_D, u_D$

$$I_D = \frac{I_{Lmin} + I_{Lmax}}{2 \cdot T_s} \cdot t_{off} = I_L \cdot (1 - \delta)$$

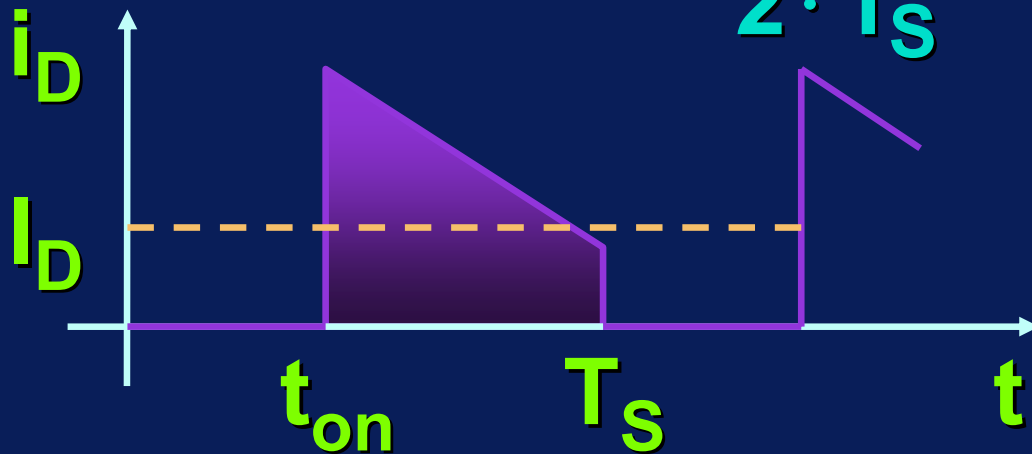


$$I_D = I_o$$

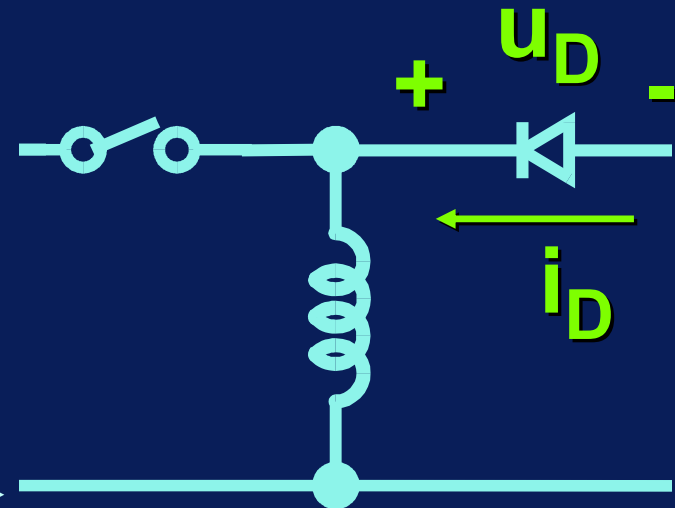
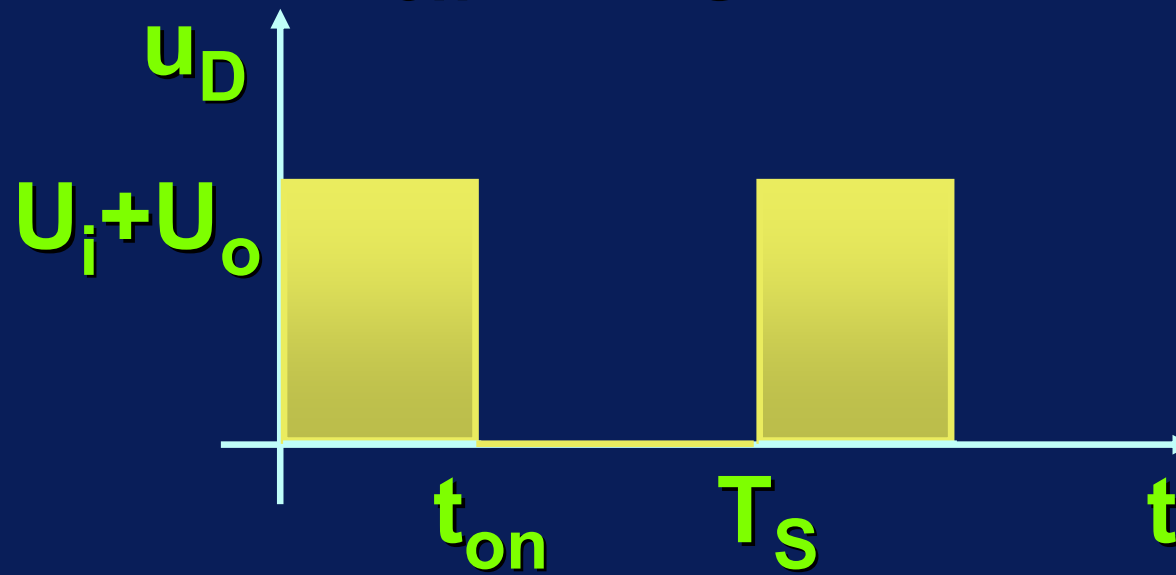


# Buck/Boost - Forme d'onda in CCM: $i_D, u_D$

$$I_D = \frac{I_{Lmin} + I_{Lmax}}{2 \cdot T_S} \cdot t_{off} = I_L \cdot (1 - \delta)$$

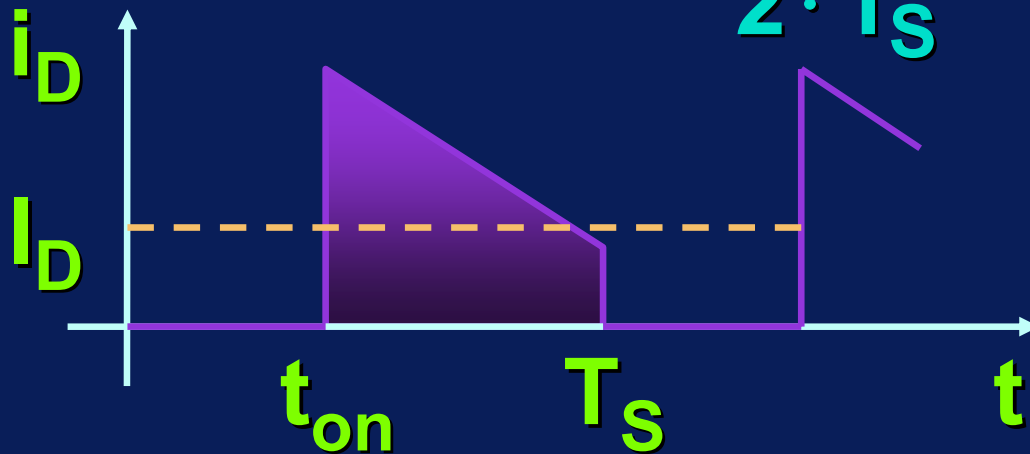


$$I_D = I_o$$

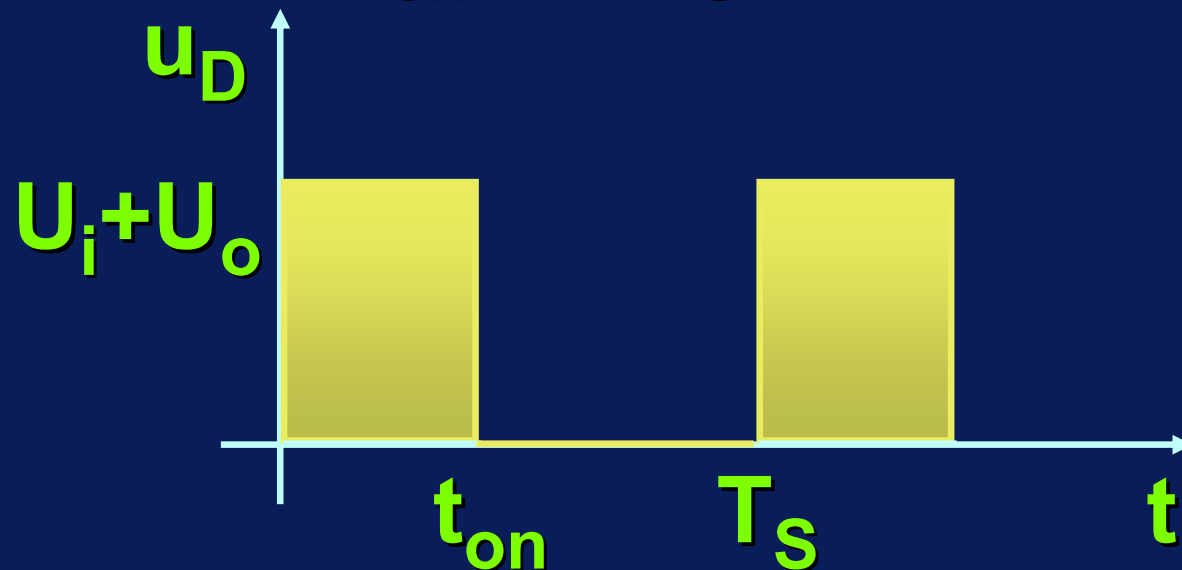


# Buck/Boost - Forme d'onda in CCM: $i_D, u_D$

$$I_D = \frac{I_{Lmin} + I_{Lmax}}{2 \cdot T_s} \cdot t_{off} = I_L \cdot (1 - \delta)$$



$$I_D = I_o$$



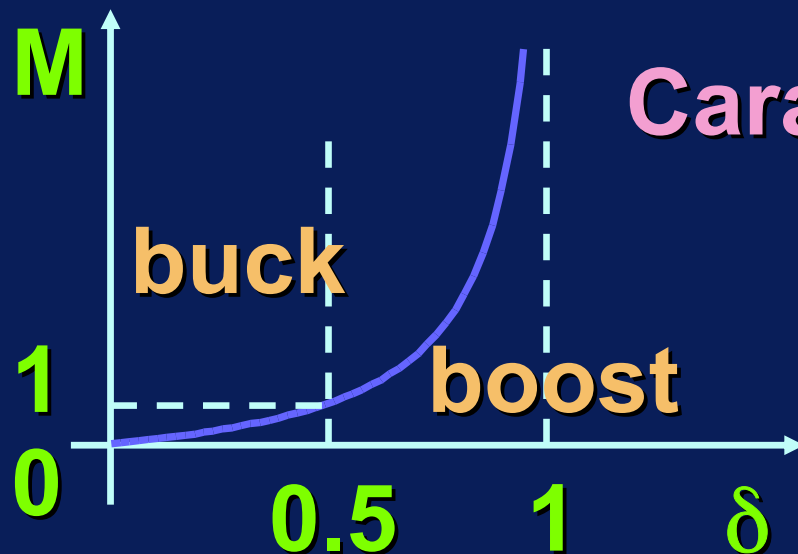
$$U_{Dmax} = U_i + U_o$$

# Nota

$$U_{Smax} = U_{Dmax} = U_o + U_i$$

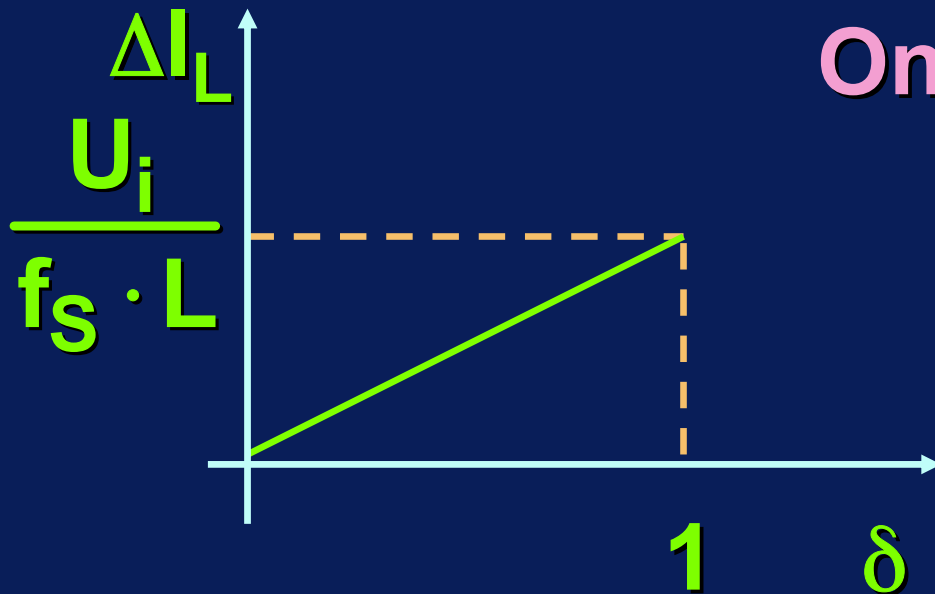
**Le maggiori capacità di regolazione di questo convertitore si associano a maggiori sollecitazioni in tensione dei componenti**

# Convertitore Buck/Boost in CCM



Caratteristica di controllo

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



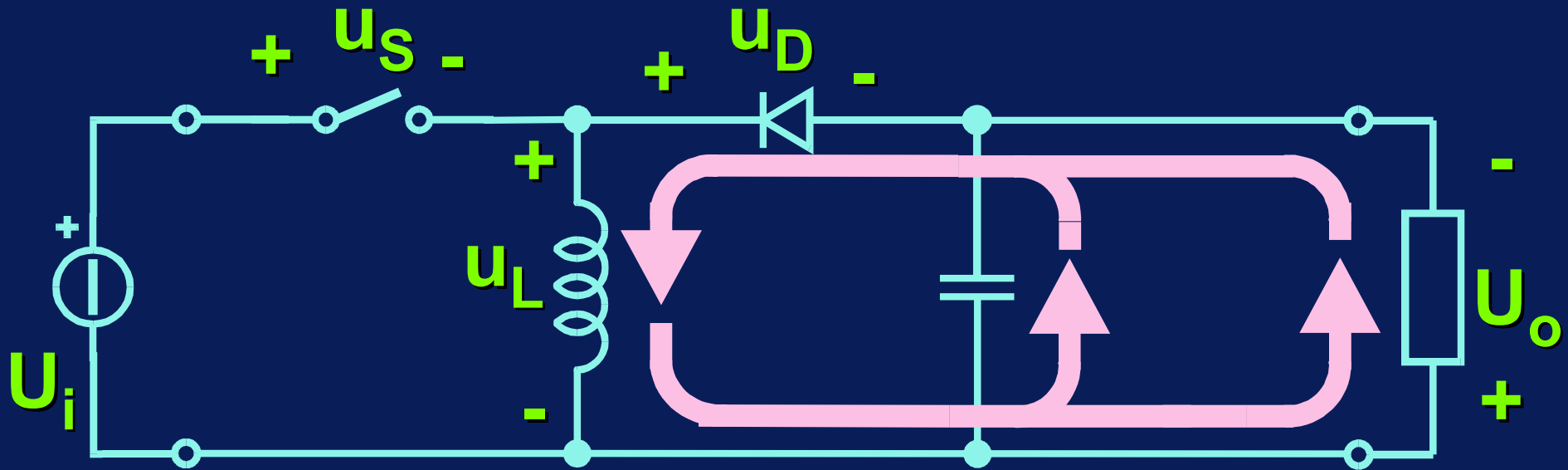
Ondulazione di corrente

$$\Delta I_L = \frac{U_i}{L} \cdot t_{on} = \frac{U_i \cdot \delta}{f_s \cdot L}$$



# Analisi del funzionamento discontinuo (DCM)

Tempo di apertura di S ( $t'_{\text{off}}$ ) S off - D on



$$u_L = -U_o$$

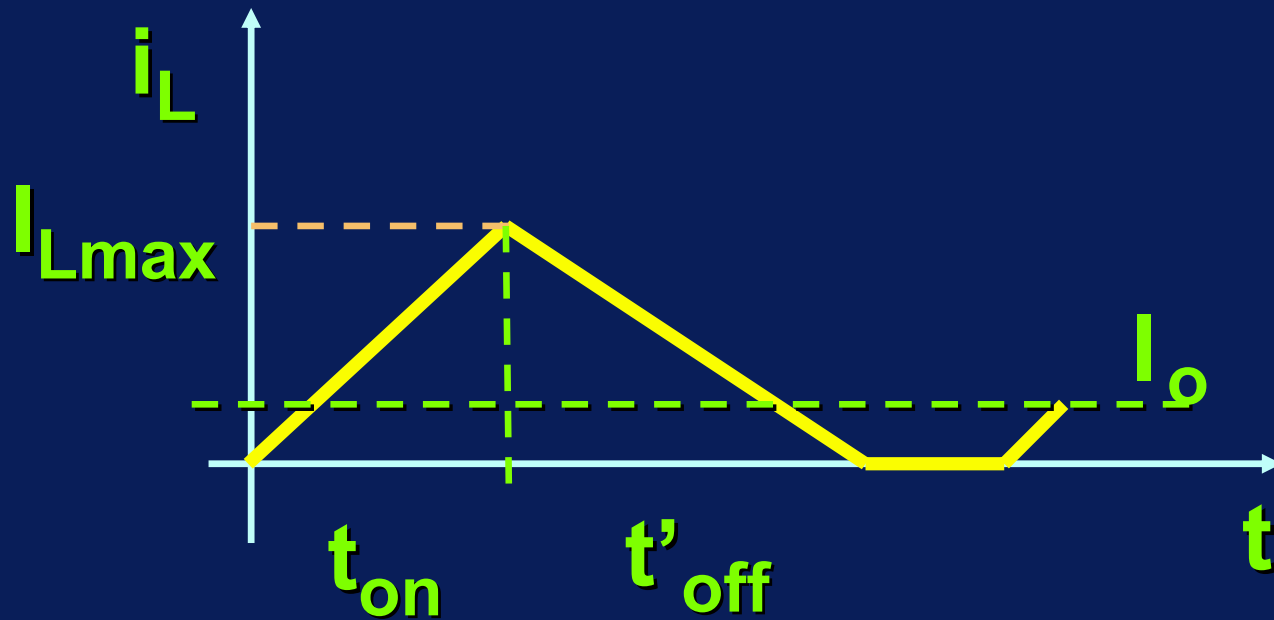
$$u_S = U_o + U_i$$

Alla fine di questa fase la corrente dell'induttanza si annulla



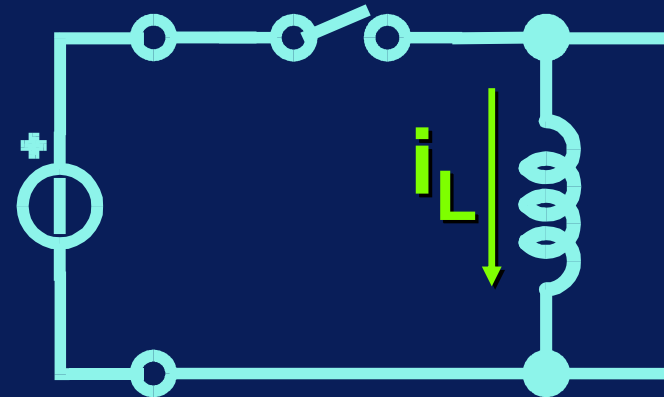


# Buck/Boost: Forme d'onda in DCM: $i_L$

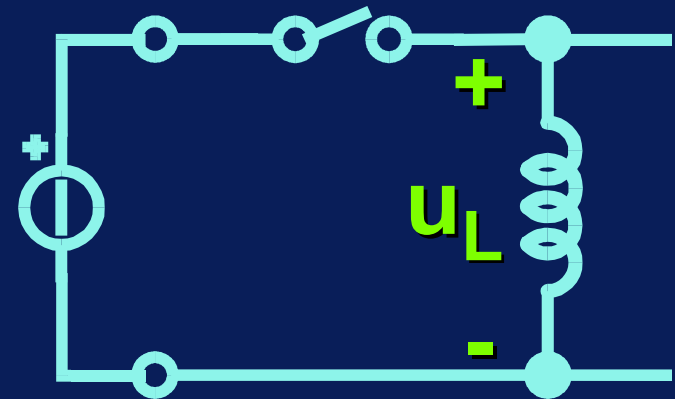
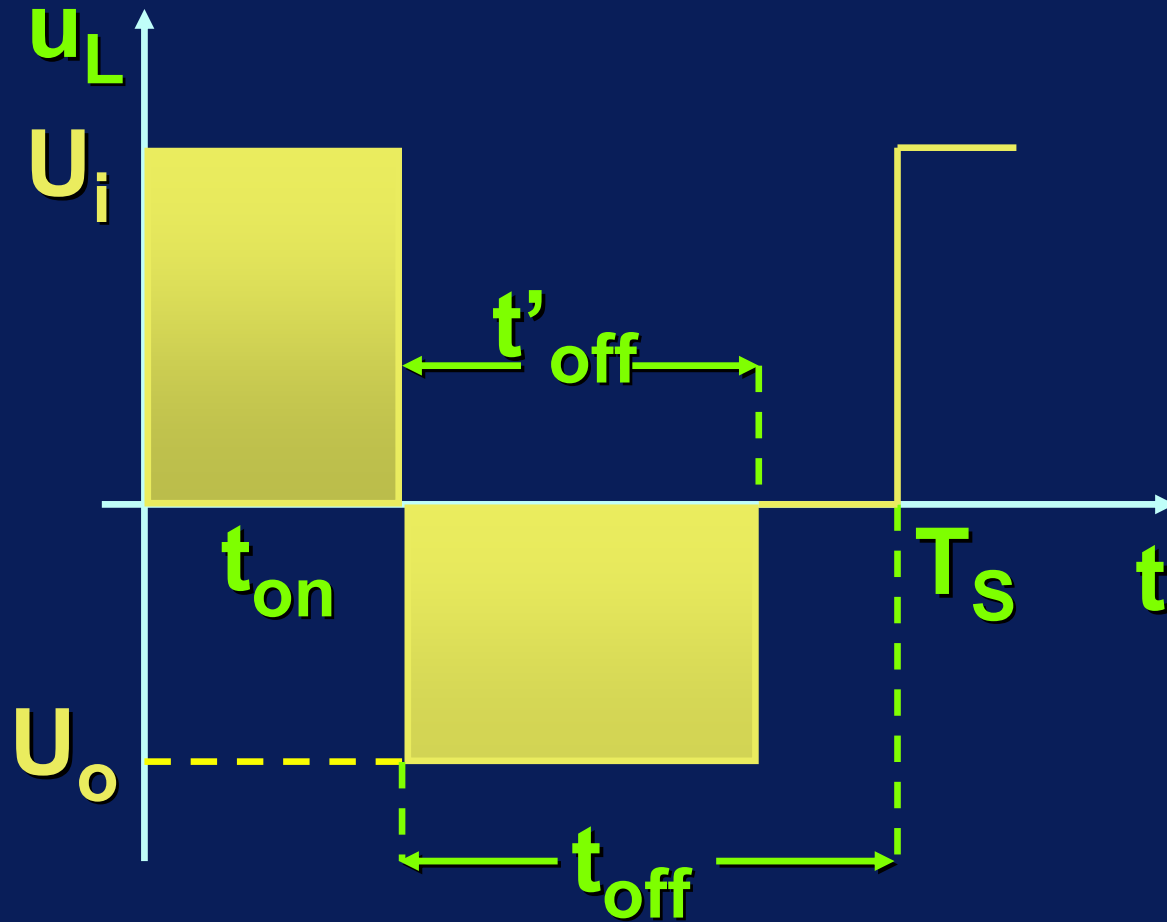


$$I_{Lmax} = \frac{U_i}{L} \cdot t_{on}$$

$$I_o = \frac{I_{Lmax} \cdot t'_{off}}{2 \cdot T_s}$$



# Buck/Boost: Forme d'onda in DCM: $u_L$



$$U_i \cdot t_{on} = U_o \cdot t'_{off}$$

## Caratteristica di controllo in DCM

$$I_o = \frac{I_{Lmax} \cdot t'_{off}}{2 \cdot T_S}; \quad I_{Lmax} = \frac{U_i}{L} \cdot t_{on};$$

$$t'_{off} = \frac{U_i}{U_o} \cdot t_{on}$$

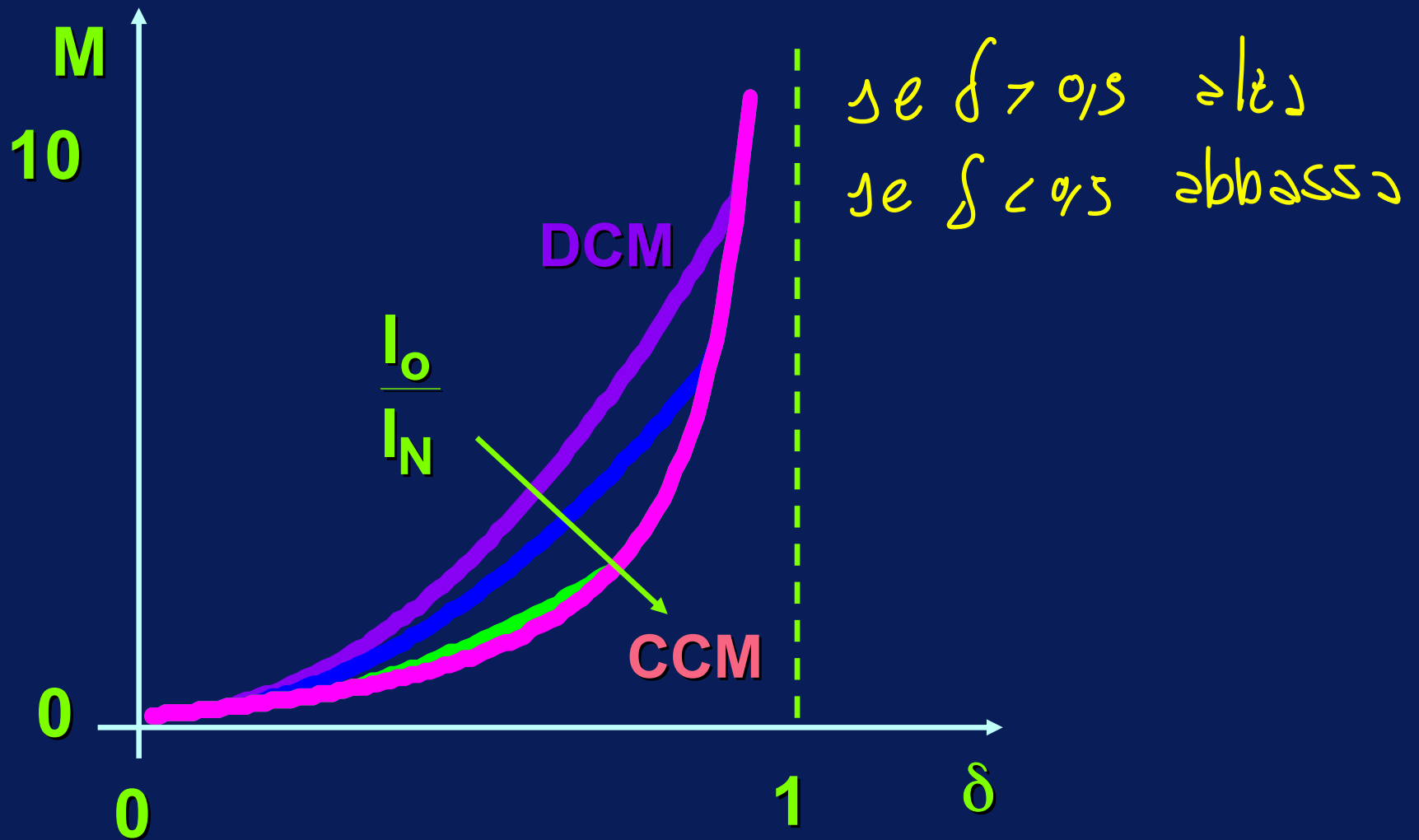


$$M = \frac{U_o}{U_i} = \delta^2 \cdot \frac{U_i}{2 \cdot f_S \cdot L \cdot I_o} = \delta^2 \cdot \frac{I_N}{I_o}$$

dove:

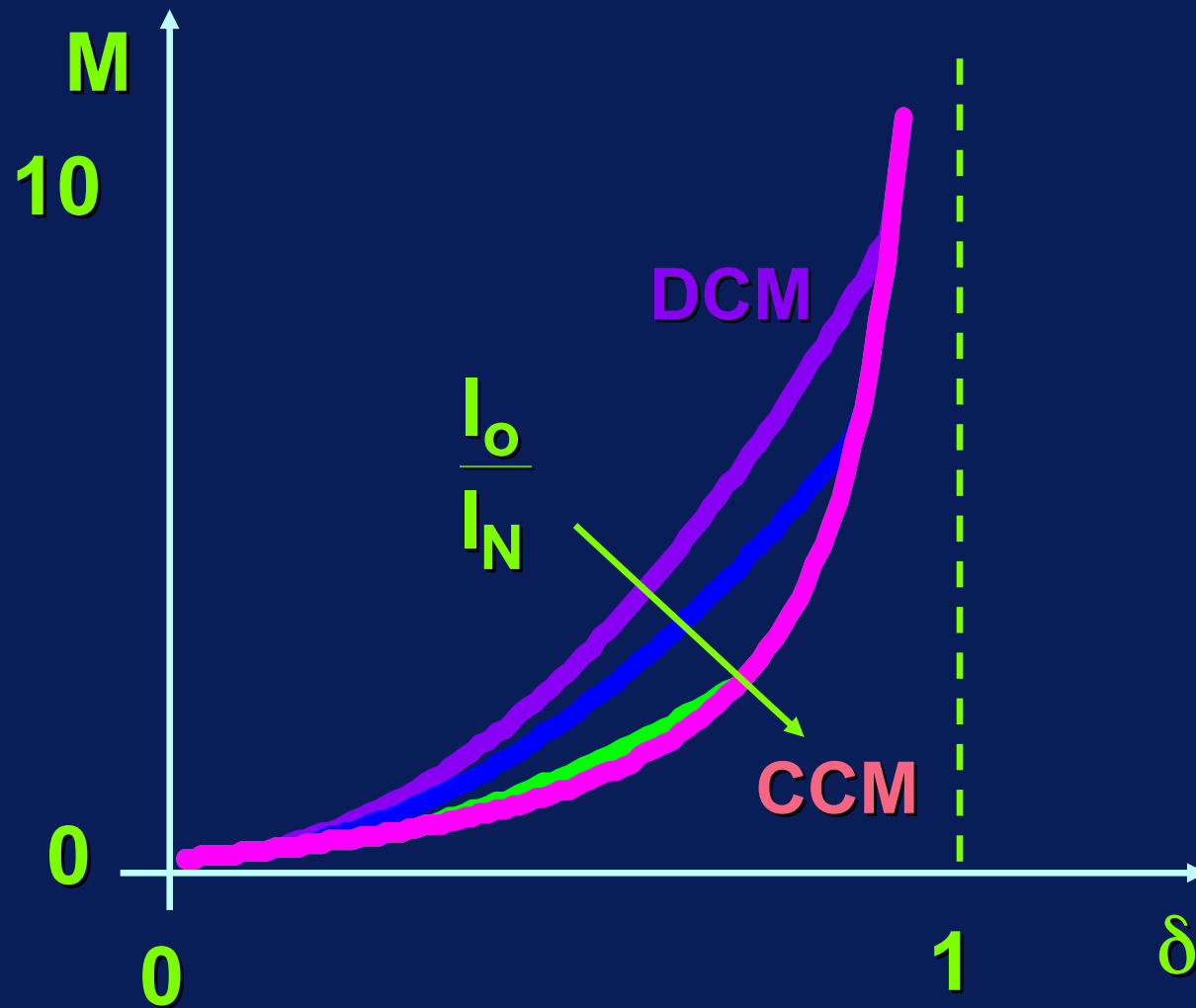
$$I_N = \frac{U_i}{2 \cdot f_S \cdot L}$$

## Caratteristiche di controllo totali



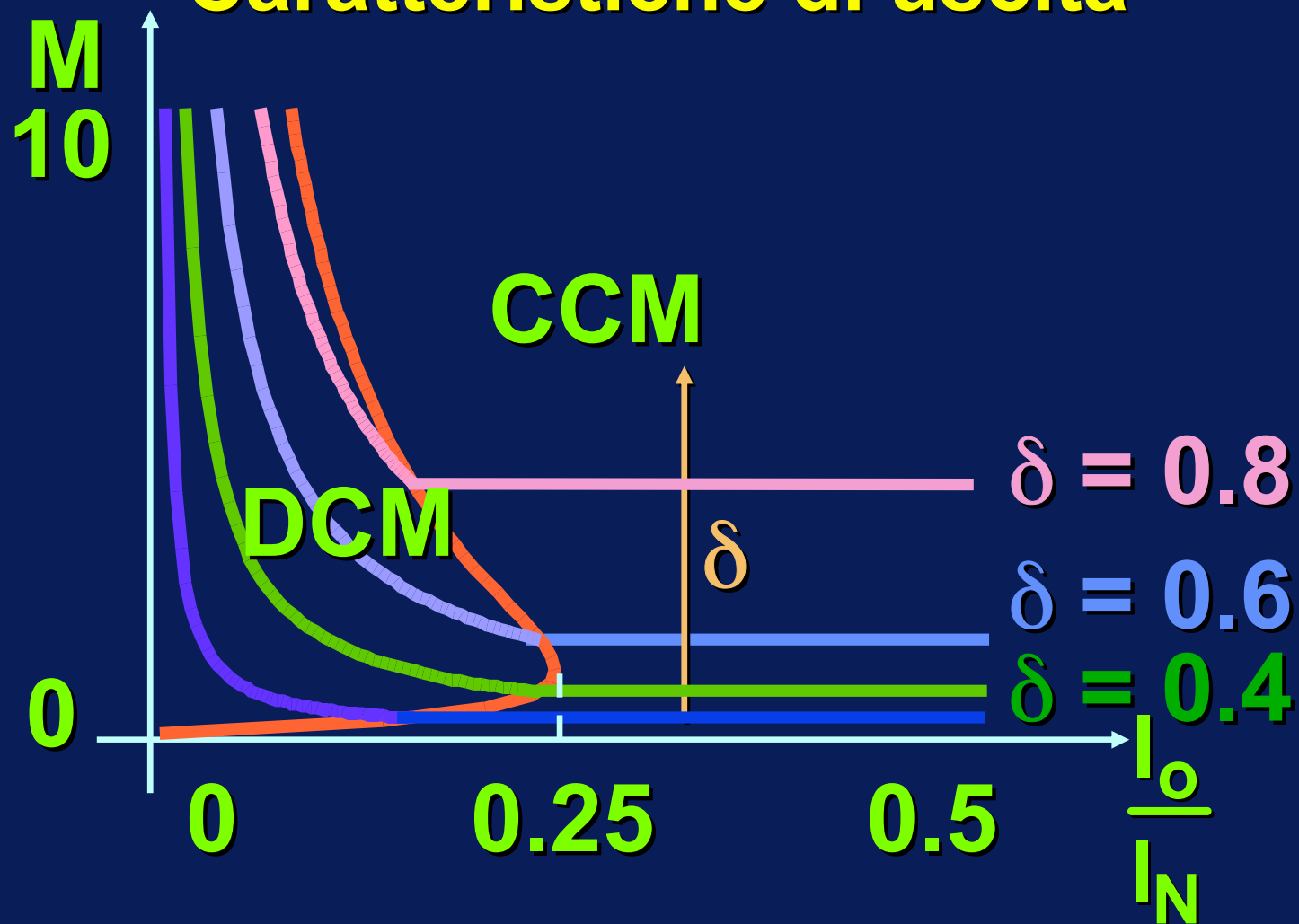
Anche in questo caso valgono le curve che danno la tensione d'uscita più elevata

# Caratteristiche di controllo totali



Il funzionamento intermittente può manifestarsi per valori centrali di  $\delta$

# Caratteristiche di uscita



Curva limite: 
$$\frac{I_o}{I_N} = \frac{M}{(1 + M)^2}$$

# Caratteristica di controllo in DCM per carico resistivo

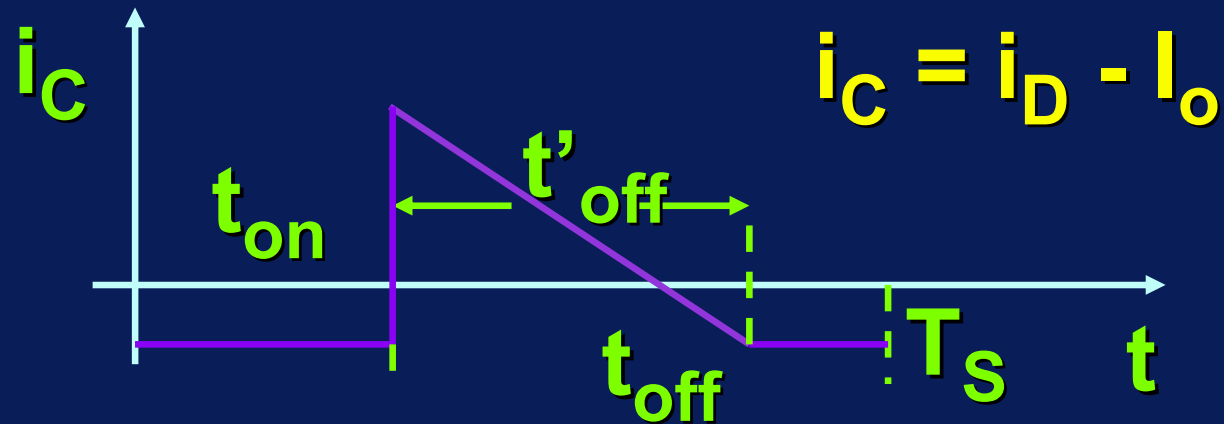
$$M = \frac{\delta}{\sqrt{k}}$$

dove:

$$k = \frac{2 \cdot f_s \cdot L}{R_o}$$



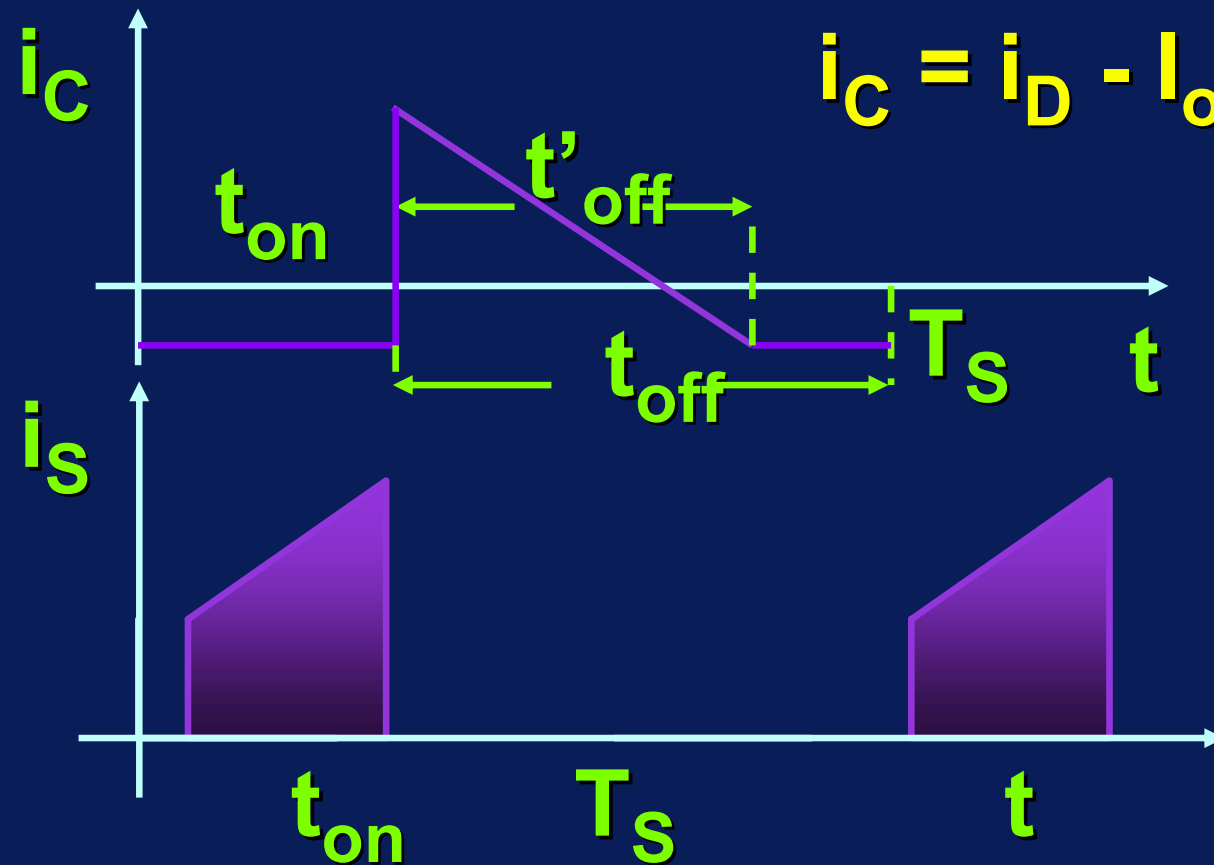
## Nota: Correnti nei filtri capacitivi



Note:

$i_C$  presenta fronti ripidi

## Nota: Correnti nei filtri capacitivi

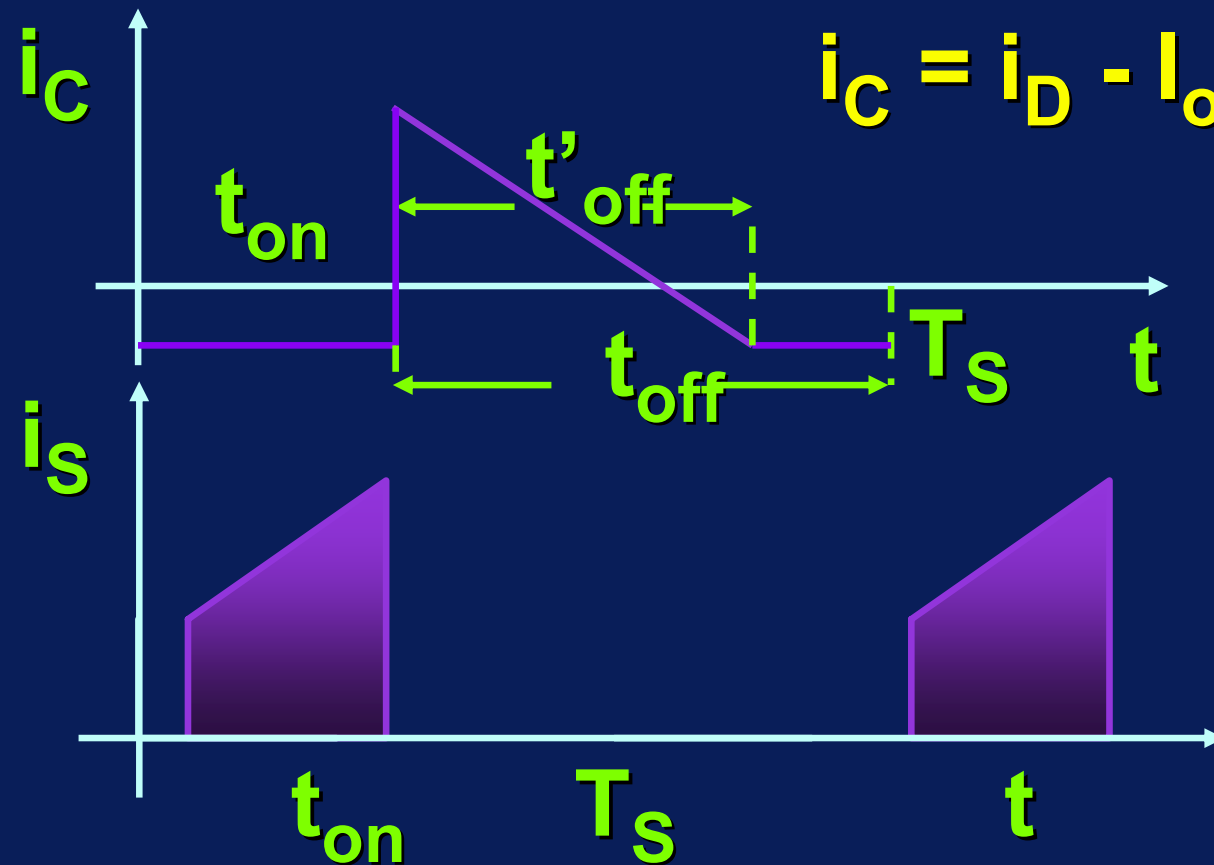


**Note:**

$i_C$  presenta fronti ripidi

$i_i = i_S$  presenta anch'essa fronti ripidi

## Nota: Correnti nei filtri capacitivi



**Sia il condensatore di filtro d'ingresso che quello di uscita devono avere bassa ESL**

# Note

- Le tecniche di controllo sono le stesse del convertitore Buck
- La risposta dinamica è però difficile da dominare in CCM (caratteristica statica nonlineare, modello ai piccoli segnali a parametri variabili e zero a parte reale positiva). In DCM invece si ha solo un polo con costante di tempo  $R_0C/2$ .
- Lo schema buck-boost a trasformatore (flyback) è molto usato per piccole potenze

# Conclusioni

- I convertitori boost e buck-boost consentono di estendere il campo di regolazione del regolatore buck
- Ciò viene pagato con maggiori sollecitazioni in tensione dei componenti e con una maggiore difficoltà di controllo
- Il regolatore boost ha il vantaggio di filtrare la corrente d'ingresso
- Il regolatore buck-boost ha una semplice configurazione a trasformatore (flyback)