

Elettronica Digitale

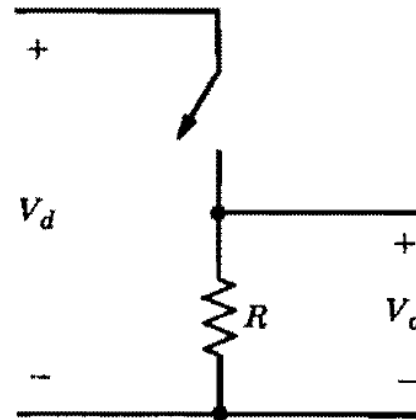
A.A. 2020-2021

Lezione 26/04/2021

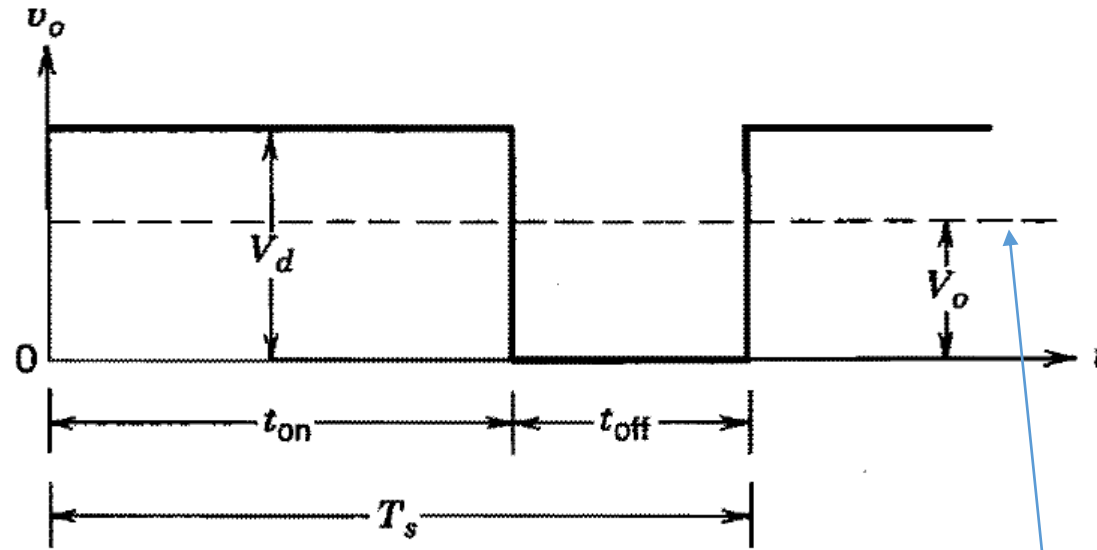
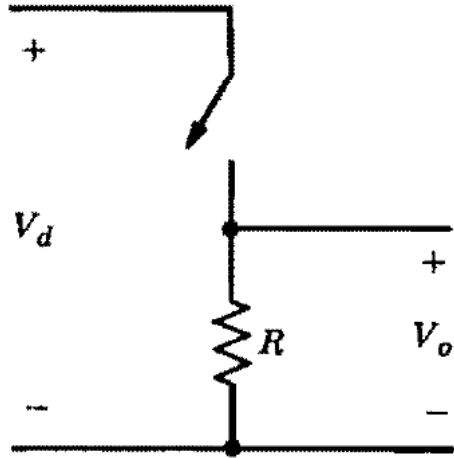
Regolatori non lineari a commutazione

I regolatori di tensione visti fino a questo punto presentano un problema comune, consistente nella dissipazione di potenza sull'elemento di passo, il quale è attraversato dalla corrente di uscita e ai capi del quale è presente una caduta di tensione non trascurabile. Questo è indubbiamente un problema, sia perché sprechiamo dell'energia sia perché la dissipazione termica crea dei problemi di smaltimento del calore.

L'inconveniente della dissipazione viene risolto utilizzando i cosiddetti regolatori a commutazione, i quali utilizzano una strategia basata sull'apertura e chiusura, con tempi opportuni, di un interruttore, che è un elemento non dissipativo, poiché la tensione ai suoi capi è nulla o lo è la corrente che lo attraversa.



Regolatori non lineari a commutazione



$$\overline{V_o} = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} v_o(t) dt = \frac{1}{T_s} \left(\int_0^{t_{on}} V_d dt + \int_{t_{on}}^{T_s} 0 dt \right) = V_d \frac{t_{on}}{T_s}$$

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T_s}$$

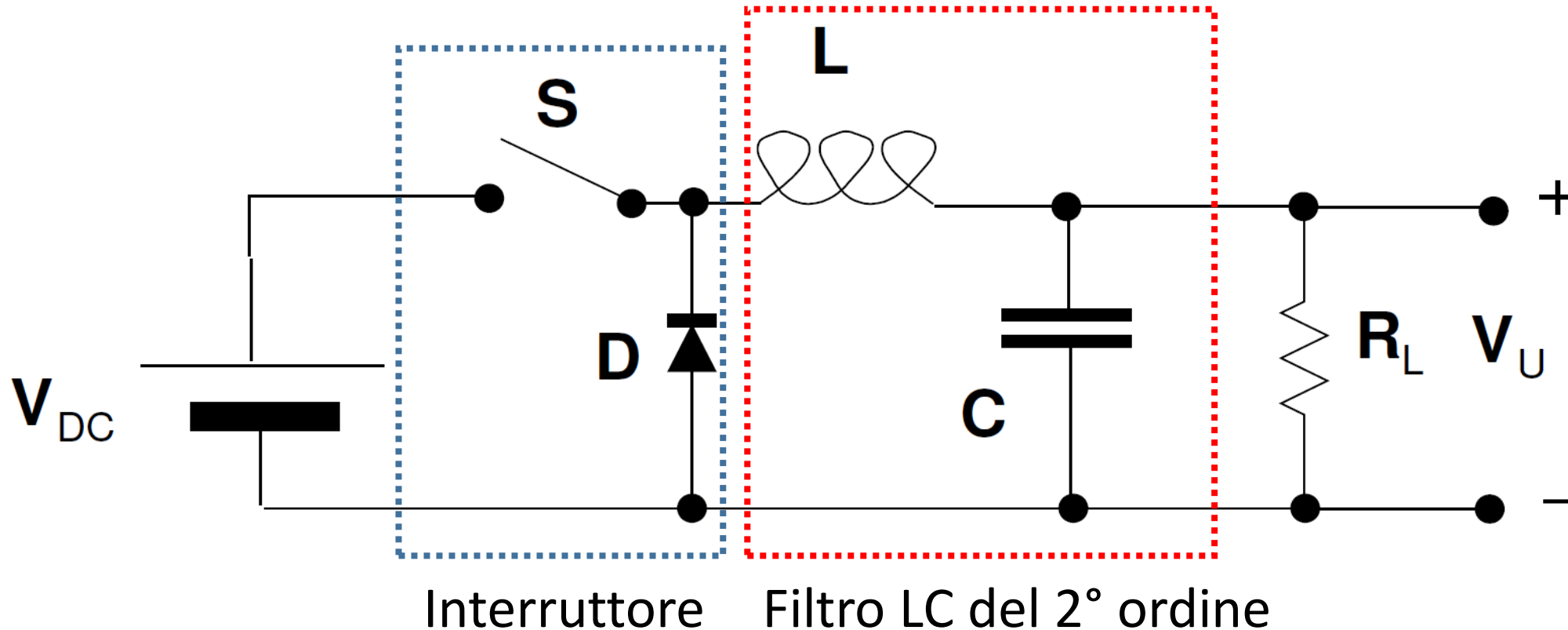
Duty cycle

$$\overline{V_o} = V_d D$$

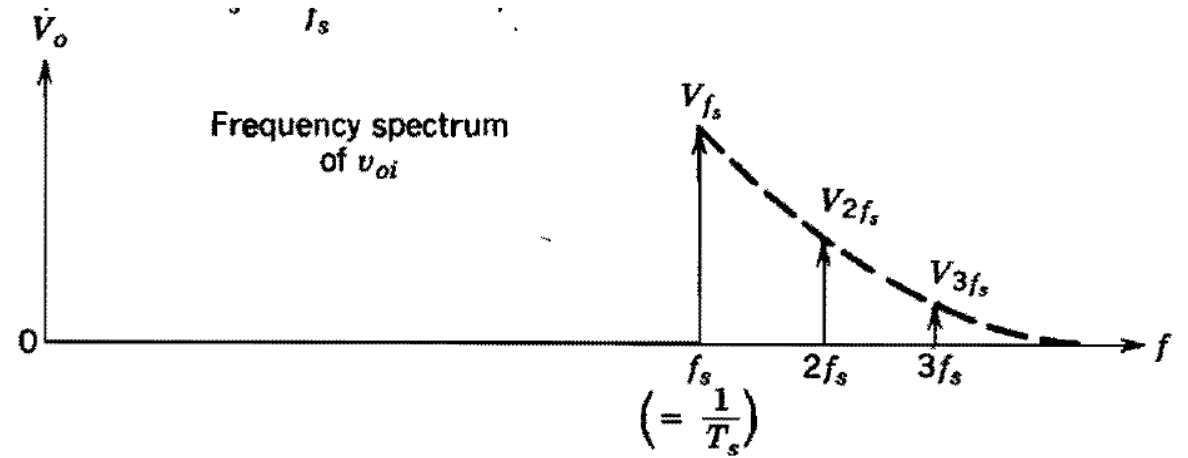
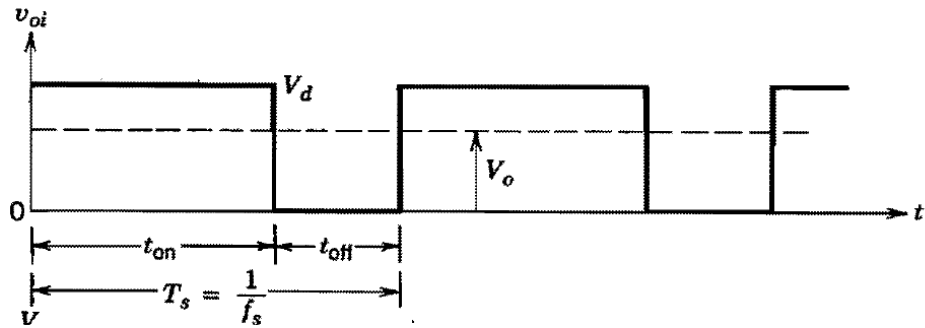
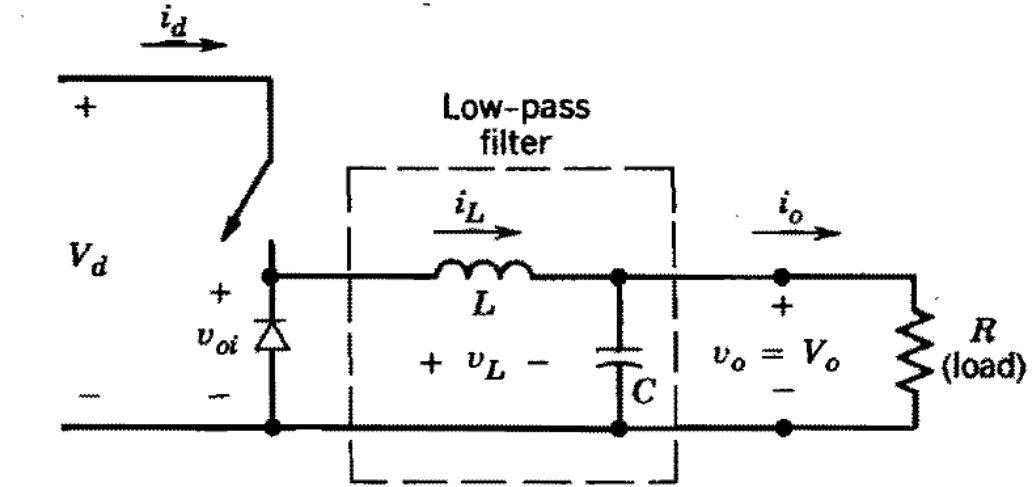
Regolatore a commutazione di tipo forward

Problematiche realizzative:

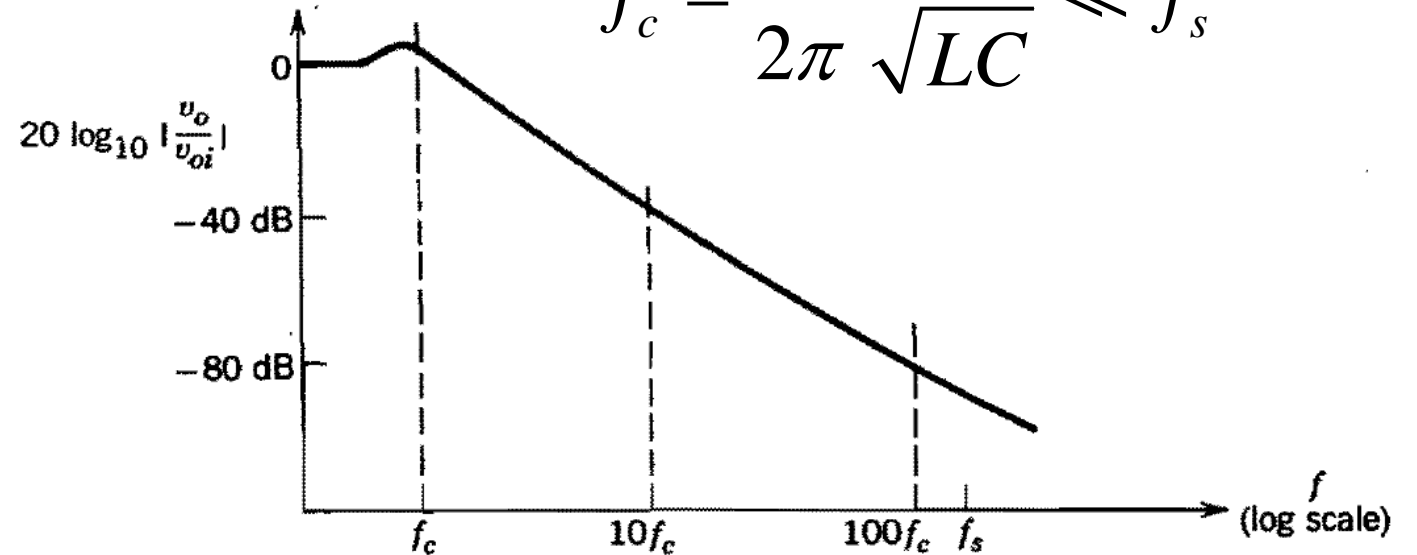
- Il carico presenta sempre una componente induttiva e quindi l'interruttore deve essere in grado di assorbire o dissipare l'energia accumulata dall'induttore
- il valore medio deve essere estratto senza dissipare energia



Regolatore a commutazione di tipo forward

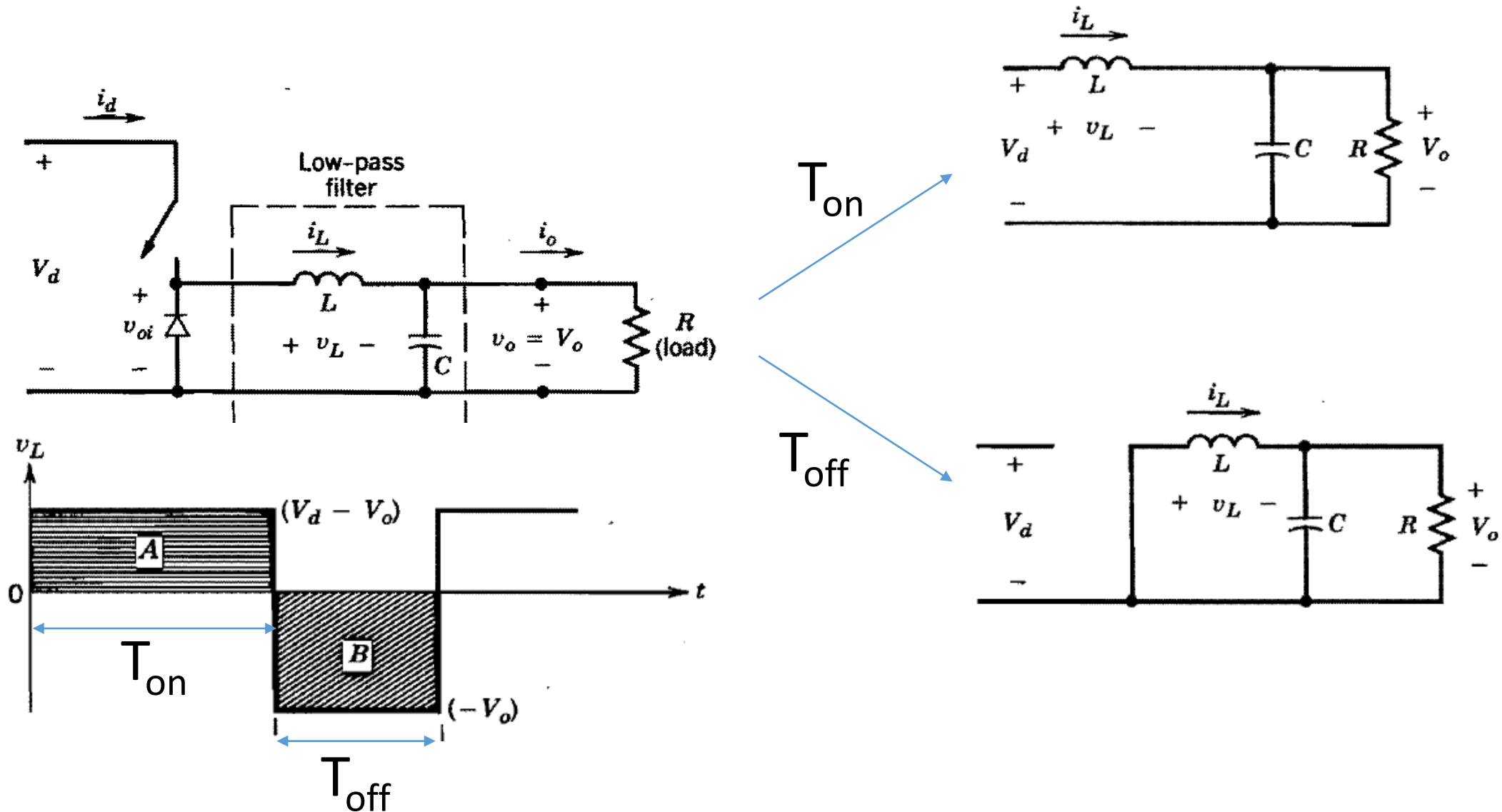


$$f_c = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{LC}} \ll f_s$$

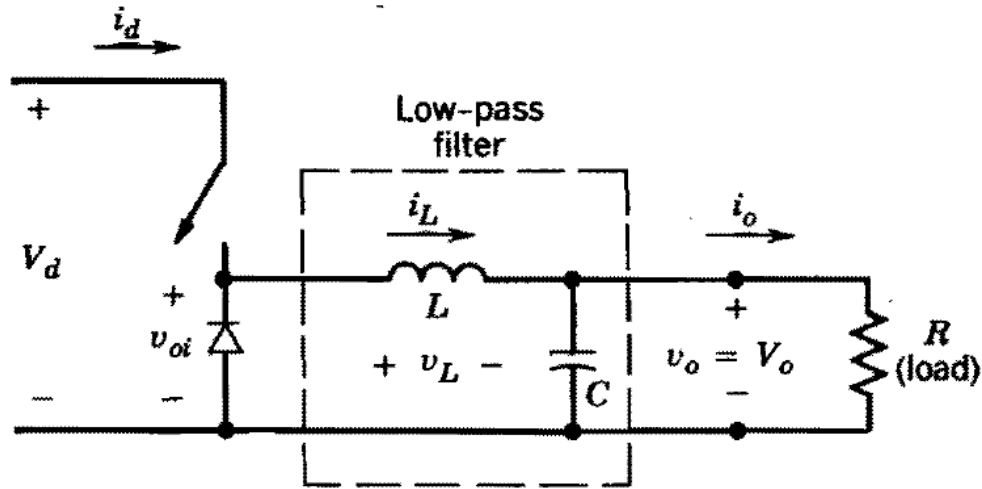


Regolatore a commutazione di tipo forward

Facciamo l'ipotesi semplificativa che la corrente nell'induttore non si interrompa mai



Regolatore a commutazione di tipo forward



$$v_L = L \frac{di_L}{dt} \leftrightarrow i_L = \frac{1}{L} \int_0^t v_L(\tau) d\tau + i_L(0)$$

$$i_L(t) = i_L(t + T_s)$$



$$\int_0^t v_L(\tau) d\tau = \int_0^{t+T_s} v_L(\tau) d\tau = \int_0^t v_L(\tau) d\tau + \int_t^{t+T_s} v_L(\tau) d\tau$$

$$\Rightarrow \int_t^{t+T_s} v_L(\tau) d\tau = 0 \quad \Leftrightarrow \quad \int_0^{T_s} v_L(\tau) d\tau = 0$$

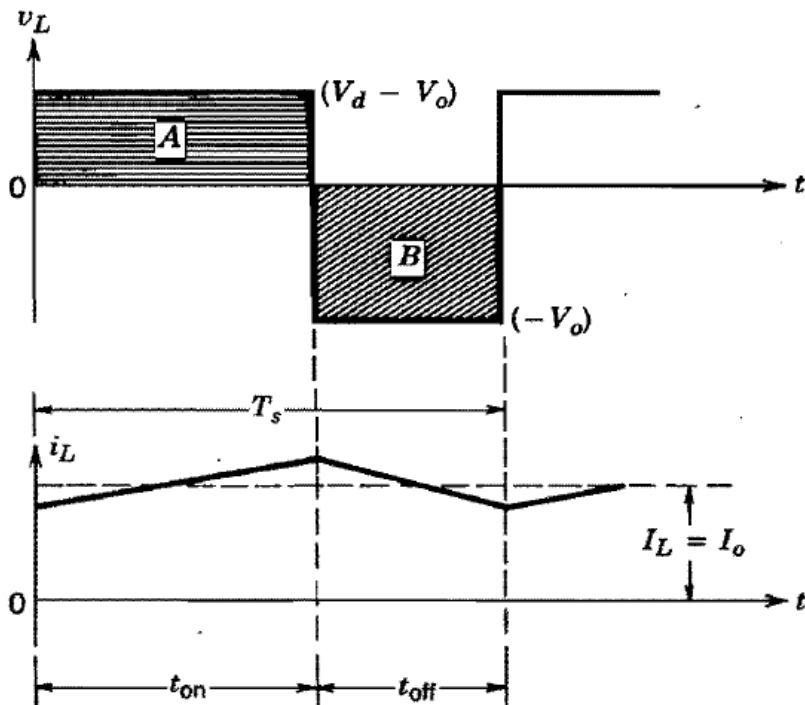
$$\int_0^{T_s} v_L(\tau) d\tau = \int_0^{t_{on}} (V_d - V_o) d\tau + \int_{t_{on}}^{T_s} (-V_o) d\tau = 0$$

$$(V_d - V_o)t_{on} - V_o(T_s - t_{on}) = 0$$

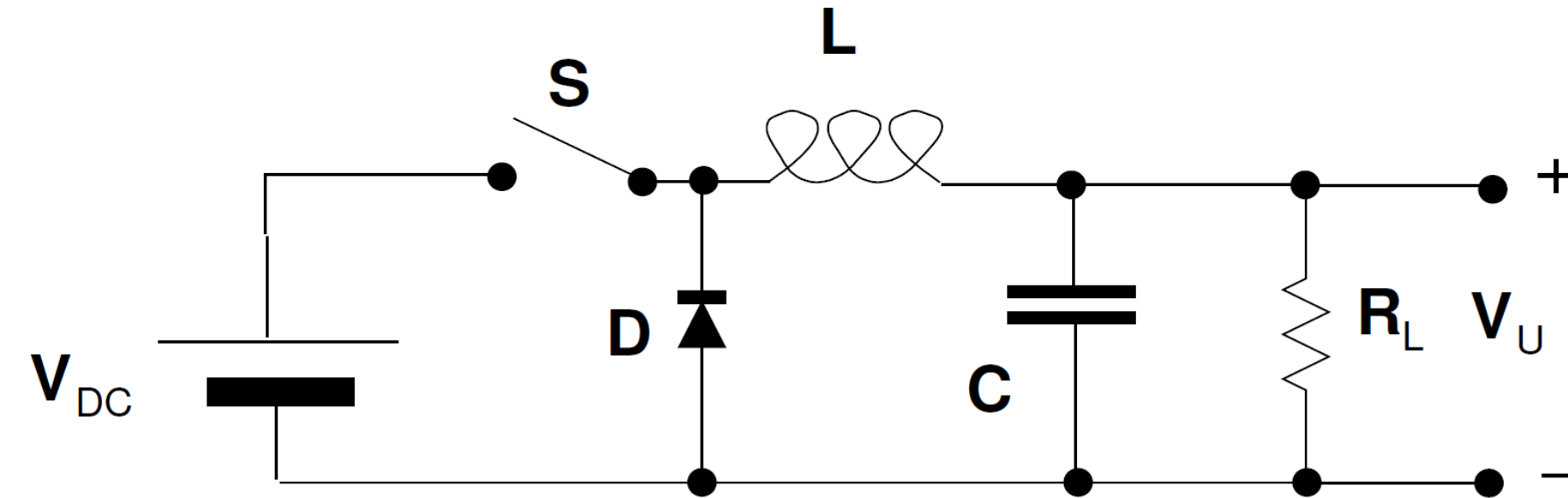
$$V_d t_{on} - V_o T_s = 0$$



$$V_o = V_d \frac{t_{on}}{T_s} = V_d D$$



Regolatore a commutazione di tipo forward

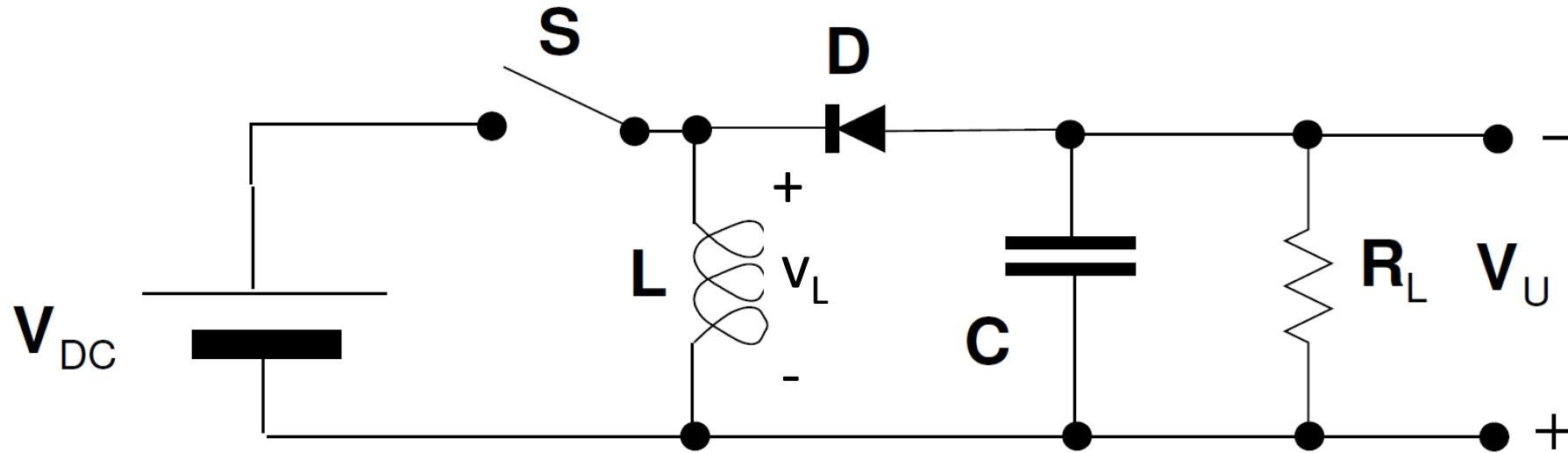


$$V_U = V_{DC} \frac{t_{on}}{T_s} = V_{DC} D$$

Quando S è chiuso, il diodo D è polarizzato inversamente (D OFF) e quindi non interviene.

Quando l'interruttore S si apre, la corrente tende a mantenersi costante nell'induttanza (data l'inerzialità della stessa): questa volta il diodo risulta polarizzato direttamente (D ON) e consente alla corrente di continuare a scorrere nel verso che aveva precedentemente (la corrente va dall'induttanza al parallelo C- R_L e poi torna all'induttanza tramite il diodo).

Regolatori a commutazione di tipo flyback

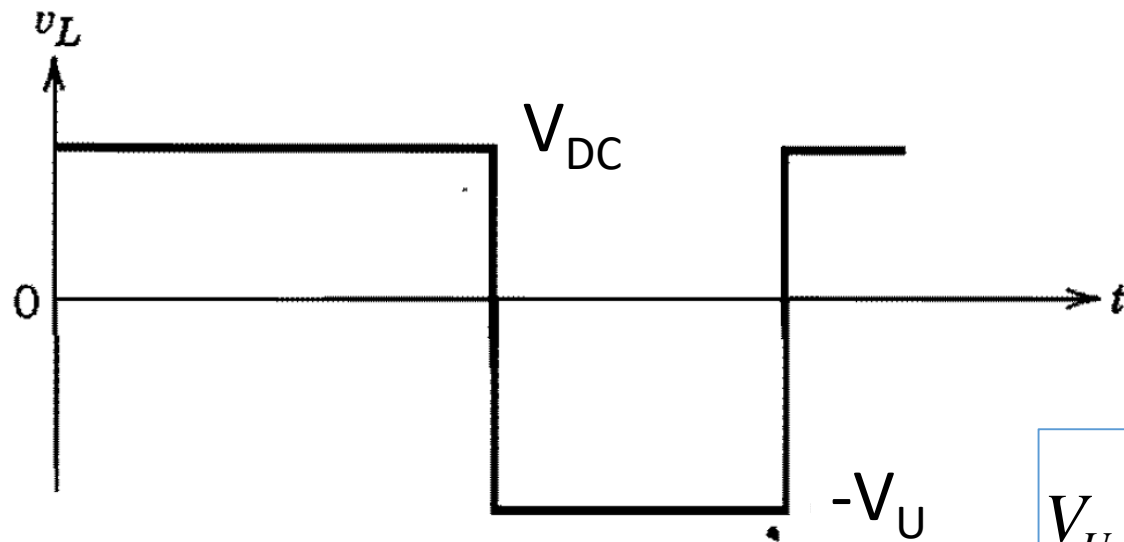
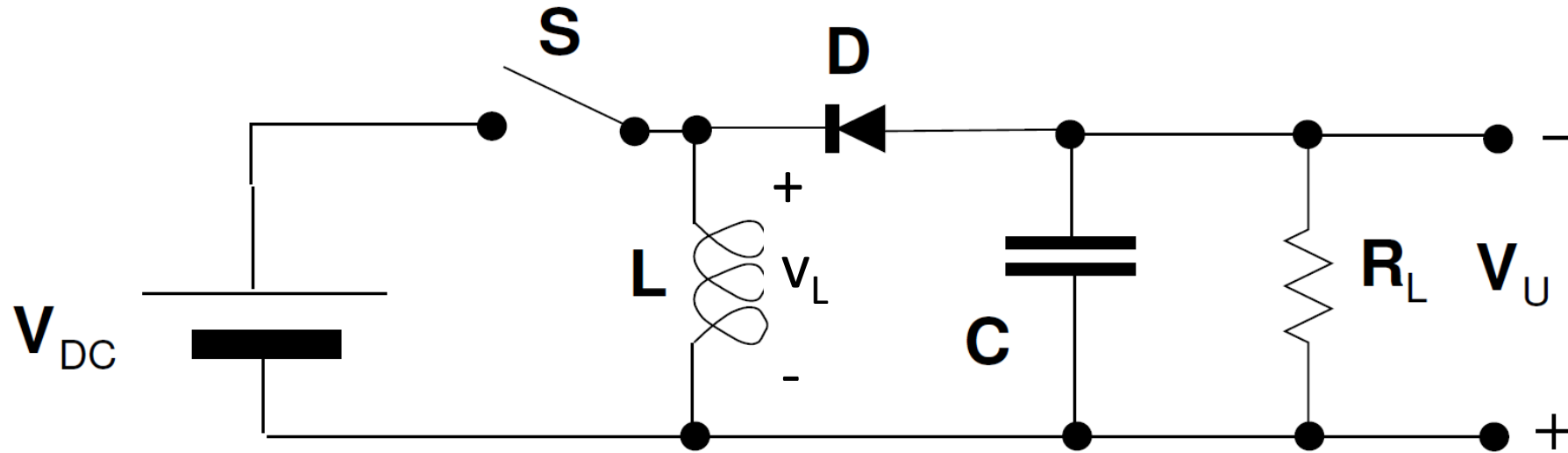


Quando S è chiuso, il diodo D risulta interdetto (D OFF) e la tensione di alimentazione si trova ai capi dell'induttanza L che si carica, con una corrente che cresce linearmente nel tempo.

Quando S si apre, la corrente che passava nell'induttanza comincia a circolare in senso antiorario nella maglia formata da L , dal parallelo C - R_L e dal diodo D che risulta ora polarizzato direttamente (D ON).

Si noti che nel caso del regolatore flyback la sorgente V_{DC} non alimenta mai direttamente il carico

Regolatori a commutazione di tipo flyback

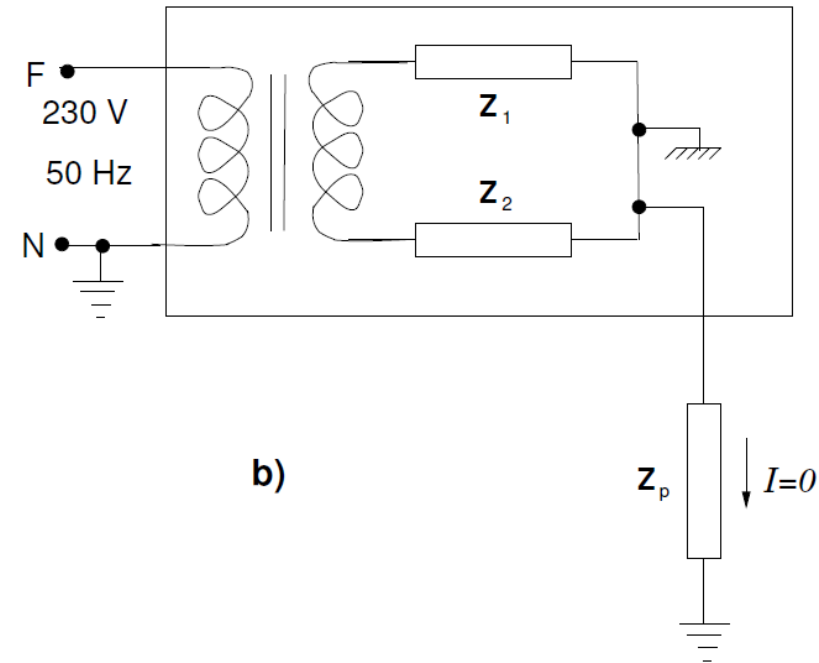
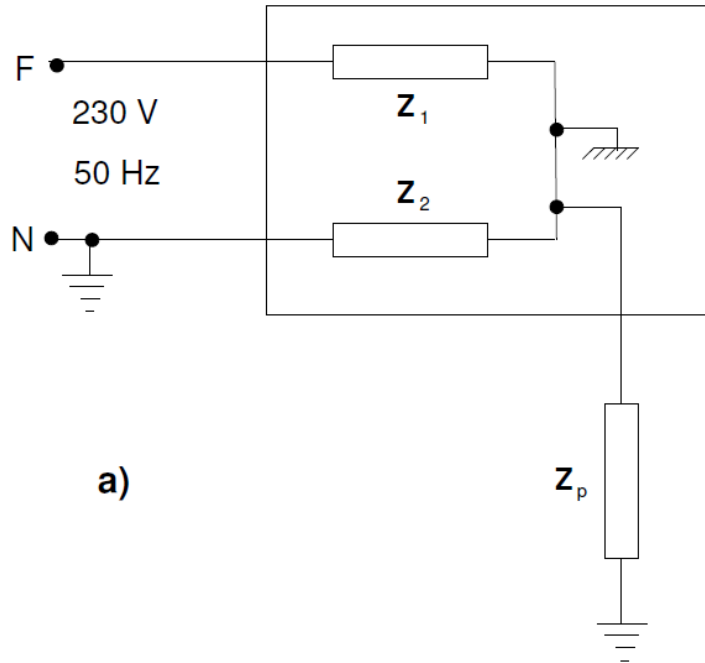


$$V_{DC}t_{on} - V_U(T_s - t_{on}) = 0$$

$$V_U = V_{DC} \frac{t_{on}}{T_s - t_{on}} = V_{DC} \frac{t_{on}/T_s}{1 - t_{on}/T_s}$$

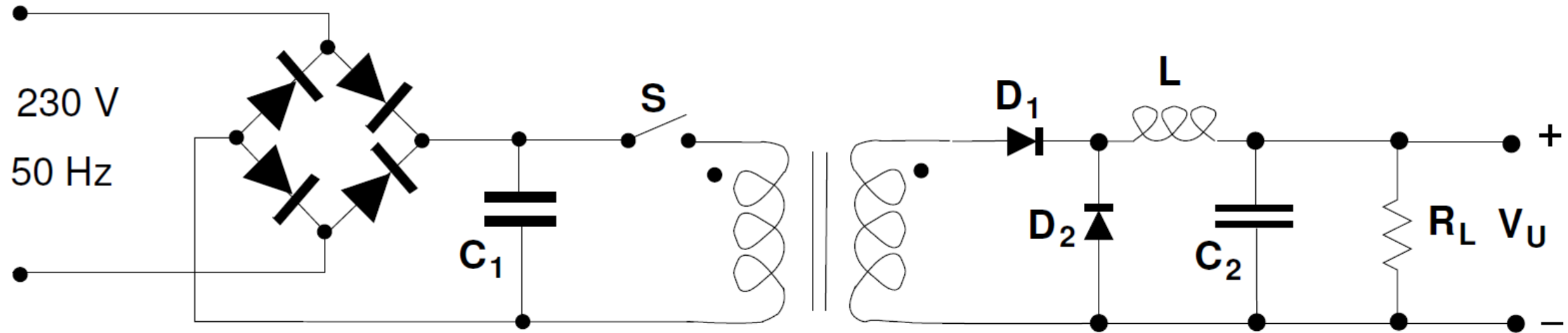
$$V_U = V_{DC} \frac{D}{1 - D}$$

Isolamento galvanico



In presenza di un trasformatore (b), si ha il cosiddetto “isolamento galvanico”: viene interrotto il collegamento che riferiva a terra le tensioni all’interno della apparecchiatura e l’unico modo perché l’utente, rappresentato dall'impedenza Z_p , possa subire una scossa elettrica è che questi tocchi contemporaneamente due punti del circuito. Si notino i due simboli diversi utilizzati per indicare la terra e la massa.

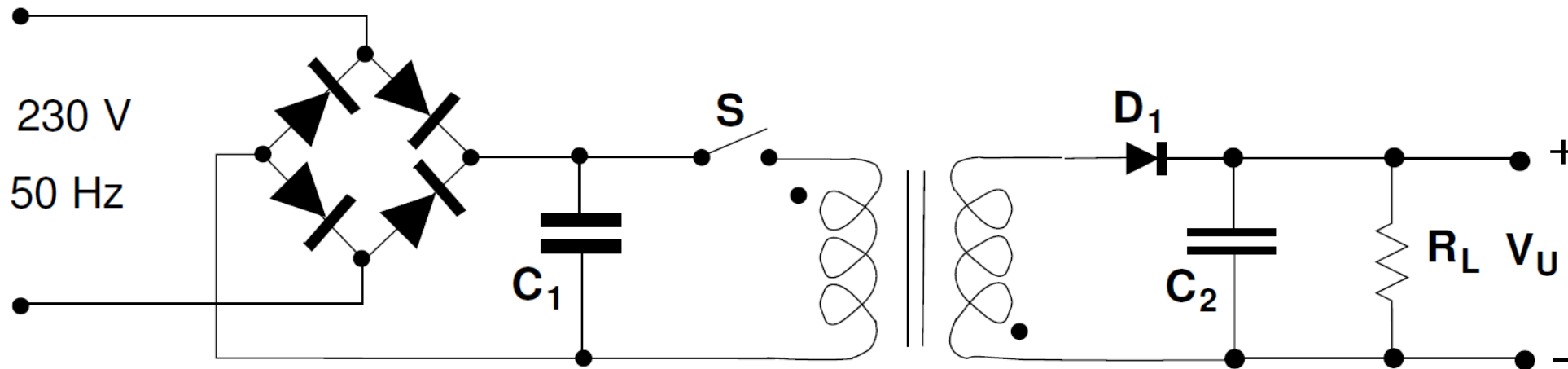
Regolatore switching forward senza trasformatore a frequenza di rete



Quando S è chiuso, passa una corrente crescente nel primario del trasformatore; per mantenere il flusso magnetico nullo all'interno del trasformatore la corrente fuoriesce dal terminale con il pallino del secondario, determinando una polarizzazione diretta di D_1 (D_1 ON) e inversa di D_2 (D_2 OFF). La corrente passa quindi dall'induttanza L e raggiunge il carico R_L e il condensatore C_2 .

Quando S è aperto, il trasformatore non è più attraversato da corrente, il diodo D_1 è interdetto (D_1 OFF) mentre il diodo D_2 entra in conduzione (D_2 ON), consentendo all'induttanza L di scaricarsi sul parallelo C_2 - R_L .

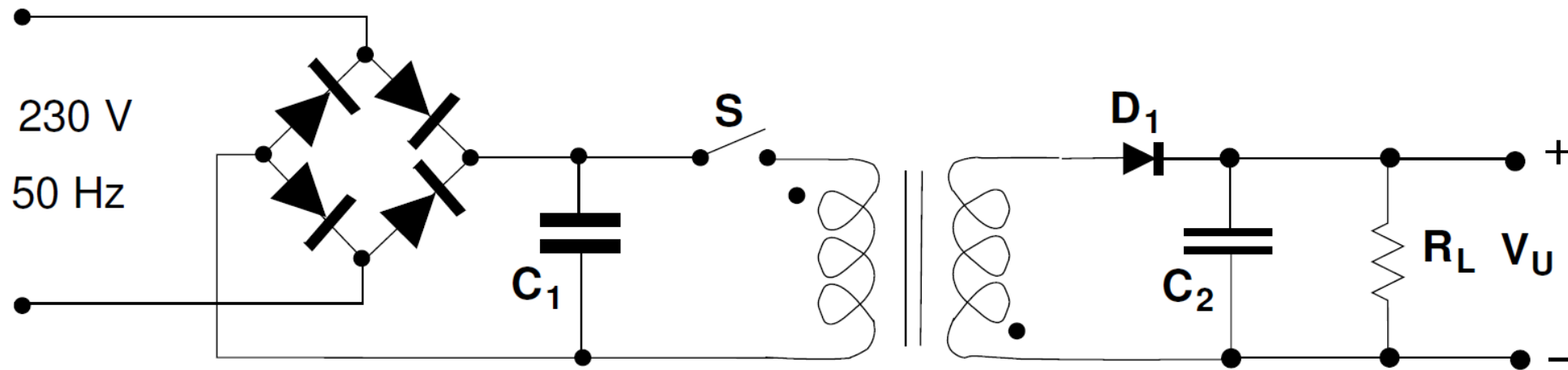
Regolatore switching flyback senza trasformatore a frequenza di rete



In questa configurazione il trasformatore non funziona più come tale, poiché, come discuteremo nel seguito, non opera a flusso magnetico nullo.

Quando S è chiuso, la corrente sale linearmente nel primario, che si comporta a tutti gli effetti come una semplice induttanza, dato che nel secondario la corrente uscirebbe dal pallino (essendo entrante quella del primario) ma non può farlo, perché il diodo D_1 risulta polarizzato inversamente (D_1 OFF).

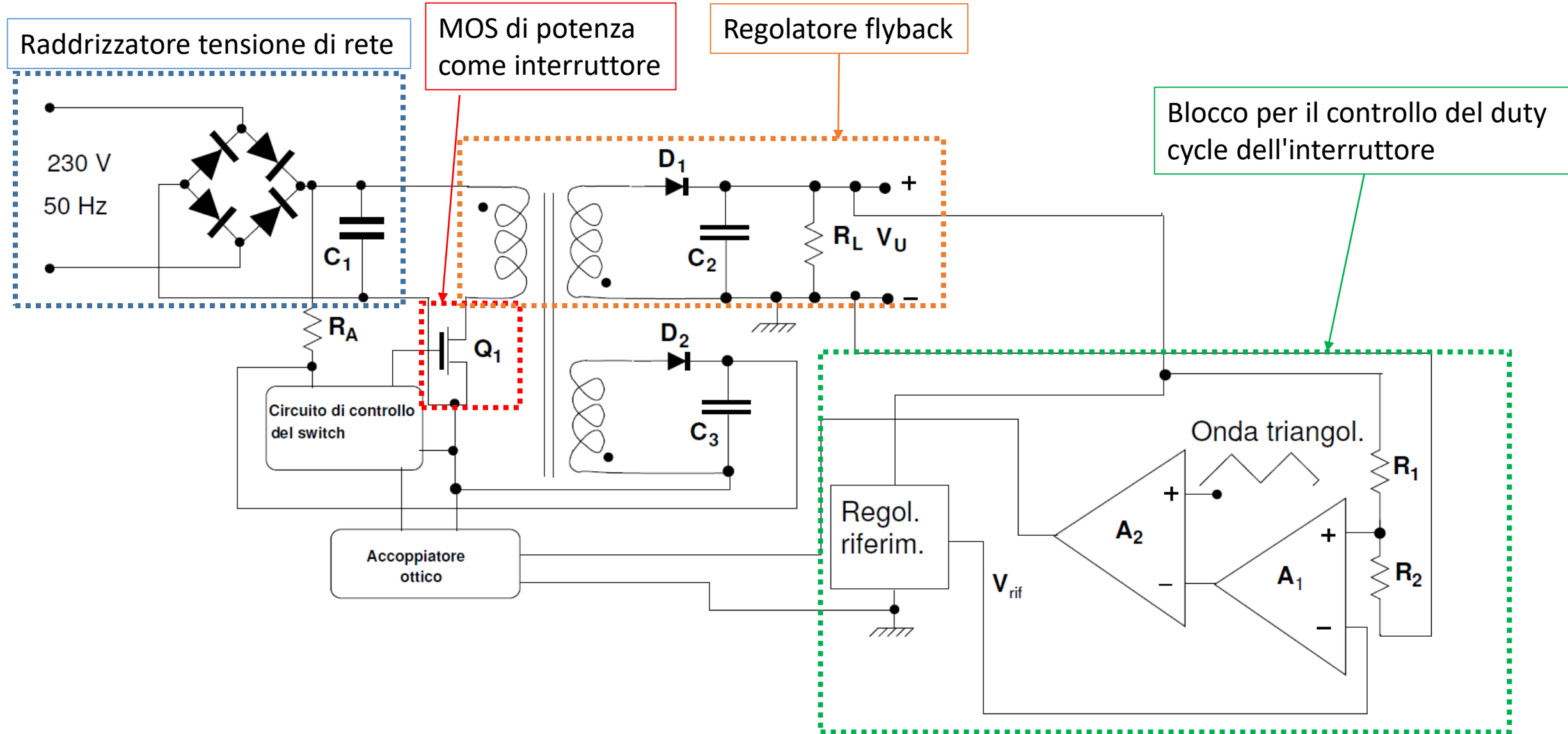
Regolatore switching flyback senza trasformatore a frequenza di rete



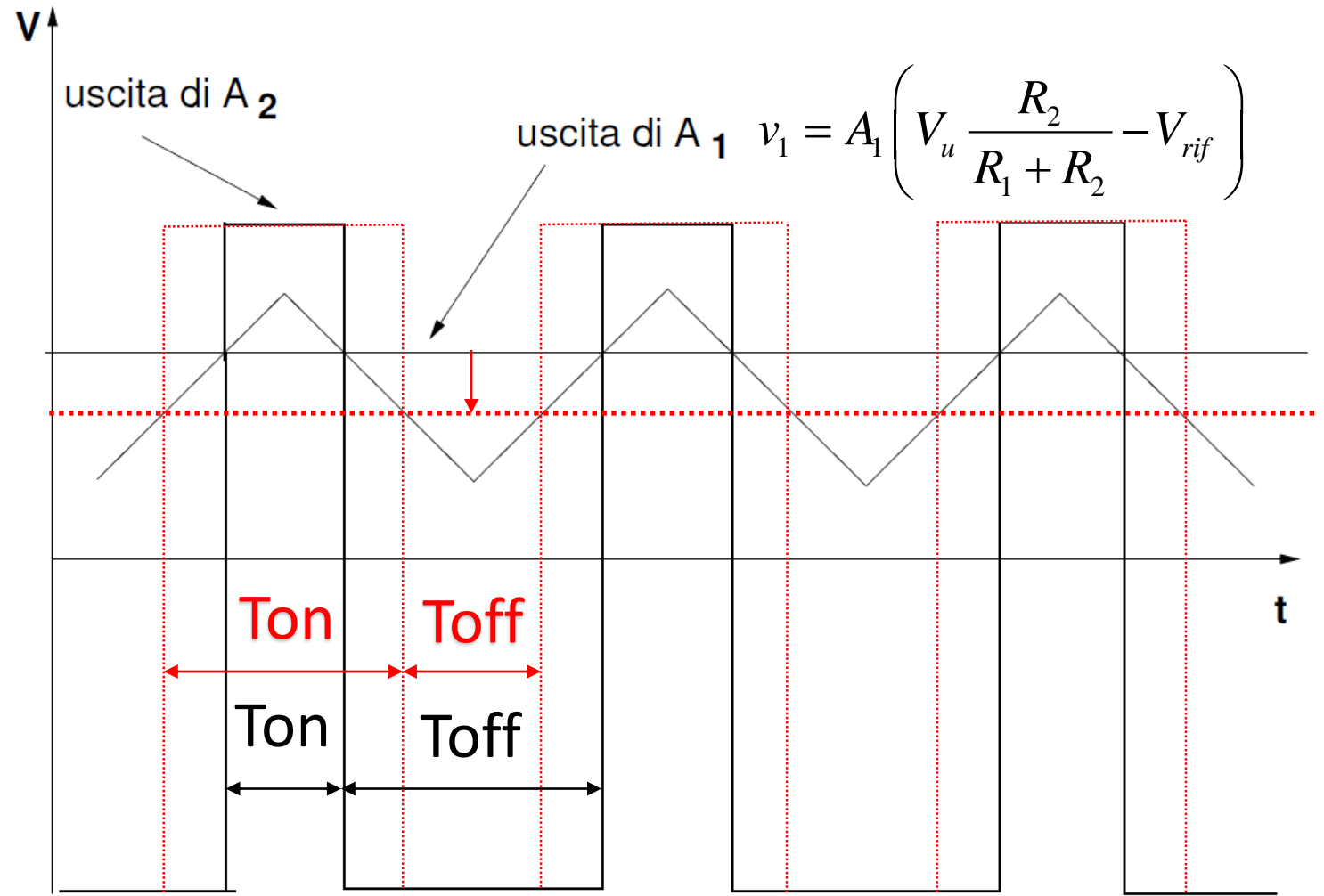
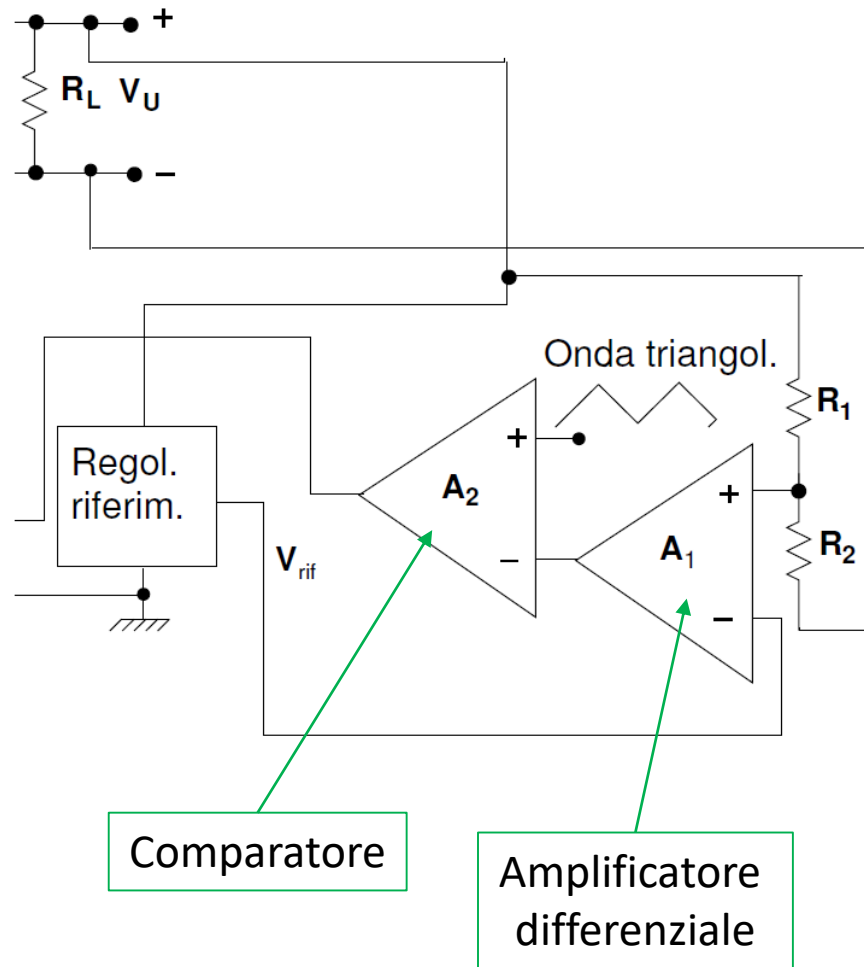
In questa configurazione il trasformatore non funziona più come tale, poiché, come discuteremo nel seguito, non opera a flusso magnetico nullo.

Quando S si apre, la corrente non può più circolare nel primario e l'unico modo di mantenere il flusso magnetico che era presente subito prima dell'apertura consiste nel far circolare una corrente nel secondario, entrante dal pallino. Questa corrente determina una polarizzazione diretta del diodo D_1 (D_1 ON) e va ad alimentare il condensatore C_2 e il carico.

Regolatore switching flyback con trasformatore ad alta frequenza e circuito di regolazione



Regolatore switching flyback con trasformatore ad alta frequenza e circuito di regolazione



Regolatore switching flyback con trasformatore ad alta frequenza e circuito di regolazione

