

Elettronica Digitale

A.A. 2020-2021

Lezione 22/04/2021

Regolatori di tensione

Un regolatore di tensione ideale è un circuito elettronico progettato per fornire una tensione d'uscita (V_u) continua predeterminata indipendentemente da:

- corrente erogata al carico (I_L)
- variazioni della tensione di rete (V_{in})
- Temperatura (T)

$$\Delta V_u = \frac{\partial V_u}{\partial I_L} \Delta I_L + \frac{\partial V_u}{\partial V_{in}} \Delta V_{in} + \frac{\partial V_u}{\partial T} \Delta T$$

$$R_o = \left. \frac{\partial V_u}{\partial I_L} \right|_{\Delta V_{in}=0, \Delta T=0}$$

Resistenza di uscita (Load Regulation)

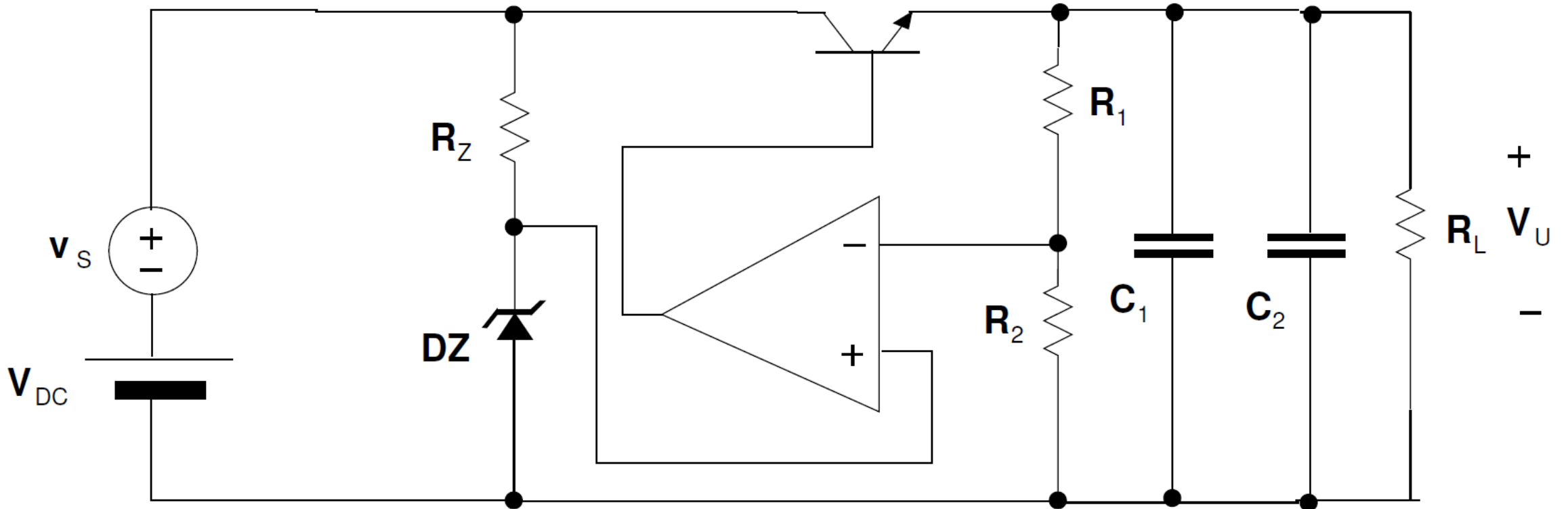
$$S_V = \left. \frac{\partial V_u}{\partial V_{in}} \right|_{\Delta I_L=0, \Delta T=0}$$

Fattore di regolazione di ingresso (Line Regulation)

$$S_T = \left. \frac{\partial V_u}{\partial T} \right|_{\Delta V_{in}=0, \Delta I_L=0}$$

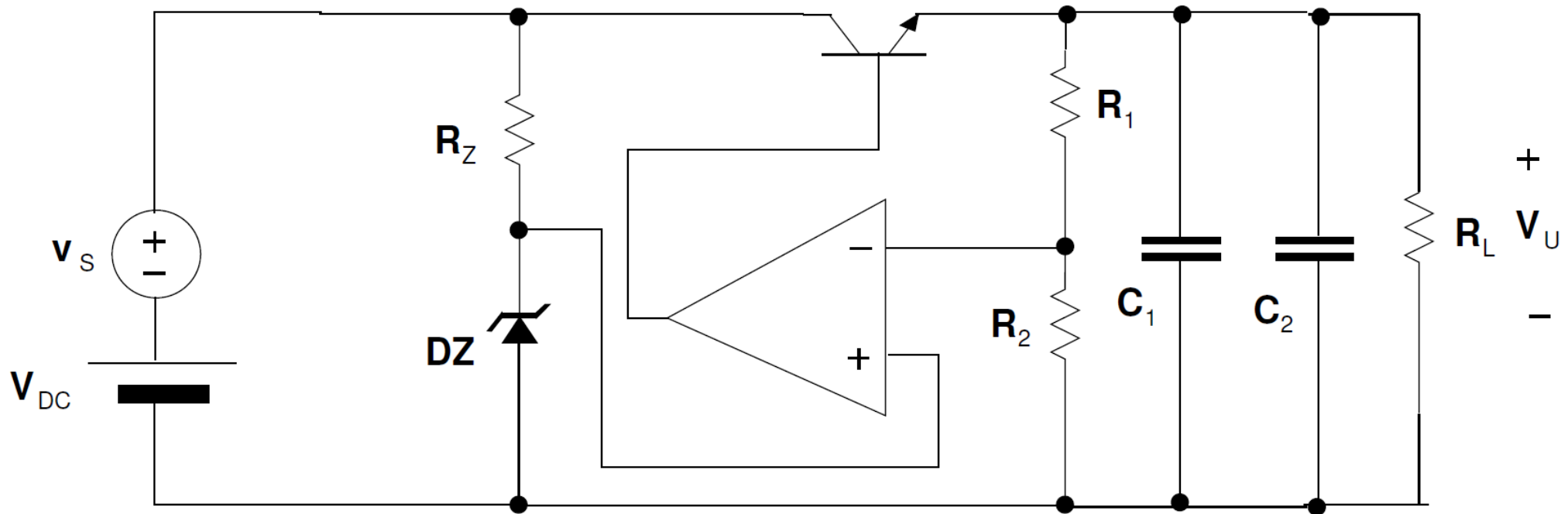
Coefficiente di temperatura (Temperature Coefficient)

Regolatore di tensione lineare serie



$$|\beta A| \gg 1 \rightarrow c.c.v. \rightarrow \begin{cases} V^+ \approx V^- \\ i^+ \approx i^- \approx 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{aligned} V^+ &= V_Z \\ V^- &= V_U \frac{R_2}{R_1 + R_2} \end{aligned} \Rightarrow \boxed{V_U = V_Z \frac{R_1 + R_2}{R_2}}$$

Regolatore di tensione lineare serie



Se la tensione di uscita aumenta

Aumenta la tensione sul terminale invertente dell'opa

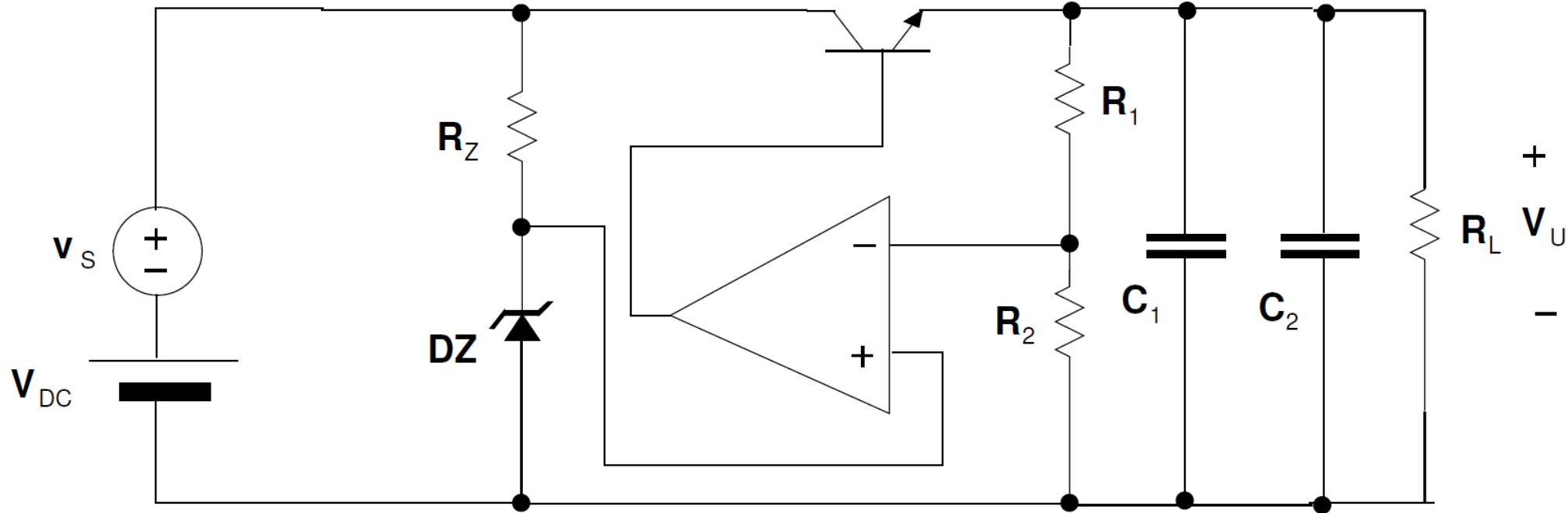
Diminuisce la tensione di ingresso dell'opa

Diminuisce la tensione di uscita dell'opa

Diminuisce la corrente di base del BJT

Diminuisce la tensione di uscita

Regolatore di tensione lineare serie



Il circuito del regolatore serie presenta una reazione di tensione, quindi la sua impedenza di uscita è molto bassa, dell'ordine dei pochi milliohm.

$$R_{of} = \frac{R_o}{1 - \beta A}$$

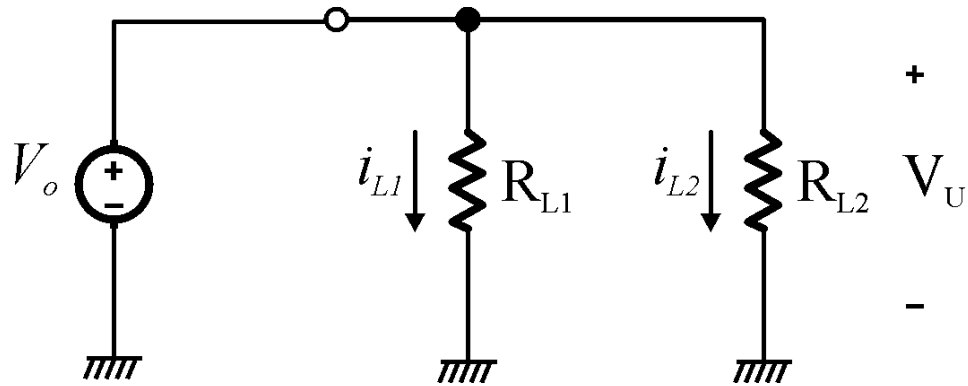
Alle alte frequenze $|\beta A|$ diminuisce



accoppiamenti indesiderati
tra carichi diversi connessi allo
stesso alimentatore

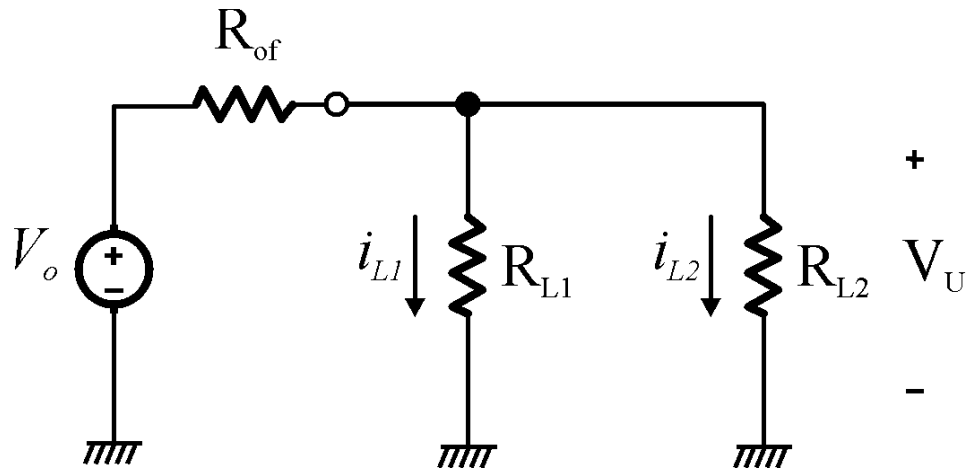
Accoppiamenti indesiderati ad alta frequenza tra carichi diversi connessi allo stesso alimentatore

Bassa frequenza



$$R_{of} \approx 0 \quad \longrightarrow \quad V_U = V_o$$

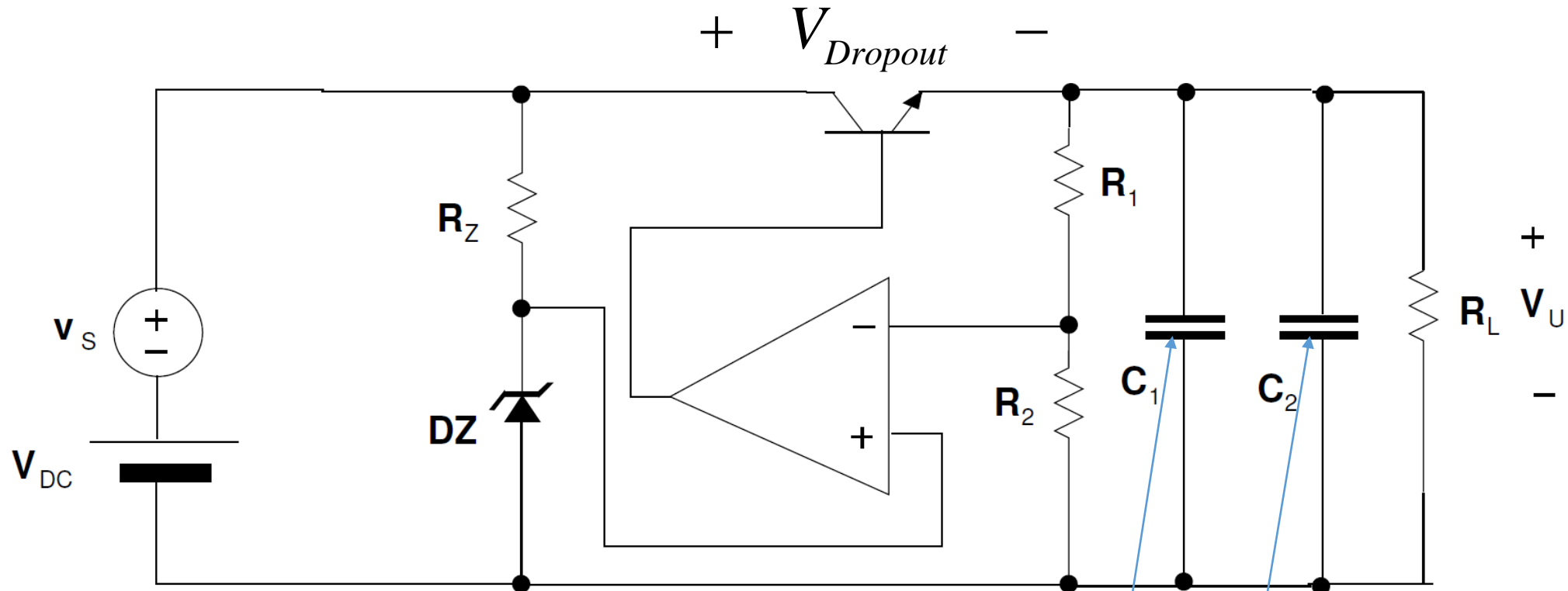
Alta frequenza



R_{of} non è trascurabile

$$V_U = V_o - R_{of} (i_{L1} + i_{L2})$$

Regolatore di tensione lineare serie



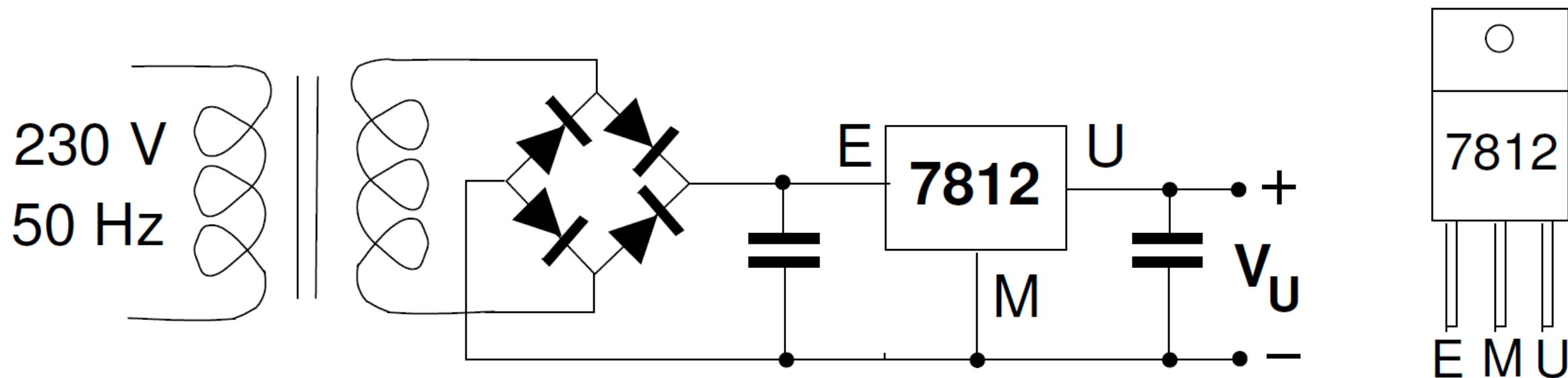
accoppiamenti indesiderati ad alta frequenza tra carichi diversi connessi allo stesso alimentatore



Introduco dei condensatori in parallelo all'uscita del regolatore, i quali presentano una reattanza molto bassa alle alte frequenze

Si sono indicati due condensatori perché di solito uno è di grosso valore e di tipo elettrolitico che presenta però scadenti caratteristiche elettriche a frequenze oltre qualche decina di kHz. L'altro condensatore, non elettrolitico, è di valore molto più piccolo e interviene alle frequenze più elevate, garantendo un'impedenza di uscita comunque bassa.

Regolatori monolitici integrati



Caratteristiche 7812

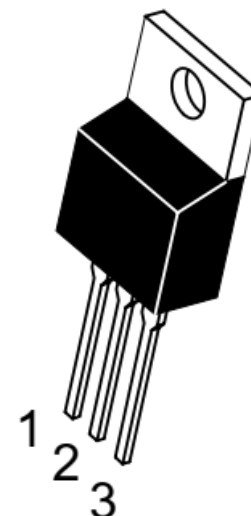
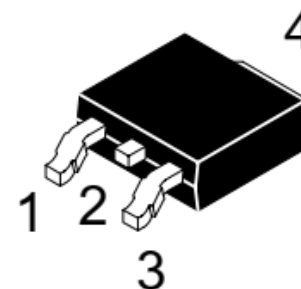
Output voltage: 12 V Maximum output current: 1.5 A

Line regulation ($14.8 \text{ V} < V_i < 30 \text{ V}$, $I=500 \text{ mA}$): 13 mV

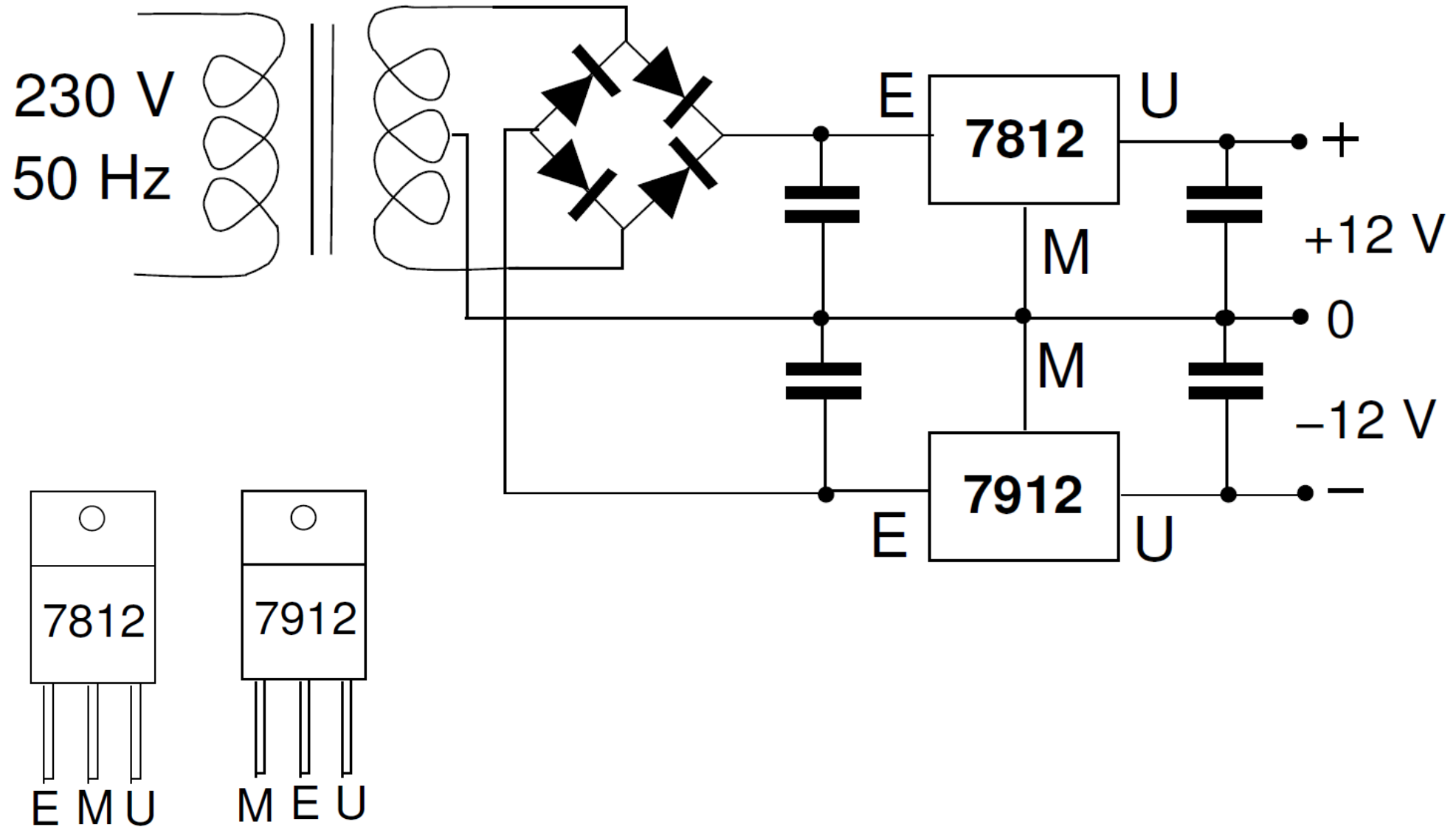
Load regulation ($V_i=19\text{V}$, $5 \text{ mA} < I < 1 \text{ A}$): 25 mV

Temperature coefficient: $-1 \text{ mV}/^\circ\text{C}$

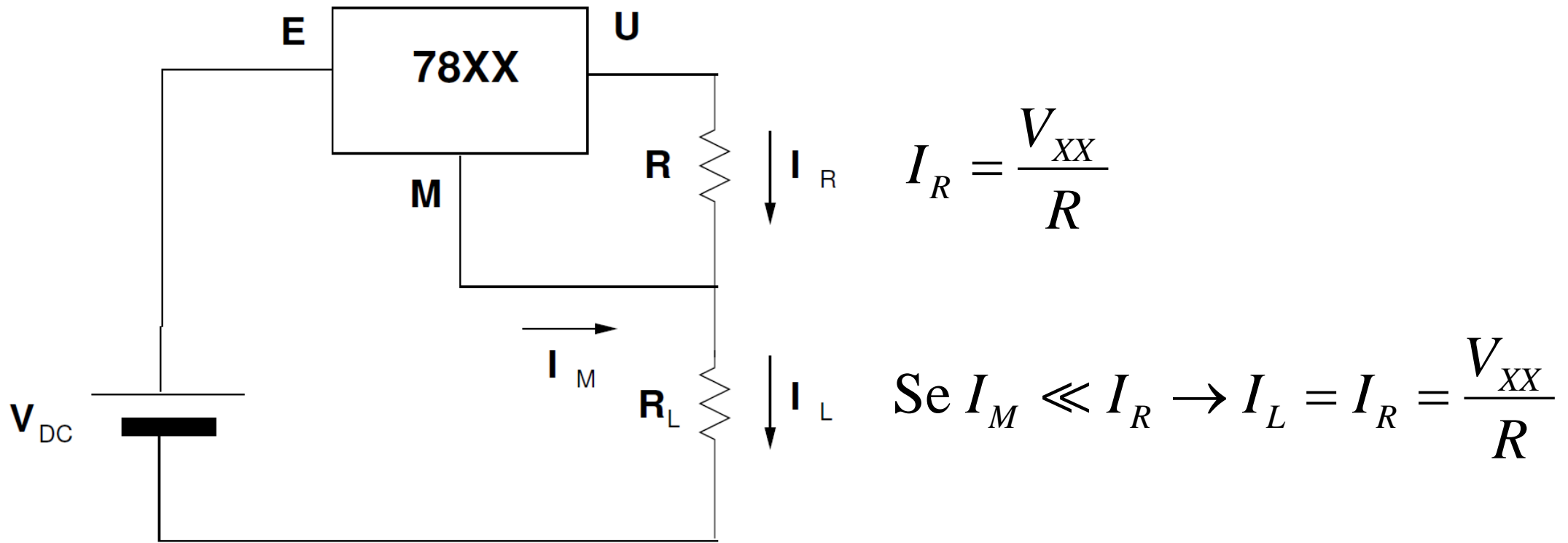
Dropout voltage: 2 V



Regolatori monolitici integrati



Regolatori di corrente basato su un regolatore monolitico di tensione



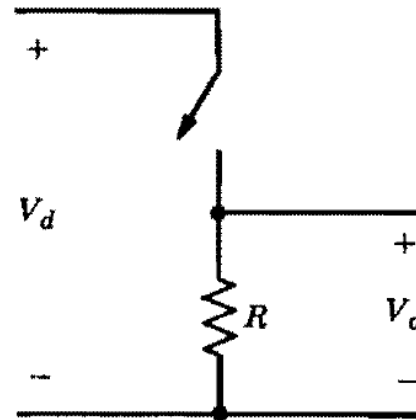
$$V_{DC} = V_{dropout} + V_{XX} + R_{Lmax} I_R$$

$$R_{Lmax} = \frac{V_{DC} - V_{dropout} - V_{XX}}{I_R}$$

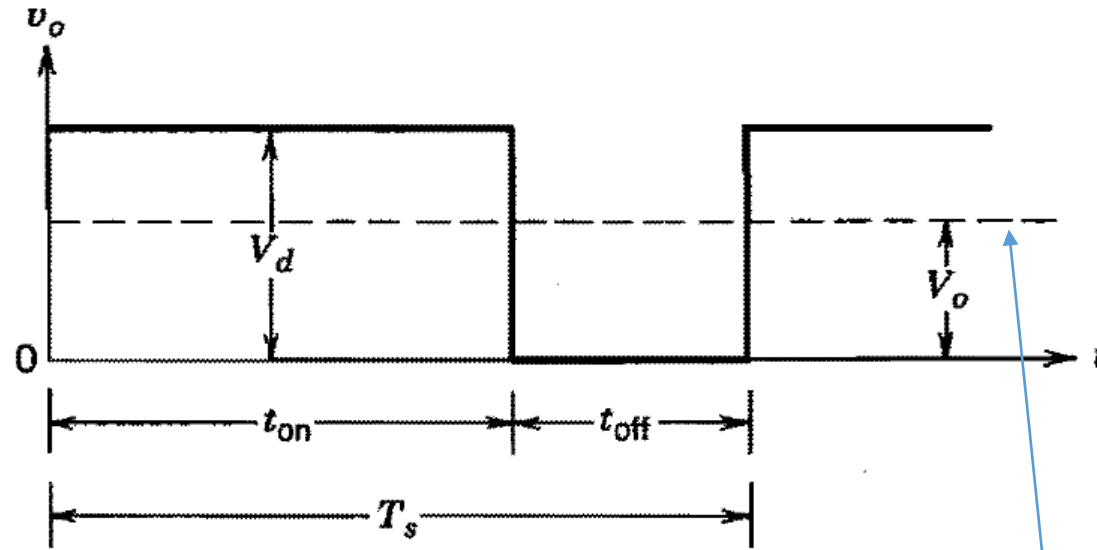
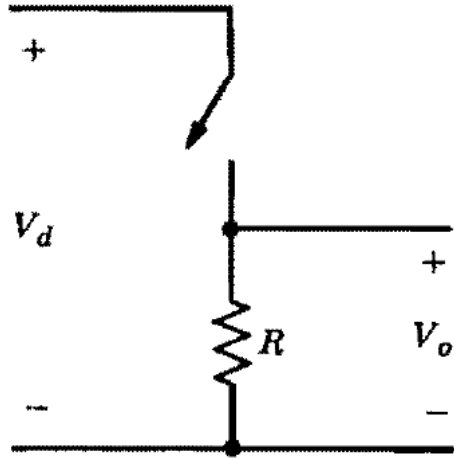
Regolatori non lineari a commutazione

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



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

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

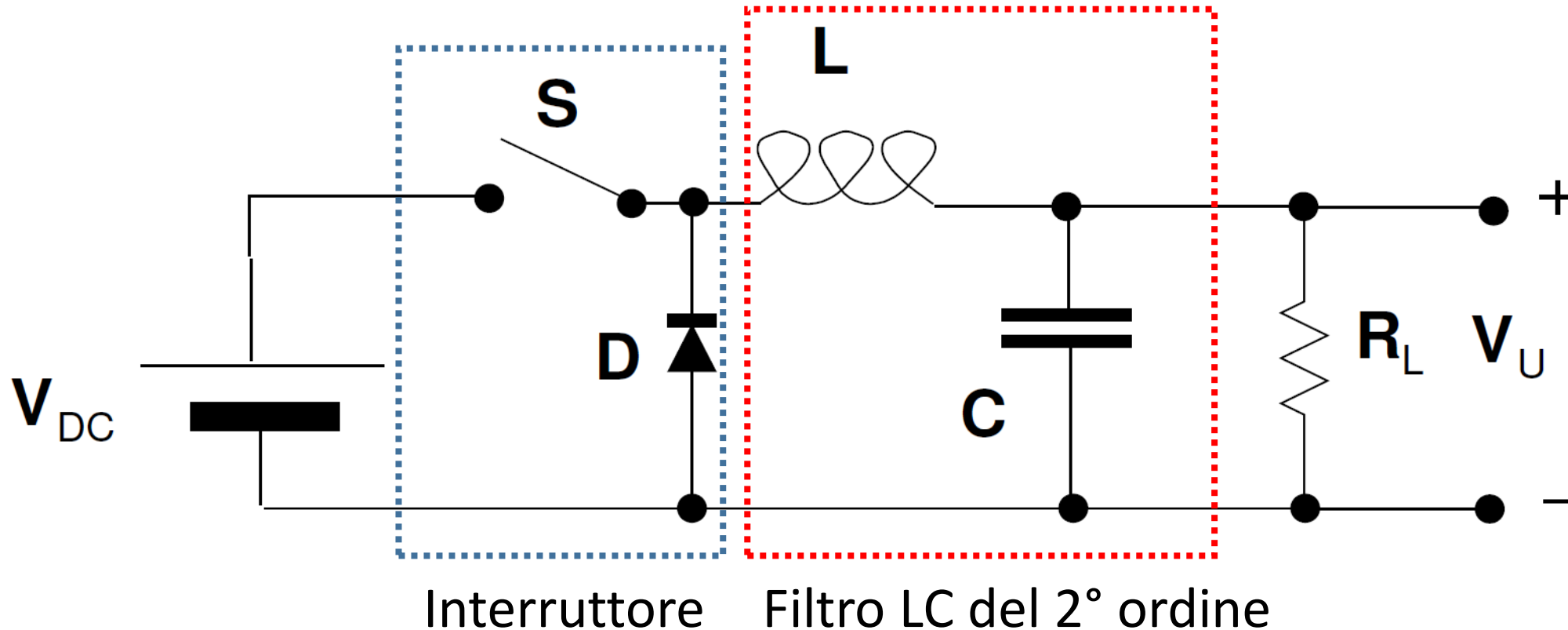
Duty cycle

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

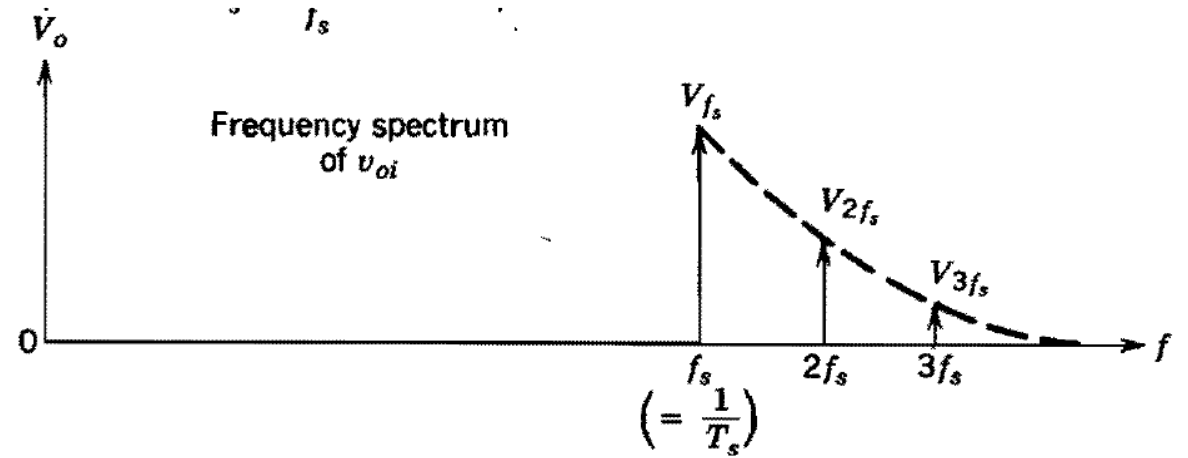
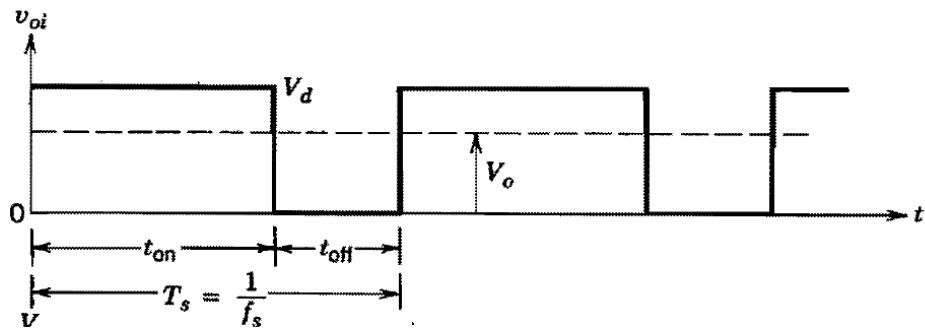
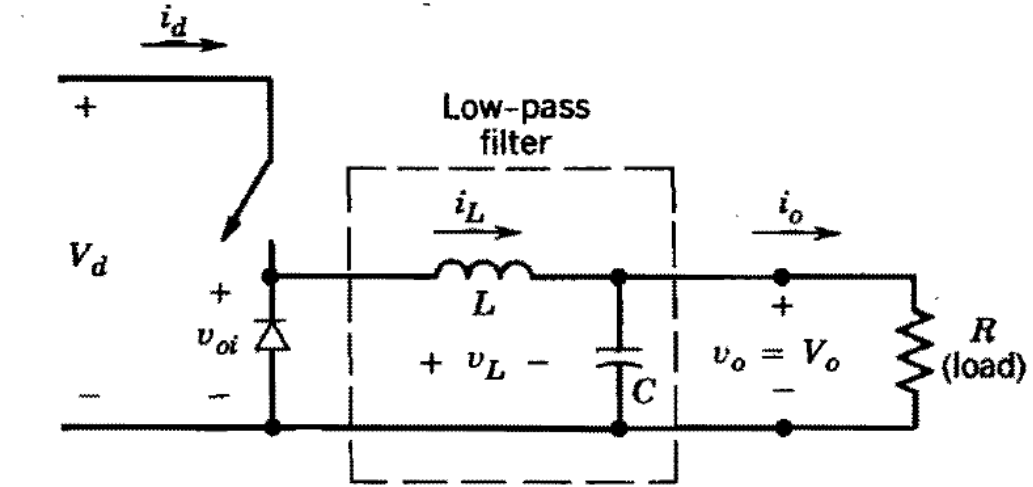
Regolatore a commutazione di tipo forward

Problematiche realizzative:

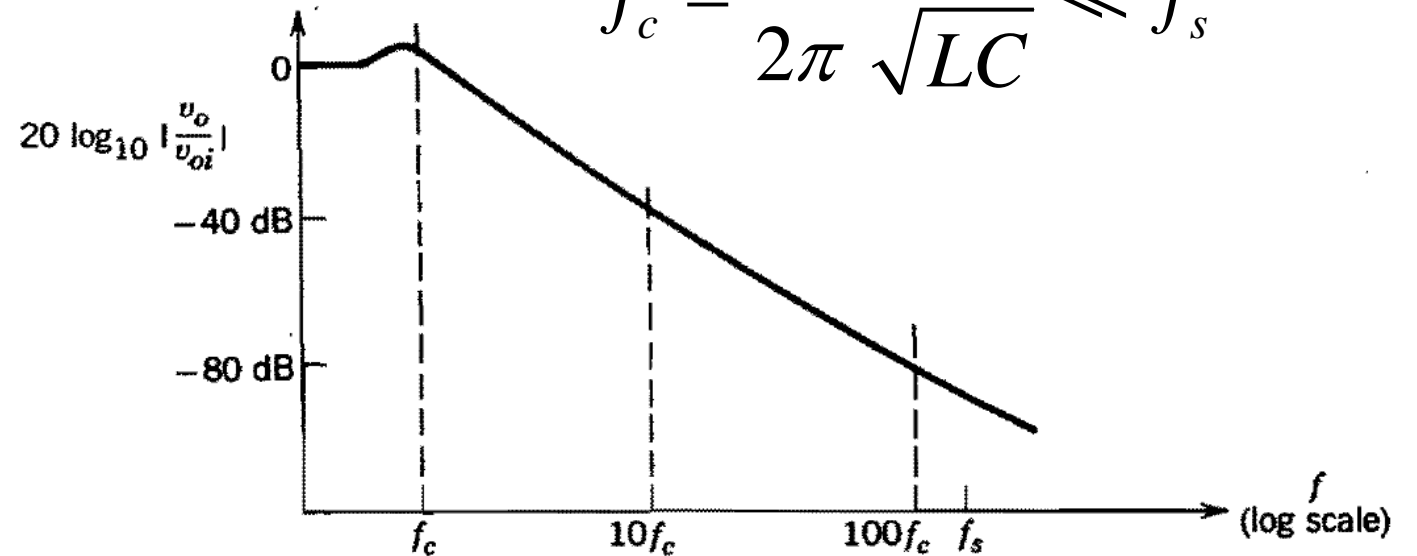
- Il carico presenta sempre una componente induttiva e quindi l'interruttore deve essere in grado di assorbire o dissipare l'energia accumulata dall'induttore
- il valore medio deve essere estratto senza dissipare energia



Regolatore a commutazione di tipo forward

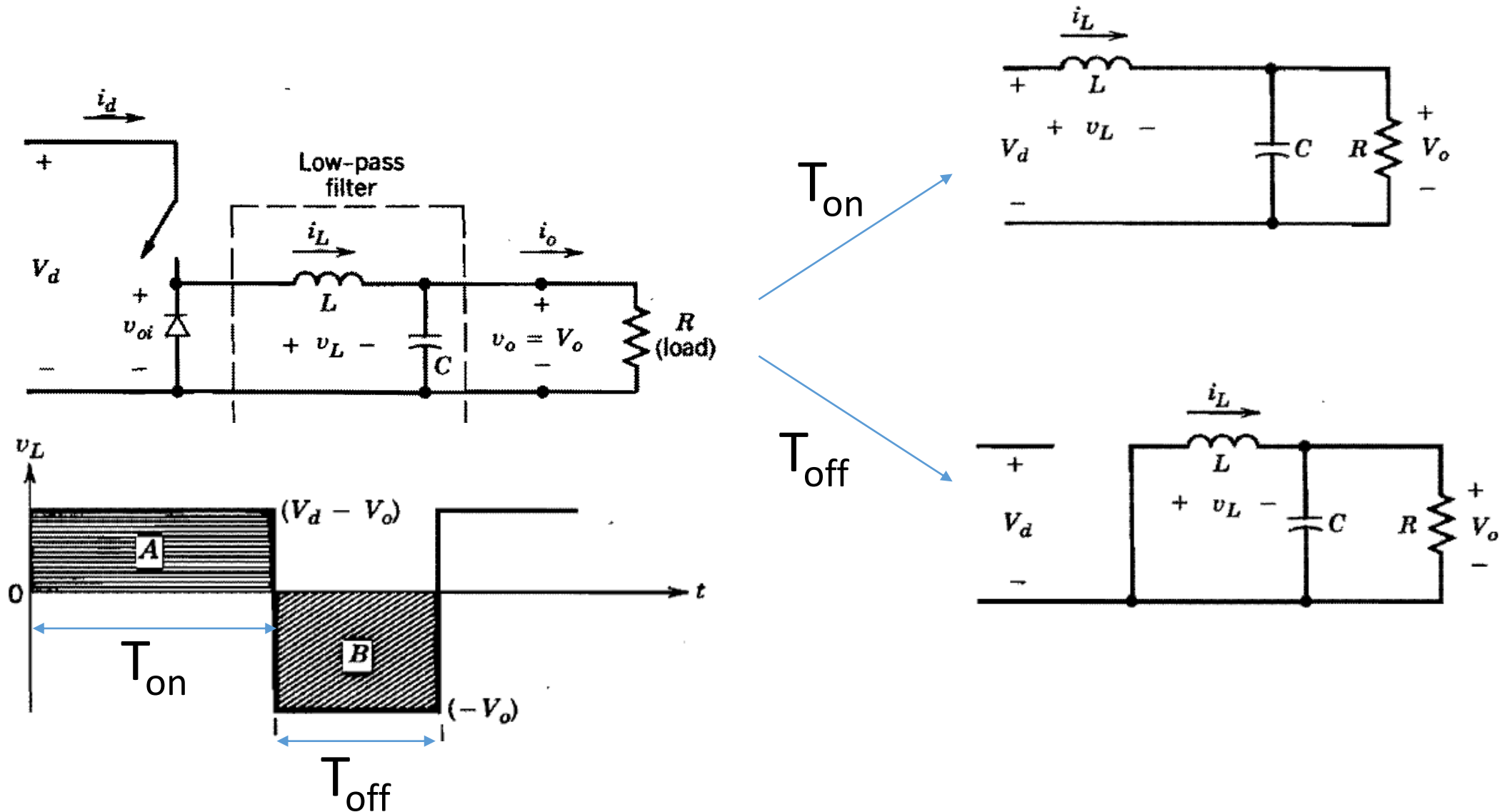


$$f_c = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{LC}} \ll f_s$$

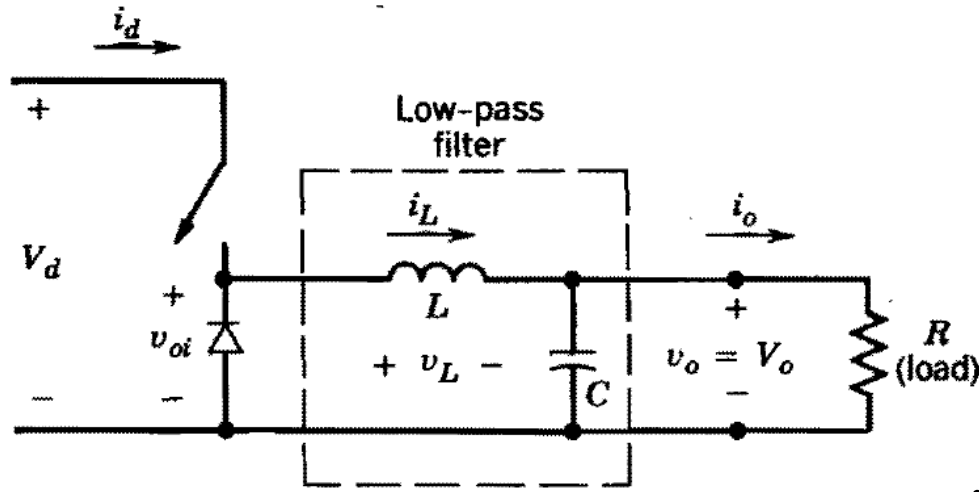


Regolatore a commutazione di tipo forward

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



Regolatore a commutazione di tipo forward



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

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



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

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

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

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

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



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

