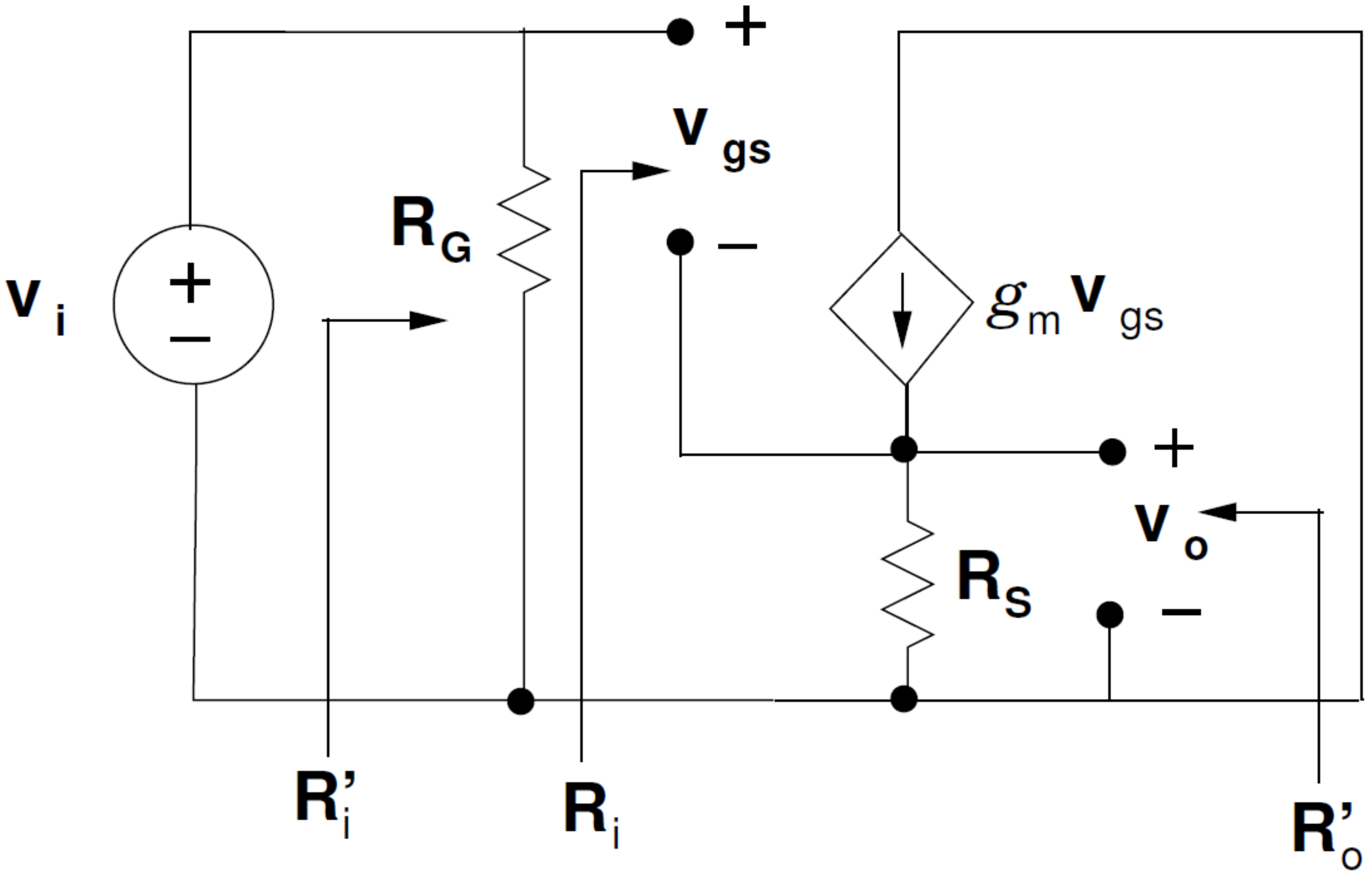
Elettronica Digitale
A.A. 2020-2021

Lezione 15/04/2021

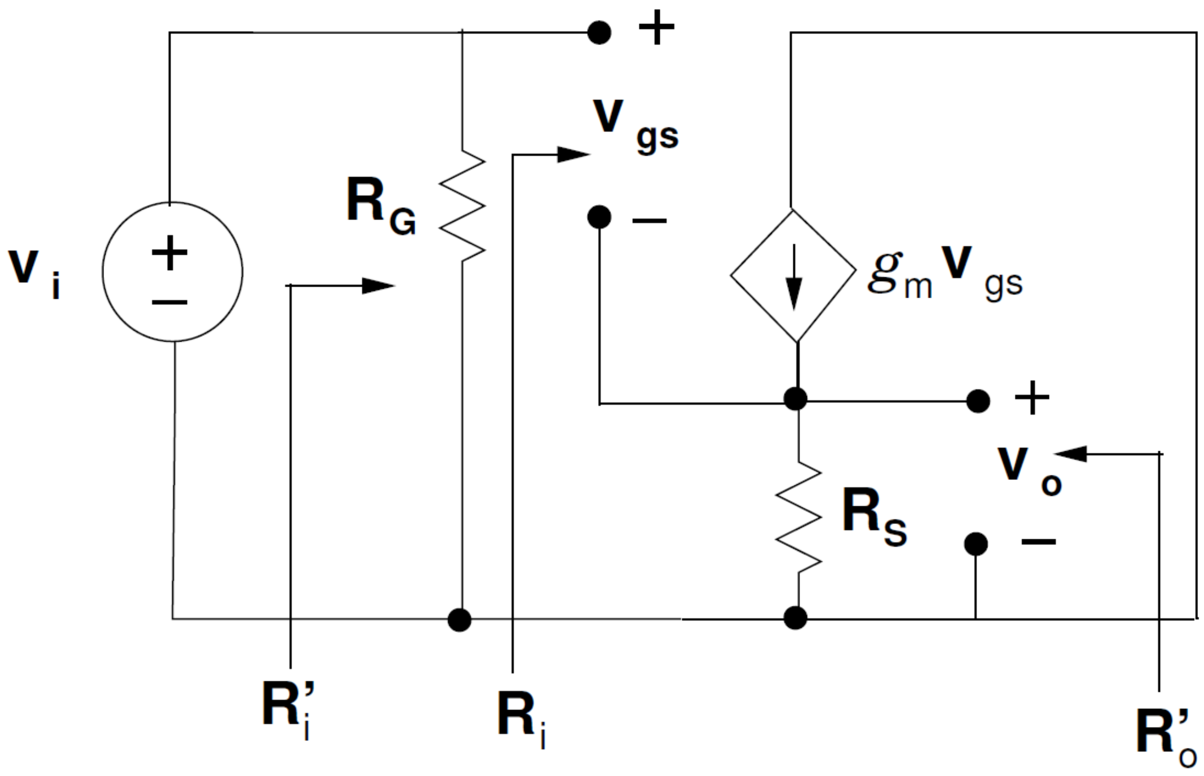
Stadio amplificatore a drain comune



$$R_o = \frac{1}{g_m}$$

$$R_o^{'} = \frac{1}{g_m} \parallel R_S$$

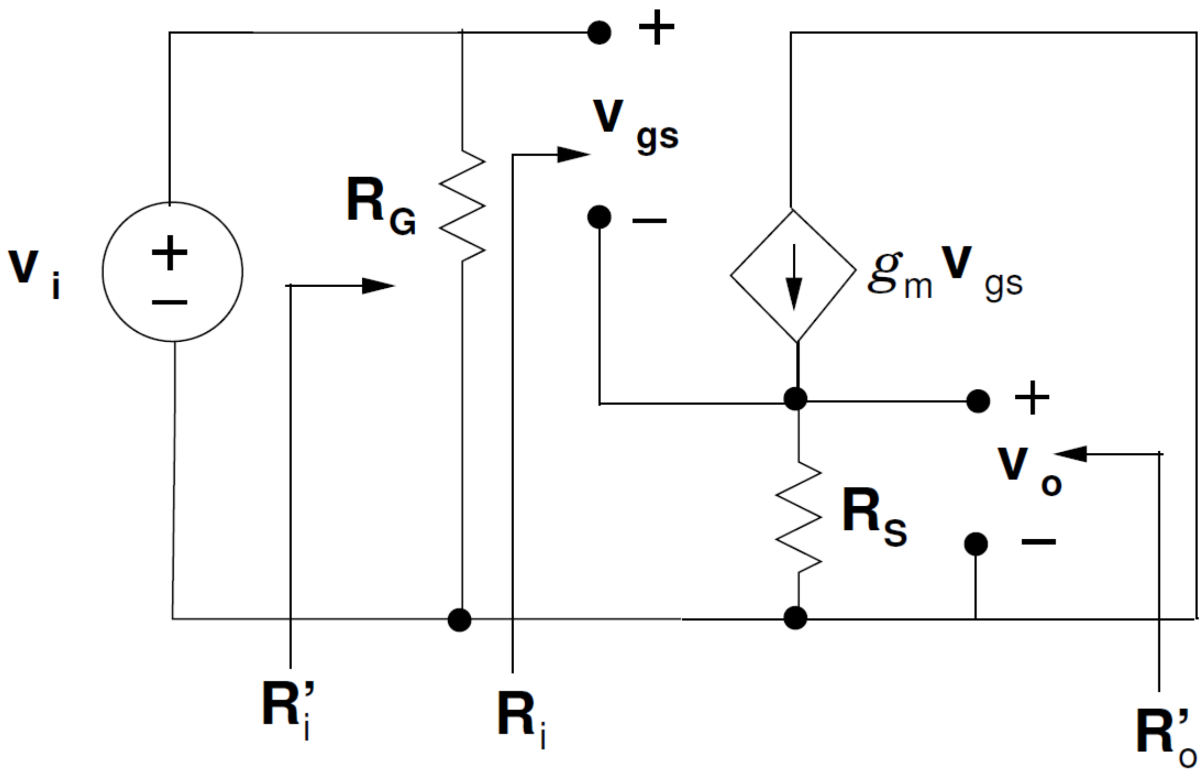
Stadio amplificatore a drain comune



$$A_v = \frac{v_o}{v_i}$$

$$\left.\begin{aligned} v_o &= g_m v_{gs} R_S \\ v_{gs} &= \frac{v_i}{(1+g_m R_S)} \end{aligned}\right\} \quad A_v = g_m R_S \frac{v_i}{(1+g_m R_S)} \frac{1}{v_i} = \frac{g_m R_S}{(1+g_m R_S)}$$

Stadio amplificatore a drain comune

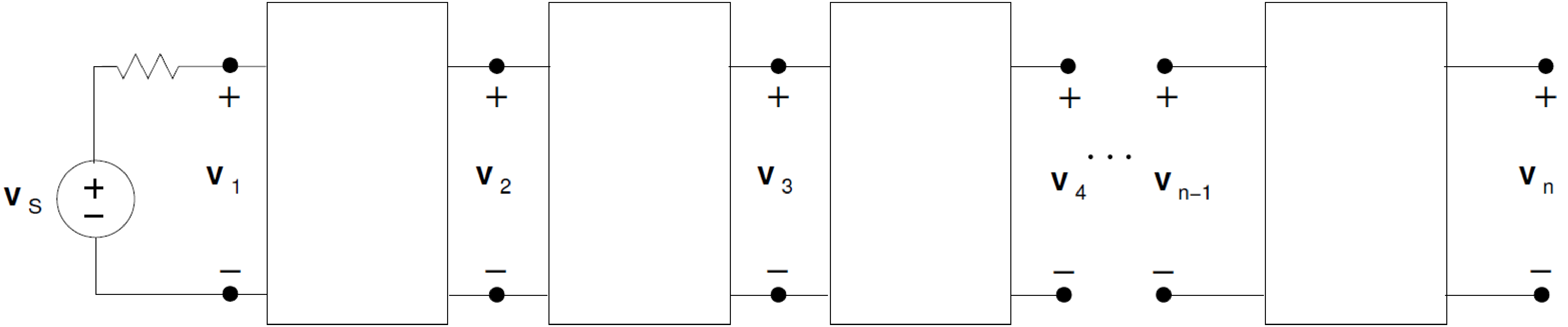


$$\boxed{A_v = \frac{g_m R_S}{(1+g_m R_S)}}$$

Se $(g_m R_S) \gg 1$ ➡ $\boxed{A_v \approx 1}$

Inseguitore di source
(Source follower)

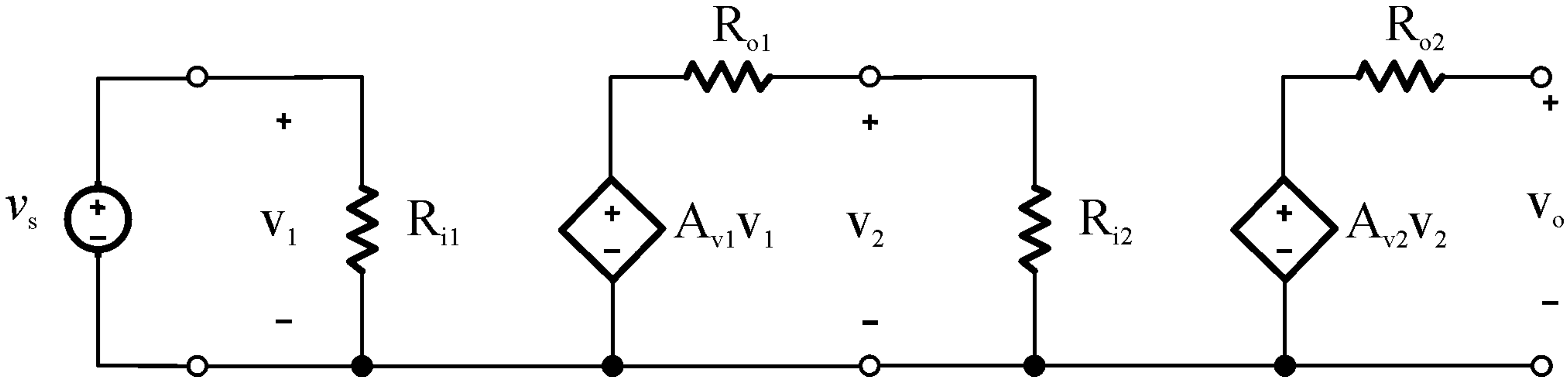
Amplificatori multistadio



$$A_v = \frac{v_n}{v_1} = \frac{v_n}{v_{n-1}} \frac{v_{n-1}}{v_{n-2}} \cdots \frac{v_3}{v_2} \frac{v_2}{v_1} = A_{n-1} A_{n-2} \cdots A_2 A_1$$

I guadagni che compaiono nel prodotto non sono quelli calcolati per i singoli stadi isolati, ma devono tenere conto dell'interazione tra gli stadi stessi.

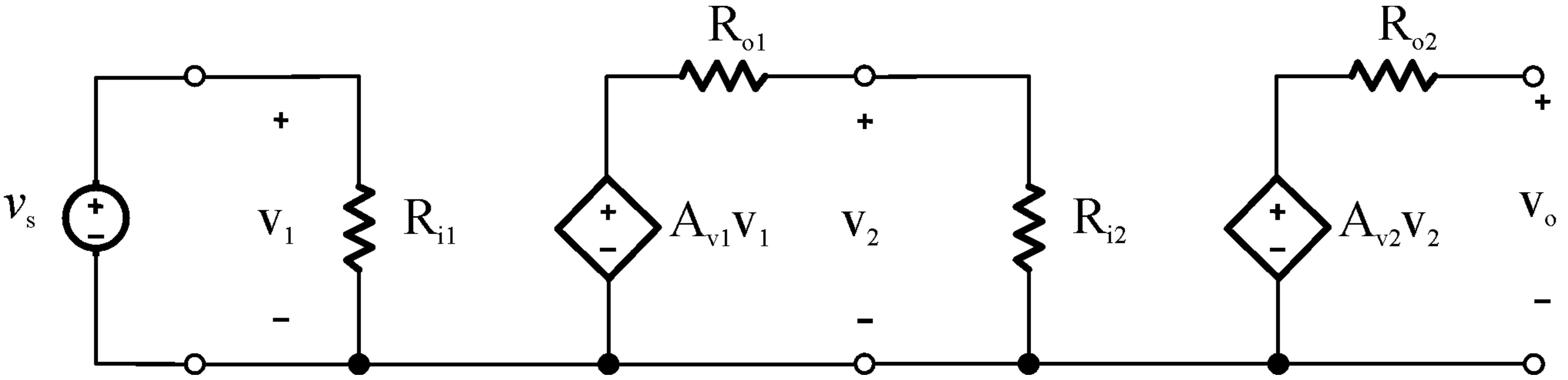
Amplificatori multistadio



$$A_v = \frac{v_o}{v_s} = \frac{v_o}{v_2}\frac{v_2}{v_1} = A_2 A_1$$

$$v_2 = A_{v1} v_1 \frac{R_{i2}}{R_{i2} + R_{o1}} \qquad A_1 = \frac{v_2}{v_1} = A_{v1} \frac{R_{i2}}{R_{i2} + R_{o1}}$$

Amplificatori multistadio



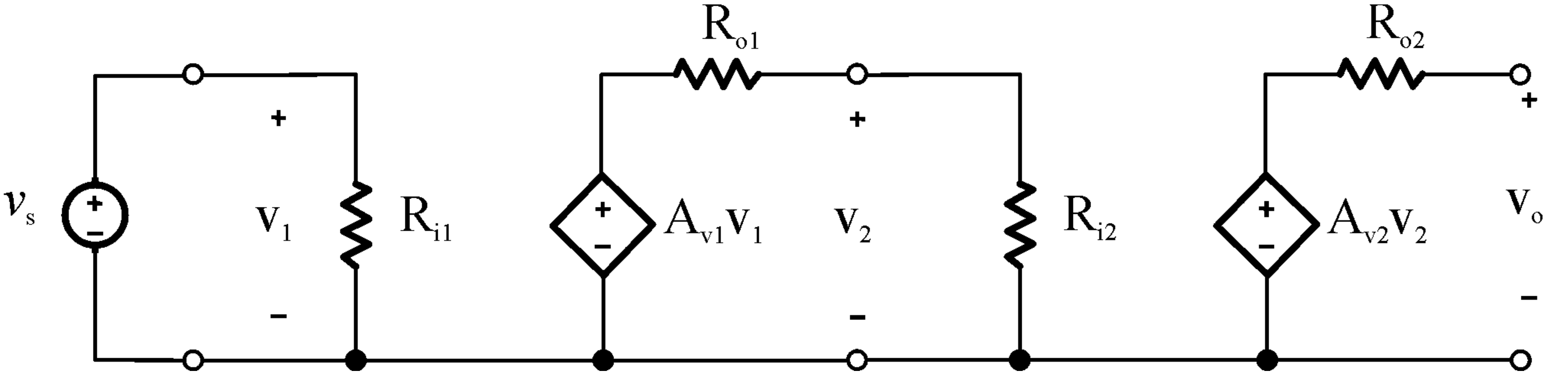
$$A_1 = A_{v1}\frac{R_{i2}}{R_{i2}+R_{o1}}$$

$$\boxed{A_1 \neq A_{v1}}$$

$$\text{Se} \begin{cases} R_{o1} = 0 \\ \text{oppure} \\ R_{i2} = \infty \end{cases} \Rightarrow \boxed{A_1 = A_{v1}}$$

Lo stadio a "valle" non carica lo stadio a "monte"

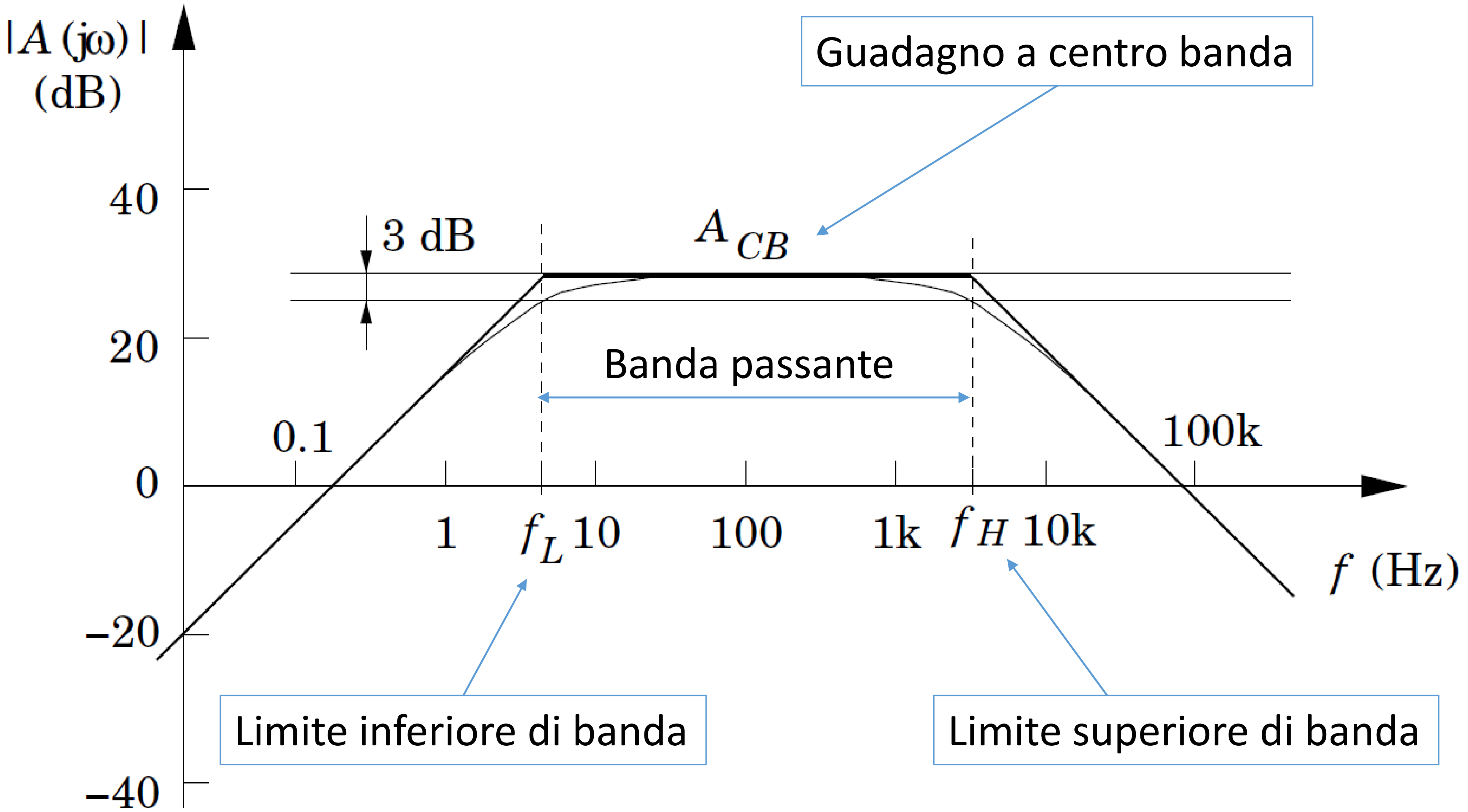
Amplificatori multistadio



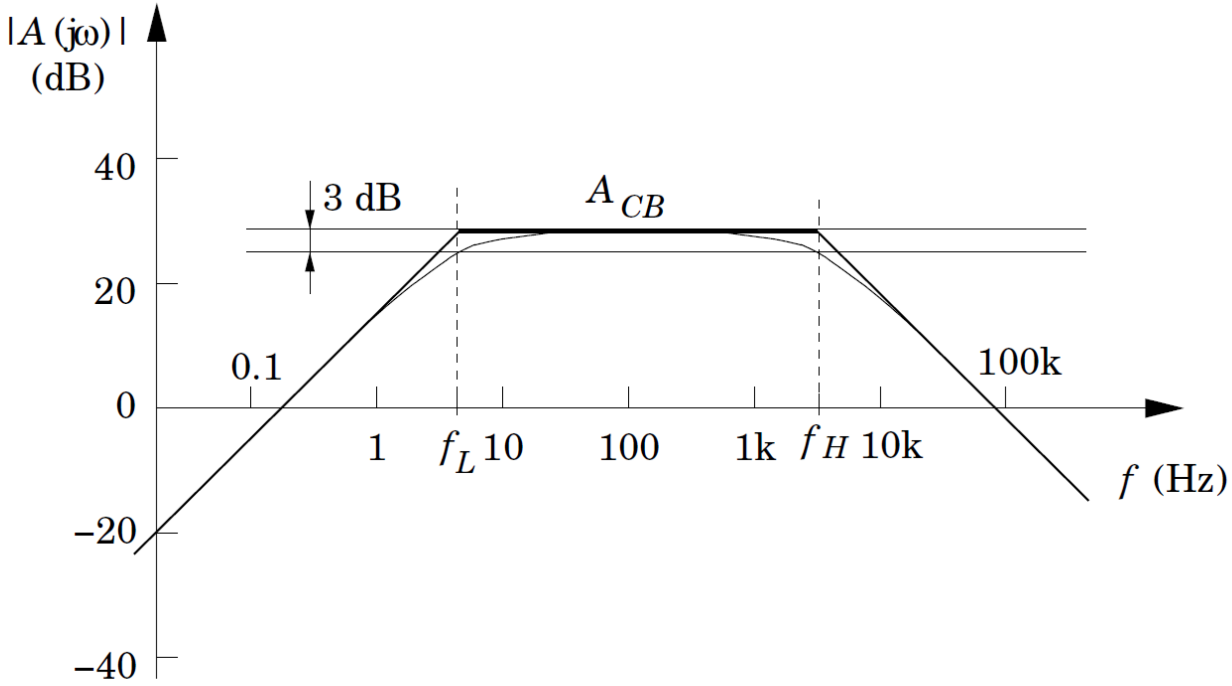
$$A_1 = A_{v1}\frac{R_{i2}}{R_{i2}+R_{o1}} \qquad A_2 = \frac{v_o}{v_2} = A_{v2}$$

$$A_v = \frac{v_o}{v_s} = \frac{v_o}{v_2}\frac{v_2}{v_1} = A_2A_1 = A_{v1}A_{v2}\frac{R_{i2}}{R_{i2}+R_{o1}}$$

Funzione di trasferimento degli amplificatori



Funzione di trasferimento degli amplificatori



Se i poli e gli zeri che determinano il comportamento dell'amplificatore ad alta frequenza sono ben separati (almeno un paio di decadi) da quelli che caratterizzano il comportamento a bassa frequenza, la funzione di trasferimento dell'amplificatore può essere scritta nella forma

$$A(s) = \frac{V_U(s)}{V_{IN}(s)} = A_{CB} F_L(s) F_H(s)$$

Funzione di trasferimento degli amplificatori

$$A(s) = \frac{V_U(s)}{V_{IN}(s)} = A_{CB} F_L(s) F_H(s)$$

Bassa frequenza

$$A(s) \approx A_{CB} F_L(s)$$

$$F_L(s) = \frac{\left(s + \omega_{z_1}\right)\left(s + \omega_{z_2}\right)\cdots\left(s + \omega_{z_{m'}}\right)}{\left(s + \omega_{p_1}\right)\left(s + \omega_{p_2}\right)\cdots\left(s + \omega_{p_{n'}}\right)}$$

I poli e gli zeri che determinano il comportamento a bassa frequenza sono di solito quelli relativi agli elementi reattivi (condensatori e induttanze) esterni ai componenti elettronici.

Funzione di trasferimento degli amplificatori

$$A(s)=\frac{V_U(s)}{V_{IN}(s)}=A_{CB}F_L(s)F_H(s)$$

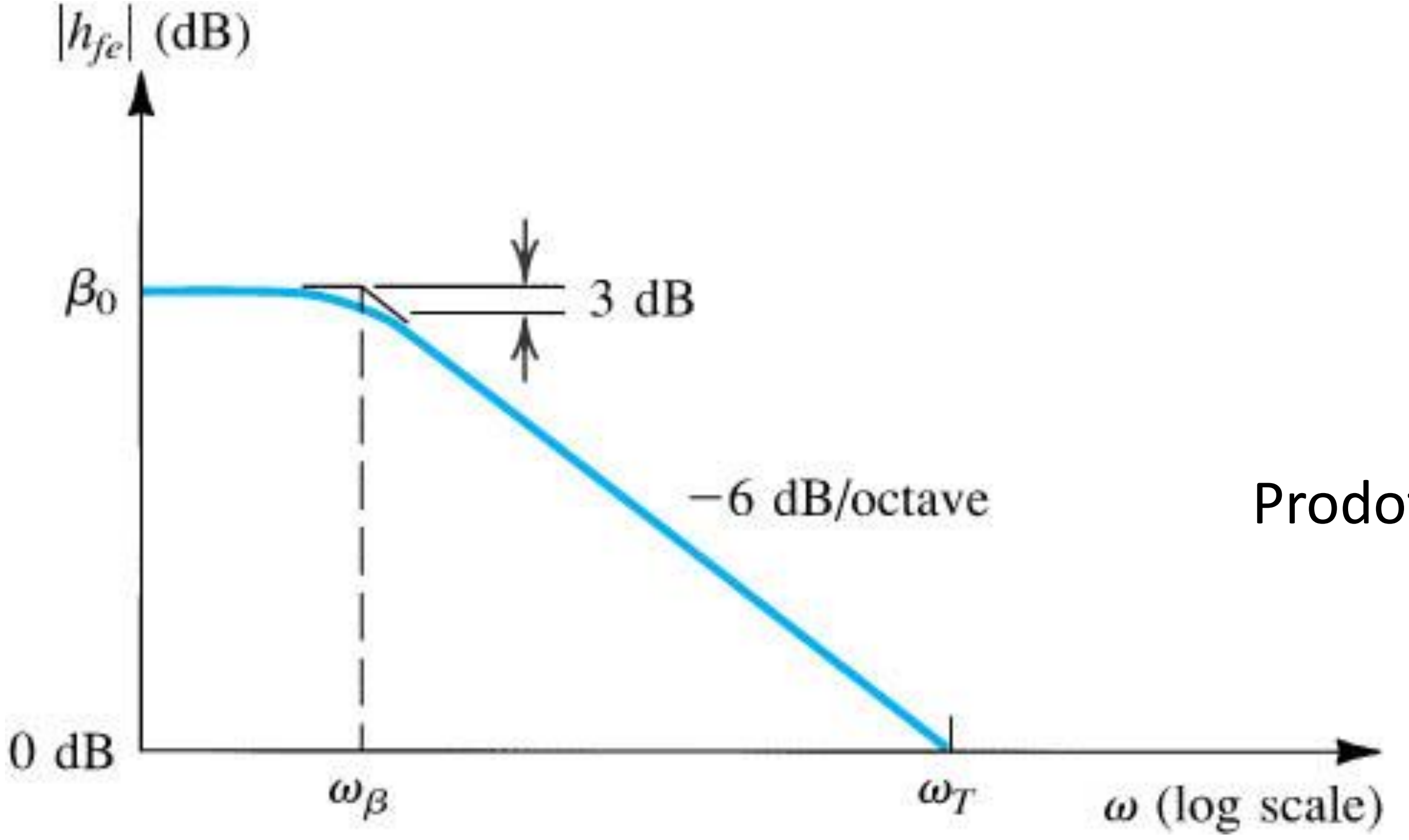
Alta frequenza $$A(s)\approx A_{CB}F_H(s)$$

$$F_H(s)=\frac{\left(1+\frac{s}{\omega_{z'_1}}\right)\left(1+\frac{s}{\omega_{z'_2}}\right)\cdots\left(1+\frac{s}{\omega_{z'_{m''}}}\right)}{\left(1+\frac{s}{\omega_{p'_1}}\right)\left(1+\frac{s}{\omega_{p'2}}\right)\cdots\left(1+\frac{s}{\omega_{p'_{n''}}}\right)}$$

I poli e gli zeri che determinano il comportamento ad alta frequenza sono di solito quelli relativi ai condensatori interni ai componenti elettronici.

Limite di funzionamento ad alta frequenza: la frequenza di transizione

Per un transistore bipolare, la frequenza di transizione (f_T) è la frequenza a cui il guadagno di corrente di cortocircuito dell'amplificatore nella configurazione a emettitore comune diviene unitario



$$\boxed{\omega_T = \beta_o \omega_\beta}$$

Prodotto guadagno-banda (PGB)

Microelectronic Circuits - Fifth Edition Sedra/Smith

Limite di funzionamento ad alta frequenza: la frequenza di transizione

Per un transistore MOSFET, la frequenza di transizione (f_T) è la frequenza a cui il guadagno di corrente di cortocircuito dell'amplificatore nella configurazione a source comune diviene unitario

$$f_T \propto \mu \frac{V_T}{W_B^2} \qquad \text{BJT}$$

$$f_T \propto \mu \frac{V_{GS} - V_T}{L^2} \qquad \text{MOSFET}$$

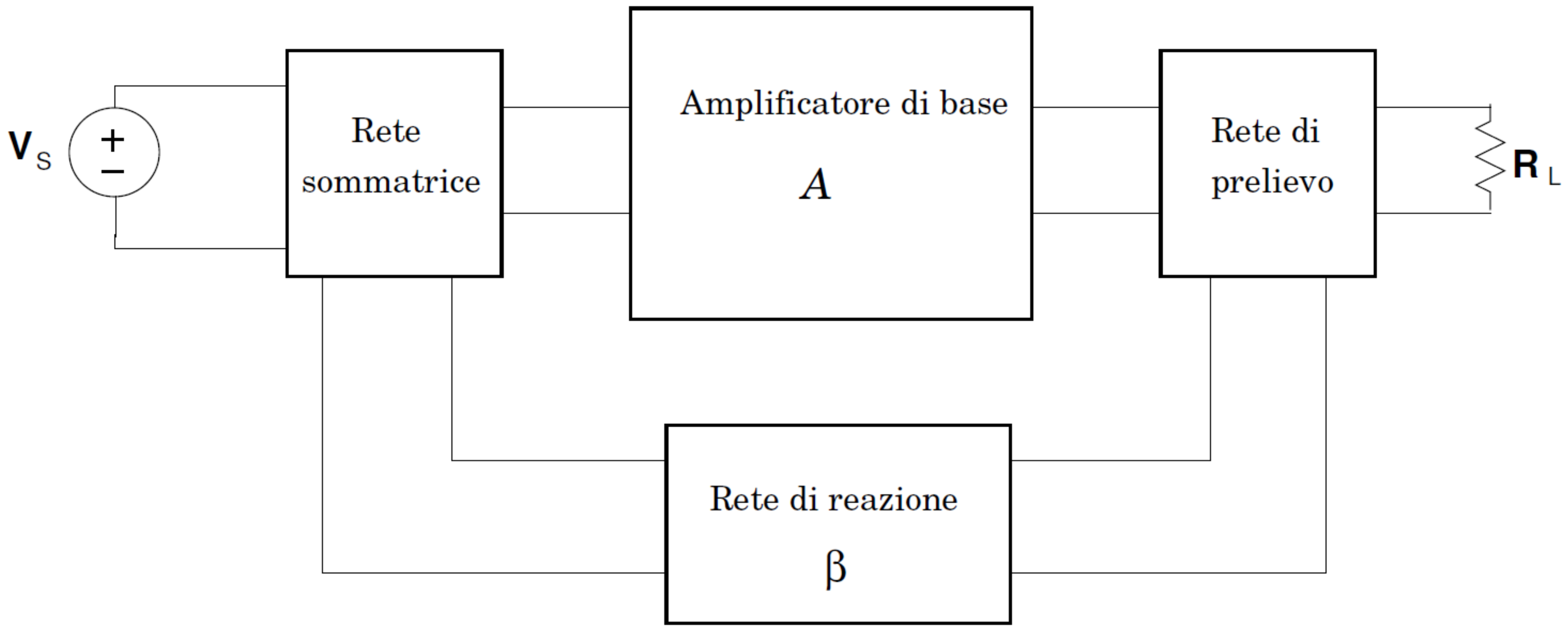
Teoria semplificata della reazione

Il principio della reazione consiste nel riportare all’ingresso di un sistema una porzione del segnale in uscita, in modo da modificare le proprietà del sistema stesso.

In tutti quei casi nei quali lo scopo è quello di mantenere una grandezza costante, la reazione che si realizza è di tipo negativo, vale a dire che il segnale riportato in ingresso ha segno rovesciato rispetto a quello del segnale di ingresso che lo ha prodotto. In questo modo ogni variazione determina un effetto a essa opposto, che tende a contrastarla.

In campo elettronico la reazione utilizzata è di solito negativa, anche se gli scopi per cui viene realizzata sono ben più vari che della semplice regolazione di una grandezza.

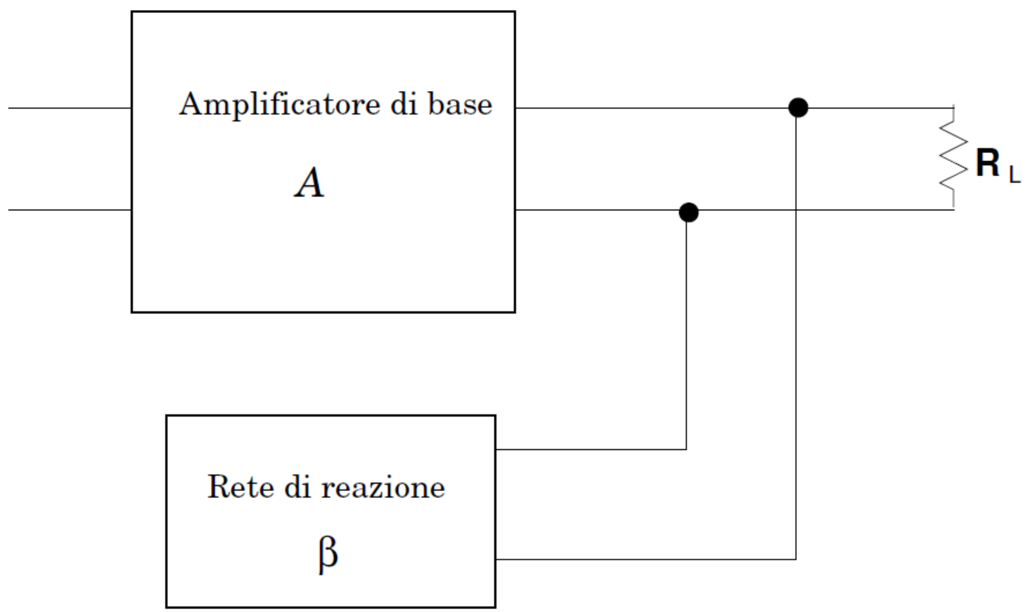
Teoria semplificata della reazione



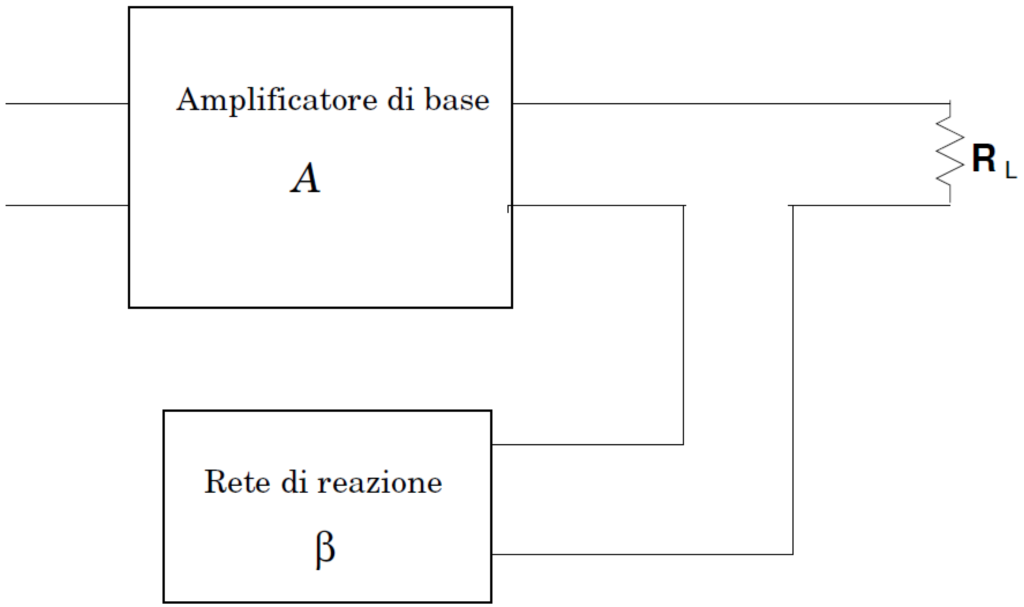
Teoria semplificata della reazione

Tipologie di prelievo del segnale d'uscita

Prelievo di tensione



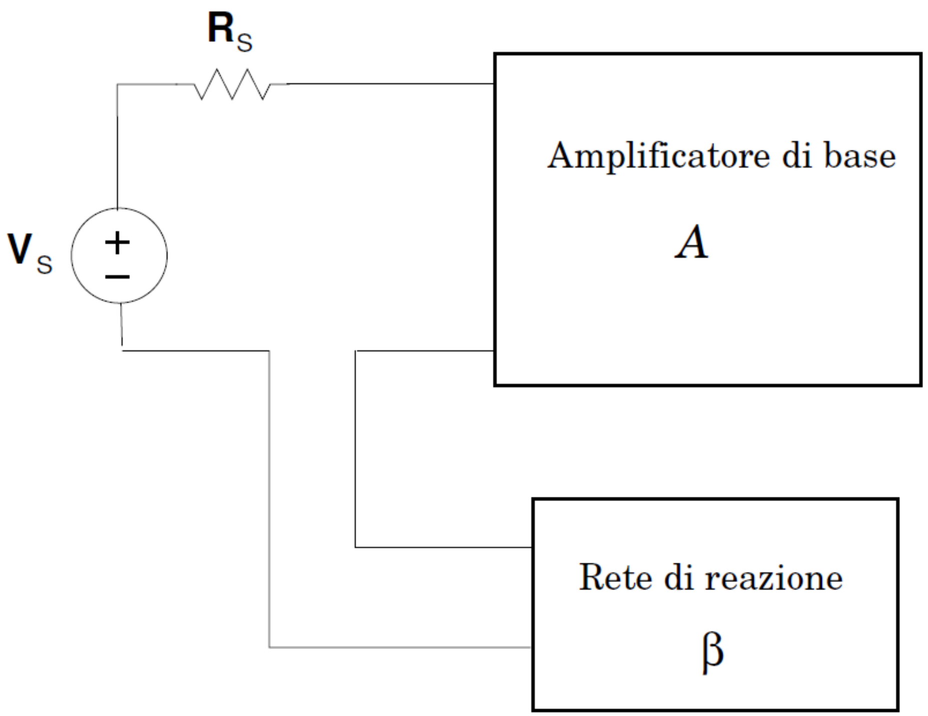
Prelievo di corrente



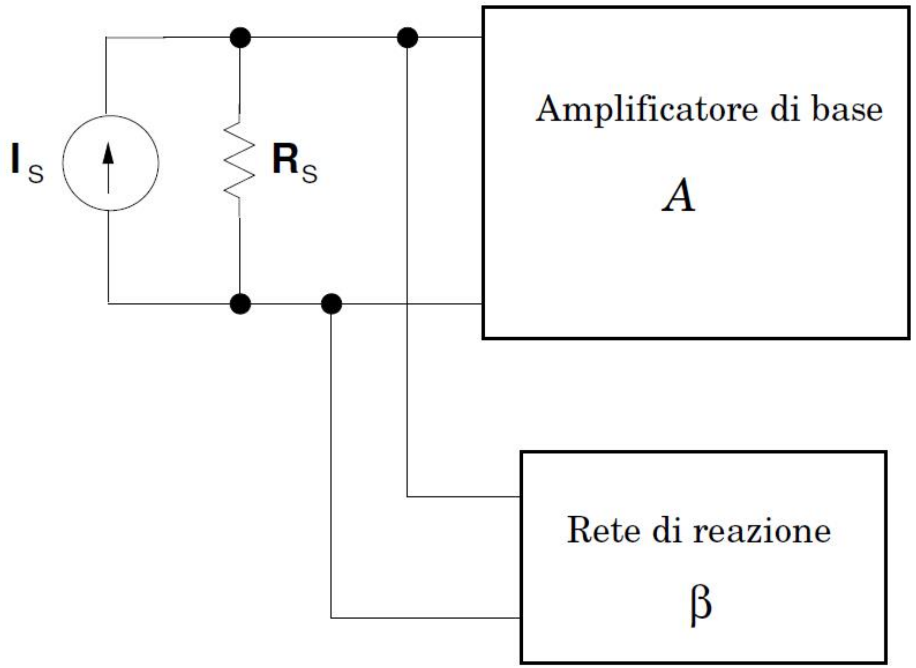
Teoria semplificata della reazione

Tipologie di re-inserzione del segnale in ingresso

Inserzione serie

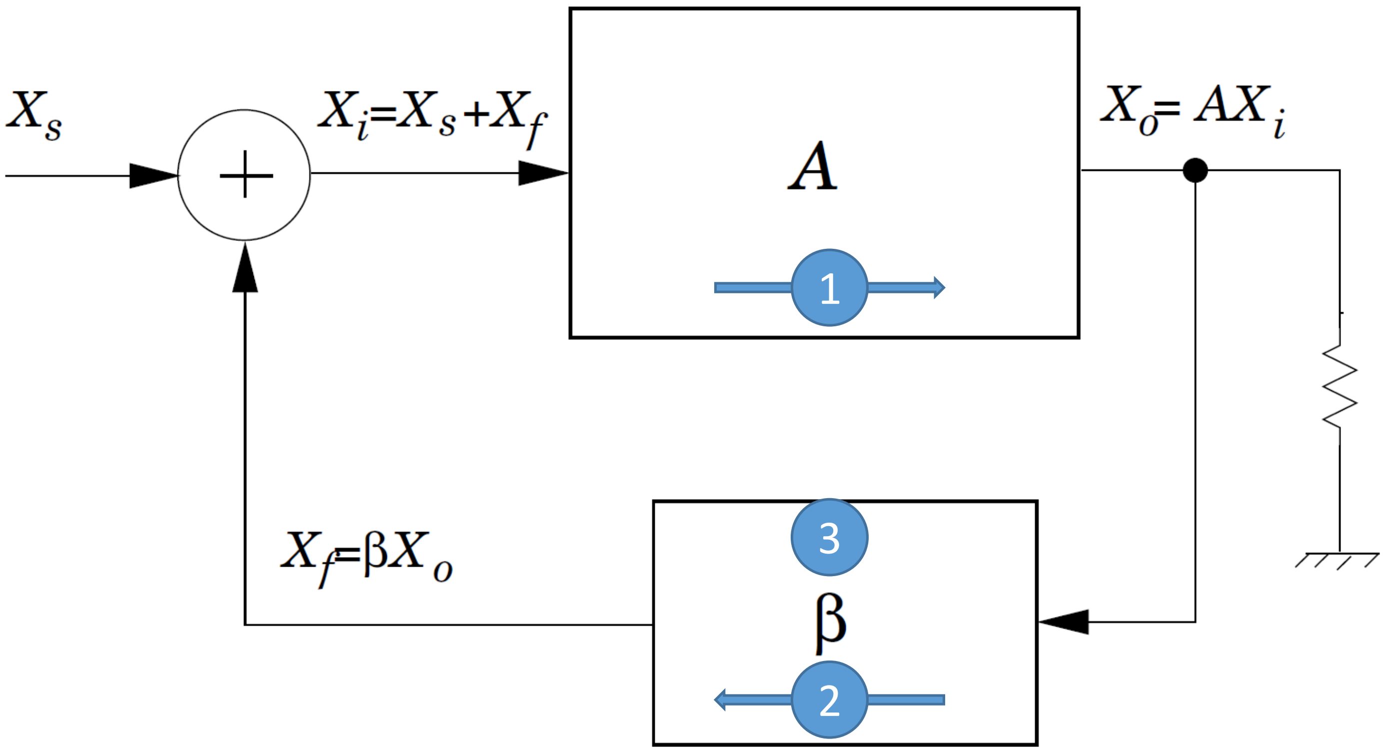


Inserzione parallelo



Teoria semplificata della reazione

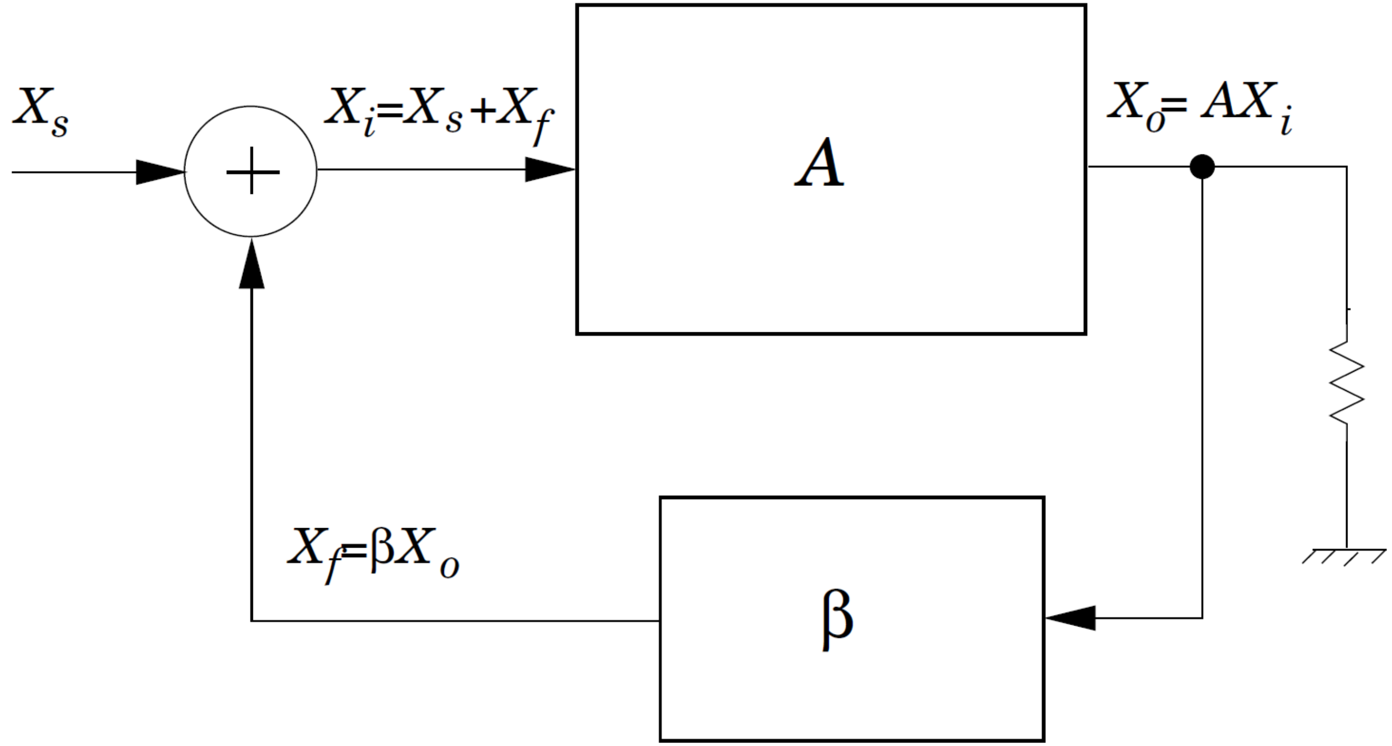
Rappresentazione generale di una rete in reazione



Ipotesi semplificative:

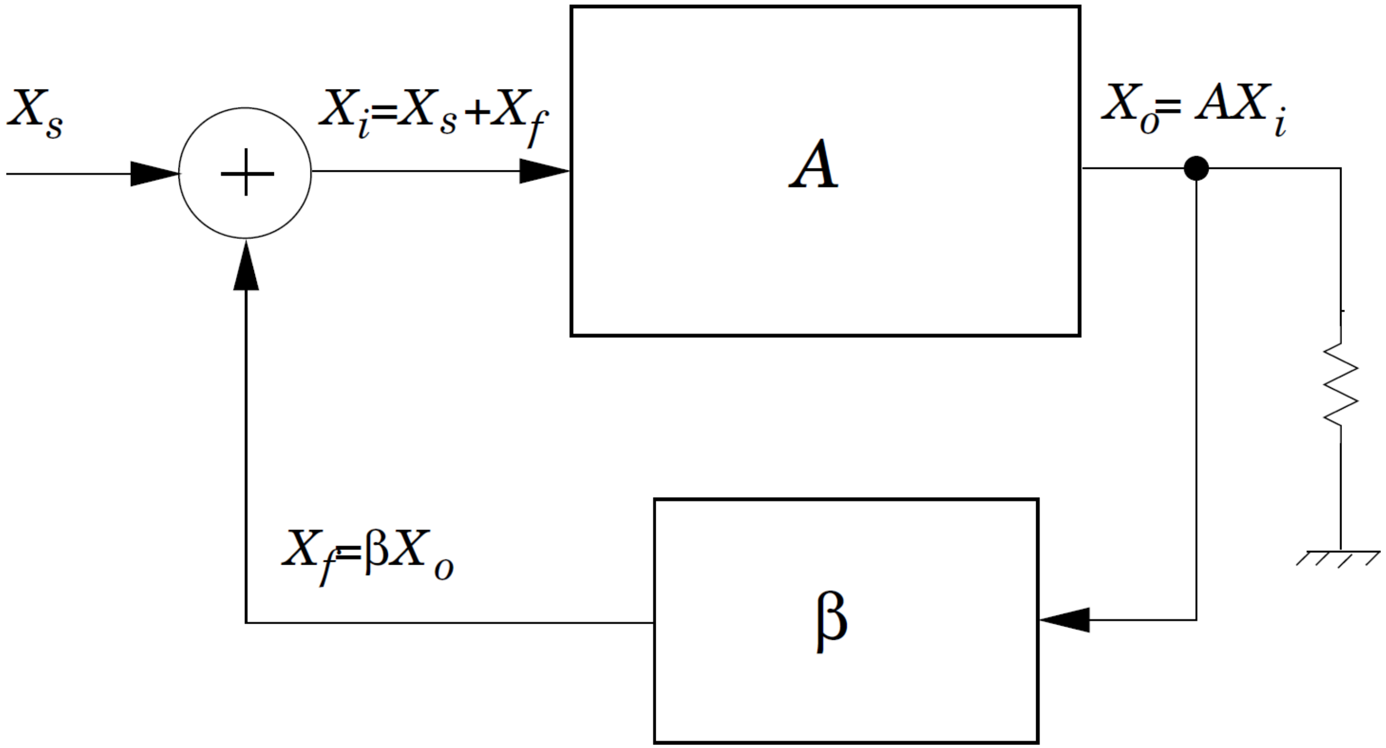
1. L'amplificatore è unidirezionale
2. La rete di reazione è unidirezionale
3. Il fattore di reazione β è indipendente dalla resistenza della sorgente e da quella del carico

Teoria semplificata della reazione



$$\left.\begin{aligned} X_i &= X_s + X_f \\ X_f &= \beta X_o \end{aligned}\right\} \Rightarrow \left.\begin{aligned} X_i &= X_s + \beta X_o \\ X_o &= AX_i \end{aligned}\right\} \Rightarrow X_o = A\left(X_s + \beta X_o\right) \Rightarrow \boxed{\frac{X_o}{X_s} = \frac{A}{1-\beta A}}$$

Teoria semplificata della reazione



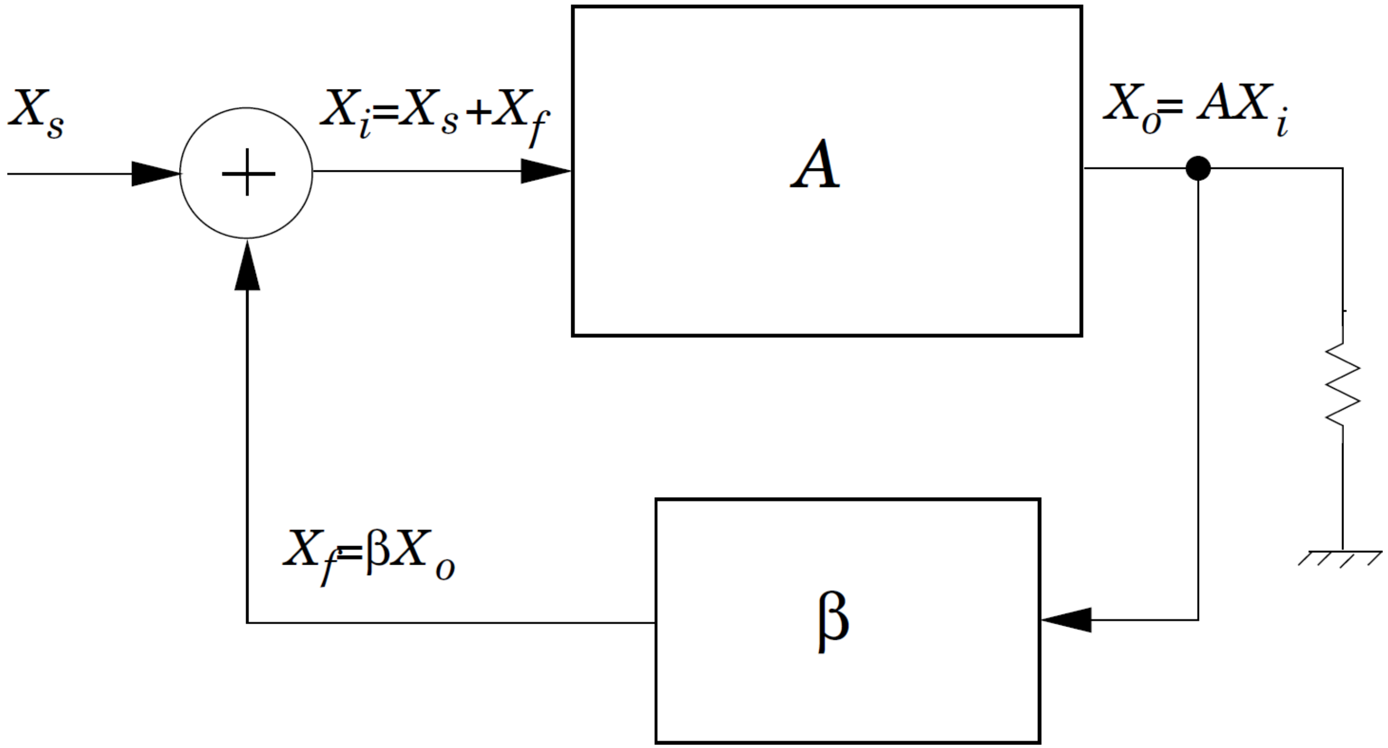
A Guadagno ad anello aperto

βA Guadagno d'anello

$$A_f = \frac{X_o}{X_s} = \frac{A}{1-\beta A}$$

Guadagno ad anello chiuso

Teoria semplificata della reazione



$$\boxed{A_f = \frac{X_o}{X_s} = \frac{A}{1 - \beta A}}$$

Se $|\beta A| \gg 1$

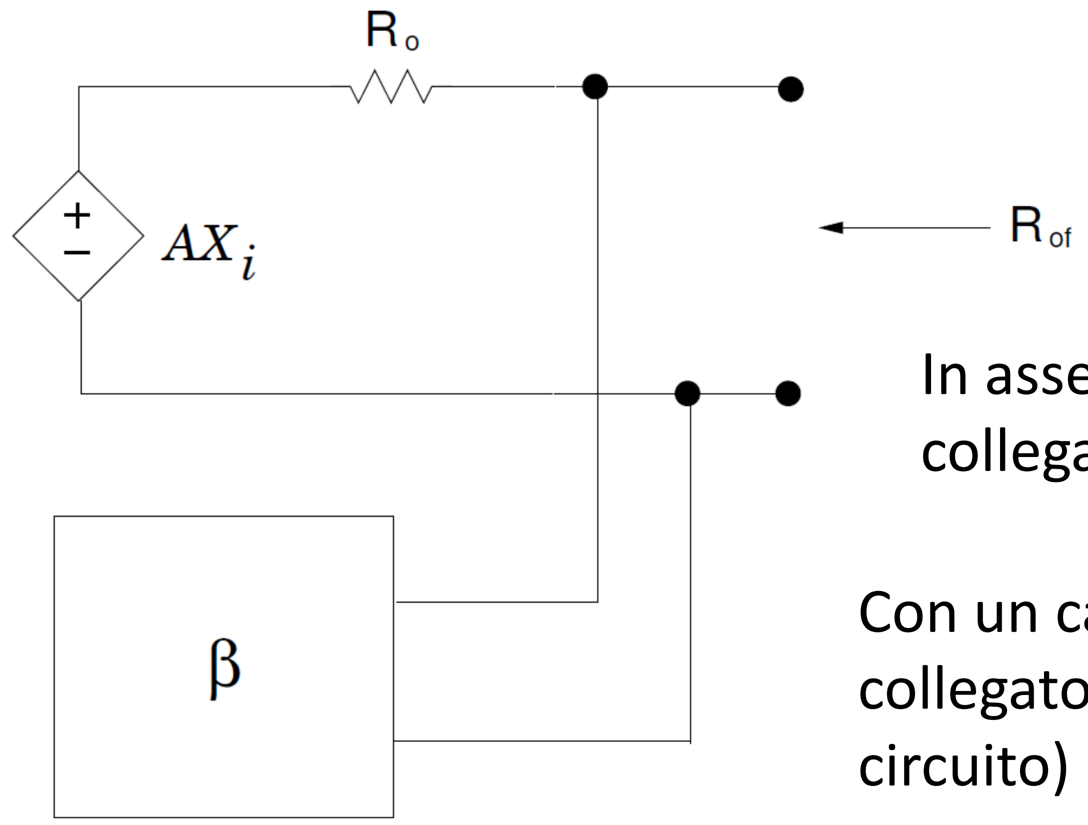
$$\boxed{A_f \approx -\frac{1}{\beta}}$$

$|A_f| < |A|$ Reazione negativa

$|A_f| > |A|$ Reazione positiva

Teoria semplificata della reazione

Effetto della reazione sull'impedenza di uscita in presenza di una reazione di tensione



$$R_{of} = \frac{\text{tensione a vuoto}}{\text{corrente di cortocircuito}} = \frac{V_o}{I_{sc}}$$

In assenza di un carico collegato in uscita $\Rightarrow$

$$V_o = \frac{A}{1-\beta A} X_s$$

Con un carico di valore nullo collegato in uscita (corto circuito) la reazione è nulla $\Rightarrow$

$$I_{sc} = \frac{AX_i}{R_o} = \frac{AX_s}{R_o}$$

$$\boxed{A_f = \frac{X_o}{X_s} = \frac{A}{1-\beta A}}$$

$$R_{of} = \frac{V_o}{I_{sc}} = \frac{A}{1-\beta A} X_s \frac{R_o}{AX_s}$$

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