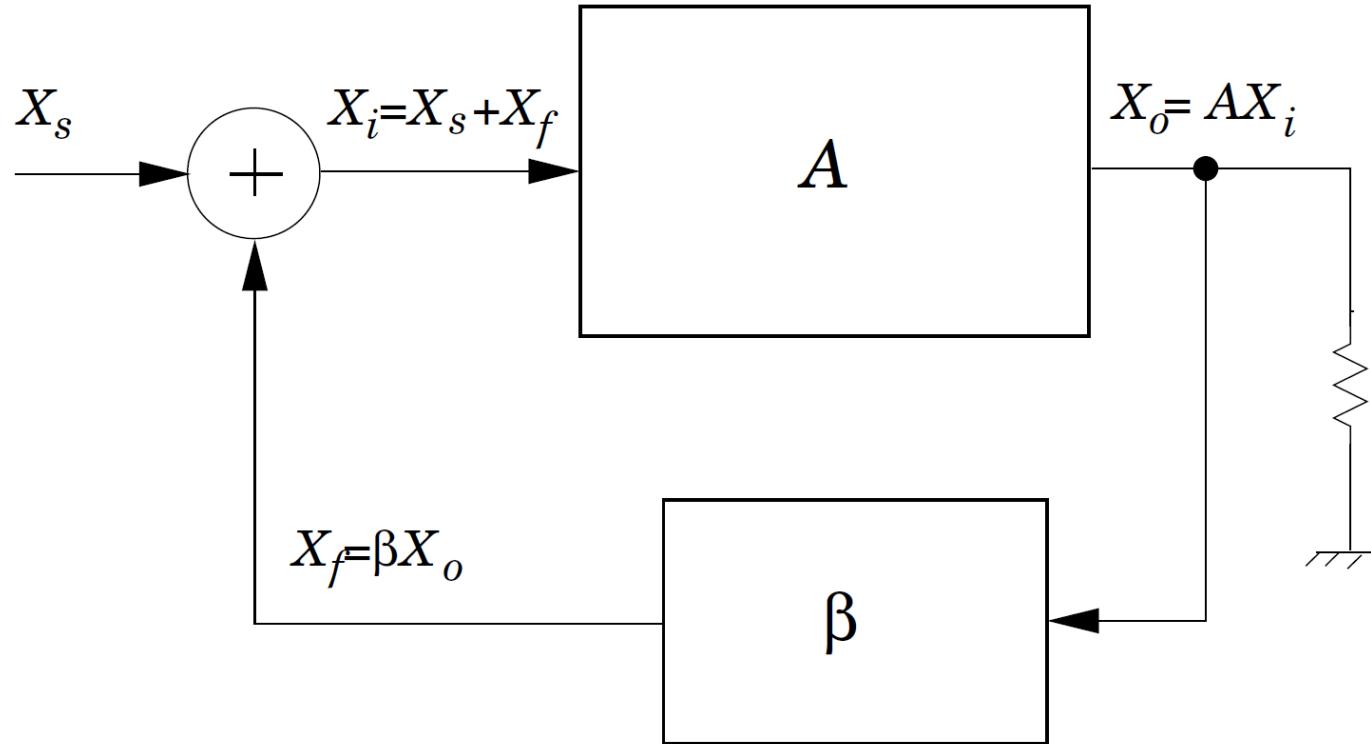


Elettronica Digitale

A.A. 2020-2021

Lezione 19/04/2021

Teoria semplificata della reazione



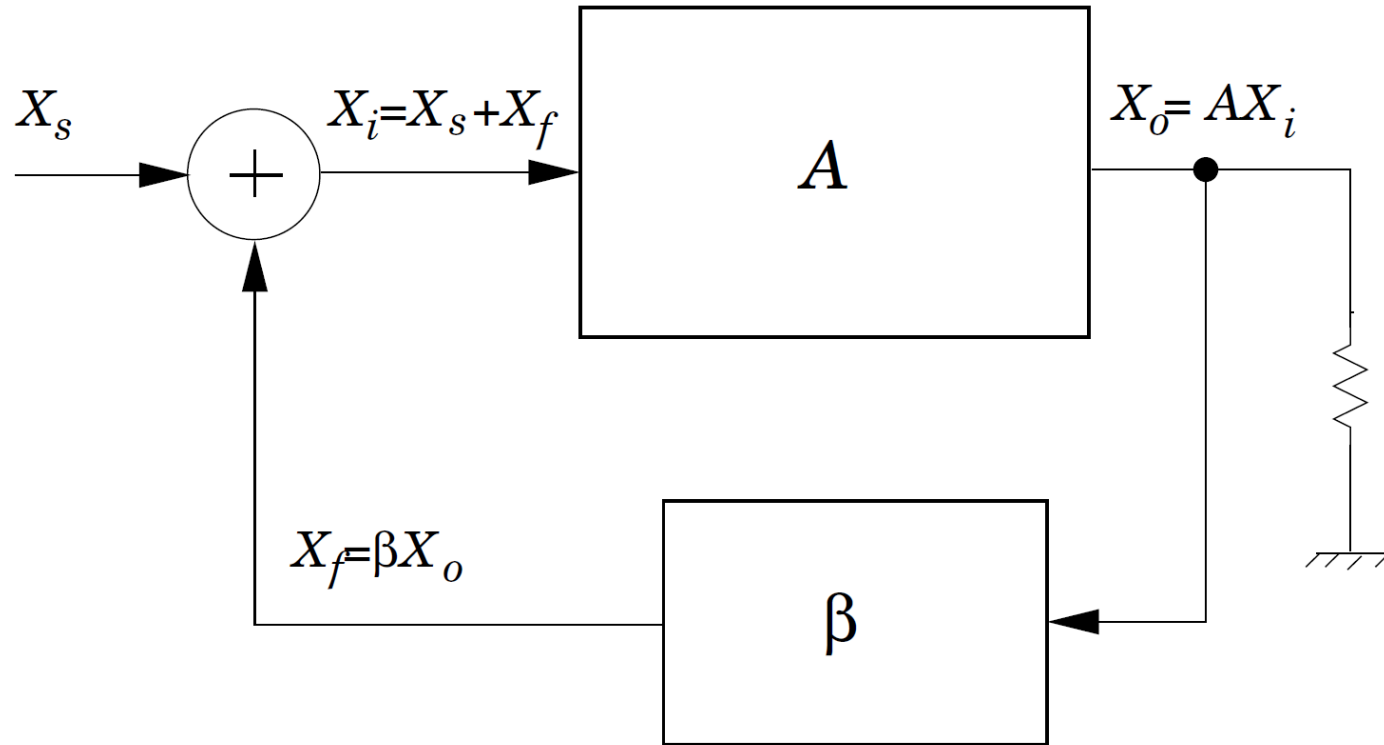
A Guadagno ad anello aperto

βA Guadagno d'anello

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

Guadagno ad anello chiuso

Teoria semplificata della reazione



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

Se $|\beta A| \gg 1$



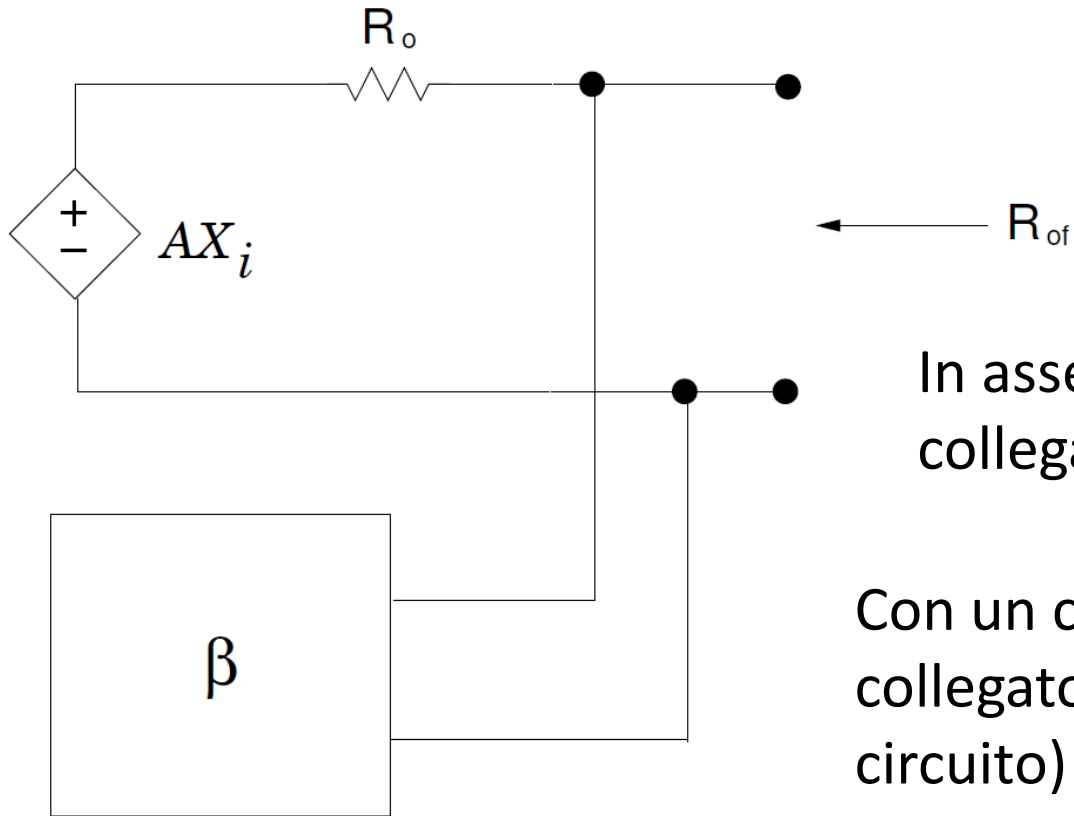
$$A_f \approx -\frac{1}{\beta}$$

$|A_f| < |A|$ 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



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

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



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

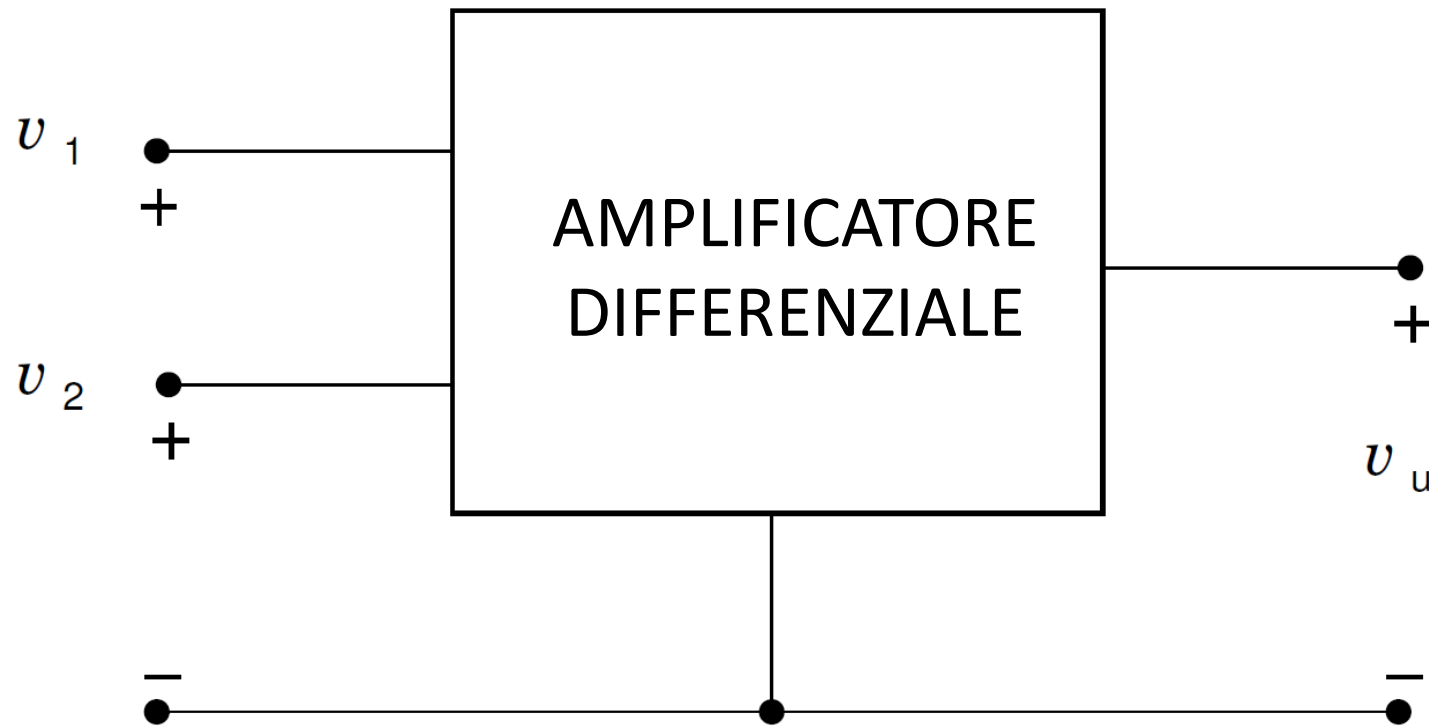
$$A_f = \frac{X_o}{X_s} = \frac{A}{1 - \beta A}$$

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

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

Amplificatori differenziali

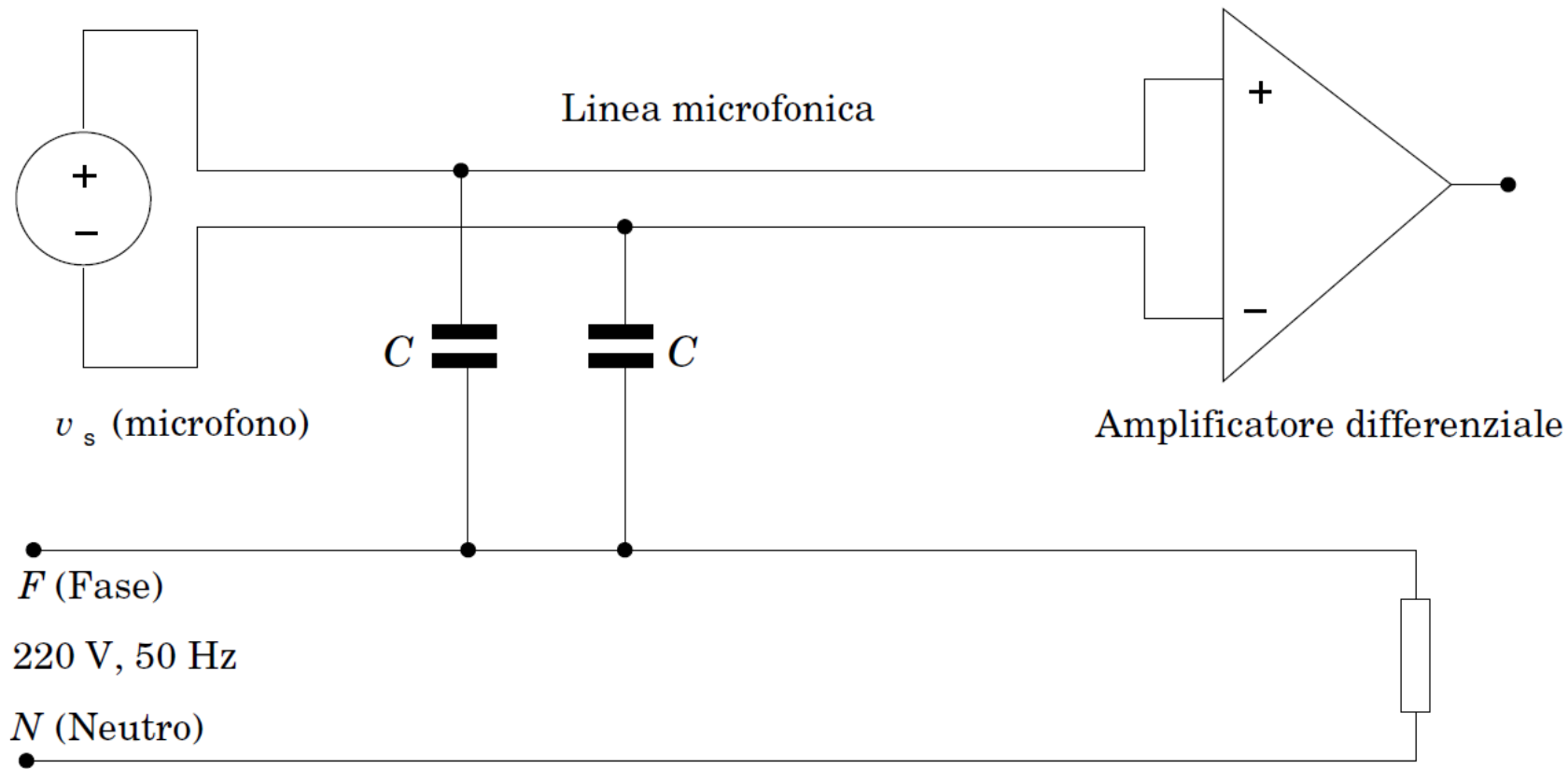
In molte applicazioni risulta utile disporre di un amplificatore in grado di fornire in uscita un segnale proporzionale alla differenza tra i segnali applicati a due ingressi e indipendente dalla componente rispetto a massa presente con eguale ampiezza in ciascuno dei segnali.



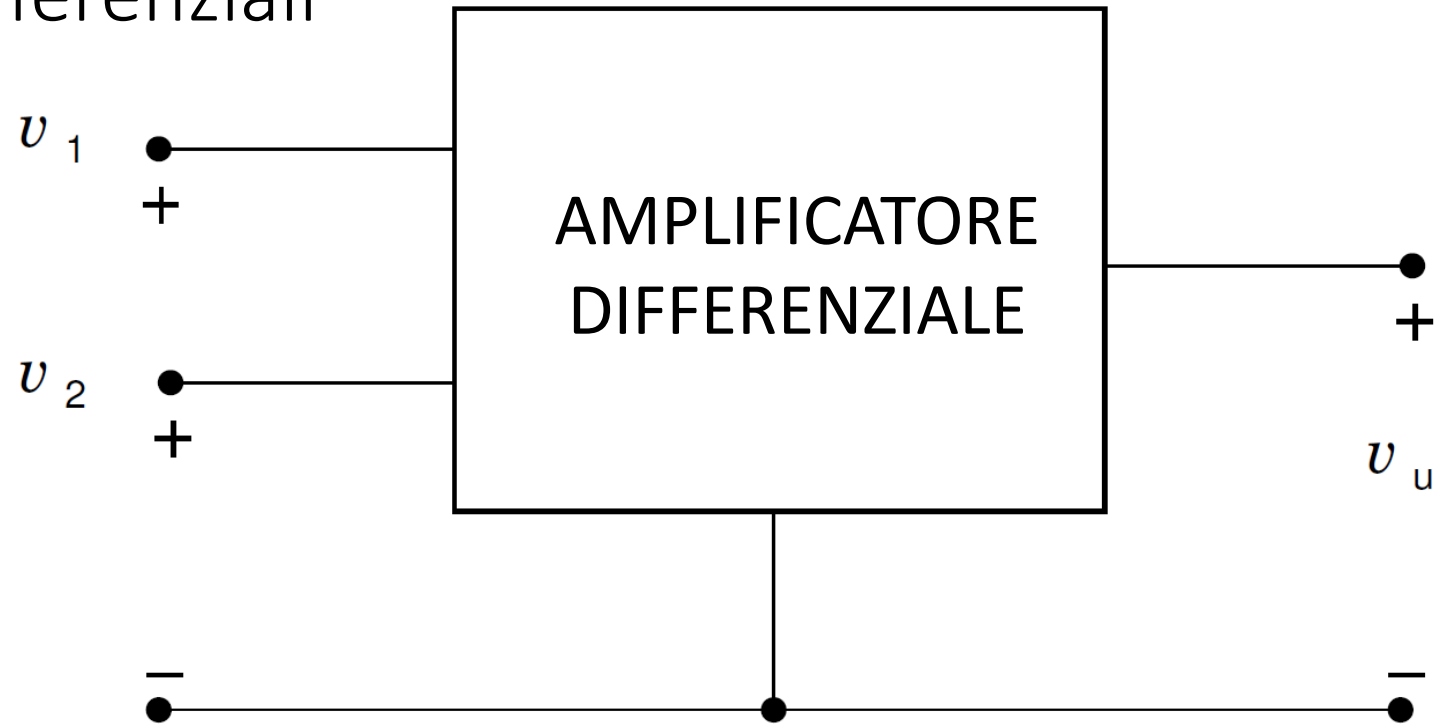
$$v_u = A_d (v_1 - v_2)$$

Amplificatori differenziali

L'utilizzo di un amplificatore differenziale risulta particolarmente utile in quei casi in cui sono presenti prevalentemente disturbi a modo comune, come quelli, per esempio, indotti da accoppiamenti elettrostatici tra i cavi di rete a 50 Hz e le linee microfoniche.



Amplificatori differenziali



$$v_d = v_1 - v_2$$

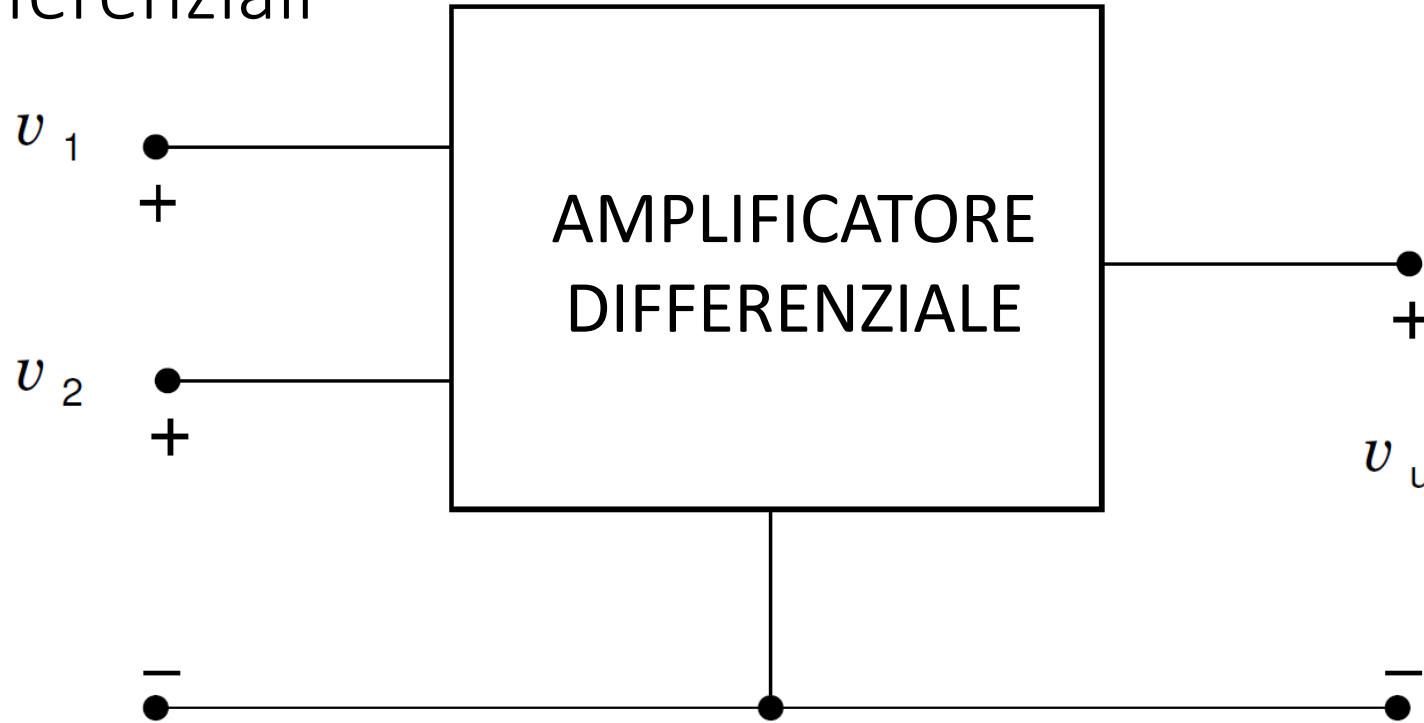
Segnale a modo differenziale

$$v_c = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

Segnale a modo comune

$$\begin{cases} v_1 = \frac{v_d}{2} + v_c \\ v_2 = -\frac{v_d}{2} + v_c \end{cases}$$

Amplificatori differenziali



$$v_d = v_1 - v_2$$

$$v_c = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

$$A_d = \frac{v_u}{v_d}$$

Guadagno a modo differenziale

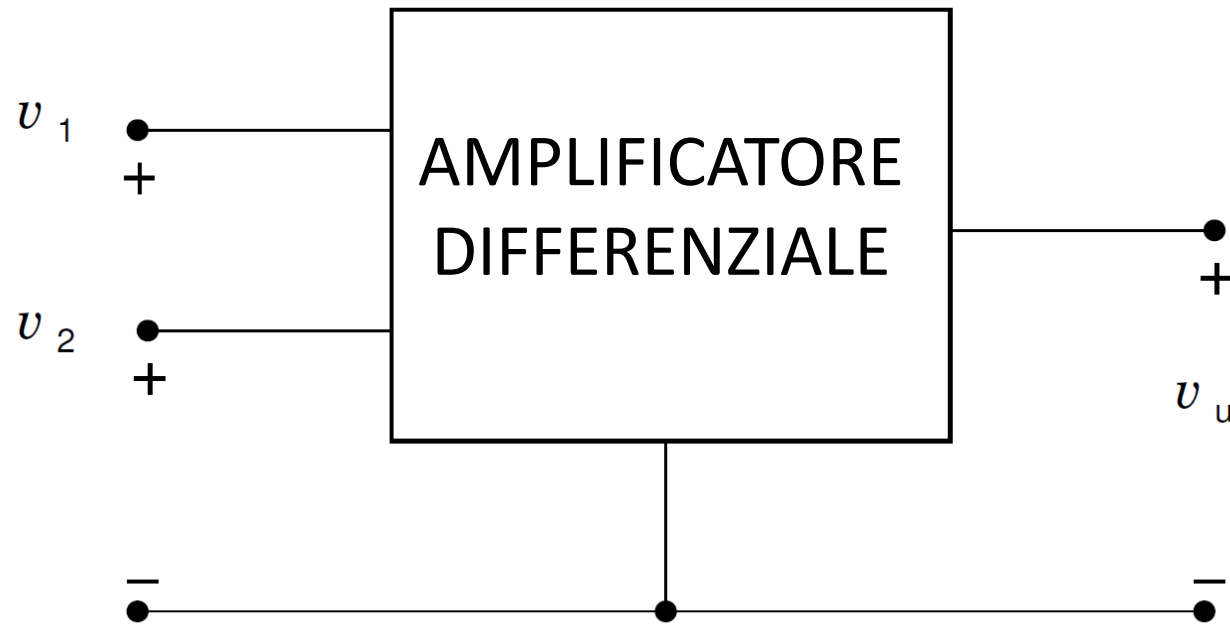
$$A_c = \frac{v_u}{v_c}$$

Guadagno a modo comune

$$CMRR = \frac{A_d}{A_c}$$

Rapporto di reiezione
del modo comune
(Common Mode
Rejection Ratio)

Amplificatori differenziali



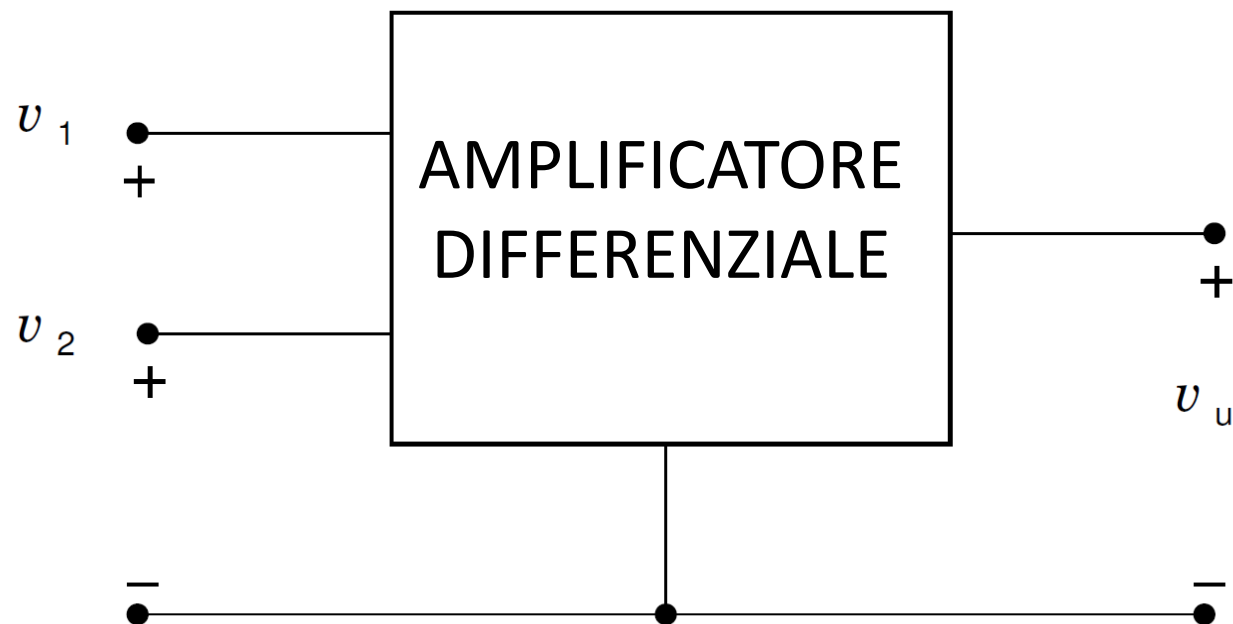
$$\begin{cases} v_d = v_1 - v_2 \\ v_c = \frac{v_1 + v_2}{2} \end{cases} \longleftrightarrow \begin{cases} v_1 = \frac{v_d}{2} + v_c \\ v_2 = -\frac{v_d}{2} + v_c \end{cases}$$

$$v_u = A_1 v_1 + A_2 v_2 = A_1 \left(\frac{v_d}{2} + v_c \right) + A_2 \left(-\frac{v_d}{2} + v_c \right)$$

$$v_u = \frac{A_1 - A_2}{2} v_d + (A_1 + A_2) v_c = A_d v_d + A_c v_c$$

$$\Rightarrow \begin{cases} A_d = \frac{A_1 - A_2}{2} \\ A_c = A_1 + A_2 \end{cases}$$

Amplificatori differenziali



$$\begin{cases} v_d = v_1 - v_2 \\ v_c = \frac{v_1 + v_2}{2} \end{cases} \longleftrightarrow \begin{cases} v_1 = \frac{v_d}{2} + v_c \\ v_2 = -\frac{v_d}{2} + v_c \end{cases}$$

$$\begin{cases} A_d = \frac{A_1 - A_2}{2} \\ A_c = A_1 + A_2 \end{cases} \longleftrightarrow \begin{cases} A_1 = A_d + \frac{A_c}{2} \\ A_2 = -A_d + \frac{A_c}{2} \end{cases}$$

Amplificatori operazionali

L'amplificatore operazionale ("op amp" o semplicemente "operazionale") è un amplificatore con le seguenti caratteristiche principali:

- ingresso differenziale
- guadagno molto elevato
- accoppiato in continua (banda che si estende fino a frequenza nulla)

Il nome “operazionale” deriva dal fatto che esso venne inizialmente concepito per la realizzazione di operazioni di somma e sottrazione tra segnali all’interno di circuiti più complessi.

I primi amplificatori operazionali erano costruiti utilizzando componenti discreti e avevano un costo proibitivo (decine di dollari). Intorno alla metà degli anni '60 fu il prodotto il primo operazionale su circuito integrato: il μA 709. Nonostante caratteristiche non eccellenti e un costo ancora elevato l'apparizione di tale dispositivo segnò l'inizio di una nuova era nel progetto dei circuiti elettronici. In pochi anni furono disponibili operazionali di elevata qualità a prezzi estremamente bassi (decine di centesimi di dollaro). Una delle ragioni della popolarità degli operazionali risiede nella loro versatilità.

Amplificatori operazionali

Ingresso non invertente



+



-

Ingresso invertente

uscita



+



-



V_{CC}

V_{EE}



V_{CC}



$-V_{EE}$



+

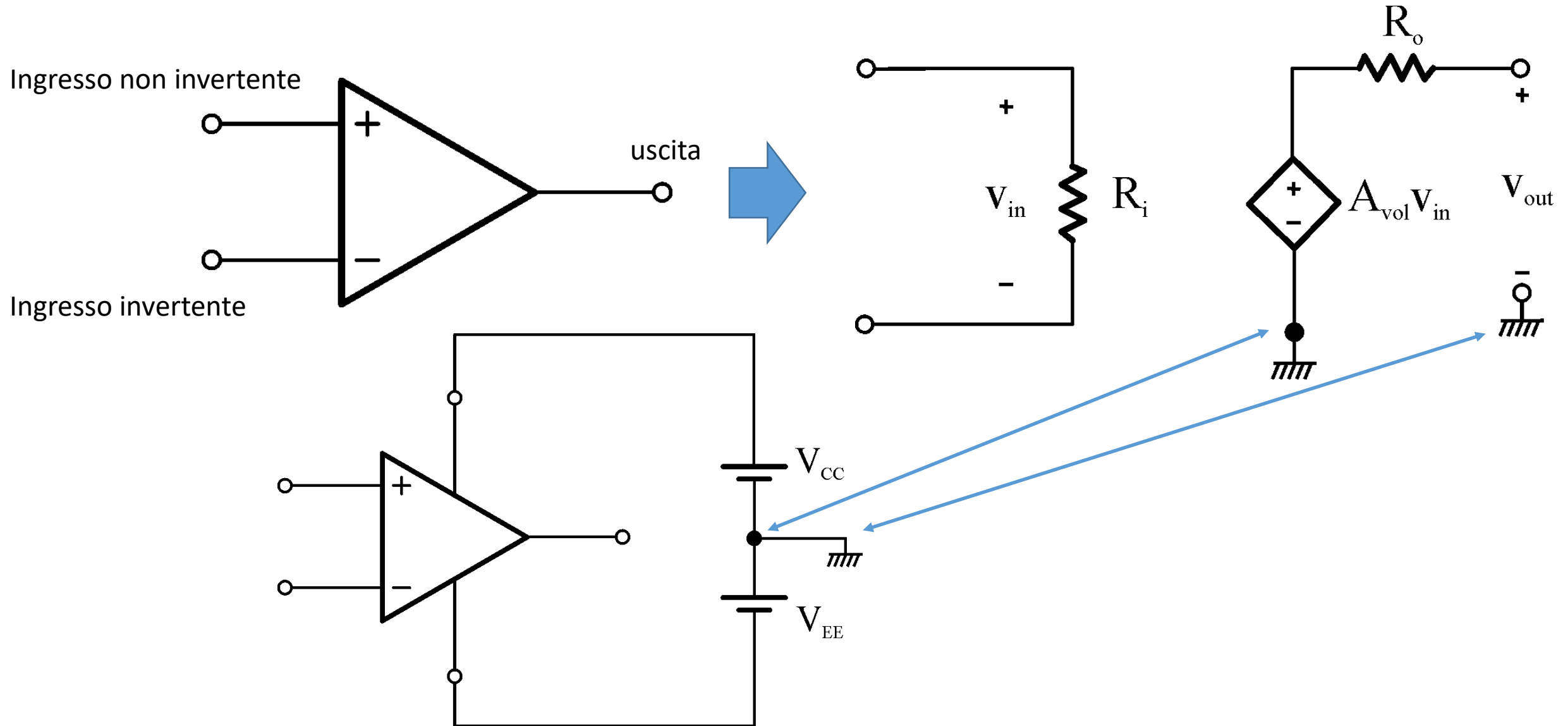


-



Amplificatori operazionali

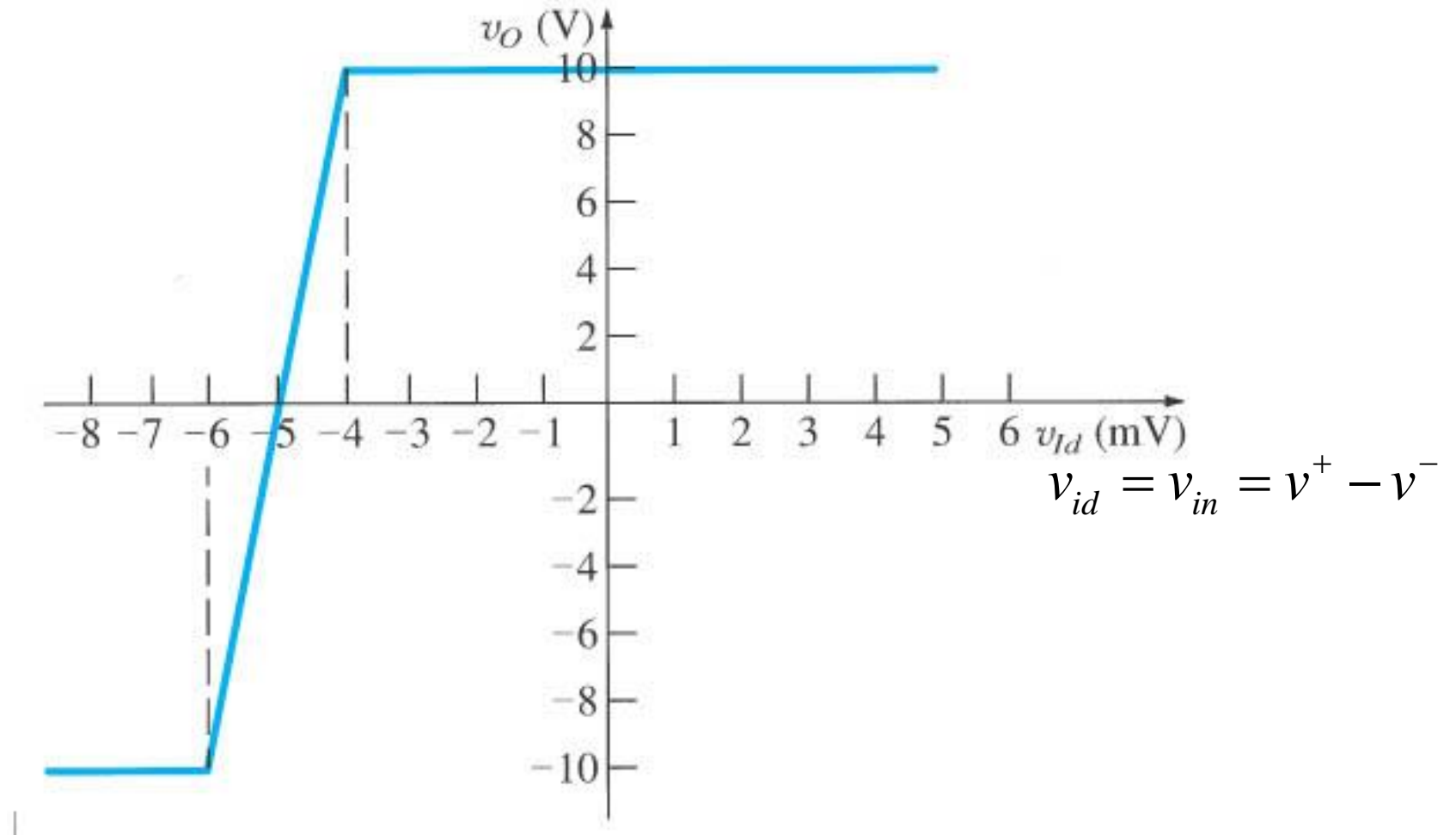
Circuito equivalente per le variazioni



Amplificatori operazionali

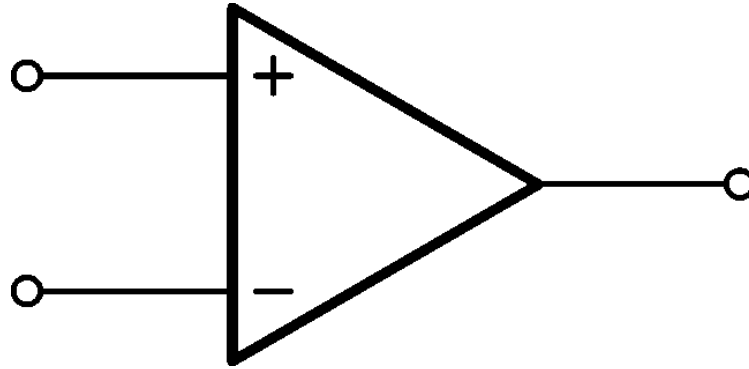
Proprietà	Operazionale ideale	Operazionale reale (μA 741)
Amplificazione ad anello aperto (A_{vol})	∞	10^5
Resistenza di ingresso (R_i)	∞	2 MΩ
Resistenza di uscita (R_o)	0	25 Ω
Banda	∞	4-8 Hz
Prodotto Guadagno Banda	∞	1 MHz
CMRR	∞	90 dB

Amplificatori operazionali



Caratteristica di trasferimento di un operazionale con $A_{v_{ol}}=10^4$, livelli di saturazione di ± 10 V e tensione di offset di 5 mV.

Amplificatori operazionali – Metodo del corto circuito virtuale



$$\left. \begin{array}{l} v_o \text{ limitata} \\ A_{vol} \text{ molto elevata} \end{array} \right\} \rightarrow v_{in} \approx 0 \quad \longleftrightarrow \quad \boxed{v^+ \approx v^-} \quad \longrightarrow \quad \boxed{\begin{array}{l} i^+ \approx 0 \\ i^- \approx 0 \end{array}}$$

Applicabile se sono soddisfatte le seguenti condizioni:

1. L'amplificatore operazionale non è saturo, ovvero funziona in zona lineare
2. Il modulo del guadagno di anello ($|\beta A|$) della rete in reazione nella quale l'operazionale è inserito è molto maggiore dell'unità

Amplificatori invertente

$$v^+ \approx v^- \rightarrow V^- = V^+ = 0$$

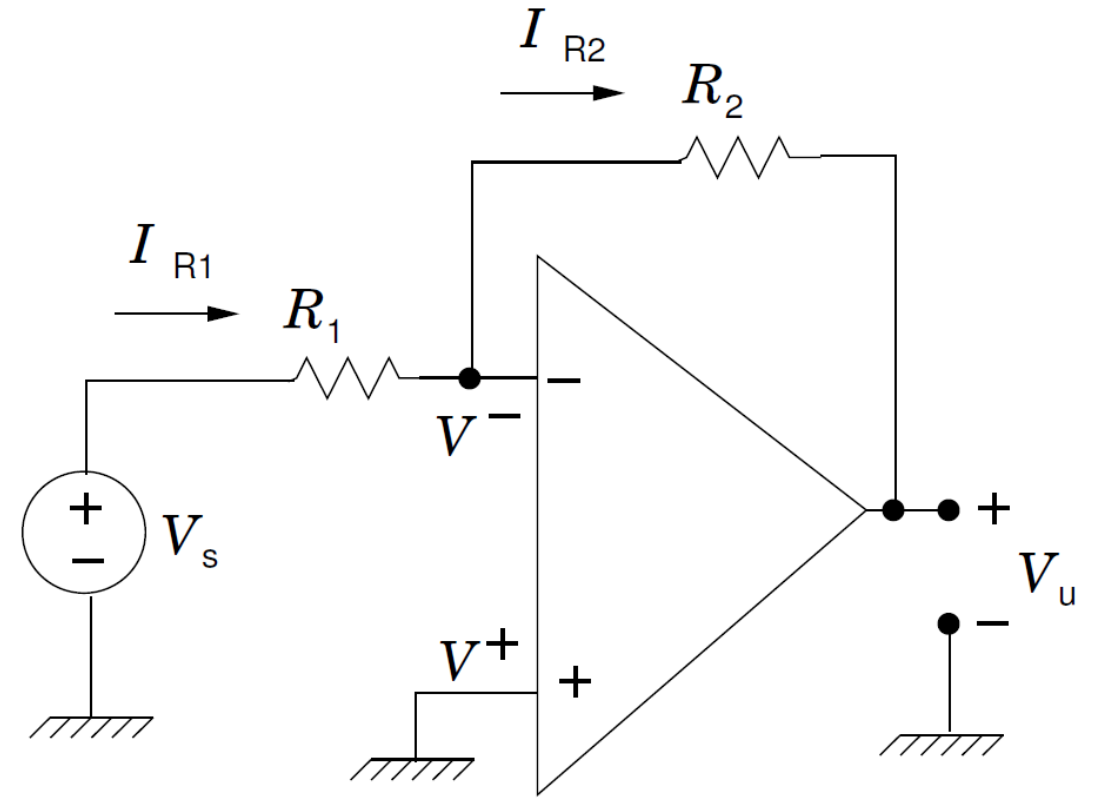
$$\begin{aligned} i^+ &\approx 0 \\ i^- &\approx 0 \end{aligned} \rightarrow I_{R1} = I_{R2}$$

$$V_s = R_1 I_{R1} \rightarrow I_{R1} = \frac{V_s}{R_1}$$

$$V_u = -R_2 I_{R2} = -R_2 I_{R1}$$

$$V_u = -R_2 \frac{V_s}{R_1}$$

$$A = \frac{V_u}{V_s} = -\frac{R_2}{R_1}$$



Amplificatori invertente

$$v^+ \approx v^- \quad \longrightarrow \quad V^- = V^+ = 0$$

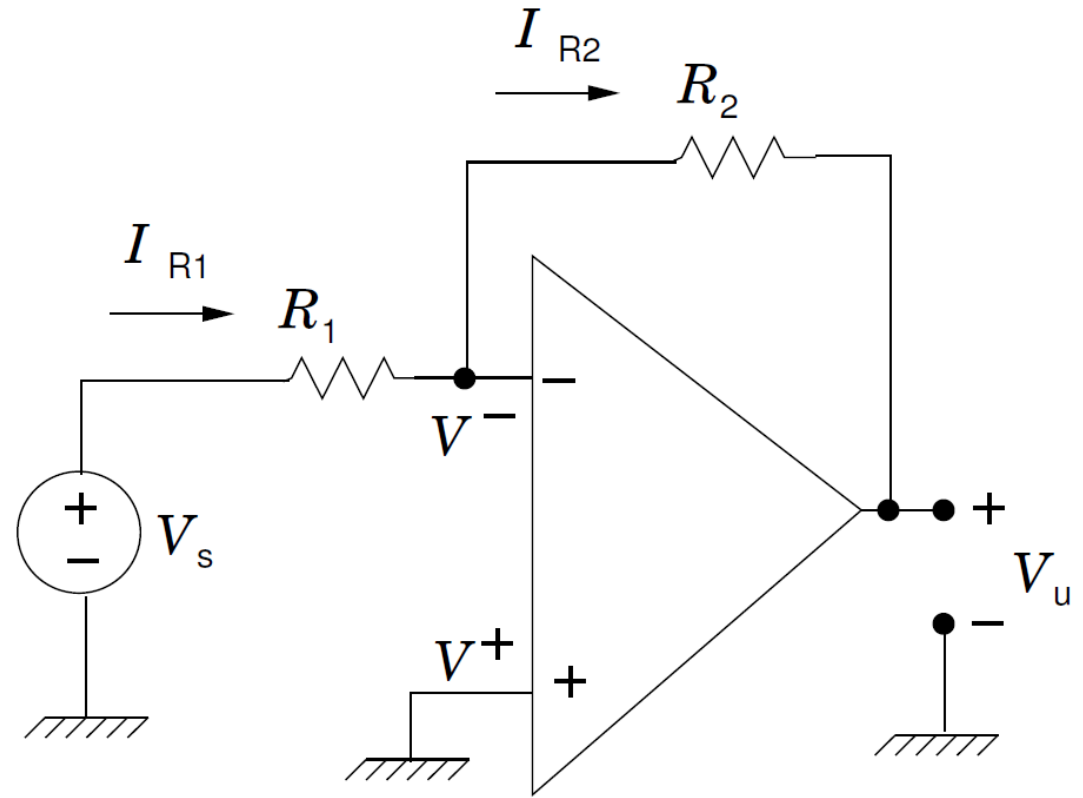
$$\begin{array}{l} i^+ \approx 0 \\ i^- \approx 0 \end{array} \quad \longrightarrow \quad I_{R1} = I_{R2}$$

$$A = \frac{V_u}{V_s} = -\frac{R_2}{R_1}$$

$$R_{of} \approx 0$$

Reazione di tensione

$$\left(I_{R1} = \frac{V_s}{R_1} \right) \longrightarrow R_{if} = R_1$$



Amplificatori non invertente

$$v^+ \approx v^- \rightarrow V^- = V^+ = V_s$$

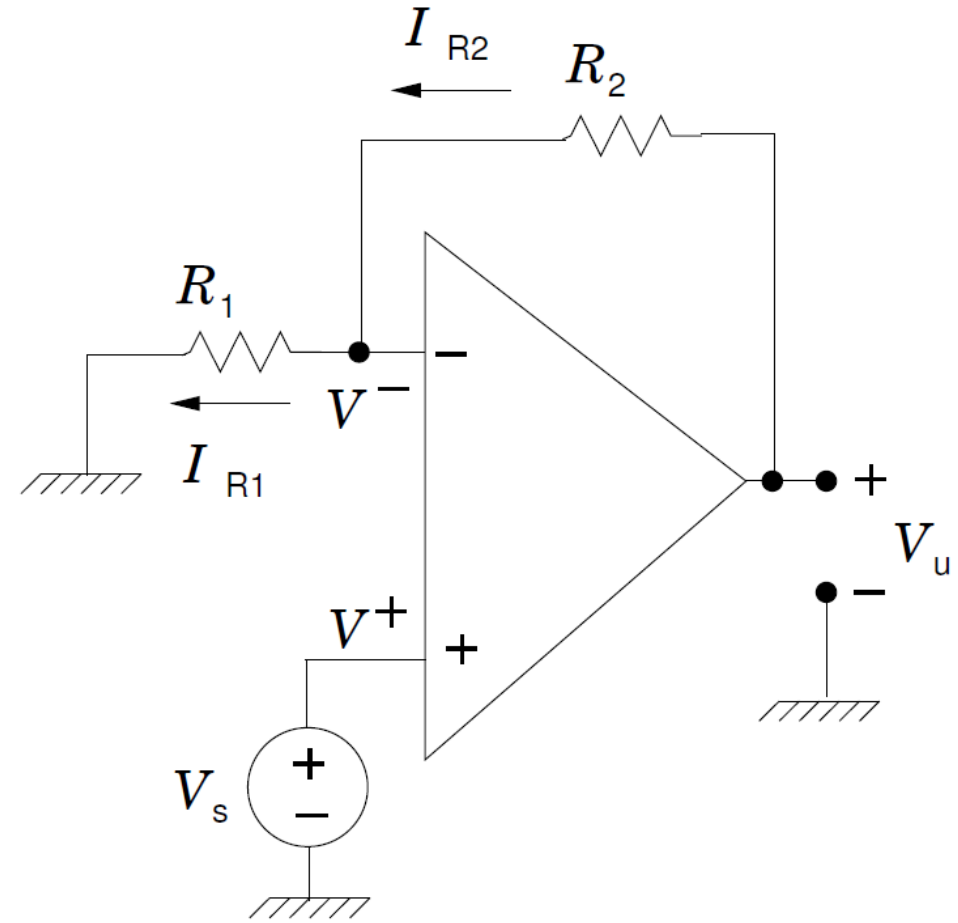
$$\begin{array}{l} i^+ \approx 0 \\ i^- \approx 0 \end{array} \rightarrow I_{R1} = I_{R2}$$

$$I_{R1} = \frac{V^-}{R_1} = \frac{V_s}{R_1}$$

$$V_u = (R_2 + R_1) I_{R1}$$

$$V_u = (R_1 + R_2) \frac{V_s}{R_1}$$

$$A = \frac{V_u}{V_s} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$



Amplificatori non invertente

$$v^+ \approx v^- \quad \longrightarrow \quad V^- = V^+ = V_s$$

$$\begin{array}{l} i^+ \approx 0 \\ i^- \approx 0 \end{array} \quad \longrightarrow \quad I_{R1} = I_{R2}$$

$$A = \frac{V_u}{V_s} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$R_{of} \approx 0$$

$$R_{if} \rightarrow \infty$$

Reazione di tensione

