

GLI AMPLIFICATORI OPERAZIONALI

Lezione 1
Lezione 2
Lezione 3

Amplificazione e Decibel

L'amplificatore operazionale: caratteristiche e parametri statici e dinamici

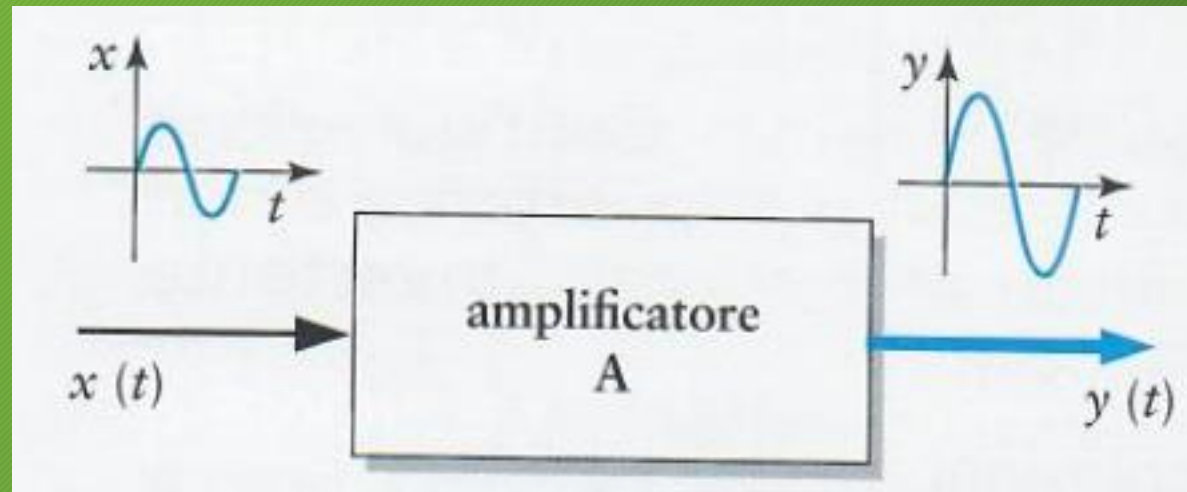
- Nei sistemi elettrici ed elettronici abbiamo spesso segnali (es. tensioni) di ampiezze molto basse (spesso dell'ordine dei microvolt) prodotte per esempio da sensori o trasduttori.
- Questi segnali per poter essere manipolati e inviati ad altri dispositivi (relè o contattori) devono essere opportunamente amplificati poiché i dispositivi di comando elettrico operano con tensioni dell'ordine dei Volt e non «sentono» tensioni basse o bassissime dell'ordine dei microvolt.

- Per amplificazione, in elettronica, si intende un sistema capace di aumentare l'ampiezza di un segnale **mantenendo invariata la sua forma e la sua frequenza.**
- I sistemi capaci di fare ciò sono di fatto **circuiti elettronici** che vengono detti **AMPLIFICATORI.**

L'amplificazione

4

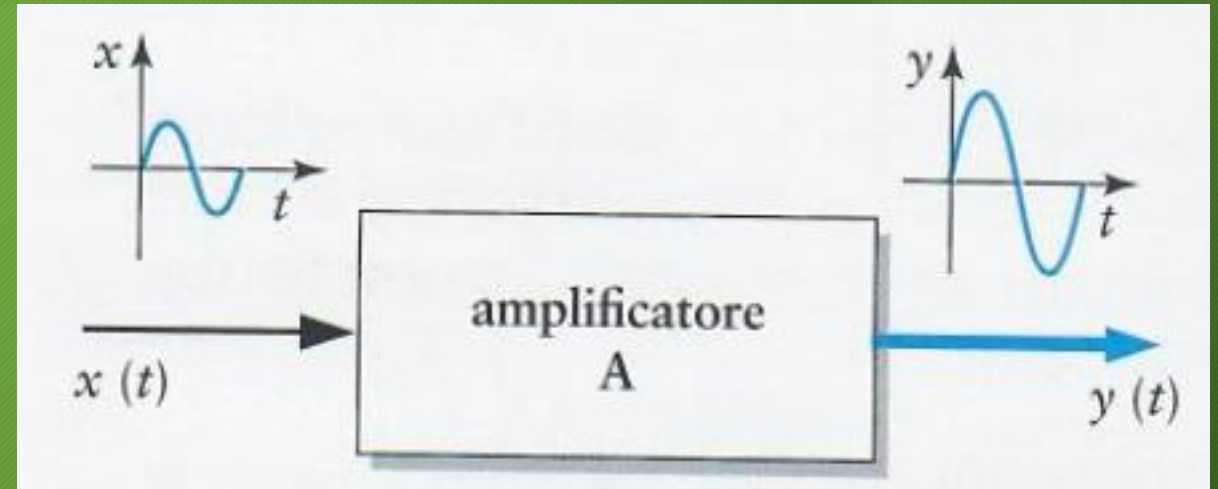
- I sistemi capaci di fare ciò sono di fatto **circuiti elettronici** che vengono detti **AMPLIFICATORI** possono essere schematizzati mediante il seguente schema a blocchi.



L'amplificazione

5

Nello schema a blocchi in figura:
il segnale $x(t)$ viene detto **INGRESSO**
il segnale $y(t)$ viene detto **USCITA**



Il rapporto tra il segnale d'uscita e il segnale di ingresso è detto:

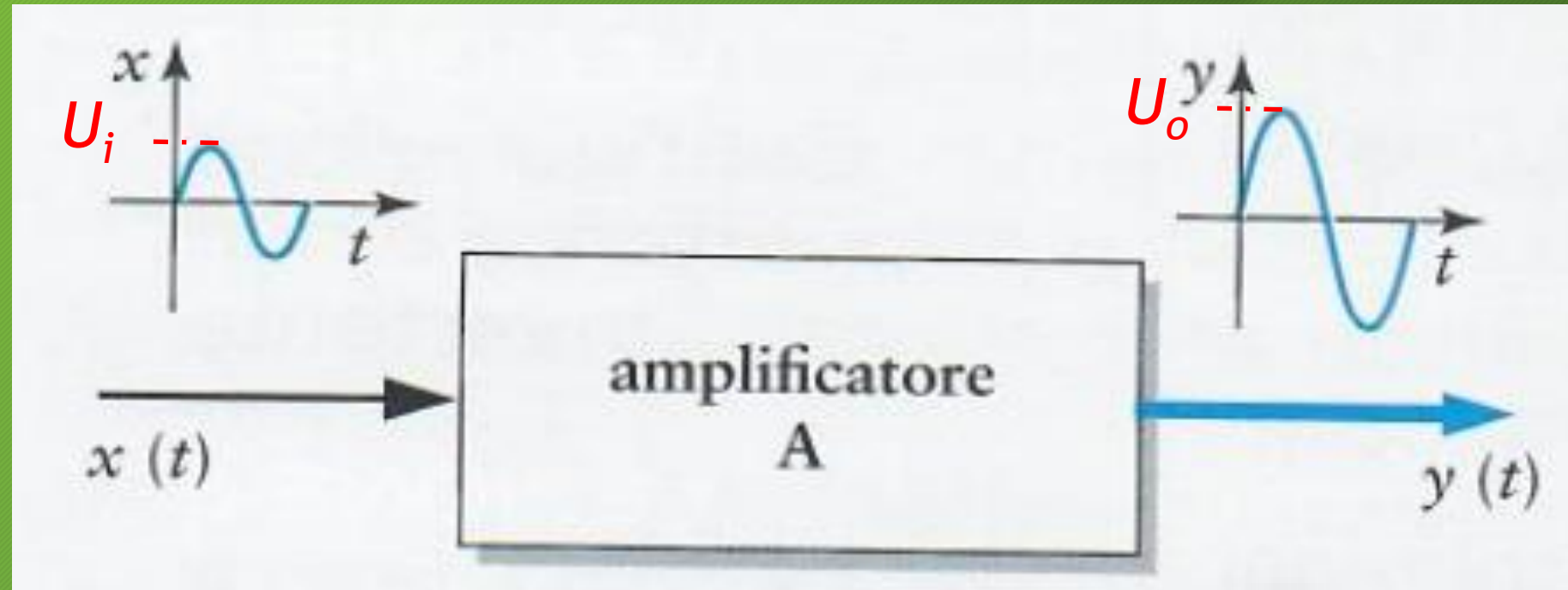
GUADAGNO (G) o anche **AMPLIFICAZIONE (A)**

L'amplificazione

6

Il GUADAGNO (G) o
AMPLIFICAZIONE (A)
è quindi:

$$A = \frac{y(t)}{x(t)}$$



Se valutiamo solo il valore massimo
dei due segnali $x(t)$ e $y(t)$ si ha che:

$$A = \frac{U_o}{U_i}$$

Se i due segnali U_o e U_i sono di tensione allora scriveremo:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i}$$

Se i due segnali U_o e U_i sono di corrente allora scriveremo:

$$A_I = \frac{I_o}{I_i}$$

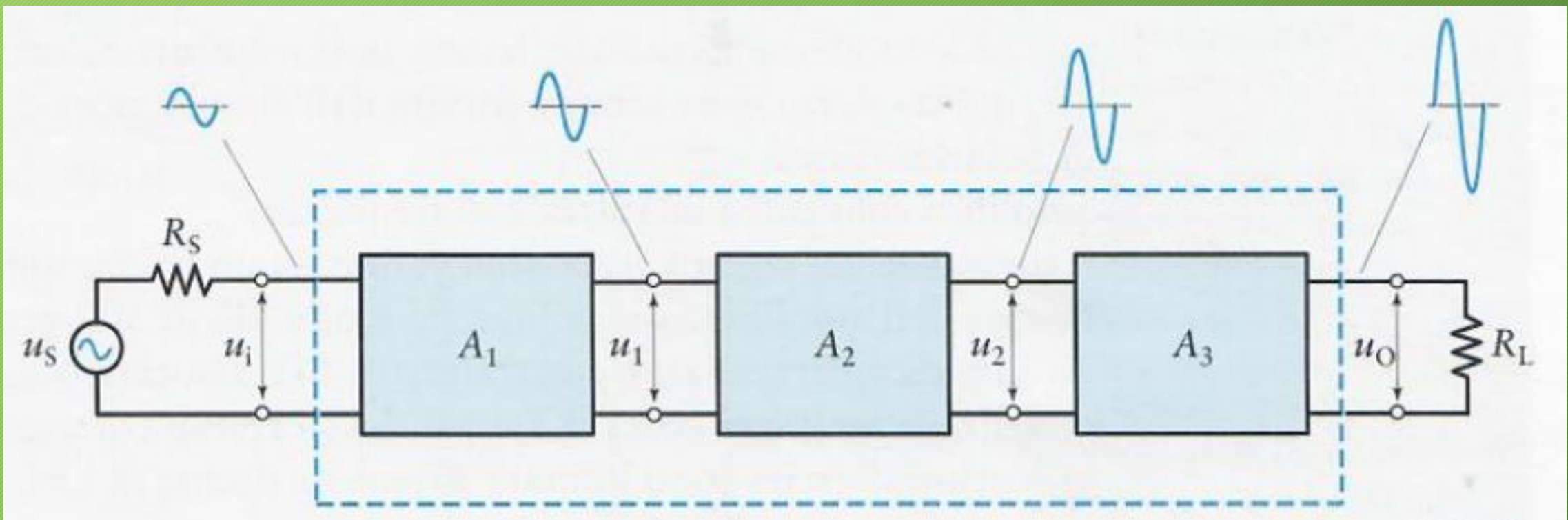
Se i due segnali U_o e U_i sono di potenza allora scriveremo:

$$A_P = \frac{P_o}{P_i}$$

Amplificazione a più stadi

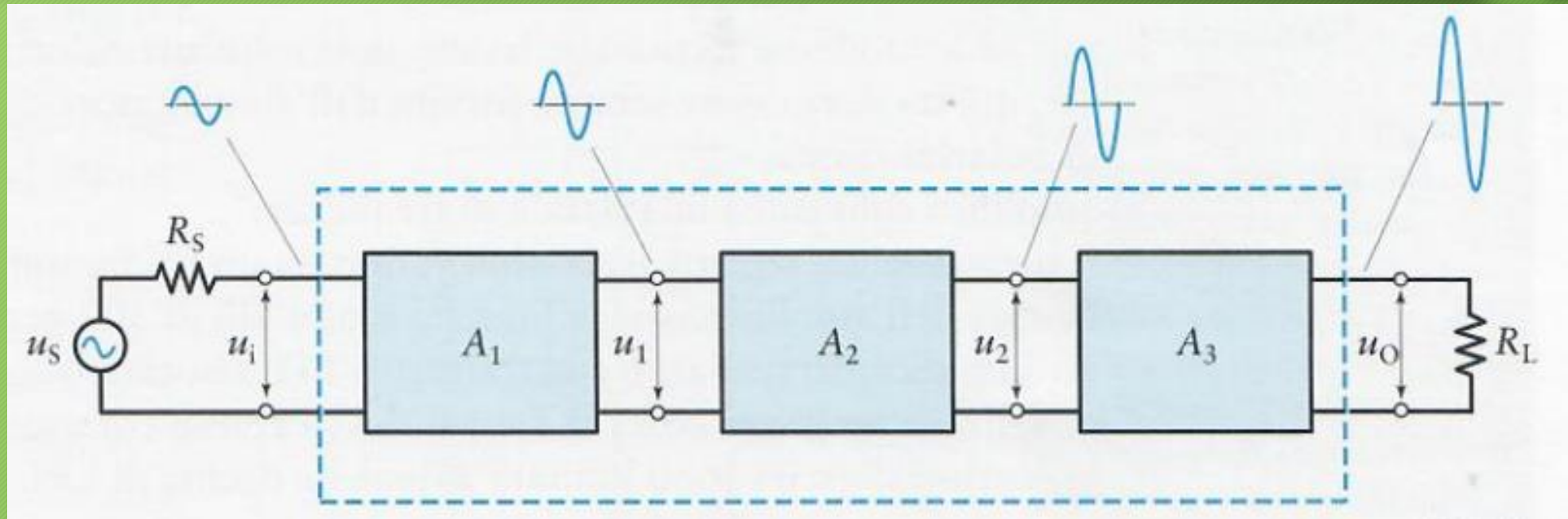
8

E' possibile avere **più stadi di amplificazione** cioè più circuiti in «cascata» dove l'uscita di un circuito costituisce l'ingresso del circuito successivo



Amplificazione a più stadi

9



In questo caso l'amplificazione totale (A_{tot}) è data dal prodotto delle singole amplificazioni:

$$A_{tot} = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3$$

Tipologie di amplificatori

10

Gli
amplificatori
possono
essere
suddivisi in
4 tipologie:

Noi vedremo gli
**Amplificatori
Operazionali** che
rientrano tra
quelli ad
accoppiamento
diretto.

Amplificatori di bassa frequenza. Sono destinati ad operare con frequenze acustiche (da pochi hertz a circa 20 kHz) e sono usati essenzialmente nelle apparecchiature per la riproduzione sonora quali radio, stereo, TV ecc.

Amplificatori ad accoppiamento diretto. Sono dispositivi in grado di amplificare segnali che vanno da frequenza zero (componenti continue) fino a una certa frequenza. Rientrano in questo tipo gli amplificatori operazionali.

Amplificatori a larga banda. Si tratta di amplificatori in grado di amplificare una larga banda di frequenze che può andare da poche frazioni di hertz fino a qualche megahertz; sono impiegati soprattutto nell'amplificazione di segnali video o di tipo impulsivo.

Amplificatori selettivi. Sono tutti quelli in grado di amplificare una gamma ristretta di frequenze centrata attorno a una frequenza detta **frequenza portante**; sono impiegati soprattutto nei ricevitori radio-TV.

Prima di iniziare lo studio degli amplificatori operazionali però introduciamo la definizione di Decibel poiché l'amplificazione viene generalmente espressa facendo uso del **Decibel (dB)**.

$$A_V(dB) = 20 * \log_{10} |A_V| \quad \rightarrow \text{Guadagno di } \text{tensione} \text{ in decibel}$$

$$A_I(dB) = 20 * \log_{10} |A_I| \quad \rightarrow \text{Guadagno di } \text{corrente} \text{ in decibel}$$

$$A_P(dB) = 10 * \log_{10} |A_P| \quad \rightarrow \text{Guadagno di } \text{potenza} \text{ in decibel}$$

Alcuni esercizi sull'utilizzo del decibel:

1. Sapendo che il guadagno di tensione è pari a $A_v=12$ quanto vale esprimendolo in decibel cioè $A_v \text{ dB} = ?$

R1. $A_v \text{ dB} = 20 \cdot \text{Log}_{10} (12) = 20 \cdot (1,08) = \underline{21,6 \text{ dB}}$

2. Sapendo che il guadagno di potenza è pari a $A_p=12$ quanto vale esprimendolo in decibel cioè $A_p \text{ dB} = ?$

R2. $A_p \text{ dB} = 10 \cdot \text{Log}_{10} (12) = 10 \cdot (1,08) = \underline{10,8 \text{ dB}}$

Alcuni esercizi sull'utilizzo del decibel:

3. Sapendo che il guadagno di tensione è pari a $A_v=3$ dB quanto vale esprimendolo come numero puro cioè $A_v = ?$

R3. $A_v = 10^{(3/20)} = 10^{(0,15)} = \underline{1,41}$

4. Sapendo che il guadagno di potenza è pari a $A_p=3$ dB quanto vale esprimendolo come numero puro ?

R4. $A_p = 10^{(3/10)} = 10^{(0,3)} = \underline{2}$

Formulario

Dal numero puro al decibel

$$A_V(dB) = 20 * \text{Log}_{10} |A_v|$$

$$A_I(dB) = 20 * \text{Log}_{10} |A_I|$$

$$A_P(dB) = 10 * \text{Log}_{10} |A_P|$$

Dal decibel al numero puro

$$A_V = 10^{\frac{A_V \text{ db}}{20}}$$

$$A_I = 10^{\frac{A_I \text{ db}}{20}}$$

$$A_P = 10^{\frac{A_P \text{ db}}{10}}$$

L'Amplificatore Operazionale

15

Vediamo due video introduttivi sull'Amplificatore Operazionale:

1° link (15 min. circa): <https://youtu.be/pH6FSxZ0xe4>

2° link (11 min. circa): <https://youtu.be/AmnpZWnXUGk>

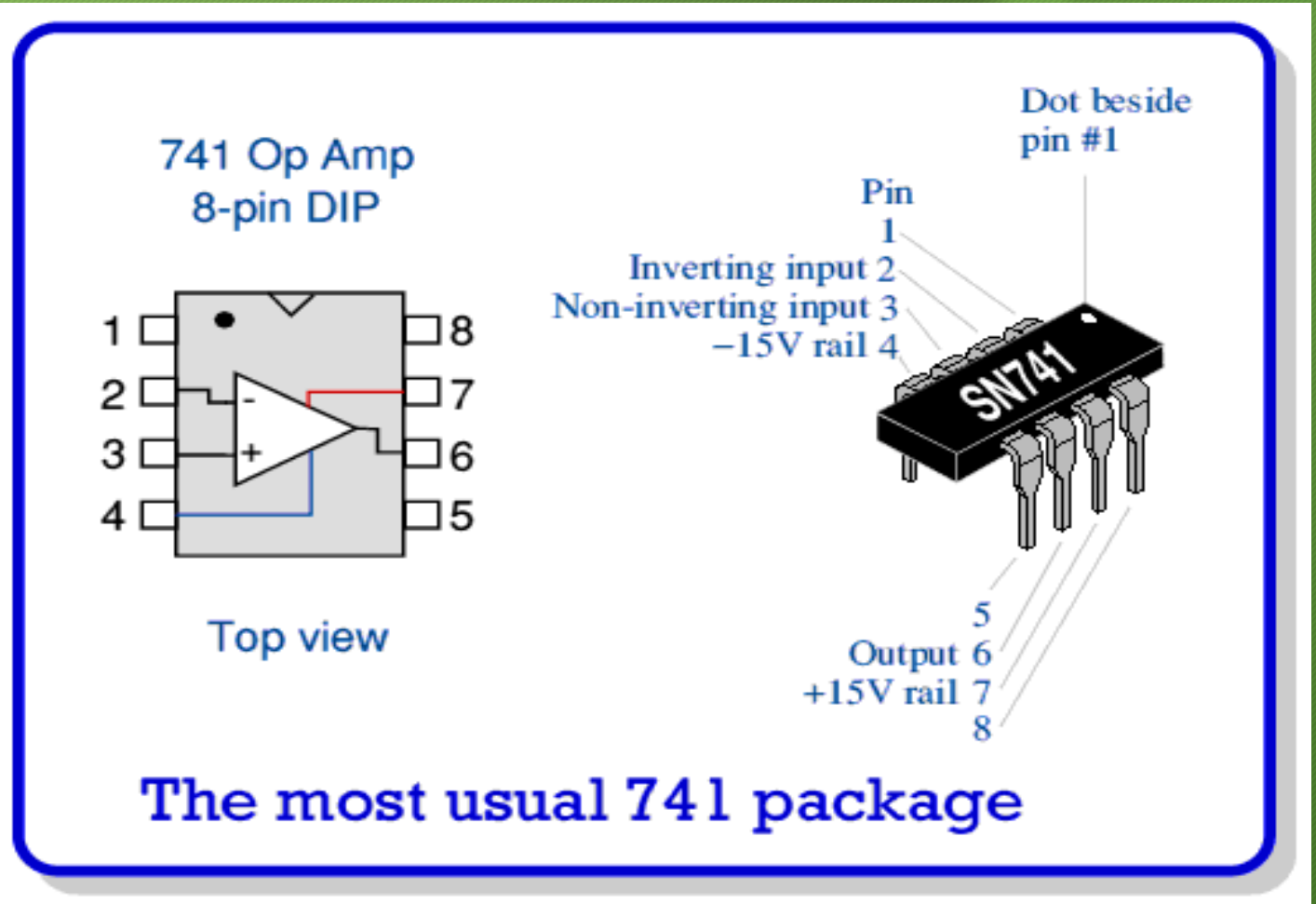
Poi riassumiamo schematicamente le sue caratteristiche costruttive principali.

L'Amplificatore Operazionale

16

Le Nella pratica un amplificatore operazionale si presenta come un circuito integrato con 8 pin ("piedini" o connessioni esterne).

Ciascun pin ha una specifica funzione.



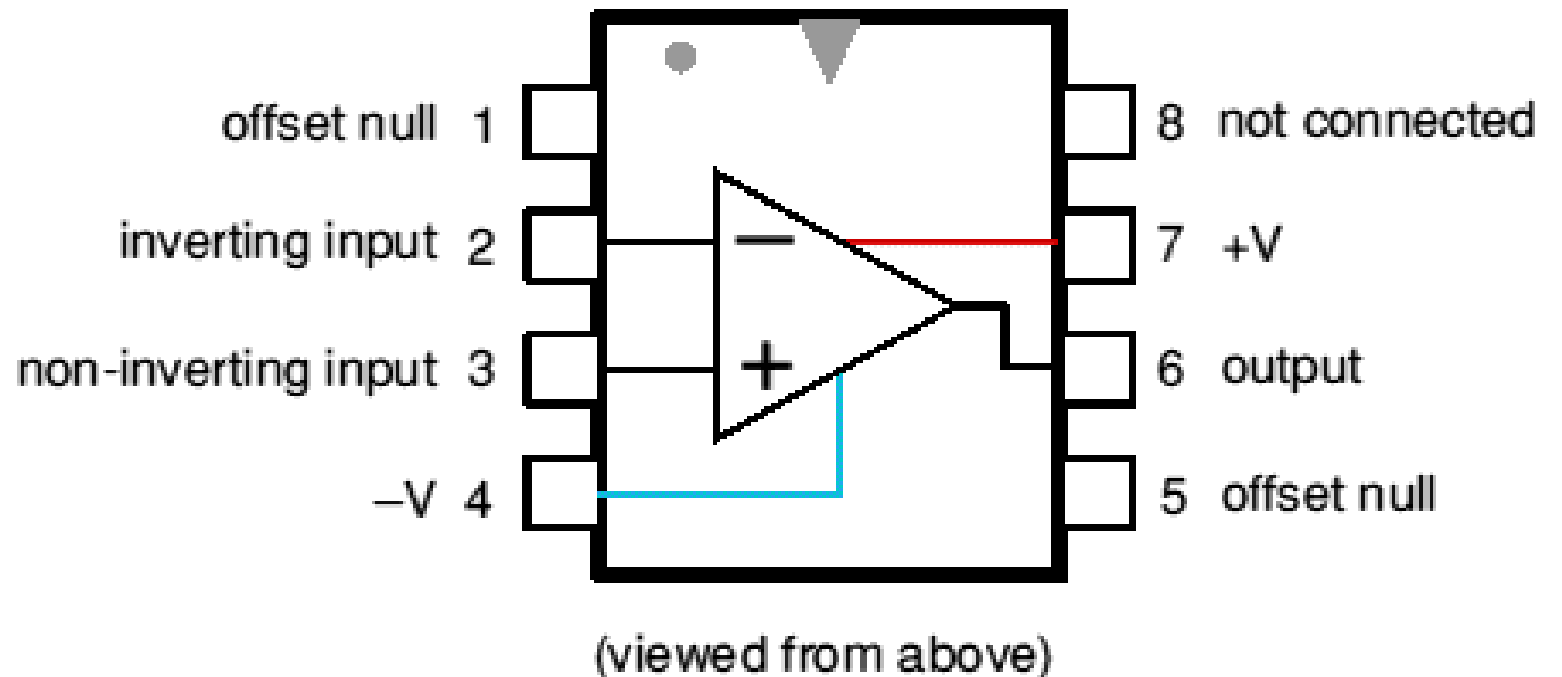
L'Amplificatore Operazionale

17

I pin sono i seguenti:

1. Morsetto di annullamento della tensione di Offset
2. **INGRESSO INVERTENTE**
3. **INGRESSO NON INVERTENTE**
4. Tensione di alimentazione negativa ($-V_{cc}$)
5. Morsetto di annullamento della tensione di Offset
6. **USCITA**
7. Tensione di alimentazione positiva ($+V_{cc}$)
8. Pin senza connessione

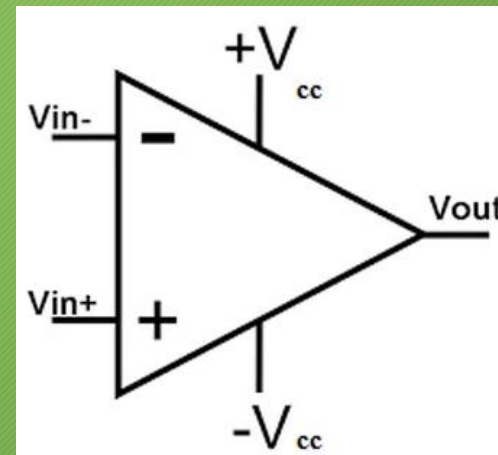
741 in 8-pin DIL (Dual In Line) pack



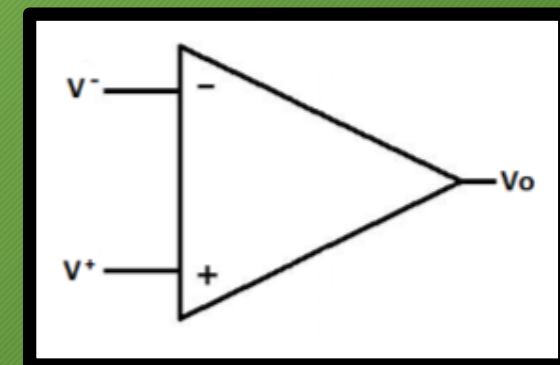
L'Amplificatore Operazionale (A.O.)

18

Un simbolo dell'A.O. è il seguente:



Ma nei circuiti si semplifica ulteriormente con il seguente simbolo:



PARAMETRI STATICI e DINAMICI dell'amplificatore operazionale

19

Sono considerati **PARAMETRI STATICI** tutti quelli che sono indipendenti dal tempo o dalla frequenza del segnale d'ingresso.

Mentre sono detti **PARAMETRI DINAMICI** quelli che variano nel tempo o secondo la frequenza del segnale d'ingresso.

I principali **PARAMTERI STATICI** sono:

1. **Tensione di Offset:** è la tensione che deve essere applicata ad un A.O. per ottenere in uscita una tensione nulla. In teoria, l'uscita dell'amplificatore operazionale dovrebbe assumere un valore di potenziale nullo quando ad entrambi i suoi ingressi viene applicata la stessa tensione. In realtà, negli amplificatori reali ciò non accade; pertanto, molti dispositivi progettati per l'impiego in circuiti di precisione, presentano una coppia di pin preposti appunto per la taratura della tensione di offset tramite un trimmer. La differenza tra le correnti dei due ingressi quando l'operazionale è a riposo è detta corrente di offset.

I principali **PARAMTERI STATICI** sono:

2. Potenza totale dissipata: è la potenza dissipata P_D (*power dissipation*) in corrente continua dall'operazionale in assenza di carico.

Questa potenza vale:

$$P_D = +V_{cc+} \cdot I_{cc+} + V_{cc-} \cdot I_{cc-}$$

dove I_{cc+} e I_{cc-} sono le correnti assorbite dai pin + e – dell'alimentazione.

I principali **PARAMTERI STATICI** sono:

3. **Resistenza di ingresso R_i** : è la resistenza presente all'ingresso invertente e non invertente (*valore molto alto che può raggiungere $1T\Omega$*)
4. **Resistenza d'uscita R_o** : è la resistenza presente all'uscita dell'A.O. (*valore molto basso circa pari a 0Ω*)
5. **Escursione della tensione d'uscita V_{opp}** : è la massima tensione picco-picco che si può avere in uscita dall'A.O. senza che vada in saturatione.

I principali **PARAMETRI DINAMICI** sono:

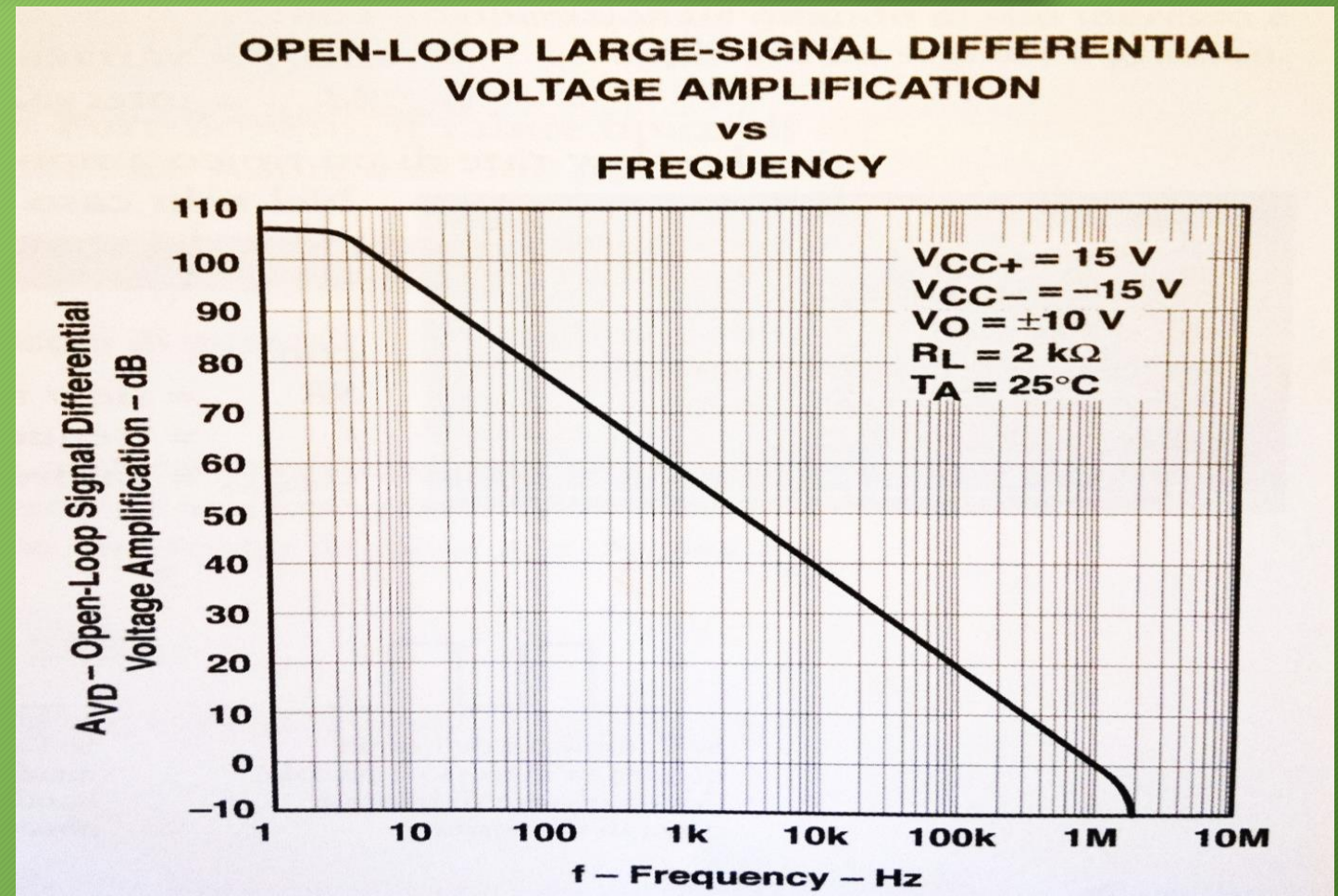
1. **Guadagno di tensione differenziale (A_{OL}):** È il guadagno di tensione ad anello aperto (*open loop amplification*), pari al rapporto tra la tensione d'uscita e quella d'ingresso in assenza di rete di reazione. Di solito è espresso in numero puro o in decibel ed ha valori compresi tra 10000 (80 dB) e 1000000 (120 dB). Generalmente si assume 10^5 (100 dB). Tale guadagno dipende però dalla frequenza del segnale d'ingresso. Per un A.O. ideale è assunto pari a infinito.

PARAMETRI DINAMICI dell'A.O.

24

1. Guadagno di tensione differenziale (A_{OL})

in figura è rappresentato l'andamento del guadagno di tensione ad anello aperto AOL in funzione della frequenza del segnale di ingresso per l'A.O. mA741.



I principali **PARAMETRI DINAMICI** sono:

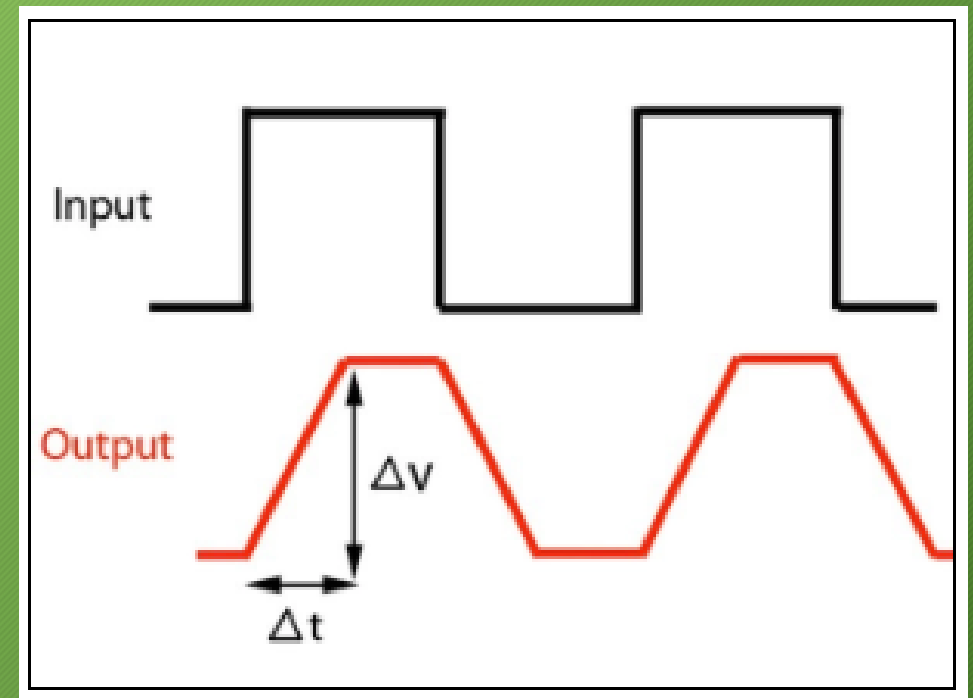
2. Rapporto di reiezione di modo comune(CMRR): E' un parametro che ci indica la «bontà» dell'A.O. (tanto più è elevato tanto migliore è l'A.O. (per un A.O. ideale il valore è assunto infinito).

Il suo significato è questo: in un A.O. la tensione d'uscita dovrebbe essere proporzionale solo alla differenza delle tensioni dei due ingressi cioè $V_{o1} = A_d(V1-V2)$. In realtà a causa di sbilanciamenti interni alla suddetta uscita si somma anche una uscita proporzionale alla semi-somma dei due ingressi cioè $V_{o2} = A_{cm} (V1+V2)/2$. Il **CMRR** è definito come il rapporto A_d/A_{cm} (espresso in decibel è dell'ordine di 120 dB). Un «buon» A.O. dovrà avere $A_{cm} \rightarrow 0$ cioè $V_{o2} \rightarrow 0$ e quindi il **CMRR** $\rightarrow \infty$.

I principali **PARAMETRI DINAMICI** sono:

3. Velocità di risposta SR (slew rate): è una grandezza elettrica che indica la velocità, espressa in volt per unità di tempo, con cui è capace di reagire l'A.O. sollecitato da un impulso di tensione. Analiticamente, osservando la figura sotto riportata lo SR altro non è che la derivata del fronte di salita dell'uscita cioè la pendenza del fronte di salita e quindi: **$SR = \Delta V / \Delta t$**

Il valore tipico dello SR di un A.O. è di 20 V/ μ s



PARAMETRI DINAMICI dell'A.O.

27

Una osservazione sullo SR

Se il segnale di ingresso dell'A.O. è un segnale sinusoidale di frequenza f [Mhz] allora per evitare distorsioni del segnale d'uscita è necessario che lo SR sia pari a:

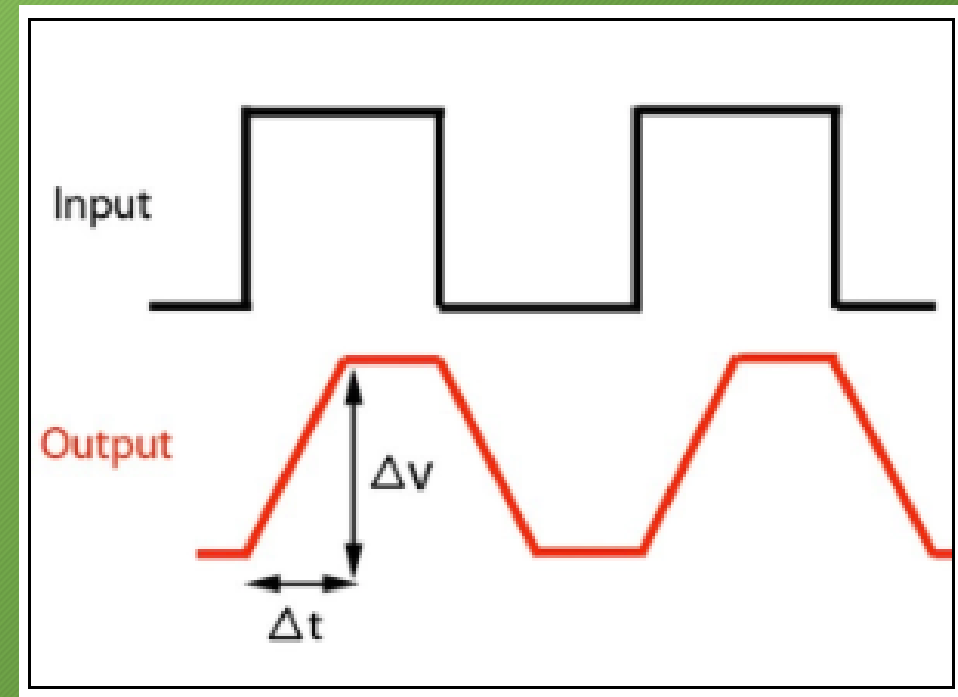
$$SR = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot V_{omax}$$

con

SR : slew rate in V/ μ s

f : frequenza segnale di ingresso in MHz

V_{omax} : valore massimo della tensione d'uscita in V



Bibliografia

- *Tecnologie elettrico-elettroniche e applicazioni - Vol.2 - M. Coppelli B- Stortoni - Ed. Mondadori*

Grazie

Prof. Enrico Cinalli