

p.i. Davide Cosciani

# OpAmp: come e perché

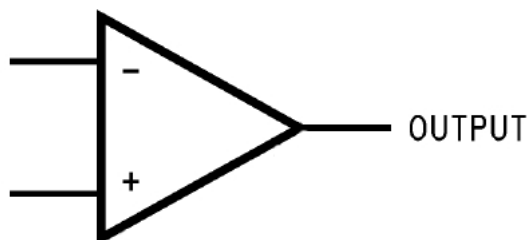
# Analisi per punti

- OpAmp, ovvero Amplificatore Operazionale

L'amplificatore operazionale (OpAmp) è il componente elettronico più versatile che esiste, ed è anche il componente elettronico il cui funzionamento pratico segue con la maggior fedeltà possibile quello teorico.

In realtà però esso non è un singolo componente, ma una integrazione di più componenti, per lo più transistori bipolari, integrati in un unico chip.

Pertanto non pensiamo di trovare in commercio OpAmp in contenitori a tre piedini (pin) come dei semplici transistori, la rappresentazione schematica a tre pin rappresenta una semplificazione grafica e circuitale, in effetti nella maggior parte dei casi poco importa ciò che si trova al suo interno, per realizzare un circuito funzionante è sufficiente conoscere i due pin d'ingresso e il pin d'uscita, oltre ovviamente ai due pin d'alimentazione.



- La rappresentazione grafica

L'OpAmp presenta due ingressi, uno *invertente* contrassegnato col segno “-”, e uno *non invertente*, contrassegnato col segno “+”.

- Cosa fa un OpAmp?

Lo “scopo della vita” di un OpAmp consiste nel realizzare l'equipotenzialità tra i suoi ingressi variando la tensione d'uscita.

Ossia l'operazionale aumenta o diminuisce la tensione d'uscita affinché la tensione presente all'ingresso *invertente* sia identica a quella presente all'ingresso *non invertente*.

Questo “prodigio” si realizza ogniqualvolta esiste una reazione tra uno dei due ingressi (o entrambi) e l'uscita. Per reazione intendo un collegamento elettrico, che può essere un semplice resistore, come un circuito complesso.

- Come funziona?

Per capire come funziona, bisogna sapere alcune cose.

In un Amplificatore Operazionale ideale:

1. L'impedenza d'ingresso (di ciascun ingresso) è infinita, ossia la corrente che entra in ingresso è nulla, ciascun ingresso "percepisce" la tensione presente ai suoi capi senza assorbire corrente alcuna (come un voltmetro ideale)
2. L'impedenza d'uscita è zero
3. L'amplificazione tra ingresso e uscita, qualora la reazione sia assente (=anello aperto ossia resistenza di reazione infinita), è infinita
4. Quando è presente una reazione tra uno dei due ingressi (o tra entrambi) e l'uscita, i due ingressi si trovano allo stesso potenziale elettrico presente all'ingresso non invertente, pertanto si possono considerare come se fossero "cortocircuitati" tra loro
5. La tensione d'uscita e la corrente d'uscita possono variare da  $+\infty$  a  $-\infty$

In realtà, in un Amplificatore Operazionale reale le cose variano, ma di poco. Infatti:

1. L'impedenza d'ingresso (di ciascun ingresso) va da alcune centinaia di MegaOhm (nel caso di operazionali con ingresso a BJT) a migliaia di GigaOhm (nel caso di operazionali con ingresso a FET), la corrente assorbita da ciascun ingresso va da decine di nA (ingresso BJT) a decine di pA (ingresso FET)
2. L'impedenza d'uscita è di alcuni decimi di Ohm
3. L'amplificazione ad anello aperto è tipicamente pari a 1 milione
4. Quando è presente una reazione tra uno dei due ingressi (o tra entrambi) e l'uscita, i due ingressi possono differire di una tensione che va da qualche microVolt a pochi milliVolt, dipende dal tipo e dalla qualità dell'operazionale, e dalla temperatura
5. La tensione d'uscita può variare tipicamente da  $-V_{ee}$  a  $+V_{cc}-1,5V$  (LM 358/LM324), la corrente di cortocircuito d'uscita va da 40 mA (LM 358/LM324) a qualche Ampère (TDA2002)

Come si evince dal confronto, l'amplificatore operazionale è quasi un componente ideale. Per la sua quasi idealità è facilmente impiegato dall'hobbysta come dal professionista.

- In pratica...

La semplice memorizzazione delle cinque regole soprascritte e la conoscenza della Legge di Ohm sono sufficienti infatti a realizzare e comprendere quasi la totalità dei circuiti impieganti amplificatori operazionali.

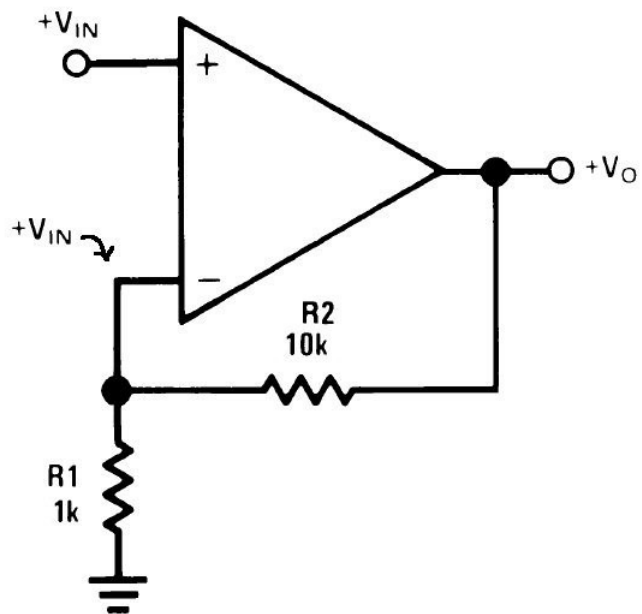
Prendiamone in esame uno assieme, e determiniamo la *Funzione di Trasferimento*, o *F.d.T.*, ossia la regola matematica che lega la tensione d'uscita d'un quadripolo (un qualsiasi circuito con due morsetti d'ingresso e due morsetti d'uscita, nel nostro esempio un morsetto d'ingresso e un morsetto d'uscita sono collegati assieme e fanno capo alla massa elettrica d'alimentazione) e la tensione d'ingresso, mediante la formula  $F.d.T.=V_o/V_i$ , dove  $V_o$  è la tensione d'uscita e  $V_i$  è la tensione d'ingresso.

Come possiamo vedere dallo schema elettrico, tra l'ingresso invertente e l'uscita vi è un collegamento (reazione), ossia  $R_2$ , pertanto sappiamo che i due ingressi si troveranno allo stesso potenziale presente all'ingresso non invertente, ossia  $+V_{in}$  nel nostro esempio. Determinare la tensione d'uscita  $+V_o$  e conseguentemente trovare la F.d.T. del circuito in questione è estremamente semplice, se applichiamo le cinque regole appena apprese (va benissimo se consideriamo il nostro operazionale come ideale, come abbiamo visto nel confronto tra quello ideale e quello reale, le differenze sono veramente minime e ininfluenti nel nostro caso circuitale).

Procediamo.

Essendoci una reazione tra ingresso e uscita ( $R_2$ ), gli ingressi sono equipotenziali, precisamente  $+V_{in}$  è presente su entrambi: all'ingresso non invertente perché vi è direttamente applicata, e all'ingresso invertente perché viene determinata da  $+V_o$  tramite  $R_2$ .

Quindi ai capi di  $R_1$  troviamo  $+V_{in}$ . Ora per poter effettuare dei calcoli reali, scegliamo una tensione a piacere per  $+V_{in}$ , quella che fa più comodo a noi. Per semplificare al massimo i calcoli scegliamo  $+V_{in}=1V$ . Quindi ai capi di  $R_1$  troveremo anche  $1V$ . Per



la legge di Ohm, in R1 scorrerà una corrente verso massa di 1/1000 A, ossia 1 mA. Sapendo che l'ingresso invertente connesso a R1 non assorbe corrente (impedenza d'ingresso infinita), deduciamo che tale corrente esce interamente dall'uscita dell'operazionale, e attraverso R2 giunge a R1. Quindi la corrente che scorre in R1 è la stessa che scorre in R2, che chiameremo quindi I(R2).

Nota la corrente che attraversa R2, ossia 1mA, possiamo determinare la caduta di tensione ai suoi capi, sempre mediante la Legge di Ohm,  $V(R2)=I(R2)*R2$ , ossia  $0,001*10000=10V$ .

La tensione presente all'uscita +Vo sarà la somma delle cadute su R2 e R1, ossia  $10V+1V=11V$ .

Se riassumiamo in un unico passaggio i due calcoli, possiamo scrivere:

$$V_o=(V_{in}/R_1)*R_2+V_{in}.$$

Volendo semplificare possiamo raccogliere a fattor comune  $V_{in}$ , ottenendo:

$$V_o=V_{in}(1+R_2/R_1)$$

La F.d.T. determinata da  $V_o/V_{in}$  sarà quindi

$$1+R_2/R_1$$

La tensione d'uscita sarà quindi pari alla tensione d'ingresso moltiplicata per il rapporto tra R2 e R1 incrementato di uno.

Abbiamo appena calcolato il funzionamento del circuito noto con il nome di *amplificatore in continua non invertente*.-

Eseguendo questi semplici passi saremo in grado di progettare e analizzare qualsiasi circuito basato sugli amplificatori operazionali.

È possibile realizzare con pochi componenti aggiuntivi circuiti con possibilità e versatilità incredibili, come circuiti sommatore/sottrattori, divisori/moltiplicatori, estrattori di radice quadrata, di logaritmi e antilogaritmi, integratori, derivatori, funzioni trigonometriche, ecc. Una calcolatrice scientifica completa con un solo operazionale e pochi componenti attorno!

Vi invito perciò a esercitarvi con i circuiti che trovate sul mio prezioso [prontuario](#) e sui [datasheet](#), ed a utilizzare i circuiti integrati LM358 e LM324, che ne contengono all'interno rispettivamente due e quattro, e offrono buone prestazioni ad un costo molto contenuto.

Sono a disposizione per chiarimenti e lezioni su quanto visto e per eventuali approfondimenti.-

p.i. Davide Cosciani  
[p.i.D.Cosciani@tele2.it](mailto:p.i.D.Cosciani@tele2.it)  
[KMZ@tele2.it](mailto:KMZ@tele2.it)