

Appunti di Elettronica

Capitolo 9 – parte I

Stadi amplificatori: concetti generali

<i>Necessità della amplificazione dei segnali.....</i>	<i>2</i>
<i>Cenni generali sugli amplificatori lineari.....</i>	<i>2</i>
<i>Amplificatore di tensione</i>	<i>5</i>
<i>Stadi in cascata</i>	<i>8</i>
<i>Dinamica di uscita e di ingresso di un amplificatore di tensione.....</i>	<i>9</i>
<i>Amplificatore di corrente</i>	<i>10</i>
<i>Amplificatori in transresistenza e in transconduttanza</i>	<i>12</i>
<i>Stadi di amplificazione basilari a singolo transistor.....</i>	<i>13</i>

Necessità della amplificazione dei segnali

In moltissimi apparati elettronici è presente, perché necessaria, la funzione di **amplificazione di potenza di un segnale**: pensiamo, ad esempio, all'amplificazione del *segnale vocale* nelle linee di trasmissione, del *segnale audio* nei lettori di Compact Disc, del segnale rilevato da un *sensore* di una particolare grandezza fisica oppure dei *segnali a radiofrequenza* provenienti dalle antenne.

I circuiti che hanno solo componenti passivi sono incapaci di effettuare l'amplificazione di potenza, la quale è invece permessa solo da circuiti impieganti dispositivi attivi (come i transistori).

In effetti, sarebbe possibile ottenere amplificazione delle singole grandezze elettriche (tensione e corrente) mediante un semplice *trasformatore*: ad esempio, con riferimento alle equazioni di funzionamento di un *trasformatore ideale*, è noto che, se V_{IN} e I_{IN} sono la tensione e la corrente alla porta di ingresso, la tensione e la corrente alla porta di uscita risultano essere

$$V_{OUT} = N V_{IN}$$

$$I_{OUT} = \frac{1}{N} I_{IN}$$

Tuttavia, in questo caso non ci può essere guadagno di potenza: infatti, calcolando il rapporto tra potenza in ingresso e potenza in uscita, si ottiene

$$\frac{P_{OUT}}{P_{IN}} = \frac{V_{OUT} I_{OUT}}{V_{IN} I_{IN}} = 1$$

In definitiva, dunque, il concetto di **guadagno di potenza** fornisce la distinzione più chiara tra circuiti impieganti componenti attivi e circuiti impieganti componenti passivi.

Inoltre, vedremo che la **non-linearità** dei dispositivi è condizione necessaria per ottenere amplificazione, ma non è una condizione sufficiente.

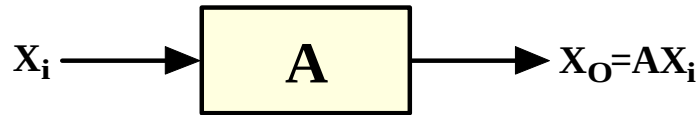
Cenni generali sugli amplificatori lineari

Un **circuito elettronico** può essere descritto, come è noto, in termini di *caratteristiche corrente-tensione* alle sue porte, dove, per una descrizione completa, per *corrente* e per *tensione* si intendono i valori totali $I = I^Q + i$ e $V = V^Q + v$ dovuti sia ai *segnali continui di polarizzazione* sia agli eventuali *segnali variabili* inviati in ingresso al circuito.

Spesso, però, quello che interessa sono solo le **componenti di segnale** della corrente e della tensione, ossia le quantità che rappresentano di quanto la corrente e la tensione si spostano rispetto al valore assunto nel *punto di lavoro*. Questo è proprio il caso degli **amplificatori dei piccoli segnali**, nei quali, una volta determinato il punto operativo dei singoli dispositivi, il funzionamento e le prestazioni possono essere descritti in termini di *circuito equivalente per piccolo segnale*.

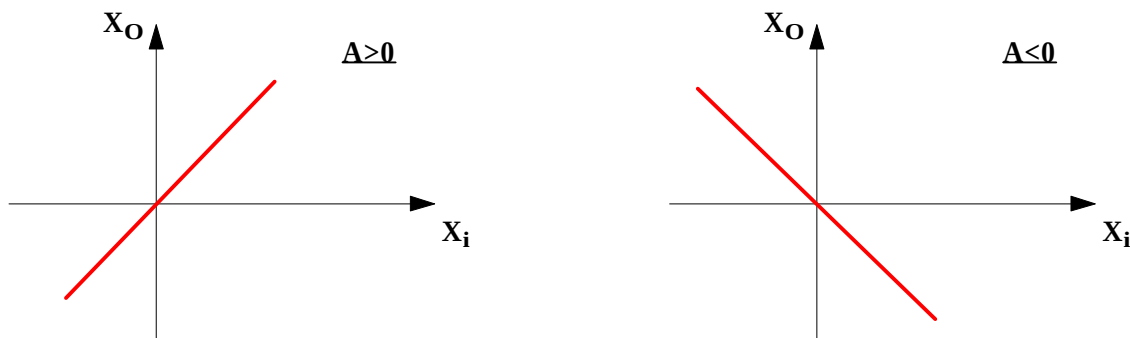
In questo capitolo verrà descritto il funzionamento e verrà effettuata l'analisi per piccoli segnali di **amplificatori monostadio**, considerati come *reti resistive* ⁽¹⁾.

Dal punto di vista dei piccoli segnali, un **amplificatore** può essere semplicemente descritto come un circuito elettronico che, ricevendo un dato segnale in ingresso, lo fornisce in uscita moltiplicato per una costante. Si può cioè schematizzare un amplificatore nel modo seguente:



In questa schematizzazione, X_i ed X_O rappresentano le grandezze di segnale, in ingresso ed in uscita, e può trattarsi di correnti o tensioni a seconda del tipo di amplificatore.

La relazione matematica che lega l'ingresso all'uscita evidenzia che un amplificatore è un dispositivo lineare, che cioè presenta una caratteristica ingresso-uscita del tipo seguente:



In queste figure, la pendenza della retta rappresentativa del legame ingresso-uscita è ovviamente pari al coefficiente $1/A$, in modo tale da ottenere appunto $X_O = AX_i$.

Sono stati inoltre considerati due casi distinti, a seconda che il segno del coefficiente A , detto **guadagno** dell'amplificatore, sia positivo o negativo: il segno del guadagno indica semplicemente se l'uscita dell'amplificatore è in fase ($A > 0$) oppure in opposizione di fase ($A < 0$) rispetto all'ingresso.

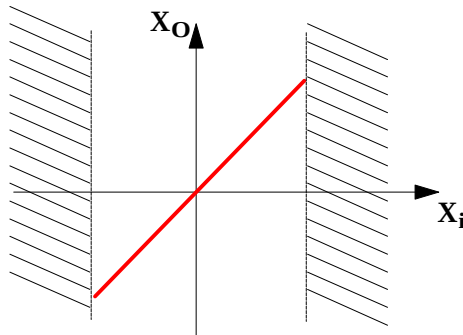
Nella pratica, tuttavia, un circuito del tipo appena descritto non è realizzabile, poiché non è possibile garantire la relazione di linearità $X_O = AX_i$ per ogni valore dell'ingresso X_i : infatti, per ottenere una amplificazione in un circuito resistivo lineare, è indispensabile utilizzare dei generatori pilotati (ossia dispositivi lineari che consentono di superare il limite posto dal 3° teorema sulle reti resistive), ma, nella pratica, realizzare un generatore pilotato non è possibile.

Tuttavia, è possibile approssimare il comportamento di un generatore pilotato usando dei **transistor**. Il problema, in questo caso, è che un transistor approssima un generatore pilotato solo a patto di lavorare in una specifica regione di

¹ Come si comprenderà più avanti, ciò significa che lo studio dei suddetti amplificatori verrà condotto nell'ipotesi di considerare il funzionamento "a centro banda" nel caso di circuiti a componenti discreti oppure quello "a bassa frequenza" nel caso di circuiti integrati. Questa ipotesi garantisce che, nei circuiti considerati, non intervengano fenomeni capacitivi e/o induttivi, il cui studio sarà invece condotto nei capitoli successivi.

funzionamento: nello specifico, un BJT fornisce questa approssimazione solo se lavora in ZAD, mentre un FET solo se lavora in zona di saturazione.

Pertanto, *gli amplificatori reali, realizzati cioè sfruttando le proprietà dei transistor, hanno una caratteristica ingresso-uscita che approssima quella dell'amplificatore ideale solo in un ben preciso intervallo di valori dell'ingresso X_i* :



Questo intervallo di valori ammessi per X_i prende il nome di **dinamica di ingresso** dell'amplificatore.

Diventa allora fondamentale considerare la *massima variazione di ampiezza* del segnale in ingresso per la quale il comportamento del circuito possa essere assunto lineare e quindi l'uscita possa essere amplificata senza *distorsione*. Da qui scaturisce l'importanza, nello studio di un amplificatore, della **caratteristica ingresso-uscita**, in modo da poter definire subito la dinamica di ingresso e quindi da individuare i limiti che garantiscono un comportamento lineare da parte dell'amplificatore stesso.

Una volta fissata la dinamica di ingresso del circuito, è importante considerare anche la **dinamica di uscita**, ossia il range di valori entro i quali varia la grandezza elettrica prelevata come uscita dal circuito ⁽²⁾. L'importanza della dinamica di uscita risiede nel fatto che essa sia ottenibile come prodotto tra la dinamica di ingresso ed il guadagno, il che significa che queste due ultime grandezze sono tra loro inversamente proporzionali: dire che c'è una proporzionalità inversa equivale a dire che aumentare una di esse comporta necessariamente una riduzione dell'altra, per cui, ad esempio, *tutte le volte che si vorrà ottenere un alto guadagno, bisognerà rassegnarsi ad avere una ristretta dinamica di ingresso e viceversa*.

Una volta terminata questa prima fase dell'analisi di un circuito amplificatore (*analisi statica* o anche *analisi per grandi segnali*), ci si può mettere nell'ipotesi che il segnale inviato in ingresso all'amplificatore rientri nella dinamica di ingresso: questo garantisce che il circuito abbia un comportamento lineare e quindi consente di studiarne il funzionamento usando il suo *modello incrementale* (si passa cioè all'**analisi per piccolo segnale**).

Per concludere con questa introduzione, osserviamo, come già anticipato prima, che le grandezze elettriche in ingresso e in uscita dall'amplificatore possono essere sia correnti sia tensioni, per cui è possibile realizzare 4 diversi "tipi" di amplificatori:

² Come si vedrà in seguito, tale dinamica di uscita è fissata fondamentalmente dalle tensioni di alimentazione.

amplificatore in *tensione*: $\begin{cases} \text{ingresso} \longrightarrow \text{tensione} \\ \text{uscita} \longrightarrow \text{tensione} \end{cases}$

amplificatore in *corrente*: $\begin{cases} \text{ingresso} \longrightarrow \text{corrente} \\ \text{uscita} \longrightarrow \text{corrente} \end{cases}$

amplificatore in *trans-impedenza*: $\begin{cases} \text{ingresso} \longrightarrow \text{corrente} \\ \text{uscita} \longrightarrow \text{tensione} \end{cases}$

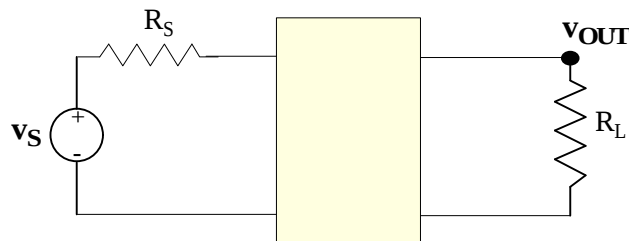
amplificatore in *trans-ammettenza*: $\begin{cases} \text{ingresso} \longrightarrow \text{tensione} \\ \text{uscita} \longrightarrow \text{corrente} \end{cases}$

Mentre i primi due “tipi” appaiono decisamente intuitivi (la grandezza prelevata in uscita ha la stessa natura di quella considerata in ingresso, per cui il guadagno risulta essere una quantità adimensionale), gli altri due tipi risultano più “particolari”: nel primo caso, il guadagno è, dal punto di vista dimensionale, una impedenza (rapporto tra tensione e corrente), mentre invece, nel secondo caso, è una ammettenza (rapporto tra una corrente ed una tensione). Del resto, dato che, per il momento, ci limitiamo a considerare gli amplificatori come reti resistive, parleremo nel seguito di *amplificatore in trans-resistenza* ed *amplificatore in trans-conduttanza*.

Nei prossimi paragrafi vedremo le principali caratteristiche di tutti questi amplificatori, dopodiché passeremo allo studio dettagliato di alcuni esempi molto importanti nella pratica.

Amplificatore di tensione

Consideriamo un circuito del tipo schematizzato nella figura seguente, nell'ipotesi che esso corrisponda al modello equivalente incrementale di un circuito comunque complesso:



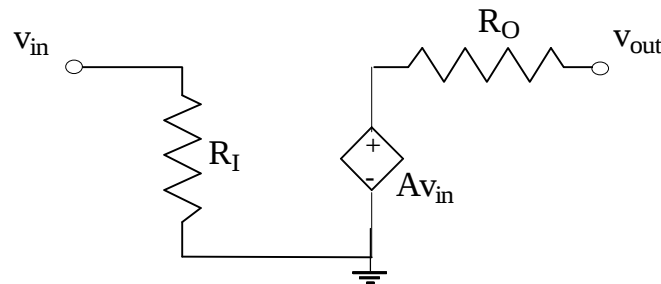
Viene considerato un *elemento biporta* raffigurato come una generica “black box”: alla porta di ingresso è presente un generatore di tensione v_S dotato di resistenza serie R_S ; alla porta di uscita c'è un semplice resistore di carico R_L .

In questo circuito, l'elemento biporta funzionerà come **amplificatore di tensione** a patto che la tensione v_{OUT} ai capi del resistore di carico, pur conservando le

stesse caratteristiche della tensione in ingresso v_s ⁽³⁾, risulti amplificata rispetto ad essa.

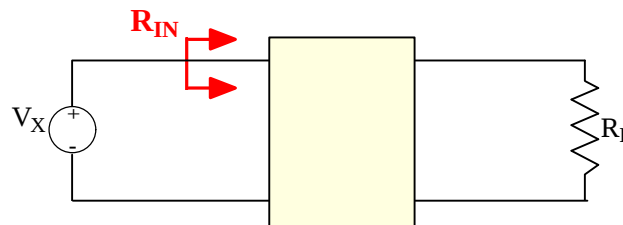
Ovviamente, la possibilità di ottenere questa amplificazione dipende solo ed esclusivamente da quello che c'è dentro il circuito biporta. Il nostro scopo è vedere quali elementi possiamo inserire in quel biporta, e come li dobbiamo collegare, al fine di ottenere un amplificatore di tensione.

In generale, un amplificatore di tensione, comunque sia fatto, può essere rappresentato schematicamente nel modo seguente (ci riferiamo sempre al modello equivalente per piccoli segnali):

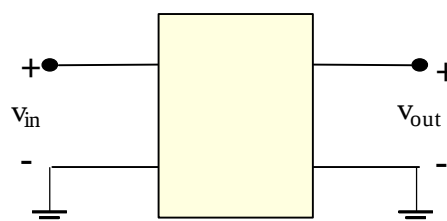


Esso è costituito dunque da 3 elementi:

- **resistenza di ingresso** (indicata con R_I): resistenza ai capi della quale si localizza quella frazione della tensione di segnale che è disponibile per pilotare il dispositivo attivo dello stadio; essa corrisponde alla resistenza di Thevenin vista dalla porta di ingresso del circuito (e, come si osserva, dipende in generale dal carico R_L):

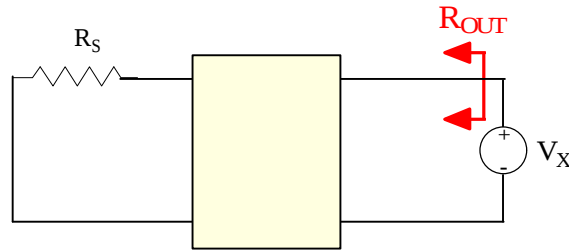


- un **generatore pilotato di tensione**, “pilotato linearmente” dalla tensione v_{in} al nodo di ingresso, secondo un coefficiente A che prende il nome di **guadagno**; esso rappresenta il rapporto tra la tensione di uscita a vuoto e la tensione v_{in} che pilota il circuito (possiamo perciò parlare anche di *guadagno a vuoto*):

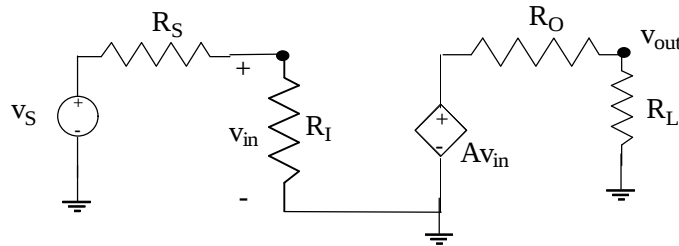


³ Ad esempio, se l'ingresso è costituito da un segnale sinusoidale puro, l'uscita sarà a sua volta una sinusoide alla stessa frequenza e con lo stesso valor medio

- infine, una **resistenza di uscita** (indicata con R_O), sulla quale si localizza inevitabilmente una parte della tensione prodotta dal generatore; essa corrisponde alla resistenza di Thevenin vista dalla porta di uscita del circuito (e, come si osserva, dipende in generale dalla resistenza serie di segnale R_S):



E' abbastanza intuitivo capire cosa deve accadere affinché l'effetto di amplificazione di tensione prodotto dal circuito sia ottimale; perché la questione sia chiara, sostituiamo il circuito equivalente dell'amplificatore all'interno della black box riportata prima:



In questo circuito, calcoliamo il **guadagno di tensione**, ossia il rapporto $\frac{v_{out}}{v_S}$ tra la tensione di uscita dell'amplificatore e la tensione di segnale v_S .

E' evidente che la tensione di uscita è la partizione della tensione $A \cdot v_{in}$ sul resistore di carico, ossia

$$v_{out} = A v_{in} \frac{R_L}{R_L + R_O}$$

Inoltre, la tensione di ingresso v_{in} per l'amplificatore è a sua volta la partizione della v_S su R_I :

$$v_{in} = v_S \frac{R_I}{R_S + R_I}$$

Sostituendo nella espressione della v_{out} e sostituendo inoltre nell'espressione del guadagno, possiamo concludere che quest'ultimo vale

$$\frac{v_{out}}{v_S} = A \frac{R_L}{R_L + R_O} \frac{R_I}{R_S + R_I}$$

Convienne riscrivere questa nella forma seguente:

$$\frac{v_{out}}{v_s} = A \frac{1}{1 + \frac{R_O}{R_L}} \frac{1}{1 + \frac{R_S}{R_I}}$$

Da qui si deduce la seguente conclusione fondamentale: *il guadagno di tensione del circuito è tanto maggiore, a parità di v_s , R_s ed R_L , quanto maggiore è il guadagno A dell'amplificatore, quanto minore è la resistenza di uscita R_O dell'amplificatore e quanto maggiore è la resistenza di ingresso R_I dell'amplificatore.*

Commentiamo queste considerazioni alla luce, sempre, del circuito prima disegnato:

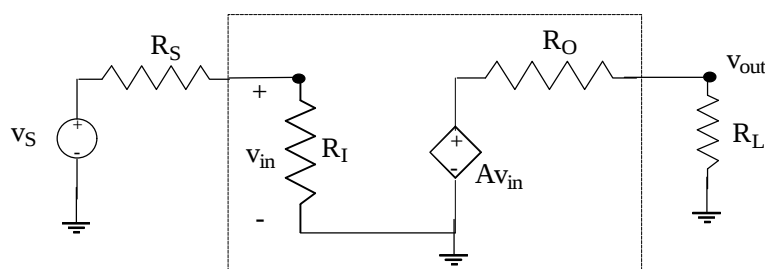
- il fatto che il guadagno A del circuito debba essere elevato è intuitivo, in quanto, al crescere di questo parametro, cresce la tensione che il generatore pilotato è in grado di fornire;
- per quanto riguarda R_I , è necessario che sia la più alta possibile, in quanto, in tal modo, la gran parte della tensione di segnale v_s , nel ripartirsi tra R_s e R_I , si localizza essenzialmente su R_I , diventando la tensione di controllo v_{in} del generatore pilotato;
- infine, per quanto riguarda R_O , vale il discorso esattamente opposto rispetto ad R_I : infatti, affinché si possa ottenere una tensione di uscita v_{out} elevata, è necessario che la tensione $A \cdot v_{in}$ fornita dal generatore si ripartisca essenzialmente sul carico R_L e questo accade solo se R_O , che è in serie ad R_L , è molto piccola.

Detto in altre parole, una volta fissato il guadagno A , i valori della resistenza di ingresso e di quella di uscita devono essere tali da sfruttare al massimo il valore di A stesso, ossia devono essere tali che la tensione pilota v_{in} sia la più alta possibile (al limite pari a quella di segnale v_s) e che la tensione $A \cdot v_{in}$ fornita dal generatore di uscita sia localizzata per massima parte sul carico: così facendo, l'amplificatore è tale che il guadagno A_v sia sufficientemente indipendente sia dal carico R_L sia dalla resistenza caratteristica di sorgente R_s .

Stadi in cascata

E' importante fare una osservazione che sarà particolarmente utile quando verranno esaminati gli amplificatori a più stadi (**amplificatori pluristadio**).

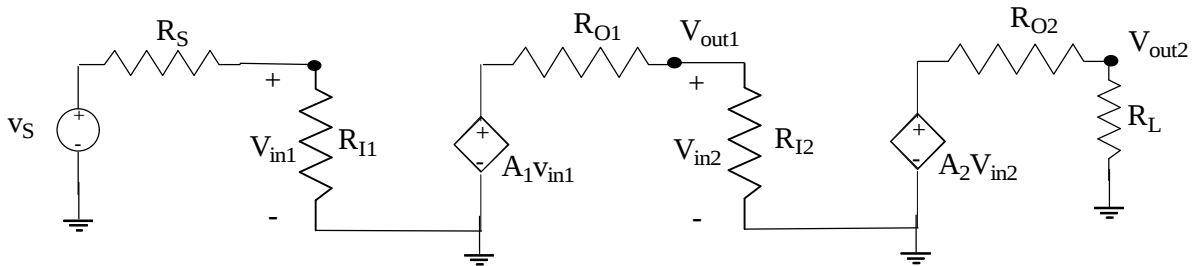
Consideriamo nuovamente il circuito incrementale corrispondente al generico amplificatore di tensione:



Abbiamo detto che gli elementi all'interno del rettangolo tratteggiato rappresentano il modello del circuito amplificatore: ad esempio, può trattarsi del

modello di un semplice *circuito invertitore* (a BJT o a FET) del tipo esaminato in precedenza.

Abbiamo visto in precedenza che il circuito invertitore è in grado di amplificare, da solo, la tensione v_S che gli viene posta in ingresso. Tuttavia, al fine di ottenere determinate prestazioni, possiamo pensare di collegare, in cascata a questo circuito, un altro circuito, che realizzi una qualche funzione particolare. Dato che il modello con cui rappresentiamo quest'altro circuito è sempre quello di un amplificatore del tipo finora considerato, il “nuovo” circuito, composto cioè dai due amplificatori in cascata, sarà del tipo seguente:

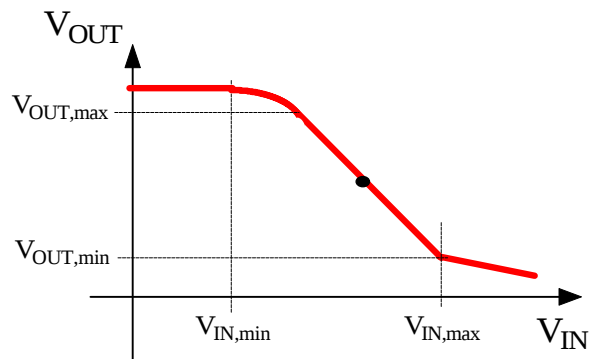


In questo circuito, si osserva che il resistore R_L , che prima costituiva il carico dell'invertitore, è stato adesso sostituito dalla resistenza di ingresso del secondo stadio, il quale ha in uscita proprio R_L . Quindi *il resistore di carico R_L di un qualunque amplificatore o circuito generico non va inteso solo come un carico passivo, ma va immaginato anche come la resistenza di ingresso di un circuito da porre in cascata al circuito in esame.*

Il discorso è, ovviamente, perfettamente analogo per il resistore R_S : *il resistore R_S non va inteso solo come la resistenza serie del generatore di segnale in ingresso, ma va immaginato anche come la resistenza di uscita di un circuito posto a monte del circuito in esame.*

Dinamica di uscita e di ingresso di un amplificatore di tensione

Nel paragrafo precedente abbiamo richiamato il concetto di “circuito invertitore”, ossia di un circuito che presenta una *caratteristica di trasferimento in tensione* fatta più o meno nel modo seguente:



Abbiamo a suo tempo sottolineato che il circuito è in grado di svolgere l'azione *invertente* e quella di *amplificazione* (nel caso la pendenza di quella caratteristica sia maggiore dell'unità) solo a patto che il valore del segnale (complessivo) V_{IN} in

ingresso rientri nell'intervallo $[V_{IN,min}, V_{IN,max}]$: solo in questo caso, infatti, il segnale in uscita non risulterà distorto, ossia conserverà, a parte l'inversione di fase e l'eventuale amplificazione, le stesse caratteristiche del segnale in ingresso.

L'intervallo $[V_{IN,min}, V_{IN,max}]$ prende il nome di **dinamica di ingresso** del circuito e rappresenta dunque l'intervallo di valori tollerato per la tensione in ingresso affinché il circuito svolga il proprio compito senza introdurre distorsioni significative.

Per essere chiari, consideriamo proprio il circuito invertitore e supponiamo che l'ingresso v_s sia rappresentato da un semplice *segnale sinusoidale*. Affinché il circuito svolga l'azione invertente, ossia affinché v_{out} corrisponda esattamente a v_s invertito di fase (ed eventualmente amplificato), è necessario che le oscillazioni del punto di lavoro Q (legate al valore dell'ampiezza di v_s) si mantengano entro la dinamica di ingresso, in quanto, in caso contrario, pur ottenendo l'inversione di fase, si avrebbe anche una distorsione della sinusoide in uscita.

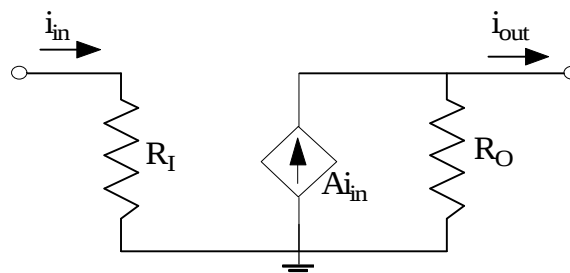
L'intervallo $[V_{OUT,min}, V_{OUT,max}]$ prende invece il nome di **dinamica di uscita** e rappresenta l'intervallo di valori entro il quale si trova il segnale (complessivo) di uscita V_{OUT} dal circuito, ovviamente nell'ipotesi che il segnale di ingresso rientri nella dinamica di ingresso.

E' chiaro che, *dato un qualsiasi circuito, la dinamica di ingresso e quella di uscita sono di fondamentale importanza per poter inserire tale circuito in una rete più complessa*. Solo facendo in modo che la dinamica di uscita di ciascun circuito rientri in quella di ingresso del circuito posto immediatamente in cascata, si avrebbe la certezza che l'intera rete svolga i compiti per cui è stata progettata.

Tutto questo per dire, quindi, che i valori di R_I , A e R_O di uno stadio amplificatore non sono gli unici parametri sulla base dei quali effettuare i progetti. Nella progettazione di stadi amplificatori, i requisiti richiesti possono essere di vario tipo: requisiti in termini di amplificazione, requisiti in termini di dinamica di ingresso (o di uscita), requisiti in termini di massima potenza dissipata, requisiti in termini di impedenza di ingresso e di uscita e altro ancora. Si tratta di stabilire, di volta in volta, quali condizioni privilegiare in base alle specifiche a disposizione.

Amplificatore di corrente

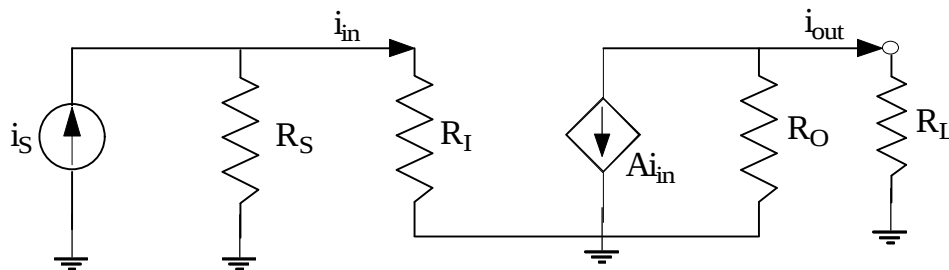
Abbiamo in precedenza visto il modello circuitale equivalente, per piccoli segnali, di un generico amplificatore di tensione; è chiaro, però, che un amplificatore può essere anche inteso come un circuito che amplifica il segnale di corrente che riceve in ingresso; si parla in questo caso di **amplificatore di corrente** ed il circuito equivalente per piccoli segnali è fatto nel modo seguente:



Abbiamo ancora una volta tre elementi significativi:

- una **resistenza di ingresso** (indicata con R_I), all'interno della quale fluisce la corrente che il circuito deve amplificare e che costituisce anche la corrente che controlla il generatore pilotato;
- un generatore di corrente, "pilotato" dalla corrente I_{IN} secondo un coefficiente **A** che prende il nome di **guadagno** e rappresenta il rapporto tra la corrente di uscita e quella di ingresso quando l'uscita è posta in corto;
- infine, una **resistenza di uscita** (indicata con R_O), attraversata da una corrente che, sommata quella generata dal generatore, fornisce la corrente di uscita del circuito.

Al fine di comprendere quali devono essere i valori ottimali dei parametri che compaiono nel modello, consideriamo il seguente circuito:



A prescindere dai calcoli matematici, si osserva quanto segue: *il guadagno di corrente A_I complessivo (inteso cioè come rapporto tra corrente in ingresso e corrente in uscita) è tanto maggiore, a parità di R_S ed R_L , quanto maggiore è il guadagno A , quanto maggiore è la resistenza di uscita R_O dell'amplificatore e quanto minore è la resistenza di ingresso dell'amplificatore.*

Commentiamo queste considerazioni alla luce, sempre, del circuito prima disegnato:

- il fatto che A debba essere elevato è intuitivo, in quanto, al crescere di questo parametro, cresce la corrente che il generatore pilotato è in grado di fornire al carico;
- per quanto riguarda R_I , è necessario che sia la più bassa possibile, in quanto, in tal modo, essa assorbe la gran parte della corrente di segnale i_s e questo consente al generatore pilotato di generare una corrente elevata;
- infine, per quanto riguarda R_O , vale il discorso esattamente opposto: infatti, affinché si possa ottenere una i_{out} elevata, è necessario che la corrente $A \cdot i_{in}$ fornita dal generatore fluisca essenzialmente in R_L e questo accade solo se R_O , che è in parallelo ad R_L , è molto grande.

Procediamo adesso per via più rigorosa, calcolando il **guadagno di corrente**.

La corrente di uscita è la partizione della corrente $A \cdot i_{in}$ sulla resistenza R_L , per cui

$$i_{out} = A i_{in} \frac{G_L}{G_L + G_O} = A i_{in} \frac{1}{1 + \frac{R_L}{R_O}}$$

La corrente di ingresso i_{in} è a sua volta la partizione della i_s su R_I , per cui

$$i_{in} = i_s \frac{G_I}{G_S + G_I} = i_s \frac{1}{1 + \frac{R_I}{R_S}}$$

Sostituendo nella espressione della i_{out} e sostituendo inoltre nell'espressione del guadagno, possiamo concludere che quest'ultimo vale

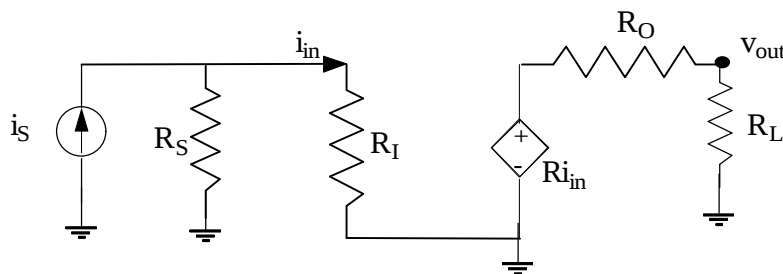
$$A_I = A \frac{1}{1 + \frac{R_L}{R_O}} \frac{1}{1 + \frac{R_I}{R_S}}$$

Questa formula conferma in pieno quanto abbiamo dedotto prima per via qualitativa.

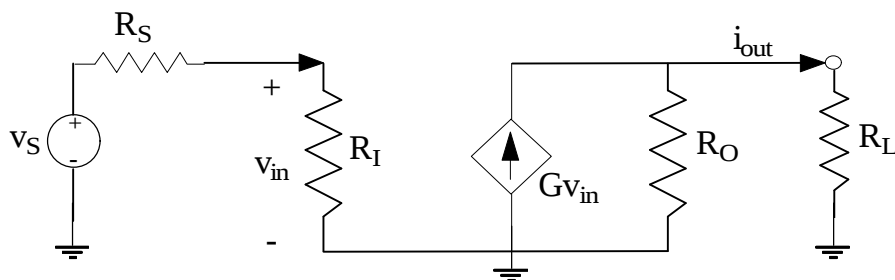
Amplificatori in transresistenza e in transconduttanza

Esaminiamo infine gli ultimi due "tipi" di amplificatori:

- un circuito è detto **amplificatore in transresistenza** se è adatto a fornire in uscita una tensione proporzionale alla corrente di ingresso; il modello circuitale, per piccolo segnale, di questo tipo di amplificatore è il seguente:



- un circuito è detto **amplificatore in transconduttanza** se è adatto a fornire in uscita una corrente proporzionale alla tensione di ingresso; il modello circuitale, per piccolo segnale, di questo tipo di amplificatore è il seguente



I modelli circuitali appena proposti sono analoghi a quelli visti in precedenza per l'amplificatore di tensione e quello di corrente, per cui le conclusioni, circa la "bontà" delle rispettive prestazioni, sono del tutto analoghe:

- per quanto riguarda l'amplificatore in transresistenza, il guadagno $R_{TOT} = v_{out} / i_{in}$ sarà tanto migliore quanto maggiore è il valore di R e quanto minori sono i valori della resistenza di ingresso R_I e della resistenza di uscita R_O ;
- per quanto riguarda l'amplificatore in transconduttanza, il guadagno $G_{TOT} = i_{out} / v_{in}$ sarà tanto migliore quanto maggiore è il valore di G e quanto maggiori sono i valori della resistenza di ingresso R_I e della resistenza di uscita R_O .

La seguente tabella mostra, per i 4 tipi di amplificatori appena introdotti, le varie combinazioni di resistenza di ingresso e resistenza di uscita:

	Guadagno	Resistenza di ingresso	Resistenza di uscita
Ampl. di tensione	$A = v_o / v_i$	alta	bassa
Ampl. di corrente	$A = i_o / i_i$	bassa	alta
Ampl. in trans-resistenza	$R = v_o / i_i$	bassa	bassa
Ampl. in trans-ammettenza	$G = i_o / v_i$	alta	alta

Stadi di amplificazione basilari a singolo transistoro

I transistori bipolari (BJT) e i transistori ad effetto di campo (FET) sono in grado di fornire amplificazione ciascuno secondo tre differenti configurazioni.

Per quanto riguarda il BJT, le tre configurazioni sono le seguenti:

- nella configurazione ad *emettitore comune*, l'ingresso di segnale corrisponde alla tensione applicata alla base del transistor, mentre l'uscita è la tensione presa sul collettore: si parla in questo caso di **invertitore (di tensione)**, in quanto l'uscita è in opposizione di fase rispetto all'ingresso;
- nella configurazione a *collettore comune*, il segnale di ingresso è ancora la tensione applicata alla base, ma l'uscita è la tensione presa sull'emettitore: si parla in questo caso di **inseguitore di emettitore** (*emitter follower*) in quanto la tensione di uscita è praticamente uguale a quella di ingresso;
- nella configurazione a *base comune*, il segnale è la corrente iniettata nell'emettitore, mentre l'uscita è la corrente di collettore: si parla in questo caso di **inseguitore di corrente** in quanto la corrente di uscita è praticamente uguale a quella di ingresso

Le corrispondenti configurazioni per un FET sono invece le seguenti:

- nella configurazione a *source comune* (**invertitore di tensione**), l'ingresso è la tensione applicata al gate del transistor e l'uscita è la tensione presa sul drain;
- nella configurazione a *drain comune* (**inseguitore di source** o *source follower*), il segnale di ingresso è ancora la tensione applicata al gate, mentre l'uscita è la tensione presa sul source;
- infine, nella configurazione a *gate comune* (**inseguitore di corrente**), il segnale di ingresso è la corrente di source, mentre l'uscita è la corrente di drain.

Ciascuna di queste configurazioni è caratterizzata da una particolare combinazione di resistenza di ingresso, resistenza di uscita, guadagno di tensione e guadagno di corrente. Nel seguito, le analizzeremo tutte con sufficiente dettaglio.

Possiamo tuttavia introdurre sin da ora alcune considerazioni fondamentali, che poi saranno riprese in seguito, circa le differenti prestazioni fornite dai circuiti a BJT e da quelli a FET.

Intanto, abbiamo in precedenza già osservato come i circuiti equivalenti dei BJT e dei FET per piccoli segnali siano tra loro molto simili, con differenze che si manifestano essenzialmente nel valore numerico dei rispettivi *parametri incrementali*:

- in primo luogo, i FET presentano una resistenza di ingresso virtualmente infinita, dovuta al fatto che il terminale di gate si può ritenere isolato, mentre nei BJT la resistenza della giunzione base-emettitore (indicata con r_{π}) assume un valore finito, sia pure alto;
- d'altra parte, i BJT hanno un valore di transconduttanza g_m che, a parità di corrente di polarizzazione, è solitamente di un ordine di grandezza maggiore rispetto ai FET.

Queste due differenze fondamentali fanno sì che, a seconda del tipo di applicazione, uno dei due dispositivi sia preferibile rispetto all'altro: per esempio, *se si vuole realizzare uno stadio ad alta impedenza di ingresso, è opportuno realizzarlo mediante un FET* (proprio perché la sua R_{IN} è virtualmente infinita), mentre invece, *se si vuole realizzare uno stadio ad alto guadagno, è consigliabile farlo mediante un BJT* (proprio perché la g_m è elevata).

Oltre a questo, ci sono applicazioni nelle quali possono risultare utili talvolta la caratteristica esponenziale per grandi segnali di un BJT talvolta la caratteristica quadratica di un FET.

Autore: **Sandro Petrizzelli**

e-mail: sandry@iol.it

sito personale: <http://users.iol.it/sandry>