



Isidoro KZ (IsidoroKZ)

SENSITIVITY IV - AMPLIFICATORI DIFFERENZIALI

9 December 2010

Introduzione

Questo articolo deriva da un paio di post che avevo scritto sul forum. Alcuni utenti avevano chiesto di trasformarlo in un articolo di Electroyou, ed eccolo qui. Mentre c'ero, ho anche aggiunto gli altri tre precedenti. Questo è un po' più semplice :).

L'organizzazione di questo articolo è la seguente: si introduce prima l'**amplificatore differenziale**, cercando di spiegare i motivi per cui viene usato. Dopo un ripasso delle sensitivities, con un esempio semplice, si valutano poi gli effetti delle tolleranze sulle **prestazioni** di un differenziale. Nella conclusione si analizza il significato dei risultati trovati.

Amplificatore differenziale

Prendiamo un circuito lineare con due ingressi e una uscita, $V_{out} = f(V_1, V_2)$. Essendo lineare, può solo essere del tipo $V_{out} = -A_1 V_1 + A_2 V_2$. Ho messo il segno negativo ad A_1 così dopo ci si ritrova, ma ci sono anche altre analisi senza segno meno esplicito.

(Aperta parentesi: una espressione del tipo $y = ax + b$ non è lineare, al più la si può definire lineare affine :). Per questa ragione l'espressione di prima che ho assunto lineare non può avere un termine costante.)

Quando si usa un amplificatore *differenziale* si è interessati alla *differenza* delle due tensioni di ingresso, differenza che porta l'informazione utile. Il valore assoluto di ciascuna delle due tensioni invece non solo non porta informazione, ma potrebbe essere principalmente un disturbo, e quindi dannoso alla lettura del segnale. Se si scrive il guadagno dell'ampli differenziale in questo modo $V_{out} = -A_1 V_1 + A_2 V_2$ aggiungendo magari che deve essere $A_1 = A_2$ non si dà molta informazione in più su come funziona bene o male l'ampli differenziale.

Al posto di usare V_1 e V_2 , ciascuna moltiplicata per la propria costante, è molto più

significativo mettere in evidenza il fatto che la differenza di tensione fra V_1 e V_2 è la quantità importante, quella che porta l'informazione, quantità che chiamiamo tensione differenziale $V_d = V_2 - V_1$.

Non possiamo semplicemente buttare via V_1 e V_2 e usare solo V_d perché stiamo perdendo una dimensione: siamo partiti da due tensioni e ne abbiamo solo una: questa non è una rappresentazione equivalente.

Dobbiamo introdurre una seconda tensione, detta tensione di modo comune V_c definita in questo modo: $V_c = \frac{V_1 + V_2}{2}$. In pratica V_c è la media fra le tensioni V_1 e V_2 e spesso è rumore o disturbo.

Rappresentare un sistema di tensioni usando V_1 e V_2 oppure V_d e V_c è la stessa cosa, si rappresenta sempre la stessa situazione. Il vantaggio è che V_1 e V_2 sono facili da misurare, mentre V_d e V_c sono significative perché mostrano il termine importante, quello che porta informazione V_d e quello rompiscatole V_c .

Dal punto di vista matematico questo è un cambiamento di base in uno spazio vettoriale!

Date V_1 e V_2 si trovano V_d e V_c con le formule viste sopra (differenza e media), mentre date V_d e V_c si torna a V_1 e V_2 in questo modo:

$$\begin{cases} V_1 = V_c - \frac{V_d}{2} \\ V_2 = V_c + \frac{V_d}{2} \end{cases} \quad (1)$$

mentre le altre sono

$$\begin{cases} V_d = V_2 - V_1 \\ V_c = \frac{V_1 + V_2}{2} \end{cases} \quad (2)$$

Esempio (ufficio lavori inutili, solo per verifica), se prendiamo $V_1 = 4\text{ V}$ $V_2 = 3\text{ V}$ otteniamo $V_d = 3\text{ V} - 4\text{ V} = -1\text{ V}$ e per il modo comune $V_c = \frac{4\text{ V} + 3\text{ V}}{2} = 3.5\text{ V}$. Se prendiamo queste due tensioni e le mettiamo nelle due equazioni di sinistra, riotteniamo V_1 e V_2 . Abbiamo solo un'altra rappresentazione (utile) dello stesso sistema di tensioni. Utile perché sono rappresentati in modo esplicito sia il segnale utile V_d che quello rompiscatole V_c .

Andiamo a sostituire le espressioni di V_d e V_c nell'equazione del guadagno dell'amplificatore e mettiamo in evidenza V_d e V_c

$$\begin{aligned} V_{\text{out}} &= -A_1 \left(V_c - \frac{V_d}{2} \right) + A_2 \left(V_c + \frac{V_d}{2} \right) = \\ &= \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) V_d + (A_2 - A_1) V_c \end{aligned} \quad (3)$$

In questo modo si vede quanto è amplificato il segnale differenziale e quanto il segnale comune. Si può scrivere

$$V_{\text{out}} = A_d V_d + A_c V_c \quad (4)$$

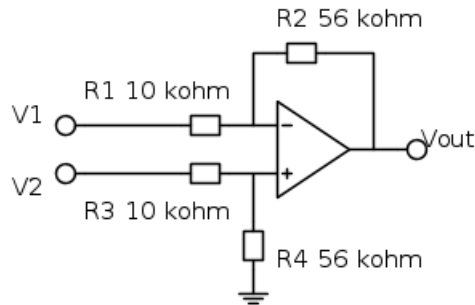
dove si è definito

$$\begin{cases} A_d = \frac{A_1 + A_2}{2} \\ A_c = A_2 - A_1 \end{cases} \quad (5)$$

OK, ci siamo: abbiamo il guadagno di modo differenziale e quello di modo comune. Se, come si spera, $A_1 = A_2 = A$ il guadagno differenziale vale $A_d = A$ mentre quello di modo comune vale $A_c = 0$. In effetti l'amplificatore differenziale lo si utilizza

proprio per non sentire il modo comune e amplificare invece di una quantità *nota* e stabile il modo differenziale.

Peccato però che A_1 e A_2 non siano proprio identici, e quindi avremo errori su A_d e su A_c . Calcoliamo prima queste due grandezze in funzione delle resistenze e poi ci facciamo su i conti. Faccio riferimento al mio schema che ha dei nomi umani per le resistenze. I valori vedremo dopo che non sono importanti.



I valori dei guadagni A_1 e A_2 sono:

$$\begin{cases} A_1 = \frac{R_2}{R_1} \\ A_2 = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \frac{R_2 + R_1}{R_1} \end{cases} \quad (6)$$

e per A_d e A_c si ha invece

$$\begin{cases} A_d = \frac{1}{2} \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} \frac{R_2 + R_1}{R_1} + \frac{R_2}{R_1} \right) \\ A_c = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \frac{R_2 + R_1}{R_1} - \frac{R_2}{R_1} \end{cases} \quad (7)$$

Da notare che il guadagno A_1 non ha il segno negativo in quanto l'avevo già messo esplicitamente in evidenza nella definizione iniziale del guadagno.

Se si riuscisse a fare

$$R_4 = R_2 \text{ e } R_3 = R_1 \quad (8)$$

o anche solo

$$R_4 = kR_2 \text{ e } R_3 = kR_1 \quad (9),$$

con $k > 0$ una costante qualunque) si avrebbe

$$A_d = \frac{R_2}{R_1} \text{ e } A_c = 0 \quad (10).$$

Purtroppo questo non capita per due motivi almeno: le resistenze hanno una certa tolleranza relativa δ_R e **in serie** a R_1 e R_3 c'è la resistenza interna della sorgente che può provocare danni, cambiando il valore effettivo delle resistenze di ingresso dell'amplificatore differenziale.

Per questa ragione gli amplificatori differenziali e da strumentazione hanno spessissimo dei buffer (o qualcosa di più complicato) davanti. Le resistenze del differenziale sono "sacre" non devono essere disturbate.

Ripasso (semplice) delle sensitivity

Supponiamo di avere una funzione di più variabili, ad esempio $A = f(R_1, R_2, R_3, R_4)$ toh, potrebbe essere una amplificazione che dipende dal valore di resistenze. Vogliamo trovare di quanto varia A al variare di ciascuna di quelle resistenze. Vogliamo trovare un legame fra la variazione di A e la variazione di R .

Questi legami si chiamano sensitivities (non si fa il plurale dei nomi inglesi in italiano, ma questo lo sto pensando mezzo in inglese :) indicati ad esempio $S_{R_1}^A$ che significa la sensibilità di A alle variazioni di R_1 . Le variazioni di R e A possono essere variazioni assolute, ad esempio da $10 \text{ k}\Omega$ la resistenza aumenta di 200Ω , oppure variazioni relative, ad esempio la variazione della resistenza è di 1.5%.

Il valore attuale di R_1 può essere ad esempio scritto come $R_1 = R_{n1} + \Delta R_1$, dove R_{n1} è il valore nominale di R_1 e ΔR_1 è la variazione assoluta di R_1 che ovviamente si misura in ohm. Però possiamo anche scrivere $R_1 = R_{n1}(1 + \delta_{R_1})$ in questo caso δ_{R_1} è la variazione relativa (anche detta percentuale) di R_1 e la si misura in niente, è adimensionata. Se la tolleranza di R_1 è dell'1%, avremo $\delta_{R_1} = 0.01$.

La variazione assoluta e percentuale sono legate fra di loro da questa relazione (me l'aveva insegnata credo la maestra delle elementari :)): $\delta_{R_1} = \frac{\Delta R_1}{R_{n1}}$

La stessa cosa vale per tutte le altre grandezze, in particolare anche A potremo scriverlo come $A = A_n + \Delta A = A_n(1 + \delta_A)$ Entrambi i modi di scrivere questi errori sono corretti ed esprimono lo stesso fenomeno, in qualche caso e' piu' conveniente usarne uno in qualche altro meglio usare l'altro. Ad esempio e' naturale con le resistenze usare l'errore relativo, e anche i guadagni spesso vengono trattati con le variazioni relative.

Altre grandezze invece vengono trattate con le variazioni assolute: ad esempio la variazione della tensione V_{BE} di un transistor bipolare vengono date di solito in valore assoluto: ad esempio $\Delta V_{BE} = -12 \text{ mV}$.

Abbiamo quindi 4 possibili combinazioni: variazione assoluta o relativa della grandezza che ci interessa A , verso una variazione assoluta o relativa del parametro che stiamo considerando.

Cerchiamo la variazione assoluta della funzione A al variare assoluto ad esempio di R_1 . Supponiamo di poter scrivere questo legame in forma lineare, con una costante che e' appunto la sensitivity. Avremo cioe' $\Delta A = S_{R_1}^A \Delta R_1$. Il valore della sensitivity e' dato da $S_{R_1}^A = \frac{\Delta A}{\Delta R_1}$

In generale non si ottiene un coefficiente $S_{R_1}^A$ fisso perche' A dipende in modo non lineare dai suoi parametri. Pero', se consideriamo delle *piccole variazioni* dei parametri, anzi, meglio delle piccolissime variazioni, sempre piu' piccole, ecco che $S_{R_1}^A$ diventa una costante. In pratica dobbiamo calcolare $S_{R_1}^A = \lim_{\Delta R_1 \rightarrow 0} \frac{\Delta A}{\Delta R_1} = \frac{\partial A}{\partial R_1}$.

La sensitivity appena calcolata si chiama absolute sensitivity, perche' lega le due variazioni assolute, e non e' nient'altro che la derivata della funzione rispetto al parametro che stiamo considerando (R_1). La derivata deve essere calcolata con i valori nominali dei parametri.

Le unita' di misura della sensibilita' assoluta sono quelle della derivata. Ad esempio $\frac{\partial A}{\partial R_1}$ si misura nelle unita' di misura di A (se ci sono), diviso per quelle di R_1 . Se A e' un guadagno adimensionato, $S_{R_1}^A$ si misura in reciproco di ohm (siemens)

Come detto prima, le variazioni assolute non sempre sono utili, piu' spesso si usano e sono piu' significative le variazioni relative. Se una resistenza cambia di 1Ω e' tanto o e' poco? Non si puo' dire. Se la resistenza era da 2.2Ω , e' una variazione enorme, se era da $1 \text{ M}\Omega$ nessuno si accorge di quella variazione.

Per trovare la sensibilita` relativa basta dividere la variazione di  $A$  per  $A$  nominale, e la variazione di  $R$  per  $R$  nominale. Questa volta la sensibilita` relativa (che e` diversa da prima) la si scrive cosi`:

$$\frac{\Delta A}{A_n} = \bar{S}_{R_1}^A \frac{\Delta R_1}{R_{n1}}$$

Non c'e`, che io sappia, una convenzione per indicare le sensitivity assolute e relative. Qui uso la barra per quelle relative (e la tilde per le semirelative). Si puo` ricavare facilmente il valore della sensibilita` relativa:

$$\bar{S}_{R_1}^A = \frac{\Delta A}{A_n} \frac{R_{n1}}{\Delta R_1} = \frac{\Delta A}{\Delta R_1} \frac{R_{n1}}{A_n}$$

Questa e` una approssimazione che vale solo per piccole variazioni di R , e come prima per avere una costante dobbiamo passare al limite:

$$\bar{S}_{R_1}^A = \lim_{\Delta R_1 \rightarrow 0} \frac{\Delta A}{\Delta R_1} \frac{R_{n1}}{A_n} = \frac{\partial A}{\partial R_1} \frac{R_{n1}}{A_n}$$

Anche in questo caso la derivata e` calcolata con i valori nominali dei parametri. Una sensibilita` relativa e` sempre adimensionata, essendo il rapporto fra due percentuali.

Ci sono poi ancora le sensibilita` semirelative, si ricavano in modo analogo, scrivo solo le definizioni $\tilde{S}_{R_1}^A = \frac{\partial A}{\partial R_1} \frac{1}{A}$ e anche $\tilde{S}_{R_1}^A = \frac{\partial A}{\partial R_1} R_{n1}$

La prima e` la sensibilita` semirelativa che fornisce le variazioni relative di A rispetto alle variazioni assolute di R_1 , mentre la seconda e` la sensibilita` semirelativa (stesso nome :) che da` le variazioni assolute di A rispetto alle variazioni relative di R_1 .

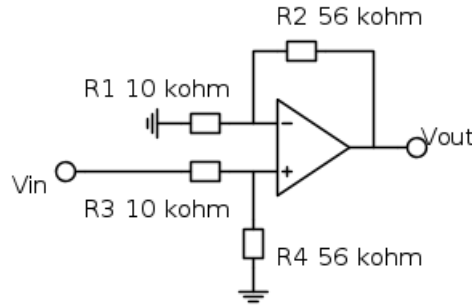
La sensitivity $\frac{\partial A}{\partial R_1} \frac{1}{A}$ e` misurata in reciproco di ohm, mentre  $\frac{\partial A}{\partial R_1} R_{n1}$  ha le unita` di misura di A (nel nostro esempio adimensionato)

Tutti questi conti e derivazioni dovrebbero essere fatti con gli sviluppi in serie di Taylor a piu` dimensioni, ma probabilmente non ne vale la pena poiche' le variazioni dei componenti che si trovano in elettronica sono fortunatamente piccole, e quindi non servono le higher order sensitivities.

Gli interessati e i masochisti (i due insiemi praticamente coincidono) trovano in [\[1\]](#) una bella presentazione power point.

Esempio su amplificatore semplice

Vediamo un esempio, calcolando la sensibilita` del guadagno  $A = \frac{V_{out}}{V_{in}}$  di questo circuito al variare dei componenti. Il circuito e` lo stesso di prima, in cui si considera al momento solo un ingresso:



Il guadagno di questo amplificatore vale: $A = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$ Se i componenti fossero ideali, il guadagno sarebbe 5.6 volte. Calcoliamo adesso le sensitivities relative (viene parecchia algebra), cominciando da R_1

$$\begin{aligned}\bar{S}_{R_1}^A &= \frac{\partial A}{\partial R_1} \frac{R_{n1}}{A_n} = \\ &= \frac{\partial}{\partial R_1} \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \right) \frac{R_{n1}}{\frac{R_{n4}}{R_{n3} + R_4} \left(1 + \frac{R_{n2}}{R_{n1}}\right)} \quad (11)\end{aligned}$$

Calcoliamo la derivata e facciamo qualche semplificazione nella seconda frazione. La derivata va calcolata nel punto nominale, per questo i valori di resistenza hanno acquisito il pedice "nominal"

$$\begin{aligned}\bar{S}_{R_1}^A &= -\frac{R_{n2}R_{n4}}{R_{n1}^2(R_{n3} + R_{n4})} \frac{R_{n1}^2(R_{n3} + R_{n4})}{R_{n4}(R_{n1} + R_{n2})} \\ &= -\frac{R_{n2}}{R_{n1} + R_{n2}} = -\frac{56 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega + 56 \text{ k}\Omega} = -.848 \quad (12)\end{aligned}$$

Questo ci dice che se la resistenza R_1 aumenta dell'1%, il guadagno V_{out}/V_{in} diminuisce (segno negativo) dello 0.85% circa.

I valori delle altre tre relative sensitivities sono questi:

$$\begin{aligned}\bar{S}_{R_2}^A &= \frac{R_{n2}}{R_{n1} + R_{n2}} = \frac{56 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega + 56 \text{ k}\Omega} = .848 \\ \bar{S}_{R_3}^A &= -\frac{R_{n3}}{R_{n3} + R_{n4}} = -\frac{10 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega + 56 \text{ k}\Omega} = -.152 \\ \bar{S}_{R_4}^A &= \frac{R_{n3}}{R_{n3} + R_{n4}} = \frac{10 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega + 56 \text{ k}\Omega} = .152\end{aligned}$$

Una verifica rapida sul segno delle sensitivity e' facile da farsi. Si immagina di aumentare il valore di un componente e di solito si vede se il guadagno complessivo aumenta o diminuisce, da cui il segno della sensitivity e' positivo o negativo. Se non e' immediato vedere l'effetto del cambiamento del componente, si puo' sempre provare a farlo diventare un circuito aperto oppure un cortocircuito.

Calcolo delle sensitivity per il differenziale

Calcoliamo adesso la sensitivity dei guadagni rispetto alle variazioni delle resistenze (e questo era il quesito originario). Le resistenze sono caratterizzate da una variazione percentuale, e quindi e' naturale considerare le loro variazioni relative. Anche per il guadagno differenziale e' una buona scelta utilizzare la variazione relativa. Dobbiamo trovare cioe' la relative sensitivity di A_d rispetto alle quattro resistenze. Il metodo per calcolare la relative sensitivity e' nel post precedente:

$\bar{S}_R^{A_d} = \frac{\partial A_d}{\partial R} \frac{R}{A_d}$ Al posto della generica R che ho indicato bisogna ripeterli per le quattro resistenze (Una noia disumana fare tutti questi conti, per fortuna che ci sono i programmi di manipolazione simbolica delle espressioni). Le derivate e i guadagni devono essere calcolati con i valori nominali delle resistenze. Questo significa che *prima* si fanno i conti con R_1, R_2, R_3, R_4 **poi** si reintroduce la condizione che $R_4 = R_2$ e che $R_3 = R_1$

I risultati sono questi (se non ho sbagliato i conti)

$$\left\{ \begin{aligned} \bar{S}_{R_1}^{A_d} &= -\frac{R_1 + 2R_2}{2R_1 + 2R_2} = -\frac{2A_d + 1}{2A_d + 2} \\ \bar{S}_{R_2}^{A_d} &= \frac{R_1 + 2R_2}{2R_1 + 2R_2} = \frac{2A_d + 1}{2A_d + 2} \\ \bar{S}_{R_3}^{A_d} &= -\frac{R_1}{2(R_1 + R_2)} = -\frac{1}{2(A_d + 1)} \\ \bar{S}_{R_4}^{A_d} &= \frac{R_1}{2(R_1 + R_2)} = \frac{1}{2(A_d + 1)} \end{aligned} \right. \quad (13)$$

Vorsicht!: dietro questi risultati c'è **tanta** algebra: semplice ma **tanta**!

Vediamo ora di calcolare le sensitivities per il guadagno di modo comune A_c . In questo caso le resistenze hanno sempre una variazione relativa, ma non si può calcolare la variazione relativa di A_c perché il suo valore nominale è zero! Se una grandezza passa da 0 a un valore anche piccolissimo, la sua variazione relativa è infinita. Per A_c è necessario (e anche più sensato) calcolare la variazione assoluta.

Si deve quindi usare la sensibilità semirelativa, definita in questo modo: $\tilde{S}_R^{A_c} = \frac{\partial A_c}{\partial R} R$, al solito valutata per le quattro diverse resistenze. Da osservare che anche questa sensitivity è adimensionata. I risultati sono (con il solito pacco di algebra, sempre se non ho sbagliato i conti)

$$\left\{ \begin{array}{l} \tilde{S}_{R_1}^{A_c} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{A_d}{A_d + 1} \\ \tilde{S}_{R_2}^{A_c} = -\frac{R_2}{R_1 + R_2} = -\frac{A_d}{A_d + 1} \\ \tilde{S}_{R_3}^{A_c} = -\frac{R_2}{R_1 + R_2} = -\frac{A_d}{A_d + 1} \\ \tilde{S}_{R_4}^{A_c} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{A_d}{A_d + 1} \end{array} \right. \quad (14)$$

E' fatta, questi sono i risultati! Adesso comincia la parte difficile: che cosa vogliono dire? Cominciamo con il guadagno differenziale. Guardiamo i segni $\tilde{S}_{R_1}^{A_d}$ e $\tilde{S}_{R_3}^{A_d}$ sono negativi: se R_1 e R_3 aumentano il guadagno differenziale diminuisce. Invece $\tilde{S}_{R_2}^{A_d}$ e $\tilde{S}_{R_4}^{A_d}$ sono positive: se R_2 e R_4 diminuiscono, il guadagno diminuisce.

Se vogliamo calcolare la massima variazione del guadagno differenziale A_d dobbiamo considerare che R_1 e R_3 aumentino e R_2 e R_4 diminuiscano. Poi consideriamo che tutte le resistenze cambino della stessa percentuale δ_R :

$$\begin{aligned} \frac{\Delta A_d}{A_d} &= \tilde{S}_{R_1}^{A_d}(\delta_{R_1}) + \tilde{S}_{R_2}^{A_d}(-\delta_{R_2}) + \tilde{S}_{R_3}^{A_d}(\delta_{R_3}) + \tilde{S}_{R_4}^{A_d}(-\delta_{R_4}) \\ &= 2 \left(\frac{2A_d + 1}{2A_d + 2} + \frac{1}{2A_d + 2} \right) \delta_R = 2\delta_R \end{aligned} \quad (15)$$

E questo e' un primo risultato importante: se le resistenze sono all'1% nel caso piu' sfortunato la variazione del guadagno e' del **2%**!

Ma c'e' un altro risultato ancora piu' importante, ed e' quello del guadagno di modo comune A_c , che da 0 diventa diverso da zero. La sua variazione si calcola come prima, questa volta bisogna pero' supporre che ad esempio R_1 e R_4 aumentino e R_2 e R_3 diminuiscano. Seguendo la stessa procedura di prima si ottiene:

$$\begin{aligned}\Delta A_c &= \tilde{S}_{R_1}^{A_c}(\delta_{R_1}) + \tilde{S}_{R_2}^{A_c}(-\delta_{R_2}) + \tilde{S}_{R_3}^{A_c}(-\delta_{R_3}) + \tilde{S}_{R_4}^{A_c}(\delta_{R_4}) \\ &= 4 \frac{A_d}{A_d + 1} \delta_R \approx 4\delta_R \quad (16)\end{aligned}$$

Se A_d e' abbastanza maggiore di 1, con le resistenze all'1% si ottiene $A_c \approx .04$ e questo potrebbe essere un grosso guaio.

Supponiamo di voler misurare una caduta di tensione di 80 mV su una resistenza di shunt, e di voler trasformare questa caduta di tensione in una tensione di 4 V per mandarla all'A/D di un micro. Supponiamo che questa resistenza sia collegata sul positivo dell'alimentazione a 12 V. Abbiamo $V_d = 80 \text{ mV}$, $V_c = 11.95 \text{ V}$. Ci serve un guadagno differenziale $A_d = 50$ e se facciamo le cose per bene il guadagno di modo comune A_c dovrebbe venire nullo.

Realizziamo l'amplificatore con resistori all'1%, quindi $\delta_R = .01$

Quali sono gli effetti sull'amplificatore? Sappiamo che al massimo A_d puo' cambiare del 2%, quindi il guadagno potra' variare da 49 a 51 e la lettura sara' errata al max del 2%.

Adesso pero' arriva il guaio: quale sara' la tensione in uscita dall'amplificatore? Riprendiamo l'equazione che fornisce la tensione di uscita in funzione delle grandezze di modo differenziale e di modo comune e sostituiamo i numeri:

$$V_{\text{out}} = A_d V_d + A_c V_c = 50 \cdot 80 \text{ mV} + 11.95 \text{ V} \cdot .04 = 4 \text{ V} + .478 \text{ V}$$

URCA! Il modo comune, a causa del resistor mismatch, raggiunge l'uscita e puo' dare un errore, in questo caso, del 12%. In realta' il modo comune, non abbastanza

attenuato dall'amplificatore differenziale, da` in uscita un errore costante (un offset) che puo` arrivare a 478mV!

Conclusioni

In un amplificatore differenziale o da strumentazione e` importante il valore del guadagno differenziale, perche' e` quello che trasforma la grandezza sentita nel sistema in grandezza misurata dal processore (o chi per lui), ma e` ancora **piu`** importante che il guadagno di modo comune rimanga praticamente a zero.

Il parametro che indica quanto e` buono un amplificatore differenziale e` il Common Mode Rejection Ratio, CMRR definito in questo modo $CMRR = \frac{A_d}{A_c}$. Nell'esempio fatto, si ha $CMRR = \frac{50}{.04} = 1250 \rightarrow 62 \text{ dB}$. Gli amplificatori da strumentazione integrati arrivano oltre al centinaio di decibel.

Riferimenti

[1] Terry Bahill, "Sensitivity Analysis: a Validation and Verification Tool" [File PPT, U. of AZ](#)

Estratto da "<http://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:Isidorokz:sensitivity-iv-amplificatori-differenziali>"