

# 16.09.2014 - Amplificatori Operazionali Ideali

## 1 Introduzione

In questa sessione di laboratorio abbiamo montato due circuiti con amplificatori operazionali e valutato la loro tensione di output.

## 2 Materiali

- Oscilloscopio Agilent DSO-X 2002A (bandwidth  $70\text{MHz}$ , sample rate  $2\text{GSa/s}$ );
- Generatore di tensione continua Agilent E3631A (max  $\pm 25\text{V}$  o  $\pm 6\text{V}$ );
- Generatore di tensione Agilent 33120A con range di frequenza da  $100\mu\text{Hz}$  a  $15\text{MHz}$ ;
- Multimetro Agilent 34410A (utilizzato come amperometro e per verificare i valori delle resistenze);
- Un amplificatore operazionale UA741;
- Resistenze di vari valori;
- Due capacità da  $0.1\mu\text{F}$ ;
- Breadboard;
- Cablaggi vari.

## 3 Premessa sugli amplificatori operazionali ideali

Durante l'esperienza valuteremo l'amplificatore operazionale considerandolo come ideale. Infatti, in questa approssimazione (peraltro non eccessivamente limitante visti i valori di corrente in gioco nel nostro caso), valgono (considerando come A e B rispettivamente gli ingressi invertente e non invertente):

$$\Delta V_{AB} = 0 \quad (1)$$

$$I_{AB} = 0 \quad (2)$$

cioè la ddp fra l'ingresso invertente e non invertente è portato ad essere nullo dall'amplificatore operazionale modificando il valore di tensione in output (il cosiddetto *ground virtuale* dato che nei nostri casi l'ingresso non invertente è collegato alla comune del circuito); e la corrente assorbita dall'amplificatore è nulla. Queste regole verranno utilizzate durante questa sessione per valutare la risposta del circuito a segnali in ingresso, e si intendono utilizzate per tutte le sessioni in cui l'amplificatore è considerato ideale.

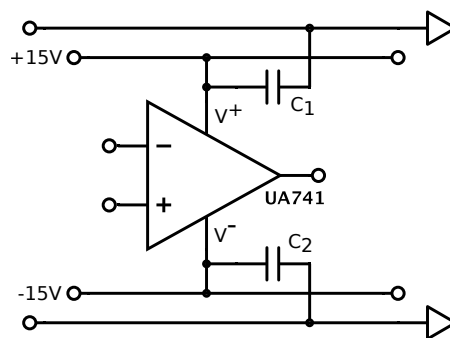


Figura 1: Grafico dell'alimentazione dell'OPAMP. La tensione di alimentazione è fornita con il generatore di tensione costante, mentre le capacità sono  $C_1 = C_2 = 0.1\mu\text{F}$ . Per maggiore chiarezza negli schemi circuitali, questa configurazione sarà nascosta negli schemi successivi, ma comunque presente sulla breadboard.

Inoltre, per maggiore chiarezza degli schemi circuitali, l'amplificatore si intende collegato all'alimentazione ( $\pm 15\text{V}$ ); e, al fine di evitare problemi di noise durante l'alimentazione, abbiamo collegato l'alimentazione a due capacità come nello schema.

## 4 Generatore di corrente

In questo circuito montiamo un generatore di corrente costante, cioè un dispositivo in grado di erogare una corrente costante indipendentemente dal carico a cui è sottoposto. Per valutare la risposta a diverse resistenze di carico abbiamo dunque utilizzato come  $R_f$  una resistenza variabile di tipo *trimmer*. Lo schema circuitali è in figura.

Risolviamo ora il circuito. Dato che B si trova a potenziale di comune, per (1) anche A sarà allo stesso potenziale, che considereremo nullo. Dunque varrà

$$V_{gen} = IR_1 \quad (3)$$

Per (2) e la legge di Kirchhoff sui nodi, avremo invece che la corrente passante per la resistenza di carico è uguale alla corrente  $I$  di (3).

Otteniamo dunque che la tensione di output si modificherà, ad opera dell'OPAMP, in modo da far passare sempre lo stesso valore di corrente attraverso  $R_2$ ; ciò avviene per il fenomeno di retroazione negativa, che ci permette di controllare la tensione di output tramite la resistenza di feedback, che in questo caso è proprio  $R_2$ , e di ottenere dunque una corrente costante passante per il circuito di feedback. Imponendo l'uguaglianza della corrente possiamo inoltre trovare il valore della tensione di uscita

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} V_{gen}$$

Durante l'esperienza abbiamo però deciso di misurare la corrente passante per la resistenza piuttosto che la tensione di uscita, ponendo un amperometro fra l'uscita dell'OPAMP e la resistenza di carico  $R_2$ . Come valore di corrente abbiamo scelto  $1mA$  in modo da discostarci dalla corrente massima in cui l'amplificatore operazionale potrebbe non comportarsi più in maniera ideale ( $10/20mA$ ); e avendo a disposizione una resistenza  $R_1 = 3.85 \pm 0.01k\Omega$ , per (3), abbiamo utilizzato una tensione continua di  $3.85V$ . Di seguito proponiamo alcuni valori sperimentali che confermano la capacità del circuito da noi creato di fornire alla resistenza di carico una corrente costante di  $1mA$  (considerando gli errori sull'ultima cifra come unitari).

Resistenza variabile [ $\Omega$ ]	0.54	35.1	412	1021	1996	3068	4170	4719
Corrente nel carico [ $mA$ ]	1.002	1.002	1.002	1.002	1.002	1.002	1.002	1.002

## 5 Sommatore Pesato

Valutiamo ora il sommatore pesato, cioè un circuito che dati due segnali in ingresso li somma con relativi pesi dati dal rapporto fra la resistenza di feedback ( $R_f$ ) e quella a loro associata ( $R_1$  e  $R_2$ ). Lo schema circuitale è in figura.

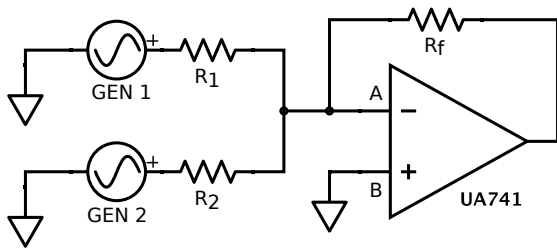


Figura 3: Schema del sommatore pesato. Come valori abbiamo utilizzato  $R_f \approx R_1 = (99.9 \pm 0.1)k\Omega$  e  $R_2 = (49.8 \pm 0.1)k\Omega$ , dove per  $R_2$  è stato necessario utilizzare un parallelo di due resistenze da  $100k\Omega$ . Come GEN 1 abbiamo utilizzato l'oscilloscopio, mentre per GEN 2 il generatore di forme d'onda. Infine, per valutare la tensione in uscita abbiamo utilizzato l'oscilloscopio.

Durante l'esperienza abbiamo optato per valori semplici dei rapporti fra le resistenze. Abbiamo dunque utilizzato i seguenti valori di resistenza:  $R_f = R_1 = 100k\Omega$  e  $R_2 = 50k\Omega$ ; si ottengono dunque  $\phi_1 = 1$  e  $\phi_2 = 2$ .

Presentiamo ora i grafici di alcune forme d'onda in uscita.

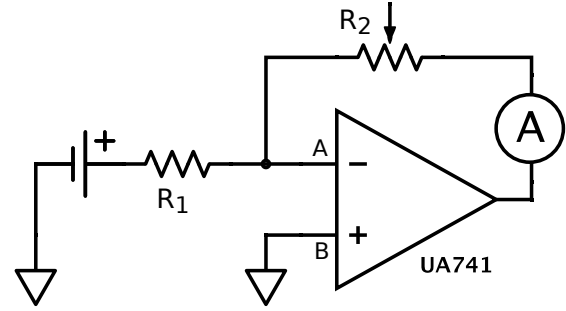


Figura 2: Schema del generatore di corrente costante. Come valori abbiamo utilizzato  $R_1 = 3.85 \pm 0.01k\Omega$  e  $V_{gen} = 3.85V$ , mentre  $R_2$  è variabile. Come amperometro è utilizzato il multimetro, mentre per alimentare l'OPAMP e come generatore di tensione costante in figura, abbiamo utilizzato il generatore di tensione continua.

Per risolvere il circuito consideriamo, definendo le tensioni dei generatori 1 e 2 rispettivamente  $V_1$  e  $V_2$ , le seguenti equazioni derivanti dalle leggi di Kirchhoff e dalla (2)

$$V_1 - V_A = I_1 R_1 \quad V_2 - V_A = I_2 R_2$$

$$V_A - V_{out} = (I_1 + I_2) R_f$$

Per (1) vale inoltre che  $V_A = V_B = 0$ ; dunque otteniamo, sostituendo le correnti nell'ultima equazione sopra

$$V_{out} = -R_f \left( \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} \right)$$

Si potrebbe dunque definire un peso relativo  $\phi_i$  ad ogni segnale dato dal rapporto fra  $R_f$  ed  $R_i$  (con  $i = 1, 2$ ) e scrivere una formula del tipo

$$V_{out} = - \sum_{i=1}^2 \frac{R_f}{R_i} V_i = - \sum_{i=1}^2 \phi_i V_i$$

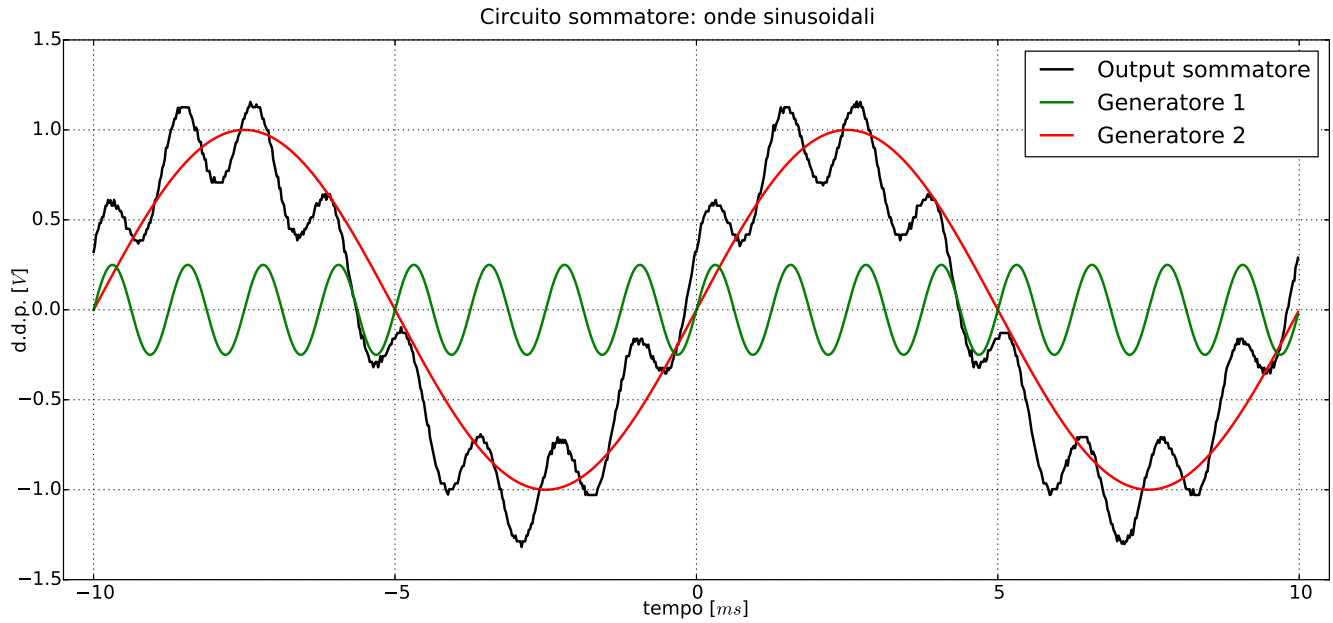


Figura 4: Grafico della tensione di uscita. Il generatore 1 (generatore dell'oscilloscopio) crea un'onda sinusoidale di  $\nu = 800\text{Hz}$  e  $V_{pp}^1 = 250\text{mV}$ ; il generatore 2 (generatore di forme d'onda) crea invece un'onda sinusoidale di  $\nu = 100\text{Hz}$  e  $V_{pp}^2 = 500\text{mV}$ . Notiamo inoltre che l'ampiezza massima è pari a  $\phi_1 V_{pp}^1 + \phi_2 V_{pp}^2 = 1250\text{mV}$ .

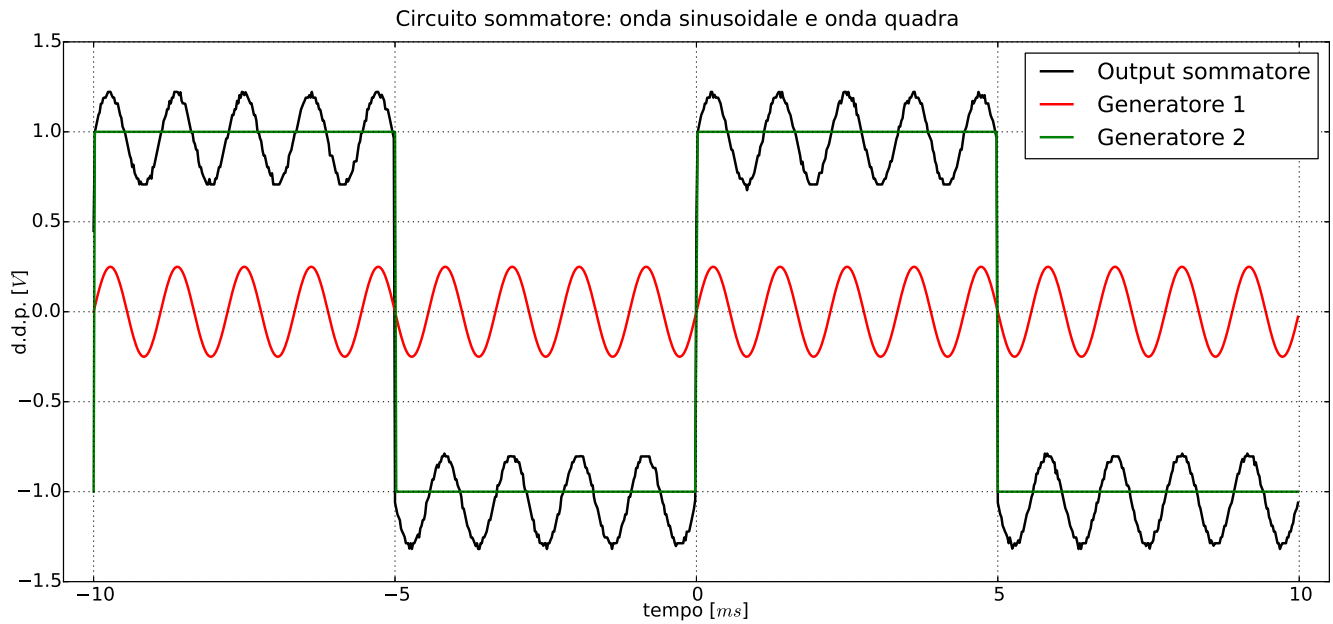


Figura 5: Grafico della tensione di uscita. Il generatore 1 (generatore dell'oscilloscopio) crea un'onda sinusoidale di  $\nu = 900\text{Hz}$  e  $V_{pp}^1 = 250\text{mV}$ ; il generatore 2 (generatore di forme d'onda) crea invece un'onda quadra di  $\nu = 100\text{Hz}$  e  $V_{pp}^2 = 500\text{mV}$ . Notiamo inoltre che anche in questo caso l'ampiezza massima è pari a  $\phi_1 V_{pp}^1 + \phi_2 V_{pp}^2 = 1250\text{mV}$ .