

## Esercitazione 02

Laboratorio di Fisica III

28,29,30 Settembre 2021

---

L'obiettivo dell'esercitazione è quello di realizzare e studiare alcuni circuiti basati su un amplificatore operazionale e che appunto "effettuano operazioni" sui segnali in ingresso. Nella prima parte saranno studiati tre fondamentali circuiti di amplificazione di segnali. Come seconda parte dell'esperienza sono proposti due circuiti facoltativi: il primo produce la derivata del segnale in ingresso, mentre il secondo, detto amplificatore a transimpedenza, consente di misurare la caratteristica I-V di componenti circuitali come diodi e transistor.

### Componenti necessari [\*]

- 1 op-amp OP07;
- 3 capacità (1 x 10 nF, 2 x 100 nF);
- 6 resistenze (2 x 1 k $\Omega$ , 2 x 10 k $\Omega$ , 2 x 100 k $\Omega$ );
- 1 diodo 1N4001;
- 1 transistor npn BC337;

[\*] la lista non tiene conto di breadboard, cavi, ecc.

**In questa esercitazione gli Op-Amp devono essere alimentati fornendo ai rispettivi pin di alimentazione +12 V e -12 V, limitando ciascun ramo dell'alimentatore a 20 mA.**

### 1 Amplificatore invertente, non-invertente, e differenziale

Gli amplificatori operazionali consentono di realizzare – programmandone il guadagno con due sole resistenze! – circuiti che amplificano il segnale in ingresso. In Fig. 1a è riportato il diagramma di un **amplificatore invertente**, il cui output è

$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} V_{in}.$$

Al contrario, in Fig. 1b è riportato il diagramma di un **amplificatore non-invertente**, il cui output è

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{in}.$$

Gli aggettivi "invertente" e "non-invertente" riflettono il segno del guadagno dei due amplificatori. Utilizzando i setup mostrati in figura, e in particolare

- utilizzando l'**op-amp OP07** opportunamente alimentato e
- utilizzando come segnale in ingresso  $V_{in}$  una sinusoide di frequenza  $f = 1$  kHz ed ampiezza picco-picco 1 V,

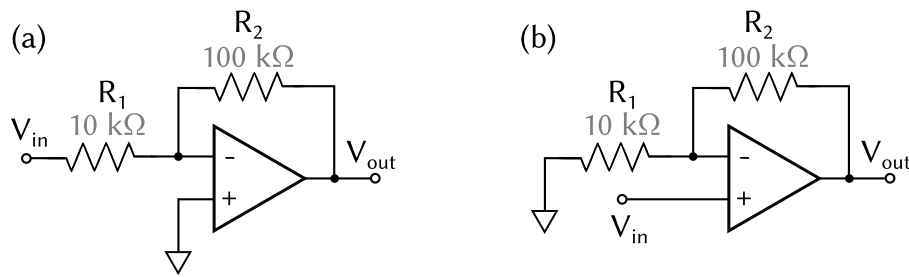


Fig. 1: (a) Amplificatore invertente. (b) Amplificatore non-invertente

si realizzino entrambi i circuiti mostrati in Fig. 1, verificandone il funzionamento. In particolare, si misuri il guadagno  $G$  dei due amplificatori, verificando che  $G \cong -10$  nell'amplificatore invertente, e  $G \cong 11$  nel caso non-invertente.

Con l'aggiunta di altre due resistenze è poi realizzabile un **amplificatore differenziale** che amplifica la differenza tra due segnali. Il diagramma circuitale è riportato in Fig. 2 e l'output corrispondente è

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1) .$$

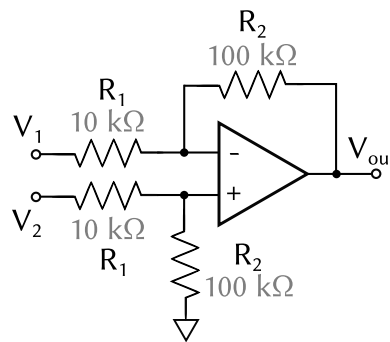


Fig. 2: Amplificatore differenziale.

Utilizzando il setup mostrato in figura, e in particolare

- utilizzando l'**op-amp OP07** opportunamente alimentato a  $\pm 12\text{ V}$  e
- utilizzando come segnali in ingresso  $V_1$  e  $V_2$  delle onde sinusoidali di frequenza  $f = 1\text{ kHz}$  ed ampiezza picco-picco compresa tra  $0.1\text{ V}$  e  $0.5\text{ V}$  (si consiglia quest'ultimo valore),

si realizzi il circuito mostrato in Fig. 2, verificandone il funzionamento (oltre alla differenza di fase  $\Delta\phi = 0$ , si possono utilizzare altri valori di  $\Delta\phi$ ).

Fissando i segnali con la stessa ampiezza e fase ( $\Delta\phi = 0$ ), si cambi la frequenza di uno dei due, riducendola ad esempio a  $f = 999\text{ Hz}$ , e si misuri la frequenza di battimento (si consiglia la funzione "Scorrimento/Roll" dell'oscilloscopio).

## 2 FACOLTATIVO: Circuito derivatore e circuito di misura della transimpedenza

- Si verifichi che il circuito in Fig. 3a produce in output la derivata del segnale in ingresso, e si motivi tale osservazione. Qual è il guadagno di tale circuito?
- Il circuito in Fig. 3b, detto *amplificatore a transimpedenza*, consente invece di misurare la caratteristica corrente-tensione di un elemento – in questo caso un diodo 1N400x – in esso contenuto. In particolare, la tensione  $V_D$  fornisce una misura diretta della tensione ai capi del diodo (l'ingresso invertente è una

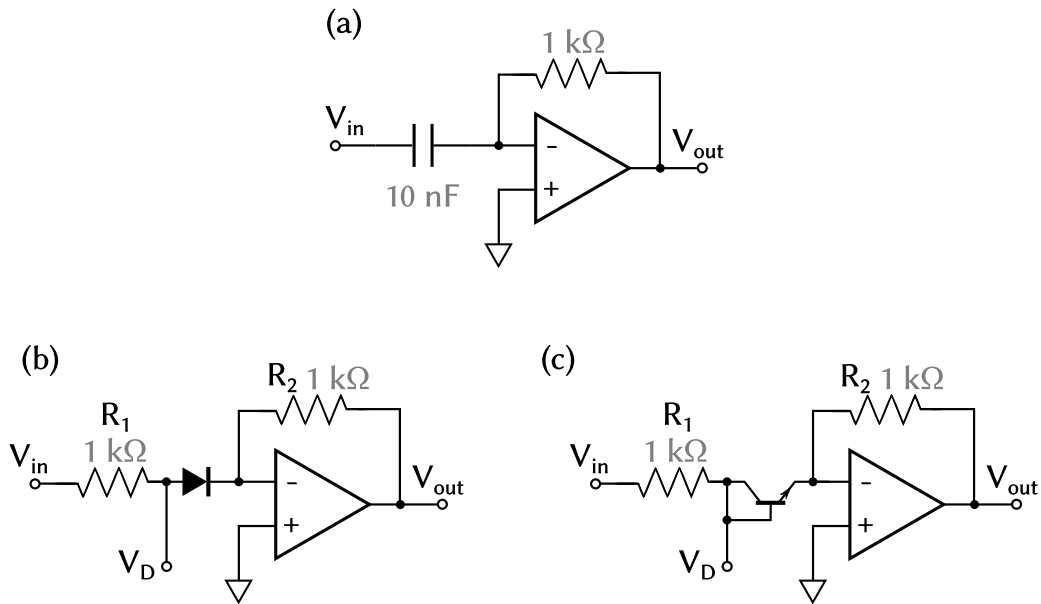


Fig. 3: (a) Circuito derivatore. (b) Circuito per la misura della caratteristica I-V di un diodo. (c) Circuito per la misura della corrente di collettore in funzione della tensione base-emettitore di un transistor npn.

massa virtuale!), mentre la tensione in output all'op-amp  $V_{out}$  è una misura di quanta corrente scorre nel diodo (in virtù della legge di Ohm e utilizzando la resistenza di retroazione  $R_2$  come fattore di proporzionalità). Assumendo insignificante la corrente di bias, la corrente  $I_D$  che scorre nel diodo è infatti pari alla corrente che scorre nel ramo di retroazione. L'output dell'op-amp è quindi

$$V_{out} = -I_D R_2 ,$$

dove  $R_2$  è la resistenza sul ramo di feedback (in questo caso  $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ ; si possono utilizzare anche  $10 \text{ k}\Omega$ ). Utilizzando come  $V_{in}$  una sinusoide di ampiezza picco-picco dell'ordine di  $1 \text{ V}$  e una frequenza di alcuni Hz (frequenze più elevate vanno evitate per limitare l'effetto Miller), **si misurino contemporaneamente  $V_D$  e  $V_{out}$  e da esse si ricostruisca la caratteristica I-V del diodo. A quale tensione  $V_D$  il diodo inizia effettivamente a condurre?**

- Sostituendo al diodo un transistor npn BC337 come da Fig. 3c, **determinare la corrente di collettore in funzione della  $V_{BE}$ .**
- Sia nel caso del diodo che nel caso del transistor, **provare a fittare la caratteristica I-V con l'equazione di Shockley:**

$$I = I_S \left( e^{40 \cdot V(V)/n} - 1 \right) ,$$

dove  $I_S$  è la corrente di saturazione inversa e  $n$  è il fattore di idealità, e a interpretare i dati così ottenuti.