

# Laboratorio di Fisica 3 AVANZATO

Proff. D. Nicolò, C. Roda

## Esercitazione N. 3 Amplificatore a transistor.

### Scopo dell'esperienza:

Realizzare e caratterizzare un amplificatore a transistor usando un transistor NPN -2N2222. Si può assumere che il guadagno del transistor sia circa 100 (per i dettagli vedere il data-sheet disponibile nella Documentazione tecnica nel folder "Transistor BJT"). Sono riportate in calce alla scheda le formule necessarie per calcolare le quantità rilevanti nel circuito. Lo schema del circuito è mostrato in figura e le sue caratteristiche principali sono:

- alimentazione  $V_{CC} = 5V$ ,  $V_{EE} = -5V$ ;
- corrente di quiescenza di collettore di circa 1 mA;
- guadagno in tensione per frequenze 1-10 kHz intorno a 10.

### 2N2222 Transistor Pinout



### Identificazione dei terminali del transistor.

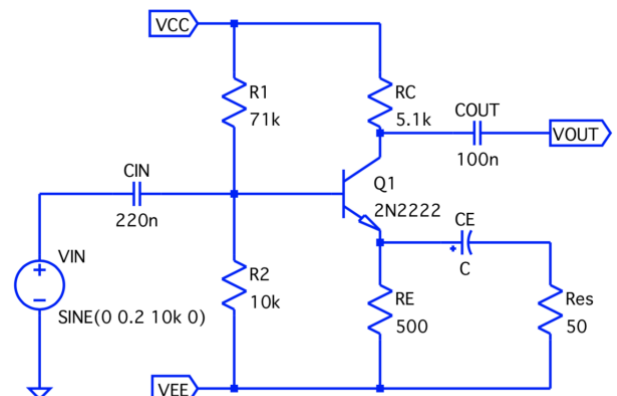
Osservando il componente dall'alto e con la faccia piana alla vostra destra, i terminali sono nell'ordine dall'alto verso il basso C, B, E (si veda l'immagine in alto).

**ATTENZIONE;** Il pinout riportato sul data-sheet **non** è CONFORME a quello del componente presente nei kit. Per questo aspetto fate ESCLUSIVO riferimento alla figura in alto.

### Montaggio del circuito

Seguire i seguenti punti per il montaggio del circuito in figura:

- prima di iniziare a montare il circuito fatevi un progetto di come fare i collegamenti sulla basetta tenendo conto di tutti i componenti (in particolar modo tenendo conto del fatto che le resistenze di alcuni rami del circuito dovranno essere ottenute combinando in serie o in parallelo alcuni resistori disponibili nei kit);
- trovare i seguenti componenti:
  - $R_C = 5.1 \text{ k}\Omega$
  - $R_E = 0.5 \text{ k}\Omega$  (da ottenere con due resistenze da 1 k $\Omega$  in parallelo)
  - $C_{IN} = 220 \text{ nF}$
  - $C_{OUT} = 100 \text{ nF}$
  - $R_1 = 71 \text{ k}\Omega$  (da ottenere con due resistenze in serie da 51 k $\Omega$  e 20 k $\Omega$ )
  - $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$
- tutti i componenti o loro combinazioni devono essere preliminarmente misurati con il multimetro;
- per il momento non montare il ramo del circuito con la serie  $C_E$  ed  $R_{es}$  ma preparare due resistenze da 100  $\Omega$  (da montare in parallelo per ottenere una resistenza  $R_{es} = 50 \text{ }\Omega$ );
- lasciare l'ingresso  $V_{IN}$  non collegato per la verifica del punto di lavoro (punto 1).



## 1. Verifica del punto di lavoro

- Misurare le componenti quiescenti ( $V_{BE}^Q$ ,  $V_{CE}^Q$ ,  $I_C^Q$ ) al punto di lavoro, confrontandole con i valori attesi, e verificare che il punto di lavoro si trovi circa a metà della retta di carico. Nota: la corrente di collettore si misura facilmente dalla caduta su  $R_C$ .
- Misurare le tensioni ai terminali del transistor,  $V_B$ ,  $V_E$  e  $V_C$  e confrontarle con quanto atteso.
- Determinare dalla precedente misura di  $I_C^Q$  una stima grossolana della corrente di base (si assuma  $h_{FE} = 100$ ), confrontandola con la corrente che scorre nel partitore  $R_1$ - $R_2$  e verificando che si tratti di un partitore "stiff" come necessario.

## 2. Risposta a segnali sinusoidali di frequenza 10 kHz.

**NOTA:** per questo punto considerare trascurabile l'impedenza dei condensatori.

Inviare in ingresso un segnale di frequenza 10 kHz e misurare il segnale di uscita  $V_{OUT}$  in funzione dell'ampiezza del segnale in ingresso  $V_{IN}$ . In particolare:

- verificare l'inversione di fase del segnale in uscita;
- misurare il guadagno  $AV = (V_{OUT}/V_{IN})$  per piccoli segnali (atteso circa 10) variando opportunamente l'ampiezza di  $V_{IN}$  e riportando le ampiezze ( $V_{IN}$ ,  $V_{OUT}$  e relativi errori) in una tabella e in un grafico;
- verificare la linearità del circuito e i suoi limiti;
- discutere l'effetto di clipping del segnale di uscita (taglio dei segnali elevati) discutendo la sua simmetria e la relazione con la posizione del punto di lavoro.

## 3. Impedenza di ingresso e di uscita per segnali di frequenza 10 kHz.

- Valutare quanto ci si aspetta per l'impedenza di ingresso  $R_{IN}$  del circuito. Misurare l'impedenza di ingresso inserendo in serie al generatore una resistenza  $R_S$  dello stesso ordine di  $R_{IN}$  attesa e misurando la tensione in uscita con o senza  $R_S$ .

**Nota:** detta  $V_1$  la tensione  $V_{OUT}$  misurata senza  $R_S$  e  $V_2$  la tensione misurata con  $R_S$  inserita, vale la formula:  $R_S/R_{IN} = V_1/V_2 - 1$

- Valutare quanto ci si aspetta per l'impedenza di uscita  $R_{OUT}$  del circuito. Misurare l'impedenza di uscita del circuito inserendo tra l'uscita e la massa una resistenza di carico  $R_L$  dello stesso ordine di  $R_{OUT}$  e misurando la tensione di uscita con o senza resistenza.

**ATTENZIONE:** il carico deve essere collegato tra massa ed uscita dell'amplificatore, ovvero a valle di  $C_{OUT}$ . Cosa succederebbe invece se  $R_{OUT}$  fosse in parallelo ad  $R_C$ ?

**Nota:** detta  $V_1$  la tensione misurata senza  $R_L$  e  $V_2$  la tensione misurata con  $R_L$ , vale la formula:  $R_{OUT}/R_L = V_1/V_2 - 1$

## 4. Risposta in frequenza

- Utilizzando il "Network Analyzer", misurare la risposta in frequenza del circuito tra circa 5Hz e 10 MHz con una tensione di ingresso fissa pari a 200 mV.
- Determinare le frequenze di taglio dell'amplificatore (spiegando il metodo utilizzato). Mettere in relazione la frequenza di taglio inferiore agli elementi circuitali utilizzati. Discutere qualitativamente la dipendenza della frequenza di taglio dalle caratteristiche reali del transistor ad alta frequenza.

## 5. Aumento del guadagno

- Inserire la resistenza  $R_{es}$  preparata precedentemente ed il condensatore elettrolitico  $C_E = 100\mu F$ . Misurare il nuovo guadagno del circuito a 10 kHz.

**ATTENZIONE:** il condensatore elettrolitico ha una polarità da rispettare;

Visto l'elevato guadagno, abbassate adeguatamente l'ampiezza del segnale in ingresso in modo da non incorrere nella saturazione del segnale in uscita.

- Confrontare il guadagno misurato con quanto atteso e discutere la relazione con i parametri circuitali ed i parametri del transistor. Spiegare perché la semplice formula  $A_v = -R_C/R_{es} = 100$  non riproduce i dati.

Formule utili per il funzionamento del circuito amplificatore a transistor escludendo i condensatori di ingresso ed uscita.  $Z_E$  è l'impedenza del ramo di emettitore che in questo circuito è pari a  $R_E$  (oppure  $R_E // R_{es}$  nel punto 5).

$$A_v = -\frac{R_C}{Z_E + h_{ie}/h_{fe}} \approx -\frac{R_C}{Z_E}$$

$$I_C^Q \simeq \frac{V_{BB} - V_{BE}^Q}{R_E + R_{BB}/h_{fe}}, \quad \text{con } V_{BB} \equiv \frac{V_{CC} - V_{EE}}{1 + R_1/R_2}, \quad R_{BB} \equiv R_1 || R_2$$

$$V_{CE}^Q = V_{CC} - V_{EE} - (R_C + R_E)I_C^Q$$

$$Z_{in} = (h_{ie} + h_{fe}Z_E) || R_{BB}$$

$$Z_{out} = R_C$$