

**Università degli studi di Trieste**  
**Laboratorio di dispositivi elettronici**

**Allievo :Delpioluogo Michele 83101212**

**DATA : 22/12/99**

**Allievo :Codognotto Alberto 83101210**

**Ing. Elettronica**

---

**Progetto di un amplificatore**

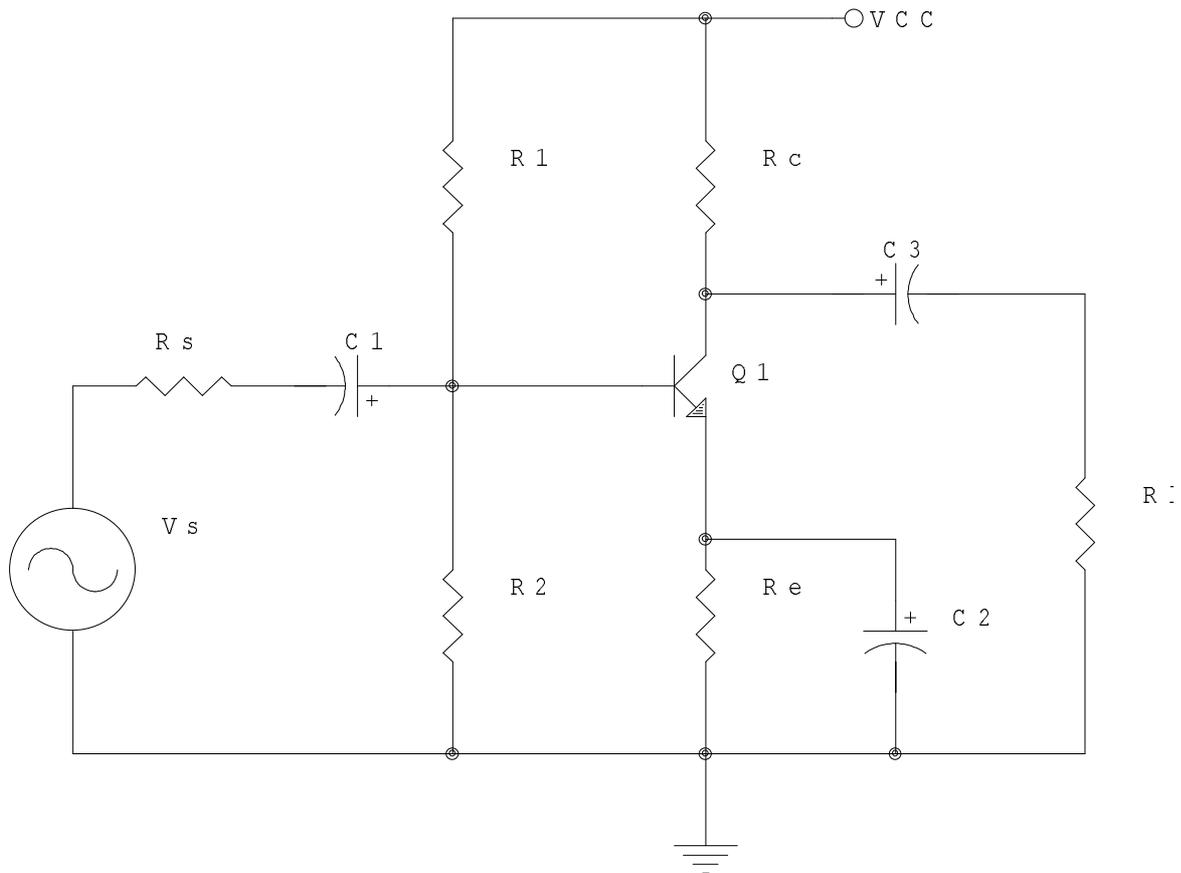
**Introduzione**

Scopo dell'esperienza di laboratorio era progettare e realizzare un amplificatore audio che lavorasse tra i 20Hz e i 20kHz. Nella fase di progetto si doveva fare in modo che l'amplificatore raggiungesse almeno un guadagno in tensione pari a 4 su un carico di  $64\Omega$  utilizzando un generatore di segnale con in serie una resistenza da  $1K\Omega$ .

**Distinta componenti**

- $R_1 = 33K\Omega \frac{1}{4} W$
- $R_2 = 3.9K\Omega \frac{1}{4} W$
- $R_C = 560\Omega \frac{1}{4} W$
- $R_E = 47\Omega \frac{1}{4} W$
- $R_L = 64\Omega$
- $R_S = 1K\Omega$
- $C_1 = 10\mu F$  cond. elettrolitico 16V
- $C_2 = 2200\mu F$  cond. elettrolitico 16V
- $C_3 = 2200\mu F$  cond. elettrolitico 16V
- $Q_1 = BC107$

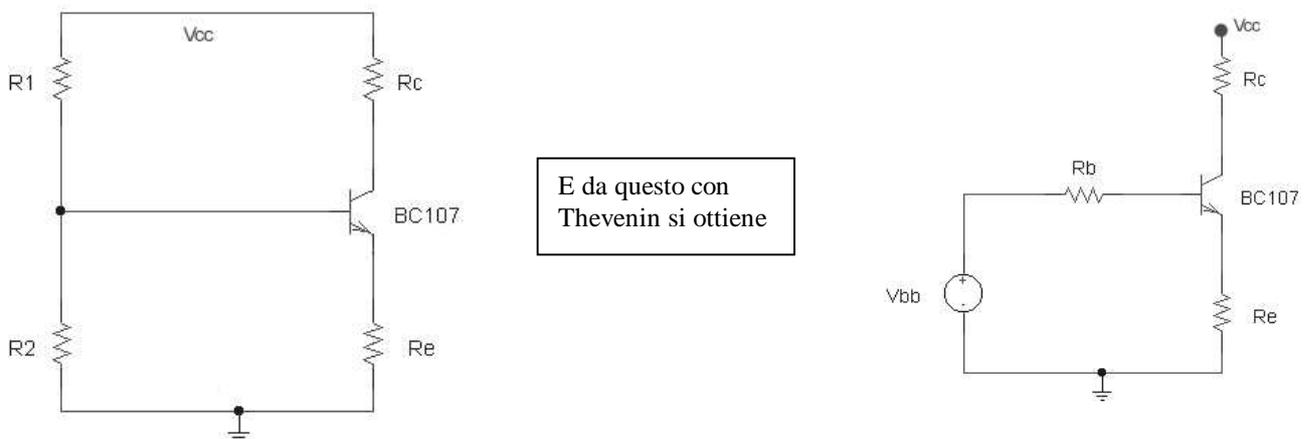
## Schema elettrico generale



## Progetto dell'amplificatore

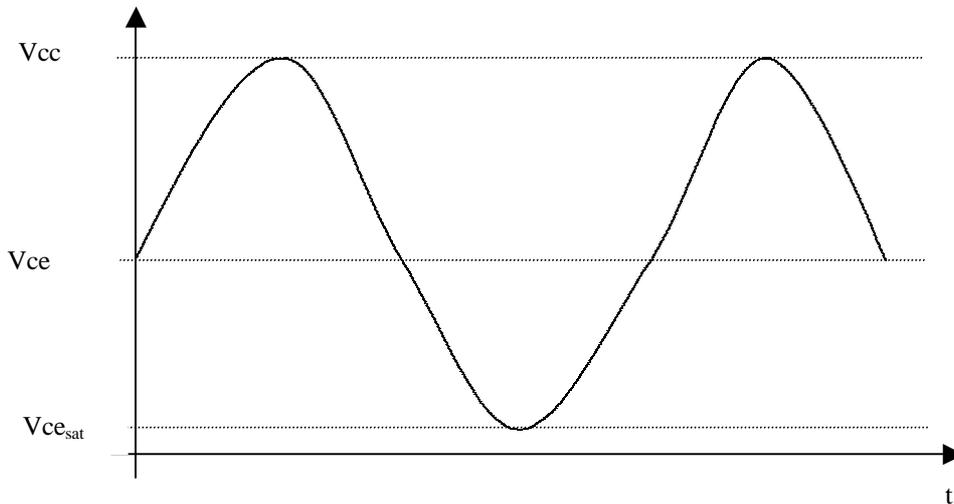
I calcoli eseguiti per la polarizzazione del transistor sono i seguenti:

Il circuito di polarizzazione è:



Assegniamo alcune specifiche per la progettazione:

- Per fare sì che il segnale amplificato non risulti saturato in uscita si è reso necessario assegnare alla  $V_{CE}$  un valore pari a metà del valore di  $V_{CC} - V_{CEsat}$  e quindi si è deciso  $V_{CE} \approx 6V$ .



- Si è fissato un valore di  $I_C = 10mA$ , perché consultando i data sheet a disposizione risultava un minimo di  $h_{re}$  ed un max di  $h_{fe}$ , inoltre la  $h_{ie}$  è di circa  $1k\Omega$ , per un miglior accoppiamento d'ingresso. In accordo con la potenza dissipata.
- Si è fissato un valore  $V_{RE} = 0,5V$ .
- Incidentalmente si è fissato un valore di  $S = 60$ , per raggiungere un buon compromesso tra stabilità e guadagno.
- Si è fissato un valore adeguato per il  $\beta$  relativo al BC107 che dalla consultazione dei data sheets è risultato essere  $\beta = 310$ .

Dopo queste assunzioni si sono calcolate le altre resistenze nel seguente modo:

□ Calcoli sulla  $R_C$ :

Considerati i valori di  $I_C = 10mA$  e  $\beta = 310$  si è calcolato il valore di  $I_B$  nel seguente modo:

$$I_C = \beta I_B \Rightarrow I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{10mA}{310} = 0.032mA$$

Considerato il valore di  $V_{RE}$ , di  $I_C$ , di  $I_B$ , di  $V_{CE}$ , di  $V_{CC}$  e la maglia di uscita si è calcolato il valore di  $R_C$  nel seguente modo:

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE} + V_{RE} \Rightarrow R_C = \frac{V_{CC} - V_{RE} - V_{CE}}{I_C} = \frac{12V - 0,5V - 6V}{10mA} = 0.55 \Rightarrow 560\Omega$$

$$P_{Rc} = R_C \cdot I_C^2 = 560\Omega \cdot (10mA)^2 = 0.056W \Rightarrow 1/4W$$

□ Calcoli sulla  $R_E$ :

Considerando i valori di  $V_{RE}$ ,  $I_C$  e  $\beta$ :

$$R_E = \frac{V_{RE}}{I_C \left(1 + \frac{1}{\beta}\right)} = \frac{0,5V}{10mA \left(1 + \frac{1}{310}\right)} = 49.83\Omega \Rightarrow 47\Omega$$

$$P_{RE} = R_E \cdot (I_C)^2 = 47\Omega \cdot (10mA)^2 = 0.0047W \Rightarrow 1/4W$$

□ Calcoli sulle resistenze  $R_1$  e  $R_2$ :

Partendo dalla maglia di ingresso si è ricavato il valore delle resistenze  $R_1, R_2$  utilizzando i dati della stabilità:

$$V_{BB} = R_B I_B + V_{BE} + (I_C + I_B)R_E = I_B(R_E + R_B) + I_C R_E + V_{BE} \Rightarrow I_B(R_B + R_E) = V_{BB} - V_{BE} - R_E I_C$$

$$\Rightarrow I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE} - R_E I_C}{R_B + R_E} \Rightarrow \frac{\partial I_B}{\partial I_C} = -\frac{R_E}{R_B + R_E}$$

La  $V_{BE}$  dai data sheet risulta essere, per la  $I_C$  del circuito,  $0.63V \approx 0.7V$ . A questo punto usando le formule per la stabilità:

$$S = \frac{\beta + 1}{1 + \beta \frac{R_E}{R_B + R_E}} = \frac{(\beta + 1)(R_B + R_E)}{R_B + R_E + \beta R_E} \Rightarrow R_B(S - \beta + 1) = (\beta + 1)R_E(1 - S)$$

$$R_B = \frac{(\beta + 1)R_E(1 - S)}{S - \beta + 1} = \frac{(310 + 1) \cdot 47\Omega \cdot (1 - 60)}{60 - 310 + 1} = 3436\Omega$$

Da questo risultato con le formule dell'equivalente di Thevenin si ricavano i risultati cercati:

$$V_{BB} = I_B R_B + V_{BE} + (I_C + I_B)R_E = 0.032mA \cdot 3436\Omega + 0.63V + (10mA + 0.032mA) \cdot 47\Omega = 1.21V$$

A questo punto:

$$\begin{cases} R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \\ V_{BB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R_1 = \frac{V_{CC} R_B}{V_{BB}} = \frac{12V \cdot 3436\Omega}{1.21V} = 34.076K\Omega \\ R_2 = -\frac{R_B R_1}{R_B - R_1} = -\frac{3436\Omega \cdot 34.076K\Omega}{3436\Omega - 34.076K\Omega} = 3821\Omega \end{cases}$$

Da questi dati teorici si sono dovute compiere delle approssimazioni necessarie per poter utilizzare le resistenze reali e si sono scelti i seguenti valori:

$$R_1 = 33k\Omega$$

$$R_2 = 3.9K\Omega$$

Le potenze in gioco in queste due resistenze sono talmente irrilevanti che non si riportano i calcoli in merito, assumiamo  $R_1$  e  $R_2$  con potenza di  $1/4W$ .

□ Calcoli sulla potenza del transistor:

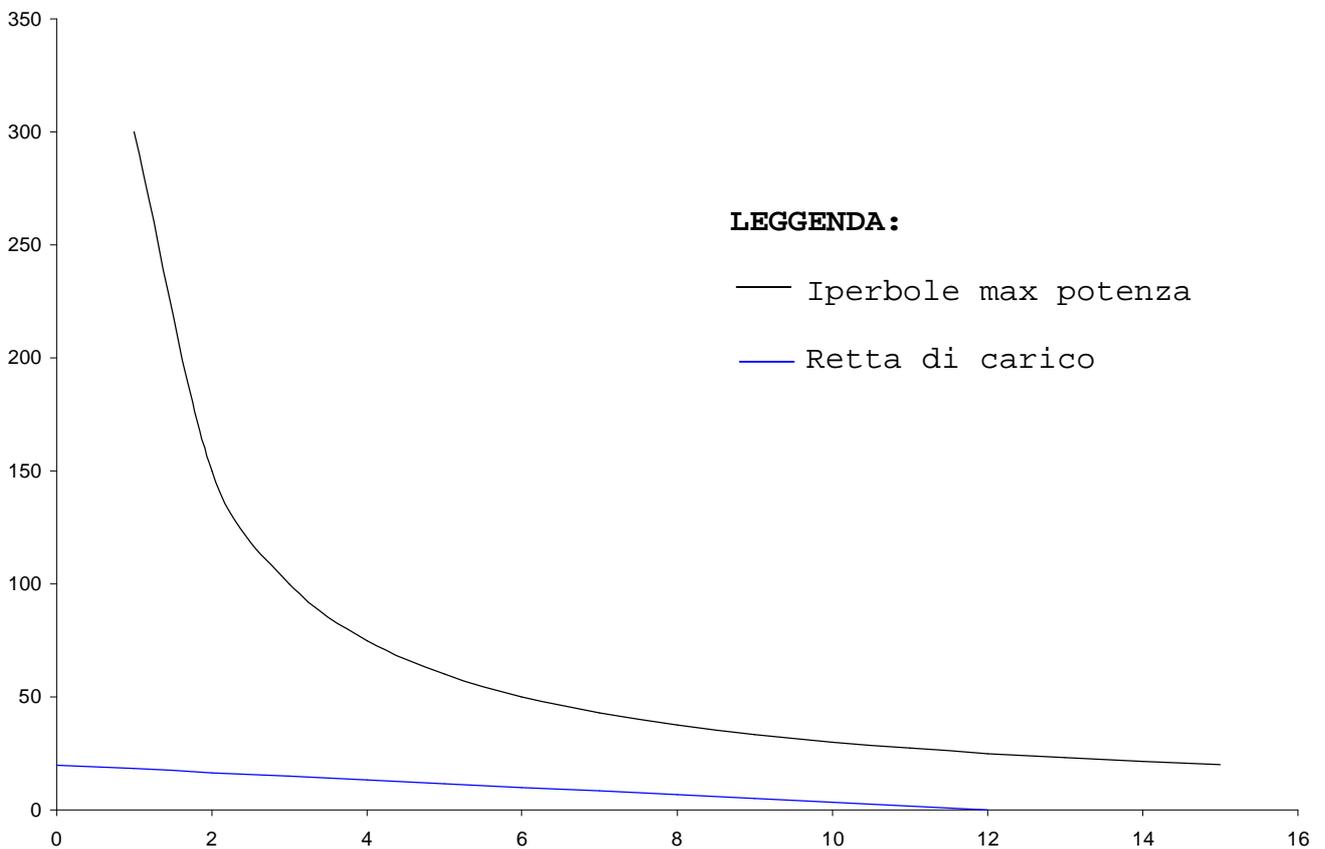
Al fine di salvaguardare l'integrità del transistor è necessario verificare che la potenza dissipata non superi il valore massimo consentito.

A questo proposito calcoliamo la potenza dissipata dal transistor nel punto di lavoro:

$$P_{Q1} = V_{CE} \cdot I_C = 6V \cdot 10mA = 60mW$$

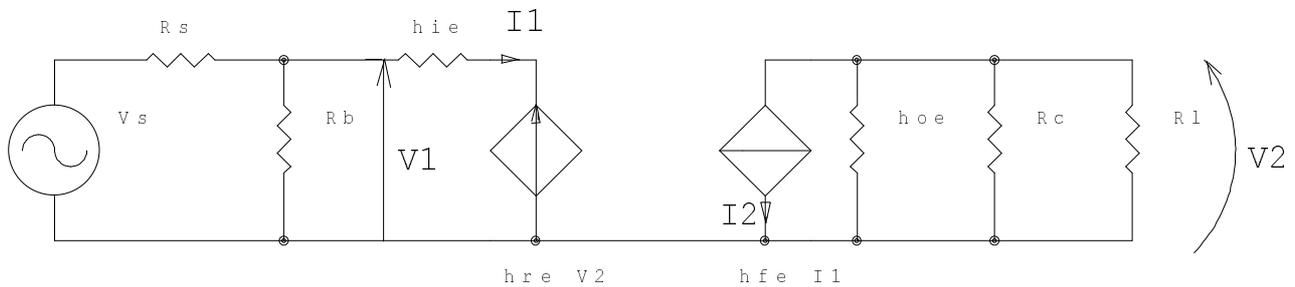
Tale dato quindi deve essere confrontato con i dati riportati nei data sheet: 300mW a  $\leq 25^\circ C$ .

Come si può notare si è abbondantemente al di sotto del valore max, quindi non ci sono problemi per quanto riguarda la fuga termica, come si può notare dal grafico:



La retta di carico del circuito costringe il transistor al di sotto dell'iperbole che delimita la zona di massima potenza consentita.

Si riportano i calcoli in regime di segnale:  
 Si considera il modello del transistor a doppia porta:



Con la  $I_c$  del circuito si ricava la seguente matrice ibrida:

- ✓  $h_{ie} = 1.3K\Omega$
- ✓  $h_{re} = 1.6E-4$
- ✓  $h_{fe} = 330$
- ✓  $h_{oe} = 42\mu s$

La resistenza di carico è il parallelo tra  $R_c$  ed  $R_L$ ; dati i valori di questi ultimi si assume che la resistenza di uscita è  $R_L$ , quindi si calcola la resistenza di ingresso:

$$R_{IN} = R_B // R'_{IN}$$

$$R'_{IN} = h_{ie} - \frac{h_{re} \cdot h_{fe}}{h_{oe} + \frac{1}{R_L}} = 1.3K\Omega - \frac{1.6 \cdot 10^{-4} \cdot 330}{42\mu s + \frac{1}{64}} \approx 1.3K\Omega$$

$$R_{IN} \approx 1K\Omega$$

Si calcola la resistenza di uscita:

$$R_{OUT} = R'_{OUT} // R_C$$

$$R'_{OUT} = \frac{1}{h_{oe} - \frac{h_{fe} \cdot h_{re}}{h_{ie} + R_S // R_B}} = \frac{1}{42\mu s - \frac{1.6 \cdot 10^{-4} \cdot 330}{1.3K\Omega + 1K\Omega // 3436\Omega}} = 60K\Omega$$

$$R_{OUT} \approx 560\Omega$$

Si calcola l'amplificazione di tensione

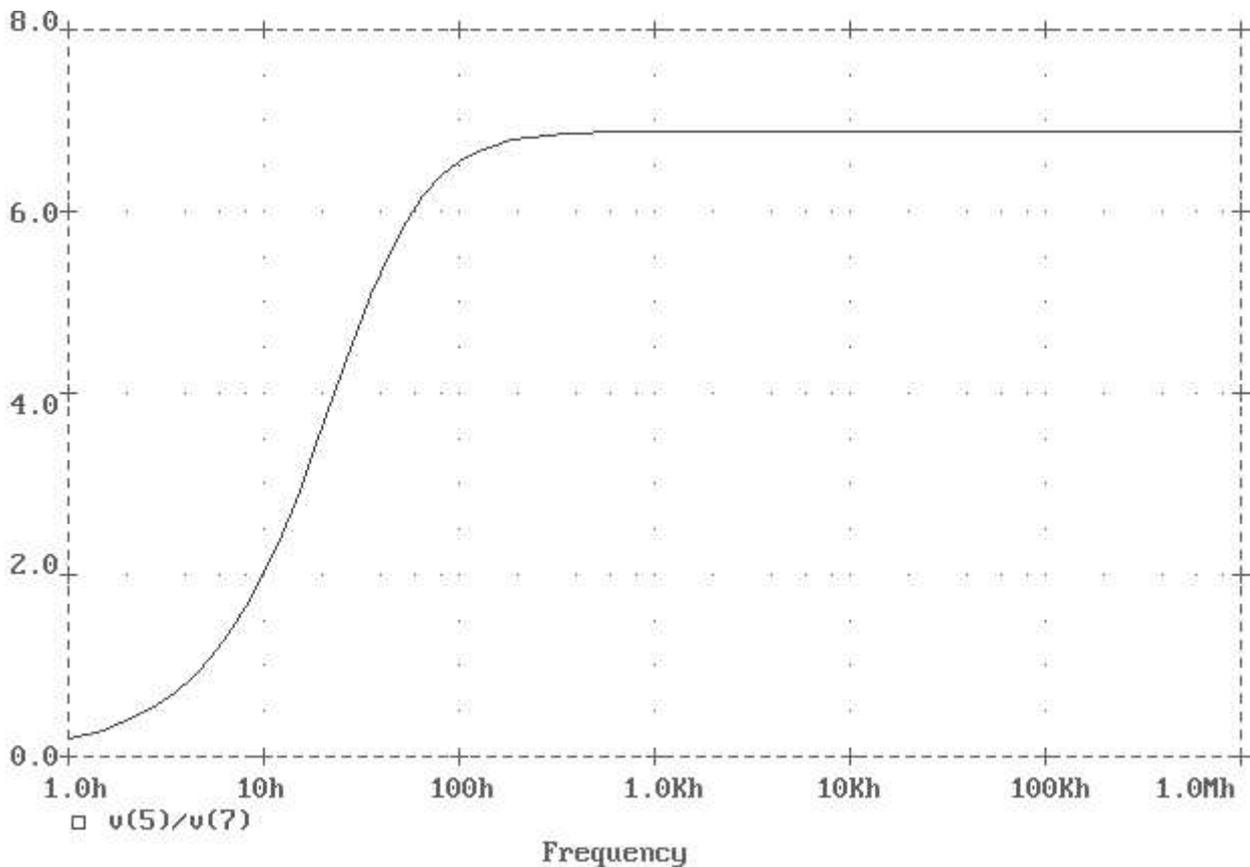
$$A_V = \frac{h_{fe}}{h_{fe} \cdot h_{re} - h_{ie} \left( \frac{1}{R_L} + h_{oe} \right)} \cdot \frac{R_{IN}}{R_{IN} + R_S} = \frac{330}{330 \cdot 1.6 \cdot 10^{-4} - 1.3K\Omega \left( \frac{1}{64\Omega} + 42\mu s \right)} \cdot \frac{1K\Omega}{1K\Omega + 1K\Omega} = -8.12$$

## Simulazione circuito con PSPICE

Si è simulato il circuito con Pspice, riportiamo il file .CIR ed il grafico delle caratteristiche di uscita trovate.

Amplificatore con BC107

```
*-----Netlist del circuito-----
V_VCC 1 0 DC 12
V_VS 7 0 AC 1 SIN(0 0.1 200K)
Q_Q1 2 4 3 BC107
R_R1 1 4 33K
R_R2 4 0 3.9K
R_RC 1 2 560
R_RE 3 0 47
R_RS 7 6 1K
R_RL 5 0 64
C_C1 4 6 10U
C_C2 2 5 2200U
C_C3 3 0 2200U
*
*-----Analisi del circuito-----
.AC DEC 11 1 1MEG
*
*-----Opzioni-----
.OPT RELTOL=.001
.OP
*
*-----Definizione modelli usati-----
.MODEL BC107 NPN (BF=310 RB=100 CJE=3PF CJC=2PF VA=50)
*
.PROBE
.END
```



## Calcoli e considerazioni sui condensatori applicati

Per accoppiare l'amplificatore con i dispositivi esterni si è reso necessario introdurre tre condensatori: uno di accoppiamento e due di bypass.

I valori di tali condensatori sono stati stabiliti nei seguenti modi:

Si sono effettuati dei calcoli approssimativi introducendo le impedenze dei condensatori alla frequenza inferiore, trovando così i valori massimi di impedenza accettabili affinché la presenza dei condensatori non fosse rilevante all'interno del circuito. Quindi conoscendo i valori standard delle capacità si sono scelti i valori adeguati. A questo punto i risultati ottenuti sono stati provati con la simulazione.

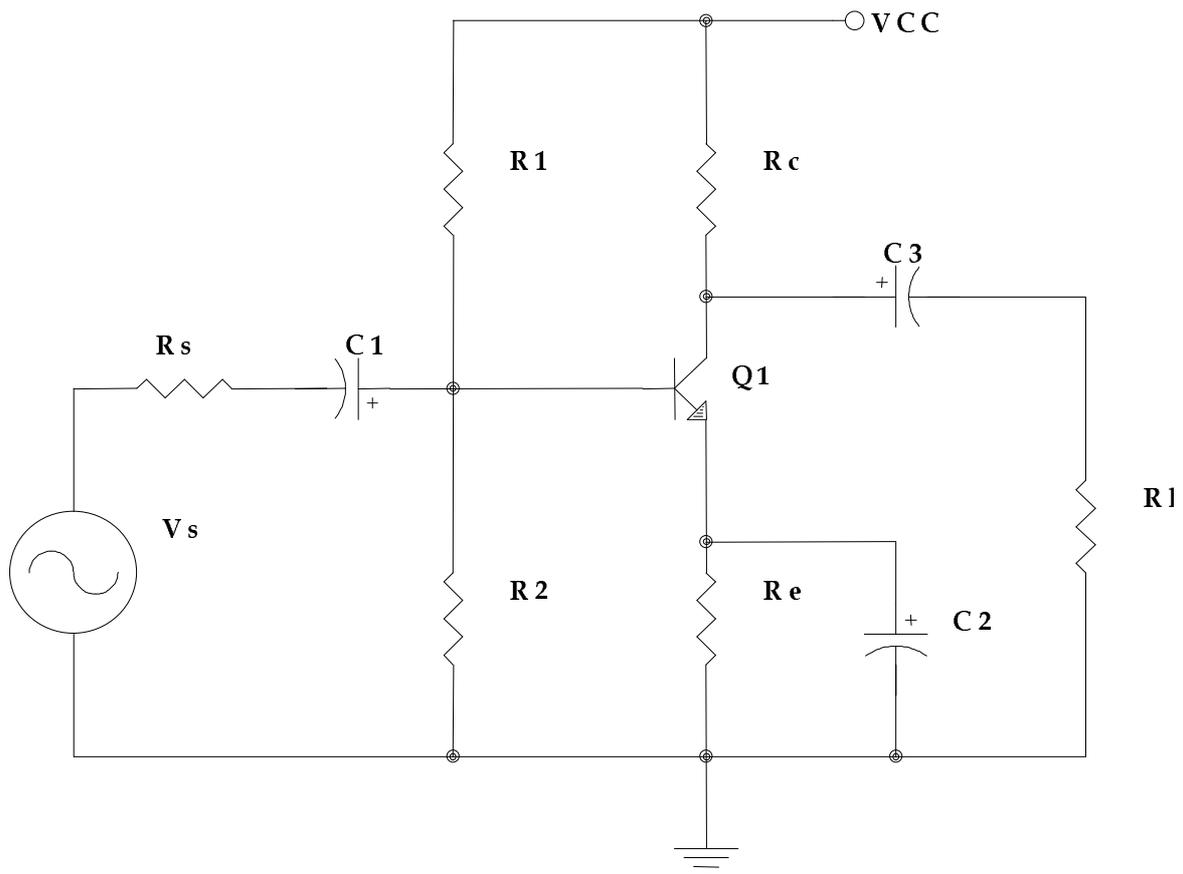
Purtroppo data l'entità delle capacità si è reso necessario l'utilizzo di condensatori elettrolitici con tensione di lavoro di 16V che comunque è inferiore alla tensione massima presente sul circuito.

## Collaudo dell'amplificatore

### Strumentazione ed apparecchiature utilizzate

- Alimentatore stabilizzato regolabile in tensione -duale
- Multimetro digitale da 3½ cifre
- Oscilloscopio.
- Breadbord per collegamenti

### Schema elettrico generale



### Distinta componenti

- $R_1 = 33\text{K}\Omega$   $\frac{1}{4}$  W
- $R_2 = 3.9\text{K}\Omega$   $\frac{1}{4}$  W
- $R_C = 560\Omega$   $\frac{1}{4}$  W
- $R_E = 47\Omega$   $\frac{1}{4}$  W
- $R_L = 64\Omega$
- $R_S = 1\text{K}\Omega$
- $C_1 = 10\mu\text{F}$  cond. elettrolitico 16V
- $C_2 = 2200\mu\text{F}$  cond. elettrolitico 16V
- $C_3 = 2200\mu\text{F}$  cond. elettrolitico 16V
- $Q_1 = \text{BC107}$

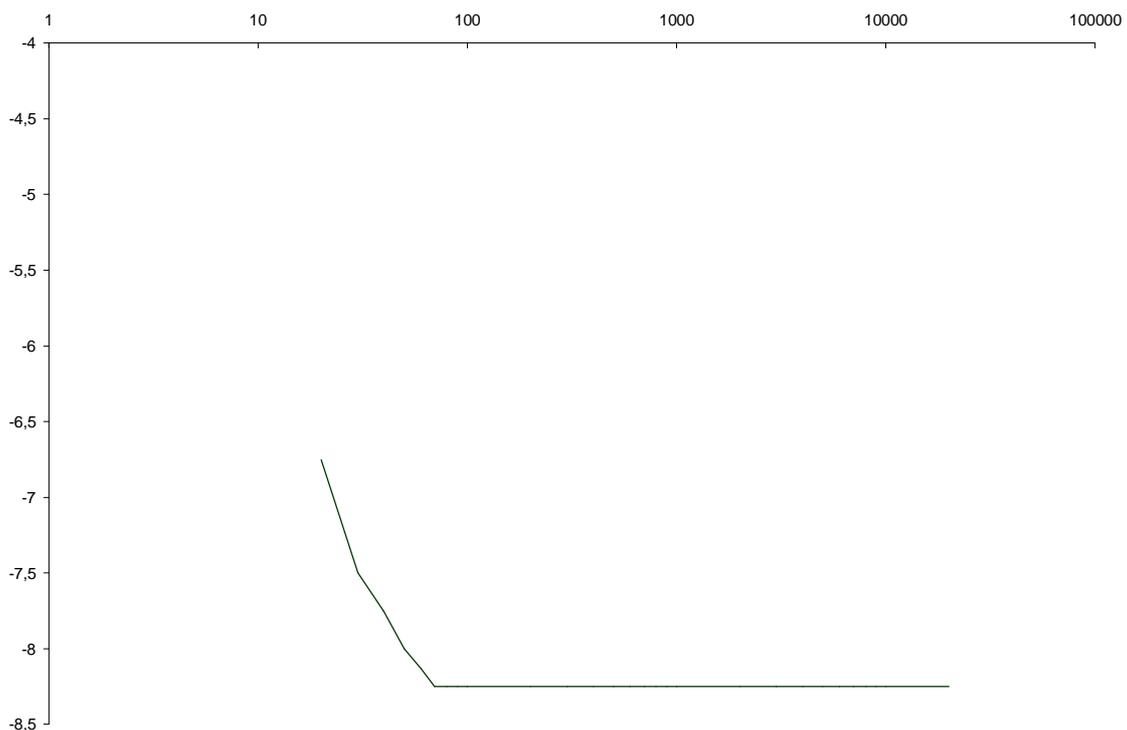
### Descrizione del collaudo

Si è collegato il circuito come da schema elettrico. Quindi tramite un voltmetro ed un amperometro si è verificato che il punto di lavoro fosse quello desiderato. Per le misurazioni si sono collegati i due canali dell'oscilloscopio rispettivamente in ingresso al fine di misurare la  $V_{IN}$  ed in uscita per misurare la  $V_{OUT}$ . Si è fornito in ingresso per ogni frequenza campione lo stesso valore di  $V_{IN}$ :  $40mV_{PP}$ .

### Risultati del test

Le misurazioni sono riferite da picco a picco, si sono scelti dei campioni con scala logaritmica:

Hz	$V_{PP,OUT}$ [mV]	$V_{PP,IN}$ [mV]	$V_{OUT}/V_{IN}$	Hz	$V_{PP,OUT}$ [mV]	$V_{PP,IN}$ [mV]	$V_{OUT}/V_{IN}$
20	-270	40	-6.75	700	-330	40	-8.25
30	-300	40	-7.5	800	-330	40	-8.25
40	-310	40	-7.75	900	-330	40	-8.25
50	-320	40	-8	1K	-330	40	-8.25
60	-325	40	-8.13	2K	-330	40	-8.25
70	-330	40	-8.25	3K	-330	40	-8.25
80	-330	40	-8.25	4K	-330	40	-8.25
90	-330	40	-8.25	5K	-330	40	-8.25
100	-330	40	-8.25	6K	-330	40	-8.25
200	-330	40	-8.25	7K	-330	40	-8.25
300	-330	40	-8.25	8K	-330	40	-8.25
400	-330	40	-8.25	9K	-330	40	-8.25
500	-330	40	-8.25	10K	-330	40	-8.25
600	-330	40	-8.25	20K	-330	40	-8.25



Di seguito si riporta il grafico del modulo della funzione di trasferimento trovata sperimentalmente dal quale si può esaminare il guadagno dell'amplificatore.

Dal grafico può notare che la frequenza di taglio superiore è sicuramente maggiore di 20KHz. La frequenza di taglio inferiore si ha quando:

$$A_{v,T} = \frac{A_v}{\sqrt{2}} = \frac{-8.25}{\sqrt{2}} = -5.83$$

quindi al di sotto di 20Hz.

### **Conclusione**

L'amplificatore progettato rientra perfettamente nelle specifiche progettuali:

- ✓ presenta un guadagno di tensione di almeno 4, con uscita invertente,
- ✓ la frequenza di taglio inferiore è minore di 20Hz e la frequenza di taglio superiore è maggiore di 20KHz.