

Laboratorio di Segnali e Sistemi

- Esercitazione -2 -

Amplificatore ad Emettitore Comune



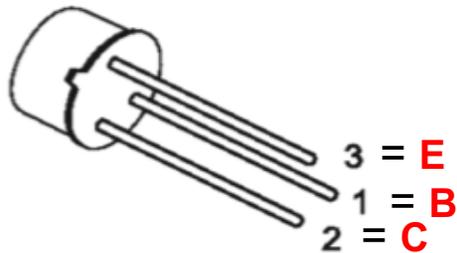
Claudio Luci
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

last update : 070117

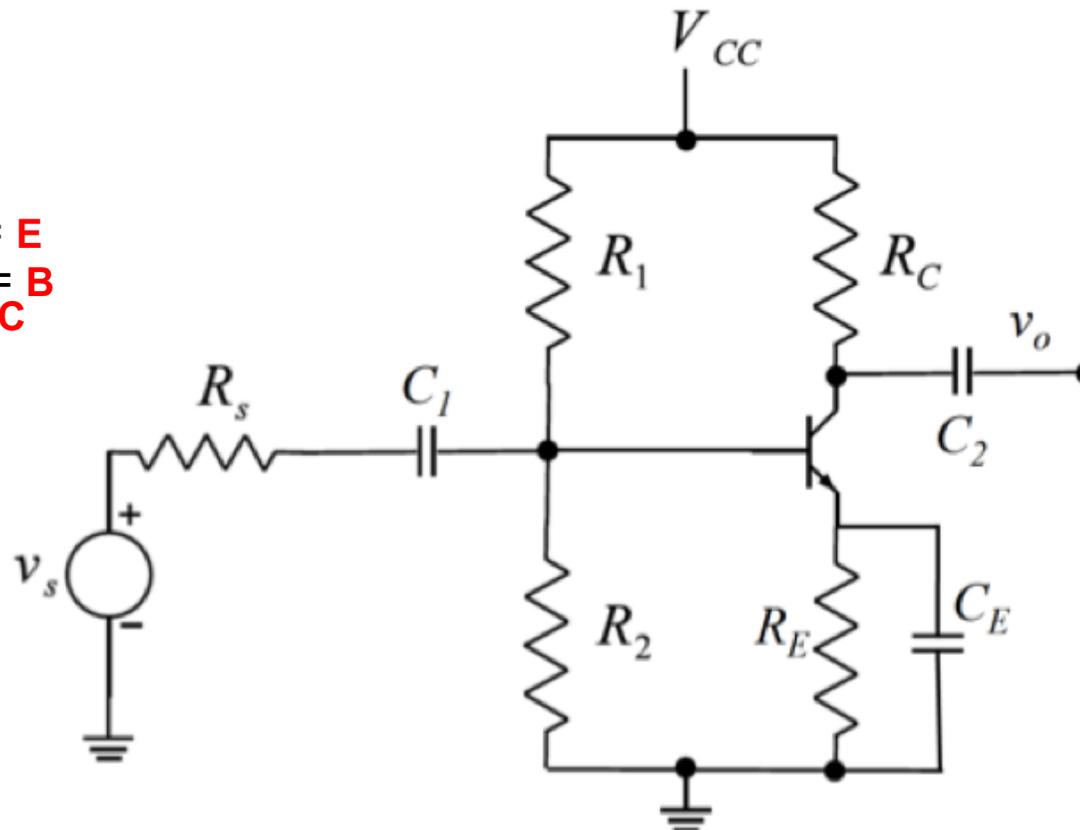
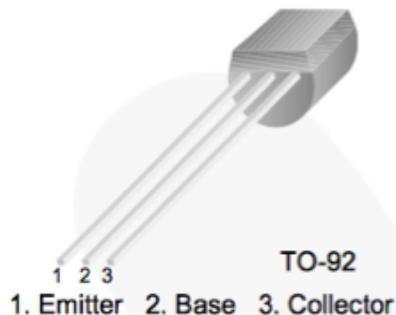
Amplificatore CE

Utilizzeremo i transistori tipo 2N2222A (npn) per costruire un amplificatore a emettitore comune, con amplificazione di tensione pari a circa $A_v = -50$. Le caratteristiche di questo transistor sono ampiamente descritte nel foglio fornito dal costruttore: è bene dare una scorsa a questo foglio, anche per imparare a leggere questo tipo di documentazione. Tuttavia l'unico dato che ci interessa realmente in questo caso è il valore di h_{fe} : il costruttore ci indica per esso un intervallo tra 50 e 350, a seconda del particolare esemplare e anche delle condizioni di utilizzo.

Involucro metallico



Involucro plastico



Progetto rete autopolarizzante

Vogliamo progettare e costruire un amplificatore CE, con rete auto-polarizzante (Fig. 2.1), in grado di fornire una amplificazione di tensione $A_v \simeq -50$ (attenzione: amplificazione di un segnale variabile, non dei livelli di polarizzazione in continua!). Scegliamo $V_{CC} = 10V$ sul generatore di tensione. Abbiamo visto che l'amplificazione di tensione è data da $A_v = -\frac{R_C I_C}{V_T}$ perciò, ricordando che a temperatura ambiente $V_T \simeq 25$ mV, dobbiamo avere

$A_v V_T = R_C I_C \sim 1.25$ V. Volendo ottenere una corrente di collettore $I_C \simeq 1$ mA possiamo utilizzare un resistore da $1.2K\Omega$ di conseguenza avremo $V_C = 8.8$ V.

A questo punto possiamo scegliere la tensione di base, V_B , ricordando che è opportuno rispettare la condizione $V_B > V_{BE}$, e $V_B < V_C$. Una scelta semplice è di avere $V_B = V_{CC}/5 = 2V$, che può essere ottenuta con due resistori R_1 e R_2 opportuni. Se la base si trova a 2V, l'emettitore si trova ad una tensione $V_E \simeq 1.3V$, essendo $V_{BE} = 0.7$ V. Scegliamo R_E opportunamente per ottenere una corrente I_E di circa 1 mA.

Per scegliere i valori di R_1 ed R_2 , ricordando che è opportuno avere $R_B = R_1 || R_2 \ll R_E \beta_F$. Dai fogli caratteristici del transistor vediamo che, con $I_C \simeq 1$ mA β_F varia nell'intervallo 50-300. Prendendo il caso peggiore, $\beta_F = 50$, dobbiamo imporre che $R_B \ll R_E \beta_F$. E' perciò ragionevole scegliere $R_B = R_1 || R_2$ circa 10 volte inferiore al limite.

$$R_E = \frac{V_E}{I_E} = \frac{1.3}{10^{-3}} = 1.3 \text{ k}\Omega$$

$$R_B = \frac{R_E \cdot \beta_F}{10} = \frac{1.3 \cdot 10^3 \times 50}{10} = 6.5 \text{ k}\Omega$$

$$V_{BB} = \frac{R_E \cdot I_C}{10} + V_{BE} + R_E \cdot I_C = \frac{1.3 \cdot 10^3 \times 10^{-3}}{10} + 0.7 + 1.3 = 2.13 \text{ V}$$

$$R_1 = \frac{V_{CC}}{V_{BB}} \cdot R_B = \frac{10}{2.13} \times 6.5 = 30.5 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = \frac{R_1 \cdot R_B}{R_1 - R_B} = \frac{30.5 \times 6.5}{30.5 - 6.5} = 8.3 \text{ k}\Omega$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 8.8 - 1.3 = 7.5 \text{ V}$$

Scelta condensatori

La scelta dei condensatori C_1 , C_2 e C_E influenza il comportamento del circuito alle alte e basse frequenze. La configurazione con condensatore sull'emettitore presenta una variazione dell'amplificazione A_v in funzione della frequenza. In particolare il valore di A_v è pari a:

$$A_{vo} = -\frac{R_C I_C}{V_T} \quad \omega \text{ grande} \qquad A_{vo} = -R_C/R_E \quad \omega \rightarrow 0 \qquad (2.1)$$

Per limitare la regione di bassa amplificazione $A_{vo} = R_C/R_E$ teniamo il valore del condensatore C_E alto alla scala del μF . Si noti che i capacitori da μF sono elettrolitici, pertanto vanno montati nel verso giusto. Il reoforo più corto, che corrisponde al "meno", indica la parte da collegare al potenziale continuo inferiore.

Progettiamo il circuito calcolando i valori delle resistenze e dei condensatori C_1 e C_2 C_E tenendo conto che non tutti i valori ottenuti saranno disponibili in laboratorio ma che possiamo sostituirli con valori vicini.

$$\frac{1}{\omega_{\min} C_E} \leq \frac{R_E}{10} \Rightarrow C_E \geq \frac{10}{2\pi f_{\min} \cdot R_E} = \frac{10}{2\pi \times 50 \times 1.3 \cdot 10^3} \approx 25 \mu F$$

$$f' = \frac{1}{2\pi C_1 R_{in}} ; f'' = \frac{1}{2\pi C_2 (R_{out} + R_L)}$$

$$R_{in} = h_{ie} \parallel R_B$$

$$R_{out} = R_C$$

$$f' \approx 3 \div 5 \text{ kHz} \Rightarrow C_1 = \frac{1}{2\pi f' R_{in}} \approx \frac{1}{2\pi \times (3 \div 5) \cdot 10^3 \times 10^3} \approx 30 \div 50 \text{ nF}$$

$$C_2 > C_1$$

Se R_L e' la resistenza d'ingresso dell'oscilloscopio, allora sicuramente $f'' \ll f'$

Verifica del circuito

Ora possiamo montare il circuito. Dopo averlo montato, collegare l'alimentazione e verificare con il multimetro che le tensioni V_C , V_E e V_B siano corrette e vicine ai valori attesi. In particolare dobbiamo verificare che la differenza di potenziale base-emettitore sia circa 0.7 V e che la differenza di potenziale collettore-emettitore sia positiva e maggiore di 0.2 V. In questo modo saremo sicuri che il transistor è nella regione attiva. Se ciò non fosse, verificare che i resistori abbiano il valore previsto, che tutte le connessioni siano ben fatte e che la tensione d'alimentazione e la massa arrivino sulla scheda di montaggio. Se dopo queste verifiche non avete ancora risolto il problema provate a sostituire il transistor. Se la verifica è positiva possiamo applicare all'ingresso un segnale sinusoidale ad una frequenza intermedia (50-60 mV di ampiezza picco-picco). Misuriamo con l'oscilloscopio la tensione d'uscita; dovremmo trovare un segnale sinusoidale con ampiezza circa A_v volte superiore rispetto al segnale d'ingresso. Aumentando progressivamente l'ampiezza del segnale d'ingresso si vedrà ad un certo punto che il segnale d'uscita si deforma e che le sommità della sinusoide vengono 'tagliate': ciò è dovuto al fatto che l'ampiezza del segnale d'uscita supera la massima dinamica consentita per quel punto di lavoro. Si noti che a causa della grande amplificazione la dinamica d'ingresso risulterà piuttosto ridotta.

50-60 mV dovrebbe essere già troppo. Partite con 10-20 mV

$V_{CE}=7.5$ V limita molto la dinamica d'uscita del transistor.

Risposta in frequenza

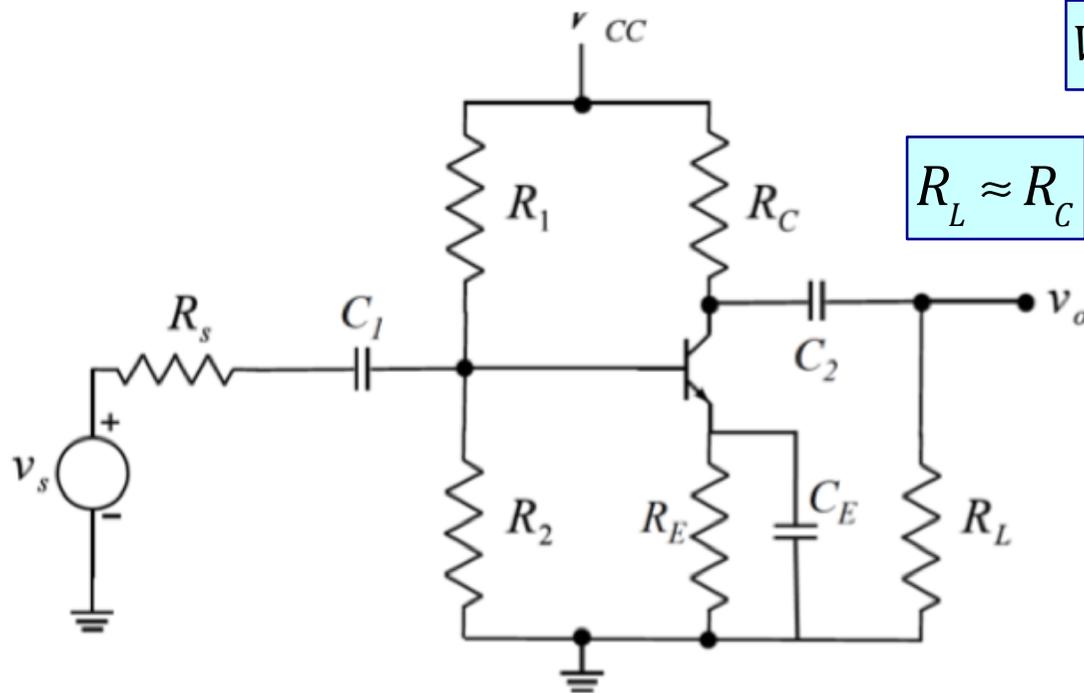
Vogliamo ora costruire il diagramma di Bode dell'ampiezza della funzione di trasferimento e valutare la banda passante dell'amplificatore; quindi dobbiamo misurare l'amplificazione di tensione dell'amplificatore in tutto l'intervallo di frequenza esplorabile. Effettuare le misure a partire da una frequenza sufficientemente alta, tale da poter trascurare il taglio a basse frequenze introdotto dalla capacità di emettitore. Possibilmente le misure devono essere equamente distribuite in scala logaritmica ed eventualmente infittite per porre in evidenza i cambi di regime attorno alle frequenze di taglio. In queste misure può essere necessario aggiustare l'ampiezza del segnale d'ingresso: diminuendola quando il segnale d'uscita risultasse deformato; aumentandola quando diventasse troppo piccolo per consentirne una buona misura.

A frequenze molto alte dovremmo osservare una discesa (comportamento tipo 'passa basso') dovuta alle capacità interne del transistor. Stimare al meglio possibile le frequenze di taglio osservate.

Resistenza d'uscita (opzionale)

2.3 Resistenza di uscita (opzionale)

Possiamo poi misurare la resistenza d'uscita R_O del nostro amplificatore. Per farlo dovremo confrontare la tensione d'uscita con e senza un carico R_L esterno. Naturalmente dovremo scegliere il valore del carico esterno in modo da ottimizzare la sensibilità della nostra misura. E' noto che questo si ottiene quando R_L ha un valore vicino a R_O . Poichè conosciamo il valore atteso per R_O possiamo scegliere opportunamente il valore del carico esterno. Per evitare di modificare il punto di lavoro statico dovremo interporre fra l'uscita e il carico la capacità C_2 (Fig. 2.2).



V_o e' la tensione che misurate senza R_L

$$V_o^* = V_o \frac{R_L}{R_{out} + R_L}$$

$$R_{out} = \frac{V_o - V_o^*}{V_o^*} R_L$$

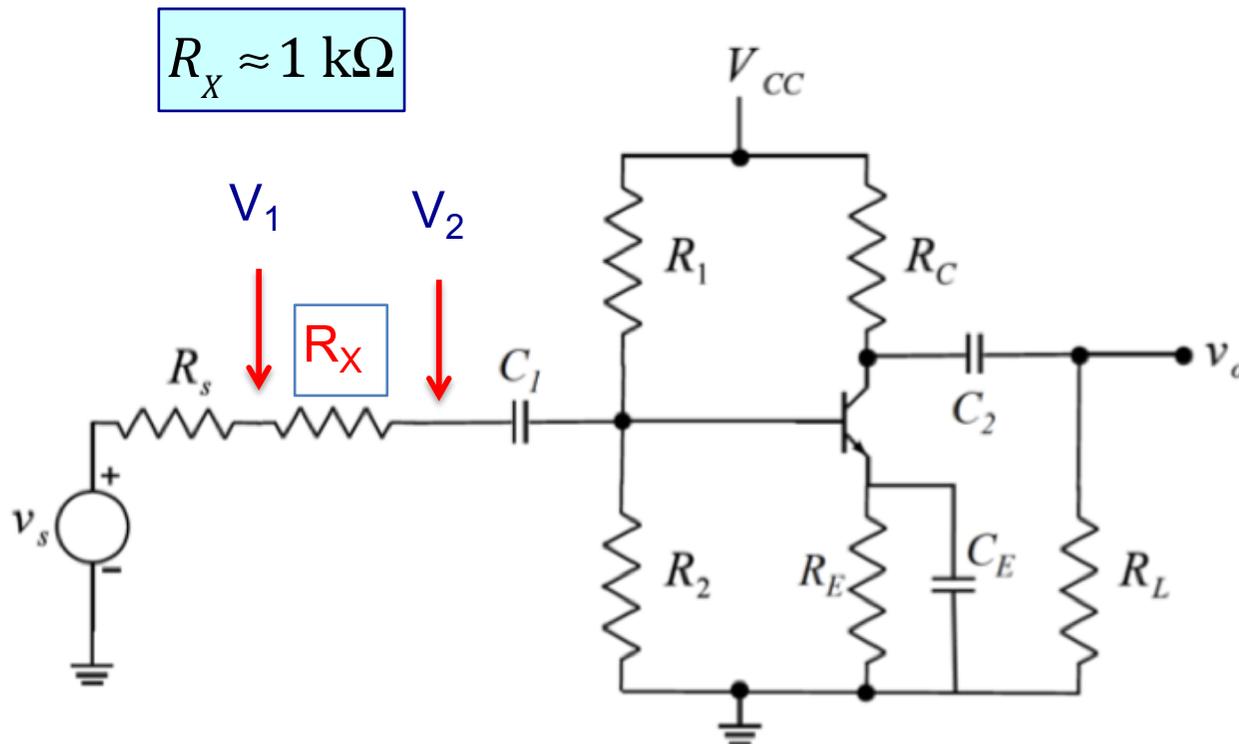
Le tensioni vanno misurate con l'oscilloscopio

Andrebbero fatte diverse misure al variare di R_L

Resistenza d'ingresso (facoltativo)

- ❑ proviamo a valutare la resistenza d'ingresso dell'amplificatore.
- ❑ puo' essere valutata dalla misura della frequenza di taglio
- ❑ oppure modificando il circuito nel modo seguente:

$$R_{in} = \frac{1}{2\pi f' C_1}$$



$$R_x \approx 1 \text{ k}\Omega$$

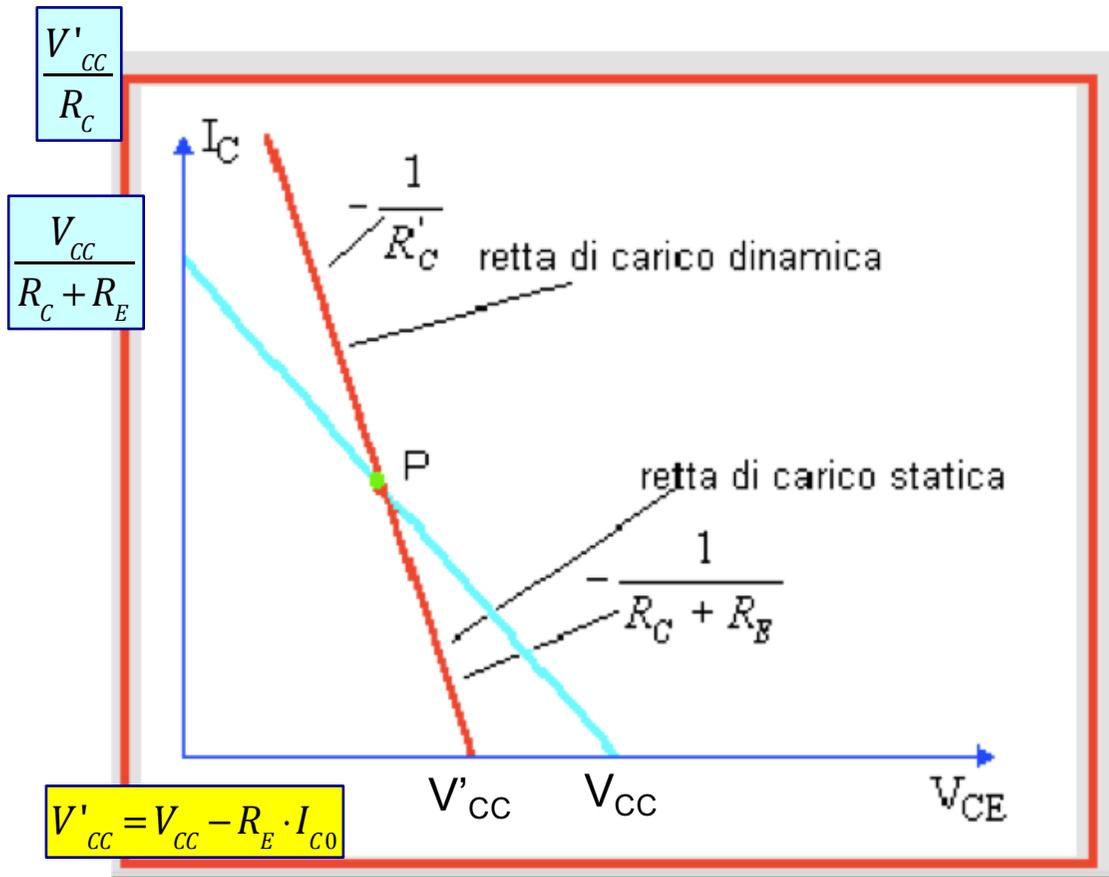
$$V_2 = V_1 \frac{R_{in}}{R_x + R_{in}}$$

$$R_{in} = \frac{V_2}{V_1 - V_2} R_x$$

Le tensioni vanno misurate con l'oscilloscopio

Andrebbero fatte diverse misure al variare di R_x

Retta di carico dinamica



$$V'_{CC} = V_{CC} - V_E = 10 - 1.3 = 8.7 \text{ V}$$

$$\frac{V_{CC}}{R_C + R_E} = \frac{10}{1.2 + 1.3} = 4 \text{ mA}$$

$$\frac{V'_{CC}}{R_C} = \frac{8.7}{1.2} = 7.25 \text{ mA}$$

A parità di ΔI_B , la ΔV_{CE} e' la meta' sulla retta dinamica

$$\Delta V_{CE}^{\max} = V'_{CC} - V_{CE0} = 8.7 - 7.5 = 1.2 \text{ V}$$

$$\Delta V_i^{\max} = \frac{\Delta V_{CE}^{\max}}{A_v} = \frac{1.2}{50} = 24 \text{ mV}$$

E' importante a questo punto osservare che in realtà il punto di lavoro non si sposta lungo la retta di carica statica, ma lungo quella di carica dinamica che può essere abbastanza facilmente individuata perché se ne conosce la pendenza $\left(-\frac{1}{R'_C}\right)$ e un punto che è sempre quello di lavoro determinato in precedenza. Infatti quando il segnale sinusoidale passa per lo zero, il p.d.l. diventa quello del progetto statico.

Che succede se cambiamo Rc?

$$V_{CC} = 10 \text{ V (scelta)}$$

$$V_B = 2 \text{ V (scelta)}$$

$$\rightarrow V_E - V_{BE} = 2 - 0.7 = 1.3 \text{ V}$$

$$A_v = \frac{R_C \cdot I_C}{V_T} = 50 \text{ (scelta)}$$

$$I_C = 1 \text{ mA} = \beta_F \cdot I_B \text{ (scelta?)}$$

$$R_C = \frac{A_v \cdot V_T}{I_C} = \frac{50 \times 25 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-3}} = 1.2 \text{ k}\Omega$$

$$R_E = \frac{V_E}{I_E} = \frac{1.3}{10^{-3}} = 1.3 \text{ k}\Omega$$

$$R_B = \frac{R_E \cdot \beta_F}{10} = \frac{1.3 \cdot 10^3 \times 50}{10} = 6.5 \text{ k}\Omega \text{ (il fattore 10 e' una scelta)}$$

$$V_{BB} = \frac{R_E \cdot I_C}{10} + V_{BE} + R_E \cdot I_C = \frac{1.3 \cdot 10^3 \times 10^{-3}}{10} + 0.7 + 1.3 = 2.13 \text{ V}$$

$$R_1 = \frac{V_{CC} \cdot R_B}{V_{BB}} = \frac{10}{2.13} \times 6.5 = 30.5 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = \frac{R_1 \cdot R_B}{R_1 - R_B} = \frac{30.5 \times 6.5}{30.5 - 6.5} = 16.4 \text{ k}\Omega$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 8.8 - 1.3 = 7.5 \text{ V}$$

- ❑ Sostituiamo la R_C con una resistenza 3 volte piu' grande, cosa cambia?
- ❑ La I_B non dipende dalla R_C quindi, se non cambia β_F , anche la I_C non cambia.
- ❑ L'unica cosa che dovrebbe cambiare e' l'amplificazione che diventa 3 volte piu' grande.

$$R'_C = 3 \cdot R_C = 3.6 \text{ k}\Omega$$



$$A'_v = \frac{R'_C \cdot I_C}{V_T} = 150$$

$$V_{CE} = V'_C - V_E = 6.4 - 1.3 = 5.1 \text{ V}$$

Provate se avete tempo



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Fine esercitazione 2