

Laboratorio di Segnali e Sistemi

- Esonero -1 -

Esercizi BJT



Claudio Luci
SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

last update : 070117

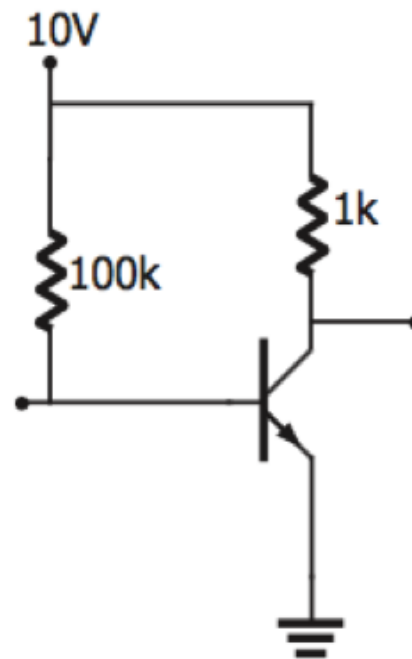
Esercizio 1

Esercizio 19

Il transistor utilizzato in questo amplificatore ha un guadagno di corrente $\beta_F = 100$.

- Verificare lo stato del transistor, cioè se esso è nella regione attiva, o in saturazione;
- Stimare la resistenza d'ingresso del circuito.

FATTO



Soluzione Esercizio 1

Esercizio 19

a) La giunzione base-emettitore è sicuramente polarizzata direttamente quindi il transistor può essere nella regione attiva oppure in saturazione. Per accertarlo faremo l'ipotesi che il transistor sia nella regione attiva e verificheremo se questa ipotesi porta a risultati consistenti.

Dall'equazione della maglia di ingresso

$$V_{CC} = R_B I_B + V_{BE}$$

si può ricavare il valore della corrente di base

$$I_B = 93 \mu A$$

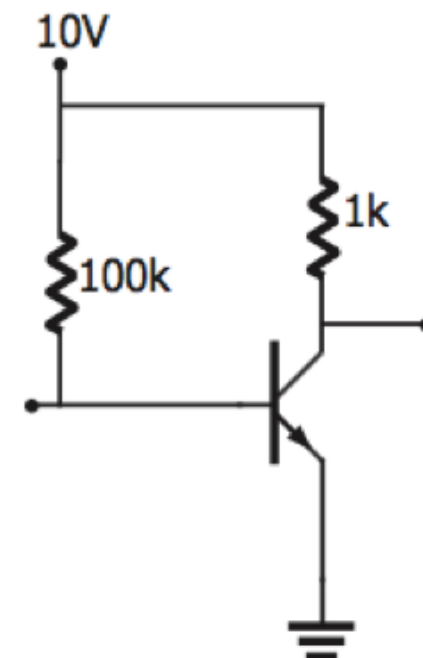
dove abbiamo supposto $V_{BE} \simeq 0.7 V$. Utilizzando il valore noto di β_F possiamo quindi ricavare $I_C = 9.3 mA$; a questo punto, dalla equazione della maglia di uscita

$$V_{CC} = R_C I_C + V_{CE}$$

ricaviamo

$$V_{CE} = 0.7 V$$

Questo valore è maggiore della tensione di saturazione V_{CEsat} , quindi consistente con l'ipotesi che pertanto risulta verificata: il transistor è nella regione attiva.



Soluzione Esercizio 1

b) Per rispondere a questa domanda ricordiamo la formula che lega la transconduttanza g_m alla corrente di collettore:

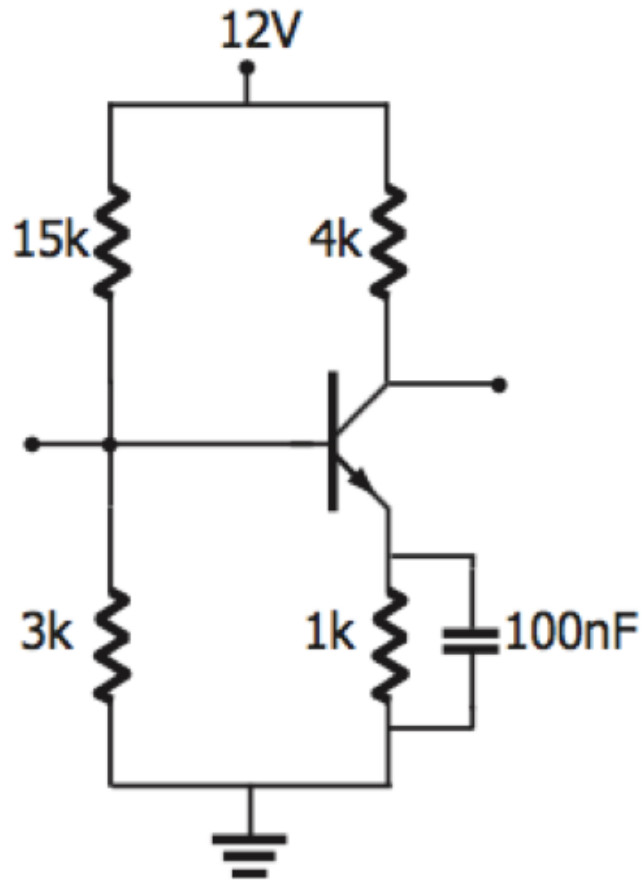
$$g_m = \frac{h_{fe}}{h_{ie}} = \frac{|I_c|}{T}$$

Pertanto si può ricavare il valore di g_m , e quindi di h_{ie} , assumendo che il transistor si trovi a temperatura ambiente e che h_{fe} coincida con β_F . Si trova $h_{ie} = 280 \Omega$, che rappresenta il valore della resistenza di ingresso complessiva dell'amplificatore (R_B , in parallelo ad h_{ie} è in questo caso trascurabile).

Esercizio 2

Esercizio 20

Trovare il punto di lavoro del transistor (tipo 2N2222A) nel circuito in figura.



Soluzione Esercizio 2

Il punto di lavoro statico non è influenzato dalla presenza del capacitore sull'emettitore. Nell'ipotesi che la corrente di base del transistor sia trascurabile rispetto alla corrente complessiva del partitore si trova facilmente:

$$V_B = \frac{3k}{18k} 12 = 2V$$

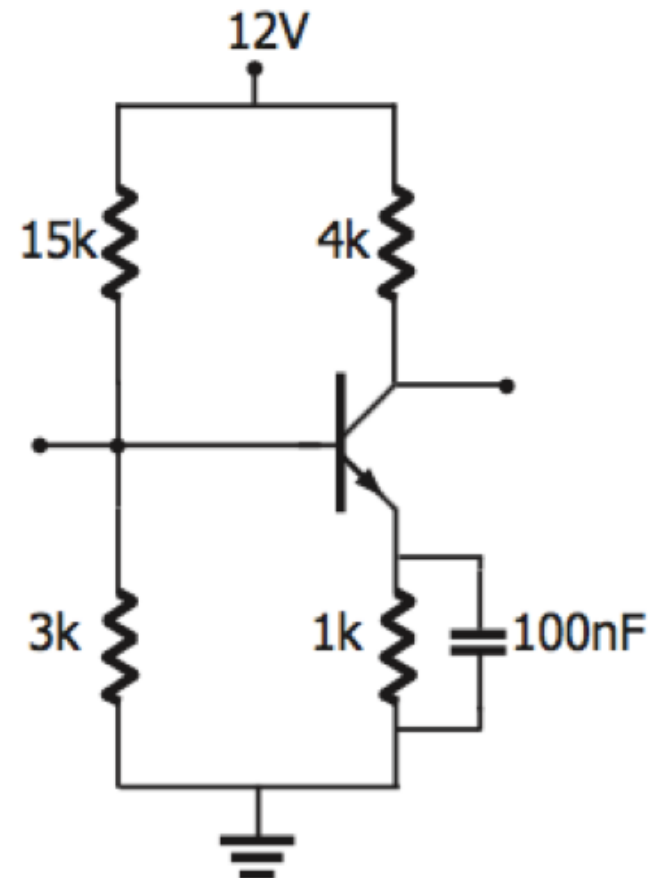
$$V_E = V_B - 0.7 = 1.3V$$

$$I_C \simeq I_E = \frac{V_E}{1k} = 1.3mA$$

$$V_C = 12V - I_C \cdot 4k = 6.8V$$

$$V_{CE} = V_C - V_E = 5.5V$$

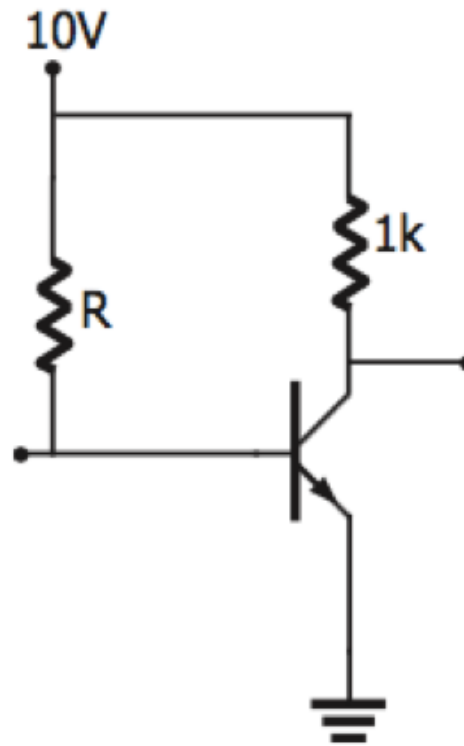
L'ipotesi che abbiamo fatto all'inizio è ragionevole, perchè nel peggiore dei casi il transistor 2N2222A ha un β_F di 50; questo corrisponde ad una corrente di base massima $I_B = 26 \mu A$, sicuramente molto minore della corrente del partitore.



Esercizio 3

Esercizio 21

La resistenza R è tale per cui il transistor è in saturazione. Quanto è, approssimativamente, la corrente del collettore, I_C ?



Soluzione Esercizio 3

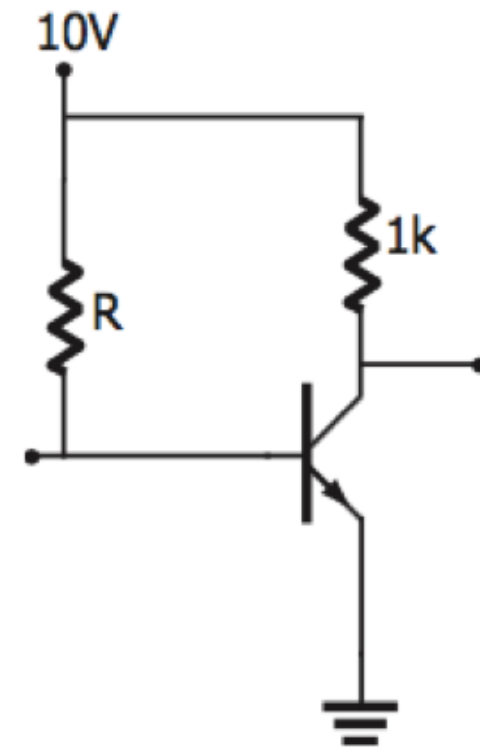
Esercizio 21

Se il transistor è in saturazione possiamo assumere che

$$V_{CE} = V_{CEsat} \simeq 0.2V$$

Quindi è possibile ricavare

$$I_C = \frac{10 - 0.2}{1k} \simeq 10 mA$$

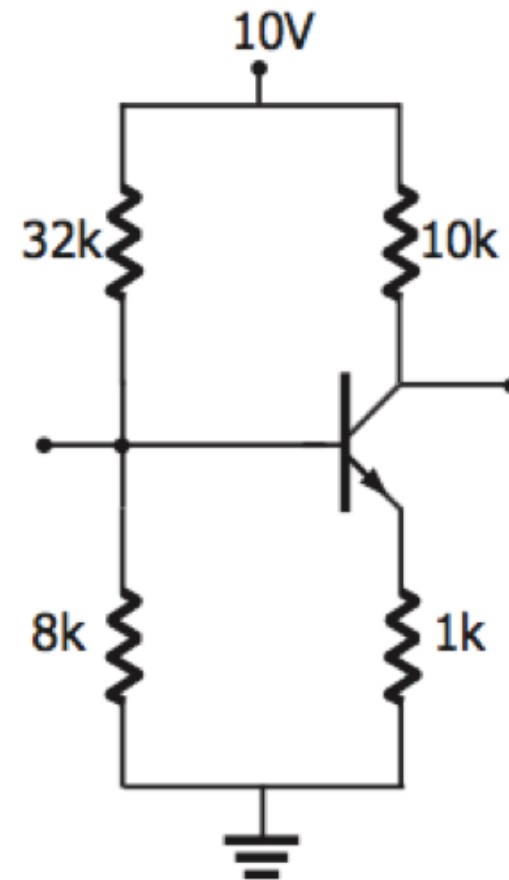


Esercizio 4

Esercizio 25

Si è costruito questo circuito con l'idea di realizzare un amplificatore con $A_v = -10$. Verificare se il progetto è corretto (cioè verificare che il transistor è effettivamente nella regione attiva). Qualora ciò non fosse, come potremmo modificarlo, per ottenere effettivamente l'amplificazione di tensione di progetto?

Nota: Il generatore di tensione è fisso e non può essere modificato.



Soluzione esercizio 4

Esercizio 25

Si verifica facilmente che il progetto non è corretto. Infatti si ha $V_B = 2V$, $V_E = 1.3V$ e $I_C = 1.3mA$. Con questo valore di corrente, se il transistor fosse nella regione attiva, V_{CE} verrebbe negativa, il che è assurdo. Quindi il transistor è in saturazione. E' necessario modificare il partitore di base per avere una tensione di base più piccola e quindi anche una tensione di emettitore più piccola. Dalla equazione della maglia di uscita ricaviamo:

$$V_{CC} = 11R_E I_C + V_{CE}$$

$$V_E = R_E I_C$$

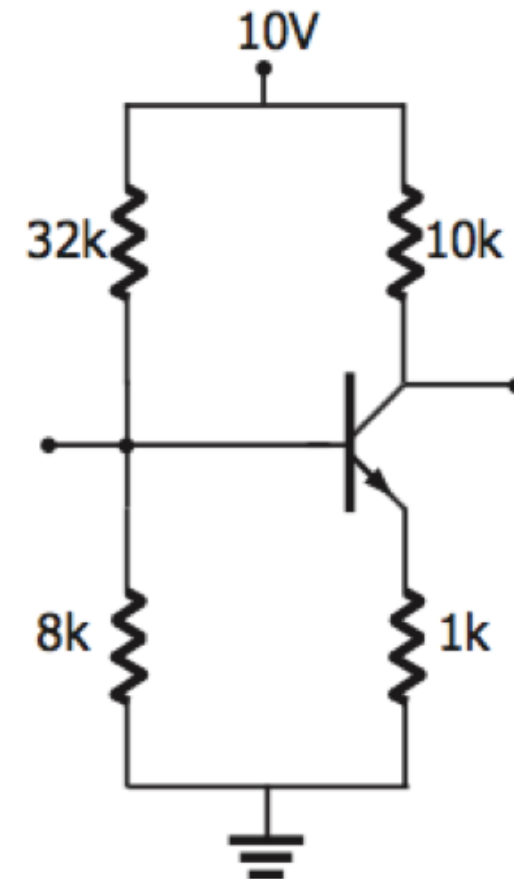
da cui si ottiene

$$V_{CC} = 11V_E + V_{CE}$$

In sostanza, per avere la V_{CE} positiva dobbiamo imporre che

$$V_E \leq \frac{V_{CC}}{11}$$

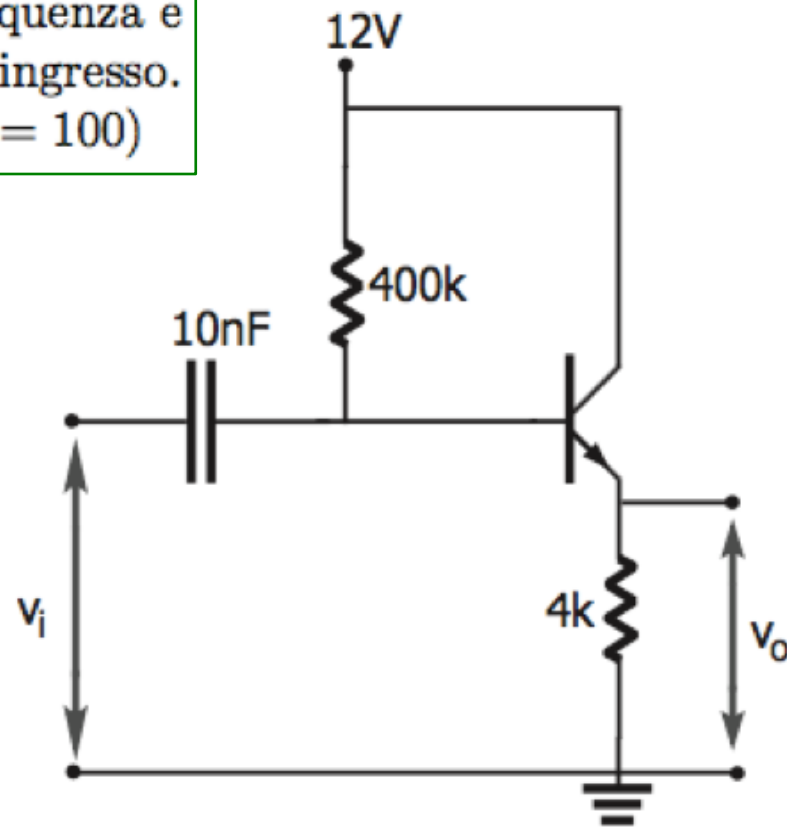
Valori possibili sono ad esempio $V_B = 1.2V$ e $V_E = 0.5V$, che si possono ottenere modificando il partitore di base in modo opportuno.



Esercizio 5

Esercizio 32

Determinare il punto di lavoro statico del transistor. Costruire il circuito equivalente con parametri h ; calcolare l'amplificazione di tensione a media frequenza e la frequenza di taglio dovuta al capacitore d'ingresso. (Il transistor ha un guadagno di corrente $h_{fe} = 100$)



Soluzione esercizio 5

Esercizio 32

Si trova il punto di lavoro scrivendo l'equazione della maglia di base

$$V_{CC} = R_B I_B + V_{BE} - R_E I_E = (R_B + h_{fe} R_E) I_B + 0.7$$

e si ricava

$$I_B = 14 \mu A, I_C = I_E = 1.4 mA, V_E = 5.6 V, V_{CE} = 6.4 V.$$

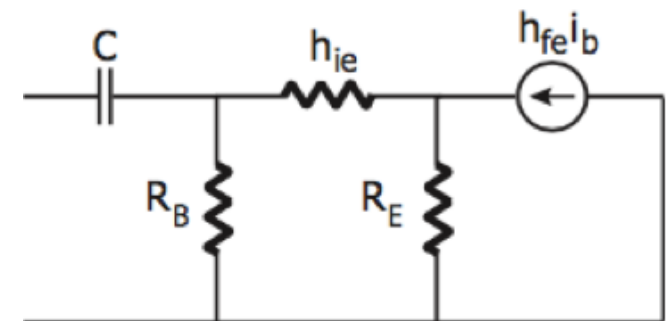
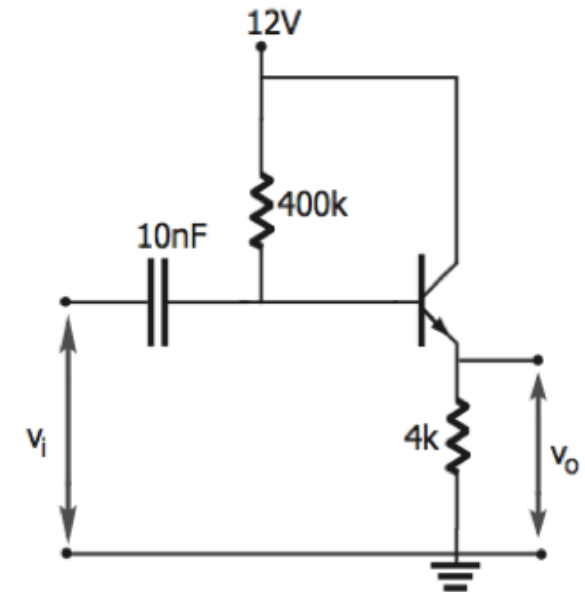
Quindi il transistor è nella regione attiva. Il circuito in esame è un inseguitore di tensione, l'amplificazione di tensione a media frequenza è pari a circa 1.

La frequenza di taglio inferiore è dovuta al passa alto formato dal condensatore e dalla resistenza d'ingresso dell'amplificatore in parallelo a R_B , perciò si ha complessivamente

$$R_i = (h_{ie} + h_{fe} R_E) \parallel R_B$$

e

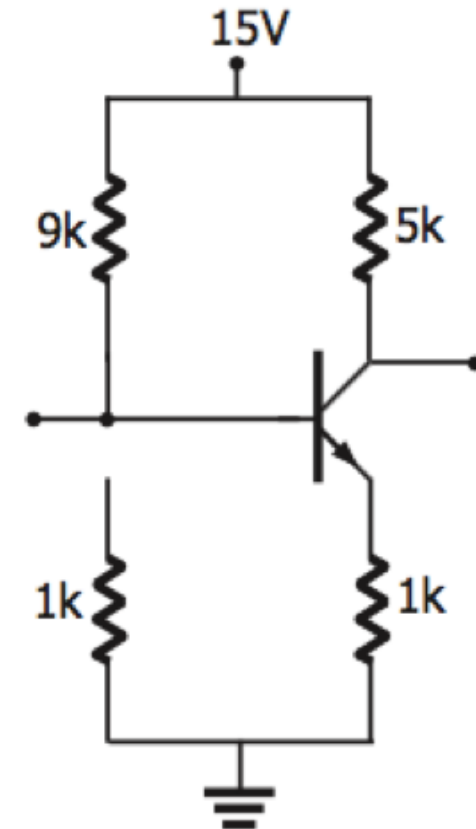
$$f_t = \frac{1}{2\pi C R_i} \simeq 80 Hz$$



Esercizio 6

Esercizio 30

Nell'amplificatore in figura vi è stato un difetto di montaggio: il resistore tra base e massa non fa contatto. Determinare lo stato del transistor in questa situazione anomala, sapendo che il parametro β_F del transistor è pari ad almeno 100.



Soluzione esercizio 6

Esercizio 30

Possiamo scrivere le equazioni della maglia d'ingresso e della maglia di uscita, tenendo conto dell'errore di montaggio

$$V_{CC} = R_1 I_B + V_{BE} + R_E I_C$$

$$V_{CC} = R_C I_C + V_{CE} + R_E I_C$$

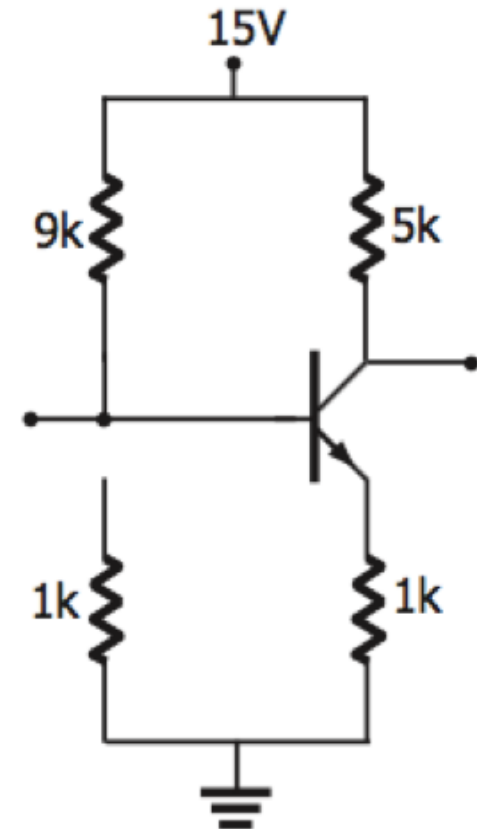
Dalla prima equazione si ricava

$$I_B = \frac{V_{CC} - 0.7}{R_1 + \beta_F R_E}$$

e dalla seconda

$$V_{CE} = V_{CC} - (R_C + R_E) \beta_F I_B$$

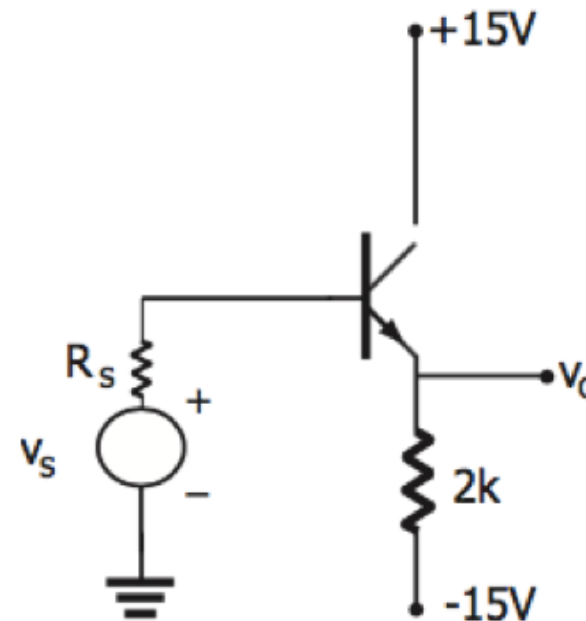
E' facile verificare che il transistor e' in saturazione (V_{CE} viene negativa).



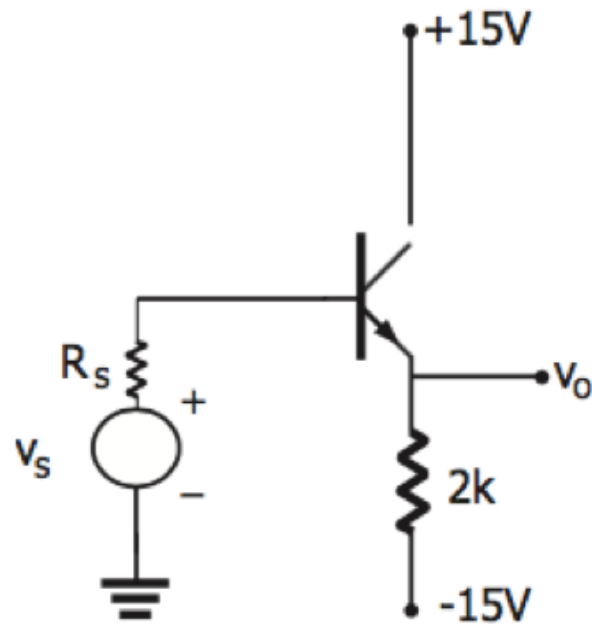
Esercizio 7

Esercizio 36

Nell'inseguitore di tensione in figura vi è stato un difetto di montaggio: la linea di alimentazione del collettore non fa contatto. Determinare lo stato del transistor in questa situazione anomala, e quale tensione verrà osservata in uscita (v_s è un segnale sinusoidale di 1V picco-picco e $R_s = 50\Omega$)



Soluzione esercizio 7



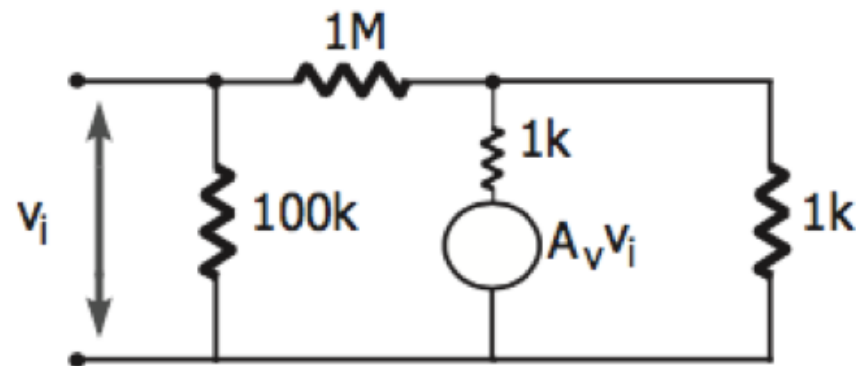
Esercizio 36

Il transistor non funziona più in quanto tale, ma il diodo base emettitore si polarizza direttamente; ai suoi capi si avrà una differenza di potenziale statica di circa 0.7 V. Il segnale sinusoidale passa attraverso il diodo e verrà quindi rilevato all'uscita sovrapposto alla tensione statica.

Esercizio 8

Esercizio 38

Calcolare l'impedenza d'ingresso del circuito in figura, sapendo che $A_V = -100$.



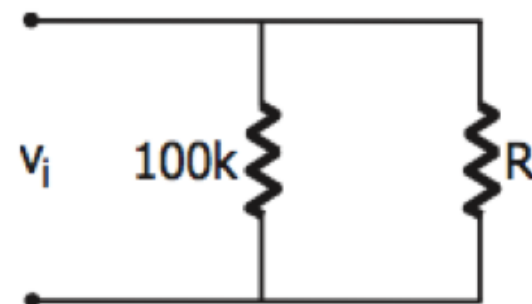
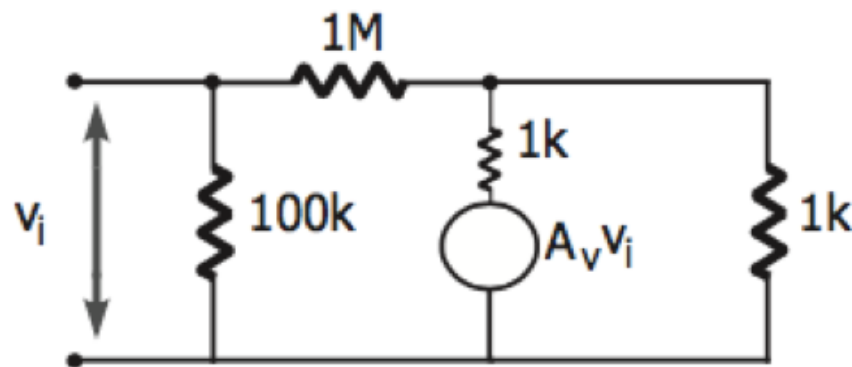
Soluzione esercizio 8

Esercizio 38

Si puo' facilmente risolvere l'esercizio utilizzando il teorema di Miller e trasformare la maglia d'ingresso come in figura. Si ha

$$R' = \frac{1M}{1 - \frac{V_2}{V_1}} = \frac{1M}{1 - 50} \simeq 20k$$

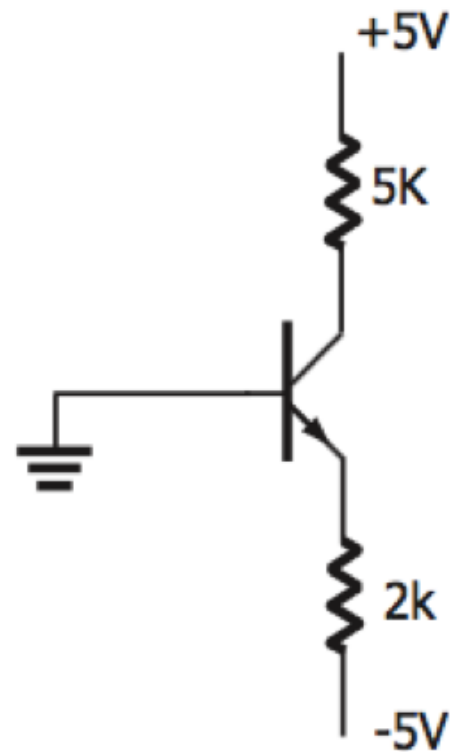
Quindi la resistenza d'ingresso e' data dal parallelo tra 100k e 20k (circa 17k).



Esercizio 9

Esercizio 35

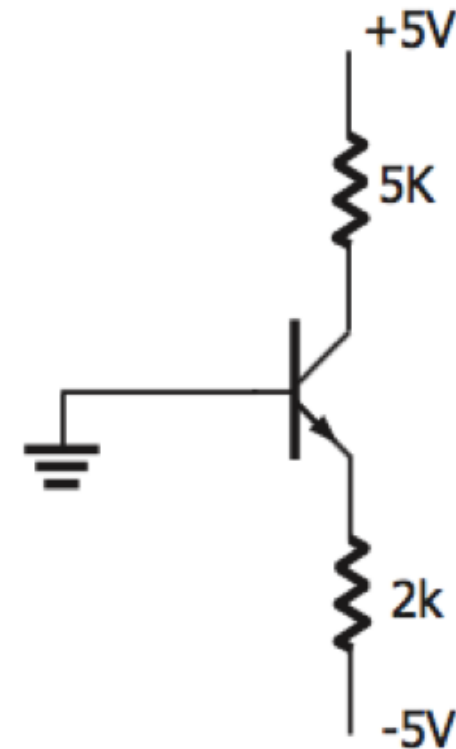
Determinare lo stato del transistor in figura e calcolare la corrente di collettore.



Soluzione esercizio 9

Esercizio 35

Determinare lo stato del transistor in figura e calcolare la corrente di collettore.



Esercizio 35

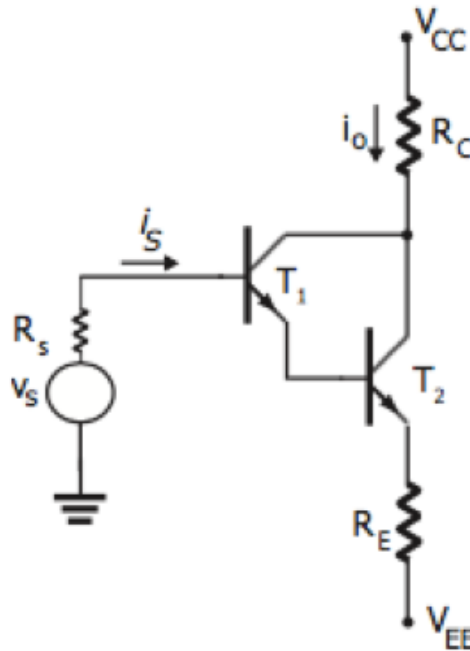
Il diodo base emettitore è sicuramente in conduzione, quindi $V_E \simeq -0.7$, $I_E \simeq 2.15mA$.

Se il transistor fosse nella regione attiva si avrebbe $I_C \simeq I_E$, $V_C = 5 - 5k \times 2.15mA \simeq -6V$. Questo risultato è assurdo, quindi il transistor è in saturazione. Sapendo che $V_{CEsat} \simeq 0.2V$ si ricava subito $V_C \simeq -0.5V$ e $I_C \simeq 1.1mA$.

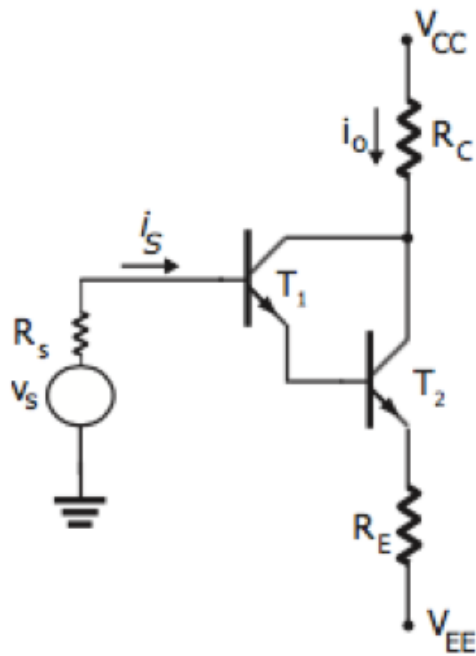
Esercizio 10

Esercizio 40

L'amplificatore in figura è costituito da una coppia di transistor ed è il cosiddetto amplificatore Darlington. Determinare l'amplificazione di corrente per piccoli segnali, ovvero il rapporto tra la corrente d'uscita, i_o , e la corrente fornita dal generatore di segnale, i_s . Per semplicità si può ipotizzare che i due transistor siano identici.



Soluzione esercizio 10



Esercizio 40

Supponiamo identici i due transistor, cioè caratterizzati da identico valore del parametro h_{fe} . Si ha

$$i_{b2} = -i_{e1} = (1 + h_{fe})i_{b1}$$

$$\begin{aligned} i_o &= i_{c1} + i_{c2} = h_{fe}i_{b1} + h_{fe}i_{b2} \\ &= h_{fe}i_{b1} + h_{fe}(1 + h_{fe})i_{b1} \\ &= h_{fe}i_{b1} + h_{fe}i_{b1} + h_{fe}h_{fe}i_{b1} \\ &\simeq h_{fe}h_{fe}i_{b1} \end{aligned}$$

Si ha in definitiva

$$A_i = \frac{i_o}{i_s} = \frac{i_o}{i_{b1}} \simeq h_{fe}^2$$

Esercizio 11

Esercizio 27

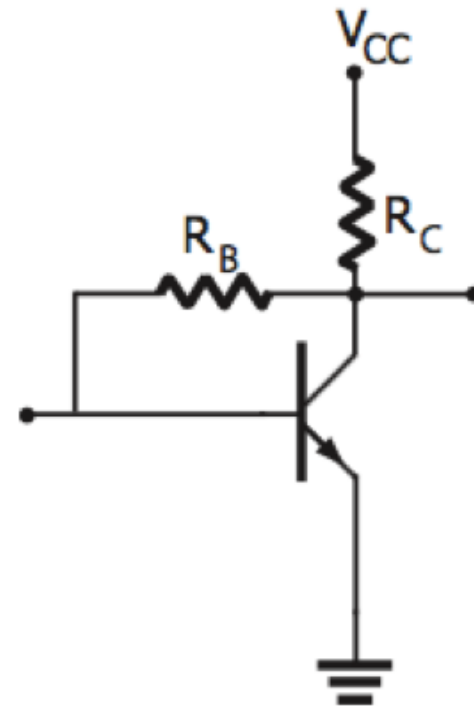
E' stato costruito un amplificatore ad emettitore comune come in figura. Trovare i valori di I_C e V_{CE} e stimare, con ragionevoli approssimazioni, l'amplificazione di tensione per piccoli segnali. Valori di progetto:

$$V_{CC} = 10\text{ V}$$

$$R_C = 2.2\text{ k}$$

$$R_B = 100\text{ k}$$

Si assuma inoltre $\beta_F = 100$.



Soluzione esercizio 11

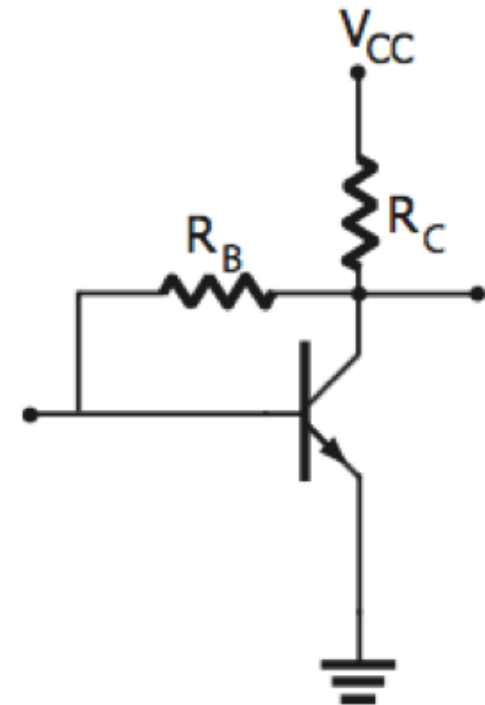
Esercizio 27

Per trovare il punto di lavoro del transistor possiamo scrivere l'equazione della maglia di base:

$$V_{CC} = R_C(I_C + I_B) + R_B I_B + V_{CE}$$

$$V_{CC} = (1 + \beta_F)R_C I_B + R_B I_B + 0.7$$

da cui si ricava $I_B \simeq 30 \mu A$, $I_C \simeq 3 mA$, $V_{CE} \simeq 3.5 V$
Perciò il transistor è nella regione attiva.



Soluzione esercizio 11

L'amplificazione di tensione può essere ricavata costruendo il modello h per piccoli segnali (vedi figura) e scrivendo l'equazione del nodo di uscita:

$$\frac{v_i - v_o}{R_B} = h_{fe}i_b + \frac{v_o}{R_C}$$

Ma $i_b = v_i/h_{ie}$ quindi si ha

$$\frac{v_i - v_o}{R_B} = \frac{h_{fe}v_i}{h_{ie}} + \frac{v_o}{R_C}$$

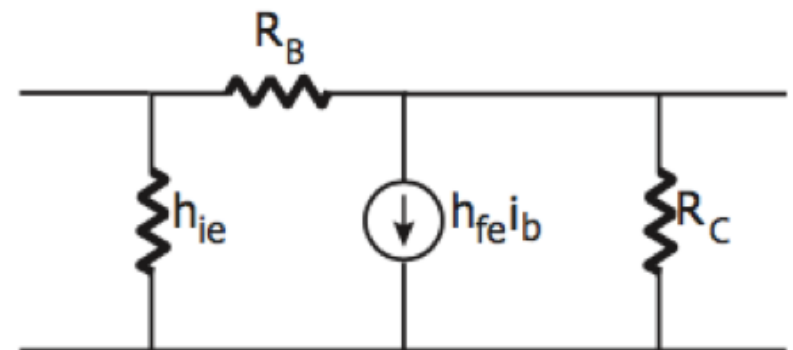
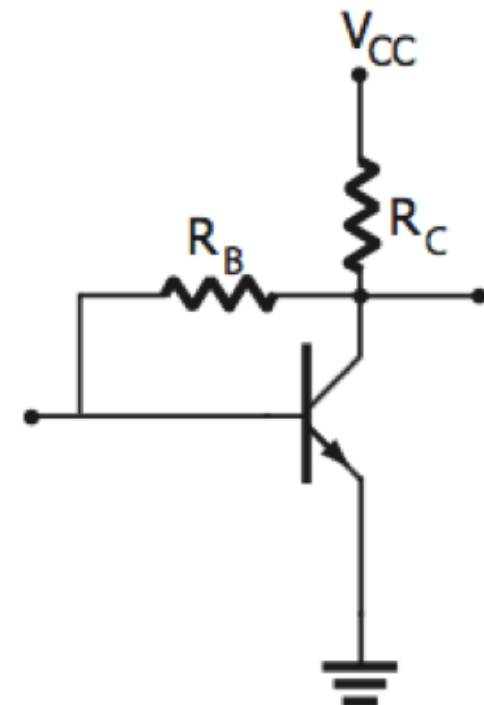
ovvero

$$v_i\left(\frac{1}{R_B} - \frac{h_{fe}}{h_{ie}}\right) = v_o\left(\frac{1}{R_C} + \frac{1}{R_B}\right)$$

I termini in R_B possono essere trascurati in entrambi i membri e si ricava

$$\frac{v_o}{v_i} = -\frac{h_{fe}R_C}{h_{ie}} = -g_m R_C \simeq -310$$

dove abbiamo utilizzato la nota relazione tra il valore di g_m e quello di I_C .

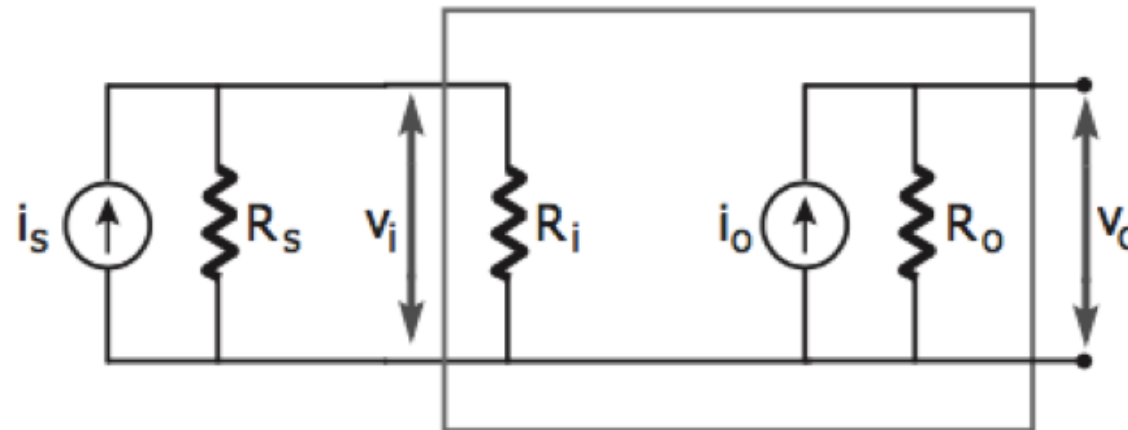


Esercizio 12

Esercizio 29

Nell'amplificatore in figura il generatore di corrente della maglia d'uscita è dato da $i_o = g_m v_i$. Il segnale d'ingresso proviene da un generatore di corrente i_s . Calcolare il valore della tensione d'uscita v_o , sapendo che:

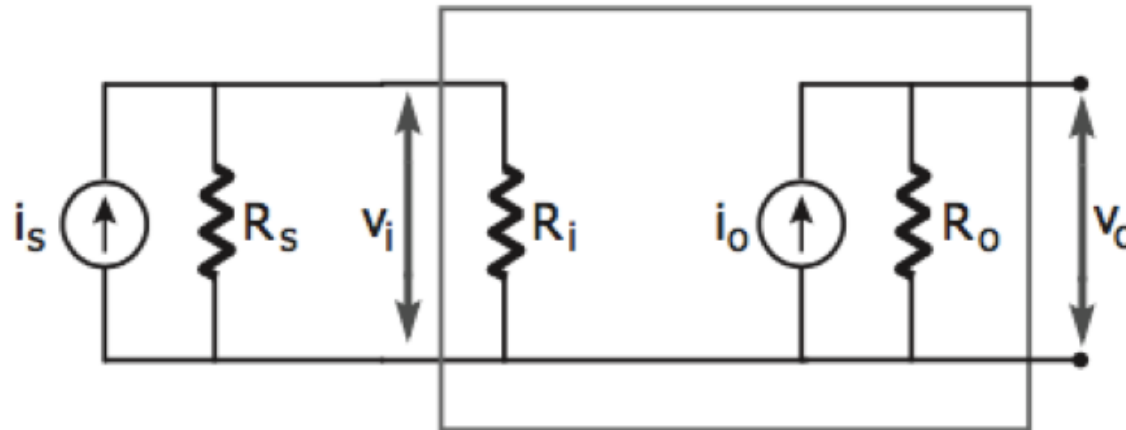
$$i_s = 10 \mu A; R_s = 100k; R_i = 100k; g_m = 0.01 \Omega^{-1}; R_o = 10k.$$



Soluzione esercizio 12

Calcolare il valore della tensione d'uscita v_o , sapendo che:

$$i_s = 10 \mu A; R_s = 100k; R_i = 100k; g_m = 0.01 \Omega^{-1}; R_o = 10k.$$



Esercizio 29

Si calcola facilmente

$$v_o = R_o g_m i_s R_s \frac{R_i}{R_i + R_s} \quad \text{Da cui } v_o = 50 V.$$

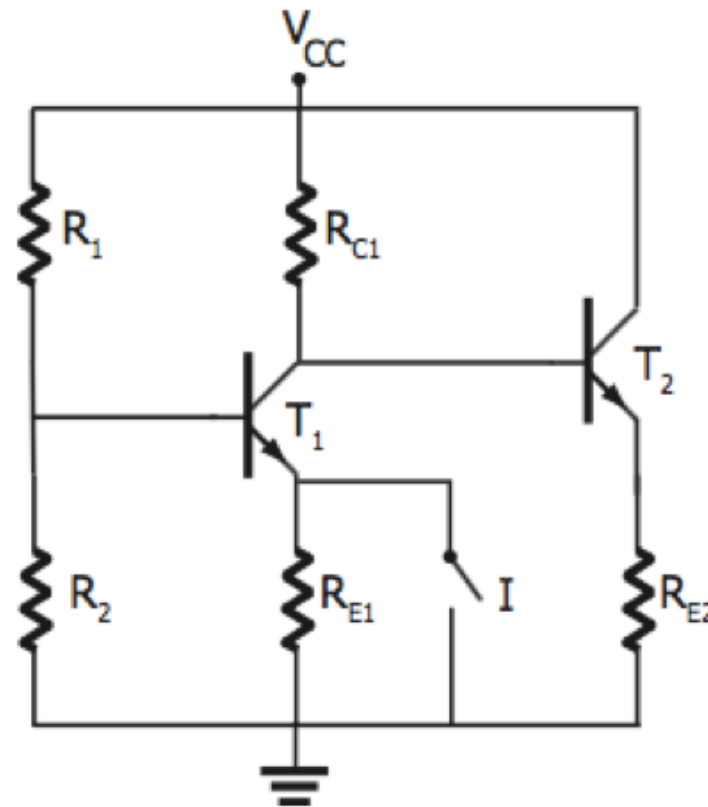
Esercizio 13

Esercizio 42

Calcolare il punto di lavoro statico e lo stato dei due transistor per i due casi:

- interruttore I chiuso;
- interruttore I aperto.

Valori: $V_{CC} = 9V$, $R_1 = 129k$, $R_2 = 58k$, $R_{C1} = 4.4k$,
 $R_{E1} = 2.2k$, $R_{E2} = 8.kK$, $\beta_{F1} = \beta_{F2} = 80$.



Soluzione esercizio 13

Esercizio 42

Caso a: interruttore I chiuso.

Si ha $V_{E1} = 0$, $V_{B1} \simeq 0.7 V$. La corrente di base puo' essere quindi valutata facendo l'equivalente di Thevenin del partitore R_1, R_2 ; si ha $V_{eq} \simeq 2.8 V$ e $R_{eq} \simeq 40k$, e quindi

$$I_{B1} \simeq \frac{2.8 - 0.7}{40k} \simeq 52 \mu A$$

Con questa corrente di base e' facile verificare che T_1 e' in saturazione, quindi $V_{C1} \simeq 0.2 V$. Questa tensione e' insufficiente a portare in conduzione il transistor T_2 che e' quindi in interdizione.

Caso b: interruttore I aperto

Utilizzando di nuovo l'equivalente di Thevenin del partitore di base si puo' scrivere per il transistor T_1

$$\begin{aligned} V_{eq} &= R_B I_{B1} + V_{BE1} + R_{E1} I_{C1} \\ &= R_{eq} \frac{I_{C1}}{\beta_{F1}} + V_{BE1} + R_{E1} I_{C1} \end{aligned}$$

Da cui si ricava facilmente

$$I_{C1} = I_{E1} = 0.77 mA$$

Quindi $V_{E1} = 1.7 V$ e $V_{C1} = 5.6 V$. Il transistor T_1 e' nella regione attiva.

Per il transistor T_2 si ha poi $V_{B2} = V_{C1} = 5.6 V$, $V_{E2} \simeq 4.9 V$, $I_{E2} = I_{C2} \simeq 0.6 mA$. Percio' anche T_2 e' nella regione attiva.

Esercizio 14

Esercizio 45

Progettare un amplificatore ad emettitore comune con doppia alimentazione e capacità di emettitore che abbia una amplificazione di tensione a vuoto (senza carico esterno) $A_v = -200$.

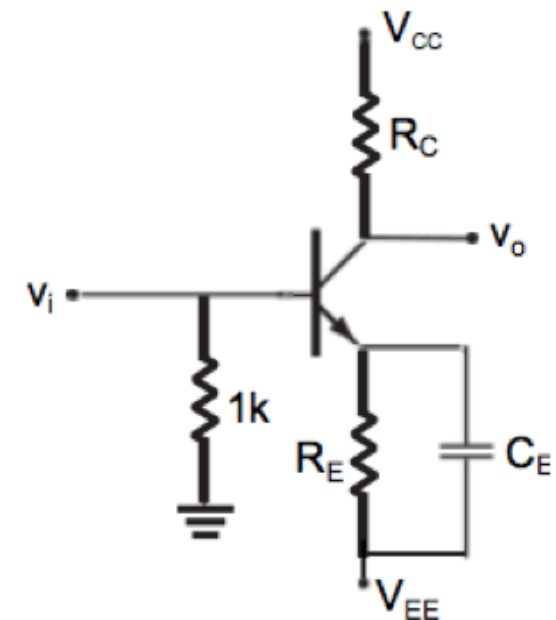
Determinare il valore di C_E in modo che la frequenza di taglio inferiore, f_L , sia di circa 1KHz , ricordando che

$$f_L \simeq \frac{1}{2\pi r_e C_E}$$

Determinare la massima ampiezza di un segnale sinusoidale d'ingresso che tale amplificatore è in grado di amplificare senza distorsione.

Si hanno a disposizione due alimentazioni fisse, $V_{CC} = +10\text{ V}$, $V_{EE} = -10\text{ V}$.

Si assuma che il transistor sia a temperatura ambiente.



Soluzione esercizio 14

Esercizio 45

L'amplificazione e' data da

$$A_v = \frac{R_C I_C}{V_T}$$

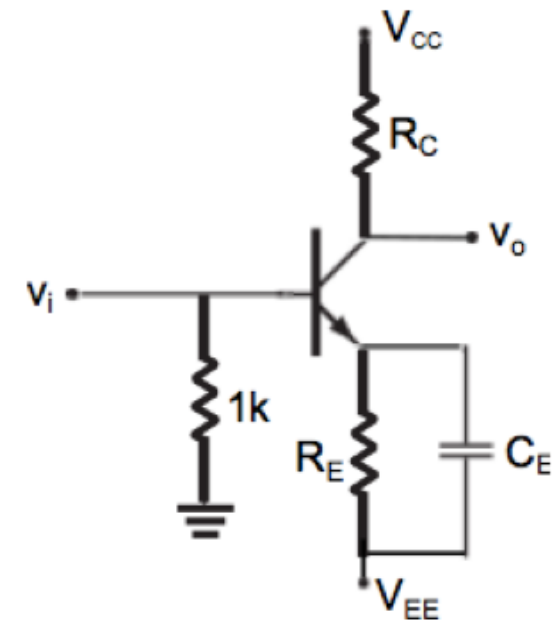
Ipotizzando che il transistor sia a temperatura ambiente cio' significa che occorre avere $R_C I_C = 5V$. Possiamo quindi scegliere una corrente $I_C = 1mA$, da cui $R_C = 5k\Omega$. La base e' a tensione circa zero, quindi la tensione di emettitore e' $V_E \simeq -0.7V$; per avere la corrente scelta di $1mA$ si deve quindi porre $R_E = 9.3k\Omega$.

Con questi valori si ha il valore statico $V_{CE} = 5.7V$. Se non si vuole avere distorsione in uscita occorre che V_{CE} rimanga compresa tra $\sim 0.2V$ e $\sim 10.7V$: quindi, approssimativamente, il segnale d'ingresso non deve superare $25mV$.

Infine, poiche'

$$r_e = \frac{V_T}{I_C} = 25\Omega$$

si deve porre $C_E \simeq 6.4\mu F$ per avere la frequenza di taglio richiesta.





SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Fine esercitazione 1