

Esercitazione N.3: Misure DC su transistor e NOT TTL.

Gruppo AC

Federico Belliardo, Francesco Mazzoncini, Giulia Franchi

October 21, 2016

1 Scopo e strumentazione

Verificare il funzionamento del transistor come amplificatore in un circuito in DC, determinando il guadagno in corrente continua ed analizzare l'uso del transistor in un circuito logico NOT. [Aggiungere strumentazione]

2 Identificazione dei terminali dei componenti

Misura della polarità delle giunzioni del diodo Per prima cosa abbiamo analizzato le polarità delle giunzioni del transistor, verificando che si trattasse effettivamente di un diodo npn (abbiamo ottenuto valori positivi per le giunzioni BC e BE).

[Tecnicamente questa cosa non è esplicitamente richiesta]

Misura delle resistenze del trimmer Utilizzando il multimetro digitale abbiamo misurato le resistenze del trimmer: ai suoi estremi la resistenza è risultata costante $R_{tot} = (102.7 \pm 0.8) k\Omega$, mentre la resistenza tra il terminale intermedio e uno dei due estremi è risultata variabile. Prendendo l'uscita dalla parte delle scritte sul case la resistenza aumenta in senso orario.

Controllo dello stabilizzatore di tensione Abbiamo montato il circuito in figura 7 verificando che la V_{out} rimanesse costante $V_{out} = (5.00 \pm 0.03) V$ (misurata con multimetro digitale) variando V_{in} da 6V a circa 20V.

3 Misure in DC sul transistor

misurando in precedenza le resistenze e il condensatore: $R_L = (0.977 \pm 0.008) k\Omega$ e $R_B = (46.7 \pm 0.4) k\Omega$ e $C = 9.8 \pm 0.4) nF$ La tensione dell'alimentatore è stata misurata essere: $V_1 = (10.06 \pm 0.06) V$.

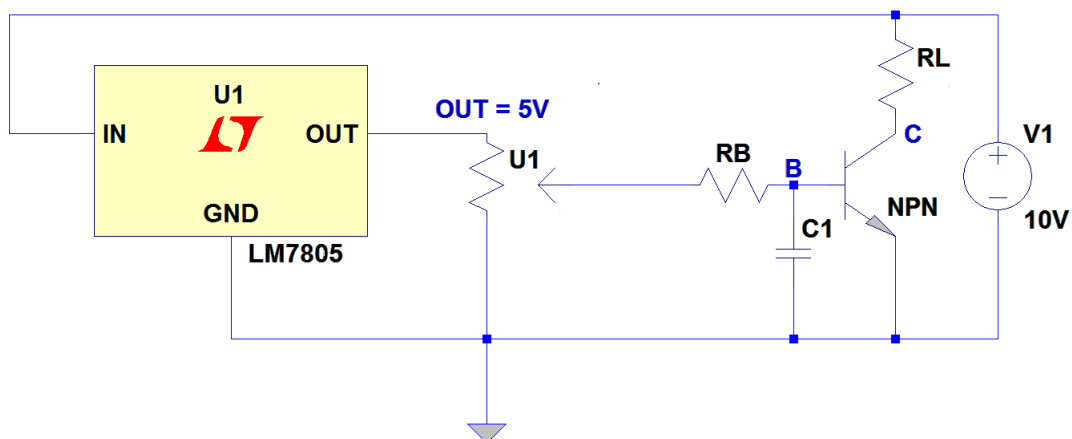


Figure 1: Circuito di amplificazione di correnti continue

Calcolo della retta di carico La retta di carico teorica è stata disegnata come retta tra due punti sul grafico delle curve caratteristiche del transistor: $I_C = \frac{V_1 - V_{CE}}{R_L}$, come si vede nella figura 3.

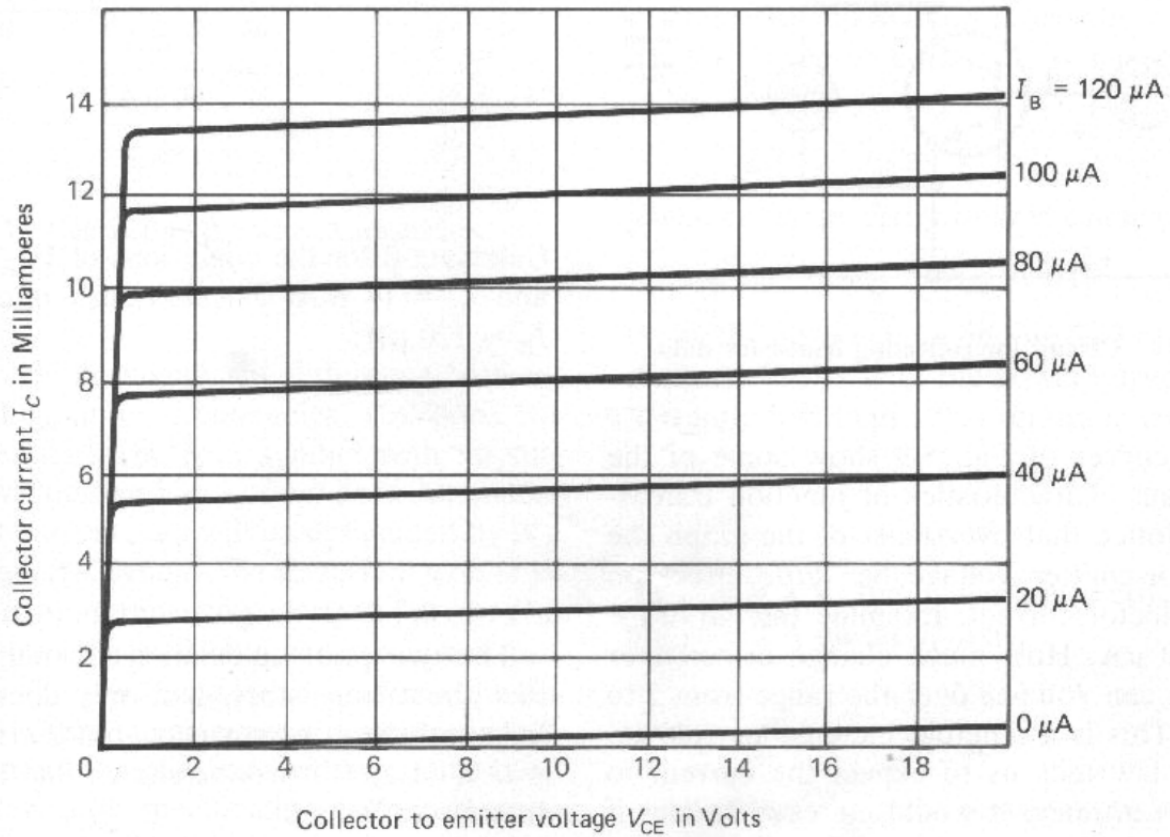


Figure 2: Circuito di amplificazione di correnti continue

Misure sul circuito Abbiamo collegato il multimetro digitale in parallelo alla resistenza R_B e i due canali dell'oscilloscopio ai terminali B e C del transistor. In questo modo siamo stati in grado di misurare contemporaneamente la caduta di tensione V_{R_B} ai capi della resistenza R_B , V_{BE} e V_{CE} . Abbiamo preso varie misure di V_{R_B} , V_{BE} e V_{CE} variando la resistenza del potenziometro (ruotando quindi la vite di regolazione). Grazie alle relazioni $I_B = V_{R_B}/R_B$ e $I_C = \frac{V_1 - V_{CE}}{R_L}$ abbiamo potuto calcolare la corrente I_B in ingresso alla base e la corrente del collettore I_C . Il canale 1 è collegato alla base e il canale 2 è collegato al collettore.

Abbiamo riportato il tutto nella tabella 1.

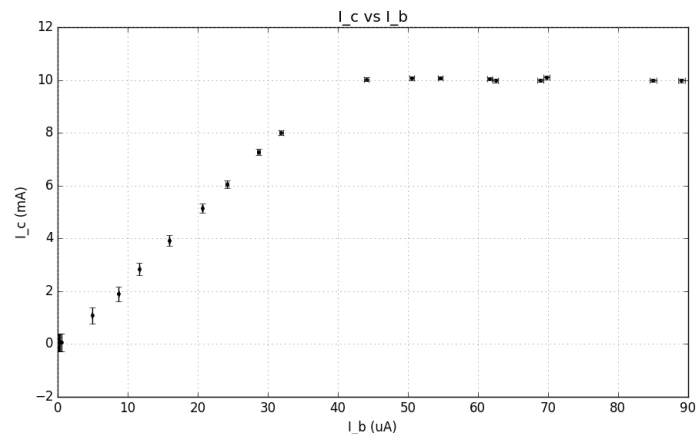


Figure 3: Corrente di collettore vs. Corrente di base

Corrente di saturazione Abbiamo calcolato il guadagno del transistor eseguendo un fit lineare di I_C e I_B con la relazione $I_C = h_{FE}I_B + q$. La massima corrente di collettore erogabile dal transistor è determinata dall'equazione di Kirchoff relativa alla maglia destra del circuito $V_1 = R_L * I_C + V_{CE}$, quindi il massimo valore di I_C si ha per il minimo valore di V_{CE} (V_{sat}), che è una caratteristica del transistor. Si è eseguito un fit di una

| V_{rb} | σV_{rb} | V_{ce} | σV_{ce} | σV_{be} | σV_{be} |
|----------|-----------------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 4.16 | 0.02 | 0.32 | 0.01 | 0.88 | 0.03 |
| 3.97 | 0.02 | 0.300 | 0.009 | 0.86 | 0.03 |
| 3.22 | 0.02 | 0.31 | 0.01 | 0.84 | 0.03 |
| 2.92 | 0.02 | 0.31 | 0.02 | 0.86 | 0.03 |
| 0.0033 | 0.0003 | 10.0 | 0.3 | 0.076 | 0.003 |
| 3.26 | 0.02 | 0.200 | 0.007 | 0.74 | 0.02 |
| 2.88 | 0.02 | 0.240 | 0.007 | 0.74 | 0.02 |
| 2.55 | 0.02 | 0.216 | 0.007 | 0.74 | 0.02 |
| 2.36 | 0.02 | 0.228 | 0.007 | 0.74 | 0.02 |
| 2.06 | 0.01 | 0.260 | 0.008 | 0.74 | 0.02 |
| 1.49 | 0.01 | 2.24 | 0.07 | 0.72 | 0.02 |
| 1.34 | 0.01 | 3.0 | 0.1 | 0.70 | 0.02 |
| 1.13 | 0.01 | 4.2 | 0.1 | 0.70 | 0.02 |
| 0.963 | 0.005 | 5.0 | 0.2 | 0.68 | 0.02 |
| 0.744 | 0.004 | 6.2 | 0.2 | 0.66 | 0.02 |
| 0.545 | 0.003 | 7.3 | 0.2 | 0.64 | 0.02 |
| 0.406 | 0.002 | 8.2 | 0.3 | 0.64 | 0.02 |
| 0.229 | 0.002 | 9.0 | 0.3 | 0.64 | 0.02 |
| 0.0243 | 0.0002 | 10.0 | 0.3 | 0.50 | 0.02 |
| 0.0135 | 0.0001 | 10.0 | 0.3 | 0.296 | 0.009 |
| 0.0038 | 0.0001 | 10.0 | 0.3 | 0.084 | 0.003 |
| 0.0084 | 0.0001 | 10.0 | 0.3 | 0.184 | 0.006 |
| 0.0065 | 0.0001 | 10.0 | 0.3 | 0.140 | 0.005 |
| 0.0051 | 0.0001 | 10.0 | 0.3 | 0.112 | 0.004 |

Table 1: Misure sul transistor in DC

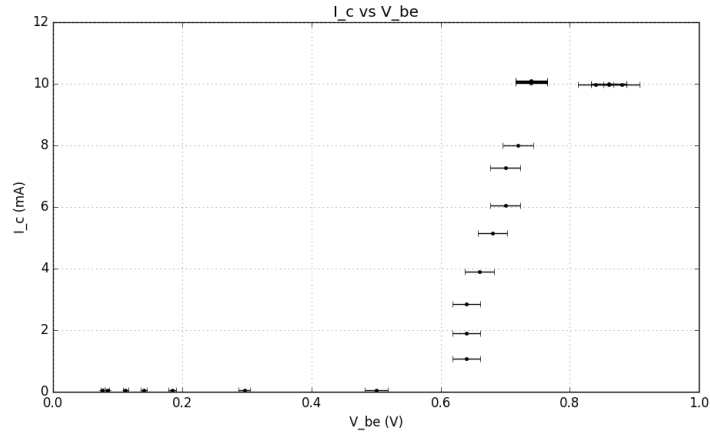


Figure 4: Corrente di collettore vs. Tensione di base

costante ($\chi^2 = 4.5/7$) per trovare la corrente di saturazione ottenendo il valore $I = (10.03 \pm 0.03) \text{ mA}$, con un $\chi^2 = 4.5/7$. Da questo valore si ottiene una tensione di saturazione $V_{sat} = (0.26 \pm 0.10) \text{ V}$.

Misura della costante di guadagno h_{fe} Dai dati della regione attiva riusciamo a stimare il guadagno del transistor, eseguendo il fit lineare (3) otteniamo il valore $h_{fe} = (260 \pm 8)$. Il fit ($\chi^2 = 0.6/6$) è stato applicato con unità di misura mA e μA sulle ordinate e sulle ascisse rispettivamente, questo mi da: $a = (0.259 \pm 0.008)$, $b = (-0.2 \pm 0.2)$, la matrice di covarianza è: $\begin{pmatrix} 6.42 \cdot 10^{-5} & -1.31 \cdot 10^{-3} \\ -1.31 \cdot 10^{-3} & 3.13 \cdot 10^{-2} \end{pmatrix}$.

Variazione della retta di carico al variare della tensione di alimentazione. Abbiamo ruotato la vite regolatrice del trimmer resistivo ottenendo $V_{CE} \simeq 5\text{V}$ per una tensione di alimentazione di $V_1 = 10\text{V}$. Fissiamo questo valore della corrente I_B . Misuriamo V_{RL} ai capi di R_L con il multimetro digitale e V_{CE} tramite l'oscilloscopio al variare di V_1 tra 6V e 16V . Tali dati sono riportati in tabella 2 insieme a quelli di $I_C = V_{RL}/R_L$.

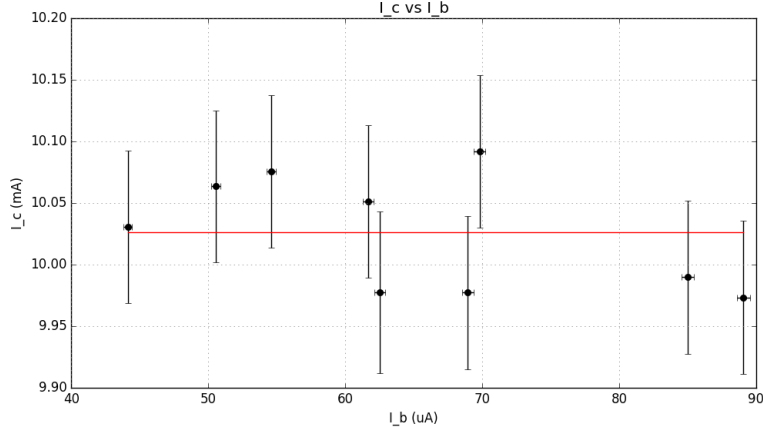


Figure 5: Corrente di collettore vs. Tensione di base

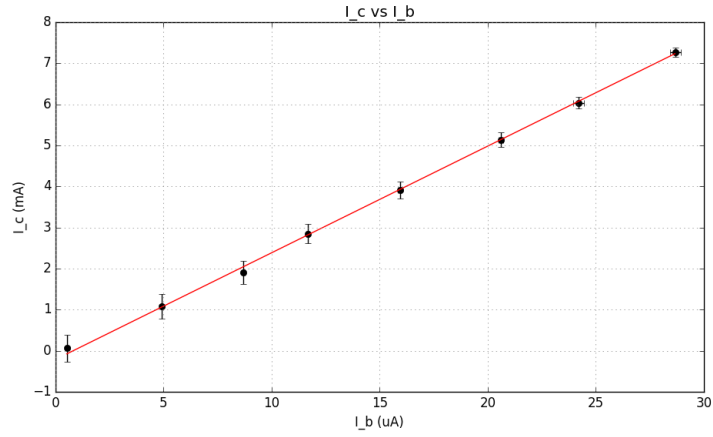


Figure 6: Corrente di collettore vs. Corrente di base

| V_l | σV_l | V_{ce} | σV_{ce} |
|-------|--------------|----------|-----------------|
| 4.99 | 0.03 | 1.48 | 0.08 |
| 5.02 | 0.03 | 1.80 | 0.08 |
| 5.07 | 0.03 | 2.20 | 0.08 |
| 5.06 | 0.03 | 2.56 | 0.08 |
| 5.09 | 0.03 | 3.08 | 0.08 |
| 5.13 | 0.03 | 4.20 | 0.08 |
| 5.14 | 0.03 | 4.56 | 0.08 |
| 5.17 | 0.03 | 4.96 | 0.08 |
| 5.19 | 0.03 | 7.48 | 0.08 |
| 5.23 | 0.03 | 8.16 | 0.08 |
| 5.26 | 0.03 | 9.60 | 0.08 |
| 5.27 | 0.03 | 10.30 | 0.08 |
| 5.34 | 0.03 | 11.90 | 0.08 |
| 5.45 | 0.03 | 15.20 | 0.08 |

Table 2: Tensione di Early

Per gli intervalli di tensione che possiamo utilizzare (per mantenere funzionante lo stabilizzatore) non misuriamo nessun dato nella zona di saturazione ma si osserva marcatamente l'effetto Early, come si vede in figura 3.

I parametri della retta fittata ($\chi^2 = 7.4/12$) sono: $a = (3.1 \pm 0.2) \cdot 10^{-5} \frac{A}{V}$ e $b = (5.10 \pm 0.01) mA$. La matrice di covarianza dei parametri è:

$$\begin{pmatrix} 3.50 \cdot 10^{-5} & -2.13 \cdot 10^{-11} \\ -2.13 \cdot 10^{-11} & 1.87 \cdot 10^{-10} \end{pmatrix}. \text{ Da questi dati si può stimare: } V_{Early} = (0.17 \pm 0.01) kV.$$

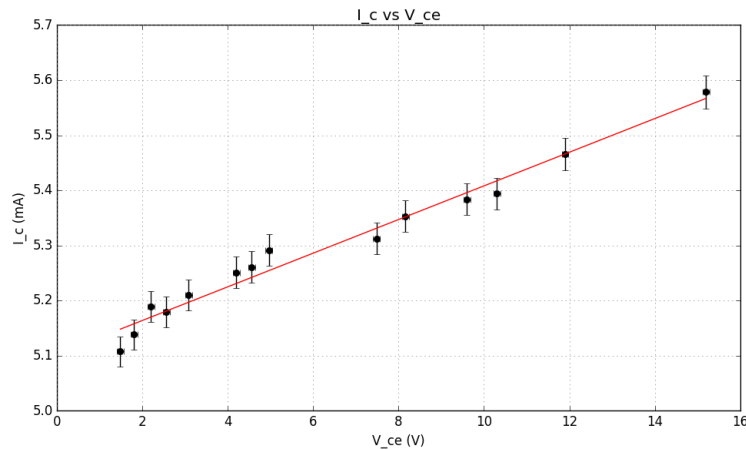


Figure 7: Effetto Early

4 Uso del transistor in un circuito logico NOT

Montaggio del circuito Abbiamo montato il circuito rappresentato in figura 8.

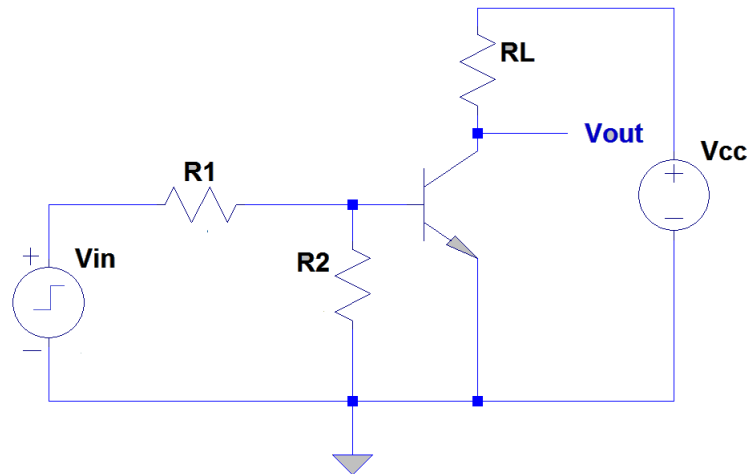


Figure 8: Circuito logico NOT

In ingresso abbiamo collegato il generatore di funzioni in modalità output pulse, il quale genera un'onda quadra oscillante tra 0V e 5V. Abbiamo usato il generatore di tensione V_{CC} , con un valore scelto in modo tale da far funzionare il transistor in regime di saturazione e di interdizione al variare di V_{in} . Le resistenze usate (misurate con un multimetro digitale) sono : $R_1 = R_2 = R_L =$

Verifica del corretto funzionamento del circuito

Misura dei tempi di transizione di V_{out}

Discussione sui tempi di transizione di V_{out} [Non mi è chiaro perchè la capacità massima dovrebbe essere associata alla giunzione polarizzata diretta e non inversa dove la carica è maggiore, forse bisogna guardare la tensione]