



**Università degli Studi di Bergamo**

---

SCUOLA DI INGEGNERIA  
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Informatica

## **Elettronica e Misure Industriali**

Relazione esperienze di laboratorio

Prof.  
**Valerio Re**

Candidato  
**Giulia Allievi**  
Matricola 1058231

Prof.  
**Massimo Manghisoni**



# Indice

<b>0</b>	<b>Introduzione</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Circuito 1: Emitter Follower</b>	<b>5</b>
1.1	Introduzione . . . . .	5
1.2	Prima versione . . . . .	5
1.2.1	Analisi del punto di lavoro . . . . .	6
1.2.2	Analisi di piccolo segnale . . . . .	7
1.2.3	Componenti e misure . . . . .	8
1.3	Seconda versione . . . . .	8
1.3.1	Analisi del punto di lavoro . . . . .	8
1.3.2	Analisi di piccolo segnale . . . . .	8
1.3.3	Componenti e misure . . . . .	8
<b>2</b>	<b>Circuito 2: Common Emitter Amplifier</b>	<b>9</b>
2.1	Introduzione . . . . .	9
2.2	Prima versione . . . . .	9
2.2.1	Schema . . . . .	9
2.2.2	Analisi del circuito . . . . .	9
2.3	Seconda versione . . . . .	9
2.3.1	Analisi del punto di lavoro . . . . .	9
2.3.2	Analisi di piccolo segnale . . . . .	9
2.3.3	Componenti e misure . . . . .	9
2.4	Terza versione . . . . .	9
2.4.1	Analisi del punto di lavoro . . . . .	9
2.4.2	Analisi di piccolo segnale . . . . .	9
2.4.3	Componenti e misure . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Circuiti 3 e 4: Amplificatore operazionale <math>\mu A741</math></b>	<b>10</b>
3.1	Introduzione . . . . .	10
3.2	Amplificatore invertente . . . . .	10
3.2.1	Schema . . . . .	10
3.2.2	Analisi del circuito . . . . .	10
3.2.3	Componenti e misure . . . . .	10
3.3	Integratore . . . . .	10
3.3.1	Schema . . . . .	10
3.3.2	Analisi del circuito . . . . .	10
3.3.3	Componenti e misure . . . . .	10



# Introduzione

Nelle esperienze di laboratorio si sono realizzati ed analizzati i seguenti circuiti:

- Esperienza 1: Emitter follower con alimentazione duale;
- Esperienza 2: Emitter follower con alimentazione singola;
- Esperienza 3: Common emitter amplifier con alimentazione duale e singola;
- Esperienza 4: Amplificatore invertente ed integratore con  $\mu A741$ .

La relazione è suddivisa per tipologia di circuito.

# Circuito 1: Emitter Follower

## 1.1 Introduzione

Il primo circuito realizzato è l'*Emitter follower*, detto anche *Common collector*. Questo circuito ha un guadagno unitario, infatti la tensione misurata in uscita è uguale alla tensione applicata in ingresso, perciò si comporta come un buffer. Ne abbiamo realizzate due diverse versioni, una con alimentazione duale e una con alimentazione singola.

## 1.2 Prima versione

La prima versione di *Emitter follower* analizzata è quella ad alimentazione duale. Di seguito si riportano lo schema, l'analisi del punto di lavoro e di piccolo segnale, e le misure effettuate su questo circuito.

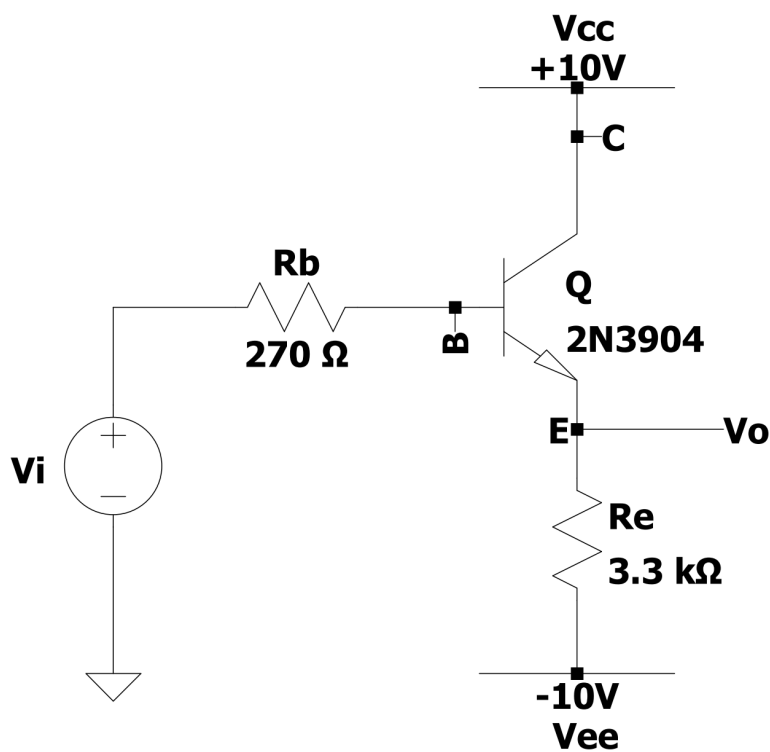


Figura 1.1: Schema dell'Emitter follower ad alimentazione duale.

### 1.2.1 Analisi del punto di lavoro

Nell'analisi del punto di lavoro bisogna spegnere i generatori di segnale e sostituirli con un cortocircuito se sono generatori di tensione, oppure con un circuito aperto se sono generatori di corrente. I condensatori sono sostituiti con un circuito aperto e gli induttori con un cortocircuito. Successivamente si va a determinare la tensione di ogni nodo e la corrente che scorre in ogni ramo.

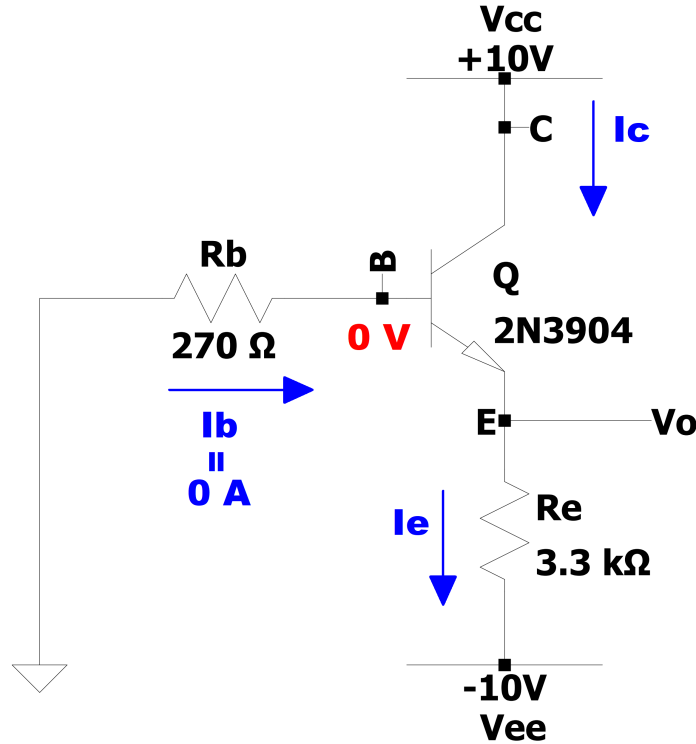


Figura 1.2: Analisi del punto di lavoro dell'Emitter follower ad alimentazione duale.

Come si vede nell'immagine 1.2, il generatore di segnale  $v_i$  viene sostituito con un cortocircuito, quindi la resistenza  $R_B$  si trova fra massa e la base del transistor  $Q$ . In questo caso non dobbiamo apportare altre modifiche al circuito originale.

Nell'analisi utilizziamo il modello ideale del transistor, perciò assumiamo che  $\beta \rightarrow \infty$  e che  $I_B = 0A$ , di conseguenza la corrente che fluisce nella resistenza è nulla, perciò, per la legge di Ohm, sarà nulla anche la caduta di tensione ai suoi capi, quindi si ricava che  $V_B = 0V$ .

Dal bilancio di correnti del transistor (lo trattiamo come se fosse un nodo) otteniamo che  $I_C + I_B = I_E$ , ma dato che  $I_B$  è nulla, allora  $I_C = I_E$ .

Supponendo che il transistor si trovi in regione attiva diretta, la tensione  $V_{BE}$  fra la base e l'emettitore è pari a circa  $+0.7V$  perché la giunzione è polarizzata direttamente. Dato che sappiamo che  $V_B = 0V$ , possiamo calcolare per differenza  $V_E$ , dunque  $V_E = -0.7V$ . Anche  $V_o$  sarà pari a questo valore dato che l'uscita viene prelevata all'emettitore.

$V_C$  è pari alla tensione di alimentazione positiva, perciò  $V_C = V_{CC} = 10V$ . Dato che  $V_{CB} > 0V$ , la giunzione base-collettore è polarizzata inversamente, quindi l'ipotesi che il transistor si trovi in regione attiva diretta è verificata.

Ora possiamo calcolare la corrente di emettitore con la legge di Ohm:

$$V_E - V_{EE} = R_E \cdot I_E \rightarrow I_E = I_C = \frac{V_E - V_{EE}}{R_E} = \frac{-0.7V - (-10V)}{3.3k\Omega} = 2.818mA$$

Il circuito è ora completamente risolto, come ultima cosa si può calcolare la transconduttanza che ci servirà successivamente per l'analisi di piccolo segnale. La transconduttanza è definita come rapporto tra la corrente di collettore stazionaria  $I_C$  e la tensione termica  $V_T$ , che a temperatura ambiente vale circa 26mV.

$$\text{In formule: } g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{2.818mA}{26mV} = 0.108 \frac{A}{V}.$$

In tabella 1.1 sono riassunte tutte le grandezze ricavate dall'analisi del punto di lavoro.

$V_B[V]$	$V_C[V]$	$V_E[V]$	$I_B[A]$	$I_C[mA]$	$I_E[mA]$	$g_m[A/V]$
0	10	-0.7	0	2.818	2.818	0.108

Tabella 1.1: Riassunto delle grandezze ricavate dall'analisi del punto di lavoro del circuito.

### 1.2.2 Analisi di piccolo segnale

Nell'analisi di piccolo segnale bisogna spegnere i generatori di grandezze continue e sostituirli con un cortocircuito se sono generatori di tensione, oppure con un circuito aperto se sono generatori di corrente. Per analisi approssimate, i condensatori sono sostituiti con un cortocircuito e gli induttori con un circuito aperto; per analisi più accurate, invece, non vengono sostituiti e si utilizza la loro impedenza per risolvere il circuito. Infine, i transistor vengono sostituiti con il loro modello per piccolo segnale. Successivamente si va a determinare la tensione di ogni nodo e la corrente che scorre in ogni ramo, esattamente come avveniva per l'analisi del punto di lavoro.

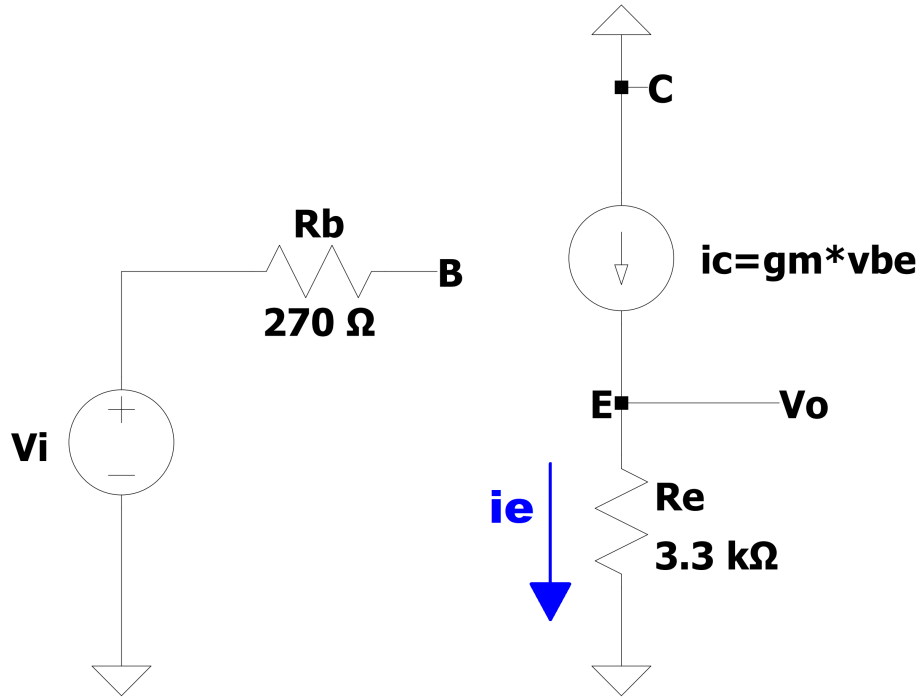


Figura 1.3: Analisi di piccolo segnale dell'Emitter follower ad alimentazione duale.



Come si può notare dalla figura 1.3, il BJT viene sostituito con il modello per piccolo segnale a bassa frequenza, quindi il terminale di base risulta isolato dal collettore e dall'emettitore, invece questi due terminali sono collegati attraverso un generatore di corrente di valore pari al prodotto fra la transconduttanza  $g_m$  e la tensione  $v_{BE}$ .

Dato che la base del transistor è isolata, nel circuito di sinistra non circola corrente, perciò non c'è caduta di tensione sulla resistenza  $R_B$ , quindi la tensione  $v_B$  risulta pari alla tensione applicata in ingresso con il generatore  $v_i$ .

Abbiamo già detto che  $i_C = g_m \cdot v_{BE} = g_m(v_B - v_E)$ . Ma dato che  $v_B = v_i$  e  $v_E = v_o$ , la formula precedente per il calcolo della corrente di collettore si può riscrivere come  $i_C = g_m(v_i - v_o)$ .

Ricaviamo  $i_E$  con la legge di Ohm:  $i_E = \frac{v_E - 0V}{R_E} = \frac{v_o}{R_E}$ .

Dal bilancio delle correnti al nodo E otteniamo che  $i_C = i_E$ . Sostituendo alle due correnti l'espressione ricavata ai punti precedenti ricaviamo la seguente equazione:

$$g_m(v_i - v_o) = \frac{v_o}{R_E}.$$

A questo punto possiamo ricavare la funzione di trasferimento del circuito manipolando l'espressione ottenuta in precedenza. Questa risulta:

$$\frac{v_o}{v_i} = \frac{g_m R_E}{1 + g_m R_E} \simeq 1 \text{ per } g_m R_E \gg 1.$$

Allora, si può dire che  $v_o = v_i$ , ovvero il circuito si comporta come un buffer, come si era già accennato nell'introduzione del circuito.

### 1.2.3 Componenti e misure

## 1.3 Seconda versione

### 1.3.1 Analisi del punto di lavoro

### 1.3.2 Analisi di piccolo segnale

### 1.3.3 Componenti e misure

## **Circuito 2: Common Emitter Amplifier**

### **2.1 Introduzione**

### **2.2 Prima versione**

#### **2.2.1 Schema**

#### **2.2.2 Analisi del circuito**

### **2.3 Seconda versione**

#### **2.3.1 Analisi del punto di lavoro**

#### **2.3.2 Analisi di piccolo segnale**

#### **2.3.3 Componenti e misure**

### **2.4 Terza versione**

#### **2.4.1 Analisi del punto di lavoro**

#### **2.4.2 Analisi di piccolo segnale**

#### **2.4.3 Componenti e misure**

# Circuiti 3 e 4: Amplificatore operazionale $\mu\text{A}741$

## 3.1 Introduzione

## 3.2 Amplificatore invertente

### 3.2.1 Schema

### 3.2.2 Analisi del circuito

### 3.2.3 Componenti e misure

## 3.3 Integratore

### 3.3.1 Schema

### 3.3.2 Analisi del circuito

### 3.3.3 Componenti e misure