

# Amplificatori operazionali con reazione

Questa relazione è stata effettuata in data 05/12/2024 dal gruppo 3 del laboratorio di SETM, formato da Carbone Orazio (S300511), Dandolo Giacomo (S296525), Favellato Francesco (S312697) e Genduso Cristina (S293536).

## 1 Caratteristiche dell'esperienza

### 1.1 Obiettivo

L'obiettivo di questa esercitazione è analizzare il comportamento di amplificatori operazionali reazionati e misurarne i parametri. Inoltre, si vogliono verificare alcune deviazioni rispetto a quanto prevedibile con il modello di amplificatore operazionale ideale.

### 1.2 Materiale utilizzato

1. Componenti elettronici:

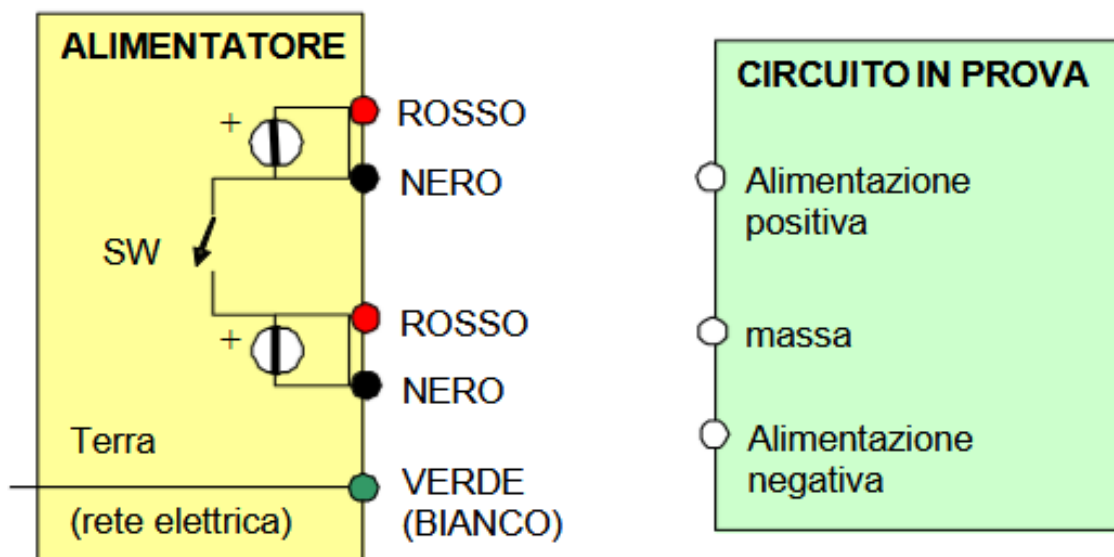
- modulo A3, contenente un amplificatore operazionale non invertente e un amplificatore operazionale invertente.

2. Strumentazione:

- alimentatore Rigol DP832;
- generatore di funzioni Hantek HDG2032B;
- oscilloscopio digitale Rigol DS1054 Z;
- multimetro da banco Hewlett Packard 34401A.

### 1.3 Alimentazione duale

In questa esperienza è necessario utilizzare un alimentatore doppio, predisposto in modo da fornire, rispetto a massa, una tensione positiva di  $12\text{ V}$  e una tensione negativa di  $12\text{ V}$ .



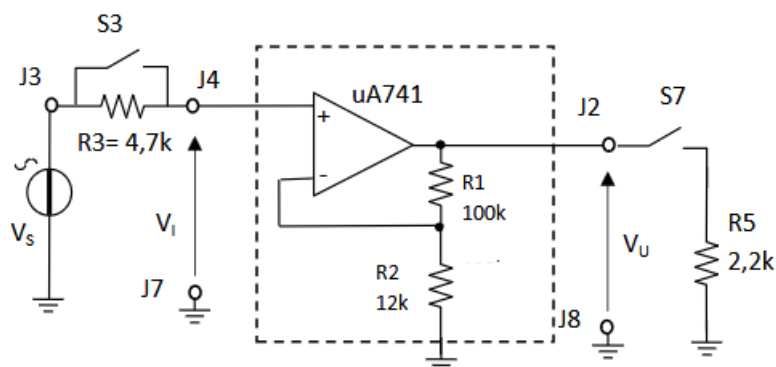
Schema del generatore in DC

## 2 Misure

### 2.1 Amplificatore non invertente

#### 2.1.1 Predisposizione del modulo

Utilizzare il modulo A3 - 1 (amplificatore non invertente) e configurarlo come descritto nella tabella.



Schema dell'amplificatore operazionale non invertente

| Interruttore | Posizione sulla basetta | Note                  |
|--------------|-------------------------|-----------------------|
| S1           | 1                       | aperto                |
| S2           | 2                       | chiuso                |
| S3           | 1                       | $R_3$ inserita        |
|              | 2                       | $R_3$ cortocircuitata |
| S4           | 2                       | chiuso                |
| S5           | 1                       | aperto                |
| S6           | 1                       | aperto                |

| Interruttore | Posizione sulla basetta | Note                    |
|--------------|-------------------------|-------------------------|
| S7           | 1<br>—                  | $R_5$ non inserita<br>— |
|              | 2                       | $R_5$ inserita          |

### 2.1.2 Valori teorici

Il guadagno dell'amplificatore si calcola con la formula dell'amplificatore non invertente:

$$A_v = 1 + \frac{R_1}{R_2} = 9.33$$

Utilizzando i parametri  $R_{id} = 1\text{ M}\Omega$ ,  $R_o = 100\ \Omega$  e  $A_d = 200000$ , si possono calcolare la resistenza di ingresso  $R_i$  e la resistenza di uscita  $R_u$  dell'amplificatore.

Calcoliamo la resistenza di ingresso  $R_i$ .

$$R_{in,0} = R_{id} + R_1 \parallel R_2 = 1\text{ M}\Omega \qquad \beta' = \frac{R_2 \parallel R_{id}}{R_2 \parallel R_{id} + R_1} = 0.106$$

$$R_i = R_{in,0} \cdot (1 + A_d \beta') = 2 \cdot 10^{10} \Omega = 20\text{ G}\Omega$$

Calcoliamo la resistenza di uscita  $R_u$ .

$$\beta = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 0.107$$

$$R_u = \frac{R_o}{1 + A_d \beta} = 4.67 \cdot 10^{-3} \Omega$$

Risulta, quindi, un ottimo amplificatore non invertente reale, approssimabile all'idealità.

### 2.1.3 Misure

Applicare all'ingresso un segnale sinusoidale, con frequenza  $f = 2\text{ kHz}$  e ampiezza picco-picco  $V_{pp} = 0.5\text{ V}$ . Misurare il rapporto  $A_v = V_u/V_i$ , esprimendolo anche in  $dB$ .

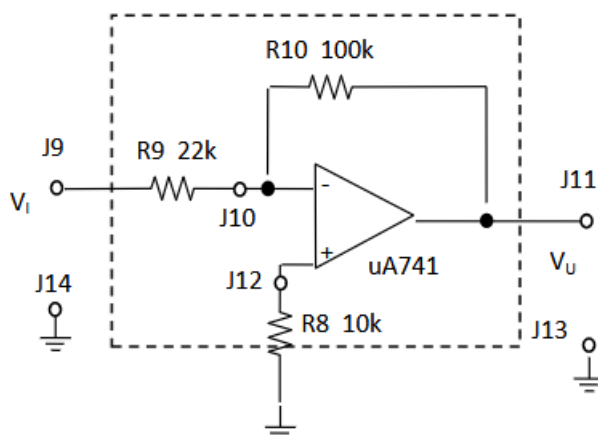
Si ottiene che  $V_i = 1.20\text{ V}$  e  $V_u = 10.00\text{ V}$ .

|                 | Misura     |
|-----------------|------------|
| $A_{v,1}$       | 8.33       |
| $A_{v,1} _{dB}$ | 18.41 $dB$ |

## 2.2 Amplificatore invertente

### 2.2.1 Predisposizione del modulo

Utilizzare il modulo A3 - 2 (amplificatore invertente) e configurarlo come descritto nella tabella.



Schema dell'amplificatore invertente

| Interruttore | Posizione sulla basetta | Note                  |
|--------------|-------------------------|-----------------------|
| S8           | 1                       | aperto                |
| S9           | 1                       | aperto                |
| S10          | 2                       | chiuso                |
| S11          | 1                       | aperto                |
| S12          | 1                       | aperto                |
| S13          | 1                       | $R_{11}$ non inserita |
| S14          | 1                       | $R_{12}$ non inserita |

## 2.2.2 Misure

Applicare all'ingresso un segnale triangolare con ampiezza picco-picco  $V_{pp} = 2\text{ V}$  e frequenza  $f = 300\text{ Hz}$ . In queste condizioni:

- determiniamo il guadagno misurando il segnale in ingresso ( $V_i = 2.08\text{ V}$ ) e in uscita ( $V_u = 9.60\text{ V}$ ) e calcolandolo con il rapporto  $A_v = V_u/V_i$ ;

|                 | Misura   |
|-----------------|----------|
| $A_{v,2}$       | 4.62     |
| $A_{v,2} _{dB}$ | 13.28 dB |

- verifichiamo che il morsetto non invertente dell'amplificatore operazionale  $v^+$  sia a potenziale prossimo a zero con il multimetro;

$$v^+ = 0.408\text{ V}$$

- verifichiamo che la tensione continua e quella di segnale sul morsetto invertente dell'amplificatore operazionale  $v^-$  sia prossimo a zero usando l'oscilloscopio;

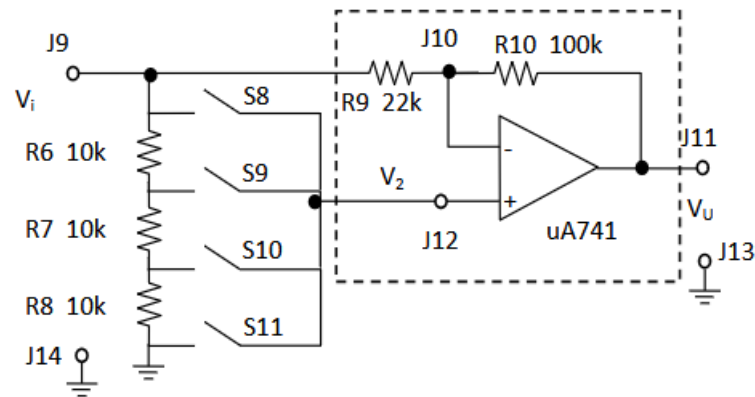
$$v^- = 160\text{ mV}$$

- aumentare l'ampiezza del segnale di ingresso fino a ottenere evidente distorsione nel segnale di uscita. Si nota che il segnale di uscita viene tagliato ad un'ampiezza di  $4\text{ V}$ .

## 2.3 Amplificatore differenziale

### 2.3.1 Predisposizione del modulo

Utilizzare il modulo A3 - 2 e configurarlo come descritto nello schema del circuito.



Schema dell'amplificatore differenziale

Gli interruttori permettono di ottenere come  $V_2$  una tensione corrispondente a frazioni della  $V_i$  attraverso il partitore formato da  $R_6$ ,  $R_7$  e  $R_8$ . Occorre chiudere un solo interruttore per volta del gruppo S8, S9, S10 e S11, lasciando aperti gli altri. La presenza di  $V_i$  e  $V_2$  permette di verificare il funzionamento dell'amplificatore differenziale partendo da un singolo segnale.

| Interruttore | Posizione sulla basetta | Note                       |
|--------------|-------------------------|----------------------------|
| S8           | 1                       | aperto                     |
|              | 2                       | chiuso,<br>$V_2 = V_i$     |
| S9           | 1                       | aperto                     |
|              | 2                       | chiuso,<br>$V_2 = 2/3 V_i$ |
| S10          | 1                       | aperto                     |
|              | 2                       | chiuso,<br>$V_2 = 1/3 V_i$ |
| S11          | 1                       | aperto                     |
|              | 2                       | chiuso,<br>$V_2 = 0$       |
| S12          | 2                       | chiuso                     |
| S13          | 1                       | $R_{11}$ non inserita      |
| S14          | 1                       | $R_{12}$ non inserita      |

### 2.3.2 Valori teorici

Per S8 chiuso, abbiamo che  $V_2 = V_i$ .

—

$$V_{u,S_8} = \frac{R_{10}}{R_9}(V_2 - V_i) = 0$$

Per S9 chiuso, abbiamo che  $V_2 = \frac{2}{3}V_i$ .

$$V_{u,S_9} = \frac{R_{10}}{R_9}(V_2 - V_i) = -\frac{R_{10}}{3R_9}V_i$$

Per S10 chiuso, abbiamo che  $V_2 = \frac{1}{3}V_i$ .

$$V_{u,S_{10}} = \frac{R_{10}}{R_9}(V_2 - V_i) = -\frac{2R_{10}}{3R_9}V_i$$

Per S11 chiuso, abbiamo che  $V_2 = 0$ .

$$V_{u,S_8} = \frac{R_{10}}{R_9}(V_2 - V_i) = -\frac{R_{10}}{R_9}V_i$$

### 2.3.3 Misure

Applicare all'ingresso un segnale sinusoidale con  $V_{pp} = 1.6 \text{ V}$  e frequenza  $f = 200 \text{ Hz}$ .

Misuriamo il valore del guadagno  $A_v = V_u/V_i$  per le varie possibili configurazioni, chiudendo solo uno degli interruttori per volta.

| Configurazione | $V_i$  | $V_u$  | $A_{v,3}$ | $A_{v,3} _{dB}$ |
|----------------|--------|--------|-----------|-----------------|
| S8 chiuso      | 1.76 V | 1.84 V | 1.04      | 0.39 dB         |
| S9 chiuso      | 1.76 V | 1.60 V | 0.91      | 0.83 dB         |
| S10 chiuso     | 1.76 V | 4.56 V | 2.59      | 8.27 dB         |
| S11 chiuso     | 1.76 V | 7.68 V | 4.36      | 12.80 dB        |

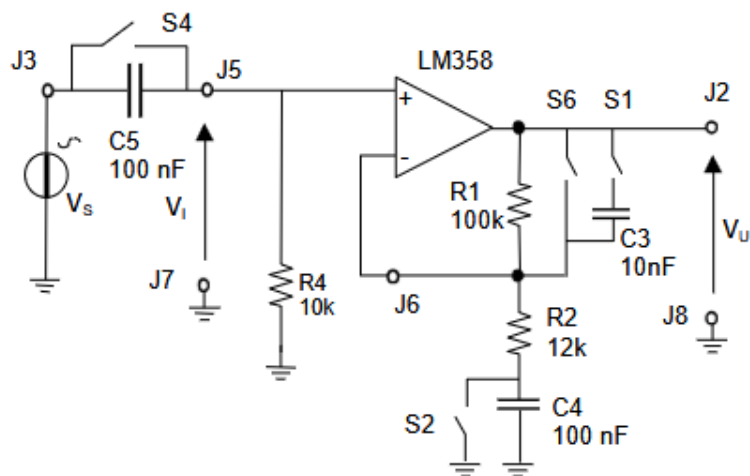
### 2.3.4 Confronto tra valori teorici e misure

I valori teorici risultano, per la maggior parte, compatibili con le misure effettuate, portando ad una corretta amplificazione. L'unica anomalia riscontrata risulta con S8 chiuso, che non tende a 0, come ci si aspetta, ma tende a un valore prossimo più alto della tensione di ingresso.

## 2.4 Amplificatore AC/DC

### 2.4.1 Predisposizione del modulo

Utilizzare il modulo A3 - 1 e configurarlo come descritto nello schema del circuito.



Schema dell'amplificatore AC/DC

Gli interruttori permettono di configurare il circuito come amplificatore DC o come amplificatore AC con variazioni di guadagno e di banda.

| Interruttore | Posizione sulla basetta | Note                          |
|--------------|-------------------------|-------------------------------|
| S1           | 1                       | aperto, $C_3$ non inserito    |
|              | 2                       | chiuso, $C_3$ inserito        |
| S2           | 1                       | aperto, $C_4$ non inserito    |
|              | 2                       | chiuso, $C_4$ inserito        |
| S3           | 2                       | chiuso                        |
| S4           | 1                       | aperto, $C_5$ inserito        |
|              | 2                       | chiuso, $C_5$ cortocircuitato |
| S5           | 2                       | chiuso                        |
| S6           | 1                       | aperto                        |

## 2.4.2 Misure

Configuriamo il circuito come amplificatore DC con S4 chiuso, S2 chiuso e S1 aperto.

- Misuriamo il guadagno per segnali sinusoidali con frequenze di 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz e 300 kHz;

| Frequenza | $V_i$  | $V_u$   | $A_{v,4}$ | $A_{v,4} _{dB}$ |
|-----------|--------|---------|-----------|-----------------|
| 100 Hz    | 1.20 V | 10.20 V | 8.50      | 18.59 dB        |
| 1 kHz     | 1.20 V | 10.00 V | 8.33      | 18.42 dB        |
| 10 kHz    | 1.20 V | 10.00 V | 8.33      | 18.42 dB        |
| 100 kHz   | 1.20 V | 9.36 V  | 7.75      | 17.79 dB        |
| 300 kHz   | 1.20 V | 6.80 V  | 5.67      | 15.07 dB        |

2. Misurare a quale frequenza la risposta dell'amplificatore scende a 3  $dB$ ;

$$f_t = 430 \text{ kHz}$$