



1 Introduzione

1.1 Scopo dell'esercitazione

Gli obiettivi di questa esercitazione sono:

- Analizzare il comportamento di amplificatori operazionali (AO) reazionati
- Misurare i parametri di amplificatori realizzati con AO
- Verificare alcune deviazioni rispetto a quanto prevedibile con il modello di AO ideale

Come per l'esercitazione precedente è previsto il confronto tra i risultati di calcoli e le misure. In questo caso alcuni dei comportamenti rilevati sperimentalmente mettono in evidenza i limiti dei modelli semplificati utilizzati nelle lezioni.

Anche questa relazione è in parte già predisposta, ma rispetto alla precedente è più ampia la parte a compilazione libera.

1.2 Moduli e strumenti da utilizzare

I circuiti richiesti sono premontati; durante l'esercitazione devono solo essere collegati gli strumenti sui punti di misura (alimentatore, generatore di segnale all'ingresso e oscilloscopio). Viene utilizzato solo il modulo A3 (AMPLIFICATORI); si veda a pagina 9 lo schema dettagliato del modulo.

Note

In questa guida gli spazi predisposti per i risultati delle misure sono presenti solo nel modulo finale per la relazione.

Per alcune misure occorre cambiare la componente continua del segnale di ingresso. Utilizzare nei generatori di segnale il comando "offset".

Alimentare i circuiti con tensioni di +12 V e -12 V.

Rivedere le avvertenze sull'uso degli alimentatori della esercitazione precedente.

1.3 Esecuzione delle misure

Per ciascuna misura viene utilizzato uno dei circuiti premontati sul modulo sperimentale, predisposto secondo la configurazione indicata.

In questa guida non viene indicato il collegamento degli strumenti; utilizzare quello visto per l'esercitazione precedente, con le varianti richieste (in alcuni casi sono richieste misure su nodi interni, anziché sui soli morsetti di ingresso/uscita).



2 Misure

2.1 Amplificatore non invertente

2.1.1 Predisposizione del modulo

Utilizzare il modulo A3-1, e configurarlo come indicato nella tabella interruttori. Nel seguito (Figura 1) il termine "amplificatore" indica il circuito completo (parte entro il quadro tratteggiato).

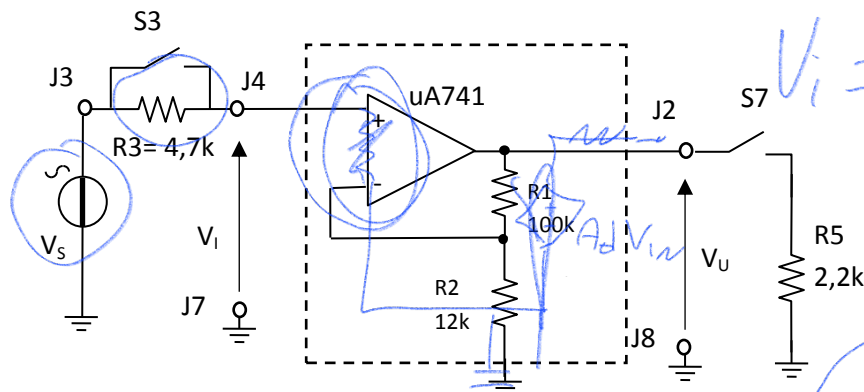


Figura 1: Schema dell'amplificatore non invertente

Tabella interruttori

Interruttore	Posizione sulla basetta	Note
S1	1	aperto
S2	2	chiuso
S3	1	R3 inserita
	2	R3 cortocircuitata
S4	2	chiuso
S5	1	aperto
S6	1	aperto
S7	1	R5 non inserita
	2	R5 inserita

2.1.2 Homework (DA FARE A CASA)

Calcolare il guadagno dell'amplificatore.

se considerato ideale

$$A_v = \frac{V_u}{V_i} \Rightarrow A_v = 1 + \frac{R_1}{R_2} = 11$$

Calcolare le resistenze equivalenti di ingresso e di uscita dell'amplificatore per i seguenti parametri relativi all'AO reale: $R_{id} = 1 \text{ M}\Omega$, $R_o = 100 \Omega$, $A_d = 200000$. *formule non spiegate*

$$R_{in} = \underbrace{R_{in,o}}_{R_{id} + R_3 \parallel R_2} \cdot (1 + A_d \beta') = 2 \cdot 10^{10} \Omega \approx 20 \text{ G}\Omega$$

$$\beta' = \frac{R_2 \parallel R_{id}}{R_2 \parallel R_{id} + R_1} = \frac{0.106}{0.106} = 1$$

$$R_{out} = \frac{R_o}{1 + A_d \beta} = \frac{100 \Omega}{1 + 200000 \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_1}} = 4.67 \cdot 10^{-3} \Omega \approx 4.67 \text{ m}\Omega$$



2.1.3 Misure

Misurare il guadagno V_u/V_i . (V_s sia un segnale sinusoidale con ampiezza di picco = 0,5 V, $f=2$ kHz, utilizzare oscilloscopio o multimetro ACV – **Attenzione:** misurare V_u/V_i , non V_u/V_s).

$$\left. \begin{array}{l} V_u = 10 \text{ V} \\ V_i = 1.2 \text{ V} \end{array} \right\} \frac{V_u}{V_i} = 8.33$$

Agendo su S3 e S7 verificare che la resistenza di ingresso sul morsetto V_i è molto alta, e che la resistenza di uscita sui morsetti V_u è molto bassa (si vedano i punti 2.1.4 e 2.1.5 della prima esercitazione di laboratorio).

2.2 Amplificatore invertente

$$R_3 = 4.72 \text{ k}\Omega \rightarrow V_{in} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_3} \cdot V_s \rightarrow 157 \text{ mV}$$

colcolo R_{in}

2.2.1 Predisposizione del modulo

Utilizzare il modulo A3-2, e configurarlo (Figura 2) come indicato nella tabella interruttori seguente.

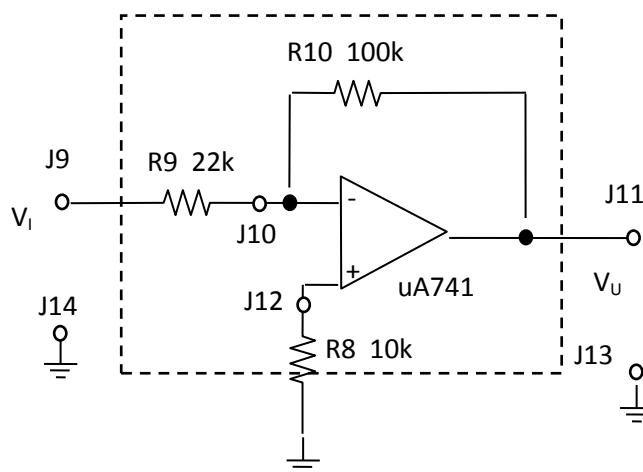


Figura 2: Schema dell'amplificatore invertente

Tabella interruttori

Interruttore	Posizione sulla basetta	Note
S8	1	aperto
S9	1	aperto
S10	2	chiuso
S11	1	aperto
S12	1	aperto
S13	1	R11 non inserita
S14	1	R12 non inserita



7 2.2.2 Homework *NON ho le formule - non spiegate*

Calcolare il guadagno, la resistenza di ingresso e quella di uscita. Per i parametri utilizzare i dati del circuito precedente.

2.2.3 Misure

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

- Determinare il guadagno misurando il segnale in ingresso e in uscita.
- Verificare che il morsetto non invertente (+) dell'amplificatore operazionale sia a potenziale prossimo a zero (multimetro o oscilloscopio).
- Verificare che la tensione continua e quella di segnale sul morsetto invertente (-) dell'amplificatore operazionale sia prossima a zero (oscilloscopio).
- Aumentare l'ampiezza del segnale di ingresso fino a ottenere evidente distorsione (tosatura o clipping) nel segnale di uscita ($V_{pp} = 5\text{ V}$ circa).

$$a) \left. \begin{array}{l} V_{OUT} = 9.60 \\ V_{IN} = 2.08 \end{array} \right\} A_v =$$

$$b) 512 = V^+ = 0.408\text{ mV (multimetro)}$$

$$c) \text{Oscill: } 160\text{ mV (} V_{pp} \text{ su } V^- \text{)}$$

$$d) \text{Verificato che a } 4\text{ V il segnale } V_{OUT} \text{ e'}$$

Tagliato



✓ 2.3 Amplificatore differenziale

2.3.1 Predisposizione del modulo

Utilizzare il modulo A3-2, e configurarlo come indicato nello schema di Figura 3.

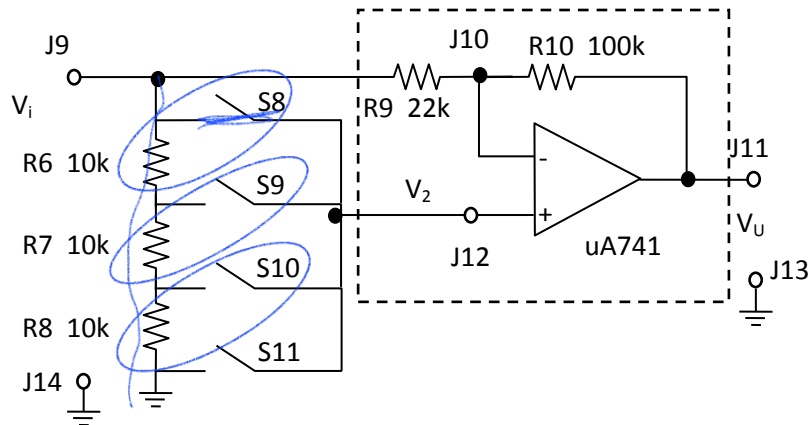


Figura 3: Schema dell'amplificatore differenziale

Gli interruttori permettono di ottenere come V_2 una tensione corrispondente a frazioni della V_i attraverso il partitore formato da R6, R7 e R8. 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.

Tabella interruttori

S_8 chiuso: $V_2 = V_i$
 $V_u = \frac{R_{20}}{R_9} \cdot (V_2 - V_i) = 0$

S_9 chiuso: $V_2 = \frac{2}{3} V_i$
 $V_u = \frac{R_{20}}{R_9} \cdot \left(\frac{2}{3} V_i - V_i \right) = -\frac{1}{3} V_i$

S_{20} chiuso: $V_2 = \frac{1}{3} V_i$
 $V_u = \frac{R_{20}}{R_9} \cdot \left(\frac{1}{3} V_i - V_i \right) = -\frac{2}{3} V_i$

Interruttore	Posizione sulla basetta	Note
S8	1	aperto
	2	chiuso, $V_2 = V_i$
S9	1	aperto
	2	chiuso, $V_2 = \frac{2}{3} V_i$
S10	1	aperto
	2	chiuso, $V_2 = \frac{1}{3} V_i$
S11	1	aperto
	2	chiuso, $V_2 = 0$
S12	2	chiuso
S13	1	R11 non inserita
S14	1	R12 non inserita

In generale

$$V_{out} = \frac{R_A}{R_B} \cdot (V^+ - V^-)$$

S_{12} chiuso: $V_2 = 0$
 $V_u = \frac{R_{20}}{R_9} \cdot (0 - V_i)$

2.3.2 Homework

Calcolare $V_u(V_i)$ per le varie configurazioni degli SW S8, S9, S10 e S11 (chiusi solo uno per volta).



2.3.3 Misure

Applicare all'ingresso un segnale sinusoidale con $V_{pp} = 1,6$ V e frequenza 200 Hz.

Misurare il valore del guadagno $A_v = V_u/V_i$ per le varie configurazioni (chiudere solo uno degli SW S8, S9, S10 e S11 per volta). Per le misure di tensione usare l'oscilloscopio o il multimetro ACV.

Confrontare i risultati delle misure con quanto calcolato nell'homework.

2.4 - Amplificatore AC/DC

2.3.4 Predisposizione del modulo

Utilizzare il modulo A3-1, e configurarlo come indicato nello schema di Figura 4.

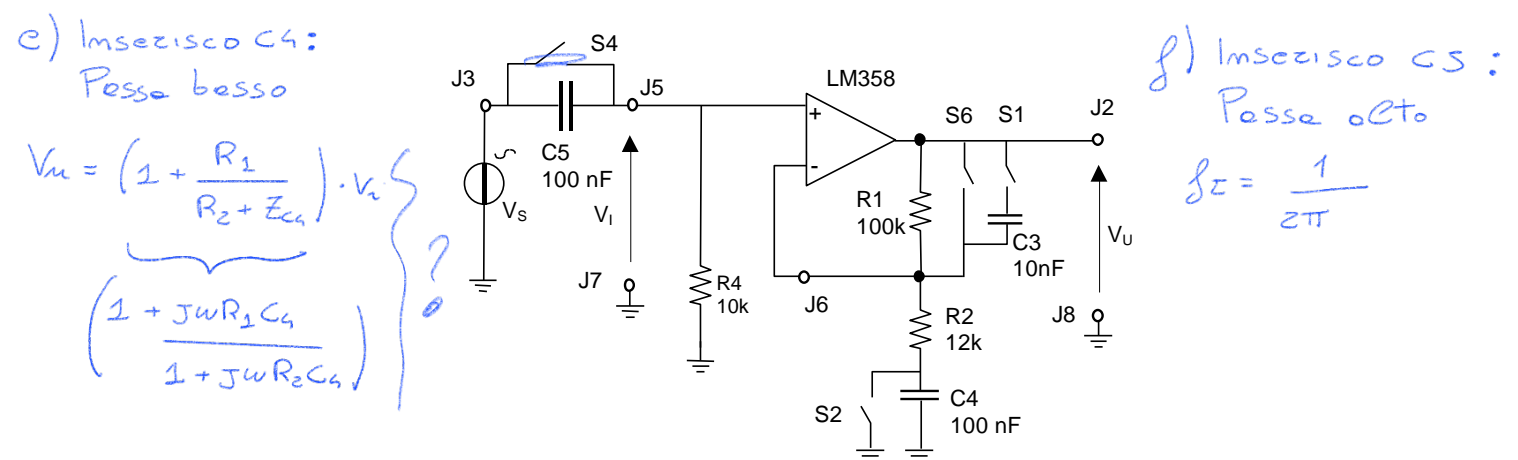


Figura 4: Schema dell'amplificatore AC/DC

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



Tabella interruttori

Interruttore	Posizione sulla basetta	Note
S1	1	aperto, C3 non inserito
	2	chiuso, C3 inserito
S2	1 2	aperto, C4 non inserito
	2 1	chiuso, C4 inserito
S3	2	chiuso
S4	1	aperto, C5 inserito
	2	chiuso, C5 cortocircuitato
S5	2	chiuso
S6	1	aperto

2.3.5 Homework

Valutare l'effetto delle operazioni e) ed f) nella sezione "Misure".

2.3.6 Misure

Configurare il circuito come amplificatore DC con S4 chiuso, S2 chiuso, S1 aperto,

- Misurare il guadagno per segnali sinusoidali con frequenze di: 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz.
Attenzione: Nelle misure a frequenza elevata può intervenire, oltre al limite di banda dell'A.O., anche il limite da slew rate. In questo caso la forma d'onda in uscita è distorta, e da sinusoidale diventa triangolare. Per effettuare misure della banda passante verificare la forma d'onda in uscita; se triangolare abbassare il livello di ingresso fino a riportarla a sinusoidale.
- Determinare a quale frequenza la risposta dell'amplificatore scende di 3 dB (cioè la posizione del polo verso le frequenze alte - mantenere il segnale in uscita a livello basso, tale da non causare distorsione visibile).

Per questa misura conviene portarsi nella zona di banda passante (guadagno massimo), impostare il livello di segnale ad un valore tale da ottenere sull'oscilloscopio una traccia che sfrutta tutta o quasi l'ampiezza verticale dello schermo, e variare la frequenza fino a quando l'ampiezza misurata in uscita scende di 3 dB (fattore 0,707).

- Applicare offset dal generatore e verificare che viene riportato amplificato in uscita.
- Inserire C3 (chiudere S1; mantenere S4 chiuso e S2 chiuso) e verificare che C3 introduce un limite superiore di banda valutando la nuova frequenza di taglio superiore.

Per verificare il valore del guadagno in continua, si ricordi che la componente continua (DC) in uscita dipende, oltre che dalla componente continua all'ingresso, anche da altri fattori (offset, sbilanciamento delle alimentazioni, ...). Per misurare il guadagno in continua conviene imporre variazioni della DC



all'ingresso (usando il comando "offset" del generatore), verificare le corrispondenti variazioni in uscita, e calcolare il rapporto.

- e) Inserire C4 (aprire S2; mantenere S4 chiuso e S1 aperto) e verificare l'influenza sulla risposta in frequenza
- f) Inserire C5 (aprire S4; mantenere S2 chiuso e S1 aperto) e verificare l'influenza sulla risposta in frequenza

e) $100 \text{ Hz} \rightarrow \left. \begin{array}{l} V_u = 10.2 \text{ V} \\ V_i = 1.2 \text{ V} \end{array} \right\} A_v =$ NON VEZIA fino a 100 KHz

$1 \text{ KHz} \rightarrow \left. \begin{array}{l} V_u = 10 \text{ V} \\ V_i = 1.2 \text{ V} \end{array} \right\} A_v =$

$10 \text{ KHz} \rightarrow \left. \begin{array}{l} V_u = 10 \text{ V} \\ V_i = 1.2 \text{ V} \end{array} \right\} A_v =$

$100 \text{ KHz} \rightarrow \left. \begin{array}{l} V_u = 9.36 \text{ V} \\ V_i = 1.2 \text{ V} \end{array} \right\} A_v =$

$300 \text{ KHz} \rightarrow \left. \begin{array}{l} V_u = 6.8 \text{ V} \\ V_i = 1.2 \text{ V} \end{array} \right\}$

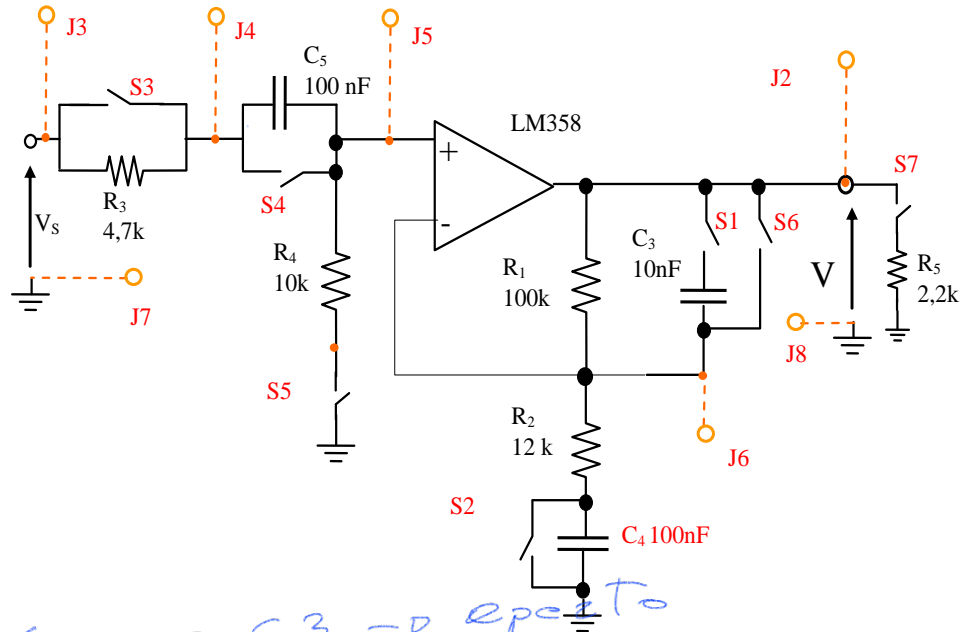
b) $f_t = 430 \text{ KHz}$ Ampiezza $V_{in} = 1 \text{ V}$
 $V_{out} = 5.36 \text{ V}$
 $V_{in} = 1.20 \text{ V}$

c) Guadagno $\approx 5 \rightarrow V_{out} = 6.08 \text{ V}$
 $f_t = 350 \text{ KHz}$



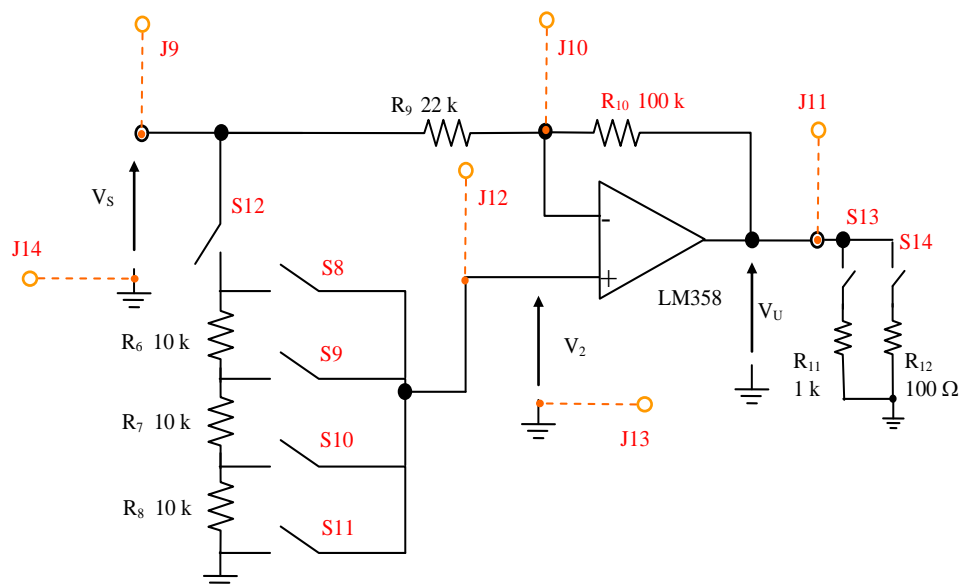
Schema completo della piastra di misura A-3

Modulo A3 – 1.



S1 -> C3 -> aperto
S4 -> C5 chiuso
S2 -> C4 chiuso

Modulo A3 – 2.





3 Traccia per la relazione

Esercitazione 2: Amplificatori operazionali con reazione

Data:

3.1.1 Gruppo; composizione:

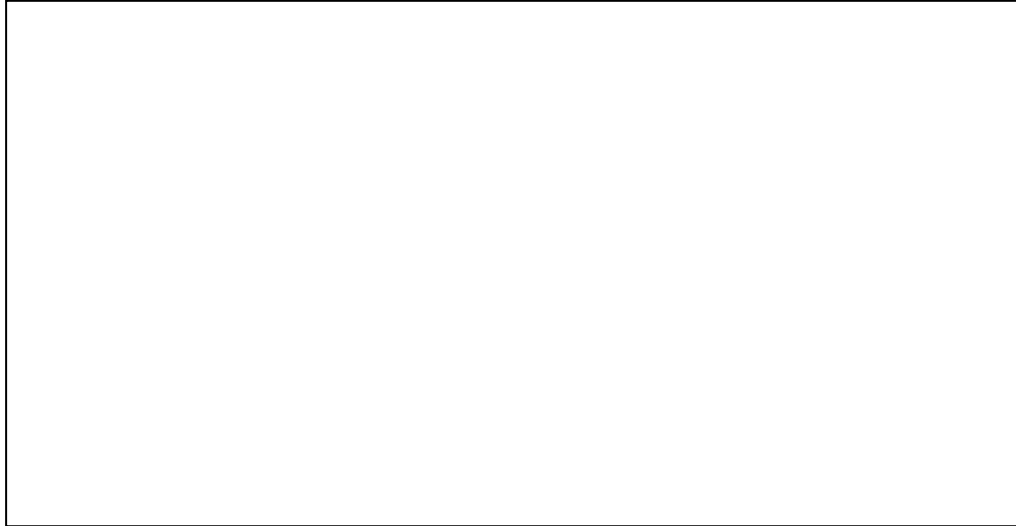
Nome	Cognome	Firma

3.1.2 Strumenti utilizzati

strumento	Marca e modello	caratteristiche
Generatore di segnali:		
Oscilloscopio		
Alimentatore		
Circuito premontato		



3.1.3 Descrizione sintetica degli obiettivi



3.1.4 Amplificatore non invertente

Homework

Guadagno dell'amplificatore:

Resistenze equivalenti di ingresso e di uscita (valori calcolati)

Misure

Guadagno V_u/V_i



Resistenze equivalenti

	S3 chiuso	S3 aperto	R_i (da R3 e misure di V_i)
Valori misurati per V_i			

	S7 chiuso	S7 aperto	R_u (da R5 e misure di V_u)
Valori misurati per V_u			

(eventuale commento sui risultati delle misure)

Confronto con i risultati dell'homework

	Calcolato	Misurato
Guadagno A_v		
Guadagno $ A_v $ (dB)		
Valore di R_i		
Valore di R_u		



3.1.5 Amplificatore invertente

Homework

Guadagno

Resistenza di ingresso

Resistenza di uscita

Misure

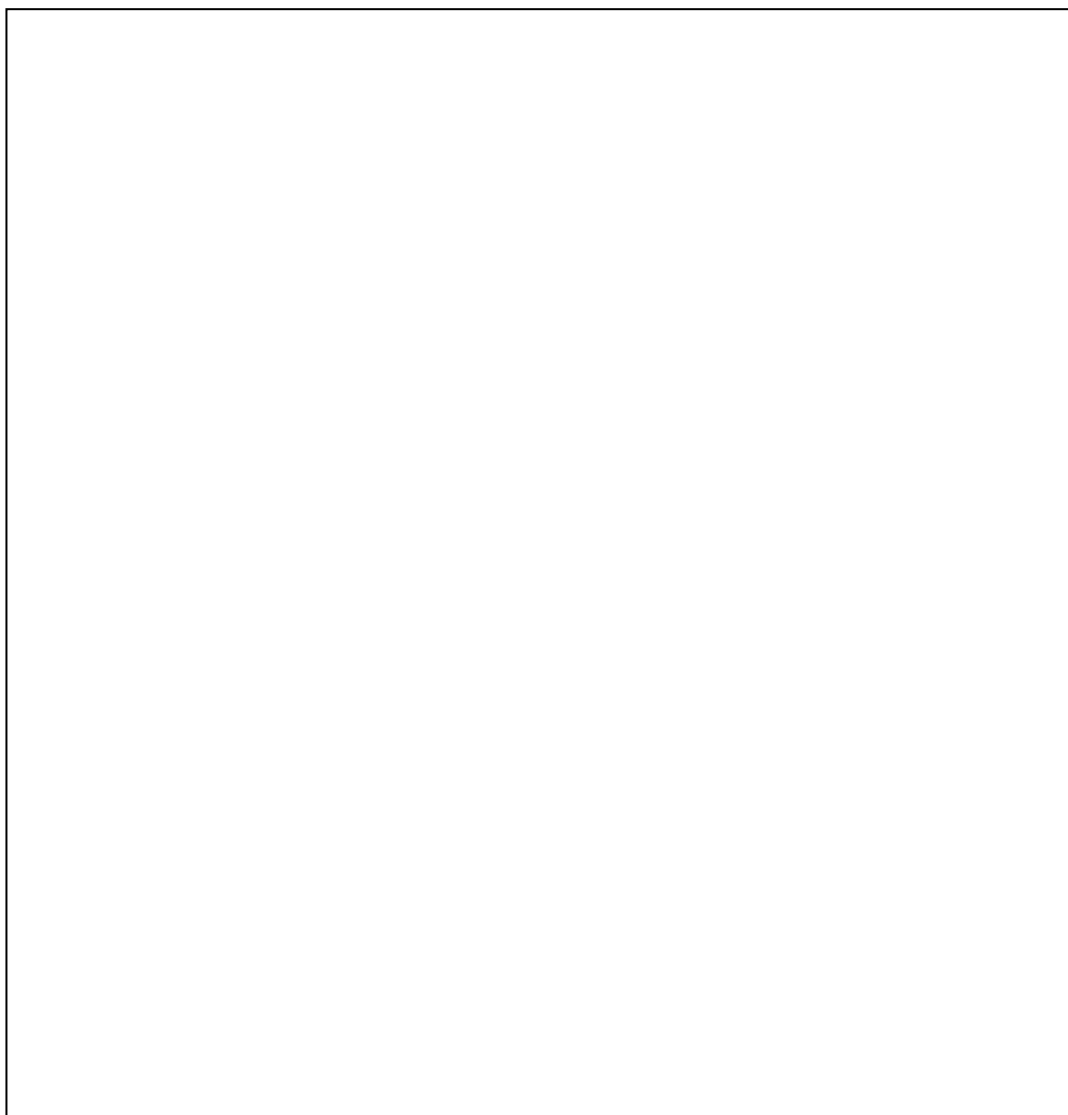
Guadagno

Tensione sul morsetto invertente dell'amplificatore operazionale



Livello di ingresso per cui si verifica distorsione (tosatura o clipping) nel segnale di uscita

Comportamento del segnale differenziale di ingresso V_d quando l'uscita presenta distorsione (tracciato qualitativo di V_d e V_u).





3.1.6 Amplificatore differenziale

Homework

$V_u(V_i)$ per le varie configurazioni degli SW (uno SW chiuso per volta)

Misure

Guadagno $A_v = V_u/V_i$ misurato per le varie configurazioni, e confronto con i valori calcolati

58 59 510

configurazione	Guadagno calcolato		Guadagno misurato	
	rapporto	dB	rapporto	dB
<i>solo 58</i>				
<i>solo 59</i>				

solo 510

solo 511

solo 58

$$V_{OUT} = 1.84 \text{ V}$$

$$V_{IN} = 1.76$$

solo 59

$$V_{OUT} = 1.60 \text{ V}$$

$$V_{IN} = 1.76 \text{ V}$$

solo 510

$$V_{OUT} = 4.56 \text{ V}$$

$$V_{IN} = 1.76 \text{ V}$$

solo 511

$$V_{OUT} = 7.68 \text{ V}$$

$$V_{IN} = 1.76 \text{ V}$$



3.1.7 Amplificatore AC/DC

Misure

Circuito configurato come amplificatore DC

Guadagno per segnali sinusoidali con frequenze di: 100, 1.000, 10.000, 100.000 Hz;

Frequenza di taglio superiore

Relazione tra offset del generatore e offset di uscita

Circuito con C3 inserito:

Guadagno in continua

Limite superiore di banda



Circuito con C4 inserito:

Limite inferiore di banda

Circuito con C5 inserito:

Guadagno in continua