

Esercitazione n.1 Elettronica –Circuiti con diodi

Caratteristiche statiche del diodo 1N4148 e diodo Zener 1N5228

Resistenza R= (9,94± 0,001) kOhm

Per la resistenza la formula dell'incertezza è (da manuale) pari a $R \cdot 0.010\% + R \cdot 0.001\%$

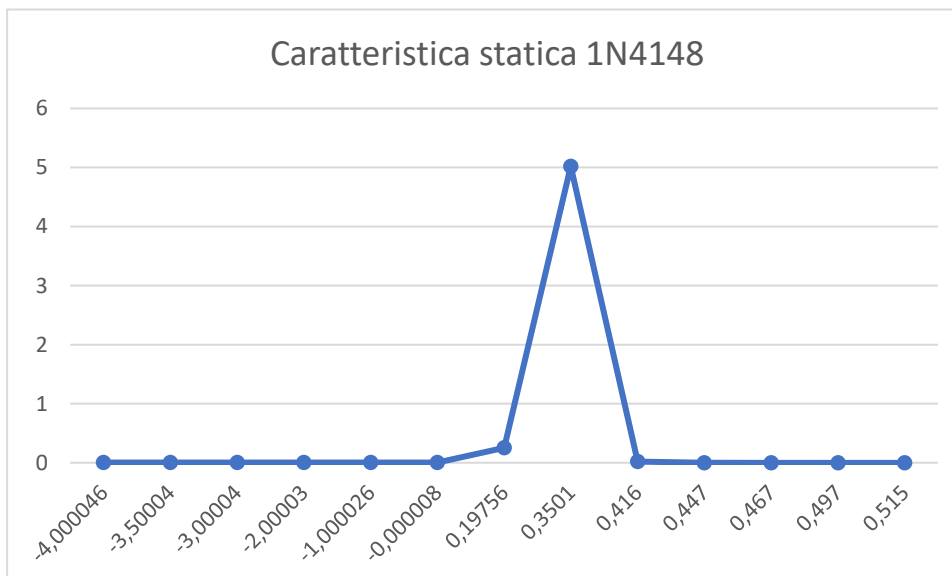
Riportiamo i dati misurati per la valutazione della caratteristica statica $I_D(V_D)$, dove I_D è stata calcolata come

$$I_D = \frac{V_D}{R}$$

Ve (V)	Vu (V)	Id (A)
-4	$-0.046 \cdot 10^{-3}$	$4.63 \cdot 10^{-3}$
-3.5	$-0.040 \cdot 10^{-3}$	$4.02 \cdot 10^{-3}$
-3	$-0.040 \cdot 10^{-3}$	$4.02 \cdot 10^{-3}$
-2	$-0.030 \cdot 10^{-3}$	$3.02 \cdot 10^{-3}$
-1	$-0.026 \cdot 10^{-3}$	$2.62 \cdot 10^{-3}$
0	$0.008 \cdot 10^{-3}$	$8.04 \cdot 10^{-4}$
0.2	$2.44 \cdot 10^{-3}$	0.25
0.4	$49.90 \cdot 10^{-3}$	5.02
0.6	0.184	0.02
0.8	0.353	$3.55 \cdot 10^{-5}$
1	0.533	$5.36 \cdot 10^{-5}$
1.5	1.003	$1.01 \cdot 10^{-4}$
2	1.485	$1.49 \cdot 10^{-4}$

La V_D del diodo si calcola (per la KLV) come $V_D = V_e - V_u$

Si ottiene una caratteristica statica del tipo



Si osserva che ha un andamento, fino a V_V , simile a quello di un diodo semi-ideale, mentre si osserva per tensioni maggiori che la corrente decresce rapidamente e tende asintoticamente a zero.

Dal grafico, e dai dati raccolti, si può dire che la tensione V_V è pari a

$$V_V = 0.3V$$

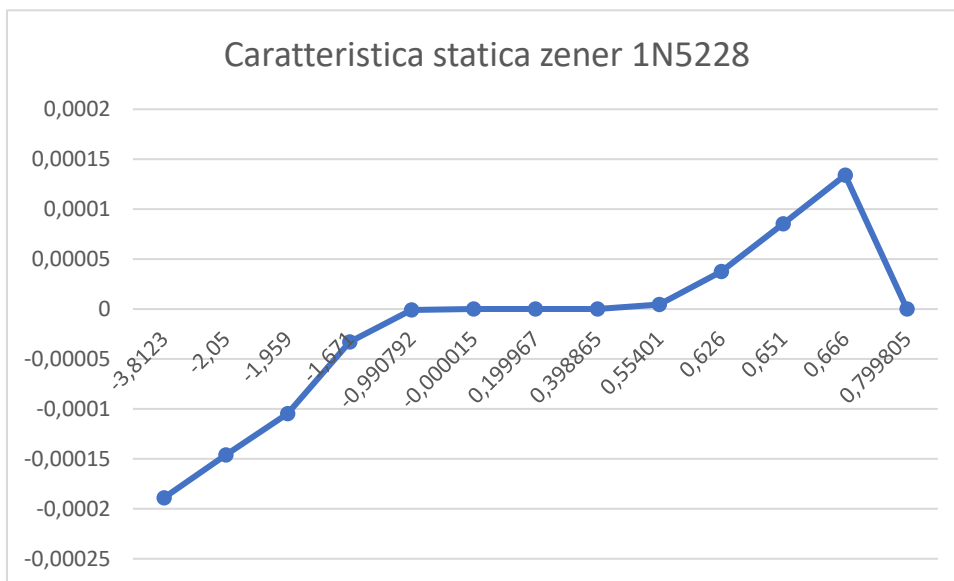
Caratteristiche statiche del diodo Zener XY

Per il diodo Zener

V_e (V)	V_u (V)	I_D (A)
-4	-0,1877	-0,000189
-3.5	-1,45	-0,000146
-3	-1,041	-0,0001047
-2	-0,329	-3,309E-05
-1	-0,009208	-9,26E-07
0	0,000015	1,51E-09
0.2	0,000033	1,32E-09
0.4	0,001135	1,142E-07
0.6	0,04599	4,65E-06
0.8	0,000195	1,96E-08
1	0,374	0,0000376
1.5	0,849	0,0000854
2	1	0,000134

La V_D del diodo si calcola (per la KLV) come $V_D = V_e - V_u$

Si ottiene la seguente caratteristica:



Si osserva che l'andamento è compatibile con quello teorico, con una "rampa" meno ripida.

Si osservano una tensione di breakdown e di soglia pari a

$$V_{BR} = -2 \text{ V}$$

$$V_V = 0,6 \text{ V}$$

(Si osserva una V_V pari al doppio del diodo 1N4148)

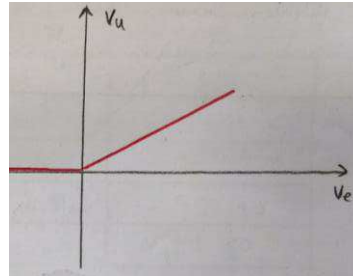
Raddrizzatore a semplice semionda

Si è misurata una tensione di picco $v_u=1,2$ V.

L'andamento qualitativo della tensione d'ingresso e di uscita è quello sotto riportato



La transcaratteristica statica $v_u=f(v_e)$ ottenuta è



(Corrisponde ad una rampa con pendenza 1 dato che non ci sono guadagni)

Per i diversi condensatori qui elencati, il valore picco-picco ΔV della tensione di uscita $v_u(t)$ misurato è

C	ΔV
10nF	1,28 V
100nF	2,1 V
1 μ F	0,230 V

Per ogni condensatore, si è valutato l'andamento qualitativo delle tensioni di ingresso (giallo) e uscita (blu).

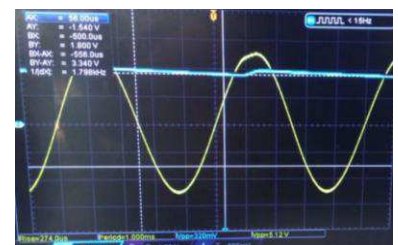
Per il condensatore da 10nF



Per il condensatore da 100nF



Per il condensatore da 1 μ F

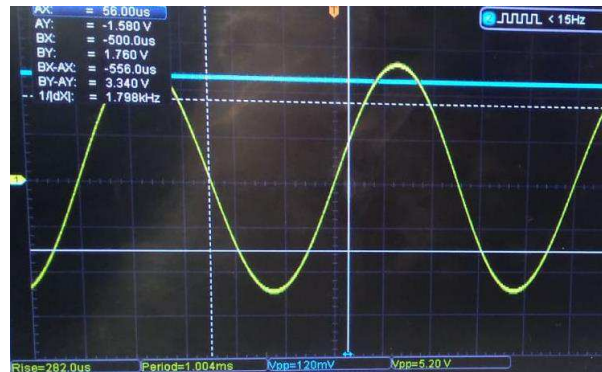


Osserviamo che per capacità sempre più basse la tensione dell'uscita tende ad essere costante, ciò vuol dire che il condensatore rimane carico.

Il motivo per cui la tensione d'uscita assume, in alcuni tratti, un andamento simile alla tensione d'ingresso è dovuto al fatto che il condensatore (anche se parzialmente) si scarica: ciò è dovuto alla non idealità del diodo, che se acceso si dovrebbe comportare come un generatore ideale di tensione e se spento come un corto circuito, e gli effetti di carico dovuti a queste non idealità fanno passare parte della carica dal condensatore al circuito. La differenza tra i tre condensatori sta nel tempo di carica e scarica, influenzato dalla capacità.

Rilevatore di picco

La forma d'onda dell'uscita del valore di picco $v_u(t)$ (in blu) è



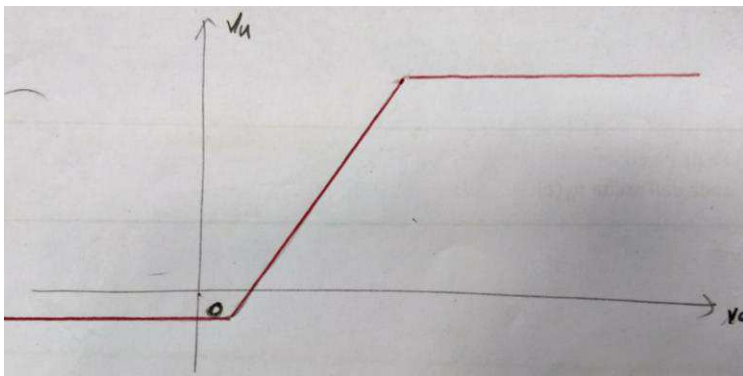
Si osserva che tende ad essere costante ma non sul valore di picco della tensione d'ingresso. Ciò è dovuto nuovamente alla presenza del condensatore, per cui valgono le stesse osservazioni fatte in precedenza sulla quantità di carica persa, e alla non idealità del diodo che, passando ripetutamente da acceso a spento comporta una perdita di carica.

Circuito di protezione dalle scariche elettriche

Si sono misurati i seguenti valori riguardanti $v_u(t)$

Valore minimo $v_u(t)$	640 mV
Valore massimo $v_u(t)$	5,12 V

E si è ottenuta la seguente transcaratteristica $v_u=f(v_e)$.



Si può osservare che, a differenza di quella per il raddrizzatore, si ha un “decentramento” rispetto all’origine e che dopo un certo valore della tensione d’ingresso (sia positivo che negativo) il circuito si comporta come un generatore ideale di tensione pari al valore massimo (di protezione) della tensione in uscita prevista.

La rampa presente nel grafico ha pendenza pari a 1 dato che non ci sono guadagni.

Esercitazione n.2 Elettronica – Misure su amplificatori

Parametri di un amplificatore

Misura guadagno

Usando il modulo dell'Amplificatore invertente come indicato nella guida, applicando un segnale sinusoidale con frequenza 0.8kHz e ampiezza 1V, si è misurato un guadagno dell'amplificatore

$$A_v = \frac{V_u}{V_i} = \frac{8.96 V}{1.05 V} = 8,53$$

Che risulta compatibile al valore nominale $A_v=9.33\pm10\%$

Misura resistenza equivalente di ingresso

Seguendo il metodo riportato sulla guida del laboratorio, con un segnale sinusoidale con frequenza 0.8kHz e ampiezza 1V, e avendo posto una resistenza $R_9=10k\Omega$, si sono misurate le seguenti tensioni

$V_u=8.96V$ senza la resistenza nota R_9 (a vuoto)

$V_u=4.72V$ con la resistenza nota R_9

Dalla tensione a vuoto si ricava V_i

$$A_v = \frac{V_u}{V_i} \rightarrow V_i = \frac{V_u}{A_v} = 1.05 V$$

Dalla relazione $V_i = V_s \frac{R_i}{R_9+R_i}$, ponendo $V_i = \frac{V_u}{A_v}$, con la misura di V_u nel caso in cui c'è R_9 , si ottiene

$$V_s \frac{R_i}{R_9+R_i} = \frac{V_u}{A_v} \rightarrow \dots \rightarrow R_i = \frac{R_9 V_u}{A_v V_s - V_u}, \text{ dove } V_s=V_i \text{ calcolata "a vuoto"}.$$

Sostituendo i valori misurati si ottiene **$R_i=9.3k\Omega$** , compatibile con il dato teorico $10k\Omega\pm10\%$.

Misura resistenza equivalente di uscita

Allo stesso modo, usando in uscita una resistenza R_{10} pari a $1k\Omega$,

$V_u=8.96V$ senza la resistenza nota R_{10}

$V_u=4.56V$ con la resistenza nota R_{10}

Si ottiene sempre $V_i=1.05V$.

$$V_u = \frac{R_{10}}{R_{10}+R_u} A_v V_i \rightarrow R_u = \frac{A_v V_i R_{10}}{V_u} - R_{10}$$

Sostituendo i valori misurati si ottiene **$R_u=0.923k\Omega$** , leggermente fuori l'intervallo previsto dal dato teorico $1k\Omega\pm5\%$.

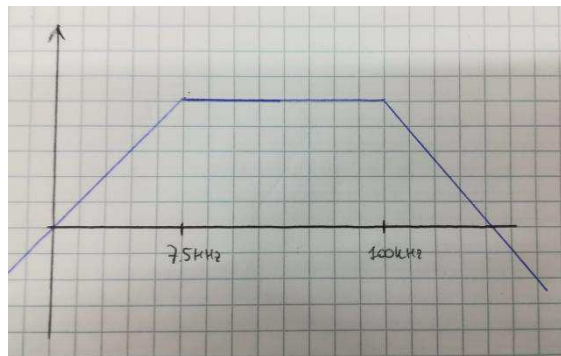
Risposta in frequenza di amplificatore con celle RC esterne

$$\left| \frac{V_u}{V_s} \right| = \left| A_v \frac{R_i}{R_i + (C_{10} + C_5)} \frac{C_6}{R_u + C_6} \right| = \left| A_v \frac{R_i}{R_i + \frac{1}{j\omega(C_{10} + C_5)}} \frac{\frac{1}{j\omega C_6}}{R_u + \frac{1}{j\omega C_6}} \right|$$

$$\left| \frac{V_u}{V_s} \right|_{dB} = 20 \log_{10} |A_v| + 20 \log_{10} |j\omega R_i (C_{10} + C_5)| - 20 \log_{10} \left| 1 - \frac{j\omega}{(-1/R_i(C_{10} + C_5))} \right| - 20 \log_{10} \left| 1 - \frac{j\omega}{(-1/R_u C_6)} \right|$$

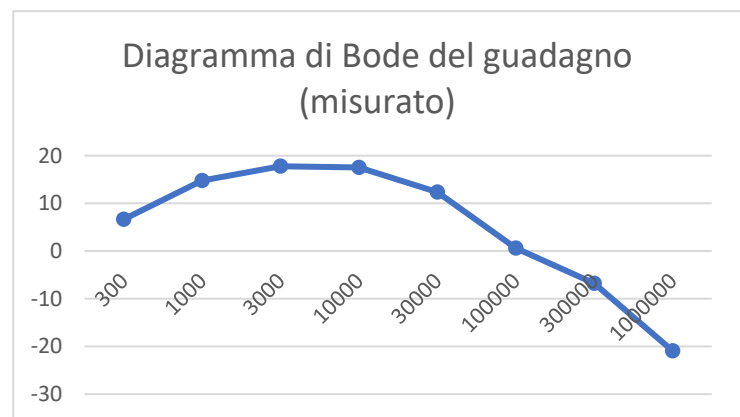
Si hanno due poli reali negativi per 7.5kHz e 100kHz e uno zero semplice.

Diagramma di Bode teorico:



Misure:

Frequenza	Pulsazione	Av teorico	Av misurato
300	1884,956	1,84	2,15
1000	6283,185	4,00	5,47
3000	18849,56	5,61	7,74
10000	62831,85	5,12	7,55
30000	188495,6	3,11	4,15
100000	628318,5	1,27	1,07
300000	1884956	0,47	0,46
1000000	6283185	0,15	0,09

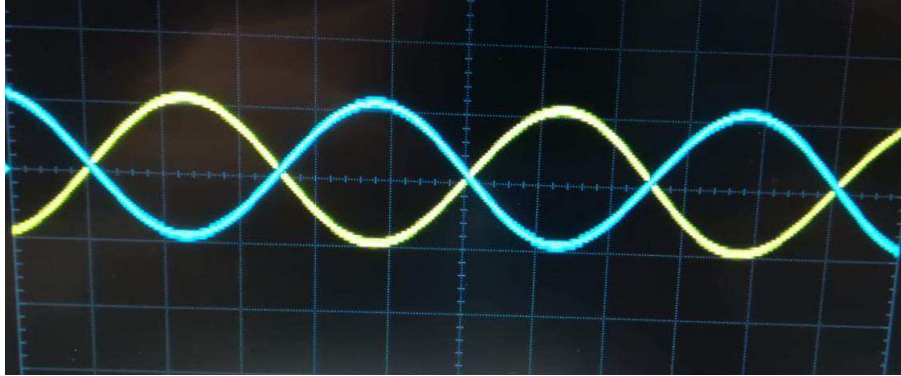


Si osserva che i valori di guadagno misurati sono più alti dei rispettivi valori teorici. Nel diagramma si nota un andamento che ricorda vagamente il diagramma teorico, ma non ne riporta fedelmente l'andamento.

Amplificatore invertente

Impostando la scheda come riportato nella guida, si è passati ad un amplificatore invertente.

Dal seguente grafico ottenuto sull'oscilloscopio si può verificare l'inversione di fase tra V_u tensione d'uscita e V_i tensione d'ingresso.



Il guadagno a 1kHz è $A_v = -9.81$.

Allo stesso modo di quanto fatto prima, la resistenza equivalente d'ingresso risulta essere

$V_u = 6.80 \text{ V}$ con la resistenza nota R_9

$V_u = 10.6 \text{ V}$ senza la resistenza nota R_9 (a vuoto)

Dalla tensione a vuoto si ricava V_{in}

$$A_v = \frac{V_u}{V_i} \rightarrow V_i = \frac{V_u}{A_v} = 1.08 \text{ V}$$

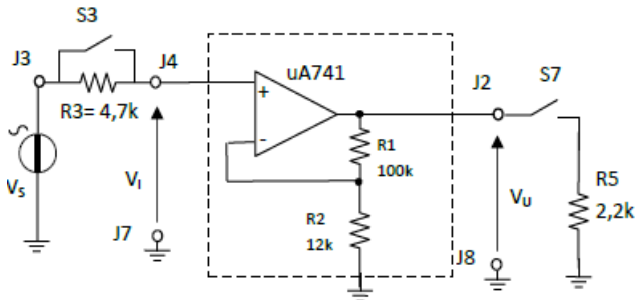
Dalla relazione $V_i = V_s \frac{R_i}{R_9 + R_i}$, ponendo $V_i = \frac{V_u}{A_v}$, con la misura di V_u nel caso in cui c'è R_9 , si ottiene

$$V_s \frac{R_i}{R_9 + R_i} = \frac{V_u}{A_v} \rightarrow \dots \rightarrow R_i = \frac{R_9 V_u}{A_v V_s - V_u}, \text{ dove } V_s = V_i \text{ calcolata "a vuoto"}.$$

Sostituendo i valori misurati si ottiene $R_i = 3.9 \text{ k}\Omega$.

Esercitazione n.3 Elettronica – Amplificatori operazionali con reazione

Amplificatore non invertente



Seguendo lo schema fornito in laboratorio per il circuito dell'amplificatore operazionale non invertente si calcola un guadagno teorico (ed ideale) pari a

$$A_v = 1 + \frac{R_1}{R_2} = 9,33$$

Considerando l'amplificatore reale, con la presenza di fattori di carico $R_{id} = 1\text{M Ohm}$, $R_o = 100\text{ Ohm}$ e fattore $A_d = 200000$, si calcolano i seguenti valori di resistenza in ingresso e in uscita (R_{in} tra J4 e J7, R_{out} tra J2 e J8).

$$R_{in} = 21.4\text{ MOhm} \quad R_{out} = 0.00125\text{ Ohm}$$

Alimentando la scheda fornita con l'amplificatore operazionale con tensioni di +12V e -12V e fornendo in ingresso un segnale sinusoidale con $V_{pp} = 0,5\text{ V}$ e $f = 2\text{ kHz}$ si sono misurate le seguenti tensioni di ingresso/uscita.

$$V_{in} = (0,1810 \pm 0,0002)\text{ V} \quad V_{out} = (1,700 \pm 0,002)\text{ V}$$

(Misure effettuate con multimetro ACV HP33401A → incertezze calcolate con formula $V_0 \cdot \%_{\text{Lettura}} + V_0 \cdot \%_{\text{range}}$, coefficienti presi dal manuale)

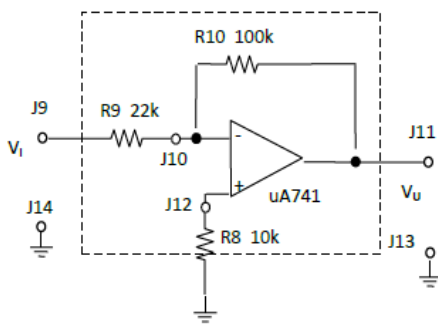
Ottenendo un guadagno pari a $A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = (9,39 \pm 0,021)$ compatibile con il guadagno teorico.

Misurando le resistenze di ingresso sul morsetto V_i e quella di uscita sul morsetto V_u si sono ottenuti i seguenti valori

$$R_{in} = 19.5\text{ MOhm} (\rightarrow \text{infinito}) \quad R_{out} = 0.5\text{ Ohm} (\rightarrow 0)$$

Osserviamo che le misure delle resistenze d'ingresso e d'uscita risultano compatibili con quello che è il comportamento generale dell'amplificatore non invertente (R_{out} molto piccola, R_{in} molto grande). Il fatto che R_{out} risulta molto vicina a 1 Ohm più che al valore teorico è dovuta all'incertezza di misura degli strumenti utilizzati, così come la R_{in} è più bassa di qualche MegaOhm rispetto al valore teorico, pur rimanendo dello stesso ordine di grandezza.

Amplificatore invertente



Seguendo lo schema fornito in laboratorio per il circuito dell'amplificatore operazionale invertente si calcola un guadagno teorico (ed ideale) pari a

$$A_v = -\frac{R_{10}}{R_9} = -4,54$$

Considerando l'amplificatore reale, con la presenza di fattori di carico $R_{id} = 1\text{M}\Omega$, $R_o = 100\Omega$ e fattore $A_d = 200000$, si calcolano i seguenti valori di resistenza in ingresso e in uscita (R_{in} tra J9 e J14, R_{out} tra J11 e J13).

$$R_{in} = 28.832\text{ k}\Omega \quad R_{out} = 1.26\Omega$$

Alimentando la scheda fornita con l'amplificatore operazionale con tensioni di +12V e -12V e fornendo in ingresso un segnale sinusoidale con $V_{pp} = 2\text{ V}$ e $f = 300\text{ Hz}$ si sono misurate le seguenti tensioni di ingresso/uscita

$$V_{in} = (0,5800 \pm 0,0006)\text{ V} \quad V_{out} = (2,624 \pm 0,002)\text{ V}$$

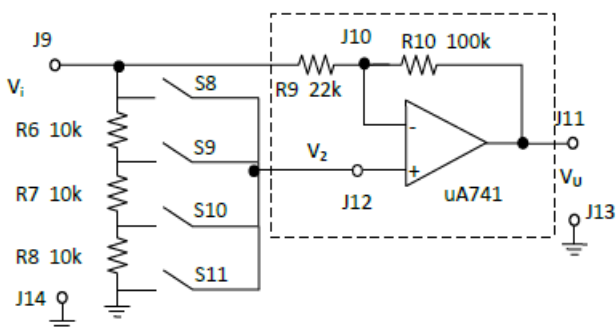
(Misure effettuate con multimetro ACV HP33401A → incertezze calcolate con formula $V_0 \cdot \%_{\text{Lettura}} + V_0 \cdot \%_{\text{range}}$, coefficienti presi dal manuale)

Ottenendo un guadagno pari a $A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = (4,524 \pm 0,008)$ compatibile con il guadagno teorico.

Si osserva che il morsetto non invertente è ad un potenziale molto vicino a zero, così come la tensione continua sul morsetto invertente.

Inoltre, per ampiezze maggiori di 5V, si verifica il fenomeno di clipping.

Amplificatore differenziale



Seguendo lo schema fornito in laboratorio per il circuito dell'amplificatore operazionale differenziale, chiudendo solo uno alla volta gli interruttori S8-S11, si calcola per ogni configurazione una $V_u(V_i)$ pari a :

$$V_u = V_i \left[(\alpha - 1) \frac{R_{10}}{R_9} + \alpha \right]$$

S8 Chiuso → $\alpha = 1$; $V_u = V_i$ → guadagno $A = 1$

S9 Chiuso → $\alpha = 2/3$; $V_u = V_i \left[\left(-\frac{1}{3} \right) \frac{R_{10}}{R_9} + \frac{2}{3} \right]$ → guadagno $A = -0,848$

S10 Chiuso → $\alpha = 1/3$; $V_u = V_i \left[\left(-\frac{2}{3} \right) \frac{R_{10}}{R_9} + \frac{1}{3} \right]$ → guadagno $A = -2,697$

S11 Chiuso → $\alpha = 0$; $V_u = V_i \left[-\frac{R_{10}}{R_9} \right]$ → guadagno $A = -4,545$

Alimentando la scheda fornita con l'amplificatore operazionale con tensioni di +12V e -12V e fornendo in ingresso un segnale sinusoidale con $V_{pp}=1,6\text{ V}$ e $f=200\text{ Hz}$, e chiudendo uno alla volta gli interruttori S8-S11, si sono misurate le seguenti tensioni di ingresso/uscita

S8 Chiuso \rightarrow	$V_{in} = (1,680 \pm 0,002)\text{ V}$	$V_{out} = (2,000 \pm 0,002)\text{ V}$
S9 Chiuso \rightarrow	$V_{in} = (1,680 \pm 0,002)\text{ V}$	$V_{out} = (2,000 \pm 0,002)\text{ V}$
S10 Chiuso \rightarrow	$V_{in} = (1,680 \pm 0,002)\text{ V}$	$V_{out} = (4,800 \pm 0,004)\text{ V}$
S11 Chiuso \rightarrow	$V_{in} = (1,680 \pm 0,002)\text{ V}$	$V_{out} = (8,4 \pm 0,008)\text{ V}$

(Misure effettuate con multimetro ACV HP33401A \rightarrow incertezze calcolate con formula $V_0 \cdot \%_{\text{Lettura}} + V_0 \cdot \%_{\text{range}}$, coefficienti presi dal manuale)

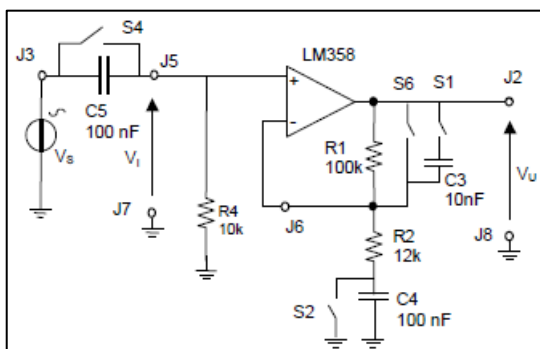
Ottenendo dei guadagni pari a

S8 Chiuso \rightarrow	$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = (1,190 \pm 0,003)$
S9 Chiuso \rightarrow	$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = (1,190 \pm 0,003)$
S10 Chiuso \rightarrow	$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = (2,857 \pm 0,006)$
S11 Chiuso \rightarrow	$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = (4,524 \pm 0,011)$

Si ottengono dei valori molto simili a quelli ottenuti per via teorica, anche se non tutti sono compatibili con l'intervallo di incertezza trovato (quello ottenuto con S9 chiuso è il più evidente).

Frequenza	Vin	Vout	Guadagno
100 Hz	1,68	15,6	9,285714286
1 KHz	1,68	15,6	9,285714286
10 KHz	1,68	16,4	9,761904762
100 KHz	1,68	14,6	8,69047619

Amplificatore AC/DC

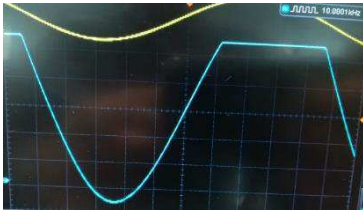


Per segnali sinusoidali per diverse frequenze sono stati misurati i seguenti guadagni

Per alte frequenze (100 KHz) la forma d'onda risulta fortemente distorta \rightarrow regolando la frequenza del segnale in ingresso in modo da riottenere una sinusoide si valuta un valore pari a 16 kHz (frequenza massima della banda

passante).

La frequenza tale per cui la risposta dell'amplificatore scende di 3dB (ovvero V_{out} risulta circa 10,3 V) è $f=27,4\text{ kHz}$.



Applicando un offset dal generatore si osserva che questo viene riportato amplificato sull'uscita di un fattore proporzionale al guadagno dell'amplificatore.

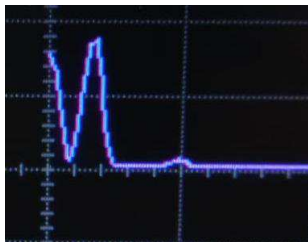
Inserendo il condensatore C3 si nota che la massima frequenza della banda passante passa a 21kHz e quella di taglio a 32kHz.

Per verificare il guadagno in continua, tramite l'introduzione di diversi valori di offset, si è calcolato il rapporto tra le corrispondenti variazioni in uscita, ottenendo

Offset	Vin	Vout	Rapporto (guadagno)
100 MV	1,6	9	5,625
200 mV	1,68	8,8	5,238
300mV	1,68	9	5,357
400 mV	1,65	8,8	5,333
500 mV	1,68	9,1	5,417
600mV	1,64	7	4,268
700mV	1,68	5,3	3,155
800mV	1,68	4,6	2,738

Osserviamo che il guadagno rimane vicino a 5 fino a valori di offset pari a 500mV, per poi iniziare a decrescere. Inserendo il condensatore C4 e osservando come varia lo spettro in frequenza (ovvero la trasformata di Fourier) del segnale si nota che elimina tutta la componente continua (il valore per $f=0$ risulta essere uguale a zero)

Senza C4



Con C4



Ripetendo con C5, si osserva che questo non annulla completamente la componente continua ma contribuisce ad attenuarla.

Senza C5



Con C5

