

Relazione esperienza di laboratorio

Gruppo BI: Oscillatore sinusoidale a ponte di Wien con OpAmp

18 dicembre 2014

Esercitazione N. 8: Usi non lineari dell'OpAmp

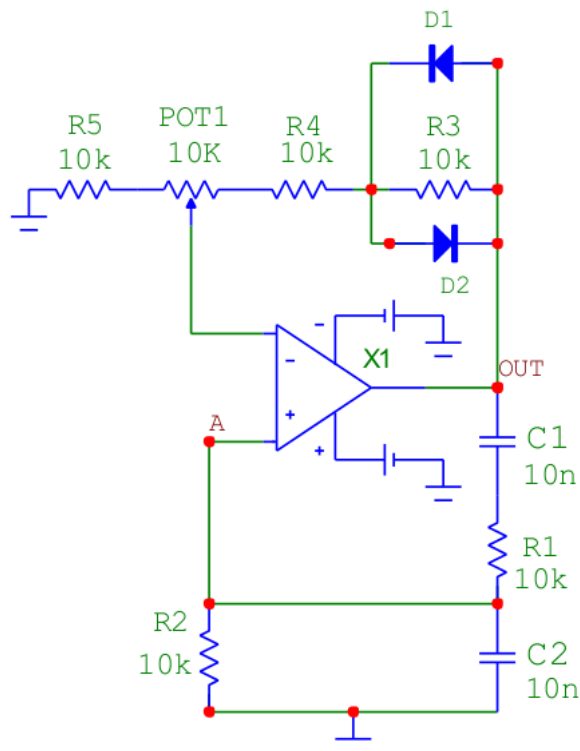


Figura 1: Oscillatore a ponte di Wien

Il circuito richiesto (figura 1) è stato realizzato utilizzando i seguenti componenti:

- $R_1 = 9.93 \pm 0.08 k\Omega$
- $R_2 = 9.87 \pm 0.08 k\Omega$
- $R_3 = 9.84 \pm 0.08 k\Omega$
- $R_4 = 9.77 \pm 0.08 k\Omega$
- $R_5 = 9.85 \pm 0.08 k\Omega$
- $POT_1 = 10.56 \pm 0.08 k\Omega$ (Trimmer)
- $C_1 = 9.7 \pm 0.4 nF$
- $C_2 = 11.1 \pm 0.4 nF$
- OpAmp TL081 alimentato con una tensione $V_+ = 15.0 \pm 0.4V$ e $V_- = -15.2 \pm 0.4V$,

1 Loop gain

Per prima cosa vogliamo misurare il loop gain βA_V del circuito. Disconnettiamo quindi il punto A dall'ingresso non-invertente dell'amplificatore operazione ed inviamo all'ingresso un segnale sinusoidale di ampiezza V_+ pari a circa $500mV$ picco-picco (varierà leggermente durante le misure) con frequenza variabile tra $50Hz$ e $3kHz$. Riportiamo nel grafico in figura 1 e in tabella 2 il modulo e lo sfasamento del rapporto $\frac{V_A}{V_+}$. Dall'analisi del circuito ricaviamo che (R_x è la resistenza tra l'entrata - e R_5 , che nel nostro caso poniamo uguale a 0)

$$A = \frac{R_5 + POT_1 + R_4 + R_3}{R_5 + R_x} = 4.06 \pm 0.05 \quad \beta = \frac{1}{1 + \frac{R_1 C_1 + R_2 C_2}{C_1 R_2} + i \frac{\omega^2 R_1 R_2 C_1 C_2 - 1}{\omega C_1 R_2}}$$

da cui $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_1 C_2 R_1 R_2}} = 1.55 \pm 0.04Hz$, da cui per $f = f_0$, β è reale e ha modulo massimo

$$\beta_{max} = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}} = \frac{1}{3.16 \pm 0.06} = 0.316 \pm 0.006$$

Stimiamo la frequenza alla quale lo sfasamento si avvicina a 0 gradi con l'oscilloscopio (figura 3), ottenendo $f_0 = 1.58 \pm 0.05kHz$, in accordo con il valore atteso all'interno dell'errore (l'errore è stimato tenendo conto del fatto che esiste un certo range di frequenze in cui lo sfasamento è circa nullo).

Proviamo anche a fare un fit delle misure (in figura 2) del loop gain βA lasciando A come parametro di fit. Otteniamo $A = 3.981 \pm 0.006$, in accordo con il valore atteso all'interno del 2% ($\chi^2_{red} = 0.03$). Nel grafico per la fase riportiamo la funzione attesa, cioè

$$\phi = \arg(\beta A) = \arg(\beta) = \arctan\left(\frac{\frac{f_0}{f} - \frac{f}{f_0}}{2\pi f_0(C_1 R_2 + C_1 R_1 + C_2 R_2)}\right) \simeq \arctan\left(\frac{1}{3}\left(\frac{f_0}{f} - \frac{f}{f_0}\right)\right)$$

Notiamo che i punti sperimentali sono in sostanziale accordo con la funzione attesa.

Al variare della resistenza R_x osserviamo che lo sfasamento non cambia entro l'errore, mentre il modulo del guadagno diminuisce con il crescere della resistenza (figure 4 e 5). L'osservazione è in accordo con il fatto che la dipendenza da R_x è contenuta solo in A, che è reale.

Tabella 1: Loop gain

$f[kHz]$	$V_A[V]$	$V_+[V]$	$\frac{V_A}{V_+}$	$\Delta t[\mu s]$	$\phi[\pi rad]$
0.501 ± 0.005	464 ± 5	507 ± 5	0.92 ± 0.01	248 ± 8	0.248 ± 0.008
0.603 ± 0.006	512 ± 5	508 ± 5	1.01 ± 0.01	180 ± 8	0.217 ± 0.010
0.714 ± 0.007	552 ± 6	508 ± 5	1.09 ± 0.02	120 ± 4	0.171 ± 0.006
0.857 ± 0.009	584 ± 6	508 ± 5	1.15 ± 0.02	76 ± 4	0.130 ± 0.007
1.02 ± 0.01	616 ± 6	508 ± 5	1.21 ± 0.02	48 ± 2	0.098 ± 0.004
1.24 ± 0.01	640 ± 6	508 ± 5	1.26 ± 0.02	20 ± 2	0.050 ± 0.005
1.47 ± 0.01	644 ± 6	512 ± 5	1.26 ± 0.02	6 ± 2	0.018 ± 0.006
1.65 ± 0.02	644 ± 6	512 ± 5	1.26 ± 0.02	-9 ± 2	-0.030 ± 0.007
2.11 ± 0.02	636 ± 6	512 ± 5	1.24 ± 0.02	-16 ± 2	-0.068 ± 0.008
2.49 ± 0.02	616 ± 6	516 ± 5	1.19 ± 0.02	-18 ± 2	-0.090 ± 0.010
3.02 ± 0.03	584 ± 6	516 ± 5	1.13 ± 0.02	-23 ± 2	-0.139 ± 0.012

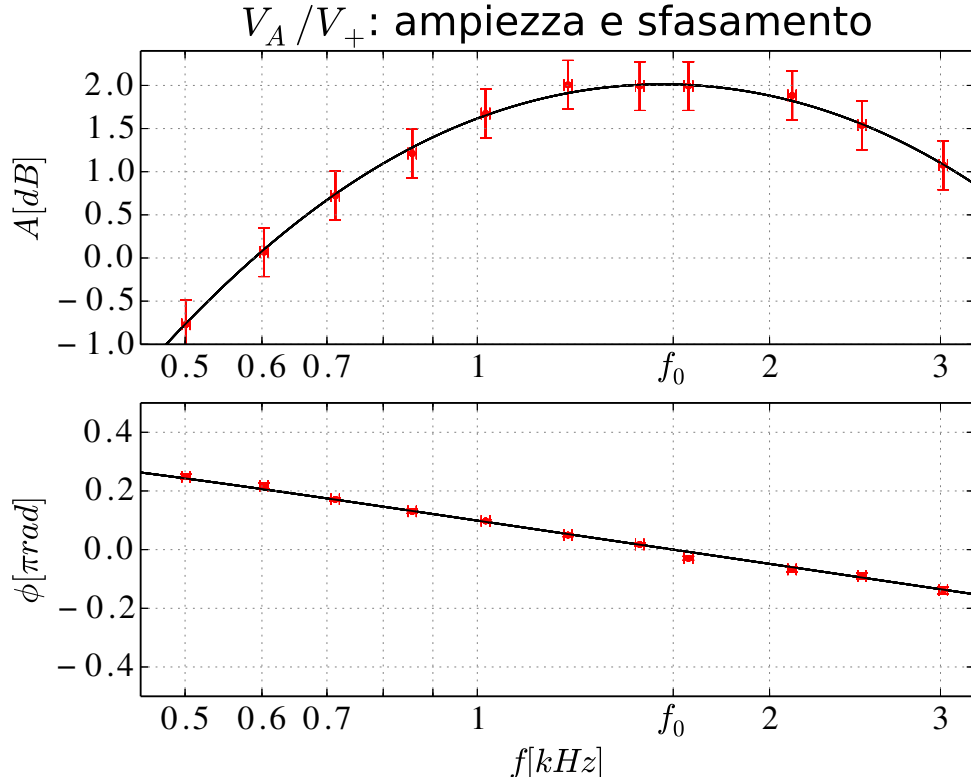


Figura 2: Loop gain: per l'ampiezza riportiamo la funzione di fit, per lo sfasamento la funzione attesa

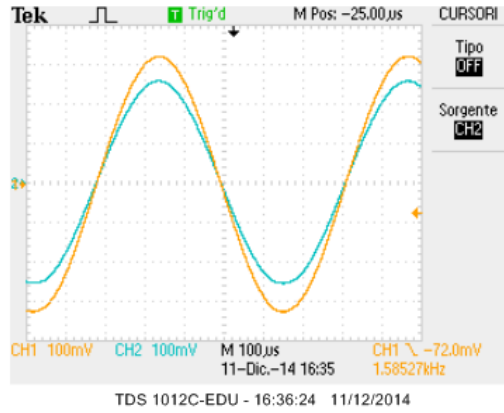


Figura 3: Loop gain

2 Oscillatore

Abbiamo disconnesso il generatore e riconnesso il punto A all'ingresso non invertente dell'OpAmp in modo da far funzionare il circuito da oscillatore. Come atteso il circuito fornisce un segnale in uscita solo quando R_x è al di sotto di una certa soglia (stimata intorno ai $3.5k\Omega$), oltre la quale il segnale in uscita è nullo ($|A\beta| < 1$). Al di sotto della soglia si nota che l'ampiezza in uscita cresce al decrescere della resistenza.

Il segnale prodotto è sinusoidale alla frequenza di $f = 1.56 \pm 0.01 kHz$, compatibile con la frequenza attesa f_0 entro l'errore (figura 6). Tale frequenza è dipendente solo dalle caratteristiche della rete di feedback, infatti si osserva che non varia al variare della posizione del potenziometro o della tensione di alimentazione. Si ha invece un comportamento significativamente diverso al diminuire della tensione di alimentazione a causa del clipping (quando la tensione di alimentazione è inferiore all'ampiezza

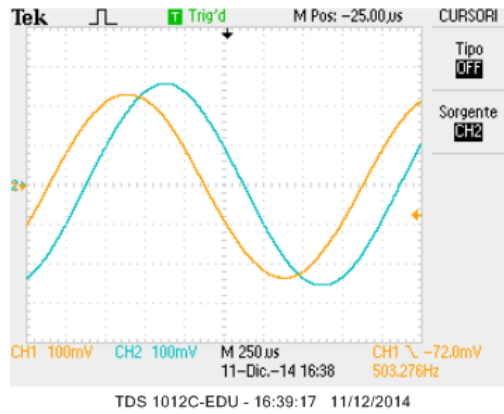


Figura 4: Loop gain

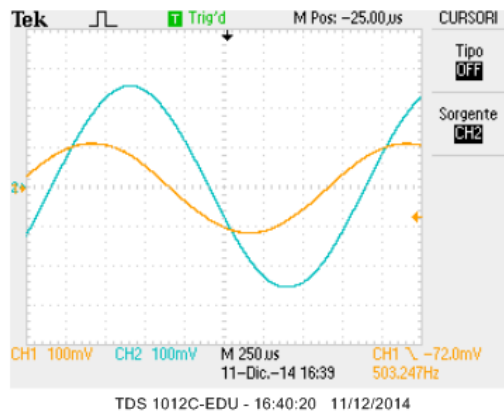


Figura 5: Loop gain

dell'onda prodotta).

Abbiamo spostato il potenziometro nella posizione dell'innesco dell'oscillazione, quindi, disconnesso il punto A dall'ingresso non invertente e mandando in ingresso un segnale V_+ , abbiamo misurato $V_{out} = 790 \pm 20mV$, $V_+ = 252 \pm 8mV$ ottenendo $A_V = 3.1 \pm 0.1$, valore compatibile con $\frac{1}{\beta_{max}} = 3.16 \pm 0.06$ entro l'errore.

Tornando alla configurazione di oscillatore e togliendo i diodi si osserva che l'oscillatore non funziona più correttamente perchè è presente il fenomeno del clipping: i diodi servono a introdurre una non-linearità nel sistema per stabilizzare l'oscillazione e ridurre l'amplificazione (figura 7). In caso di loro assenza il segnale diverge fino al limite massimo imposto dall'OpAmp, cioè la tensione di alimentazione, dove si osserva appunto il fenomeno del clipping.

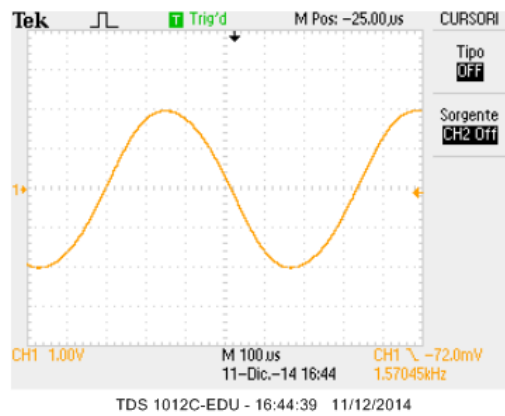


Figura 6: Oscillatore

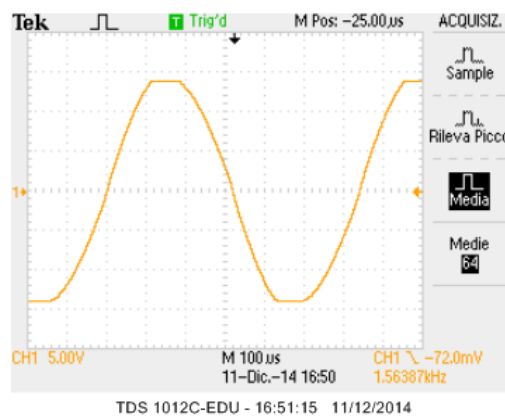


Figura 7: Oscillatore