

Es06B: Oscillatore sinusoidale a ponte di Wien con Amplificatore Operazionale

Gruppo 1G.BM
Stefano Romboni

9 dicembre 2021

Indice

1	Introduzione	2
2	Misura del loopgain $L(j\omega) = \beta(j\omega)A$ del circuito	3
3	Guadagno in funzione del potenziometro	4
4	Auto-oscillatore	6
5	Frequenza di oscillazione	7
5.1	Innesco dell'oscillazione	8
6	Ruolo dei diodi nell'auto-oscillatore	8
7	Condizioni per avere un guadagno $ \beta A = 1$	9

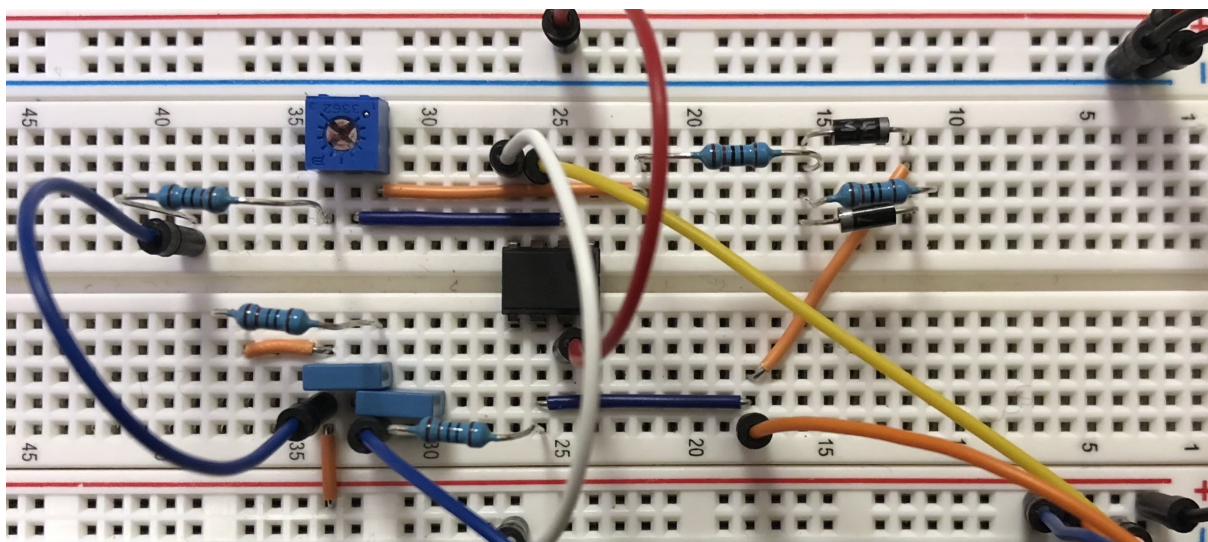


Figura 1: Circuito per la misura del loop-gain

1 Introduzione

Lo scopo di questa esperienza è la realizzazione di un oscillatore sinusoidale a ponte di Wien tramite l'utilizzo di un OpAmp. Per la costruzione del circuito abbiamo bisogno di 5 resistenze da 10 [kOhm], di due condensatori da 1 [nF], di due diodi 1N4007 (indicati con D_1, D_2), di un potenziometro (o trimmer, codice: 103, indicato con P_R) e ovviamente di un OpAmp (TL081). Come prima cosa misuriamo tutti i componenti utilizzati e riportiamo il loro valore nella tabella 1. Il circuito sarà costituito da due blocchi:

- **blocco 1:** amplificatore con guadagno A_v , realizzato tramite l'OpAmp e una rete di feedback negativa costituita da $R_3, R_4, R_5, P_R, D_1, D_2$;
- **blocco 2:** rete di feedback positivo dipendente dalla frequenza costituita da R_1, C_1, R_2, C_2 .

Tabella 1: Valori misurati dei componenti

Componente	Valore misurato
R_1	$9.91 \pm 0.08[\text{k}\Omega]$
R_2	$9.97 \pm 0.08[\text{k}\Omega]$
R_3	$9.92 \pm 0.08[\text{k}\Omega]$
R_4	$9.88 \pm 0.08[\text{k}\Omega]$
R_5	$9.93 \pm 0.08[\text{k}\Omega]$
C_1	$10.0 \pm 0.4[\text{nF}]$
C_2	$9.6 \pm 0.4[\text{nF}]$

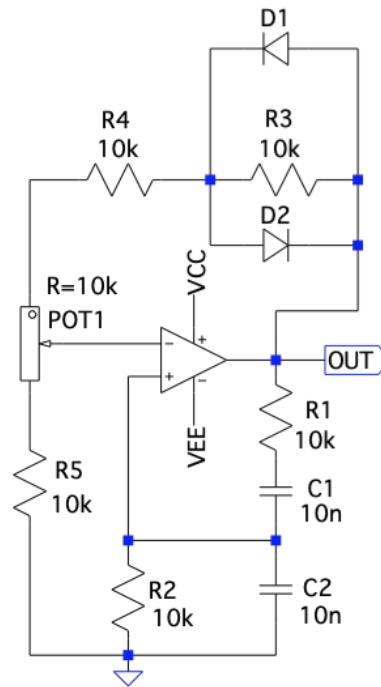


Figura 2: Circuito auto-oscillatore

2 Misura del loopgain $L(j\omega) = \beta(j\omega)A$ del circuito

Per la misura del loopgain $L(j\omega)$ del circuito occorre che l'uscita della rete di feedback dell'amplificatore sia scollegata dall'ingresso di quest'ultimo e al suo posto sia collegato un generatore di forme d'onda impostato per inviare un'onda sinusoidale in ingresso, V_s . Si imposta la sua ampiezza a circa 200 [mV] e successivamente occorre far variare la sua frequenza su un ampio range e misurare di volta in volta il guadagno tra ingresso e uscita della rete di feedback, ovvero tra V_s e V_A . Si utilizza il Network Analyzer facendo variare la frequenza tra 100 [Hz] e 100 [kHz] (figura 4). Viene anche grafico il plot di nyquist sempre tramite l'apposita funzione contenuta in wavegen (figure 3). Per quanto riguarda la misura della frequenza a cui la fase si annulla si sono utilizzati i cursori di Wavegen, associandoci l'errore massimo corrispondente alla larghezza dell'intervallo in cui il segnale passava da zero. Ovviamente, per ottenere questo tipo di precisione, si è eseguito il plot di Bode con un numero di punti pari a 1001 (circa 333 per decade), ingrandendo il grafico nel punto di interesse. Dalla misura dei componenti circuitali fatta precedentemente si ricava il valore atteso della frequenza per cui lo sfasamento è nullo, con cui poterli confrontare la misura. I risultati ottenuti risultano tra loro compatibili:

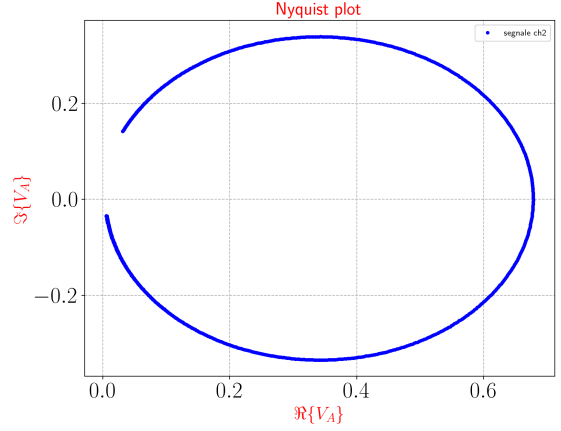


Figura 3

$$f_0 = 1.60 \pm 0.01 \quad [\text{kHz}], \quad f_{0,att} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} = 1.60 \pm 0.06 \quad [\text{kHz}]. \quad (1)$$

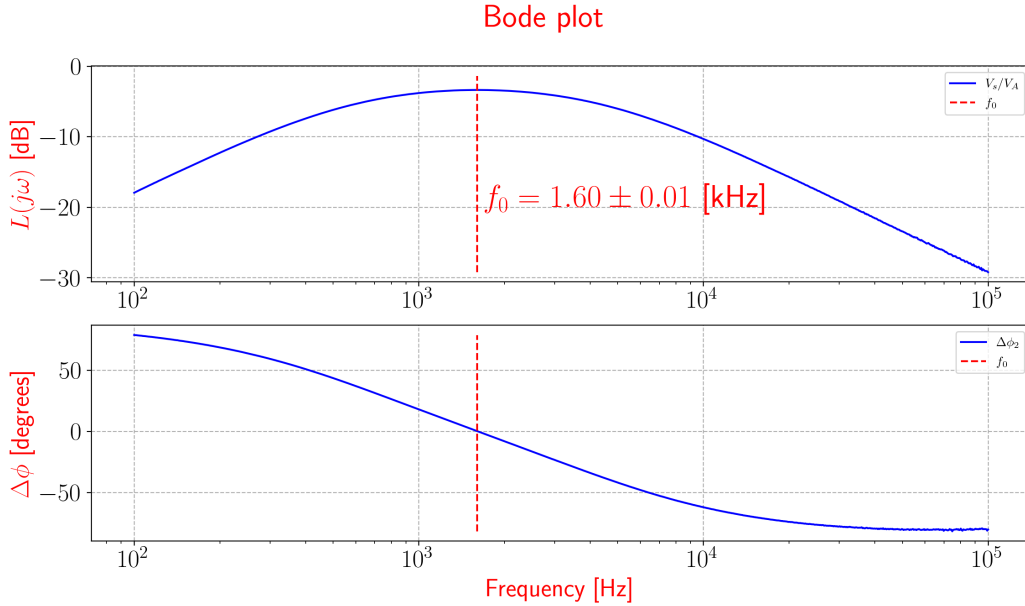


Figura 4

3 Guadagno in funzione del potenziometro

Dalla teoria, essendo il nostro circuito composto da un amplificatore non invertente, ci aspettiamo che il guadagno sia:

$$A \approx 1 + \frac{(1-f)R + R_3 + R_4}{R_5 + fR}, \quad (2)$$

dove la resistenza R è la resistenza totale del potenziometro, il cui valore misurato tramite multimetro è $R = 9.54 \pm 0.08$ [kΩ], con f indicante la porzione di resistenza verso terra (*nelle condizioni di misura il parallelo di R_3 con i due diodi era trascurabile e lasciava invariato il valore della resistenza sul quel tratto di ramo). Se si approssimano i valori delle resistenze tutti uguali, il guadagno si riduce a:

$$A = 1 + \frac{3-f}{1+f}. \quad (3)$$

Resistenza potenziometro fR	Guadagno A
9.54 ± 0.08 [kΩ]	2.02 ± 0.01
8.18 ± 0.07 [kΩ]	2.17 ± 0.02
6.82 ± 58.1102 [kΩ]	2.35 ± 0.02
4.91 ± 0.04 [kΩ]	2.65 ± 0.02
4.18 ± 0.04 [kΩ]	2.79 ± 0.02
2.50 ± 0.03 [kΩ]	3.17 ± 0.02
1.52 ± 0.01 [kΩ]	3.46 ± 0.02
868 ± 7 [Ω]	3.67 ± 0.03
397 ± 3 [Ω]	3.80 ± 0.03
0.0 ± 0.3 [Ω]	3.99 ± 0.03

Tabella 2

Utilizzando l'equazione 2 è stato eseguito un best-fit dei dati, passando alla funzione di **curve_fit** gli errori efficaci e come parametri $a \equiv R, b \equiv R_3 + R_4$. La variabile indipendente è $x = f$, ovvero la percentuale di resistenza di potenziometro verso terra. Non si è potuto mettere come parametro anche R_5 poichè altrimenti i valori restituiti dal fit sarebbero stati fortemente correlati tra loro e quindi il risultato poco significativo.

Risultati di best-fit		
χ^2/ndof	$a \equiv R$ [kΩ]	$b \equiv R_3 + R_4$ [kΩ]
1.6/8	9.67 ± 0.06	19.94 ± 0.04

Tabella 3

Per quanto riguarda invece il guadagno in funzione del valore della tensione in ingresso V_s , osserviamo la sua diminuzione a causa della presenza dei diodi in parallelo con R_3 . Infatti, quando la caduta di potenziale sulla resistenza supera V_γ ("tensione di ginocchio" specifica dei diodi utilizzati), uno dei due diodi entra in conduzione diminuendo quindi la resistenza equivalente del ramo.

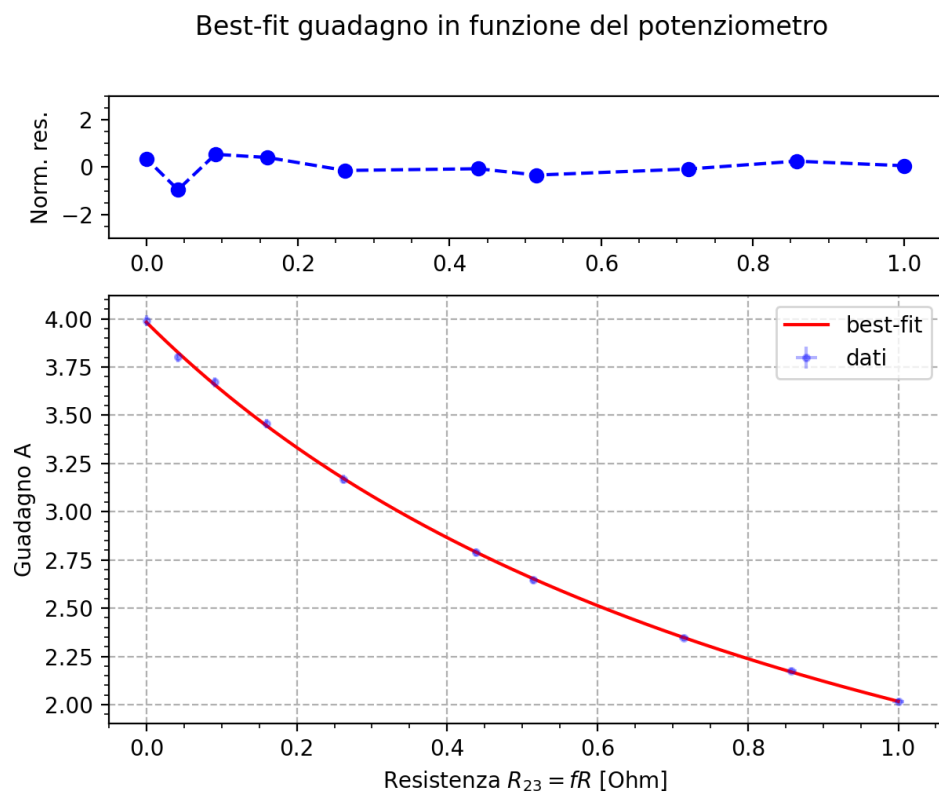


Figura 5

V_s	Guadagno A
97.5 ± 0.5 [mV]	2.81 ± 0.02
488 ± 2 [mV]	2.77 ± 0.02
782 ± 4 [mV]	2.62 ± 0.02
978 ± 5 [mV]	2.54 ± 0.02
1.46 ± 0.07 [V] ^(*)	2.36 ± 0.02

Tabella 4

(*il segnale inizia ad essere distorto e ad uscire dalla zona lineare dell'OpAmp).

4 Auto-oscillatore

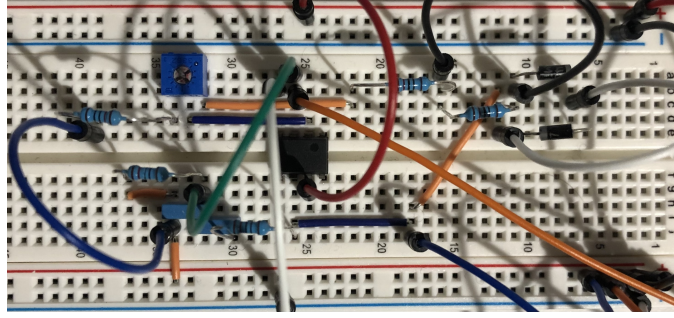


Figura 6: Circuito auto-oscillatore

Si modifica ora il circuito disconnettendo il generatore di forme d'onda e chiudendo il loop-feedback. In uscita si osserva un segnale sinusoidale per determinati valori del potenziometro al di sotto di un valore soglia di circa $R_{23} = 3.15$ [kOhm] (valore nominale, poichè di difficile determinazione). Al diminuire della resistenza del potenziometro verso massa, ovvero R_{23} , il segnale cambia, aumentando di ampiezza e distorcendosi fino a portare il sistema fuori dalle condizioni di operazione lineare dell'OpAmp. L'aumento del segnale è dovuto alle caratteristiche dell'amplificatore invertente, il cui guadagno, a meno di un offset ($= 1$), è proporzionale al rapporto tra la resistenza del ramo che collega l'uscita all'ingresso positivo e la resistenza del ramo tra terra e ingresso positivo, come discusso precedentemente nel paragrafo 3.

SEGNALE IN FUNZIONE DEL POTENZIOMETRO

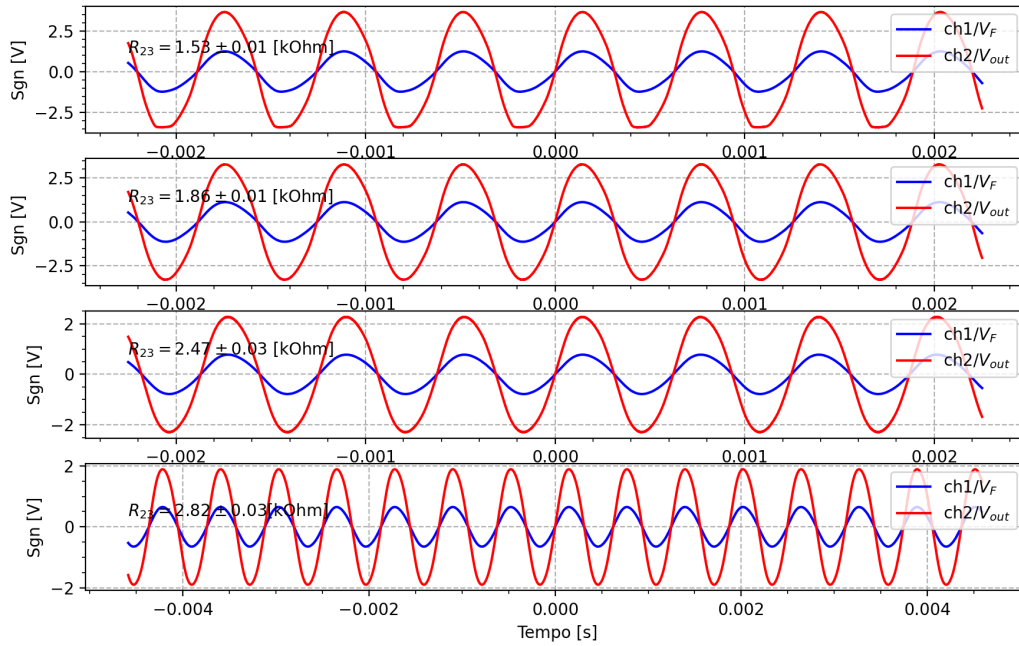


Figura 7

5 Frequenza di oscillazione

Per ricavare la frequenza del segnale in uscita si utilizza l'apposita funzione interna a Wavegen che esegue la trasformata di Fourier (discreta) del segnale (figura 8). Si osserva in uscita V_{out} un segnale sinusoidale di frequenza:

$$f = 1.62 \pm 0.04[\text{kHz}].$$

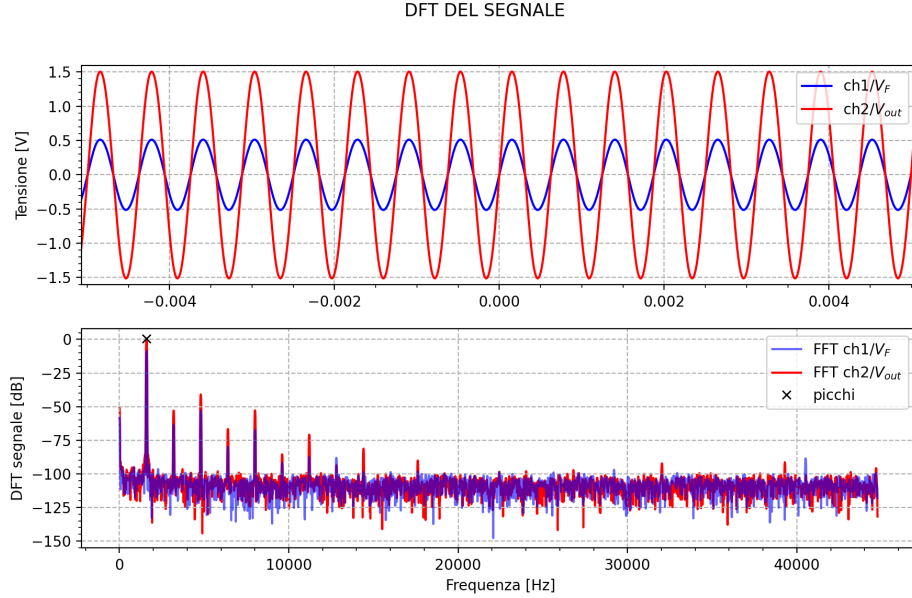


Figura 8

La frequenza di oscillazione non dipende dal potenziometro, infatti non va a cambiare le condizioni per cui il guadagno totale del circuito rispetti la condizione di Barkhausen. Infatti la funzione di trasferimento del ramo di feedback è:

$$\beta(\omega) = \frac{j\omega/\omega_0}{1 - (\frac{\omega}{\omega_0})^2 + 3j\omega/\omega_0}, \quad \text{con } \omega_0 \equiv R_1 C_1.$$

Il valore di ω per cui la funzione di trasferimento $\beta(\omega)$ diventa reale e > 0 è quello che realizza una condizione stabile e porta il circuito ad auto-oscillare. Questa condizione non dipende dal potenziometro, quindi al suo variare la frequenza di oscillazione non cambia (figura 9). Si nota comunque la forte distorsione del segnale per i valori di f del potenziometro vicini allo zero, si esce infatti dalla condizione di linearità dell'OpAmp.

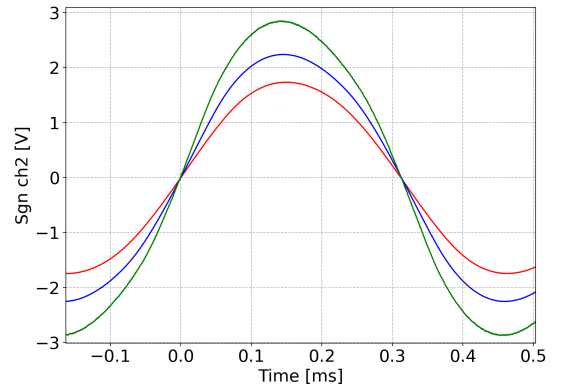


Figura 9: Frequenza del segnale al variare del potenziometro

5.1 Innesco dell'oscillazione

Si visualizza ora l'innesco dell'oscillazione. Per fare ciò si cortocircuita un diodo e si seleziona il comando "Single" nella sezione Scope di Wavegen. Togliendo il cortocircuito viene visualizzata a schermo l'innesco dell'oscillazione. Se ne riporta il grafico qui sotto.

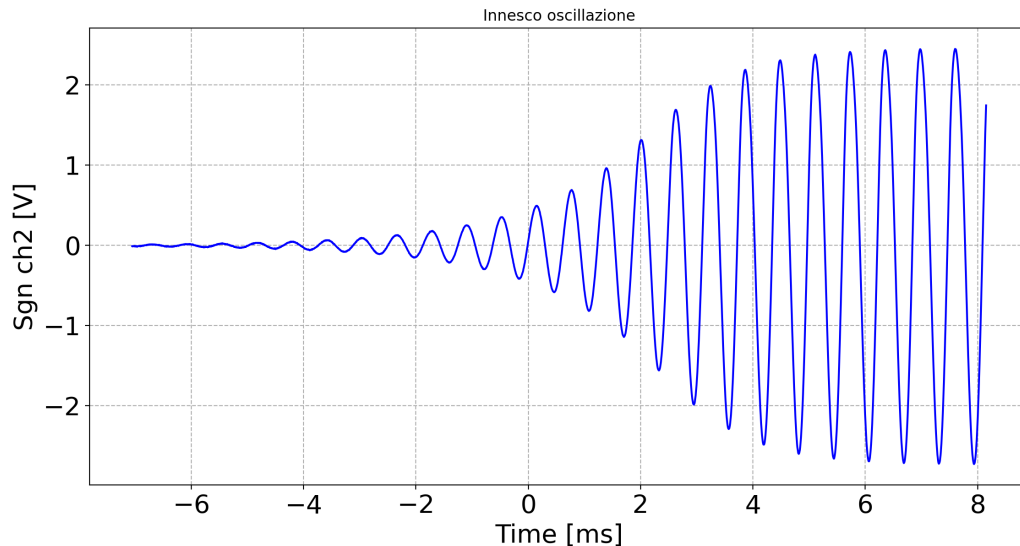


Figura 10

6 Ruolo dei diodi nell'auto-oscillatore

Il circuito presenta in parallelo alla resistenza R_3 due diodi uno in un verso e uno nell'altro. Questo permette di avere un valore della resistenza in quel tratto di ramo tale da avere un guadagno $A = 3$. Infatti, il nostro circuito opererebbe come quanto previsto dalla teoria solamente nel caso in cui i valori delle resistenze fossero infinitamente precisi. Nella realtà ciò però non è possibile ed anche una piccola differenza nel valore del guadagno atteso dell'amplificatore non invertente porterebbe il segnale ad essere instabile e quindi ad andare in saturazione in poco tempo. Togliendo i diodi infatti non si osserva segnale per valori di f al di sopra di una certa soglia, mentre invece girando il potenziometro e quindi diminuendo f ad un certo punto viene innescata l'oscillazione ma questa diventa subito instabile andando in saturazione. Potendo variare il potenziometro in maniera infinitamente precisa si potrebbe trovare il valore per cui è presente l'auto-oscillazione, però nella realtà rimane alquanto difficile e impraticabile.

7 Condizioni per avere un guadagno $|\beta A| = 1$

Posizionando il potenziometro in maniera tale che si abbia l'innesco dell'oscillazione, si misura la resistenza $R_{23} = 3.14 \pm 0.03$. Tramite i cursori si misurano le ampiezze dei segnali V_s e V_{out} , da cui poi misuriamo il guadagno del circuito. Si ottengono i seguenti risultati: Il risultato ottenuto del guadagno risulta dunque compatibile con $A_{att} = 1$.

V_s [mV]	V_{out} [mV]	Guadagno A
98.2 ± 0.6	294 ± 2	2.99 ± 0.03

Tabella 5

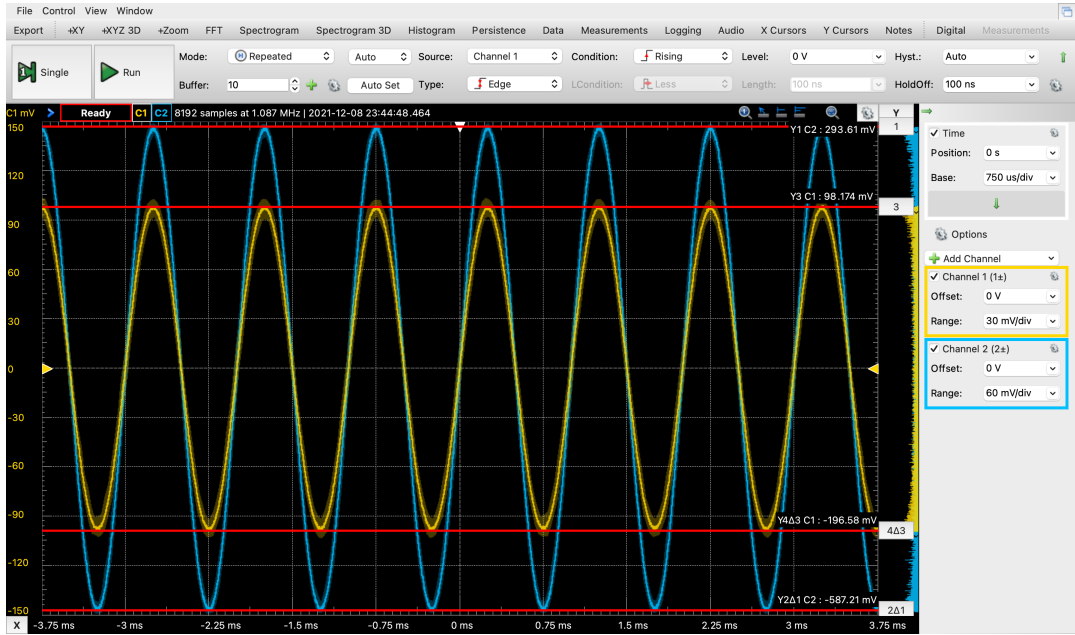


Figura 11