

UNIVERSITÁ DI GENOVA
SISTEMI ELETTRONICI EMBEDDED (MODULO B), 11 NOVEMBRE - 18 NOVEMBRE 2017

WIEN BRIDGE SINUSOIDAL OSCILLATOR

Salvo Michele, Marco Taverna

1 Obiettivi

I. Introduzione all' Oscillatore a ponte di Wien

In questa prima fase verrà introdotto in breve il circuito, le sue configurazioni ed il loro rispettivo funzionamento [see 3.1]

II. Circuit Design on PSpice and Simulation:

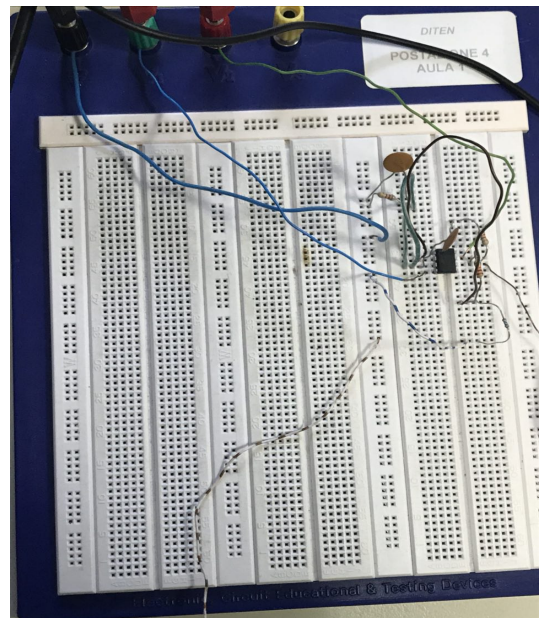
Obiettivo di questa fase è realizzare su Pspice un oscillatore a ponte di Wien seguendo le specifiche suggerite sul foglio di lavoro. Prima verrà realizzato un circuito senza stabilizzazione in ampiezza, successivamente il circuito sarà stabilizzato con l'aggiunta di due diodi in antiparallelo. Si richiede, quindi, dopo aver eseguito gli opportuni calcoli, di verificare i risultati ottenuti tramite PSpice prestando particolare attenzione al valore percentuale del THD rilevato dall'analisi con Fourier. [see 4.1]

III. Lab Procedure & Implementation

Obiettivo di questo punto è implementare il circuito sulla breadboard per verificarne l'effettiva applicazione pratica.[see 4.2]

2 Strumentazione

- PSpice (version number)
- Cavi di Connessione
- Resistenze
- Trimmer
- Condensatori
- 1 x Breadboard
- 1 x AD741L High Accuracy IC Op Amp
- 1 x Oscilloscopio Digitale
- 1 x Alimentatore
- 1 x Agilent 33120A Generatore di funzioni/ forme d'onda
- 1 x Agilent 34401A Multimetro Digitale



3 Introduzione

3.1 Oscillatore

Un oscillatore è un circuito elettronico, retroazionato positivamente, in grado di fornire in uscita un segnale periodico di frequenza predefinita:

la retroazione positiva impedisce al circuito di raggiungere una condizione di equilibrio, permettendo al segnale di uscita di oscillare in modo armonico (onda sinusoidale) oppure commutare periodicamente fra due livelli (onda rettangolare). La struttura di un sistema a retroazione positiva di un'oscillatore sinusoidale è illustrata nella figura 1:

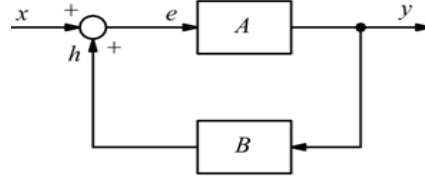


Figure 1: Circuit Design

- Blocco di andata A (amplificatore)
- Blocco di retroazione B selettiva in frequenza.

Calcoliamoci ora la funzione del sistema retroazionato positivamente:

$$\begin{cases} y = A(x + h) \\ h = By \end{cases} \quad \begin{cases} y = A(x + By) \\ y(1 - AB) = Ax \end{cases} \quad \begin{cases} y = Ax + AB y \\ \frac{y}{x} = \frac{A}{1 - AB} \end{cases} \rightarrow$$

Di conseguenza considerando il sistema come un circuito avente un ingresso $V_{in} = 0$ (\rightarrow il circuito sarebbe sufficiente anche senza) avremo che:

$$A_v(s) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{A(s)}{1 - A(s)B(s)} = \frac{A(s)}{1 - T(s)}$$

dove $T(s)$ rappresenta il guadagno di anello.

Per ottenere in uscita una oscillazione sinusoidale di ampiezza e frequenza costante, devono essere verificati i criteri di Barkhausen, che assicurano il mantenimento dell'oscillazione alla frequenza stabilita. Distinguiamo qui due casi:

- Criterio di Barkhausen A REGIME :

$$T(jw_0) = 1 \text{ se } \begin{cases} \angle T(jw_0) = 0 \\ |T(jw_0)| = 1 \end{cases}$$

- Criterio di Barkhausen ALL'INNESCO (condizione necessaria ma non sufficiente):

$$T(jw_0) > 1 \text{ se } \begin{cases} \angle(AB) = 0 \\ |A(jw_0)B(jw_0)| > 1 \end{cases}$$

3.2 Oscillatore a Ponte di Wien

L'oscillatore a ponte di Wien è un circuito che, sfruttando il principio della retroazione positiva, è in grado di generare un'onda sinusoidale in uscita senza l'utilizzo di un generatore in ingresso.^[1]

3.2.1 Oscillatore a Ponte di Wien senza stabilizzazione in ampiezza

Calcoliamo quindi la funzione di trasferimento del blocco A e del blocco di reazione β :

$$A = \left. \frac{V_{out}}{V_{in}} \right|_{\beta=0} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$\beta = \left. \frac{V_f}{V_{out}} \right|_{ig=0} = \frac{Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

Per ottenere i valori Z_1 e Z_2 possiamo utilizzare lo stesso circuito in configurazione ad anello aperto:

$$Z_1 = R + \frac{1}{SC} = \frac{1 + SRC}{SC}$$

$$Z_2 = \frac{R \frac{1}{SC}}{R + \frac{1}{SC}} = \frac{R}{1 + SRC}$$

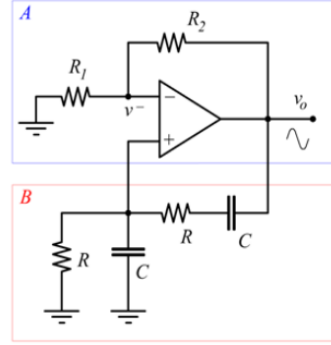


Figure 2: Oscillatore a ponte di Wien

Possiamo quindi ora calcolarci la funzione di trasferimento del blocco β :

$$\beta = \frac{\frac{R}{1+SRC}}{\frac{1+SRC}{SC} + \frac{R}{1+SRC}} = \frac{SRC}{(1 + SRC)^2 + SRC} = \frac{SRC}{S^2 R^2 C^2 + 3SRC + 1}$$

3.2.2 Oscillatore a Ponte di Wien con stabilizzazione in ampiezza

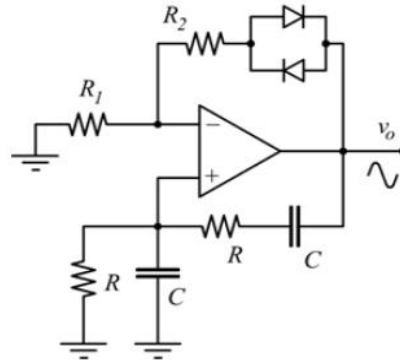
Il prodotto $A\beta$ deve essere 1, quindi un numero reale.

Dato che $A = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$ è reale, è necessario che anche β sia reale. Affinchè questo sia vero deve valere:

$$s^2 + \frac{1}{R^2 C^2} = 0 \rightarrow w_0 = \frac{1}{RC}$$

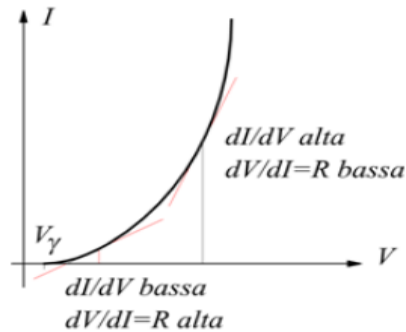
in questo caso risulta essere $\beta|_{w=w_0} = \frac{1}{3}$; siccome deve valere $A\beta = 1$, allora $A = 3$. Ponendo, quindi, $R_2 = 2R_1$ si ha:

$$A = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 3$$



^[1] **Nota:** la configurazione utilizzata per l'operazionale è quella non-invertente, in questo modo si evita lo sfasamento; per l'utilizzo della configurazione opposta è necessaria l'aggiunta di un'OP

Per l'innesco delle oscillazioni è necessario che il guadagno ad anello aperto sia inizialmente $A\beta > 1$ e $A > 3$ per poi assestarsi ad $A\beta = 1$ ed $A = 3$. Per ottenere un'oscillazione di ampiezza costante, è quindi necessario un dispositivo di controllo automatico che riporti gradualmente ad 1 il guadagno d'anello ad innesco avvenuto. Per realizzare questa configurazione si pongono, di conseguenza, due diodi in antiparallelo lungo l'anello di retroazione dell'A.O.



Poiché i diodi presentano una tensione di soglia di circa $0,65\text{ V}$, nella fase iniziale, e ogni volta che l'uscita attraversa lo zero, la rete di retroazione risulta aperta rendendo molto elevato il guadagno. Quando invece viene superata, si chiude la rete di retroazione limitando automaticamente l'ampiezza. Il trimmer serve per regolare il livello del segnale d'uscita. Unica accortezza è quella di far circolare nei diodi una corrente media abbastanza alta, tale da tenere il punto di lavoro lontano dal ginocchio, ed evitare così distorsioni del segnale d'uscita.

4 Procedimento

4.1 Circuit Design on PSpice and Simulation

Per prima cosa verrà realizzato un'oscillatore a Ponte di Wien senza stabilizzazione in ampiezza con una frequenza di oscillazione variabile compresa tra $0,5 \div 10 \text{ KHz}$. L'alimentazione dell'amplificatore operazionale sarà compresa tra $\pm 15 \text{ V}$. Per dimensionare il circuito possiamo utilizzare le seguenti formule:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad \frac{R_2}{R_1} \approx 2$$

Si noti che è opportuno scegliere un valore di $\frac{R_2}{R_1}$ leggermente più grande di 2 affinché le oscillazioni abbiano inizio, è richiesta infatti una situazione iniziale di instabilità che crei uno sviluppo spontaneo divergente

Quindi una volta fissata la frequenza f_0 (nel nostro caso scelta $f_0 = 2 \text{ KHz}$), si procede nel seguente modo:

- Si calcola il valore di RC: $RC = \frac{1}{2\pi f_0} \rightarrow RC = \frac{1}{2\pi \cdot 2 \cdot 10^3} \simeq 79,5 \cdot 10^{-6}$
- Si assegna un valore a C arbitrario (tenendo conto dei valori notevoli proposti dalle capacità presenti in laboratorio); nel nostro caso è stato posto $C = 10 \text{ nF}$. Si calcola, quindi, il valore di R: $R = \frac{1}{2\pi f_0 C} \rightarrow R = \frac{79,5 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^{-9}} = 7,95 \text{ K}\Omega$
- Infine si fissa un'opportuno valore di R_1 e si calcola R_2 ; nel nostro caso è stato posto $R_1 = 10 \text{ K}\Omega$:

$$R_2 = 2,2R_1 \rightarrow R_2 = 22 \text{ K}\Omega$$

Si presenta qui di seguito il circuito realizzato con PSpice :

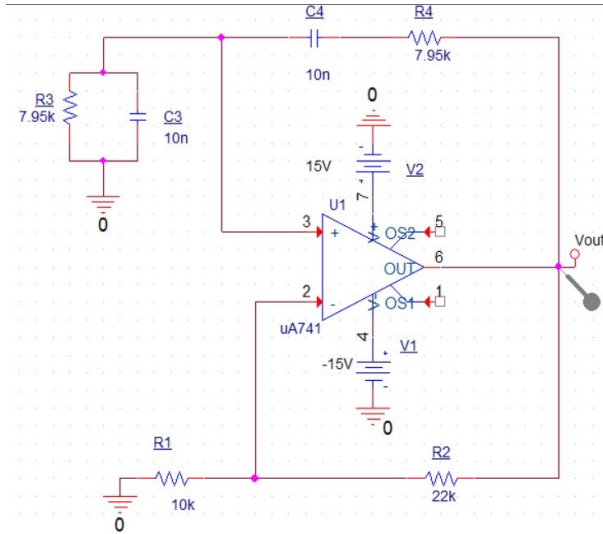


Figure 3: Circuito PSpice senza stabilizzazione in ampiezza

Abbiamo quindi simulato il circuito su PSpice per vedere l'onda di uscita del circuito, attraverso la simulazione nel dominio del tempo:

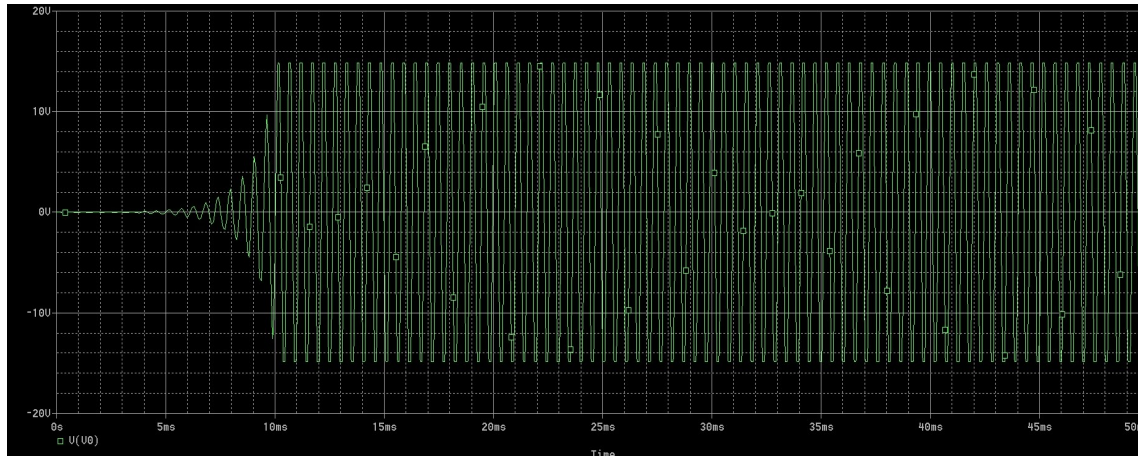


Figure 4: Onda di uscita con transitorio a regime

Infine attraverso l'analisi di Fourier abbiamo misurato la percentuale totale della distorsione delle armoniche (THD):

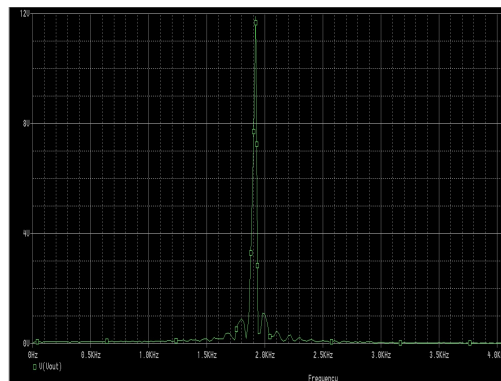


Figure 5: Trasformata di Fourier dell'onda di uscita

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(VOUT)

DC COMPONENT = 9.2005E-02

| HARMONIC NO | FREQUENCY (HZ) | FOURIER COMPONENT | NORMALIZED COMPONENT | PHASE (DEG) | NORMALIZED PHASE (DEG) |
|-------------|----------------|-------------------|----------------------|-------------|------------------------|
| 1 | 2.0000E+03 | 1.6607E+01 | 1.0000E+00 | -1.7212E+02 | 0.0000E+00 |
| 2 | 4.0000E+03 | 9.3139E-01 | 5.6083E-02 | -1.7200E+02 | 1.7224E+02 |
| 3 | 6.0000E+03 | 1.6391E+00 | 9.8696E-02 | -1.7080E+02 | 3.4556E+02 |
| 4 | 8.0000E+03 | 7.0574E-01 | 4.2496E-02 | -1.6287E+02 | 5.2561E+02 |
| 5 | 1.0000E+04 | 3.9368E-01 | 2.3705E-02 | 9.9567E+01 | 9.6016E+02 |
| 6 | 1.2000E+04 | 3.1490E-01 | 1.8961E-02 | 1.6118E+02 | 1.1939E+03 |
| 7 | 1.4000E+04 | 1.5201E-01 | 9.1533E-03 | -1.3866E+02 | 1.0662E+03 |
| 8 | 1.6000E+04 | 1.6516E-01 | 9.9450E-03 | 1.7909E+02 | 1.5560E+03 |
| 9 | 1.8000E+04 | 1.9953E-01 | 1.2014E-02 | -1.3573E+02 | 1.4133E+03 |
| 10 | 2.0000E+04 | 1.4040E-01 | 8.4542E-03 | -1.1976E+02 | 1.6014E+03 |

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.2654E+01 PERCENT

Figure 6: THD

Come si può notare dalla schermata in Figura 6, la distorsione armonica totale di questa prima configurazione dell'oscillatore è nell'ordine del 12,65 %

Realizziamo ora la seconda configurazione, ovvero un'oscillatore a Ponte di Wien con stabilizzazione in ampiezza. Rispetto al circuito precedente sono stati mantenuti i valori della frequenza di oscillazione $f_0 = 2 \text{ KHz}$, della capacità $C = 10 \text{ nF}$ e della resistenza $R = 7,95 \text{ K}\Omega$. Utilizzando la formula seguente, abbiamo calcolato i valori delle altre resistenze del circuito sostitutivo del trimmer:

$$\frac{(R_2 + R_3) \parallel R_4}{R_1} < 2$$

Fissando $R_1 = 10 \text{ K}\Omega$, ricaviamo conseguentemente le altre resistenze:

- $R_2 = 10 \text{ K}\Omega$ • $R_3 = 12 \text{ K}\Omega$ • $R_4 = 24 \text{ K}\Omega$

Il circuito realizzato tramite PSpice è il seguente:

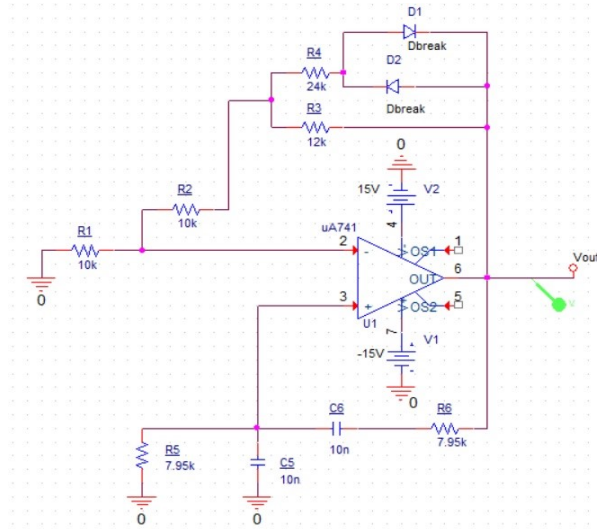


Figure 7: Circuito PSpice con stabilizzazione in ampiezza

Anche per questa configurazione circuitale è stata effettuata la simulazione nel dominio del tempo. Qui di seguito i risultati ottenuti:

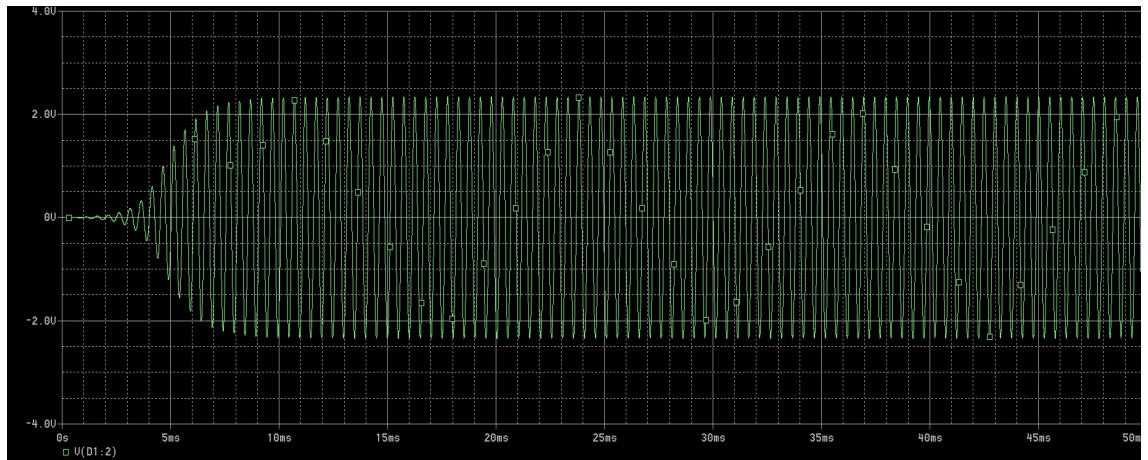


Figure 8: Onda di uscita con transitorio a regime

Dalla figura 8 si evince che la forma d'onda non sembra distorta da non linearità, con l'analisi tramite FFT si verifica questo fatto controllando come, effettivamente, non compaiano componenti armoniche significative:

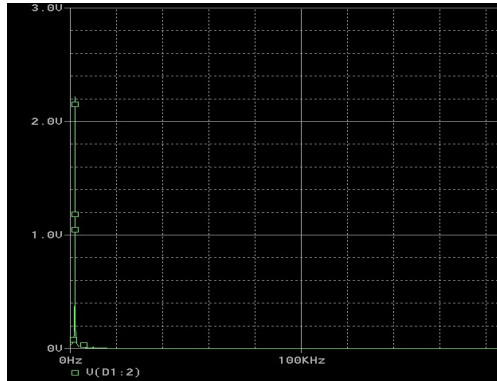


Figure 9: Trasformata di Fourier dell'onda di uscita (1)

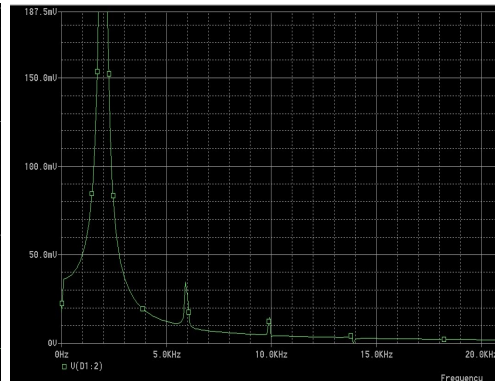


Figure 10: Trasformata di Fourier dell'onda di uscita (2)

FOURIER COMPONENTS OF TRANSIENT RESPONSE V(N09713)

DC COMPONENT = 1.0056E-02

| HARMONIC NO | FREQUENCY (HZ) | FOURIER COMPONENT | NORMALIZED COMPONENT | PHASE (DEG) | NORMALIZED PHASE (DEG) |
|-------------|----------------|-------------------|----------------------|-------------|------------------------|
| 1 | 2.0000E+03 | 2.3597E+00 | 1.0000E+00 | -1.5300E+02 | 0.0000E+00 |
| 2 | 4.0000E+03 | 2.5509E-02 | 1.0810E-02 | -1.6720E+02 | 1.3880E+02 |
| 3 | 6.0000E+03 | 5.9331E-02 | 2.5144E-02 | -1.5359E+02 | 3.0542E+02 |
| 4 | 8.0000E+03 | 1.1772E-02 | 4.9887E-03 | -1.7287E+02 | 4.3914E+02 |
| 5 | 1.0000E+04 | 1.4775E-02 | 6.2614E-03 | -1.2085E+02 | 6.4416E+02 |
| 6 | 1.2000E+04 | 7.4121E-03 | 3.1412E-03 | -1.6979E+02 | 7.4822E+02 |
| 7 | 1.4000E+04 | 4.0185E-03 | 1.7030E-03 | -1.3952E+02 | 9.3150E+02 |
| 8 | 1.6000E+04 | 5.1761E-03 | 2.1936E-03 | -1.7021E+02 | 1.0538E+03 |
| 9 | 1.8000E+04 | 3.8671E-03 | 1.6388E-03 | -1.7195E+02 | 1.2051E+03 |
| 10 | 2.0000E+04 | 4.0850E-03 | 1.7312E-03 | -1.7204E+02 | 1.3580E+03 |

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 2.8921E+00 PERCENT

Figure 11: THD

Si può facilmente notare come il controllo in ampiezza introdotto eviti la distorsione del segnale; otteniamo infatti in uscita un THD (distorsione delle armoniche totale) nell'ordine del 2,89% che risulta essere minore del precedente.

4.2 Lab Procedure & Implementation

Per quanto concerne la parte di laboratorio, ricapitoliamo le componenti utilizzate:

- $R_1 = R_2 = 10\text{ K}\Omega$
- $R_3 = 12\text{ K}\Omega$
- $R_4 = 24\text{ K}\Omega$
- $R_5 = 8,2\text{ K}\Omega$
- $R_6 = 8,2\text{ K}\Omega$
- $C_1 = C_2 = 10\text{ nF}$

Abbiamo quindi visualizzato sull'oscilloscopio l'uscita del circuito. Come si nota dalle figure sottostanti l'uscita non è una sinusoide pura, ma si ha una leggera distorsione

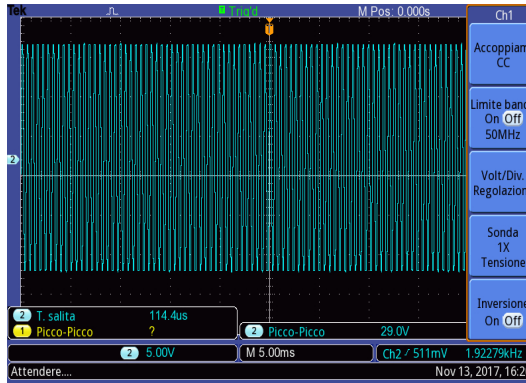


Figure 12: Uscita del circuito su oscilloscopio (1)

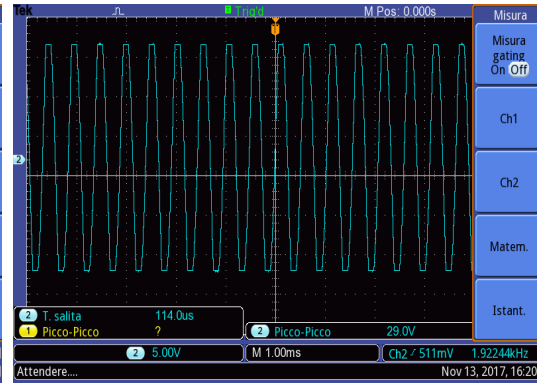


Figure 13: Uscita del circuito su oscilloscopio (2)

Si è quindi aggiunto un trimmer da $\simeq 100\text{ K}\Omega$ in serie a R_2 per variare l'ampiezza della sinusoide in uscita. Abbiamo quindi visualizzato l'uscita del circuito modificato.

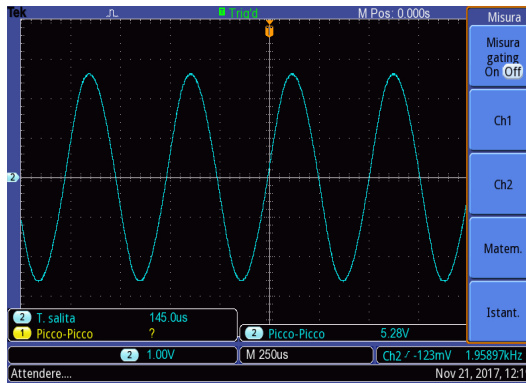


Figure 14: Uscita del circuito su oscilloscopio (3)

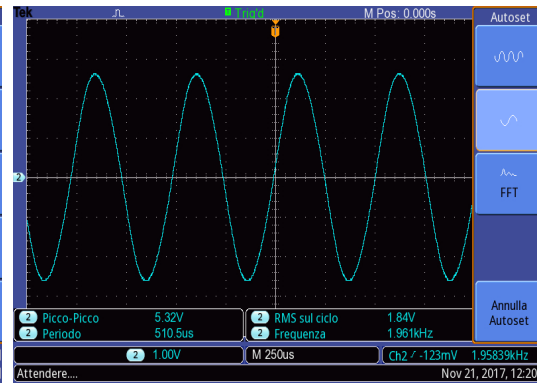


Figure 15: Uscita del circuito su oscilloscopio (4)