



# Laboratorio 1

Michele Ferrero 268542, Emanuele Falci 268617,  
Gabriele Ferro 268510, Riccardo Drago 269663

A.A. 2021-2022

# Introduzione

In questo laboratorio si effettuano le prime misurazioni tramite l'utilizzo dell'oscilloscopio digitale.  
Sono stati utilizzati i seguenti strumenti presenti in laboratorio:

- Oscilloscopio digitale - *Rigol DS1054 Z*
- Multimetro - *Hewlett Packard 34401A*
- Generatore d'onda - *Hantek HDG2032B*
- Cavo coassiale BNC-BNC
- Cavo coassiale BNC-coccodrillo
- Sonda compensata
- Resistenza da  $1k\Omega$
- Connettore a T con terminatore da  $50\Omega$

Per ogni misura effettuata vengono utilizzate le rispettive incertezze, presenti sui manuali dei costruttori

## 1 Misurazione di valore efficace e frequenza

Nel primo esperimento si è inizialmente utilizzato il DSO per misurare l'ampiezza e la frequenza di un segnale sinusoidale.

Con i dati ottenuti e le specifiche fornite dal costruttore dello strumento si è ricavata l'incertezza di misura.

In seguito sono state effettuate le stesse misurazioni con un multimetro e si è verificata la compatibilità dei due strumenti.

### 1.1 Operazioni preliminari

L'ingresso CH1 dell'oscilloscopio è stato collegato all'uscita del generatore. Su di esso è stato impostato un segnale sinusoidale con ampiezza di picco 1V e frequenza 1kHz.

Si è dunque regolato l'oscilloscopio per visualizzare l'onda. In particolare abbiamo settato un offset di 0V un time/div di  $200\mu s$  e un Volt/div di  $500mV/div$ .



## 1.2 Misurazione del valore efficace

Per trovare il valore efficace si è misurata la tensione picco-picco del segnale la quale risente di un'incertezza data dall'oscillatore e di un errore dato dall'operatore.

Nel nostro caso nelle specifiche dell'oscilloscopio viene riportata un'incertezza del 3% rispetto al Full Scale.

La tensione picco-picco misurata è  $V_{pp} = 2.00V$  su un  $F.S. = 500mV/div * 8 = 4.00V$ .

Si calcola l'errore relativo dell'oscilloscopio:

$$\epsilon_{ocd} = \frac{\delta V_{FS}}{V} = \frac{0.03 * 4.00}{2.00} = 0.06$$

A questo va aggiunta l'incertezza generata dall'operatore.

$$\epsilon_{op} = \frac{\delta y_1 + \delta y_2}{y_2 - y_1} = \frac{0.05 + 0.05}{1.00 - (-1.00)} = 0.05$$

L'errore relativo totale è dato dalla somma dei due contributi:

$$\epsilon_{Vpp} = \epsilon_{ocd} + \epsilon_{op} = 0.06 + 0.05 = 0.11$$

L'errore assoluto è:

$$\delta V = V_{pp} * \epsilon_{Vpp} = 2.00 * 0.11 = 0.22V$$

Invece per quanto riguarda il valore efficace si è trovato:

$$V_{eff} = \frac{V_{pp}}{2*\sqrt{2}} = \frac{2.00}{2*\sqrt{2}} = 0.707V$$

Con errore relativo pari al precedente ovvero:

$$\epsilon_{V_{eff}} = 0.11$$

e quindi errore assoluto:

$$\delta V_{eff} = \epsilon_{V_{eff}} * V_{eff} = 0.077V$$

Riassumendo le misure ottenute sono pari a:

$$\begin{aligned} V_{eff} &= (0.706 \pm 0.077)V \\ V_{pp} &= (2 \pm 0.22)V \end{aligned}$$

## 1.3 Misurazione di frequenza

Analogamente al caso precedente sono stati utilizzati i comandi presenti sull'oscilloscopio per misurare il periodo del segnale.

Riguardo l'incertezza è necessario considerare la time base accuracy, anche in questo caso il costruttore assicura che sia  $\leq \pm 25ppm$

$$T = (1.00 \pm 4.00 * 10^{-2})ms$$

L'errore relativo dell'oscilloscopio dato è:

$$\epsilon_{ocd} = 2.5 * 10^{-5}$$

Va inoltre aggiunta l'incertezza generata dall'operatore.

$$\epsilon_{op} = \frac{\delta t_1 + \delta t_2}{t_2 - t_1} = \frac{2*10^{-5} + 2*10^{-5}}{1*10^{-3}} = 0.04$$

L'errore relativo totale è dato dalla somma dei due contributi:

$$\epsilon_T = \epsilon_{ocd} + \epsilon_{op} = 2.5 * 10^{-5} + 0.04 = 0.040025$$

L'errore assoluto è:

$$\delta_T = T * \epsilon_T = 1 * 10^{-3} * 0.040025 = 4.0025 * 10^{-5} s$$

Da esso si ricava dunque facilmente la frequenza utilizzando la formula:

$$f = \frac{1}{T} = (1.00 \pm 4.00 * 10^{-2}) kHz$$

dove l'errore viene calcolato utilizzando la formula generica:

$$\delta_f = \left| \frac{df}{dT} \right| * \delta_T = \left| -\frac{1}{T^2} \right| * \delta_T = 40.00 Hz$$

#### 1.4 Verifica con multimetro

Si sono effettuate le stesse misurazione dei punti precedenti, ottenendo:

$$\begin{aligned} V_{eff} &= 0.706 V \\ f &= 1 kHz \end{aligned}$$

Per calcolare l'incertezza sul risultato sono stati usati i valori reperibili nel manuale del multimetro.  
In particolare:

*Tensione : % of reading + % of range = 0.06% + 0.03%* *Frequenza : % of reading = 0.01%*  
Applicando le formule ai nostri dati:

$$\begin{aligned} \delta_{V_{eff}} &= \frac{0.06}{100} * 0.706 + \frac{0.03}{100} * 1 = 7.23 * 10^{-4} V \\ \delta_f &= \frac{0.01}{100} * 1 * 10^3 = 0.10 Hz \end{aligned}$$

I valori ottenuti sono in linea con quelli ottenuti nel precedente punto.

## 2 Misurazione del tempo di salita

In seguito si va a misurare il tempo di salita di un'onda quadra inizialmente in assenza di una sonda, successivamente mediante una sonda compensata opportunamente regolata.

Per la misurazione sono possibili due procedure:

- Misurazione ad occhio effettuando uno zoom fino a vedere chiaramente la curva di salita (essendo l'onda quadra non ideale).
- Misurazione tramite la funzione integrata nell'OCD o mediante i cursori opportunamente posizionati prima e dopo la salita.

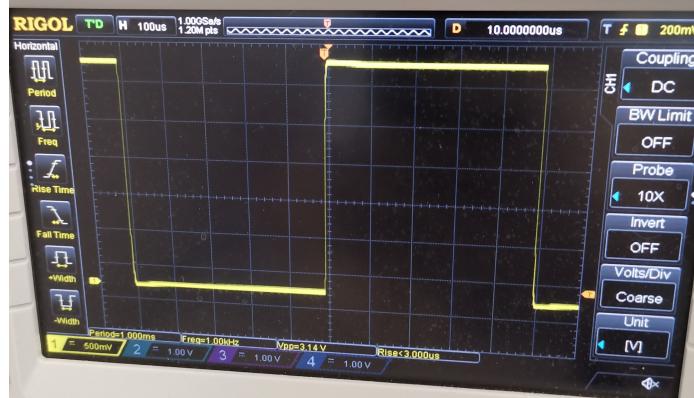
Tra le due misurazioni (in assenza di sonda e con la sonda) ci si aspetta una diminuzione di un fattore 10 del tempo di salita, dovuta all'aumento della banda del filtro passa-basso dello stesso fattore.

La sonda, infatti, svolge due importanti funzioni:

- Aumenta la banda passante massima del filtro passa-basso riducendo l'attenuazione. Infatti aumentando la banda aumenta anche la banda massima che non risente di riduzioni pari a  $\frac{B}{5}$ .
- Attenua il segnale in ingresso. Questo ci permette di misurare segnali con una ampiezza massima superiore al limite, impostando un fattore moltiplicativo nell'OCD.

## 2.1 Operazioni preliminari

Regolazione del generatore di segnali per ottenere un'onda quadra di ampiezza 1V e frequenza 1kHz, senza offset.



## 2.2 Misurazione 1: tempo di salita in condizioni di adattamento di impedenza

Tramite l'utilizzo di un resistore da  $50 \Omega$  collegato ad un connettore a T è stata adattata l'impedenza del cavo collegato all'oscilloscopio.

Successivamente alla visualizzazione è stato misurato il tempo di salita (impostazione dell'oscilloscopio time/div = 5ns/div)  $t_{sm} = 15ns$ .

La misura del tempo di salita è afflitta dall'effetto sistematico dovuto al tempo di salita dell'oscilloscopio stesso:

$$t_{so} = \frac{0.35}{B} = \frac{0.35}{50*10^6} = 7.00ns$$



Nel caso in esame si ha  $t_{so} < t_{sm}$  è dunque possibile correggere l'effetto introdotto dall'oscilloscopio.

$$t_{ss} = \sqrt{t_{sm}^2 - t_{so}^2} = \sqrt{(15 * 10^{-9})^2 - (7 * 10^{-9})^2} = 0.13ns$$

### 2.3 Misurazione 2: tempo di salita con generatore ad alta impedenza (uso della sonda compensata)

Per evidenziare l'effetto del cavo è stato collegato un resistore di valore circa  $1k\Omega$  in serie con il generatore di segnali usando la breadboard come ausilio. Utilizzando il cavo coassiale si introduce una capacità del valore di  $100 \text{ pF/m}$ , la quale costituisce un filtro passa-basso insieme alla capacità di ingresso dell'oscilloscopio e la resistenza interna del generatore. La capacità totale viene calcolata sommando il contributo del cavo con la capacità dell'oscilloscopio ( $15 \text{ pF}$ )

$$C_{tot} = 100 + 15 = 115.00 \text{ pF}$$

Si ricava la resistenza del generatore modificato

$$R_g = 1000\Omega$$

Grazie a questi dati è possibile calcolare la frequenza del polo

$$fp = \frac{1}{2\pi * R_g * C_{tot}} = \frac{1}{2\pi * 10^3 * 115 * 10^{-12}} \text{ Hz} = 1383.956 \text{ kHz}$$

E il tempo di salita dovuto al polo in questione

$$tsp = \frac{0.35}{fp} = 252.89 \text{ ns}$$

Il valore misurato si avvicina al valore teorico calcolato.

$$tsp_m = 249.00 \text{ ns}$$

Per ridurre questo effetto sistematico è possibile utilizzare la sonda dopo averla tarata. Per fare ciò è stata collegata all'oscilloscopio e, tramite una chiave apposita, si modifica la capacità fino a rilevare un'onda quadra senza distorsioni. Per ricavare la capacità della sonda bisogna misurare la lunghezza del cavo considerando la densità di capacità di  $100 \text{ pF/m}$ .

$$Cs = 100 \text{ pF/m} * 1.20 \text{ m} = 120 \text{ pF}$$

Ed è stata calcolata la nuova frequenza del polo, considerando il fattore che amplifica la frequenza precedentemente calcolata, la resistenza e la sonda compensata

$$fp' = fp * 10 = 13839.56 \text{ kHz}$$

Infine è stato calcolato il tempo di salita atteso

$$tsp' = 25.23 \text{ ns}$$

Nuovamente le misure confermano i risultati trovati

$$tsp'_m = 31.40 \text{ ns}$$

## 3 Aliasing

Infine è stato generato un segnale sinusoidale ad ampiezza  $1V$  senza offset e frequenza  $100 \text{ kHz}$  e si è regolata la taratura orizzontale in modo da visualizzarlo sul DSO.

### 3.1 Operazioni preliminari e visualizzazione in assenza di aliasing

Per calcolare la frequenza di campionamento richiesta bisogna utilizzare il teorema del campionamento il quale enuncia che:

$$f_c \geq 2.5 * f_s$$

La frequenza di campionamento dell'oscilloscopio è  $f_{co} = 1GHz$ , da questo mediante la formula:

$$f_{co} = \frac{N}{time/div * div}$$

Possiamo ricavare N che è pari a 20000.

Per mancanza di tempo non abbiamo concluso quest'ultimo punto.