

# Esercitazione di Laboratorio

## Oscilloscopio Digitale - ver. 2022

### 1 Misurazione di valore efficace e frequenza

In questa prima parte:

1. misurerete ampiezza (valore efficace) e frequenza di un segnale sinusoidale utilizzando l'oscilloscopio digitale;
2. ne calcolerete l'incertezza di misura usando le specifiche dello strumento;
3. ripeterete le misurazioni con un multimetro;
4. verificherete la compatibilità delle misure ottenute con i due strumenti.

#### 1.1 Operazioni preliminari

1. Regolate il generatore di segnali in modo da ottenere un segnale sinusoidale, senza offset, ampiezza di picco 1 V, frequenza 1 kHz.
2. Collegate, tramite un cavo coassiale, l'uscita del generatore (generalmente contrassegnata con OUT 50  $\Omega$ ) all'ingresso CH1 dell'oscilloscopio.
3. Regolate l'oscilloscopio in modo da visualizzare la forma d'onda.

#### 1.2 Misurazione del valore efficace

La misura del valore efficace è ottenuta per via indiretta dalla misura della tensione di picco o, meglio, da quella di picco-picco. Usare i cursori per ottenere direttamente il valore della tensione di picco-picco. Cercate le specifiche di incertezza dell'oscilloscopio nel manuale <sup>1</sup>.

L'incertezza ha due componenti: una dovuta allo strumento e una dovuta al posizionamento dei cursori da parte dell'operatore. Gli oscilloscopi moderni permettono di misurare automaticamente l'ampiezza dei segnali ma, generalmente, il costruttore non ne fornisce l'incertezza.

1. Riportate la lettura dell'ampiezza picco-picco  $V_{pp} = 2,002 \cdot 10^{-3} \text{ V}$  2,002 mV
2. Riportate la formula impiegata per il calcolo dell'incertezza:  $\delta V_1 + \delta V_2$  

$< 10 \text{ mV}: \pm 4\% \text{ FS}$   
 $\geq 10 \text{ mV}: \pm 3\% \text{ FS}$
3. Calcolate l'incertezza  $\delta V_{pp} = \delta V_1 + \delta V_2 =$  V  $\delta V_1 = \delta V_2 = 65 \text{ mV} = 0,065 \text{ V}$
4. Calcolate il valore efficace e la sua incertezza  $V_{\text{eff}} = \frac{V_P}{\sqrt{2}} = \frac{2,002 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{2}} = 1,414 \cdot 10^{-3} \pm 4,59 \cdot 10^{-2} \text{ V}$  
 $\frac{\delta V_1}{\sqrt{2}} = 65 \text{ mV}$

#### 1.3 Misurazione di frequenza

In modo analogo eseguite la misurazione del periodo del segnale e quindi ricavate la frequenza:

1. Riportate la formula dell'incertezza. Anche qui compariranno due contributi: uno legato all'incertezza della base tempi dell'oscilloscopio e una dovuta al posizionamento dei cursori. Generalmente il **contributo della base tempi** è **trascurabile rispetto al posizionamento dei cursori**.

2.  $T = 10^{-3} \text{ s} \pm 4 \cdot 10^{-5} \text{ s}$  0,04 ms = minima variazione del cursore
3.  $f = 10^3 \text{ Hz} \pm 40 \text{ Hz}$

<sup>1</sup><http://led.polito.it/> > Strumentazione > (cerca) Oscilloscopi digitali

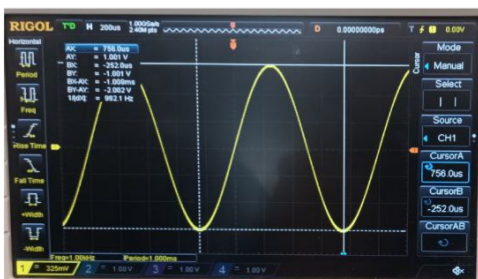
$$f = \frac{1}{T}$$

$$\delta f = \left| \frac{df}{dT} \right| \cdot \delta T = \left| -\frac{1}{T^2} \right| \cdot \delta T$$

$$\text{FS} = m. \text{quad.} \cdot 325 \text{ mV} = 80325 \text{ V} = 2.6 \text{ V}$$

$$4\% \cdot 2.6 = 0.104 \text{ V}$$

$$\delta V ??$$



## 1.4 Verifica con multimetro

1. Misurate il valore efficace (ACV) e la frequenza utilizzando il multimetro e calcolando l'incertezza con la formula binomia (i coefficienti si trovano nel manuale dello strumento nella sezione delle specifiche<sup>2</sup>).
2. Riportate le misure di valore efficace e frequenza ottenute con il multimetro:

$$V_{\text{effDMM}} = 0.707 \quad \text{V} \pm \quad \text{V}$$

$$f_{\text{DMM}} = 1 \text{ kHz} \quad \text{Hz} \pm \quad \text{Hz}$$

3. Verificate la compatibilità delle misure ottenute con oscilloscopio e multimetro disegnando le fasce di valore assegnate ai due parametri:

$$V_{\text{eff}}$$

$$V_{\text{effDMM}}$$

$$f$$

$$f_{\text{DMM}}$$

## 2 Misurazione del tempo di salita

In questa parte dell'esperienza misurerete il tempo di salita di un segnale ad onda quadra. Il tempo di salita è il tempo che il segnale impiega per passare dal livello 10% al livello 90%. Alcuni oscilloscopi hanno specifiche funzioni per la misurazione del tempo di salita che potete usare per velocizzare la misurazione. Non dovrete preoccuparvi del calcolo dell'incertezza ma solo della correzione di effetti sistematici dovuti alla banda dello strumento e alla risposta del sistema generatore/cavo/oscilloscopio.

Nella prima parte dell'esperienze misurerete in tempo di salita in condizioni di adattamento di impedenza, cioè quando la resistenza di uscita del generatore, quella caratteristica del cavo e quella di ingresso dell'oscilloscopio sono pari a 50  $\Omega$ . L'effetto sistematico dominante sarà solo quello della banda dell'oscilloscopio.

Nella seconda parte invece si eseguirà la misurazione quando l'impedenza d'uscita del generatore è elevata (1 k $\Omega$ ). L'effetto sistematico dominante sarà dovuto al generatore e al cavo e potrà essere minimizzato usando una sonda compensata.

### 2.1 Operazioni preliminari

Regolate il generatore di segnali in modo da erogare un segnale ad onda quadra, ampiezza 1 V, offset 0 V, frequenza 1 kHz e duty cycle del 50%.

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

1. Collegate il generatore all'oscilloscopio con un cavo coassiale. Terminate il cavo con un resistore in modo da adattare l'impedenza (inserite in parallelo all'ingresso dell'oscilloscopio un terminatore di valore 50  $\Omega$  collegato tramite un connettore a T). Così facendo l'oscilloscopio mostra al cavo una impedenza di ingresso di circa 50  $\Omega$ .

<sup>2</sup><http://led.polito.it/> > Strumentazione > (cerca) Multimetri da banco



Bandwidth (-3 dB)	MSO1104Z/1104Z-S and DS1104Z Plus/1104Z-S Plus: DC to 100 MHz MSO1074Z/1074Z-S and DS1074Z Plus/1074Z-S Plus: DC to 70 MHz DS1054Z: DC to 50 MHz
----------------------	--

- Regolate l'oscilloscopio in modo da visualizzare il fronte di salita del segnale (esempio di impostazione del fattore di taratura orizzontale 10 ns/div).
- Eseguite la misurazione del tempo di salita del segnale:

$$t_{sm} = 15.40 \text{ ns}$$

- La misura del tempo di salita presenta un effetto sistematico dovuto al tempo di salita  $t_{so}$  introdotto dall'oscilloscopio a causa della sua banda passante  $B_o$ . Valutate tale tempo:

$$t_{so} = \frac{0.35}{B_o} = \frac{0.35}{50 \cdot 10^6} = 7 \text{ ns} \quad \text{--- } B_o = \text{Banda passante} = 50 \text{ MHz}$$

A seconda del modello di oscilloscopio presente sul vostro banco potranno verificarsi due situazioni:  $t_{so} < t_{sm}$  oppure  $t_{so} \approx t_{sm}$ . La misurazione del tempo di salita è possibile solo se il tempo introdotto dall'oscilloscopio non è dominante ( $t_{so} \approx t_{sm}$ ); inoltre se  $t_{so} \ll t_{sm}$  allora l'oscilloscopio introduce un effetto sistematico trascurabile.

- Se siete nella condizione  $t_{so} < t_{sm}$  potete correggere l'effetto dell'oscilloscopio al fine di ottenere il tempo di salita del segnale di ingresso  $t_{ss}$ :

$$t_{ss} = \sqrt{t_{sm}^2 - t_{so}^2} = 13.7 \text{ ns}$$

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

Per evidenziare l'effetto del cavo è necessario disporre un generatore avente impedenza sufficientemente alta. A tale scopo collegate un resistore di valore circa 1 kΩ in serie al generatore di segnali (potete utilizzare una coppia di cavi coassiali intestati da un lato con un connettore BNC e dall'altro con le pinzette, oppure la basetta per montaggi sperimentali).

In queste condizioni la misurazione del tempo di salita svolta con l'oscilloscopio presenta un ulteriore effetto sistematico dovuto al polo introdotto dalla resistenza del generatore e dalla capacità del cavo e di ingresso dell'oscilloscopio. In questa situazione, infatti, il cavo coassiale si comporta come una capacità concentrata avente valore (approssimativo) di 100 pF/m. La capacità del cavo insieme con quella di ingresso dell'oscilloscopio e la resistenza interna del generatore costituiscono un filtro passa-basso che contribuisce a ridurre ulteriormente la banda passante del sistema di misura.

Calcolate la frequenza del polo e valutate l'effetto sulla misura del tempo di salita.

- Capacità totale (oscilloscopio+cavo)  $C_{tot} = \text{pF}$
- Resistenza del generatore modificato  $R_g = \text{Ω}$
- Frequenza polo  $f_p = \frac{1}{2\pi \cdot R_g \cdot C_{tot}} = \text{kHz}$
- Tempo di salita dovuto al polo  $t_{sp} = \frac{0.35}{f_p} = \text{ns}$
- Verificate sperimentalmente il tempo di salita misurandolo:

$$t_{sp,m} = 21.8 \text{ ns}$$

Per ridurre questo effetto sistematico utilizzate la sonda compensata (10X) al posto del cavo coassiale. In questo caso, la capacità vista dal generatore è quella della sonda, che è circa 10 volte inferiore a quella del circuito cavo+ingresso Oscilloscopio.

1. Procuratevi il valore della capacità di ingresso della vostra sonda (potete cercare in internet il manuale o fare un calcolo approssimativo ipotizzando che il cavo della sonda abbia capacità di 100 pF/m)

$$C_s = 12.5 \text{ pf}$$

$$(100 \text{ pF/m})$$

$$\text{SONDA} = 10 \text{ m}$$

2. Calcolare la nuova frequenza del polo con il resistore da 1 k $\Omega$  e la sonda compensata:

$$f_p^S = \text{kHz}$$

3. Calcolare il nuovo tempo di salita atteso:

$$t_{sp}^S = \text{ns}$$

4. Verificate sperimentalmente l'effetto della sonda dopo averla compensata (l'oscilloscopio ha un generatore ad onda quadra per la compensazione delle sonde):

$$t_{sp,m}^S = 19.6 \text{ ns}$$

## Copyright

Questa dispensa è di proprietà del Politecnico di Torino e può essere liberamente usata dagli studenti del Politecnico di Torino per la preparazione agli esami, ma è vietato qualsiasi uso diverso.

Copyright ©2016 - Politecnico di Torino, corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino, Italy

Autore: Alberto Vallan, DET.

Versione modificata nel 2022 da Alessio Carullo.