

## Uso dell'oscilloscopio<sup>1</sup>

### 1 Introduzione

Gli obiettivi di questa esercitazione sono sia quello di imparare l'uso dei comandi principali dell'oscilloscopio sia quello di imparare a valutare le incertezze di misura di questo strumento.

**Attenzione:** La modalità di collegamento del generatore di segnali, le sue caratteristiche e quelle dell'oscilloscopio si trovano sul sito del LADISPE alla sezione strumenti — <http://ladispe.eln.polito.it>.

### 2 Ampiezza

Tramite i tasti UP e DN, selezionare la forma d'onda 0 del generatore di segnali e collegare l'uscita A al canale ch1 dell'oscilloscopio. Mettere il canale di ingresso in posizione gnd, in modo da visualizzare solo una linea orizzontale, e centrare la traccia rispetto allo schermo. Riportare l'ingresso in posizione di accoppiamento dc. Regolare l'oscilloscopio in modo da visualizzare una sola traccia in modo che un periodo del segnale occupi la maggior parte possibile dello schermo, sia in orizzontale che in verticale. Misurare l'ampiezza del segnale e valutare l'incertezza della misura. La misura dell'ampiezza picco-picco  $V_{pp}$  è più agevole rispetto a quella dell'ampiezza di picco. Perché?

**Nota:** Con l'oscilloscopio, la misura dell'ampiezza  $V$  di un segnale può essere fatta contando il numero di divisioni  $n_y$  occupate dal segnale lungo l'asse verticale. L'ampiezza è quindi

$$V = S_y n_y, \quad (1)$$

dove  $S_y$  è la sensibilità del canale verticale ( $S_y = 1 \text{ V/div}$ , ad esempio). L'incertezza di  $S_y$  è legata alle caratteristiche del tubo a raggi catodici, dell'amplificatore verticale e dell'attenuatore d'ingresso; tipicamente  $\delta S_y/S_y$  è dell'ordine di qualche percento. Dall'equazione (1), l'incertezza di misura di  $V$  è

$$\frac{\delta V}{V} = \frac{\delta S_y}{S_y} + \frac{\delta n_y}{n_y} \quad (2)$$

---

<sup>1</sup>Questi appunti sono parzialmente tratti dal materiale prodotto da E. Rubiola tra il 1995 ed il 2000.

L'incertezza di lettura  $\delta n_y$  è dovuta principalmente all'incapacità di valutare l'intersezione tra la traccia del segnale sullo schermo e la griglia di riferimento presente sullo schermo. Anche lo spessore della traccia, da regolarsi per mezzo delle manopole di focalizzazione ed intensità, ha un'importanza non trascurabile. Tipicamente  $\delta n_y \approx 0.1$  div. Si noti che l'incertezza relativa di lettura diminuisce all'aumentare del numero di divisioni lette. Da ciò deriva la necessità di espandere al massimo il segnale, in modo da occupare la maggior parte dello schermo, e l'utilità di misurare l'ampiezza picco-picco rispetto a quella di picco.

### 3 Periodo e frequenza

Mantenendo le impostazioni del punto 2, misurare la frequenza del segnale. Sovraccaricando il canale di ingresso dell'oscilloscopio la traccia esce dallo schermo, ma gli attraversamenti per lo zero sono più ripidi e, quindi, meglio identificabili. Valutare l'incertezza della misura di periodo e riportarla alla misura di frequenza.

### 4 Cursori

Molti oscilloscopi dispongono di cursori che permettono di misurare un intervallo di tempo, delimitato da due cursori verticali, o una tensione, delimitata da due cursori orizzontali. Spesso la lettura tramite cursori evidenzia molte cifre e può essere fuorviante ai fini della corretta valutazione dell'incertezza della misura. Verificare sul manuale l'incertezza da attribuire alla misura coi cursori.

### 5 Duty cycle

Utilizzare il segnale B4 del generatore di segnali. Misurare il duty cycle  $D$  del segnale, definito come

$$D = 100 \cdot \frac{T_H}{T}, \quad (3)$$

dove  $T_H$  è l'intervallo di tempo in cui il segnale assume un valore *alto* e  $T$  è il periodo del segnale. Poiché si deve misurare un rapporto di tempi e non un tempo singolo, può essere conveniente scalibrare la base dei tempi in modo che il segnale occupi l'intera estensione orizzontale dello schermo.

Di quanti quadretti si sposta verticalmente la traccia, e in quale direzione, passando dall'accoppiamento dc all'accoppiamento ac? Perché? Si tenga

presente che il valor medio  $V_m$  di un generico segnale  $v(t)$  con periodo  $T$  è

$$V_m = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} v(t) dt \quad (4)$$

Questo termine coincide con la componente continua del segnale. Nel passare dall'accoppiamento **dc** a quello in **ac** si inserisce un filtro passa alto con frequenza di taglio di pochi Hz (per esempio in alcuni oscilloscopi si ha  $f_T = 10$  Hz) che elimina dunque la componente continua.

## 6 Trigger

Utilizzare il segnale **A4** del generatore di segnali, collegato al canale **ch1** dell'oscilloscopio. Verificare che la sorgente di trigger sia il canale **ch1**. Provare l'effetto dei comandi **slope** e **level** del trigger dell'oscilloscopio.

Predisporre ora la sorgente di trigger sul canale **ch2**. Perché non si riesce a tenere ferma la traccia agendo sul livello e sulla pendenza del trigger?

Provare la differenza di comportamento dell'oscilloscopio quando il trigger è in modo **auto** e **norm** usando come sorgente sia il canale **ch1** sia il canale **ch2**. Verificare, inoltre, il funzionamento dell'oscilloscopio nel caso in cui il livello del trigger sia regolato su soglie eccessivamente alte o basse rispetto al segnale. Giustificare il comportamento dell'oscilloscopio tenendo ben presente il funzionamento del canale orizzontale dell'oscilloscopio e della generazione del sincronismo.

## 7 Doppia traccia

Collegare l'uscita **A** del generatore di segnali al canale **ch1** dell'oscilloscopio e l'uscita **B** al canale **ch2**. Predisporre il generatore per la forma d'onda **0**.

Regolare l'oscilloscopio in modo da visualizzare entrambe i segnali sganciando la base dei tempi sullo zero crescente del segnale collegato al canale **ch1**.

Che differenza c'è tra il modo **chop** ed il modo **alt** di visualizzare le due tracce? Quale dei due può essere scomodo con scansioni lente (ad esempio 20 ms/div o più)?

## 8 Fase (1)

Collegare l'uscita **A** del generatore di segnali al canale **ch1** dell'oscilloscopio e l'uscita **B** al canale **ch2**. Predisporre il generatore per la forma d'onda **0**. Misurare lo sfasamento dei due segnali, determinando il ritardo  $\tau$  tra i segnali ed il loro periodo  $T$ . La misura dello sfasamento può risultare più agevole se

si scalibra la base tempi in modo da far occupare all'intero periodo del segnale esattamente le 10 divisioni orizzontali dello schermo. In questo modo a ogni divisione corrisponde uno sfasamento di  $36^\circ$ . Anche qui la misura può essere più agevole se si sovraccaricano i canali d'ingresso dell'oscilloscopio. Calcolare l'incertezza di misura. Come si può osservare, la misura di  $\tau$  è la maggiore responsabile dell'incertezza. Può quindi essere vantaggioso fare l'operazione in due tempi, misurando periodo e ritardo con velocità di scansione diverse. In questo modo la misura di  $\tau$  può essere effettuata con la scala più opportuna al fine di minimizzare l'incertezza di lettura.

## 9 Fase (2)

Predisporre l'oscilloscopio in modo X-Y e il generatore di segnali come al punto 8. Collegare l'uscita A del generatore all'asse X (solitamente canale ch1) e l'uscita B all'asse Y (solitamente ch2). Sullo schermo si osserva un'ellisse la cui equazione, in forma parametrica, può essere scritta come

$$x(t) = a \sin(\omega t) \quad (5)$$

$$y(t) = b \sin(\omega t + \varphi) \quad (6)$$

Misurare lo sfasamento  $\varphi$ . Il modo più ovvio consiste nel leggere il valore di  $x$  quando  $y = 0$  o viceversa, secondo la convenienza. Si ricordi di leggere i segnali più ampi possibile sullo schermo al fine di minimizzare l'incertezza di lettura.

## 10 Doppia base tempi

Visualizzate il segnale A6 del generatore di segnali collegandolo al canale ch1 dell'oscilloscopio. Il periodo del segnale è costituito da due impulsi rettangolari, il secondo dei quali presenta un disturbo. Regolare l'oscilloscopio in modo da far partire la traccia sul fronte di salita dell'impulso più ampio per visualizzare il disturbo. Misurare ampiezza, durata e posizione temporale del disturbo rispetto al fronte del segnale utilizzato come trigger per la base tempi. Utilizzare quindi la doppia base tempi per visualizzare meglio il disturbo.

## 11 Tempo di salita

Per effettuare quest'ultima parte occorre collegare l'oscilloscopio al generatore di funzioni commerciale disponibile sul banco. Predisporre il generatore di funzioni per un'uscita ad onda quadra con frequenza di circa 100 kHz.

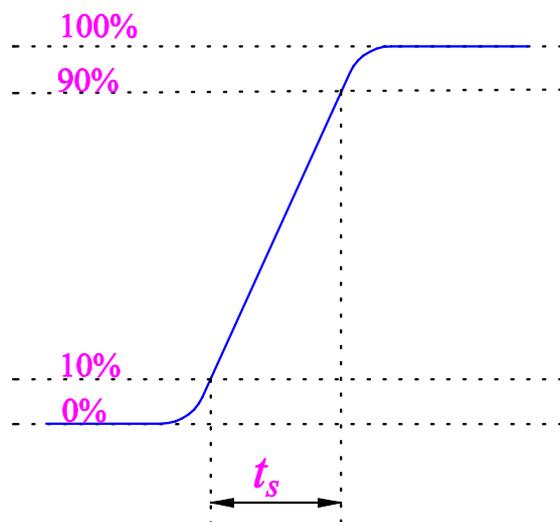


Figura 1: Definizione di tempo di salita

Valutare il tempo di salita  $t_s$  dell'onda quadra, definito come l'intervallo di tempo che il segnale impiega per passare dal 10% al 90% del suo valore finale (cfr. figura 1).

Al fine di minimizzare i problemi dovuti al disadattamento fra generatore ed oscilloscopio, collegare una terminazione da  $50\ \Omega$  in parallelo all'oscilloscopio per mezzo di una terminazione a T. Misurare il tempo di salita del segnale. Il valore misurato è, in realtà, influenzato dalla banda passante finita dell'oscilloscopio, secondo l'equazione

$$t_{sm}^2 = t_s^2 + t_{so}^2, \quad (7)$$

dove  $t_{sm}$  è il tempo di salita misurato e  $t_{so}$  è il tempo di salita dell'oscilloscopio, legato alla banda  $B$  da

$$B \cdot t_{so} \simeq 0.35. \quad (8)$$

In realtà la relazione tra tempo di salita  $t_{so}$  e larghezza di banda  $B$  dipende dalla funzione di trasferimento del canale verticale. Nel caso di un sistema ad un solo polo o, più in generale, di un sistema con un polo dominante, tale legame è dato dalla equazione (8). Nell'ipotesi che l'incertezza associata alla banda dell'oscilloscopio sia dell'ordine del 5%, calcolare l'incertezza associata alla misura del tempo di salita del segnale.