

# Esercitazione di Laboratorio

## Oscilloscopio Digitale - ver. 2016

### 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 e 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 1V, frequenza 1 kHz.
2. Collegate, tramite un cavo coassiale, l'uscita del generatore (generalmente contrassegnata con OUT 50Ω) 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 <sub>pp</sub> =	V
-------------------	---
2. Riportate la formula impiegata per il calcolo dell'incertezza:
3. Calcolate l'incertezza 

$\delta V_{pp}$ =	V
-------------------	---
4. Calcolate il valore efficace e la sua incertezza 

V <sub>eff</sub> =
--------------------

#### 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. <sup>2</sup>

2. 

T=	s ±	s
----	-----	---

3. 

f=	Hz ±	Hz
----	------	----

1

**TDS210 e TDS380** Delta Volts

**Agilent** Dual cursor accuracy

**Atten** Vertical error (è l'incertezza della sensibilità verticale)

**Rigol** DC gain accuracy (è l'incertezza della sensibilità verticale)

2

**TDS210 e TDS380** Delta Time measurement accuracy

**Agilent** Analog Delta T accuracy same channel

**Atten** Horizontal error

**Rigol** Time base Accuracy

## 1.4 Verifica con multimetro

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). Verificate la compatibilità delle misure ottenute con l'oscilloscopio e il multimetro.

1.  $V_{\text{eff}} = \text{V} \pm \text{V}$
2.  $f = \text{Hz} \pm \text{Hz}$

## 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 tempo che il segnale impiega per passare dal livello 10% al livello 90%. Alcuni oscilloscopi (TDS210, Atten e Rigol) 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'esperienza 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 ( $1 \text{ k}\Omega$ ). 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 1V senza offset, frequenza 1 kHz.

### 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  $50 \Omega$ .



2. Regolate l'oscilloscopio in modo da visualizzare il fronte di salita del segnale (es.  $10 \text{ ns/div}$ ).
3. Eseguite la misurazione del tempo di salita del segnale  $t_{sm}$ .  $t_{s1} = \text{ns}$ .
4. 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:

$$t_{so} = 0.35/B = \text{ns}$$

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.

5. 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  $t_{ss}$ :

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

## 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 k $\Omega$  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.

1. Capacità totale (oscilloscopio+cavo)  $C_{tot} =$   pF

2. Resistenza del generatore "modificato"  $R_g =$    $\Omega$

3. Frequenza polo  $f_p = \frac{1}{2\pi \cdot R_g \cdot C_{tot}} =$   kHz

4. Tempo di salita dovuto al polo  $t_{sp} = 0.35/f_p =$   ns

5. Verificate sperimentalmente il tempo di salita misurandolo  $t_{sp\_m} =$   ns

Per ridurre questo effetto sistematico utilizzate la sonda compensata al posto del cavo coassiale. Capacità vista dal generatore è quella della sonda, circa 10 volte inferiore a quella del 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)

$C_s =$   pF

2. Calcolare la nuova frequenza del polo  $f_p' =$   kHz, con il resistore da 1 k $\Omega$  e sonda compensata.

3. Calcolare il nuovo tempo di salita atteso  $t_{sp}' =$   ns

4. Verificate sperimentalmente l'effetto della sonda dopo averla compensata (l'oscilloscopio ha un generatore ad onda quadra per la compensazione delle sonde)  $t_{sp}'\_m =$   ns

## 3 Aliasing

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

L'oscilloscopio modifica la frequenza di campionamento effettiva sulla base della velocità di scansione impostata dall'utente. Tale frequenza non può superare quella massima del convertitore AD dello strumento (riportata sul pannello frontale) ma può assumere valori molto bassi quando la velocità di scansione è particolarmente lenta (ms/div). In alcune situazioni può quindi manifestarsi il fenomeno dell'aliasing anche in presenza di segnali aventi banda molto inferiore a quella analogica dello strumento.

1. Regolate il generatore di segnali in modo da ottenere un segnale sinusoidale, ampiezza 1V senza offset, frequenza 100 kHz.

2. Collegate il generatore all'oscilloscopio con un cavo coassiale.

3. Regolate l'oscilloscopio in modo da visualizzare il segnale (es. 2.5  $\mu$ s/div).

4. Per il segnale generato, calcolate la minima frequenza di campionamento richiesta dal teorema del campionamento  $f_c =$   kHz.

5. Ricavate (o, in alcuni modelli, leggete) la frequenza di campionamento dell'oscilloscopio<sup>3</sup>  $f_{co} =$   kHz.

<sup>3</sup>

6. dite se il teorema è rispettato e calcolate il numero di campioni presenti in un periodo del segnale.

### 3.2 Aliasing percettivo

1. Riducete la velocità di scansione e osservate come cambia la frequenza di campionamento.
2. Portatevi alla velocità di scansione tale per cui la frequenza di campionamento vale  $f_{co} = 1$  MHz.
3. impostate lo strumento per la visualizzazione a punti

**TDS210** menù Display → a punti;

**TDS380** menù DISPLAY → DOTS.

**Atten** menù DISPLAY → TYPE → DOTS.

**Rigol** riducete la profondità della memoria a 12 kSa (Acquire → Mem Depth → 12k), poi impostate la visualizzazione a punti (Display → Type → Dots).

L'Atten deve essere impostato per l'acquisizione in tempo reale :

menù Acquire → sampling → realtime.

Il Rigol non possiede questa funzionalità (infatti ha un convertitore AD in grado di campionare fino a 1 Gsa/s e una banda  $B_o = 50$  MHz e quindi ....).

Se presente, utilizzate il tasto RUN/STOP per osservare la singola acquisizione.

Il teorema del campionamento è soddisfatto in quanto l'oscilloscopio acquisisce 10 punti per periodo, ma l'immagine non rappresenta una sinusoidale. Giustificate l'immagine ottenuta.

4. Provate a modificare la frequenza del generatore (es. 100.1 kHz).

### 3.3 Effetto dell'aliasing nel dominio del tempo

1. Impostate la frequenza del generatore di segnali a  $f_g = 100.1$  kHz (TDS210, Atten e Rigol) o  $f_g = 101$  kHz (TDS380).
2. Riducete ulteriormente la velocità di scansione fino ad avere una frequenza di campionamento pari a  $f_{co} = 100$  kHz (con l'oscilloscopio impostato come per il punto precedente). Misurate con l'oscilloscopio la frequenza del segnale osservato (aiutatevi con RUN/STOP)  $f_s = \text{ } \text{Hz}$ . Giustificate il fenomeno.
3. Riportate ora la frequenza del generatore di segnali a  $f_g = 100$  kHz. Giustificate l'immagine ottenuta.
4. Provate altre combinazioni frequenza-segnale/frequenza-campionamento.

## 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.

---

**TDS210 e Atten** L'oscilloscopio non indica la frequenza di campionamento ma potete calcolarla sapendo che l'oscilloscopio acquisisce e visualizza 2500 punti, quindi 250 punti per divisione. Se la velocità di scansione è di  $v_s = 2.5 \mu\text{s}/\text{div}$  la frequenza di campionamento risulta  $f_c = 1/(v_s/250) = 100$  MHz.

**TDS380** La frequenza di campionamento è indicata sullo schermo in alto a sinistra

**Rigol** la frequenza è riportata nella parte alta dello schermo.