

# Esercitazione 1: Misure di tensione, corrente, tempi, frequenze

Gruppo bE  
Alessandro Candido, Roberto Ribatti

7 ottobre 2016

## 1 Scopo e strumentazione

Lo scopo dell'esercitazione è di impraticarsi con la strumentazione disponibile in laboratorio. Abbiamo usato multimetro, oscilloscopio, alimentatore da banco e generatore di funzioni d'onda.

## 2 Misure di tensione e corrente

### 2.1 Partitore di tensione $\sim 1k\Omega$

Si è costruito il partitore di tensione illustrato nella scheda (al punto 2.b) usando due resistenze  $R_1 = 976 \pm 9 \Omega$  e  $R_2 = 974 \pm 9 \Omega$ . Si è variata la tensione dell'alimentatore tra 0 V e 10 V e volta per volta si è misurata con il multimetro digitale la tensione erogata dall'alimentatore  $V_{in}$  e ai capi della resistenza  $R_2$ ,  $V_{out}$ . Gli errori sono stati ottenuti usando le indicazioni del manuale del multimetro. Il rapporto atteso tra le due tensioni è  $1/(1 + (R_1/R_2)) = 0.499 \pm 0.005$ . I risultati della misura sono qui di seguito riportati:

Tensione $V_{in}$ [V]	Tensione $V_{out}$ [V]
$0.1740 \pm 0.0010$	$0.0874 \pm 0.0005$
$1.071 \pm 0.006$	$0.535 \pm 0.004$
$1.992 \pm 0.011$	$0.998 \pm 0.006$
$3.190 \pm 0.026$	$1.604 \pm 0.009$
$3.96 \pm 0.03$	$1.991 \pm 0.011$
$5.15 \pm 0.04$	$2.580 \pm 0.023$
$6.10 \pm 0.04$	$3.050 \pm 0.025$
$7.13 \pm 0.05$	$3.570 \pm 0.028$
$8.07 \pm 0.05$	$4.04 \pm 0.03$
$9.11 \pm 0.06$	$4.56 \pm 0.03$
$10.17 \pm 0.06$	$5.09 \pm 0.04$

Tabella 1: Dati raccolti

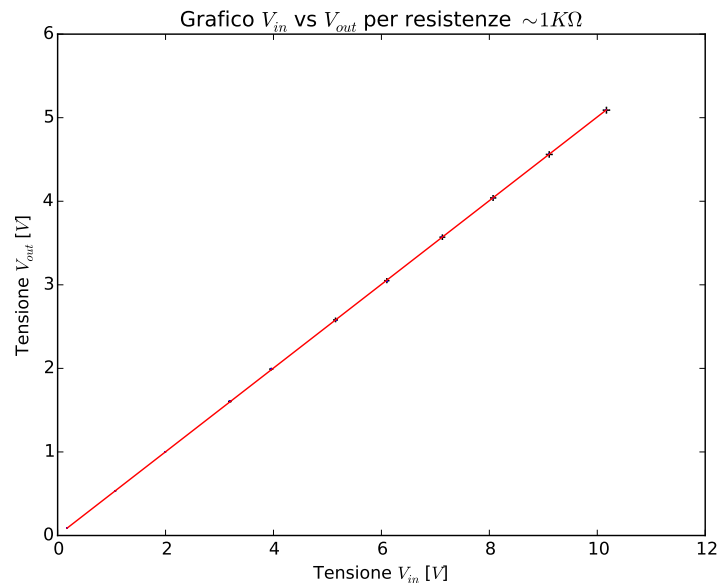


Figura 1: Grafico delle misure e del fit

Come atteso il rapporto tra le tensioni è costante, ovvero la relazione che lega  $V_{out}$  e  $V_{in}$  è lineare. Abbiamo eseguito un fit lineare numerico che tenesse conto degli errori su entrambi gli assi poiché gli errori sono confrontabili. I risultati del fit sono:  $V_{out}/V_{in} = 0.5009 \pm 0.0016$ , e un valore pari a  $0.2 \pm 0.8$  mV dell'intercetta. Abbiamo ottenuto  $\chi^2/\text{ndof} = 1.16/9$ .

**Conclusioni** Il valore del  $\chi^2$  è lontano dal valor medio della distribuzione, probabilmente perché le incertezze del tester digitale sono sovrastimate. La misura tuttavia è da confrontare con quella prevista a partire dalla misura delle resistenze, e risulta compatibile entro gli errori. Inoltre per l'intercetta si ha una misura di 0.

## 2.2 Partitore di tensione $\sim 4M\Omega$

Si sono usate adesso resistenze  $R_1 = 4.87 \pm 0.07 M\Omega$  e  $R_2 = 3.70 \pm 0.06 M\Omega$  e si è proceduto alla stessa misura del punto precedente. La relazione è lineare, ma non col coefficiente atteso se l'impedenza di ingresso del multimetro fosse trascurabile. Questa infatti da manuale ammonta a  $10 M\Omega$ , ed è confrontabile con le resistenze in gioco.

Tensione $V_{in}$ [V]	Tensione $V_{out}$ [V]
$0.1942 \pm 0.0011$	$0.0895 \pm 0.0005$
$0.998 \pm 0.006$	$0.458 \pm 0.003$
$1.986 \pm 0.011$	$0.913 \pm 0.006$
$3.030 \pm 0.025$	$1.400 \pm 0.008$
$4.03 \pm 0.03$	$1.864 \pm 0.010$
$5.11 \pm 0.04$	$2.350 \pm 0.022$
$6.04 \pm 0.04$	$2.780 \pm 0.024$
$7.09 \pm 0.05$	$3.260 \pm 0.026$
$8.09 \pm 0.05$	$3.710 \pm 0.029$
$9.12 \pm 0.06$	$4.19 \pm 0.03$
$10.06 \pm 0.06$	$4.62 \pm 0.03$

Tabella 2: Dati raccolti

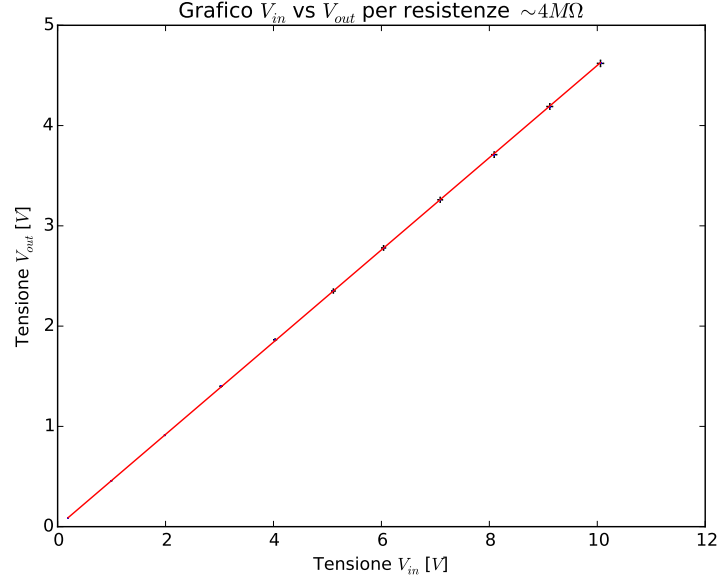


Figura 2: Grafico delle misure e del fit

Il fit è stato eseguito come al punto precedente e i valori ottenuti sono  $V_{out}/V_{in} = 0.4600 \pm 0.0015$  e per l'intercetta  $0.2 \pm 0.8 mV$ . Si è ottenuto inoltre  $\chi^2/ndof = 1.94/9$ .

**Conclusioni** Perciò sia per quanto riguarda l'intercetta che il  $\chi^2$  si applicano le stesse considerazioni del punto precedente. Per quanto riguarda la pendenza della retta ci saremmo attesi un valore pari a  $1/(1 + (R_1/R_2)) = 0.568 \pm 0.004$ , che evidentemente non è compatibile con quanto risulta dal fit. Il motivo di ciò è, come detto sopra, l'impedenza d'ingresso del tester digitale.

**Impedenza d'ingresso** Considerando l'impedenza del tester si ottiene per la pendenza  $\frac{1}{1+R_1(1/R_2+1/R_T)}$ , dove si è indicato con  $R_T$  la resistenza interna del tester. Invertendo la formula e propagando l'errore si trova  $R_T = 9.0 \pm 0.7 M\Omega$ .

## 2.3 Partitore di corrente

È stato realizzato il partitore di tensione illustrato nella scheda (al punto 2.e) con resistenze di valori:  $R_1 = 217 \pm 3 \Omega$ ,  $R_2 = 549 \pm 6 \Omega$  e  $R_3 = 100.0 \pm 0.8 k\Omega$ . Si è proceduto a misurare l'intensità di corrente passante per le resistenze  $R_1$  e  $R_2$  e la tensione di alimentazione, per mezzo del multimetro digitale.

I risultati delle misure sono stati: una tensione  $V = 19.74 \pm 0.12 V$  e intensità di corrente  $I_1 = 49 \pm 1 \mu A$  e  $I_2 = 129 \pm 2 \mu A$ .

Trattandosi di un partitore di corrente le correnti previste sono:

$$I_1 = \frac{V}{R_{tot}} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_2 = \frac{V}{R_{tot}} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

dove  $V/R_{tot}$  è la corrente totale. In questo caso  $R_{tot} = R_3 + R_1//R_2$  (con  $R_1//R_2$  indico il parallelo di  $R_1$  e  $R_2$ ) e con ottima approssimazione  $I_{tot} = V/R_3$  poichè  $R_3 \gg R_1//R_2 \sim 160 \Omega$ .

Perciò le correnti attese sono  $I_1 = 54.9 \pm 1.6 \mu A$  e  $I_2 = 139 \pm 4 \mu A$ .

**Conclusioni** Le misure ottenute non sono strettamente compatibili con i risultati attesi entro l'errore, ma lo sono entro  $2\sigma$ . Probabilmente ciò è dovuto all'impedenza d'ingresso dell'oscilloscopio.

### 3 Uso dell'oscilloscopio

È stato realizzato nuovamente il circuito al punto 2.c della scheda e questa volta si è proceduto alle misure di tensione con l'oscilloscopio. In maniera simile al punto precedente possiamo determinare l'impedenza di ingresso dell'oscilloscopio.

Le resistenze in uso sono  $R_1 = 3.83 \pm 6 \text{ M}\Omega$  e  $R_2 = 3.95 \pm 6 \text{ M}\Omega$ .

Le misure effettuate sono:  $V_{in} = 19.6 \pm 0.6 \text{ V}$  e  $V_{out} = 3.36 \pm 0.11 \text{ V}$ , con errori calcolati a partire dalle specifiche del manuale. L'impedenza di ingresso dell'oscilloscopio determinata come prima è  $R_T = 1.0 \pm 0.1 \text{ M}\Omega$ , che è in perfetto accordo con l'impedenza indicata dal manuale di  $1.00 \pm 0.02 \text{ M}\Omega$ .

Nell'ambito di questa misura si è confrontato come richiesto le funzioni DC e AC dell'oscilloscopio, constatando come aspettato che in AC si legge un segnale che non si discosta dalla massa, mancando in questo segnale componenti oscillanti.

### 4 Misure di frequenza, di tempo

Si è usato il generatore di forme d'onda per produrre le varie sinusoidi con le frequenze richieste e si è misurato le varie frequenze sia mediante il frequenzimetro dell'oscilloscopio, sia con i cursori.

L'errore è stato valutato per il frequenzimetro come da manuale, mentre per la lettura con i cursori si è considerata come incertezza 0.1 DIV ( $\sim 1\%$ ).

**Errore del frequenzimetro** Si è considerato come errore sulla lettura del frequenzimetro l'ultima cifra significativa stabile sul display, errore che domina quello riportato nel manuale (50ppm).

Per quanto riguarda le misure ottenute nei due modi descritti si ha che esse sono compatibili entro l'errore, in particolare quello sulla lettura effettuata con i cursori che domina sull'altro.

**Nota** Si è riportato l'errore sul cursore con due cifre significative, in quanto era quella la precisione su tale errore. Per quello invece sulla misura del frequenzimetro si è riportata una sola cifra, infatti l'errore è stato stimato col procedimento descritto, e la precisione non è sufficiente per specificare la cifra seguente.

freq lettura [kHz]	freq frequenzimetro [kHz]
$0.992 \pm 0.010$	$0.9911 \pm 0.0001$
$9.92 \pm 0.10$	$9.894 \pm 0.001$
$98.4 \pm 1.0$	$98.09 \pm 0.01$
$985 \pm 10$	$984.6 \pm 0.1$

Tabella 3: frequenze misurate all'oscilloscopio

Per quanto riguarda il duty cycle delle onde quadre si è impostato il valore richiesto nel caso di un duty cycle pari a 10% e 50%, misurando con i cursori, mentre per quanto riguarda il duty cycle pari a 90% si è ottenuto mediante la funzione INV del generatore a partire dal duty cycle pari a 10%.

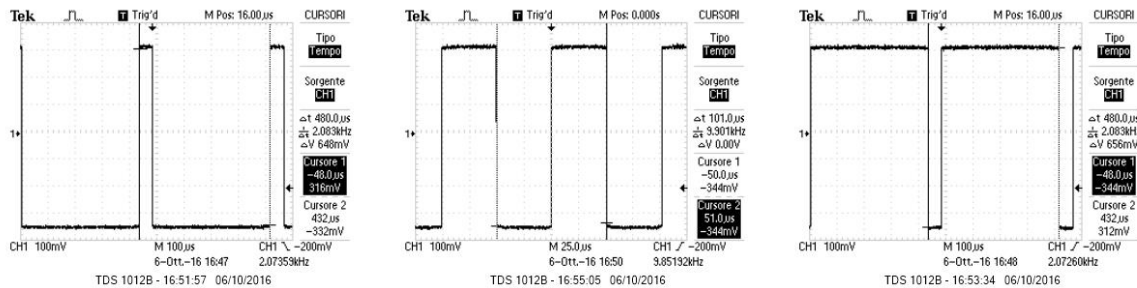


Figura 3: Duty cycle del 10%, 50% e 90% rispettivamente

### 5 Trigger dell'oscilloscopio

Si è osservato il segnale di pulse del generatore di forme d'onda, confrontandolo sia con un'onda quadra che con una sinusoidale, entrambe prodotte dallo stesso generatore. La relazione fra il segnale di sincronizzazione e la portante dell'onda osservata è uno sfasamento di mezzo periodo, come appare evidente nel caso dell'onda

quadra, e si verifica anche per la sinusoide identificando lo stato alto del pulse con il fronte di salita della sinusoide e il basso con la discesa.

I segnali osservati sono riportati in Figura4.

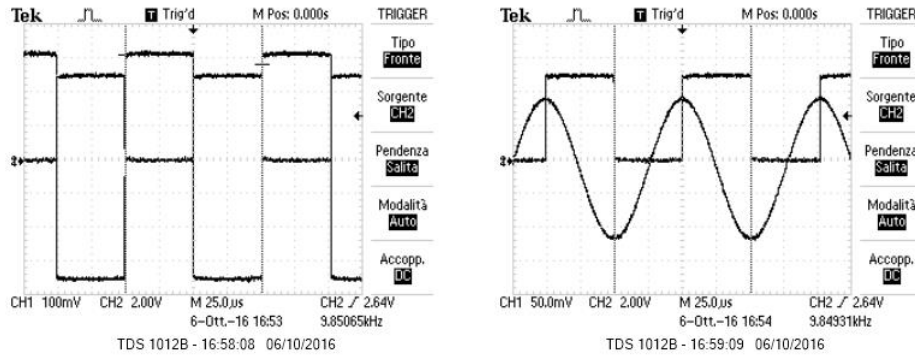


Figura 4: Segnale di pulse a confronto con un'onda quadra e una sinusoide

Si è dunque eseguita l'ultima parte dell'esercitazione, visualizzando un'onda quadra prodotta dal generatore a una frequenza di 900kHz.

Così come si osserva dalle immagini è evidente che il tempo impiegato dai fronti di salita e discesa è non nullo, anche se al generatore è stata richiesta un'onda quadra.

I valori misurati sono  $t_{raise} = (64.0 \pm 0.9) \text{ ns}$  e  $t_{fall} = (64.0 \pm 0.9) \text{ ns}$ , cioè uguali entro l'errore, si veda Figura5.

Si è dunque eseguita l'ultima parte dell'esercitazione, visualizzando un'onda quadra prodotta dal generatore a una frequenza di  $\sim 660 \text{ kHz}$ . Così come si osserva dalla Figura5 è evidente che il tempo impiegato dai fronti di salita e discesa è non nullo, anche se al generatore è stata richiesta un'onda quadra. I valori misurati sono  $t_{raise} = (64.0 \pm 0.9) \text{ ns}$  e  $t_{fall} = (64.0 \pm 0.9) \text{ ns}$ , cioè uguali entro l'errore. Per quanto riguarda invece i fenomeni di overshoot, undershoot essi si possono osservare qualitativamente dalla Figura5, ma alla frequenza scelta non sono ancora troppo marcati (rimangono piccoli rispetto all'ampiezza dell'onda quadra).

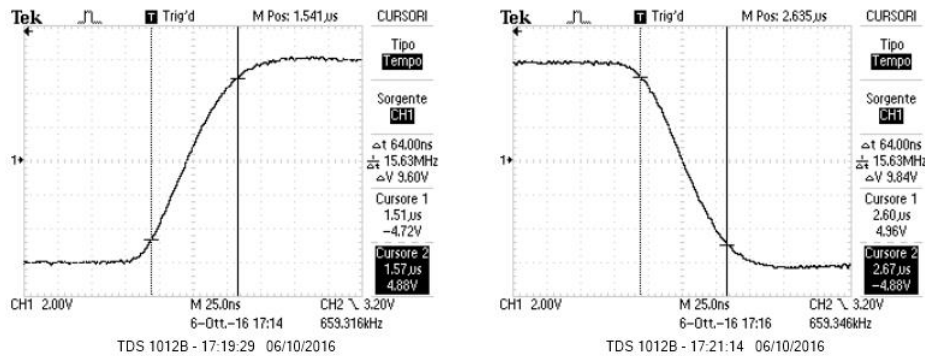


Figura 5: Misura del raise time e fall time

## 6 Conclusioni e commenti finali

Di questa esperienza abbiamo capito il giusto, purtroppo non abbiamo fatto saltare nessun fusibile!