Politecnico di Torino
Prova scritta - 2023-09-05

Sistemi Elettronici, Tecnologie e Misure
PARTE DI MISURE

Cognome ....

Nome ....

Matricola ....

Aula ....

Domande a risposta multipla (indicare con X la risposta corretta nella tabella)

Quesito	1	2	3	4	
Risposta a	X				
Risposta b					
Risposta c		X	X	X	
Risposta d					
Punteggio totale					

1) Indicare quale affermazione è vera riguardo un voltmetro basato sullo schema a doppia rampa
   a) il voltmetro è insensibile ai disturbi se si adottano particolari accorgimenti sul tempo di integrazione
   b) il valore di lettura dipende da R e C usati nel circuito di integrazione
   c) il voltmetro è insensibile ai disturbi se si adottano particolari accorgimenti riguardo la tensione di riferimento utilizzata nel circuito di integrazione
   d) il valore di lettura non dipende dalla tensione di riferimento
   v. teoria svolta a lezione

2) Un voltmetro digitale dispone di due portate: 10 V e 100 V. L'incertezza è espressa secondo la formula binomia ±(0.01% V_{letto} + 0.005% V_{fs}) V. Nel misurare una tensione di 5 V:
   a) non posso valutare l'incertezza in quanto non conosco la resistenza di ingresso
   b) l'incertezza strumentale è di 5.1 mV
   c) l'incertezza strumentale è di 1 mV
   d) l'incertezza strumentale è di 100 mV
   Il fondo scala utilizzato è pari a 10 V da cui, in base alla formula binomia che rappresenta l'incertezza si ottiene: ±(0.01% V_{letto} + 0.005% V_{fs}) = (0.01% 5 + 0.005% 10 V) = 1 mV

3) Il circuito equivalente di ingresso di un oscilloscopio corrisponde
   a) ad una resistenza di ingresso di 1 MΩ con, in serie, una capacità di circa 20 pF
   b) ad una resistenza di ingresso di 1 MΩ con, in serie, una capacità di circa 20 mF
   c) ad una resistenza di ingresso di 1 MΩ con, in parallelo, una capacità di alcune decine di picofarad
   d) idealmente corrisponde ad un corto circuito
   v. teoria svolta a lezione

4) Il selettore d'ingresso di un oscilloscopio riporta le seguenti modalità di accoppiamento di un canale di misura: AC, DC, GND. Indicare l'affermazione corretta:

   (a) L'accoppiamento AC permette di utilizzare la rete di alimentazione in alternata come trigger esterno.
   (b) L'accoppiamento DC permette di visualizzare la sola componente continua del segnale in ingresso.
   (c) L'accoppiamento DC permette di visualizzare la componente alternata e la componente continua del segnale in misura.
   (d) L'accoppiamento GND permette di passare da una misura differenziale ad una misura rispetto a massa.
   v. teoria svolta a lezione

ESERCIZIO

Si vuole misurare il tempo di salita di un segnale con un oscilloscopio caratterizzato da:

banda passante B = 2 GHz; resistenza di ingresso R_{IN} = 50 Ω (incertezza trascurabile);
capacità di ingresso C_{IN} = (10 ± 0.5) pF
incertezza relativa del fattore di taratura orizzontale: ± 0.05 %

Il generatore di segnale, che presenta una resistenza di uscita di 50 Ω (incertezza trascurabile), è collegato all'oscilloscopio attraverso un cavo coassiale della lunghezza di 90 cm (incertezza trascurabile) e capacità distribuita pari a 100 pF/m, ±10%.

Impostando il fattore di taratura orizzontale dell'oscilloscopio al valore K_X = 5 ns/div si ottiene una lettura del tempo di salita sullo schermo dell'oscilloscopio pari a (8 ± 0.05) div.

Valutare valore nominale e incertezza del tempo di salita t_X del segnale.

Soluzione

Modello di misura

Il tempo di salita t_{sm} misurato dall'oscilloscopio può essere valutato come:

$$t_{\text{sm}} = L_{\text{ts}} \cdot K_{\text{X}} = 8 \cdot 5 = 40 \text{ ns}$$

da cui deriva che l'incertezza relativa è pari a:

$$\varepsilon t_{\text{sm}} = \varepsilon L_{\text{ts}} + \varepsilon K_{\text{X}} = \frac{\delta L_{\text{ts}}}{L_{\text{ts}}} + \varepsilon K_{\text{X}} = \frac{0.05}{8} + 0.0005 = 0.00625 + 0.0005 = 0.00675$$

che corrisponde ad un incertezza assoluta:

$$\delta t_{\text{sm}} = \varepsilon t_{\text{sm}} \cdot t_{\text{sm}} = 0.00675 \cdot 40 = 0.27 \text{ ns}$$

Tenendo conto dell'effetto di carico dovuto alla banda limitata dell'oscilloscopio[1] e del circuito di ingresso, il tempo di salita t_X del segnale può essere stimato come:

$$t_{\text{X}} = \sqrt{t_{\text{sm}}^2 - t_{\text{sO}}^2 - t_{\text{sIN}}^2} \approx \sqrt{t_{\text{sm}}^2 - t_{\text{sIN}}^2} =$$
$$= \sqrt{(L_{\text{ts}} \cdot K_{\text{X}})^2 - \left(0.35 \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_{\text{eq}} \cdot C_{\text{eq}}\right)^2} \approx 39.62 \text{ ns}$$

dove $R_{eq} = R_G // R_{IN}$ = 25 Ω; $C_{eq} = C_d + C_{IN}$ = 90 pF + 10 pF = 100 pF.

L'effetto sistematico è, in valore assoluto, pari a ($t_{sm} - t_X$) = 0.38 ns, che è dello stesso ordine di grandezza dell'incertezza valutata per t_{sm}, per cui il modello di misura da utilizzare è il seguente:

$$t_X = \sqrt{(L_{ts} \cdot K_X)^2 - \left(0.35 \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_{\text{eq}} \cdot C_{\text{eq}}\right)^2}$$

Valutazione del misurando

Sostituendo i valori numerici nel modello di misura si ottiene:

$$t_X \approx 39.620 \ldots \text{ ns}$$

[1] In questo caso trascurabile.

Valutazione dell'incertezza

$$\delta t_X = \left|\frac{\partial t_X}{\partial L_{ts}}\right| \cdot \delta L_{ts} + \left|\frac{\partial t_X}{\partial K_X}\right| \cdot \delta K_X + \left|\frac{\partial t_X}{\partial C_{tot}}\right| \cdot \delta C_{tot} =$$
$$= \frac{1}{t_X} \cdot L_{ts} \cdot K_X^2 \cdot \delta L_{ts} + \frac{1}{t_X} \cdot K_X \cdot L_{ts}^2 \cdot \delta K_X + \frac{1}{t_X} \cdot \left(0.35 \cdot 2 \cdot \pi \cdot R_{\mathrm{eq}}\right)^2 \cdot C_{\mathrm{eq}} \cdot \delta C_{\mathrm{eq}}$$

Le incertezze assolute delle grandezze presenti nel modello di misura sono ottenute a partire dai dati forniti:

$$\delta L_{ts} = 0.05 \text{ div}; \quad \delta K_X = 0.0005 \cdot 5 \cdot 10^{-9} = 2.5 \text{ ps/div}$$
$$\delta C_{\mathrm{eq}} = \delta C_{\mathrm{d}} + \delta C_{\mathrm{IN}} = 0.1 \cdot 90 \cdot 10^{-12} + 0.5 \cdot 10^{-12} = 9.5 \text{ pF}$$

Infine si ottiene:

$$\delta t_X = 5.05 \cdot 10^{-9} \cdot 0.05 + 8.08 \cdot 2.5 \cdot 10^{-12} + 30.5 \cdot 9.5 \cdot 10^{-12} =$$
$$= 2.52 \cdot 10^{-10} + 2.02 \cdot 10^{-11} + 2.90 \cdot 10^{-10} \approx 0.562 \ldots \text{ ns}$$

Dichiarazione finale della misura

$$\boxed{t_X = (39.62 \pm 0.56)\ ns}$$