

MISURE E STRUMENTAZIONE**8 settembre 2020****Prof. Michele Norgia****Quinto appello AA 2019/2020****Tempo a disposizione 1 h 50 min (55 min solo II parte)**

Cognome e nome: _____ (stampatello)

Matricola e firma _____ (firma leggibile)

Esercizi svolti (almeno parzialmente): precompito 1 2 3 4 (7+8+5+7+5 =32p) (croccettare)Croccettare SOLO SECONDA PARTE (ESERCIZI 3 e 4)**SOLUZIONI****(30 min)****Esercizio 1***(svolgere su questo foglio e sul retro)*

1) Un motoscafo sta viaggiando alla velocità $v_T=30$ nodi, come indicato dal tachimetro analogico di bordo che ha una incertezza tipo del 5 %. Una misura indipendente della stessa velocità, ottenuta attraverso il ricevitore GPS del motoscafo, ha fornito il valore $v_{GPS}=55$ km/h con incertezza $U(v_{GPS})=5.4$ km/h per $k=2$. La massa $m=2000$ kg del motoscafo è nota mediante una pesata su una pesa digitale per barche (strumento "ideale"), con risoluzione $\Delta m=200$ kg.

N.B. 1 nodo=1.8 km/h, per definizione.

- 1a) Si esprimano in notazione compatta i risultati delle due misure di velocità e se ne discuta la compatibilità.
- 1b) Si ricavi la miglior stima per la velocità v del motoscafo e la sua incertezza standard $u(v)$. Si calcoli anche l'incertezza relativa sulla velocità del motoscafo.
- 1c) Si ricavi l'energia cinetica E_c del motoscafo e la sua incertezza estesa per un fattore di copertura pari a 3.

1a) $v_T=30$ nodi=54 km/h e $u(v_T)=5\% \cdot v_T=2.7$ km/h
 $u(v_{GPS})=U(v_{GPS})/k=(5.4 \text{ km/h})/2=2.7 \text{ km/h}=u(v_T)$

In notazione compatta, le due misure sono: $v_T=54.0(27)$ km/h e $v_{GPS}=55.0(27)$ km/h.

Per valutare la compatibilità tra le due misure indipendenti, occorre considerare la disequazione:

$$|v_T - v_{GPS}| \leq k_c \sqrt{u^2(v_T) + u^2(v_{GPS})}$$

dove k_c è il fattore di copertura per la compatibilità, che tipicamente può assumere i valori 1, 2, 3. Sostituendo i valori del caso, si ottiene

$$1 \text{ km/h} \leq k_c \cdot \sqrt{2} \cdot 2.7 \text{ km/h}$$

che è verificata **già per $k_c=1$** (e a maggior ragione per $k_c=2, 3$). **Le due misure sono dunque compatibili.**

1b) La miglior stima della velocità del motoscafo si ottiene dalla media pesata tra le due misure compatibili:

$$v = v_{MP} = \frac{\frac{v_T}{u^2(v_T)} + \frac{v_{GPS}}{u^2(v_{GPS})}}{\frac{1}{u^2(v_T)} + \frac{1}{u^2(v_{GPS})}} = \frac{v_T + v_{GPS}}{2} = 54.5 \text{ km/h}$$

Si osserva che, essendo le due incertezze uguali tra loro, la media pesata cade al centro tra le due misure.

L'incertezza della media pesata è

$$u(v) = u(v_{MP}) = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{u^2(v_T)} + \frac{1}{u^2(v_{GPS})}}} = \frac{u(v_T)}{\sqrt{2}} = 1.9 \text{ km/h}$$

L'incertezza relativa sulla velocità del motoscafo è $u_r(v) = u(v)/v = (1.9)/54.5 = 3.5 \times 10^{-2}$.

1c) L'energia cinetica è $E_c = \frac{1}{2}mv^2 = 229\,186 \text{ J} \cong 230 \text{ kJ}$, avendo considerato come velocità la media pesata $v = 54.5 \text{ km/h} = (54.5/3.6) \text{ m/s} = 15.14 \text{ m/s}$.

L'incertezza sulla massa m è $u(m) = \Delta m / \sqrt{12} = 58 \text{ kg}$ e la corrispondente incertezza relativa è $u_r(m) = u(m)/m = (58)/(2000) = 2.9 \cdot 10^{-2}$.

L'incertezza relativa dell'energia cinetica è $u_r(E_c) = \sqrt{u_r^2(m) + 4u_r^2(v)} \cong 7.6 \cdot 10^{-2} = 7.6 \%$ e l'incertezza assoluta è dunque $u(E_c) = 0.1 E_c = 17 \text{ kJ}$. La corrispondente incertezza estesa per $k=3$ è $U(E_c) = k \cdot u(E_c) = 52 \text{ kJ}$.

(15 min)

Esercizio 2

(svolgere su questo foglio e sul retro)

2) Per la misura della temperatura di una scheda DAQ si utilizza un sensore NTC, alimentato da un generatore di corrente costante pari a $100 \mu\text{A}$ e letto da un amplificatore a buffer.

2a) Inizialmente si effettua una taratura del sensore a due temperature note. A $T=25^\circ\text{C}$ si misura una tensione $V_{\text{NTC},25}=1 \text{ V}$, a $T=0^\circ\text{C}$ si misura invece una tensione $V_{\text{NTC},0}=3.3 \text{ V}$. Si ricavino i valori dei parametri (R_0 e β) dell'NTC impiegato in questa misura.

2b) Con scheda DAQ intendiamo acquisire il segnale di temperatura proveniente dall'NTC, con temperature variabili tra 0°C e 100°C . Si desidera una risoluzione in tensione di almeno 1 mV . La DAQ ha un campionatore interno con dinamica $\pm 5 \text{ V}$ e guadagni impostabili 1, 10, 100. Si indichi il numero di bit necessario per effettuare correttamente la misura.

2a) In prima approssimazione la resistenza di un NTC è data dalla relazione esponenziale

$$R_{\text{NTC}} = R_0 e^{-\beta \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right)}, \text{ dove } T_0 = 298.15 \text{ K (} 25^\circ\text{C)}.$$

Il sensore è alimentato a corrente costante, per cui il suo valore di resistenza si ricava direttamente dalla tensione misurata ai suoi capi: $R_{\text{NTC}} = V_{\text{NTC}} / 100 \mu\text{A}$.

Alla temperatura di 25°C l'esponente si annulla, quindi $R_0 = R_{\text{NTC},25} = V_{\text{NTC},25} / 100 \mu\text{A} = 10 \text{ k}\Omega$ (del resto R_0 è proprio definito come la resistenza dell'NTC a 25°C).

Alla temperatura di 0°C $R_{\text{NTC},0} = V_{\text{NTC},0} / 100 \mu\text{A} = 33 \text{ k}\Omega$, da cui si ricava il valore di β invertendo l'equazione dell'NTC:

$$\beta = \frac{T_0 T}{T_0 - T} \ln \left(\frac{R_{\text{NTC},0}}{R_0} \right) = \frac{298.15 \times 273.15}{298.15 - 273.15} \ln \left(\frac{33}{10} \right) \cong 3889 \text{ K}$$

2b) Le dinamiche d'ingresso selezionabili dalla scheda sono $\pm 50 \text{ mV}$, $\pm 500 \text{ mV}$, $\pm 5 \text{ V}$.

La dinamica del segnale va da 3.3 V (corrispondenti alla misura di 0°C) a 73 mV (corrispondenti alla misura di 100°C), per cui selezioniamo $\pm 5 \text{ V}$.

$$N = \text{dinamica} / \text{risoluzione} = 10 \text{ V} / 1 \text{ mV} = 10000.$$

Per cui il numero di bit richiesti per questo canale è $n = 14$ ($2^n = 16384$).

(25 min)

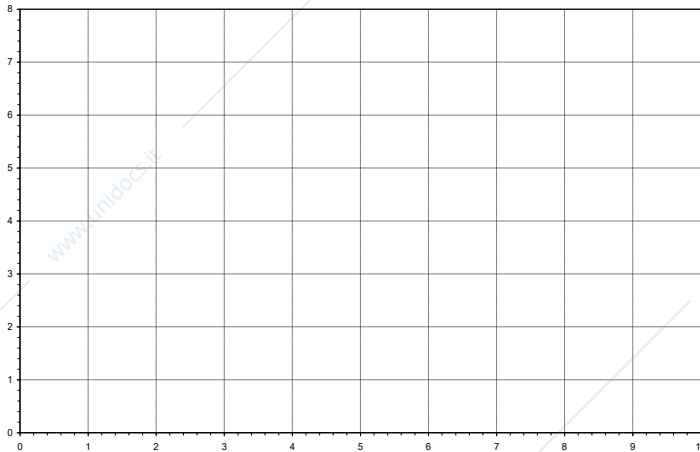
Esercizio 3

(svolgere su questo foglio e sul retro)

3) Con un oscilloscopio digitale (200 MHz, 2 canali) si vuole caratterizzare in frequenza un filtro passa-basso a singolo polo, con banda di 2 MHz. Per effettuare la misura si utilizza un generatore di funzioni con ampiezza di picco di 1 V, frequenza variabile tra 100 kHz e 1 GHz, ma con una tensione continua di *offset* instabile, che varia tra ± 0.5 V fluttuando su tempi dell'ordine dei minuti.

3a) Descrivere la modalità di misura che si intende effettuare (connessioni e procedura).

3b) Si desidera inoltre misurare lo sfasamento indotto dal filtro alla frequenza nominale del polo. Si descriva la misura, indicando tutte le impostazioni dello strumento utili a visualizzare i segnali di misura e riportando la schermata corrispondente dell'oscilloscopio.



3a) Caratterizzare in frequenza un filtro attraverso il suo diagramma di Bode.

Per tracciare il diagramma di Bode dell'ampiezza è necessario acquisire, in funzione della frequenza, il rapporto tra l'ampiezza della sinusoide in uscita (OUT) al filtro e di quella in ingresso (IN). Per il diagramma di fase bisogna invece misurare, in funzione della frequenza, lo sfasamento tra i due segnali IN e OUT.

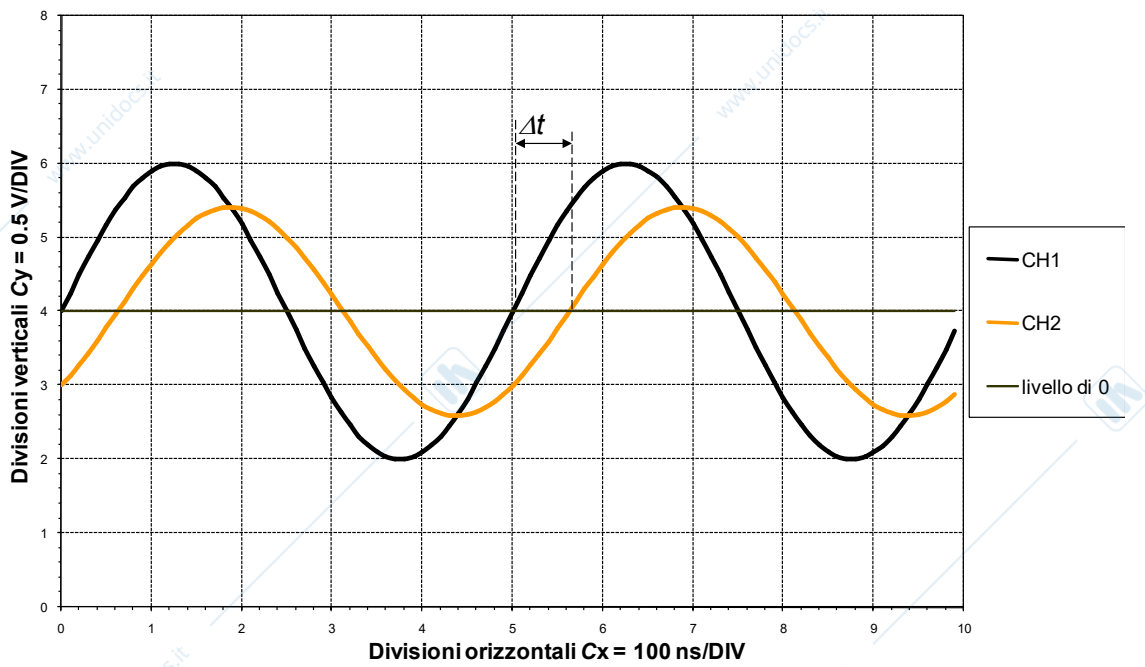
MODALITÀ DI MISURA:

Si collega l'uscita del generatore di funzioni al primo canale dell'oscilloscopio (CH1) e anche all'ingresso del filtro da misurare; l'uscita del filtro va collegata invece al secondo canale dell'oscilloscopio (CH2).

L'ampiezza del generatore di funzioni (onda sinusoidale) ha il valore fisso pari a 1 V di picco. La misura richiede di variare la frequenza all'incirca da una decade prima della frequenza del polo sino a una decade dopo (da 200 kHz a 20 MHz), acquisendo ad esempio 3 punti per decade (ad esempio a multipli di 1, 2, 5). Volendo l'acquisizione può essere più fitta in prossimità della frequenza del polo.

3c) Ci poniamo alla frequenza nominale del polo (2 MHz pari a $T = 500$ ns). Impostiamo la scala orizzontale in modo da visualizzare due periodi ($T_{2p} = 1$ μ s), per cui $C_x = 100$ ns/DIV; e le due scale verticali a 0.5 V/DIV. In questo modo otteniamo lo schermo mostrato in figura.

Per la misura di sfasamento, misuriamo il periodo T della sinusoide d'ingresso (CH1) contando le divisioni orizzontali e moltiplicando il risultato per il coefficiente di deflessione orizzontale (dovrà corrispondere a $T = 50$ ns). Misuriamo quindi la distanza temporale Δt tra l'attraversamento della linea di zero del CH1 e l'attraversamento della linea di zero del CH2 (distanza in divisioni moltiplicata per il coefficiente di deflessione orizzontale). Quindi ricaviamo lo sfasamento dalla relazione $\phi = -(\Delta t/T) \cdot 360^\circ$. Alla frequenza del polo ci aspettiamo $\phi = -45^\circ$.



(20 min)

Esercizio 4

(svolgere su questo foglio e sul retro)

4) Si intende progettare un voltmetro a doppia rampa per l'utilizzo in un multimetro, con dinamica da 0 V a 4 V, risoluzione di 2 μ V e frequenza di campionamento di almeno 2.5 Sa/s.

4a) Quanti bit e quante cifre decimali deve avere il voltmetro da realizzare?

4b) Si determini il tempo di integrazione da implementare, in modo tale da poter rispettare le specifiche e fornire inoltre reiezione infinita ai disturbi provenienti dalla rete e a tutti i disturbi con frequenza multipla di 5 Hz.

4c) Si determinino gli altri parametri costruttivi del voltmetro per rispettare le specifiche (tensione di riferimento interna e frequenza del *clock*), nell'ipotesi di mantenere la frequenza di *clock* più bassa possibile.

4a) Il numero di livelli del voltmetro è $4 \text{ V} / 2 \mu\text{V} = 2 \times 10^6$, corrispondenti a 6 cifre e mezza. Il numero di bit necessari è $n = \log_2 2 \times 10^6 \cong 21$.

4b) Il tempo di integrazione che fornisce reiezione infinita ai disturbi alla frequenza di 5 Hz è un multiplo intero di 0.2 s. Questo tempo di integrazione fornisce automaticamente reiezione infinita anche a tutte le frequenze multiple di 5 Hz (compresa quindi anche la frequenza di rete). Scegliamo come tempo di integrazione di progetto proprio $T_I = 0.2$ s, in quanto un qualsiasi suo multiplo non permetterebbe di rispettare la specifica di ottenere almeno 2.5 letture al secondo.

4c) La specifica impone 2×10^6 come numero massimo di conteggi nella fase di discesa. Per minimizzare la frequenza di *clock*, a numero di conteggi fissato, è necessario utilizzare il tempo di discesa più lungo possibile. Dato che il tempo di salita è stato fissato nel punto 2c) a 0.2 s, considerando la specifica di almeno 2.5 letture al secondo, quindi una lettura ogni 0.4 s, il tempo di discesa dovrà valere

$T_D = T_{TOT} - T_I = 0.4 \text{ s} - 0.2 \text{ s} = 0.2 \text{ s}$. In questo modo la frequenza di *clock* deve valere

$$f_{CK} = \frac{N}{T_D} = \frac{2 \times 10^6}{0.2 \text{ s}} = 10 \text{ MHz} .$$

Dato che il tempo di salita è uguale al tempo di discesa, la tensione di riferimento ha il modulo pari al massimo della dinamica unipolare: $V_R = -V_{MAX} = -4 \text{ V}$.

Il numero di conteggi in salita è pari al numero di conteggi in discesa, quindi 2×10^6 .