

Cognome.....Nome.....Matricola.....Firma.....

RICONSEGNARE SEMPRE QUESTO FOGLIO COMPILATO

Misure Meccaniche e Termiche - Prof. Gasparetto

1° prova in itinere del 6 maggio 2015

DOMANDE

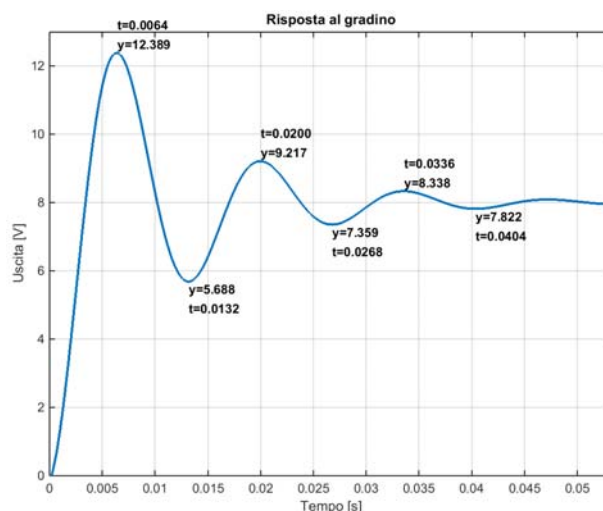
NB Ci si attendono risposte complete ed approfondite ad ogni singola domanda

1. La misura degli angoli: esprimere nome e simbolo della sua unità di misura nonché la grandezza in termini di unità fondamentali.
2. Gli estensimetri a resistenza elettrica: come sono fatti, come si utilizzano, la strumentazione elettrica necessaria, esempi di applicazione che eliminano gli errori noti.
3. La risposta dinamica dei termometri. Leggi di funzionamento, analisi della risposta ad una variazione generica di temperatura.

PROBLEMA A

NB Ci si aspetta che vengano raggiunti tutti i risultati numerici richiesti

4. Uno strumento ha fornito la risposta ad un ingresso a gradino di 4 mm illustrata in figura. Ipotizzare il tipo di strumento (ordine) e valutarne i parametri dinamici.
5. Si decide di acquisire il segnale con una scheda di acquisizione con FS= ± 10 V, risoluzione 16 bit, $f_{\text{camp}}=100$ Hz, osservando il segnale per un tempo pari a quanto in figura. Quali errori si commetteranno? Indicare quanto devono valere i parametri per non incorrere in tali errori.
6. Il segnale proviene da un trasduttore di spostamento con scarto massimo delle letture pari a $3 \mu\text{m}$. Indicare la misura del valore a regime e quale sia la fonte principale di incertezza.
7. Sarebbe possibile misurare lo stesso tipo di movimento con un accelerometro avente FS= ± 1000 m/s²?



PROBLEMA B

Una sonda sulla superficie della cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko misura l'accelerazione di gravità a tramite il periodo di oscillazione T di un pendolo di lunghezza L , dalla relazione: $a=4\pi^2 L/T^2$. La lunghezza $L=25,3423$ mm è stata misurata con un micrometro avente uno scarto tipo di ripetibilità di $5 \mu\text{m}$ e si misura un periodo di oscillazione di $138,178$ s tramite un cronometro avente una risoluzione di 2 ms.

8. Scrivere la misura dell'accelerazione con un livello di confidenza del 99,7%.
9. Indicare quale misuratore contribuisce maggiormente sull'incertezza di misura e indicare quanto dovrebbe valere la sua incertezza se si volesse dimezzare l'incertezza combinata.

NB: le domande avranno la seguente valutazione: 1 (5 punti), 2 (7 punti), 3 (7 punti), problema A (7 punti), problema B (7 punti). Si prevede che la risposta ad ognuna delle domande 2,3,A,B richieda al massimo 20 min.

SOLUZIONE

PROBLEMA A

- 4) Strumento del 2° ordine sottosmorzato perché sono presenti oscillazioni. I parametri sono 3: sensibilità statica k , smorzamento ξ e frequenza propria f_n .

$$k=8 \text{ V} / 4 \text{ mm}=2 \text{ V/mm}$$

$$\xi = \frac{1}{2\pi n} \ln\left(\frac{A_i}{A_{i+n}}\right) = \frac{1}{2\pi \cdot 2} \ln\left(\frac{12.389 - 8}{8.338 - 8}\right) = 0.204$$

$$f_{osc} = n / (t_{i+n} - t_i) = 2 / (0.0336 \text{ s} - 0.0064 \text{ s}) = 73.53 \text{ Hz}$$

$$f_n = \frac{f_{osc}}{\sqrt{1 - \xi^2}} = \frac{73.53 \text{ Hz}}{\sqrt{1 - 0.204^2}} = 75.1 \text{ Hz}$$

- 5) Si commettono i seguenti errori:

- **saturazione** : il segnale supera i +10 V durante la prima oscillazione. Per risolvere il problema dovrei usare una scheda con fondo scala $\pm 20 \text{ V}$ oppure potrei usare un sommatore di tensione impostato con aggiunta di una tensione costante di -5 V, oppure potrei usare un amplificatore di guadagno 0.5x
- **aliasing** : la frequenza di campionamento permette di osservare segnali con frequenza minore della frequenza di Nyquist $f_{Ny} = f_{camp} / 2 = 50 \text{ Hz}$. Per risolvere dovrei campionare a una frequenza superiore a due volte la frequenza del segnale, quindi va bene campionare a 200 Hz.
- **leakage** : osservo il segnale per 0.055 s, pari a 4.1 periodi, ovvero un numero non intero di periodi. Per risolvere dovrei campionare ad esempio per 4 periodi, ovvero 0.0533 s.

Verifico che la **risoluzione** non è un problema in quanto $r = FS / 2^b = 20 \text{ V} / 2^{16} = 0.305 \text{ mV}$ che è molto inferiore rispetto all'ampiezza delle oscillazioni presenti nel segnale.

- 6) Lo scarto massimo delle letture è da intendersi come accuratezza e l'incertezza dello strumento si calcola come:

$$i_{strum} = a / \sqrt{3} = 3 \text{ } \mu\text{m} / \sqrt{3} = 1.73 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$$

L'incertezza della misura contiene anche il contributo della scheda di acquisizione che si calcola a partire dalla risoluzione del convertitore come:

$$i_{AD,V} = r / (2\sqrt{3}) = 0.305 \text{ mV} / (2\sqrt{3}) = 8.80 \cdot 10^{-5} \text{ V}$$

$$i_{AD,mm} = i_{AD,V} / k = 8.80 \cdot 10^{-5} \text{ V} / (2 \text{ V/mm}) = 4.40 \cdot 10^{-5} \text{ mm}$$

L'incertezza combinata si ottiene dalla somma in quadratura dei due contributi:

$$i_{comb} = \sqrt{i_{strum}^2 + i_{AD,mm}^2} = \sqrt{(1.73 \cdot 10^{-3} \text{ mm})^2 + (4.40 \cdot 10^{-5} \text{ mm})^2} = 1.73 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$$

Si ottiene che il contributo del convertitore è trascurabile, come è desiderabile che sia. Quindi **la fonte principale di incertezza è il trasduttore di spostamento.**

Il valore dello spostamento è:

$$s = 8 \text{ V} / (2 \text{ V/mm}) = 4 \text{ mm}$$

e quindi la misura:

$$s = (4.0000 \pm 0.0017) \text{ mm} \text{ (l.c. 68\%)}$$

- 7) Si possono fare due ipotesi: lo spostamento è un gradino, e quindi in quanto tale l'accelerazione corrispondente è infinita e non è possibile misurarla con un accelerometro. Tuttavia non esistono nella realtà gradini ideali, e se si ipotizza che il grafico mostrato sia dello spostamento del sistema oscillante su cui viene posto l'accelerometro, si può calcolare l'accelerazione corrispondente. Di seguito si procede con questa ipotesi.

Bisogna verificare che il valore massimo di accelerazione raggiunta nel transitorio sia inferiore al fondo scala dell'accelerometro. Ottengo il valore di accelerazione derivando due volte il segnale di spostamento, che è composto da una componente a frequenza zero (e quindi derivandola sparisce) e una componente a frequenza di 75.1 Hz con ampiezza approssimabile pari al tratto di curva iniziale (da zero), ovvero pari al valore a regime $A_{i,mm} = 8 \text{ V} / (2 \text{ V/mm}) = 4 \text{ mm}$

$$a = (2\pi f_n)^2 A_{i,mm} = (2\pi \cdot 75.1 \text{ Hz})^2 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 891 \text{ m/s}^2$$

Tale valore risulta inferiore al fondo scala di 1000 m/s^2 e quindi è possibile misurare tale movimento anche con l'accelerometro proposto.

PROBLEMA B

- 8) Accelerazione: $a = 4\pi^2 L / T^2 = 4\pi^2 \cdot 25.3423 \cdot 10^{-3} \text{ m} / (138.178 \text{ s})^2 = 5.2399599 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$

Per il calcolo dell'incertezza combinata è possibile applicare la formula semplificata per produttorie del tipo

$$y = \prod_{i=1}^N x_i^{m_i} \text{ che risulta:}$$

$$i_{comb,rel} = \sqrt{\sum_{i=1}^N (m_i \cdot i_i)^2}$$

Calcolo incertezze:

$$i_L = \sigma = 5 \mu\text{m}$$

$$i_{L,rel} = i_L / L = 5 \cdot 10^{-6} \text{ m} / 25.3423 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 1.973 \cdot 10^{-4}$$

$$i_T = r / (2\sqrt{3}) = 2 \text{ ms} / (2\sqrt{3}) = 0.5774 \text{ ms}$$

$$i_{T,rel} = i_T / T = 0.5774 \cdot 10^{-3} \text{ s} / 138.178 \text{ s} = 4.179 \cdot 10^{-6}$$

$$i_{comb,rel} = \sqrt{i_{L,rel}^2 + (-2 i_{T,rel})^2} = \sqrt{(1.973 \cdot 10^{-4})^2 + (8.357 \cdot 10^{-6})^2} = 1.975 \cdot 10^{-4}$$

$$i_{comb} = i_{comb,rel} \cdot a = 1.975 \cdot 10^{-4} \cdot 5.2399599 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2 = 1.035 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}^2$$

$$i_{comb,est} = i_{comb} \cdot FC(99,7\%) = 1.035 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}^2 \cdot 3 = 3.104 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}^2$$

Misura dell'accelerazione: $a = (5.2400 \pm 0.0031) \cdot 10^{-5} \text{ m/s}^2$ (l.c.=99.7%)

9)

Lo strumento che influisce maggiormente è decisamente il micrometro.

Per dimezzare l'incertezza combinata, dato che il suo contributo è prevalente, basta dimezzare l'incertezza del micrometro.

Volendo calcolare esattamente il valore bisogna invertire l'equazione dell'incertezza combinata relativa, come segue:

$$\frac{i_{comb,rel}}{2} = \sqrt{i_{L,rel}^2 + (-2 i_{T,rel})^2}$$

$$\Rightarrow i'_{L,rel} = \sqrt{\left(\frac{i_{comb,rel}}{2}\right)^2 - (-2 i_{T,rel})^2} = \sqrt{\left(\frac{1.975 \cdot 10^{-4}}{2}\right)^2 - (8.357 \cdot 10^{-6})^2} = 9.840 \cdot 10^{-5}$$

$$i'_L = i'_{L,rel} \cdot L = 9.840 \cdot 10^{-5} \cdot 25.3423 \text{ mm} = 2.49 \mu\text{m} \approx i_L / 2$$