

**Problema 1**

Occorre realizzare un apparato elettronico per misurare la temperatura di un termostato intorno a 200 °C con errore inferiore a 0,5 °C ogni 0,1 s. Il termostato ha una termocoppia tipo J (cioè Fe-Cu/Ni) con sensibilità di circa 60  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ , resistenza di 50  $\Omega/\text{m}$  per un filo, 25  $\Omega/\text{m}$  per l'altro. L'apparato elettronico opera nella sala di controllo, a circa 10 m dalla giunzione della termocoppia. Tra i potenziali di massa in sala e nel termostato c'è una differenza elevata, tipicamente 20 V. Sono disponibili preamplificatori di vari tipi (con diversa impedenza di ingresso; con ingresso differenziale o con ingresso semplice; ecc.), tutti con generatori di rumore equivalenti all'ingresso aventi componenti a larga banda  $(S_V)^{1/2} = 8 \text{ nV}/(\text{Hz})^{1/2}$  e  $(S_i)^{1/2} = 2 \text{ pA}/(\text{Hz})^{1/2}$  e componenti  $1/f$  tutte con "frequenza d'angolo"  $f_c = 2 \text{ kHz}$ .

- a) Disegnare lo schema circuitale dell'apparato e spiegarlo, indicando le ragioni delle scelte fatte.
- b1) Indicare quali parametri dell'amplificatore hanno influenza sull'errore di misura della temperatura, a parte i generatori di rumore.
- b2) Calcolare per questi parametri i valori richiesti per rientrare nel limite imposto all'errore.
- c) Considerare ora i generatori di rumore e valutarne l'effetto sulla misura, trascurando in prima approssimazione le componenti  $1/f$ .
- d) Valutare ora anche l'effetto delle componenti  $1/f$ , spiegando come si possa ridurlo a valori tollerabili.

**Problema 2**

Un sensore avente resistenza di uscita  $R_s = 100 \Omega$  invia piccoli segnali impulsivi a un preamplificatore a larga banda (limitata da un polo a 10 MHz) avente generatori di rumore equivalenti all'ingresso con componenti a larga banda  $(S_V)^{1/2} = 4 \text{ nV}/(\text{Hz})^{1/2}$  e  $(S_i)^{1/2} = 2 \text{ pA}/(\text{Hz})^{1/2}$ . Per misurare l'ampiezza dei segnali viene impiegato un circuito "gated integrator", collegato all'uscita del preamplificatore. L'inizio del gate è dato da un segnale ausiliario sincrono all'impulso da misurare, la sua durata  $T_G$  è regolabile.

- a) Considerare dapprima il caso di impulsi rettangolari di ampiezza  $V_p = 10 \mu\text{V}$  e durata  $T_p = 1 \mu\text{s}$  e misurando UN SINGOLO IMPULSO
  - (a1) ricavare l'espressione del rapporto  $S/N$  in funzione di  $T_G$ .
  - (a2) individuare il valore di  $T_G$  che dà il massimo  $S/N$ .
- b) Considerare ora il caso di impulsi esponenziali di ampiezza iniziale  $V_p = 10 \mu\text{V}$  e costante di tempo  $T_E = 1 \mu\text{s}$  e misurando UN SINGOLO IMPULSO
  - (b1) ricavare l'espressione del rapporto  $S/N$  in funzione di  $T_G$ .
  - (b2) individuare il valore di  $T_G$  che dà il massimo  $S/N$ .
- c) Considerare ora che gli impulsi abbiano frequenza di ripetizione di 1 kHz e la loro ampiezza sia lentamente variabile, cioè abbia variazioni apprezzabili solo su tempi  $\geq 0,1 \text{ s}$ . Discutere come si possa sfruttare la ripetitività per migliorare il  $S/N$  nella misura di ampiezza e calcolare il miglioramento ottenibile.
- d) Considerando ora che nei generatori di rumore equivalenti del preamplificatore vi sia anche una intensa componente  $1/f$  con "frequenza d'angolo"  $f_c = 40 \text{ kHz}$ ,
  - (d1) discutere come si possa limitarne l'effetto.
  - (d2) valutare di conseguenza il contributo al rumore complessivo nella misura.

**Problema 3**

Un fotodiodo p-i-n al silicio viene impiegato per rivelare e misurare l'intensità della luce emessa da un diodo laser a lunghezza d'onda 800 nm. Il coefficiente di riflessione sulla superficie è 0,30 a 800 nm e il diodo ha struttura planare con strato superficiale n neutro spesso 1  $\mu\text{m}$  e zona svuotata sottostante spessa 20  $\mu\text{m}$ . La corrente di buio del diodo è  $I_B = 1$  pA. Il fotodiodo opera collegato a un preamplificatore di corrente a larga banda (limitata da un polo semplice a frequenza  $f_{PA} = 10$  MHz) avente rumore di corrente riferito all'ingresso con componente bianca di densità (unilatera)  $(S_i)^{1/2} = 0,1$  pA/(Hz)<sup>1/2</sup> e componente  $1/f$  con "frequenza d'angolo"  $f_c = 1$  kHz.

a) Valutare l'efficienza quantica di rivelazione e la sensibilità spettrale del fotodiodo alla lunghezza d'onda interessata.

Il fascio emesso dal laser ha potenza ottica media  $P_L = 1$  nW e contiene una componente modulata sinusoidalmente a frequenza  $f_M = 100$  kHz. Questa ha ampiezza massima  $P_M$  pari a circa il 5 % della potenza media e variabile su tempi dell'ordine di 0,1 s. Sul fotodiodo incide inoltre con potenza  $P_S = 1$  nW luce di fondo non eliminabile. Si vuole misurare  $P_M$  con  $S/N \geq 10$  e seguirne le variazioni nel tempo.

b1) Indicare quale tipo di filtraggio si intende impiegare per la misura, calcolandone i parametri necessari per rispettare le specifiche desiderate.

b2) Indicare e spiegare quale apparato si intende impiegare per realizzare in pratica il filtraggio detto.

---

NB: Tutte le densità spettrali di potenza indicate nei problemi si intendono unilatera.