

LÖSNINGSFÖRSLAG FÖR TENTAMEN I SENSORER OCH BRUS – FY 0350

Lärare: Per Delsing (tel. 772 3317, 070-3088317)

För godkänt prov fordras minst 8.5 poäng. Väl godkänt fordrar 13.5 poäng. Max 18 poäng

Rättningsprotokollet anslås i entréhallen origobyggnaden senast 2000-09-11.

Granskning sker efter överenskommelse.

1. Betrakta följande två sensorer : i) Ett termoelement ii) En Hallsensor. Beskriv för var och en av sensorerna:

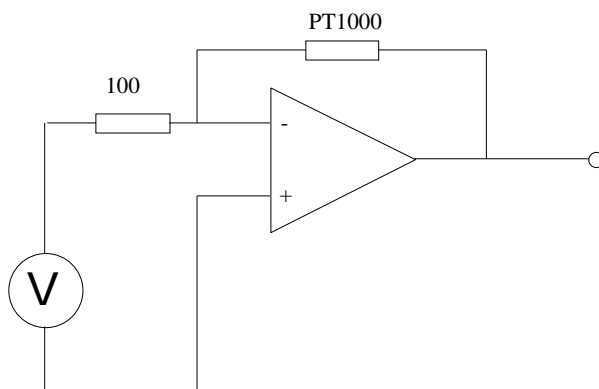
- a) Vilken fysikalisk storhet mäter sensorn ? Är sensorn modulerande eller självgenererande ? (1p)
Termoelement mäter Termoelement emk (indirekt temperatur), självgenererande.
Hallsensor mäter Magnetisk flödestäthet, modulerande.
- b) I vilka energidomäner arbetar sensorn ? (1p)
Termoelement arbetar med termisk energi, och elektrisk energi.
Hallsensorn arbetar med magnetisk och elektrisk energi.
- c) Vilka är sensorns Miller index ? (1p)
Termoelement: [th,el,0]
Hallsensor: [ma,el,el]

2. Externa störningar:

- a) Beskriv hur externa elektriska och magnetiska fält kan störa en mätning, dvs hur kopplas störningarna in till en elektrisk krets. (1p)
Elektriska störningar kopplas kapacitivt och magnetiska störningar kopplas induktivt.
- b) Beskriv hur man kan minimera inverkan av elektriska fält. (1p)
Skärmning av både mätsystem och av källa, genom inbyggnad i metalliskt hölje som jordas.
- c) Beskriv hur man kan minimera inverkan av magnetiska fält. (1p)
Genom att minska den effektiva arean både för loopar som plockar upp och för loopar som genererar magnetfält.

3. Med förstärkarkopplingen nedan kan man få en utsignal som är direkt proportionell mot Temperaturen. Sensorn PT1000 har en resistans som varierar med temperaturen som $R = 1000(1 + \alpha T)$, där T anges i grader Celsius och $\alpha = 0.0042 \text{ K}^{-1}$. Spänningen V väljs så att sensorströmmen blir 1mA, vilket är tillräckligt lågt för att förhindra självuppvärmning.

- a) Härled hur utspänningen beror på på Temperaturen. (1p)
- b) Förstärkaren har en biasström på 1nA, hur stort temperaturfel ger detta upphov till ? (1p)
- c) Förstärkaren har offsetspsänningen 300 μ V, hur stort temperaturfel ger detta upphov till ? (1p)



Inverterande OP: $U_{out} = -V \cdot 1000(1 + T)/100 = -V \cdot (10 + 10 T)$

$$V = 100 \cdot 1\text{mA} = 0.1\text{V}$$

Inga felkällor:

$$U_{out,0} = -1 - 0.0042 T \text{ Volt}$$

$$T = -(U_{out} + 1) / 0.0042$$

$$T = |U_{out} / 0.0042|$$

Med biasström:

$$U_{out,1} = -1 - 0.0042 \cdot T + R(T)I_B = U_{out,0} + R(T)I_B$$

$$U_{Bias} = U_{out,1} - U_{out,0} = R(T)I_B$$

$$T_{Bias} = |1084 \cdot 10^{-9} / 0.0042| = 0.26 \text{ mK}$$

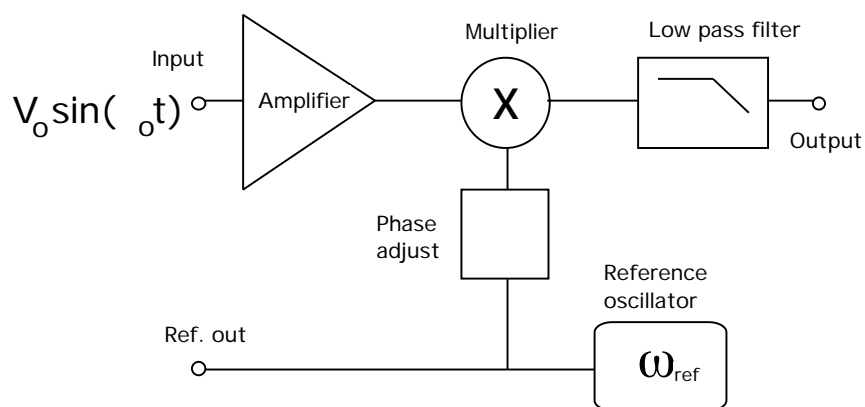
Med offset:

$$U_{out,2} = -1 - 0.0042 \cdot T + G_{non-inv} V_{off} = U_{out,0} + G_{non-inv} V_{off}$$

$$U_{Offset} = U_{out,2} - U_{out,0} = G_{non-inv} V_{off}$$

$$T_{Offset} = |9 \cdot 3 \cdot 10^{-4} / 0.0042| = 0.64 \text{ K}$$

4. En lock-in-förstärkare arbetar genom att multiplicera två signaler enligt figuren nedan. Lågpasfiltret skapar sen ett tidsmedelvärde av den signal som kommer från multiplikatorn. Visa matematiskt att utsignalen från lock-in-förstärkaren går mot noll om de två signalerna har olika frekvens ($\omega \neq \omega_{ref}$). (3p)



After the multiplier we get

$$V_M = \frac{1}{V_{norm}} V_0 \sin(\omega_0 t) V_{ref} \sin(\omega_{ref} t) = a [\cos(\omega_- t) + \cos(\omega_+ t)]$$

$$a = \frac{V_0 V_{ref}}{V_{norm}}, \omega_- = \omega_0 - \omega_{ref}, \omega_+ = \omega_0 + \omega_{ref}$$

The low pass filter performs an average over a timescale

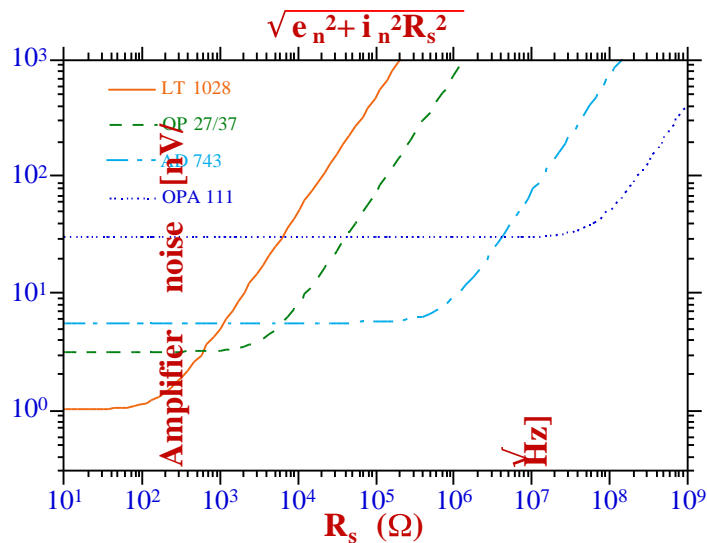
$$V_{out} = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau V_M dt =$$

$$\frac{1}{\tau} \int_0^\tau a [\cos(\omega_- t) + \cos(\omega_+ t)] dt$$

$$\frac{a}{\omega_- \tau} \sin(\omega_- t) \Big|_0^\tau + \frac{a}{\omega_+ \tau} \sin(\omega_+ t) \Big|_0^\tau$$

För tillräckligt stora τ går båda termerna mot 0, dvs om integrations tiden för lockinförstärkaren är betydligt längre än periodtiden för skillnadsfrekvensen $1/\omega_-$.

5. Nedan ser du bruskurvor för ett antal operationsförstärkare. Figuren visar den spektrala brusdensiteten hos förstärkarna vid 10Hz relaterat till ingången, om källresistansen R_s befinner sig vid T=0K.



- a) För vilket källresistansområde är OP 27/37 bättre än dom andra förstärkarna ? (1p)

Korsning mellan LT1028 och OP27/37 ger undre frekvensen: 500

Korsning mellan OP27/37 och AD743 ger undre frekvensen: 7.5k

- b) Beräkna den totala spektrala brusdensiteten vid 10Hz för OP 27/37 och en sensor med en källresistans på 1k som befinner sig vid T=300K. Uttryck svaret i nV/√Hz. (1p)

$$e_N^2 = e_n^2 + i_n^2 R^2 + e_R^2$$

$$T=300K, R=1000$$

$$e_R^2 = 4k_B T R = (4.1 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}})^2$$

$$e_n^2 + i_n^2 R^2 = (3.4 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}})^2$$

$$e_N = \sqrt{3.4^2 + 4.1^2} = 5.3 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$$

c) Beräkna NF (Noise Figure) och brustemperatur T^* för förstärkaren vid 10Hz relaterat till en sensor på 1k vid $T=300\text{K}$. (1p)

$$\text{NF} = 20 \log (e_N / e_R) = 20 \log (5.3/4.1) = 2.2\text{dB}$$

$$T^* = \frac{e_n^2 + i_n^2 R_n^2}{4kR_n} = T \frac{e_n^2 + i_n^2 R_n^2}{e_R^2} = 300 \cdot 3.4^2 / 4.1^2 = 206 \text{ K}$$

6. Tre förstärkare placeras efter varandra för att förstärka en signal. De har följande brustemperaturer T^* , och förstärkningsfaktorer G :

Förstärkare A: $T_A^* = 270 \text{ K}$ $G_A = 25\text{dB}$ (effektförstärkning)

Förstärkare B: $T_B^* = 22.0 \text{ K}$ $G_B = 15\text{dB}$ (effektförstärkning)

Förstärkare C: $T_C^* = 4.25 \text{ K}$ $G_C = 20\text{dB}$ (effektförstärkning)

a) I vilken ordning skall förstärkarna placeras för att hela systemet ska få så låg brustemperatur som möjligt ? (1p)

Förstärkare med lägre brustemperatur placeras alltid först, detta ger lägsta systembrustemperatur.

Alltså placeras förstärkarna i ordningen C, B, A

b) Beräkna brustemperaturen för hela systemet. (2p)

$$T = T_C^* + \frac{T_B^*}{G_C} + \frac{T_A^*}{G_C G_B} = 4.25 + \frac{22}{10^{2.0}} + \frac{270}{10^{2.0} 10^{1.5}} =$$

$$4.25 + 0.22 + 0.09 = 4.56 \text{ K}$$