

TENTAMEN I SENSORER OCH BRUS – FY 0350

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

Hjälpmedel: Ett A4 blad med egna, handskrivna anteckningar och formler, Physics Handbook, TEFYMA, ”Standard Math Tables”, el. liknande, valfri kalkylator.

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

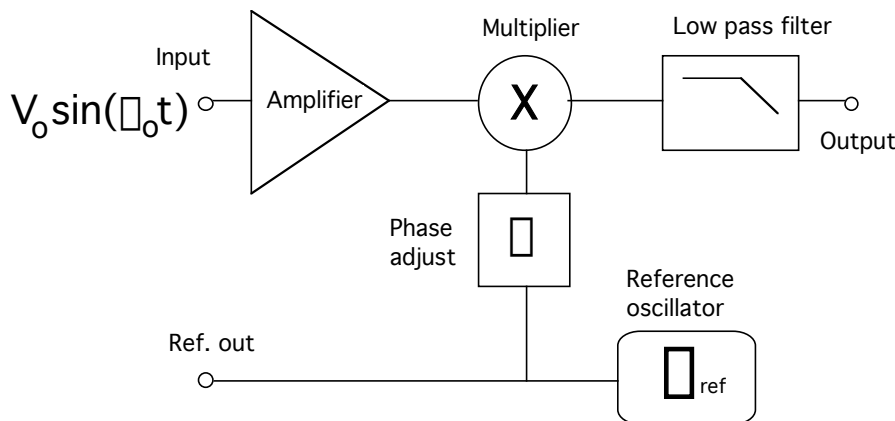
Rättningsprotokollet anslås i entréhallen origobyggnaden senast 2000-09-13.

Granskning sker efter överenskommelse.

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

- Vilken fysikalisk storhet mäter sensorn ? i) Kraft (eller töjning), ii) Magnetisk fältstyrka
- Är sensorn modulerande eller själgenererande ? (1p) i) Modularande, ii) Modularande
- I vilka energidomäner arbetar sensorn ? (1p) i) Mekanisk, Elektrisk, Elektrisk, ii) Magnetisk, Elektrisk, Elektrisk.

2) Figuren nedan visar blockschemat för en lock-in förstärkare. Beskriv hur lock-in förstärkaren fungerar, dess in- och utgångar, och ange funktionen för de fem olika blocken.

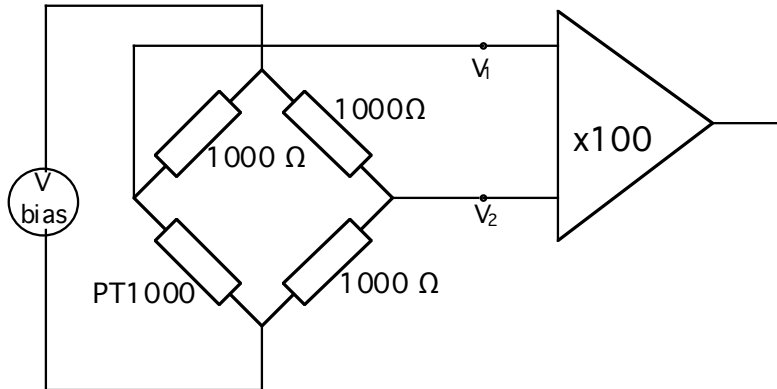


Referens oscillatoren ger en periodisk utsignal som modulerar “experimentet” eller biaseringen på sensorn. Utsignalen från sensorn kopplas till ingången där den förstärks av ingångsförstärkaren. Fasvridaren vrider fasan på referens signalen så att man får en signal som är i fas med den förstärkta insignalen. Den förstärkta signalen multipliceras sedan med den fasvridna kopian av referenssignalen. Den resulterande signal innehåller då två komponenter, en dc komponent, och en signal med dubbla referensfrekvensen. Med lågpasfiltret filtrerar man bort signalen med den dubbla referensfrekvensen och kvar på utgången finns bara dc komponenten som då är proportionell mot insignalen. Störningar och brus som har annan frekvens än insignalen filtreras effektivt bort i lågpasfiltret.

3) En Wheatstonebrygga består av tre resistorer och en PT1000, resistorerna i bryggan är samtliga $1\text{k}\Omega$. Sensorn PT1000 har en resistans som varierar med temperaturen som $R = 1000(1 + \alpha T)\ \Omega$, där T anges i grader Celsius och $\alpha = 0.0012\ \text{K}^{-1}$. Bryggan biaseras med en växelspanning med amplituden 2V och frekvensen 13Hz och mätes med en differentialförstärkare

med förstärkning på 100 gånger och, en CMRR (Common Mode Rejection Ratio) på 80dB. Rita figur !

- Hur stor blir common-mode signalen och differens-signalen från bryggan vid $T=0^{\circ}\text{C}$ (1p)
- Hur stor blir common-mode signalen och differens-signalen från bryggan vid $T=1^{\circ}\text{C}$ (1p)
- Hur stor blir utsignalen, på grund av common-mode signalen och differens-signalen (1p)



PT1000: $R=1000(1+\alpha T) \Omega$

$$V_{DM} = V_1 - V_2 = \frac{R(1+\alpha T)}{R+R(1+\alpha T)} - \frac{R}{R+R} V_{bias} = \frac{1+\alpha T}{2+\alpha T} - \frac{1}{2} V_{bias} = \frac{2+2\alpha T - 2 - 2\alpha T}{4+4\alpha T} V_{bias} = \frac{\alpha T}{4+4\alpha T} V_{bias} \approx \frac{\alpha T}{4} V_{bias}$$

$$V_{CM} = \frac{V_1 + V_2}{2} = \frac{R(1+\alpha T)}{R+R(1+\alpha T)} + \frac{R}{R+R} \frac{V_{bias}}{2} = \frac{1+\alpha T}{2+\alpha T} + \frac{1}{2} \frac{V_{bias}}{2} = \frac{2+2\alpha T + 2 + \alpha T}{4+4\alpha T} \frac{V_{bias}}{2} = \frac{4+3\alpha T}{4+4\alpha T} \frac{V_{bias}}{2} = \frac{4+4\alpha T + \alpha T}{4+4\alpha T} \frac{V_{bias}}{2} = \frac{\alpha T}{4+4\alpha T} \frac{V_{bias}}{2} + \frac{\alpha T}{4} \frac{V_{bias}}{2} \approx \frac{\alpha T}{4} \frac{V_{bias}}{2} + \frac{V_{bias}}{2}$$

$$V_{CM} \approx \frac{\alpha T}{4} \frac{V_{bias}}{2} + \frac{V_{bias}}{2} = 1 \frac{2}{2} V = 1V$$

a) $0^{\circ}\text{C} \Rightarrow$

$$V_{DM} \approx \frac{\alpha T}{4} V_{bias} = 0$$

$$V_{CM} \approx \frac{\alpha T}{4} \frac{V_{bias}}{2} = \frac{0.0012 \cdot 1}{4} \frac{2}{2} V = 0.9997 V$$

b) $1^{\circ}\text{C} \Rightarrow$

$$V_{DM} \approx \frac{\alpha T}{4} V_{bias} = \frac{0.0012 \cdot 1}{4} 2 = 0.0006 = 600 \mu\text{V}$$

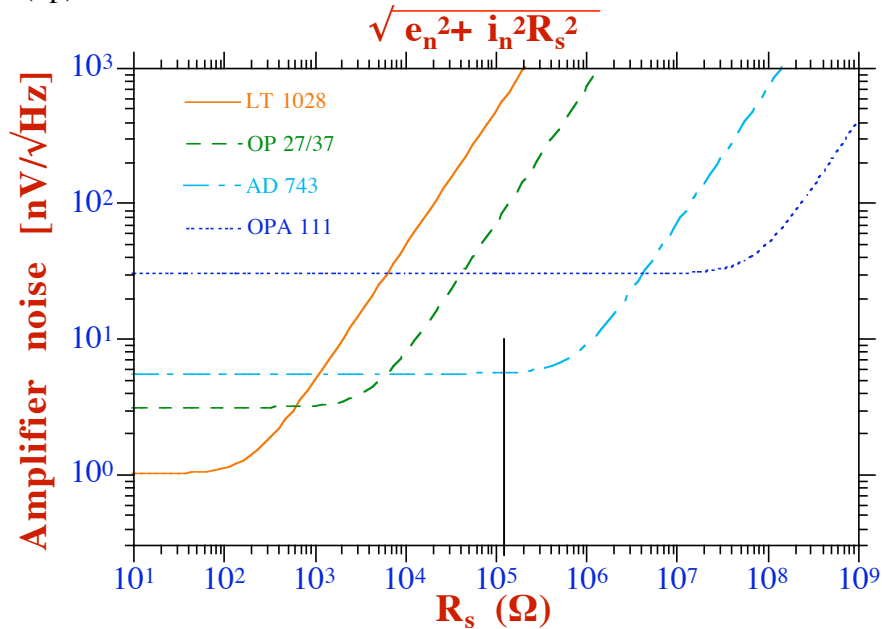
$$V_{out} = 100 V_{DM} + V_{CM} \cdot 10^{\frac{CMRR}{20}} = V_{DMout} + V_{CMout}$$

c)

$$V_{CMout} \approx 100 \cdot 0.9997 \cdot 10^4 V = 0.009997V \approx 10 mV$$

$$V_{DMout} \approx 100 \cdot 600 \mu\text{V} = 60 mV$$

- 4) En enelektron-transistor kan mäta laddning extremt noga, och har hög impedans: $100\text{k}\Omega$.
- a) Vilken av förstärkarna i figuren nedan ger lägst brus för enelektron-transistorn, dominerar spänningsbrus eller strömsbrus (1p)
- b) Antag att enelektron-transistorn arbetar vid temperaturen 1K och att bandbredden är 100Hz . Beräkna den totala brus spänningen relaterat till ingången. (1p)
- c) I enelektron-transistorn genereras hagelbrus, vid vilken ström är hagelbruset lika stort som förstärkarbruset. (1p)



- a) Runt $100\text{ k}\Omega$ ger AD743 lägst brus, spännings bruset dominerar eftersom kurva i detta område är oberoende av R_s .

$$b) V_N = e_N \sqrt{B_W} = \sqrt{e_n^2 + 4kTR + i_n^2 R^2} \sqrt{B_W}$$

$$\sqrt{e_n^2 + i_n^2 R^2} = 5.5 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}} \text{ fås från figuren}$$

$$\sqrt{4kTR} = \sqrt{4 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 1 \cdot 10^5} = 2.35 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$$

$$V_N = e_N \sqrt{B_W} = \sqrt{5.5^2 + 2.35^2} \sqrt{100} \text{ nV} = 60 \text{ nV}$$

$$c) V_{Nshot} = i_{nshot} \cdot R \cdot \sqrt{B_W} = \sqrt{2eI} \cdot R \cdot \sqrt{B_W}$$

$$V_{Namp} = \sqrt{e_n^2 + i_n^2 R^2} \sqrt{B_W}$$

$$\sqrt{e_n^2 + i_n^2 R^2} = \sqrt{2eI} \cdot R$$

$$e_n^2 + i_n^2 R^2 = 2eIR^2$$

$$I = \frac{e_n^2 + i_n^2 R^2}{2eR^2} = \frac{(5.5 \cdot 10^{-9})^2}{2 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{10}} = \frac{30.25 \cdot 10^{-18}}{3.2 \cdot 10^{-9}} = 9.45 \text{ nA}$$

5) Du har en sensor med källresistansen 100Ω vid rumstemperatur, och tre förstärkare med följande data:

	e_n (nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$)	i_n (fA/ $\sqrt{\text{Hz}}$)
A	1	1000
B	3.8	6.9
C	6	0.4

- a) Hur stor är brusfaktorn (NF) för var och en av de tre förstärkarna relaterat till 100Ω (1p)
 b) Hur stor är Brustemperaturen för var och en av de tre förstärkarna relaterat till 100Ω (1p)
 c) Hur stor är den optimala källresistansen (R_{OPT}) för var och en av de tre förstärkarna (1p)

$$a) \quad NF = 10 \cdot \log \frac{e_N^2}{e_R^2} = 20 \cdot \log \frac{e_N}{e_R} = 10 \cdot \log \left[1 + \frac{e_n^2 + i_n^2 R^2}{e_R^2} \right]$$

$$A: \quad e_n^2 + i_n^2 R^2 = (1 \cdot 10^{09})^2 + (1 \cdot 10^{12} \cdot 100)^2 \approx 1 \cdot 10^{18}$$

$$e_R^2 = 4kTR = 4 \cdot 1.38 \cdot 10^{23} \cdot 300 \approx 1.66 \cdot 10^{20}$$

$$NF = 10 \cdot \log \left[1 + \frac{1 \cdot 10^{18}}{1.66 \cdot 10^{20}} \right] = 17.9 \text{ dB}$$

$$B: \quad e_n^2 + i_n^2 R^2 = (3.8 \cdot 10^{09})^2 + (6.9 \cdot 10^{15} \cdot 100)^2 \approx 14.4 \cdot 10^{18}$$

$$e_R^2 \approx 1.66 \cdot 10^{20}$$

$$NF \approx 10 \cdot \log \left[1 + \frac{14.4 \cdot 10^{18}}{1.66 \cdot 10^{20}} \right] = 29.4 \text{ dB}$$

$$C: \quad e_n^2 + i_n^2 R^2 = (6 \cdot 10^{09})^2 + (0.4 \cdot 10^{15} \cdot 100)^2 \approx 36 \cdot 10^{18}$$

$$e_R^2 \approx 1.66 \cdot 10^{20}$$

$$NF \approx 10 \cdot \log \left[1 + \frac{36 \cdot 10^{18}}{1.66 \cdot 10^{20}} \right] = 33.4 \text{ dB}$$

$$b) \quad T_n = 300(10^{NF/10} - 1) = 300 \frac{e_N^2}{e_R^2} \approx 300 \frac{e_n^2 + i_n^2 R^2}{e_R^2}$$

$$A: \quad e_n^2 + i_n^2 R^2 \approx 1 \cdot 10^{18}, \quad e_R^2 \approx 1.66 \cdot 10^{20}$$

$$T_n = 300 \frac{e_n^2 + i_n^2 R^2}{e_R^2} = 300 \frac{1 \cdot 10^{18}}{1.66 \cdot 10^{20}} = 18 \text{ 072 K}$$

$$B: \quad e_n^2 + i_n^2 R^2 \approx 14.4 \cdot 10^{18}, \quad e_R^2 \approx 1.66 \cdot 10^{20}$$

$$T_n = 300 \frac{e_n^2 + i_n^2 R^2}{e_R^2} = 300 \frac{14.4 \cdot 10^{18}}{1.66 \cdot 10^{20}} = 260 \text{ 000 K}$$

$$C: \quad e_n^2 + i_n^2 R^2 \approx 36 \cdot 10^{18}, \quad e_R^2 \approx 1.66 \cdot 10^{20}$$

$$T_n = 300 \frac{e_n^2 + i_n^2 R^2}{e_R^2} = 300 \frac{36 \cdot 10^{18}}{1.66 \cdot 10^{20}} = 650 \text{ 000 K}$$

$$A: \quad R_{OPT} = \frac{e_n}{i_n} = \frac{1000 \text{ pV}/\sqrt{\text{Hz}}}{1000 \text{ fA}/\sqrt{\text{Hz}}} = 1 \text{ k}\Omega$$

$$c) \quad B: \quad R_{OPT} = \frac{e_n}{i_n} = \frac{3800 \text{ pV}/\sqrt{\text{Hz}}}{6.9 \text{ fA}/\sqrt{\text{Hz}}} = 550 \text{ k}\Omega$$

$$C: \quad R_{OPT} = \frac{e_n}{i_n} = \frac{6000 \text{ pV}/\sqrt{\text{Hz}}}{0.4 \text{ fA}/\sqrt{\text{Hz}}} = 15 \text{ M}\Omega$$

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

Förstärkare A: $T_A^* = 250$ K $G_A = 25$ dB (effektförstärkning)

Förstärkare B: $T_B^* = 60.0$ K $G_B = 15$ dB (effektförstärkning)

Förstärkare C: $T_C^* = 2.5$ K $G_C = 20$ dB (effektförstärkning)

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

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

a) C+B+A, lägst brus först.

b)

$$T_N = T_C^* + \frac{T_B^*}{G_C} + \frac{T_A^*}{G_C \cdot G_B} = 2.5 + \frac{60}{10^{20/10}} + \frac{250}{10^{20/10} \cdot 10^{15/10}} = 2.5 + \frac{60}{100} + \frac{250}{100 \cdot 30} = 2.5 + 0.6 + 0.083 = 3.93 \text{ K}$$