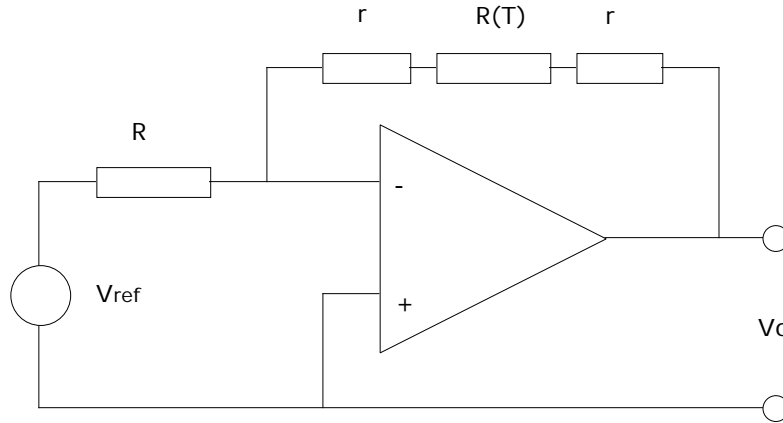


Lösningförslag till Räkneuppgifterna i Kursbrev 4

1 Uppg. 7.3 i boken

i) Börja med att härleda ett uttryck för hur utspänningen beror av Temperaturen om vi betraktar operationsförstärkaren som ideal. Betrakta kopplingen som en vanlig inverterande förstärkare. Då får vi



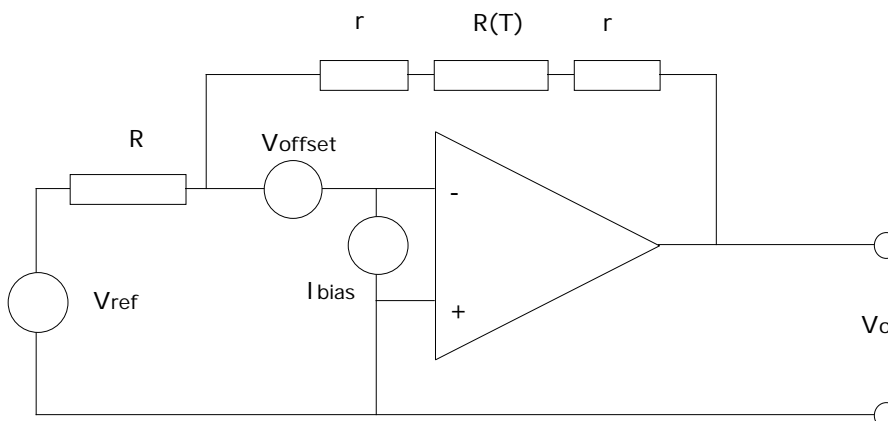
$$V_o = -V_{ref} \frac{2r + R(T)}{R} = -V_{ref} \frac{2r + R_o + R_o \alpha T}{R}$$

Genom uttrycka T som funktion av Vo får vi med en ideal förstärkare

$$T = -\frac{R}{R_o \alpha V_{ref}} V_o - \frac{1}{R_o \alpha} (2r + R_o) = -k V_o - T_0$$

$$k = \frac{R}{R_o \alpha V_{ref}}, \quad T_0 = \frac{1}{R_o \alpha} (2r + R_o)$$

ii) Vi ritat en ny figur som innehåller spänningsoffset och biasström. Tänk efter hur man sätter in dessa. Ett enkelt sätt att kontrollera om du gjort rätt är att sätta källorna till noll, då ska du få tillbaka den ursprungliga förstärkarkopplingen. $V=0$ är det samma som en kortslutning, $I=0$ är det samma som avbrott.



Först tecknar vi strömmen genom resistorn R. Tänk på att minusingången på OP'n fungerar som en virtuell jord.

$$I_{ref} = \frac{V_{ref} - V_{offset}}{R}$$

sen tecknar vi strömmen genom sensorn

$$I_{sens} = \frac{V_o - V_{offset}}{2r + R(T)}$$

Sen tillämpar vi Kirshoffs andra lag, dvs summan av all strömmar in till en nod är lika med noll

$$I_{sens} + I_{ref} + I_{bias} = 0$$

Vi får då

$$\frac{V_o - V_{offset}}{2r + R(T)} + \frac{V_{ref} - V_{offset}}{R} + I_{bias} = 0$$

$$V_o = V_{offset} - (2r + R_o + R_o \alpha T) \left(I_{bias} - \frac{V_{ref} - V_{offset}}{R} \right)$$

$$T_R = -\frac{1}{R_o \alpha} \frac{R(V_o - V_{ref})}{V_{ref} - V_{offset} + R I_{bias}} + (2r + R_o)$$

sen använder vi definitionerna på k och T_0 och vi får i det realistiska fallet

$$T_R = -k \frac{V_o - V_{offset}}{1 - \frac{V_{off} - R I_{bias}}{V_{ref}}} - T_0$$

Nästa steg är att inse att $V_{off} + R I_{bias}$ är liten jämfört med V_{ref} , sen kan vi utnyttja att

$$\frac{1}{1-x} \approx 1+x, \text{ om } x \ll 1. \text{ Alltså får vi}$$

$$T_R = -k V_o - T_0 - k \left(V_{off} - \frac{V_o}{V_{ref}} (V_{off} - R I_{bias}) \right)$$

Notera sen att V_{off} och I_{bias} kan anta både positiva och negativa värden (vi vet inte vilket).

Felet i temperatur är alltså lika med $T_R - R_I$

$$T = k \left(\left| V_{off} \left(1 - \frac{V_o}{V_{ref}} \right) \right| + \left| \frac{V_o R I_{bias}}{V_{ref}} \right| \right)$$

Låt oss ta ett exempel, anta att vi har valt $R=R_o=100$ och att $r=1$. Då får vi

$$T_0=316 \text{ K} = 42.85 \text{ C}^\circ, \quad k=43.1 \text{ K/V}$$

då borde vi med en perfekt OP få

$$V_o = -7.25 (1.01 + \alpha T) = -7.32 - 0.0232 T$$

$$\text{vid } 0^\circ\text{C får vi alltså } V_o = -7.320\text{V}$$

$$\text{vid } T=20^\circ\text{C får vi } V_o = -7.784\text{V}$$

dvs att $V_o \approx -V_{ref}$. Alltså får vi

$$T \approx k (2V_{off} + R I_{bias}) = 43.1 \frac{\text{K}}{\text{V}} \cdot 210 \mu\text{V} = 9 \text{ mK}$$

notera att felet från V_{off} är betydligt större än felet från I_{bias}

Ett par sätt att förbättra kopplingen:

1. Välj en OP med låg offsetsänning.
2. Optimera strömmen genom sensorn så att egenuppvärmningen blir ungefär lika stor som offset felet
3. Välj en ström källa istället för spänningskälla och resistor. Då minskar felet från $2kV_{\text{off}}$ till kV_{off}

3. "Common mode rejection"

8.2 Först noterar vi att V_{cc} är jordad på plus sidan, dvs spänningarna på ingången blir negativa. Enkel spänningsdelning ger att spänningen på båda ingångarna blir

$$V_- = V_+ = -V_{cc} \frac{R}{R+2R} = \frac{-V_{cc}}{3}$$

Från definitionen av CMRR

$$CMRR = 20 \log \frac{V_{CM}}{V_{out}/G}$$

får vi att

$$V_{out} = \frac{GV_{CM}}{10^{100/20}} = G \frac{V_{cc}}{3} 10^{-5}$$

4. Magnetisk skärmning

Använd formel 8.11 i boken

Plocka värden på $1/\mu$ från tabell 8.1

$$1/\mu_{Al} = 11.5 \text{ mm}$$

$$1/\mu_{stål} = 0.91 \text{ mm}$$

$$\frac{B_z}{B_0} = e^{-\alpha z} = \frac{1}{100}$$

$$-\alpha z = \ln\left(\frac{1}{100}\right) = -\ln(100) = -4.605\dots$$

$$z = \frac{4.605}{\alpha}$$

Aluminium ger $z=53 \text{ mm}$

Stål ger $z=4.2 \text{ mm}$

Som ni ser är det svårt att skärma mot magnetfält vid låg frekvens, även med stål behöver man relativt tjocka skärmar.