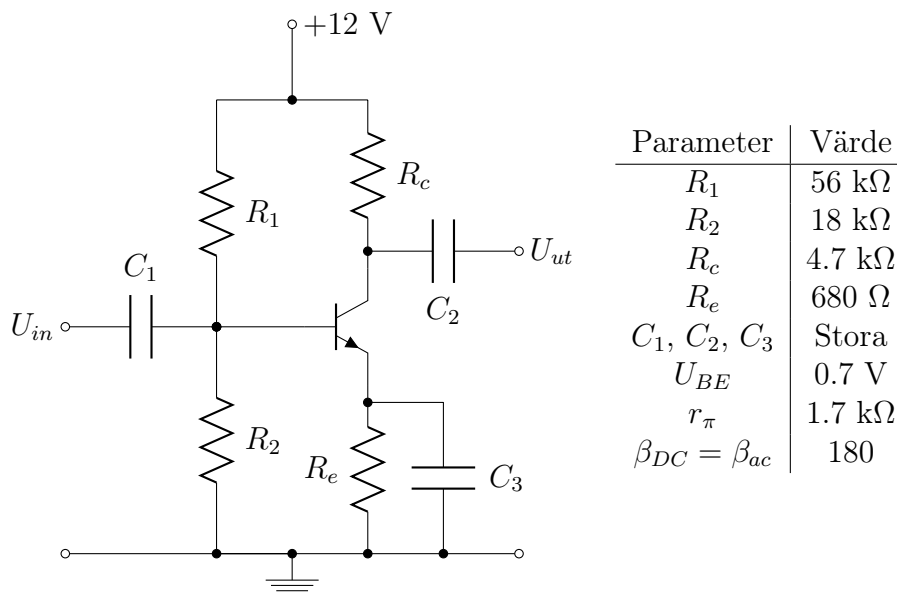


1. Komponenterna i förstärkarsteget nedan har värden enligt tabell.



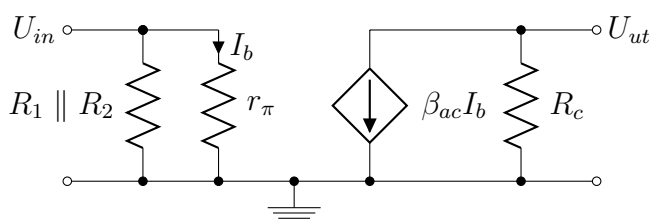
- (a) Bestäm transistorens vilostrom, I_{CQ} . Det är OK att försumma basströmmen vid beräkning. (2 p)

Lösning:

$$\left. \begin{aligned} U_B &= \frac{R_2}{R_1+R_2} \cdot 12 \\ U_B &= U_{BE} + I_{CQ}R_e \end{aligned} \right\} \Rightarrow I_{CQ} = \frac{\frac{R_2}{R_1+R_2} \cdot 12 - U_{BE}}{R_e} \approx 3.26 \text{ mA.}$$

- (b) Rita ekvivalent småsignalschema. (2 p)

Lösning:



- (c) Härled ett uttryck och beräkna värdet på förstärkarstegets småsignalförstärkning $\frac{U_{ut}}{U_{in}}$. (2 p)

Lösning:

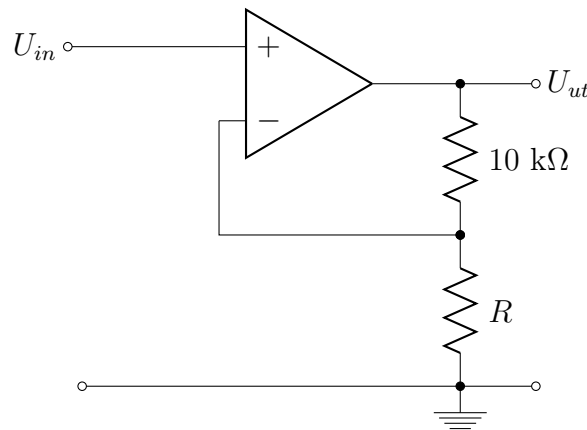
$$\frac{U_{ut}}{U_{in}} = \frac{-R_c \beta_{ac} I_b}{r_\pi I_b} = -\frac{R_c \beta_{ac}}{r_\pi} \approx -500 \text{ gånger.}$$

- (d) Hur stor måste C_1 minst vara för att gränshfrekvensen på grund av polen som skapas skall vara maximalt 10 Hz? (2 p)

Lösning: Polen kommer vara vid $\omega = \frac{1}{RC_1}$ där $R = R_1 \parallel R_2 \parallel r_\pi$. Således:

$$C_1 = \frac{1}{2\pi f R} = \frac{1}{20\pi(56 \times 10^3 \parallel 18 \times 10^3 \parallel 1.7 \times 10^3)} \approx 10.6 \mu\text{F}.$$

2. För nedanstående operationsförstärkare gäller att råförstärkningen är 40 dB med i övrigt ideala egenskaper. Bestäm R så att spänningsförstärkningen $\frac{U_{ut}}{U_{in}}$ blir 20 dB för den återkopplade förstärkaren. (3 p)



Lösning: På grund av återkopplingen blir den effektiva förstärkningen

$$A_V = \frac{A_{V0}}{1 + \beta A_{V0}}$$

där β är återkopplingsfaktorn.

Med $A_V = 10$ ggr (20 dB) och $A_{V0} = 100$ (40 dB) fås $\beta = 0.09$ och med spänningsdelning ges:

$$\beta = \frac{R}{R + 10^4} \Rightarrow R = \frac{\beta 10^4}{1 - \beta} \approx 989 \Omega.$$

3. En förstärkare används för att förstärka en sinusformad signal med frekvens upp till 20 kHz. Vilken slew rate måste förstärkaren minst ha för att kunna leverera en utsignal med amplitud ± 10 V? (3 p)

Lösning: Utsignalen är $U_{ut} = 10 \sin(\omega t)$ och ändringen per tidsenhet fås om vi deriverar utsignalen:

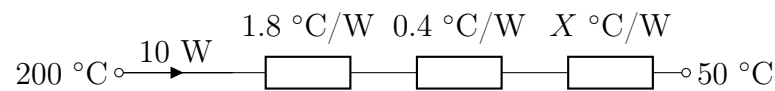
$$\frac{\partial U_{ut}}{\partial t} = 10\omega \cos(\omega t).$$

Således ökar den maximala ändringen med frekvensen och snabbaste ändringen fås vid 20 kHz. Denna ändring är $10 \cdot 2\pi \cdot 20 \times 10^3 \approx 1.26\text{V}/\mu\text{s}$ vilket också ger undre gränsen för slew rate.

4. En effekttransistor utvecklar 10 W och tål en maximal kristalltemperatur på 200 °C. Transistorns kapsel har en termisk resistans på 1.8 °C/W och mellan transistorn och kylflänsen används mellanlägg med en termisk resistans på 0.4 °C/W. Vilken minsta termisk resistans krävs på kylflänsen om förstärkaren som transistorn ingår i ska kunna arbeta i en lufttemperatur mellan 0 och 50 °C?

(2 p)

Lösning:



$$200 - 10(1.8 + 0.4 + X) = 50 \Rightarrow X = \frac{200 - 50}{10} - (1.8 + 0.4) = 15 - 2.2 = 12.8\text{ °C/W}.$$

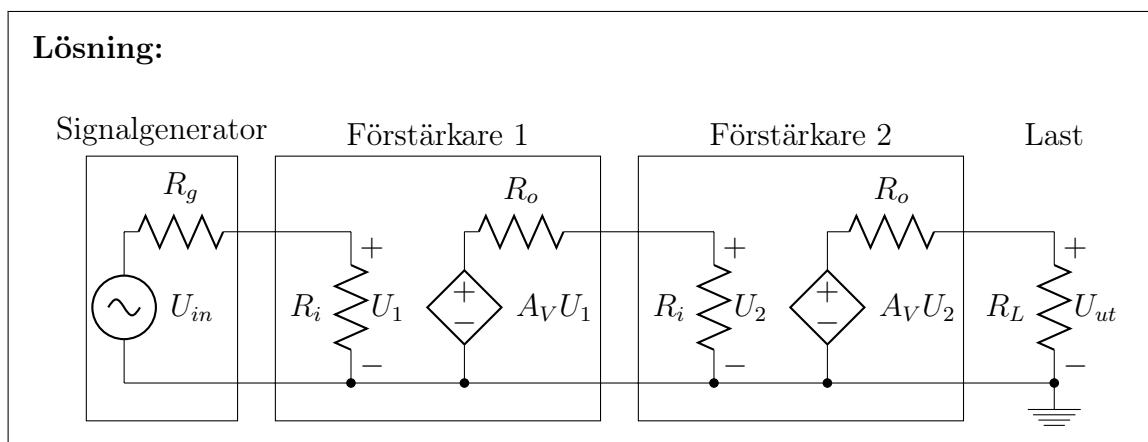
5. Två identiska förstärkare kaskadkopplas (utsignalen från första förstärkaren är insignal till den andra) för att driva en resistiv last på 8 kΩ. För varje steg gäller:

Spänningsförstärkning	$A_V = 60\text{ dB}$
Inresistans	$R_i = 15\text{ k}\Omega$
Utresistans	$R_o = 1\text{ k}\Omega$

Insignalen genereras av en signalgenerator med tomgångsspänning 50 μV och inre resistans 3 kΩ. Bestäm amplituden på utsignalen.

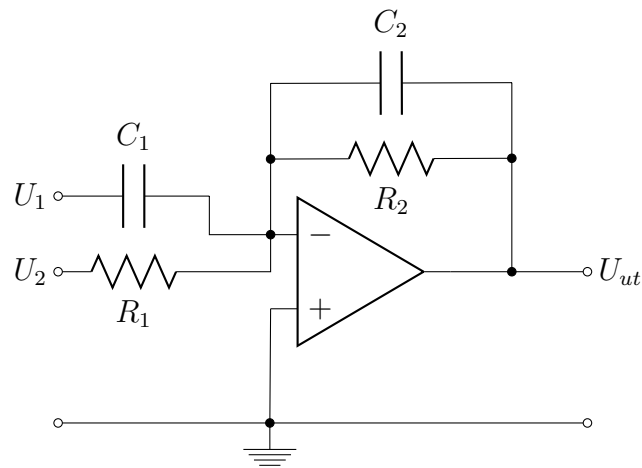
(3 p)

Lösning:

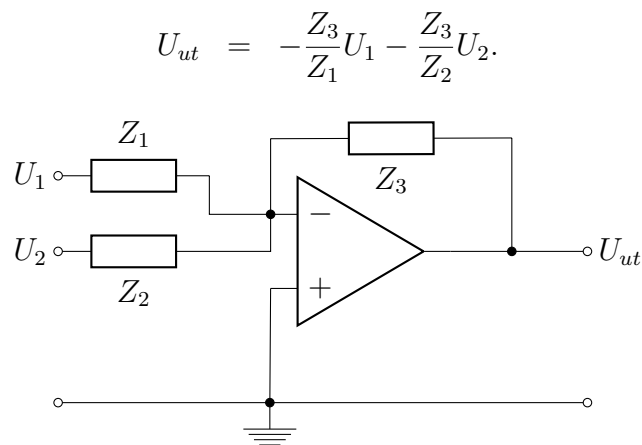


$$\begin{aligned}
 U_{ut} &= \frac{R_L}{R_o + R_L} A_V U_2 \\
 U_2 &= \frac{R_i}{R_o + R_i} A_V U_1 \\
 U_1 &= \frac{R_i}{R_g + R_i} U_{in} \\
 &\Rightarrow \\
 U_{ut} &= \frac{R_L}{R_o + R_L} A_V \frac{R_i}{R_o + R_i} A_V \frac{R_i}{R_g + R_i} U_{in} \\
 &= \frac{R_L R_i^2}{(R_o + R_L)(R_o + R_i)(R_g + R_i)} A_V^2 U_{in} \\
 &\approx 34.7 \text{ V.}
 \end{aligned}$$

6. Bestäm ett uttryck för utsignalen, U_{ut} , i nedanstående operationsförstärkarkoppling. Antag att operationsförstärkaren har ideala egenskaper. (2 p)



Lösning: Kopplingen är en summerande förstärkare med utsignal:



Så:

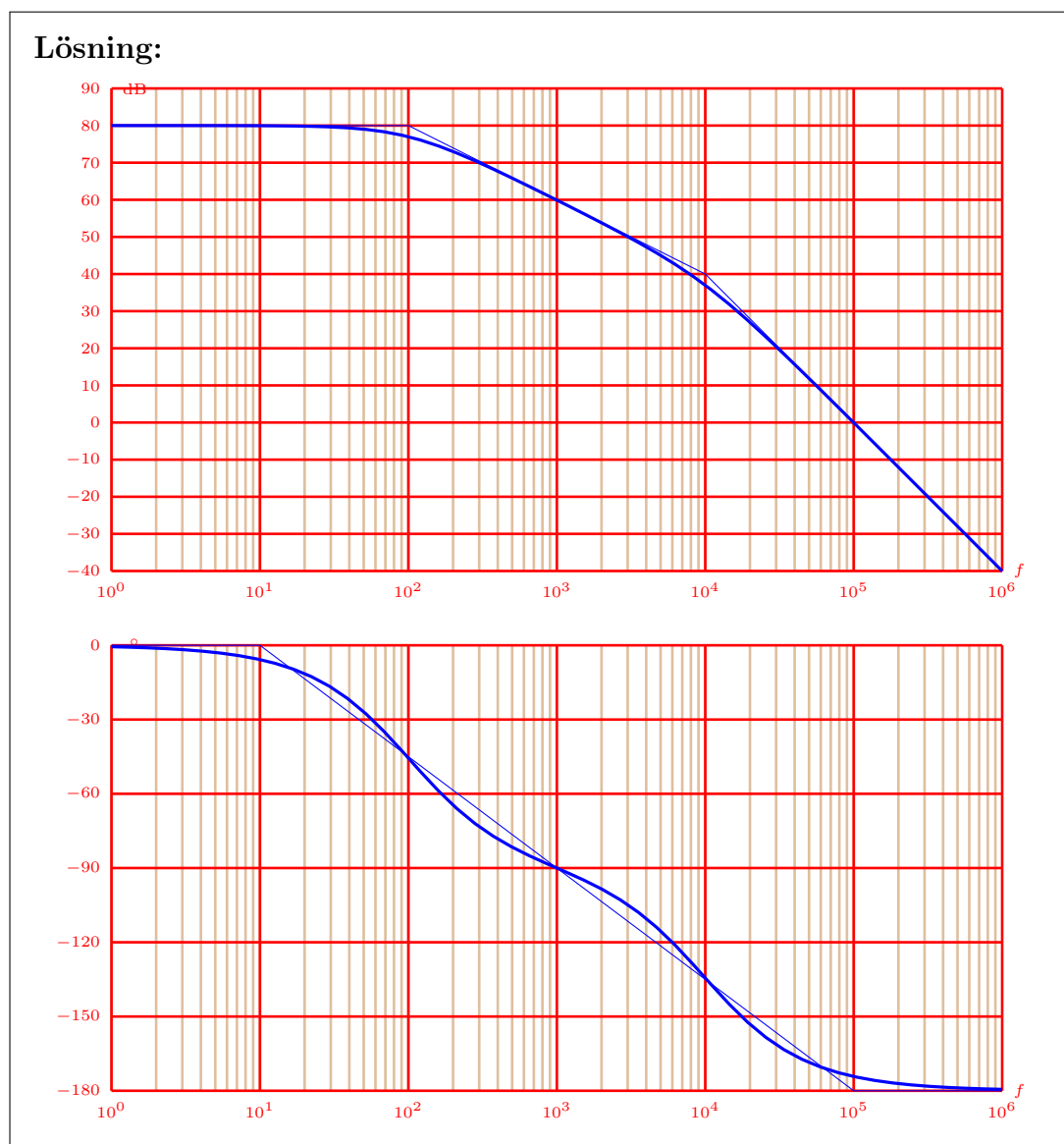
$$\begin{aligned} U_{ut} &= -\frac{\left(\frac{1}{j\omega C_2} \parallel R_2\right)}{\frac{1}{j\omega C_1}} U_1 - \frac{\left(\frac{1}{j\omega C_2} \parallel R_2\right)}{R_1} U_2 \\ &= -\frac{j\omega C_1 R_2}{1 + j\omega C_2 R_2} U_1 - \frac{R_2}{R_1(1 + j\omega C_2 R_2)} U_2. \end{aligned}$$

7. En förstärkare har råförstärkningen

$$A_{V0} = 10^4 \cdot \frac{1}{\left(1 + j\frac{f}{10^2}\right)} \cdot \frac{1}{\left(1 + j\frac{f}{10^4}\right)}.$$

(a) Skissera amplitud och fas i ett Bodediagram.

(1 p)



(b) Beräkna den resulterande förstärkningen vid låga frekvenser om förstärkaren motkopplas så att fasmarginalen blir 45° .

(3 p)

Lösning: Fasmarginalen är 45° vid den andra polen, alltså vid 40 dB (lite mer exakt 37 dB). Således blir återkopplingsfaktorn $\beta = \frac{1}{100} = 0.01$ och förstärkningen

$$A = \frac{A_{V0}}{1 + \beta A_{V0}} \approx 99 \text{ gånger} \approx 39.9 \text{ dB}$$