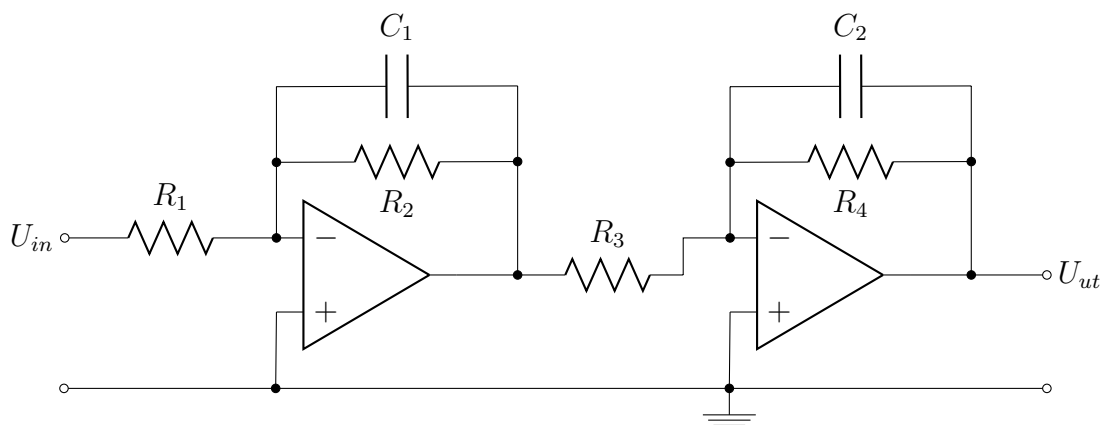


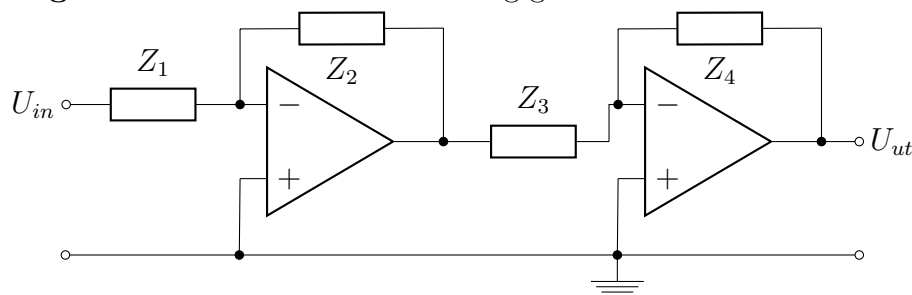
1. Nedanstående operationsförstärkarkoppling är given. Antag att operationsförstärkaren har ideala egenskaper och spänningsmatas med  $\pm 15$  V.



- (a) Bestäm sambandet mellan  $U_{ut}$  och  $U_{in}$ .

(3 p)

**Lösning:** Två inverterande förstärkarsteg ger



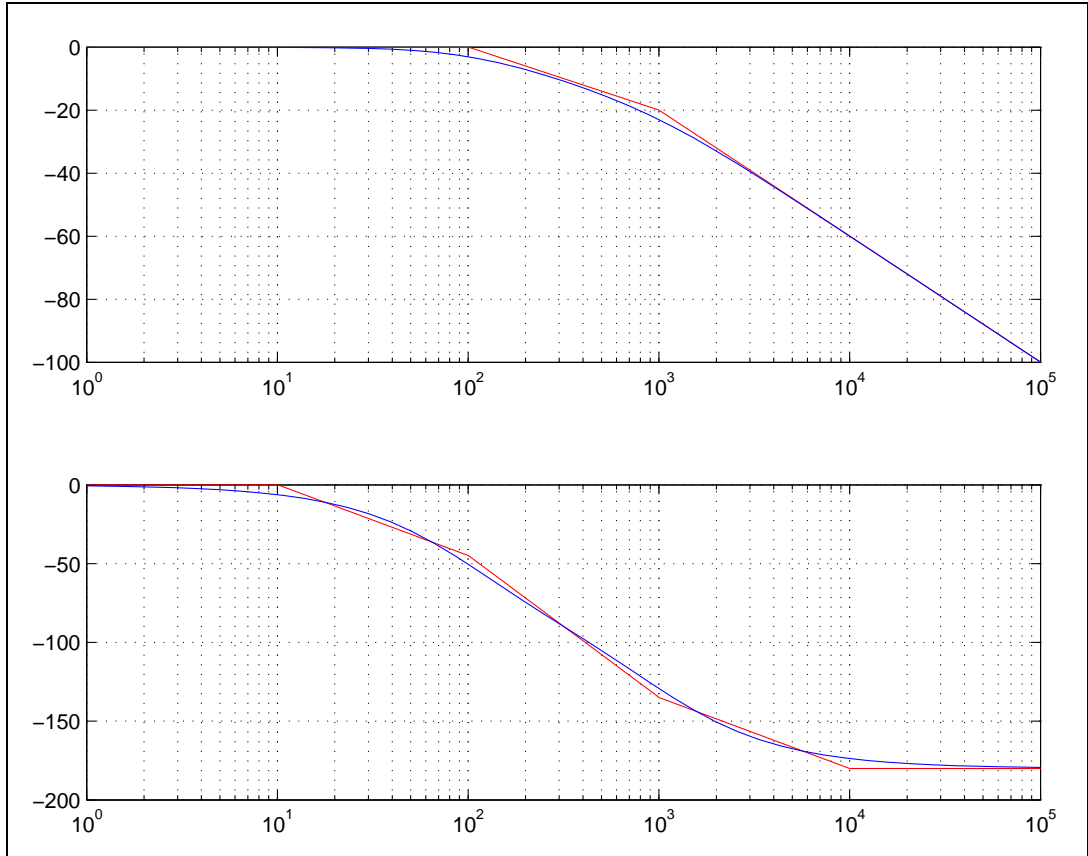
$$\begin{aligned} \frac{U_{ut}}{U_{in}} &= -\frac{Z_2}{Z_1} \cdot -\frac{Z_4}{Z_3} \\ &= \frac{R_2}{R_1(1 + j\omega C_1 R_2)} \cdot \frac{R_4}{R_3(1 + j\omega C_2 R_4)} \\ &= \frac{R_2 R_4}{R_1 R_3} \cdot \frac{1}{\left(1 + j\frac{\omega}{\left(\frac{1}{C_1 R_2}\right)}\right)} \cdot \frac{1}{\left(1 + j\frac{\omega}{\left(\frac{1}{C_2 R_4}\right)}\right)} \end{aligned}$$

- (b) Skissera amplitud och fas i ett Bodediagram då  $R_1 = R_4 = 1$  k $\Omega$ ,  $R_2 = R_3 = 2.2$  k $\Omega$ ,  $C_1 = 4.5$   $\mu$ F och  $C_2 = 1$   $\mu$ F.

(2 p)

**Lösning:**

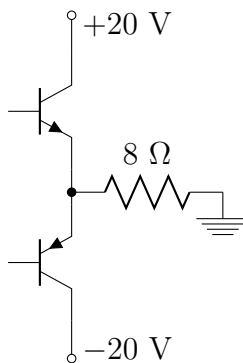
$$\begin{aligned} \frac{U_{ut}}{U_{in}} &= \frac{R_2 R_4}{R_1 R_3} \cdot \frac{1}{\left(1 + j\frac{\omega}{\left(\frac{1}{C_1 R_2}\right)}\right)} \cdot \frac{1}{\left(1 + j\frac{\omega}{\left(\frac{1}{C_2 R_4}\right)}\right)} \\ &\approx \frac{1}{\left(1 + j\frac{\omega}{101}\right)} \cdot \frac{1}{\left(1 + j\frac{\omega}{1000}\right)} \end{aligned}$$



- (c) Vilken är den högsta amplituden på en sinusformad insignal som kan användas utan att signalen distorderas? (1 p)

**Lösning:** Första steget har en förstärkning på  $\frac{R_2}{R_1} = 2$  och andra på  $\frac{R_4}{R_3} = \frac{1}{2}$ . Således är det signalen efter första steget som är mest kritisk och ska hålla sig inom matningsspänningen. Detta leder till att insignalen ska vara inom  $\pm 7.5$  V. (I praktiken lite lägre då operationsförstärkaren typiskt inte är linjär ända till matningen.)

2. En komplementär effektförstärkare spänningsmatas med  $\pm 20$  V och driver en last på  $8 \Omega$ . Sluttransistorerna är kopplade enligt nedan.



- (a) Vilken är den högsta effekten som kan utvecklas i lasten vid en sinusformad insignal? (1 p)

**Lösning:** Utsignalen har en amplitud på 20 V och därmed ett effektivvärde  $U_e = \frac{20}{\sqrt{2}}$  V. Effekten som utvecklas i lasten är  $P = \frac{U_e^2}{R} = 25$  W.

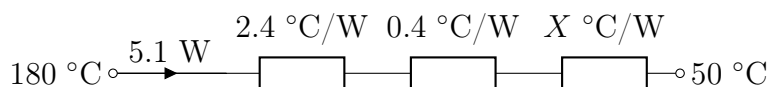
- (b) Vilken är den högsta effekten som kan utvecklas i transistorerna vid en sinusformad insignal? (2 p)

**Lösning:** Den maximala effektutvecklingen i transistorerna sker vid en utsignal som är  $\frac{2}{\pi}$  av matningen, den så kallade kritiska spänningen. Vid denna utsignal är effektutvecklingen i lasten och transistorerna lika stor, så

$$\frac{\left(\frac{2}{\pi} \frac{20}{\sqrt{2}}\right)^2}{8} \approx 10.1 \text{ W.}$$

- (c) Transistorerna tål en maximal kristalltemperatur på 180 °C. Transistorns kapsel har en termisk resistans på 2.4 °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:** Effekten 10.1 W från (b) delas lika mellan de bägge transistorerna, så effekten är ca 5.1 W för en transistor.



$$180 - 5.1(2.4 + 0.4 + X) = 50 \Rightarrow X = \frac{180 - 50}{5.1} - (2.4 + 0.4) \approx 22.7 \text{ °C/W.}$$

3. En operationsförstärkare av typen 741 är spänningmatad med  $\pm 12$  V och återkopplad för att begränsa förstärkningen. Slew raten för en sådan OP är typiskt  $0.5 \text{ V}/\mu\text{s}$ . Vi vill förstärka en sinussignal med amplitud 0.3 V och maximal frekvens 6 kHz. Vilken är den högsta förstärkningen som kan användas? (3 p)

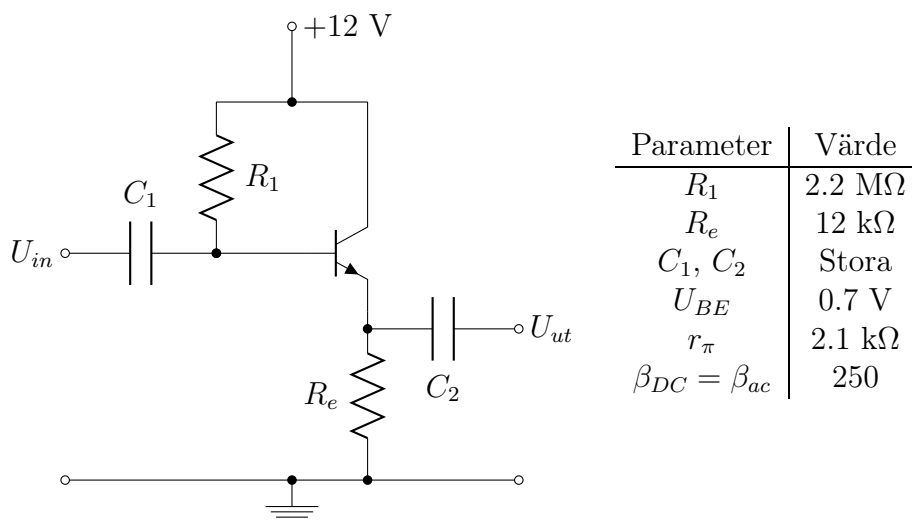
**Lösning:** Det finns två faktorer som begränsar förstärkningen: matningsspänning och slew rate.

*Matningsspänning:* Den största utspänningen är  $\pm 12$  V vilket ger en maximal förstärkning på  $\frac{12}{0.3} = 40$  ggr.

*Slew rate:* Maximala förändringen är  $\max\left\{\frac{\partial}{\partial t} 0.3A \sin(2\pi 6 \times 10^3 t)\right\} = 3.6A\pi \times 10^3 = 0.5 \times 10^6 \Rightarrow A = \frac{0.5 \times 10^6}{3.6\pi \times 10^3} \approx 44.2$  ggr.

Den maximala förstärkningen är således 40 ggr och slew raten är inte begränsande i detta fallet.

4. Komponenterna i förstärkarsteget nedan har värden enligt tabell.



(a) Bestäm transistorns vilostrom,  $I_{CQ}$ . (2 p)

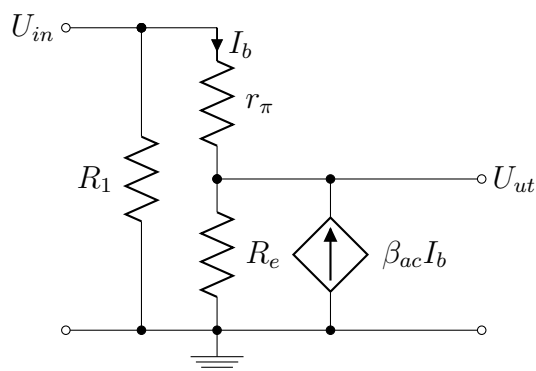
**Lösning:**

$$12 - I_{BQ}R_1 - U_{BE} - (1 + \beta_{DC})I_{BQ}R_e = 0 \Rightarrow I_{BQ} = \frac{12 - U_{BE}}{R_1 + (1 + \beta_{DC})R_e}$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} \approx 0.561 \text{ mA}$$

(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:**

$$\left. \begin{aligned} U_{ut} &= R_e(\beta_{ac} + 1)I_b \\ U_{in} &= (r_\pi + R_e(\beta_{ac} + 1))I_b \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{U_{ut}}{U_{in}} = \frac{R_e(\beta_{ac} + 1)}{r_\pi + R_e(\beta_{ac} + 1)} \approx 0.999$$

(d) Bestäm förstärkarstegets inresistans.

(1 p)

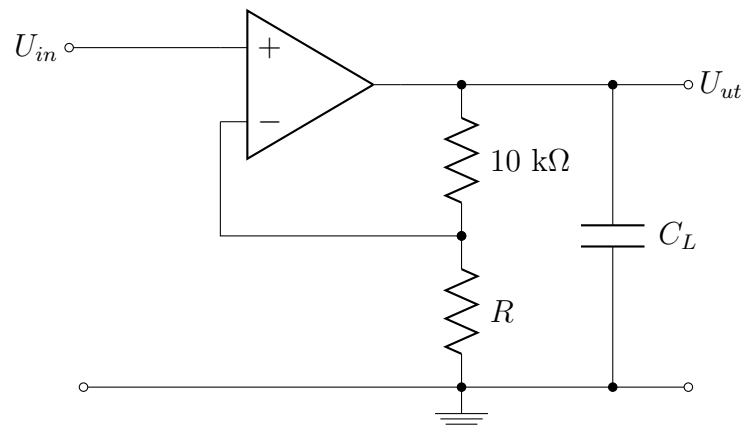
**Lösning:**

$$R_{in} = R_1 \parallel (r_\pi + (\beta_{ac} + 1)R_e) \approx 1.27 \text{ M}\Omega$$

5. Förstärkaren i nedanstående koppling har råförstärkningen

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

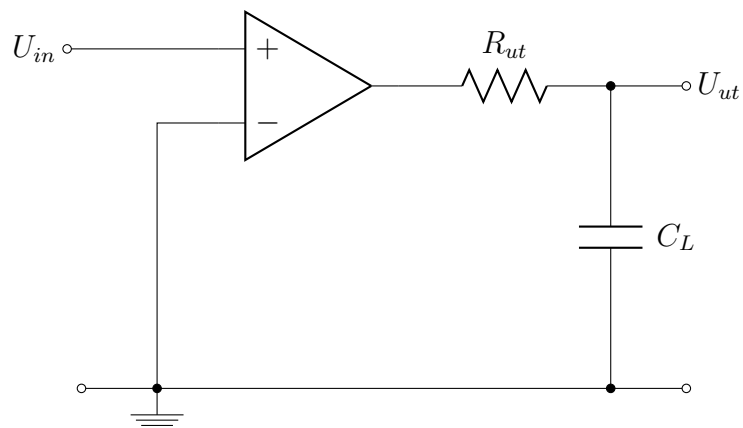
och en utresistans  $R_{ut} = 28.4 \text{ }\Omega$ . Lasten är en kondensator med kapacitans  $C_L = 0.56 \text{ }\mu\text{F}$ .



(a) Bestäm den totala överföringsfunktionen  $U_{ut}/U_{in}$  utan återkoppling (dvs strunta i resistanserna i figuren, men ta hänsyn till utresistansen).

(1 p)

**Lösning:**



$$\begin{aligned} \frac{U_{ut}}{U_{in}} &= A_{V0} \cdot \frac{\frac{1}{j\omega C_L}}{\left(R_{ut} + \frac{1}{j\omega C_L}\right)} \\ &= A_{V0} \cdot \frac{1}{\left(1 + j\omega C_L R_{ut}\right)} \\ &\approx 10^4 \cdot \frac{1}{\left(1 + j\frac{f}{10^2}\right)} \cdot \frac{1}{\left(1 + j\frac{f}{10^4}\right)} \end{aligned}$$

- (b) Dimensionera resistorn  $R$  så att fasmarginalen blir  $45^\circ$  för den återkopplade förstärkaren. (Ledning: använd resultatet i första deluppgiften som den återkopplade förstärkarens råförstärkning.)

(3 p)

**Lösning:** Fasmarginalen är  $45^\circ$  vid den andra polen, dvs  $f \approx 10^4$ , vilket ger

$$\left| 10^4 \cdot \frac{1}{\left(1 + j \frac{f}{10^2}\right)} \cdot \frac{1}{\left(1 + j \frac{f}{10^4}\right)} \right| \approx 10^4 \cdot \frac{1}{100} \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 70.7$$

alltså ca 37 dB. Således blir återkopplingsfaktorn  $\beta \approx \frac{1}{70.7} \approx 0.0141$  och då  $\beta = \frac{R}{R+10^4}$  fås  $R = \frac{10^4 \beta}{1-\beta} \approx 143 \Omega$ .