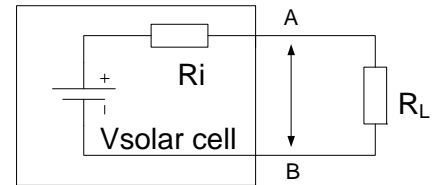


Forslag til løsning på eksamen FYS1210 våren 2010

Oppgave 1

En seriekopling av solceller forsyner CubeSTAR med elektrisk energi. Ubelastet måler vi en spenning på 5 volt over solcellene (V_i måler mellom A og B). Belaster vi cellene med en motstand (R_L) på 12 ohm faller spenningen til 4,5 volt.

a) Hvor stor er solcellenes indre motstand, R_i ?



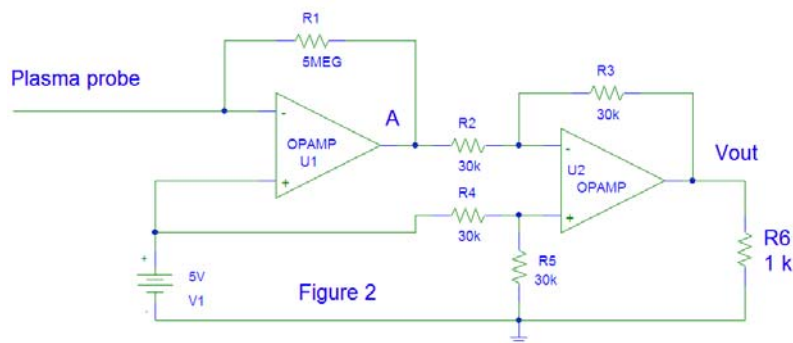
Figur 1

Spenningen faller med 0,5 volt når solcellen belastes. Dette spenningsfallet ligger over den indre motstanden R_i . Samme strøm går igjennom R_i og R_L .

$$I_{R_L} = 4,5/12 = 0,375 \text{ ampere. } R_i = 0,5/0,375 = 1,3 \text{ ohm}$$

Figure 2. viser en forenklet koplingen til en av de 4 ”plasma-probene” på CubeSTAR . Vi skal måle tettheten av frie elektroner.

”Proben” legges på et positivt potensial slik at den trekker til seg elektroner.



$R_1 = 5 \text{ M}\Omega$, $R_2=R_3=R_4=R_5= 30 \text{ k}\Omega$ På utgangen til opamp 2 ligger $R_6 = 1 \text{ k}\Omega$
Batteriet V1 legger en spenning på +5 volt til (+) på OPAMP 1.

b) Hva er DC-spenningen på ”plasma proben” ?

*En opamp med ”neg feedback” må ha samme spenning på (-) og (+)
Med +5volt på (+) må plasmaproben også ha +5 volt.*

c) Spenningen i A (utgangen fra Opamp 1) er **5,5 volt**. (4,5v)
Hvor stor er strømmen fra ”proben” ? ($R_1 = 5 \text{ M}\Omega$)

Vi har et spenningsfall på 0,5 volt over 5 Mohm.

$$\text{Strømmen fra proben } i = 0,5V/5M\Omega = 100nA \text{ (} 0,1 \mu A \text{)}$$

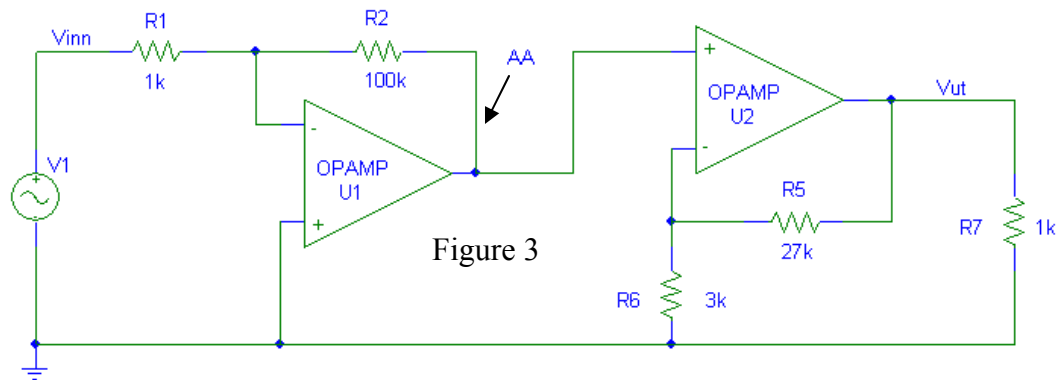
d) Hvor stor er strømmen gjennom motstanden R_6 ?

Opamp 2 er koplet som en differanseforsterker.

$$V_{out} = 5,5v - 5v = 0,5v$$

$$\text{Strømmen gjennom motstanden } I_R = 0,5V/1 \text{ k}\Omega = 500\mu A$$

Oppgave 2



- a.) Figure 3 viser 2 operasjonsforsterkere (OpAmp) koplet i serie.
 $R1 = 1\text{ k}\Omega$, $R2 = 100\text{ k}\Omega$, $R5 = 27\text{ k}\Omega$, $R6 = 3\text{ k}\Omega$ og $R7 = 1\text{ k}\Omega$
 Hvor stor er den totale forsterkningen i kretsen ($A_v = V_{ut}/V_{inn}$) for lave frekvenser (1-10 Hz) ?

$$A_{vU1} = 100/1 = 100 \quad A_{vU2} = 27/3 + 1 = 10$$

$$A_v = V_{ut}/V_{inn} = 1000 \text{ (60 dB)}$$

- b.) Hvor stor er forsterkningen – i dB – i det siste trinnet (OpAmp U2) - for lave frekvenser (1-10 Hz) ?

$$A_{vU2} = 10 \text{ - forsterkning i dB - } A_v(\text{dB}) = 20 \log 10 = 20 \text{ dB}$$

- c.) Operasjonsforsterkerne har et GBW på 1MHz. Ved hvilken frekvens reduseres forsterkningen med 3 dB ?

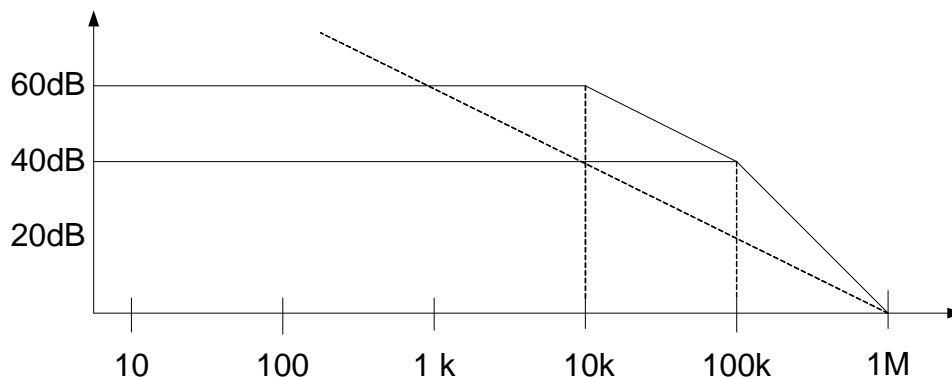
*Forsterkningen til disse OpAmp faller med 20 dB pr dekad. (GBW=1MHz)
 Forsterkningen i trinn U1 er 100. Dvs. forsterkning er 40 dB.
 Går vi 2 dekader tilbake fra 1MHz – finner vi 10kHz*

- d.) Ved 10 kHz er signalet ut fra Opamp 1 (AA) 0,5 volt. Hvor stort er signalet på den inverterende inngangen ? (knotepunktet mellom R1 og R2)

*Råforsterkningen til OpAmp ved 10 kHz er 40 dB (ligger 2 dekader under 1MHz)
 Dvs. signalet i AA = 0,5 volt / 100 = 5 mV. (regnes som riktig svar)
 (– men da har i ikke tatt hensyn til at dette er et knekkpunkt – hvor forsterkningen alt har falt 3 dB. Dvs. forsterkningen er redusert med en faktor 0,7 dvs. $A_v = 70$
 - som gir 7mV i AA)*

- e.) Tegn et plot som viser frekvensgangen til kretsen fra 1Hz til 1MHz. Bruk logaritmepapir. Marker tydelig ”knekkpunkter” på denne kurven

Oppgave 2 e)



Oppgave 3

- a) Se på Figur 4. Hva er inngangsimpedansen Z (ohm) til kretsen for et signal med frekvens 20 kHz ?

(Sett fra signalkilden V1 – inn mot C1 = 1 μ F og R1 = 4k Ω)

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \cong 8\Omega \quad Z = \sqrt{(X_C)^2 + R^2} = \sqrt{64 + 16 \cdot 10^6} \cong 4k\Omega$$

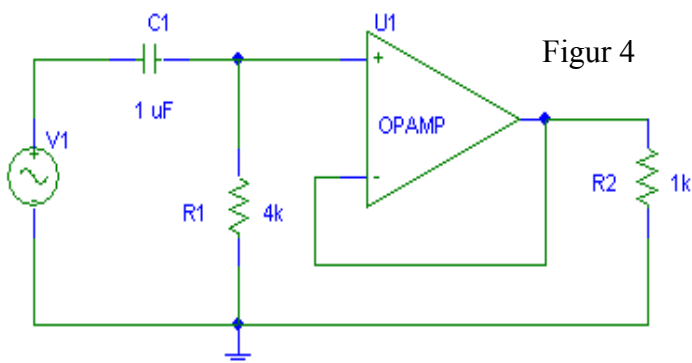
- b) C1 og R1 danner et frekvensfilter. Er dette et høypass eller lavpass- filter ?
Dette er et høypassfilter

Hva er knekkfrekvensen (cutoff-frekvensen) til filteret ? $f = \frac{1}{2\pi RC} \cong 40\text{Hz}$

- c) Forsterkeren har en *SLEW RATE* på 1 volt/ μ s. Hva blir største signalamplitude (Vpp) kretsen kan gjengi ved 30 kHz ?

$$s = V_p \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \quad V_p = \frac{s}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{1 \cdot 10^6}{6,28 \cdot 30 \cdot 10^3} \cong 5,3 V_p$$

Husk at formelen for "slewrate" bruker V_p - ikke V_{pp} . Det betyr at $V_{pp} = 10,6(\text{MAX})$



Oppgave 4

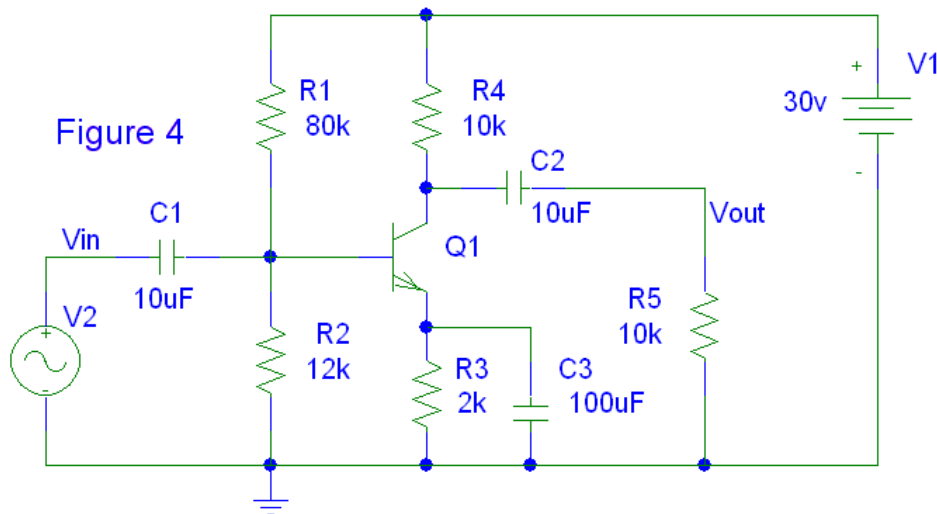


Figure 4 viser en AC - forsterker bygget med en NPN BJT-transistor Q1. Denne transistoren har en strømforsterkning $\beta = 200$. Batterispenningen $V_1 = 30$ volt

$$R_1 = 80 \text{ k}\Omega, R_2 = 12 \text{ k}\Omega, R_3 = 2 \text{ k}\Omega, R_4 = 10 \text{ k}\Omega, R_5 = 10 \text{ k}\Omega$$

4 a) Tegn opp Thevenin ekvivalenten for forspenning av basen.

Hvor stor er Thevenin-spenningen V_{TH} og Thevenin motstanden R_{TH} ?

$$V_{TH} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_1 = \frac{12}{80 + 12} \cdot 30\text{V} = 3,9\text{volt} \quad R_{TH} = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{960}{92} \text{ k} = 10,4\text{k}\Omega$$

4 b) Hvor stor er hvilestrømmen I_{CQ} til transistoren ?

Du kan godt gjøre en forenklet beregning – uten bruk av Thevenin.

Vis beregningen.

Denne oppgaven kan løses vha. Thevenin – men strømmen gjennom R_1 og R_2 er mye større enn basestrømmen I_b . $I_{R1R2} = 30\text{V}/92\text{k} = 0,33 \text{ mA}$. Det betyr at jeg kan gjøre en forenklet beregning av spenningen over emittermotstanden. Spenningen på basen er bestemt av R_1 og R_2 dvs. 3,9 volt. Base – emitterspenningen $V_{BE} = 0,7$ volt – følgelig blir spenningen over emittermotstanden $V_{RE} = 3,9 - 0,7 = 3,2$ volt. $R_E = 2\text{k}\Omega$

*Emitterstrømmen $I_E = V_{RE}/R_E = 3,2/2\text{k} = 1,6 \text{ mA} \approx I_C$ **$I_C \approx 1,6 \text{ mA}$***

Hvis du regner med Thevenin:

$$V_{TH} = V_{RTH} + V_{BE} + V_{RE} \quad 3,9\text{V} = i_b \cdot R_{TH} + 0,7\text{V} + i_b(\beta + 1) \cdot R_E$$

*Du finner i_b - multipliserer med β (200) og finner **$I_C \approx 1,6 \text{ mA}$** .*

4 c) Hvor stor er strømmen ut fra batteriet V1 ?

$$I_{BAT} = I_{R1R2} + I_C = 30V / 92k\Omega + 1,6mA \cong 1,9mA$$

4 d) Hvis $I_C = 2mA$. Hvor stor blir spenningen (Kollektor – Emitter), V_{KE} ?

Regner $I_E = I_C$. Spenningsfall over R_C og R_E : $12k\Omega \times 2mA = 24V$

$$V_{KE} = 30V - 24V = 6 \text{ volt}$$

4 e) Hvis hvilestrømmen $I_{CQ} = 1,5 \text{ mA}$

– hvor stor er transistorens transkonduktans - g_m ?

$$g_m = \frac{I_{CQ}}{V_T} = \frac{1,5mA}{25mV} = 60mS$$

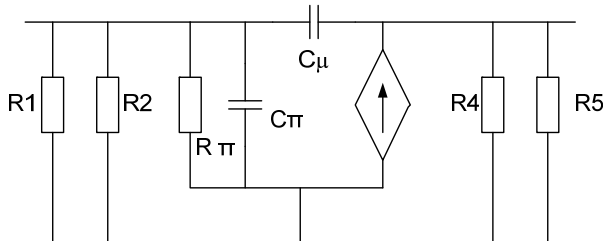
4 f) Hvor stor er spenningsforsterkningen A_V (V_{out} / V_{in})?

$$A_V = g_m \cdot R_L = 60 \cdot R_4 \parallel R_5 = 60mS \cdot 5k\Omega = 300$$

4 g) Vi fjerner emitterkondensatoren C3. Hva blir forsterkningen A_V (V_{out} / V_{in}) ?

$$A_V = \frac{R_L}{R_E} = \frac{R_4 \parallel R_5}{R_E} = \frac{5}{2} = 2,5$$

4 h) Tegn opp småsignalekvivalenten til kretsen – for høye frekvenser.



4 i) Forklar kort hva du forstår med Millereffekt.

Pga. forsterkningen av signalet fra basis til kollektor vil kapasiteten C_μ opptre forsterket på inngangen, $C_M = (1 + A_V) \cdot C_\mu$ i parallell med C_π . Se figuren under.

Det betyr: Stor forsterkning i transistoren gir dårlig frekvensrespons for høye frekvenser.

