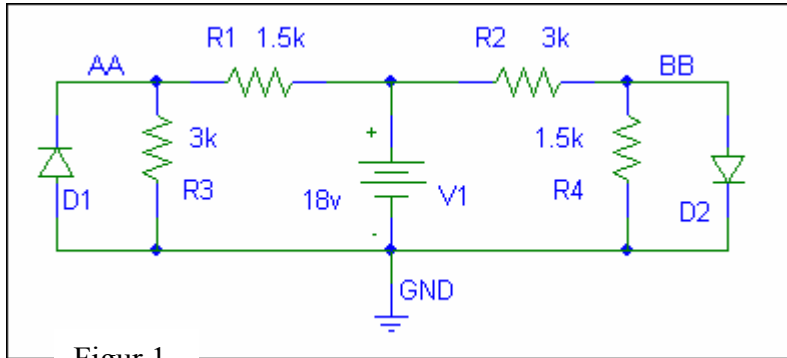


**Forslag til løsning på eksamen i FYS 1210 våren 2006** (rev 4)

Oppgave 1.



Figur 1

Figur 1 viser et nettverk med et batteri på 18 volt, 2 silisiumdioder og 4 motstander.

1a) Hva er spenningen i punktene AA og BB – målt i forhold til jord (GND) ?

AA=12volt BB = 0,7volt

1b) Hvor stor er strømmen gjennom R3 ?

$$I_{R3} = 4 \text{ mA}$$

1c) Hvor stor er strømmen gjennom R2 ?

$$I_{R2} = 5,7 \text{ mA}$$

1d) Hvor stor er strømmen gjennom D2 ?

$$I_{D2} = I_{R2} - I_{R4} = 5,3 \text{ mA}$$

1e) Hva er spenningen over motstanden R4 ?

$$V_{R4} = 0,7 \text{ volt}$$

1f) Hvor stor er strømmen ut fra batteriet ?

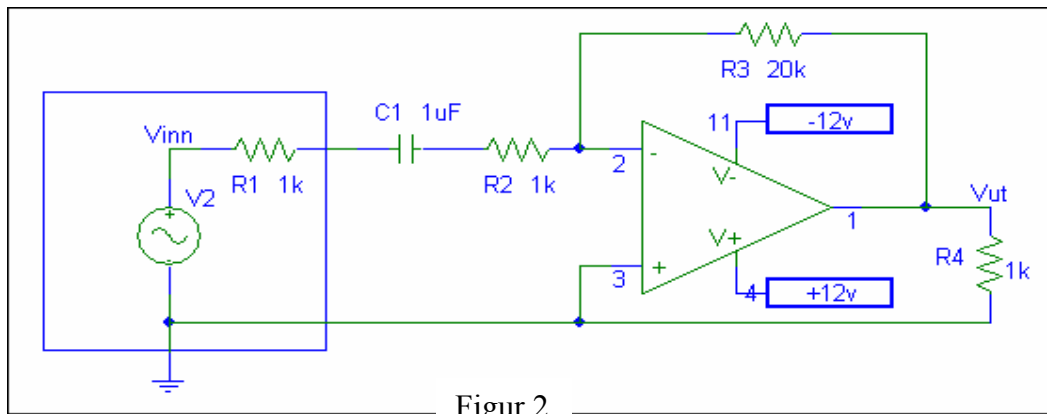
$$I_{BATT} = 9,8 \text{ mA}$$

1g) Hvor stor blir strømmen ut fra batteriet

hvis vi fjerner de to diodene ?

$$I_{BATT} = 8 \text{ mA}$$

Oppgave 2.



Figur 2

En signalgenerator tilkopleet en operasjonsforsterker via en kondensator C1 på 1uF. Signalgeneratoren har en indre motstand på 1kΩ. Operasjonsforsterkeren har et Gain Bandwith Product , GBW på 1MHz og en råforsterkning på 100dB. Se Figur 2

2a) Hvor stor forsterkning ( $A_v = V_{ut} / V_{inn}$ ) har kretsen for midlere frekvenser ?

Forsterkningen for midlere frekvenser er gitt av R3 sammen med seriekoplingen av R1 og R2 (for midlere frekvenser kan vi se bort fra alle kondensatorer)

$$A_v = \frac{R3}{R1 + R2} = \frac{20k}{2k} = 10 \quad (\text{som omregnet til dB} = 20)$$

2b) Tegn frekvensresponsen til kretsen når generatoren varierer (sweeper) frekvensene fra 10 Hz til 1 Mhz. Beregn og/eller resoner deg fram til knekkpunktene (-3dB) for frekvensresponsen. Bruk logaritme papir til tegningen.

Knekkfrekvens for lave frekvenser er gitt av  $C = 1\mu\text{F}$   $R = R1 + R2 = 2k$

$$f_L = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{6,28 \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 10^{-6}} \cong 80 \text{ Hz}$$

Knekkfrekvens for høye frekvenser ( $f_C$ ) kan vi resonere oss frem til; Forsterkningen i kretsen har vi beregnet til 20dB. Vi vet at GBW ( $f_{unity}$ ) = 1MHz. (forsterkningen = 1 ved 1MHz, ) Frekvensresponsen til en ideell op.amp. faller med 20 dB pr. dekad. Hvis vi går en dekad tilbake fra 1MHz finner vi 100kHz og vi vet at forsterkningen her er 20 dB. Dvs øvre knekkpunkt er 100kHz.

Du kan også bruke formelen i boka s.759  $A_{CL} \cdot f_C = f_{unity}$

Vi vet at  $A_{CL} = 10$ ,  $f_{unity} = 1\text{MHz}$ . Beregner  $f_C = 1\text{MHz} / 10 = 100\text{KHz}$

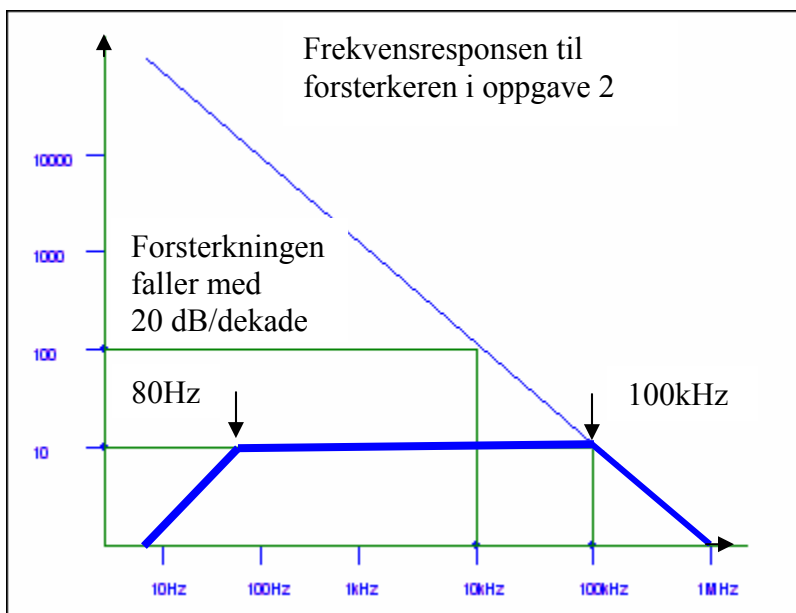
2c) Et signal på 100kHz gir en spenning  $V_{ut} = 5$  volt. Hvor stort er signalet på operasjonsforsterkerens inverterende inngang (pin 2) ?

Ved 100kHz er forsterkningen 20 dB dvs. 10 ganger.

Spenningen på pin2 må derfor være 0,5volt

2d) Hvor stort er signalet på pin 2 om frekvensen reduseres til 10kHz og vi samtidig justerer kretsen slik at spenningen  $V_{ut}$  holder seg på 5volt ?

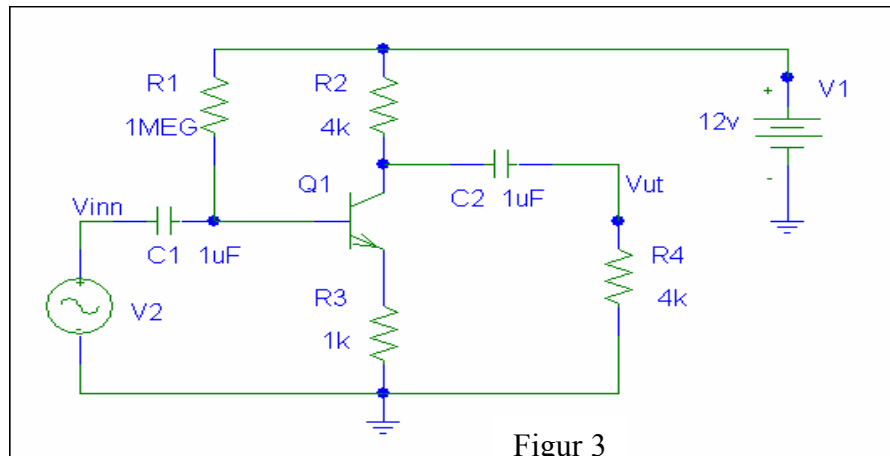
Ved 10kHz er forsterkningen 40 dB dvs. 100 ganger. Spenningen på pin2 må derfor bli 100 ganger mindre – dvs. 50mV ved 10kHz.



2e) Operasjonsforsterkeren har en slewrate  $s = 0,2$  volt/ $\mu$ s. Hva blir største signalamplitude ( $V_p$ ) forsterkeren kan levere uten forvrengning ved 10kHz ? Vis beregningen.

$$V_p = \frac{s}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{0,2 \cdot 10^6}{6,28 \cdot 10^4} = 3,18 \text{ volt}$$

Oppgave 3



Figur 3

Figur 3 viser en enkel forsterker med en bipolar NPN-transistor. Transistoren har en strømforsterkning  $\beta = 140$ . Batterispenningen  $V_{CC} = 12$  volt.

Kollektorstrømmen er  $1,4\text{mA}$ , basemotstanden  $R1 = 1\text{M}\Omega$ , kollektormotstanden  $R2 = 4\text{k}\Omega$ , emittermotstanden  $R3 = 1\text{k}\Omega$  og lastmotstanden  $R4 = 4\text{k}\Omega$ .

3a) Angi DC-spenningen på emitter, base og kollektor.

$$V_{R2} = 4\text{k} \cdot 1,4\text{mA} = 5,6\text{volt} \quad \text{Kollektorspenningen } V_K = 12\text{ volt} - 5,6\text{ volt} = 6,4\text{ volt}$$

Hvis kollektorstrømmen er  $1,4\text{mA}$  må basestrømmen være  $1,4\text{mA} / 140 = 10\ \mu\text{A}$

$$\text{Basespenningen } V_B = 12\text{ volt} - 1\text{M}\Omega \cdot 10\ \mu\text{A} = 12\text{volt} - 10\text{volt} = 2\text{ volt}$$

$$\text{Emitterspenningen } V_E = 1\text{k} \cdot (1,4 + 0,01)\text{mA} = 1,41\text{ volt}$$

Hvis du ikke bruker informasjonen om at  $\beta = 140$  - men direkte setter  $V_{BE} = 0,7$  volt - finner du basespenning  $V_B = V_E + 0,7\text{v} = 2,1$  volt. Denne fremgangsmåten vil gi litt for høye basespenninger. En enkel transistorforsterker vil trekke en basestrøm mindre enn  $1\text{mA}$ . Det betyr at base-emitterdioden vil ha en spenning litt mindre enn  $0,7$  volt. (husk labøvelse # 2)

3b) Hvor stor er transistorens transkonduktans  $g_m$  ?

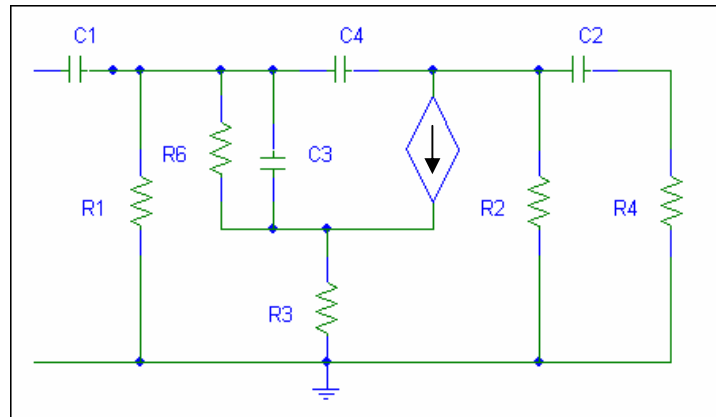
$$g_m = I_C / V_T = 1,4\text{mA} / 25\text{mV} = 56\text{mS}$$

3c) Tegn småsignalekvivalenten til forsterkeren i figur 3.

$$R6 = r_{\pi}$$

$$C3 = C_{\pi}$$

$$C4 = C_{\mu}$$



3d) Hva blir spenningsforsterkningen for midlere frekvenser ?

*Husk at lastmotstanden  $R_L$  består av  $R_2$  og  $R_4$  i parallell  $A_V \approx R_L / R_E = 2k/1k = 2$*

3e) Vi setter en stor kondensator i parallell med emittermotstanden  $R_3$ .

Hva blir spenningsforsterkningen nå ? Vis beregningen.

$$A_V = g_m \cdot R_L \quad \text{hvor } R_L = R_2 || R_4 \quad A_V = 56mS \cdot 2000\Omega = 112$$

3f) Hva forstår du med Miller-effekt – og hvordan påvirker denne frekvensresponsen til forsterkeren?

Miller-effekt: En kondensator  $C_{\mu}$  koplet mellom utgang og inngang på en inverterende forsterker vil opptre som en forstørret kapasitet  $C_M$  over inngangen.

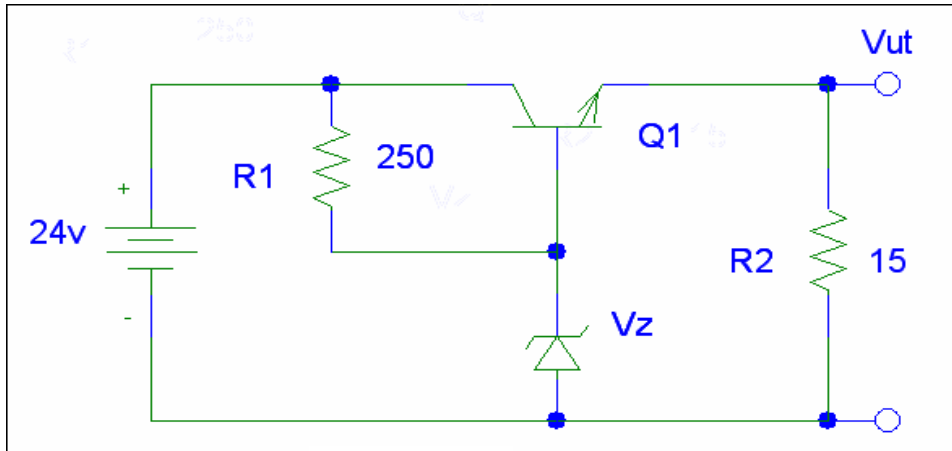
(  $C_M$  = Millerkapasiteten )

Størrelsen på kondensatoren vil være gitt av  $C_M = C_{\mu} ( 1 + A )$  – hvor  $A$  er forsterkningen til kretsen.

Denne effekten reduserer forsterkningen for høye frekvenser – vi får dårlig høyfrekvensrespons.

Hvis en transistor skal brukes for høye frekvenser er det viktig at kapasiteten over kollektor-base-dioden (  $C_{\mu}$  ) er minst mulig.

Oppgave 4



Figur 4

Kraft-transistoren Q1 i figur 4 har en strømforsterkning  $\beta = 80$ .

$V_z = 18$  volt, lastmotstanden  $R_2 = 15 \Omega$  og  $R_1 = 250 \Omega$ .

a) Hva blir spenningen over lastmotstanden  $R_2$  og hvor stor effekt (Watt) avsettes i motstanden?

$$V_{R_2} = V_z - V_{BEQ_1} = 18 \text{ volt} - 0,7 \text{ volt} = 17,3 \text{ volt}$$

$$W_{R_2} = (V_{R_2})^2 / R_2 = 19,96 \text{ watt} \approx 20 \text{ watt}$$

Alternativ bregning : Strømmen gjennom  $R_2$  ,  $I_{R_2} = 17,3/15 = 1,153$  amp

$$W_{R_2} = V_{ut} \cdot I_{R_2} = 17,3 \cdot 1,153 = 19,95 \text{ watt} \approx 20 \text{ watt}$$

b) Hvor stor blir strømmen gjennom  $R_1$  og strømmen  $I_z$  gjennom zenerdioden ?

$$I_{R_1} = (24 \text{ v} - V_z) / R_1 = 6 \text{ volt} / 250 \text{ ohm} = 24 \text{ mA}$$

$$\text{Basisstrømmen til } Q_1 : I_{BQ_1} = I_E / (\beta + 1) = 1,153 \text{ amp} / 81 = 14,2 \text{ mA}$$

$$\text{Strømmen gjennom zenerdioden } I_z = I_{R_1} - I_{BQ_1} = 24 \text{ mA} - 14,2 \text{ mA} = 9,8 \text{ mA}$$

c) Hvor mye effekt (W) avsettes i reguleringstransistoren Q1 ?

$$\text{Spenningsfallet over } Q_1 \quad V_{Q_1} = 24 \text{ volt} - 17,3 \text{ volt} = 6,7 \text{ volt}$$

$$\text{Effekten som avsettes i } Q_1 \quad P_{Q_1} = V_{Q_1} \cdot I_{R_2} = 6,7 \cdot 1,153 = 7,7 \text{ watt}$$

## Oppgave 5

5a) Se på Figur 5 . Rundt en ideell Op.amp. har vi koplet 4 motstander R1 ... R4  
Hva gjør kretsen ? – hva kaller vi en slik forsterker?

Dette er en differansforsterker.

Hvis alle motstandene er like store, vil

$$V_{ut} = V_2 - V_1$$

5b) Hvis  $R_2 = R_4$  og  $R_1 = R_3$

Bruk superposisjons-prinsippet

og vis at 
$$V_{ut} = \frac{R_1}{R_2}(V_2 - V_1)$$

Superposisjonsprinsippet sier at utgangsspenningen er gitt av summen av bidragene fra hver enkelt spenningskilde i kretsen. Ser først på bidraget fra V1. (kopler V2 til jord)

Kretsen blir da en ren invertende forsterker og 
$$V_{1ut} = -\frac{R_1}{R_2}V_1$$

Ser så på bidraget fra V2. Kopler V1 til jord. Vi har nå en ikkeinverterende forsterker –

signalet som legges inn til +inngangen er gitt av 
$$V_{R3} = V_2 \cdot \frac{R_3}{R_3 + R_4}$$

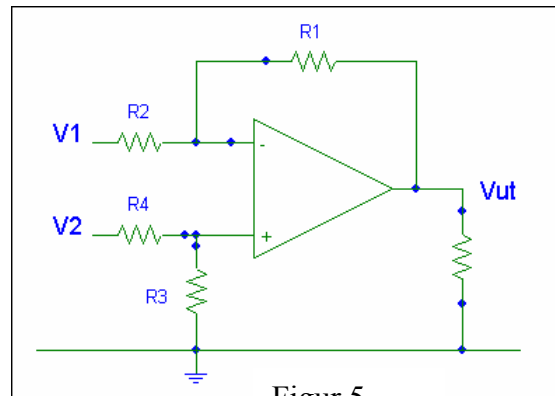
Signalet ut er gitt av 
$$V_{2ut} = V_{R3} \left( \frac{R_1}{R_2} + 1 \right)$$
 Vi legger nå sammen de to bidragene og får at

$$V_{ut} = V_{1ut} + V_{2ut}$$

Setter inn for  $V_{1ut}$  og  $V_{2ut}$  og ser at

$$V_{ut} = -\frac{R_1}{R_2}V_1 + V_2 \frac{R_3}{R_3 + R_4} \left( \frac{R_1}{R_2} + 1 \right) = -\frac{R_1}{R_2}V_1 + V_2 \frac{R_1}{R_1 + R_2} \left( \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_2}{R_2} \right)$$

$$V_{ut} = -\frac{R_1}{R_2}V_1 + V_2 \frac{R_1}{R_1 + R_2} \left( \frac{R_1 + R_2}{R_2} \right) = \frac{R_1}{R_2}(V_2 - V_1) \quad QED$$



Figur 5