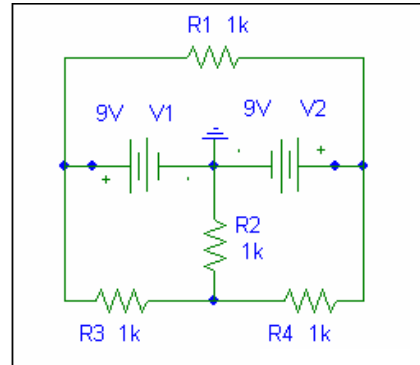


Eksamen har totalt 22 spørsmål

**Oppgave 1**

Fig.1 viser et nettverk med to 9 volt batterier og 4 motstander, - alle på 1kΩ.

- a) Hva blir spenningen over motstand R1 og hva blir strømmen gjennom R1 ?
- b) Hva blir strømmen gjennom R2 og spenningen over R2 ?
- c) Hva blir spenningen over R3 ?
- d) Hva blir strømmen gjennom R4 ?



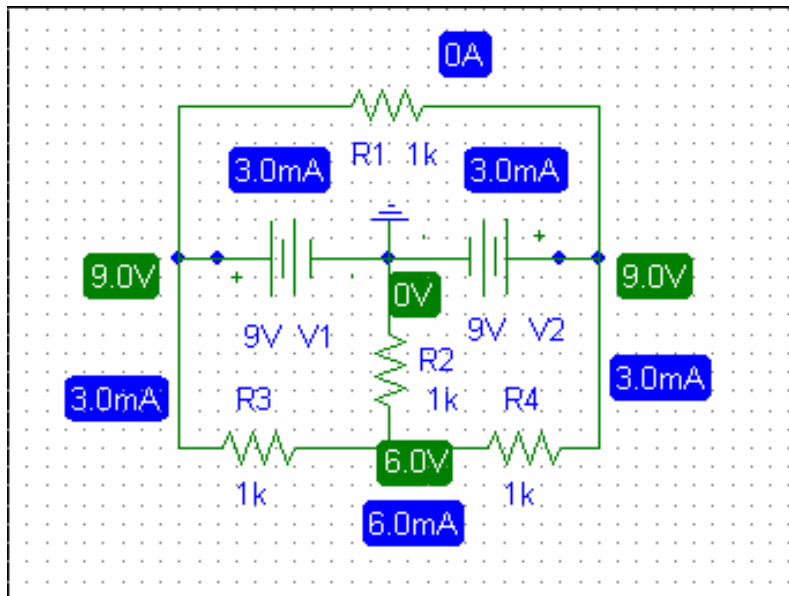
Figur 1

a) Spenningen over R1 = 0 volt. Det er +9 volt på begge sider av motstanden.

Dvs. det går ikke strøm gjennom motstanden R1.

Vi bruker **superposisjonsprinsippet**. Kortslutt batteri V1 og se på bidraget fra V2. Kortslutt så V2 og se på bidraget fra V1. Summer bidragene. Dette gir:

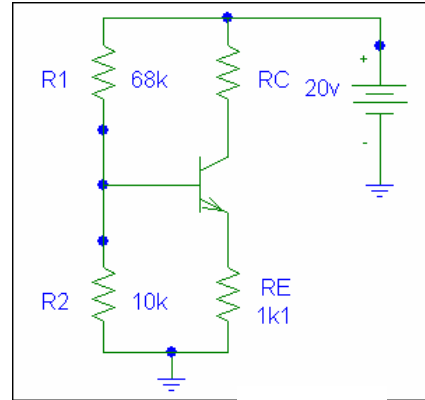
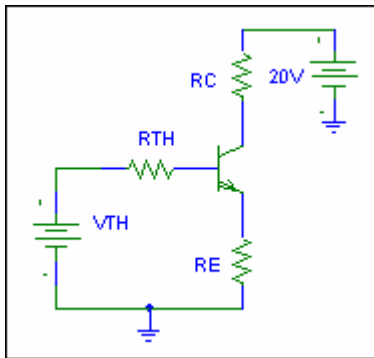
- b) Strømmen gjennom R2 = 6mA Spenningen over R2 = 6volt
- c) Spenningen over R3 = 3volt
- d) Strømmen gjennom R4 = 3mA



**Oppgave 2**

Figur 2 viser et normalt forspenningsnettverk rundt en bipolar transistor.

a) Tegn opp Thevenin ekvivalenten for forspenningen av basis.



Figur 2

b) Beregn størrelsen på Thevenin spenningen,  $V_{TH}$  og Thevenin motstanden  $R_{TH}$ .

$$V_{TH} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{CC} = \frac{10}{68 + 10} \cdot 20 \text{ volt} = 2,56 \text{ volt}$$

$$R_{TH} = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{68 \cdot 10}{68 + 10} \text{ k}\Omega = 8,7 \text{ k}\Omega$$

c) Transistoren har en strømforsterkningen

$\beta = 100$  Hva blir hvilestrømmen ( $I_{CQ}$ ) til transistoren i denne koplingen? Vis beregningen.

*Beregner først basestrømmen ut fra Kirchhoffs lov; Summen av spenningene i kretsen rundt basis må være null.*

$$V_{TH} = i_b \cdot R_{TH} + V_{BE} + V_{RE} \Rightarrow 2,56 = i_b \cdot 8,7 + 0,7 + i_b (R_E \cdot (\beta + 1))$$

$$2,56 = i_b \cdot 8,7 + 0,7 + i_b (1,1 \cdot 101) = i_b (8,7 + 111) + 0,7$$

$$2,56 = i_b (8,7 + 111) + 0,7 \Rightarrow i_b = \frac{2,57 - 0,7}{8,7 + 111} \approx \frac{1,9}{120} \text{ mA} \approx 16 \mu\text{A}$$

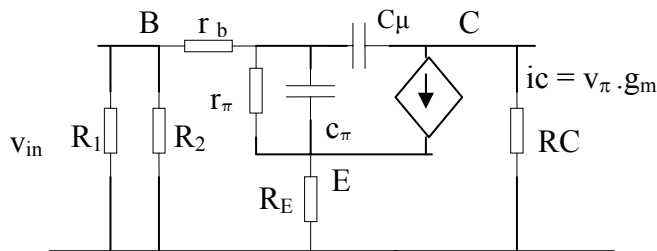
Basestrømmen  $i_b = 16 \mu\text{A}$  med en strømforsterkning på 100 blir

$$\text{hvilestrømmen } (I_{CQ}) = 16 \mu\text{A} \cdot 100 = 1,6 \text{ mA}$$

d) Hvis hvilestrømmen ( $I_{CQ}$ ) er 1,5mA – Hva blir transkonduktansen  $g_m$  og inngangsmotstanden  $r_\pi$  til transistoren ? (småsignalparametere)  
 ( Husk strømforsterkningen  $\beta = 100$  )

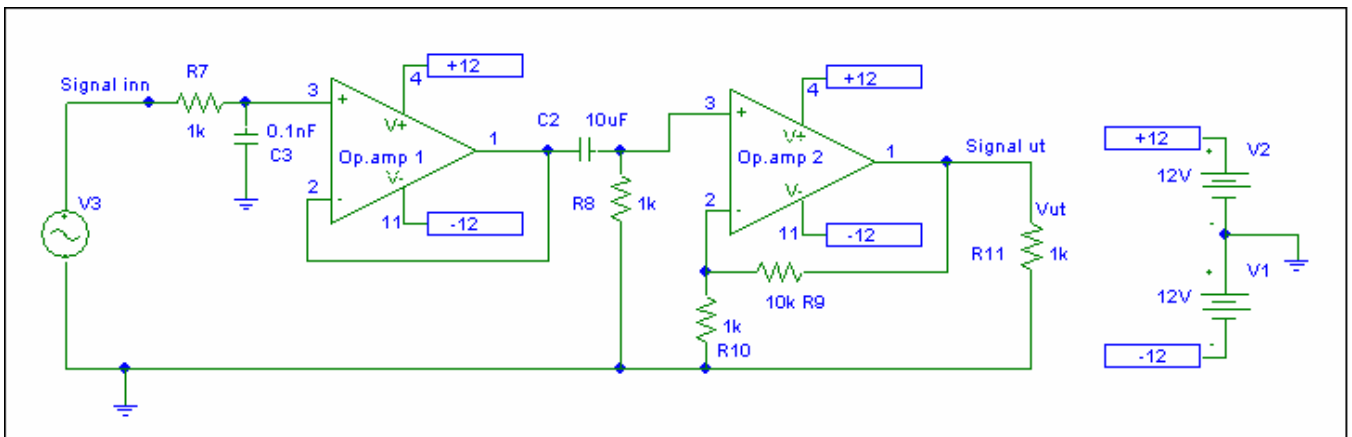
$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{1,5mA}{25mV} = 60mS \quad r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = \frac{\beta \cdot V_T}{I_C} = \frac{100 \cdot 25mV}{1,5mA} = 1,67k\Omega$$

e) Tegn opp småsignal -ekvivalenten til kretsen. (ta med interne kapasiteter)



Motstanden  $r_b$  kan godt fjernes – den er liten i forhold til  $r_\pi$ . Kapasiteten  $C_\mu$  kan legges parallell med  $C_\pi$  – men da med en verdi som er  $(A+1)$  ganger større.  
 Re.: Miller effekt. Millerkapasiteten  $C_m = C_\pi \cdot (A + 1)$  Denne begrenser transistorens øvre grensefrekvens.

### Oppgave 3



Figur 3 viser et frekvensfilter – tegnet for analyse i Pspice. Komponentverdier:  
 $R7=1k$ ,  $C3=0.1nF$ ,  $C2=10\mu F$ ,  $R8=1k$ ,  $R9=10k$ ,  $R10=1k$  og  $R11=1k$

a) Hva slags filter er dette ? Lav pass, høy pass eller båndpass ?

*Dette er et båndpassfilter. Et lavpassfilter ( $R7, C3$ ) sitter foran spenningsfølgeren Op.amp.1 Et høypassfilter ( $R8, C2$ ) ligger mellom op.amp 1 og 2. Til sammen danner disse filtrene et båndpassfilter.*

Oppgave 3b ) Beregn knekkfrekvenser og tegn opp frekvenskarakteristikken. Bruk logaritme papir. Marker tydelig knekkpunkter på frekvenskarakteristikken.  
 Nedre knekkfrekvens

$$f_L = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} = \frac{1}{6,28 \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} \cong 16 \text{ Hz}$$

Øvre knekkfrekvens

$$f_H = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} = \frac{1}{6,28 \cdot 1 \cdot 10^3 \cdot 0,1 \cdot 10^{-9}} \cong 1,6 \text{ MHz}$$

c ) Hvor stor er forsterkningen til kretsen ved midlere frekvenser ?

Ved midler frekvenser kan vi se bort fra kondensatorene. Op.amp. 1 er en spenningsfølger med forsterkning = 1.

Forsterkningen bestemmes av op.amp. 2.

Denne er koplet som en ikke inverterende forsterker med gain  $(R9/R10 + 1) = 11$

d ) Kretsen skal levere et signal  $V_{ut}$  med frekvens 2kHz. Vi ønsker at signalamplituden skal være 20 volt pp (Peak to peak) Hvilke krav stiller dette til "slewrate" for Op.amp 2

Husk at uttrykket for slewrate baserer seg på peak-verdi  $s \geq v_p \cdot 2\pi \cdot f$

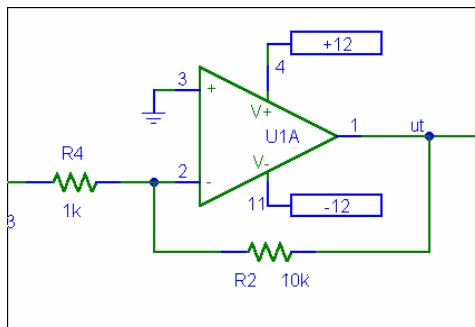
I dette eksemplet har vi krav om 20v peak-to-peak dvs. 10v peak.

$$s \geq v_p \cdot 2\pi \cdot f = 10 \cdot 6,28 \cdot 2 \cdot 10^3 \text{ v} / s = 0,1256 \text{ v} / \mu\text{s}$$

( i praksis ser vi etter  $s \geq 0,2 \text{ volt} / \mu\text{s}$  - som ikke er et strengt krav. AD741 har en slewrate på  $0,5 \text{ v}/\mu\text{s}$  )

**Oppgave 4**

a ) Du skal konstruere en inverterende forsterker. Kravene til forsterkeren er :  
 Inngangsmotstand  $R_{inn} = 1\text{k}\Omega$ . Spenningsforsterkningen  $A_V$  skal være 10 .  
 Tegn opp kretsen. Sett på komponentverdier.  
 (Du skal bruke en operasjonsforsterker, op.amp)

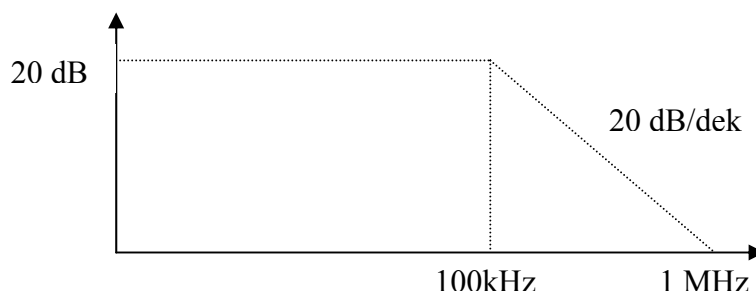


Bruker en inverterende kopling med 1k som seriemotstand inn mot (-) inngangen.

- b) Operasjonsforsterkeren du skal bruke har et  $GBW = 1\text{MHz}$ . Hva blir øvre grensefrekvens til forsterkeren.

*En forsterkning på 10 tilsvarer 20 dB. Vi vet at responsen til en op.amp. faller med 20 dB pr. dekad. Dvs. hvis vi går en dekad tilbake fra 1MHz (GBW) kommer vi til 100kHz. Dette blir forsterkerens øvre grensefrekvens.*

- c) Tegn opp frekvensresponsen til forsterkeren. Bruk vedlagte logaritmeblad.



- d) Vil denne forsterkeren kunne brukes i et HiFi lydanlegg ?  
 (HiFi krever lineær fasegang i frekvensområdet 20 Hz – 20 kHz)  
 Gi et kort resonnement for svaret.

*Ved knekkfrekvensen har vi et faseskift på  $45^\circ$ . For å komme unna faseskift må vi flytte oss en dekad ned i frekvens – ned til 10 kHz. Det betyr at kretsen ikke kan brukes i et HiFi-anlegg*

- e) Du skal konstruere en ny inverterende forsterker med  $A_v = 30$ .  
 Øvre grensefrekvensen skal være 100 kHz  
 Inngangsmotstanden skal være størst mulig.  
 Tegn opp kretsen og sett på komponentverdier.  
 ( Du disponerer flere operasjonsforsterkere med  $GBW = 1\text{MHz}$ .)

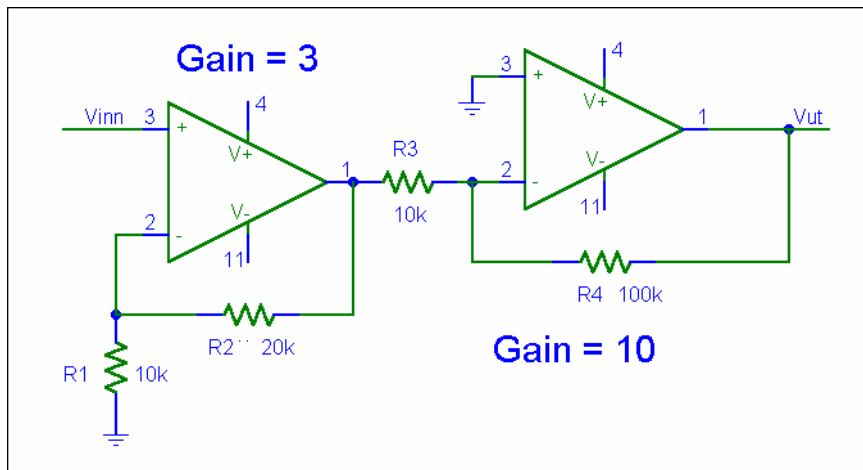
*Skal vi klare en grensefrekvens på 100kHz med spenningsforsterkning på 30 må vi bruke 2 forsterkere. Vi så under b) og c) at en op.amp med GBW på 1MHz har en maksimal forsterkning på 10 for en øvre grensefrekvens på 100kHz.*

*Det vil si vi må seriekople to trinn hvor hver av disse ikke kan ha større forsterkning enn 10.*

*Vi kan begynne med et trinn med forsterkning 3 - i serie med dette kan vi legge inn et trinn med forsterkning 10. Totalt gir dette en forsterkning på 30.*

*For å få størst mulig inngangsmotstand må vi bruke en ikkeinverterende forsterker som første trinn. Jeg velger en forsterkning 3 for dette trinnet. Forsterkningen til en ikkeinverterende forsterker er gitt som  $(R_2/R_1 + 1)$*

Velger  $R_1 = 10\text{ k}\Omega$  og  $R_2 = 20\text{ k}\Omega$  For trinn 2 bruker jeg en inverterende forsterker. Trinn 2 har forsterkning 10 - gitt av forholdet mellom  $R_4$  og  $R_3$ . Se figuren under.



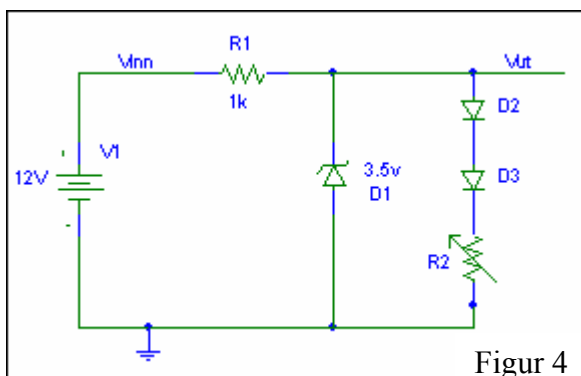
### Oppgave 5

a) Nevn minst 2 forskjellige typer analog til digitalomformere ( AD – omformere )  
Gi en kort vurdering av fordeler og ulemper ved disse typene.

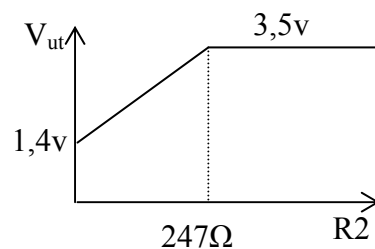
- 1) Counting (tellende) AD Billig men langsom. 8 bit AD krever 256 klokkepulser for sikker konvertering.
- 2) Suksessiv approksimasjon. Raskere og litt dyrere enn counting AD. 8 bit AD krever bare 8 pulser for sikker konvertering. Mer kompleks styrelogikk enn hos counting AD.
- 3) FLASH AD raskest av alle. Analog til digital konvertering på en klokkepuls. 8 bit system krever 255 komparatorer. Kostbar.
- 4) Dual slope / integrerende AD. Billig men langsom.

b) Figur 4 viser en zener-stabilisert krets.

$V_{INN} = 12\text{ volt}$ .  $R_1 = 1\text{ k}\Omega$ .  $D_1$  er en zenerdiode på 3.5volt,  $D_2$  og  $D_3$  er to silisiumdioder.  $R_2$  er en variabel motstand. Vi varierer  $R_2$  fra  $0\text{ k}\Omega$  til  $1\text{ k}\Omega$ . Tegn opp et diagram som viser  $V_{UT}$  som funksjon av  $R_2$ . (sett verdier på aksene – marker og sett verdi på knekkpunkter)



Figur 4



**Forslag til løsning på eksamen i FYS1210 våren 2005 side 7**

Finner først spenningen over R2.

Zenerdioden begynner å lede når summen av spenningene over D2, D3 og R2 når 3,5 volt. De to silisiumdiodene er koplet i lederetning – dvs. det ligger 0,7 volt over hver – til sammen 1,4 volt over diodene. (Uavhengig av R2)

Når R2 = 0 vil spenningen V<sub>ut</sub> bestemmes av de to diodene dvs. 1,4 volt. Se figur Etter hvert som R2 øker i verdi vil spenningen over denne motstanden også øke. Det betyr at spenningen over R2 må være 3,5 – 1,4 = 2,1 volt. når zenerdioden begynner å lede.

Finner så strømmen gjennom R2.

Strømmen gjennom R2 bestemmes av strømmen gjennom R1.

Så lenge zenerdioden ikke leder vil strømmen I<sub>R2</sub> = I<sub>R1</sub>.

I det øyeblikk vi når en spenning V<sub>ut</sub> = 3,5 volt vil det være et spenningsfall over R1 gitt av likningen  $V_{R1} = 12\text{V} - 3,5\text{V} = 8,5\text{V}$

(Kirchoff's lov om spenning i en krets, - summen av spenningene = 0)

Strømmen gjennom R1 finner vi ved bruk av Ohm's lov:

$$I = U/R \quad I_{R1} = 8,5/1k = 8,5\text{mA}$$

Denne strømmen må også gå igjennom R2. Motstanden R2 finner vi av Ohm's lov:

$$R2 = V_{R2}/I_{R2} = 2,1\text{V} / 8,5\text{mA} = 247\Omega$$

c) Hvor stor blir strømmen gjennom zenerdioden D1 hvis R<sub>1</sub> = R<sub>2</sub> = 1kΩ og V<sub>INN</sub> = 12 volt?

Fra b) ser vi at spenningen V<sub>ut</sub> må være 3,5 volt når R<sub>1</sub> = R<sub>2</sub> = 1kΩ.

Fra b) ser vi også at spenningen over motstanden R2 må være 2,1 volt. Ohms lov gir oss strømmen I<sub>R2</sub> = 2,1V / 1kΩ = 2,1 mA.

Spenningsfallet over motstanden R1 = V<sub>R1</sub> = 12V – 3,5V = 8,5 volt (se under b)

Strømmen i R1 må være I<sub>R1</sub> = V<sub>R1</sub> / R1 = 8,5 V / 1kΩ = 8,5mA

Summen av strømmene ut fra knutepunktet over zenerdioden må være lik strømmen som kommer inn til knutepunktet. (Kirchoff's lov om strømmer i et nettverk)

Da blir strømmen gjennom zenerdioden

$$I_Z = 8,5\text{mA} - 2,1\text{mA} = 6,4\text{mA} \quad \text{--- når } R_1 = R_2 = 1k\Omega$$

d) Zenerdioden tåler ¼ watt i avgitt varme (P<sub>ZMAX</sub>). Hva er minste verdi motstanden R1 kan ha hvis vi skal være sikker på at zenerdioden ikke brenner opp i kretsen på figur 4?

Max effekt i zenerdioden: P<sub>ZMAX</sub> = U<sub>Z</sub> · I<sub>ZMAX</sub>    I<sub>ZMAX</sub> = 0,25 / 3,5 = 71mA

Hvis R2 er meget stor vil all strømmen gå igjennom zenerdioden.

Jeg velger en litt "konservativ" strøm på 70mA gjennom motstanden R1.

Spenningen over R1 skal være 8,5 volt. Med en strøm på 70mA må

$$R1_{MIN} = 8,5\text{V} / 70\text{mA} = 121\Omega$$