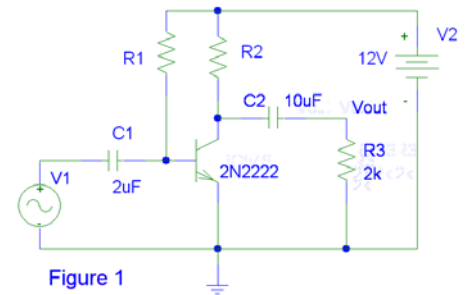


Oppgave 1

Figure 1 viser en enkel transistorforsterker med en NPN-transistor 2N2222

Transistoren har en oppgitt strømforsterkning $\beta = 150$. Kondensatoren C1 har verdien $2 \mu\text{F}$. $C2 = 10 \mu\text{F}$. Tilført spenning fra batteriet V2 er 12 volt.



1a) Transistoren skal arbeide med en kollektor hvilestrøm (I_{CQ}) på 1,5 mA.

Beregn verdiene til basismotstanden R1 og kollektormotstanden R2.

Arbeidspunktet må ligge på 6 volt – dvs. spenningen over R2 må være 6 volt.

$$R2 = 6\text{ volt} / 1,5\text{ mA} = 4\text{ k}$$

Transistoren leder – dvs. basis = 0,7 volt.

$$R1 = (V2 - 0,7) / (1,5\text{ mA} / 150) = 11,3\text{ volt} / 0,01\text{ mA} = 1,13\text{ M}\Omega$$

1b) Hvor stor er transistorens transkonduktans – g_m ?

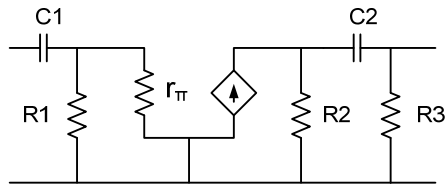
$$g_m = I_c / V_T \quad g_m = 1,5\text{ mA} / 25\text{ mV} = 60\text{ mS} \quad (r_{\pi} = \beta / g_m = 2\text{ k5})$$

1c) Hvor stor er spenningsforsterkningen for midlere frekvenser?

$$A_v = -g_m * R2 || R3 \quad (-g_m * R2 || R3 = -80)$$

1 d) Vi fjerner R3 – Hva blir nå forsterkningen for midlere frekvenser ? -240

1 e) Tegn opp småsignalekvivalenten for lave frekvenser.



1 f) Hva blir nedre grensefrekvens til forsterkeren ?

$$\text{Frekvensen bestemmes av } C1 \text{ og } r_{\pi}. \quad f_L = \frac{1}{2\pi \cdot r_{\pi} \cdot C1} = 32\text{ Hz}$$

*R1 er stor - 1,13 MΩ Dvs. liten betydning når den står i parallell med r_{π} på 2k5
C2 og R3 begrenser fra ca. 8 Hz – dvs. C1 og r_{π} bestemmer*

1 g) Hva er forsterkerens inngangsimpedans (Z_{in}) for 10 kHz? $Z_{in} = \sqrt{X_c^2 + R^2} = 2\text{ k5}$

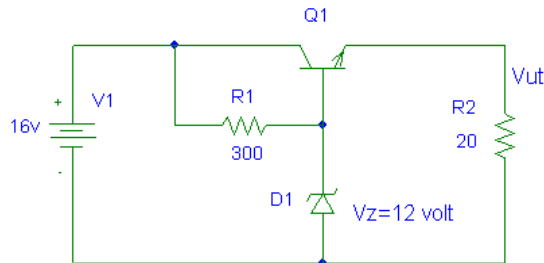
1 h) Øvre grensefrekvens bestemmes blant annet av transistorens interne kapasitanser. Forsterkningen til kretsen vil også ha betydning for øvre grensefrekvens. Forklar kort hvordan dette henger sammen. (Millereffekt)

Oppgave 2

Figur 2A viser en spenningsregulator,

- transistoren Q1 har en strømforsterkning $\beta = 100$.
- $V_Z = 12$ volt, lastmotstanden $R_2 = 20 \Omega$ og $R_1 = 300 \Omega$.

Figure 2A



2a) Hva blir spenningen over lastmotstanden R2 og hvor stor effekt (Watt) avsettes i motstanden? $V_{R2} = V_Z - 0,7v = 12v - 0,7v = \underline{11,3 \text{ volt}}$

$$P_{R2} = V_{R2}^2 / R_2 = \underline{6,4 \text{ watt}}$$

2b) Hvor stor er strømmen gjennom R1 og strømmen I_Z gjennom zenerdioden ?

$$I_{R2} = 11,3/20 = \underline{0,57 \text{ Amp}} \quad (\text{ Dette er emitterstrømmen til transistoren } Q1)$$

$I_Z = ?$ Finner først strømmen gjennom R1. Denne strømmen deler seg nå i 2 grener - basestrømmen I_B og strømmen gjennom zenerdioden I_Z .

$$I_{R1} = (16v - 12v) / 300\Omega = 4 / 300 = \underline{13,3 \text{ mA}}$$

$$\text{Emitterstrømmen } I_E = (\beta + 1) \cdot I_B \rightarrow I_B = I_E / (\beta + 1) = 0,57 / 101 = 5,6 \text{ mA}$$

$$I_Z = I_{R1} - I_B = 13,3 \text{ mA} - 5,6 \text{ mA} = \underline{7,7 \text{ mA}}$$

2c) Hvor stor effekt (W) avsettes i reguleringstransistoren Q1 ?

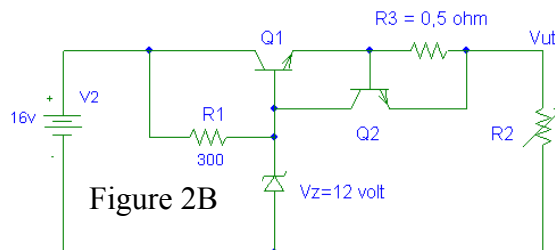
$$P_{Q1} = V_{Q1} \cdot I_{Q1} = (16 - 11,3) \text{ volt} \cdot 0,57 \text{ mA} = 4,7 \text{ volt} \cdot 0,57 \text{ A} = \underline{2,7 \text{ watt}}$$

Vi setter inn noen ekstra komponenter Q2 og R3 som skal begrense strømmen til lastmotstanden R2 – hvis denne blir for liten (kortslutning) Se Figur 2B

2d) Hvor stor er strømmen gjennom R2 når strømbegrenseren treer i funksjon ?

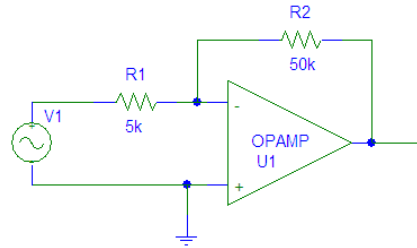
Skal strømbegrenseren tre i funksjon må spenningen Base – Emitter være 0,7 volt.

$$\text{Dvs. } I_{MAX} = 0,7 \text{ volt} / 0,5 \text{ ohm} = \underline{1,4 \text{ Amp}}$$



Oppgave 3

3a) Du har en operasjonsforsterker med et Gain Band Width product (GBW) = 1MHz. Du skal konstruere en *inverterende* forsterker. Kravene til forsterkeren er :
Inngangsmotstand $R_{inn} = 5 \text{ k}\Omega$.
Spenningsforsterkningen $A_v = 10$.
Tegn opp kretsen. Sett på komponentverdier.



*Bruker en inverterende kopling med 5k som seriemotstand inn mot (-) inngangen.
 $R2/R1=10$ – det betyr at $R2 = 50k$*

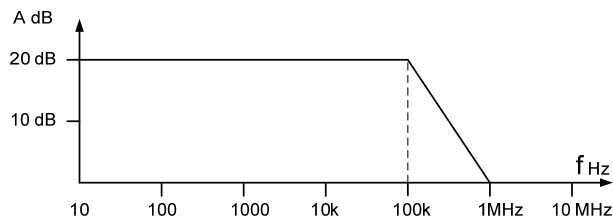
3b) Hvor stor er forsterkningen i dB ?

*$A_{dB} = 20 \cdot \log A_v = 20 \cdot \log 10 = 20 \cdot 1 = 10 \text{ dB}$
Forsterkning $A_v = 10$ gir 20 dB forsterkning.*

3c) Tegn opp frekvensresponsen til forsterkeren. Bruk vedlagte logaritme-papir.
Marker tydelig øvre grensefrekvens til forsterkeren.

Gain Band Width product (GBW) er definert som forsterkning (A_v) multiplisert med båndbredden BW :

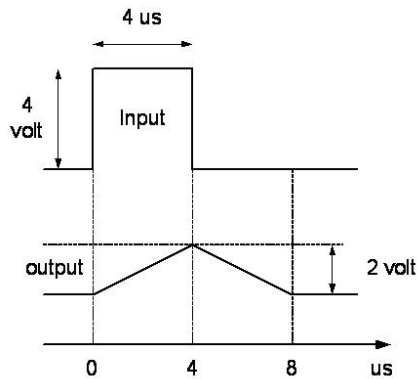
$$GBW = A_v \cdot BW \rightarrow 1 \text{ MHz} = 10 \cdot BW \rightarrow BW = 1 \text{ MHz} / 10 = 100 \text{ kHz} \quad (f_h)$$



3d) Kan denne forsterkeren brukes i et Hi-Fi lydanlegg ?
(Hi-Fi krever lineær fasegang i frekvensområdet 20 Hz – 20 kHz)
Gi en kort begrunnelse for svaret.

Ved grensefrekvensen (f_h) har vi et faseskift på 45° . For å komme unna faseskift må vi flytte oss en dekade ned i frekvens – fra 100 kHz ned til 10 kHz. Det betyr at kretsen ikke kan brukes i et Hi-Fi-anlegg

3 e)



3f) Du har flere operasjonsforsterkere med $GBW = 1\text{MHz}$ - og skal konstruere en ny inverterende forsterker - nå med spenningsforsterkningen $A_V = 30$. Øvre grensefrekvensen skal være 100kHz . Inngangsmotstanden skal nå være størst mulig. ($R_{\text{inn}} > 1\text{M}\Omega$) Tegn opp kretsen og sett på komponentverdier. (Hint – du må bruke flere forsterkere..)

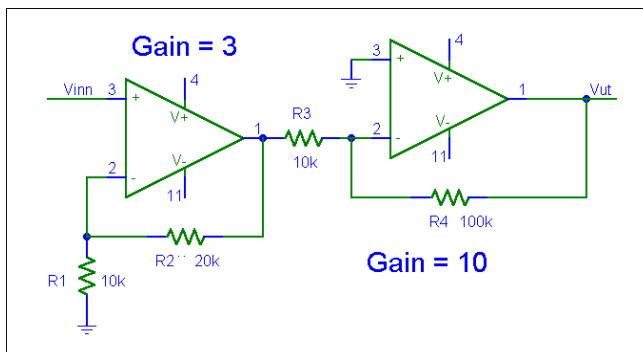
Skal vi klare en grensefrekvens på 100kHz med spenningsforsterkning på 30 må vi bruke 2 forsterkere. Vi så under b) og c) at en op.amp med GBW på 1MHz har en maksimal forsterkning på 10 for en øvre grensefrekvens på 100kHz .

Vi må seriekoble to trinn – ingen av disse 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 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 med forsterkning = 10 - gitt av forholdet mellom R_4 og R_3 . Se figuren under.



Oppgave 4

Figur 4 viser et frekvensfilter – tegnet for analyse i PSpice. Komponentverdier:

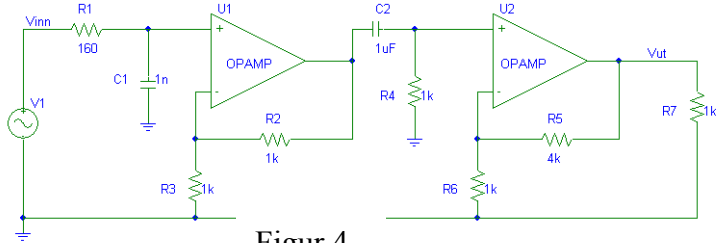
$R1 = 160 \Omega$, $C1 = 1\text{nF}$, $R2 = 1\text{k}\Omega$, $R3 = 1\text{k}\Omega$, $R4 = 1\text{k}\Omega$, $C2 = 1\mu\text{F}$, $R5 = 4\text{k}\Omega$, $R6 = 1\text{k}\Omega$, $R7 = 1\text{k}\Omega$

$R7 = 1\text{k}\Omega$

a) Hvor stor er forsterkningen til kretsen ved midlere frekvenser – i dB ?

Opamp U1 har gain 2 – opamp U2 har gain 5 – samlet er forsterkningen 10 ganger.

$A_V(\text{dB}) = 20 \log 10 = 20 \text{ dB}$



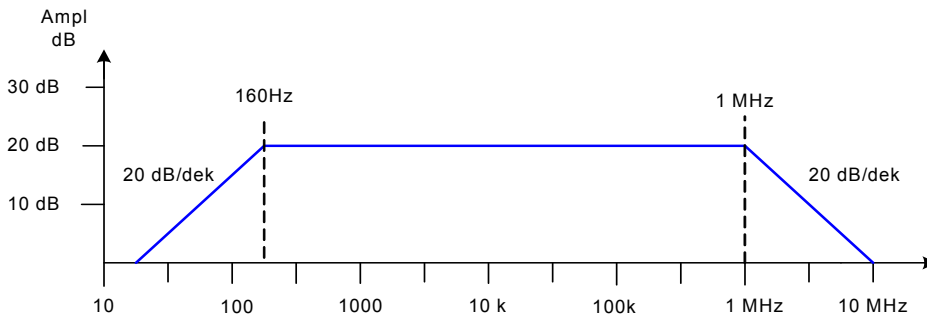
Figur 4

b) Beregn knekkfrekvenser og tegn opp frekvenskarakteristikken. (10Hz til 10MHz)
 Bruk logaritmepapir. Marker tydelig knekkpunkter på frekvenskarakteristikken.
 (Operasjonsforsterkerne har i oppgave 4b ingen GBW-begrensninger)

Knekkpunktene bestemmes av R1, C1 (høypassfilter) og C2, R4 (lavpass)

$$f_H = \frac{1}{2\pi R C} = \frac{1}{6,28 \cdot 10^3 \cdot 10^{-6}} = \frac{1000}{6,28} \approx 160 \text{ Hz}$$

$$f_L = \frac{1}{2\pi R C} = \frac{1}{6,28 \cdot 160 \cdot 10^{-9}} \approx 1 \text{ MHz}$$



c) Kretsen skal levere et signal V_{ut} med frekvens 20 kHz. Vi ønsker at signalamplituden skal være 20 volt pp (Peak to peak) Hvilke krav stiller dette til "slewrate" for Op.amp U2.

Husk at formelen for "slewrate" bruker V_P - ikke V_{PP}

$$s = V_P \cdot 2 \cdot \pi \cdot f = 10 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 20 \cdot 10^3 \approx 1,3 \text{ volt} / \mu\text{Sek}$$