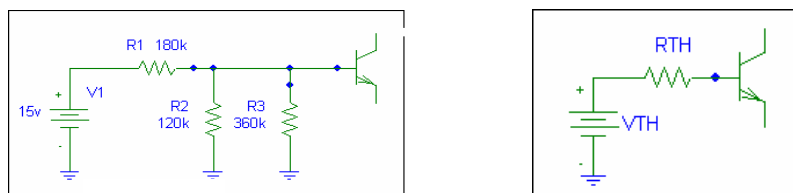


Forslag til løsning på eksamen FYS1210 høsten 2005

Oppgave 1

Figur 1 viser et nettverk tilkoppelt basen på en bipolar transistor.
(For 1a og 1b se læreboka side 199)

1 a) Tegn opp Thevenin-ekvivalenten for forspenningen av basen.



Figur 1

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

Ser først på parallellkoplingen av R2 og R3 $R_{EQ} = 120k \parallel 360k = 90k$
 $V_{TH} = 15v(R_{EQ}/(R1+R_{EQ})) = 15v (90 / 270) = 5v$

$$R_{TH} = R1 \parallel R2 \parallel R3 = 180k \parallel 120k \parallel 360k = 60k$$

Figur 1B viser en enkel forsterker med en bipolar NPN transistor (Q1).

Transistoren har en strømforsterkning $\beta = 150$.

Batterispenningen $V_{CC} = 9$ volt.

Kollektorstrømmen $I_C = 1$ mA

Basemotstanden $R1 = 1,1$ M Ω ,

kollektormotstanden $R2 = 4$ k Ω ,

emittermotstanden $R3 = 1$ k Ω

1 c) Angi DC-spenningen på emitter, kollektor og base.

Spenningen over kollektormotstanden R2:

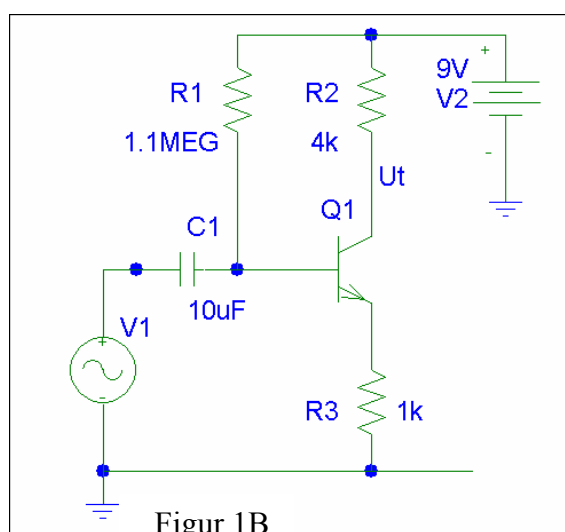
$$V_{R4} = 4k \cdot 1mA = 4v$$

Kollektorspenningen V_k blir :

$$V_k = V2 - V_{R4} = 9v - 4v = 5v$$

$$\underline{\underline{\text{Emitterspenningen } V_{R3} = R3 \cdot I_C = 1k \cdot 1mA = 1v}}$$

$$\underline{\underline{\text{Basespenning } \approx \text{emitterspenning} + 0,7v = 1,7v}}$$

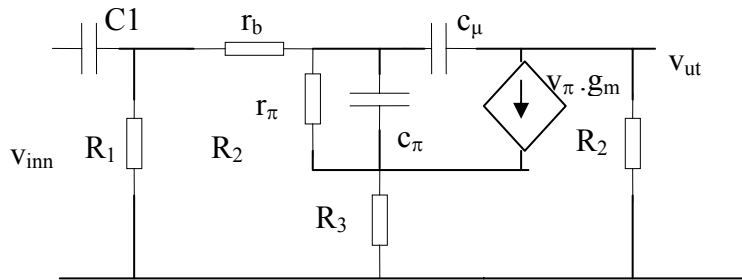


Figur 1B

1 d) Hvor stor er transistorens transkonduktans g_m ? (i Siemens)

$$\underline{\underline{g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{1mA}{25mV} = 40mS}}$$

1 e) Tegn opp småsignalekvivalenten til forsterkeren i Figur 1B.



1 f) Beskriv kort hva du forstår ved *Miller-effekt*. Hvordan påvirker denne frekvensresponsen til en forsterker?

Millereffekt (Se kompendiet om frekv.respons,) Pga. forsterkningen av signalet fra basis til kollektor vil kapasiteten C_μ opptre forsterket på inngangen, - i parallell med C_π . Som gir : $C_m = C_\pi + (1 + g_m \cdot R_p) \cdot C_\mu$ Dette medfører at forsterkeren får dårligere frekvensrespons. Klarer ikke stor forsterkning av høye frekvenser.

1 g) Hva blir spenningsforsterkningen til kretsen i Figur 1B for midlere frekvenser? Gi et forenklet resonnement.

Vi har vist at forsterkningen er tilnærmet lik forholdet mellom kollektormotstand og emittermotstand $A_v = \frac{R_3}{R_2} = \frac{4k}{1k} = 4$

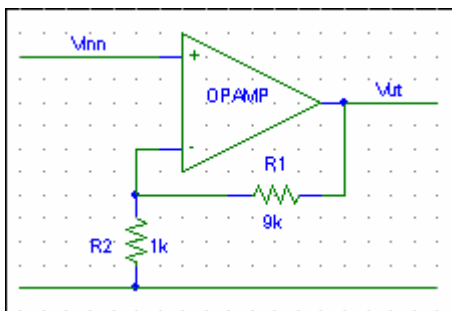
1 h). Vi setter inn en stor kondensator i parallell med emittermotstanden R3. Hva blir spenningsforsterkningen nå?

Kondensatoren kopler emittersignalet direkte til jord. Vi mister nå emitter tilbakekoplingen (mister negativ feedback) og vi får en kraftig økning i forsterkningen: $A_v = g_m \cdot R_2 = 40mS \cdot 4k\Omega = 160$

Se eget kompendium om "Bipolare transistorer - Noen fundamentale egenskaper" – ligger på nett.

Oppgave 2

2 a) Du skal bygge en forsterker ved hjelp av en operasjonsforsterker. (ikkeinverterende) Kravene til forsterkeren er som følger: Forsterkning 20 dB og ingen fasedreining ved 50 kHz. Tegn opp forsterkeren og sett på aktuelle motstandsverdier.



Forsterkningen til en ikkeinverterende

forsterker er gitt ved $A_f = \frac{R_1}{R_2} + 1$ velger $R_1 = 9$

k Ω og $R_2 = 1$ k Ω

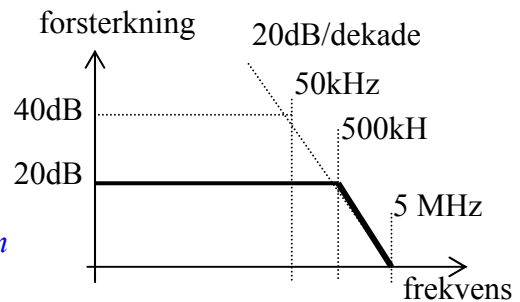
Dette gir en forsterkning $A_f = 9 + 1 = 10$ ganger

En forsterkning på 10 - omgjort til dB :

$A_f (dB) = 20 \log A_f = 20 \log 10 = 20$ dB

2 b) Tegn opp et diagram som viser forsterkning (dB) som funksjon av frekvens. Bruk logaritme-papir. Du skal bestille en egnet operasjonsforsterker. Hvilke krav må du stille til Gain-Band-Width produkt (GBW)

Ingen fasedreining ved 50 kHz betyr at knekkpunktet (-3dB) må ligge en dekad høyere – dvs. 500kHz. Vi vet at frekvens-responsen til operasjonsforsterkere faller med 20 dB/dekade. Dvs. skal vi ha 20 dB forsterkning med øvre grensefrekvens/knekkpunkt ved 500kHz – så må GBW produkt ligge en dekad høyere: 5MHz



2 c) Det siste kravet til forsterkeren er at signalet ikke skal være forvrengt ved 50 kHz selv med en signalspenning ut (Peak voltage) på 4 volt. Hvilke krav må du stille til "slew rate" ? (Vis beregningen av "slew rate")

$$s \geq v_p \cdot 2\pi \cdot f = 4 \cdot 6,28 \cdot 50 \cdot 10^3 \text{ v/s} \cong 1,3 \text{ v} / \mu\text{s} \quad (\text{i praksis ser vi etter } s \geq 2 \text{ volt} / \mu\text{s})$$

2 d) Hvor stort er signalet på operasjonsforsterkerens inverterende inngang når frekvensen er 50kHz og signalet ut har en peak voltage på 4 volt ?

Dette spørsmålet krever omtanke !!

Signalet på den ikkeinverterende inngangen må være (10 ganger) 20 dB lavere enn 4 volt. Dvs. 400mV.

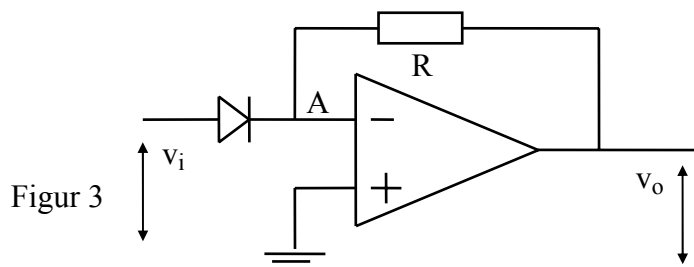
Fra figuren over ser vi at råforsterkningen til operasjonsforsterkeren ved 50kHz er 40dB, dvs. 100 ganger. Med 4 volt ut – betyr det at signaldifferansen på inngang må være 100 ganger (40dB) lavere – dvs. 0.04volt = 40mV. Med 400mV på ikkeinverterende inngang må signalspenningen på inverterende inngang være 40mV lavere. Dvs, 400mV – 40mV = 360mV.

Oppgave 3

3 a) Kom frem til et uttrykk for utgangsspenningen v_o til kretsen i Figur 3.

I denne oppgaven setter vi diodestrømmen til $i_D = I_s \cdot e^{V_D/\eta V_T}$ og lar

inngangsspenningen v_i være positiv i forhold til jord. Forsterkeren regnes som ideell.



Diodens katode peker inn mot den inverterende inngangen til operasjonsforsterkeren. Knutepunktet merket A er et virtuelt nullpunkt. Dvs. spenningen over dioden (V_D) er gitt av inngangsspenningen v_i . Diodestrømmen må gå igjennom motstanden R (dette

er en ideell forsterker dvs. ingen strøm inn i forsterkeren). Spenningen på utgangen er gitt av $v_o = i_D \cdot R$ (ohms lov)

$$v_o = -R \cdot i_D = -R \cdot I_S \cdot e^{v_i / \eta V_T}$$

Dette er en eksponentialforsterker

3 b) Dette spørsmålet er hentet fra laboppgave # 6.

Vi snur dioden i figur 3 – slik at anoden vender inn mot operasjonsforsterkeren. v_i er positiv i forhold til jord.



Motstanden $R = 4,7 M\Omega$ og $v_o = 0,5 \text{ volt}$.

Hvor stor er diodens reversstrøm?

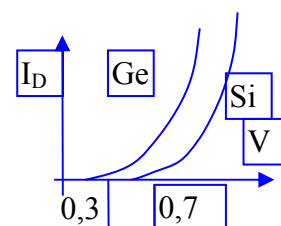
Reversstrømmen i dioden $I_S = (0,5/4,7)10^{-6} = 0,106 \mu\text{A} = 106 \text{ nA} (10^{-9} \text{ A})$.

3 c) Reversstrømmen i en PN-overgang skulle teoretisk være meget liten.

I en praktisk diodekopling ser vi her at den er relativt ”stor”. Kan du gi en forklaring på hva som forårsaker denne ”store” reversstrømmen?

Den høye strømmen skyldes krypstrømmer/lekkasje på diodens overflate. (teoretisk skulle $I_S \approx 10^{-15} \text{ A}$ for Si / Termisk eksiterte ladningsbærere.

3 d) Tegn opp strøm/spennings - karakteristikken for en Si-diode og en Ge-diode i samme diagram. (V_D -2volt til +2volt)

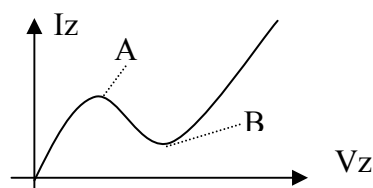


3 e) Man arbeider stadig for å finne nye halvledermaterialer. (Silicium carbide og Gallium nitride er slike materialer, begge med band gap, $E_G > 3 \text{ eV}$). Hva er det man ønsker å oppnå ved å bruke disse ”nye” materialene?

De ”nye” halvledermaterialene med større ”band gap” vil tåle enda høyere temperatur. Dvs vi kan pakke komponenter tettere sammen – mindre krav til aktiv kjøling osv.

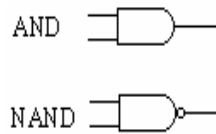
3 f) Hva er spesielt med en ”tunneldiode” ? Gi en kort forklaring – med henvisning til en tegning over strøm/spennings - karakteristikken.

Tunneldioden har et område med negativ motstand (Område A-B). Effekten skyldes meget sterk doping. Sperresjiktet blir meget tynt og feltstyrken blir så stor at de kovalente bindingene brytes. (Zener-effekt) Frie ladningsbærere vil opptre i ”sperresjiktet”. Opp til punkt A virker dioden som en ”normal” leder – men fra dette punktet blir feltet redusert så mye at stadig færre kovalente bindinger brytes (vi får stadig færre frie ladningsbærere) Dette skjer i område A-B. Etter punkt B etableres et ”normalt” sperresjikt og dioden opptrer som en vanlig diode. Slike tunneldioder kan bl.a. brukes til oscillatorer..



Oppgave 4

| AND og NAND | | | |
|-------------|---|-----|------|
| A | B | AND | NAND |
| 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 0 |



Oppgave 4 er hentet fra laboratorieoppgave # 4 Enkle logiske kretser

4 a) Sett opp sannhetstabellen for en AND og en NAND – port. (Fyll inn i de tomme rutene for AND og NAND som vist i figur 4a)

4 b) Figur 4b viser en DTL - port.. (Diode –Transistor – Logikk = DTL)

Hva blir spenningen V_{ut} hvis begge inngangene A og B ligger uten tilkopling? (som vist på figur 4b) "0"

Basen til BC547 vil trekkes opp til 0,7 volt – gitt av spenningsdelingen mellom motstandene og de to diodene. Dvs at transistoren leder kraftig og spenningen ut vil være lav , - ca 0,1 volt (logisk "0")

Dette er en NAND-port. En inngang uten tilkopling virker som logisk "1"

4 c) Hva blir spenningen V_{ut} hvis A koples til +5volt ?

"0" Det samme som under 4b

4 d) Hva blir spenningen V_{ut} hvis B koples til "jord" (0 volt) og A samtidig holdes på +5volt ? "1"

Dioden til B vil nå lede - dvs at spenningen foran de to diodene som leder inn mot basis på transistoren vil være 0,7 volt. Det betyr at det ikke vil gå strøm gjennom disse diodene og basis vil være koplet til "jord" med motstanden på 4,7k

Når basis er lav (0v) går det ingen strøm i transistoren (den er "cut off").

- (U_t) vil ligge høy , "1"

