



# Designnotat

Tittel: BJT Transistorforsterker

Forfatter: Karl Henrik Ejdfors

Versjon: 2.0

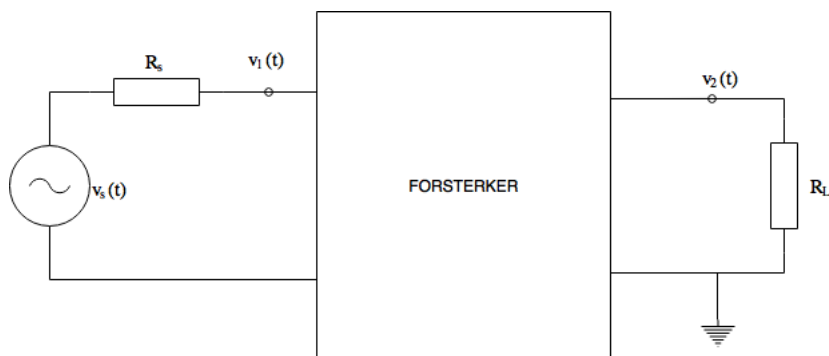
Dato: 1. desember 2017

## Innhold

<b>1</b>	<b>Problembeskrivelse</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Prinsipiell løsning</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Realisering</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>Takk</b>	<b>7</b>

## 1 Problembeskrivelse

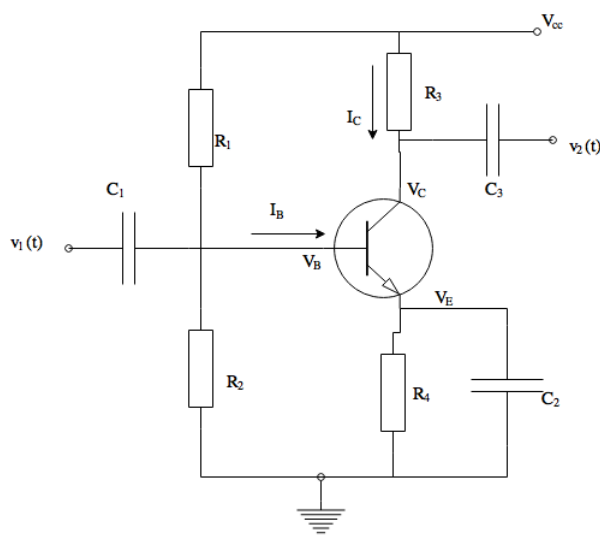
Det skal designes et system som vist i figur 1.1. I dette designet skal det lages en transistorforsterker som er optimalisert for størst mulig effektoverføring til en last  $R_L$ , samt stor forsterkning fra  $v_1$  til  $v_2$ . Transistorforsterkeren baserer seg på NPN-transistorer samt passive kretselement. Inngangssignalet er et periodisk signal,  $v_s(t) = A \cos(2\pi ft)$ .



Figur 1.1: Oversiktsfigur av forsterker.

## 2 Prinsipiell løsning

Det er mange måter å designe et slikt system på. Et mulig design av transistorforsterkeren er vist i figur 2.1.



Figur 2.1: Enkel transistorforsterker.

Arbeidspunktet er gitt ved de tre verdiene  $V_{CE}$ ,  $I_B$  og  $I_C$ , og velges fra transisorkarakteristikken.  $V_{CE}$  er spenningsverdien  $V_C$  i forhold til  $V_E$ . Fra arbeidspunktet kan alle andre størrelser i kretsen bestemmes. Dette designet skal optimalisere effekt le-

vert til lastmotstanden, og det er derfor gunstig å velge et arbeidspunkt som gjør at utgangsmotstanden blir minst mulig.

Et mulig arbeidspunkt for en transistor av typen BC547B med  $R_3 = 680\Omega$  og  $V_{cc} = 10V$  er som følger:  $I_B = 40\mu A$ ,  $I_C = 8.1mA$  og  $V_{CE} = 4.5V$ . Dette gir

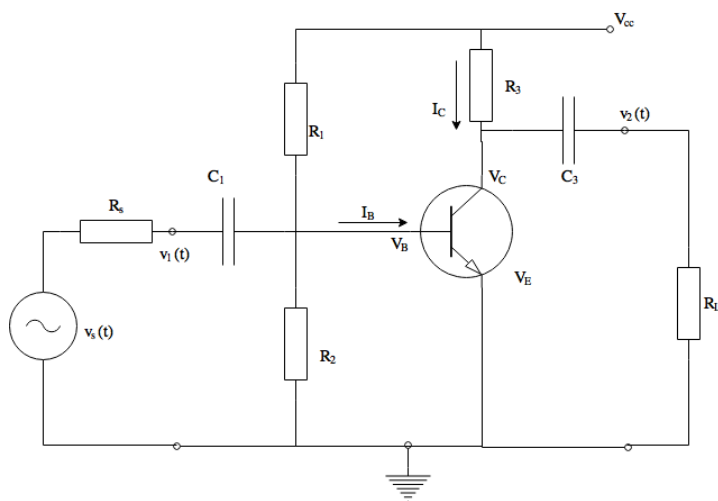
$$V_C = V_{cc} - I_C \cdot R_3 = 4.5V \implies V_C = V_{CE} \implies R_4 = 0.$$

For bipolare transistorer er det gitt at  $V_{BE} \approx 0.7V$ , ved (2.1) gir dette  $V_B = 0.7V$ . Ved (2.2) kan motstandsverdiene  $R_1 = 9.3k\Omega$  og  $R_2 = 680\Omega$  realisere spenningsverdien  $V_B$ .

$$V_B = V_{BE} + V_E \quad (2.1)$$

$$V_B = V_{cc} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.2)$$

Ved tilkobling av inngangssignal og last, kan forsterkeren implementeres som vist i figur 2.2.



**Figur 2.2:** Implementasjon av forsterker.

For signaler med små variasjoner kan man forenkle kretsskjemaet til forsterkeren som vist i figur 2.3, der

$$R_i = R_1 || R_2,$$

$$R_o = R_3,$$

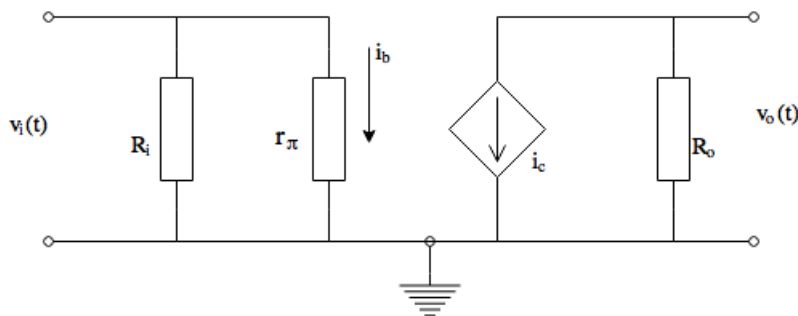
$$i_c = \beta \cdot i_b,$$

$$v_i = i_b \cdot r_\pi,$$

$$v_o = -i_c \cdot R_o.$$

Forsterkningen  $A_v$  blir da

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = -\frac{\beta \cdot R_o}{r_\pi}. \quad (2.3)$$



**Figur 2.3:** Småsignalekvivalent

Fra småsignalskjemaet, er det tydelig at inngangsmotstanden til systemet er  $R_i || r_\pi$ , der  $r_\pi$  er den indre motstanden i transistoren fra base til emitter. For å finne utgangsmotstanden deaktiveres alle uavhengige spenningskilder og det påføres en testspennig. Dette resulterer i  $R_o = R_3$ .

Ved egenskapene til transistoren,

$$3.2\text{k}\Omega < r_\pi < 8.5\text{k}\Omega \text{ og } \beta = 330,$$

blir spenningsforsterkningen ved (2.3), der  $R_3 = 680\Omega$

$$26.4 < |A_v| < 70.1$$

For å finne effekt levert til last, måles spenningsverdien over lasmotstanden og beregner levert effekt ved (2.4). Fra likning (2.3), avhenger spenningsforsterkningen av  $R_3$ , samtidig som levert effekt avhenger av at  $R_3$  skal være liten. Dette fører til at en høvelig verdi for  $R_3$  er  $R_L$ .

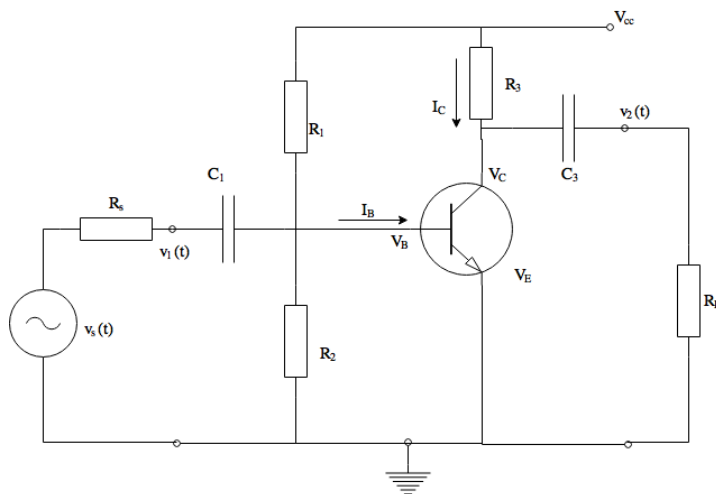
$$P = \frac{V_L^2}{R_L} \quad (2.4)$$

Forsterkningen fra  $v_1$  til  $v_2$  er uavhengig av  $R_1$  og  $R_2$ , noe som fører til at man kan oppnå høy inngangsmotstand. På den annen side er det tydelig fra småsignalskjemaet at inngangsmotstanden avhenger av  $r_\pi$ , og gjør at inngangsmotstanden aldri kan bli større enn  $r_\pi$ .

### 3 Realisering

Realisering av designet starter med å finne et arbeidspunkt transistoren arbeider rundt. I dette designet blir det brukt en BC547B transistor, og motstandene  $R_s = 1.5\text{k}\Omega$  og  $R_L = 680\Omega$ . Arbeidspunktet er gitt i tabell 3.1, og er valgt for å få en utgangsmotstand

som samsvarer med lastmotstanden. Det påførte testsignalet er  $v_s(t) = 60 \cos(2\pi \cdot 1000)\text{mV}$ , og implementasjonen som vist i figur 3.1 har tilhørende komponentverdier i tabell 3.2.  $V_{cc}$  er satt til 10V.



**Figur 3.1:** Forsterkerkrets

**Tabell 3.2:** Komponentverdier til figur 3.1

**Tabell 3.1:** Arbeidspunkt til transistor i figur 3.1

	Verdi
$V_{CE}$	4.5V
$I_C$	8.1mA
$I_B$	40 $\mu$ A

Komponent	Verdi
$R_1$	9.3k $\Omega$
$R_2$	680 $\Omega$
$R_3$	680 $\Omega$
$R_s$	1.5k $\Omega$
$R_L$	680 $\Omega$
$C_1$	22 $\mu$ F
$C_3$	1 $\mu$ F

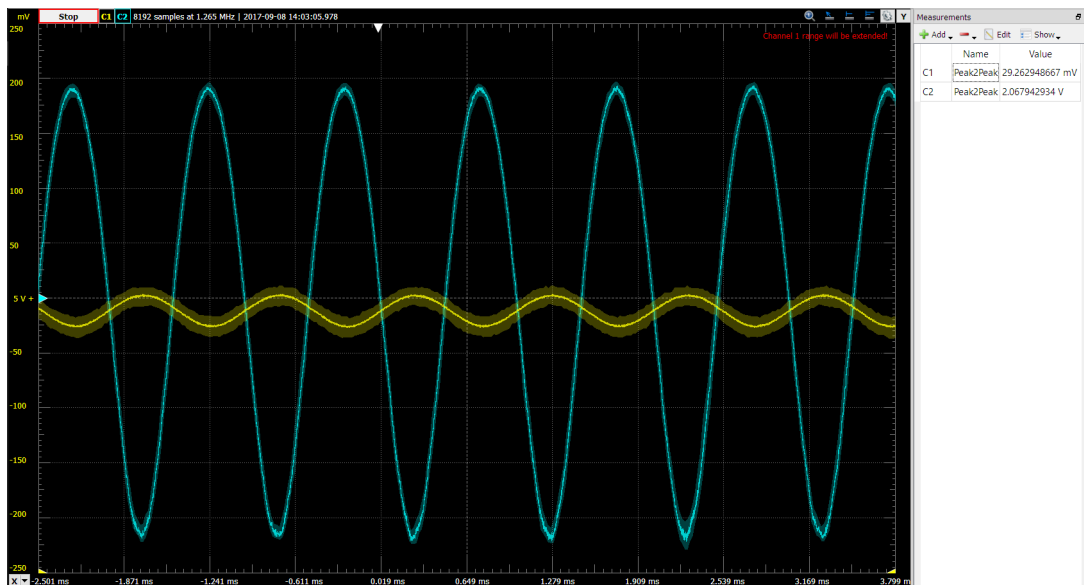
Ved figur 3.2, finner man *peak-to-peak* verdiene til  $v_1$  og  $v_2$ , som gir en forsterkning

$$A_v = \frac{|v_2|}{|v_1|} = \frac{2.1\text{V}}{29.3\text{mV}} = 70.1 = 36.9\text{dB}.$$

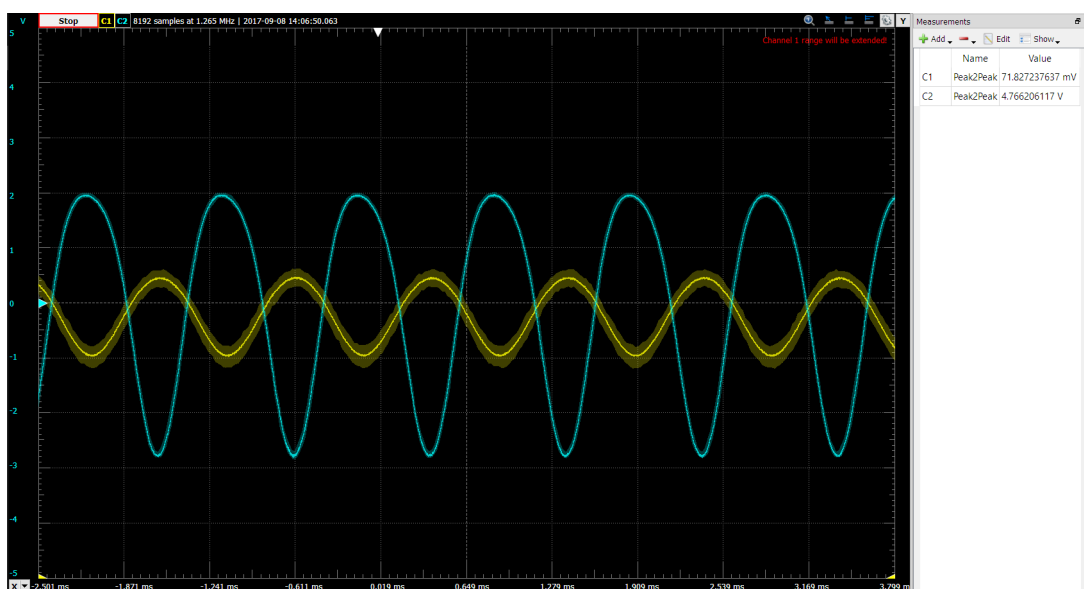
Den maksimale amplituden  $A$  inngangssignalet kan ha uten at utgangssignalet  $v_2$  blir synlig forvrengt er 150mV, som vist i figur 3.3. Dette kommer antagelig av at signalet går utenfor aktivt område for transistoren.

Frekvensresponsen til systemet mellom 10Hz og 10MHz er gitt i figur 3.4. Systemet har et båndpass på  $100\text{Hz} < f < 1\text{MHz}$ .

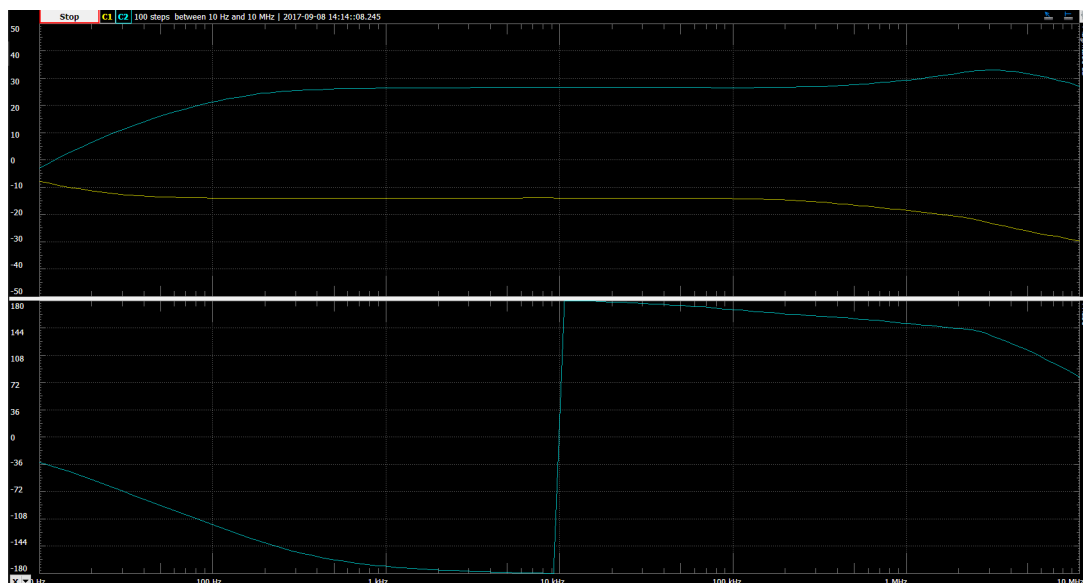
Figur 3.5 er en graf av en regresjonsanalyse av effekt levert til last ved forskjellige lastverdier. Rundt 680 $\Omega$  er levert effekt på sitt makspunkt, men når  $R_L$  beveger seg mot 500 $\Omega$  og 1k $\Omega$  avtar effekten. Dette tyder på at systemet er optimalisert til å levere mest mulig effekt til lasten med verdi rundt 680 $\Omega$ .



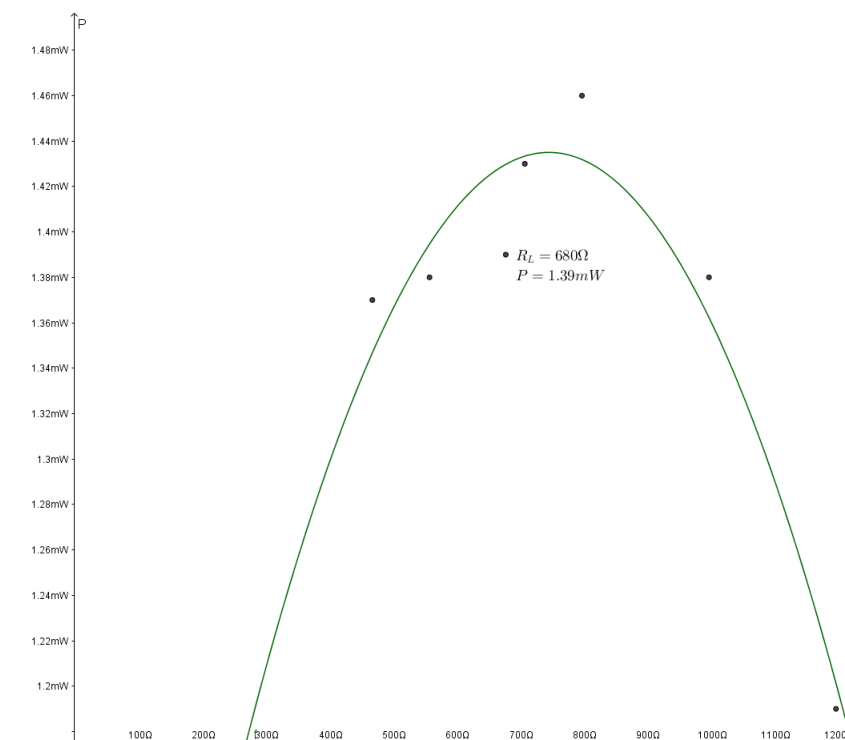
Figur 3.2: Gul graf viser  $v_1(t)$  og blå graf viser  $v_2(t)$ .



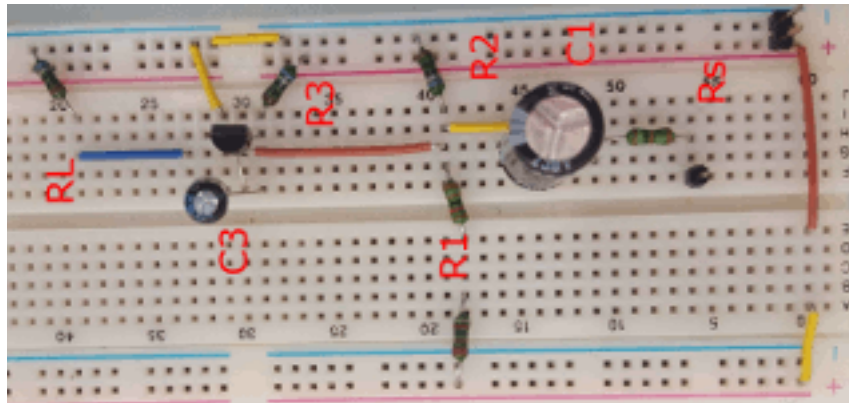
Figur 3.3: Utgangssignalet (blå) er synlig forvrengt når  $A = 150\text{mV}$  på inngangssignalet.



Figur 3.4: Frekvensrespons til systemet.  $v_1$  er gul, og  $v_2$  er blå.



Figur 3.5: Effekt levert til ulike lastmotstander.



**Figur 3.6:** Fotografi av design.

## 4 Konklusjon

I dette designet er det implementert en enkel transistorforsterker som er optimalisert til å levere mest mulig effekt til last med verdi rundt  $680\Omega$ . Optimaliseringen er oppnådd ved å velge et arbeidspunkt som tar høyde for at utgangsmotstanden skal være minst mulig, samtidig som det skal være en høvelig forsterking av signalet. Implementasjonen gir en forsterkning fra  $v_1$  til  $v_2$  på 36.9dB. Systemet egner seg for frekvenser innenfor båndbredden ( $100\text{Hz} < f < 1\text{MHz}$ ), med amplitude  $V < 150\text{mV}$ .

## 5 Takk

Takk til Ole Bjørn Eithun Pedersen for fruktbare diskusjoner.

## Referanser

- [1] Harald Garvik, Torstein Bolstad. *Litt om bruk av forsterkere*. NTNU, 2017.