

Kurs: <b>FYS1210</b> Elektronikk med prosjektoppgaver	Gruppe:	Gruppe-dag:
Oppgave: <b>LABORATORIEØVELSE NR 4</b>		
Omhandler:  <b>TRANSISTORER – Transistor forsterker</b> Revidert utgave, desember 2014 (T. Lindem, M.Elvegård, K.Ø. Spildrejorde)		
Utført dato:	Utført av: Navn: email:  Navn: email:	
Godkjent: dato:	Godkjent av:	
Kommentar fra veileder:		

**Litteratur:** Paynter kapittel 19 og 20 - Se også eget notat som ligger ved denne oppgaven ”Noen fundamentale egenskaper ved en bipolar transistor”

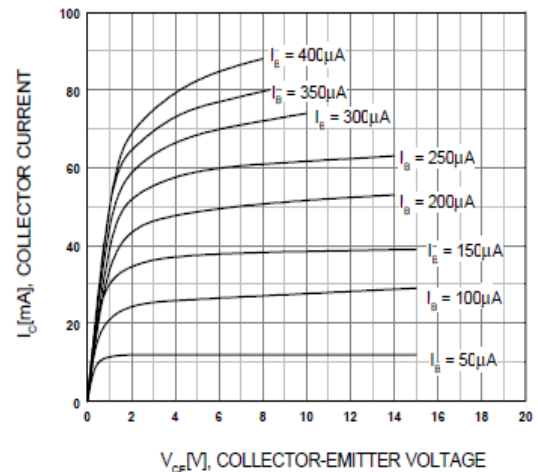
## Mål med oppgaven

Registrere transistorkarakteristikker og fortsette treningen i bruk av PSpice

- Måle kollektorstrømmen  $I_C$  som funksjon av spenningen kollektor – emitter,  $V_{CE}$  for 3 forskjellige base-strømmer.

Forsterkerkobling – simulering med PSpice:

- Tegne og simulere en transistorforsterker med felles emitter.
- Bestemme transistorens arbeidspunkt.
- Måle forsterkerens spenningsforsterkning – med og uten emitterkondensator.



Forsterkerkobling – Målinger på en reell forsterker

**På slutten av dette oppgavesettet er det et vedlegg som inneholder en teoretisk gjennomgang av beregningene rundt en bipolar transistorforsterker. Det kan i tillegg være lurt å se over forelesningsnotatene for bipolare transistorer og kapittel 19-21 i læreboken.**

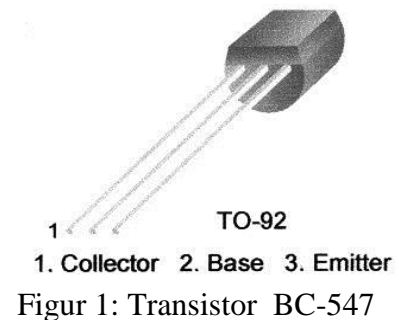
## 1. Registrer transistor- karakteristikken til BC-547

Transistoren som skal brukes i oppgavene er en n-p-n silisium transistorer av type BC547. Tilkoplingene til base, emitter og kollektor er vist i fig. 1. Transistoren er tegnet, etter vanlig praksis, sett fra undersiden.

Alle målinger utføres med voltmeter (DVM)

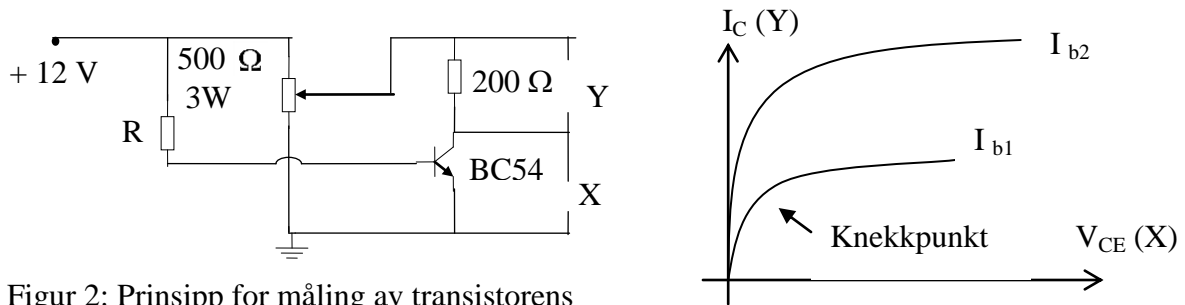
### Noen viktige data for BC-547:

Maksimal spenning kollektor – emitter	50V
Maksimal spenning emitter - base	5 V
Maksimal kollektorstrøm	100 mA
Maksimal effekt ( $V_{CE} \times I_C$ )	500 mW
Strømførsterkning $\beta$	min: 110 max: 800
	ved $V_{CE} = 5V$ og $I_C = 2mA$



Figur 1: Transistor BC-547

Karakteristikk for transistorer finner man i fabrikkens datablad. Vi kan selv ta opp karakteristikk med noen enkle koblinger, som f.eks. den i figur 2.



Figur 2: Prinsipp for måling av transistorens karakteristikk.

**Oppgave 1: Tegn  $V_{CE} / I_C$  karakteristikk til BC547 for 3 forskjellige basestrømmer.**

Prinsippskissen i Figur 2 er realisert på et ferdig kretskort - som vist i figur 3.

Begynn med  $R = 1 \text{ M}\Omega$ . Beregn  $I_{B1}$ . Finn først hvor karakteristikken knekker. Mål noen verdier rundt knekkpunktet. F.eks.  $V_{CE} = 0,05 - 0,10 - 0,15 - 0,20 - 0,30 - 0,50 - 1,0$  volt Mål noen få punkter langs den lineære delene av kurven. (F.eks.  $V_{CE} = 3\text{v}, 5\text{v}$  og  $6\text{v}$ ). Pass på at du lar  $V_{CE}$  spenningen øke til minst 6 volt.

- Gjenta målingene over også for basemotstandene:  $510 \text{ K}\Omega$  og  $270 \text{ K}\Omega$ . Basemotstandene velges vha. en 'strap' på kretskortet. Bruk de samme verdiene for  $V_{CE}$  når du måler  $I_C$  med andre de basestrømmer  $I_{B2}$  og  $I_{B3}$ .

Basemotstand $R_B$	$1 \text{ M}\Omega$	$510 \text{ K}\Omega$	$270 \text{ K}\Omega$
Beregnet basestrøm $I_B$			

- Tegn opp  $V_{CE}/I_C$ -karakteristikk for de tre basemotstandene. Plott grafene i samme figur, i Matlab eller Excel.

**Hint:** Når transistoren arbeider riktig skal  $V_{BE} \approx 0,7$  volt - dvs.  $V_{RB} = 12\text{v} - 0,7\text{v}$   
**Strømmene  $I_C$  måles indirekte - Mål spenningen over motstanden på 200 ohm**



Figur 3: kretskort for måling av transistorkarakteristikk

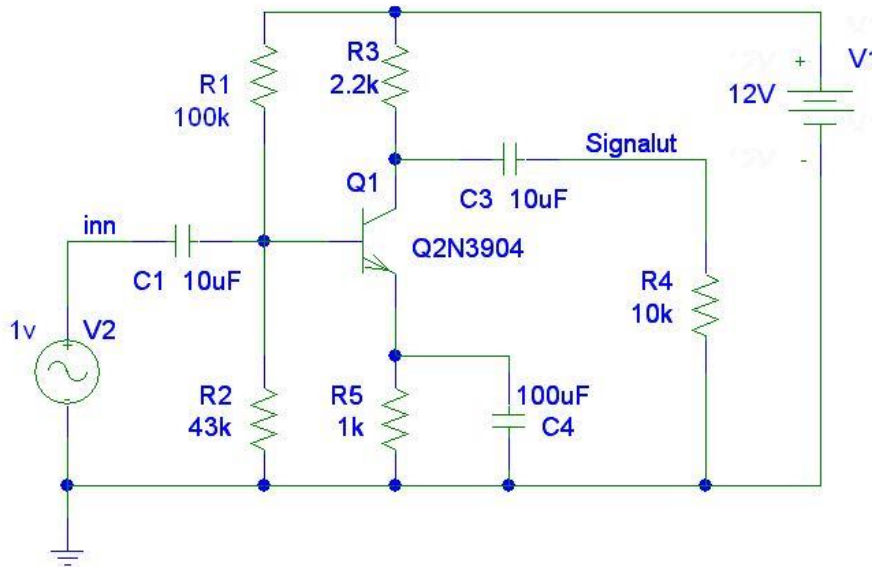
- beregn  $I_C$ . Bruk de samme  $V_{CE}$  - verdiene når du skal måle  $I_C$  for de andre base -strømmene. Det forenkler plottingen i samme diagram.

De tre kurvene tegnes i samme figur med passende valg av skala.  $I_B$ -verdiene påføres kurvene. ( Bruker du Excel – velg Chart type XY ( scatter ))

## Oppgave 2. Simuler en transistorforsterker med PSpice

Noen detaljer knyttet til oppgave 2 : Studentversjonen av PSpice har ingen modell for BC547. Bruk Q2N3904 som er en tilnærmet lik NPN-transistor.

Husk at PSpice benytter M for milli, MEG for mega, u for micro og at **desimal-tegnet er punktum**.



**Figur 4: Transistorforsterker med felles emitter (NB! som signalgenerator (V2) bruker du VSIN)**

**Oppgave 2a:** Kjør først en simulering uten påtrykt signal. Under <Analysis> finner du <Display results on schematics>. Hvis du "enabler" denne funksjonen vises spenninger og strømmer i alle kretsens knutepunkter. Kopier dette skjema inn i besvarelsen.

**Oppgave 2b:** Hvor ligger arbeidspunktet ? ( $V_{CE}$ ,  $I_C$ ) Tegn opp arbeidslinjen til forsterkeren og sett på arbeidspunktet (se kap 19.4.2, Q-Point).

**Oppgave 2c:** Beregn transistoren strømforsterkning  $\beta$ .

**Oppgave 2d:** Beregn spenningsforsterkningen til forsterkeren.

**(Hint** – du må først beregne  $g_m$  (transkonduktansen) )

**Oppgave 2e:** Kjør en AC sweep analyse – du lar frekvensen variere fra 10 Hz til 100MHz . Hva blir båndbredden (BW) til forsterkeren?

**Oppgave 2f:** Hva er spenningsforsterkningen til kretsen angitt i dB? Vi måler forsterkningen for midlere frekvenser – i det flate området mellom knekkpunktene.

$$\{ A_v(\text{dB}) = 20\log (v_{\text{ut}}/v_{\text{inn}}) \}$$

( **Viktig ! PSpice beregner dB-verdier relativt til 1 volt.. Det betyr – skal du la PSpice beregne forsterkningen direkte må du la input signalet være 1 volt.**

**Hvis input signalet er satt til 0,01 volt – må du legge til en faktor på 100 , dvs +40dB når du avleser dB-verdien på utsignalet.)**

**Oppgave 2g:** Ta bort emitterkondensator C4 – hva blir nå spenningsforsterkningen?

Gjør målingen ved 100kHz. Se på forholdet  $R_C || R_L / R_E$  – er det en sammenheng ?

### **Oppgave 3. Praktiske målinger på transistorforsterker**

Vi har laget en transistorforsterker som er meget lik den simulerte forsterkeren. Se bilde under.

- Forsterkeren skal ha tilført 12 VDC.
- La strappen J1 være tilkople. Dvs. lastmotstanden RL2 på 1 k $\Omega$  skal være parallellkople med RL1. ( Total lastmotstand  $R_P = 2k2 || 10k || 1k$  )
- På oppgave 3a og 3b bruker du et multimeter.

**Oppgave 3a:** Hvor ligger arbeidspunktet til forsterkeren ? ( $V_{CE}$ )

**Oppgave 3b:** Hvor stor er kollektorstrømmen  $I_C$  i arbeidspunktet ?

**Oppgave 3c:** Hvor stor er  $g_m$  (transkonduktansen) ?

- Ta bort måleledningene fra multimeteret
- Kople til signalgeneratoren
- La signalet inn til forsterkeren være ca. 50mVpp
- Frekvens 20 kHz

**Oppgave 3d:** Uten kondensator på Emitter. Hvor stor er forsterkningen ?

***På de tre siste spørsmålene skal kondensatoren på 100 $\mu$ F være kople parallelt med emittermotstanden. (Avkople emitter)***

**Oppgave 3e:** Hvor stor er forsterkningen? (Med emitterkondensator tilkople)

**Oppgave 3f:** Hva blir forsterkningen hvis strappen J1 frakoples ?

( Dvs. med total lastmotstand  $R_P = 10 \text{ k}\Omega || 2k2$  )

Gjør en teoretisk beregning av forsterkningen – hva blir den?

**Oppgave 3g:** Hva er båndbredden (BW) til forsterkeren ?



## 4. Noen fundamentale egenskaper ved en bipolar transistor

Basestrømmen ( $I_B$ ) = Emmitterstrømmen ( $I_E$ ) - Kollektorstrømmen ( $I_C$ )  $I_B = I_E - I_C$

Hvis vi ønsker kollektorstrømmen snur vi likningen og får  $I_C = I_E - I_B$

Ofte blir kollektorstrømmen  $I_C$  gitt som en fraksjon ( $\alpha$ ) av emmitterstrømmen  $I_E$

$I_C = \alpha \cdot I_E$  Emmitterstrømmen er gitt av diodelikningen  $I_E = I_S \cdot e^{V_D/V_T}$  hvor  $V_D$  er spenningen over emitter/basis-dioden  $V_{EB}$  og  $V_T = 25\text{mV}$  (den termiske spenningen ved  $300^\circ\text{K}$ ).  $I_S$  er "reverse saturation current" – strømmen vi måler gjennom dioden når den er koplet i sperreretning – en meget liten strøm ( $\approx 1 \mu\text{A}$ ).

Vi ønsker å se hvilken virkning det har på kollektorstrømmen  $I_C$  - hvis vi endrer litt på spenningen over emitter/basis-dioden  $V_{EB}$ . Dette forholdet kaller vi

**transistorens transkonduktans**  $g_m = \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{EB}}$  (siemens) ..... (1)

$g_m$  beskriver tangenten til kurven som viser kollektorstrømmen  $I_C$  som funksjon av spenningen over basis/emitter-dioden  $V_{EB}$ .

For å finne  $g_m$  uttrykt ved kjente størrelser tar vi utgangspunkt i likningen  $I_C = \alpha \cdot I_E$  -  
 hvor vi setter inn uttrykket for emitterstrømmen  $I_E = I_S \cdot e^{V_{EB}/V_T}$  (diodelikningen til  
 emitter/basis-dioden  $V_D = V_{EB}$ )

Kollektorstrømmen kan da uttrykkes slik :  $I_C = \alpha \cdot I_S \cdot e^{V_{EB}/V_T}$  For å finne et uttrykk for  
 tangenten til denne kurven ( $g_m$ ) deriverer vi likningen mhp.  $V_{EB}$ . Dette gir oss da

$$g_m = \frac{dI_C}{dV_{EB}} = \alpha \cdot I_S \cdot e^{V_{EB}/V_T} \cdot \frac{1}{V_T} = I_C \cdot \frac{1}{V_T} = \frac{I_C}{V_T} \Rightarrow g_m = \frac{I_C}{V_T} \dots\dots (2)$$

Som vi kan se vil transkonduktansen ( $g_m$ ) være prop. med kollektorstrømmen  $I_C$  i  
 transistoren.

**Eksempel:** Forsterkeren settes opp slik at kollektorstrømmen  $I_C$  blir 2mA.

Transkonduktansen blir  $g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{2mA}{25mV} = 80mS$

### **Den dynamiske inngangsmotstanden (resistansen) til transistoren**

Strømforsterkningen  $\beta$  gir et uttrykk for hvor mange ganger større kollektorstrømmen ( $I_C$ )  
 er i forhold til basisstrømmen ( $I_B$ )  $I_C = \beta \cdot I_B$

En liten endring i basisstrømmen  $I_B$  vil forårsake en stor endring i kollektorstrømmen  $I_C$

$$\Delta I_C = \beta \cdot \Delta I_B \Rightarrow \Delta I_B = \frac{\Delta I_C}{\beta} = \frac{g_m \cdot \Delta V_{EB}}{\beta} \text{ (se på likning 1) Vi ser på forholdet}$$

mellom  $\Delta V_{EB}$  og  $\Delta I_B$  som kales den dynamiske resistans  $r_\pi$  til transistoren.

$$r_\pi = \frac{\Delta V_{EB}}{\Delta I_B} \text{ (ohm) Dette er den motstanden vi "ser inn mot" når vi står på basis og ser}$$

inn i transistoren. I dette uttrykket for  $r_\pi$  setter vi inn for  $\Delta I_B$ .

$$r_\pi = \frac{\Delta V_{EB}}{\Delta I_B} = \frac{\Delta V_{EB}}{\frac{g_m \cdot \Delta V_{EB}}{\beta}} = \frac{\beta}{g_m} = \frac{\beta \cdot V_T}{I_C} \Rightarrow r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = \frac{\beta \cdot V_T}{I_C}$$

Motstanden er omvendt proporsjonal med kollektorstrømmen  $I_C$ . Hvis vi ønsker en  
 transistorforsterker med stor inngangsmotstand må vi arbeide med liten kollektorstrøm.

Eksempel

Transistor BC107 har  $\beta=100$ . Hvis  $I_C = 2mA$  blir  $r_\pi = 100 \cdot 25mV/2mA = 1250\Omega$

Hvis vi reduserer strømmen til 1mA øker motstanden til 2,5 k $\Omega$ .

### **Spenningsforsterkningen til kretsen**

Utgangspunktet for denne betraktningen er at  $g_m = \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{EB}}$  Dvs. at en liten endring i

$$\text{basespenningen } \Delta V_{EB} \text{ vil gi en endring i kollektorstrømmen } \Delta I_C = g_m \cdot \Delta V_{EB} (2)$$

Kollektorstrømmen  $I_C$  går igjennom lastmotstanden  $R_L$  og gir et spenningsfall  $V_{RL}$  over denne:  $V_{RL} = I_C \cdot R_L$  (ohms lov). I denne likningen setter jeg nå inn uttrykket for endringen i kollektorstrøm  $\Delta I_C = g_m \cdot \Delta V_{EB}$  - som gir  $\Delta V_{RL} = g_m \cdot \Delta V_{EB} \cdot R_L$

Spenningsforsterkning er definert som forholdet mellom utgangsspenning og

$$\text{inngangsspenning } A_V = \frac{V_{UT}}{V_{INN}} = \frac{\Delta V_{RL}}{\Delta V_{EB}} = g_m \cdot R_L \Rightarrow A_V = g_m \cdot R_L$$

Forsterkningen blir bestemt av lastmotstanden  $R_L$  og transkonduktansen  $g_m$ .

### Eksempel:

Hva blir nå spenningsforsterkningen  $A_V$  til forsterkeren ? ( $A_V = g_m \cdot R_L$ )

Forsterkeren vår bruker transistoren BC107 med  $\beta = 100$ .

Vi har bestemt at kollektorstrømmen  $I_C$  skal være 2mA.

Hvis vi velger en kollektorspenning ( $V_{CE}$ ) på 4 volt kan vi

beregne kollektormotstanden  $R_L = 5V/2mA = 2,5k\Omega$

$$\text{Transkonduktansen } g_m \text{ finner vi .. } g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{2mA}{25mV} = 80mS$$

$$\text{Forsterkningen } A_V = g_m \cdot R_L \quad A_V = 80 \text{ mS} \cdot 2,5k\Omega = 200$$

Kretsen har en spenningsforsterkning på 200 ganger. En

signalspenning på 10 mV på basis blir forsterket til et signal på 2volt på kollektor.

