

## 4:8 Transistorn och transistorförstärkaren.

### Inledning

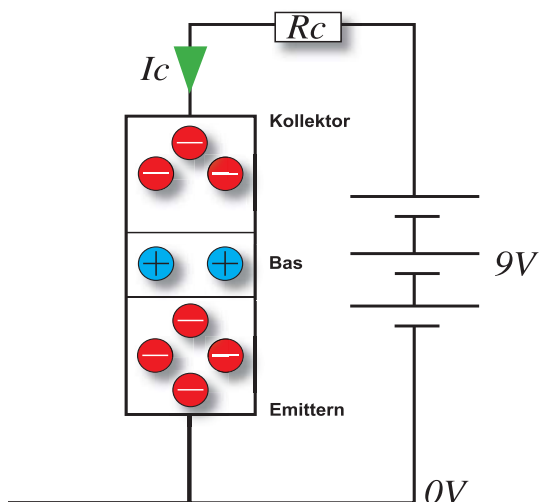
I kapitlet om halvledare lärde vi oss att en P-ledare har positiva laddningsbärare, och en N-ledare har negativa laddningsbärare. Om vi sammanfogar en P-ledare och en N-ledare så får vi en diod. Vad händer om vi sammanfogar en N-ledare, en P-ledare och en N-ledare? Svaret är att det blir en transistor, som vi kallar för en NPN-transistor. Vi skall undersöka vad som händer, och vilka egenskaper den har.

Varför är denna komponent så viktig att vi ägnar flera kapitel åt den? Komponenten uppfanns i mitten på 40-talet av amerikanerna Shockley, Bardeen och Brattain. De fick nobelpris för detta 1956. Transistorn lade grunden till vårt moderna samhälle i och med att man fick tillgång till en komponent som kunde massframställas och bli billig samtidigt som den hade små dimensioner och var strömsnål.

### Transistorn – hur fungerar den ?

Vi tar en N-ledare som är kraftigt dopad (=många negativa laddningsbärare), förenar den med en tunn P-ledare som är svagt dopad (=relativt få positiva laddningsbärare) och avslutar anordningen med en kraftigt dopad N-ledare. Då har vi fått en NPN-transistor. Anslutningarna kallar vi för:

- Kollektor (från engelskans Collector)
- Bas (från engelskans Base)
- Emitter (från engelskans Emitter)



Vi ansluter Kollektorn via ett motstånd, som vi betecknar med  $R_C$  till ett batteri med hög spänning, säg +9V. Basen ansluts via ett basmotstånd,  $R_B$  och vi låter andra ändan av basmotståndet ligga i luften så länge.

Lägg märke till att vi använder Kollektorn (C), Basen (B) respektive Emittern (E) som index för motstånd, och senare spänningar och strömmar. Detta för att få lite ordning på alla saker som hör samman med transistorn.

### Vad händer i kretsen ovan ?

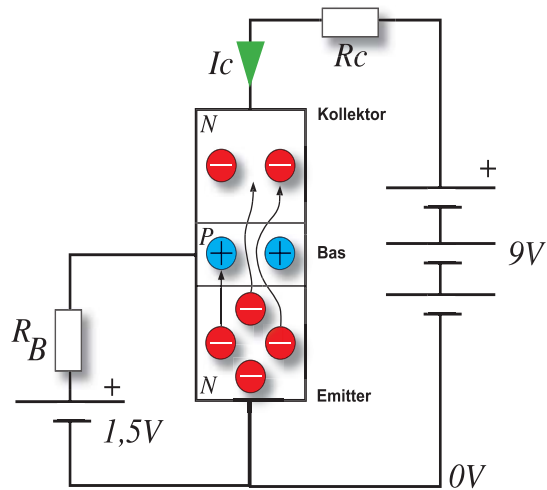
**Svar:** ingenting. Vi har en backspänd NP-övergång mellan basen och kollektorn vilket medför att det inte kan flyta någon kollektorström.

### Nu ansluter vi ett batteri via ett motstånd till basen. Vad händer nu ?

**Svar:** nu inträffar ett luredrejeri i stor skala!

1. Bas-Emitter-dioden är nu framspänd, och om batterispänningen är större än 0,65 V så börjar negativa laddningar i emittern att röra sig upp mot basen. I basen finns ju positiva laddningar som lockar.

- Väl uppe i basen känner laddningarna från emittern den höga spänningen på +9V som är ansluten till kollektorn, och som skapar ett kraftigt fält.
- Kollektorspänningen drar med våldsamt kraft till sig - laddningarna från emittern, som alltså passerar basen med god fart. Väl uppe i kollektorn fortsätter de till batteriets + pol.
- Nu förstår du varför kollektorn just heter kollektor. "Collect" på engelska betyder ju "samla ihop". Den samlar ihop laddningar från emittern. "Emit" på engelska betyder "emittera" eller "ge ifrån sig". Allt har en logisk förklaring.
- I takt med att - laddningar lämnar emittern så fylls nya på från batteriets minuspol.
- Basen är tunn, och har relativt få positiva laddningsbärare, som fungerar som lockbete. Utan dessa skulle ingenting ha skett. De flesta laddningarna från emittern passerar basen, men några få, säg 1 på 100, träffar på ett hål i basen och fyller ut det. En + laddning och en - laddning tar ju ut varandra. Nya hål fylls på från batteriets + pol, som är anslutet till basen.
- Eftersom 1 laddning av 100 träffar på ett hål i basen så blir basströmmen  $I_B$  liten,  $1/100$  av kollektorströmmen  $I_C$ , eller omvänt:  $I_C$  blir 100 ggr så stor som  $I_B$ .
- Låter vi nu  $I_B$  öka, så kommer  $I_C$  också att öka, men 100 ggr så mycket, och om basströmmen minskar, så minskar kollektorströmmen med 100 ggr så mycket.

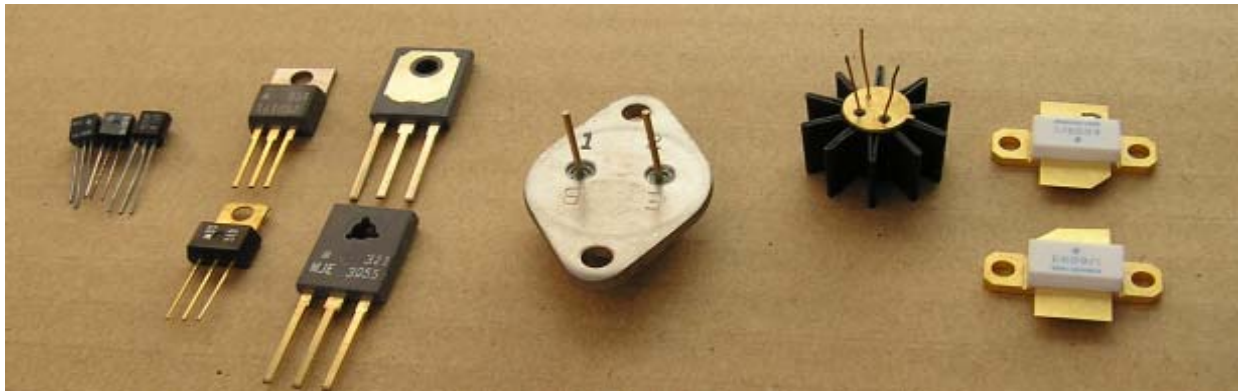


**Vi har med andra ord fått en anordning som kan förstärka svaga strömmar, och detta var vad Shockley, Bardeen och Brattain fick Nobelpris för. Man insåg att detta skulle leda till en teknisk revolution, och man fick ju rätt.**

Basen fungerar som en dammlucka: med en liten kraft kan man öppna en dammlucka och hissa den upp och ner. Härmed kontrollerar man enkelt ett stort vattenflöde. Detta är precis vad basströmmen gör med den 100 ggr starkare kollektorströmmen.

### Sammanfattning:

- Transistorn består av en N-ledare, en P-ledare och en N-ledare. Den kallas då för en NPN-transistor. Man kan även sätta ihop en P-ledare, en N-ledare och en P-ledare, och då får vi en PNP-transistor.
- Transistorns anslutningar kallas Emitter, Bas och Kollektor
- Kollektorströmmen är ungefär 100 gånger så stor som basströmmen. Spridningen är stor, och i praktiken är faktorn allt från 50 till 500. Vi har ansatt 100 för att få något som är lätt att räkna med
- Transistorn används till att förstärka svaga signaler
- En variation i basströmmen följs av en cirka 100 ggr så stor variation i kollektorströmmen



Transistorer ser olika ut beroende på vad de används till.

De tre till vänster är så kallade småsignaltransistorer. Bredvid ligger två lågeffekttransistorer, som klarar en effektutveckling på 1-2W.

Bredvid två effekttransistorer som sitter i stereoslutsteg, som kan driva en högtalare. Notera metalldelen på ena sidan, som kan överföra värme till en kylfläns. I mitten finns samma transistortyp, men i en annan kapsel.

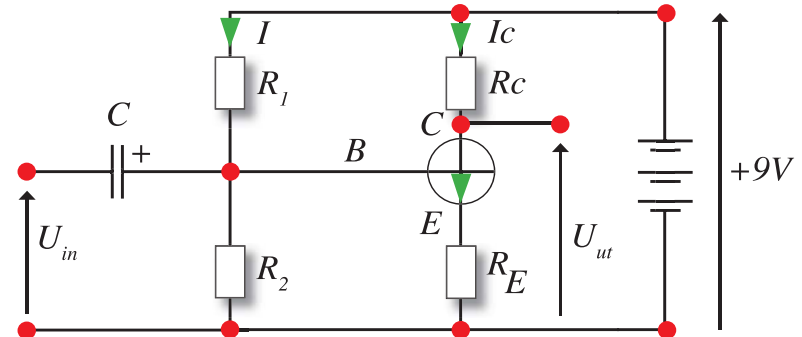
Nästa transistor är försedd med en kylfläns, och de två transistorerna till höger är högfrekvenstransistorer av den typ som sitter i GSM radiobas stationer och som driver antenner.

Notera att alla transistorerna har tre anslutningar även de två till höger. Allt är som det skall.

## Transistorförstärkare

### Inledning

Nu skall vi se vilken nytta man kan ha av transistorn. Vi skall använda den till att bygga en enkel förstärkare, som förstärker små signaler. Först blir det en förklaring av hur kopplingen fungerar, och i nästa kapitel blir det laboration. De beräkningar vi gör här skall du använda när du sedan kopplar ihop grejerna till en fungerande förstärkare.



Här visas kopplingen för det transistorsteg vi skall analysera och senare bygga! Set ser komplicerat ut - men vänta bara. Det kommer att klarna.

Rent allmänt kan man säga att det gäller att se till att transistorn får de likströmmar och likspänningar som är nödvändiga för att den skall fungera. På engelska kallas detta för att lägga "bias" på transistorn. Man ser till att transistorn hamnar i ett "viloläge" med en viss kollektorspänning ( $V_C$ ) och en viss kollektorström ( $I_C$ ). När man sedan till basen påför en signal som varierar med tiden, t.ex. en svag signal från en mikrofon, så kommer kollektorströmmen att variera i takt med den påförda signalen till basen. Strömvariationerna omvandlas till spänningsvariationer över kollektormotståndet ( $R_C$ ) och dessa är mycket större än signalvariationerna från mikrofonen.

Du kommer att märka att det blir en del approximationer i samband med dimensioneringarna framöver. Det är helt i sin ordning. Alla komponenter har sina variationer. Ett motståndsvärde har kanske 10% tolerans, vilket betyder att ett 1kohms motstånd i praktiken kan ligga mellan 900 ohm och 1,1 kohm. Strömförstärkningsfaktorn hos en transistor dvs kvoten mellan kollektorström och basström, kan variera från 100 till 300 ggr. Men med rätt approximationer och lite tur så fungerar det utmärkt.

## Koppling

Här ser du hur förstärkarsteget ser ut. En transistor i mitten. Runt omkring sitter motstånd, en kondensator och ett 9V batteri. Du har ingen aning om hur det fungerar, men vänta bara ! Vi skall bringa lite ordning i mysterierna.

### Kollektormotståndet $R_C$ och 9V

batteriet känner du igen från föregående kapitel. De är till för att kunna skapa en kollektorström  $I_C$  (som är nästan lika stor som emitterströmmen  $I_E$ ).

### Emittermotståndet $R_E$

Detta motstånd är till för att maskera de små variationer i spänning mellan emitter och bas från som finns från transistorexemplar till

transistorexemplar. I en koppling som denna vill man inte mäta upp varje transistors exakta egenskaper och dimensionera motstånd etc. utifrån detta. Det skulle bli alldeles för kostsamt t.ex. i en produktionssituation.

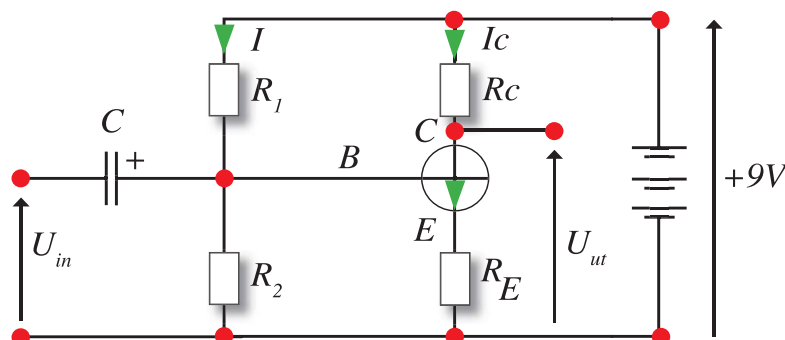
### Motstånden $R_1$ och $R_2$

För att undvika att köpa ett andra batteri för basen (för att locka elektronerna i emittern att röra sig mot kollektorn), så använder vi samma batteri som för kollektorn, dvs 9V-batteriet. Den har ju rätt polaritet. Vi tar en del av denna spänning via de två motstånden, och vi ser till att strömmen genom motstånden är åtminstone 10 ggr större än basströmmen som går in till transistorn. Detta för att basströmmen skall vara liten i förhållande till strömmen genom de två motstånden.

### Kondensatorn C

När vi anlägger likspänningar och likströmmar på transistorn så är det viktigt att det vi behåller dessa värden när vi ansluter signalkällan. En mikrofon är lågohmig, säg 600 ohm .

Om vi inte hade kondensatorn C emellan, så skulle mikrofonens 600 ohm hamna parallellt med  $R_2$  som kanske är på storleksordningen 10 kohm, dvs detta motståndsvärde skulle ändras drastiskt. Därmed ändras i så fall alla likströmmar och likspänningar för transistorn, och det hela kommer inte att fungera. Som du minns är kondensatorn den idealiska komponenten för detta jobb. Den släpper inte igenom några likströmmar, men om den är tillräckligt stor så passerar alla växelspänningsfrekvenser utan problem.



## Beräkningar

När vi skall beräkna motståndsvärdena så gäller följande utgångspunkter:

- \*\* Kollektorströmmen  $I_C$  skall vara 1 mA
- \*\* Emittterströmmen  $I_E$  blir då lika stor (så när som på 1 % dvs basströmmen som tillkommer) nämligen 1 mA
- \*\* Emitterspänningen  $U_E$  skall vara + 0,5 V mätt relativt jord (referensen längst ner i bild)
- \*\* Kollektorspänningen  $U_C$  skall vara + 4 V relativt jord
- \*\* Strömmen genom  $R_1$  och  $R_2$  skall vara 0,1 mA

Vidare gäller att 1 mA = 0,001 A, och Ohms lag:  $U = R \cdot I$

**Vi börjar med  $R_E$ .** Strömmen genom motståndet skall vara 1 mA = 0,001 A. Spänningen  $U_E$  skall vara +0,5V. Hur stort blir  $R_E$  ?

Svar:  $R_E = \dots\dots\dots$ ohm

**Nu beräknar vi  $R_C$ .** Här blir det lite mer komplicerat. Kollektorspänningen skall vara +4 V

enligt ovan. Matningsspänningen är +9V. Hur stor blir spänningen över  $R_C$  ?

Svar: Spänningen över  $R_C = \dots\dots\dots$ V

Om strömmen genom  $R_C$  skall vara 1 mA, hur stort blir då motståndet ?

Svar:  $R_C = \dots\dots\dots$ ohm

Två motstånd återstår att beräkna. **Vi börjar med  $R_2$ .**

Spänningen som basen ligger på = Emitterspänningen (=+ 0,5 V) + spänningen mellan bas och emitter. Den senare är ju 0,65 V. Hur stor blir basspänningen ?

Spänningen på basen =  $\dots\dots\dots$ V

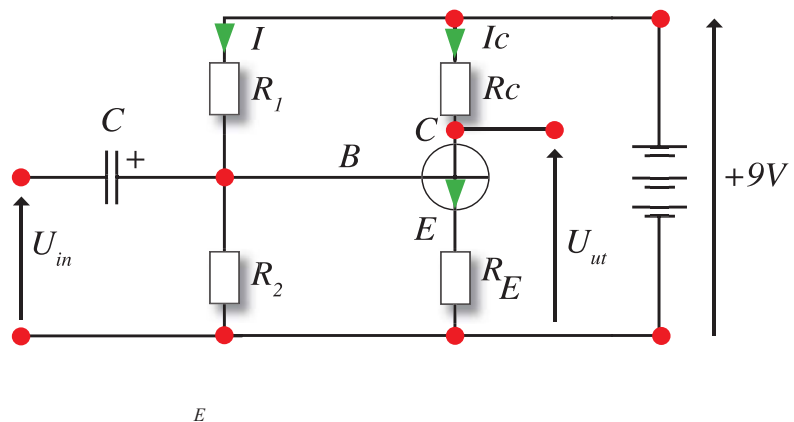
Strömmen genom  $R_2 = 0,1$  mA (= 0,000 1A) och med spänningen enligt ovan så kan  $R_2$  beräknas.

Svar:  $R_2 = \dots\dots\dots$ ohm.

**Nu går vi över till  $R_1$ .**

Du vet att basspänningen är den du beräknat ovan, och att spänningen på andra sidan motståndet = +9V. Nu kan du bestämma spänningen över  $R_1$  som skillnaden mellan +9 V och basspänningen.

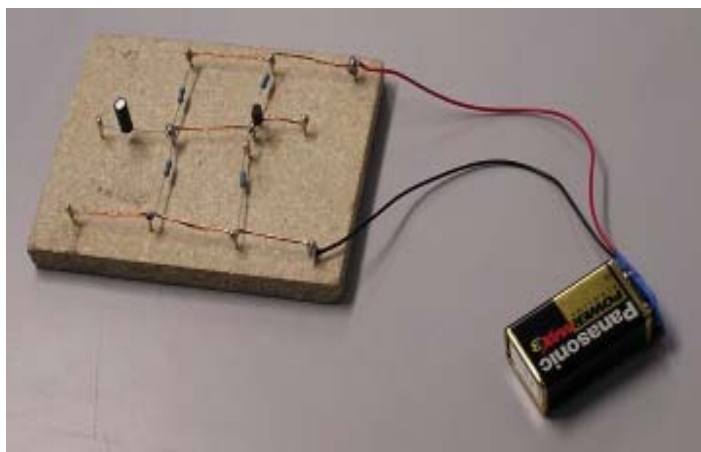
Spänningen över  $R_1 = \dots\dots\dots$ V



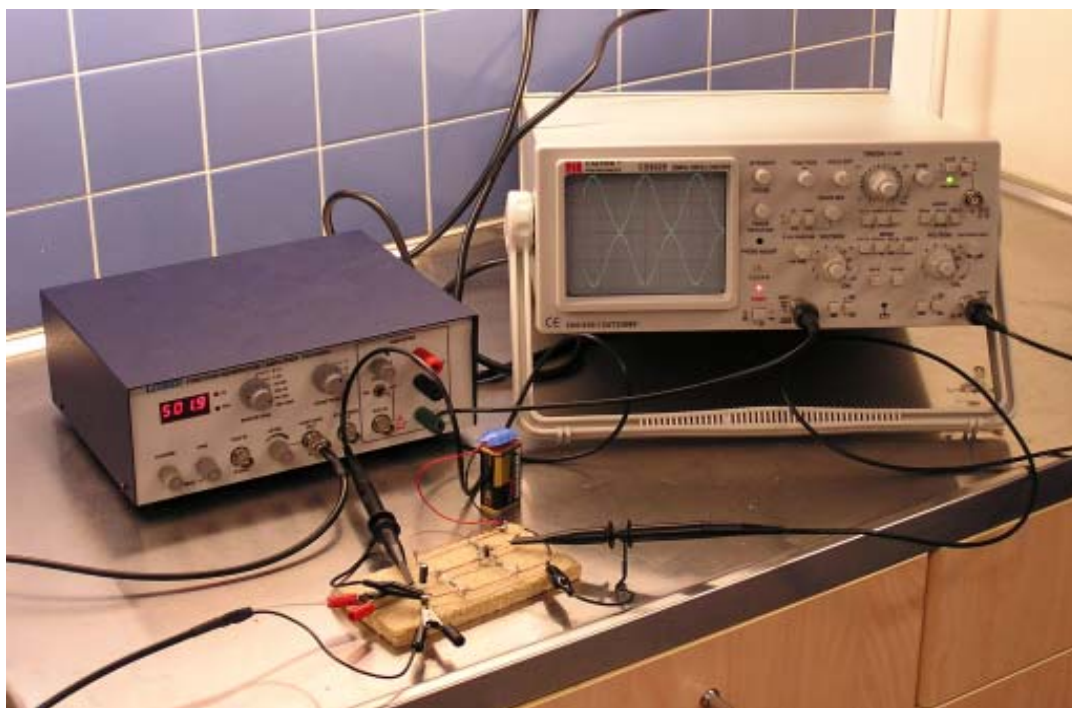


Nu har vi beräknat alla motstånd. Kondensatorn är en elektrolytkondensator på 10uF. Den är stor nog att klara de lägsta frekvenserna. Eftersom det är en elektrolytkondensator vi talar om så är den polariserad, så det är viktigt att vända komponenten rätt när du skall löda in den i ditt förstärkarsteg.

De beräknade värdena ovan skall du nu använda i laborationen som följer. Den går ut på att bygga förstärkaren på en spikplatta och se om teori och praktik stämmer överens. Det kommer att se ut så här när det är färdigt, och vi mäter förstärkarens egenskaper.



*Så här ser den transistorförstärkare ut som du skall bygga och mäta på i den laboration som kommer*



*Bilden visar transistorförstärkaren i mitten. Den får sin signal från tongeneratorn till vänster, och med hjälp av oscilloskopets båda ingångar mäter du upp signalen in till förstärkaren och utsignalen från förstärkaren. Om du delar dessa mätvärden med varandra så får du ett mått på hur många gånger signalen förstärks.*

# Transistorförstärkare. Laboration

## Inledning

Nu har du studerat hur en transistorförstärkare för små signaler, t.ex. utsignalen från en mikrofon kan se ut. Du har gått igenom de olika komponenterna och förklarat vilken funktion de har. Dessutom har du bestämt den emitterspänning, kollektorspänning och kollektorström som förstärkaren skall ha och utifrån detta beräknat resistansvärdena för  $R_C$ ,  $R_E$ ,  $R_1$  och  $R_2$ . Kondensatorn på ingången bryr vi oss inte om att beräkna storleken på. Vi tar till ett stort värde (10  $\mu\text{F}$ ), och hoppas att det skall gå bra.

Du skall nu hitta standard motståndsvärden som ligger i närheten av de beräknade, och bygga upp transistorsteget på en träplatta. Därefter skall du mäta likspänningar och ta reda på hur mycket en signal på ingången förstärks. Du skall även kolla att förstärkarens bandbredd, dvs dess undre och dess övre gränzfrequenser ligger under 20 Hz respektive över 20.000 Hz. Annars skulle ju det hela inte fungera i audiosammanhang.

## Bestämning av motstånden

Här kommer facit på räkneövningen tidigare i kapitlet:

$$R_E = 0,5 \text{ V} / 0,001 \text{ A} = 500 \text{ Ohm.}$$

Närmaste standardvärde är **470 ohm**.

$$R_C = (9\text{V} - 4\text{V}) / 0,001 \text{ A} = 5000$$

Ohm eller 5 kohm. Närmaste standardvärde är **4,7 kohm**

$$U_B = U_E + 0,65 \text{ V (spänningen över en framspänd diod är cirka } 0,65 \text{ V)} = 0,5 + 0,65 \text{ V} =$$

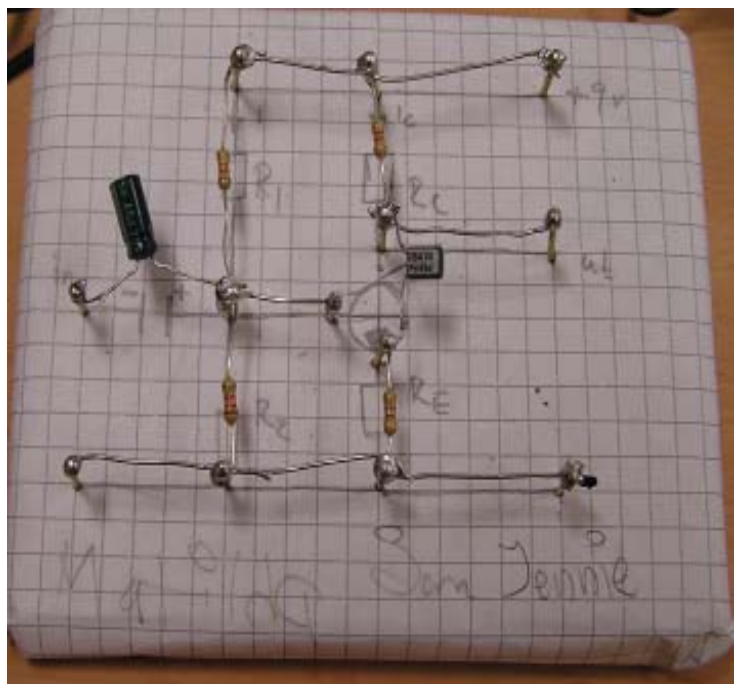
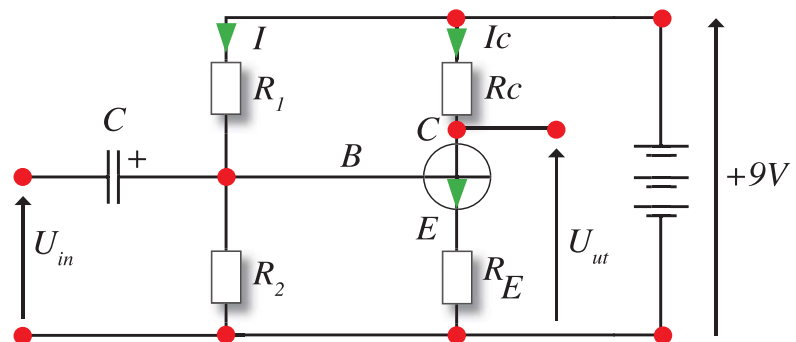
1,15 V. Strömmen genom  $R_2$  skall vara 0,1 mA = 0,0001 A

$R_2 = 1,15\text{V} / 0,0001 \text{ A} = 11500 \text{ ohm}$ . Vi väljer **12 kohm** som närmaste standardvärde

$R_1 = (9 - 1,15\text{V}) / 0,0001\text{A} = 78500 \text{ ohm}$ . Vi väljer **82 kohm** som närmaste standardvärde

## Bygge av förstärkaren på en spikplatta

För att få ihop alla komponenter så väljer vi att bygga förstärkaren på en spikplatta. Du gör det enklast så att du ritat en mall på rutat papper, där du bestämmer lämpligt avstånd mellan spikarna. Kolla speciellt transistorns anslutningsben – de är inte så långa.

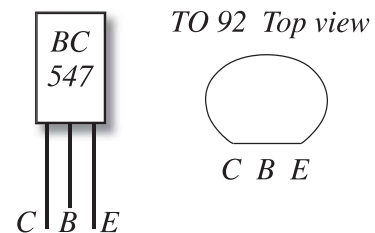


Bygg upp det hela så det liknar kopplingschemat tidigare. Då har du 100 % koll på var de olika komponenterna sitter. När du fastställt var noderna (dvs spikarna) skall sitta så tejpar du fast kopplingschemat på träklotsen, slår i spikarna och placerar ut de olika komponenterna och fäster dem vid sina spikar genom att snurra runt anslutningsbenen. Därefter löder du fast komponenterna som du lärt dig tidigare.

Var noga med att rätt motstånd kommer på rätt plats, och att transistoren vänds rätt. Minsta fel gör att förstärkaren inte fungerar.

De spikar som enbart skall ha elektrisk förbindelse, t.ex. jordskenan och +9V skenan förbinds med blanktråd.

**Den transistor** vi skall arbeta med heter BC 547 B och är en NPN-transistor. Strömförstärkningsfaktorn varierar mellan 200 och 450. Den har en TO 92 kapsel, och benen ligger snyggt i ordningen C, B och E. Se figuren.



**Kondensatorn** är en elektrolytkondensator på 10uF. Den ansluts mellan transistorens bas och ett stift för signalingången till förstärkaren. Observera att kondensatorn måste vändas rätt, dvs + skall vara mot emittern på transistoren.

**Batteriet på +9 V** ansluts så att den röda sladden (+) löds fast till den övre ledaren som förbinder kollektormotstånd och R2 motstånden. Den blå sladden löds till jordledaren längst ner på förstärkaren.

### Mätning av vilopunkten

Du behöver en DMM för denna övning.

Har du fått alla bitar på plats, och det hela ser snyggt och fint ut ? BRA !

Nu skall vi kontrollera hur bra du lyckats. Anslut 9V batteriet och anslut DMM-ens jord till förstärkarens jord. Mät nu i tur och ordning:

$U_E$  : teoretiskt: + 0,5 V. Uppmätt: .....

$U_B$  : teoretiskt: + 1,15 V. Uppmätt: .....

$U_C$  : teoretiskt: + 4V. Uppmätt: .....

Matningsspänningen: teoretiskt: + 9 V. Uppmätt: .....

Verkar det stämma ? Om inte: Nämn nedan vad som kan vara anledningen till avvikelser:

.....  
 .....  
 .....



## Mätning av förstärkning och frekvensomfång

Nu skall du undersöka signalegenskaperna, dvs hur förstärkaren hanterar småsignaler t.ex. från en mikrofon.

### Utrustning:

Du behöver en funktionsgenerator och ett oscilloskop.

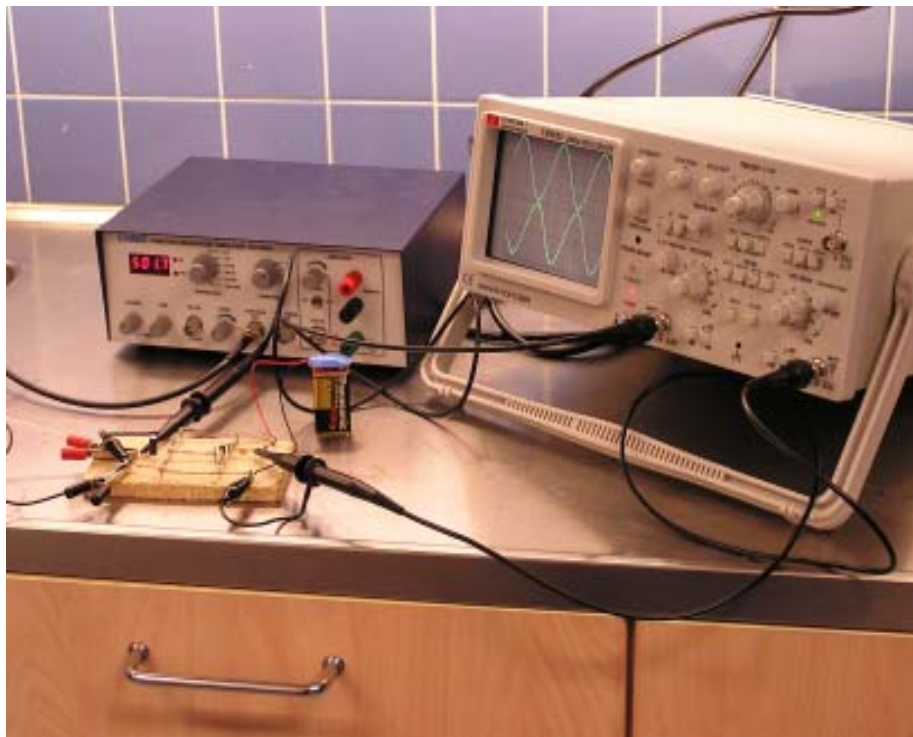
### Anslutningar:

1. Anslut funktionsgeneratorns jordklämma till förstärklarens jord, och signalklämman till ingången.

2. Anslut oscilloskopets Y1 ingång till förstärkarens ingång, parallellt med funktionsgeneratorn. Jordklämman skall anslutas till jord och mätproben till förstärkarens ingång.

3. Anslut oscilloskopets Y2 ingång till förstärkarens utgång, och jordklämman till förstärkarens jord.

På oscilloskopets Y1-ingång har du nu insignalen, och utsignalen från förstärkaren har du på Y2.



## Mätning av förstärkning och frekvensgång.

Nu skall du mäta lite, för att ta reda på vad förstärkaren har för egenskaper. Du börjar med att ta reda på hur många gånger insignalen förstärks.

1. Justera Y2 förstärkningen till 0,5 V/ruta, ställ frekvensen på 1 kHz, signaltyp sinus, och vrid nivån så att utsignalen tar upp 6 rutor topp till topp. Justera tidbasen på lämpligt antal  $\mu$ s/ruta så du ser några hela perioder på skärmen. Trigga signalen på Y2 kanalen. Fråga: hur stor är utspänningen topp till topp?

Svar:.....V

**2. Rör nu inte utnivåratten på funktionsgeneratorn !** Justera Y1 så att signalen upptar ett lämpligt antal rutor topp till topp. Bestäm inspänningens storlek genom att läsa av vad Y1 förstärkaren är inställd på (antal mV/ruta) och multiplicera med antalet rutor på skärmen i Y-led från topp till topp.

Svar:.....rutor x.....mV/ruta=.....mVtopp till topp

3. Förstärkningen blir nu kvoten mellan utspänningen topp till topp och inspänningen topp till topp. Vad blev det ?

Svar:.....ggr

4. Du har lagt märke till sak vad gäller insignal och utsignal: de ligger inte i samma fas. När den ena

har minimum, så har den andra maximum. Hur kan det komma sig ?

Svar:.....

.....

.....

5. Nu skall vi se om förstärkaren klarar audio-området, dvs frekvenser mellan 20 Hz och 20.000 Hz skall förstärkas lika mycket. Om så inte är fallet, så kommer ljudet att tappa i basen eller diskanten, dvs det kommer inte att låta bra. Utan att ändra utnivåratten på funktionsgeneratorn ändrar du nu frekvensen ner till 20 Hz. Du får kompensera den längre periodtiden med att ändra tidbasomkopplaren till längre sveptider. Har utnivån (dvs signalen på Y2) sjunkit under 6 rutor topp till topp ?

Svar:.....

6. Du ökar nu frekvensen från funktionsgeneratorn till 20.000 Hz eller 20 kHz. Kompensera med tidbasomkopplaren för den kortare sveptiden. Har utsignalen sjunkit under 6 rutor topp till topp ?

Svar:.....

7. Slutligen skall du ta reda på maximala utsignalen från förstärkaren. Om utsignalen inte är sinusformad, så säger man att signalen är distorderad, och det låter illa. Sätt frekvensen på 1kHz, justera tidbaskontrollen så du ser ett par perioder. Öka nu utsignalen från funktionsgeneratorn genom att vrida upp level-ratten, och vrida ner Y2 förstärkningen motsvarande tills signalen börjar se illa ut. Hur stor är signalen topp till topp precis när det börjar se illa ut ?

Svar:.....

8. Har du någon förklaring till varför signalen inte kan bli större än i punkt 7 ovan dvs vad är det som begränsar signalens maximala amplitud?

Svar:.....

.....

.....

**Du kan nu lugnt plocka ihop grejerna efter dig och konstatera att du med enkla medel lyckats tillverka en bra förstärkare ! Grattis !**