

# TSTE05 Elektronik och mätteknik

## ISY-lab 3: Enkla förstärkarsteg

Mikael Olofsson

Kent Palmkvist

30 november 2017

<b>Laborant</b>
<b>Person- nummer</b>
<b>Datum</b>
<b>Godkänd</b>

# 1 Introduktion

I denna laboration kommer du att studera transistorer och bygga enkla förstärkarsteg kring dem. Den utrustning som vi använder oss av är ELVIS II [2], dvs. samma utrustning som vi använde i lab 1 och lab 2b. Se lab-PM för lab 1 för en beskrivning av Elvis II.

## 2 Förberedelser

För att du ska ha en ärlig chans att slutföra laborationen i tid, men också för att du ska ha fullt utbyte av den, så behöver du göra följande förberedelser:

1. Läs igenom detta lab-PM.
2. I avsnitt 3.3 förekommer elektrolytkondensatorer. Sådana måste kopplas in med rätt polaritet. Anslutningen märkt + måste ha högre likspänningsmässig potential än anslutningen märkt -. Se sidorna 241–243 i kursboken för närmare information om elektrolytkondensatorer. Bestäm vilken väg kondensatorerna  $C_1$  och  $C_3$  i avsnitt 3.3 ska vändas utgående ifrån en likströmsanalys. Här krävs inga exakta beräkningar, bara ett resonemang om hur potentialerna på vardera sida om respektive kondensator förhåller sig till varandra. I denna analys bör du tänka dig att spänningskällan som ger upphov till insignalen är nollställd.
3. Om en förstärkare har amplitudförstärkningen 50 och vi vill att utsignalen ska ha amplituden 2 V, vilken amplitud ska då insignalen ha?
4. Försäkra dig om att du förstår hur mätningarna i avsnitt 3.7 fungerar. Varför kan man bestämma in- & utimpedans på de sätten? Finns det några brister med att göra på det viset?

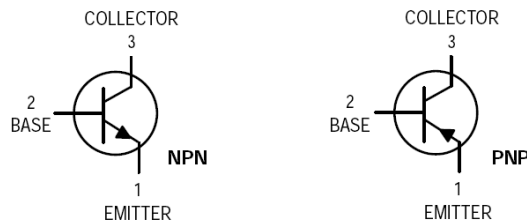
Titta gärna ännu en gång i *Bilaga till ISY-laborationer med ELVIS II* av Lasse Alfredsson [3]. Påminn dig speciellt om hur kopplingspunkterna på kopplingsytan är hopkopplade.

## 3 Mätuppgifter

### 3.1 Transistorkurvor

På labbänken ska du ha en transistor av typen MPSA06. Det är en NPN-transistor. Din uppgift är nu att plotta delar av transistorens karakteristik. I figur 1 finns ett utdrag ur databladet för transistoren. Se speciellt hur pinnarna är anslutna till transistoren.

## Amplifier Transistors



### MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	MPSA05 MPSA55	MPSA06 MPSA56	Unit
Collector–Emitter Voltage	$V_{CEO}$	60	80	Vdc
Collector–Base Voltage	$V_{CBO}$	60	80	Vdc
Emitter–Base Voltage	$V_{EBO}$	4.0		Vdc
Collector Current – Continuous	$I_C$	500		mAdc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	625	5.0	mW mW/ $^\circ\text{C}$
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	1.5	12	Watts mW/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	– 55 to +150		$^\circ\text{C}$

**NPN**  
**MPSA05**  
**MPSA06\***  
**PNP**  
**MPSA55**  
**MPSA56\***

Voltage and current are negative  
for PNP transistors

\*Motorola Preferred Device



CASE 29–04, STYLE 1  
TO–92 (TO–226AA)

Figur 1: Utdrag ur datablad för transistorn MPSA06 [1].

Placera transistorn någonstans mitt på kopplingsytan i tre närliggande hål som inte är hopkopplade. Benen på transistorn ska vara bockade så att du utan problem ska kunna göra det. *Misshandla inte transistorn. Benen går gärna av då.* Koppla sedan transistorn med kopplingstrådar enligt följande till anslutningarna till vänster om kopplingsplattan.

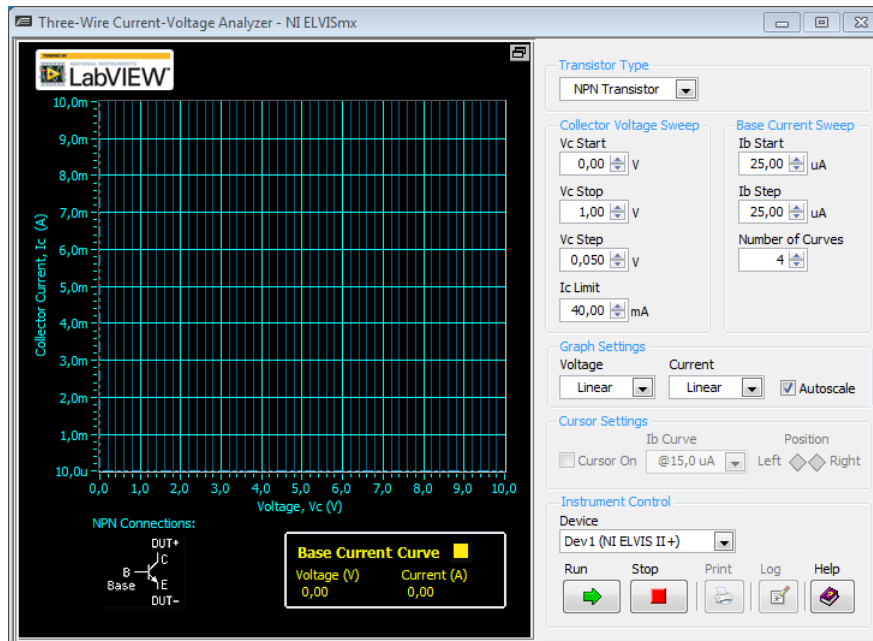
**Anslutning 28** – Bas

**Anslutning 29** – Kollektor

**Anslutning 30** – Emitter

Starta Three-Wire Current Voltage Analyzer, vilken visas i figur 2.

Vi använder i vanlig ordning beteckningarna  $I_B$ ,  $I_C$  och  $I_E$  för bas-, kollektor- respektive emitterström. Vidare använder vi beteckningen  $U_{CE}$  för kollektor-emitter-spänningen. Instrumentet använder beteckningarna  $I_b$ ,  $I_c$  respektive  $V_c$ , för bas- och kollektorström samt kollektor-emitter-spänning.



**Figur 2:** Three-Wire Current Voltage Analyzer.


☞ Plotta nu  $I_C$  mot  $U_{CE}$  för

- $0 \leq U_{CE} \leq 1$  [V] med steg om 0.05 V (Vc Start, Vc Stop och Vc Step).
- $I_C \leq 40$  mA (Ic Limit).
- $I_B = 25, 50, 75$  och  $100 \mu\text{A}$  (Ib Start, Ib Step och Number of Curves).

Mätningen startas genom att klicka på *Run*. Detta tar några minuter, eftersom utrustningen måste ställa in samtliga värden för  $U_{CE}$  och  $I_B$ , och däremellan vänta in att alla värden hinner stabilisera sig innan mätningarna sker. Kurvorna byggs successivt upp och en stapel nertill i fönstret visar hur mycket som hunnits med.

☞ Bestäm transistorens strömförstärkningfaktor utgående från kurvornas värden vid c:a 1 V. Använd cursor-funktionaliteten för detta.

$B =$  .....

Signatur:  


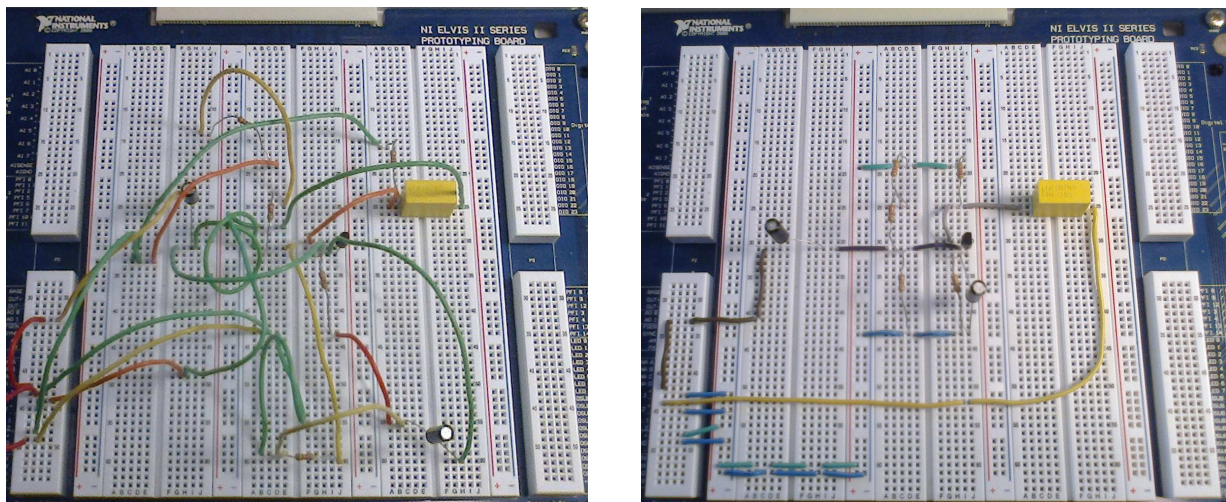
## 3.2 Kopplingsdisciplin: Att undvika onödiga problem

I nästa avsnitt ska du koppla upp ett förstärkarsteg kring transistorn. För att denna uppkoppling ska bli överskådlig och därmed lätt att felsöka, så bör du följa nedanstående råd.

- Placera komponenterna så att det i princip ser ut som i kopplingsdiagramet.
- Försök göra en relativt kompakt uppkoppling. Sprid därför inte ut kopplingen över hela kopplingsytan.
- Överdriv heller inte din strävan efter en kompakt uppkoppling. Risken är nämligen då att du får problem med oönskade kortslutningar mellan oisolerade komponentben. Se alltså till att oisolerade komponentben hålls isär.
- Använd så korta kopplingstrådar som möjligt. Långa trådar som bildar öglor kors och tvärs gör det väldigt svårt att felsöka. De tar också upp induktiva störningar och orsakar induktiva kopplingar mellan olika delar i kretsen. Se mätteknik-föreläsningarna för närmare beskrivning.

Förutom att du på detta sätt gör det enklare att felsöka din krets, så får du alltså som en bonus en minskad risk att din krets fångar upp elektromagnetiska signaler som finns i närheten eller orsakar induktiv koppling mellan olika delar av kretsen. I några mätningar finns det nämligen risk för självsvängning som triggas av just elektromagnetisk påverkan.

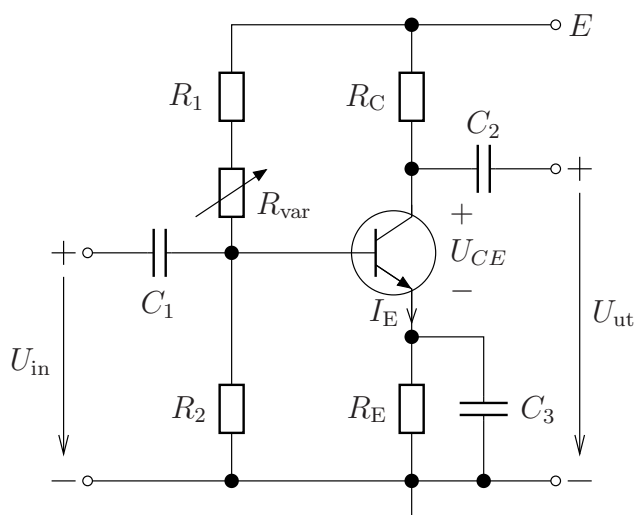
I figur 3 finns bilder på två uppkopplingar. Vilken tycker du är mest överskådlig? Vilken tror du är enklast att felsöka? Vilken tror du har mest problem med induktiv koppling?



Figur 3: Två exempel på uppkopplingar.

### 3.3 GE-stegets arbetspunkt

Ta loss kopplingstrådarna som kopplar transistorn till anslutningarna 28–30. Bygg nu ett GE-steg enligt figur 4. Notera att kondensatorerna  $C_1$  och  $C_3$  är elektrolytkondensatorer. Sådana måste kopplas in med rätt polaritet. Se förberedelseuppgift 2.



$R_1 = 1.8 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 1.5 \text{ k}\Omega$ ,  $R_{\text{var}}$  är en labpotentiometer/dekadresistans,  
 $R_C = 2.2 \text{ k}\Omega$ ,  $R_E = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $C_1 = C_3 = 47 \text{ }\mu\text{F}$  elektrolyt,  $C_2 = 1 \text{ }\mu\text{F}$ ,  $E = 8 \text{ V}$ .

Figur 4: GE-steg att koppla upp.


Följande anslutningar till vänster om kopplingsplattan kan vara användbara.

**Anslutningarna 38–41** – Banankontakterna A–D. För labpotentiometern/dekadresistansen och inkoppling av multimetern. Multimeterns anslutningar finns på vänstra kanten av Elvis II.

**Anslutning 48** – Positiv matningsspänning.

**Anslutning 49** – Jord.

Först vill vi ställa in rätt arbetspunkt. För detta behöver vi den variabla spänningskällan (VPS) och multimetern (DMM), se figur 5. *Då detta handlar om en arbetspunkt, så ska vi inte ansluta någon insignal.*

 Börja då med att ställa  $R_{\text{var}}$  på  $10 \text{ k}\Omega$ . Spänningskällan och multimetern startas genom att klicka på *Run* i respektive fönster. Mät emitterströmmen – hur kan du göra det utan att bryta upp kretsen? Det bör bli en ström som är betydligt mindre än  $1 \text{ mA}$ . Minska sedan labpotentiometern/dekadresistansen till dess emitterströmmen  $I_E$  är  $1.4 \text{ mA}$ .



Figur 5: Den variabla spänningskällan (VPS) och Multimetern (DMM).

☞ Anteckna vilket resistansvärde du fick. Mät sedan  $U_{CE}$ .

$R_{var} =$  .....  $U_{CE} =$  .....

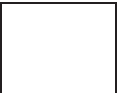
Ersätt labpotentiometern/dekadresistansen med det motstånd ur E6-serien som ligger närmast det värde du just ställt in, och kalla det värdet  $R$ . På så vis får vi loss den för andra syften längre fram.

☞ Kontrollmät  $I_E$  och  $U_{CE}$  och försäkra dig om att dessa värden endast ändrats lite.

$R =$  .....  $I_E =$  .....  $U_{CE} =$  .....

Den som känner sig petig kan kombinera två motstånd för att komma närmare önskad resistans. Multimetern går också att använda för att mäta resistans.

Signatur:



### 3.4 GE-stegets förstärkning

Nu är det dags att koppla in en insignal och mäta upp råförstärkningen. Till vänster om kopplingsytan ska du använda dig av följande anslutningar:

**Anslutning 33** – FGEN. Signalgeneratoren. Här ska du ta insignalen till förstärkaren.

**Anslutning 42–45** – BNC 1 och BNC 2. För vidare anslutning till Oscilloskopsingångarna.


På vänstra kanten av Elvis II finns tre BNC-kontakter. Du ska använda följande två:

**CH0** – Oscilloskopets kanal 0. Denna kanal ska mäta insignalen till förstärkaren. Koppla den till BNC 1.

**CH1** – Oscilloskopets kanal 1. Denna kanal ska mäta utsignalen från förstärkaren. Koppla den till BNC 2.

Se figur 6 för signalgeneratoren, och figur 7 för oscilloskopet. Försäkra dig om att signalgeneratorns utsignal (Signal Route) är vald till Prototyping board, och att oscilloskopets ingångar är valda till SCOPE CH0 respektive SCOPE CH1. Om insignalens amplitud är för stor, kommer utsignalen att vara distorderad. Vår linjära modell av variationerna kring arbetspunkten är då inte längre en bra modell. Bestäm en lämplig amplitud för insignalen så att utsignalen inte ser distorderad ut vid 1 kHz.

**Tips:** Hela finessen med ett GE-steg är att det har en stor förstärkning. Det gäller förstås även detta GE-steg. Lämplig amplitud *för utsignalen* är c:a 1 V. Insignalen ska då alltså vara *liten*.

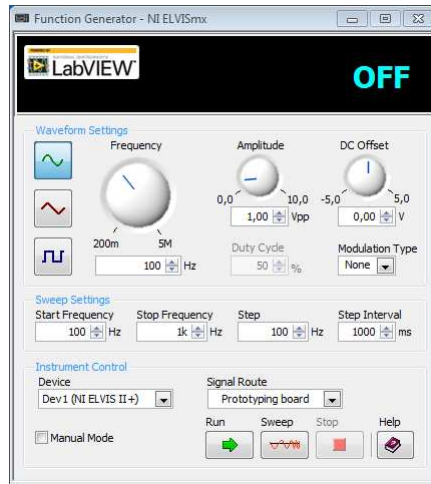
 Bestäm spänningsförstärkningen vid 1 kHz med hjälp av oscilloskopet. Uttryck den också i dB, dvs  $A_{\text{dB}} = 20 \cdot \log_{10}(A)$ , där  $A$  är förstärkningen.

Amplitud: .....  $A =$  .....  $A_{\text{dB}} =$  .....

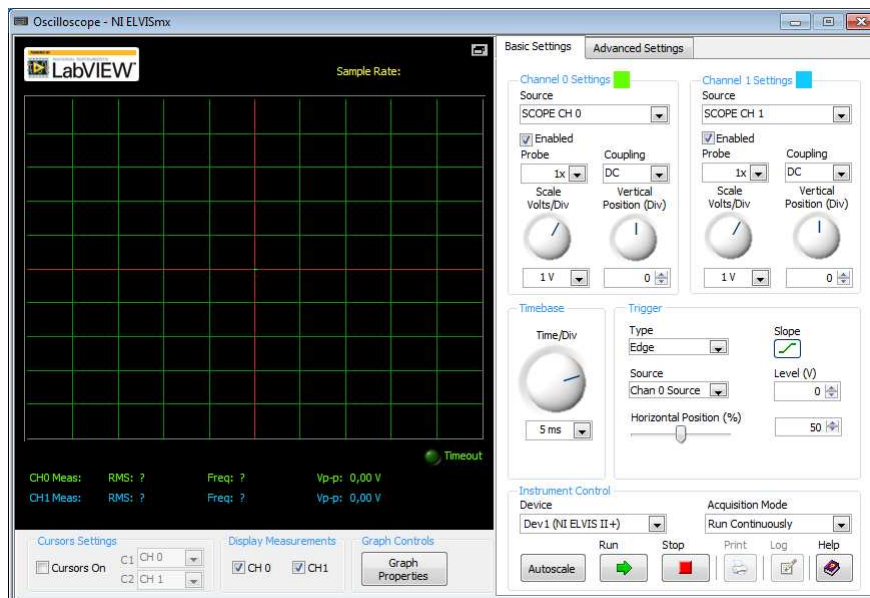
Hur ligger utsignalen fasmässigt i förhållande till insignalen? .....

Signatur:





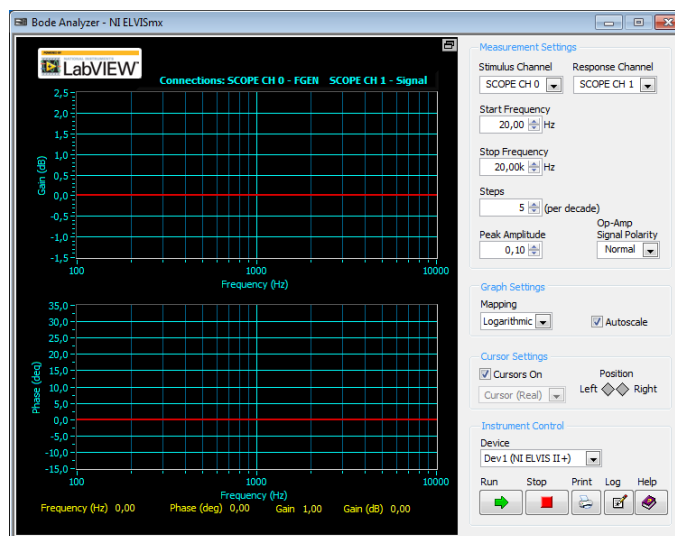
Figur 6: Signalgeneratorm (FGEN).





Figur 7: Oscilloskopet (Scope).

### 3.5 GE-stegets frekvenssvar

Vanligen är man intresserad av frekvenssvaret för en förstärkare, och kanske speciellt amplitudkaraktistiken. Det går för all del att göra det genom att göra ovanstående mätning för hand vid ett flertal frekvenser. I laboration 2b stiftade du bekantskap med Bode-analysatorn, som automatiserar detta. Starta den, så får du upp fönstret i figur 8. Se till att du anger samma anslutningar för insignal och utsignal som du tidigare använde för oscilloskopet, dv. SCOPE CH0 respektive SCOPE CH1.



**Figur 8:** Bode-analysatorn (Bode) för att bestämma amplitudkaraktistiken hos förstärkaren.

-  Använd Bode-analysatorn för att mäta upp GE-stegets frekvenssvar mellan 5 Hz och 5 MHz, med tio värden per dekad. Använd samma amplitud som du bestämde i avsnitt 3.4. Notera att varken frekvensgeneratoren eller oscilloskopet får vara igång för att kunna göra detta. Varje mätvärde tar c:a 1.5 sekunder, något långsammare för låga frekvenser och något snabbare för höga frekvenser. Mätningen går igenom sex dekader, med tio värden per dekad. Alltså 60 mätvärden, och totalt tar denna mätning c:a 1.5 minut.
-  Avläs speciellt amplitud- och faskarakteristikens värde för 1 kHz. Jämför med motsvarande värden från avsnitt 3.4.

Amplitudförstärkning: .....

Fasvridning: .....

Signatur:

### 3.6 GE-stegets bandbredd

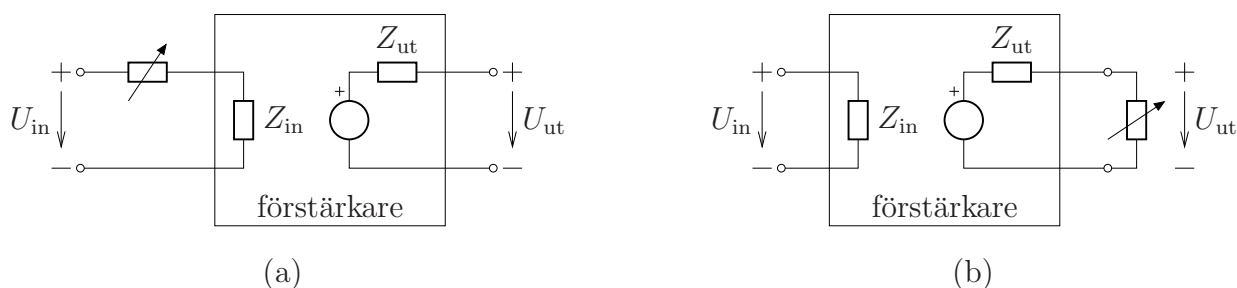
☞ Du ska nu bestämma förstärkarens undre gränshfrekvens,  $f_1$ , och dess övre gränshfrekvens,  $f_2$ , dvs. där utsignalens amplitud sjunkit med 3 dB, vilket motsvarar att amplituden sjunkit med faktorn  $\sqrt{2}$ . Avläs dessa frekvenser i bodeplotten. Om mätvärdena ligger för glesst för en rimlig avläsning, kan du mycket väl ändra inställningarna i Bode-verktyget och göra täta mätningar i det område där gränshfrekvensen ligger.

$f_1 =$  .....  $f_2 =$  .....

Signatur:

### 3.7 GE-stegets in- och utimpedans

Dessa mätningar ska göras vid frekvensen 1 kHz. Försäkra dig om att du förstår dessa mätningar. Detta bör du ha gjort i förberedelseuppgift 4.



**Figur 9:** Modell av förstärkaren i termer av inimpedans och utimpedans. a. Uppkoppling för att bestämma inimpedansen  $Z_{in}$ . b. Uppkoppling för att bestämma utimpedansen  $Z_{ut}$ .

☞ Du ska nu bestämma förstärkarens inimpedans,  $Z_{in}$ , som vi för enkelhets skull betraktar som rent resistiv. Koppla in signalen via labpotentiometern/dekadresistansen enligt figur 9a. Mät också utsignalen med multimetern i AC-läge. Använd samma amplitud som du bestämde i avsnitt 3.4. Börja med potentiometern/dekadresistansen i läge  $0\Omega$ . Avläs utsignalens spänning. Öka sedan potentiometerens resistans till dess utsignalens amplitud halverats. Baserat på spänningsdelning kan vi nu säga att inimpedansen är det värde vi läser av på potentiometern.

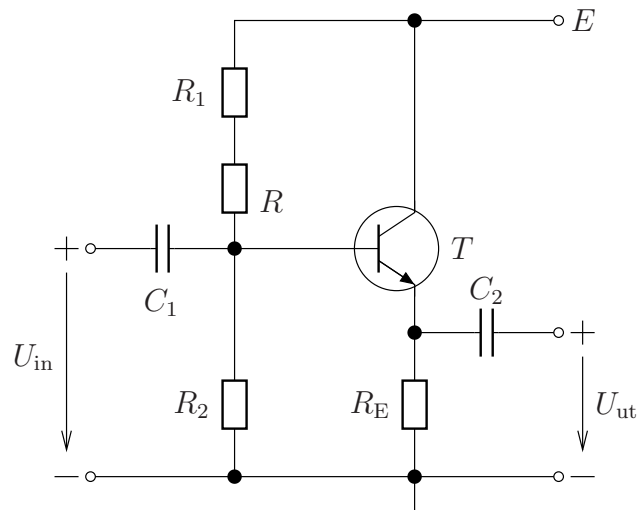
☞ Nästa steg är att bestämma förstärkarens utimpedans,  $Z_{ut}$ . Även här antar vi för enkelhets skull att den är rent resistiv. Det gör vi också baserat på spänningsdelning genom att belasta förstärkarens utsignal. Du ska använda dig av uppkopplingen i figur 9b. Börja med att läsa av utspänningen utan belastning. Koppla sedan in labpotentiometern/dekadresistansen och ställ in den så att utsignalens amplitud halveras. Avläst värde på labpotentiometern/dekadresistansen är utimpedansen.

$Z_{in} =$  .....  $Z_{ut} =$  .....

Signatur:

### 3.8 Om du har tid kvar: Emitterföljaren

Bygg nu om ditt GE-steg till en emitterföljare enligt figur 10.



$$R_1 = 2.2 \text{ k}\Omega, R_2 = 1.5 \text{ k}\Omega, R \text{ tidigare bestämd resistans,} \\ R_E = 1 \text{ k}\Omega, C_1 = 47 \mu\text{F elektrolyt}, C_2 = 1 \mu\text{F}, E = 8 \text{ V.}$$

**Figur 10:** Emitterföljaren.

Notera att de enda förändringarna jämfört med GE-steget är att  $R_C$  ersätts med en kortslutning, att  $C_3$  tas bort och att  $C_2$  flyttas.

Kontrollera att du har ungefär samma emitterström som du hade för GE-steget.

Upprepa nu mätningarna som du gjorde i avsnitt 3.4 till 3.7, men nu för detta EF-steg. Alltså:

- Förstärkning och fasvridning vid 1 kHz.
- Frekvenssvar.
- Gränshänsor.
- In- och utimpedans vid 1 kHz.

Notera att ett EF-steg ska ha en förstärkning nära 1. Du bör välja amplitud hos insignalen så att resulterande amplitud hos utsignalen även här är c:a 1 V.

$A =$  .....  $A_{dB} =$  .....

Fasvridning = .....

$f_1 =$  .....  $f_2 =$  .....

$Z_{in} =$  .....  $Z_{ut} =$  .....

## Referenser

- [1] Motorola Semiconductor Technical Data MPSA05 MPSA06 MPSA55 MPSA56. <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/motorola/MPSA56.pdf>, 1996. Besökt 2011-11-23.
- [2] NI Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite II Series (NI ELVIS II™ Series) User Manual. <http://www.ni.com/pdf/manuals/374629b.pdf>, January 2009. Besökt 2011-11-23.
- [3] Lasse Alfredsson. Bilaga till ISY-laborationer med ELVIS II. [http://www.cvl.isy.liu.se/education/Lab-bilaga.ELVIS\\_II.pdf](http://www.cvl.isy.liu.se/education/Lab-bilaga.ELVIS_II.pdf), 2015. Besökt 2015-02-27.