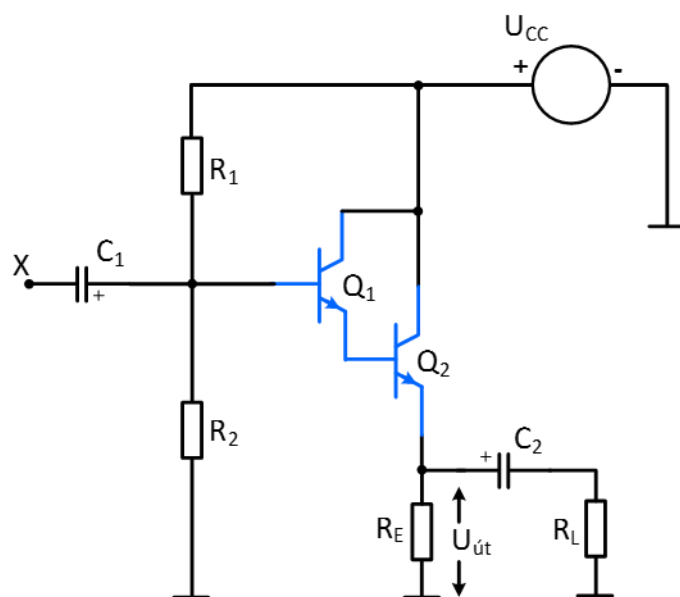


## Rafbók



# Rafeindafraði 11. hefti

## CC BJT magnarar

Sigurður Örn Kristjánsson

Bergsteinn Baldursson

Þetta hefti er án endurgjalds á rafbókinni.

[www.rafbok.is](http://www.rafbok.is)

Allir rafiðnaðarmenn og rafiðnaðarnemar geta fengið aðgang án endurgjalds að rafbókinni.

Heimilt er að afrita textann til fræðslu í skólum sem reknir eru fyrir opinbert fé án leyfis höfundar eða Fræðsluskrifstofu rafiðnaðarins. Hvers konar sala á textanum í heild eða að hluta til er óheimil nema að fengnu leyfi höfundar og Fræðsluskrifstofu rafiðnaðarins.

Höfundar eru Sigurður Örn Kristjánsson og Bergsteinn Baldursson.  
Umbrot í rafbók, uppsetning og teikning Báru Halldórsdóttir.

Vinsamlegast sendið leiðréttingar og athugasemdir til höfundar Sigurðar Arnar [sqk@tskoli.is](mailto:sqk@tskoli.is) og Báru Halldórsdóttur á netfangið [bara@rafnam.is](mailto:bara@rafnam.is)

---

**Rafeindafræði 11. hefti – CC BJT magnarar -**

---

**Efnisyfirlit**

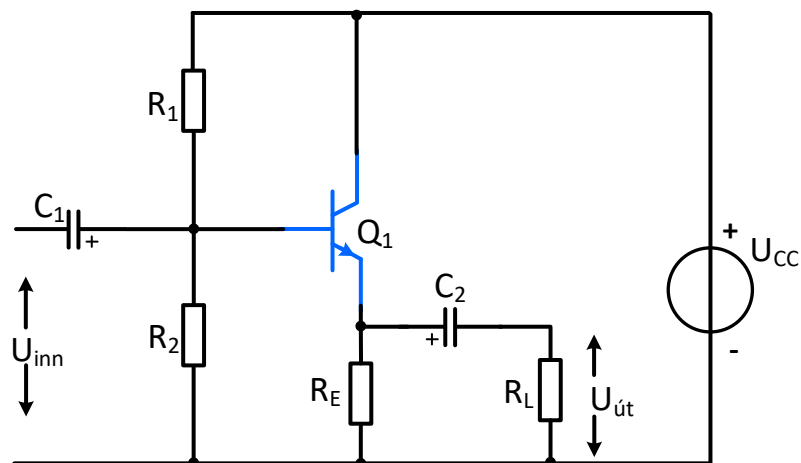
1. Collector-tengdur magnari .....	3
2. Spennumögnun .....	4
3. Inngangsmótstaða .....	5
4. Útgangsmótstaðan.....	5
5. Straummögnun.....	5
6. Aflmögnun .....	6
7. Darlington-tengdur transistor.....	7
8. Darlington tengd emitterfylgja ( <i>Emitter follower</i> ) .....	8
9. Dæmi.....	11
10. Verkleg æfing fyrir CC magnara .....	12
10.1 Framkvæmd 1 .....	12
10.2 Framkvæmd 2 .....	13
10.3 Framkvæmd 3 .....	13
10.4 Framkvæmd 4 .....	13
10.5 Framkvæmd 5 .....	13
10.6 Framkvæmd 6 .....	14
10.7 Framkvæmd 7 .....	14
10.8 Framkvæmd 8 .....	14
10.9 Jöfnur sem gilda fyrir SC/CC tengdan magnara.....	15
11. Hvernig mæli ég mögnun .....	16
12. Hvernig mæli ég fasvik.....	17
13. Hvernig mæli ég inngangsmótstöðu magnara .....	18
14. Hvernig mæli ég útgangsmótstöðu magnara .....	19
15. Svör .....	20

## 1. Collector-tengdur magnari

Collector-tengdur magnari (*Common collector - CC*) er stundum kallaður emitterfylgja (EF). Inngangur magnarans tengist á base í gegn um þétti og útgangur magnarans er tekinn frá emitter. Spennumögnun  $A_u$  í CC magnara er um það bil 1. Aðalkostir magnarans er mjög há inngangsmótstaða og straummögnun. Eftir lestur þessa kafla átt þú að vera fær um að:

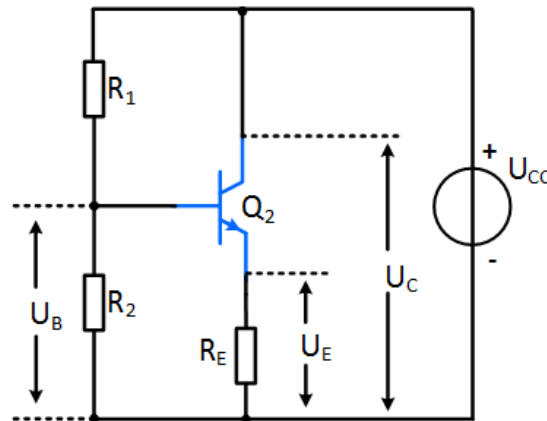
- skilja og geta greint virkni collectortengds magnara (CC)
- skírt ac- og dc- aflagdislínurit
- skírt dc- og ac- vinnslu magnarans
- fundið spennumögnun hans
- fundið inngangsmótstöðu magnarans
- fundið útgangsmótstöðu magnarans
- fundið aflmögnun
- skírt út darlington tengingu og kosti hennar.

*Mynd 1* sýnir magnara tengdan í collectortengingu (CC) þar sem dc spennufæðing magnarans er með spennudeili. Takið eftir því að inngangsmerkið er tengt á base transistorsins í gegn um þétti  $C_1$ . Útgangsmerkið er tekið frá emitter til jarðar í gegn um þéttinn  $C_2$ . Það er engin fasasnúningur í magnaranum og styrkur útgangsmerkisins er um það bil sama og styrkur inngangsmerkisins.

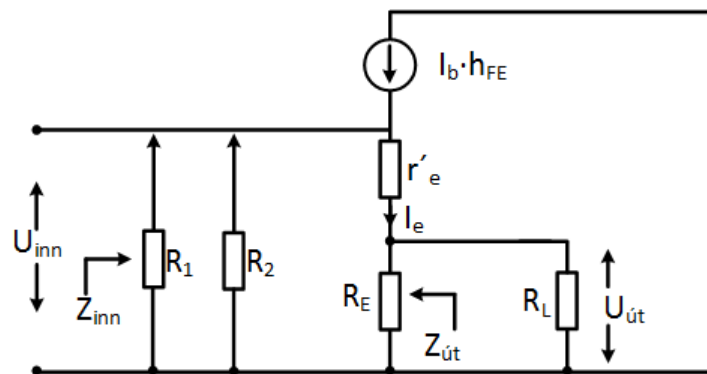


*Mynd 1a. CC-tengdur magnari.*

## Rafeindafræði 11. hefti – CC BJT magnarar -



Mynd 1b. dc jafngildismynd ( $X_C \rightarrow \infty$ )



Mynd 1c. ac jafngildismynd ( $X_C \rightarrow 0$ ).

## 2. Spennumögnun

Eins og í öllum mögnurum er spennumögnunin skilgreind sem

$$A_u = \frac{U_{\text{út}}}{U_{\text{inn}}}$$

Gert er ráð fyrir að riðstraumsviðnám þetta  $X_C$  sé það lítið á þeirri vinnutíðni sem reiknað er við, þannig að horfa megi frá þeim í útreikningum. Reiknað er síðan út frá ac jafngildismynd eins og sýnd er á mynd 1c.

$$U_{\text{út}} = I_e \cdot (R_E // R_L) \quad U_{\text{inn}} = I_e \cdot (r'_e + R_E // R_L)$$

$$\Rightarrow A_u = \frac{U_{\text{út}}}{U_{\text{inn}}} = \frac{I_e \cdot (R_E // R_L)}{I_e \cdot (r'_e + R_E // R_L)}$$

og spennumögnunin verður:

---

## Rafeindafræði 11. hefti – CC BJT magnarar -

---

$$A_u = \frac{U_{\text{út}}}{U_{\text{inn}}} = \frac{R_E // R_L}{(r'_e + R_E // R_L)}$$

algengt er að ( $r'_e \ll R_E // R_L$ )  $\Rightarrow$  spennumögnunin er  $\approx 1$

Þar sem útspennan er tekin yfir emitter-mótstöðuna er hún í fasa við base-emitter spennuna. Þar sem að engin fasavending er í rásinni og útgangsspennan eltir inngangsspennuna kallast þessi rás **emitter-fylgja** (*Emitter follower*).

### 3. Inngangsmótstaða

Eitt af einkennum emitter-fylgju (collector tengds magnara) er há inngangsmótstaða. Vegna þessa miklu inngangsmótstöðu er emitter-fylgjan (common collector) mikið notuð sem „buffer“ stig til að koma í veg fyrir álagsáhrif á mögnun í magnara ef hann er tengdur lágohms álagmótstöðu t.d. eins og í hátalara. Inngangsmótstaðan er:

$$Z_{\text{inn}} = R_{\text{inn}} = R_1 // R_2 // h_{FE} \cdot (r'_e + R_E // R_L)$$

(Varðandi sönnun á þessari jöfnu er vísað á sönnun inngangsmótstöðu CE magnara án  $C_E$  þéttis).

### 4. Útgangsmótstaðan

Þegar álagmótstaðan er fjarlægð verður útgangsmótstaða CC magnara (sjá mynd 1c):

$$Z_{\text{út}} \cong r'_e$$

(ath. þessi jafna er fengin með allskyns nálgunum og er þess vegna ekki nákvæm).

### 5. Straummögnun

Heildarstraummögnun spennufylgis í mynd 1c er  $A_i = \frac{I_e}{I_{\text{inn}}}$

Hægt er að finna strauminn sem  $I_{\text{inn}} = \frac{U_{\text{inn}}}{R_{\text{inn}}}$

Ef mótstaða hliðtengingar  $R_1$  og  $R_2$  er miklu hærri en  $(R_E // R_L + r'_e)$  rennur mesti hluti straumsins  $I_{\text{inn}}$  inn í base sem  $I_b$  þannig að straummögnun magnarans verður um það bil straummögnun transistorsins:

$$I_{\text{inn}} \cong I_b \text{ og } I_e \cong I_c = I_b \cdot h_{FE} \Rightarrow$$

## Rafeindafræði 11. hefti – CC BJT magnarar -

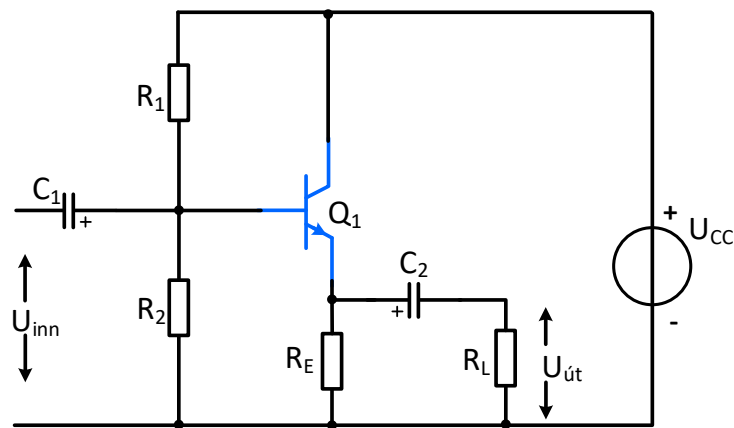
$$A_i \cong \frac{I_e}{I_b} \cong \frac{I_b \cdot h_{FE}}{I_b} = h_{FE}$$

### 6. Aflmögnun

Aflmögnun í CC magnara (emitter fylgju) er

$$A_p = A_u \cdot A_i = 1 \cdot h_{FE} \Rightarrow A_p = h_{FE}$$

**Sýnidæmi:**



Mynd 2.

Vísað er í mynd 2 og myndir 1a, 1b og 1c.

Gefið er að  $U_{CC} = 12\text{ V}$ ,  $R_1 = R_2 = 18\text{ k}\Omega$ ,  $R_E = R_L = 1\text{ k}\Omega$ ,  $C_1 = C_2 = 10\text{ }\mu\text{F}$  og transistorinn er 2N3904 með  $h_{FE} = 175$ .

Reiknið  $Z_{inn}$  og  $Z_{út}$ . Finnið einnig spennu-, straum- og aflmögnun.

**Lausn:**

Inngangsmótstaðan  $Z_{inn}$  fundin:

$$Z_{inn} = R_{inn} = R_1 // R_2 // [h_{FE} \cdot (R_E // R_L)] =$$

$$18\text{ k}\Omega // 18\text{ k}\Omega // [175 \cdot (1\text{ k}\Omega // 1\text{ k}\Omega)] = \mathbf{8,16\text{ k}\Omega}$$

Spennumögnun fundin:

$$U_E = U_{R_2} - U_{BE} = \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_{CC} \right) - U_{BE} = \left( \frac{18\text{ k}\Omega}{18\text{ k}\Omega + 18\text{ k}\Omega} \right) \cdot 12 - 0,7 = 5,3\text{ V}$$

---

**Rafeindafræði 11. hefti – CC BJT magnarar -**


---

$$I_E = \frac{U_E}{R_E} = \frac{5,3V}{1k\Omega} = 5,3mA$$

$$r'_e \cong \frac{25mV}{I_E} \cong \frac{25mV}{5,3mA} = 4,7\Omega$$

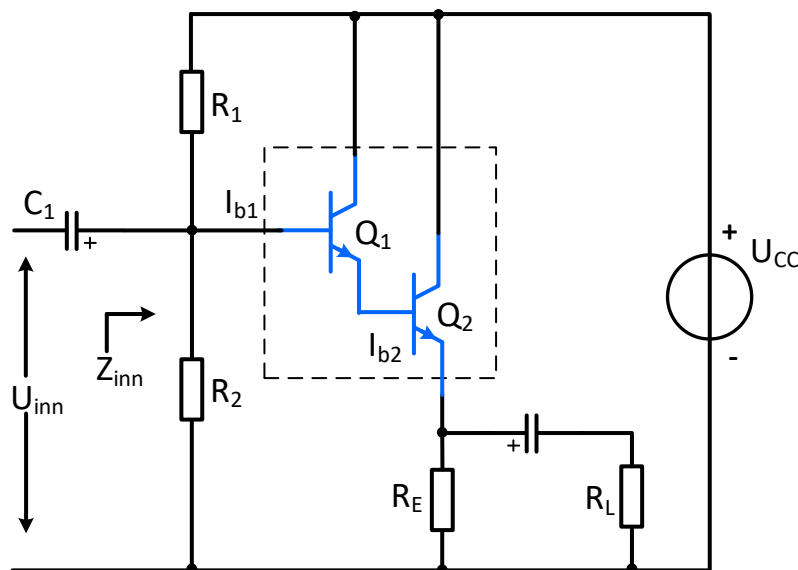
$$A_u = \frac{U_{út}}{U_{inn}} = \frac{R_E // R_L}{(r'_e + [R_E // R_L])} = \frac{(1k\Omega // 1k\Omega)}{(4,7\Omega + [1k\Omega // 1k\Omega])} = 0,99$$

Straummögnun  $A_i = h_{FE} = 175$

Heildaraflmögnun  $A_p$  magnarans er:

$$A_p \cong A_i \cdot A_u = 175 \cdot 0,99 \cong 175$$

## 7. Darlington-tengdur transistor



Mynd 3. Darlington tengdur transistor.

Straummögnunarstuðull transistors  $h_{FE}$  er ráðandi stærð í inngangsmótstöðu magnara og setur hún þess vegna skorður á hámarksstærð mótstöðunnar. Ein leið til að auka inngangsmótstöðuna  $R_{inn}$  er að tengja transistor í darlingtontengingu. Sjá mynd 3. Þessi aðferð eykur verulega inngangsmótstöðu emitterfylgjunnar sem verður:

$$I_{b2} = I_{e1} \cong h_{FE1} \cdot I_{b1}$$



---

**Rafeindafræði 11. hefti – CC BJT magnarar -**


---

$$I_{e2} \cong h_{FE2} \cdot I_{e1} \cong h_{FE1} \cdot h_{FE2} \cdot I_{b1} \Rightarrow$$

$$R_{inn} = Z_{inn} = R_1 // R_2 // [h_{FE1} \cdot h_{FE2} \cdot (r'_e + R_E // R_L)]$$

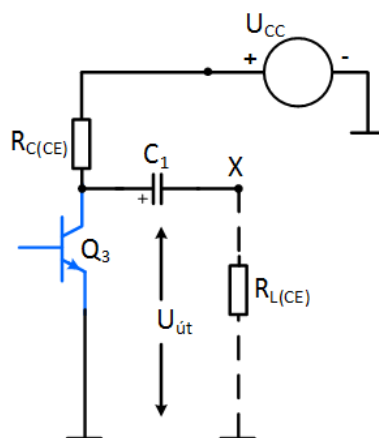
## 8. Darlington tengd emitterfylgja (*Emitter follower*)

Darlington-tengd emitterfylgja er mikið notuð sem tengirás milli rása með háa útgangsmótstöðu og lágs álags. Þegar notkun magnarans er þannig kallast hann „*buffer*“- magnarastig.

### Sýnidæmi:

Gert er ráð fyrir því að transistor sé tengdur með sameiginlegan emitter, þar sem collector mótstaðan  $R_{C(CE)} = 1 \text{ k}\Omega$  og  $r'_{e(CE)} = 5 \Omega$  eigi að skila merki í  $8 \Omega$  hátalara ( $R_{L(CE)}$ ). Einnig er gefið að  $U_{CC} = 12 \text{ V}$ ,  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 22 \text{ k}\Omega$ ,  $R_E = 22 \Omega$ ,  $C_1 = C_2 = 10 \mu\text{F}$  og transistorarnir eru 2N3904 með  $h_{FE} = 100$ .

- Hver er mögnun CE magnarans ef  $R_{L(CE)} = 8 \Omega$
- Hver er mögnun CE þegar hann tengist Darlington magnarastiginu sjá mynd 4a og mynd 4b.
- Hver er heildarmögnun darlington magnarastigsins ef  $R_{L(Darlington)} = 8 \Omega$ ?
- Hver er heildarmögnun samtengdu magnaranna?

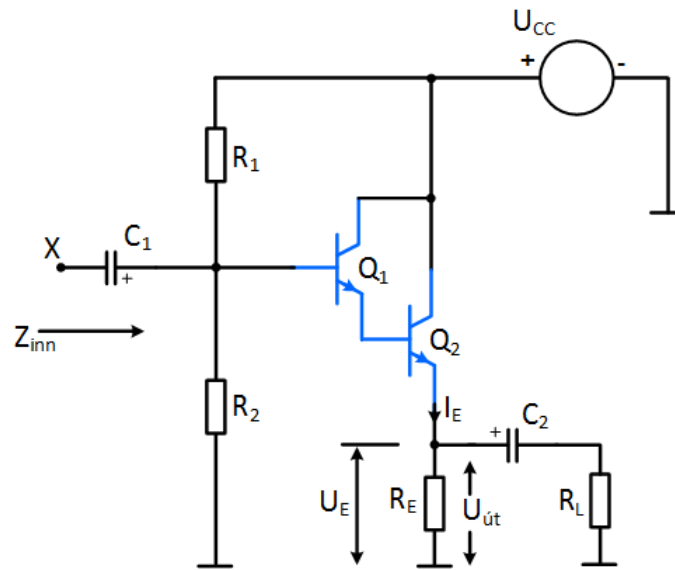


Mynd 4a. CE-tengdur magnari.

---

**Rafeindafræði 11. hefti – CC BJT magnarar -**


---



Mynd 4b. Darlington tengd emitterfylgja.

**Lausn:**

- a) Mögnun CE magnarans við að skila merki í  $8\Omega$  álag er:

$$A_u = \frac{R_C // R_L}{r'_e} = \frac{1k\Omega // 8\Omega}{5\Omega} = \frac{7,94}{5\Omega} = 1,59$$

- b) Til að finna mögnunina fyrri magnarans samkvæmt mynd 4a þarf að finna álagið  $R_L$  sem er inngangsmótstaða darlington tengda magnarans sem sýndur er á mynd 4b eða  $R_L = Z_{inn}$ .

$$R_{inn} = Z_{inn} = R_1 // R_2 // [h_{FE1} \cdot h_{FE2} \cdot (r'_e + R_E // R_L)]$$

Eina óþekkta í þessari jöfnu er  $r'_{e(\text{Darlington})}$  og við finnum hana á hefðbundinn hátt:

$$U_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_{CC} = \frac{22k\Omega}{10k\Omega + 22k\Omega} \cdot 12 = 8,25V$$

$$U_E = U_B - U_{BE(Q1)} - U_{BE(Q2)} = 8,25V - 0,7V - 0,7V = 6,85V$$

$$I_E = \frac{U_E}{R_E} = \frac{6,85V}{22\Omega} = 311mA$$

---

**Rafeindafræði 11. hefti – CC BJT magnarar -**


---

$$r'_e = \frac{25mV}{I_E} = \frac{25mV}{311mA} = 80,3m\Omega$$

$R_{inn} = R_L$  verður þá

$$R_{inn} = Z_{inn} = R_1 // R_2 // [h_{FE1} \cdot h_{FE2} \cdot (r'_e + R_E // R_L)] =$$

$$100k\Omega // 22k\Omega // [100 \cdot 100 \cdot (80,3m\Omega + 22\Omega // 8\Omega)] \cong$$

$$6,2k\Omega$$

Og mögnun emitter-stigsins verður:

$$A_u = \frac{R_C // R_L}{r'_e} = \frac{(10k\Omega // 6,2k\Omega)}{5\Omega} = \frac{7,94}{5\Omega} = 172,2$$

c) Spennumögnun emitter-fylgjunnar samkvæmt mynd 4b er:

$$A_{u(EF)} = \frac{(R_E // R_L)}{(r'_e + R_E // R_L)}$$

$$A_{u(EF)} = \frac{(R_E // R_L)}{(r'_e + R_E // R_L)} = \frac{(22\Omega // 8\Omega)}{(80,3m\Omega + 22\Omega // 8\Omega)} = 0,998$$

d) Þegar við samtengjum magnarana tvo (punktur X á mynd 4a og mynd 4b) verður álagsmótstaða fyrri magnarans heildarinnangangsmótstaða seinni magnarans eða  $R_L = R_{inn}$ . Samanlögð mögnun magnaranna verður:

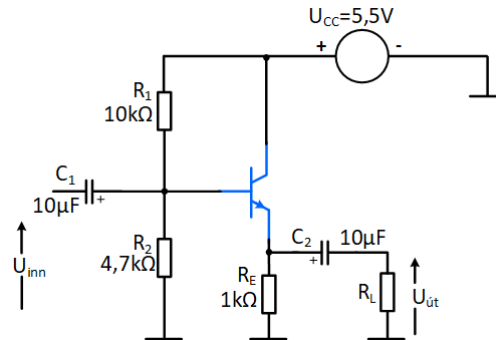
Heildarmögnun magnaranna er þá:

$$A_u = A_{u(CE)} \cdot A_{u(EF)} = 172 \cdot 0,99 = 170$$

Þetta er mun betra en í upphafi þegar CE magnarinn var tengdur álaginu  $R_L$  beint. Þá fékkst heildarmögnun  $A_u = 1,59$

## 9. Dæmi

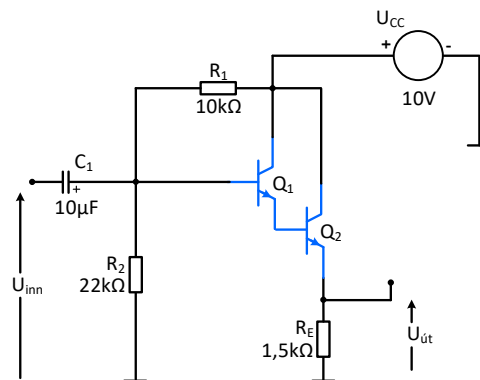
1.



Mynd 5.

- Reiknið eftirfarandi gildi fyrir mynd 5.  $R_{inn}$  og  $A_u$  ef  $h_{FE} = 100$  og  $R_L$  ekki tengt.
- Hvaða álagsmótstaða í mynd 5 veldur því að spennumögnunin verður 0,9.

2. Finndu eftirfarandi fyrir mynd 6 ef  $h_{FE1} = 150$  og  $h_{FE2} = 100$



Mynd 6.

- Dc spennur skauta transistoranna  $U_{C(Q1)}$ ,  $U_{C(Q2)}$ ,  $U_{E(Q1)}$ ,  $U_{E(Q2)}$ ,  $U_{B(Q1)}$ ,  $U_{B(Q2)}$ ?
- Heildarstráummögnunarstuðul magnarans  $h_{FE}$ ?
- $r'_e$  fyrir hvern transistor fyrir sig?
- Heildarinnangsmótstöðu magnarans?

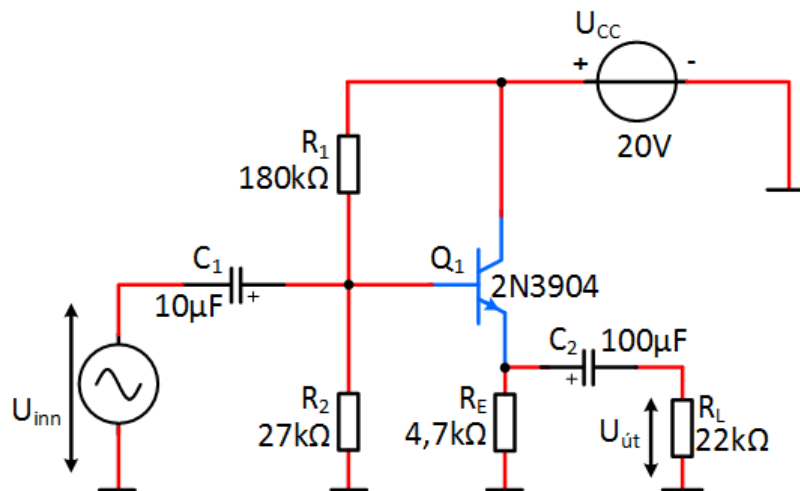
## 10. Verkleg æfing fyrir CC magnara

### Tilgangur:

Skoða magnarastig í SC/CC tengingu með tilliti til samanburðar milli reiknaðar og mældar lykilstærðir kerfisins.

### Efni:

Sveifluvaki, sveiflusjá, spennugjafi, spennumælir og íhlutir samkvæmt mynd 7 eða setja upp í rásahermi eins og t.d. Multisim eða samsvarandi.



Mynd 7. Tengimynd.

### 10.1 Framkvæmd 1

- a) Tengid rásina og hafið  $U_{inn}$  ótengda. Mælið jafnspennurnar  $U_C$ ,  $U_B$  og  $U_E$

$$U_B =$$

$$U_E =$$

$$U_C =$$

- b) Reiknið til samanburðar jafnspennurnar  $U_C$ ,  $U_B$  og  $U_E$  (sýnið útreikninga).

$$U_B =$$

$$U_E =$$

$$U_C =$$

---

**Rafeindafræði 11. hefti – CC BJT magnarar -**

---

**10.2 Framkvæmd 2**

- a) Mælið jafnspennurnar  $U_{CE}$ ,  $U_{BE}$  og  $U_{CB}$ .  $U_{inn}$  á að vera ótengd.

$$U_{CE} =$$

$$U_{BE} =$$

$$U_{CB} =$$

- b) Reiknið til samanburðar jafnspennurnar  $U_{CE}$ ,  $U_{BE}$  og  $U_{CE}$  (sýnið útreikninga).

$$U_{CE} =$$

$$U_{BE} =$$

$$U_{CB} =$$

**10.3 Framkvæmd 3**

- a) Tengid  $U_{inn} = 0,707 V_{ac} = 1 V_{ac(t)}$  og mælið spennumögnunina  $A_u$  við 1 kHz.

$$A_u =$$

$$A_u(\text{dB}) =$$

- b) Reiknið til samanburðar spennumögnunina  $A_u$  (sýnið útreikninga).

$$A_u =$$

$$A_u(\text{dB}) =$$

**10.4 Framkvæmd 4**

Mælið með sveiflusjá hvert sé fasvik milli inn- og útmerkis magnarans við 1kHz?

$$\theta =$$

**10.5 Framkvæmd 5**

Hvað segja fræðin um fasvik í CC magnara?

$$\theta =$$

**10.6 Framkvæmd 6**

- a) Mælið inngangsríðstraumsmótstöðu (inngangsimpedans)  $Z_{inn} = R_{inn}$  magnarans.

$$Z_{inn} =$$

- b) Reiknið til samanburðar inngangsríðstraumsmótstöðu (inngangsimpedans)  $Z_{inn} = R_{inn}$  magnarans.

$$Z_{inn} =$$

**10.7 Framkvæmd 7**

- a) Mælið útgangsríðstraumsmótstöðu (útgangsimpedans)  $Z_{út} = R_{út}$  magnarans.

$$Z_{út} =$$

- b) Reiknið til samanburðar útgangsríðstraumsmótstöðu (útgangs impedans)  $Z_{út} = R_{út}$  magnarans.

$$Z_{út} =$$

**10.8 Framkvæmd 8**

Metið niðurstöður mælinga og leitið að verulegum frávikum milli mældra og reiknaðra stærða og skýrið.

**10.9 Jöfnur sem gilda fyrir SC/CC tengdan magnara**
DC jöfnur

$$U_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_{CC}$$

$$U_E = U_B - U_{BE}$$

$$U_C = U_{CC}$$

$$I_C \cong I_E = \frac{U_E}{R_E}$$

$$U_{CE} = U_C - U_E$$

$$U_{BE} = U_B - U_E$$

$$U_{CB} = U_C - U_B$$

ac jöfnur

$$r'_e = \frac{25mV}{I_E}$$

$$R_{inn} = Z_{inn} \cong R_1 // R_2 // [h_{FE} \cdot (r'_e + R_L)]$$

$$R_{út} = Z_{út} \cong \frac{1}{40 \cdot I_E} = r'_e$$

$$A_u = \frac{U_{út}}{U_{inn}} \cong \frac{(R_E // R_L)}{r'_e + (R_E // R_L)}$$

$$A_u(dB) = 20 \cdot \log(A_u)$$

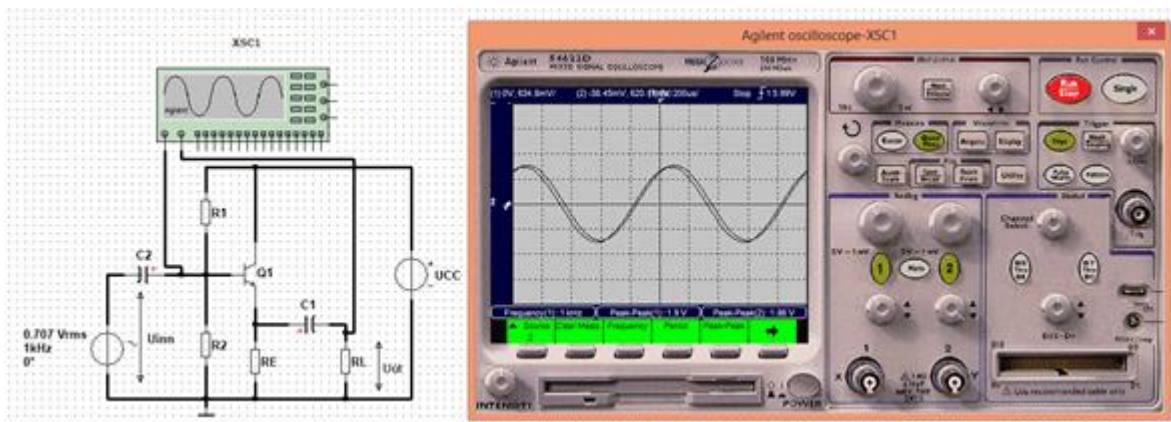


## 11. Hvernig mæli ég mögnun

Tengdu sveiflusjá eins og mynd 8 sýnir. Stilltu síðan  $U_{inn}$  þannig að merkið  $U_{út}$  sé óbjagað. Mældu  $U_{inn}$  og  $U_{út}$  með sveiflusjá t.d. með því að ýta á *Autoscale* og *quick meas* takkana.

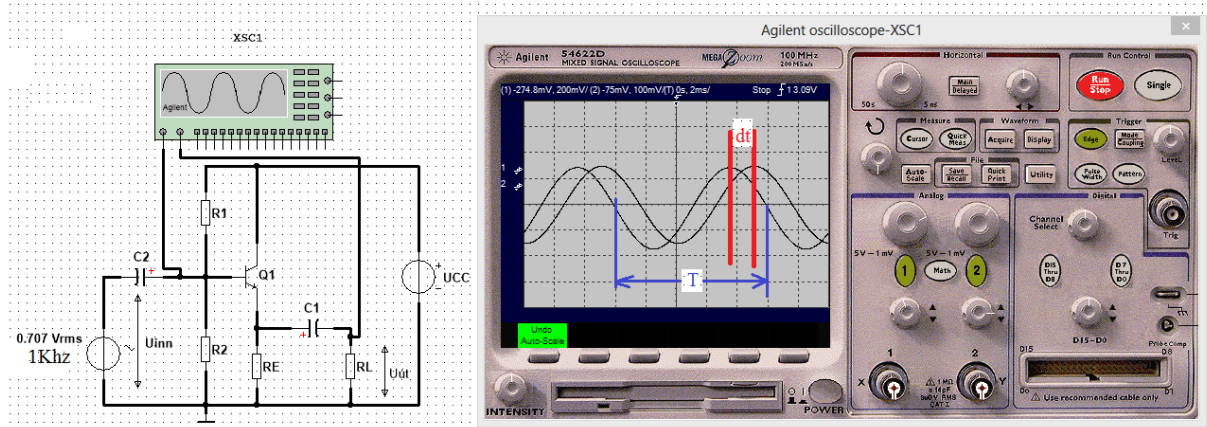
Síðan ýta á takka merktan *Source*, 1(CH1) og velja *Peak-Peak* og síðan velja takka merktan *Source 2* (CH2) og velja *Peak-Peak*.

Lesu spennurnar og reikna síðan mögnunina sem  $A_u = \frac{U_{út}}{U_{inn}} =$



Mynd 8.

## 12. Hvernig mæli ég fasvik

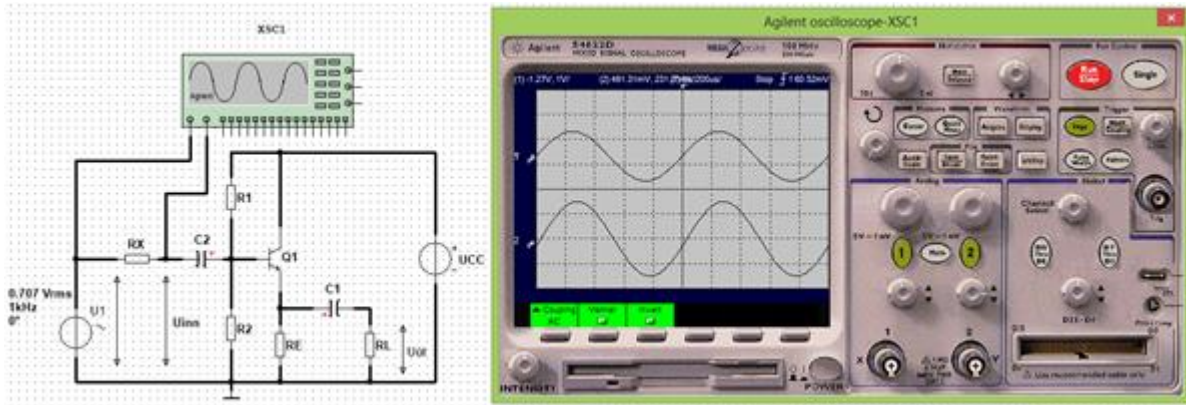


Mynd 9.

Mældu tímamann á milli rauðu mælistrikanna á mynd 9 og gefum honum heitið  $dt$ .  
 Finndu sveiflutíma bylgjunnar milli bláu strikanna og gefðu honum heitið  $T(\text{sec})$

Reiknaðu síðan fasvikið sem  $\theta = \frac{dt}{T} \cdot 360^\circ =$

### 13. Hvernig mæli ég inngangsmótstöðu magnara

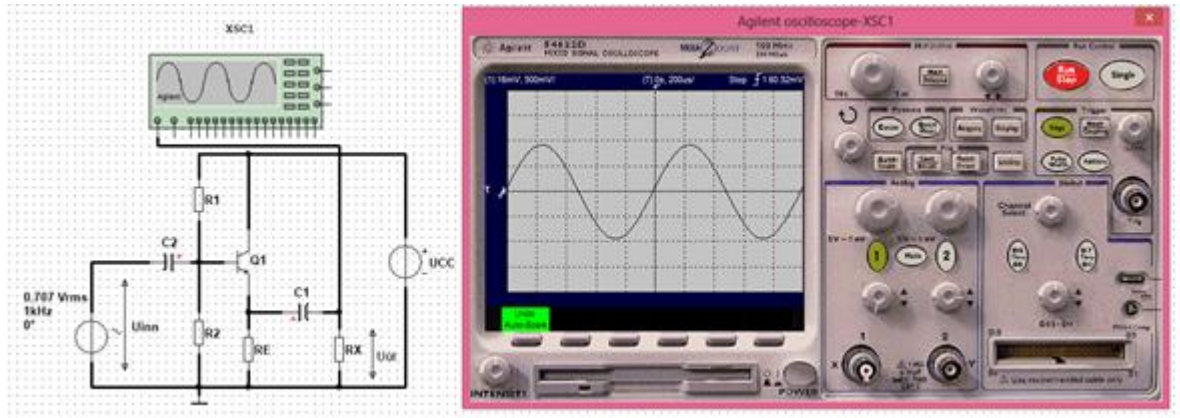


Mynd 10.

Settu þekkta mótstöðu ( $R_x$ ) inn í rásina eins og sýnt er á mynd 10. Veldu mótstöðuna þannig að það verði örugglega marktækur mismunur á spennunni  $U_1$  og  $U_{inn}$ . Mældu síðan með sveiflusjá t.d. eins og á mynd 10, spennurnar  $U_1$  og  $U_{inn}$  og notaðu meðfylgjandi jöfnu til að finna  $R_{inn}=Z_{inn}$ .

$$Z_{inn} = R_{inn} = \left[ \frac{U_{inn}}{U_1 - U_{inn}} \right] \cdot R_x$$

## 14. Hvernig mæli ég útgangsmótstöðu magnara



Mynd 11.

Settu þekkta mótstöðu ( $R_X$ ) =  $R_L$  inn í rásina eins og sýnt er á mynd 11. Veldu mótstöðuna þannig að það verði örugglega marktækur mismunur á spennunni  $U_{út}$  þegar álagið er tengt eða frátengt og að merkið sé óbjagað.

Mældu síðan með sveiflusjá spennuna  $U_{út}$  með álagið tengt.

Mældu þá spennuna  $U_{út}$  þegar mótstaðan  $R_X$  er frátengd og gefðu þeirri spennu nafnið  $U_{út,tómgang}$ .

Notaðu meðfylgjandi jöfnu til að finna  $R_{út} = Z_{út}$ .

$$Z_{út} = R_{út} = \left[ \frac{U_{út,tómgang} - U_{út}}{U_{út}} \right] \cdot R_X$$

## 15. Svör

1.

a.  $R_{inn} = 3,1 \text{ k}\Omega$  og  $A_u = 0,977$

b.  $R_L = 220\Omega$

2.

a)  $U_{C(Q1)} = 10\text{V}$ ,  $U_{C(Q2)} = 10\text{V}$ ,  $U_{E(Q1)} = 6,2$ ,  $U_{E(Q2)} = 5,5\text{V}$ ,  $U_{B(Q1)} = 6,9\text{V}$ ,  
 $U_{B(Q2)} = 6,2\text{V}$

b)  $h_{FE} = 1500$

c)  $r'_{e1} = 682 \Omega$        $r'_{e2} = 4,55\Omega$

d)  $R_{inn} = 6,9 \text{ k}\Omega$