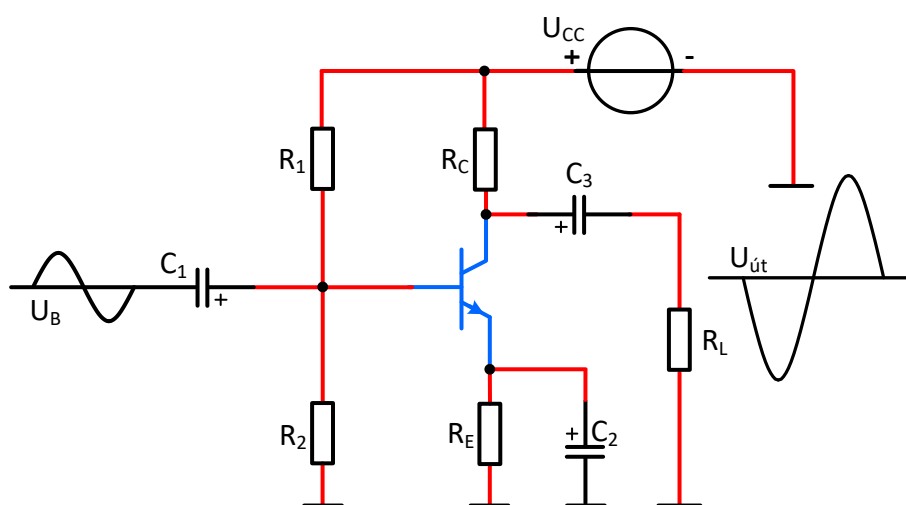




Rafbók



Rafeindafræði 10. hefti

CE-magnarar

Sigurður Örn Kristjánsson

Bergsteinn Baldursson

Rafeindafræði 10. hefti – CE magnarar -

Þetta hefti er án endurgjalds á rafbókinni.

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 sigurdurorn@gmail.com og Báru Halldórsdóttur á netfangið bara@rafmennt.is

Rafeindafræði 10. hefti – CE magnarar -

Efnisyfirlit

1. CE-magnarar	4
1.1 Magnarar	4
1.2 Magnari	4
1.3 Dæmi	6
2. Stærðargildi riðstraumsmótstöðunnar r'_e fundin	6
2.1 Dæmi	7
3. Magnari tengdur sem sameiginlegan emitter.....	7
4. Jafnstraums (dc) greining rásarinnar	7
4.1 Útreikningar á jafnspennugildum magnarans, sýnidæmi	8
4.2 Dæmi	9
5. Riðstraumsjafngildismynd rásarinnar	10
6. Spennu mögnun magnara í emitter-tengingu (CE).....	11
6.1 Dæmi	11
7. Inngangsmótstaða magnara $Z_{inn} = R_{inn}$	12
7.1 Dæmi	13
8. Útgangsmótstaða magnara $R_{út} = Z_{út}$	13
8.1 Dæmi	14
9. Áhrif emitter-þéttis á spennumögnun	15
9.1 Dæmi	16
10. Áhrifum r'_e eytt með „Swamping“ til að fá stöðuga spennumögnun	17
10.1 Dæmi	19
11. Áhrif „Swamping“ á inngangsmótstöðu $Z_{inn} = R_{inn}$	19
12. Fasasnúningur í magnara í emitter-tengingu	19
12.1 Sýnidæmi fyrir „Swamping“ emitter-tengdan magnara	19
12.2 Dæmi	22
13. Straummögnun A_i	22
14. Aflmögnun	22
15. Verkefni	23
15.1 Framkvæmd 1	23

Rafeindafræði 10. hefti – CE magnarar -

15.2 Framkvæmd 2	24
15.3 Framkvæmd 3	24
15.4 Framkvæmd 4	24
15.5 Framkvæmd 5	25
15.6 Framkvæmd 6	25
15.7 Framkvæmd 7	26
15.8 Framkvæmd 8	26
15.9 Framkvæmd 9	27
16. Jöfnur	27
16.1 Jöfnur sem gilda fyrir SE/CE tengdan magnara með emitter þétti (C_E)...	27
16.2 Jöfnur sem gilda fyrir SE/CE tengdan magnara án emitter-þétti (C_E).....	28
17. Hvernig mæli ég mögnun?.....	29
18. Hvernig mæli ég fasvik?	30
19. Hvernig mæli ég inngangsmótstöðu magnara?	31
20. Hvernig mæli ég útgangsmótstöðu magnara?	32

1. CE-magnarar

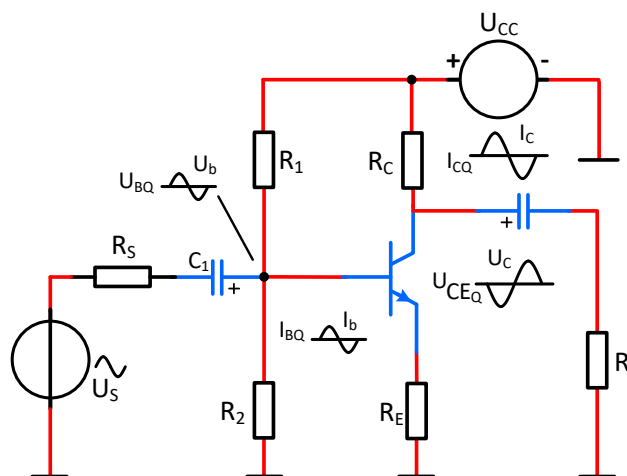
Í þessum kafla nýtum við okkur það sem áður hefur verið sagt um hvernig BJT - transistorar eru forspenntir og hvernig þeir eru notaðir sem smá merkis (small - signal) magnarar. Einnig er sýnt hvernig hægt er að gera dc - og ac- jafngildis-myndir til að auðvelda greiningu þeirra.

1.1 Magnarar

Að forspenna transistor með jafnspennu er eingöngu gert til að stilla inn vinnupunkt hans þannig að straum- og spennubreyting í honum verði í réttu hlutfalli við inngangsmerki á transistorum. Inngangsmerkið gæti komið frá loftneti eða öðrum tækjum, þar sem inngangsmerkið er svo veikt, að það þarf að magna það upp. Magnarar sem eru hannaðir til að magna svona merki kallast oftast formagnarar.

1.2 Magnari

Transistor, samkvæmt mynd 1, er forspenntur með spennudeili, en er riðstraumslega tengdur í gegn um C_1 á base við sínusspennugjafa. Hann er einnig riðstraumslega tengdur frá collector að álagi R_L í gegn um þéttinn C_2 . Þéttarnir hindra dc-strauma í að renna að álagsmótstöðu og að sínusgjafanum, þannig að ef þeim íhlutum er breytt, þá breytist ekki dc-forspenna transistorsins. Aftur á móti er riðstraumsviðnám þéttanna mjög lítið þannig að óverulegt spennufall er yfir þá. Innspennan U_S sem kemur inn á base á transistorum veldur straumbreytingu á base. Afleiðingin er mikil straumbreyting á collectorstraum vegna straummögnunar h_{FE} í transistorum.



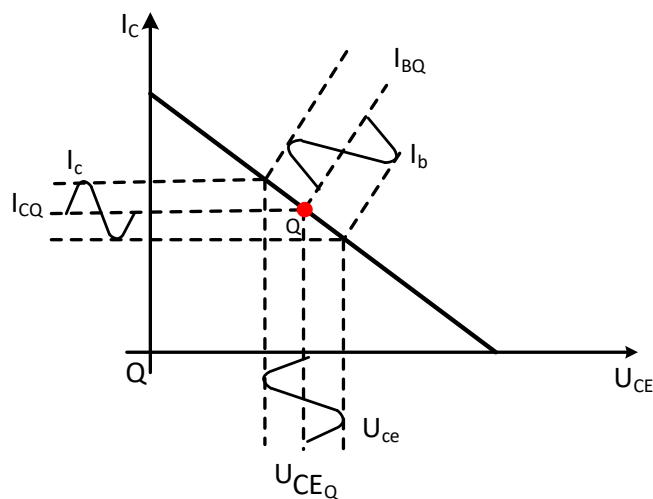
Mynd 1

Rafeindafræði 10. hefti – CE magnarar -

Þegar collector-straumurinn eykst, minnkar collector-emitter spennan. Collector-straumurinn breytist í kring um vinnupunkt transistorsins í fasa með base straumnum. Collector-emitter spennan breytist í öfugu hlutfalli við base-emitter spennuna og er þess vegna 180° út úr fasa við hana. Þetta er sýnt á mynd 1. Transistor er alltaf með fasasnúning (180°) milli base spennu (U_b) og collector spennunnar U_c .

Ferlinu sem hefur verið lýst er sýnt á mynd 2. Myndin sýnir samhengi milli collector straums og collector-emitter spennu eða

$$I_C = f(U_{CE})$$



Mynd 2.

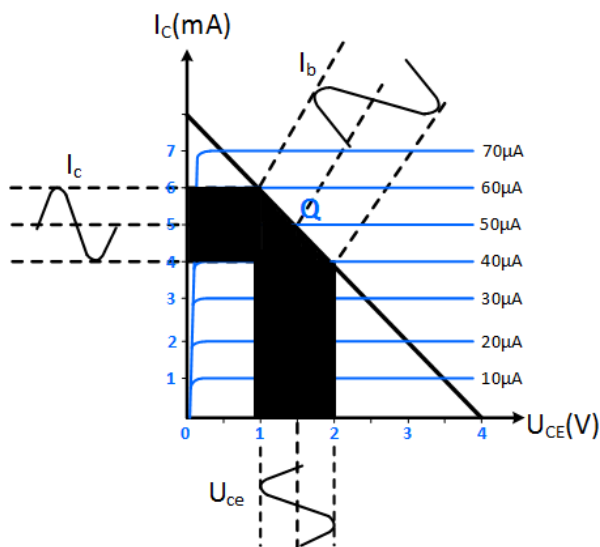
Sýnidæmi :

Vinnupunktur á álagslínu transistors sem er staðsettur við base strauminn $50 \mu\text{A}$ hliðrast til um $\pm 10 \mu\text{A}$. Sjá mynd 3. Hver er topp til topp gildi collectorstraumsins og collector-emitter spennunnar?

Lausn:

Lausnin er sýnd á mynd 3. Samkvæmt mynd er $I_{C(t-t)} = 2\text{mA}$ og $U_{CE(t-t)} = 1\text{V}$.

Rafeindafræði 10. hefti – CE magnarar -



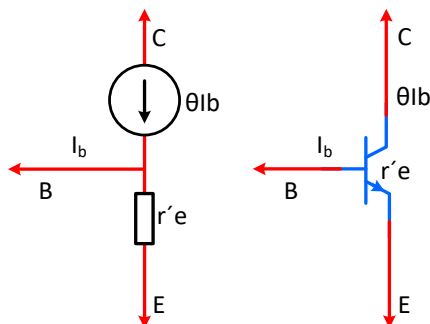
Mynd 3.

1.3 Dæmi

1. Hver eru gildin á collectorstraumnum I_C og collector – emitter spennunni U_{CE} í vinnupunkti samkvæmt mynd 3?
2. Hvert er gildið á collectorstraumnum I_C og spennunni U_{CE} þegar I_B er í jákvæðu toppgildi?
3. Hvaða munur er á spennunum U_{CE} og U_{ce} ?

2. Stærðargildi riðstraumsmótstöðunnar r'_e fundin

Mynd 4 sýnir hvernig hægt er að setja fram einfaldaða jafngildismynd fyrir BJT - transistora.



Mynd 4. Jafngildismynd fyrir BJT – transistor.

Rafeindafræði 10. hefti – CE magnarar -

Til greiningar á magnararásum þarf að finna riðstraumsmótstöðuna r'_e . Hún er fundin samkvæmt eftirfarandi jöfnu:

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

Þó svo að þessi jafna sé einföld er útleiðsla hennar það ekki og er utan við verksvið þessa heftis.

Sýnidæmi:

Finnið riðstraumsmótstöðuna r'_e fyrir BJT - transistor sem vinnur við emitter-straum $I_E = 2 \text{ mA}$?

Lausn:

$$r'_e = \frac{25mV}{I_E} = \frac{25mV}{2mA} = 12,5\Omega$$

2.1 Dæmi

4. Finnið riðstraumsmótstöðuna r'_e fyrir BJT-transistor sem vinnur við emitter-straum $I_E = 8 \text{ mA}$?
5. Hvaða munur er á R_E og r'_e ?

3. Magnari tengdur sem sameiginlegan emitter

Hægt er að tengja BJT-transistora á þrjá vegu. Í emitter-tengingu (CE = common emitter), base-tengingu (CB = common base) og collector-tengingu (CC = common collector).

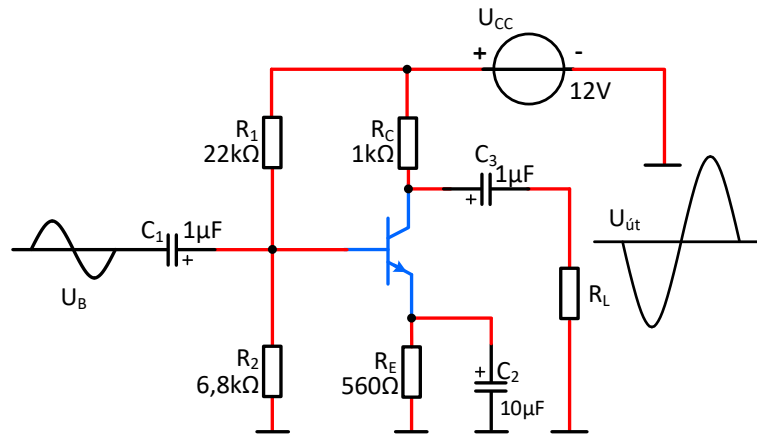
Mynd 5 sýnir emitter tengdan magnara með spennudeili í inngang og með ac þéttum C_1 sem inngangspétti, C_3 sem útgangspétti og C_2 sem emitter þéttir sem liggur frá emitter til jarða. Þessi rás hefur bæði dc og ac vinnslu sem þarf að taka tillit til. Einnig er 180° fasasnúningurinn í honum. Inngangsmerkið U_{inn} er tengt að base með þéttinum C_1 og útgangsmerkið er tekið frá collector í gegn um þéttinn C_3 að álagsmótstöðunni R_L .

4. Jafnstraums (dc) greining rásarinnar

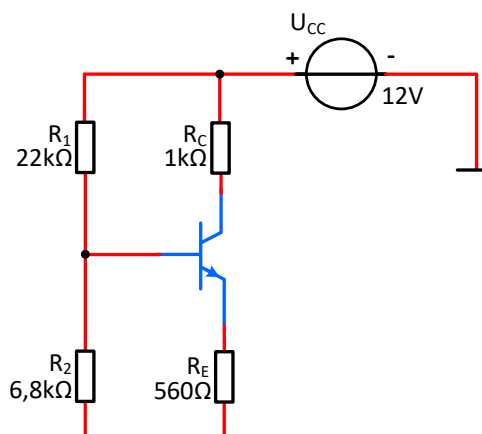
Til að greina magnarann sem sýndur er á *mynd 5* verður að reikna jafnstraumstærðir hans fyrst. Til þess er gerð dc - jafngildismynd af rásinni og

Rafeindafræði 10. hefti – CE magnarar -

verður að hafa í huga að með tilliti til jafnstraums stefnir mótstaða þetta á óendanlegt og þeir því túlkaðir rofnir. *Mynd 6* sýnir dc jafngildismynd magnarans.



Mynd 5. CE – magnari.



Mynd 6. Dc - jafngildisrás fyrir mynd 8.

4.1 Útreikningar á jafnspennugildum magnarans, sýnidæmi

$$U_B \cong \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot U_{CC} = \left(\frac{6,8k\Omega}{22k\Omega + 6,8k\Omega} \right) \cdot 12V = 2,83V$$

og

$$U_E = U_B - U_{BE} = 2,83V - 0,7V = 2,13V$$

þess vegna verður

$$I_E = \frac{U_E}{R_E} = \frac{2,13V}{560\Omega} = 3,8mA$$

Rafeindafræði 10. hefti – CE magnarar -

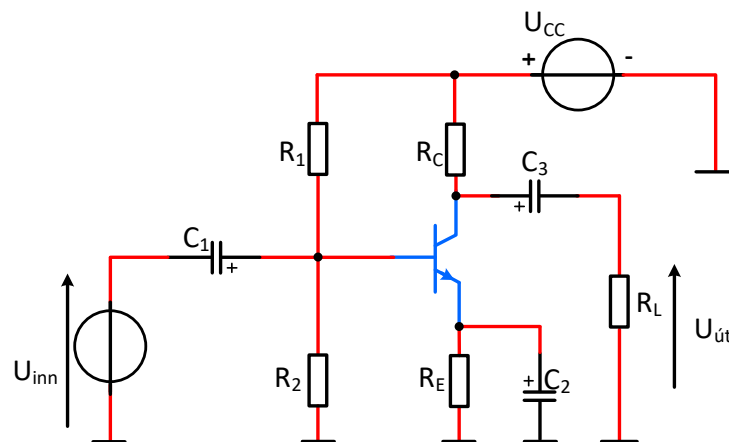
Þar sem $I_C \cong I_E$ verður

$$U_C = U_{CC} - I_C \cdot R_C = 12V - 3,8mA \cdot 1k\Omega = 8,2V$$

Að lokum

$$U_{CE} = U_C - U_E = 8,2V - 2,13V = 6,07V$$

4.2 Dæmi



Mynd 7. CE magnari.

6. Reiknaðu eftirfarandi dc - gildi fyrir mynd 7 ef:

$$R_1 = 22K\Omega, R_2 = 4,7K\Omega, R_C = 2,2K\Omega, R_E = 1K\Omega \text{ og } U_{CC} = 15V$$

$$U_B =$$

$$U_E =$$

$$I_E =$$

$$I_C =$$

$$U_C =$$

$$U_{CE} =$$

7. Reiknaðu eftirfarandi dc - gildi fyrir mynd 7 ef:

$$R_1 = 47 K\Omega, R_2 = 12 K\Omega, R_C = 3,3K\Omega, R_E = 1K\Omega \text{ og } U_{CC} = 18V$$

$$U_B =$$

$$U_E =$$

$$I_E =$$

$$I_C =$$

$$U_C =$$

$$U_{CE} =$$

Rafeindafræði 10. hefti – CE magnarar -

8. Reiknaðu eftirfarandi dc – gildi fyrir mynd 7 ef:

$$R_1 = 12 \text{ K}\Omega, R_2 = 3,3 \text{ K}\Omega, R_C = 330\Omega, R_E = 100\Omega \text{ og } U_{CC} = 8\text{V}$$

$$U_B =$$

$$U_E =$$

$$I_E =$$

$$I_C =$$

$$U_C =$$

$$U_{CE} =$$

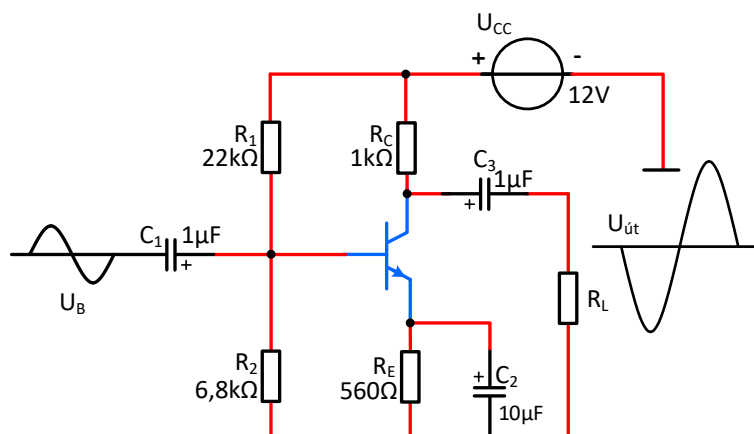
5. Riðstraumsjafngildismynd rásarinnar

Til að greina riðstraumshluta rásarinnar á mynd 5, verður að hafa í huga að þéttar túlkast skammhleypir þar sem þeir eru valdir þannig að við viðmiðunartíðni þeirra stefnir riðstraumsmótstaða þéttanna X_C á 0Ω eða:

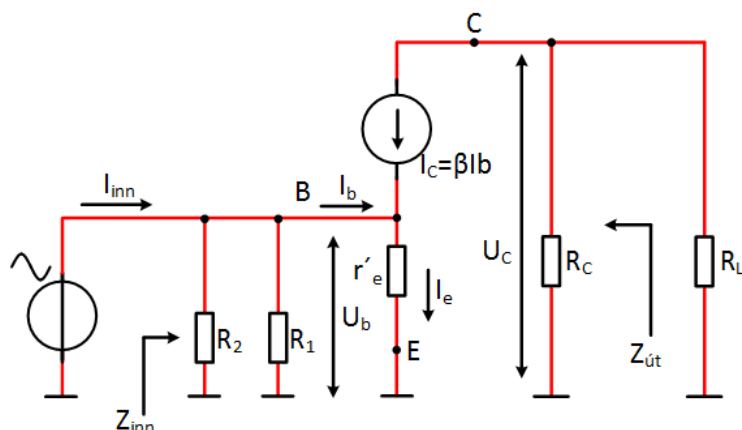
$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi f \cdot C} \cong 0$$

Einnig verður að hafa í huga að jafnstraums (dc) spennugjafar eru riðstraumslega túlkaðir sem þéttar og hafa innra viðnám sem er um það bil 0. Þess vegna eru þeir skammhleypir riðstraumslega til jarðar í ac jafngildismynd magnara, sjá mynd 8.

Riðstraumsjafngildismynd rásarinnar sem tengd er í emitter-tengingu er sýnd á mynd 8a.



Mynd 8. CE-magnari.



Mynd 8a. Ac jafngildisrás fyrir mynd 8.

Takið eftir því að móttstöðurnar R_1 og R_2 hafa sameiginlega riðstraumsjörð og hliðtengjast þess vegna. Við greiningu á riðstraumsjafngildismynd rásarinnar eru litið á riðstraums- og jafnstraumsjörð sem sama hlutinn og jafngilda. Magnarinn í mynd 8 er tengdur í emitter-tengingu vegna þess að þéttirinn C_3 skammhleypir emitter riðstraumslega séð til jarðar og ac - inngangsspennan og ac - útgangsspenna rásarinnar fá sömu (common) jörð sem viðmiðun.

6. Spennu mögnun magnara í emitter-tengingu (CE)

Við greiningu á spennumögnun magnara í emitter-tengingu (CE) er notuð mynd 8a.

Spennumögnunin A_u er skilgreind sem:

$$A_u = \frac{U_{út}}{U_{inn}} = \frac{U_c}{U_b}$$

$$U_c = I_c \cdot (R_C // R_L) \cong I_e \cdot (R_C // R_L); U_b = I_e \cdot r'_e$$

$$A_u = \frac{U_{út}}{U_{inn}} = \frac{U_c}{U_b} = \frac{\beta \cdot R_C // R_L}{\beta \cdot r'_e} = \frac{R_C // R_L}{r'_e}$$

6.1 Dæmi

9. Reiknaðu r'_e , og spennumögnunina A_U fyrir dæmi 6, mynd 7 ef $R_L = 5\text{K}\Omega$.
10. Reiknaðu r'_e , og spennumögnunina A_U fyrir dæmi 7, mynd 7 ef $R_L = 8\Omega$.
11. Reiknaðu r'_e , og spennumögnunina A_U fyrir dæmi 8, mynd 7 ef $R_L = \infty$.

7. Inngangsmótstaða magnara $Z_{inn} = R_{inn}$

Til að finna inngangsmótstöðu $Z_{inn} = R_{inn}$ magnara í CE – tengingu, sem er séð frá sínusspennugjafa þarf að skilgreina mótstöðuna $R_{in(base)}$. Eftirfarandi aðferð er notuð. Sjá myndir 9.

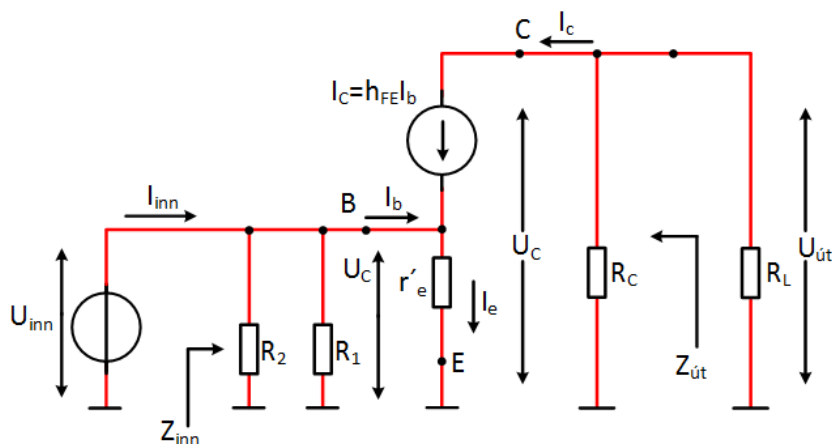
$$R_{in(base)} = \frac{U_b}{I_b}; U_b = I_e \cdot r'_e; I_e \cong I_c \Rightarrow I_b = \frac{I_e}{h_{FE}}$$

$$R_{in(base)} = \frac{U_b}{I_b} = \frac{\lambda_g \cdot r'_e}{\frac{\lambda_g}{h_{FE}}} = h_{FE} \cdot r'_e$$

og

$$Z_{inn} = R_{inn} = \frac{U_{inn}}{I_{inn}} = R_1 // R_2 // R_{in(base)} \text{ eða}$$

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



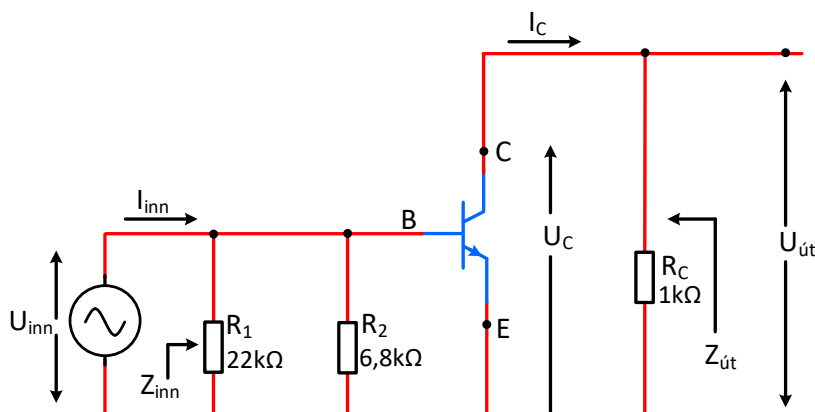
Mynd 9.

Sýnidæmi:

Finnið inngangsmótstöðu Z_{inn} fyrir transistorinn á mynd 10?

Emitter - straumurinn I_E fyrir magnarann er 3,8 mA og $h_{FE} = 160$

Rafeindafræði 10. hefti – CE magnarar -



Mynd 10. ac- jafngildismynd magnara.

Lausn:

$$r'_e = \frac{25mV}{I_E} = \frac{25mV}{3,8mA} = 6,58\Omega$$

$$Z_{inn} = R_{inn} = R_1 // R_2 // [h_{FE} \cdot r'_e] = \frac{1}{\frac{1}{22k\Omega} + \frac{1}{6,8k\Omega} + \frac{1}{[160 \cdot 6,58\Omega]}} = 873\Omega$$

7.1 Dæmi

12. Reiknaðu inngangsmótstöðu magnarans Z_{inn} fyrir *dæmi 6*, mynd 7 og bls. 9 ef $h_{FE} = 150$.

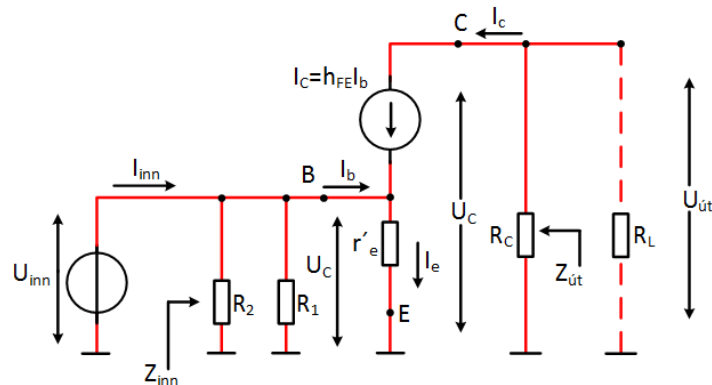
13. Reiknaðu inngangsmótstöðu magnarans Z_{inn} fyrir *dæmi 7*, mynd 7 og bls. 9 ef $h_{FE} = 70$.

14. Reiknaðu inngangsmótstöðu magnarans Z_{inn} fyrir *dæmi 8*, mynd 7 og bls. 10 ef $h_{FE} = 100$.

8. Útgangsmótstaða magnara $R_{út} = Z_{út}$

Útgangsmótstaða magnara sem sést inn í collector á magnara í emitter-tengingu finnst þegar R_L er frátengdur. Sjá mynd 11.

Rafeindafræði 10. hefti – CE magnarar -

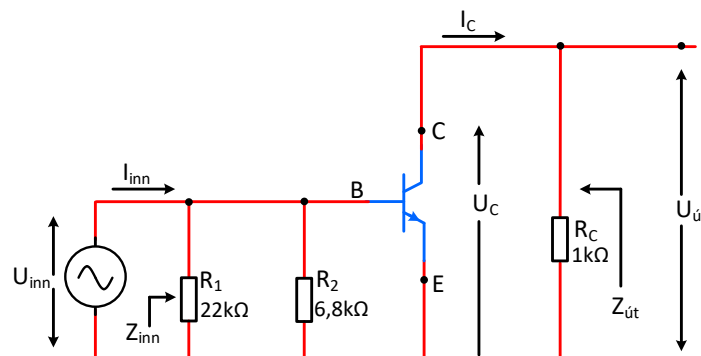


Mynd 11. ac jafngildismynd af CE magnara.

$$Z_{út} = R_{út} \cong \frac{U_c}{I_c} = R_c$$

Sýnidæmi:

Finnið útgangsmótstöðuna $Z_{út}$ fyrir transistorinn á mynd 12? Emitter - straumurinn I_E fyrir magnarann er 3,8 mA og $h_{FE} = 160$



Mynd 12. ac - jafngildismynd CE magnara

Lausn:

$$Z_{út} = R_{út} = R_C = 1k\Omega$$

8.1 Dæmi

15.Reiknaðu útgangsmótstöðu magnarans $Z_{út}$ fyrir *dæmi 6, mynd 7, bls.9?*

16.Reiknaðu útgangsmótstöðu magnarans $Z_{út}$ fyrir *dæmi 7, mynd 7, bls.9?*

17.Reiknaðu útgangsmótstöðu magnarans $Z_{út}$ fyrir *dæmi 8, mynd 7, bls. 10?*

9. Áhrif emitter-þéttis á spennumögnun

Emitter-þéttirinn C_2 sem sýndur er á mynd 5 hefur þau áhrif að emitter-mótstaðan R_E er ekki virk í rásinni með tilliti til riðstraums. **Ef þessi þéttir væri ekki eða yrði óvirkur** t.d. vegna bilunar yrði mögnun magnarans ekki lengur

$$A_u = \frac{R_C // R_L}{r'_e}$$

heldur:

$$A_u = \frac{R_C // R_L}{r'_e + R_E}$$

sem gerir mun minni mögnun en ef þéttirinn væri virkur.

Til að uppfylla þau skilyrði að emitter-þéttirinn sé virkur í rásinni er hann valin þannig að riðstraumsviðnám (X_C) hans við neðri skurðartíðni (f_n) magnarans sé:

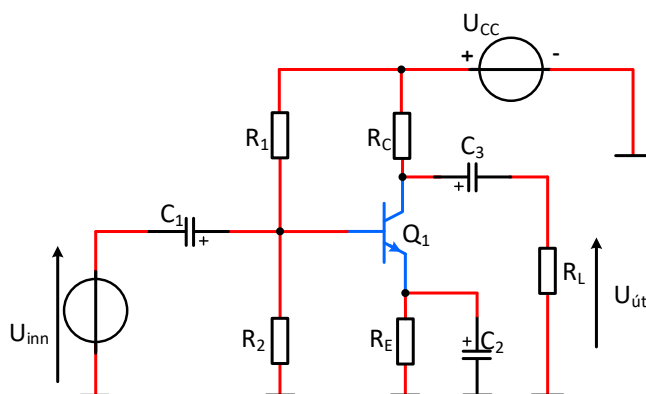
$$X_C \leq \frac{R_E}{10} \Rightarrow C_E = C_2 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_n \cdot X_C}$$

Sýnidæmi:

- a) Finndu minnsta gildi á emitter þéttinum C_2 í mynd 13 ef magnarinn vinnur á tíðnisviðinu 2 kHz til 10 kHz.

$R_1 = 22 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 6,8 \text{ k}\Omega$, $R_E = 560 \text{ }\Omega$, $R_C = 1 \text{ k}\Omega$, $U_{CC} = 12 \text{ V}$ og $R_L \Rightarrow \infty$.
Transistorinn er 2N3904.

- b) Reiknaðu spennumögnun magnarans með þéttirinn C_2 frátengdan?
c) Reiknaðu spennumögnun magnarans með þéttirinn C_2 tengdan?



Mynd 13. CE tengdur magnari.

Rafeindafræði 10. hefti – CE magnarar -

a)

$$X_C = \frac{R_E}{10} = \frac{560\Omega}{10} = 56\Omega$$

$$C_E = C_2 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_n \cdot X_C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 2\text{kHz} \cdot 56\Omega} = 1,42\mu\text{F}$$

b) C_2 frátengdur:

$$U_B \cong \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot U_{CC} = \left(\frac{6,8\text{k}}{22\text{k}\Omega + 6,8\text{k}\Omega} \right) \cdot 12\text{V} = 2,83\text{V}$$

og

$$U_E = U_B - U_{BE} = 2,83\text{V} - 0,7\text{V} = 2,13\text{V}$$

þess vegna verður:

$$I_E = \frac{U_E}{R_E} = \frac{2,13\text{V}}{560\Omega} = 3,8\text{mA}$$

og

$$r'_e = \frac{25\text{mV}}{I_E} = \frac{25\text{mV}}{3,8\text{mA}} = 6,58\Omega$$

Með C_2 er mögnunin:

$$A_u = \frac{R_C // R_L}{r'_e + R_E} = \frac{1\text{k}\Omega}{(6,58\Omega + 560\Omega)} = 1,76$$

c)

Ef C_2 er tengdur:

$$A_u = \frac{R_C // R_L}{r_e} = \frac{1\text{k}\Omega}{6,58\Omega} = 152$$

9.1 Dæmi

18. Finndu gildið á emitter-þéttinum C_2 , í mynd 13, ef magnarinn vinnur á tíðnisviðinu 1 kHz til 10 kHz.?

Rafeindafræði 10. hefti – CE magnarar -

19. $R_C = 1,8 \text{ k}\Omega$, $R_E = 1,0 \text{ k}\Omega$, $R_1 = 33 \text{ k}\Omega$ og $R_2 = 6,8 \text{ k}\Omega$. $U_{CC} = 12\text{V}$ og $h_{FE} = 160$.

- a) Reiknaðu spennumögnun magnara samkvæmt mynd 13 sem tengdur er í emitter-tengingu með virkum emitter-þétti
- b) Reiknaðu spennumögnun magnarans ef álagsmótstaðan $R_L = 1\text{k}\Omega$?

10. Áhrifum r'_e eytt með „Swamping“ til að fá stöðuga spennumögnun

Þó að mótstaðan R_E sé skammhleypst til jarðar riðstraumslega séð með emitter-þéttinum til að fá fram hámarksmögnun getur komið fram stöðugleikavandamál í magnaranum vegna þess að mögnunin þ.e.

$$A_u = \frac{R_C // R_L}{r'_e}$$

er háð r'_e . Einnig er r'_e háð straumnum I_E og hitastigi. Þetta getur valdið óstöðugleika í spennumögnun magnarans við hitabreytingar. Því ef r'_e eykst lækkar mögnunin og ef r'_e minnkar eykst mögnunin.

Ef ekki er hafður emitter-þéttir minnkar mögnunin þar sem mótstaðan R_E verður hluti af riðstraumrás magnarans samkvæmt

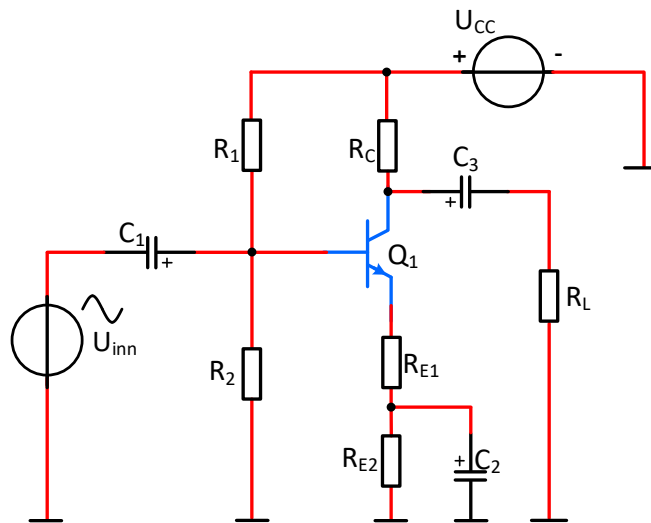
$$A_u = \frac{R_C // R_L}{r'_e + R_E}$$

og magnarinn verður stöðugri þar sem R_E er miklu stærri en r'_e og breyting á r'_e hefur lítið sem engin áhrif á mögnunina og hún verður:

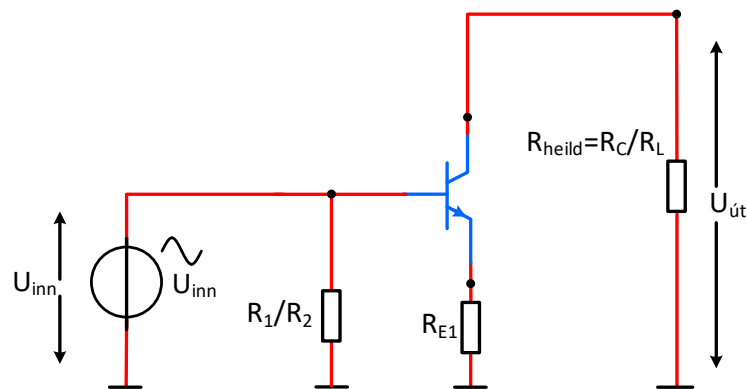
$$A_u = \frac{R_C // R_L}{R_E}$$

Aðferðin við að eyða áhrifum r'_e til að fá stöðuga spennumögnun er að skipta emitter-mótstöðunni í tvennt eins og mynd 14 sýnir.

Rafeindafræði 10. hefti – CE magnarar -



Mynd 14a). Emitter tengdur magnari „Svamping“.



Mynd 14 b). ac jafngildismynd $X_{C1} = X_{C2} = X_{C3} = 0$.

Myndir 14 a) og b). Emitter tengdur magnari með „Svamping“.

Með þessari aðferð er mótstaðan R_{E1} valin þannig að hún sé

$$R_{E1} \gg r'_e$$

og með því er eytt út breytiáhrifum r'_e vegna hita- og straumbreytinga þannig að spennumögnun magnarans verður stöðug og gildir þá að:

$$A_u = \frac{R_C // R_L}{R_{E1}}$$

Rafeindafræði 10. hefti – CE magnarar -

Sýnidæmi:

Reiknið spennumögnun magnarans í mynd 14. Gerum ráð fyrir að $r'_e = 20 \Omega$, $R_1 = 33 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_{E1} = R_{E2} = 330 \Omega$, $R_C = 3,3 \text{ k}\Omega$, $U_{CC} = 12 \text{ V}$.

Álagsmótstaðan $R_L \rightarrow \infty$. Transistorinn er 2N3904.

Lausn:

$$A_u \cong \frac{R_C // R_L}{R_{E1}} = \frac{3,3 \text{ k}\Omega}{330 \Omega} = 10$$

10.1 Dæmi

20. Hver er spennumögnunin án C_2 í sýnidæminu hér að ofan?

Hver væri spennumögnunin ef þéttirinn C_2 skammhleypir bæði R_{E1} og R_{E2} ?

11. Áhrif „Swamping“ á inngangsmótstöðu $Z_{inn} = R_{inn}$

Riðstraumsmótstaða transistorsins $R_{in(base)}$ er fyrir magnara í emitter-tengingu þar sem emitter-þéttir er tengdur frá emitter til jarðar:

$$R_{in(base)} = h_{FE} \cdot r'_e$$

Þegar emittermótstaðan er eingöngu að hluta til skammhleyp gildir að:

$$Z_{inn} = R_{inn} = R_1 // R_2 // [h_{FE} \cdot (r'_e + R_{E1})]$$

12. Fasasnúningur í magnara í emitter-tengingu

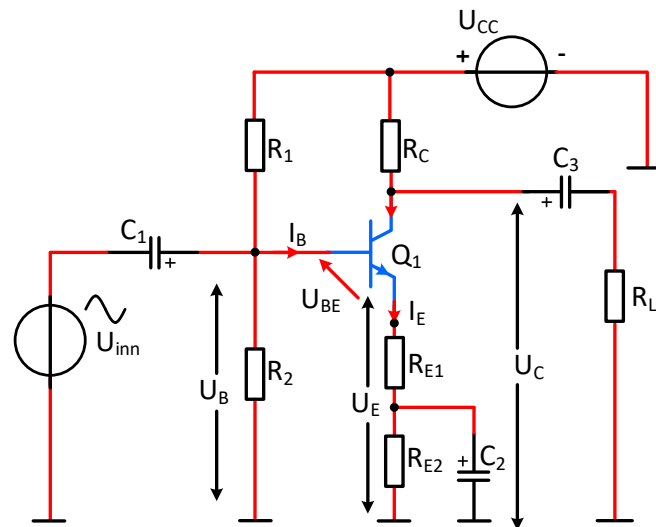
Útgangsspenna á collector í magnara tengdan í emitter-tengingu er 180° út úr fasa við inngangsspennuna á base. Fasasnúningur magnara er stundum sýndur með mínusmerki fyrir framan spennumögnunina ($-A_u$).

12.1 Sýnidæmi fyrir „Swamping“ emitter-tengdan magnara

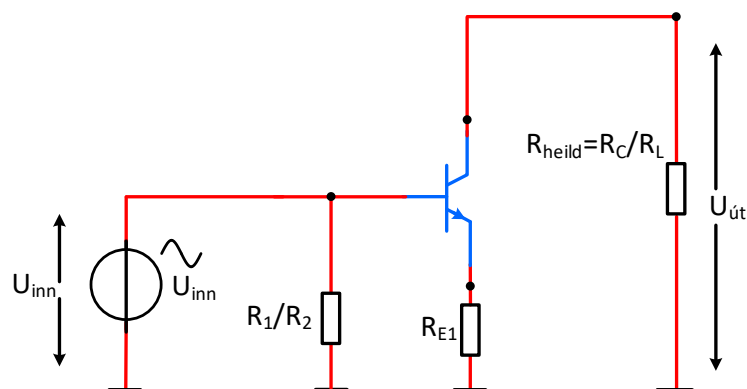
Reiknið spennumögnun, inn- og útgangsmótstöðu magnarans á mynd 15 og teiknið bylgjuform inn- og útgangsspennunnar?

Gefið er að $R_C = 4,7 \text{ k}\Omega$, $R_{E1} = R_{E2} = 470 \Omega$, $R_1 = 47 \text{ k}\Omega$ og $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_L = 47 \text{ k}\Omega$, $U_{CC} = 10 \text{ V}$ og $h_{FE} = 175$.

Rafeindafræði 10. hefti – CE magnarar -



Mynd 15a. Emitter tengdur magnari „Svamped“.



Mynd 15b. ac jafngildismynd $X_{C1} = X_{C2} = X_{C3} = 0$.

Mynd 15. CE-„Svamping“ magnari.

Lausn:

Fyrst eru jafnstraumsstærðir magnarans reiknaðar samkvæmt mynd 15 og fundið hvort þarf að nota leiðréttu jöfnu eða nálgunarjöfnu til að finna U_B ?

$$U_B \cong \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot U_{CC} = \left(\frac{10k\Omega}{47k\Omega + 10k\Omega} \right) \cdot 10V = 1,75V$$

og

$$U_E = U_B - U_{BE} = 1,75V - 0,7V = 1,05V$$

Þess vegna verður

Rafeindafræði 10. hefti – CE magnarar -

$$I_E = \frac{U_E}{R_{E1} + R_{E2}} = \frac{1,05V}{940\Omega} = 1,12mA$$

þar sem $I_C \cong I_E$ verður

$$U_C = U_{CC} - I_C \cdot R_C = 10V - 1,12mA \cdot 4,7k\Omega = 4,74V$$

$$U_{CE} = U_C - U_E = 4,74V - 1,05V = 3,69V$$

Riðstraumsgreining rásarinnar byggir á riðstraumsjafngildismynd sem sýnd er á mynd 15.

$$r'_e = \frac{25mV}{I_E} = \frac{25mV}{1,12mA} = 22\Omega$$

Næst reiknum við inngangsmótstöðuna $Z_{inn} = R_{inn(alls)}$:

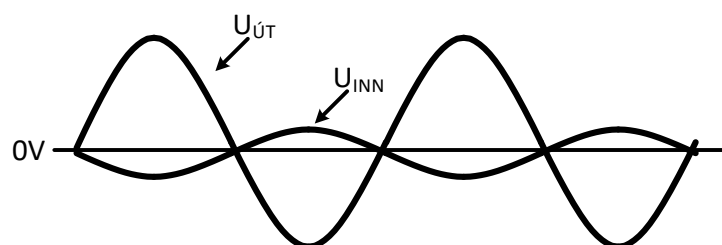
$$Z_{inn} = R_{inn} = R_1 // R_2 // [h_{FE} \cdot (r'_e + R_{E1})] =$$

$$\frac{1}{\frac{1}{47k\Omega} + \frac{1}{10k\Omega} + \frac{1}{[175 \cdot (22\Omega + 470\Omega)]}} = 7,5k\Omega$$

Spennumögnunin A_u verður:

$$A_u \cong \frac{R_C // R_L}{R_{E1}} = \frac{4,27k\Omega}{470\Omega} = 9,09$$

Mynd 16 sýnir hvernig útgangsspennan er í hlutfalli við inngangsspennuna.



Mynd 16.

12.2 Dæmi

21. Hver er mögnunin A_u í mynd 15 ef R_L er fjarlægt?

13. Straummögnun A_i

Heildarstraummögnun magnarans er samkvæmt ac jafngildismynd á mynd 13

$$A_i \cong h_{FE}$$

14. Aflmögnun

Aflmögnun magnarans finnst sem:

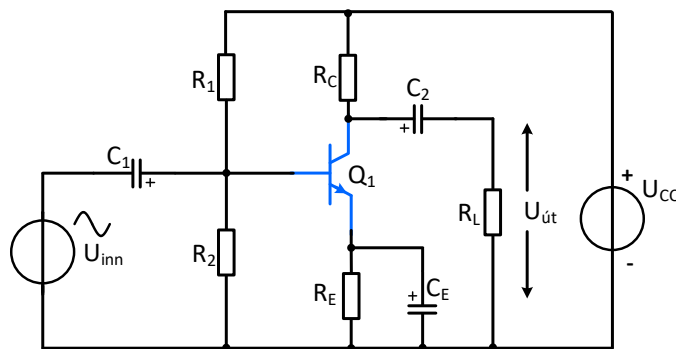
$$A_p = A_u \cdot A_i$$

15. Verkefni

Tilgangur

Mæla á magnarastig í CE tengingu og bera saman mældar og reiknaðar stærðir. Magnarinn er af klassa A sem þýðir að einn transistor sér um alla mögnunina, allar 360° sínusbylgjunnar. CE magnarar eru t.d. oft notaðir sem formagnarar. CE magnari fasasnýr innmerki um 180° .

Tengimynd



Mynd 17.

$R_1 = 68\text{K}\Omega$, $R_2 = 15\text{K}\Omega$, $R_E = 680\Omega$, $R_C = 2,7\text{K}\Omega$, $C_E = 100\mu\text{F}$, $C_1 = 10\mu\text{F}$, $C_2 = 47\mu\text{F}$, $R_L = 2,7\text{K}\Omega$, $U_{CC} = 12\text{V}$ $R_L = 2,7\text{K}\Omega$ eða $8,2\Omega$.

15.1 Framkvæmd 1

Reiknaðu, notaðu hermiforrit og mældu á tengibretti þegar þéttinn C_E er tengdur inn í rásina og U_{inn} er frátengt. Notaðu 12V jafnspennu sem U_{CC} . Reiknið og mælið U_B , U_E , U_C og finnið I_E og r'_e . Berðu tölurnar saman?

Fræðin segja:

$$U_B = \left[\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] U_{CC} =$$

$$U_E = U_B - 0,7\text{V} =$$

$$U_C = U_{CC} - U_{RC} =$$

$$I_E = U_E / R_E =$$

$$r'_e = 25\text{mV} / I_E =$$

Mælt Multisim:

$$U_B =$$

$$U_E =$$

$$U_C =$$

$$I_E =$$

$$r'_e =$$

Mælt á tengibretti:

$$U_B =$$

$$U_E =$$

$$U_C =$$

$$I_E =$$

$$r'_e =$$

Rafeindafræði 10. hefti – CE magnarar -

15.2 Framkvæmd 2

Reiknið og mælið jafnspennurnar U_{CE} , U_{BE} og U_{CB}

Fræðin segja:

Mælt Multisim:

Mælt á tengibretti:

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

$$U_{CE} =$$

$$U_{CE} =$$

$$U_{BE} = 0,7V =$$

$$U_{BE} =$$

$$U_{BE} =$$

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

$$U_{CB} =$$

$$U_{CB} =$$

15.3 Framkvæmd 3

- a) Stilltu U_{inn} á ca. 10 mV. Mælið spennumögnunina A_u við 1 kHz þegar $R_L = 2,7k\Omega$.

Fræðin segja:

Mælt Multisim:

Mælt á tengibretti:

$$A_u = \frac{R_C / R_L}{r'_e} =$$

$$A_u = \frac{U_{út}}{U_{inn}} =$$

$$A_u = \frac{U_{út}}{U_{inn}} =$$

- b) Stilltu U_{inn} á ca. 10 mV_p. Mælið spennumögnunina A_u við 1 kHz fyrir $R_L = 8,2\Omega$.

Fræðin segja:

Mælt Multisim:

Mælt á tengibretti:

$$A_u = \frac{R_C / R_L}{r'_e} =$$

$$A_u = \frac{U_{út}}{U_{inn}} =$$

$$A_u = \frac{U_{út}}{U_{inn}} =$$

15.4 Framkvæmd 4

- a) Mælið hvert sé fasvik milli inn- og útmerkis magnarans við 1kHz og $R_L = 2,7K\Omega$?

Fræðin segja:

Mælt Multisim:

Mælt á tengibretti:

$$\theta =$$

$$\theta =$$

$$\theta =$$

Rafeindafræði 10. hefti – CE magnarar -

- b) Mælið hvert sé fasvik milli inn- og útmerkis magnarans við 1kHz og $R_L = 8,2\Omega$?

Fræðin segja:

Mælt Multisim:

Mælt á tengibretti:

$\theta =$

$\theta =$

$\theta =$

15.5 Framkvæmd 5

- a) Reiknið og mælið inngangsriðstraumsmótstöðu (inngangsimpedans) $Z_{inn} = R_{inn}$ magnarans þegar $R_L = 2,7K\Omega$. $h_{FE} = 150$.

Fræðin segja:

Mælt Multisim: Mælt á tengibretti:

$R_{inn} = R_1 // R_2 // [h_{FE} \cdot r'_e] =$

$R_{inn} =$

$R_{inn} =$

- b) Reiknið og mælið inngangsriðstraumsmótstöðu (inngangsimpedans) $Z_{inn} = R_{inn}$ magnarans þegar $R_L = 8,2\Omega$. $h_{FE} = 150$.

Fræðin segja:

Mælt Multisim: Mælt á tengibretti:

$R_{inn} = R_1 // R_2 // [h_{FE} \cdot r'_e] =$

$R_{inn} =$

$R_{inn} =$

15.6 Framkvæmd 6

- a) Reiknið og mælið útgangsmótstöðu (útgangsimpedans) $Z_{út} = R_{út}$ magnarans þegar $R_L = 2,7K\Omega$.

Fræðin segja:

Mælt Multisim:

Mælt á tengibretti:

$R_{út} = R_C =$

$R_{út} =$

$R_{út} =$

- b) Reiknið og mælið útgangsmótstöðu (útgangsimpedans) $Z_{út} = R_{út}$ magnarans þegar $R_L = 8,2\Omega$.

Fræðin segja:

Mælt Multisim:

Mælt á tengibretti:

$R_{út} = R_C =$

$R_{út} =$

$R_{út} =$

Rafeindafræði 10. hefti – CE magnarar -

15.7 Framkvæmd 7

- a) Fjarlægið þéttinn C_E og reiknið og mælið spennumögnunina A_u við 1 kHz fyrir $R_L = 2,7k\Omega$.

Fræðin segja:**Mælt Multisim:****Mælt á tengibretti:**

$$A_U = \frac{R_C // R_L}{[R_E + r'_e]} =$$

$$A_u =$$

$$A_u =$$

- b) Fjarlægið þéttinn C_E og reiknið og mælið spennumögnunina A_u við 1 kHz fyrir $R_L = 8,2\Omega$.

Fræðin segja:**Mælt Multisim:****Mælt á tengibretti:**

$$A_U = \frac{R_C // R_L}{[R_E + r'_e]} =$$

$$A_u =$$

$$A_u =$$

15.8 Framkvæmd 8

- a) Fjarlægið þéttinn C_E og reiknið og mælið inngangsmótstöðuna $R_{inn} = Z_{inn}$ við 1 kHz fyrir $R_L = 2,7k\Omega$.

Fræðin segja:**Mælt Multisim:****Mælt á tengibretti:**

$$R_{inn} = R_1 // R_2 // h_{FE} [R_E + r'_e] =$$

$$R_{inn} =$$

$$R_{inn} =$$

- b) Fjarlægið þéttinn C_E og reiknið og mælið inngangsmótstöðuna $R_{inn} = Z_{inn}$ við 1 kHz fyrir $R_L = 8,2\Omega$.

Fræðin segja:**Mælt Multisim:****Mælt á tengibretti:**

$$R_{inn} = R_1 // R_2 // h_{FE} [R_E + r'_e] =$$

$$R_{inn} =$$

$$R_{inn} =$$

15.9 Framkvæmd 9

- a) Fjarlægð þéttinn C_E og reiknið og mælið útgangsmótstöðuna $R_{út} = Z_{út}$ við 1 kHz fyrir $R_L = 2,7k\Omega$.

Fræðin segja:

Mælt Multisim:

Mælt á tengibretti:

$$R_{út} = R_C =$$

$$R_{út} =$$

$$R_{út} =$$

- b) Fjarlægð þéttinn C_E og reiknið og mælið útgangsmótstöðuna $R_{út} = Z_{út}$ við 1 kHz fyrir $R_L = 8,2\Omega$.

Fræðin segja:

Mælt Multisim:

Mælt á tengibretti:

$$R_{út} = R_C =$$

$$R_{út} =$$

$$R_{út} =$$

16. Jöfnur

16.1 Jöfnur sem gilda fyrir SE/CE tengdan magnara með emitter þétti (C_E)

DC jöfnur:

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

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

$$U_C = U_{CC} - I_C \cdot R_C$$

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

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

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

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

ac jöfnur:

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

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

$$R_{út} = Z_{út} \cong R_C$$

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

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

16.2 Jöfnur sem gilda fyrir SE/CE tengdan magnara án emitter-pétts (C_E)

DC jöfnur:

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

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

$$U_C = U_{CC} - I_C \cdot R_C$$

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

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

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

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

ac jöfnur:

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

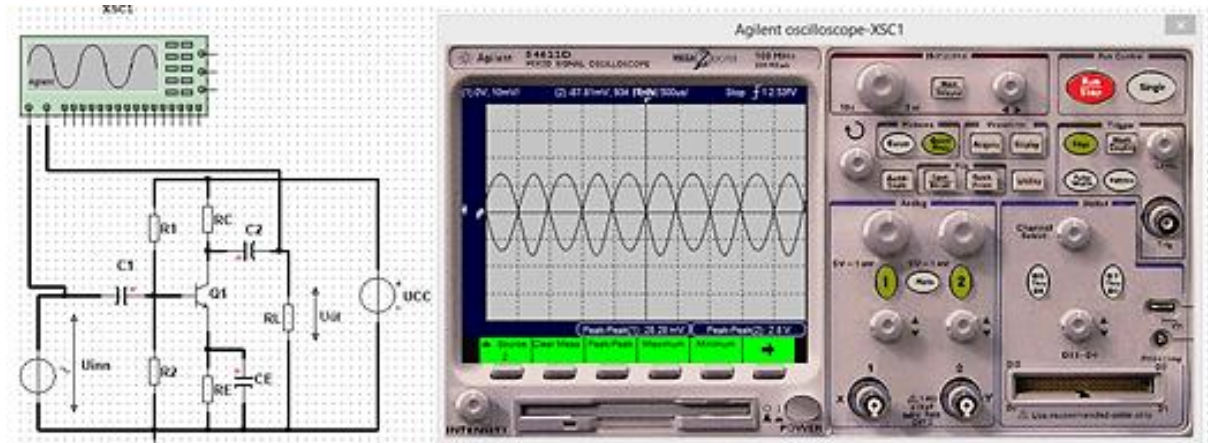
$$R_{inn} = Z_{in} \cong R_1 // R_2 // [h_{FE} \cdot (r'_e + R_E)]$$

$$R_{út} = Z_{út} \cong R_C$$

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

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

17. Hvernig mæli ég mögnun?



Mynd 18.

Tengdu sveiflusjá eins og mynd 18 sýnir.

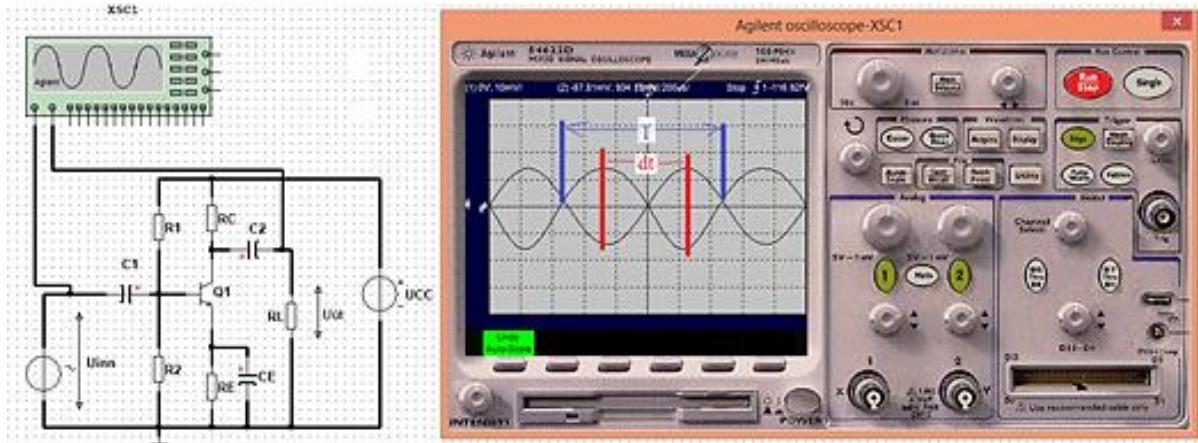
Stílltu U_{inn} þannig að merkið $U_{út}$ sé óbjagað.

Mældu U_{inn} og $U_{út}$ með sveiflusjá t.d. með því að ýta á *Autoscale* og *quick meas* takkana.

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

Þá er að lesa spennurnar og reikna síðan mögnunina sem $A_u = \frac{U_{út}}{U_{inn}} =$

18. Hvernig mæli ég fasvik?



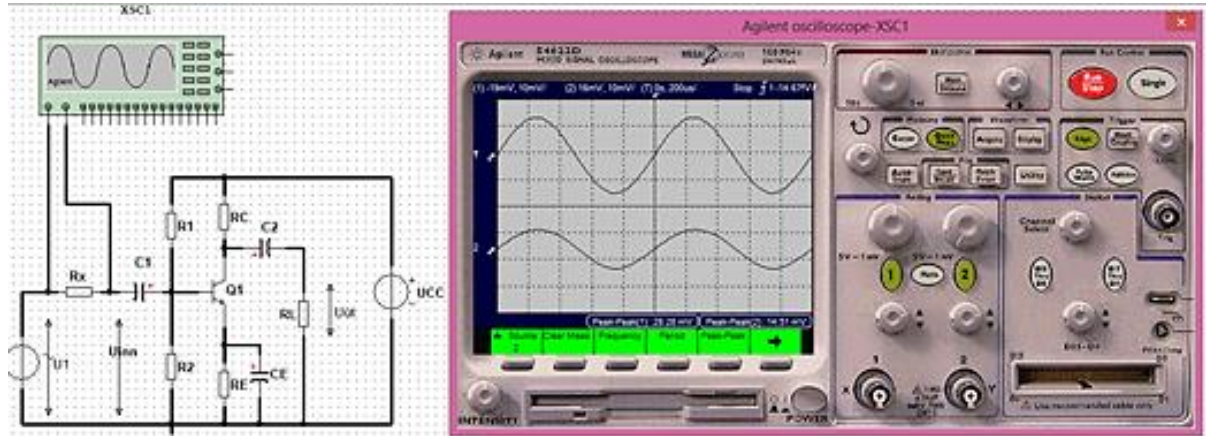
Mynd 19.

Mældu tímann á milli rauðu mælistrikanna á skjánum og gefðu tímanum heitið dt .

Finndu sveiflutíma bylgjunnar milli bláu stríkanna á skjánum og gefðu honum heitið $T(sec)$.

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

19. Hvernig mæli ég inngangsmótstöðu magnara?

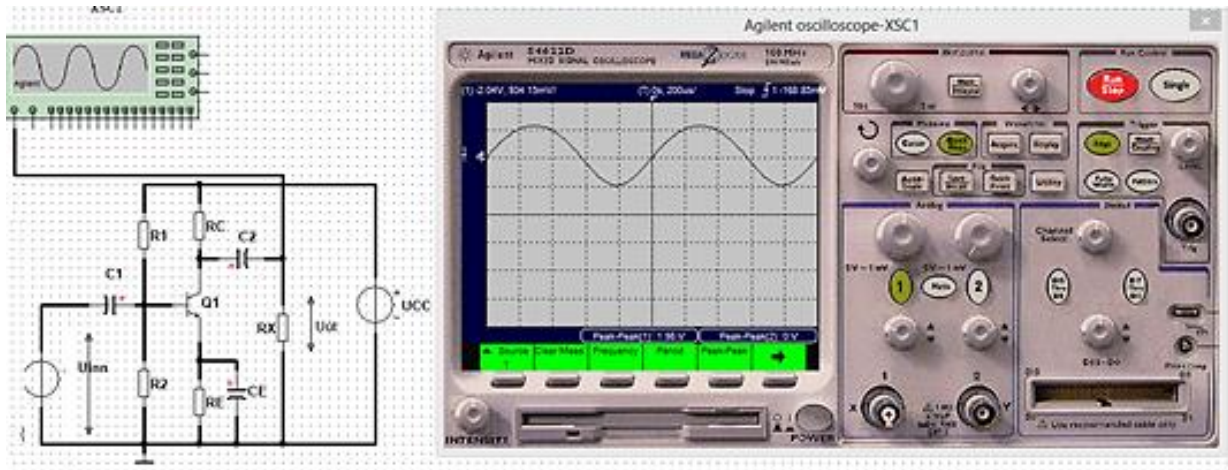


Mynd 20.

Settu þekkta mótstöðu (R_x) inn í rásina eins og sýnt er á mynd 20. 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 20, spennurnar U_1 og U_{inn} og notaðu meðfylgjandi jöfnu til að finna $R_{inn} = Z_{inn}$.

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

20. Hvernig mæli ég útgangsmótstöðu magnara?



Mynd 21.

Settu þekkta mótstöðu (R_x) = R_L inn í rásina eins og sýnt er á mynd 21. 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 $U_{út\text{tómang}}$. Notaðu meðfylgjandi jöfnu til að finna $R_{út} = Z_{út}$.

$$Z_{út} = R_{út} = \left[\frac{U_{út\text{tómang}} - U_{út}}{U_{út}} \right] \cdot R_x$$