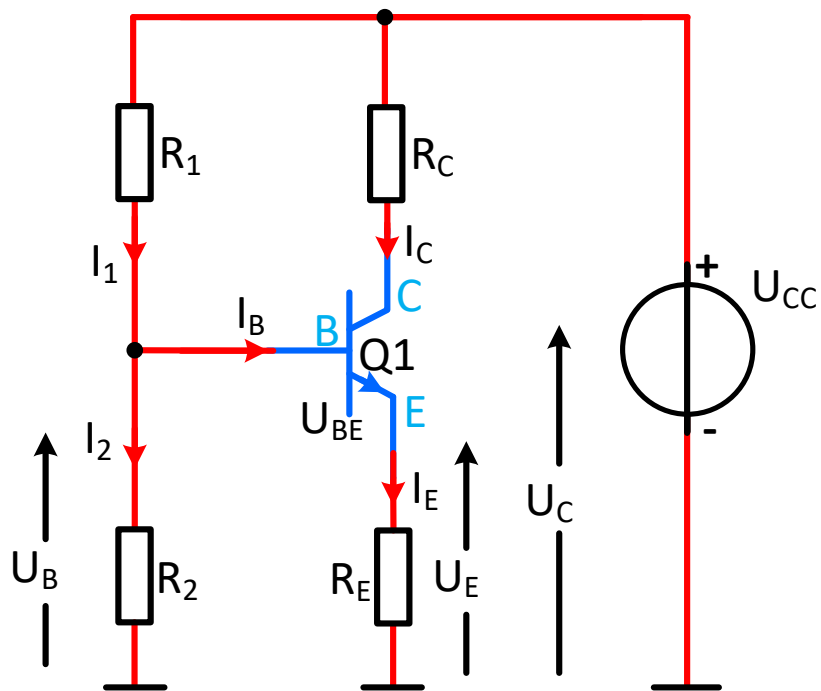




Rafbók



Rafeindafraði 9. hefti

Að forspenna BJT transistora

Sigurður Örn Kristjánsson

Bergsteinn Baldursson

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 sqk@tskoli.is og Báru Halldórsdóttur á netfangið bara@rafnam.is

Efnisyfirlit

1. Að forspenna BJT- transistorrásir.....	3
1.1 Dc vinnupunktur transistora.....	3
1.2 Að forspenna transistor með spennudeili.....	11
1.3 Inngangsmótstaðan $R_{IN(base)}$	12
1.4 Greining spennudeilirásar	13
1.5 Spennudeilir með PNP - transistor.....	15
2. Aðrar aðferðir við forspennu á transistora.....	18
2.1 Base - forspenntur transistor	18
2.2 Stöðugleiki vinnupunktsins í base forspenntum transistor	19
2.3 Forspenntur transistor með collector afturvirkni	20
2.4 Greining á collector afturvirkni	20
2.5 Stöðugleiki vinnupunkta vegna hitabreytinga	21
3. Dæmi.....	23
4. Svör	26

1. Að forspenna BJT- transistorrásir

Forspenna þarf transistor til að hann virki rétt, t.d. sem magnari. Forspennunni er ætlað að setja réttar vinnuspennur og vinnustrauma á hann og þar með að fastsetja dc - vinnupunkt. Í þessum kafla er fjallað um mismunandi gerðir af tengirásum sem eiga að forspenna transistora þannig að magnarar, sveifflugjafar og aðrar rásir virki rétt.

Markmið kaflans er að skilgreina:

- hugtakið dc - forspenna
- spennudeilirás
- base-forspennurás
- emitter - forspennurás
- collector - afturvirk forspennurás.

Eftir að hafa lokið þessum kafla átt þú að vera fær um að útskýra:

- hugtakið dc - forspenna í línulegum magnara
- notkun útgangslínurits transistora við að forspenna transistora
- dc vinnulínu (álagslínu) fyrir transistor
- vinnupunkt
- línulega notkun transistora
- mettun og rof
- ástæðu bjögunar í transistorum.

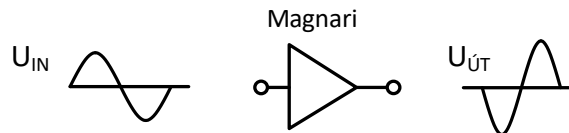
1.1 Dc vinnupunktur transistora

Transistor verður að vera rétt forspenntur til að hann virki rétt. Dc vinnupunktur hans verður að vera staðsettur þannig að breyting á inngangsmerki skili sér óbreytt, en með auknum styrk á útgang hans. Vinnupunktur transistors er skilgreindur af spennunni U_{CE} og straumnum I_C þar sem transistorinn er í kyrrstöðu (hvílu).

Vinnupunktur transistors í magnara er stilltur þannig að hann vinni línulega. Ef transistor er ekki rétt forspenntur getur hann lent í mettun (saturation) eða rofi (cutoff) þegar inngangsmerki er sett á hann. *Mynd 1* sýnir rétt og rangt forspenntan transistormagnara. Á *mynd 1a* er sýnt magnað útgangsmerki, sem er spegilmynd inngangsmerkis, fasasnúið um 180° .

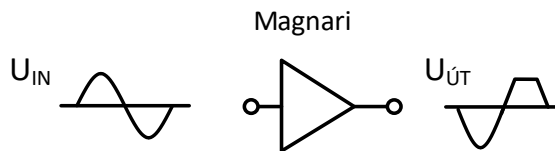
Rafeindatekni 9. hefti – Að forspenna BJT transistora -

Útgangsmarkið sveiflast jafnt fram og til baka í kringum dc vinnupunkt transistorans (U_{CE}, I_C). Rangar spennur á transistor geta valdið bjögun útgangsmarkisins og er það sýnt á mynd 1b og 1c. Mynd 1b sýnir bjögun á jákvæða hluta útspennunnar þar sem vinnupunktur transistorans er stilltur of nærri rofi (*cutoff*). Mynd 1c sýnir bjögun á neikvæða hluta útspennunnar þar sem vinnupunktur transistorans er stilltur of nærri mettun (*saturation*).



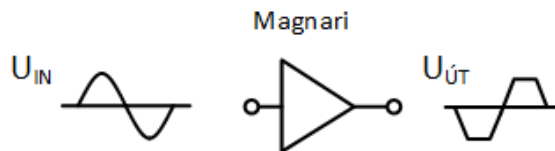
Mynd 1a. Línuleg mögnun.

Útgangsmarki eins og inngangsmarki nema að það er magnað og fasasnúið.



Mynd 1b. Ólínuleg mögnun.

Útgangsmarkið klippt þar sem magnarinn fer í rof (*cutoff*).



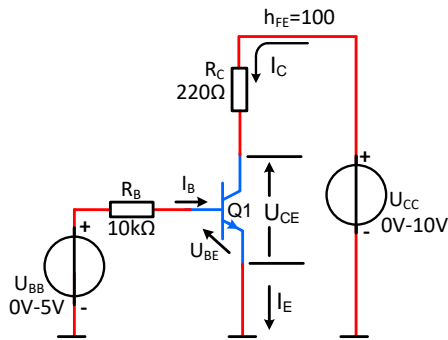
Mynd 1c. Ólínuleg mögnun.

Útgangsmarkið klippt þar sem magnarinn fer í mettun.

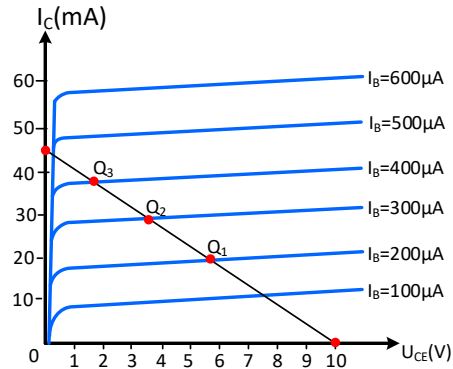
Til að fá fram föst gildi á I_B , I_C , I_E , og U_{CE} er transistorinn á mynd 2a forspenntur með tveimur breytilegum spennugjöfum U_{BB} og U_{CC} .

Línuritið á mynd 2b sýnir útgangslínurit transistorans sem skilgreint er með fallinu $I_C = f(U_{CE})|_{(I_B=k)}$.

Rafeindatekni 9. hefti – Að forspenna BJT transistora -



Mynd 2a. Transistorrás.



Mynd 2b. Útgangslínurit.

Fyrir mynd 2 eru gefin þrjú gildi á I_B . Skoðum hvaða áhrif það hefur á I_C og U_{CE} . Spennugjafinn U_{BB} er stilltur þannig að I_B er $200 \mu\text{A}$ eins og sýnt er á mynd 2a. Þar sem $I_C = h_{FE} \cdot I_B$ verður collectorstraumurinn $I_C = 20 \text{ mA}$ og U_{CE} verður:

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C \cdot R_C = 10\text{V} - 20\text{mA} \cdot 220\Omega = 10\text{V} - 4,4\text{V} = 5,6\text{V}$$

Dc vinnupunktur transistorans fyrir þessar stærðir er sýndur á mynd 2b sem Q_1 . Næst er U_{BB} aukinn til að fá fram strauminn $I_B = 300 \mu\text{A}$. Það er sýnt á mynd 2b. Þetta leiðir af sér collectorstraum sem er 30 mA og U_{CE} verður:

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C \cdot R_C = 10\text{V} - 30\text{mA} \cdot 220\Omega = 10\text{V} - 6,6\text{V} = 3,4\text{V}$$

Dc vinnupunkturinn fyrir þessar stærðir er sýndur á mynd 2b sem Q_2 . Að lokum er U_{BB} aukið þangað til að $I_B = 400 \mu\text{A}$ og verður þá $I_C = 40 \text{ mA}$ og U_{CE} verður:

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C \cdot R_C = 10\text{V} - 40\text{mA} \cdot 220\Omega = 10\text{V} - 8,8\text{V} = 1,2\text{V}$$

Dc vinnupunkturinn fyrir þessar stærðir er sýndur á mynd 2b sem Q_3 .

DC vinnulína: Þegar I_B eykst, eykst I_C og U_{CE} minnkar. Þetta sést á mynd 2b. Þegar I_B minnkar lækkar I_C og U_{CE} eykst. Þetta sést líka á mynd 2b. Ef spennugjafanum U_{BB} er breytt færast vinnupunktur transistorans eftir beinni línu, svokallaðri dc-vinnulínu í gegn um punktana þrjá sem hafa verið reiknaðir. Hægt er að finna I_B , I_C , U_{CE} fyrir sérhvern punkt línunnar eins og sýnt er á mynd 2b. Dc vinnulínan sker spennuásinn á útgangslínuritinu í 10V eða $U_{CE} = U_{CC}$. Í þeim punkti er transistorinn í **rofi (cutoff)** þar sem I_B og $I_C = 0\text{A}$. Í raun er U_{CE} ekki jafnt og U_{CC} vegna lekastraumsins I_{CBO} .

Frávík eru mjög lítil og er hægt að horfa fram hjá þeim.

Rafeindatekni 9. hefti – Að forspenna BJT transistora -

Dc vinnulínan sker I_C straumásinn í útgangslínuritinu við 45,5 mA. *Mynd 2b*. Í þessum punkti er transistorinn í **mettun (saturation)** þar sem collector-straumurinn er í hámarki þar eða:

$$I_C = \frac{U_{CC}}{R_C} \text{ við } U_{CE} = 0$$

Venjulega er smá mettunarspenna $U_{CE(sat)}$ yfir transistorinn og I_C er aðeins minni en 45,5 mA eins og sést á *mynd 2b*.

Ef spennulögmál *Kirchhoff's* er beitt á rásina á *mynd 2a* fæst að:

$$U_{CC} - I_C \cdot R_C - U_{CE} = 0$$

Með því að setja jöfnuna upp í jöfnu beinnar línu $y = mx + b$ fæst fram jafna dc vinnulínunnar sem:

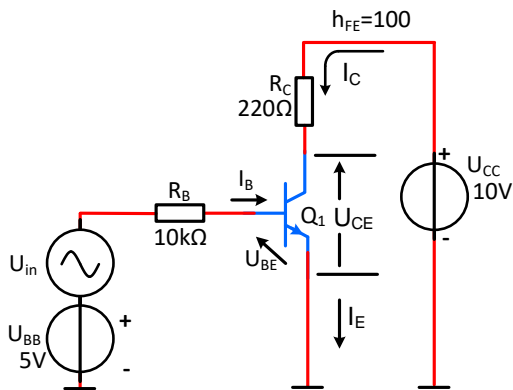
$$I_C = -\frac{1}{R_C} \cdot U_{CE} + \frac{U_{CC}}{R_C}$$

Þar sem $-\frac{1}{R_C}$ er hallatala dc vinnulínunnar og $\frac{U_{CC}}{R_C}$ er skurðarpunktur línunnar við I_C -ásinn (y-ásinn).

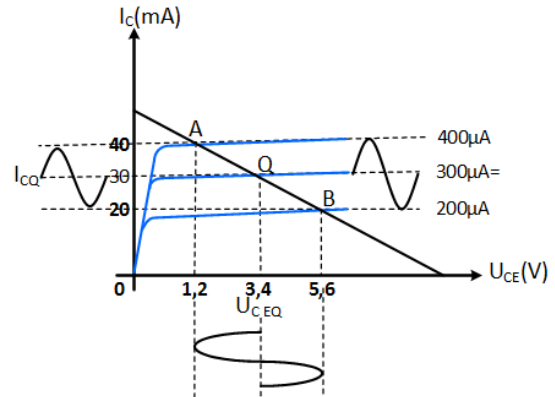
Línuleg vinnsla: Þegar transistor vinnur eftir dc vinnulínunni, frá mettun (*saturation*) að rofi (*cutoff*), er hann sagður vinna línulega. Eins lengi og transistorinn vinnur á þessu svæði er útgangsmarki hans spegilmynd inngangsmarkis. *Mynd 3* er dæmi um línulega vinnslu transistors. Riðstraumsstærðir eru merktar með lástöfum í fót táknsins.

Gerum ráð fyrir að sínusspennugjafinn U_{in} sé raðtengdur við U_{BB} og valdi því að base-straumurinn breytist sínuslega um 200 μA . 100 μA niður fyrir vinnupunkt og 100 μA upp fyrir vinnupunkt. Gildi base straumsins í vinnupunkti er $I_B = 300 \mu A$. Þetta veldur því að collectorstraumurinn breytist um 20 mA. Fer í 20 mA og upp í 40 mA. Afleiðing þessara straumbreytinga er spennubreyting á U_{CE} . U_{CE} færir frá vinnupunkti sem er 3,4 V um 2,2 V, til hækkunar eða lækkunar. Punktur A á álagslínunni á *mynd 3* sýnir jákvæðan topp sínusbylgjunnar á meðan punktur B sýnir neikvæða hluta hennar. Vinnupunkturinn (Q) táknar núll gildi sínusbylgjunnar. $U_{CE(Q)}$, $I_{C(Q)}$ og $I_{B(Q)}$ eru dc-vinnuspennur rásarinnar í vinnupunkti þegar engin sínusspenna er ásett.

Rafeindatekni 9. hefti – Að forspenna BJT transistora -

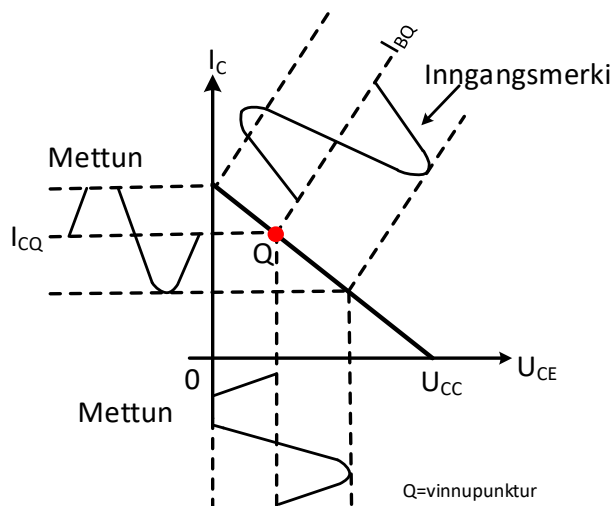


Mynd 3a. Transistorrás.



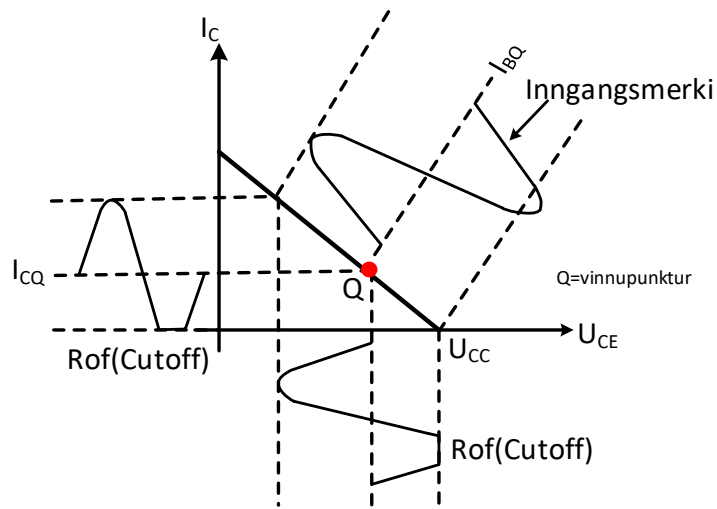
Mynd 3b. Útgangslínurit.

Bjögun: Eins og áður hefur verið sagt verður bjögun í magnara við viss skilyrði. Það gerist ef staðsetning vinnupunkts á vinnulínu er þannig að annað toppgildi sínusspennunnar (U_{in}) er takmörkuð eða það klippist ofan af eða neðan af henni eins og mynd 4a og mynd 4b sýnir. Í báðum tilfellum er sínusspennan (U_{in}) of há vegna staðsetningar á vinnupunkti þannig að transistorinn er keyrður í rof (*cutoff*) eða mettun (*saturation*). Ef báðir sínustoppar útgangsspennunnar eru takmarkaðir vegna of sterks inngangsmerkis eins og sýnt er á mynd 4c, er transistorinn keyrður í mettun og rof (*cutoff*).

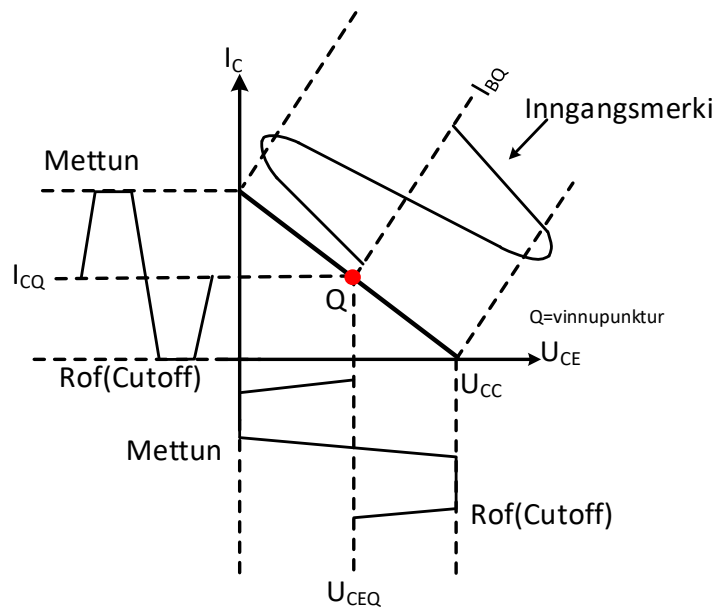


Mynd 4a. Transistor fer í mettun þar sem vinnupunktur hans (Q) er of nærri mettun fyrir inngangsmerkið.

Rafeindataekni 9. hefti – Að forspenna BJT transistora -



Mynd 4b. Transistor fer í rof (cutoff) þar sem vinnupunktur hans (Q) er of nærri rofi (cutoff) fyrir inngangsmarkið.



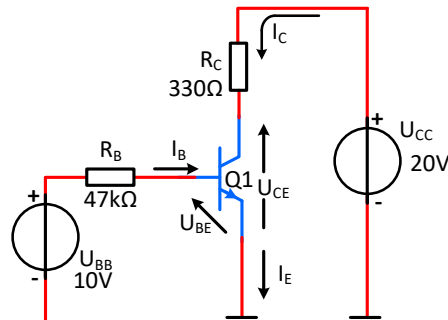
Mynd 4c. Transistor fer í mettun og rof (cutoff) þar sem inngangsmarkið er of sterkt.

Rafeindatekni 9. hefti – Að forspenna BJT transistora -

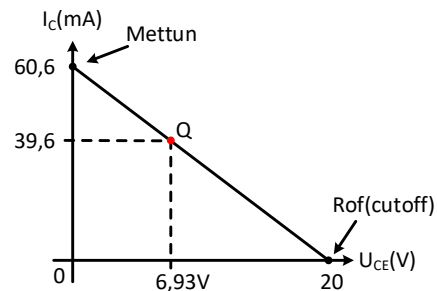
Sýnidæmi:

Finnið vinnupunkt fyrir rásina á mynd 5 og hámarks basestraum sem má renna í transistorinum þannig að transistorinn fari ekki í mettun.

Gerið ráð fyrir $h_{FE} = 200$.



Mynd 5a. Transistorrás.



Mynd 5b.

Lausn.

Vinnupunkturinn er skilgreindur með því að finna gildin á I_C og U_{CE} .

$$I_B = \frac{U_{BB} - U_{BE}}{R_B} = \frac{10V - 0,7V}{47k\Omega} = 198\mu A$$

$$I_C = h_{FE} \cdot I_B = 200 \cdot 198\mu A = 39,6mA$$

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C \cdot R_C = 20V - 39,6mA \cdot 330\Omega = 6,93V$$

Vinnupunkturinn er samkvæmt útreikningum $I_C = 39,6$ mA og $U_{CE} = 6,93$ V. Sjá mynd 5b.

Þar sem collectorstraumur í rofi $I_{C(cutoff)} = 0$ A þarf einungis að finna collector strauminn þegar transistorinn er í mettun eða $I_{C(sat)}$ til að finna út hve mikið breyting getur orðið á collectorstraumnum án þess að transistorinn fari í mettun eða rof (*cutoff*).

$$I_{C(sat)} = \frac{U_{CC}}{R_C} = \frac{20V}{330\Omega} = 60,6mA$$

$$I_{C(rof)} = 0$$

Vinnulínan er sýnd teiknuð á mynd 5b og þaðan sést að breyting er á basestraum, án þess að transistorinn fari í mettun er:

$$I_B = \frac{I_{C(sat)} - I_{CQ}}{h_{FE}} = \frac{21mA}{200} = 105\mu A$$

Rafeindatækni 9. hefti – Að forspenna BJT transistora -

Dæmi:

1. Finnið vinnupunkt fyrir mynd 5 og mesta strauminn sem má renna í base þannig að transistorinn fari ekki í mettun. Gerið ráð fyrir $h_{FE} = 100$, $R_C = 1\text{ k}\Omega$ og $U_{CC} = 24\text{ V}$.
2. Hver eru efri og neðri spennumörk collector-emitter spennunnar (U_{CE}) fyrir vinnulínu transistors?
3. Hvernig er vinnupunktur transistors skilgreindur?
4. Hvar á vinnulínunni byrjar mettun (*saturation*)? En rof (*cutoff*)?
5. Hvernig á að velja vinnupunkt transistors til að fá fram hámarks útgangssveiflu fyrir U_{ce} spennuna?

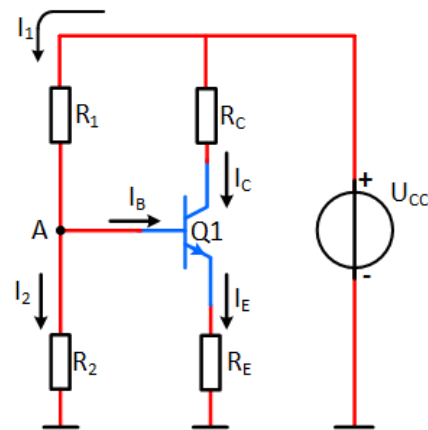
1.2 Að forspenna transistor með spennudeili

Mest notaða aðferðin við að forspenna transistor er með einum spennugjafa og spennudeili. Aðrar aðferðir eru sýndar í næsta kafla. Eftir að hafa farið í gegn um þennan kafla átt þú að geta þekkt rásir með spennudeili.

- Ræða áhrif inngangsmótstöðu transistorsins á spennu-deilirásina
- ræða stöðugleika spennudeilirásar
- skýra út hvernig þú minnkar eða eyðir út áhrifum mögnunarstuðlinum h_{FE} og U_{BE} á stöðugleika vinnupunkts transistorsins
- ræða spennudeili fyrir pnp transistor.

Hingað til hefur base transistorsins U_{BE} verið forspenntur með sér spennugjafa U_{BB} . Þetta hefur eingöngu verið gert til þæginda.

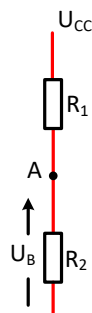
Önnur eðlilegri aðferð er að beita spennudeili á inngang transistorsins og nota einn spennugjafa U_{CC} . Þessi aðferð er sýnd á mynd 6. Spennudeilir á base transistors er fengin með tveimur mótstöðum R_1 og R_2 eins og sést á mynd 6. Það eru tvær straumleiðir frá punkti A á myndinni. Ein í gegn um R_2 en hin í gegn um base-emitter samskeyti transistorsins og mótstöðunnar R_E .



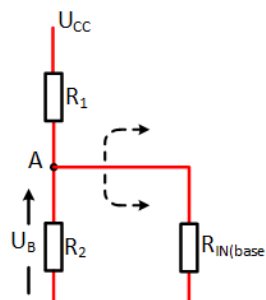
Mynd 6.

Ef base straumurinn er miklu minni en straumurinn í gegn um R_2 , er hægt að meta rásina þannig að spennudeilingin verði eingöngu yfir R_1 og R_2 , eins og mynd 7a sýnir. Ef straumurinn I_B er ekki nógu lítill í samanburði við strauminn I_2 þá er jafnstraumsmótstaðan sem sést milli base og emitter, til jarðar, $R_{IN(base)}$. Hún myndar hliðtengingu við R_2 eins og sýnt er á mynd 7b.

Mynd 7a.

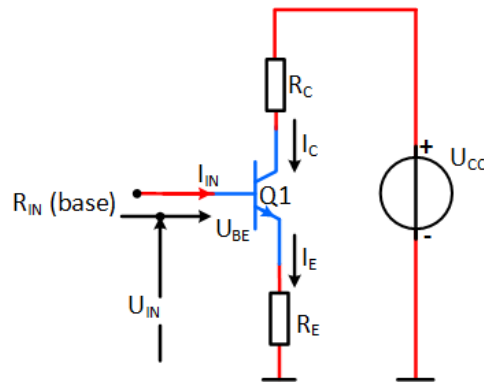


Mynd 7b.



1.3 Inngangsmótstaðan $R_{IN(base)}$

Mynd 8 er notuð til að sýna fram á $R_{IN(base)}$. Með því að nota ohms - og lögmál Kirchoffs fæst:



Mynd 8.

$$R_{IN(base)} = \frac{U_{IN}}{I_{IN}} \quad U_{IN} = U_{BE} + I_E \cdot R_E$$

$$\text{Ef } U_{BE} \ll I_E \cdot R_E \Rightarrow U_{IN} \cong I_E \cdot R_E$$

$$\text{Ef } I_E \cong I_C = h_{FE} \cdot I_B \text{ og } U_{IN} = h_{FE} \cdot I_B \cdot R_E$$

$$I_{IN} = I_B$$

Sýnidæmi:

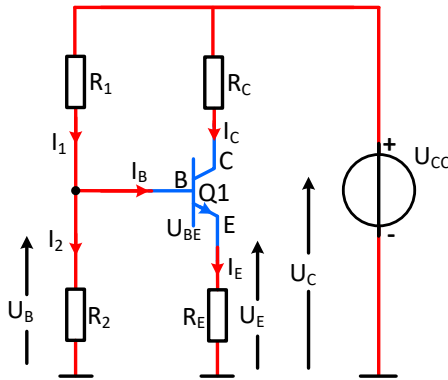
Reiknið jafnstraumsmótstöðuna $R_{IN(base)}$ fyrir mynd 8 ef $h_{FE} = 125$ og $R_E = 1 \text{ k}\Omega$.

$$R_{IN(base)} = \frac{U_{IN}}{I_{IN}} \cong h_{FE} \cdot R_E = 125 \cdot 1 \text{ k}\Omega = 125 \text{ k}\Omega$$

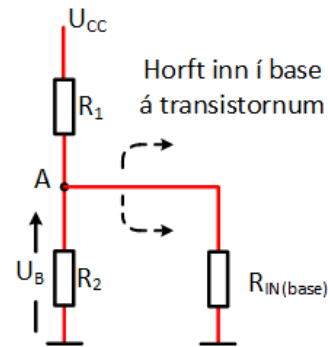
Dæmi:

6. Reiknið jafnstraumsmótstöðuna $R_{IN(base)}$ fyrir mynd 8 ef $h_{FE} = 60$, $R_C = 560 \Omega$ og $R_E = 910 \Omega$?

1.4 Greining spennudeilirásar



Mynd 9a. Transistorstig.



Mynd 9b. Með álagi.

Mynd 9a og 9b sýnir npn transistor forspenntan með spennudeili. Notum hana til að greina spennuna á base U_B með því að nota spennudeilijöfnu sem fengin er á eftirfarandi hátt:

$$R_{IN(base)} = h_{FE} \cdot R_E$$

Heildarmótstaðan frá base til jarðar er:

$$R_2 \parallel R_{IN(base)} = R_2 \parallel (h_{FE} \cdot R_E)$$

Jafnspennan á base U_B er fengin með spennudeilingu út frá mynd 9b sem er:

$$U_B = \frac{R_2 \parallel (h_{FE} \cdot R_E)}{R_1 + (R_2 \parallel h_{FE} \cdot R_E)} \cdot U_{CC}$$

Ef $h_{FE} \cdot R_E \gg R_2$ einfaldast jafnan og verður: $U_B = \left[\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] \cdot U_{CC}$

Þegar búið er að finna spennuna U_B er auðveldlega hægt að finna emitter-spennuna U_E sem er:

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

Emitterstraumurinn og collectorstraumurinn finnst sem:

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

Rafeindatekni 9. hefti – Að forspenna BJT transistora -

og collectorspennan U_C verður þá:

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

Þegar búið er að finna U_C og U_E finnst U_{CE} sem:

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

eða:

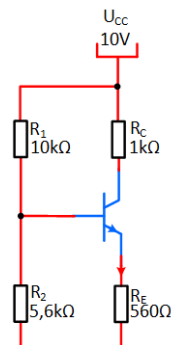
$$U_{CC} - I_C \cdot R_C - I_E \cdot R_E - U_{CE} = 0$$

$$I_C \cong I_E$$

$$U_{CE} \cong U_{CC} - I_C \cdot R_C - I_C \cdot R_E = U_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

Sýnidæmi:

Reiknið U_{CE} og I_C fyrir mynd 10 ef $h_{FE} = 100$.



Mynd 10.

Ákveðum inngangsmótstöðu transistorsins í base

$$R_{IN(base)} = h_{FE} \cdot R_E = 100 \cdot 560\Omega = 56k\Omega$$

Þumalputtaregla er að ef tvær mótstöður eru hliðtengdar og önnur er að minnsta kosti 10 sinnum stærri en hin verður heildarmótstaðan í hliðtengingunni um það bil mótstöðugildi lægri mótstöðunnar. Hafa verður í huga að stundum getur þetta leitt til ónógrar nákvæmni.

Í þetta sinn er $R_{IN(base)} = 10 \cdot R_2$ og þess vegna gildir eftirfarandi:

$$U_B = \left[\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] \cdot U_{CC} = \left[\frac{5,6k\Omega}{10k\Omega + 5,6k\Omega} \right] \cdot 10V = 3,59V$$

Rafeindatekni 9. hefti – Að forspenna BJT transistora -

$$U_E = U_B - U_{BE} = 3,59V - 0,7V = 2,89V$$

Emitter - og collectorstraumurinn verður:

$$I_E \cong I_C \cong \frac{U_E}{R_E} = \frac{2,89V}{560\Omega} = 5,16mA$$

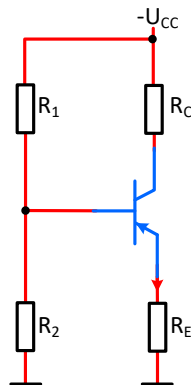
$$U_{CE} \cong U_{CC} - I_C(R_C + R_E) = 10V - 5,16mA \cdot 1,56k\Omega = 1,95V$$

Dæmi:

7. Reiknið U_B fyrir sýnidæmi með því að taka tillit til $R_{IN(base)}$?

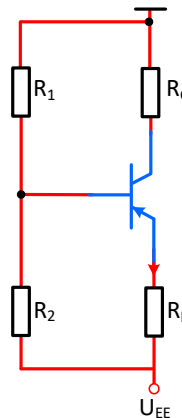
1.5 Spennudeilir með PNP - transistor

Pnp transistor þarf gagnstæða spennupólun miðað við *nnp*-transistor. Þetta næst með neikvæðum spennugjafa á collector eins og sýnt er á mynd 12a eða með jákvæðum spennugjafa á emitter eins og mynd 12b sýnir.



Mynd 12a.

Neikvæð collector fæðisspenna.

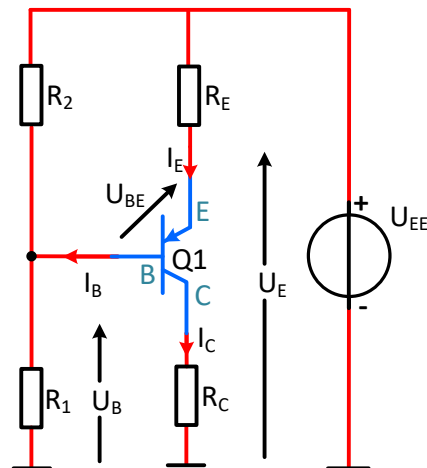


Mynd 12b.

Jákvæð collector fæðisspenna.

Notum mynd 13 til að greina spennudeili fyrir rásina eins og gert var fyrir npn - rás.

Rafeindataekni 9. hefti – Að forspenna BJT transistora -



Mynd 13.

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

og

$$U_E = U_B + U_{BE}; I_E = \frac{U_{EE} - U_E}{R_E}$$

$$U_C = I_C \cdot R_C; U_{EC} = U_E - U_C$$

Sýnidæmi:

Finnið I_C og U_{CE} fyrir mynd 13 ef $U_{EE} = 10V$, $R_2 = 10k\Omega$, $R_1 = 22 k\Omega$, $R_E = 1k\Omega$ og $R_C = 2,2 k\Omega$?

$$U_B = \left[\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] \cdot U_{EE} = \left[\frac{22k\Omega}{10k\Omega + 22k\Omega} \right] \cdot 10V = 6,88V$$

$$U_E = U_B + U_{BE} = 6,88V + 0,7V = 7,58V$$

$$I_E = \frac{U_{EE} - U_E}{R_E} = \frac{10V - 7,58V}{1k\Omega} = 2,42mA$$

$$I_E \cong I_C = 2,42mA$$

$$U_C = I_C \cdot R_C = 2,42mA \cdot 2,2k\Omega = 5,32V$$

$$U_{CE} = U_E - U_C = 7,58V - 5,32V = 2,26V$$

Rafeindatekni 9. hefti – Að forspenna BJT transistora -

Dæmi:

8. Hver er jafnstraumsmótstaða á base á transistor ef base spennan $U_B = 5$ V og basestraumurinn $I_B = 5 \mu\text{A}$?
9. Hver er jafnstraumsmótstaða á base á transistor ef strauummögnunarstuðullin $h_{FE} = 190$ og emittermótstaðan er $1 \text{ k}\Omega$?
10. Hvaða basespenna myndast ef báðar spennudeilimótstöðurnar eru jafn stórar? $U_{CC} = 10\text{V}$.

2. Aðrar aðferðir við forspennu á transistora

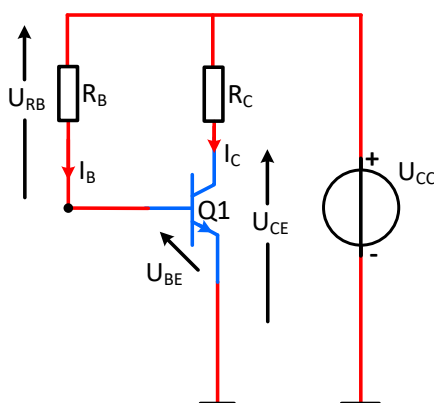
Í þessum hluta bætast við tvær aðferðir við að forspenna transistor. Þó að þessar aðferðir eru ekki eins algengar og spennudeiliaaðferðin, þarf að þekkja þær þegar þær koma fyrir.

Eftir að hafa farið í gegn um þennan kafla átt þú að vera fær um að þekkja:

- base-forspenntan transistor
- collector afturvirka forspennu
- ræða mismunandi stöðugleika þessara forspenna miðað við spennudeiliaaðferðina.

2.1 Base - forspenntur transistor

Mynd 14 sýnir base-forspenntan transistor.



Mynd 14.

Greining rásarinnar fyrir línulega vinnslu er eftirfarandi:

$$U_{CC} - U_{R_B} - U_{BE} = 0$$

$$U_{R_B} = I_B \cdot R_B \Rightarrow U_{CC} - I_B \cdot R_B - U_{BE} = 0$$

$$I_B = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_B}$$

Sé notað spennulögmál Kirchhoff's um collectorrásina samkvæmt mynd 14 fæst:

$$U_{CC} = I_C \cdot R_C + U_{CE} \Rightarrow U_{CE} = U_{CC} - I_C \cdot R_C$$

Rafeindatekni 9. hefti – Að forspenna BJT transistora -

Ef notuð er jafnan $I_C = h_{FE} \cdot I_B$ fæst með samsetningu jafna að:

$$I_C = h_{FE} \left[\frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_B} \right]$$

og collectorstraumurinn er háður straummögnunarstuðlinum h_{FE} .

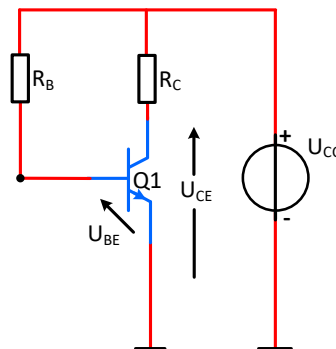
2.2 Stöðugleiki vinnupunktsins í base forspenntum transistor

Það kom í ljós í jöfnu $I_C = h_{FE} \left[\frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_B} \right]$

að collectorstraumurinn er háður straummögnunarstuðlinum h_{FE} . Þetta þýðir að ef straummögnunarstuðlinum h_{FE} breytist t.d. vegna hitabreytingar eða það þarf að skipta út transistorum fyrir annan (munið hina miklu breidd á straummögnunarstuðlinum frá framleiðanda), t.d. *BC547*, breytist collectorstraumurinn I_C og collector-emitter spennan U_{CE} . Vinnupunkturinn (I_C, U_{CE}) hliðrast til og rásin er óstöðug.

Sýnidæmi:

Hve mikið breytist vinnupunktur (I_C, U_{CE}) fyrir mynd 15 ef h_{FE} verður fyrir hitastigsbreytingu? Við þessa breytingu lækkar U_{BE} frá 0,7 V ($h_{FE} = 85$) til 0,6 V ($h_{FE} = 100$). $U_{CC} = 12V$, $R_B = 100k\Omega$ og $R_C = 560\Omega$.



Mynd 15.

Fyrir $h_{FE} = 85$ er $U_{BE} = 0,7 V$

$$I_{C(1)} = h_{FE} \cdot \left[\frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_B} \right] = 85 \cdot \left[\frac{12 - 0,7}{100k\Omega} \right] = 9,61mA$$

$$U_{CE(1)} = U_{CC} - I_C \cdot R_C = 12V - (9,61mA \cdot 560\Omega) = 6,62V$$

Rafeindatekni 9. hefti – Að forspenna BJT transistora -

Fyrir $h_{FE} = 100$ er $U_{BE} = 0,6\text{ V}$

$$I_{C(2)} = h_{FE} \cdot \left[\frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_B} \right] = 100 \cdot \left[\frac{12 - 0,6}{100k\Omega} \right] = 11,4mA$$

$$U_{CE(2)} = U_{CC} - I_C \cdot R_C = 12V - (11,4mA \cdot 560\Omega) = 5,62V$$

Eins og sést er vinnupunkturinn mjög háður straummögnunar-stuðlinum h_{FE} og gerir rásina mjög óstöðuga. Vegna þess er base forspenna ekki notuð ef rásin á að vinna línulega. Hægt er að nota hana ef transistorinn á að notast sem rofi.

Dæmi:

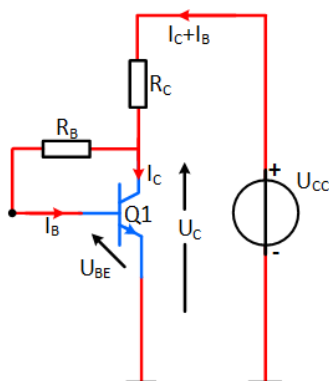
11. Hvernig breytist vinnupunktur transistorsins á mynd 15 ef $h_{FE} = 50$ við 0°C og 125 við 100°C ? Gerum ráð fyrir að U_{BE} sé óbreytt eða $0,7\text{V}$.

2.3 Forspenntur transistor með collector afturvirkni

Í mynd 16 er base mótstaðan R_B tengd við collector rásarinnar. Spennan á collector forspennir base - emitter samskeytin. Neikvæða afturvirknin í rásinni veldur ástandi sem reynir að halda vinnupunktinum stöðugum. Ef I_C eykst veldur það auknu spennufalli yfir R_C og spennan U_{CE} lækkar. Þegar U_{CE} lækkar verður spennulækkun yfir R_B sem veldur lækkun á straumnum I_B og vegna áhrifa lækkunar á I_B verður lækkun á collectorstraumnum I_C . Þessi lækkun á I_C veldur því að spennan U_{CE} verður næstum sú sama og upprunaleg spenna.

2.4 Greining á collector afturvirkni

Basestraumurinn er fundinn með því að nota lögmál Ohm's:



Mynd 16.

Rafeindataekni 9. hefti – Að forspenna BJT transistora -

$$I_B = \frac{U_C - U_{BE}}{R_B}$$

$$\text{Gerum } I_C \gg I_B \Rightarrow U_C \cong U_{CC} - I_C \cdot R_C$$

$$\text{Einnig er } I_B = \frac{I_C}{h_{FE}}$$

Setjum saman fyrstu jöfnuna og þá síðustu og skiptum út U_C þá fæst:

$$\frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{U_{CC} - I_C \cdot R_C - U_{BE}}{R_B} \text{ eða } \frac{I_C}{h_{FE}} + \frac{I_C \cdot R_C}{R_B} = \frac{U_{CC}}{R_B} - \frac{U_{BE}}{R_B}$$

Leysum jöfnuna með tilliti til I_C

$$I_C = \frac{[U_{CC} - U_{BE}]}{\left[R_C + \frac{R_B}{h_{FE}}\right]}$$

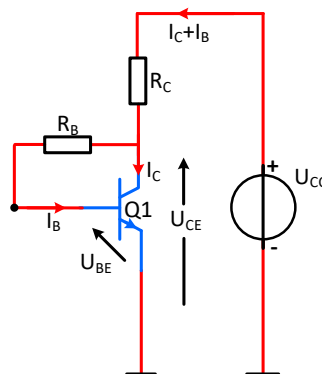
og við sjáum að h_{FE} hefur áhrif á I_C en ef h_{FE} er hlutfallslega stór miðað við R_B eru áhrifin lítil.

2.5 Stöðugleiki vinnupunkta vegna hitabreytinga

Samkvæmt jöfnu sést að collectorstraumurinn I_C er háður að hluta til straummögnunarstuðlinum h_{FE} og U_{BE} . Hægt er að minnka áhrif h_{FE} og U_{BE} með því að gera móttstöðuna $R_C \gg R_B/h_{FE}$ og að $U_{CC} \gg U_{BE}$

Sýnidæmi:

Reiknið vinnupunkt (I_C og U_{CE}) transistorans í mynd 17? $U_{CC}=10\text{V}$, $R_B = 100\text{k}\Omega$, $R_C = 10\text{k}\Omega$, $U_{BE} = 0,7\text{V}$ og $h_{FE} = 100$.



Mynd 17.

Rafeindatekni 9. hefti – Að forspenna BJT transistora -

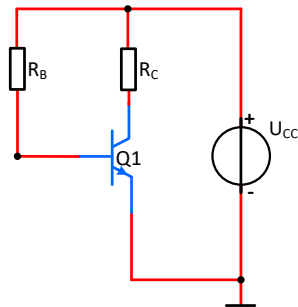
$$I_C = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_C + \frac{R_B}{h_{FE}}} = \frac{10V - 0,7V}{10k\Omega + \frac{100k\Omega}{100}} = 845\mu A$$

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C R_C = 10V - 845\mu A \cdot 10k\Omega = 1,55V$$

Dæmi:

12. Reiknið vinnupunkt (I_C og U_{CE}) transistorans í mynd 17 fyrir $h_{FE} = 85$ og finnið breytingu á vinnupunktinum ef straummögnunarstuðullinn h_{FE} verður 100?
13. Hver eru helstu ókostir aðferðar við að base- forspenna transistor?
14. Skýrið út hvers vegna vinnupunktur transistorans sem tengdur er með base forspennu breytist með hita?

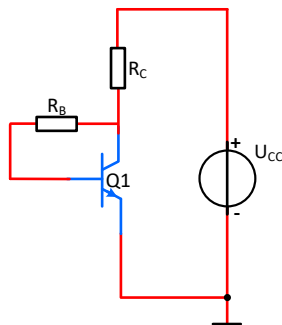
3. Dæmi



Mynd 18.

15. Hvar sker álagslína transistorsins á mynd 18 U_{CE} og I_C ásana í útgangslínuriti ef $R_B = 1 \text{ M}\Omega$, $R_C = 10 \text{ k}\Omega$ og $U_{CC} = 20 \text{ V}$?

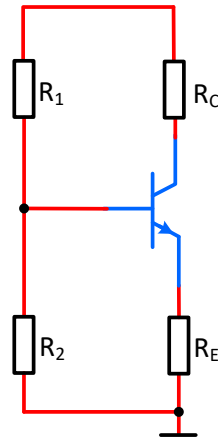
16. Hannaðu transistormagnararás þar sem á að nota $U_{CC} = 10 \text{ V}$. Í vinnupunkti er $I_C = 5 \text{ mA}$ og $U_{CE} = 5 \text{ V}$. $h_{FE} = 100$.



Mynd 19.

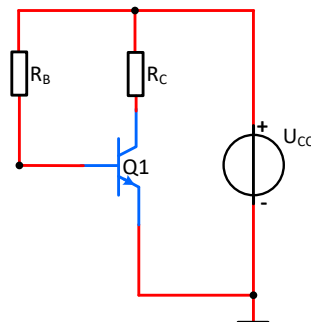
Rafeindatækni 9. hefti – Að forspenna BJT transistora -

17. Finndu út hvort transistorinn á mynd 19 er forspenntur í metnun, *cutoff* eða sem magnari? $R_B = 10 \text{ k}\Omega$, $R_C = 390 \text{ }\Omega$, $U_{CC} = 8 \text{ V}$ og $h_{FE} = 75$.



Mynd 20.

18. Gefið er fyrir mynd 20 að $R_1 = 22 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_C = 1,5 \text{ k}\Omega$, $R_E = 680 \text{ }\Omega$, $U_{CC} = 15 \text{ V}$ og h_{FE} er 150. Reiknaðu I_C og U_{CE} fyrir transistorinn?

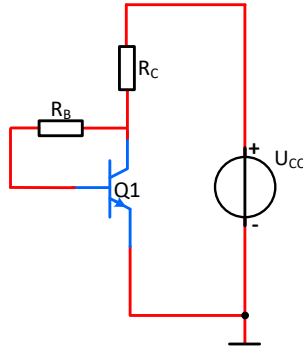


Mynd 21.

19. Reiknaðu I_B , I_C og U_{CE} fyrir mynd 21 ef $U_{CC} = 12 \text{ V}$, $R_C = 100 \text{ }\Omega$, $R_B = 22 \text{ k}\Omega$ og h_{FE} er 90?

Rafeindataækni 9. hefti – Að forspenna BJT transistora -

20. Reiknaðu I_B , I_C og U_{CE} fyrir mynd 21 ef $U_{CC} = 12\text{ V}$, $R_C = 100\ \Omega$, $R_B = 22\text{ k}\Omega$ og h_{FE} er 180 vegna hitabreytinga?



Mynd 22.

21. Reiknaðu I_C , U_{CE} fyrir mynd 22 ef $U_{CC} = 3\text{ V}$, $R_C = 1,8\text{ k}\Omega$, $R_B = 33\text{ k}\Omega$ og $h_{FE} = 90$?
22. Reiknaðu I_C og U_{CE} fyrir mynd 22 ef $U_{CC} = 12\text{ V}$, $R_C = 1,2\text{ k}\Omega$, $R_B = 47\text{ k}\Omega$ og $h_{FE} = 200$?
23. Sannprófaðu dæmi 18, 19 og 21 í Multisim hermi eða öðrum hermi. Notið transistorinn 2N3904.

4. Svör

1. Vinnupunktur $I_C = 19,8\text{mA}$, $U_{CE} = 4,2\text{V}$, $I_{B\text{sat}} = 240\mu\text{A}$
2. $U_{CE} = U_{CC}$, $U_{CE} = 0$
3. Með U_{CE} , I_C stærðum.
4. Mettun þá er $U_{CE} = 0$ þegar $U_{CE} = U_{CC}$
5. Á $\frac{1}{2}$ dc-vinnulínunni sem að jafnaði er í $\frac{1}{2} U_{CC}$.
6. $R_{IN(\text{base})} = 54,6\text{k}\Omega$
7. $U_B = 3,38\text{V}$
8. $R_{INN} = 1\text{M}\Omega$
9. $R_{INN} = 190\text{k}\Omega$
10. $U_B = 5\text{V}$
11. $I_C = 5,65\text{mA}$ og $U_{CE} = 8,84\text{V}$ við 0°C ; $I_C = 14,1\text{mA}$ og $U_{CE} = 4,1\text{V}$ við 125°C
12. $I_C = 832\mu\text{A}$, $U_{CE} = 1,68\text{V}$
13. Vinnupunktur færir til vegna hita og getur t.d. frið í metnun. Einnig ef skipt er út transistor þá getur hann verið með aðra betu en sá sem er fyrir.
14. Vegna þess að h_{FE} – straummögnunarstuðull er hitaháð.
15. $I_C = 2\text{mA}$, $U_{CE} = 20\text{V}$
16. $R_C = 1\text{k}\Omega$, $R_B = 186\text{k}\Omega$
17. Sem magnari þar sem $I_C < I_{C\text{sat}}$
18. $I_C = 0,809\text{mA}$, $U_{CE} = 13,2\text{V}$
19. $I_B = 514\mu\text{A}$, $I_C = 46,3\text{mA}$, $U_{CE} = 7,37\text{V}$
20. $I_B = 514\mu\text{A}$, $I_C = 92,5\text{mA}$, $U_{CE} = 2,75\text{V}$

Rafeindatekni 9. hefti – Að forspenna BJT transistora -

$$21. I_C = 1,06\text{mA}, U_{CE} = 1,09\text{V}$$

$$22. I_C = 7,87\text{mA}, U_{CE} = 2,56\text{V}$$