



# HÁSKÓLI ÍSLANDS

## Kennistuðlar nóra og feta

Tilraun framkvæmd  
20. febrúar  
og 27. febrúar

Eyþór Gísli Þorsteinsson  
Héðinn Þór Gunnarsson  
Sævar Öfjörð Magnússon

# 1 Tækjaskrá

Jafnspennugjafi, merkisgjafi, Fluke fjölmælir, sveiflusjá, brauðbretti, viðnám ( $10\text{k}\Omega$ ,  $56\Omega$ ,  $560\Omega$ ,  $10\text{k}\Omega$  stilliviðnám), þéttir ( $10\text{nF}$ ), nórar (ASY76, BC546B) og ýmsar snúrur.

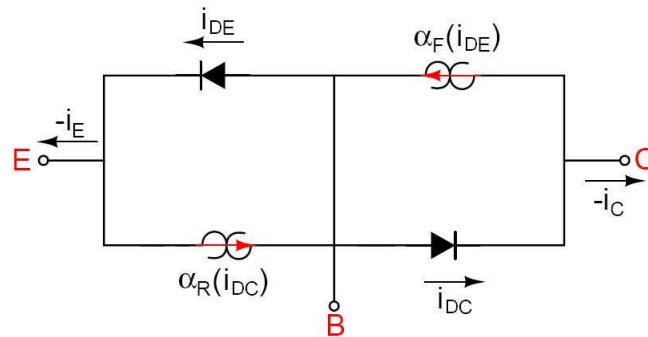
# 2 Markmið

Markmið þessarar verklegu æfingar er að mæla nokkra kennistuðla tvískeyttra nóra og feta, og tengja niðurstöður fræðum og líkönum.

# 3 Ebers-Moll stuðlar

## 3.1 Fræði

Nórum má lýsa með svokölluðu Ebers-Moll líkani, sýnt á mynd 1



Mynd 1: Ebers-Moll líkan.

Þegar nóranum er stillt upp til að mæla strauminn  $I_{CBO}$  þá er emitter hafður opin, og líkaninu má þá lýsa eins og á mynd 2

Þá má segja að:

$$\begin{aligned} I_{CBO} &= I_{CS} - \alpha_F \alpha_R I_{CS} \\ &= I_{CS}(1 - \alpha_F \alpha_R) \end{aligned} \quad (1)$$

Vegna samhverfu gildir einnig

$$I_{EBO} = I_{ES}(1 - \alpha_F \alpha_R) \quad (2)$$

Og séu (1) og (2) sameinaðar gildir að

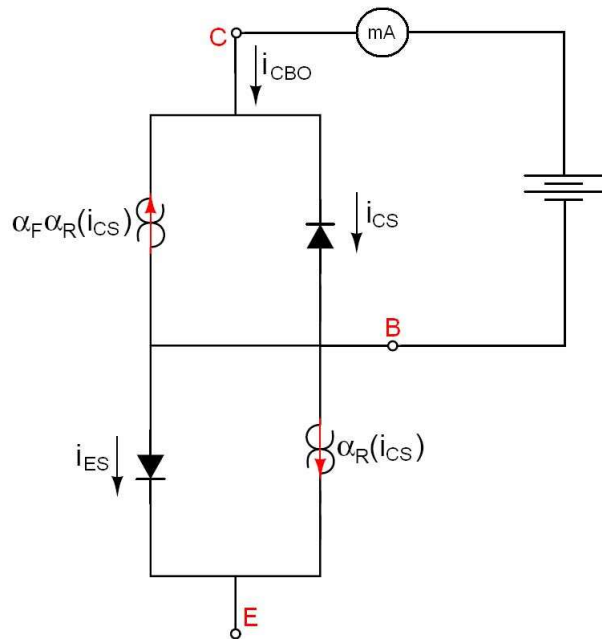
$$\frac{I_{CS}}{I_{ES}} = \frac{I_{CBO}}{I_{EBO}} \quad (3)$$

Út frá jöfnu 1 má sjá að

$$\alpha_R = \frac{1}{\alpha_F} \left( 1 - \frac{I_{CBO}}{I_{CS}} \right) \quad (4)$$

Út frá einföldum venslum collector, base og emitter má sjá að

$$1 - \alpha_F = \frac{I_{CBO}}{I_{CEO}}$$



Mynd 2: Ebers-Moll líkanið þegar emitter er opinn

svo  $\alpha_F$  er

$$\alpha_F = 1 - \frac{I_{CBO}}{I_{CEO}} \quad (5)$$

Vegna gagnkvæmni, þ.e.

$$\alpha_F I_{ES} = \alpha_R I_{CS}$$

og vegna samhverfu (jafna 3) má sjá að

$$\frac{\alpha_F}{\alpha_R} = \frac{I_{CS}}{I_{ES}} = \frac{I_{CBO}}{I_{EBO}}$$

þ.a. finna má  $I_{EBO}$  sem:

$$I_{EBO} = I_{CBO} \frac{\alpha_R}{\alpha_F} \quad (6)$$

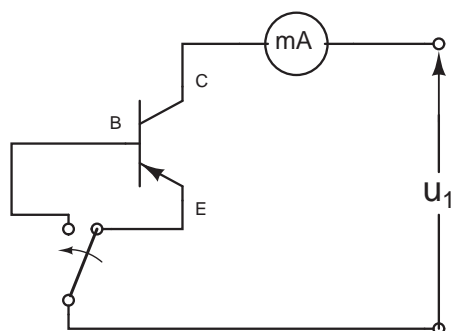
Einnig er sambandi  $\beta$  og  $\alpha$  lýst:

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1} \quad (7)$$

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad (8)$$

## 3.2 Framkvæmd

Tengdum rásina eins og mynd 3 sýnir. Samvæmt jöfnum 4, 5 og 6 og með hjálp mældu gildanna úr töflu 1 fundum við gildin í töflu 2



Mynd 3: Uppstilling rásar

Tafla 1: Mæld gildi á straumunum í Germaníum nóranum

	Mældur straumur [ $\mu\text{A}$ ]
$-I_{CBO}$	2.6
$-I_{CEO}$	100
$-I_{CS}$	13.3
$-I_{EBO}$	2.32

Tafla 2: Útreiknuð gildi  $\alpha_F$ ,  $\alpha_R$ ,  $I_{EBO}$  í Germaníum nóranum

	Mæld gildi
$\alpha_F$	0.974
$\alpha_R$	0.826
$-I_{EBO}$	2.2 $\mu\text{A}$

Eins og sést af gildunum í töflu 2 eru gildin á  $\alpha$  raunhæf og útreiknaða gildið á  $I_{EBO}$  er nálægt mælda gildinu (töflu 1)

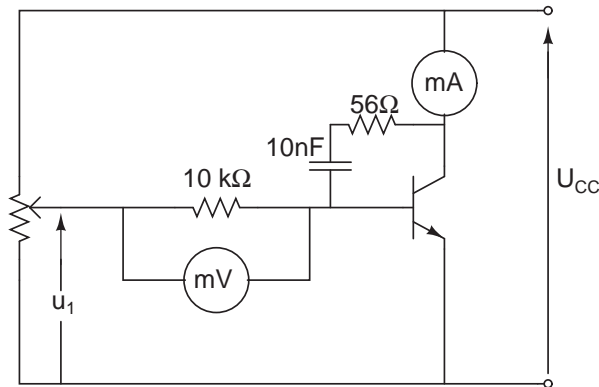
### Áhrif hitastigs

Við fylgdumst með  $I_{EBO}$  þegar við breyttum hitastiginu. Við prufuðum að halda fast utan um nórans til að hita hann og notuðum kæliúða til að frysta hann. Við hitun fór  $I_{EBO}$  mest í 9  $\mu\text{A}$  og við kælingu minnkaði hann alveg niður í 0.09  $\mu\text{A}$ . Munar því 3 stærðargráðum á heitum og köldum  $I_{EBO}$  sem er umtalsvert. Hér sést því hversu mikilvægt var að reyna að halda hitastigi nórans sem mest óbreyttu milli mælinga á gildunum í töflu 1. Við gerðum það með því að reyna aldrei að snerta nórans og láta straum aðeins ganga inn á hann rétt á meðan mælingunni stóð.

## 4 Straummögnun

### 4.1 Undirbúningur

Við stilltum upp skv. mynd 4



Mynd 4: Uppstilling á rás fyrir Straummögnun

### 4.2 Framkvæmd

Við byrjuðum á því að hafa base frátengdan og athuguðum hvort  $I_{CEO}$  væri merkjanlegur, sem hann var ekki. Því næst mældum við  $i_B$  við tvö gildi á  $i_C$ . Og reiknuðum  $\beta$  út frá mældu stærðunum.  $\beta$  er skilgreint skv. jöfnu (9).

$$\beta = \frac{i_C}{i_B} \quad (9)$$

Tafla 3: Mæling á straummögnun

$i_C$ [mA]	$i_B$ [ $\mu$ A]	$\beta$
0,25	1,07	233,65
2,5	10,07	248,26

Næst stilltum við  $i_C$  á 1 mA, og skoðuðum áhrif sem það hefur á  $i_B$  að opna collector-rásina.

Tafla 4: Áhrif þess að aftengja  $i_C$ , á  $i_B$

$i_B$ með $i_C$ tengdan [ $\mu$ A]	$i_B$ með $i_C$ opinn [ $\mu$ A]
4,49	11,59

Næst víxluðum við collector og emitter og fundum  $\beta_R$  við „ $i_C$ “ = 2,5 mA.

$$\begin{aligned} \text{„}i_C\text{“} &= 2,5 \text{ mA} \\ i_B &= \frac{4,28 \text{ V}}{10 \text{ k}\Omega} = 428 \mu\text{A} \\ \beta_R &= \frac{\text{„}i_C\text{“}}{i_B} = 5,84 \end{aligned}$$

$u_1$  var stillt á núll. Þegar veituspenna var hækkuð upp fyrir 5 V. Þegar við vorum komnir með veituspennuna upp í 8,2 V þá hækkaði skyndilega „ $i_C$ “. Þegar  $u_1$  er stilltur á núll, þá virka base-collector skeytin sem bakspennt díóða og því þegar þröskuldsspennu er náð þá fara skeytin í hrun og  $I_{CEO}$  eykst.

Nú var collector og emitter víxlað aftur og veituspenna stillt á 20 V.  $I_{CEO}$  var ekki merkjanlegur. Mældum  $i_B$  við  $i_C = 2,5$  mA, endurtókum þetta fyrir 1 V veituspennu. Og er það skráð í töflu (5).

Tafla 5: Mæld gildi  $i_B$  við tvö mismunandi spennugildi

$U_{cc}$ [V]	$i_C$ [mA]	$i_B$ [ $\mu$ A]
20	2,5	9,4
1	2,5	10,4

Berum saman hlutfallslegar breytingar  $\frac{i_C}{i_B}$  og  $\frac{i_C}{-i_E}$ . Notum jöfnur (9) og (10). Og skráum niðurstöður í töflu (6).

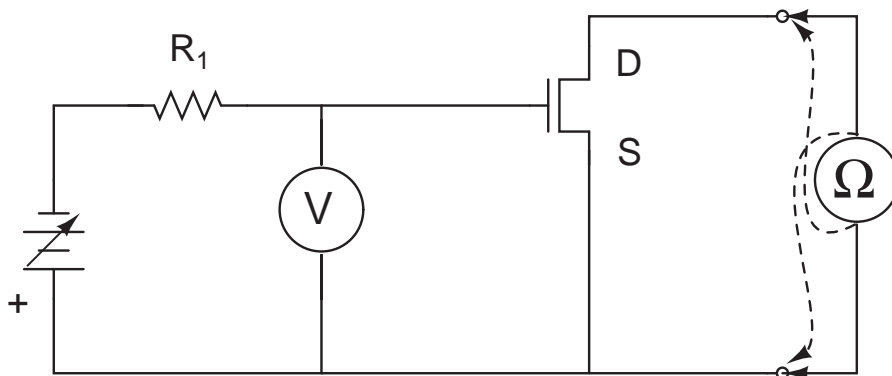
$$\frac{i_C}{-i_E} = \alpha = \frac{\beta}{1 + \beta} \quad (10)$$

Tafla 6: Reiknuð gildi  $\alpha$  og  $\beta$  við mismunandi spennugildi

$U_{cc}$ [V]	$\beta$	$\alpha$
20	265,96	0,9963
1	240,85	0,9959

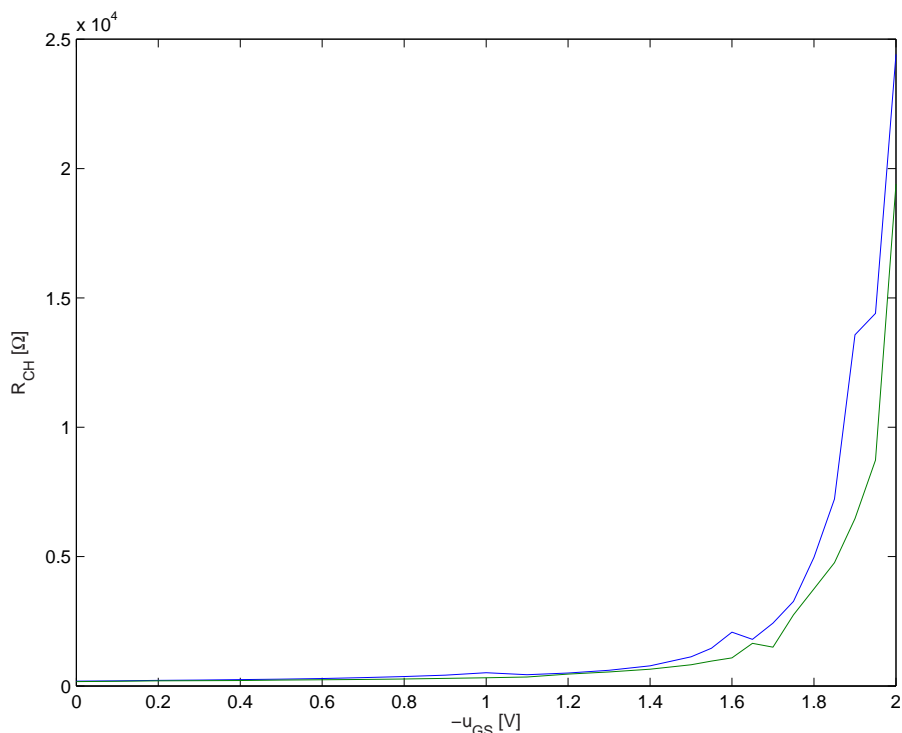
## 5 Rásarviðnám feta

Rás var tengd samkvæmt mynd.



Mynd 5: Uppstilling á rás fyrir rásarviðnám feta.

Við mældum viðnámið milli drain og source við mismunandi gildi á  $u_{GS}$  frá núlli. Í sérhverju gildi var tengingum mælis víxlað og viðnám skráð fyrir hvora mælingu fyrir hvert gildi á  $u_{GS}$ . Niðurstöður mælinga má sjá á grafi. Bláa línan táknar rásarviðnámið þegar jákvæða skaut íspennunnar er tengt í drain en græna línan táknar  $R_{ch}$  þegar jákvæða skautið er tengt í source. Athugið einnig að þar sem koma fram stökk í ferlunum var fjölmælirinn að skipta um mælisvið.



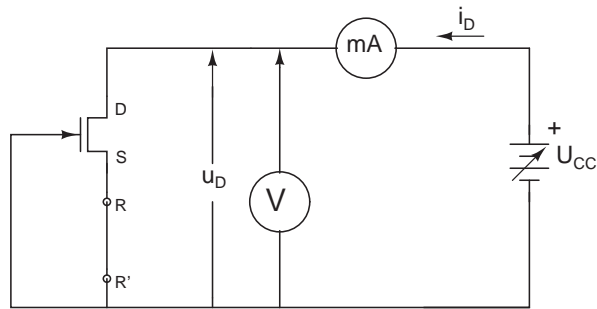
Mynd 6: Rásarviðnám  $R_{ch}$  sem fall af stýrispennu

Við sjáum að það kemur fram greinilegur munur á tengingum. Þegar jákvæða skautið er tengt í drain ná þurrðarbilin því sem næst saman næst drain. Þegar jákvæða skautið er tengt í source ná þurrðarbilin hins vegar ekki saman. Þetta er í raun vegna mismunandi íbætingar í drain og source. Þess vegna vex  $R_{ch}$  hraðar þegar tengt er í drain.

Við sjáum af grafinu að viðnámið vex veldislega svo við getum í raun litið á  $i_D$  sem fasta. Við getum þá fundið pinch-off spennuna  $U_P$  út frá grafinu. Sjáum að það er við  $\approx -1,5$  V þegar plúsinn er tengdur í drain og  $\approx -1,7$  V í öfugri tengingu.

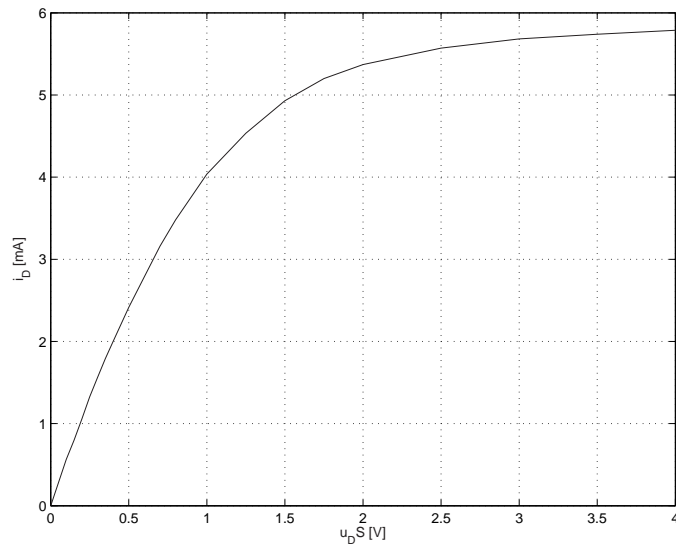
## 6 Mettun

Hér var notast við n-rásar JFET og hann tengdur eins og á mynd 7



Mynd 7: Uppstilling á mettnarmælingum

Straumtakmörkun var sett á 30 mA og  $u_{DS}$  var mælt við mismunandi gildi á  $i_D$ . Niðurstöðurnar eru á mynd 8

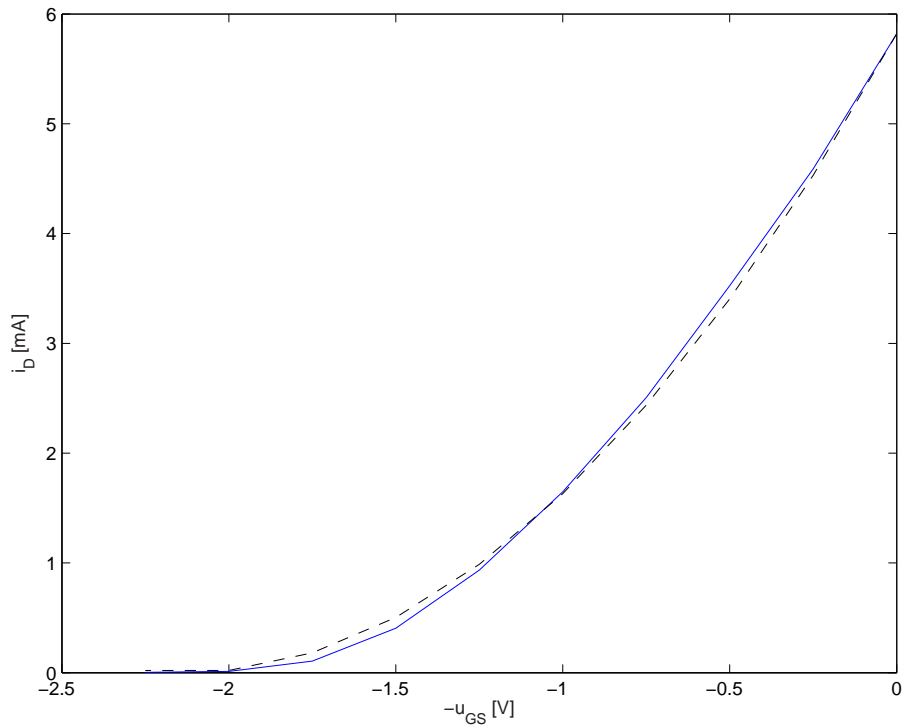


Mynd 8: mæld  $\frac{i_D}{u_{DS}}$  kennilína

Eftir að hafa tengt  $560 \Omega$  viðnám milli R og R' á mynd 7 kom í ljós að mettnun verður við  $i_D \approx 1.6 \text{ mA}$  og  $u_D \approx 1.9 - 2 \text{ V}$

## 7 $i_D/u_{GS}$ - kennilína

Hér var ætlunin að mæla stýri- eða innkennilínu fetans í mettun. Tengt var samkvæmt mynd.  $U_{DD}$  var valin 9V og var í raun notað 9V rafhlaða. Þá mældum við  $i_D$  sem fall af  $u_{GS}$ . Niðurstöður má sjá á grafi:



Mynd 9:  $i_D/u_{GS}$  - kennilína

Við létum 2. stigs feril falla að grafinu og eins og sjá má fellur sá ferill (brotalínan á grafinu) næstum því fullkomlega að kennilínunni og er því jafna Middlebrooks greinilega ansi góð nálgun á kennilínuna.

## 8 Hitaáhrif

Sama uppstilling var notuð og í  $i_D/u_{GS}$  kennilínu kaflanum. Hér voru athuguð áhrif hitastigs á  $i_D$ , annars vegar með  $u_{GS} = 0$  og hins vegar með  $u_{GS} \approx U_P$ . Notaður var kæliúði til þess að kæla nórann og heitt kaffi til þess að hita nórann.

### 8.1 Niðurstöður

Niðurstöður mælinganna má sjá í töflu hér að neðan. Gildið við stofuhita er fengið úr kaflanum hér að framan.

Tafla 7: Áhrif hitastigs á  $i_D$

	$i_D$ [mA]		
	Stofuhiti	Hitaður	Kældur
$u_{GS} = 0$	5.82	5.7	8.2
$u_{GS} = U_P$	0	1	0

Við sjáum að þegar gate-source spennan er engin eykst drain-straumur um  $\approx 2$  mA með kælingu. Hann minnkar örlítið með hitun. Þegar gate-source spennan er við pinch-off er drain-straumur nánast enginn. Hann nær hins vegar að aukast upp í 1 mA þegar nórinn er kældur. Hitun hafði lítil áhrif, enda straumur nánast enginn fyrir.

Við höfðum því miður ekki tíma til að finna gildi á  $u_{GS}$  sem gerði nórann óháðan hitastigi.

## 9 Lokaorð

Ebers-Moll stuðlar sem við mældum komu vel saman við útreiknuð gildi út frá líkaninu. Gildið á  $\alpha_F = 0,974$  hljómar mjög líklega miðað við það sem við þekkjum. Í straum-mögnunarkaflanum fengum við gildi á  $\beta = 248 @ i_C = 2,5mA$  sem hljómar líka mjög líklega miðað við fyrri reynslu. Í kaflanum um rásarviðnám feta sáum við að ólík íbæting í drain og source veldur því að rásarviðnám fetans er breytilegt eftir því hvernig jákvætt skaut viðnámsmælis er tengt. Við sáum líka greinilega hvernig metnun verður í feta. Kennilínu feta mældum við einnig og kom hún ansi vel saman við 2. stigs feril sem við lögðum upp að henni.

Í heildina fannst okkur þessi æfing ganga betur en sú fyrsta, enda komnir með betri bakgrunn og reynslu í fræðunum sem liggja að baki.