



HÁSKÓLI ÍSLANDS

Raunvísindadeild

Eðlisfræðiskor

Vinnuseðlar í Eðlisfræði 2A
Vormisseri 2007

Marteinn Sverrisson 2000

Endurskoðað af Unnari Arnalds 2007

Endurskoðað af Snorra Ingvarssyni 2009 og 2012

©2007 Marteinn Sverrisson (matti@raunvis.hi.is)

Vinnuseðlar í Eðlisfræði 2A

Marteinn Sverrisson 2000

Endurskoðað af Unnari Arnalds 2007

Endurskoðað af Snorra Ingvarssyni 2009 og 2012

Efnisyfirlit

	4.4	Magnari með inntak á gátt og úttak á lind	16
I	Spenna og straumur	2	
1	Mæling á spennu og straumi	2	
1.1	Undirbúningur	2	
1.2	Spenna rafhlöðu	2	
1.3	Lögmál Ohms	2	
1.4	Viðnám	3	
1.5	Leiðni	3	
1.6	Spennudeilir	4	
1.7	Innra viðnám rafhlöðu	4	
1.8	Ólínulegt viðnám	4	
1.9	Ljósapera	5	
II	Riðstraumur og RCL rásir	6	
2	Riðstraumur og RCL rásir	6	
2.1	Innra viðnám sveifflugjafa	6	
2.2	Mæling á riðspennu	6	
2.3	Tímasvörun RC rásar	6	
2.4	Tvinnviðnám í RC rás	7	
2.5	Tímasvörun RL rásar	8	
2.6	Tvinnviðnám í RL rás	9	
2.7	Span og eigintíðni RCL rásar	9	
III	Tvistar („díóður”)	11	
3	Tvistar	11	
3.1	I,V ferill fyrir tvist og ljómtvist	11	
3.2	Kennilína tvists	11	
3.3	Afriðill	11	
3.4	„Clamped capacitor”	12	
3.5	Ljóssemi	12	
3.6	Spennustaðall með Zenertvist	12	
IV	Smárar (e. transistors)	14	
4	Smárar og smáramagnarar	14	
4.1	Kennilína smára	14	
4.2	Kennilína sviðssmára	14	
4.3	Magnari með inntak á beini og úttak á eimi	15	
V	Aðgerðamagnarar	18	
5	Aðgerðamagnarar	18	
5.1	Magnari með afturverkun	18	
5.2	Magnari með jákvæðri mögnun	19	
5.3	Summurás	19	
5.4	Tegrunarrás	20	
5.5	Diffrunarrás	20	
5.6	Ljósmælir	21	
5.7	Hitamælir	21	
5.8	Hleðslunæmur magnari	21	
VI	Diffurmagnarar	23	
6	Diffurmagnari	23	
6.1	Mælitæknimagnari	23	
6.2	Mælitæknimagnari með sammerki á v_{inn+} og v_{inn-}	24	
6.3	Lograrás	25	
6.4	Sveifluvaki með Wien brú	26	
VII	Jákvæð afturverkun	27	
7	Jákvæð afturverkun	27	
7.1	Samanburðarrás	27	
7.2	Schmitt gikkur	27	
7.3	Óstöðug vippa	28	
VIII	Orðalisti	30	

Hluti I

Spenna og straumur

Inngangur

Tilgangur þessara æfinga er að kynna nemendum undirstöðuatriði varðandi rafeindarásir og mælitækni. Til að hafa sem mest gagn af þessum verkefnum ætti að hafa eftirfarandi vinnulag:

- Skrá mælingar á skipulegan hátt í vinnubók.
- Vinna jafnharðan úr mælingunum og rita í vinnubókina.
- Skrá eigin athugasemdir um tilraunina í vinnubókina.

Stuðst verður við kennslubókina: „Electronic Devices” eftir Thomas L. Floyd.

1 Mæling á spennu og straumi

Í þessari æfingu er samband straums og spennu í einföldum rafrásum skoðað. Við byrjum á því að mæla spennuna yfir 1.5V rafhlöðu og tengjum síðan viðnám við rafhlöðuna og könnum samband straums og spennu yfir viðnámið.

1.1 Undirbúningur

Áður en mælingar eru gerðar er rétt að huga að skráningu mælitækja. Þetta skal gera fyrir öll mælitæki, sem notuð eru í námskeiðinu.

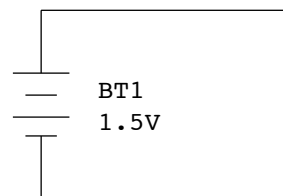
- Skráið hjá ykkur heiti og tegund mælitækis ásamt verksmiðjunúmeri (e. Serial Number).
- Skráið einnig nákvæmni og mælisvið mælitækis, eftir því sem við á.

Þið þurfið ef til vill að fá aðstoð kennara við að finna tæknilegar upplýsingar um mælitækin.

1.2 Spenna rafhlöðu

Á mynd 1 er táknmynd fyrir rafhlöðu.

1. Mælið með fjölmæli spennuna yfir rafhlöðuna.
2. Mælið einnig rafhlöðuspennuna með sveiflusjá.
3. Berið saman þessar tvær mælingar og ræðið nákvæmni þeirra.



Mynd 1: Rafhlaða

1.3 Lögmál Ohms

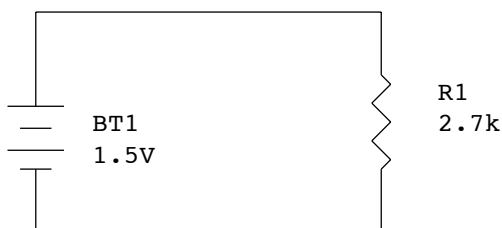
Nú könnum við lögmál Ohms um samband spennu og straums. V er spenna, I er straumur og R er viðnám.

$$V = IR \quad (1)$$

Tengið viðnám við rafhlöðuna eins og sýnt er á mynd 2 og gerið eftirfarandi mælingar (notið 1.5 V rafhlöðu og 2.7 k Ω viðnám eins og sýnt er í myndinni):

1. Mælið með fjölmæli spennuna V yfir viðnámið.
2. Mælið einnig strauminn I í gegnum viðnámið.
3. Reiknið út stærð viðnámsins R samkvæmt (1), út frá mælingunum á V og I .
4. Berið niðurstöðuna saman við uppgefið gildi á R .

5. Reiknið aflið í viðnáminu.
6. Endurtakið tilraunina fyrir $10\ \Omega$ viðnám. Athugið að rafhlaðan tæmist mjög hratt við þessar aðstæður.
 - (a) Er spennan yfir viðnámið lægri en áður? Af hverju?
 - (b) Reiknið aflið.
 - (c) Er aflið hærra en viðnámið þolir? Venjulega þola viðnám frá $0.25\ \text{W}$ upp í $2\ \text{W}$.
 - (d) Hversu mikla spennu þarf til að brenna viðnámið yfir?



Mynd 2: Lögmál Ohms. Á myndinni stendur k fyrir $k\Omega$.

1.4 Viðnám

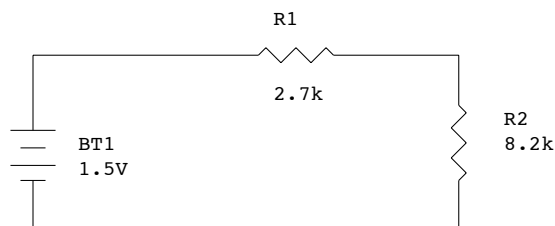
Nú könnum við lögmál Ohms um samband spennu og straums fyrir raðtengd viðnám. Ef sami straumur er í gegnum viðnámin gildir

$$V = IR = IR_1 + IR_2 + \dots \quad (2)$$

Tengið viðnám við rafhlöðuna eins og sýnt er á mynd 3 og gerið eftirfarandi mælingar

1. Mælið með fjölmæli spennuna V_1 yfir viðnámið R_1 .
2. Mælið með fjölmæli spennuna V_2 yfir viðnámið R_2 .
3. Mælið einnig strauminn I í gegnum viðnámin.

4. Reiknið út stærð viðnámsins R samkvæmt 1, út frá mælingunum á V og I .
5. Berið niðurstöðuna saman við uppgefið gildi á $R = R_1 + R_2$.
6. Reiknið aflið í viðnámunum hvoru um sig og heildaraflið.



Mynd 3: Lögmál Ohms, raðtengd viðnám

1.5 Leiðni

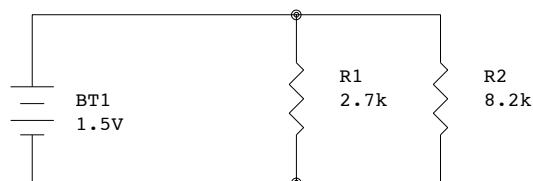
Nú könnum við lögmál Ohms um samband spennu og straums fyrir samsíða tengd viðnám. Ef sama spennan er yfir viðnámin gildir

$$I = VG = VG_1 + VG_2 + \dots \quad (3)$$

þar sem G er leiðni. $G = 1/R$.

Tengið viðnámin við rafhlöðuna eins og sýnt er á mynd 4 og gerið eftirfarandi mælingar

1. Mælið með fjölmæli spennuna V yfir viðnámin.
2. Mælið strauminn I_1 í gegnum viðnámið R_1 .
3. Mælið strauminn I_2 í gegnum viðnámið R_2 .
4. Reiknið út stærð viðnámsins R samkvæmt (1), út frá mælingunum á V og I .
5. Berið niðurstöðuna saman við uppgefið gildi á R , sem fæst úr $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$.
6. Reiknið aflið í viðnámunum hvoru um sig og heildaraflið.



Mynd 4: Lögmál Ohms, samsíðatengd viðnám

1.6 Spennudeilir

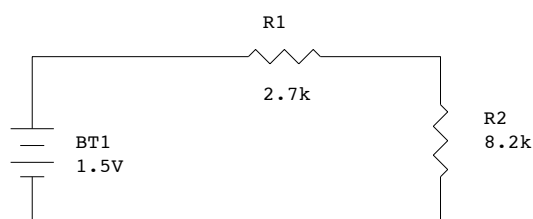
Viðnám eru oft notuð til að lækka spennu frá spennugjafa. Á mynd 5 er einfaldur spennudeilir sem gefur út V_{ut} (yfir R_2) þegar innspennan er V_{inn} .

$$V_{ut} = V_{inn} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (4)$$

Innra viðnám nýja spennugjafans V_{ut} er

$$R_i = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (5)$$

Tengið rásina á mynd 5.



Mynd 5: Spennudeilir

1. Mælið innspennuna V_{inn} og útspennu V_{ut} .
2. Berið niðurstöður saman við fræðin (jöfnu 4).
3. Lítið á spennudeilinn sem nýjan spennugjafa. Reiknið R_i , innra viðnám nýja spennugjafans skv. jöfnu 5.
4. Finnið aðferð til að mæla innra viðnám-ið beint með því að nota fjölmæli sem er stilltur á viðnámsmælingu.

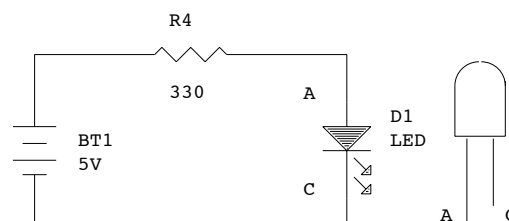
1.7 Innra viðnám rafhlöðu

Allir spennugjafar hafa innra viðnám sem lækkar útspennuna ef mikill straumur rennur úr þeim. Ef spennugjafi hefur innra viðnám má lýsa honum sem íspennugjafa sem sem gefur frá sér íspennu sem hægt er að mæla þegar enginn straumur rennur frá honum og innra viðnámi sem er raðtengt við íspennugjafann. Mæld spenna yfir spennugjafa þegar straumur rennur frá honum er venjulega kölluð pólspena.

1. Leiðið út jöfnu sem lýsir innra viðnámi spennugjafa sem er tengdur yfir viðnám.
2. Tengid 10 Ω viðnám yfir rafhlöðuna. Athugið að rafhláðan tæmist mjög hratt við þessar aðstæður.
3. Mælið pólspennuna yfir rafhlöðuna. Er hún lægri en íspenna rafhlöðunnar?
4. Reiknið innra viðnám rafhlöðunnar

1.8 Ólínulegt viðnám

Sem dæmi um ólínulegt viðnám notum við ljómtvist (e. LED). Tengid ljómtvistinn og $R_4 = 330\Omega$ viðnám við 5V spennugjafa eins og mynd ?? sýnir. Verið viss um að ljómtvisturinn snúi rétt, þ.e. lýsi.



Mynd 6: Ólínulegt viðnám

1. Mælið með fjölmæli spennuna V_l yfir ljómtvistinn.
2. Mælið strauminn I_l í gegnum ljómtvistinn D_1 .

Setjið nú 680Ω viðnám, sem R_4 og endurtakið mælingarnar. Endurtakið mælingarnar með $6.8k\Omega$ viðnámi. Hafið þið einhverja skýringu á því hvers vegna straumurinn og spennan hegða sér mismunandi eftir því hvaða viðnám er notað.

1.9 Ljósapera

Annað dæmi um ólínulegt viðnám er viðnám-
ið í 12 Volta ljósaperu, sem breytist með hitastigi glóðarþráðarins. Tengid 12 Volta peru við breytilegan spennugjafa.

1. Mælið spennuna yfir peruna og strauminn í rásinni fyrir 5 til 10 gildi á spennunni á bilinu 0 til 12 Volt.
2. Gerið línurit, sem sýnir strauminn í perunni, sem fall af spennunni yfir peruna.
3. Reiknið út viðnám ljósaperunnar og gerið línurit, sem sýnir viðnámið sem fall af spennunni.

Hluti II

Riðstraumur og RCL rásir

2 Riðstraumur og RCL rásir

Í þessari æfingu er skoðaður eiginleiki riðstraums og svörun RC , RL og RCL rása við honum.

Lesefni: Fyrirlestranótur.

2.1 Innra viðnám sveifflugjafa

Sveifflugjafar hafa oft umtalsvert innra viðnám sem hefur áhrif á hegðun rafrása sem þeir eru tengdir við.

1. Kveikið á sveifflugjafanum og stillið hann á sínussveiflu með hentugu spennuútslagi. Mælið spennuna og skráið sem íspennu.
2. Tengið nú stillanlegt viðnám við sveifflugjafann.
3. Mælið pólsennu sveifflugjafans og breytið viðnámínu þar til pólsennan er orðin hálf íspennan. Þá er viðnámsgildi stillanlega viðnámsins jafnt innra viðnámi sveifflugjafans. Skráið það niður.

2.2 Mæling á riðspennu

Almenn veituspenna á Íslandi er 230 Volta RMS riðspenna með tíðnina 50 Hz. Þegar talið er um riðspennu er mælieiningin Volt, en þá er átt við RMS spennu (e. Root Mean Square) eða virka spennu, oft táknuð V_{RMS} .

Ef við hugsum okkur viðnám R , sem tengt er veituspennunni $V(t) = \hat{V} \sin \omega t$ þá fæst augnabliksgildi aflsins í viðnámínu með því að margfalda saman spennuna og strauminn, eins og sést með jöfnu (6)

$$P(t) = V(t)I(t) = \frac{V^2(t)}{R} \quad (6)$$

Meðalaflíð í viðnámínu fæst með tegrún

$$\overline{P(t)} = \frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt \quad (7)$$

$$= \frac{1}{T} \int_0^T \frac{\hat{V}^2 \sin^2(\omega t)}{R} dt \quad (8)$$

$$= \frac{\hat{V}^2}{2R} \quad (9)$$

$$= \frac{V_{RMS}^2}{R} \quad (10)$$

$$V_{RMS} = \frac{\hat{V}}{\sqrt{2}} \text{ sinus spenna} \quad (11)$$

Spenna með gildinu V_x Volt RMS gefur því sama afl í viðnámið R og jafnspenna sem er V_x Volt. Athugið að RMS mæligildið er algjörlega óháð því hvernig bylgjuform spennunnar $V(t)$ er. Almennt gildir því

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V^2(t) dt} \quad (12)$$

2.3 Tímasvörun RC rásar

Við byrjum á því að skoða einfalda RC rás með því að leysa diffurjöfnuna fyrir rásina og skoða svörun hennar við kassabylgju. Á mynd 7 er einföld RC rás tengd spennugjafa. Við getum reiknað spennuna yfir þéttinn $V_C = V_{ut}$, sem fall af $V(t) = V_{inn}$ með því að nota lögmál Kirchhoffs sem segir að $\sum V = 0$ yfir rásina.

$$V_R + V_C - V(t) = 0 \quad (13)$$

$$RI + \frac{1}{C} \int I dt - V(t) = 0 \quad (14)$$

við vitum að hleðsla þéttisins er $Q = CV_C$ og þá er hægt að reikna strauminn

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad (15)$$

$$I = C \frac{dV_C}{dt} \quad (16)$$

Með innsetningu í jöfnu (14) fæst

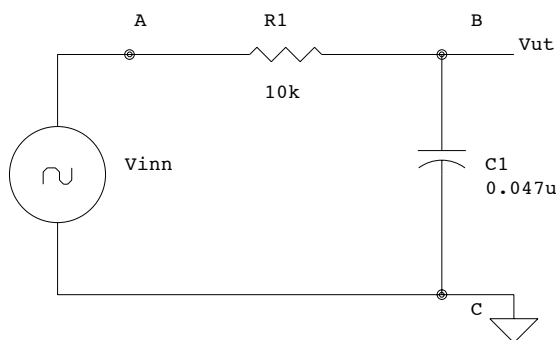
$$RC \frac{dV_C}{dt} + \frac{1}{C} \int C \frac{dV_C}{dt} dt = V(t) \quad (17)$$

$$RC \frac{dV_C}{dt} + V_C = V(t) \quad (18)$$

Almenna lausnin á jöfnu (18) er

$$V_C(t) = \frac{1}{RC} \int_{-\infty}^t V(\tau) e^{-\frac{(t-\tau)}{RC}} d\tau \quad (19)$$

stuðullinn RC er kallaður **tímastuðull** rásarinnar og C er rýmd (e. capacitance) þéttisins. Ef maður setur innspennuna sem kassabylgju,



Mynd 7: RC rás. $R_1 = 10k\Omega$, $C_1 = 0.047\mu F$.

sem er skilgreind þannig að $V(t) = 0$ þegar $t < 0$ og $V(t) = V_0$ ef $t \geq 0$ fæst útspennan

$$V_C(t) = V_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) \quad (20)$$

Tengið rásina á mynd 7 og stillið spennugjafann á kassabylgju og gerið eftirfarandi athugasemdir á rásinni með sveiflusjá.

1. Skoðið spennuna yfir þéttinn og teiknið hana upp sem fall af tíma.
2. Finnið tímastuðul RC rásarinnar, með því að finna t þegar $V_C(t) = 0.63V_0$.
3. Setjið $0.1\mu F$ þétti samsíða C_1 og finnið tímastuðulinn. Hver er rýmd hliðtengdra þetta?
4. Setjið $0.1\mu F$ þéttinn í röð með C_1 og finnið tímastuðulinn. Hver er rýmd raðtengdra þetta?

5. Berið niðurstöður mælinga saman við fræði.

2.4 Tvinnviðnám í RC rás

Oft er einfaldara að skoða rásir með því að nota sínuslaga spennu $V(t)$ á einni tíðni f , fremur en að vinna með jöfnu (20). Við höfum RC rásina á mynd 7, sem tengd er spennugjafa með sínusspennunni $V(t) = \hat{V} \cos(\omega t + \alpha)$, þá verður straumurinn í rásinni $I(t) = \hat{I} \cos(\omega t + \beta)$. Við skilgreinum viga $\mathbf{V}$ og $\mathbf{I}$ þannig að

$$V(t) = \mathcal{R}e(\mathbf{V}e^{j\omega t}) \quad (21)$$

$$I(t) = \mathcal{R}e(\mathbf{I}e^{j\omega t}) \quad (22)$$

$$\mathbf{V} = \hat{V}e^{j\alpha} \quad (23)$$

$$\mathbf{I} = \hat{I}e^{j\beta} \quad (24)$$

þá verður sambandið milli straums og spennu í RC rásinni samkvæmt jöfnu (14)

$$R\mathbf{I}e^{j\omega t} + \frac{1}{C} \int \mathbf{I}e^{j\omega t} dt - \mathbf{V}e^{j\omega t} = 0 \quad (25)$$

ennfremur er

$$\int \mathbf{I}e^{j\omega t} dt = \frac{1}{j\omega} \mathbf{I}e^{j\omega t} \quad (26)$$

setjum þetta inn í jöfnu (25) og fáum

$$R\mathbf{I}e^{j\omega t} + \frac{1}{j\omega C} \mathbf{I}e^{j\omega t} = \mathbf{V}e^{j\omega t} \quad (27)$$

Skilgreini tvinnviðnámið (e. impedance), sem vigurinn $\mathbf{Z} = \frac{\mathbf{V}}{\mathbf{I}}$ og þá fæst gildið á $\mathbf{Z}$ úr jöfnu (27)

$$\mathbf{Z} = R - j\frac{1}{\omega C} \quad (28)$$

$$= \frac{\hat{V}}{\hat{I}} e^{j(\alpha-\beta)} \quad (29)$$

$$= |\mathbf{Z}| e^{j\varphi} \quad (30)$$

$$|\mathbf{Z}|^2 = R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2} \quad (31)$$

$$\tan \varphi = -\frac{1}{\omega RC} \quad (32)$$

Þessar líkingar hér að framan lýsa hvernig tvinnviðnámið í RC rás er háð tíðni. Tvinnleiðnin er skilgreind, sem $Y = \frac{1}{Z}$.

Til að finna útspennuna yfir þéttinn notum við okkur að sami straumur fer í gegnum viðnámið og þéttinn og fáum

$$V_{ut} = V_{inn} \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} \quad (33)$$

$$V_{ut} = V_{inn} \frac{1}{1 + j\omega RC}. \quad (34)$$

Hlutfallið $\left| \frac{V_{ut}}{V_{inn}} \right|$ er fengið með jöfnunni

$$\left| \frac{V_{ut}}{V_{inn}} \right| = \left| \frac{1}{1 + j\omega RC} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C^2}} \quad (35)$$

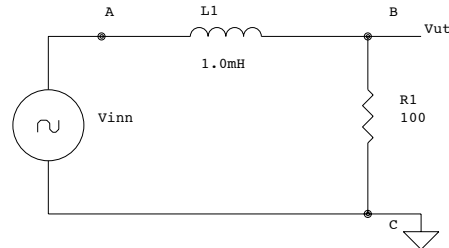
RC rásin líkist spennudeilinum í fyrstu æfingunni, en útspennan er háð tíðni. Við sjáum að ef $\omega \approx 0$ er $V_{ut} \approx V_{inn}$ og þegar $\omega \rightarrow \infty$ verður $V_{ut} \approx 0$. Rásin er sía, svokallað lágtíðnihlið, sem sker af háár tíðnir.

Til að kanna hvernig sambandi innspennu og útspennu í RC rásinni er háttað notum við rásina á mynd 7. Rásin er tengd við sveifluggjafann og stillt á sínusbylgju. Tveggja rása sveiflusjá og stafrænn spennumælir notuð til að mæla spennur.

1. Tengid sveiflusjána þannig að hún sýni innspennu V_{inn} á annarri rásinni en útspennu V_{ut} yfir þéttinn á hinni.
2. Mælid spennurnar með sveiflusjá þegar $f = \frac{1}{2\pi RC}$. Ákvarðið hlutfallið $\left| \frac{V_{ut}}{V_{inn}} \right|$ og berið saman við jöfnu (35).
3. Mælid sveiflustærð V_{inn} og V_{ut} og fasamun með sveiflusjá fyrir nokkrar mismunandi tíðnir á bilinu 10 Hz til 100 kHz.
4. Gerið graf af $|H(\omega)| = \left| \frac{V_{ut}}{V_{inn}} \right|$ sem fall af tíðni. Notið lograkvarða á tíðniásinn.
5. Gerið graf af fasamuninum skv. yfir færslufallinu $H(\omega)$ sem fall af tíðni.

6. Hvernig rás er þetta (hvernig hegðar V_{ut} sér miðað við V_{inn} sem fall af tíðni)?

2.5 Tímasvörun RL rásar



Mynd 8: RL rás. $R_1 = 100\Omega$, $L_1 = 1.0\text{mH}$.

Nú skoðum við einfalda RL rás með því að leysa diffurjöfnuna fyrir rásina og skoða svörun hennar við kassabylgju. Á mynd 8 er RL rás tengd spennugjafa. Við getum reiknað strauminn gegnum spóluna I_L , sem fall af $V(t) = V_{inn}$ með því að nota lögmál Kirchoffs sem segir að $\sum V = 0$ yfir rásina.

$$V_R + V_L - V(t) = 0 \quad (36)$$

$$RI + L \frac{dI}{dt} = V(t) \quad (37)$$

$$I + \frac{L}{R} \frac{dI}{dt} = \frac{V(t)}{R} \quad (38)$$

Almenna lausnin á jöfnu (38) er

$$I_L(t) = \frac{R}{L} \int_{-\infty}^t \frac{V(\tau)}{R} e^{-\frac{(t-\tau)}{L/R}} d\tau \quad (39)$$

stuðullinn $\frac{L}{R}$ er kallaður **tímastuðull** rásarinnar og L er spanstuðull (e. inductance) spólunnar.

Ef maður setur innspennuna sem kassabylgju, sem er skilgreind þannig að $V(t) = 0$ þegar $t < 0$ og $V(t) = V_0$ ef $t \geq 0$ fæst útspennan yfir viðnámið $V_R(t) = RI_L$ sem

$$V_R(t) = RI_L = V_0(1 - e^{-\frac{t}{L/R}}) \quad (40)$$

Tengið rásina á mynd 8 og stillið spennugjafann á kassabylgju og gerið eftirfarandi athuganir á rásinni með sveiflusjá. Athugið að

nú skiptir innra viðnám sveifflugjafans og innra viðnám spólunnar máli svo taka þarf tillit til þeirra.

1. Skoðið spennuna yfir viðnámið og teiknið hana upp sem fall af tíma.
2. Finnið tímastuðul RL rásarinnar, með því að finna t þegar $V_R(t) = 0.63V_0$.
3. Berið tímastuðulinn saman við reiknað gildi.
4. Setjið 1.0mH spólu samsíða L_1 og finnið tímastuðulinn. Hver er spanstuðull hliðtengdra spóla?
5. Setjið 1.0mH spóluna í röð með L_1 og finnið tímastuðulinn. Hver er spanstuðull raðtengdra spóla?
6. Berið niðurstöður mælinga saman við fræði.

2.6 Tvinnviðnám í RL rás

Ef við höfum RL rásina á mynd 8 sem tengd er spennugjafa með sinusspennu $V(t) = \hat{V} \cos(\omega t + \alpha)$, þá verður straumurinn í rásinni $I(t) = \hat{I} \cos(\omega t + \beta)$. Við skilgreinum vigrar V og I þannig að

$$V(t) = \mathcal{R}e(\mathbf{V}e^{j\omega t}) \quad (41)$$

$$I(t) = \mathcal{R}e(\mathbf{I}e^{j\omega t}) \quad (42)$$

$$\mathbf{V} = \hat{V}e^{j\alpha} \quad (43)$$

$$\mathbf{I} = \hat{I}e^{j\beta} \quad (44)$$

þá verður sambandið milli straums og spennu í RL rásinni samkvæmt jöfnu (38)

$$R\mathbf{I}e^{j\omega t} + L\frac{d\mathbf{I}e^{j\omega t}}{dt} - \mathbf{V}e^{j\omega t} = 0 \quad (45)$$

ennfremur er

$$\frac{d\mathbf{I}e^{j\omega t}}{dt} = j\omega\mathbf{I}e^{j\omega t} \quad (46)$$

setjum inn í jöfnu (45) og fáum

$$R\hat{I}e^{j\omega t} + j\omega L\hat{I}e^{j\omega t} = \hat{V}e^{j\omega t} \quad (47)$$

Skilgreini tvinnviðnámið, sem $\mathbf{Z} = \frac{\mathbf{V}}{\mathbf{I}}$ þá fæst gildið á $\mathbf{Z}$

$$\mathbf{Z} = R + j\omega L \quad (48)$$

$$= \frac{\hat{V}}{\hat{I}}e^{j(\alpha-\beta)} \quad (49)$$

$$= |\mathbf{Z}|e^{j\varphi} \quad (50)$$

$$|\mathbf{Z}|^2 = R^2 + \omega^2 L^2 \quad (51)$$

$$\tan \varphi = \frac{\omega L}{R} \quad (52)$$

Þessar líkingar hér að framan lýsa hvernig tvinnviðnámið í RL rás er háð tíðni. Tvinnleiðnin er skilgreind, sem $\mathbf{Y} = \frac{1}{\mathbf{Z}}$.

Til að kanna hvernig sambandi straums og spennu í RL rás er háttáð setjum við upp rásina á mynd 8. Rásin er tengd við sveifflugjafa og stillt á sínusbylgju og tveggja rása sveiflusjá notuð til að mæla spennur. Skoðið sérstaklega vel þegar $f = \frac{R}{2\pi L}$

1. Tengid sveiflusjána þannig að hún sýni heildarspennu V_{inn} á annarri rásinni en spennu yfir viðnámið á hinni.
2. Mælid sveiflustærð V_{inn} V_{ut} og fasamun þeirra með sveiflusjá fyrir nokkrar mismunandi tíðnir á bilinu 10 Hz til 100 kHz.
3. Gerid graf af $|\frac{V_{ut}}{V_{inn}}|$ sem fall af tíðni. Notið lograkvarða á tíðniás.
4. Gerid graf af fasamuninum sem fall af tíðni.
5. Hvernig rás er þetta (hvernig hegðar V_{ut} sér miðað við V_{inn} sem fall af tíðni)?

2.7 Span og eigintíðni RCL rásar

Ef við bætum þétti inn í rásina hér á undan fáum við RCL rásina á mynd 9. Á sama hátt og áður fæst sambandið milli straums og spennu í rásinni, almennt

$$RI + \int \frac{I}{C} dt + L\frac{dI}{dt} - V = 0 \quad (53)$$

Lausnin á svona diffurjöfnu þegar $I = 0$ við $t = 0$ og $V = \text{fasti}$, og $\frac{R^2}{4L^2} < \frac{1}{LC}$ er

$$I = \frac{V}{\omega L} e^{-\beta t} \sin(\omega t) \quad (54)$$

sem er dempuð sinussveifla þar sem

$$\beta = \frac{R}{2L} \text{ er deyfingarstuðullinn} \quad (55)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ er eigintíðnin} \quad (56)$$

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} \text{ er hermitíðnin} \quad (57)$$

Þegar V er sinusspenna fæst sambandið milli straums og spennu á sama hátt og áður

$$RIe^{j\omega t} + \int \frac{Ie^{j\omega t}}{C} dt + L \frac{dIe^{j\omega t}}{dt} - Ve^{j\omega t} = 0 \quad (58)$$

og við fáum tvinnviðnámið

$$\mathbf{Z} = R + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \quad (59)$$

$$|\mathbf{Z}|^2 = R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2 \quad (60)$$

$$\tan \varphi = \frac{\left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)}{R} \quad (61)$$

Þessar líkingar hér að framan lýsa hvernig tvinnviðnámið í RCL rás er háð tíðni.

Útspennan yfir viðnámið í rásinni er $\mathbf{V}_R = IR$, við getum fundið það á eftirfarandi hátt

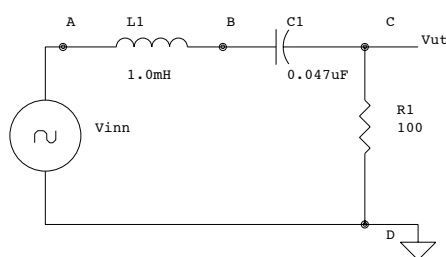
$$\mathbf{I} = \frac{\mathbf{V}}{\mathbf{Z}} \quad (62)$$

$$\mathbf{V}_R = \frac{\mathbf{V}R}{R + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)} \quad (63)$$

Útslag spennunnar er þá fengið með

$$|V_R| = \left| \frac{VR}{R + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)} \right| = \frac{VR}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}} \quad (64)$$

Til að kanna hvernig sambandi straums og spennu í RCL rás er háttáð setjum við upp rásina á mynd 9.



Mynd 9: RCL rás. $R_1 = 100\Omega$, $C_1 = 0.047\mu\text{F}$, $L_1 = 1.0\text{mH}$.

1. Skoðið spennuna yfir viðnámið þegar að innspennan er kassabylgja.
2. Mælið β og ω og berið saman við fræðin.
3. Mælið heildarspennu V_{inn} yfir rásina og spennu V_R yfir viðnámið, sem fall af tíðni fyrir sinusbylgju á bilinu 100 Hz til 100 kHz.
4. Við hvaða tíðni er straumurinn (spennan yfir viðnámið) í hámarki? Við þá tíðni eru tvinnviðnám spólunnar og þéttisins jafn stór en með andstæðu formerki.
5. Gerið graf af V_R/V_{inn} sem fall af tíðni. Notið lograkvarða á tíðniásnum.

Tengið spóluna og þéttinn samsíða og finnið samband straums og spennu í rásinni.

1. Finnið nú hvenær straumurinn er í lágmarki og staðfestið að það sé í samræmi við samband straums og spennu í rásinni.

Hluti III

Tvistar („díóður”)

3 Tvistar

Í þessari æfingu eru skoðaðir eiginleikar tvista (e. diode), ljómtvista (e. light emitting diode, LED), ljóstvista (e. photodiode) og Zener tvista. Lesefni: kafli 1 (einkum 1.25–1.31) og kafli 6.14 í „The Art of Electronics”.

3.1 I,V ferill fyrir tvist og ljómtvist

Jafna Shockleys lýsir sambandi straumsins I_d og spennunnar V_d yfir tvist

$$I_d = I_0 \left(e^{\frac{V_d e}{n k T}} - 1 \right) \quad (65)$$

n er fasti $1 \leq n \leq 2$. I_0 er mettnarstraumurinn. kT/e er varmaspennan (e. thermal voltage), þar sem k er Boltzmannfastinn. Hallatala fallsins endurspeglar leiðni (e. transconductance) tvistsins og ef gert er ráð fyrir að $I_d \gg I_0$ þá gildir um leiðnina

$$g_m = \delta I_d / \delta V_d \quad (66)$$

$$\approx \frac{e}{n k T} I_d \quad (67)$$

Pegar $I_d \gg I_0$ fæst línulegt samband milli $\ln I_d$ og V_d

$$\ln I_d = \ln I_0 + \frac{V_d e}{n k T} \quad (68)$$

Veljið ykkur annaðhvort ljómtvist eða venjulegan tvist og gerið eftirfarandi mælingar.

1. Reiknið út varmaspennuna kT/e við herbergishita.
2. Tengið tvistinn við $-15V$ spennugjafa í gegnum $1 M\Omega$ viðnám. Mælið spennuna yfir viðnámið og ákvarðið út frá því mettnarstrauminn I_0 .

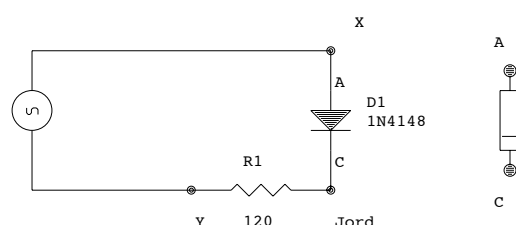
3. Setjið $1 k\Omega$ viðnám í stað $1 M\Omega$ viðnámsins og mælið I_d fyrir nokkur gildi á V_d með því að breyta innspennunni frá $-15V$ og upp í $+15V$.

4. Gerið graf af $\ln I_d$, sem fall af V_d .

5. Finnið stuðlana I_0 og n í jöfnu (68).

6. Finnið leiðnina g_m fyrir eitt gildi á V_d og berið saman við líkingu 67.

3.2 Kennilína tvists



Mynd 10: Rás til að skoða kennilínu tvists. A = plússkaut, C = mínusskaut.

Tengið rásina á mynd 10 og notið sveiflusjá í XY-ham og stillið innganga á DC til að fá I_D og V_D kennilínu tvistsins á skjáinn. Notið fljótandi Lewell sveifflugjafa og stillið hann á sínusspennu.

1. Teiknið kennilínu tvistsins, I_D sem fall af V_D .

3.3 Afriðill

Pegar breyta á riðspennu í jafnspennu er oftast notaður afriðill með tvistum. Tvisturinn virkar þá eins og einskonar einstefnuloki á strauminn í rásinni. Notið rásina á mynd 10 og stillið sveiflusjána til að sýna spennu yfir viðnámið, sem fall af tíma.

1. Skoðið spennuna yfir viðnámið sem fall af tíma, teiknið hana upp og mælið hágildi hennar.

2. Metið meðalgildi afriðuðu spennunnar.
3. Skiptið nú á viðnáminu og $10\ \mu\text{F}$ þétti og skoðið spennuna yfir hann. Athugið áhrif þess að breyta tíðninni.
4. Tengið $10\ \mu\text{F}$ þétti yfir viðnámið sem þið notuð áðan (þ.e. hliðtengið viðnám og þétti) og mælið spennuna yfir viðnámið enn á ný með sveiflusjóni. Berið saman niðurstöður þessara þriggja tilfella sem þið hafið skoðað. Getið þið útskýrt áhrif þéttisins á rásina?
5. Teiknið ferilinn og metið hágildi og meðalgildi spennunnar og mælið gáruspennuna.
6. Berið gáruspennuna ΔV saman við jöfnur á blaðsíðu 46 í Art of Electronics kennslubókinni.
Fyrir hálfbylgju afriðil gildir jafnan

$$\Delta V = \frac{I_{load}}{fC}. \quad (69)$$

Fyrir heilbylgju afriðil gildir að

$$\Delta V = \frac{I_{load}}{2fC}. \quad (70)$$

3.4 „Clamped capacitor”

Notið nú díóðu til að „klemma” þéttinn, þ.e. byggið „clamped capacitor” rás sbr. fyrirlestur.

1. Mælið spennuúttakið (yfir díóðuna) þegar innmerkið er ac-spenna sem er:
 - (a) samhverf um jörð
 - (b) ósamhverf.

Rissið niðurstöðurnar í vinnubókina ykkar.
2. Mælið með spennumæli spennuna yfir þéttinn og segið til um hleðslu (formerki) hans, þ.e. hvernig hleðst hann upp?
3. Hvaða áhrif hefur það að snúa við

(a) þéttinum?

(b) díóðunni?

4. Bætið nú annarri díóðu og þétti á útganginn til að búa til spennutvöfaldara sbr. fyrirlestur. Er útspennan nákvæm tvöföldun útslags innspennunnar? Útskýrið.

3.5 Ljóssemi

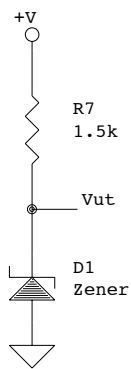
Ljóstvistur gefur út straum þegar ljóseindir falla á PN-samskeytin. Hann má nota sem ljósmæli eða sem straumgjafa, sem breytir ljósorku í raforku. Til að kanna eiginleika ljóstvistsins mælum við strauminn frá honum, sem fall af ljósmagni.

1. Tengið ljóstvistin við viðnámskassa og mælið spennuna yfir viðnámið með fjölmæli, gætið þess að stilla viðnámið svo að spenna sé alltaf innan við 100mV.
2. Reiknið út strauminn frá ljóstvistinum inn í viðnámið fyrir mismunandi ljósstyrk.
3. Skoðið hvernig straumurinn er háður ljósstyrknum.
4. Á hvaða fjórðungi I,V ferilsins vinnur ljóstvistirinn sem straumgjafi?
5. Skoðið spennuna yfir viðnámið með sveiflusjá. Útskýrið hegðun hennar.

3.6 Spennustaðall með Zenertvist

Zenertvistur (e. Zener diode) hefur löngum verið notaður til að búa til viðmiðunarspennu eða spennustaðal. Tengið rásina á mynd 11. Þetta er einfaldur spennustaðall með nafnspennu 5.6 Volt (getur reyndar verið mismunandi, mælið fyrir ykkar díóðu. Niðurbrotsspennan er yfirleitt tilgreind á kápu Zener díóða).

1. Mælið með stafrænum spennumæli spennuna yfir Zenertvistinn, fyrir 15 spennugildi á V frá 0V til 15V.



Mynd 11: Spennustaðall með Zenertvist.

2. Gerið graf af Zener spennunni sem fall af innspennunni.

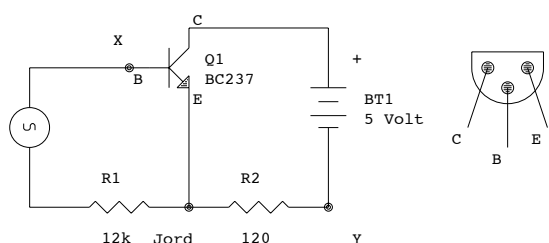
Hluti IV

Smárar (e. transistors)

4 Smárar og smáramagnarar

Í þessari æfingu er ætlunin að kynnst eiginleikum NPN BJT smára (e. bipolar junction transistor) og n-JFET sviðssmára (e. field effect transistor), skoða kennilínur þeirra og skoða hvernig þeir eru notaðir sem magnarar. Lesefni: kafli 2 (einkum 2.00—2.18) og kafli 3 (einkum 3.00—3.07) í „The Art of Electronics”.

4.1 Kennilína smára



Mynd 12: Kennilína smára. C = gleypir, B = beinir, E = eimir. Á skýringarmyndinni er horft neðan á smárann (þar sem tenglarnir standa út).

Um samband beinisspennu og gleypisstraums BJT smárans (e. bipolar junction transistor) er oft notað líkan kennt við Ebers og Moll.

$$I_C = I_s(e^{\frac{V_{BE}}{kT}} - 1) \quad (71)$$

I_s er kallaður mettnarstraumur og er hann háður T . Halli ferilsins endurspeglar leiðni

smárans, hana má finna á eftirfarandi hátt

$$g_m = \delta I_C / \delta V_{BE} \quad (72)$$

$$\approx \frac{e}{kT} I_C \quad (73)$$

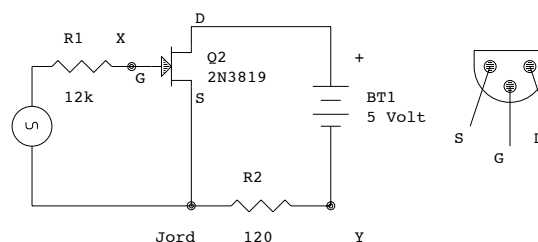
Tengið rásina á mynd 12 og notið sveiflusjá í XY-ham til að fá V_{BE} , I_C kennilínu smárans á skjáinn. Athugið að +5V spennugjafinn verður að vera fljótandi. Notið Lewell sveifflugjafa og stillið hann á sínusspennu.

1. Teiknið kennilínu smárans, I_C , sem fall af V_{BE} .
2. Finnið leiðnina fyrir eitt gildi á I_C og berið saman við jöfnu 73.
3. Teiknið spennuna yfir 120Ω viðnámið, sem fall af tíma.

Tengið nú sveiflusjána til að fá I_C og I_B kennilínu smárans á skjáinn.

1. Teiknið kennilínu straummögnunarinnar I_C, I_B .
2. Finnið straummögnunina $\beta = \frac{I_C}{I_B}$.
3. Útskýrið hvernig nota má smárann sem magnara og sem rofa.

4.2 Kennilína sviðssmára



Mynd 13: Kennilína sviðssmára. D = svelgur, G = gátt, S = lind.

Um samband gáttarspennunar V_{GS} og svelgstraumsins I_D í sviðssmára (e. field effect transistor) er oft notað líkanið

$$I_D = I_{DSS} \left(\frac{V_{GS}}{V_T} - 1 \right)^2 \quad (74)$$

I_{DSS} er kallaður mettnarstraumur og V_T er þröskuldsspennan. Hallatala fallsins endurspeglar leiðni sviðssmárans og hana má finna á eftirfarandi hátt

$$g_m = \delta I_D / \delta V_{GS} \quad (75)$$

$$\approx 2I_D^{1/2} I_{DSS}^{1/2} / V_T \quad (76)$$

Tengið rásina á mynd 13 og notið sveiflusjá í XY-ham til að fá I_D og V_{GS} kennilínu sviðssmárans á skjáinn. Notið Lewell sveiflugjafa og stillið hann á sínusspennu.

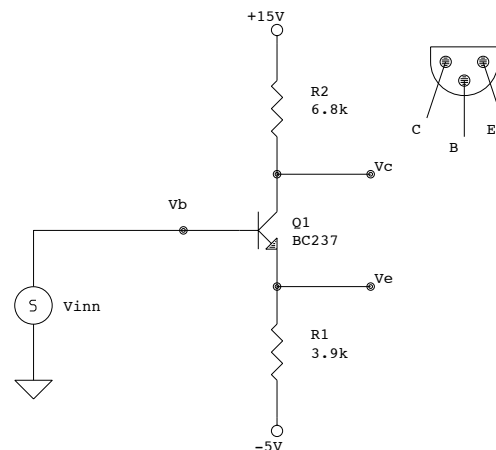
1. Teiknið kennilínu sviðssmárans, I_D sem fall af V_{GS} .
2. Finnið leiðnina fyrir eitt gildi á V_{GS} og berið saman við jöfnu 76.
3. Skoðið spennuna yfir 120Ω viðnámið, sem fall af tíma.
4. Útskýrið hvernig nota má sviðssmárann sem magnara og sem rofa.

4.3 Magnari með inntak á beini og úttak á eimi

Á mynd 14 er mögnunarstig með NPN smára. Þetta er uppsetning á einföldum magnara, þar sem innmerkið er inn á beini en útmerkið er frá eimi (e. common collector amplifier). Magnarinn er tengdur við spennugjafana $V_{cc} = 15\text{Volt}$ og $V_{ee} = -5\text{Volt}$.

Við getum fundið gleypisstrauminn I_c með jöfnu Ebers–Moll

$$I_c = I_s \left(e^{\frac{V_{be}}{kT}} - 1 \right) \quad (77)$$



Mynd 14: Magnari með NPN smára. $R_e = R1$ og $R_c = R2$

Straumurinn í eimi $I_e = I_c + I_b$. Ef gert er ráð fyrir að straummögnun smárans sé mikil $\beta = \frac{I_c}{I_b} \gg 1$ þá gildir að $I_e \approx I_c$.

$$I_c = I_s \exp\left(\frac{e}{kT}(V_b - V_e)\right) \quad (78)$$

$$\ln\left(\frac{I_c}{I_s}\right) = \frac{e}{kT}(V_b - V_e) \quad (79)$$

$$V_b = \ln\left(\frac{I_c}{I_s}\right) \frac{kT}{e} + V_e \quad (80)$$

$$V_b = \ln\left(\frac{I_c}{I_s}\right) \frac{kT}{e} + I_e R_e \quad (81)$$

$$V_b = \ln\left(\frac{I_c}{I_s}\right) \frac{kT}{e} + I_c R_e \quad (82)$$

Við höfum sett $V_e = I_e R_e = I_c R_e$, þar sem R_e er viðnámið frá eimi til $-V_{EE}$. Hér höfum við fundið hvernig beinisspennan er háð gleypisstraumnum I_e og eimisviðnáminu R_e . Til að finna út hvernig gleypisstraumurinn er háður beinisspennunni V_b finnum við fyrst hlutfleðuna $\frac{\delta V_b}{\delta I_c}$ og síðan leiðni, g_m (e. transconductance) smárans.

$$\frac{1}{g_m} = \frac{\delta V_b}{\delta I_c} \quad (83)$$

$$\frac{1}{g_m} = \frac{kT}{I_c e} + R_e \quad (84)$$

$$g_m = (1/g_{m0} + R_e)^{-1} \quad (85)$$

$g_{m0} = \frac{I_{ce}}{kT}$ er leiðni smárans þegar viðnámið $R_e = 0$.

Við skilgreinum mögnunina $A = \frac{\delta V_{ut}}{\delta V_{inn}}$. Útspennan er $V_{ut} = V_e = V_{ee} + I_e R_e$ og innspennan $V_{inn} = V_b$. Mögnunin verður því $A = g_m R_e$. Ef $R_e \gg 1/g_{m0}$ verður leiðnin einungis háð R_e og magnarinn verður línulegur!

Tengið upp rásina á mynd 14. Stillið tíðnigjafann á 1 KHz. Tengid X-inngang sveiflusjár við V_b og Y-inngang við V_e . Setjið sveiflusjána í XY-ham og skoðið kennifallið.

1. Mælið I_e og reiknið út leiðnina g_{m0} og g_m fyrir smárann samkvæmt jöfnu 85.
2. Teiknið upp I_c V_b kennifall magnarans og finnið hallann á því og leiðnina, berið saman við jöfnu 85.
3. Stillið sveiflusjána í XY-ham og skoðið innmerkið V_b og útmerki V_e .
4. Mælið mögnunina $A = V_e/V_b$ við 1 kHz tíðni og staðfestið að hún sé $A = g_m R_e$. Til að fá sem mesta nákvæmni má mæla spennurnar með stafrænum spennumæli.

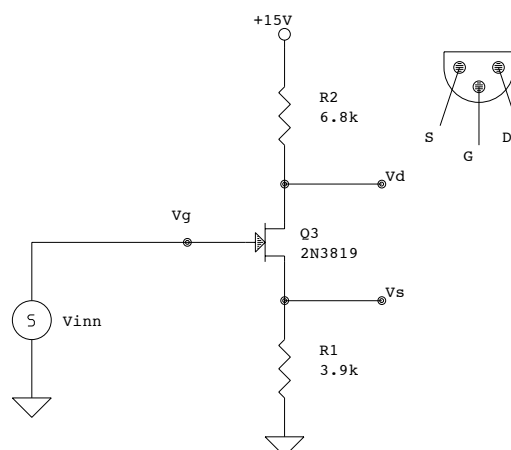
Sviðssmáramagnarar

4.4 Magnari með inntak á gátt og úttak á lind

Á mynd 15 er mögnunarstig með n-JFET sviðssmára. Þetta er uppsetning á einföldum magnara, þar sem innmerkið er inn á gátt en útmerkið er frá lind (e. common drain amplifier). Magnarinn er tengdur við spennugjafana $V_{dd} = 15\text{V}$ og $V_{ss} = 0\text{V}$.

$$I_d = I_{DSS} \left(\frac{V_g - V_s}{V_T} - 1 \right)^2 \quad (86)$$

$$V_g = V_T \left(1 + \left(\frac{I_d}{I_{DSS}} \right)^{\frac{1}{2}} \right) + V_s \quad (87)$$



Mynd 15: Magnari með n-JFET sviðssmára. $R_s = R_1$ og $R_d = R_2$

Leiðnin (e. transconductance) fæst þá með því að finna hlutafleiðu sveltstraumsins (e. drain) með tilliti til gáttarspennu (e. gate) Við setjum $V_s = I_s R_s$ þar sem R_s er viðnámið frá lind (e. source) til jarðar. Setjum inn í jöfnu 87 og diffum

$$g_m = \frac{\delta I_d}{\delta V_g} \quad (88)$$

$$\frac{1}{g_m} = \frac{1}{2} V_T (I_d I_{DSS})^{-\frac{1}{2}} + R_s \quad (89)$$

$$g_m = (1/g_{m0} + R_s)^{-1} \quad (90)$$

Hér er $g_{m0} = \frac{2}{V_T} (I_d I_{DSS})^{\frac{1}{2}}$ leiðnin þegar ekkert viðnám er frá lind til jarðar.

Við skilgreinum mögnun $A = \frac{\delta V_{ut}}{\delta V_{inn}}$. Ef $V_{ut} = V_s$ er $V_{ut} = V_{ss} + I_s R_s$. Mögnunin verður þá $A = -g_m R_s$. Ef $R_s \gg 1/g_{m0}$ verður leiðnin einungis háð R_s og magnarinn verður línulegur!

Tengið upp rásina á mynd 15. Stillið tíðnigjafann á 1 KHz. Tengid X-inngang sveiflusjár við V_g og Y-inngang við V_s . Setjið sveiflusjána í XY-ham og skoðið kennifallið.

1. Reiknið út leiðnina g_m fyrir rásina samkvæmt jöfnu 90.

2. Teiknið upp I_s V_g kennifall magnarans og finnið hallann á því og leiðnina, berið saman við jöfnu 90.
3. Stillið sveiflusjána í XT-ham og skoðið innmerkið V_g og útmerki V_s .
4. Mælið mögnunina $A = V_s/V_g$ við 1 kHz tíðni og staðfestið að hún sé $A = g_m R_s$. Til að fá sem mesta nákvæmni má mæla spennurnar með stafrænum spennumæli.

Hluti V

Aðgerðamagnarar

5 Aðgerðamagnarar

Í þessari tilraun er ætlunin að kynnst eiginleikum aðgerðamagnara (e. operational amplifier). Aðgerðamagnarinn hefur tvo inn-ganga v_+ og v_- og einn útgang v_{ut} . Kennifall hans við mjög lága tíðni er

$$A = \frac{v_{ut}}{(v_+ - v_-)} = A_0 \quad (91)$$

Nákvæmara líkan af kennifalli aðgerðamagnarans fæst með því að skilgreina mögnunina, sem fall af tíðni og rita það sem vigrann $A = Ae^{j\phi}$, þar sem A er mögnunin og ϕ er fasinn þannig

$$A = \frac{v_{ut}}{(v_+ - v_-)} = \frac{f_T}{f_0} \frac{1}{(1 + jf/f_0)} \quad (92)$$

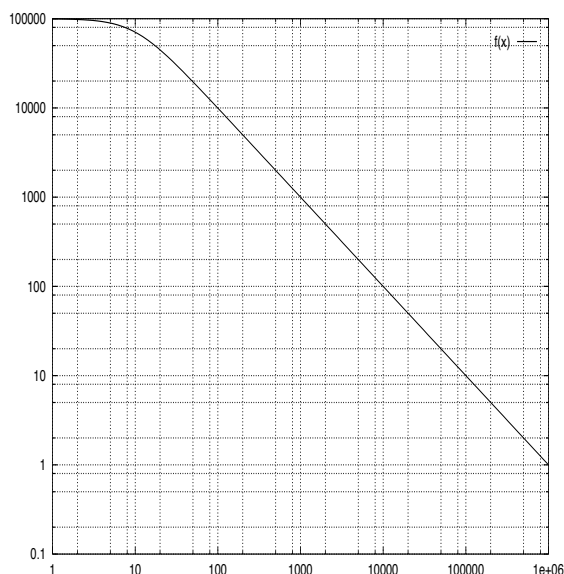
hér er stuðlarnir $A_0 = f_T/f_0$ jafnstraumsmögnunin, f_T er kölluð mögnunarbandbreiddin (e. gain bandwidth product), en hún er jöfn tíðninni þegar mögnunin er 1 og f_0 sem er jöfn tíðninni þegar mögnunin er $A = A_0/\sqrt{2}$.

1. Gerið graf af mögnuninni A og fasanum ϕ samkvæmt (92), þegar $f_0 = 10\text{Hz}$ og $f_T = 1\text{MHz}$.

Lesefni: kafli 4 (einkum 4.00–4.09, 4.19–4.20 og 4.25–4.26) í „The Art of Electronics”.

5.1 Magnari með afturverkun

Aðgerðamagnarar eru oftast notaðir með afturverkun (e. feedback), sem breytir kennifallinu svo að mögnunin verður minni og tíðnisvör-unin önnur. Á mynd 17 er einfaldasta gerð af aðgerðamagnara með afturverkun. Mögnunin



Mynd 16: Mögnum magnara með og án afturverkunar ($f_T = 1\text{MHz}$, $f_0 = 10\text{Hz}$) og með afturverkun $\beta = 1/1000, 1/100, 1/10$.

rásarinnar A' fæst með eftirfarandi jöfnum

$$v_{ut} = A(v_+ - v_-) \quad (93)$$

$$v_+ = 0 \quad (94)$$

$$v_- = \frac{v_{inn}R_2}{R_1 + R_2} + \frac{v_{ut}R_1}{R_1 + R_2} \quad (95)$$

$$A' = \frac{v_{ut}}{v_{inn}} \quad (96)$$

$$A' = -\frac{R_2}{R_1} \left[1 + \frac{1}{A} \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1} \right) \right]^{-1} \quad (97)$$

$$A' = -\frac{A}{1 + \beta A} \quad \beta = \frac{R_1}{R_2} \quad (98)$$

Hér er $A' = A'e^{j\phi'}$ kennifall rásarinnar ef gert er ráð fyrir þeim eiginleikum aðgerðamagnarans að inngangsviðnámið sé stórt og útgangsviðnámið lítið.

Inngangsviðnám rásarinnar er $R_i = V_{inn}/i_{inn} = R_1$. R_o er útgangsviðnám aðgerðamagnarans. Útgangsviðnám rásarinnar R'_o með afturverkun er fundið á eftirfarandi hátt. Straumurinn út verður þá

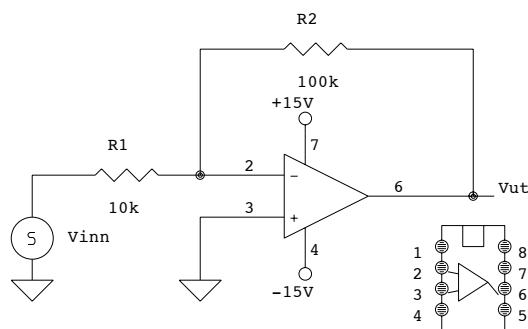
$$I_{ut} = (V_{ut} - V_o)/R_o.$$

$$I_{ut} = \frac{-\beta A V_o - V_o}{R_o} = -\frac{(1 + \beta A)V_o}{R_o} \quad (99)$$

$$= \frac{A V_o}{A' R_o} \quad (100)$$

$$R'_o = \frac{A' R_o}{A} \quad (101)$$

Tengið rásina á mynd 17.



Mynd 17: Magnari með afturverkun. Hentugt er að notast við TL071 aðgerðamagnara.

1. Skoðið kennifall magnarans.
2. Mælið mögnunina $A' = |A'|$ við nokkrar mismunandi tíðnir á v_{inn} t.d. 10 Hz, 1 kHz, 100 kHz og 1 MHz.
3. Mælið inngangsviðnám rásarinnar með fjölmæli, staðfestið að það sé jafnt R_1 .
4. Mælið útgangsviðnám rásarinnar með fjölmæli, staðfestið að það sé ≈ 0 . Gætið þess að hafa útmerkið mjög lítið ($< 100\text{mV}$).

5.2 Magnari með jákvæðri mögnun

Tengið rásina á mynd 18. Hér er magnari með mögnun, sem er $A' = 1 + \frac{R_2}{R_1}$. Inngangsviðnámi rásarinnar er $R'_i = V_{inn}/i_{inn}$, ef i_{inn} er

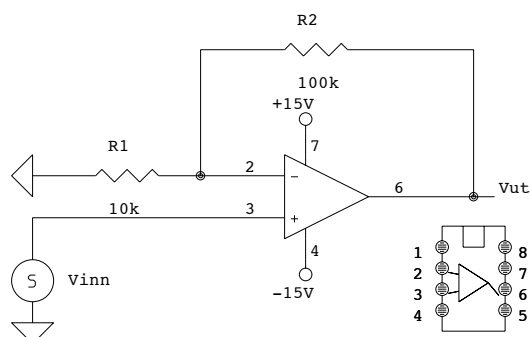
innstraumurinn í magnarann og R_i inngangsviðnám aðgerðamagnarans milli v_+ og v_- .

$$i_{inn} = \frac{v_+ - v_-}{R_i} \quad (102)$$

$$= \frac{V_{ut}}{A R_i} \quad (103)$$

$$= \frac{A' V_{inn}}{A R_i} \quad (104)$$

$$R'_i = \frac{A}{A'} R_i \quad (105)$$

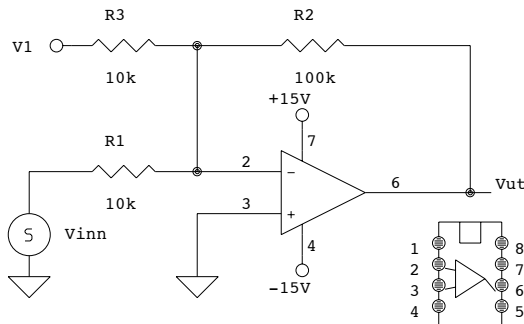


Mynd 18: Magnari með jákvæðri mögnun $A' = 1 + \frac{R_2}{R_1}$.

1. Skoðið kennifall magnarans.
2. Mælið mögnunina A' og fasa við mismunandi tíðni á v_{inn} . 10 Hz, 1 kHz, 100 kHz og 1 MHz.
3. Mælið inngangsviðnám rásarinnar og staðfestið að það sé mjög hátt. Mælið einnig útgangsviðnám rásarinnar.

5.3 Summurás

Við getum búið til rás, sem leggur saman tvö innmerki, með því að bæta einu viðnámi við rásina á mynd 17. Tengid rásina á mynd 19 og skoðið v_{ut} . Finnið kennifallið fyrir summurásina.



Mynd 19: Summurás.

5.4 Tegrunararrás

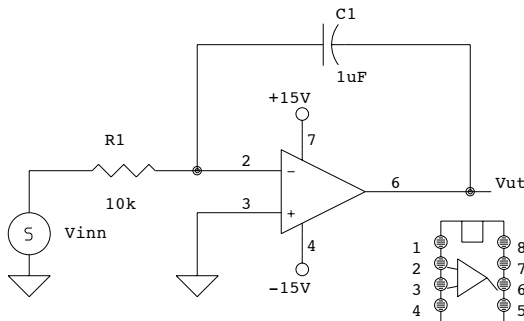
Við getum búið til rás, sem tegrar innspennu, með því að tengja þétti milli v_- og v_{ut} og nota okkur að samband straums og spennu í þétti er $V = \int \frac{I}{C} \delta t$. Kennifallið fæst með því að gera ráð fyrir eftirtöldum eiginleikum magnarans, mögnunin sé stór og inngangsviðnám stórt og útgangsviðnám lítið. Þá gildir að straumurinn sem hleður upp þéttinn C_1 er jafn i_{inn} (straumnum í R_1), því að ef mögnunin er stór er $v_- \approx 0$.

$$i_{inn} = \frac{v_{inn}}{R_1} \quad (106)$$

$$v_{ut} = - \int \frac{i_{inn}}{C_1} \delta t \quad (107)$$

$$v_{ut} = - \frac{1}{R_1 C_1} \int v_{inn} \delta t \quad (108)$$

Tengið tegrunarrásina á mynd 20 og gerið eftir-



Mynd 20: Tegrunararrás.

irtaldar mælingar.

1. Skoðið kennifall magnarans.

2. Skoðið v_{ut} fyrir mismunandi bylgjuform á v_{inn} við 1 kHz. Berið niðurstöður saman við fræðin.

5.5 Diffrunarrás

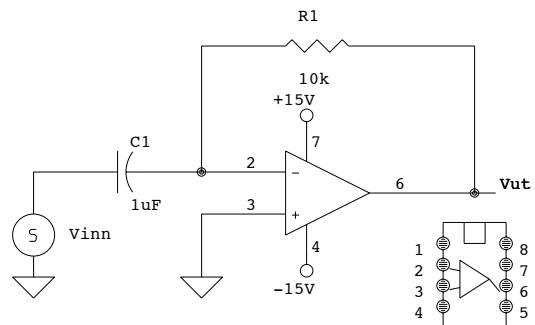
Við getum búið til rás sem diffrar innspennu með því að tengja þétti milli innspennunnar og v_- og nota okkur að samband straums og spennu í þétti er $I = C \delta V / \delta t$. Kennifallið fæst með því að gera ráð fyrir eftirtöldum eiginleikum magnarans, mögnunin sé stór og inngangsviðnám stórt og útgangsviðnám lítið. Þá gildir að straumurinn i_{inn} sem hleður upp þéttinn C_1 er jafn straumnum í R_1 , því að ef mögnunin er stór er $v_- \approx 0$.

$$i_{inn} = C_1 \frac{\delta v_{inn}}{\delta t} \quad (109)$$

$$v_{ut} = -R_1 i_{inn} \quad (110)$$

$$v_{ut} = -R_1 C_1 \frac{\delta v_{inn}}{\delta t} \quad (111)$$

Tengið diffrunarrásina á mynd 21 og gerið eftiraldar mælingar.



Mynd 21: Diffrunarrás.

1. Skoðið kennifall magnarans.

2. Skoðið v_{ut} fyrir mismunandi bylgjuform á v_{inn} við 1 kHz. Berið niðurstöður saman við fræðin.

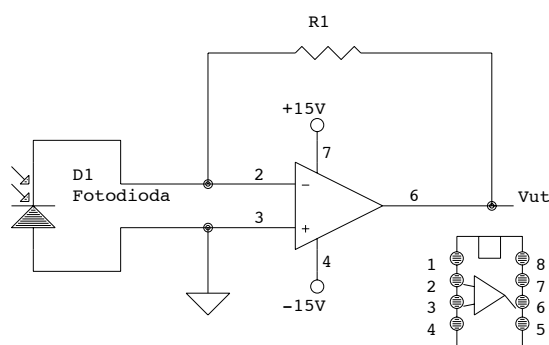
3. Í sumum tilfellum getur verið erfitt að fá rásina til að virka. Í þeim tilfellum má prófa að breyta þéttinum í $0.1 \mu\text{F}$ og viðnáminu í $100 \text{ k}\Omega$ og notast við tíðni á bilinu $50\text{--}100 \text{ Hz}$.

5.6 Ljósmælir

Tengið rásina á mynd 22 og notið aðgerðamagnara með FET inngangi. Hér er ljósvistor tengdur við aðgerðamagnara, útspennan verður þá í réttu hlutfalli við strauminn frá ljósvistinum ef inngangsstraumur aðgerðamagnarans i_{input} er lítill í samanburði við strauminn í tvistinum i_d .

$$V_{ut} = (i_d + i_{input})R \quad (112)$$

Veljið hæfilega stórt viðnám R_1 svo að út-



Mynd 22: Ljósmælir

spennan sé um 1 Volt.

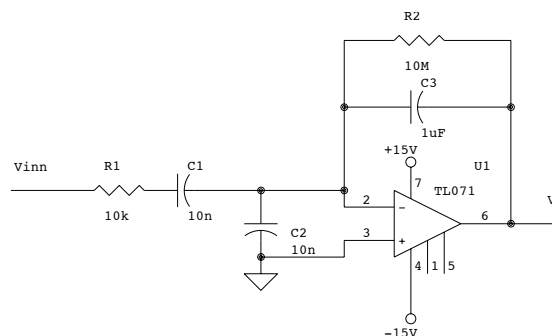
1. Mælið útspennuna við mismunandi ljóstyrk.
2. Skoðið útspennuna á sveiflusjá og gætið að hvort ljóspúlsar frá flúrperum sjást.
3. Hver er spennan yfir ljósvistinn?

5.7 Hitamælir

Notið rásina AD590, gefur út strauminn $1\mu\text{A}$ á gráðu Kelvin til að mæla hitastigið í herberginu. Finnið upplýsingar um rásina í handbók og tengið hana við $+15\text{V}$ spennugjafa og

viðnám. Veljið viðnámið $R_1 = 10\text{k}\Omega$ svo að spennan yfir það verði 10mV/Kelvin .

1. Hvert er hitastigið í herberginu?
2. Hver er nákvæmni mælingarinnar?



Mynd 23: Hleðslunæmur magnari.

5.8 Hleðslunæmur magnari

Í þessum hluta kynnumst við aðferð til að mæla hleðslu. Tengid rásina á mynd 23. Þetta er uppsetning á hleðslunæmum magnara (e. charge sensitive amplifier) til að nota við mælingar á hleðslum. Hleðslan, sem mæla á er sett á þéttinn C_2 , en hann er tengdur á milli v_+ og v_- innganga aðgerðamagnarans, magnarinn nemur spennuna yfir C_2 og sendir straum í gegnum C_3 þangað til $v_+ = v_-$, þá hefur hleðsla þéttisins C_2 færst yfir á þéttinn C_3 og með því að mæla útspennuna V_{ut} fæst að hleðslan er $Q = -V_{ut}C_3$.

Ef við setjum V_{inn} kassabylgju með toppspennu V og gerum ráð fyrir að í upphafi sé C_1 óhlaðinn gerist eftirfarandi. Þegar innspennan fer frá 0 til V hleðst þéttirinn C_1 upp og fær hleðsluna $Q = C_1V$, því spennan milli innganga magnarans v_+ og v_- er ≈ 0 . Hleðslan Q hefur þá fluttst á þéttinn C_3 og útspennan verður $V_{ut} = -V_{inn}\frac{C_1}{C_3}$.

1. Tengid sveiflusjá við V_{ut} og kassabylgjugjafa við V_{inn} . Stillið tíðni á 10Hz .
2. Mælið útspennu og staðfestið að hún sé samkvæmt fræðunum.

3. Breytið tíðninni og skoðið svörun rásarinnar.
4. Sleppið C_1 og setjið $R_1 = 10\text{M}\Omega$ og tengið V_{inn} við TTL kassabylgjuútgang.
5. Útskýrið hvað gerist nú.

Hluti VI

Diffurmagnarar

6 Diffurmagnari

Í þessari tilraun er ætlunin að kynnast eiginleikum aðgerðamagnara þegar hann er notaður sem diffurmagnari. Lesefni: kafli 7 (einkum 7.09 og 7.10) í „The Art of Electronics”.

6.1 Mælitæknimagnari

Mynd 24 sýnir hefðbundin mælitæknimagnara (e. instrumentation amplifier), þar sem notaðir eru þrír aðgerðamagnarar og sjö viðnám. Magnarinn er gerður úr tveimur stigum, inn-gangsstigi og útgangsstigi.

Inngangsrás

Skoðum hvernig merkin v_3 og v_4 frá inngangsmögnurunum eru háð innmerkjunum v_1 og v_2 . Fyrir rásina gildir eftirfarandi, ef A er mögnun aðgerðamagnara

$$v_3 = A(v_{1+} - v_{1-}) \quad (113)$$

$$v_4 = A(v_{2+} - v_{2-}) \quad (114)$$

Við sjáum að innmerki aðgerðamagnaranna má skrifa, ef $R_T = R_1 + R_2 + R_3$

$$v_{1+} = v_1 \quad (115)$$

$$v_{1-} = v_3 \frac{R_3 + R_2}{R_T} + v_4 \frac{R_1}{R_T} \quad (116)$$

$$v_{2+} = v_2 \quad (117)$$

$$v_{2-} = v_4 \frac{R_3 + R_1}{R_T} + v_3 \frac{R_2}{R_T} \quad (118)$$

og drögum (116) frá (115) og (118) frá (117) og setjum inn sambandið milli inn og útmerkja fyrir aðgerðamagnarana úr (113) og (114)

$$\frac{v_3}{A} = v_1 - v_3 \frac{R_3 + R_2}{R_T} + v_4 \frac{R_1}{R_T} \quad (119)$$

$$\frac{v_4}{A} = v_2 - v_4 \frac{R_3 + R_1}{R_T} + v_3 \frac{R_2}{R_T} \quad (120)$$

finnum nú v_1 úr (119) og v_2 úr (120)

$$v_1 = \frac{v_3}{A} + v_3 \frac{R_3 + R_2}{R_T} + v_4 \frac{R_1}{R_T} \quad (121)$$

$$v_2 = \frac{v_4}{A} + v_4 \frac{R_1 + R_3}{R_T} + v_3 \frac{R_2}{R_T} \quad (122)$$

$$(123)$$

einföldum jöfnur (121) og (122)

$$v_1 R_T = v_3 \left(\frac{R_T}{A} + R_3 + R_2 \right) + v_4 R_1 \quad (124)$$

$$v_2 R_T = v_4 \left(\frac{R_T}{A} + R_3 + R_1 \right) + v_3 R_2 \quad (125)$$

finnum svo mismun (124) og (125) og þá fæst jafna

$$(v_1 - v_2) R_T = (v_3 - v_4) \left(\frac{R_T}{A} + R_3 \right) \quad (126)$$

sem gefur okkur að lokum mögnunina A'_1 fyrir inngangsrásina

$$A'_1 = \frac{v_3 - v_4}{v_1 - v_2} \quad (127)$$

$$= \left(1 + \frac{R_1 + R_2}{R_3} \right) \left(1 + \frac{R_T/R_3}{A} \right) \quad (128)$$

Við sjáum að mögnunin er nákvæm ef $A \gg R_T/R_3$ og aðeins háð hlutfalli viðnámana $(R_1 + R_2)$ og R_3 .

Útgangsrás

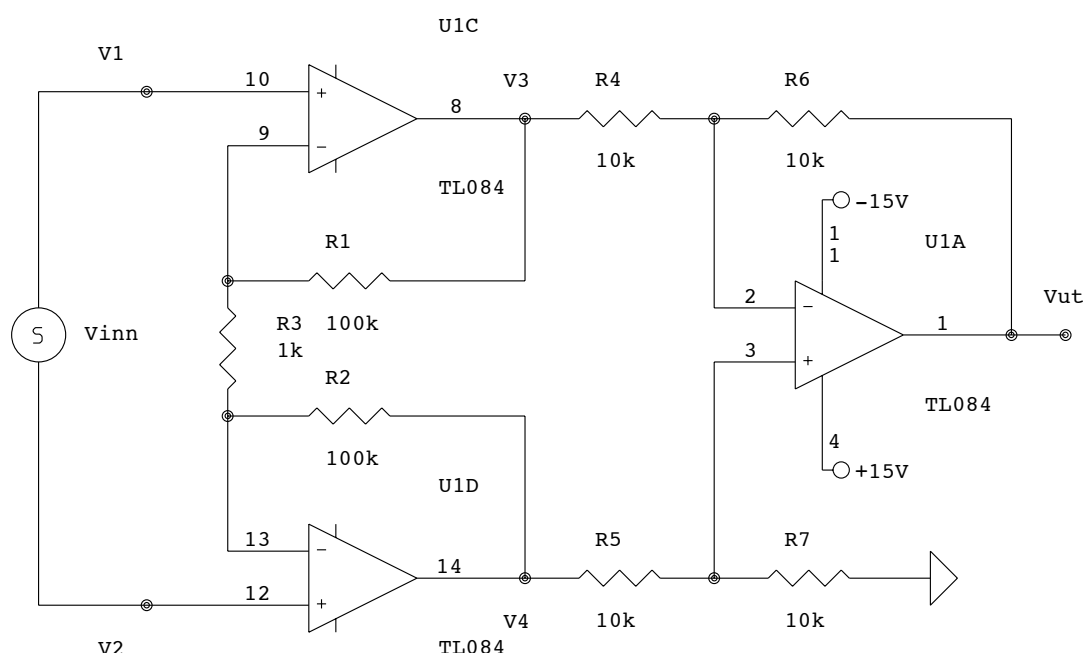
Mögnun útgangsmagnarans A'_3 , fæst með eftirfarandi jöfnum ef við setjum útmerki hans $v_{ut} = A(v_{3+} - v_{3-})$.

$$v_{3+} = v_4 \frac{R_7}{R_5 + R_7} \quad (129)$$

$$v_{3-} = v_3 \frac{R_6}{R_4 + R_6} + v_{ut} \frac{R_4}{R_4 + R_6} \quad (130)$$

$$v_{ut} = -\frac{R_6}{R_4} \left[v_3 - v_4 \frac{R_7}{R_5 + R_7} \frac{R_4 + R_6}{R_6} \right] \times \left[1 + \frac{1}{A} \frac{R_4 + R_6}{R_4} \right]^{-1} \quad (131)$$

Venjulega er $\frac{R_6}{R_4} = \frac{R_7}{R_5}$ og $|A| \gg 1$, en þá verður mögnunin $A'_3 = \frac{v_{ut}}{v_3 - v_4} = -\frac{R_6}{R_4}$



Mynd 24: Mælitæknimagnari með diffurmerki.

Heildarmögnun

Heildarmögnun rásarinnar verður þá

$$\mathbf{A} = \mathbf{A}_1' \mathbf{A}_3' \quad (132)$$

$$\mathbf{A} = \frac{v_{ut}}{v_1 - v_2} \quad (133)$$

$$\mathbf{A} = -\left(1 + \frac{R_1 + R_2}{R_3}\right) \frac{R_6}{R_4} \quad (134)$$

Nákvæmni diffuramögnunar er fæst með

$$\mathbf{A}_m = -\left(1 + \frac{R_1 + R_2}{R_3}\right) \frac{R_6}{R_4} \quad (135)$$

Ef hlutfallsleg nákvæmni viðnámanna er $\frac{\delta R}{R}$ verður nákvæmni mögnunarinnar

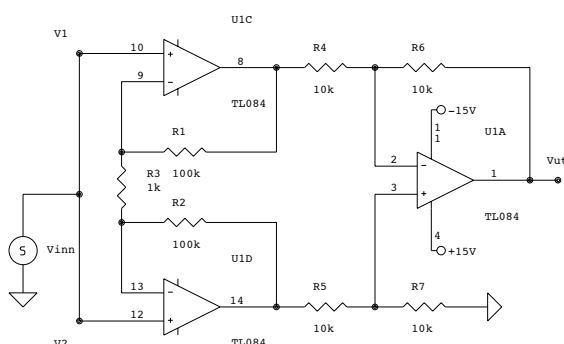
$$\frac{\delta \mathbf{A}_m}{\mathbf{A}_m} \approx \sqrt{5} \frac{\delta R}{R} \quad (136)$$

Dæmi: Ef við notum 1% nákvæm viðnám má búast við 2.5% nákvæmni í mögnun.

Tengið nú rásina á mynd 24, notið 1% nákvæm viðnám í rásina. Tengid lausan sveifluggjafa (Lewell) (v_{inn}) milli v_1 og v_2 . Tengid sveiflusjá við v_{inn} og v_{ut} . Þetta er uppsetning á mælitæknimagnara með diffurmerki á inn-göngum.

1. Stillið v_{inn} á 20 mV. Skoðið kennifall magnarans.

2. Mælið diffurmögnunina A_m .



Mynd 25: Mælitæknimagnari með sammerki.

6.2 Mælitæknimagnari með sammerki á v_{inn+} og v_{inn-}

Þegar sama merki er sett á inngangana $v_{inn+} = v_{inn-} = v_{inn}$ verður útmerkið einungis háð nákvæmni viðnámanna og mögnun aðgerðamagnarans lengst til hægri á mynd 25.

Nákvæmni sammögnunar A_s' fæst á eftirfarandi hátt. Gert er ráð fyrir að mögnun aðgerðamagnaranna $A \gg 1$. Ef sama merki er á inngöngum $v_1 = v_2 = v_{inn}$ viljum við fá sem minnst útmerki.

Eftir fyrsta stigið eru útmerkin v_3 og v_4

$$v_{inn} = v_3 \frac{R_3}{R_1 + R_3} + v_4 \frac{R_1}{R_1 + R_3} \quad (137)$$

$$v_{inn} = v_4 \frac{R_3}{R_2 + R_3} + v_4 \frac{R_2}{R_2 + R_3} \quad (138)$$

Gerum ráð fyrir að $R_1 = R_2 = R$, þá fæst $2v_{inn} = v_3 + v_4$ eða $v_3 = v_4 = v_{inn}$

Eftir annað stigið er útmerkið v_{ut}

$$v_{ut} = -\frac{R_6}{R_4} \left[v_{inn} - v_{inn} \frac{R_7}{R_5 + R_7} \frac{R_4 + R_6}{R_6} \right] \quad (139)$$

$$v_{ut} = -v_{inn} \frac{R_6 R_5 - R_7 R_4}{R_4 (R_5 + R_7)} \quad (140)$$

$$A_s = \frac{v_{ut}}{v_{inn}} \quad (141)$$

$$= \left(\frac{R_6 R_5}{R_7 R_4} - 1 \right) / \left(\frac{R_5}{R_7} + 1 \right) \quad (142)$$

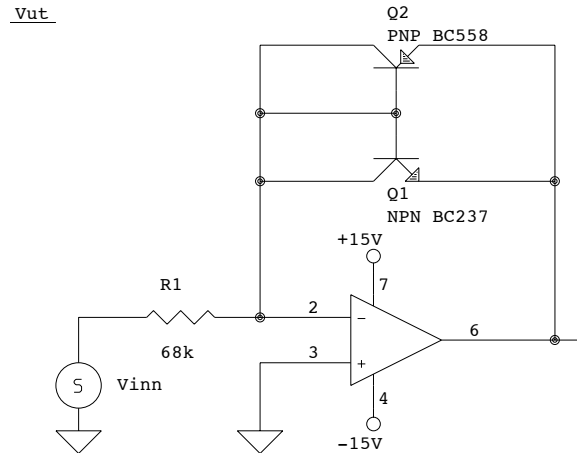
Ef hlutfallsleg nákvæmni viðnámana er $\frac{\delta R}{R}$ verður nákvæmni sammögnunarinnar

$$\frac{\delta A_s}{A_s} \approx \sqrt{2} \frac{\delta R}{R} \quad (143)$$

Dæmi: Ef við notum 1% nákvæm viðnám má gera ráð fyrir að nákvæmni sammögnunar sé um 1.5%. ($v_{ut} \approx 1.5\% v_{inn}$)..

Tengið sveifugjafann eins og sýnt er á mynd 25. Stillið sveifugjafann v_{inn} á 1 kHz. Tengid sveiflusjá við v_{inn} og v_{ut} . Þetta er uppsetning á mælitæknimagnara með sammerki (e. common mode) á inngöngum.

1. Stillið v_1 á 1 Volt. Skoðið kennifall magnarans.
2. Mælið sammögnunina A_s við 1kHz og berið saman við fræði.
3. Tengid v_{inn} á jörð og endurtakið mælingarnar.



Mynd 26: Lograrás.

6.3 Lograrás

Lesefni: kafli 4 (einkum 4.14) í „The Art of Electronics“. Í þessari rás eru smáar notaðir til að fá útspennu, sem er í hlutfalli við logrann af innspennunni. Gert er ráð fyrir að inngangsviðnám magnarans sé stórt og mögnun mikil og $v_- \approx v_+ = 0$. Kennifallið fæst úr eftirfarandi jöfnum, þar sem $e = 1.6^{-19}C$ er hleðsla rafeindar, $k = 1.38^{-23}J/K$ er Boltzmann fastinn, T hitastig í Kelvin og i_0 er mettnarstraumur smárans. Við notum tvo smára í rásinni, NPN til að fást við jákvæðar innspennur og PNP til að fást við neikvæðar innspennur.

$$i_{inn} = \frac{v_{inn}}{R_1} \quad (144)$$

$$i_{inn} = i_0 \left(\exp\left(\frac{-v_{ut}e}{kT}\right) - 1 \right) \quad (145)$$

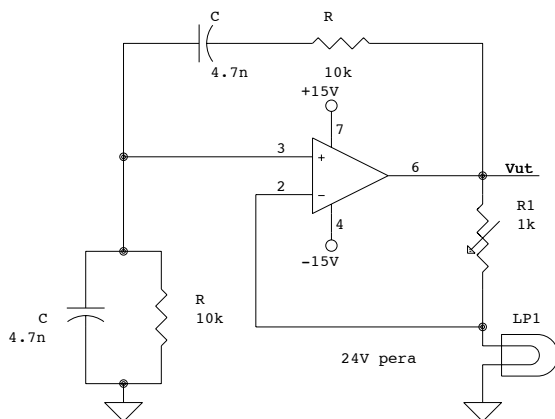
$$v_{ut} = -\frac{kT}{e} \ln\left(\frac{v_{inn}}{i_0 R_1} + 1\right) \quad (146)$$

Tengið rásina á mynd 26 og mælið v_{inn} og v_{ut} með sveiflusjá.

1. Skoðið kennifallið fyrir lograrásina.
2. Mælið v_{inn} og v_{ut} og reiknið mettnarstrauminn i_0 samkvæmt jöfnu 146.
3. Skoðið v_{ut} fyrir mismunandi bylgjuform á v_{inn} .

4. Mælið v_{inn} og v_{ut} með fjölmæli fyrir 100 Hz kassabylgju og hafið v_{inn} gildin t.d. 1.0mV, 10mV, 100mV, 1V og 7V.

5. Setjið niðurstöður í graf og berið saman við fræðin hér á undan.



Mynd 27: Wien brú.

6.4 Sveifluvaki með Wien brú

Lesefni: kafli 5 (einkum 5.17) í „The Art of Electronics“. Wien brúin er notuð til að fá tíðniháða jákvæða afturverkun í rásinni þannig að á einni tiltekinni tíðni er v_+ í fasa með v_{ut} og ef mögnun rásarinnar $\frac{v_{ut}}{v_+ - v_-} \geq 1$ á þeirri tíðni verður til sínussveifla í rásinni.

Til að fá út stöðuga sínussveiflu frá rásinni verður eftirfarandi að gilda, þar sem Z_1 er tvinnviðnámið frá v_+ og til jarðar og Z_2 er tvinnviðnámið frá v_{ut} og að v_+ . $R_p = f(v_-)$ er viðnám perunnar, sem er spennuháð.

$$v_+ = v_{ut} \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} \quad (147)$$

$$v_- = \frac{R_p}{R_p + R_1} v_{ut} \quad (148)$$

$$v_- = \alpha v_{ut} \quad (149)$$

$$v_{ut} = A(v_+ - v_-) \quad (150)$$

$$\frac{1}{A} + \alpha = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} \quad (151)$$

Ef við gerum ráð fyrir að hér sé $A \gg 1$ þá fæst að α þarf að vera

$$\alpha = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} \quad (152)$$

Reiknum nú út Z_1 og Z_2 og fáum

$$Z_1 = \frac{R}{1 + j\omega RC} \quad (153)$$

$$Z_2 = R + \frac{1}{j\omega C} \quad (154)$$

Ef sett er inn í jöfnu (152) fæst gildið á α sem er

$$\alpha = \frac{j\omega RC}{1 - \omega^2 R^2 C^2 + 3j\omega RC} \quad (155)$$

Þegar $\omega^2 R^2 C^2 = 1$ verður gildið á α

$$\alpha = \frac{1}{3} \quad (156)$$

og þá verður sveifutíðnin

$$f = \frac{1}{2\pi RC} \quad (157)$$

Hér er gert ráð fyrir að báðir þéttarnir hafi rýmdina C og bæði viðnámin hafi viðnámið R .

Tengið Wien brú sveifluvakann á mynd 27.

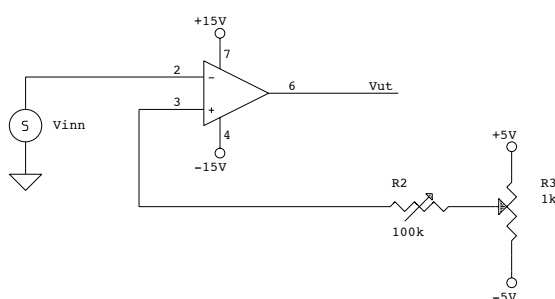
1. Reiknið út sveiflutíðnina f .
2. Stillið breytilega viðnámið svo að sveifla komi frá rásinni.
3. Skoðið v_{ut} fyrir mismunandi stærð á útsveiflunni.
4. Mælið tíðni sveiflunnar og berið saman við fræðin.
5. Staðfestið að v_- sé nákvæmlega αv_{ut} .
6. Hvert er hlutverk perunnar í rásinni?
7. Tengid nú útgang Wien brúarinnar inn á elti úr aðgerðamagnara og útmerkið úr honum inn á hátalara. Prófið að breyta tíðni rásarinnar með því að skipta um viðnám.
8. Hver er tilgangur eltisins þegar rásin er tengd við hátalara?

Hluti VII

Jákvæð afturverkun

7 Jákvæð afturverkun

Í þessari tilraun er ætlunin að kynnst eiginleikum jákvæðrar afturverkunar (e. positive feedback) og hvernig hún er notuð til að búa til rásir sem meðal annars búa yfir þeim eiginleika að hafa minni. Lesefni: kafli 4 (einkum 4.23) og kafli 5 (einkum 5.13) í „The Art of Electronics”.

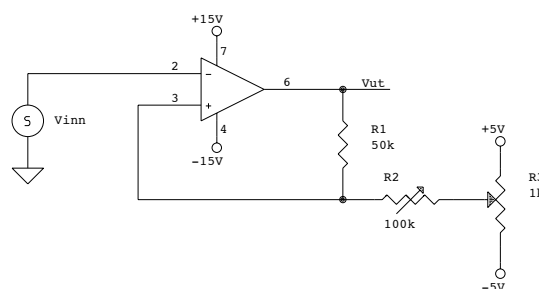


Mynd 28: Samanburðarrás.

7.1 Samanburðarrás

Einföld rás til að bera saman innspennu við viðmiðunarspennu fæst með því að nota aðgerðamagnara og setja innspennuna v_{inn} inn á v_- inngang hans og viðmiðunarspennuna v_{ref} inn á v_+ inngang. Útspennan verður þá $+V$ ef $v_{inn} < v_{ref}$ en $-V$ annars. Tengið upp rásina á mynd 28. Þetta er uppsetning á samanburðarrás (e. comparator). Rásin hefur tvö gildi á útmerkinu $v_{ut} = \pm V$, þar sem V er hámarks-útspenna magnarans.

1. Stillið v_{inn} á sínusbylgju.
2. Skoðið kennifallið og útmerkið v_{ut} fyrir mismunandi bylgjuform.



Mynd 29: Schmitt gikkur.

7.2 Schmitt gikkur

Tengið upp rásina á mynd 29. Þetta er uppsetning á Schmitt gikk (e. Schmitt trigger). Rásin hefur tvö gildi á útmerkinu $v_{ut} = \pm V$, þar sem V er hámarksútspenna magnarans. Þegar $v_- > v_+$ er $v_{ut} = -V$ og þegar $v_- < v_+$ er $v_{ut} = +V$. Ef við setjum $v_- = v_{inn}$ fæst stærðin á v_+ sem

$$v_+ = v_{ut} \frac{R_2}{R_1 + R_2} + v_m \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (158)$$

Hér er v_m er spennan á miðúttaki R_3 . Ef $v_{ut} = +V$ fæst gildið á v_+

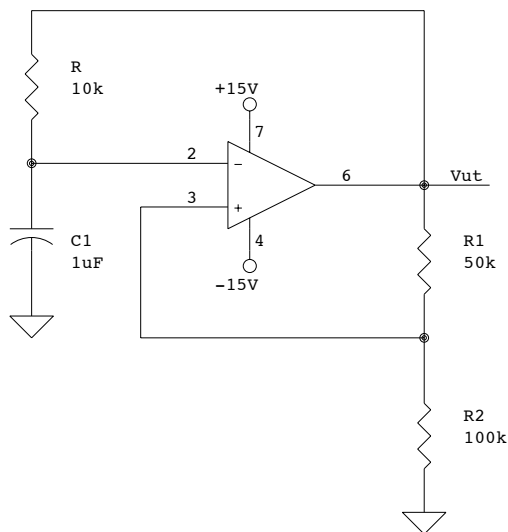
$$v_+ = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \left(\frac{+V}{R_1} + \frac{v_m}{R_2} \right) \quad (159)$$

Ef $v_{ut} = -V$ fæst gildið á v_+ :

$$v_+ = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \left(\frac{-V}{R_1} + \frac{v_m}{R_2} \right) \quad (160)$$

Stillið R_2 á miðgildi. Tengið sveiflusjá við v_{inn} og v_{ut} og staðfestið að rásin vinni samkvæmt ofansögðu.

1. Stillið v_{inn} á sínusbylgju. Skoðið kennifall rásarinnar.
2. Breytið viðnáminu R_2 og skoðið hvaða áhrif það hefur á kennifallið.
3. Teiknið kennifallið fyrir 2 til 3 gildi á viðnáminu R_2 .
4. Hvernig er hegðun Schmitt gikkisins frábrugðin hegðun samanburðarrásarinnar?



Mynd 30: Óstöðug vippa með aðgerðamagnara.

7.3 Óstöðug vippa

Tengið upp rásina á mynd 30. Þetta er uppsetning af óstöðugri vippu (e. astable multivibrator) með sveiflutíma T . Rásin hefur tvö gildi á útmerkinu $v_{ut} = \pm V_T$, þar sem V_T er hámarksútspenna magnarans. Til að finna sveiflutíma vippunnar skoðum við upphleðslu þéttis í RC rás sem drifinn er af spennugjafa með spennuna $\pm V$. Spennan yfir þéttinn er v_C , hleðsla hans Q_C og straumurinn sem hleður hann upp er i_C . Hleðsla þéttisins er

$$Q_C = C v_C \quad (161)$$

og straumurinn sem hleður hann er

$$i_C = \frac{dQ_C}{dt}. \quad (162)$$

Straumurinn er einnig

$$i_C = \frac{V - v_C}{R} \quad (163)$$

og saman gefur þetta okkur

$$\frac{dC v_C}{dt} = \frac{V - v_C}{R} \quad (164)$$

Spenna þéttisins, sem fall af tíma fæst með því að leysa jöfnu (164)

$$v_C(t) = V(1 - \exp(-\frac{t}{RC})) \quad (165)$$

Til að finna tímann t sem það tekur þéttinn að hlaðast upp í spennuna v_C ritum við jöfnuna fyrir t

$$t = -RC \ln(1 - \frac{v_C(t)}{V}) \quad (166)$$

Við fáum þá hálfan sveiflutímann $t_e - t_n = \frac{T}{2}$, en það er tíminn sem það tekur spennuna að breytast milli tveggja gilda, frá v_n upp í v_e . Sveiflutíminn fæst með því að setja inn í jöfnu (166)

$$T = 2(t_e - t_n) \quad (167)$$

$$= 2RC \ln \frac{1 - \frac{v_n}{V}}{1 - \frac{v_e}{V}} \quad (168)$$

Tíminn T verður þá jafn sveiflutíma vippunnar, því að viðmiðunarspenna vippunnar v_+ er til skiptis v_n eða v_e og þéttirinn er ýmist að hlaðast upp eða afhlaðast. Með því að skoða spennudeilinguna við útgánginn á rásinn á mynd 30 sjáum við að v_n og v_e má reikna á eftirfarandi hátt

$$v_n = -V \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (169)$$

$$v_e = +V \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (170)$$

Ef við setjum inn gildin fyrir R_1 og R_2 fæst sveiflutíminn

$$T = 2RC \ln 5 \quad (171)$$

Tengið sveiflusjá við v_{ut} og gerið mælingar á sveiflutímanum T .

1. Mælið viðmiðunarspennuna v_+ og berið hana saman við fræðin (munið að taka tillit til hliðrunarinnar á spennugildum í útleiðslu á jöfnum).

2. Skoðið spennuna yfir þéttinn og berið hana saman við fræðin.
3. Mælið sveiflutímann T og berið niðurstöðuna saman við fræðin.
4. Skoðið útmerkið v_{ut} fyrir mismunandi gildi á R_2 með því að nota breytilegt viðnám sem R_2 .
5. Teiknið mynd af útmerkinu v_{ut} fyrir 3 gildi á R_2 . Útskýrið breytingar á útmerkinu.

Hluti VIII

Orðalisti

aðgerðamagnari operational amplifier**afl** power [Watt]**afriðill** rectifier**afriðilsbrú** rectifier bridge**afturverkun** feedback**andhverfir** inverter**bakviðnám** reverse resistance [Ohm]**beinir** base (BJT)**bjöllumspennir** transformer**desibel** decibel $\text{dB} = 10 \log_{10} \frac{P}{P_0}$ [dB]**deyfingarstuðull** damping factor**diffrunarrás** differentiating circuit**diffurmagnari** differential amplifier**diffurmögnun** differential amplification**diffurmerki** differential signal**eigintíðni** natural frequency**eimir** emitter (BJT)**fjölmaelir** multimeter**flétturás** combinatorical circuit**forspenna** bias**framviðnám** forward resistance [Ohm]**gáruspenna** ripple voltage [Volt]**gátt** gate (FET)**gikkur** trigger**gista** register**gleypir** collector (BJT)**hágildi** top value**hermitíðni** resonance frequency**hleðsla** charge**hleðslunæmur** charge sensitive**hringsveifill** ring oscillator**inngangsviðnám** input resistance [Ohm]**innra viðnám** internal resistance [Ohm]**íspenna** EMF, electro motive force [Volt]**jafngildisrás** equivalent circuit**jákvæð afturverkun** positive feedback**kennifall** characteristic function (transfer function)**kennilína** characteristic function**klukka** clock**leiðni** conductance [Siemens]**lind** source (FET)**ljómtvistur** light emitting diode (LED)**ljósapera** light bulb, lamp**ljóseind** photon**ljóstvistur** photodiode**lograrás** logarithmic circuit**magnari** amplifier**meðalgildi** mean value**mettunarstraumur** saturating current [Ampere]**mínusskaut** cathode**mælitæknimagnari** instrumentation amplifier**mögnunarbandbreidd** gain bandwidth product**nákvæmni** precision**Norton** Norton**óstöðug vippa** astable flip-flop**plússkaut** anode**púlsfjölda teljari** pulse rate multiplier**rað** series**rafhleðsla** charge**rafhleðslunæmur magnari** charge sensitive amplifier**rafsviðssmári** field effect transistor, FET**rás** circuit**riðstraumsmagnari** alternating current amplifier**rofi** switch**runurás** sequential circuit**rýmd** capacitance [Farad]**ræsir** trigger**ræstur** triggered**rökrás** logic circuit**samanburðarrás** comparator**sameiginlegur beinir** common base**sameiginlegur eimir** common emitter**sameiginlegur gleypir** common collector**samhæfður** synchronous**sammögnun** common mode amplification**sammerki** common mode signal**samsíða** parallel**Schmitt gikkur** Schmitt trigger**sía** filter**skiftgista** shift register**skotpúlsgjafi** monostable flip-flop, monosta-

ble multivibrator
smári transistor
smári bipolar junction transistor BJT
spanstuðull inductance [Henry]
spenna voltage [Volt]
spennir transformer
spennudeilir voltage divider
spennustaðall voltage reference
spennustillir voltage regulator
straumgjafi current source
straummögnun current amplification
straumspegill current mirror
straumur current [Amper]
summurás summing circuit
sveiflugjafi signal generator
sveiflustærð amplitude
sveifluvaki oscillator
svelgur drain (FET)
sviðssmári field effect transistor FET
svörunarfall transfer function
tegrunarrás integrating circuit
teljari counter
Thévenin Thévenin
tíðni frequency [Hertz]
tímastuðull time constant [Seconds]
tvinnleiðni admittance [Siemens]
tvinnviðnám reactance, impedance [Ohm]
tvískautasmári bipolar transistor, BJT
tvistur diode
tvíundarteljari binary counter
tölva digital computer
upplausn resolution
útgangsviðnám output resistance [Ohm]
viðnám resistor, resistance [Ohm]
viðnámsstigi resistor ladder
vinnupunktur operating point
vinnuspenna operating voltage
vinnustraumur operating current
vippa flip–flop
Wien brú Wien bridge
þéttir capacitor