Greining rása:

Aðgerðamagnarar

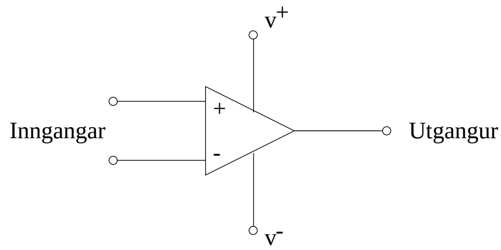
Kafli 4

Jón Tómas Guðmundsson

tumi@hi.is

21. janúar 2005

Aðgerðamagnarar



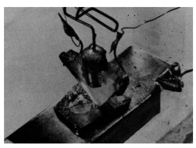
- Aðgerðamagnari er virk rásaeining, sem hefur fjölmargar hagnýtingar í rafeindatækni
- Virk rásaeining er rásaeining sem getur gefið frá sér orku
- Hér verður lýst nokkrum mikilvægum aðgerðamagnararásum og þær greindar
- Meðal kosta magnararása er einangrun milli inn- og útganga (hátt innviðnám) og aflmögnun

Aðgerðamagnarar

- Upphaf rafeindatækninnar má rekja til uppgötvunnar rafeindarinnar af J. J. Thomson árið 1897
- Árið 1907 kom Lee De Forest fram með þristlampann
- Fyrri helming 20. aldarinnar voru lampar og liðar ráðandi tækni, lampatvistar, bakskauts- lampar og örbylgjuvakar voru framleiddir í miklu magni
- Hálfleiðarar eru efni með stýranlega og hitaháða eðliseiginleika
- Með tilkomu skammtafræðinnar á árunum 1926 – 1936 jókst skilningur á eiginleikum hálfleiðara
- Upp úr 1930 var farið að búa til tvista úr hálfleiðandi efnum

Aðgerðamagnarar

- Árið 1945 voru hafnar rannsóknir á hálfleiðandi tólum við Bell Laboratories
- Hópurinn hafði það langtíma markmið að skapa hálfleiðaratól sem kæmi í stað lampa og liða



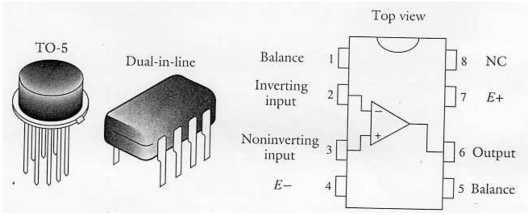

- Í desembermánuði 1947 settu þeir John Bardeen, William Schockley, og Walter Brattain saman fyrsta smárann
- Fyrir uppgötvun þessa fengu þeir Nóbelsverðlaunin í eðlisfræði árið 1956
- Með því hófst notkun hálfleiðara í rafeindatækni

Aðgerðamagnarar

- Fyrsti aðgerðamagnarinn, sem byggður var úr lömpum, kom á markað upp úr 1940
- Þeir voru upphaflega notaðir til að framkvæma stærðfræðilegar aðgerðir, eins og samlagningu og tegrun í rafrás sem kölluð var hliðræn tölva (e. analog computer)
- Með tilkomu hálfleiðaratóla var fljótlega farið að framleiða aðgerðarmagnara í smárásum
- Aðgerðamagnari er virk rásaeining sem hefur háa mögnun
- Hann er hannaður til að notast með öðrum rásaeiningum til að framkvæma ákveðna merkjameðhöndlun

Aðgerðamagnarar

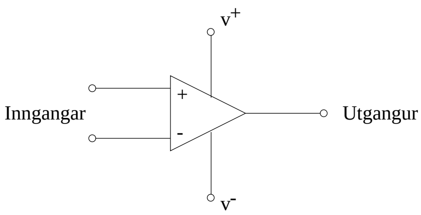
- Dæmigerður aðgerðamagnari er μA741



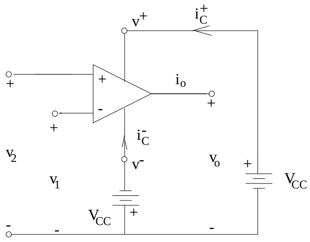
- Hann hefur 8 tengipunkta eins og sést á mynd
- Hver μA741 samanstendur af 24 smárum og um tylft viðnáma og nokkrum þéttum

Aðgerðamagnarar

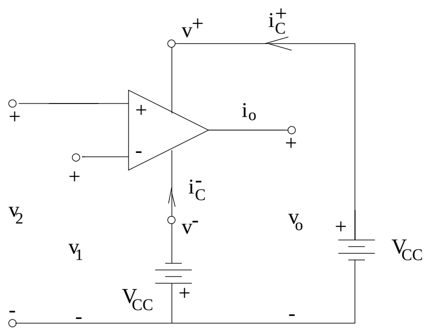
- Aðgerðamagnarar verða skoðaðir sem "svartir kassar" þ.e. skoðum ekki það sem fram fer inni í þeim heldur skoðum eingöngu ytri tengingar.
- Rásamynd af aðgerðamagnara



- Með ytri aflgjafa er lögð spenna á aðgerðarmagnarann



Aðgerðamagnarar

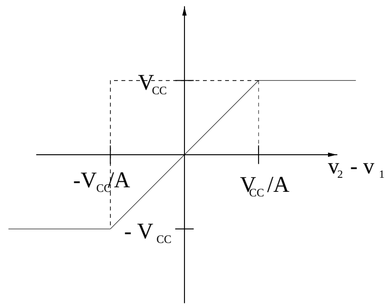


- Ytra afl þarf til þess að fá aðgerðamagnarann til þess að vinna eins og til er ætlast
- Oftast er þessum ytri aflgjafa og tilheyrandi tengingum sleppt þegar rás er teiknuð og hún greind

Aðgerðamagnarar

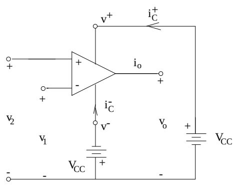
- Innri gerð aðgerðamagnarans setur ákveðinn skilyrði á strauma og spennur
- Skilyrðin sem spennurnar verða að uppfylla eru tvö
$$v_{\mathrm{o}} = A(v_2 - v_1)$$
og
$$-V_{\mathrm{CC}} \le v_{\mathrm{o}} \le +V_{\mathrm{CC}}$$
- Fyrra skilyrðið segir okkur að útgangsspennan er í réttu hlutfalli við mismun inngangsspennanna v_1 og v_2.
- Hlutfallsstuðullinn A er kallaður **mögnun í opinni lykkju**.
- Seinna skilyrðið segir okkur að útgangsspennan takmarkast af lindarspennunum $\pm V_{\mathrm{CC}}$.
- Ef $v_{\mathrm{o}} = \pm V_{\mathrm{CC}}$ þá segjum við að aðgerðamagnarinn sé **mettaður** (í mettun).

Aðgerðamagnarar



- Aðgerðamagnari er í línulegu sviði ef $| v_{\mathrm{o}} | < | V_{\mathrm{CC}} |$
- Dæmigerð gildi á V_{CC} og A eru $V_{\mathrm{CC}} < 20$ V og $A > 10^5$.
- Við sjáum að því að í línulegu sviði gildir að
$$| v_2 - v_1 | < \frac{20}{10^5} = 0.2 \ \text{mV}$$
sem þýðir í raun að $v_1 \approx v_2$.

Aðgerðamagnarar

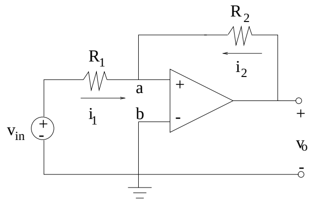


- Beitum nú KCL á aðgerðamagnarann og fáum
$$i_1 + i_2 + i_{\mathrm{o}} + i_{\mathrm{C}}^{+} + i_{C}^{-} = 0$$
- Skilyrðið sem innri gerð aðgerðamagnarans setur á straumana er að i_1 og i_2 séu mjög litlir miðað við hina straumana. Í fullkomnum aðgerðamagnara gildir að $i_1 \approx i_2 \approx 0$.
- Þetta segir einnig að inngangsviðnám aðgerðamagnara er mjög stórt (frá 10^5 til 10^9 Ω). með þessu skilyrði verður KCL-jafnan
$$i_{\mathrm{o}} = -(i_{\mathrm{C}}^{+} + i_{\mathrm{C}}^{-})$$

Aðgerðamagnarar

- Útgangsstraumurinn getur verið talsverður þótt inngangsstraumarnir séu núll
- Ef við vitum að aðgerðamagnarinn vinnur í línulegu sviði, þá má einfalda rásamyndina enn frekar
- Það er ekki nauðsynlegt að hafa $V_{\mathrm{CC}}^{-} = -V_{\mathrm{CC}}^{+}$ en alltaf verður að gilda $V_{\mathrm{CC}}^{-} \le v_{\mathrm{o}} \le V_{\mathrm{CC}}^{+}$ (t.d. ef $V_{\mathrm{CC}}^{+} = 15$ V og $V_{\mathrm{CC}}^{-} = -10$ V þá er -10 V $\le v_{\mathrm{o}} \le 15$ V, ef aðgerðamagnarinn á að vinna á línulegu sviði
- Við gerum ráð fyrir að lykkjumögnunin A sé fasti, þó að sú sé ekki alltaf raunin.

Magnari með umpólun



- Gerum ráð fyrir fullkomnum aðgerðamagnara þ.e. $A = \infty$, $R_{in} = \infty$ og $R_o = 0$.
- Þar sem inngangarnir eru við því næst sömu spennu ($v_a \approx v_b$) þá sjáum við að spennan í punkti a er $v_a \approx v_b = 0$.
- Enginn straumur fer inn á inngangana ($R_{in} = \infty$) svo að $i_1 + i_2 = 0$. En nú er

$$i_1 = \frac{v_{in}}{R_1} \quad \text{og} \quad i_2 = \frac{v_o}{R_2}$$

Magnari með umpólun

- þannig að

$$\frac{v_{in}}{R_1} + \frac{v_o}{R_2} = 0$$

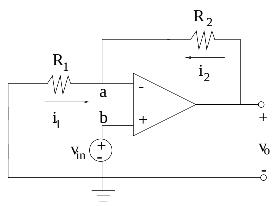
og þá

$$\frac{v_o}{v_{in}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

- Við sjáum að enda þótt mögnunin í opinni lykkju sé $A = \infty$ þá verður mögnunin í lokaðri lykkju (**afturverkunarviðnámið** R_2 lokar lykkjunni) endanleg og það sem meira er, ákvarðast eingöngu af hlutfalli viðnámanna R_1 og R_2.
- Mínusinn þýðir að ef $v_{in} > 0$ þá er $v_o < 0$ (umpólun).

$\Longrightarrow$ Dæmi 4.1.

Magnari án umpólunar



Hér sést að

$$v_a \approx v_b = v_{in}$$

og með því að líta á þessa rás sem spennudeili má sjá að

$$v_{in} = v_o \frac{R_1}{R_1 + R_2} \qquad => \qquad v_o = v_{in} \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

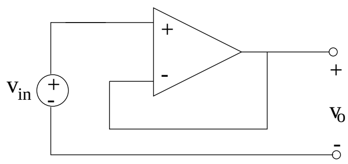
eða

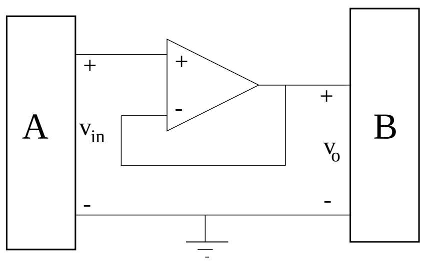
$$v_o = v_{in} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

svo að hér ákvarðast mögnunin eingöngu af viðnámunum R_1 og R_2. Í þessu tilfelli getur mögnunin ekki orðið minni en 1. Ef $R_2 = 0$ þá verður mögnunin $v_o / V_{in} = 1$.

Magnari án umpólunar

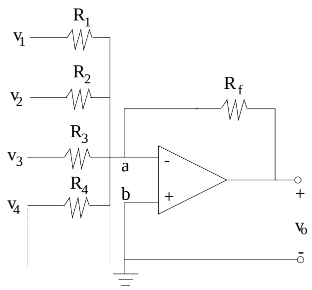
Getum því valið R_1 að vild; veljum $R_1 = \infty$ þ.e. sleppum því. Þessi rás er svo kallaður "voltage follower" og er notuð sem "buffer" milli tveggja rása A og B, þ.e. rás B dregur þá engan straum frá rás A. ($R_{in} = \infty$, $R_o = 0$).





Summari

Sértilfelli af umpólunarmagnaranum er summarinn:



Í punkti a gildir samkvæmt KCL

$$\frac{v_\mathrm{o}}{R_f} + \frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \cdots = 0$$

eða

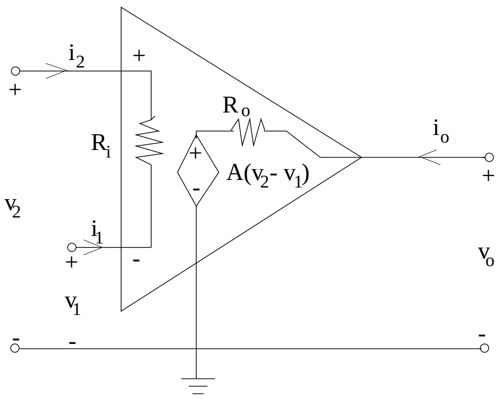
$$v_\mathrm{o} = -\left(\frac{R_f}{R_1}v_1 + \frac{R_f}{R_2}v_2 + \cdots\right) = 0$$

$\Longrightarrow$ Dæmi 4.2.

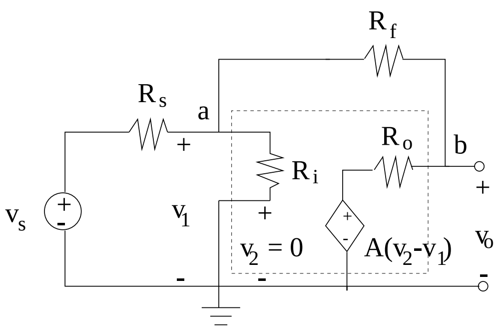
Jafngildisrás fyrir aðgerðamagnara

Neðangreinda jafngildisrás má nota fyrir aðgerðamagnara sem ekki er fullkominn. Hér er gert ráð fyrir $A \neq \infty$, $R_i \neq \infty$ og $R_\mathrm{o} \neq 0$.

Jöfnurnar $v_1 \approx v_2$, $i_1 \approx i_2 = 0$ og $v_\mathrm{o} = A(v_1 - v_2)$ gilda ekki nema um fullkominn aðgerðamagnara.



Jafngildisrás



Setjum upp hnútpunktajöfnur í punktum a og b

a:

$$\frac{v_1 - v_s}{R_s} + \frac{v_1 - v_\mathrm{o}}{R_f} + \frac{v_1}{R_i} = 0$$

b:

$$\frac{v_\mathrm{o} - v_1}{R_f} + \frac{v_\mathrm{o} - A(-v_1)}{R_\mathrm{o}} = 0$$

eða

$$\left(\frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_f} + \frac{1}{R_i}\right)v_1 - \frac{1}{R_f}v_\mathrm{o} = \frac{1}{R_s}v_s$$

Jafngildisrás

Þá er

$$\left(\frac{A}{R_\mathrm{o}} - \frac{1}{R_f}\right)v_1 + \left(\frac{1}{R_f} + \frac{1}{R_\mathrm{o}}\right)v_\mathrm{o} = 0$$

svo að

$$v_\mathrm{o} = \left(\frac{-A + \frac{R_\mathrm{o}}{R_f}}{\frac{R_s}{R_f}\left(1 + A + \frac{R_\mathrm{o}}{R_f}\right) + \left(\frac{R_s}{R_i} + 1\right) + \frac{R_\mathrm{o}}{R_f}}\right)v_s$$

Ef $R_\mathrm{o} = 0$, $R_i = \infty$ en $A \neq \infty$ fæst

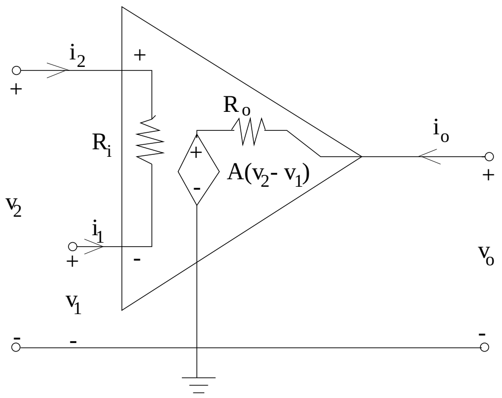
$$v_\mathrm{o} = \left(\frac{-A}{\frac{R_s}{R_f}(1 + A) + 1}\right)v_s$$

Ef $R_\mathrm{o} = 0$, $R_i = \infty$ og $A = \infty$ (fullkominn aðgerðamagnari) fæst

$$v_\mathrm{o} = -\frac{R_f}{R_s}v_s$$

eins og áður.

Jafngildisrás



Gerum þrjár leiðréttingar:

- endanlegt inngangsviðnám R_i
- endanleg mögnun A
- útgangsviðnám $R_\mathrm{o} \neq 0$

Dæmigerð gildi eru $R_i = 2$ MΩ, $R_\mathrm{o} = 75\ \Omega$ og $A = 10^5$

$\Longrightarrow$ Dæmi 4.3.

Heimildir

[1] D. E. Scott, *An Introduction to Circuit Analysis - A Systems Approach*, McGraw-Hill, 1987, Kaflar 8.1 - 8.2

[2] R.A. DeCarlo og Pen-Min Lin,*Linear Circuit Analysis: Time Domain, Phasor and Laplace Transform Approaches*, Oxford University Press, 2001, Kafli 4

[3] R. C. Dorf og J. A. Svoboda, *Introduction to Electric Circuits*, 3rd edition, John Wiley & Sons, 1996, Kafli 6