## Greining rása:

# Aðgerðamagnarar

## Kafli 4

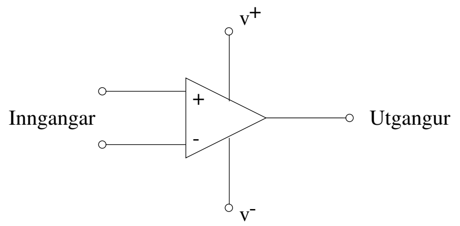
**Jón Tómas Guðmundsson**

tumi@hi.is

**25. janúar 2002**



## 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



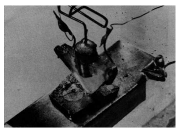
## Aðgerðamagnarar

- 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

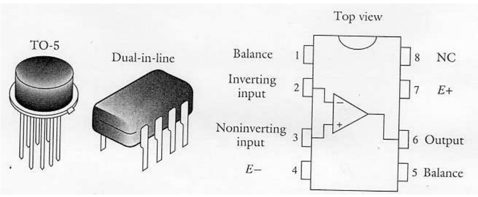
## Aðgerðamagnarar

- 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 $\mu$A741

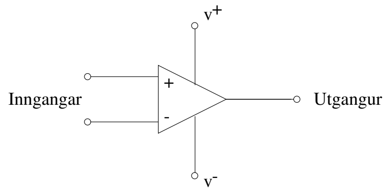



- Hann hefur 8 tengipunkta eins og sést á mynd
- Hver $\mu$A741 samanstendur af 24 smárum og um tylft viðnáma og nokkrum þéttum

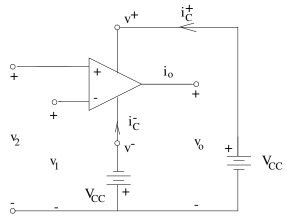


## Aðgerðamagnarar

- 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

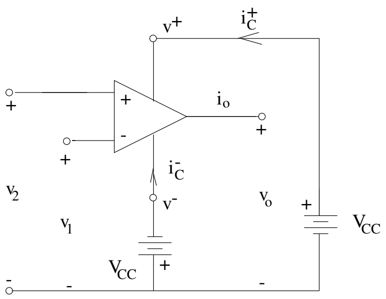



- Með ytri aflgjafa er lögð spenna á aðgerðarmagnarann






## Aðgerðamagnarar



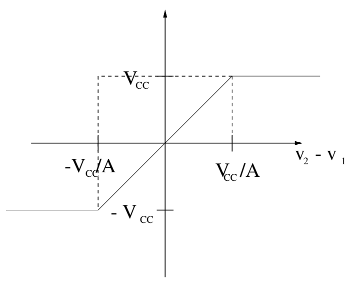

- Ytra afl þarf til þess að fá aðgerðamagnarann til þess að vinna eins og til er ætlast
- Oftast er þessum ytri aflgjafa og tilheyrandi tengingum sleppt þegar rás er teiknuð og hún greind

## Aðgerðamagnarar

- Innri gerð aðgerðamagnarans setur ákveðinn skilyrði á strauma og spennur
- Skilyrðin sem spennurnar verða að uppfylla eru tvö
$$v_o = A(v_2 - v_1)$$
og
$$-V_{CC} \leq v_o \leq +V_{CC}$$
- 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 $\pm V_{CC}$.
- Ef $v_o = \pm V_{CC}$ þá segjum við að aðgerðamagnarinn sé **mettaður** (í mettun).



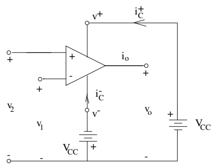
## Aðgerðamagnarar




- Aðgerðamagnari er í línulegu sviði ef $| v_o | < | V_{CC} |$
- Dæmigerð gildi á $V_{CC}$ og $A$ eru $V_{CC} < 20$ 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



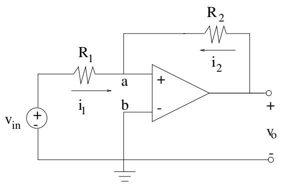
- Beitum nú KCL á aðgerðamagnarann og fáum
$$i_1 + i_2 + i_o + i_C^+ + i_C^- = 0$$
- Skilyrðið sem innri gerð aðgerðamagnarans setur á straumana er að $i_1$ og $i_2$ séu mjög litlir miðað við hina straumana. Í fullkomnum aðgerðamagnara gildir að $i_1 \approx i_2 \approx 0$.
- Þetta segir einnig að inngangsviðnám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



## 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 $V_{CC}^- = -V_{CC}^+$ en alltaf verður að gilda $V_{CC}^- \leq v_o \leq V_{CC}^+$ (t.d. ef $V_{CC}^+ = 15$ V og $V_{CC}^- = -10$ V þá er $-10$ V $\leq v_o \leq 15$ 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

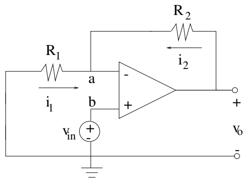
$$\frac{v_o}{v_{in}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

- 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

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

eða

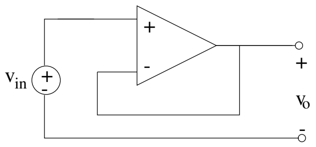
$$v_o = v_{in} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

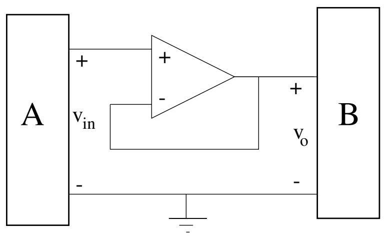
svo að hér ákvarðast mögnunin eingöngu af viðnámunum $R_1$ og $R_2$. Í þessu tilfelli getur mögnunin ekki orðið minni en 1. Ef $R_2 = 0$ þá verður mögnunin $v_o / V_{in} = 1$.



## Magnari án umpólunar

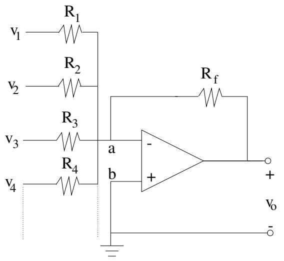
Getum því valið $R_1$ að vild; veljum $R_1 = \infty$ þ.e. sleppum því. Þessi rás er svo kallaður "voltage follower" og er notuð sem "buffer" milli tveggja rása A og B, þ.e. rás B dregur þá engan straum frá rás A. ($R_{in} = \infty$, $R_o = 0$).



## Summari

Sértilfelli af umpólunarmagnaranum er summarinn:




Í punkti a gildir samkvæmt KCL

$$\frac{v_o}{R_f} + \frac{v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \cdots = 0$$

eða

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

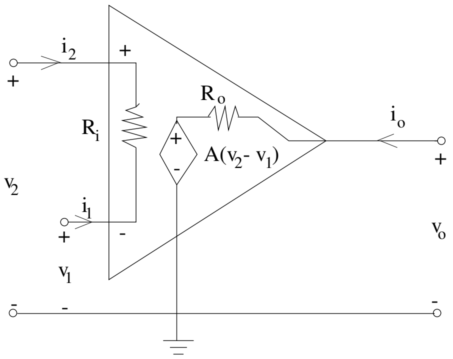
$\Longrightarrow$ Dæmi 4.2.



## Jafngildisrás fyrir aðgerðamagnara

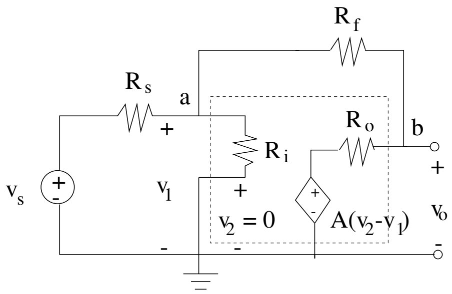
Neðangreinda jafngildisrás má nota fyrir aðgerðamagnara sem ekki er fullkominn. Hér er gert ráð fyrir $A \neq \infty$, $R_i \neq \infty$ og $R_o \neq 0$.

Jöfnurnar $v_1 \approx v_2$, $i_1 \approx i_2 = 0$ og $v_o = A(v_1 - v_2)$ gilda ekki nema um fullkominn aðgerðamagnara.






## Jafngildisrás




Setjum upp hnútpunktajöfnur í punktum a og b

a:
$$\frac{v_1 - v_s}{R_s} + \frac{v_1 - v_o}{R_f} + \frac{v_1}{R_i} = 0$$

b:
$$\frac{v_o - v_1}{R_f} + \frac{v_o - A(-v_1)}{R_o} = 0$$

eða

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



## Jafngildisrás

Þá er

$$\left(\frac{A}{R_o} - \frac{1}{R_f}\right)v_1 + \left(\frac{1}{R_f} + \frac{1}{R_o}\right)v_o = 0$$

svo að

$$v_o = \left(\frac{-A + \frac{R_o}{R_f}}{\frac{R_s}{R_f}\left(1 + A + \frac{R_o}{R_f}\right) + \left(\frac{R_s}{R_i} + 1\right) + \frac{R_o}{R_f}}\right)v_s$$

Ef $R_o = 0$, $R_i = \infty$ en $A \neq \infty$ fæst

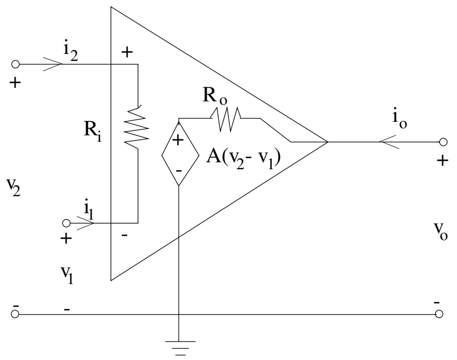
$$v_o = \left(\frac{-A}{\frac{R_s}{R_f}(1 + A) + 1}\right)v_s$$

Ef $R_o = 0$, $R_i = \infty$ og $A = \infty$ (fullkominn aðgerðamagnari) fæst

$$v_o = -\frac{R_f}{R_s}v_s$$

eins og áður.

## Jafngildisrás




Gerum þrjár leiðréttingar:

- endanlegt inngangsviðnám $R_i$
- endanleg mögnun $A$
- útgangsviðnám $R_o \neq 0$

Dæmigerð gildi eru $R_i = 2$ MΩ, $R_o = 75$ Ω 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*, Prentice Hall, 1995, Kafli 3

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