Greining rása:

Aðgerðamagnarar

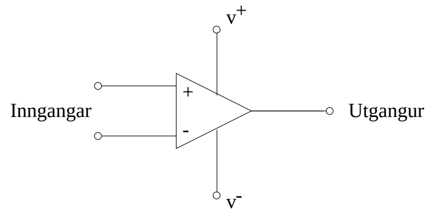
Kafli 4

Jón Tómas Guðmundsson

tumi@hi.is

4. vika 2006

Aðgerðamagnarar



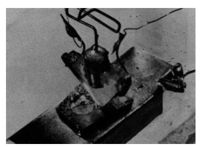
- Aðgerðamagnari er virk rásaeining, sem hefur fjölmargar hagnýtingar í rafeindatækni
- Virk rásaeining er rásaeining sem getur gefið frá sér orku
- Hér verður lýst nokkrum mikilvægum aðgerðamagnararásum og þær greindar
- Meðal kosta magnararása er einangrun milli inn- og útganga (hátt innviðnám) og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



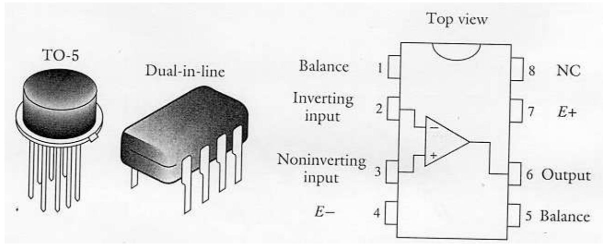
- Í desembermánuði 1947 settu þeir John Bardeen, William Schockley, og Walter Brattain saman fyrsta smárann
- Fyrir uppgötvun þessa fengu þeir Nóbelsverðlaunin í eðlisfræði árið 1956
- Með því hófst notkun hálfleiðara í rafeindatækni

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

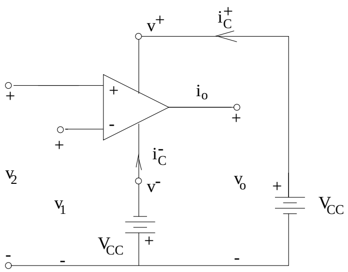
- Dæmigerður aðgerðamagnari er μA741



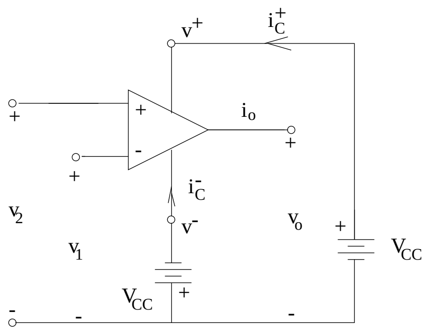
- Hann hefur 8 tengipunkta eins og sést á mynd
- Hver μA741 samanstendur af 24 smárum og um tylft viðnáma og nokkrum þéttum

Aðgerðamagnarar

- Aðgerðamagnarar verða skoðaðir sem “svartir kassar” þ.e. skoðum ekki það sem fram fer inni í þeim heldur skoðum eingöngu ytri tengingar.
- 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 aðgerðamagnara setur skilyrði á strauma og spennur
- Skilyrðin sem spennurnar verða að uppfylla eru tvö

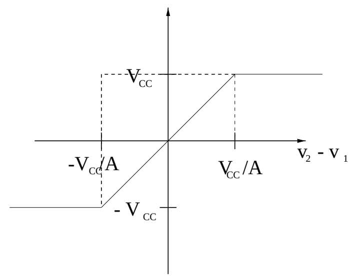
$$v_o = A(v_2 - v_1)$$

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

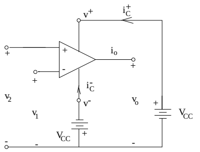


- Aðgerðamagnari er í línulegu sviði ef $| v_o | < | V_{CC} |$
- Dæmigerð gildi á V_{CC} og A eru $V_{CC} < 20$ V og $A > 10^5$
- Við sjáum að því að í línulegu sviði gildir að

$$| v_2 - v_1 | < \frac{20}{10^5} = 0.2 \quad \text{mV}$$

sem þýðir í raun að $v_1 \approx v_2$

Aðgerðamagnarar



- Beitum nú KCL á aðgerðamagnarann og fáum

$$i_1 + i_2 + i_o + i_C^+ + i_C^- = 0$$

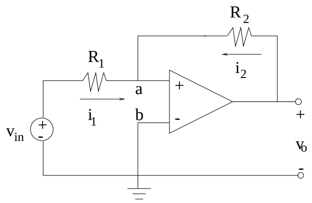
- Skilyrðið sem innri gerð aðgerðamagnarans setur á straumana er að i_1 og i_2 séu mjög litlir miðað við hina straumana. Í fullkomnum aðgerðamagnara gildir að $i_1 \approx i_2 \approx 0$.
- Þetta segir einnig að inngangsviðnám aðgerðamagnara er mjög stórt (frá 10^5 til 10^9 Ω). með þessu skilyrði verður 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. $A = \infty$, $R_{\text{in}} = \infty$ og $R_{\text{o}} = 0$.
- 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 ($R_{\text{in}} = \infty$) svo að $i_1 + i_2 = 0$. En nú er

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

Magnari með umpólun

- þannig að

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

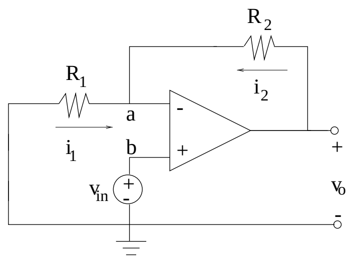
og þá

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

- 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 $v_{\text{in}} > 0$ þá er $v_{\text{o}} < 0$ (umpólun).

$\Longrightarrow$ Dæmi 4.1.

Magnari án umpólunar



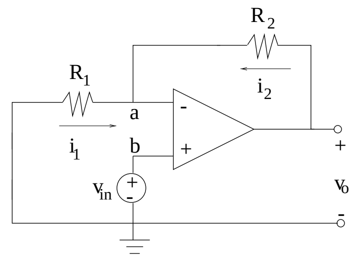
- Hér sést að

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

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

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

Magnari án umpólunar



- Sem segir

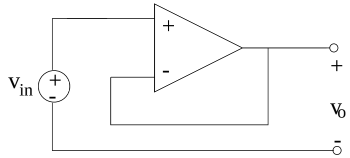
$$v_{\text{o}} = v_{\text{in}} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

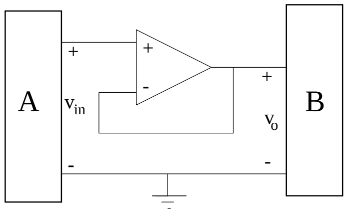
svo að hér ákvarðast mögnunin eingöngu af viðnámunum R_1 og R_2

- Í þessu tilfelli getur mögnunin ekki orðið minni en 1. Ef $R_2 = 0$ þá verður mögnunin $v_{\text{o}}/V_{\text{in}} = 1$

Magnari án umpólunar

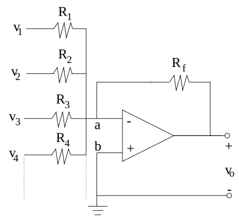
- Getum því valið R_1 að vild; veljum $R_1 = \infty$ þ.e. sleppum því. Þessi rás er svo kallaður “voltage follower” og er notuð sem “buffer” milli tveggja rása A og B, þ.e. rás B dregur þá engan straum frá rás A. ($R_{\text{in}} = \infty$, $R_{\text{o}} = 0$).





Summari

Sértilfelli af umpólunarmagnaranum er summarinn:



Í punkti a gildir samkvæmt KCL

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

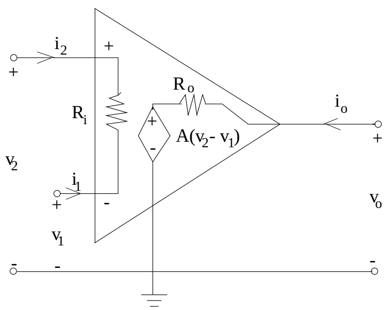
eða

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

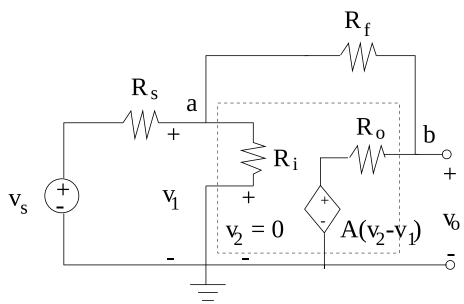
$\Longrightarrow$ Dæmi 4.2.

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



Jafngildisrás

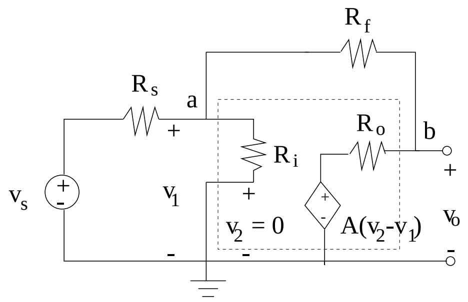


Setjum upp hnútpunktajöfnur í punktum a og b

a:

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

Jafngildisrás



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

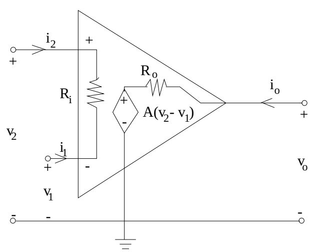
$$v_o = \left(\frac{-A}{\frac{R_s}{R_f}(1 + A) + 1}\right) v_s$$

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.

Frekara lesefni

Um aðgerðamagnara er fjallað í kafla 5 hjá Nilsson and Riedel (2004), kafla 4 hjá DeCarlo and Lin (2001) kafla 6 hjá Dorf and Svoboda (2003) og kafla 8.1 - 8.2 hjá Scott (1987).

References

DeCarlo, R. A. and P.-M. Lin (2001). *Linear Circuit Analysis: Time Domain, Phasor and Laplace Transform Approaches* (2 ed.). New York: Oxford University Press.

Dorf, R. C. and J. A. Svoboda (2003). *Introduction to Electric Circuits* (6 ed.). John Wiley & Sons.

Nilsson, J. W. and S. A. Riedel (2004). *Electric Circuits* (7 ed.). Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice-Hall.

Scott, D. E. (1987). *An Introduction to Circuit Analysis - A Systems Approach*. New York: McGraw-Hill.