

Greining rása:

# Aðgerðamagnarar

## Kaffi 4

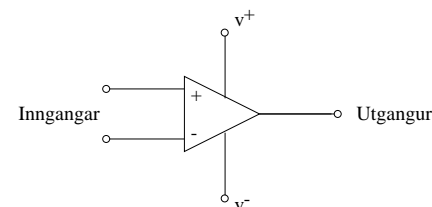
Jón Tómas Guðmundsson

tumi@hi.is

4. vika 2008

1

## Aðgerðamagnarar



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

2

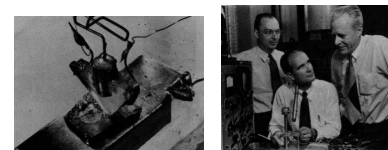
## Aðgerðamagnarar

- 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

3

## Aðgerðamagnarar

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



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

4

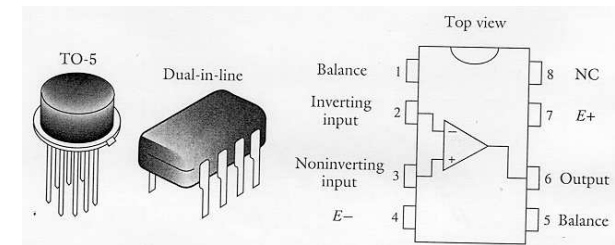
## Aðgerðamagnarar

- 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

5

## Aðgerðamagnarar

- Dæmigerður aðgerðamagnari er  $\mu A741$

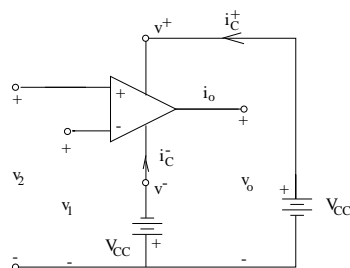


- Hann hefur 8 tengipunkta eins og sést á mynd
- Hver  $\mu A741$  samanstendur af 24 smárum og um tylft viðnáma og nokkrum þéttum

6

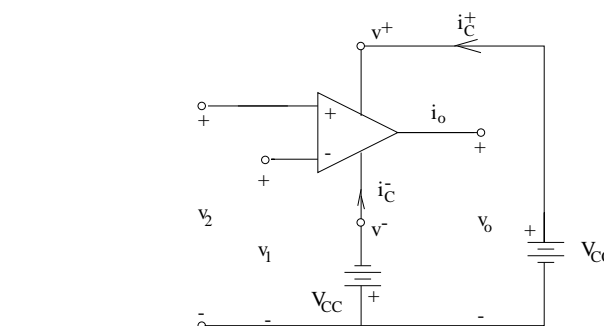
## Aðgerðamagnarar

- 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



7

## 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

8

## Aðgerðamagnarar

- Innri gerð aðgerðamagnara setur skilyrði á strauma og spennur
- Skilyrðin sem spennurnar verða að uppfylla eru tvö

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

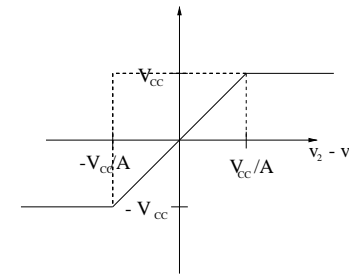
og

$$-V_{CC} \leq v_o \leq +V_{CC}$$

- Fyrri 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 metnun).

9

## Aðgerðamagnarar



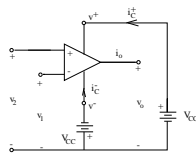
- Aðgerðamagnari er í línulegu sviði ef  $|v_o| \ll |V_{CC}|$
- Dæmigerð gildi á  $V_{CC}$  og  $A$  eru  $V_{CC} < 20 \text{ V}$  og  $A > 10^5$
- Við sjáum að því að í línulegu sviði gildir að

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

sem þýðir í raun að  $v_1 \approx v_2$

10

## 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

$$i_o = -(i_C^+ + i_C^-)$$

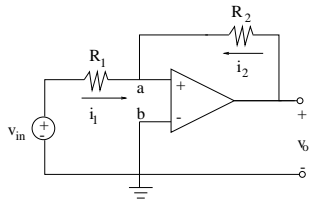
11

## 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  $V_{CC}^+ = 15 \text{ V}$  og  $V_{CC}^- = -10 \text{ V}$  þá er  $-10 \text{ V} \leq v_o \leq 15 \text{ V}$ , ef aðgerðamagnarinn á að vinna á línulegu sviði
- Við gerum ráð fyrir að lykkjumögnunin  $A$  sé fasti, þó að sú sé ekki alltaf raunin.

12

## 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

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

13

## Magnari með umpólun

- Þannig að

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

- og þá

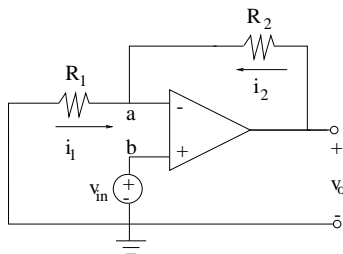
$$\frac{v_o}{v_{in}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

- 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 viðnámana  $R_1$  og  $R_2$ .
- Mínusinn þýðir að ef  $v_{in} > 0$  þá er  $v_o < 0$  (umpólun).

⇒ Dæmi 4.1.

14

## Magnari án umpólunar



- Hér sést að

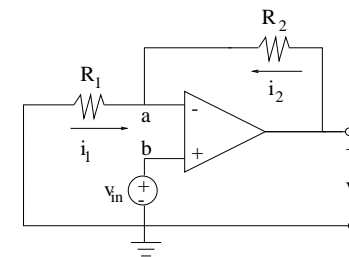
$$v_a \approx v_b = v_{in}$$

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

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

15

## Magnari án umpólunar



- Sem segir

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

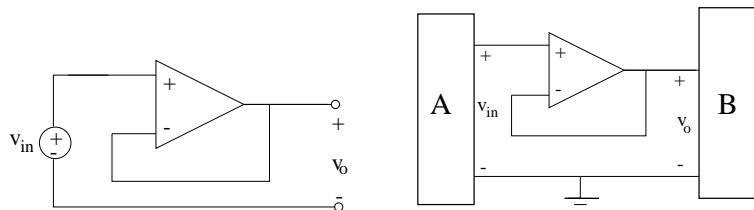
svo að hér ákvarðast mögnunin eingöngu af viðnámunum  $R_1$  og  $R_2$

- Í þessu tilfalli getur mögnunin ekki orðið minni en 1. Ef  $R_2 = 0$  þá verður mögnunin  $v_o/V_{in} = 1$

16

## Magnari án umpólunar

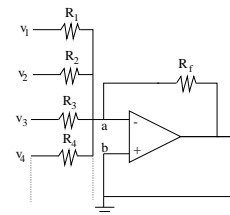
- Getum því valið  $R_1$  að vild; veljum  $R_1 = \infty$  þ.e. sleppum því. Þessi rás er svo kallaður “voltage follower” og er notuð sem “buffer” milli tveggja rása A og B, þ.e. rás B dregur þá engan straum frá rás A. ( $R_{in} = \infty$ ,  $R_o = 0$ ).



17

## Summari

Sértilfelli af umpólunarmagnaranum er summariinn:



Í punkti a gildir samkvæmt KCL

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

eða

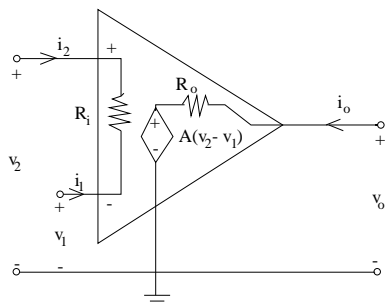
$$v_o = - \left( \frac{R_f}{R_1} v_1 + \frac{R_f}{R_2} v_2 + \dots \right) = 0$$

⇒ Dæmi 4.2.

18

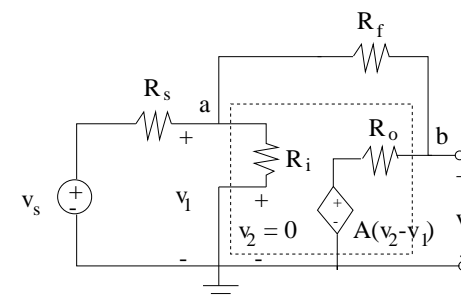
## Jafngildisrás fyrir aðgerðamagnara

- 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.



19

## Jafngildisrás



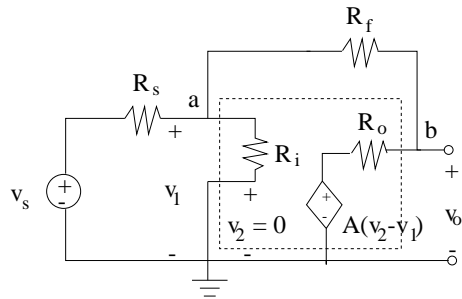
Setjum upp hnútpunktajöfnur í punktum a og b

a:

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

20

## Jafngildisrás



b:

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

eða

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

21

## 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

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

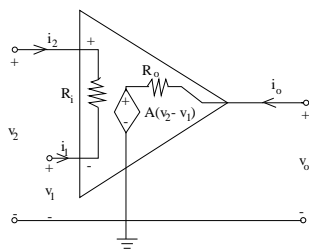
Ef  $R_o = 0$ ,  $R_i = \infty$  og  $A = \infty$  (fullkominn aðgerðamagnari) fæst

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

eins og áður.

22

## Jafngildisrás



Gerum þrjár leiðréttingar:

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

Dæmigerð gildi eru  $R_i = 2 \text{ M}\Omega$ ,  $R_o = 75 \Omega$  og  $A = 10^5$

$\Rightarrow$  Dæmi 4.3.

23

## Frekara lesefni

Um aðgerðamagnara er fjallað í kafla 5 hjá Nilsson and Riedel (2007), 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 (2007). *Electric Circuits* (8 ed.). Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice-Hall.
- Scott, D. E. (1987). *An Introduction to Circuit Analysis - A Systems Approach*. New York: McGraw-Hill.

24