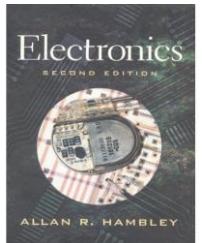


ELE-plan for i dag



(Print-On-Demand)

Praktiske forhold

- Litteraturkilde og undervisning

Modkoblingsprincippet

- Eksempler på ideelle koblinger - øvelsesopgaver på klasse

Definition af dB

- Hvorfor denne logaritmiske relation?
- Forstærkning ved kaskadekobling

Forstærker model

- Ækvivalent - "lidt Thevenin-agtigt"
- Eksempel på kaskadekobling

Hvorfor fejlberegninger?

- Målenøjagtighed - systematik ved dimensionering

Konstruktionsopgaven

Undervisningsform

Teori

- *Normal gennemgang.*
- *Øvelsesopgaver – regn dem hjemme.*
- *Enkelte afsnit som selvstudie.*

Konstruktionsopgave

- *Praktisk opgave i laboratoriet.*
- *Dokumentationen skal være tilstrækkelig til at kunne danne basis for eksamensforedrag.*
- *Studér materialet - dan hold som det passer jer!*

Pensumliste:

Pensumliste for FF

Emnerne angivet til venstre beskriver **pensummet for FF**, og litteraturhenvisningerne til højre skal opfattes som en **vejledende** til læsningen.

Ud over den angivne litteraturkilde uddybes de enkelte emner i løbet af semestret i form af øvelses-opgaver, diverse datablade, supplerende slides, tavlegennemgang og laboratoriearbejde.

Litteraturkilde:

Electronics, 2nd Ed., Allan R. Hambley, ISBN 0-13-691982-0
(evt. ISBN 978-0-85776-659-5 for "Print-On-Demand" udgaven)

Læste sider (alle sider incl.):

1 - 54, 61-70, 72-74, 483 - 496, 555-558, 569-577, 667 - 676, 708 - 720, 799 - 828, 845 - 847

Nedenfor findes en vejledende henvisning specifceret på nogle af de enkelte emner. Denne skal kun opfattes som en hjælp og er som nævnt kun vejledende.

| Emne | Sider |
|-------------------------------------------------|------------------|
| Introduktion, elektroniske systemer | 1 - 16 |
| Grundlæggende forstærker koncepter, modeller | 17 - 54 |
| Den ideelle Op Amp | 61 – 70, 72-74 |
| Indflydelse af negativ feedback, feedback typer | 555-558, 569-577 |
| Bode Plot | 483 - 496 |
| Frekvens respons | 82 - 88 |
| Slewrate, mætning | 89 - 94 |
| Offset- og biasfejl | 95 - 99 |
| Op Amp applikationer | 108 - 121 |
| Termiske betragtninger | 667 - 676 |
| Design af lineære Power Supplies | 708 - 720 |
| Komparatorer, Schmitt triggere, multivibratorer | 799 - 821 |
| Præcisions ensrettere | 822 - 828 |
| Dual Slope ADC | 845 - 847 |

Vedr. forberedelse til lektioner

Forberedelse til lektion 1

En del af den første lektion vil sandsynligvis være repetition, og det er fint som indledning til et semester, hvor forstærkeren – især operationsforstærkeren – er den centrale komponent i de elektroniske kredsløb, som vi skal arbejde med i en praktisk og avanceret form.
Forhåbentlig bliver det en optakt til at kunne systematisere fejlberegninger ved både analyse og design.

- Sp. 1** Som lineære forstærkere anvendes Op Amps med modkobling. Hvad går modkoblingsprincippet ud på, og hvad er differensspændingen $v_{ud} = e^+ - e^-$ under disse forhold.
(e^+ og e^- er spændingen på den inverterende hhv. den ikke-inverterende indgang)

Hint: Betragt figur 2.4. Antag evt. forstørrelsens skyld at der eksisterer en lille differensspænding $v_s = -v_{ud}$ og vurder ud fra den negative feedback, hvilken udgangsspænding dette vil resultere i.

- Sp. 2** Hvad er spændingsforstærkningen for de to grundlæggende Op Amp koblinger – den inverterende og den ikke-inverterende kobling?

Hint: Betragt figur 2.4 henholdsvis figur 2.11 – eller måske find de gamle noter fra 1. semester frem

- Sp. 3** Hvad er definitionen på Bel (B) henholdsvis decibel (dB)? Hvorfor benyttes denne logaritmiske relation overhovedet?

Hint: Side 29-31 i lærerbogen samt side 324 i jeres 1. semester ELE bog.

- Sp. 4** Tre forstærkere med understående data er kaskadekoblede (koblet i serie).

| Forstærker | Spændingsforstærkning | Indgangsmodstand | Udgangsmodstand |
|----------------|-----------------------|--------------------------|------------------------|
| A ₁ | A _{v1} = 11 | R _{i1} = 100 kΩ | R _{o1} = 0 Ω |
| A ₂ | A _{v2} = -10 | R _{i2} = 10 kΩ | R _{o2} = 0 Ω |
| A ₃ | A _{v3} = 5,5 | R _{i3} = 10 kΩ | R _{o3} = 20 Ω |

I sidste ende er A₃ belastet med en modstand på 1 kΩ.
Hvad bliver den overordnede spændings- og strømforstærkning for denne kaskadekobling?
Hvad bliver den overordnede spændings- og strømforstærkning i dB?

Hint: Betragt figur 1.17 på side 19 som ækvivalent for den enkelte forstærker. Tegn det samlede diagram op og skriv systematisk sammenhængene mellem indgangs- og udgangssignaler op.

- Sp. 5** Hvordan opgives målenøjagtighed på analoge henholdsvis digitale måleinstrumenter? I får en opgave med dette i lektionen!

Hint: Måske er I bekendt med det fra tidlige semesters målinger i ELE Lab. Ellers er det jo Google.dk!

- Sp. 6** Hvad er AD590 for en komponent? Hvordan er dens udgangssignal specifiseret?

Hint: Analog Device's hjemmeside

- Sp. 7** Hvad er de umiddelbare tiltag, som man skal gøre, hvis denne skal kunne honorere kravene specifiseret i konstruktionsopgaven?

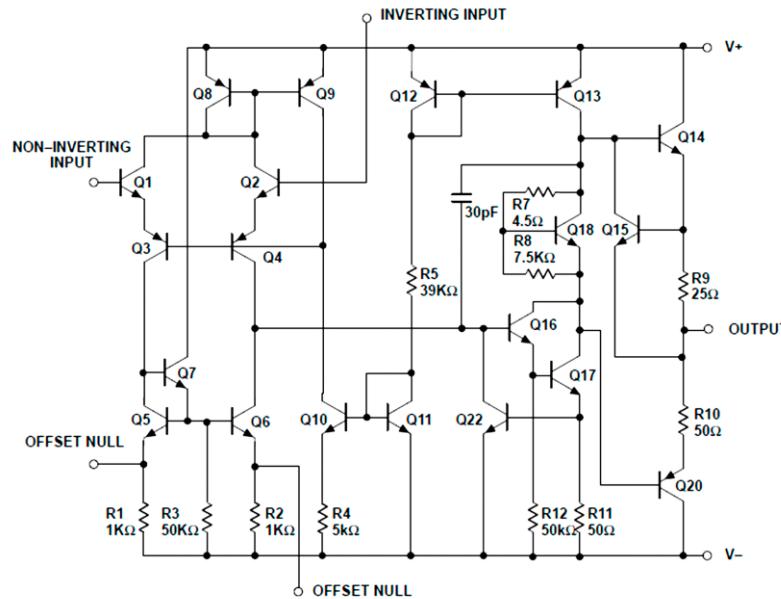
Hint: Konstruktionsopgaven



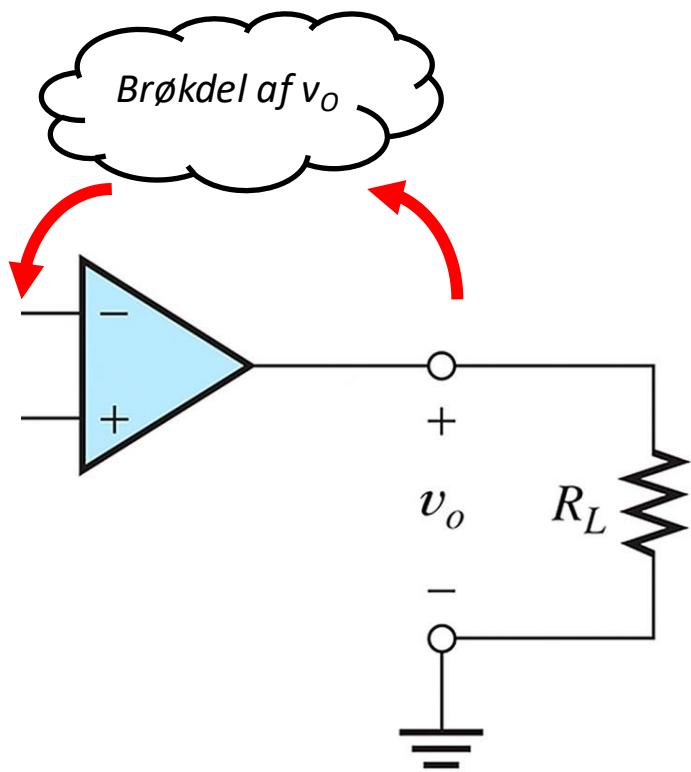
På 1. semester var det således:

Den ideelle Op Amp

I skal blot være bekendte med terminalegenskaberne!

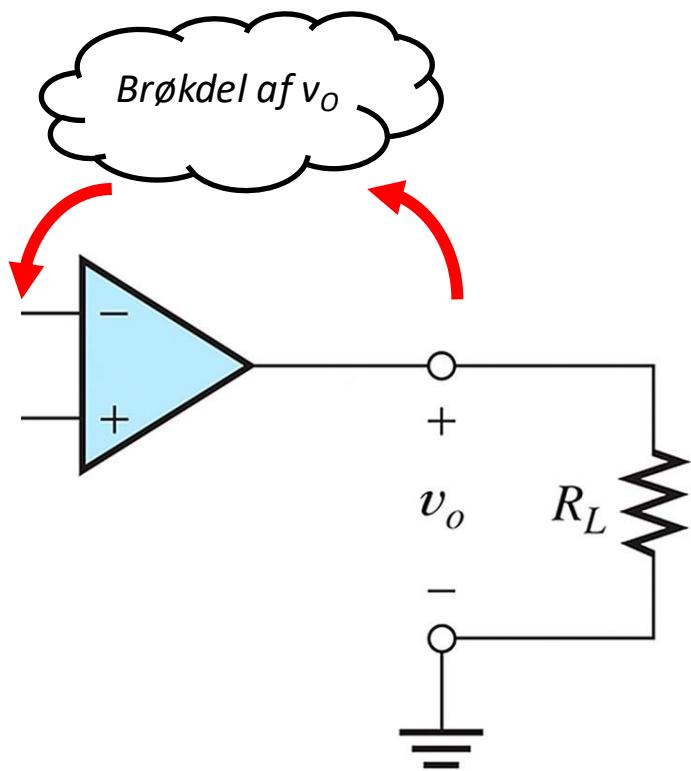


Modkoblingsprincippet



Se evt. PPS bagerst til rep. af modkobling

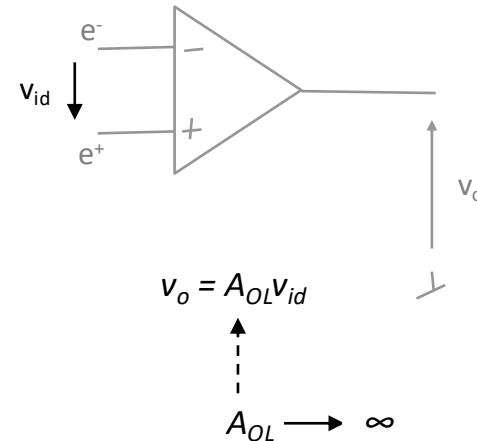
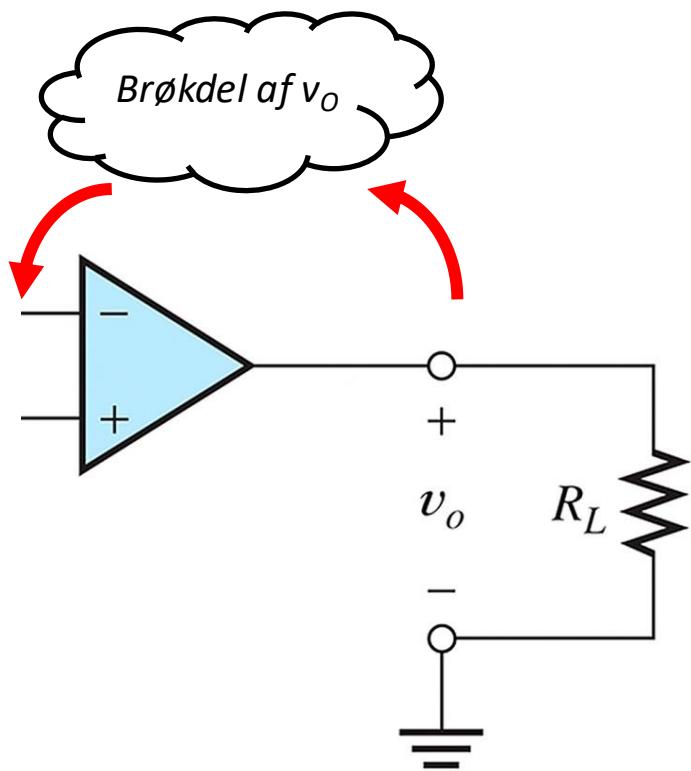
Modkoblingsprincippet



Modkobling

Negativ Feedback

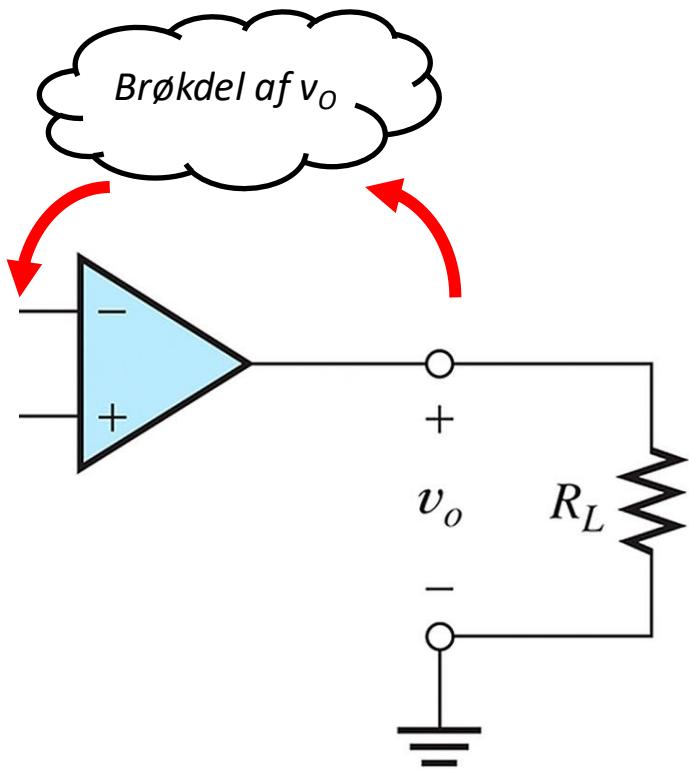
Modkoblingsprincippet



Modkobling

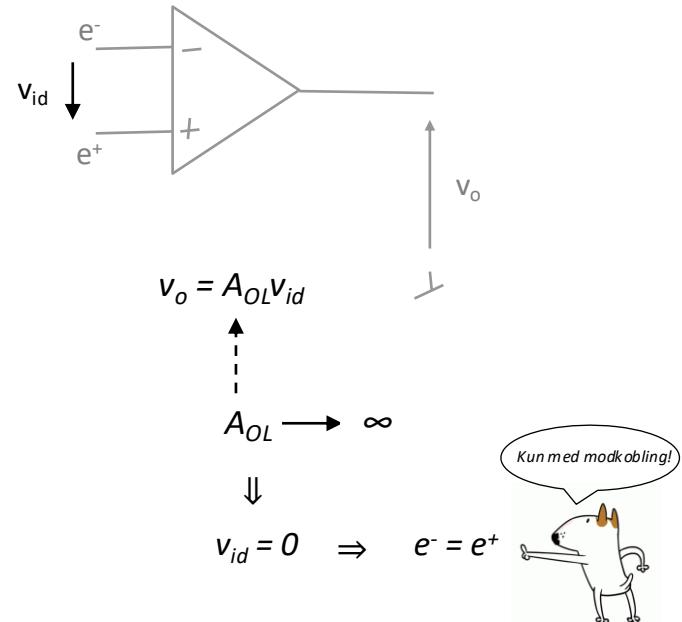
Negativ Feedback

Modkoblingsprincippet

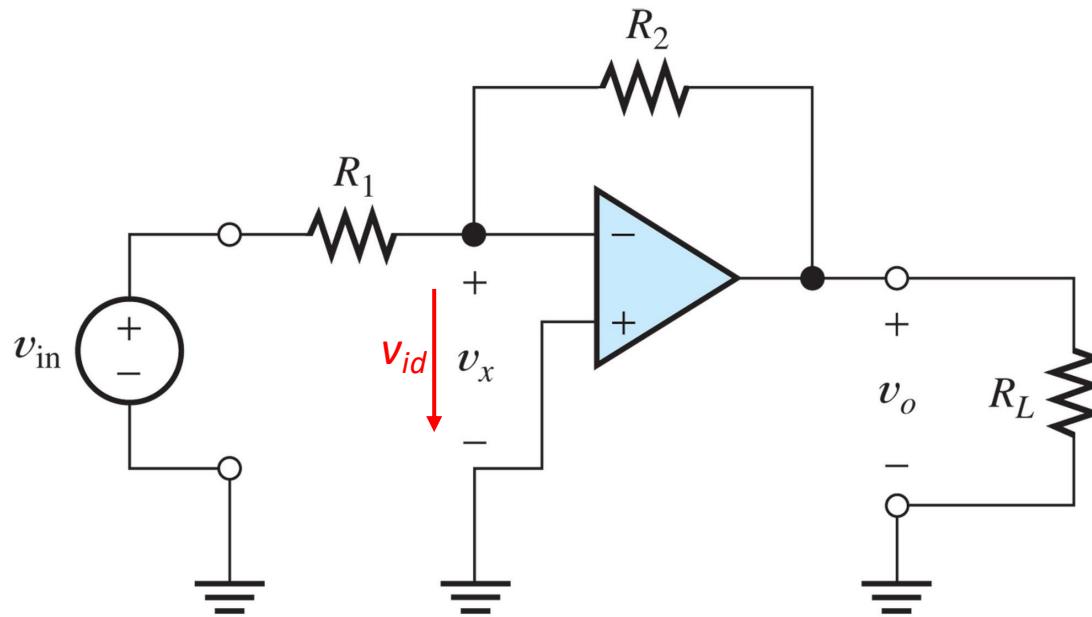


Modkobling

Negativ Feedback

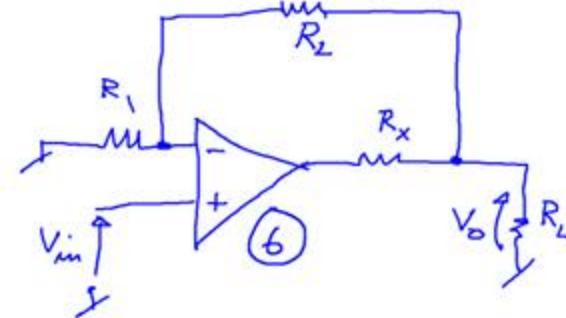
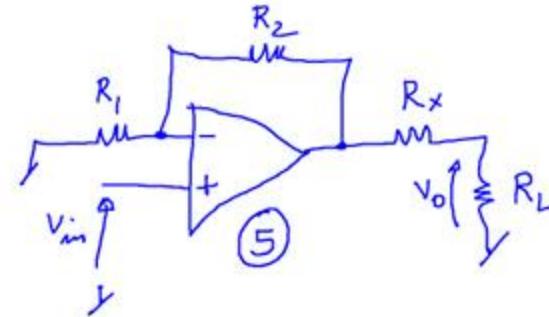
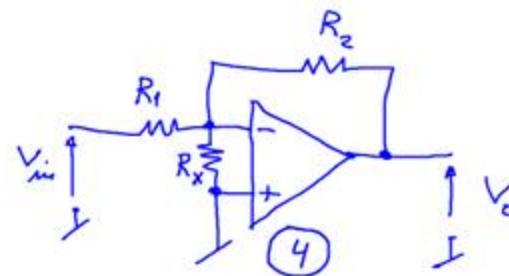
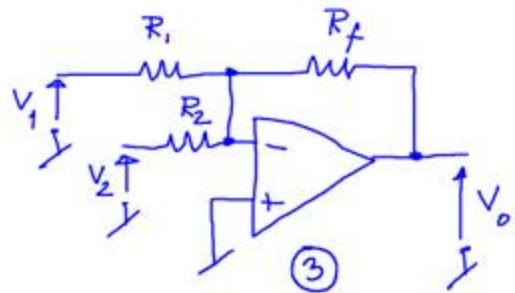
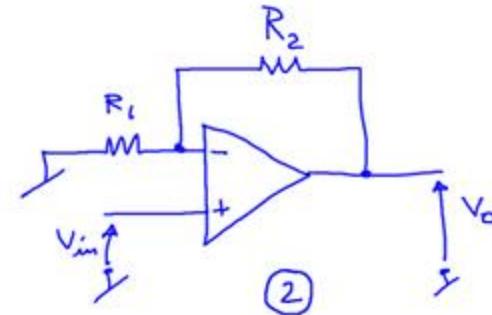
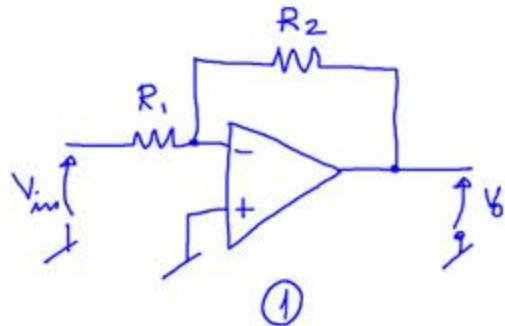


Dette gælder også med påtrykt indgangsspænding v_{in} :

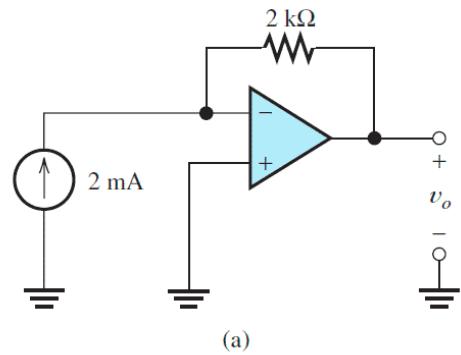


$$\text{Modkobling: } A_{OL} \rightarrow \infty \Rightarrow v_{id} = 0 \Rightarrow e^- = e^+$$

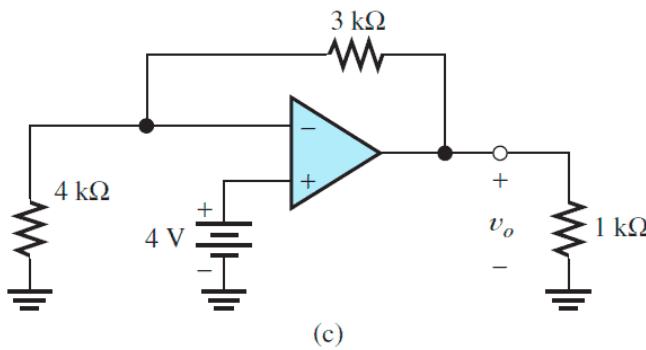
Alle Op Amps kan regnes ideelle. Find værdien af v_o i alle seks tilfælde.



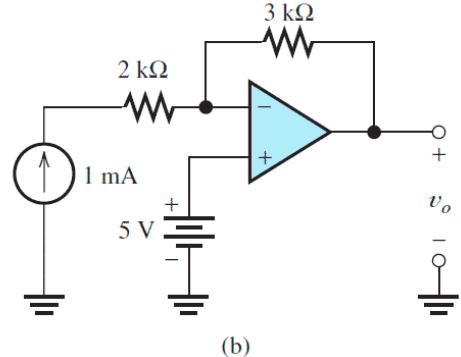
Alle Op Amps kan regnes ideelle. Find værdien af v_o i alle fem tilfælde.



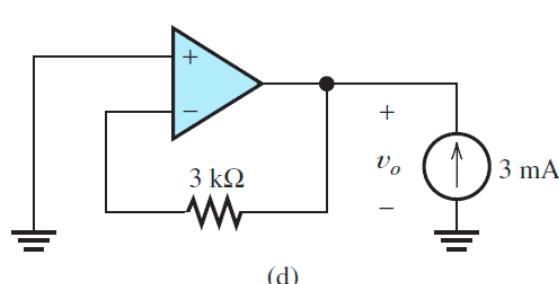
(a)



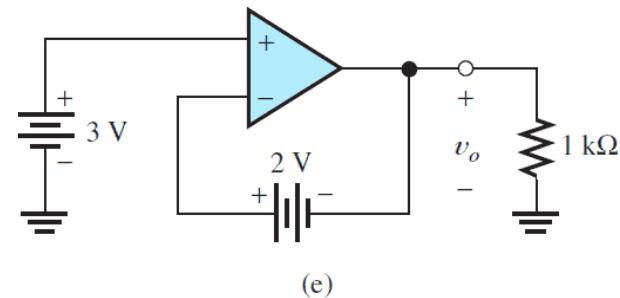
(c)



(b)



(d)

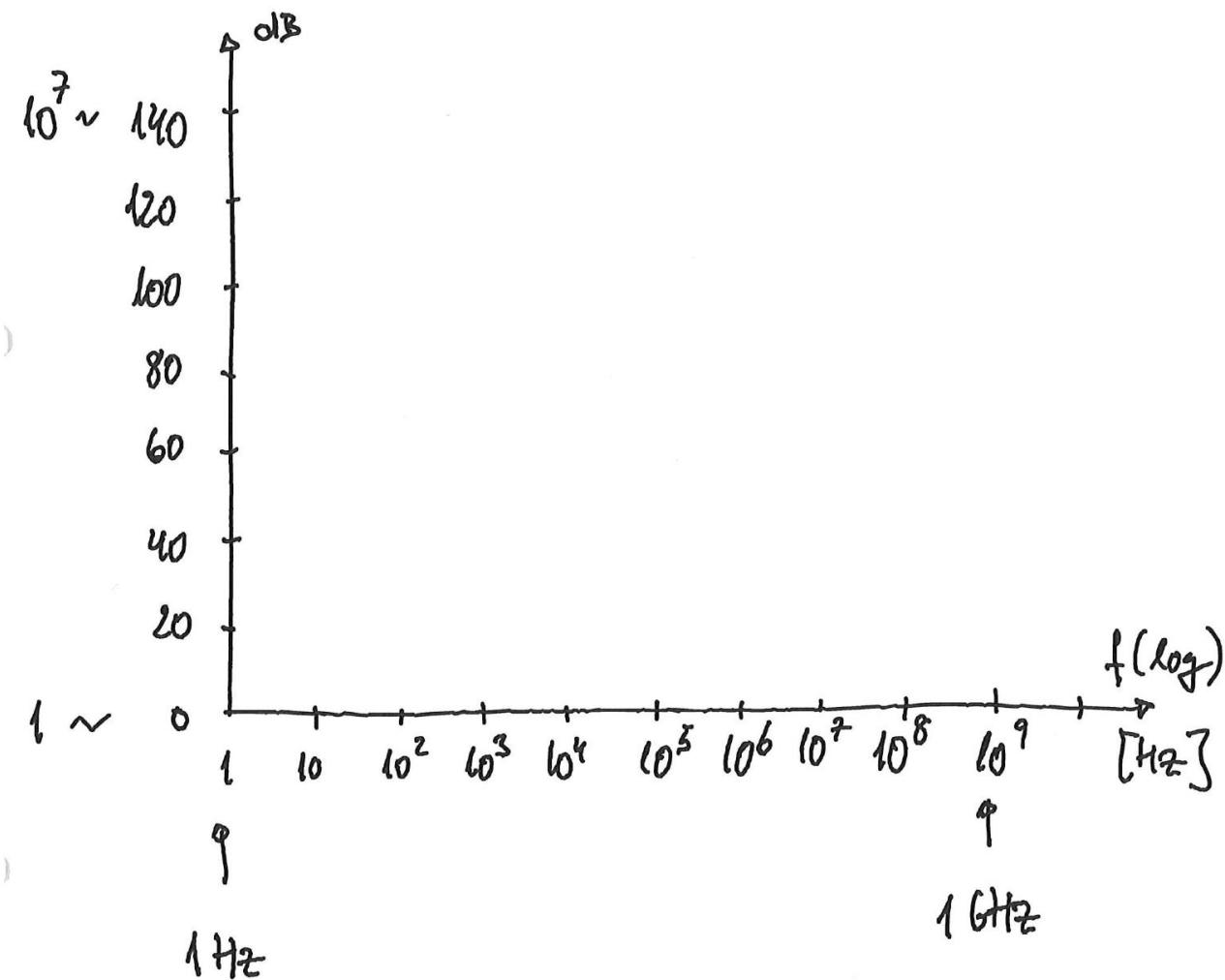


(e)

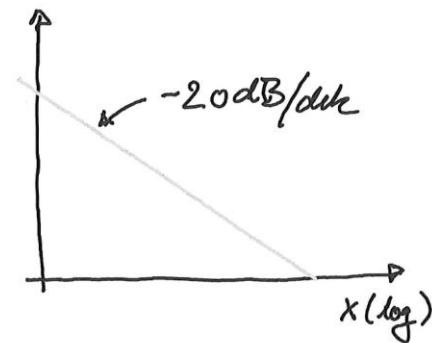
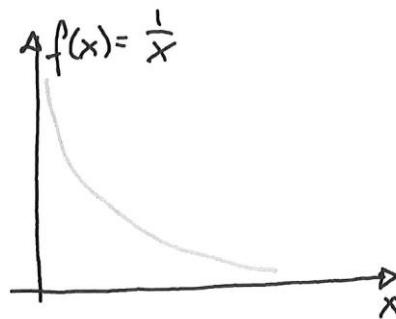
Definition af "dB"

Hvordan er "bel" (B) henholdsvis "decibel" (dB) defineret?

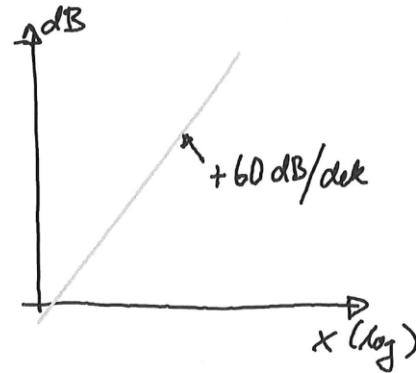
Repræsentation af stort dynamikområde



Ulineære funktioner → Rette linier

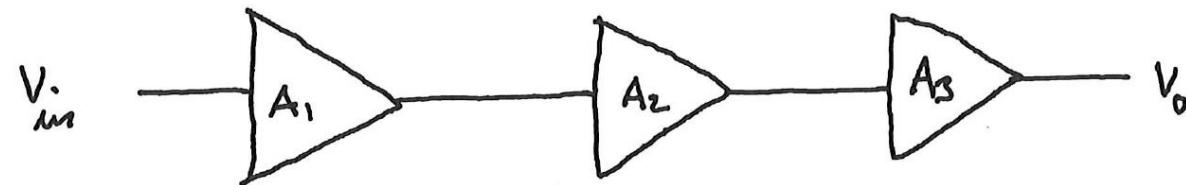


$$f(x)_{\text{dB}} = 20 \log\left(\frac{1}{x}\right) = 20 \log 1 - 20 \log x = \underline{\underline{-20 \log x}}$$



$$f(x)_{\text{dB}} = 20 \log(x^3) = 3 \cdot 20 \log x = \underline{\underline{60 \log x}}$$

Kaskadekobling



$$A_v = \frac{V_o}{V_{in}} = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3$$

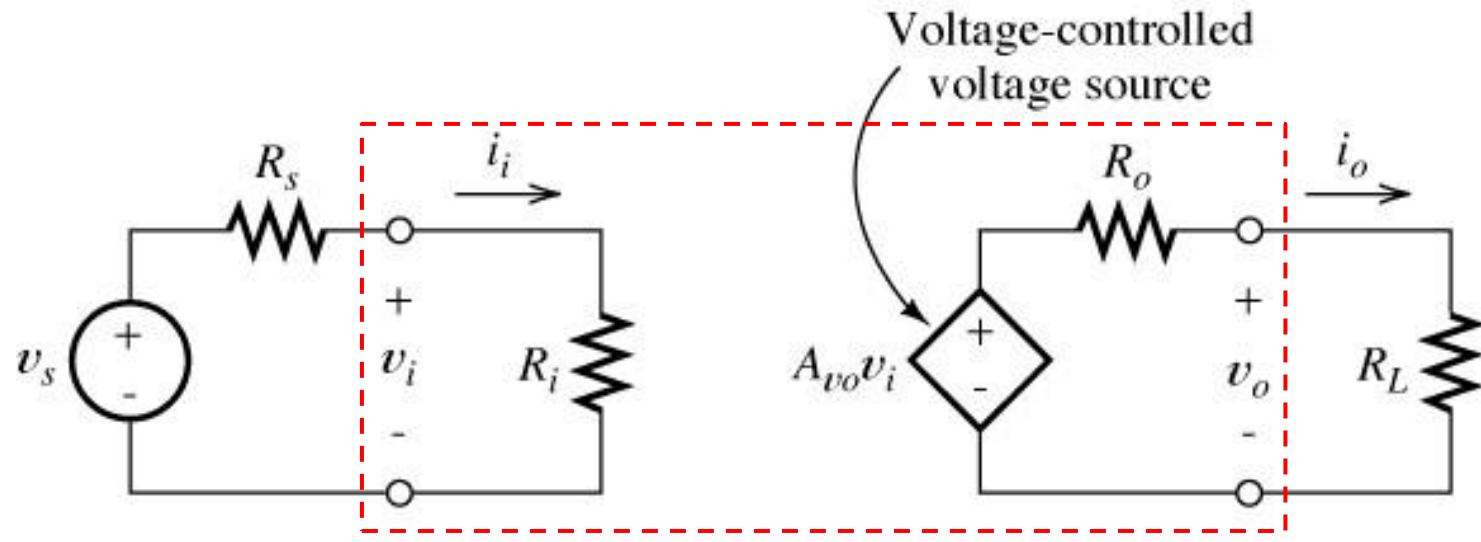
$$A_{v_{dB}} = A_{1_{dB}} + A_{2_{dB}} + A_{3_{dB}}$$

Ex. $A_1 = 10$; $A_2 = 2$, $A_3 = 100$

$$A_v = 10 \cdot 2 \cdot 100 = \underline{\underline{2000}}$$

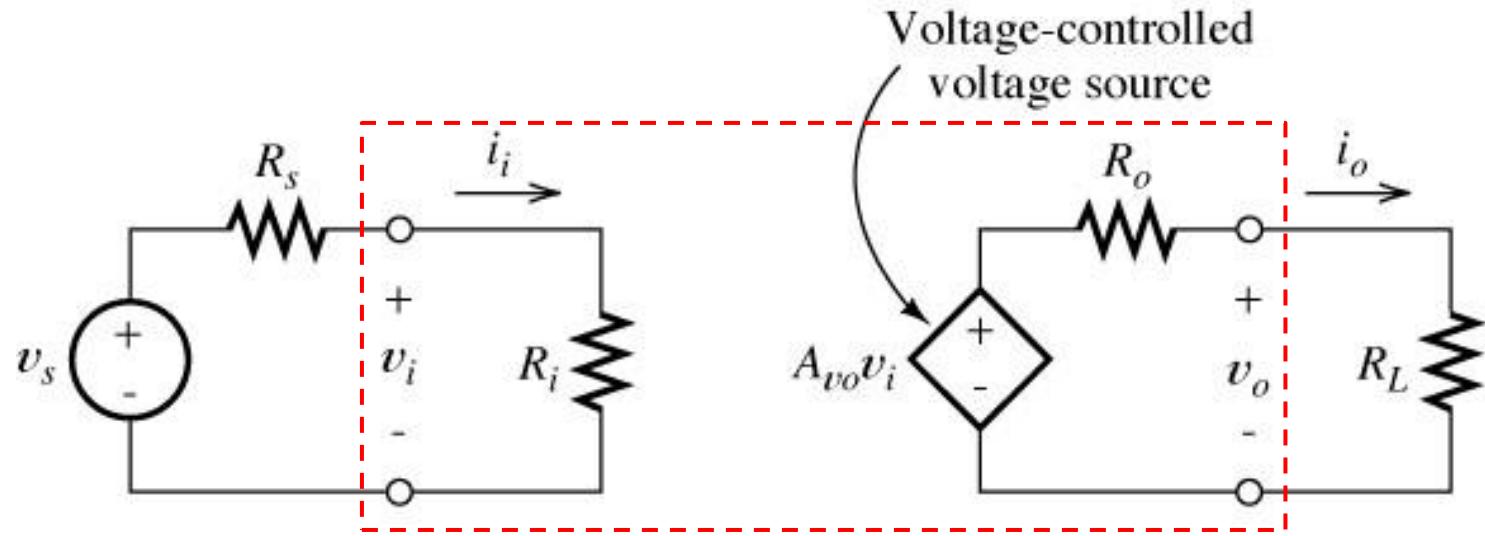
$$A_{v_{dB}} = 20 + 6 + 40 = \underline{\underline{66 \text{ dB}}}$$

Forstærker model



(Figur 1.17)

Forstærker model



(Figur 1.17)

Sp. 4 fra forberedelsen:

Tre forstærkere med understående data er kaskadekoblede.

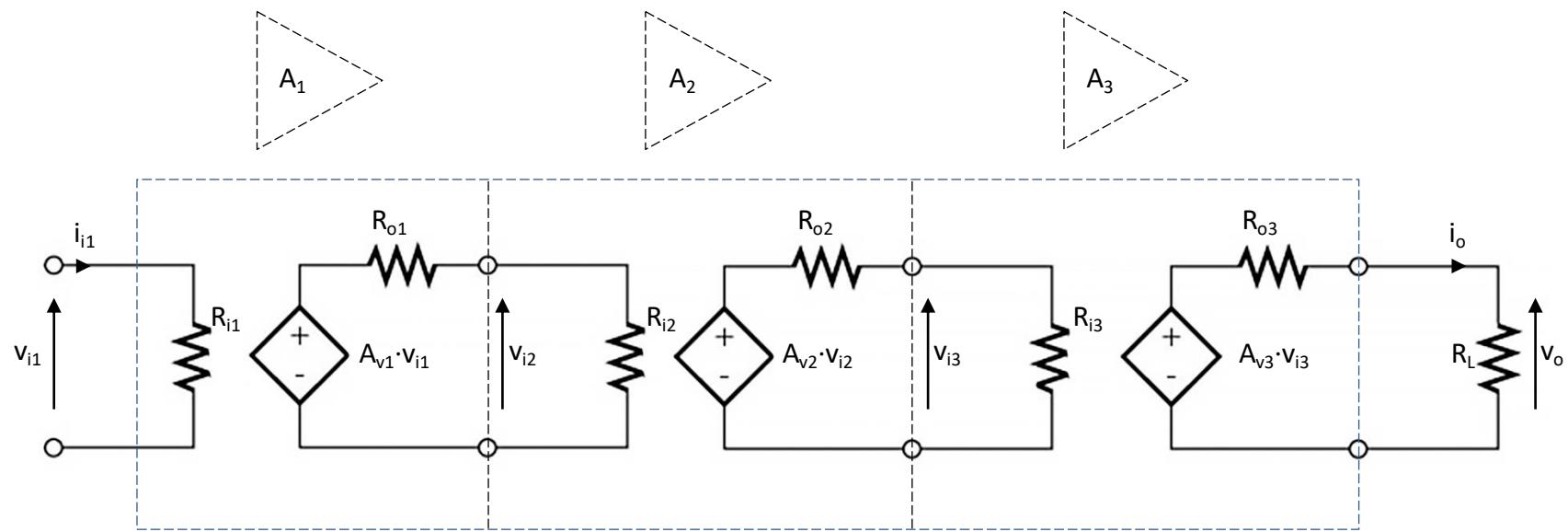
| Forstærker | Spændingsforstærkning | Indgangsmodstand | Udgangsmodstand |
|------------|-----------------------|--------------------------------|----------------------|
| A_1 | $A_{v1} = 11$ | $R_{i1} = 100 \text{ k}\Omega$ | $R_{o1} = 0 \Omega$ |
| A_2 | $A_{v2} = -10$ | $R_{i2} = 10 \text{ k}\Omega$ | $R_{o2} = 0 \Omega$ |
| A_3 | $A_{v3} = 5,5$ | $R_{i3} = 10 \text{ k}\Omega$ | $R_{o3} = 20 \Omega$ |

I sidste ende er A_3 belastet med en modstand på $1 \text{ k}\Omega$.

Find spændingsforstærkningen ($A_v = v_o/v_{i1}$) og strømforstærkningen ($A_i = i_o/i_{i1}$).

Hvad bliver den overordnede spændings- og strømforstærkning i dB?

Kaskadekobling



| Forstærker | Spændingsforstærkning | Indgangsmodstand | Udgangsmodstand |
|------------|-----------------------|--------------------------------|----------------------|
| A_1 | $A_{v1} = 11$ | $R_{i1} = 100 \text{ k}\Omega$ | $R_{o1} = 0 \Omega$ |
| A_2 | $A_{v2} = -10$ | $R_{i2} = 10 \text{ k}\Omega$ | $R_{o2} = 0 \Omega$ |
| A_3 | $A_{v3} = 5,5$ | $R_{i3} = 10 \text{ k}\Omega$ | $R_{o3} = 20 \Omega$ |

Realisering af de 3 forstærkere med **ideelle Op Amps**

Her kommer så en opgave!



Målenøjagtighed

En DC spænding måles med tre forskellige instrumenter i ELE Lab., og i alle tilfælde er udlæsningen 15 V:

1. Et analogt multimeter med måleområderne 300 mV, 3 V, 30 V, etc.
Nøjagtighed $\pm 2\%$ "Full Scale".



2. Et digitalt oscilloscope fra Keysight 2000 X-serien.
"Vertical Offset" er justeret til 0 V.



3. Et digitalt multimeter Keysight U3401A.



Hvad er den absolute og relative nøjagtighed på de tre målinger?

Fra 2000 X-Series datablad

| Input | |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vertical resolution | 8 bits |
| Horizontal resolution | 2.5 ps |
| Vertical sensitivity (range) | 1 mV/div to 5 V/div ** |
| DC vertical accuracy | ±[DC vertical gain accuracy + DC vertical offset accuracy + 0.25% full scale] ** |
| DC vertical gain accuracy* | ±3% full scale (\geq 10 mV/div); ±4% full scale (< 10 mV/div) ** |
| DC vertical offset accuracy | ±0.1div ± 2mV ± 1% of offset setting |
| Vertical zoom | Ability to scale and position a live or stopped waveform vertically. When the acquisition is stopped, turning the vertical scale and offset (position) knobs will scale and move the signal. Pan and zoom redraws the waveform in < 100 ms. |
| Maximum input | CAT I 300 Vrms, 400 Vpk; transient overvoltage 1.6 kVpkCAT II 300 Vrms, 400 Vpk with N2862A or N2863A 10:1 probe: 300 Vrms |

Fra 2000 X-Series datablad

| | |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vertical resolution | 8 bits |
| Horizontal resolution | 2.5 ps |
| Vertical sensitivity (range) | 1 mV/div to 5 V/div ** |
| DC vertical accuracy | $\pm[\text{DC vertical gain accuracy} + \text{DC vertical offset accuracy} + 0.25\% \text{ full scale}]^{\star\star}$ |
| DC vertical gain accuracy* | $\pm 3\% \text{ full scale } (\geq 10 \text{ mV/div})$; $\pm 4\% \text{ full scale } (< 10 \text{ mV/div})$ ** |
| DC vertical offset accuracy | $\pm 0.1\text{div} \pm 2\text{mV} \pm 1\% \text{ of offset setting}$ |
| Vertical zoom | Ability to scale and position a live or stopped waveform vertically. When the acquisition is stopped, turning the vertical scale and offset (position) knobs will scale and move the signal. Pan and zoom redraws the waveform in < 100 ms. |
| Maximum input | CAT I 300 Vrms, 400 Vpk; transient overvoltage 1.6 kVpk CAT II 300 Vrms, 400 Vpk with N2862A or N2863A 10:1 probe: 300 Vrms |

Fra 2000 X-Series datablad

| | |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vertical resolution | 8 bits |
| Horizontal resolution | 2.5 ps |
| Vertical sensitivity (range) | 1 mV/div to 5 V/div ** |
| DC vertical accuracy | $\pm[\text{DC vertical gain accuracy} + \text{DC vertical offset accuracy} + 0.25\% \text{ full scale}]^{\star\star}$ |
| DC vertical gain accuracy* | $\pm 3\% \text{ full scale } (\geq 10 \text{ mV/div}) ; \pm 4\% \text{ full scale } (< 10 \text{ mV/div})^{\star\star}$ |
| DC vertical offset accuracy | $\pm 0.1\text{div} \pm 2\text{mV} \pm 1\% \text{ of offset setting}$ |
| Vertical zoom | Ability to scale and position a live or stopped waveform vertically. When the acquisition is stopped, turning the vertical scale and offset (position) knobs will scale and move the signal. Pan and zoom redraws the waveform in < 100 ms. |
| Maximum input | CAT I 300 Vrms, 400 Vpk; transient overvoltage 1.6 kVpk CAT II 300 Vrms, 400 Vpk with N2862A or N2863A 10:1 probe: 300 Vrms |

© Agilent Technologies 2000

Part No. 5090-4000 Rev. A

Document ID 5090-4000

Fra Agilent U3401 multimeter datablad

DC Specifications

Table 6-1 DCV resolution, full scale reading and accuracy [$\pm(\% \text{ of reading} + \text{count})$]

| Function | Range | Resolution | Maximum reading | Accuracy (One year; $23^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$) | Test Current | Typical input impedance [2] | Burden voltage [3] |
|----------|--------|------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------|--------------|-----------------------------|--------------------|
| Voltage | 500 mV | 0.01 mV | 510.00 | 0.02% + 4 | — | 10.0 MΩ | — |
| | 5 V | 0.0001 V | 5.1000 | 0.02% + 4 | — | 11.1 MΩ | — |
| | 50 V | 0.001 V | 51.000 | 0.02% + 4 | — | 10.1 MΩ | — |
| | 500 V | 0.01 V | 510.00 | 0.02% + 4 | — | 10.0 MΩ | — |
| | 1000 V | 0.1 V | 1200.0 [1] | 0.02% + 4 | — | 10.0 MΩ | — |
| Current | 500 μA | 0.01 μA | 510.00 | 0.05% + 5 | — | — | — |
| | 5 mA | 0.0001 mA | 5.1000 | 0.05% + 4 | — | — | — |
| | 50 mA | 0.001 mA | 51.000 | 0.05% + 4 | — | — | — |
| | 500 mA | 0.01 mA | 510.00 | 0.05% + 4 | — | — | — |
| | 5 A | 0.01 A | 510.00 | 0.05% + 4 | — | — | — |

Fra Agilent U3401 multimeter datablad

DC Specifications

Table 6-1 DCV resolution, full scale reading and accuracy [$\pm(\% \text{ of reading} + \text{count})$]

| Function | Range | Resolution | Maximum reading | Accuracy (One year; $23^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$) | Test Current | Typical input impedance [2] | Burden voltage [3] |
|----------|--------|------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------|--------------|-----------------------------|--------------------|
| Voltage | 500 mV | 0.01 mV | 510.00 | 0.02% + 4 | — | 10.0 MΩ | — |
| | 5 V | 0.0001 V | 5.1000 | 0.02% + 4 | — | 11.1 MΩ | — |
| | 50 V | 0.001 V | 51.000 | 0.02% + 4 | — | 10.1 MΩ | — |
| | 500 V | 0.01 V | 510.00 | 0.02% + 4 | — | 10.0 MΩ | — |
| Current | 1000 V | 0.1 V | 1200.0 [1] | 0.02% + 4 | — | 10.0 MΩ | — |
| | 500 μA | 0.01 μA | 510.00 | 0.05% + 5 | — | — | — |
| | 5 mA | 0.0001 mA | 5.1000 | 0.05% + 4 | — | — | — |
| | 50 mA | 0.001 mA | 51.000 | 0.05% + 4 | — | — | — |
| | 500 mA | 0.01 mA | 510.00 | 0.05% + 4 | — | — | — |

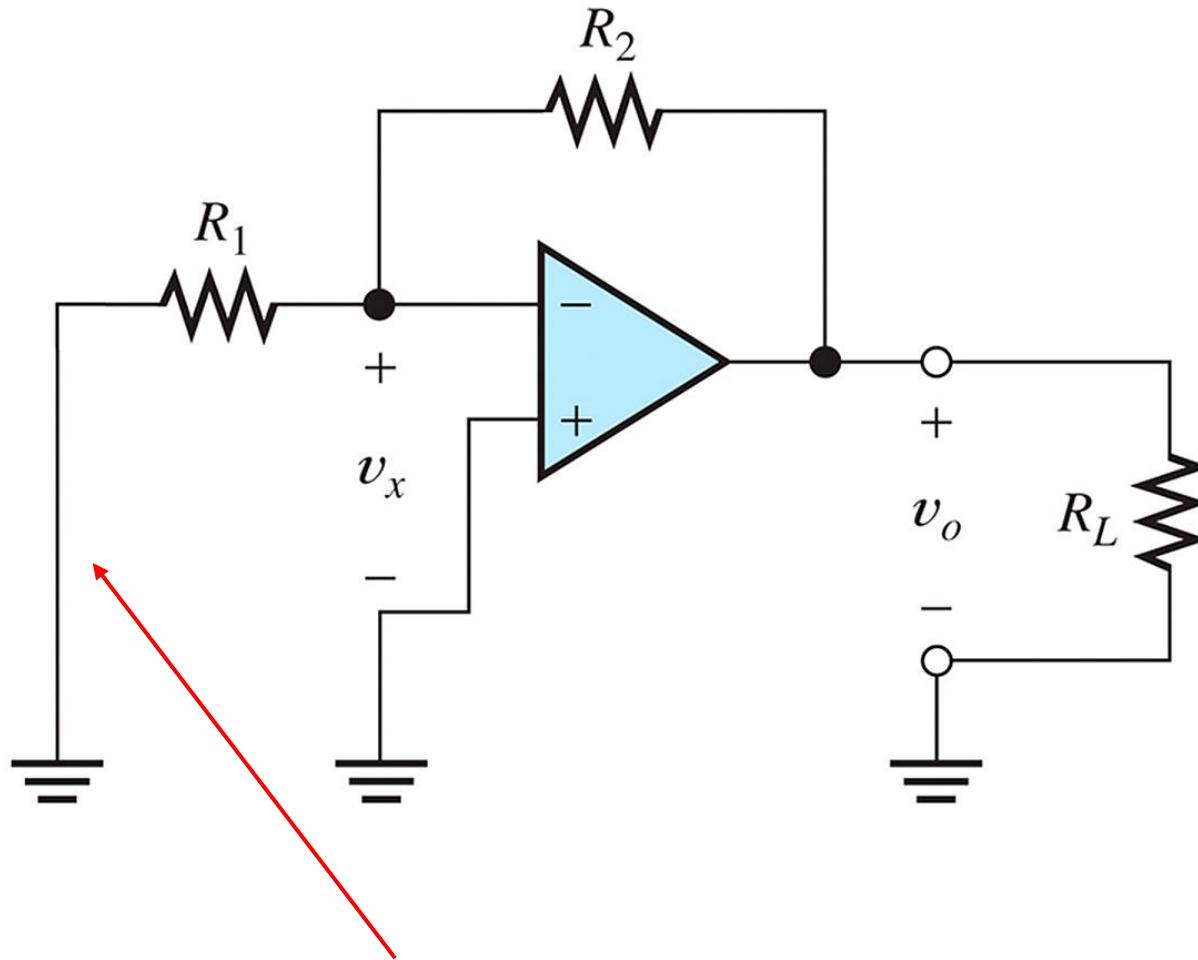
Konstruktionsopgave

→ *ITSL*

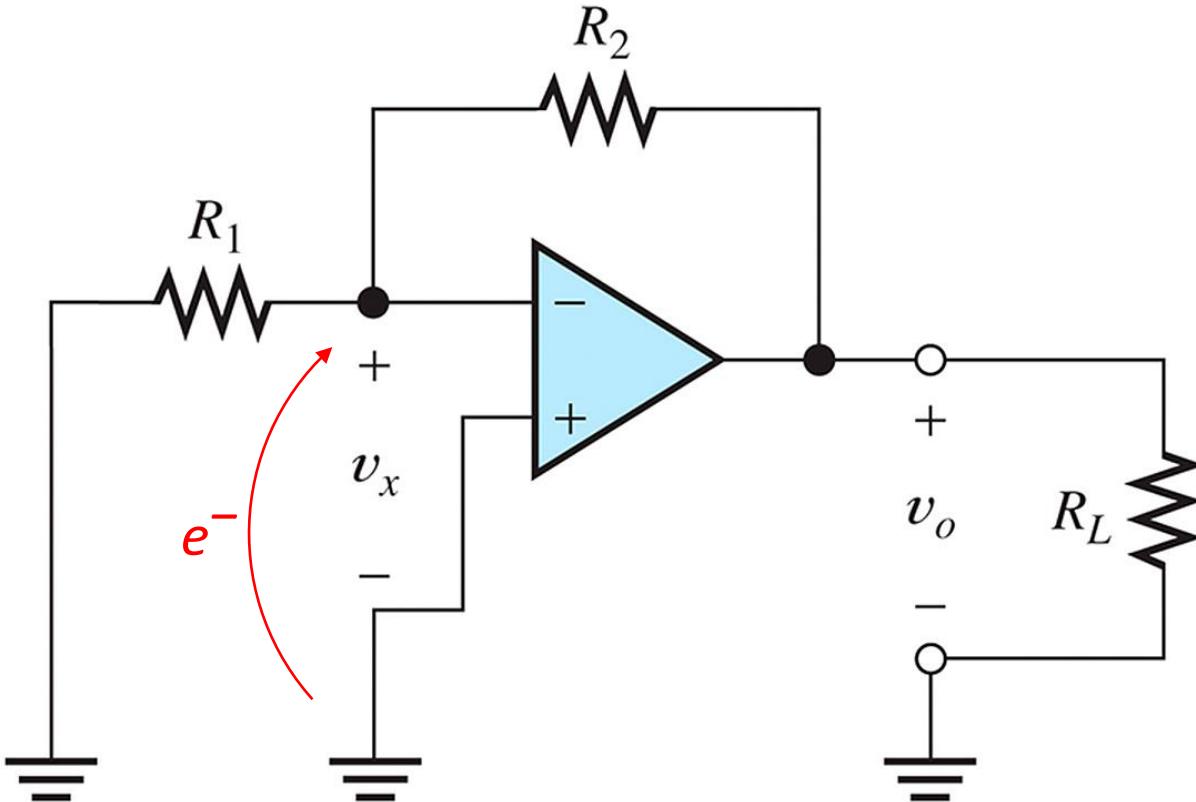
Rep.

Følgende sidste PPS er lidt rep. fra 1. semester. Disse uddyber begrundelsen for, at $v_{id} = 0$, når en Op Amp er modkoblet.

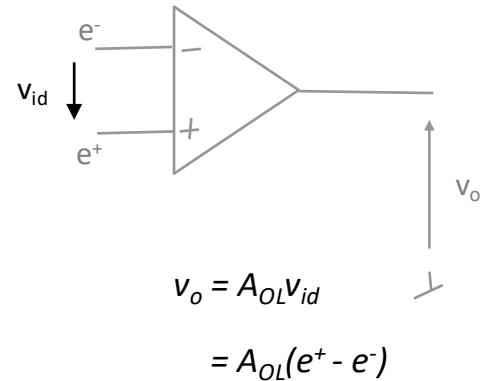
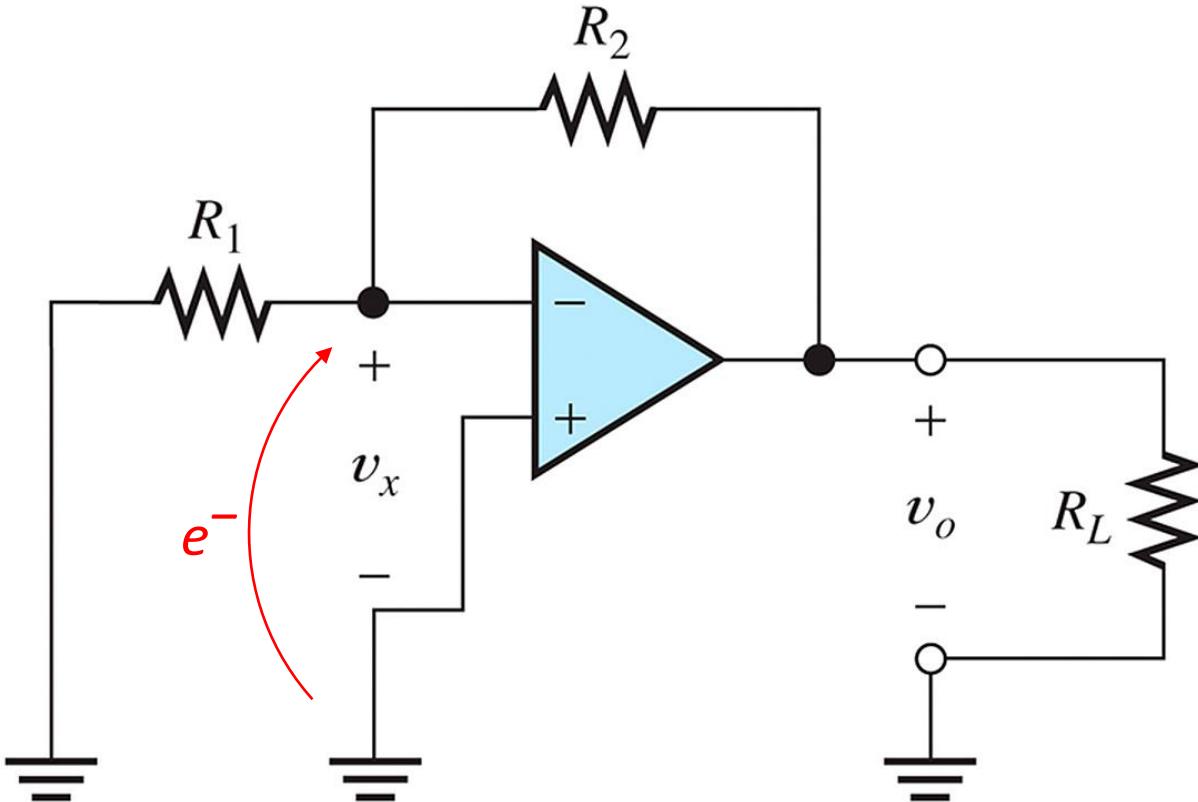
Modkoblingsprincippet

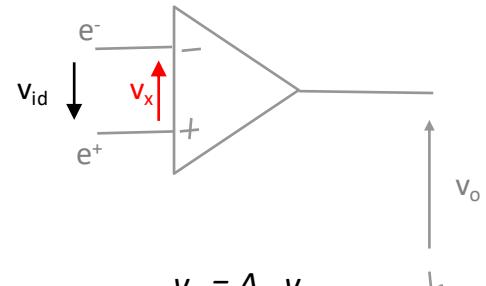
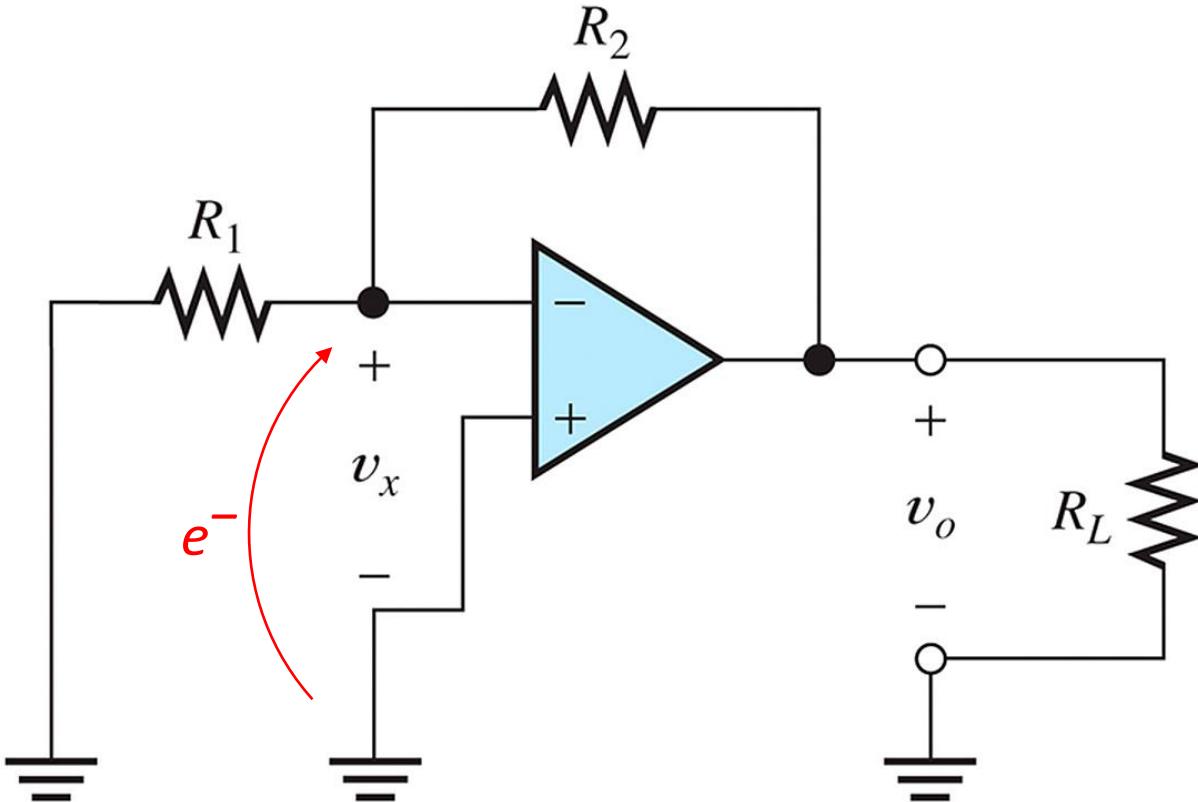


Figur 2.4 med $v_{in} = 0$

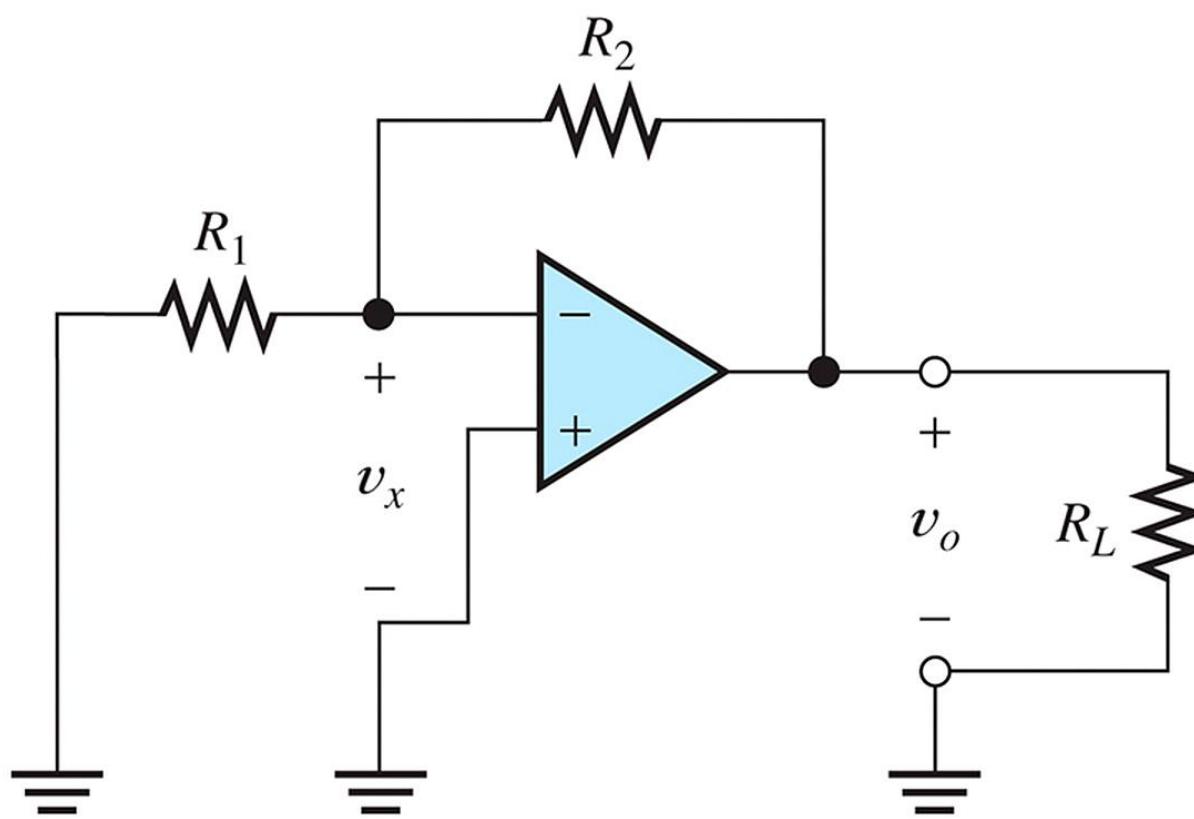


$$e^- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot v_o$$



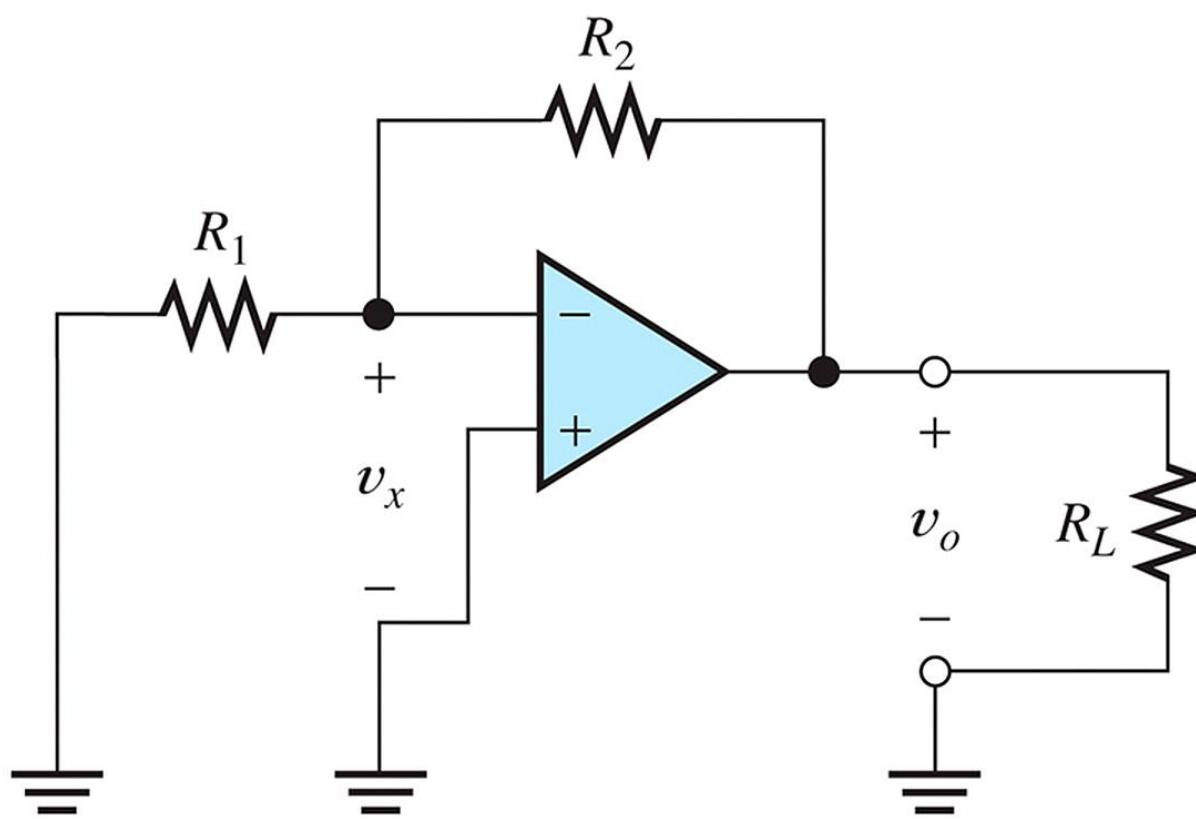


$$\begin{aligned}
 v_o &= A_{OL}v_{id} \\
 &= A_{OL}(e^+ - e^-) \\
 &= -A_{OL}v_x
 \end{aligned}$$



$$v_x > 0 \Rightarrow v_o \rightarrow -\infty \Rightarrow e^- \rightarrow -\infty$$

$$v_x < 0 \Rightarrow v_o \rightarrow +\infty \Rightarrow e^- \rightarrow +\infty$$

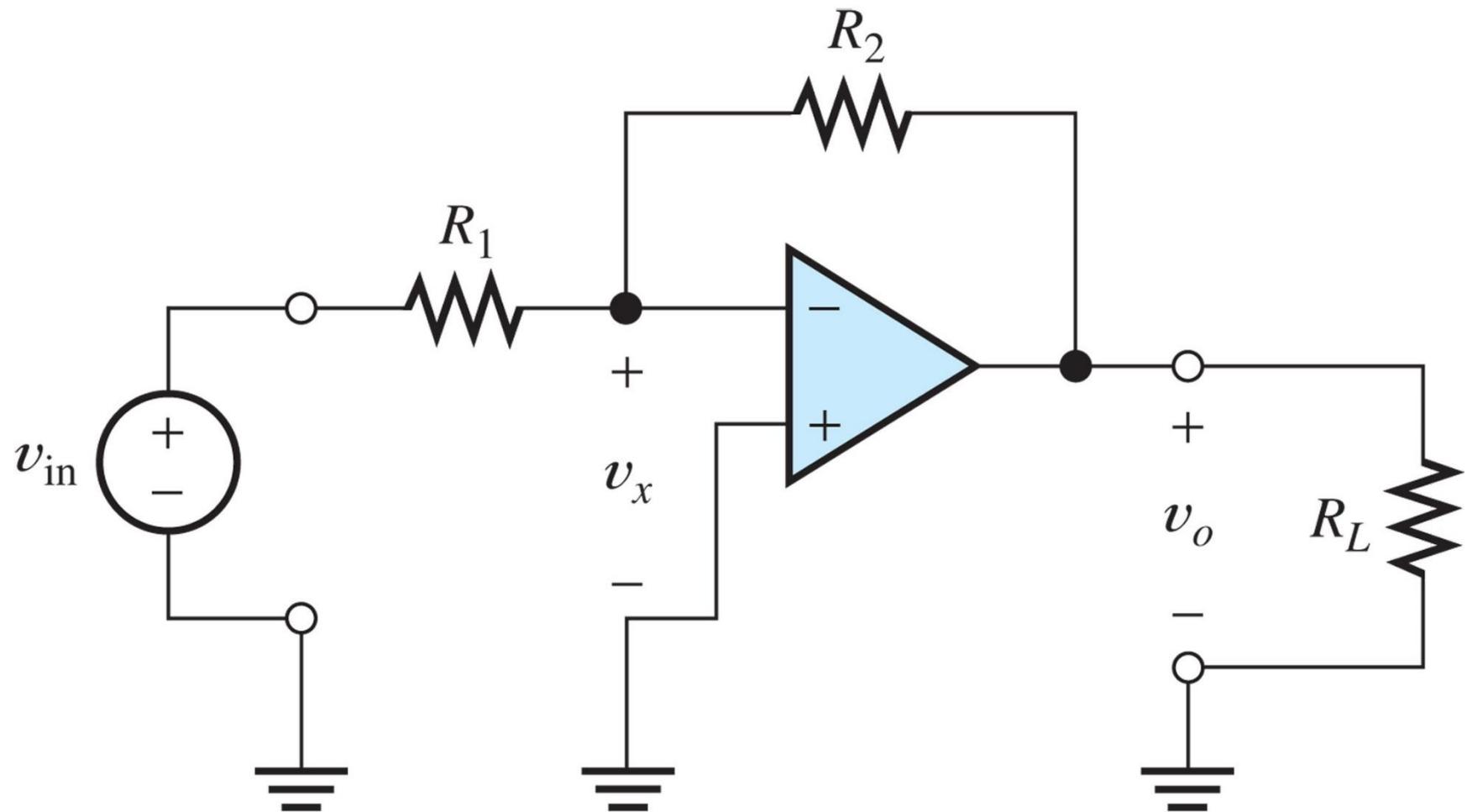


$$v_x > 0 \Rightarrow v_o \rightarrow -\infty \Rightarrow e^- \rightarrow -\infty$$

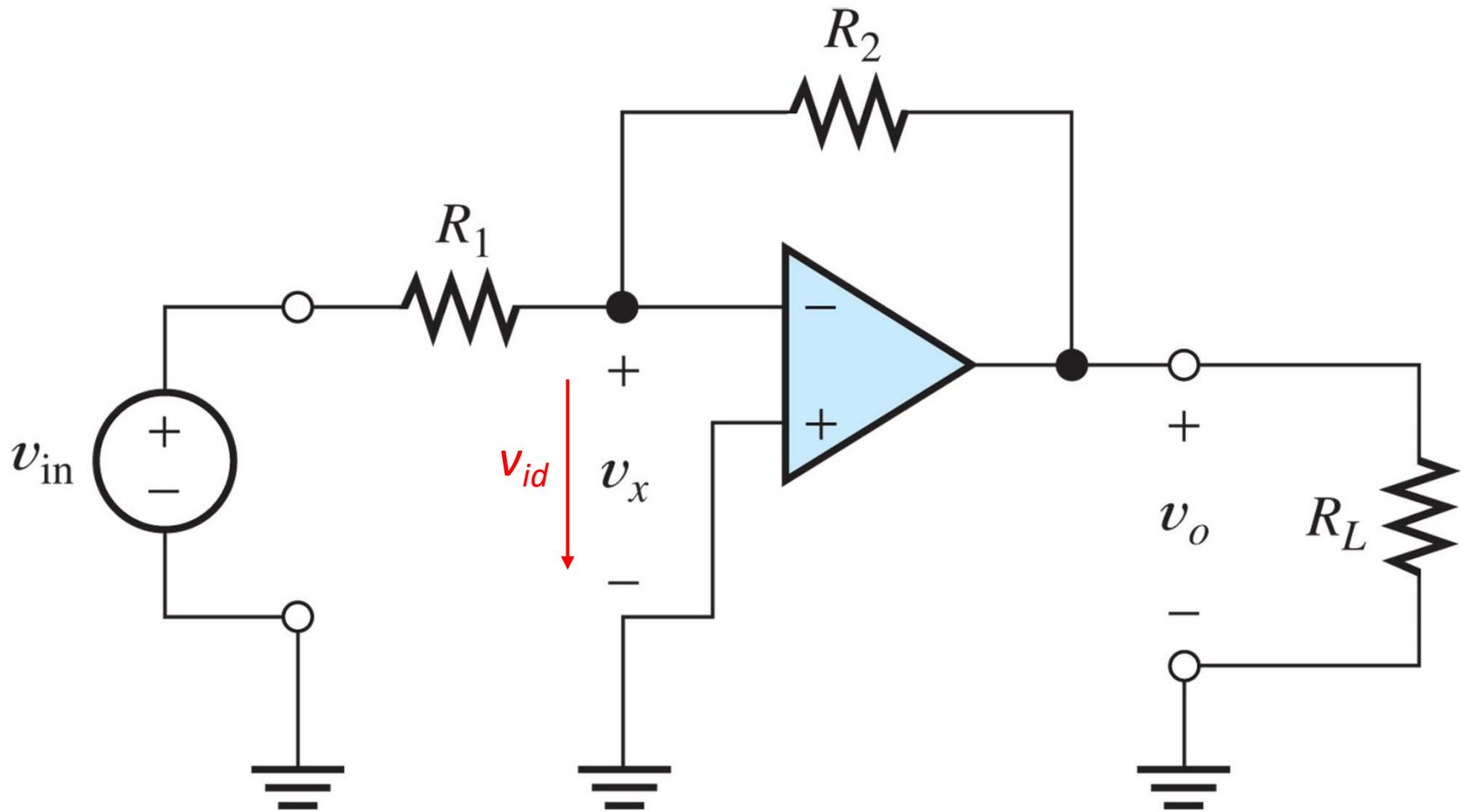
$$v_x < 0 \Rightarrow v_o \rightarrow +\infty \Rightarrow e^- \rightarrow +\infty$$

Balance ved $v_{id} = -v_x = 0$

Dette gælder også med påtrykt indgangsspænding v_{in} :



Dette gælder også med påtrykt indgangsspænding v_{in} :



Modkobling
 $A_{OL} \rightarrow \infty$

$$\Rightarrow v_{id} = 0 \quad \Rightarrow \quad e^- = e^+$$

Op Amps i kaskadekobling fra Sp.4 forsynes med ± 15 V

Hvad bliver den samlede strøm fra de to forsyninger, når indgangen påtrykkes et positivt signal på $v_s = 10$ mV?

