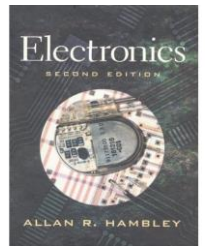


ELE-plan for i dag

Praktiske forhold

- *Litteraturkilde og undervisning*



(Print-On-Demand)

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 specificeret 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
<u>Slewrate</u> , 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
<u>Præcisions ensrettere</u>	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 differenspændingen $v_{id} = e^+ - e^-$ under disse forhold. (e^- og e^+ er spændingen på den inverterende hhv. den ikke-inverterende indgang)

Hint: Betragt figur 2.4. Antag evt. for forståelsens skyld at der eksisterer en lille differenspænding $v_{id} = -v_{id}$ 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 lærebogen 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	$A_{v1} = 11$	$R_{i1} = 100 \text{ k}\Omega$	$R_{o1} = 0 \Omega$
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 $1 \text{ k}\Omega$.

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 tidligere semestres målinger i ELE Lab. Ellers er det jo Google.dk!

Sp. 6 Hvad er AD590 for en komponent? Hvordan er dens udgangssignal specificeret?

Hint: Analog Device's hjemmeside

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

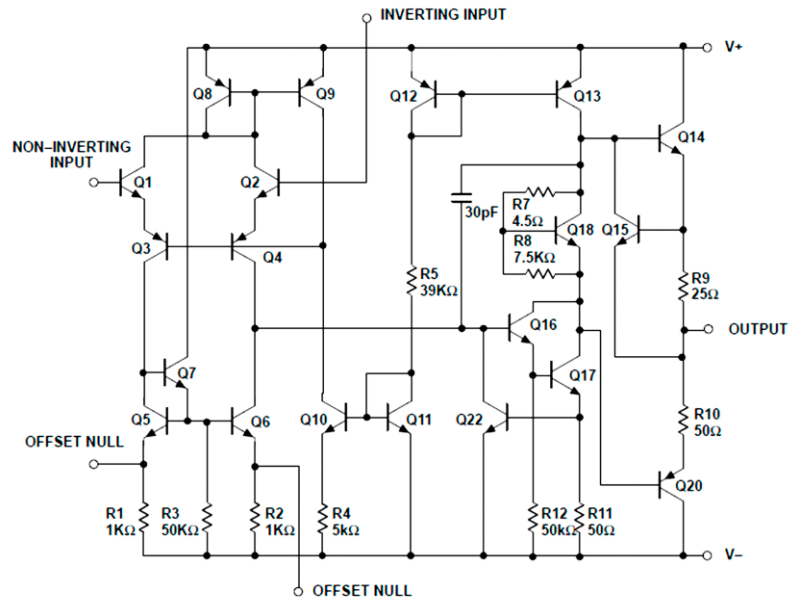
Hint: Konstruktionsopgaven

Forberedelsesark på
Itslearning
– brug dem hvis I vil!

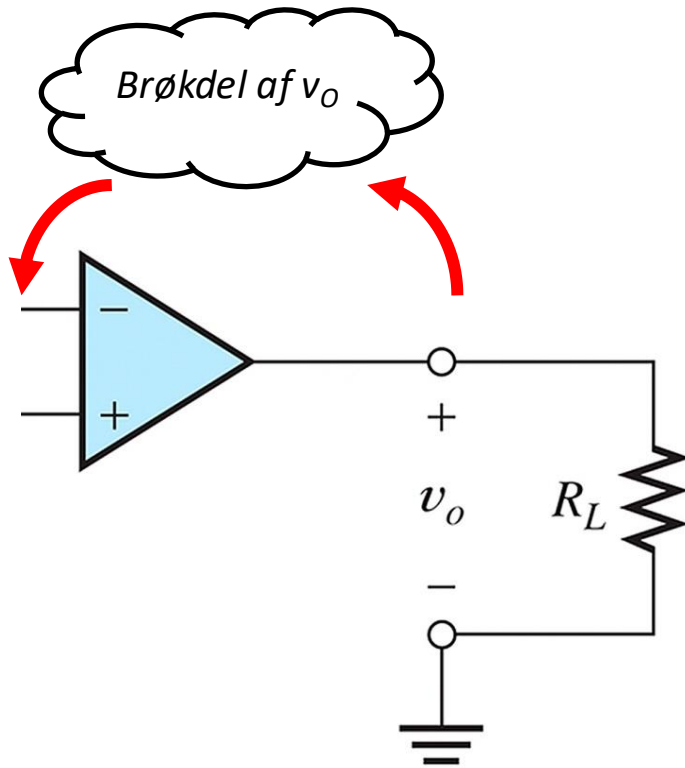
På 1. semester var det således:

Den ideelle Op Amp

I skal blot være bekendte med terminalegenskaberne!

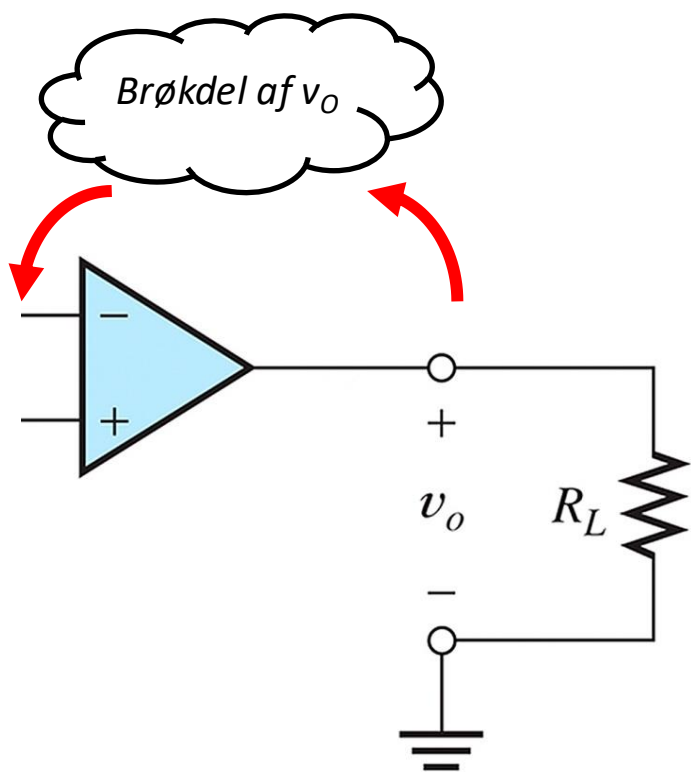


Modkoblingsprincippet



Se evt. PPS bagerst til rep. af modkobling

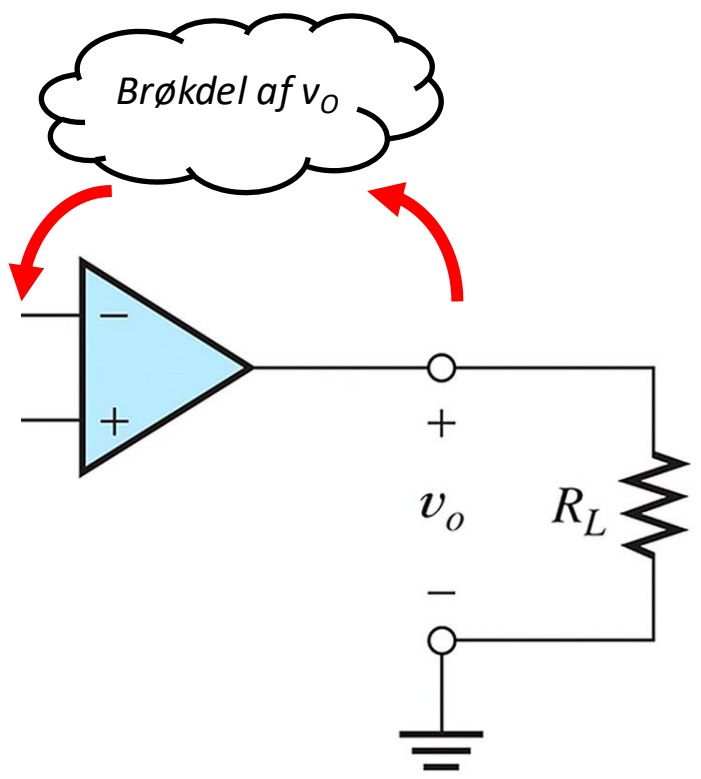
Modkoblingsprincippet



Modkobling

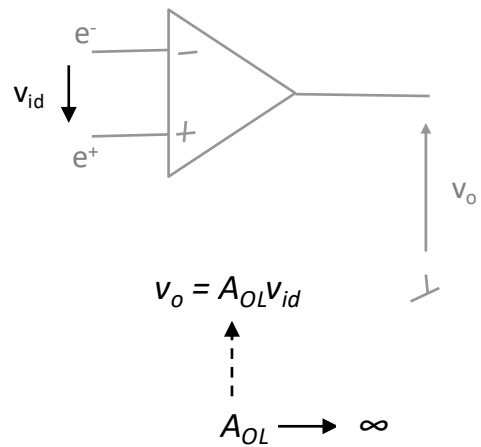
Negativ Feedback

Modkoblingsprincippet

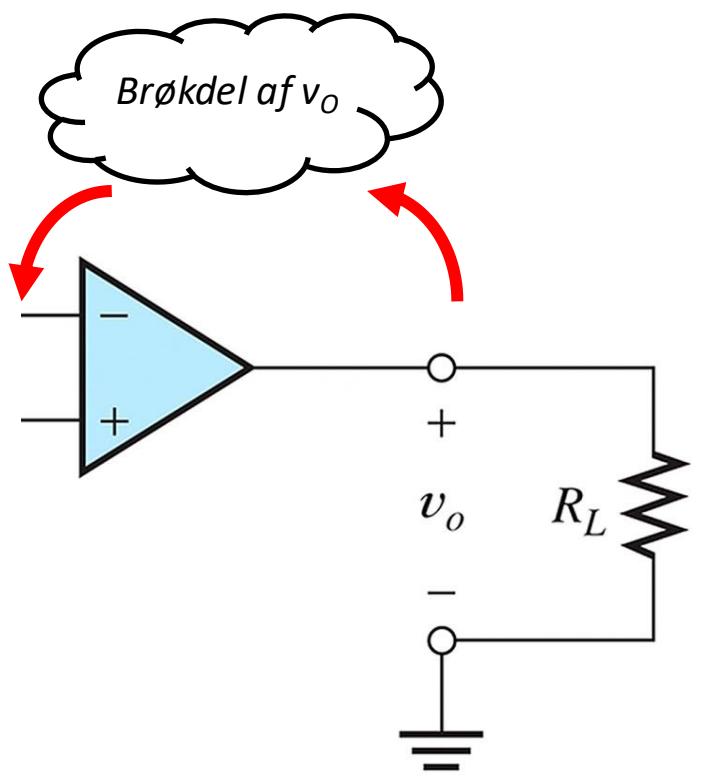


Modkobling

Negativ Feedback

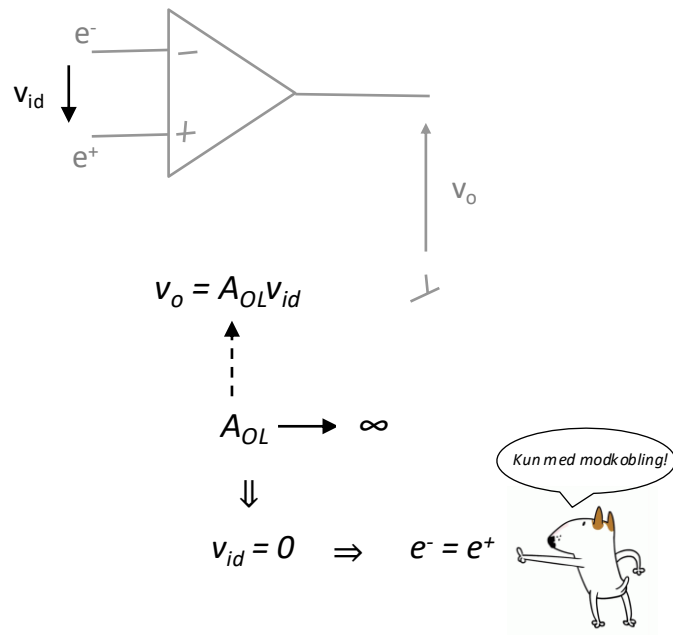


Modkoblingsprincippet

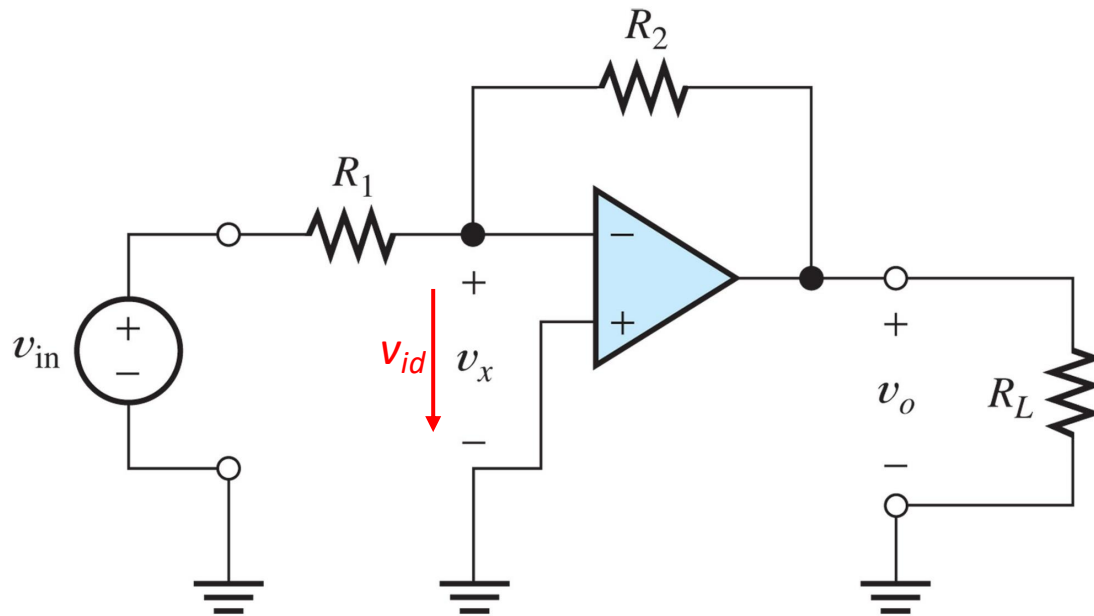


Modkobling

Negativ Feedback



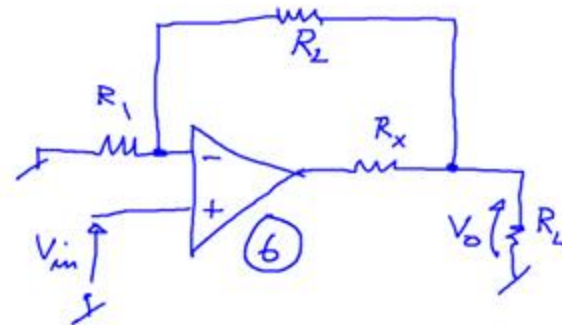
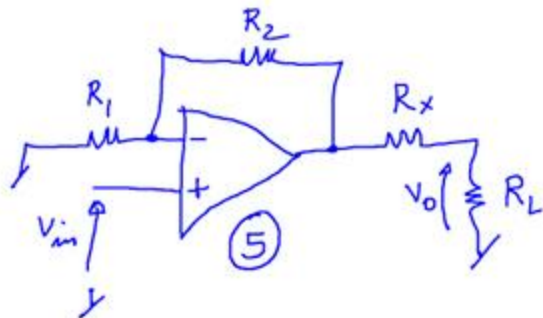
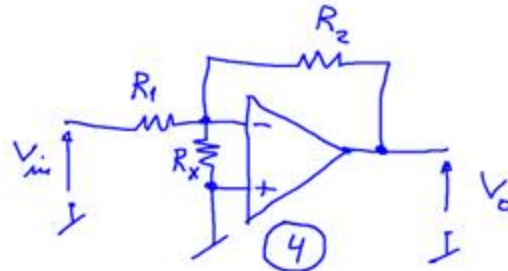
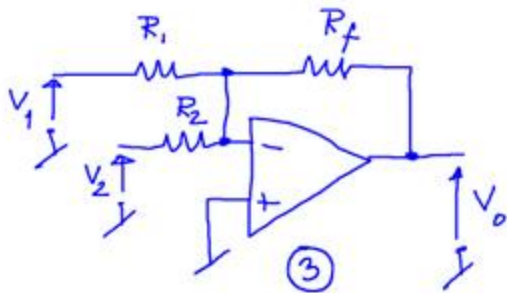
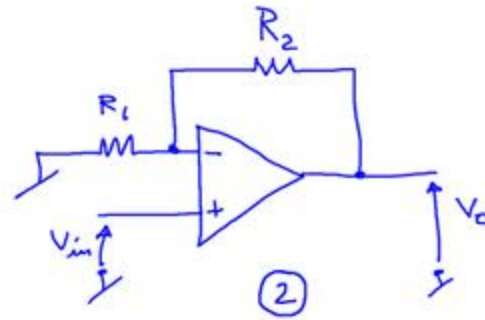
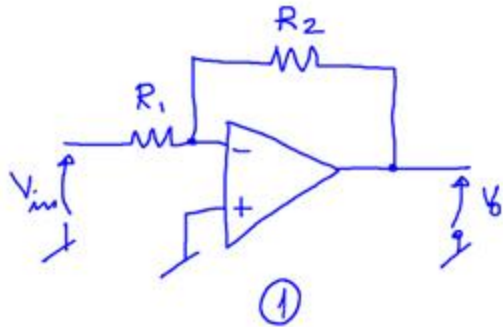
Dette gælder også med påtrykt indgangsspænding v_{in} :



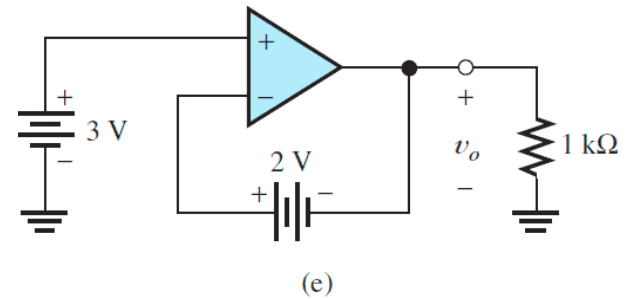
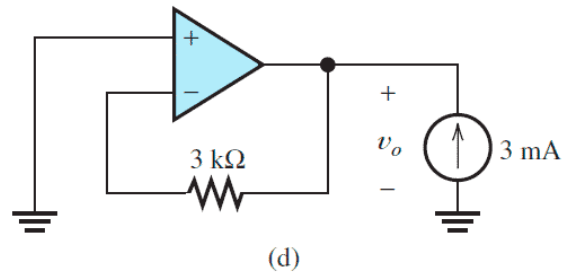
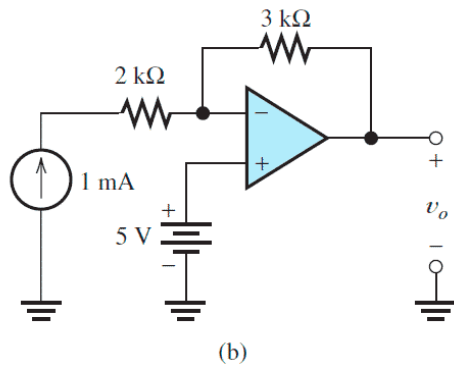
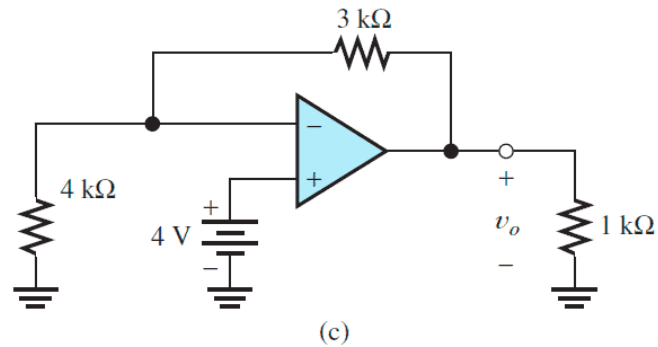
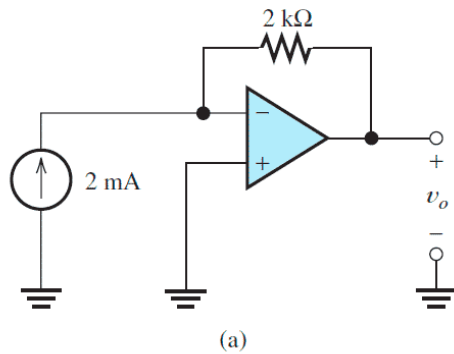
Modkobling:

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

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



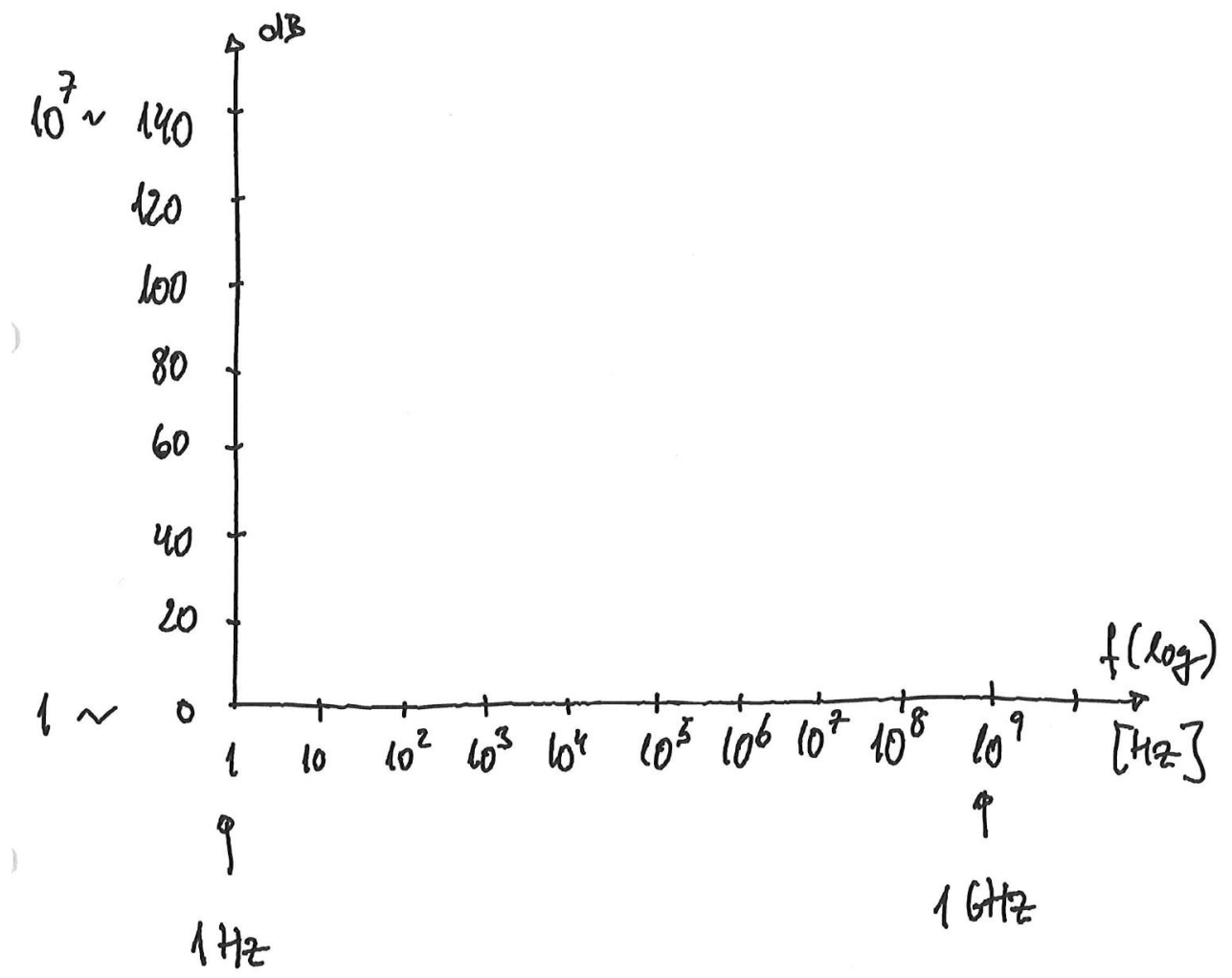
Alle Op Amps kan regnes ideelle. Find værdien af v_o i alle fem tilfælde.



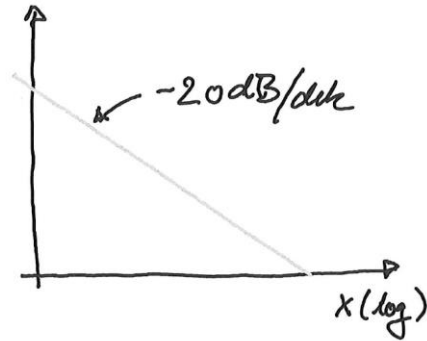
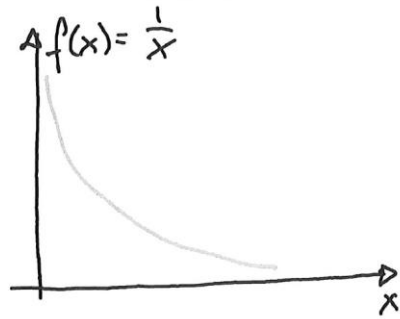
Definition af "dB"

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

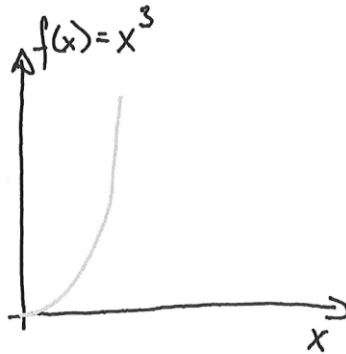
Repræsentation af stort dynamikområde



Ulineære funktioner \rightarrow Rette linier

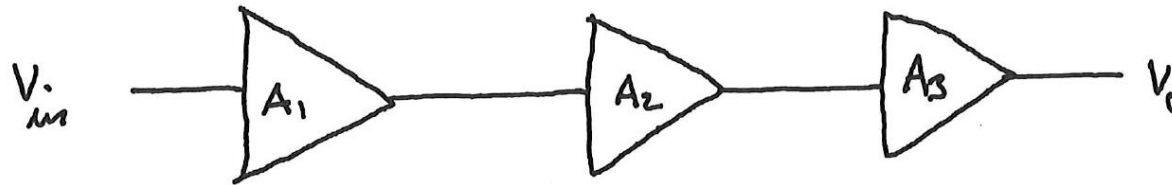


$$f(x)_{\text{dB}} = 20 \log\left(\frac{1}{x}\right) = 20 \log 1 - 20 \log x = \underline{\underline{-20 \log x}}$$



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

Kaskadekobling



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

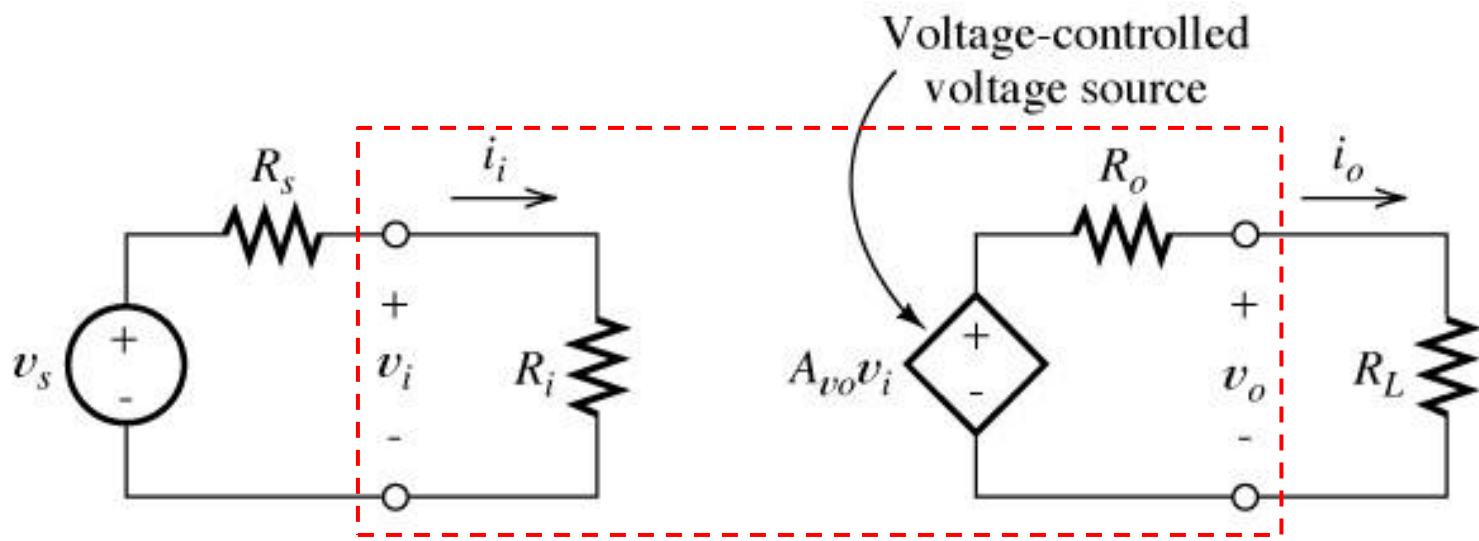
$$A_{V_{dB}} = A_{1_{dB}} + A_{2_{dB}} + A_{3_{dB}}$$

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

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

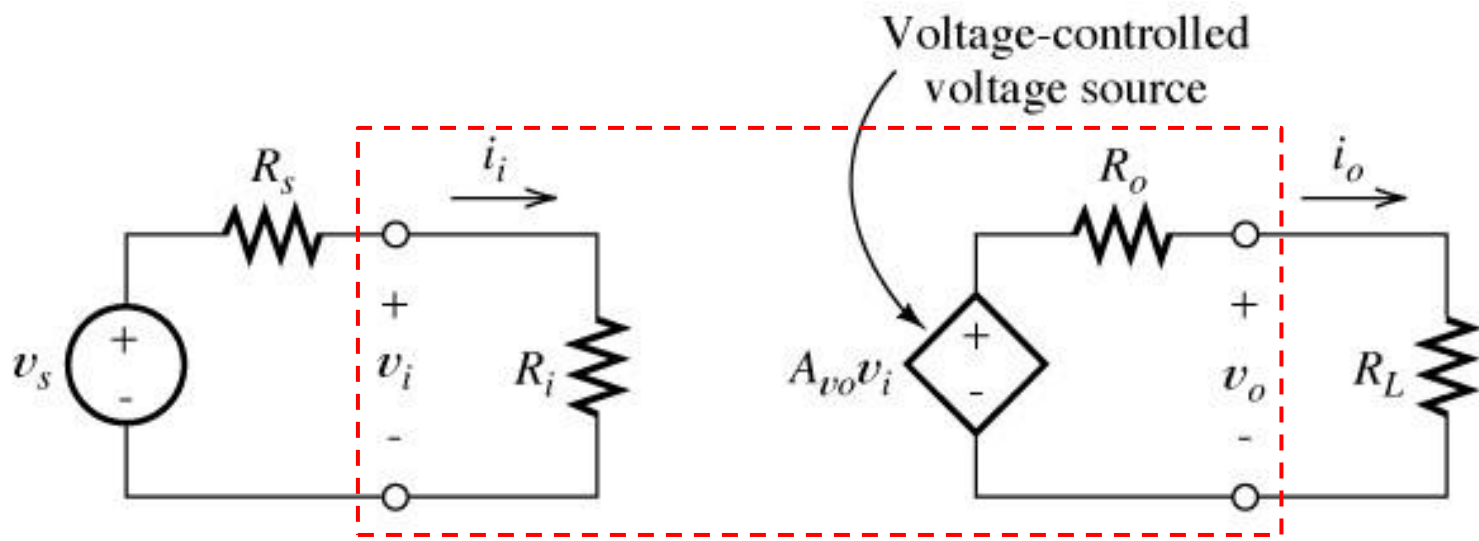
$$A_{V_{dB}} = 20 + 6 + 40 = \underline{\underline{66dB}}$$

Forstærker model



(Figur 1.17)

Forstærker model



(Figur 1.17)

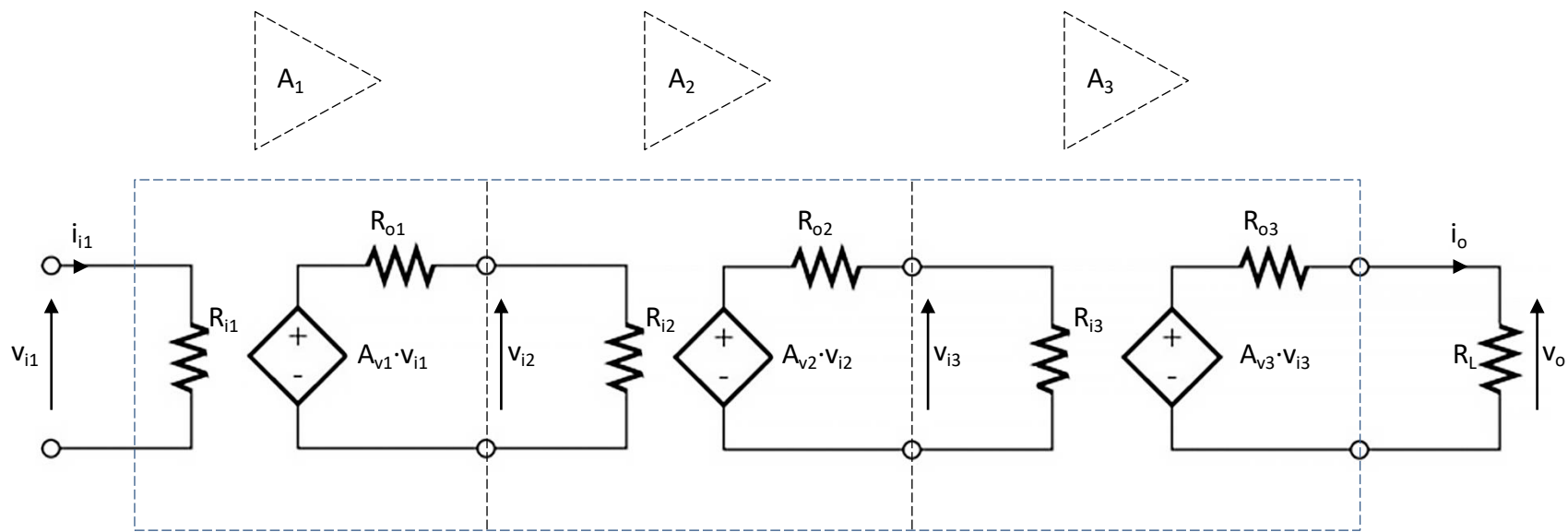
Sp. 4 fra forberedelsen:

Tre forstærkere med understående data er kaskadekoblede.

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

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

Realisering af de 3 forstærkere med *ideelle* Op Amps

Her kommer så en opgave!



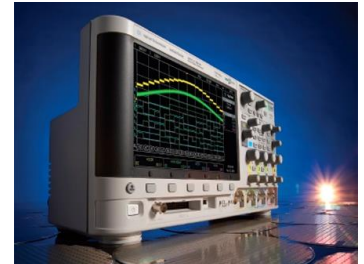
Målenøjagtighed

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 absolutte 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	\pm [DC vertical gain accuracy + DC vertical offset accuracy + 0.25% full scale] **
DC vertical gain accuracy*	\pm 3% full scale (≥ 10 mV/div); \pm 4% full scale (< 10 mV/div) **
DC vertical offset accuracy	\pm 0.1div \pm 2mV \pm 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

1 mV/div to 5 V/div **

\pm 3% full scale (≥ 10 mV/div); \pm 4% full scale (< 10 mV/div) **

\pm 0.1div \pm 2mV \pm 1% of offset setting

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	$\pm[\text{DC vertical gain accuracy} + \text{DC vertical offset accuracy} + 0.25\% \text{ full scale}]^{**}$
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 kVpkCAT II 300 Vrms, 400 Vpk with N2862A or N2863A 10:1 probe: 300 Vrms

1 mV/div to 5 V/div **

$\pm 3\% \text{ full scale } (\geq 10 \text{ mV/div}); \pm 4\% \text{ full scale } (< 10 \text{ mV/div})^{**}$

$\pm 0.1 \text{ div} \pm 2 \text{ mV} \pm 1\% \text{ of offset setting}$

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	$\pm[\text{DC vertical gain accuracy} + \text{DC vertical offset accuracy} + 0.25\% \text{ full scale}]^{**}$
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 kVpkCAT II 300 Vrms, 400 Vpk with N2862A or N2863A 10:1 probe: 300 Vrms

1 mV/div to 5 V/div **

DC Specifications

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

Function	Range	Resolution	Maximum reading	Accuracy (One year; 23°C \pm 5 °C)	Test Current	Typical input impedance ^[2]	Burden voltage ^[3]
Voltage	500 mV	0.01 mV	510.00	0.02% + 4	—	10.0 M Ω	—
	5 V	0.0001 V	5.1000	0.02% + 4	—	11.1 M Ω	—
	50 V	0.001 V	51.000	0.02% + 4	—	10.1 M Ω	—
	500 V	0.01 V	510.00	0.02% + 4	—	10.0 M Ω	—
	1000 V	0.1 V	1200.0 ^[1]	0.02% + 4	—	10.0 M Ω	—
Current	500 μ A	0.01 μ A	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	—	—	—
	10 A	0.01 A	10.000	0.05% + 5	—	—	—

DC Specifications

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

Function	Range	Resolution	Maximum reading	Accuracy (One year; 23°C \pm 5 °C)	Test Current	Typical input impedance ^[2]	Burden voltage ^[3]
Voltage	500 mV	0.01 mV	510.00	0.02% + 4	—	10.0 M Ω	—
	5 V	0.0001 V	5.1000	0.02% + 4	—	11.1 M Ω	—
	50 V	0.001 V	51.000	0.02% + 4	—	10.1 M Ω	—
	500 V	0.01 V	510.00	0.02% + 4	—	10.0 M Ω	—
	1000 V	0.1 V	1200.0 ^[1]	0.02% + 4	—	10.0 M Ω	—
Current	500 μ A	0.01 μ A	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	—		
				0.05% + 5			

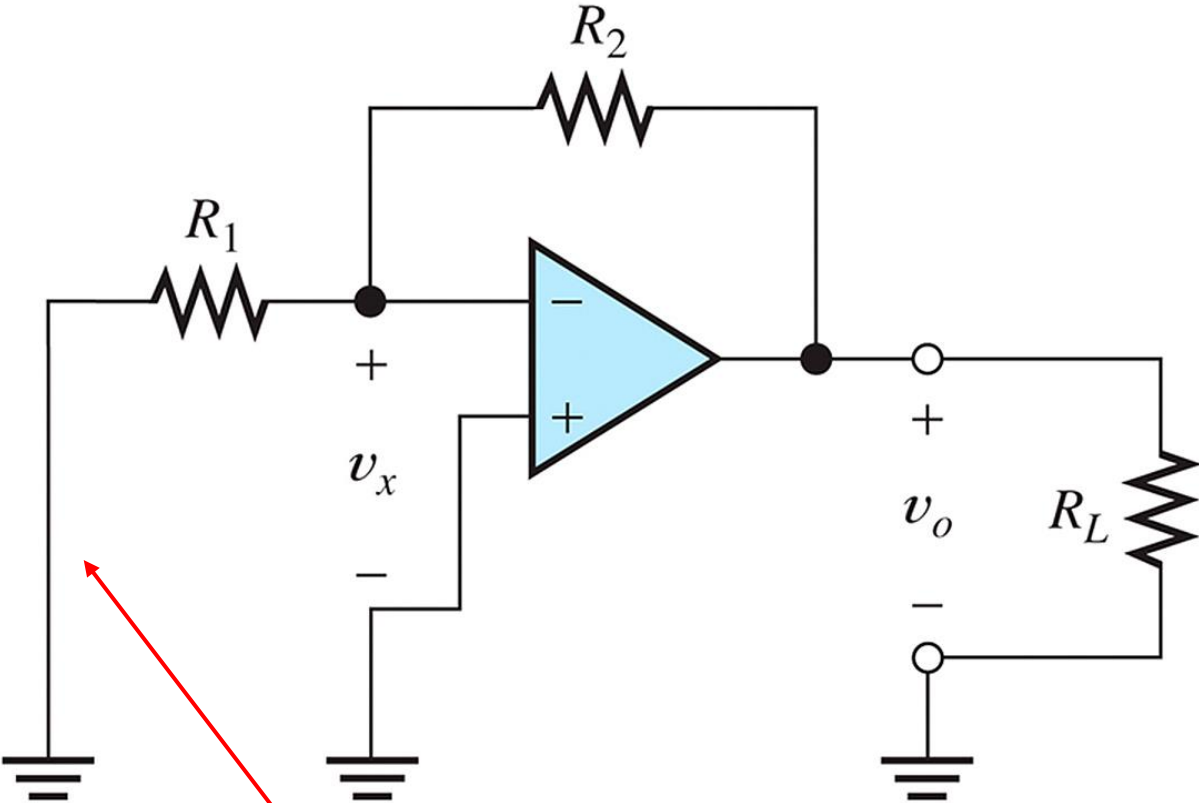
Konstruktionsopgave

→ *ITSL*

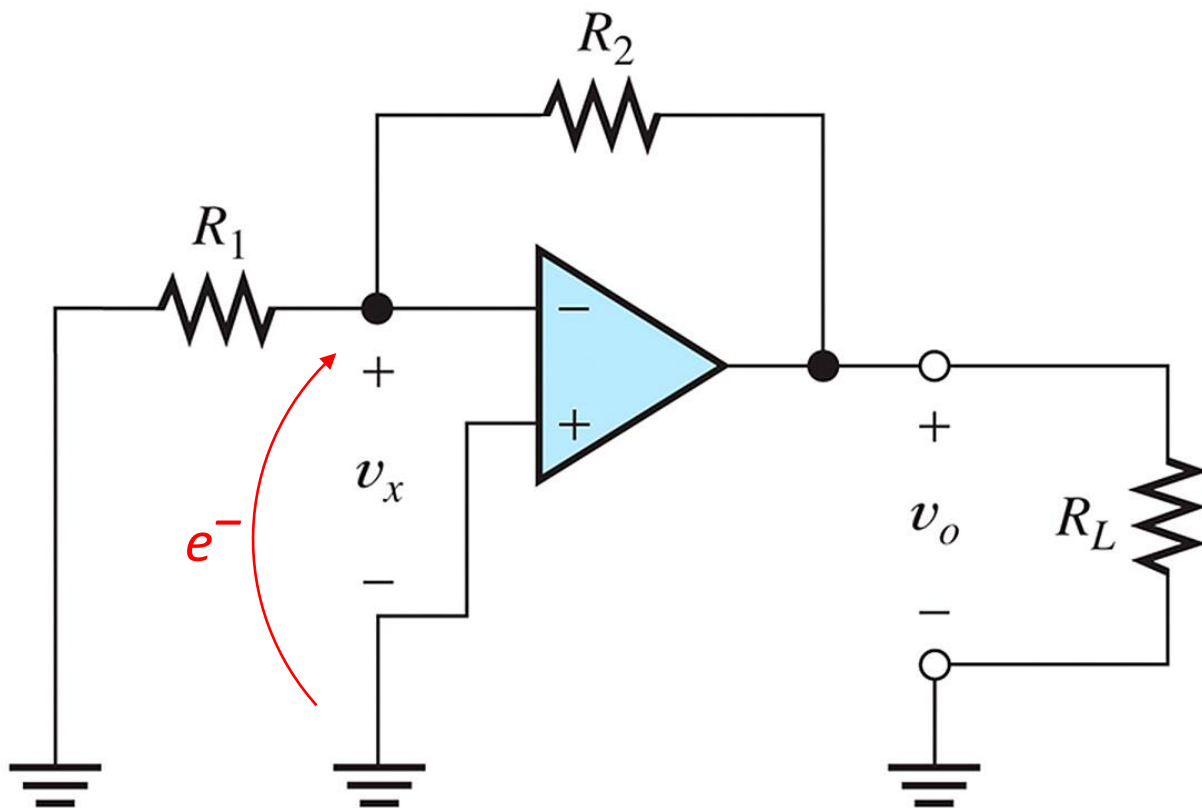
Rep.

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

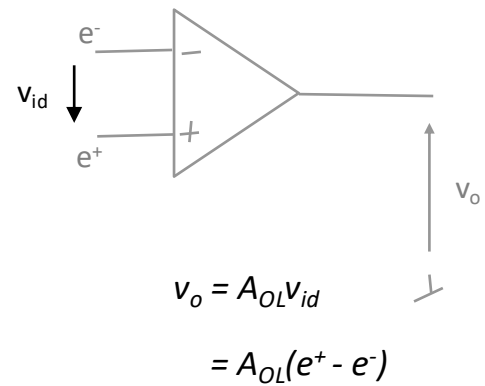
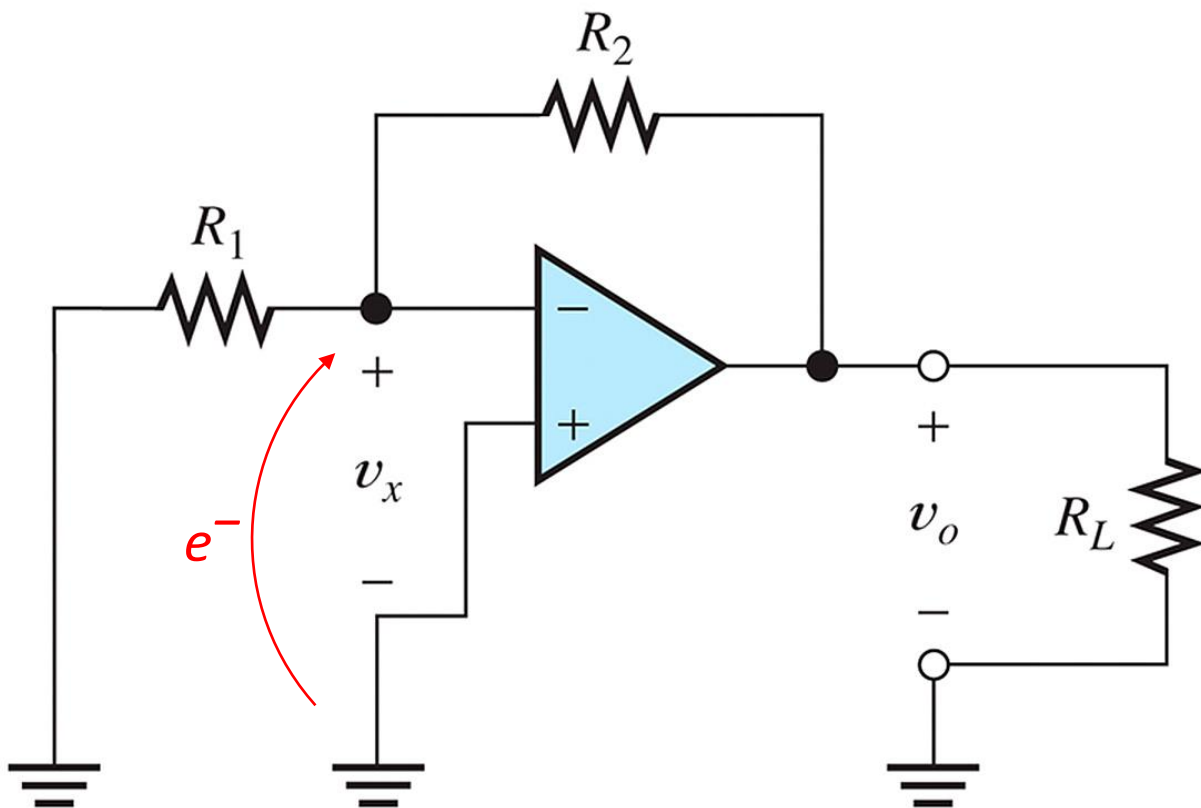
Modkoblingsprincippet

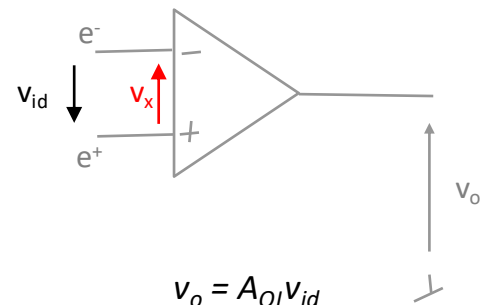
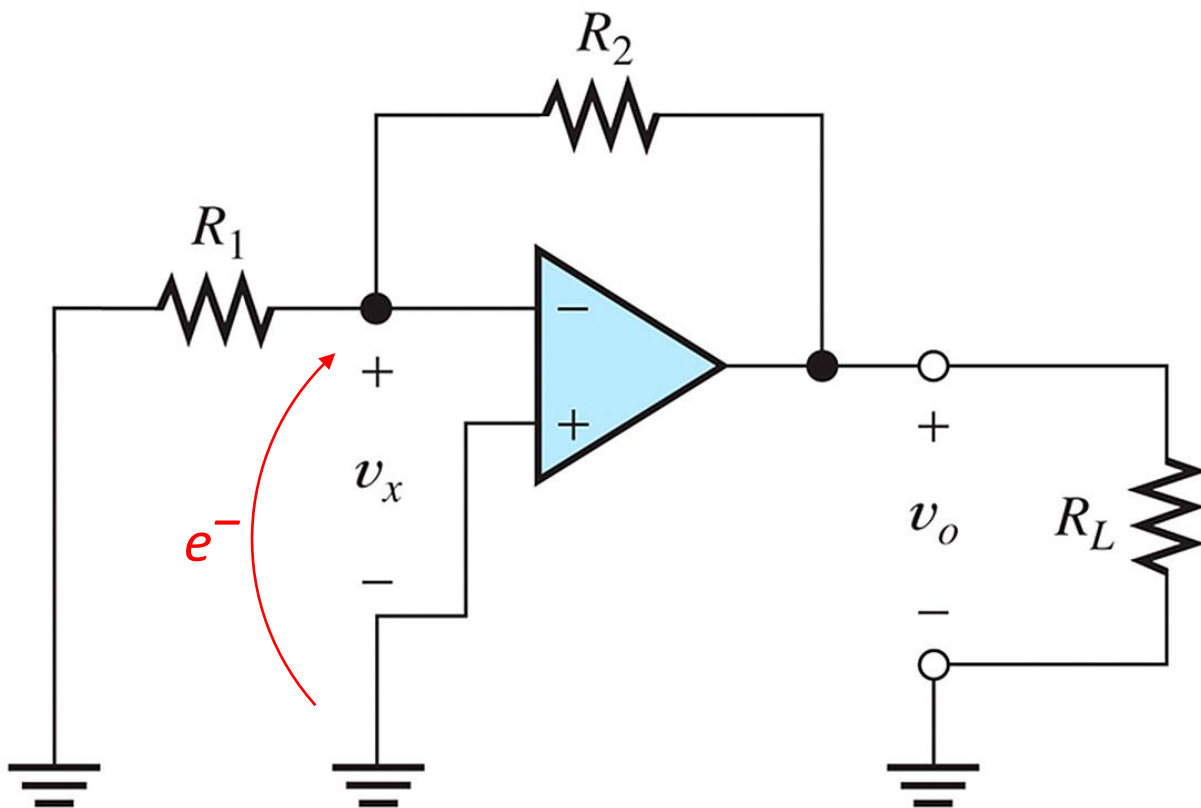


Figur 2.4 med $v_{in} = 0$

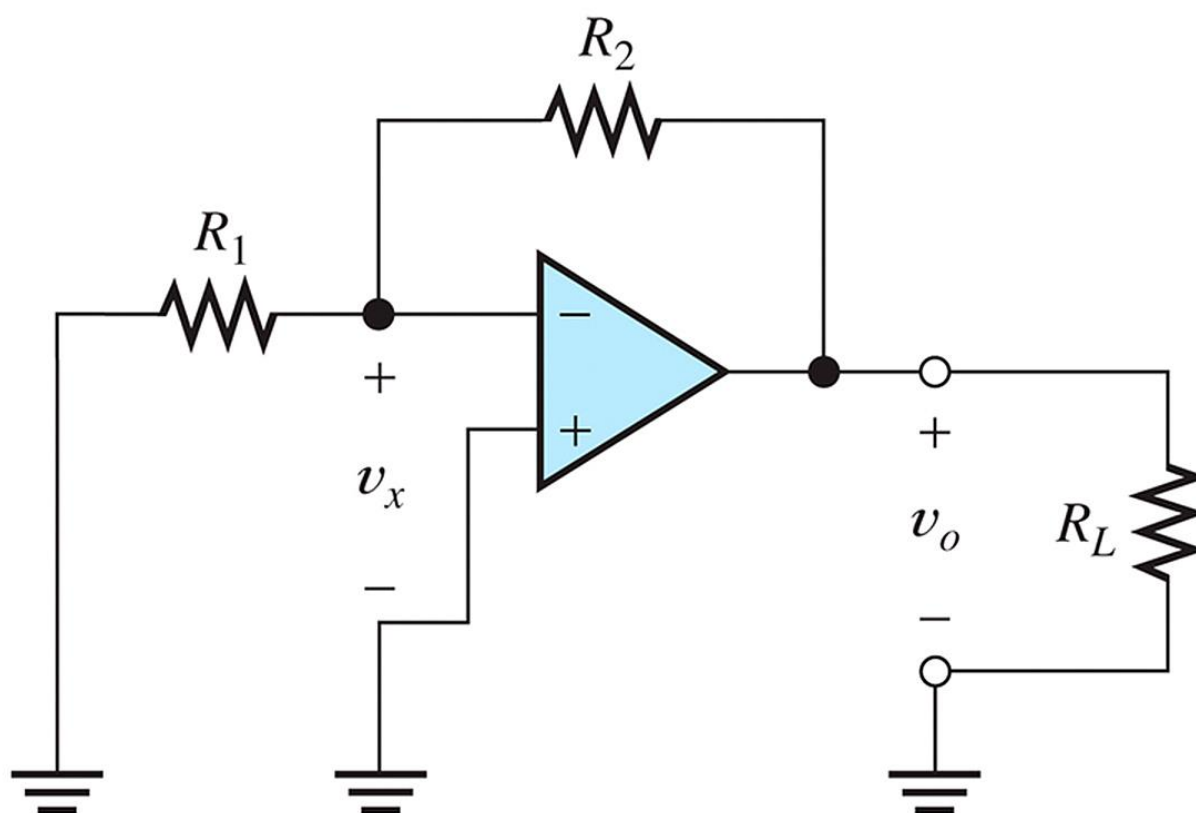


$$e^- = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot v_o$$



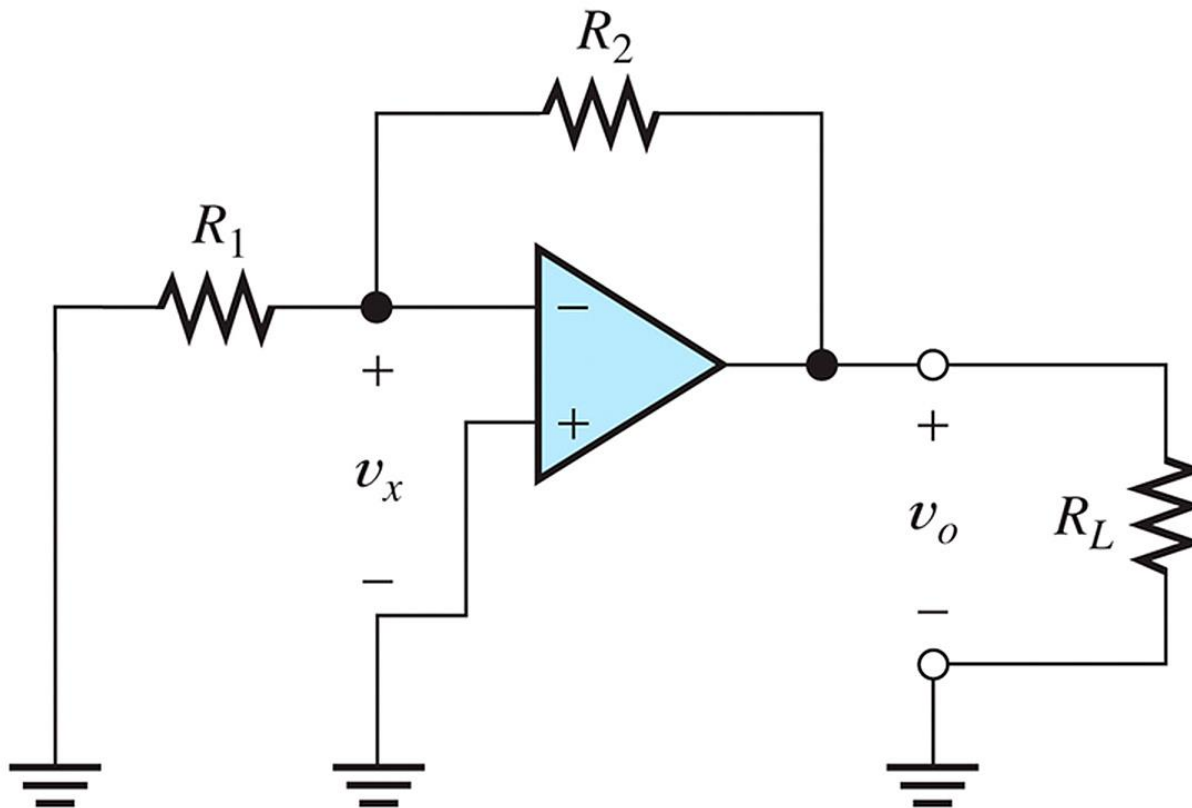


$$\begin{aligned}
 v_o &= A_{OL} v_{id} \\
 &= A_{OL} (e^+ - e^-) \\
 &= -A_{OL} v_x
 \end{aligned}$$



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

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

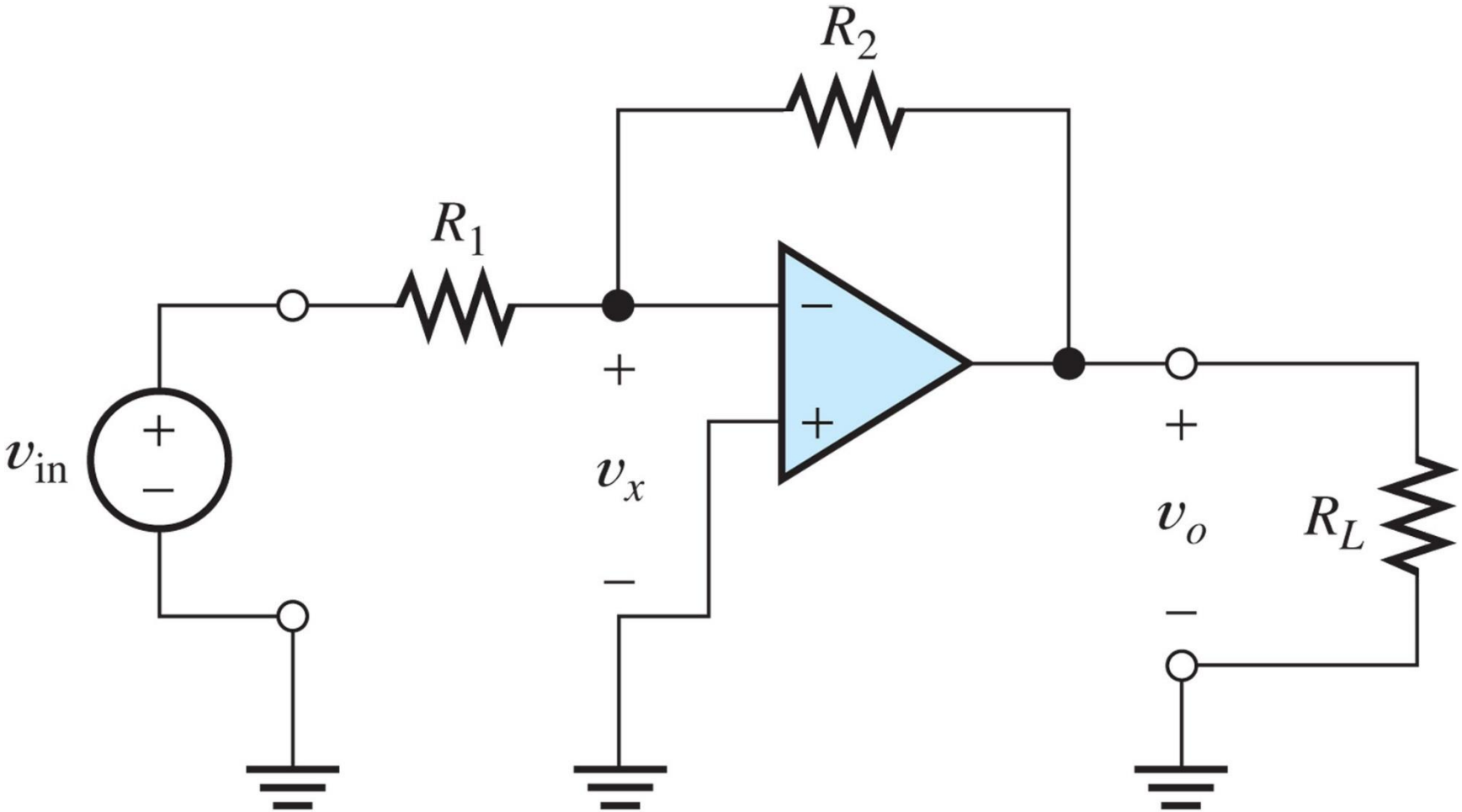


$$v_x > 0 \Rightarrow v_o \rightarrow -\infty \Rightarrow e^- \rightarrow -\infty$$

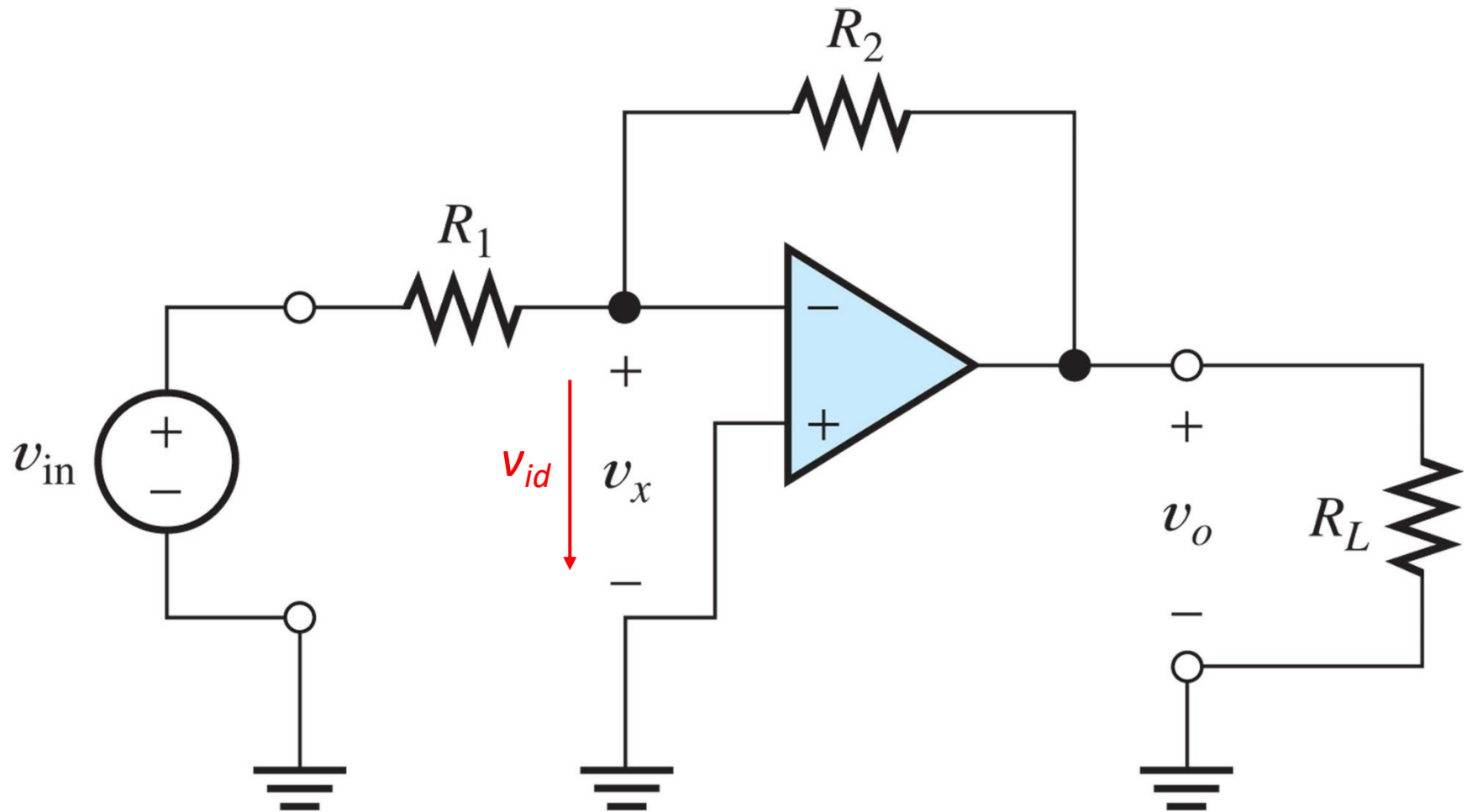
$$v_x < 0 \Rightarrow v_o \rightarrow +\infty \Rightarrow e^- \rightarrow +\infty$$

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

Dette gælder også med påtrykt indgangsspænding v_{in} :



Dette gælder også med påtrykt indgangsspænding v_{in} :



Modkobling

$$A_{OL} \rightarrow \infty$$

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

Op Amps i kaskadekobling fra Sp.4 forsynes med $\pm 15\text{ V}$

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

