

Forelesning nr.12 INF 1411

Elektroniske systemer

Opamp-kretser
Oscillatorer og aktive filtre

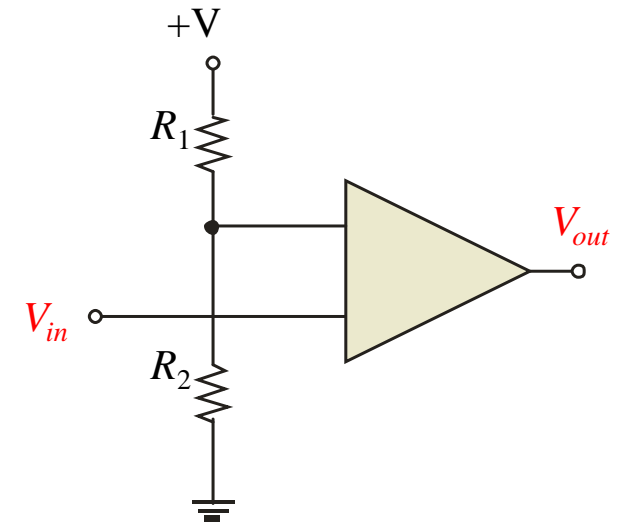


Dagens temaer

- Komparatorer, addisjon- og subtraksjonskretser
- Integrasjon og derivasjon med opamp-kretser
- Oscillator
- Aktive filtre
- Spenningsregulator
- Dagens temaer er hentet fra kapittel 18.1-18.6

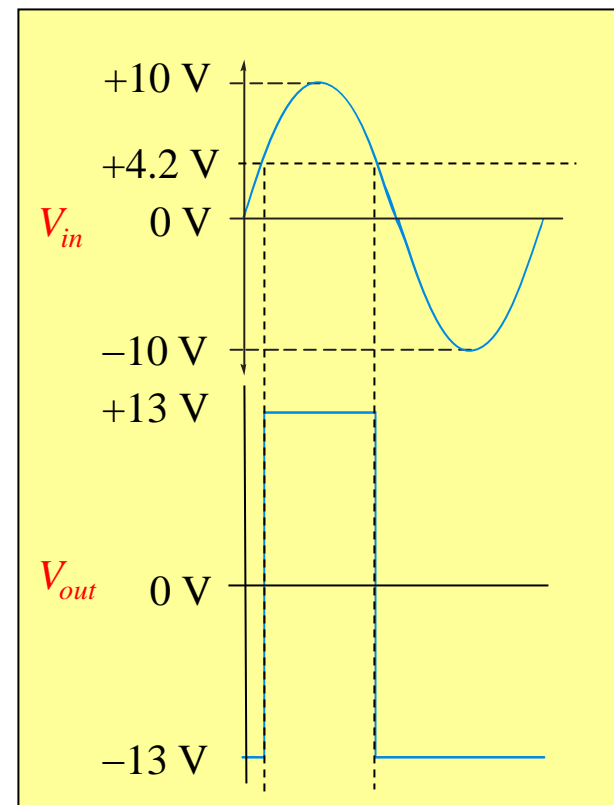
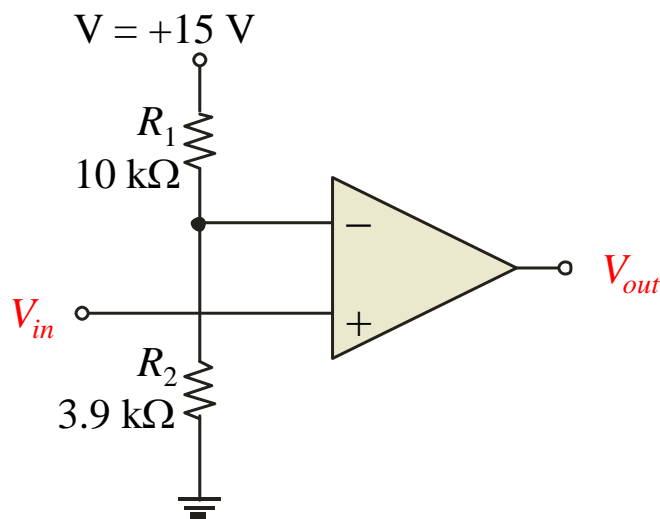
Komparatorer

- Komparatorer sammenligner to input-signaler og har et outputsignal som er i metning (dvs. enten max eller min)
- Siden man ønsker max/min-type oppførsel bruker man ikke feedback
- Vanlige opamp'er kan brukes som komparator, men vanligere er det å bruke spesialiserte opamp'er som er raskere



Komparatorer (forts)

- Eksempel på komparator; maks output-spenning er 13v, og $V_{ref}=4.2v$



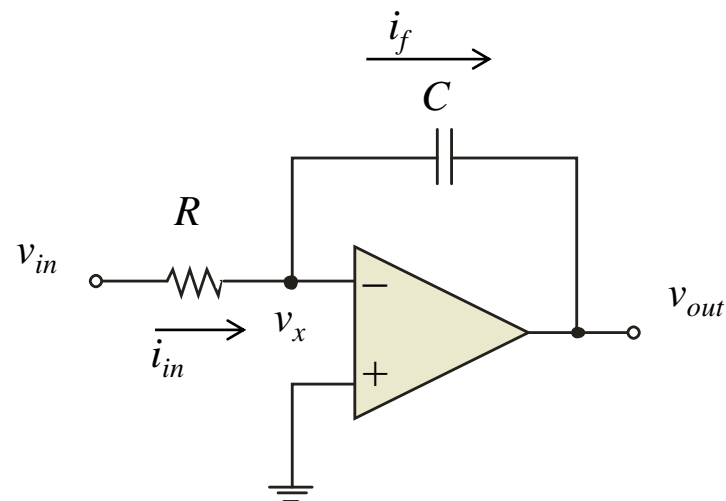
Integrator med opamp

- En integrator produserer et output-signal som er den *integrerte* av et input-signal, dvs. *summen av* input-signalet over tid

$$V_c = \frac{Q}{C} \wedge V_c = V_x - V_{out} = -V_{out}$$

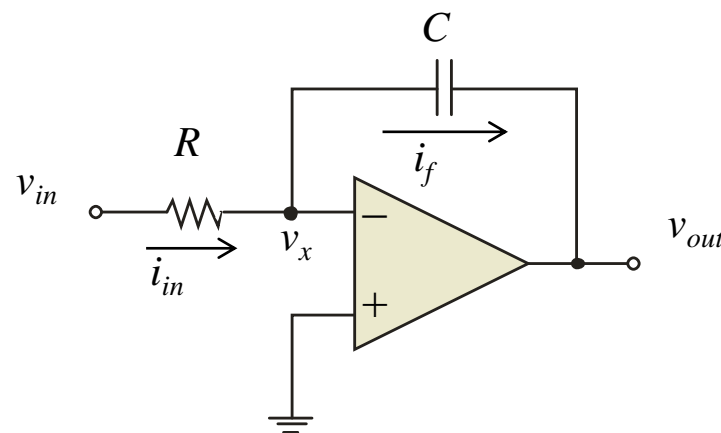
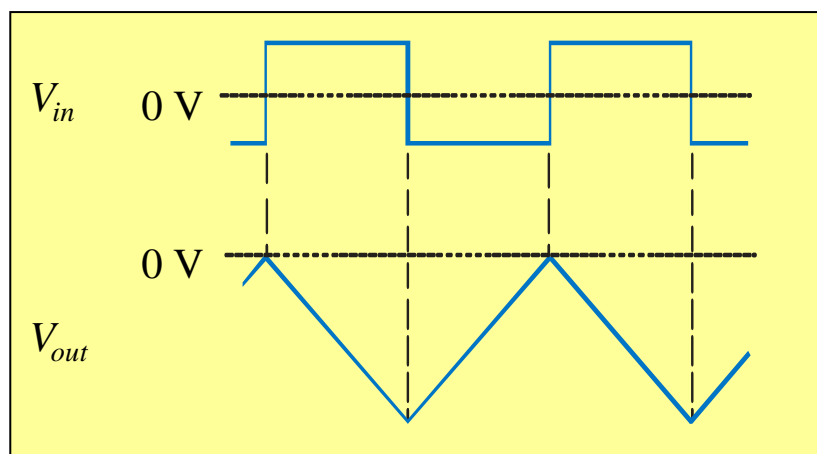
$$-\frac{dv_{out}}{dt} = \frac{1}{C} \frac{dQ}{dt} = \frac{1}{C} i_f$$

$$i_{in} = \frac{V_{in}}{R} \wedge i_f = -C \frac{dv_{out}}{dt} \Rightarrow v_{out} = -\frac{1}{RC} \int_0^t v_{in} dt$$



Integrator med opamp (forts)

- Siden integratoren er en inverterende forsterker vil output være negativ (forutsatt positiv og negativ forsyningspenning)
- Hvis input er en firkantbølge sentrert rundt 0v vil output være en negativ trekantbølge (forutsatt at man ikke går i metning)



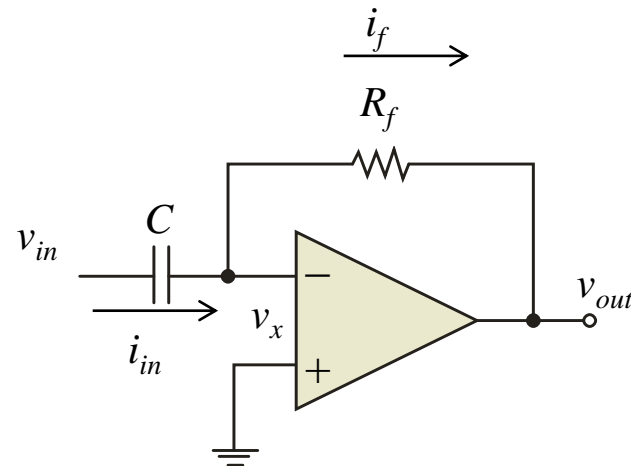
Differensiator med opamp

- En differensiator lager et output-signal som er proporsjonalt med den *deriverte* av inputsignalet, dvs *endringen* i inputsignalet over tid

$$i_{in} = i_f \wedge i_f = -\frac{V_{out}}{R_f}$$

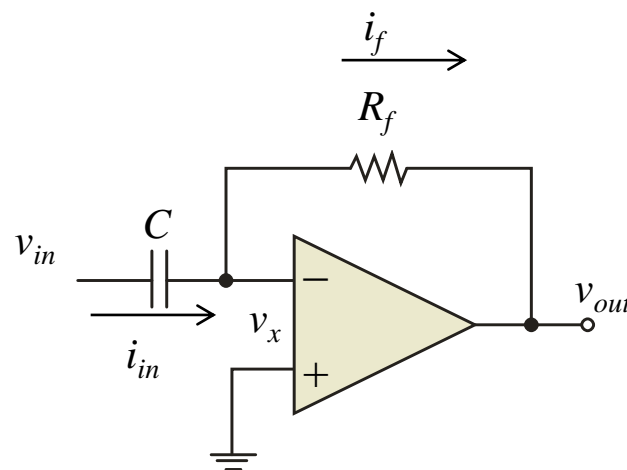
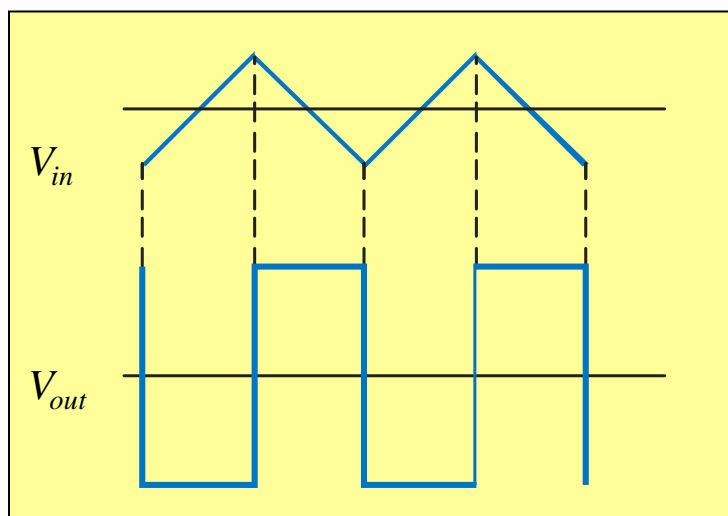
$$Q = C v_{in} \Rightarrow \frac{dQ}{dt} = i_{in} = C \frac{dv_{in}}{dt}$$

$$\Rightarrow V_{out} = -R_f C \frac{dv_{in}}{dt}$$



Differensiator med opamp (forts)

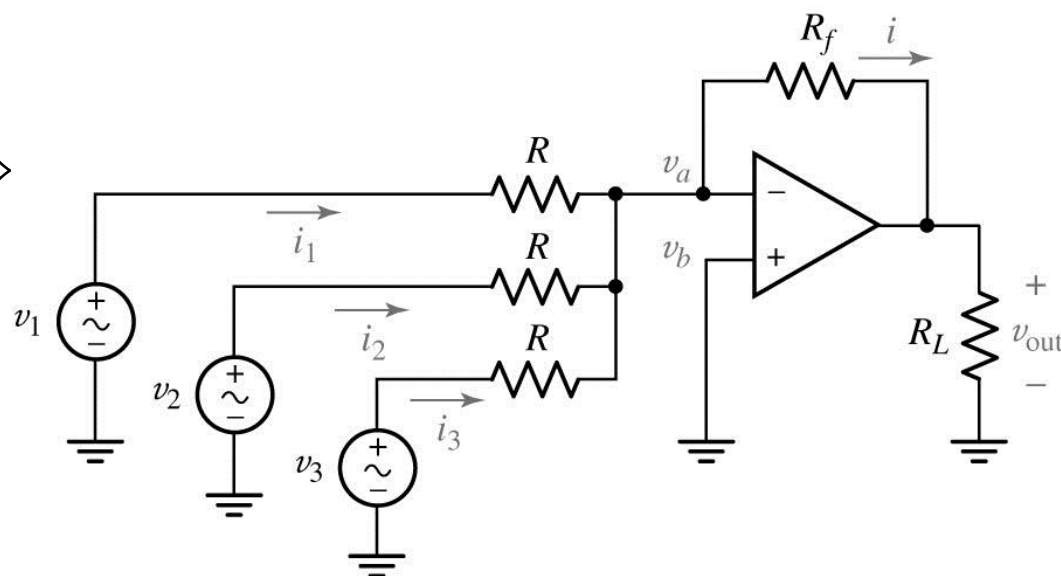
- Hvis input er et trekant-signal vil output være et negativt firkantsignal når inputsignalet stiger, og positivt når input signalet faller (inverterende)



Summasjonsforsterker

- En operasjonsforsterker kan brukes til å summere spenninger og eventuelt skalere dem
- Output-spenningen er gitt av

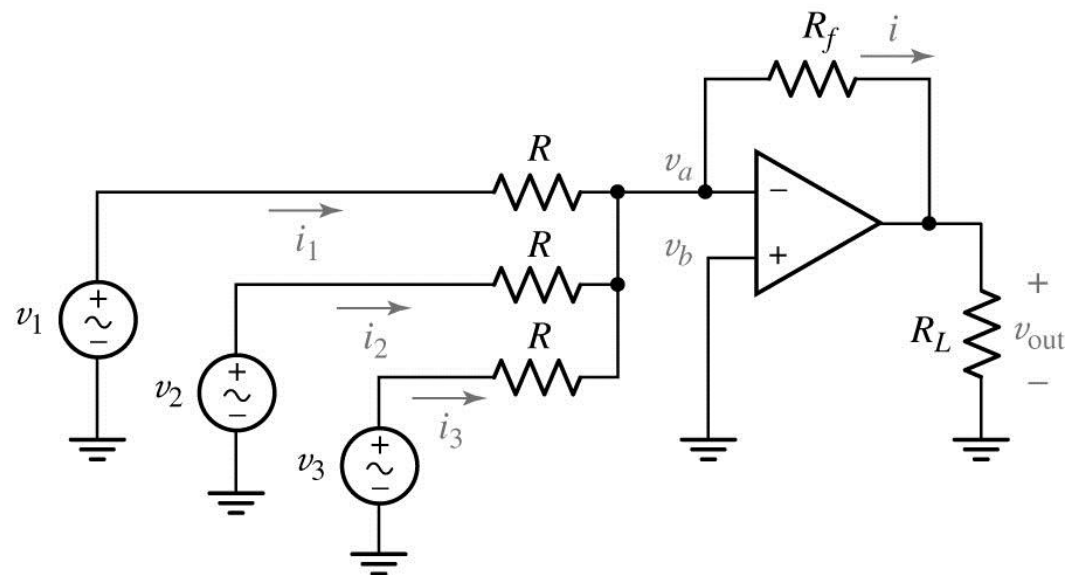
$$\frac{V_a - V_{out}}{R_f} + \frac{V_a - V_1}{R} + \frac{V_a - V_2}{R} + \frac{V_a - V_3}{R} = 0 \Rightarrow$$
$$V_{out} = -\frac{R_f}{R}(V_1 + V_2 + V_3)$$



Gjennomsnittsberegning

- Ønsker å beregne gjennomsnittsspenningen av inputsignalene, må $R_f = \frac{R}{n}$

$$V_{out} = -\frac{R_f}{R}(V_1 + V_2 + V_3) \Rightarrow$$
$$V_{out} = -\frac{n}{R} = \frac{1}{n}(V_1 + V_2 + V_3)$$

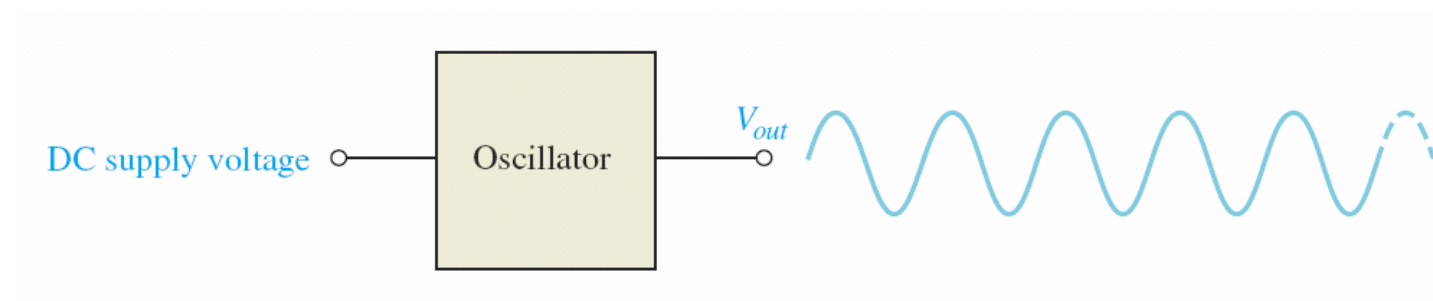


Spørsmål

- Hva beregner en differensiator?
- Hva beregner en integrator?
- Hvilken funksjon har en komparator?
- Bruker man feedback i en komparator?
- Hvordan ser utgangssignalet fra en komparator ut?
- Kan man bruke en opamp som en komparator?
- Hva er en summasjonsforsterker?
- Hvordan kan man bruke en summasjonsforsterker til å beregne gjennomsnittsverdien av inputspenningene?

Oscillatorer

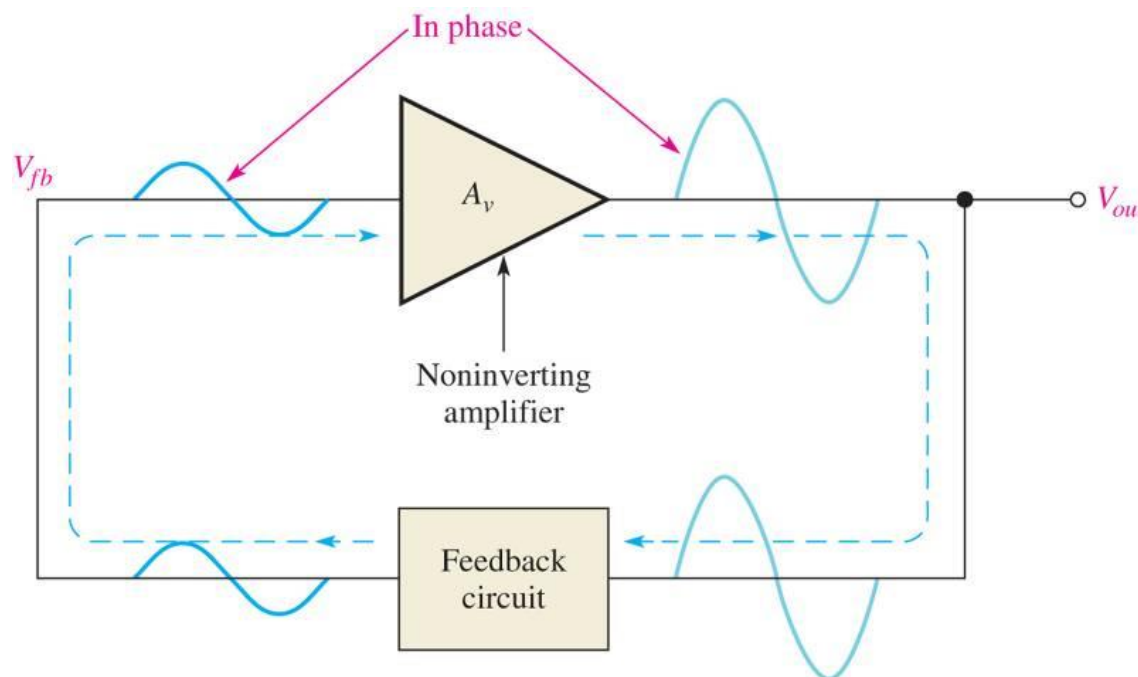
- Oscillatorer produserer et repeterende ac-signal basert på et likespennings input-signal



- Oscillatorer brukes i bla mobiltelefoner, radioutstyr og PC'er
- Oscillatorer inneholder forsterkere og positiv tilbakekobling som gir både faseskift og dempning
- Oscillatorer må gi en stabil og konfigurerbar utfrekvens

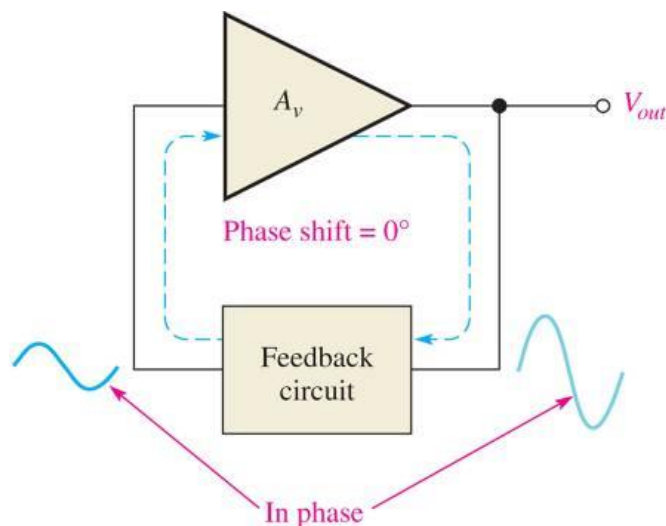
Positiv feedback

- Positiv feedback skjer når en del av outputsignalet føres tilbake som inputsignal *uten* faseskift

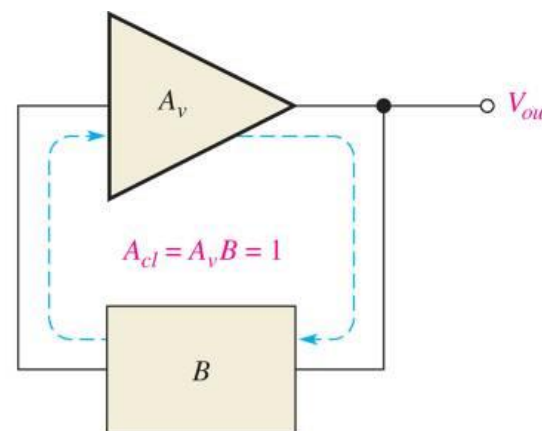


Positiv feedback (forts)

- To betingelser må være tilstede for oscillasjon:
 - Faseskift = 0 grader rundt feedback-løkken
 - Spenningsforsterkning $A_{cl} = 1$ rundt feedback-løkken
- Spenningsforsterkningen A_{cl} er gitt av $A_{cl} = A_v B$



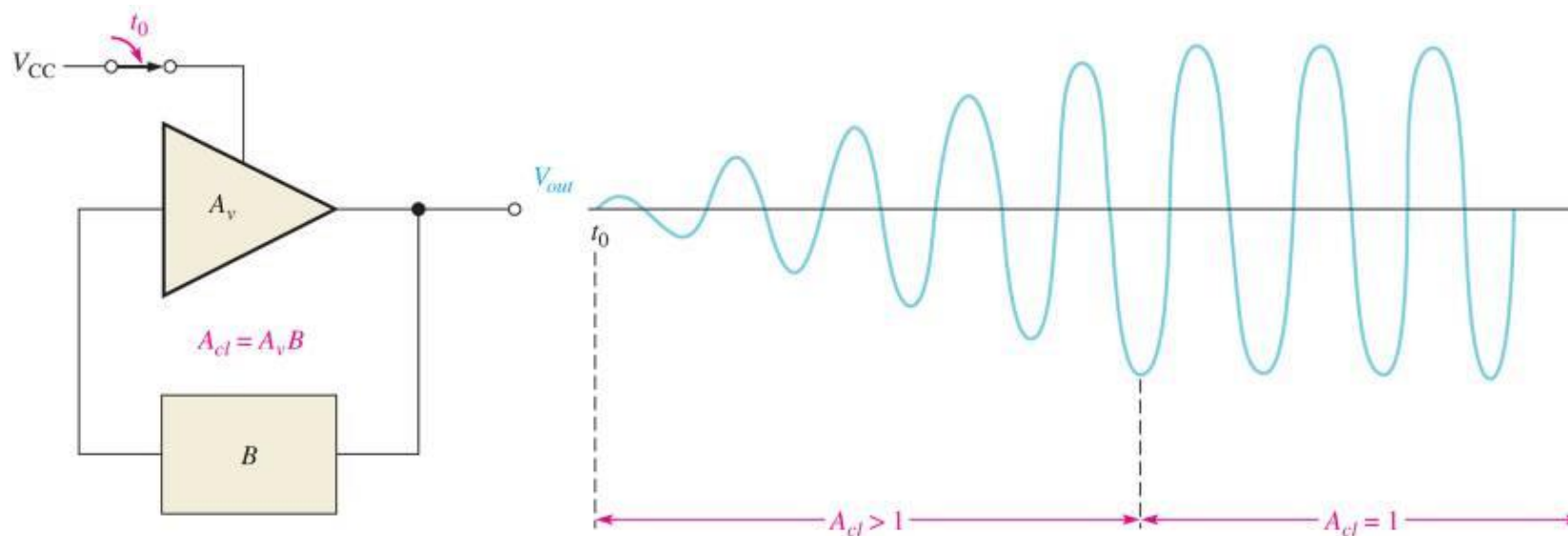
(a) The phase shift around the loop is 0°.



(b) The closed loop gain is 1.

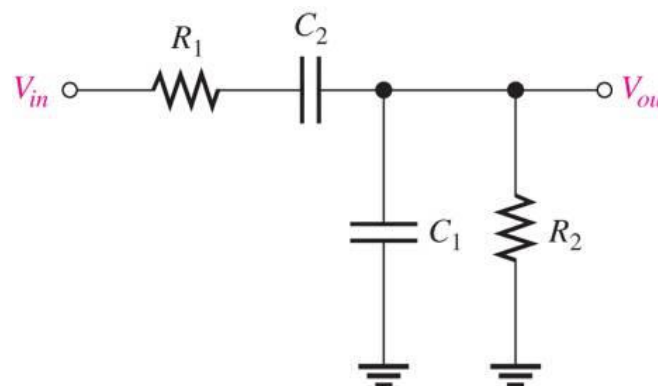
Oppstart-betingelser

- Oscillatorer basert på en dc-spenning trenger ikke input-signal for å oscillere
- Men for å starte oscillasjon må forsterkningen rundt den lukkede feedback-løkken være >1 helt til amplituden har nådd det ønskede nivået

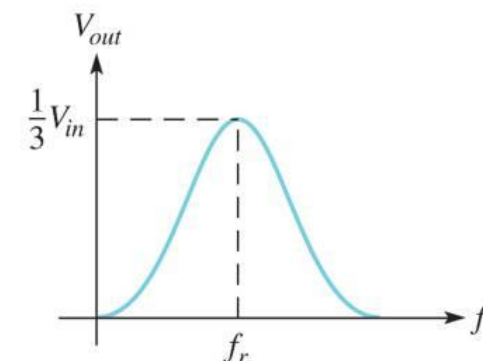


Wien-bridge oscillator

- En Wien-bridge oscillator genererer sinus over et bredt frekvensområde med lav forvrengning
- Oscillatoren består av en «lead-lag» tilbakekobling og en opamp
- En lead-lag krets fungerer som et *høypassfilter* etterfulgt av et *lavpassfilter*
- Dette gir et *båndpassfilter* med amplitude $1/3$ av V_{in} for resonans (oscillasjons)-frekvensen f_r når $R_1=R_2$ og $X_{C1}=X_{C2}$



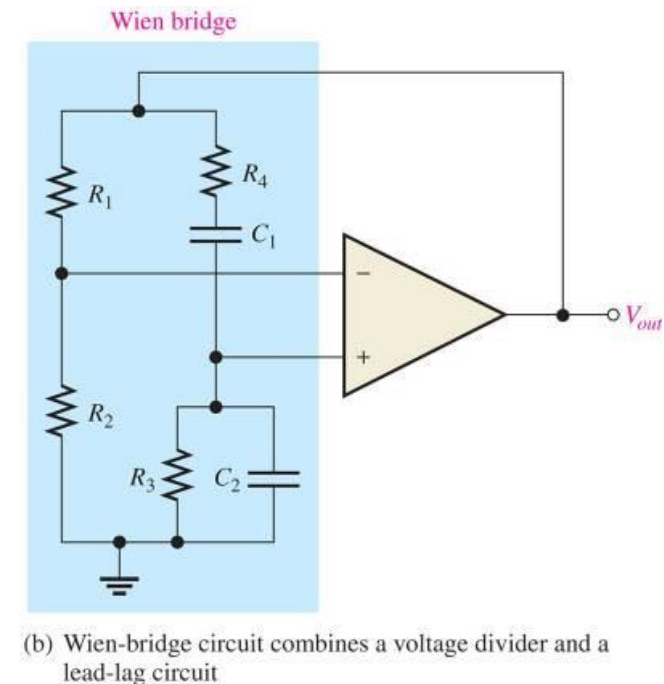
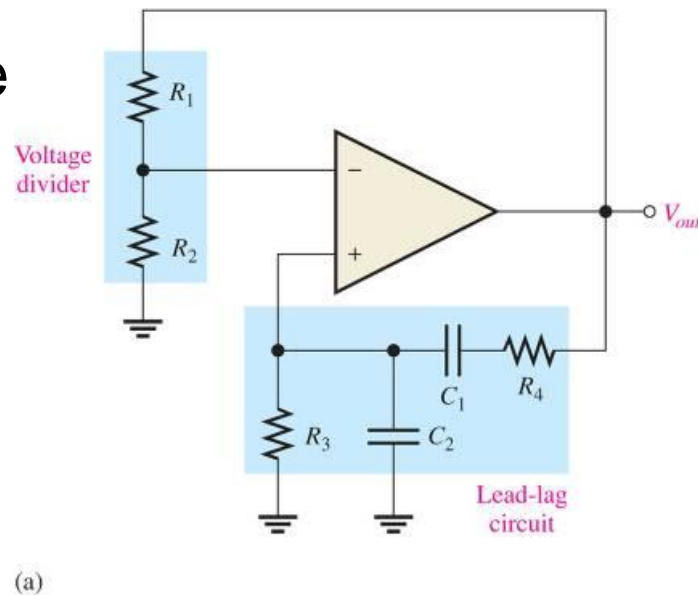
(a) Circuit



(b) Response curve

Wien-bridge oscillator (forts)

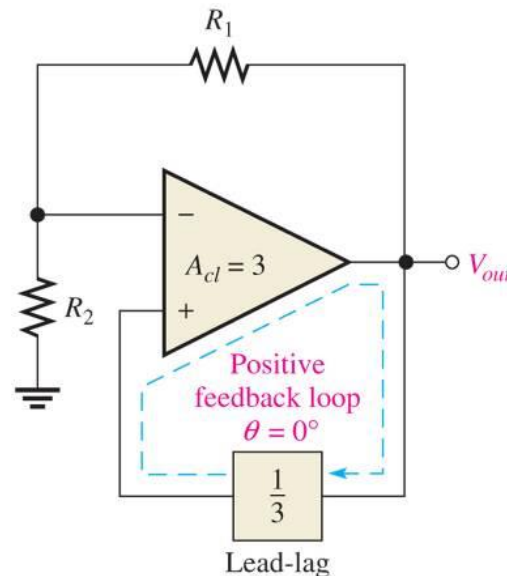
- Oscillasjonsfrekvensen f_r er $f_r = \frac{1}{2\pi RC}$
- Kun ved oscillasjonsfrekvensen er fasedreiningen mellom V_{in} og V_{out} 0 grader
- «Lead-lag»-kretsen brukes i den positive feedback-sløyfen, og en spenningsdeler gir negativ tilbake-kobling



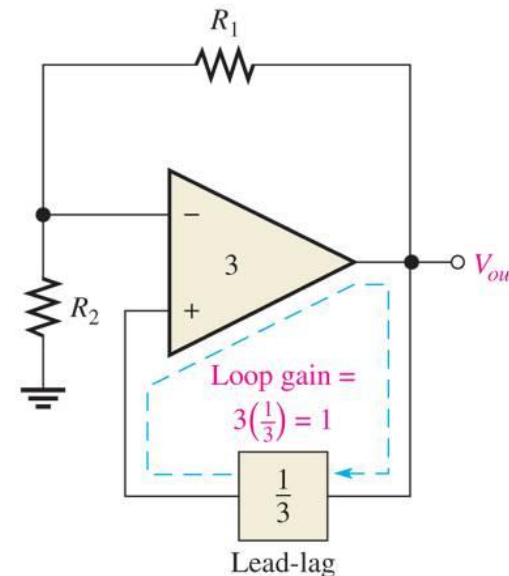
Wien-bridge oscillator (forts)

- Wien-bridge oscillatoren kan ses på som en ikke-inverterende forsterker hvor tilbakekoblingen kommer via lead-lag kretsen
- Siden lead-lag kretsen har et max gain på $B=1/3$, må opamp'en gi en forsterkning på $A_v=3$ for at $A_{cl} = A_v B = 1$

$$R_1 = 2R_2 \Rightarrow A_v = 3$$



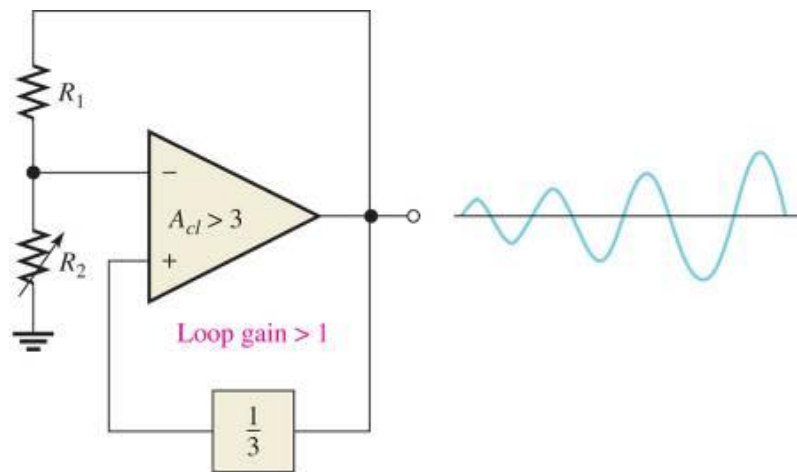
(a) The phase shift around the loop is 0° .



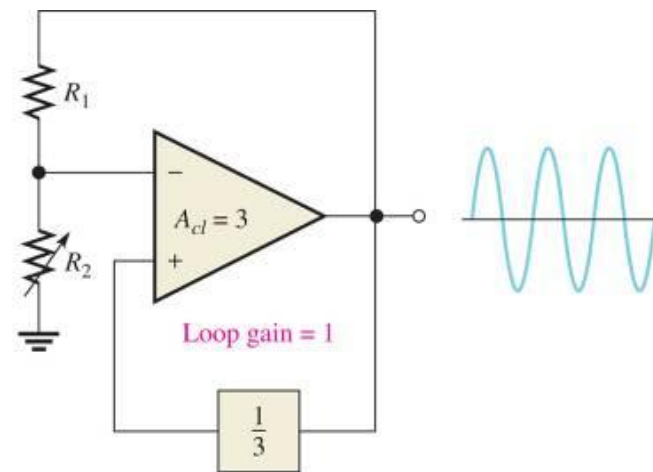
(b) The voltage gain around the loop is 1.

Wien-bridge oscillator (forts)

- For å starte oscillasjonen må $A_v > 3$ til å begynne med
- Dette kan gjøres ved at R_2 -motstanden varierer med max amplitude på output. Større R_2 gir større V_o , som igjen gir mer forsterkning



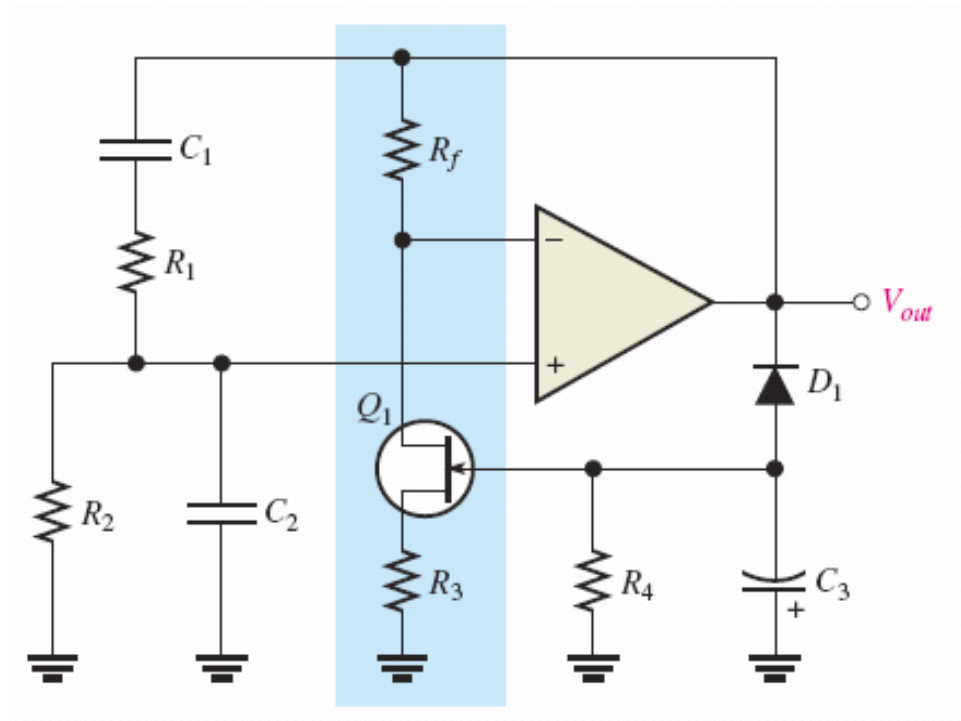
(a) Initially, loop gain greater than 1 causes output to build up.



(b) Loop gain of 1 causes a sustained constant output.

Wien-bridge oscillator (forts)

- Variabel motstand kan implementeres med en JFET, hvor gatespenningen reguleres av V_{out}
- Når amplituden på utgangen stiger vil JFET'en begynne å lede og forsterkningen vil synke
- Komponentverdiene må avpasses nøye slik at $A_{cl}=1$
- Avvik i komponentverdiene kan føre til at enten oscillasjonene blir for store (metning) eller ingen oscillasjon



Spørsmål

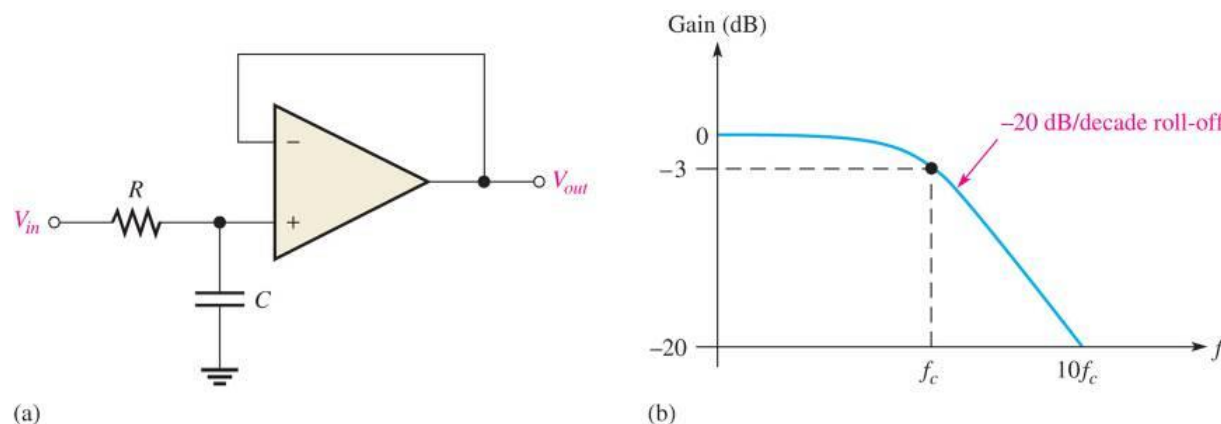
- Hva er en oscillator?
- Hvor stort er closed-loop gain i en oscillator ved oppstart?
- Hvor stort er closed-loop gain i en oscillator ved ønsket oscillasjon?
- Hva bestemmer oscillasjonsfrekvensen?
- Hvor stor er fasedreiningen ved oscillasjonsfrekvensen?

Aktive filtre

- Et passivt filter består kun av passive komponenter (R, C og L)
- Et passivt filter kan ha maksimalt gain $A=1$
- Den største ulempen med passive filtre er at de vil ha stor dempning også i passområdet hvis man skal ha bratt «roll-off»
- Aktive filtre består av passive filtre pluss forsterkere
- Forsterkning gjør at man kan både få $A=1$ i passområdet, og bratt roll-off
- Et filters *orden* (eller antall *poler*) sier noe hvor bratt roll-off er

Aktivt 1.ordens lavpassfilter

- Et aktivt lavpassfilter kan lages ved å koble et passivt lavpass-filter til den ikke-inverterende inngangen på en opamp

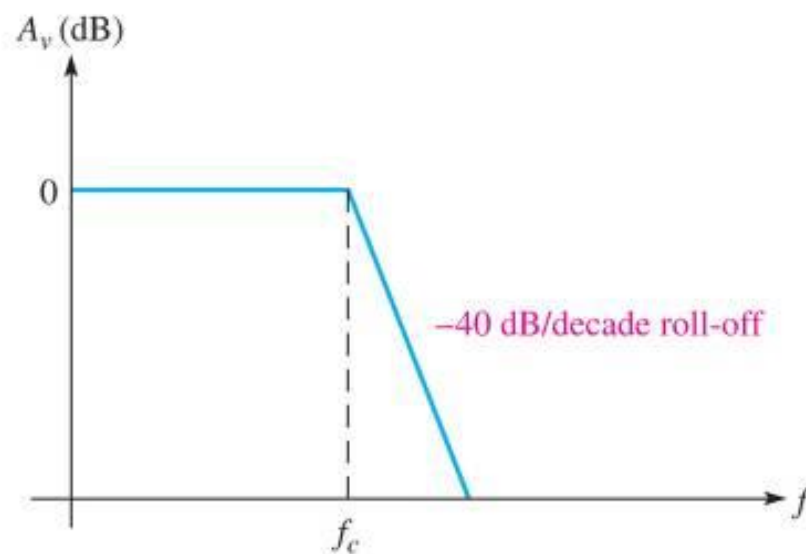
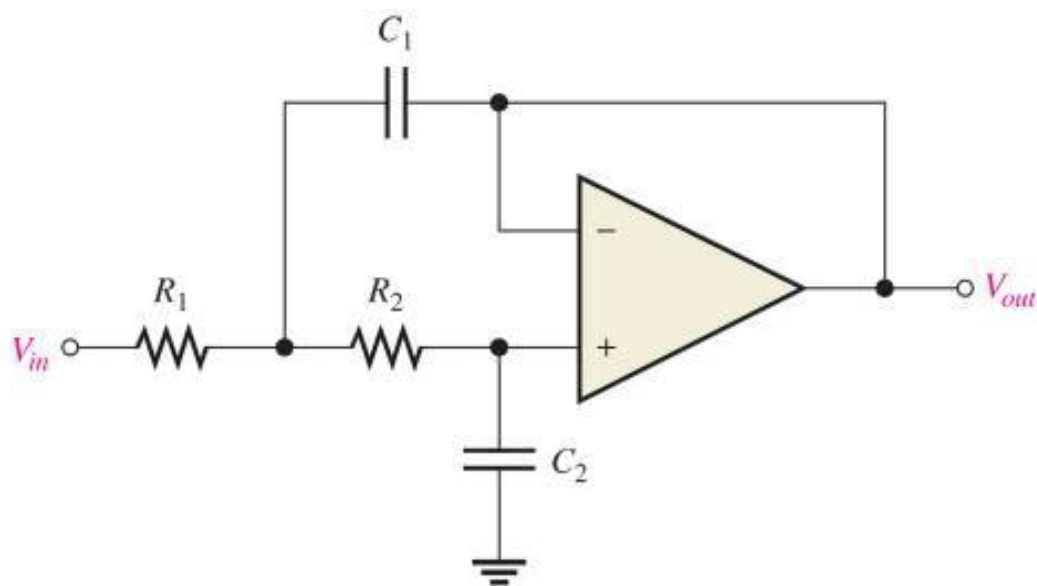


- Et 1.ordens lavpassfilter har en roll-off på -20dB per dekade, dvs forsterkningen faller med en faktor 10 for $10 \cdot f_c$
- Forholdet mellom V_{out} og V_{in} er gitt av

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$

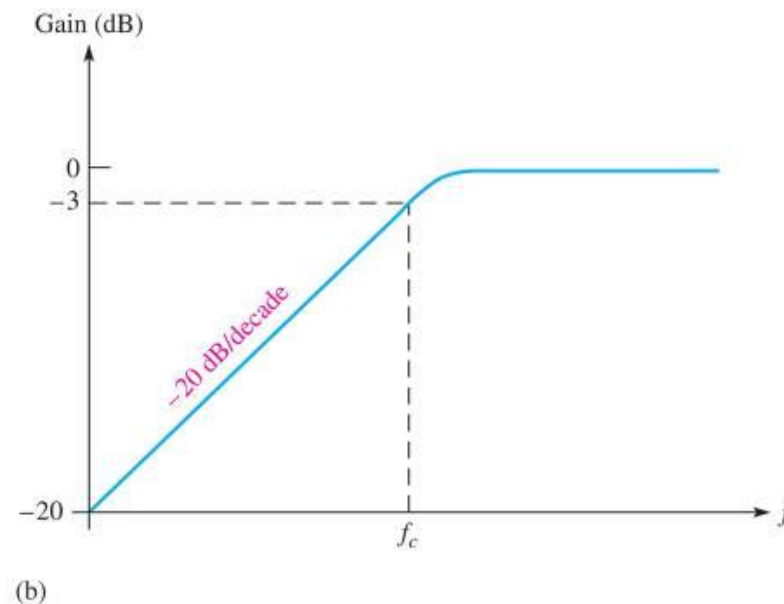
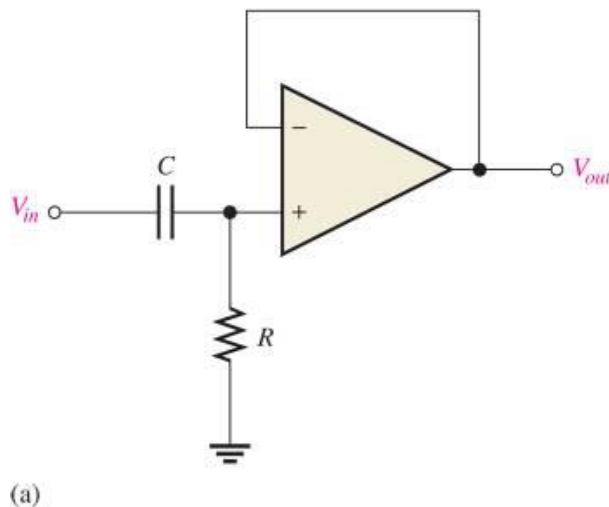
Aktivt 2.ordens lavpassfilter

- Høyereordens filtre lages ved å koble sammen flere 1.ordens filtre
- For hver orden øker roll-off med -20dB: et 2.ordens filter har roll-off på -40dB/dekade



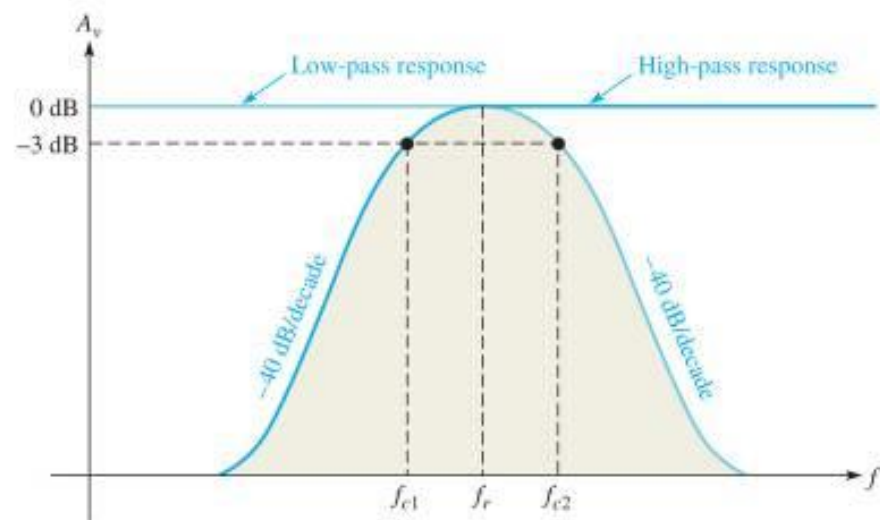
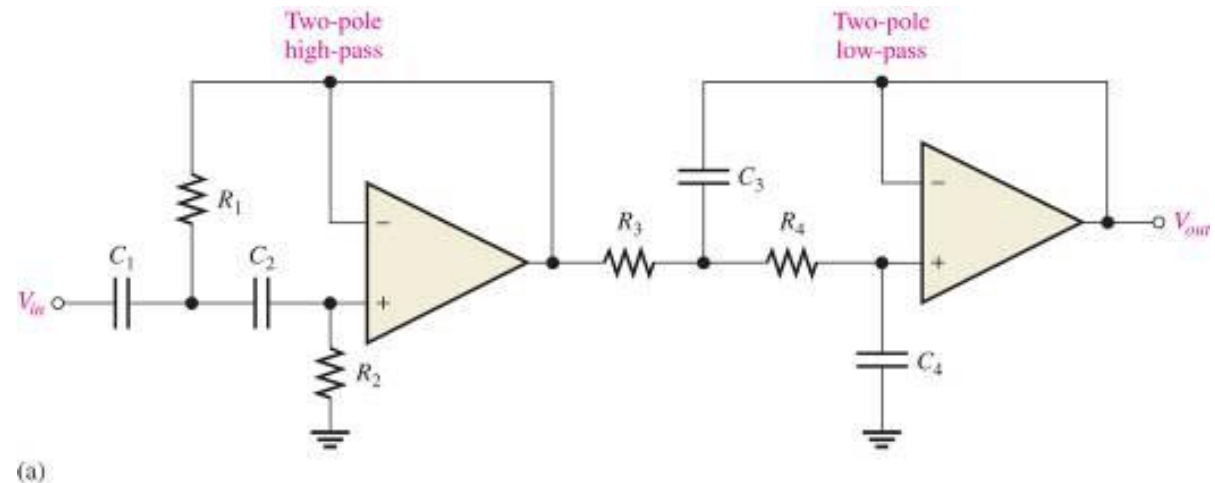
Aktivt 1.ordens høypassfilter

- Et 1.ordens høypassfilter kan lages ved å koble et passivt høypass-filter til den ikke-inverterende inngangen på opampen
- Siden opampen er koblet som en spenningsfølger, vil $A=1$ i passområdet



Aktivt båndpassfilter

- Ved å kaskadekoble et høypass- og lavpassfilter, og avstemme knekkfrekvensene, kan man lage et aktivt båndpassfilter

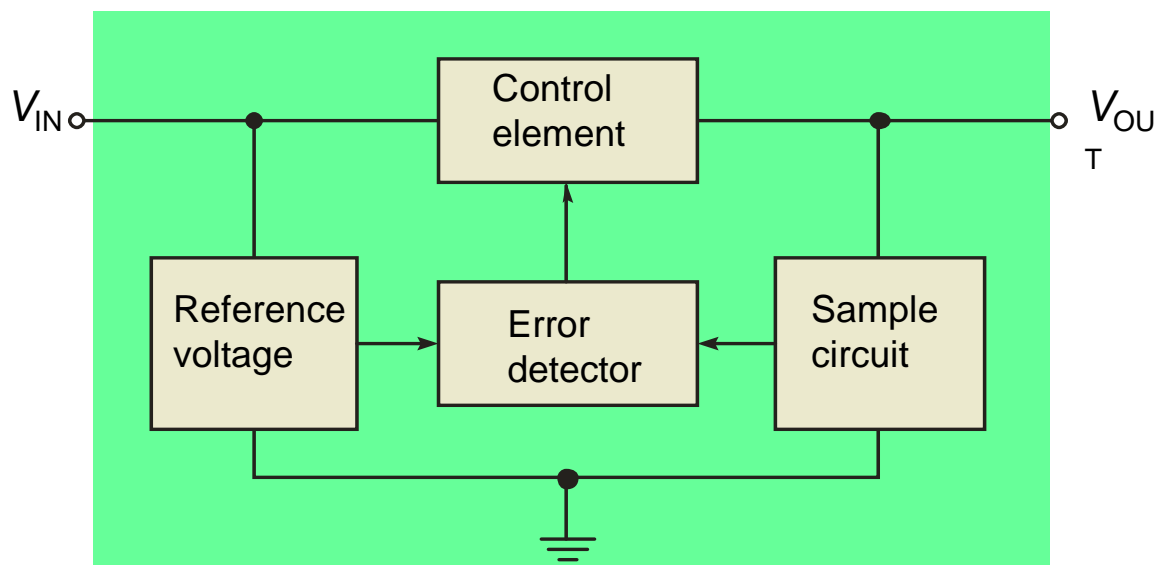


Spørsmål

- Hva er et passivt filter?
- Hva er et aktivt filter?
- Hva er roll-off?
- Hva sier et filters orden noe om?
- Hvor stor roll-off har et 1.ordens filter? Et 2.ordens filter?
- Hva er maksimal gain i passområdet for et passivt filter? I et aktivt filter?

Spenningsregulatorer

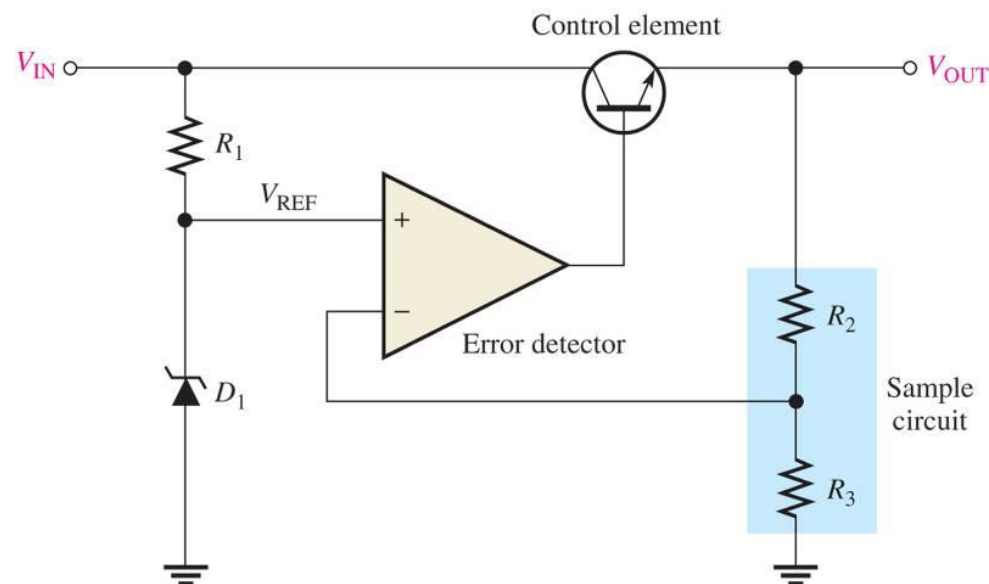
- En spenningsregulator lager en presis og stabil spenning på bakgrunn av en ustabil/varierende innspenning («line»), eller for varierende laststrømmer («load»)
- Spenningsregulatorer brukes blant annet i powersupply og batteridreven elektronikk



Spenningsregulatorer (forts)

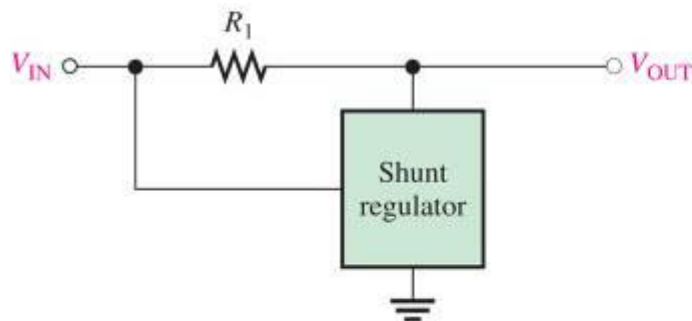
- Serieregulatoren bruker en komparator for å sammenligne output-spenningen med en referansespenning
- Serietransistoren dropper mer eller mindre spenning slik at outputspenningen holdes konstant
- Spenningsen på den inverterende inngangen holdes lik V_{ref} pga tilbakekoblingen

$$V_{out} = \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right) V_{ref}$$

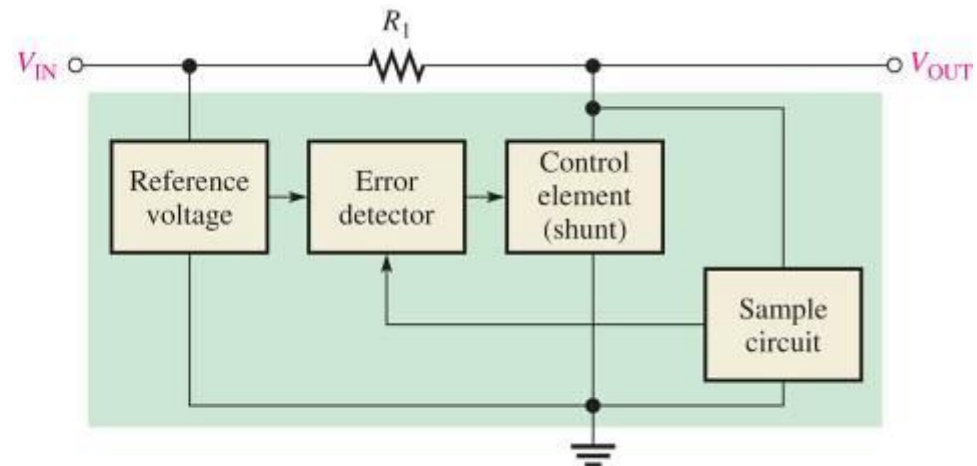


Spenningsregulatorer (forts)

- Shuntregulatorer holder spenningsfallet over en lastmotstand konstant ved kontrollere spenningsfallet over en motstand som står i serie med lasten



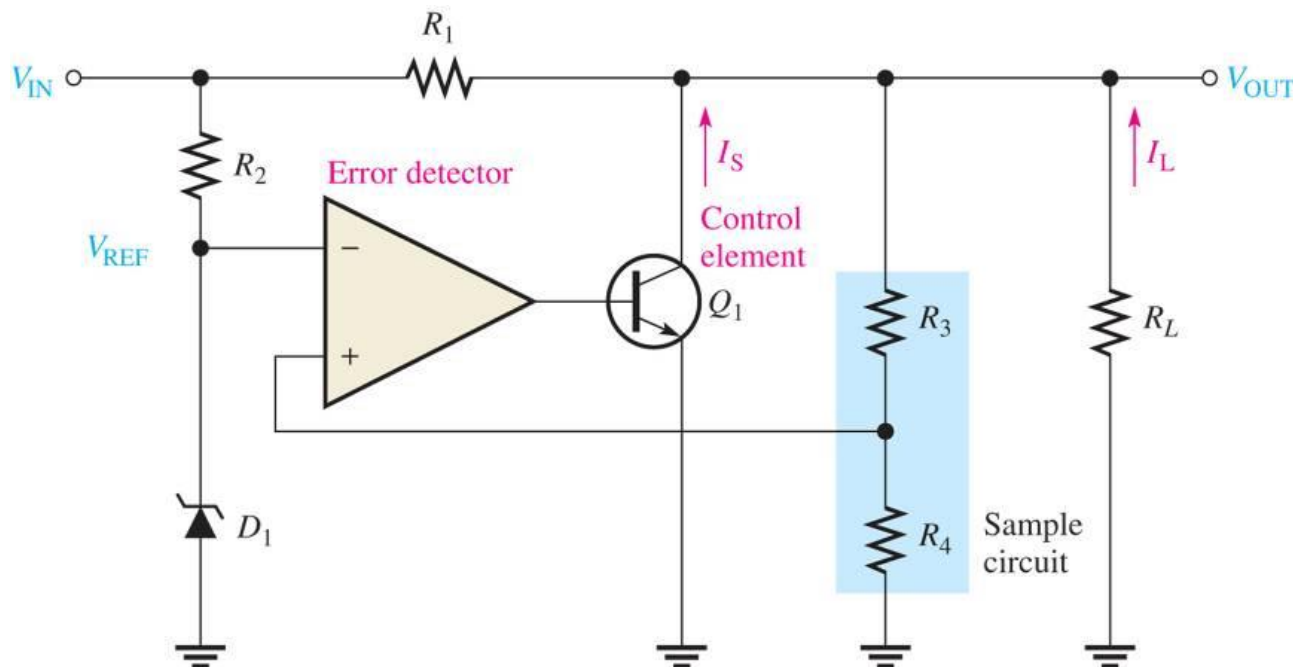
(a) Schematic representation



(b) Block diagram

Spenningsregulatorer (forts)

- Hensikten med shuntregulatoren er at spenningen skal være mest mulig stabil selv om lastmotstanden eller inputspenningen varierer



Spørsmål

- Hva er en spenningsregulator?
- Hvilke fire deler består en spenningsregulator av?
- Hva er kontrolldelens oppgave?
- Hva er sample-delens oppgave
- Hva er refereansedelens oppgave?
- Hva er feildetektorens oppgave?
- Hva er en linjeregulators funksjon?
- Hva er en lastregulators funksjon?

5. Obligatoriske labøvelse

- Tema: Transistorkarakteristikker, forsterker med BJT og opamp-forsterkere
- Formål: Bli bedre kjent med sammenhengen mellom strøm, spenning, forsterkning og motstandsverdier i BJT og ulike transistorer
- Man må ha lest teorien rundt BJT og operasjonsforsterkere på forhånd
- Svært relevante oppgaver med tanke på eksamen
- Innleveringsfrist 27.april

Oppsummeringsspørsmål

- Kapittel 19.1-19.6

Spørsmål 1

Utgangen på en komparator opererer stort sett i?

- a) Det lineære området
- b) Metning
- c) Breakdown
- d) Cutoff

Spørsmål 2

Hvilket utsagn er FEIL?

En opamp-basert integrator

- a) Gir et output-signal som er summen av input-signalet over tid
- b) Gir et output-signal som er den akkumulerte av input-signalet over tid
- c) Gir et output-signal som er den integrerte av input-signalet over tid
- d) Gir et output signal som er den inverterte av input-signalet

Spørsmål 3

En opamp-basert derivator beregner

- a) Summen av input-signalet over tid
- b) Den akkumulerte verdien av input-signalet over tid
- c) Endringen i input-signalet over tid
- d) Den integrerte av input-signalet over tid

Spørsmål 4

En oscillator

- a) Skifter dc-verdien til et input signal
- b) Adderer to ac-signaler
- c) Produserer et ac-signal med en bestemt frekvens
- d) Produserer et ac-signal med fast dc-offset og konfigurierbar amplitude

Spørsmål 5

Positiv feedback vil si at

- a) En del av input-signalet fasedreies 180 grader og adderes til outputsignalet
- b) En del av output-signalet fasedreies 180 grader og adderes til input-signalet
- c) En del av output-signalet fasedreies 90 grader og adderes til input-signalet
- d) En del output-signalet adderes til input-signalet uten fasedreining

Spørsmål 6

Ett av kriteriene for at oscillasjon skal finne sted er at

- a) Spenningsforsterkningen rundt den lukkede feedback-løkken er 1
- b) Spenningsforsterkningen rundt den lukkede feedback-løkken er ekte større enn 1
- c) Spenningsforsterkningen rundt den lukkede feedback-løkken er mindre enn 1
- d) Faseskiftet rundt feedback-løkken er 180 grader

Spørsmål 7

Et aktivt filter

- a) Har mindre dempning i passområdet enn et passivt filter
- b) Har slakere roll-off enn et passivt filter
- c) Kan ikke ha gain (A) større enn 1
- d) Har mindre dempning i passområdet enn et passivt filter for samme roll-off