

TTK 4240 – Øving 1

Utløst dato: 25.08.2016
 Veiledningstid: 01.09.2016
 Innleveringsfrist: 08.09.2016
 Ansvarleg: Atle Rygg (atle.rygg@itk.ntnu.no)

INTRODUKSJON – OPERASJONSFORSTERKER (OP-AMP)

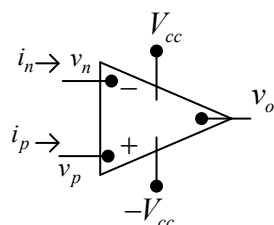
Det første vi skal sjå på i dette faget er operasjonsforsterkaren (operational amplifier = op-amp). Dette er ein elegant liten krets og ein veldig viktig byggestein i all analogteknikk. I analogteknikk utfører vi matematiske operasjonar og berekningar på kretskort ved hjelp av bl.a. op-amp, motstandar og kondensatorar. Dette er svært mykje brukt, sjølv om digitalteknikken har teke over på mange felt.

Eksempel på kva vi kan få til (=operasjonar) ved hjelp av operasjonsforsterkaren:

- PLUSS Legge saman verdien av to spenningar
- MINUS Finne differansen mellom to spenningar
- DERIVASJON Rekne ut den deriverte av ei spenning
- INTEGRASJON Rekne ut den integrerte av ei spenning
- FILTER Konstruere ulike typar filter (kjem tilbake til dette seinare i pensum)
- REGULATORAR Kan lage f.eks. P-regulator, PI-regulator, PID-regulator

I denne øvinga skal vi lære om korleis op-amp fungerer ved å sjå på dei to første funksjonane: pluss og minus, samt P-regulator. Seinare skal vi lære om andre funksjonar, spesielt filter.

Op-ampen bli ofte teikna som i følgjande figur. Den har 5 terminalar der vi kan/må koble til noko:



- Positiv spenningsforsyning V_{cc} . For eksempel 15 volt
- Negativ spenningsforsyning $-V_{cc}$. For eksempel -15 volt
- Negativ inngang «n»
- Positiv inngang «p»
- Utgang «o»

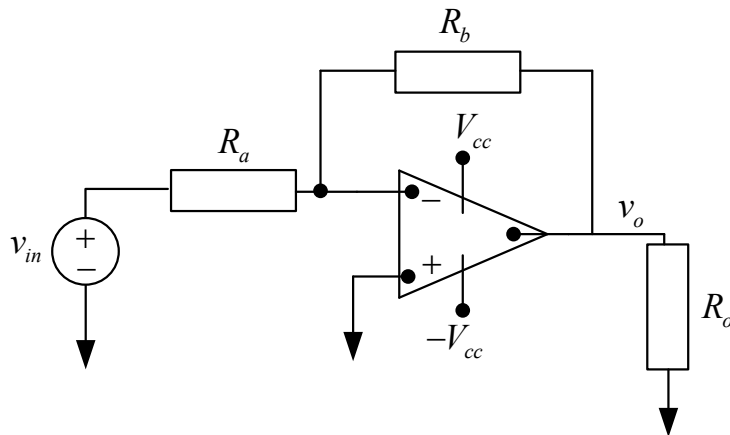
I dette faget er vi ikkje så interessert i korleis operasjonsforsterkeren ser ut inni, men vi skal rekne på dens ideelle oppførsel i kretsen den er kobla til. Ideell op-amp modell er som følgjer:

- $i_p = i_n = 0$, dvs. at det ikkje går nokon straum inn på nokon av inngangsterminalane
- $v_p = v_n$, dvs. op-ampen sitt hovudmål er å «presse» inngangsspenningane til å vere like. Dette oppnår den gjennom å regulere kor stor straum som går på utgangen.
- $-V_{cc} < v_o < V_{cc}$, dette er forutsetninga for at op-ampen ikkje er gått i metning.

Vi må alltid sjekke om siste antagelse stemmer, viss vi reknar oss fram til at $v_o > V_{cc}$, så vil i praksis $v_o = V_{cc}$. Dette kallast metning. Les meir i læreboka om korleis ein op-amp fungerer (anbefalast!).

Referanse: Kapittel 5 i Nilson&Riedel.

1 INVERTERANDE OPERASJONSFORSTERKER



Vi startar med den enklaste kretsen vi kan lage med ein operasjonsforsterker: inverterande forsterker. Kretsskjemaet er vist i Figur 1. Dei fylte trekantane representerer jordpotensial, det betyr at spenninga er lik null der. Vi kunne dermed ha tegna ein strek mellom alle jordpotensial, men det er ikkje vanleg praksis for slike kretsar.

Figur 1: Inverterande forsterker

- Teikn kretsen på nytt der du nyttar antagelsane om ideell op-amp.
- Lag eit uttrykk som relaterer utgangsspenninga v_o til inngangsspenninga v_{in} (som funksjon av motstandane). Bruk antagelse om ideell op-amp, men sjå bort frå eventuell metning.
- Basert på dette uttrykket, formuler ei forklaring til kvifor kretsen har namnet «inverterande forsterker».

Vi skal no undersøke kor hardt vi kan presse operasjonsforsterkaren før den går i metning

Bruk $R_a = 1\text{ k}\Omega$, $v_{in} = 10\text{ V}$, $V_{cc} = 15\text{ V}$

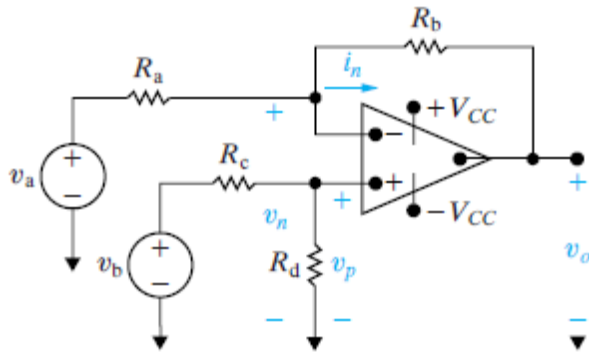
- For kva slags verdier av R_b er op-ampen i det lineære området? Dvs. at den ikkje er gått i metning.

2 OPERASJONSFORSTERKER SOM DIFFERENSIALFORSTERKER

En operasjonsforsterker kan brukast som en såkalla differensialforsterker, dvs. gi ei utgangsspenning som er proporsjonal med differansen til to inngangssignal v_a og v_b som vist i Figur 2. Dette er det same som å implementere funksjonen «MINUS» på eit kretskort.

Anta at operasjonsforsterkeren er ideell.

- Finn v_o som funksjon av v_a, v_b uttrykt ved symbol.
- Vi ønskjer å velje mostandsverdier slik at $v_o = v_b - v_a$, dvs. ein rein subtraksjon utan forsterkning. Det oppgis at $R_a = 2\text{ k}\Omega$, $R_c = 3\text{ k}\Omega$. Finn R_b og R_d .



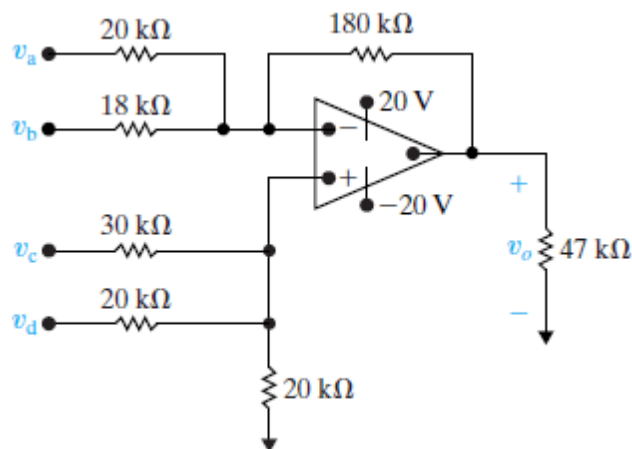
Figur 2: Krets i oppgave 2

3 OPERASJONSFORSTARKERKRETS MED BÅDE ADDISJON- OG DIFFERENSIALFUNKSJON

Kretsen i Figur 3 gir eit utgangssignal som er ein kombinasjon av addisjon og subtraksjon av inngangssignala. Utgangsspenninga kan skrivast på formen $v_o = k_c v_c + k_d v_d - (k_a v_a + k_b v_b)$. Observer at dette er en kombinasjon av addisjon og subtraksjon av inngangssignala. Spenningane som er kobla mot positiv terminal får pluss, medan spenningane mot negativ terminal får minus.

Betrakt operasjonsforsterkeren som ideell.

- Finn verdiane til k_a, k_b, k_c, k_d
- Anta at $v_a = v_b = v_c = 1\text{ V}$. Hva er tillatte verdier til v_d viss vi forlanger at operasjonsforsterkeren skal operere i det lineære området (ikkje i metning) og $V_{CC} = \pm 20\text{ V}$



Figur 3: Krets i oppgave 3

4 PRAKTISK EKSEMPEL PÅ BRUK AV OPERASJONSFORSTERKAR

Vi har alle opplevd å bli sykla forbi av ein middelaldrande utrent person på EL-sykkel når vi sjølv gir full pinne i bakkane opp til Moholt. Dette er både irriterande og nedverdiggande. I denne oppgåva skal vi sjå nærare på korleis regulatorsystemet til ein EL-sykkel kan designast.



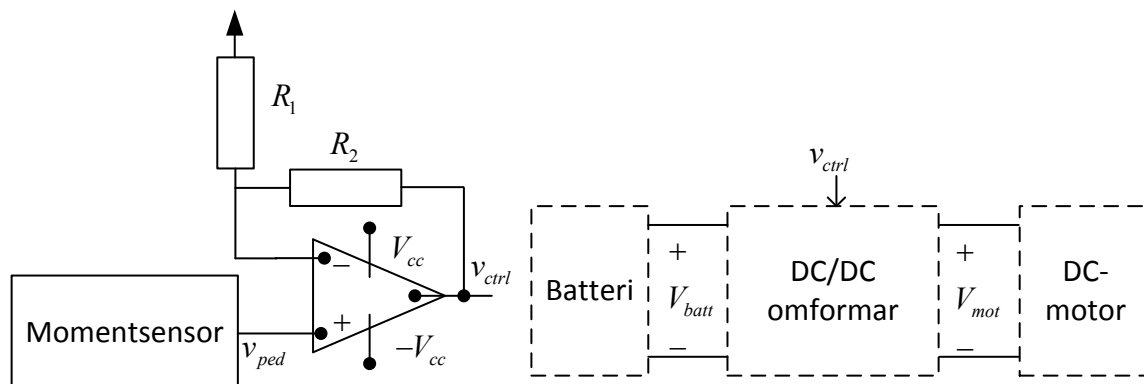
Den mest elegante måten å styre ein EL-sykkel på er ved såkalt momentforsterkning. Dvs. at motoren gir ei kraft som er proporsjonal med krafta du sjølv gir på pedalane. Dette er eit klassisk eksempel på proporsjonalregulator (P-regulator), og den kan enkelt loddast opp på eit lite kretskort. Ei skisse av regulatorsystemet og kraftkretsen til sykkelen er vist i Figur 4. Seinare i faget skal vi lære meir om DC/DC-omforming og DC-motor, men det trengs ingen kunnskap om desse for å løyse denne oppgåva.

Momentsensoren måler krafta (momentet) på pedalane, og gir ut eit spenningssignal som er proporsjonalt med dette. I sensoren sitt datablad finn vi at $0 < v_{ped} < 10\text{ V}$.

Utgangen på operasjonsforsterkaren kallar vi v_{ctrl} og dette er kontrollsignalet til DC/DC-omformaren.

DC/DC-omformaren er laga slik at $V_{mot} = V_{batt} \cdot \frac{v_{ctrl}}{15}$. Andre talverdiar: $V_{cc} = 15\text{ V}$, $R_1 = 1\text{ k}\Omega$, $V_{batt} = 50\text{ V}$

- Basert på informasjonen over, forklar kvifor den maksimale verdien til V_{mot} blir 50 V
- Lag eit uttrykk som gir V_{mot} som funksjon av v_{ped} (utan talverdiar). Forklar kort kvifor vi kan kalle dette for ein proporsjonalregulator.
- Vi ønskjer å designe kontrollsystemet slik at når momentsensoren gir maksimalt utslag (10 V), så oppnår motorspenninga sin maksimale verdi 50 V (dvs. motoren gir bønn gass). Finn verdien til R_2 som oppnår dette.
- Korleis oppfører motoren seg når vi ikkje trør på pedalane ($v_{ped} = 0$)?



Figur 4: Eksempel på regulatorsystem for EL-sykkel

HINT OG TALSVAR

1) Inverterende operasjonsforsterker

- Den viktigaste tingen å utnytte er at $i_p = i_n = 0$, dvs. ingen straum på inngangane. Det er også viktig å utnytte at $v_p = v_n$
- Svaret skal vere på formen $v_o = -Kv_{in}$, der du skal finne K som funksjon av motstandane. Generelt i alle op-amp oppgåver er det lurt å sette opp Kirchoffs straumlov på den negative terminalen (her i punktet mellom R_a og R_b). Viss du har riktig svar så er uttrykket uavhengig av verdien til utgangsmotstanden R_o . Dette er ein viktig eigenskap til operasjonsforsterkaren: den gir ut same spenning uansett kva som er kobla på utgangen.
- Sjå på uttrykket $v_o = -Kv_{in}$, her går det an å forklare både «inverterende» og «forsterkande»
- $R_b < 1.5 \text{ k}\Omega$ Sett opp to ulikheiter basert på kriteriet $-V_{cc} < v_o < V_{cc}$. Ein av dei kan sløyfast basert på fortegnet til v_{in} .

2) Operasjonsforsterker som differensialforsterker

- $$v_o = v_b \left(\frac{1 + \frac{R_b}{R_a}}{1 + \frac{R_c}{R_d}} \right) - v_a \frac{R_b}{R_a}$$
 Tips: Finn først eit uttrykk for v_p som funksjon av v_b . Deretter bruk ein av ideell op-amp antagelsane til å sette opp KCL i punktet «n». Dette uttrykket kan løysast for v_o .
- Kan løysast direkte ved å betrakte svaret frå a) som står i hintet ovanfor.

3) Op-amp med både addisjon og differensialfunksjon

- Tegn kretsen på nytt under antagelse om ideell op.amp. Husk å bruke begge antagelsene. Det oppgis at $k_c = 5$.
- $-0.8 < v_d < 4.53 \text{ V}$. Bruk uttrykket fra a) sammen med betingelsen om å ligge i det lineære området

4) Praktisk eksempel på bruk av operasjonsforsterker

- Kombiner uttrykket for motorspenning med ein av dei tre antagelsane til ein ideell op-amp
- $$V_{mot} = V_{batt} \cdot \frac{v_{ped}}{15} \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right)$$
 Løys op-amp kretsen på same måte som tidlegare oppgåver. Som vanleg er det lurt å sette opp KCL i node «n» (negativ inngang).
- $R_2 = 500 \Omega$ Bruk uttrykket frå b).