Øving 2 Løsningsforslag
ESDA1

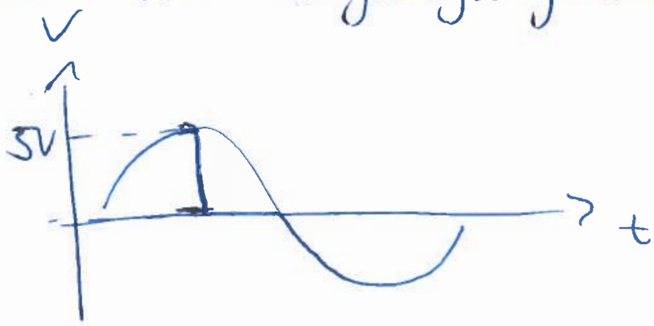
① a) $V_1 = \frac{R_i}{R_s + R_i} V_s$

$$V_2 = \frac{R_L}{R_L + R_o} A V_1 = \frac{R_L R_i}{(R_L + R_o)(R_s + R_i)} A V_s$$

$$= \frac{1k\Omega \cdot 100k\Omega}{(1k\Omega + 200\Omega)(33\Omega + 100k\Omega)} 10^4 \cdot 0{,}6mA$$

$\approx 5V$

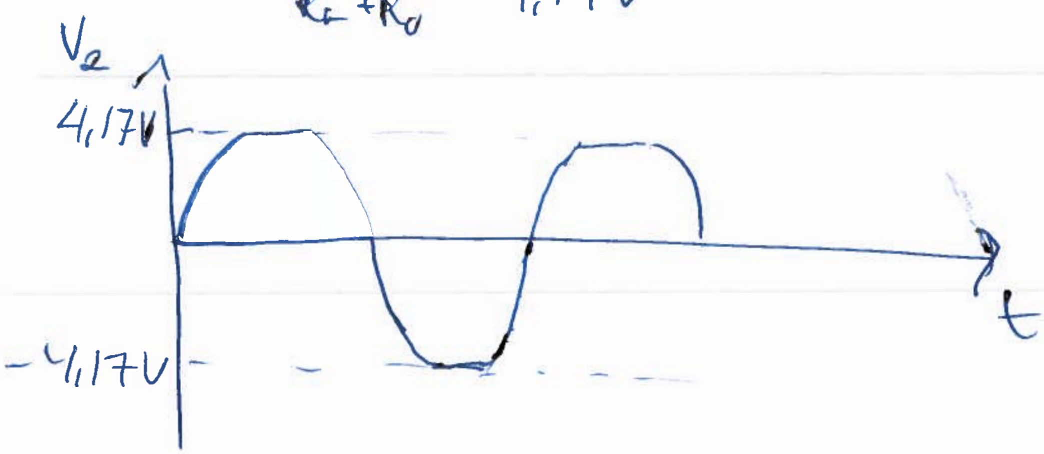
Amplituden til utgangssignalet er 5V



b) $A V_1 = \frac{R_i}{R_s + R_i} A V_s = \frac{100k\Omega}{33\Omega + 100k\Omega} \cdot 10^4 \cdot 0{,}6mA$

$\approx 6V$

$5V \cdot \frac{R_L}{R_L + R_o} = 4{,}17V$



c) Utspenningen er klippet.

For å fikse det kan man gjøre en av disse tingene:

- Senke V_s
- Øke R_s
- Senke R_i
- Bruke en forsterker med mindre A eller annen karakteristikk for A_{V1}

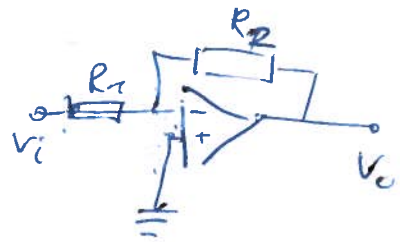
Hvilke av disse er mest hensiktsmessig å bruke kommer an på systemet.

② a) Kretsen er en buffer.

V_o følger V_i

Fordelen med denne kretsen er at inputimpedansen er veldig høy og trekker dermed minimalt med strøm fra kilden. Utimpedansen er veldig lav og driver dermed lasten som en perfekt spenningskilde.

b) Kretsen er en inverterende forsterker.

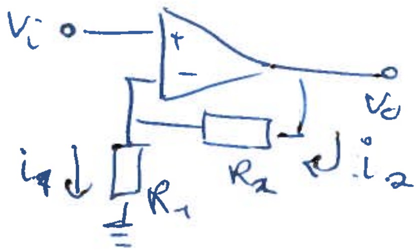


$$V_- = V_+ = 0, \quad i_- = i_+ = 0$$

$$i = \frac{V_i - V_-}{R_1} = \frac{V_- - V_o}{R_2} \qquad V_- = 0$$

$$\frac{V_i}{R_1} = -\frac{V_o}{R_2} \qquad \underline{\underline{\frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1}}}$$

c) Kretsen er en ikkeinverterende forsterker

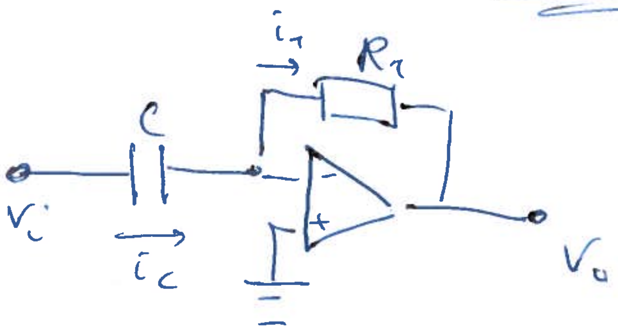


$$V_i = V_+ = V_- \qquad i_+ = i_- = 0 \Rightarrow i_1 = i_2$$

$$i_1 = \frac{V_-}{R_1}, \qquad i_2 = \frac{V_o}{R_2 + R_1} = \frac{V_-}{R_1} = \frac{V_i}{R_1}$$

$$\frac{V_o}{R_2 + R_1} = \frac{V_i}{R_1} \Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

d)



$$V_- = V_+ = 0 \qquad i_- = i_o$$

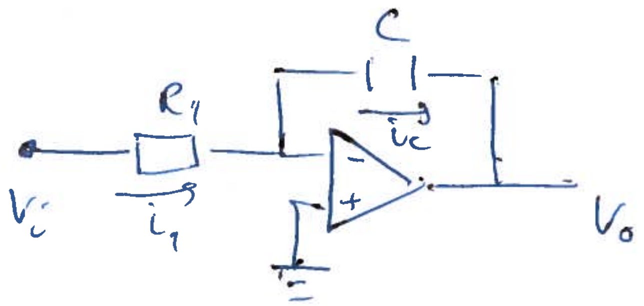
$$i_c = i_1$$

$$V_c = V_i - V_- = V_i$$

$$i_c = C\frac{dV_i}{dt} = \frac{V_- - V_o}{R_1} = -\frac{V_o}{R_1}$$

$$V_o = -RC\frac{dV_i}{dt}$$

e)



$$i_1 = \frac{V_i}{R_1}$$

$$i_c = -C\frac{dV_o}{dt} \qquad i_1 = i_c$$

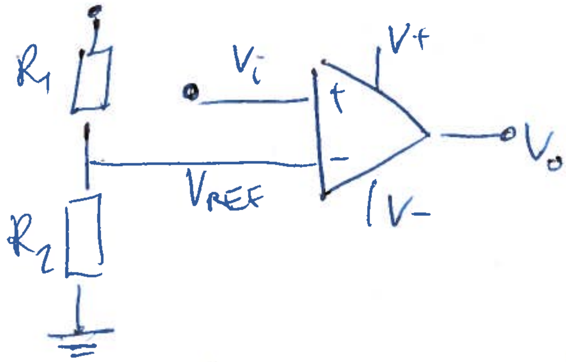
$$\frac{V_i}{R} = -C\frac{dV_o}{dt}$$

$$dV_o = -\frac{1}{RC} V_i\, dt$$

$$\int dV_o = -\frac{1}{RC}\int V_i\, dt$$

$$\underline{\underline{V_o = -\frac{1}{RC}\int V_i\, dt}}$$

f)



Når V_i er over V_{REF} vil outputen gå i metning til den høyeste spenningen den kan produsere, $V+$

Motsatt når v_i går under V_{REF} vil outputen gå mot den laveste, $V-$.

V_{REF} er bestemt av motstandene R_1 og R_2.

(3) a) Forskjellen fra figur 4 er at her er jord koblet på den inverterende inngangen.
Ved å sammenlikne med kretsen i figur 8 ser vi at denne kretsen er en komparator, hvor jord er referansespenningen.

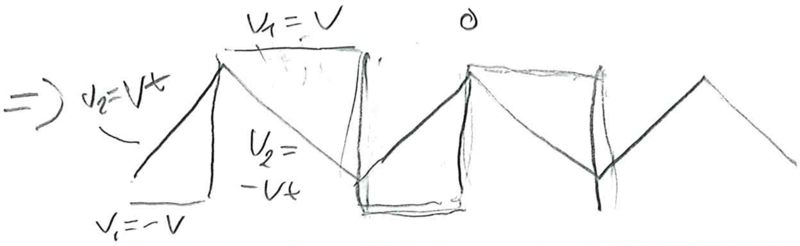
b) V_2 vil være et firkantsignal som oscillerer mellom V og $-V$.
$V_2 = V$ når $V_1 > 0$ og $V_2 = -V$ når $V_1 < 0$.

c) V_1 er symmetrisk rundt 0 V, dvs at V_1 oscillerer mellom V og $-V$.

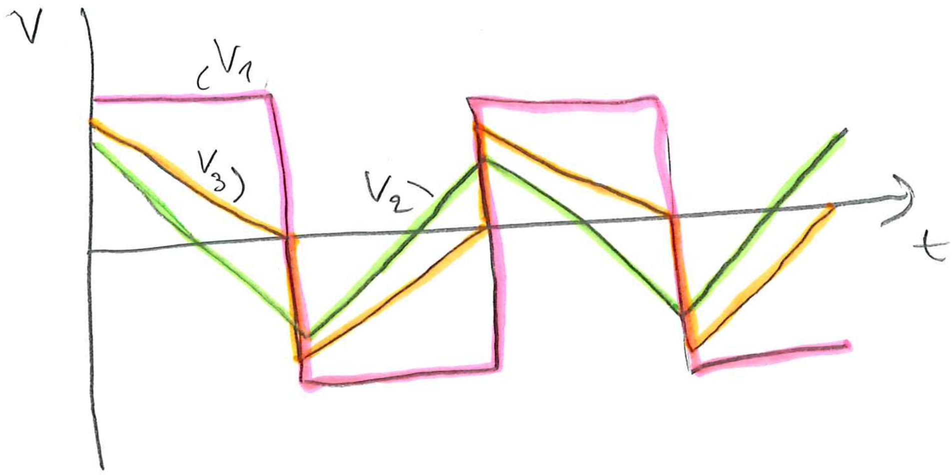
V_2 er gitt av $-\frac{1}{RC}\int_0^t V_1 \, dt$

$$-\int_0^t V\,dt = -Vt$$

$$-\int_0^t -V\,dt = Vt$$



d)



V_1 er et firkantsignal.

V_2 vil være et trekantsignal som synker når V_1 er høy og stiger når V_1 er lav.

V_3 er resultatet av en spenningsdeling mellom V_1 og V_2 og må derfor alltid ligge mellom de to verdiene.

Når $V_3 = 0$ vil V_1 skifte mellom V og $-V$.

e) $V_2(t) = -\frac{1}{\tau}\int V_1 \, dt = -\frac{1}{\tau}\int -V \, dt$

$= \frac{1}{\tau} Vt + C$

$V_2(0) = -A' = C$

$V_2(t) = -A' + \frac{V}{\tau} t$

f) Siden forsyningsspenningene er symmetrisk kan vi argumentere for at V_2 også er symmetrisk.
Derfor er

$V_2(T_f) = A'$

$V_2(T_f) = -A' + \frac{V}{\tau} T_f$

$A' = -A' + \frac{V}{\tau} T_f$

$T_f = \frac{2A'}{V} \tau$

g) Det går ingen strøm inn i den ikke-inverterende inngangen. Derfor kan vi bruke vanlig spenningsdeling. Spenningen $V_1 - V_2$ blir fordelt på R_1 og R_2. Dermed får vi

$$V_3(t) = V_2(t) + \frac{R_1}{R_1 + R_2}\left(V_1(t) - V_2(t)\right)$$

h) Ved T_f er $V_3(T_f) = 0$ fordi det er ved det punktet komparatoren begynner å switcher fra $-V$ til å begynne å gå mot V.

$$V_2(T_f) = A'$$

$$V_1(T_f) = -V$$

$$0 = A' + \frac{R_1}{R_1 + R_2}(-V - A')$$

$$(V + A')\frac{R_1}{R_1 + R_2} = A'$$

$$\frac{R_1}{R_1 + R_2}V + \frac{R_1}{R_1 + R_2}A' = A'$$

$$\frac{R_1}{R_1 + R_2}V = \left(1 - \frac{R_1}{R_1 + R_2}\right)A'$$

$$\frac{R_1}{\cancel{R_1 + R_2}}V = \frac{\cancel{R_1} + R_2 - \cancel{R_1}}{\cancel{R_1 + R_2}}A'$$

$$\frac{R_1}{R_2}V = A'$$

i) $T_f = \frac{2A'}{V}\tau = 2\frac{R_1}{R_2}\frac{V}{V}\tau = 2\frac{R_1}{R_2}\tau$

j) V_1 skal i løpet av T_s stige fra $-V$ til V, altså $2V$ i absoluttverdi.

Man kan tenke at $2V$ er strekningen SR er hastigheten og T_s er tid.

Da vet vi fra fysikken at

$$\text{tid} = \frac{\text{strekning}}{\text{fart}}$$

$$\Rightarrow T_s = \frac{2V}{SR}$$

Vi kan også se på enhetene

$$\frac{[V]}{\frac{[V]}{[\mu s]}} = [\mu s]$$ som stemmer.

Typisk stigerate for LF353P er $13\,\frac{V}{\mu s}$

k) V_1 er en rett stigende linje fra $-V$ til V

$$V_1(0) = -V$$

$$V_1(T_s) = V$$

$$V_1(t) = -V + \frac{2V}{T_s} t$$

$$V_2(t) = -\frac{1}{\tau} \int V_1(t)\, dt$$

$$= \frac{1}{\tau} \int V - \frac{2V}{T_s} t \, dt$$

$$= \frac{1}{\tau} \left(Vt - \frac{V}{T_s} t^2 \right) + C$$

$$V_2(0) = A' = C$$

$$V_2(t) = A' + \frac{V}{\tau} \left(t - \frac{t^2}{T_s} \right)$$

1) Deriverer og setter lik null for å finne toppunktet

$$V_2'(t) = \frac{V}{\tau} - 2\frac{t}{T_s}\frac{V}{\tau} = 0$$

$$1 - 2\frac{t}{T_s} = 0$$

$$\frac{1}{2} = \frac{t}{T_s}$$

$$t = \frac{T_s}{2}$$

$$V_2\left(\frac{T_s}{2}\right) = A = A' + \Delta A$$

$$= A' + \frac{V}{\tau}\frac{T_s}{2} - \frac{V}{\tau}\frac{T_s}{4}$$

$$= A' + \frac{2VT_s - VT_s}{4\tau}$$

$$= A' + \frac{V}{4\tau}\,\frac{2V}{SR}$$

$$= A' + \frac{V^2}{2\tau SR}$$

$$\Delta A = \frac{V^2}{2\tau SR}$$

m) $T = 2(T_f + T_s)$

$$= 2\left(2\frac{R_1}{R_2}\tau + \frac{2V}{SR}\right)$$

$$= 4\left(\frac{R_1 \tau SR + VR_2}{R_2 SR}\right)$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4} \frac{R_2 SR}{R_1 \tau SR + VR_2}$$

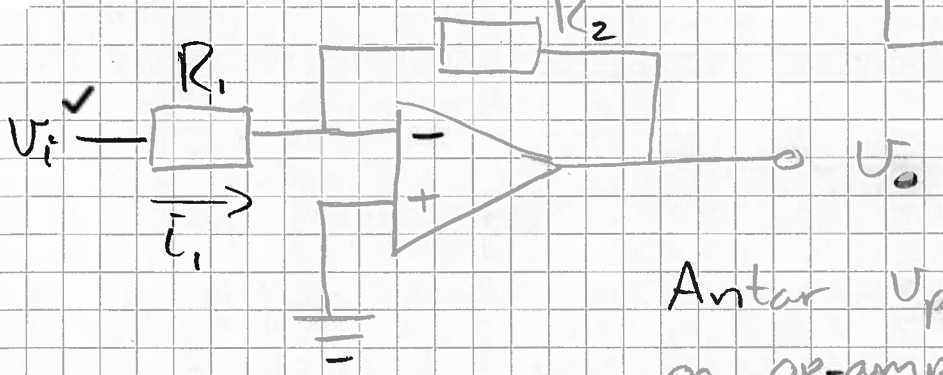
$$A = A' + \Delta A = \frac{R_1}{R_2} V + \frac{V^2}{2\tau SR}$$

Signalet er ikke perfekt trekantet fordi komparatorutgangen bruker tid på å gå fra $-V$ til V og i den perioden har V_2 er parabelformet "hump".

Vi ser at størrelsen på humpen er omvendt proporsnal med τ og SR. Altså kan vi øke τ eller SR for å gjøre signalet mer trekantet. Å øke SR vil si å bytte operasjonsforsterker til en som er kjappere. Å øke τ, altså øke tidskonstanten for RC-leddet i kretsen, vil medføre en lavere frekvens. Det kan vi se fra uttrykket for $T_f = 2\frac{R_1}{R_2}\tau$.

4a Inverterende forsterker

Texas Instr. (μA741CP)



Antar $U_p = U_n = 0$ (jord) og op-amp i A.O.

$$\frac{U_i}{R_1} = -\frac{U_o}{R_2}$$

$$\Rightarrow \frac{U_o}{U_i} = -\frac{R_2}{R_1} = A$$

Skal ha $A = 10$, dvs $\frac{R_2}{R_1} = 10$

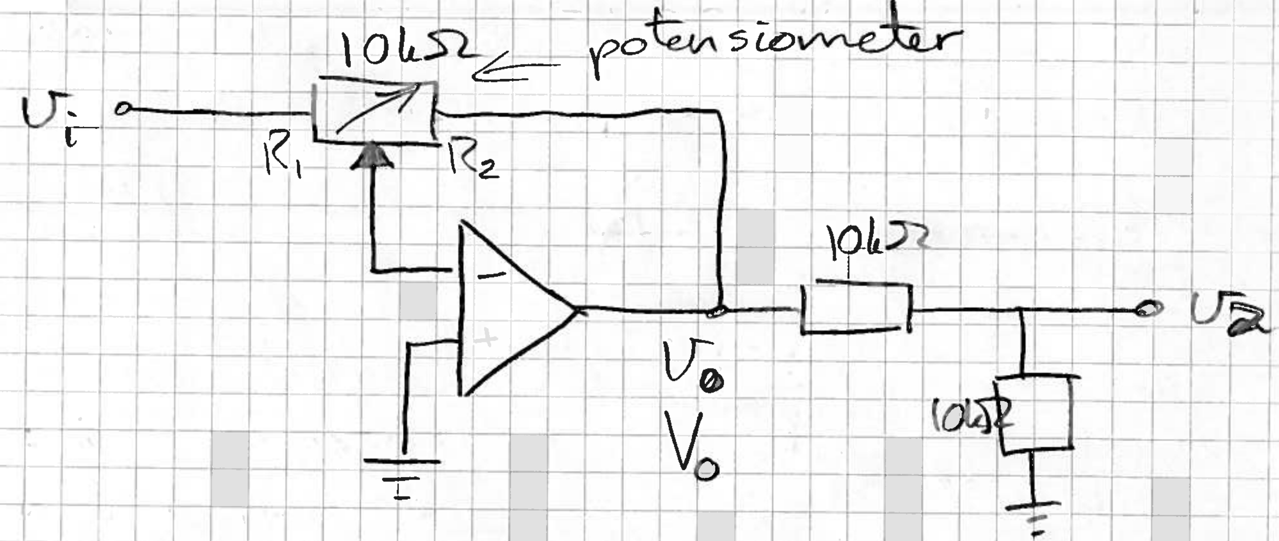
Velger derfor $R_2 = 10\,k\Omega$ og $R_1 = 1\,k\Omega$!

$\boxed{4b}$

Metning inntreffer ved en topp-topp-spenning $V_{p\text{-}p} = 21,296\ V$

Dvs for $V \approx \pm 10\ V$ på den differensielle inngangen.

5 Har nå en krets:



Med $U_i(t) = 50\cos(2\pi \cdot 100\text{Hz}\, t)$ mV

Klarer å detektere ned til ca 4mV peak-peak på $U_2 = \frac{1}{2} \cdot U_{o,p\text{-}p}$

Dvs $V_o = 4$mV, er amplituden ut fra op-ampen. Altså en demping fra 50mV på inngangen.

Andre veien klarer jeg å detektere opp til ca $U_2 = \frac{1}{2} U_{o,p\text{-}p} \approx 4,$ V

Dvs $V_o = 4{,}0$V, er amplituden ut fra op-ampen.

$\Rightarrow$ Får $A_{min} = 0{,}08$ (demping) og $A_{max} = 80$ (forsterking)

som i logaritmisk skala tilsvarer fra $\underline{-21{,}94 \text{ dB}}$ til $\underline{38{,}06 \text{ dB}}$,

eller med A_{min} som referanse;

$$20\log\left(\frac{80}{0{,}08}\right) = \underline{60 \text{ dB}} \text{ arb. omr. !}$$

NB: Vi kan merke oss at $V_o = 4V$ er langt unna metning for op-ampen. Grunnen til begrensningen her, ligger derfor i neste oppgaves utforsking.

Likevel, så vi at vi hadde et relativt arb. område i dette tilfellet på

$$\frac{A_{max}}{A_{min}} = \frac{80}{0,08} = \underline{1000}.$$

Forsterkningen i op-ampen er nok likevel i alle fall en faktor 10 større enn dette.

Med $R_1 \approx 3,7\Omega$ og $R_2 \approx 9,53k\Omega$ (målte verdier), bryter kretsen ned i ulineær tilstand, mens den er stabil for

$R_1 \approx 243\Omega$ og $R_2 \approx 9,5k\Omega$

(svært følsomt pot.meter)