



Rapport Arbeider 2

Tittel: Sinusgenerator med valgfri amplitude og offset

Forfattere: Sindre Danielsen

Versjon: 4.0

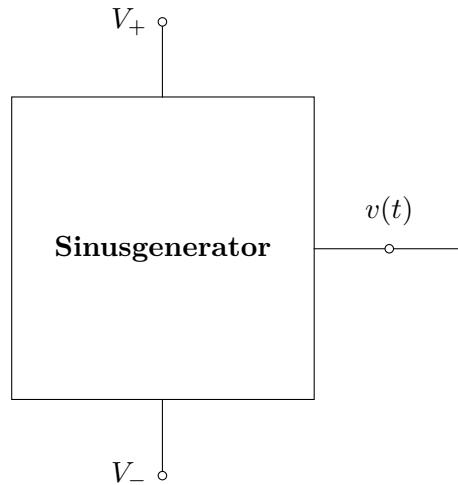
Dato: 06.06.21

Innhold

1	Introduksjon	2
2	Problembeskrivelse, konsept og design	3
2.1	Firkantgenerator	4
2.2	3. Ordens filtrering	6
2.3	Spenningsdemper	7
2.4	Offset-system	8
3	Realisering og verifikasjon	10
3.1	Firkantgeneratoren	10
3.2	3. Ordens lavpass filter	13
3.3	Nivåregulatoren & Offset-system	17
4	Konklusjon	20
	Referanser	20

1 Introduksjon

Det er ikke alltid man har tilgang på en sinusgenerator, så vi skal nå se på hvordan vi kan utvikle det selv. I tillegg kan det også være nyttig at signalet kan variere rundt en hvilken som helst konstant spenning (offset). Figur 1 viser et slikt system.



Figur 1: Sinusgenerator med offset.

Systemet skal ta inn to konstante spenningskilder V_+ og V_- , som er like store og motsatt retning. Det vi skal få ut er et et sinussignal $v(t)$ med en amplitud A og en offset V_0 , som gir oss et signal på formen:

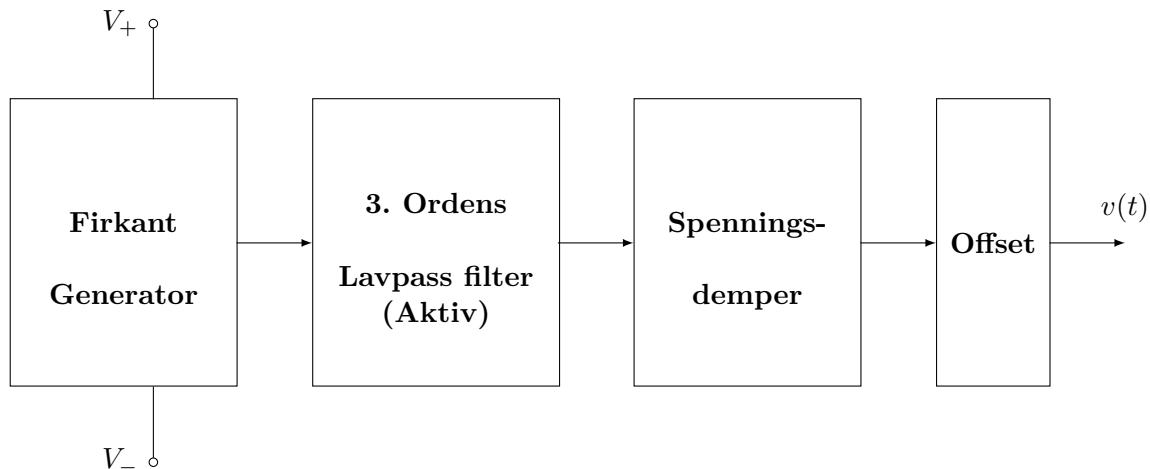
$$v(t) = A \cos(2\pi ft) + V_0 \quad , \quad \text{der } f \text{ betegner frekvensen på signalet.} \quad (1)$$

For at systemet skal yte godt nok, så kreves det en frekvensnøyaktighet på 10 000ppm, samt en Signal-Distorsjons-Ratio (SDR) større enn 20dB. Dette viser seg å være det som er minimums anbefalte ratioen.

Merk at: Systemet nullstiller ikke faseforskjyvninger på utgangssignalet $v(t)$.

2 Problembeskrivelse, konsept og design

En metode for å utvikle en sinusgenerator på er gjennom flere delsystemer, som er vist i figur 2.



Figur 2: Sinusgeneratorens delsystemer.

Det krever først at vi omformer to likespenninger (V_+ og V_-) om til vekselspenning, som lar enkelt lar seg gjøre ved bruk av en firkantgenerator. Firkantsignalet som utvikles må filtreres minst tre ganger ved hjelp av lavpass filter, for å få et tilnærmet sinussignal. Dette kan gjøres ved enten passivt eller aktivt lavpass filter. Et passivt lavpass filter består av en motstand og en kondensator i parallell, samt en op-amp forsterker etterpå. Et aktivt lavpass filter har motstand og kondensator i parallell, som negativ feedback på en op-amp. Vi bruker her et aktivt lavpass filter for å utvikle et sinussignal, slik vist i figur 4. For at signalet nå skal være av den amplituden ønsket, så brukes en spenningsdemper. Siste ledd i systemet er å legge til en konstant spenningskilde til sinussignalet, slik at vi får en offset.

Merk at: For at systemet skal fungere optimalt, så brukes buffere etter firkantsignalet og etter spenningsdemperen. Op-ampene etter hver filtreringen opererer som forsterkere av signalet.

Dette blir inkludert i hvert kretsdesign i de følgende delsekksjonene i denne seksjonen.

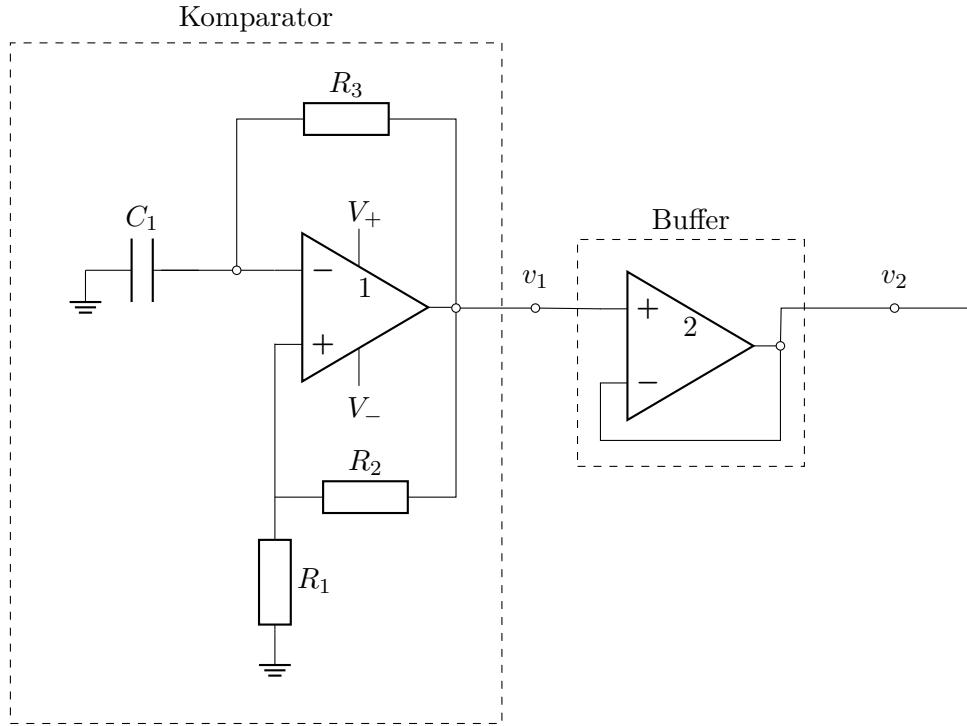
Det er to årsaker for å bruke buffere:

- 1) Isolasjon av spenningen og strømmen i deler av kretsen, der det er ønskelig, slik at ulike deler av kretsen ikke påvirker hverandre.
- 2) Buffere med forsterkning oppfører seg som i 1) og vil også øke styrken på signalet, dersom signalet skulle miste styrke (amplitude) i kretsen.

Siden sinusgeneratoren består av flere delsystemer, så tar vi for oss kretsene til delsystemene hver for seg. Legg merke til at bufferne ikke er merket med spenningsforsyningene V_- og V_+ i kretsskjemaene. Det er underforstått at de gjelder for enhver op-amp brukt i systemet.

2.1 Firkantgenerator

En firkantgenerator kan vi utvikle ved hjelp av en komparator og en buffer slik vist i figur 3.



Figur 3: Firkantgenerator [2] med buffer mellom v_1 og v_2 .

Komparatoren funker slik at den vil hele tiden måle differansen mellom den negative polen V_2 og positive polen V_1 på op-amp 1, som vi kaller $V_{id} = V_1 - V_2$.

Ved tiden $t = 0$, så vil kondensatoren C_1 være tom og derfor vil $V_2 = 0V$.

Siden det forekommer forskjeller på V_+ og V_- , så vil vi få en $v_1 = V_+$ eller $v_1 = V_-$, avhengig av hvilken av V_+ og V_- som er størst.

Anta at vi får $v_1 = V_+$, som gir en $+V_1$. For dette tilfellet vil C_1 fylle seg opp til den er større enn $+V_1$. Tilstanden endres slik at $V_{id} < 0V$, som gir $v_1 = V_-$. C_1 tømmes ved at R_3 trekker på den, og $V_{id} < 0V$ til C_1 har en spenning mindre enn $-V_1$, hvor tilstanden igjen vil endres til å $v_1 = V_+$, og prosessen gjentas hele tiden. Hvor fort dette går avhenger av hvor fort kondensatoren fyller og ”slew rate” på op-amp 1 (finnes i et datablad for modellen bruk).

Mellan v_1 og v_2 setter vi inn en buffer (op-amp 2), slik at kretser tilkoblet firkantgeneratoren ikke vil forstyrre firkantsignalet som genereres.

Firkantsignalet har en frekvens:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi R_3 C_1 \ln\left(\frac{2R_1+R_2}{R_2}\right)}. \quad (2)$$

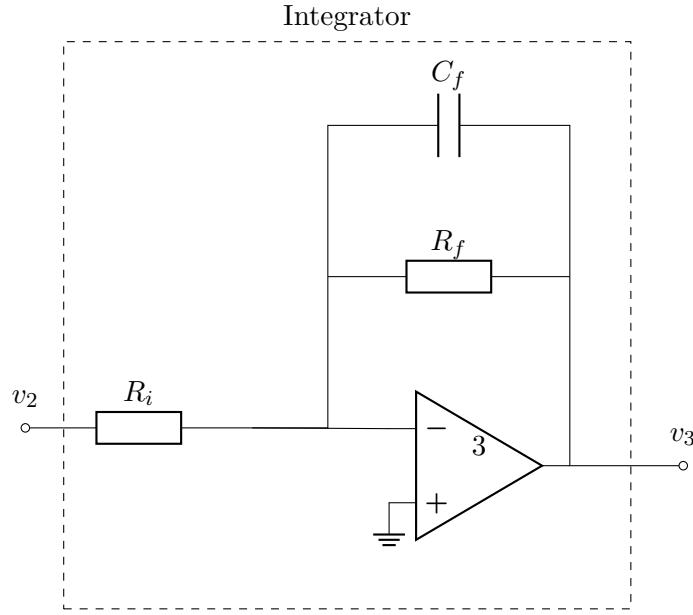
Dersom vi velger $R_2 = 1.16R_1$, så får vi en forenklet likning:

$$f_0 = \frac{1}{2R_3 C_1} \quad (3)$$

R_1 , R_2 og R_3 er motstandsverdiene i kretsen.

2.2 3. Ordens filtrering

Dersom vi har et firkantsignal, så kan 3. Ordens filtrering brukes for å utvikle godt tilnærmet sinussignal. Det vil si å seriekoble tre lavpass filtre (RC-kretser) ved bruk av en krets kalt ”integrator”. Kretsdesignet til et lavpass filter er vist i figur 4.



Figur 4: Aktivt lavpass filter [3].

Et 3. ordens lavpass filter består av å koble tre integratorer sammen i serie, for å få et signal som har en god tilnærming til et sinussignal, dersom inngangssignalet er firkantformet. Vi kan bestemme verdiene på motstandene R_i og R_f , samt kondensatoren C_f gjennom formelen for en RC-krets:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi R_f C_f}. \quad (4)$$

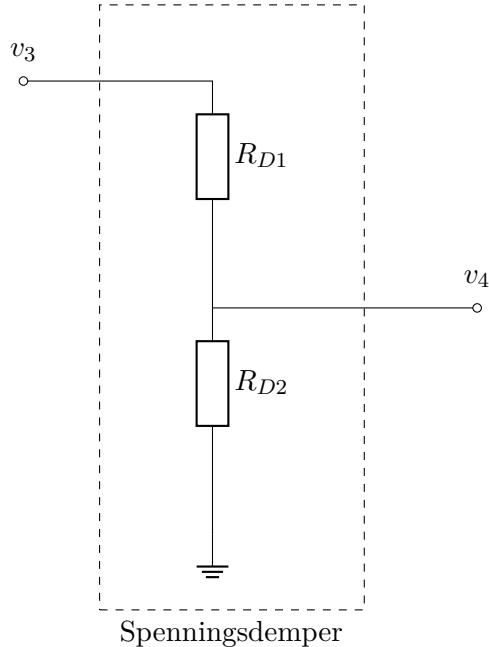
Utgangssignalet v_3 får en forsterkning på:

$$A = -\frac{R_f}{R_i} \quad (5)$$

Vi ønsker å holde signalets styrke lik gjennom hele kretsen, og dersom vi velger $A = 1$, så kan vi beholde samme R_i , R_f og C_f for hver filtrering.

2.3 Spenningsdemper

Sinussignalet vi skal utvikle skal være av en viss styrke, som vi kan oppnå ved å bruke en spenningsdemper slik vist i figur 5.



Figur 5: Spenningsdemper.

Utgangssignalet v_4 ønsker vi skal ha en forsterkning $A \in \langle 0, 1 \rangle$, slik at v_4 er svekket:

$$v_4 = A v_3. \quad (6)$$

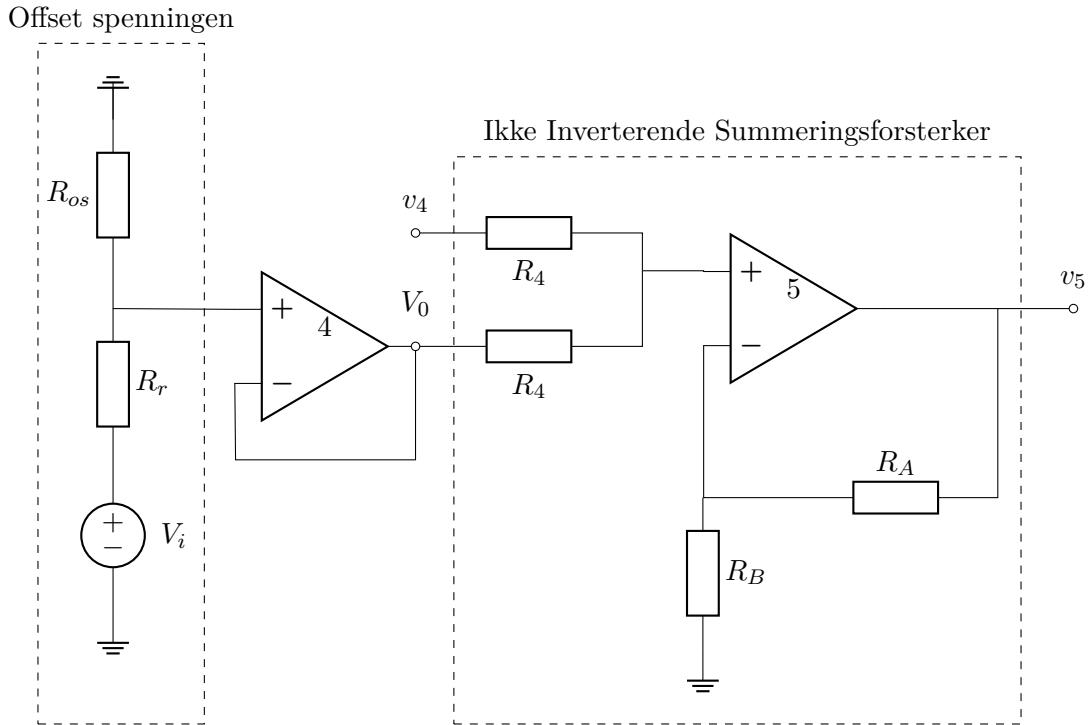
Forsterkningen A er bestemt av størrelseforholdet mellom motstanden R_{D1} og R_{D2} :

$$v_4 = v_3 \frac{R_{D2}}{R_{D1} + R_{D2}}. \quad (7)$$

Det lurt å legge til en buffer etter v_4 , som ikke er tilføyet dette kretsskjemaet.

2.4 Offset-system

For å få en offset på sinussignalet, så brukes en summeringsforsterker, slik vist i figur 6.



Figur 6: Summmeringsforsterker [1]: Addisjon av et AC og et DC signal, som gir en DC offset.

Kresten tar inn et sinussignal v_5 og en spenningskilde V_i . Spenningskildene er ofte 5V, 12V eller liknende, så dersom vi ønsker en offset mindre enn dette, så legger vi til spenningsdeler over motstanden R_r og R_{os} , som svekker styrken på signalet slik at vi får en ønsket likespenning V_0 .

For å sørge for at offset-signalet V_0 skal være av den styrken ønsket, uansett hva motstanden R_4 er, så brukes en buffer mellom ”offset spenningen” og den ”ikke inverterende summeringsforsterkeren”. V_0 er gitt ved spenningsdeling:

$$V_0 = V_i \frac{R_{os}}{R_{os} + R_r}. \quad (8)$$

Inngangssignalene på den ikke inverterende forsterkeren er v_4 og V_0 . Disse står i parallell, slik at vi har et inngangssignal V_{in} på den positive polen på op-amp 5:

$$V_{in} = \frac{v_4 + V_0}{2} \quad (9)$$

Den ikke inverterende forsterkeren skaper en forsterkning på utgangssignalet v_5 :

$$A = \frac{v_5}{V_{in}} = 1 + \frac{R_A}{R_B} \quad (10)$$

Dersom $R_A = R_B$, så kan vi bruke likning 9 til å forenkle likning 10:

$$v_5 = v_4 + V_0 \quad (11)$$

For å få en amplitude på v_5 lik v_4 , så settes $R_A = R_B = R_4$.

Merk at: En inverterende op-amp gir mer stabilitet på signalet, men for å unngå bruke en ekstra inverterer på slutten av systemet, så velges en ikke inverterende summeringsforsterker.

3 Realisering og verifikasjon

De generelle verdiene for sinusgeneratoren er gitt ved tabell 1.

Navn	Verdi	Beskrivelse
f_0	3.5kHz	Valgfri verdi
A	0.2V	Valgfri verdi
V_0	0.7V	Valgfri verdi
V_+/V_-	$\pm 5V$	Vanlig for småelektronikk.
Op-amp	LF353P	

Tabell 1: Generelle verdier for sinusgeneratoren.

3.1 Firkantgeneratoren

Verdiene brukt i firkantgeneratoren er vist ved tabell 2.

Navn	Verdi	Beskrivelse
R_1	1232Ω	$R_2/1.16$
R_2	1429Ω	Lik R_3
R_3	1429Ω	Likning 3
C_1	100nF	Valgri verdi (likning 3)

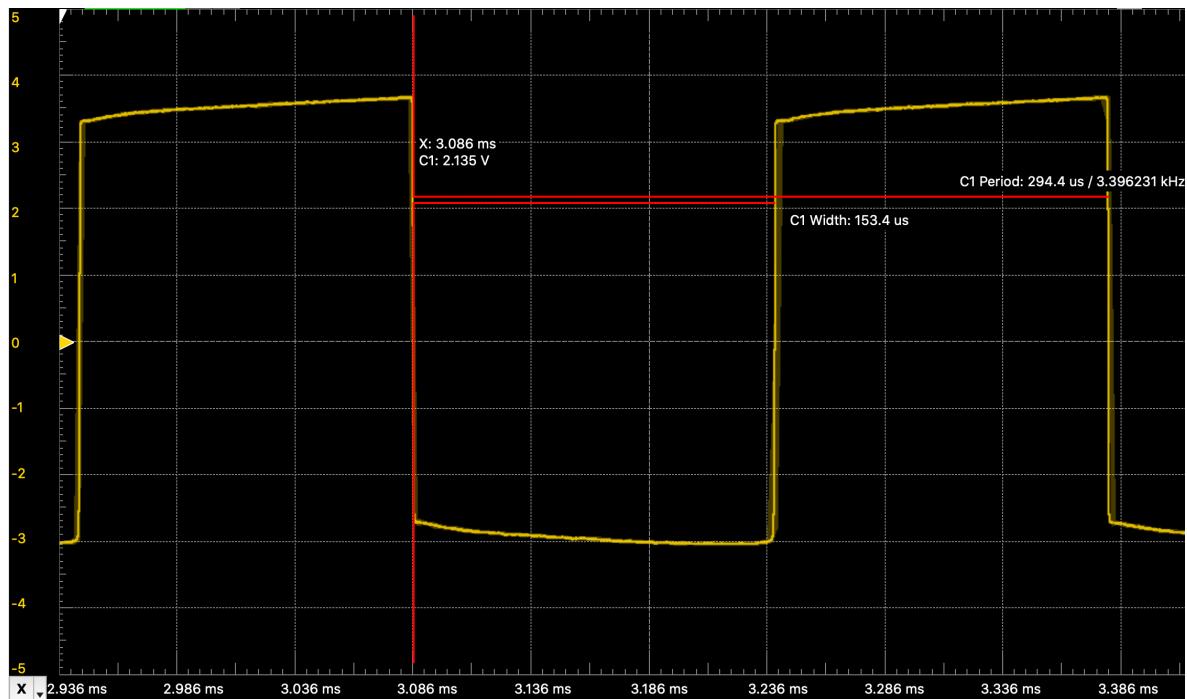
Tabell 2: Verdier brukt i firkantgeneratoren.

Firkantgeneratoren lager et signal før bufferen er tilkoblet vist ved figur 7. Etter bufferen er tilkoblet ser vi et bedre firkantsignal, vist ved figur 8. Begge har et utgangssignal med lavere amplitude enn på inngangssignalet. Dette kan blant annet skyldes kvaliteten på op-ampene som blir brukt, samt at systemet bruker kabler av unødvendig stor lengde. Ved måling får vi $f_0 \in <3.39\text{kHz}, 3.41\text{kHz}>$, som ikke er innenfor ønsket frekvensnøyaktighet nevnt i seksjon 1. Dette kommer av at motstandene brukt i utvikling av kretsen har avvik på $<0\Omega, 30\Omega>$. Dette fordi de teoretiske utrekningene vil ikke være helt det samme som de realistiske. Det ble også brukt seriekobling av motstander av ulike størrelser, på grunn av mangel på ønskede verdier. Kabler skaper også en indre motstand som vil påvirke frekvensen gitt ved likning 3.

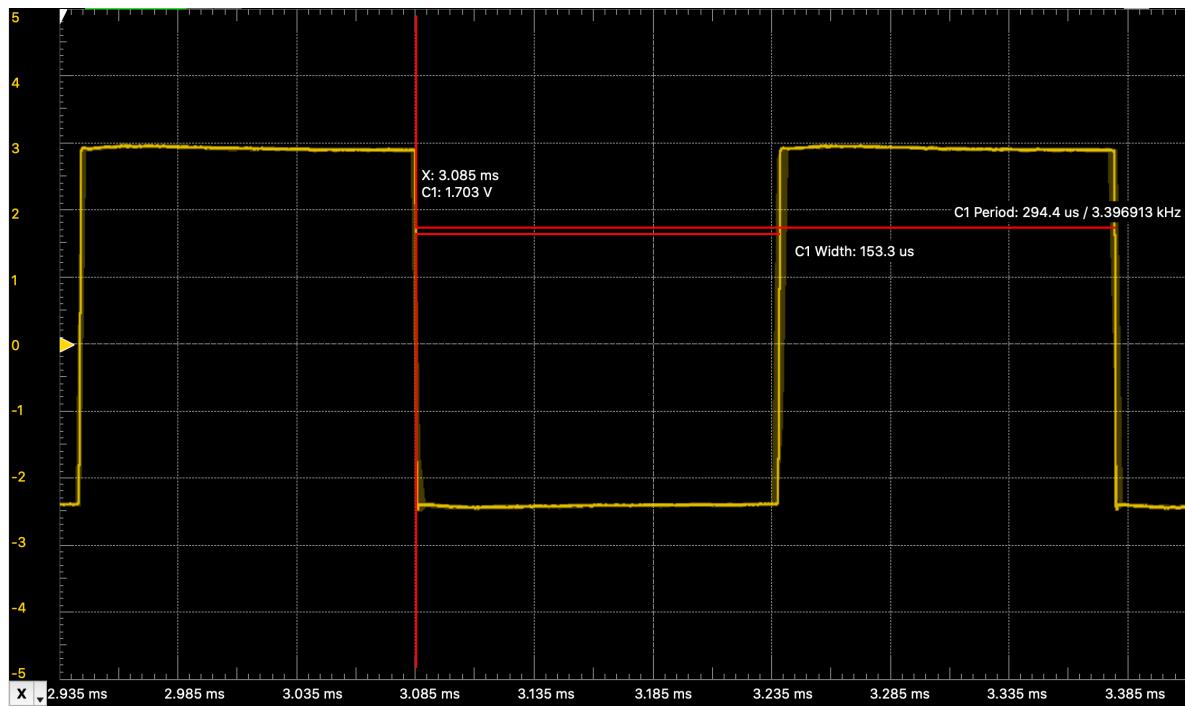
Selv om frekvensen allerede nå har et for stort avvik, så kan det være interessant å se hvordan frekvensen endres gjennom integratorene som blir brukt. Det gjøres en sammenlikning av firkantsignalet og det endelige sinussignalet ved slutten av kretsen, som er gjort i seksjon 3.2.

En god løsning på problemet er å bruke et potensiometer eller variabel motstand på R_3 og sikte seg inn til man får ønsket frekvens.

Siden amplituden på v_2 fremdeles er større enn A fra tabell 1, så velges det å ikke forsterke signalet.



Figur 7: Firkantsignal før buffer. Y-akse: Spenning, X-akse: millisekunder.



Figur 8: Firkantsignal buffret. Y-akse: Spennin, X-akse: millisekunder.

3.2 3. Ordens lavpass filter

Verdiene brukt i filtrene er vist ved tabell 3.

Navn	Verdi	Beskrivelse
R_i	457Ω	$R_i = R_f$
R_f	457Ω	Likning 4 $\implies R_f = 455\Omega$
C_f	100nF	Valgri verdi (likning 4)

Tabell 3: Verdier brukt i lavpass filteret.

Slik nevnt i seksjon 2.2, så kobler vi tre aktive lavpass filter etter hverandre, der første filter vises i figur 9. Her ser vi at firkantsignalet vi hadde som inngangssignal begynner å avrunde topp og bunnpunkt, samt at frekvensen er endret litt. Vi har også en liten forstyrrelse i bunnpunktet. Denn forstyrrelsen ser ikke ut til å utvikle seg videre i de neste filterene, så siden første filter ikke er sluttsgagnalet, så velges det å ikke kommentere ytterlige om dette.

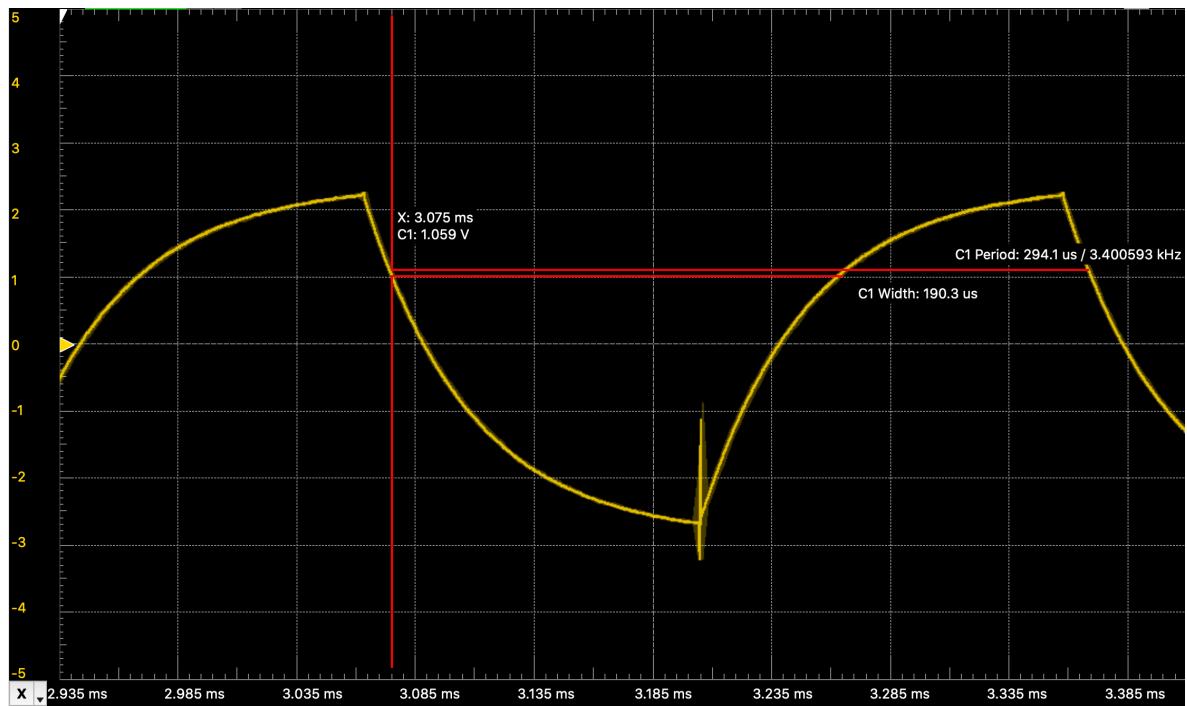
Det 2. filteret er vist i figur 10. Signalet ser mer avrundet ut og nærmer seg et sinussignal, men den er enda for spiss i topp og bunnpunktene, så vi velger å filtrere en 3. gang.

Det 3. filterert er vist i figur 11. Her er det tydelig noe som likner på et sinussignal.

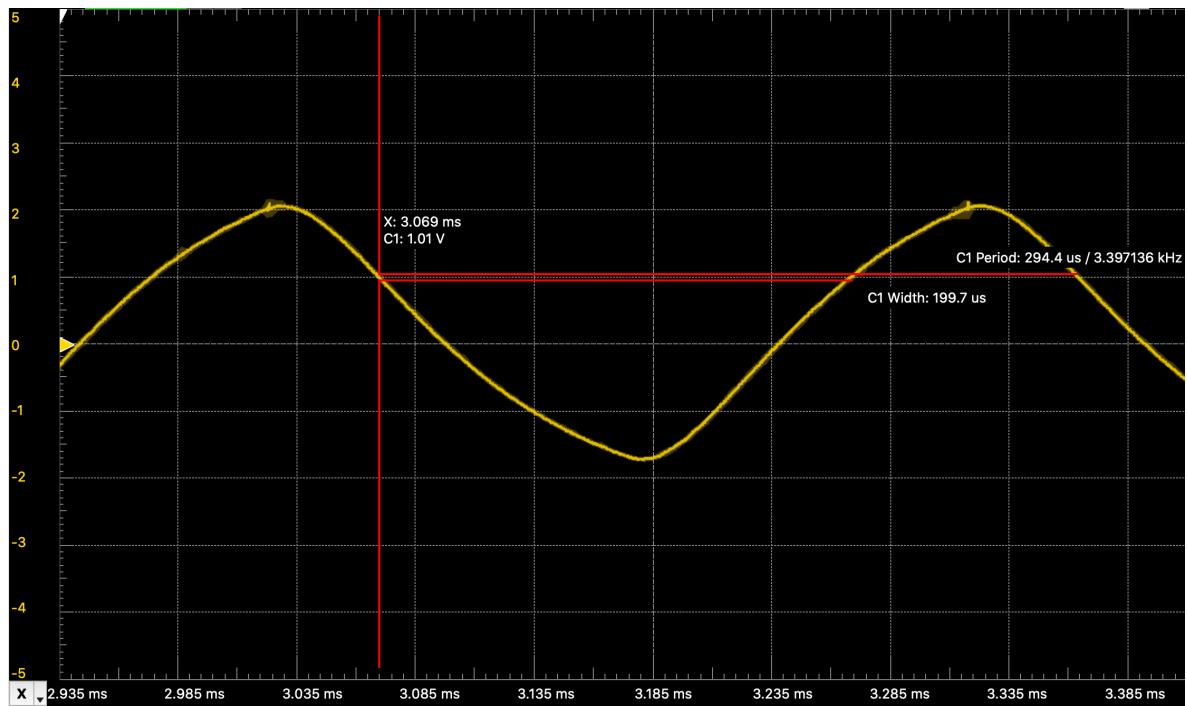
Selv om det ble valgt motstandsverdier som vil gi en forsterkning $A = \frac{R_f}{R_i} = 1$, så har signalet minket i styrke, men fremdeles større enn A fra tabell 1.

Reduksjonen i signalet skjer i RC-kretser når man har et AC signal, som er årsaken til å bruke et aktivt filter, slik at hvis signalet blir for svakt kan man øke R_f for å få et stertere signal.

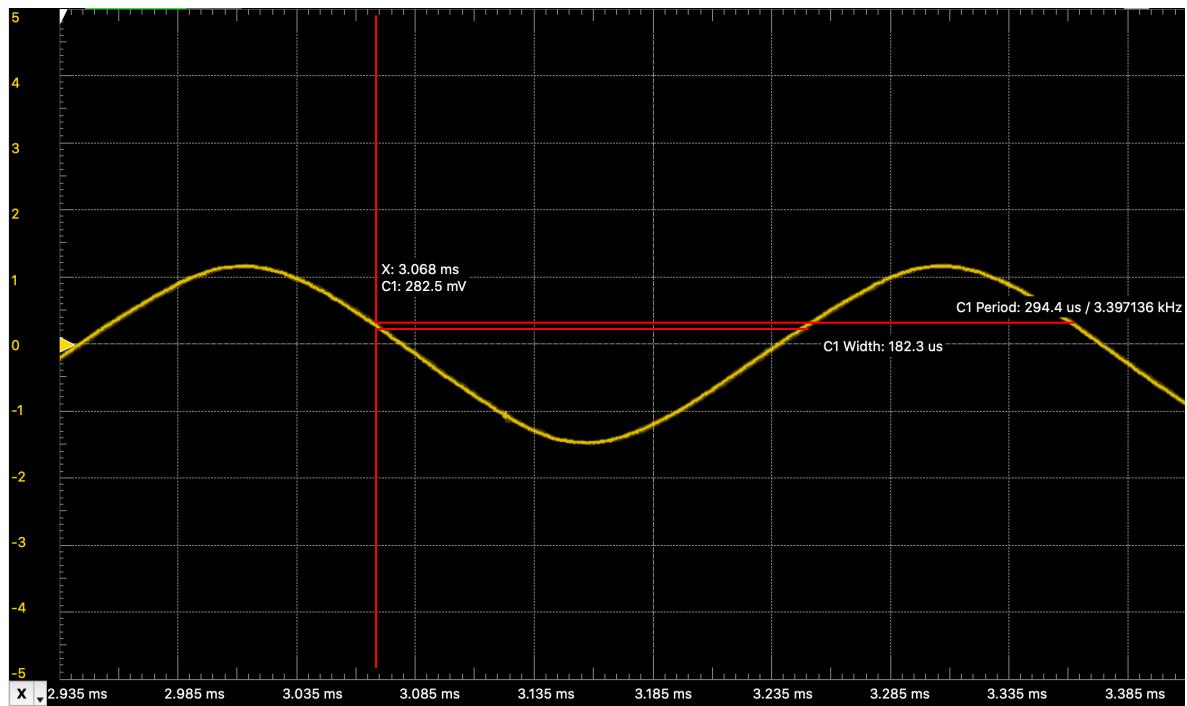
Fra figurene kan vi også se at signalet har fått en liten negativ offset, som kommer fra op-ampenes funksjonalitet. Verdien på denne offsetten er oppgit i databladet for op-amps modellnr.



Figur 9: Første filtrering av firkantsignalet. Y-akse: Spenning, X-akse: millisekunder.



Figur 10: Ande filtrering av firkantsignalet. Y-akse: Spenning, X-akse: millisekunder.



Figur 11: Tredje filtrering av firkantsignalet. Y-akse: Spennin, X-akse: millisekunder.

3.3 Nivåregulatoren & Offset-system

Verdiene brukt i nivåregulatoren og offset-systemet er vist ved tabell 3.

Navn	Verdi	Beskrivelse
R_{D1}	5000Ω	Likning 7
R_{D2}	1000Ω	Valgfri verdi (likning 7)
V_i	5V	Bruker V_+ som spenningskilde.
R_r	1000Ω	Valgfri verdi (likning 8)
R_{os}	6174Ω	Likning 8 $\Rightarrow R_{os} = 6142.9\Omega$
V_{os}	0.7V	$V_{os} = V_0$
R_4	1000Ω	Valgfri verdi
R_A	1000Ω	$R_A = R_B = R_4$ for å unngå forsterkning på v_6
R_B	1000Ω	Nevnt over.

Tabell 4: Verdier brukt i nivåregulatoren og offset-systemet.

Det endelige signalet $v(t)$ er vist i figur 12. Her ser vi at vi har en god tilnærming av riktig offset V_0 og en amplitude som er ca. lik A fra 1. Den endelige frekvensen av $v(t)$ har en endring på 0.7% fra firkantsignalet v_2 sin frekvens.

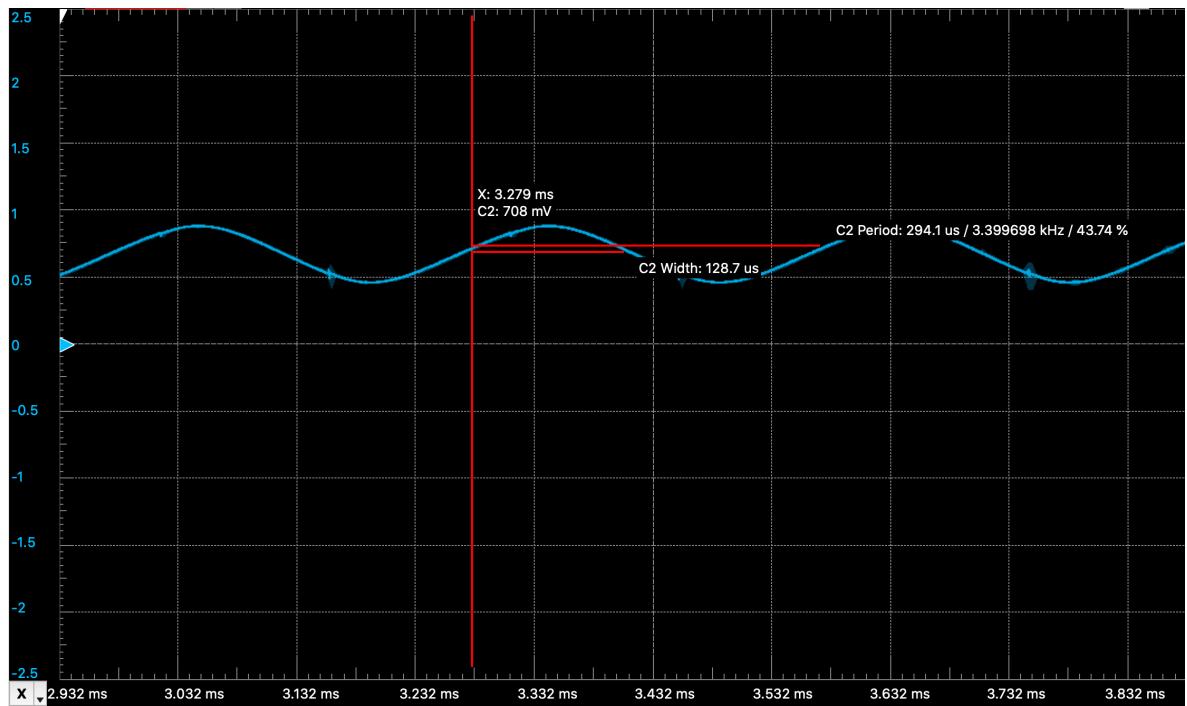
Dersom vi kan endre motstandsverdiene i firkantgeneratoren til å gi riktig frekvens, så vil resten av systemet ha en frekvensnøyaktighet som er innenfor kravet satt i seksjon 1.

Støyet vi kan observere i figur 12 kan komme fra at signalstyrken er minket såpass mye fra figur 11. Støyet forblir stabilt ved endring av amplituden, og vi observerer nå at dette støyet forblir en større del av signalet.

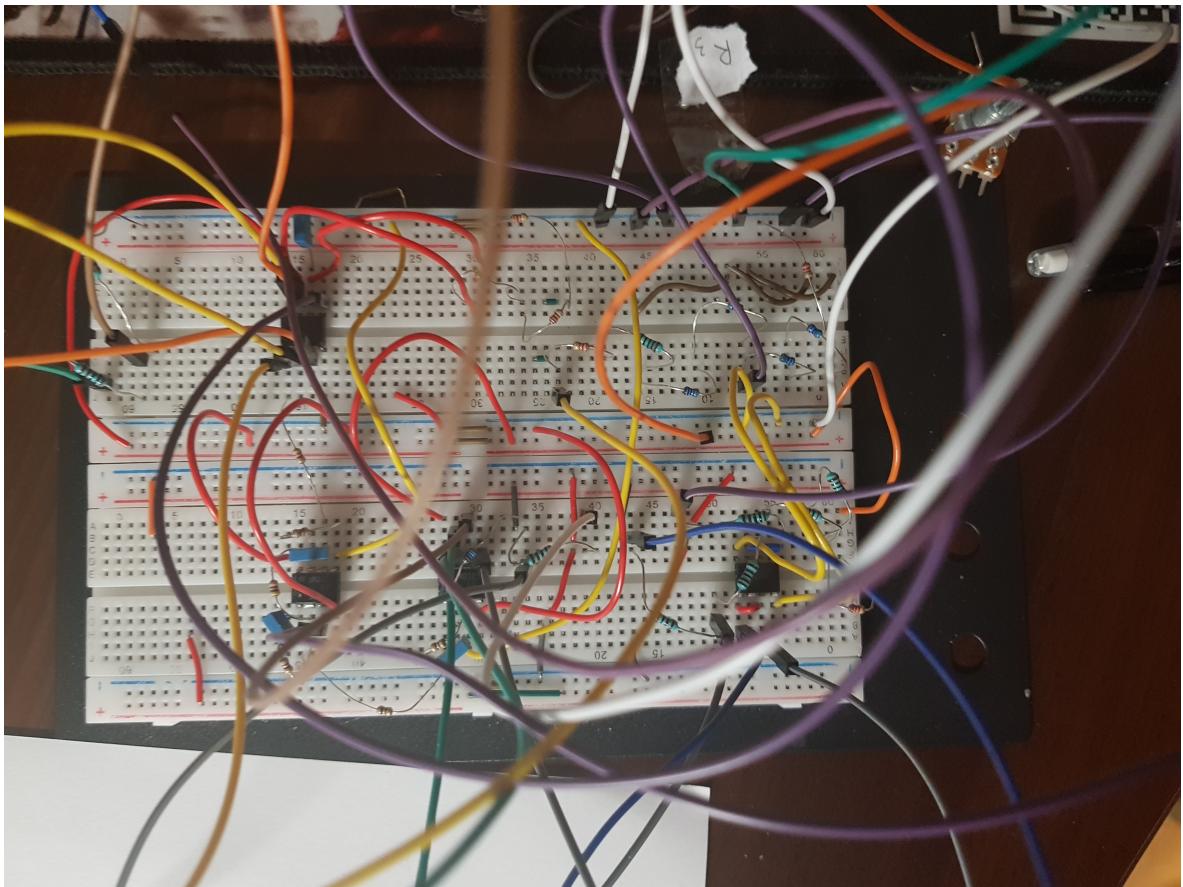
Ved bruk av en spektrumanalysator på et frekvensområde $< 0\text{Hz}, 40\text{kHz}>$, så vises 5 harmoniske frekvenser. Det er mulig å finne SDR ved å bruke spektrumanalysator eller ved å regne ut RMS verdien til fundamentalfrekvensen V_x , samt summen av de andre harmoniske signalene $V_{\hat{x}}$:

$$SNR = 10 \log \left(\frac{V_x^2}{V_{\hat{x}}^2 - V_x^2} \right). \quad (12)$$

Sprektrumsanalysatoren gir en $SDR \in < 25.6\text{dB}, 29.5\text{dB}>$. Støyet endrer seg med tiden, som gjør at vi ikke får en stabil måling. Dette signalet er godt nok, ifølge kravet som ble satt i seksjon 1.



Figur 12: Sinussignalet $v(t)$ med offset og ønsket størrelse. Y-akse: Spennin, X-akse: millisekunder.



Figur 13: Realisert krets.

4 Konklusjon

Sinusgeneratoren gir et godt tilnærmet sinusignal. Med en akseptabel støymengde, som er testet opp til 40kHz. For en bedre SDR, så kan f. eks kortere kabler brukes i den realiserte kretsen vist ved figur 13. Frekvensen beholdes godt nok gjennom kretsen. Det eneste er at motstandsverdiene for firkantgeneratoren må endres, ved eventuelt et potensiometer.

Referanser

- [1] Non-Inverting Operational Amplifier, 2021, Electronics-tutorials,
https://www.electronics-tutorials.ws/opamp/opamp_3.html
- [2] Square Wave Generator, 2021, Elprocus,
<https://www.elprocus.com/what-is-a-square-wave-generator-circuit-diagram/>
- [3] Active Low Pass Filter, 2021, Electronics-tutorials,
https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_5.html