



# Designnotat

Tittel: Trekantgenerator

Forfatter: Sindre Danielsen

Versjon: 2.0

Dato: 09.06.20

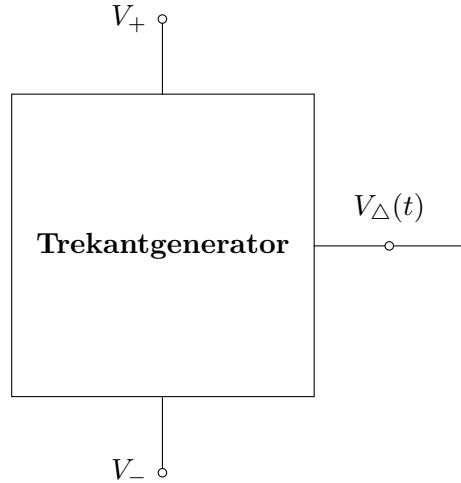
## Innhold

<b>1</b>	<b>Problembeskrivelse</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Prinsipiell løsning</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Realisering og test</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Takk</b>	<b>11</b>
<b>Referanser</b>		<b>12</b>
<b>A</b>	<b>Årsaken til et uperfekt trekantsignal</b>	<b>13</b>
<b>B</b>	<b>Vurdering</b>	<b>14</b>
<b>C</b>	<b>Tilbakemelding</b>	<b>14</b>

---

## 1 Problembeskrivelse

Periodiske signaler fremkommer på flere former. Dette notatet gir en mulig løsning på hvordan et trekantsignal kan genereres. Trekantgeneratoren er vist i Figur 1.



**Figur 1:** Trekantgenerator: Omformer to omvendte statiske signaler til et trekantsignal.

Her vises to inngangsignaler  $V_-$  og  $V_+$  som er like statiske signaler, men motsatt retning. Trekantgeneratoren sender ut et trekantsignal  $V_\Delta(t)$  basert på  $V_-$  og  $V_+$ .

Kravet for systemet er å ikke overskride et maksimalt frekvensavvik på  $\Delta f_{max} = 10\,000$  ppm. Frekvensendringen  $\Delta f = f_0 - f$  må oppfylle:

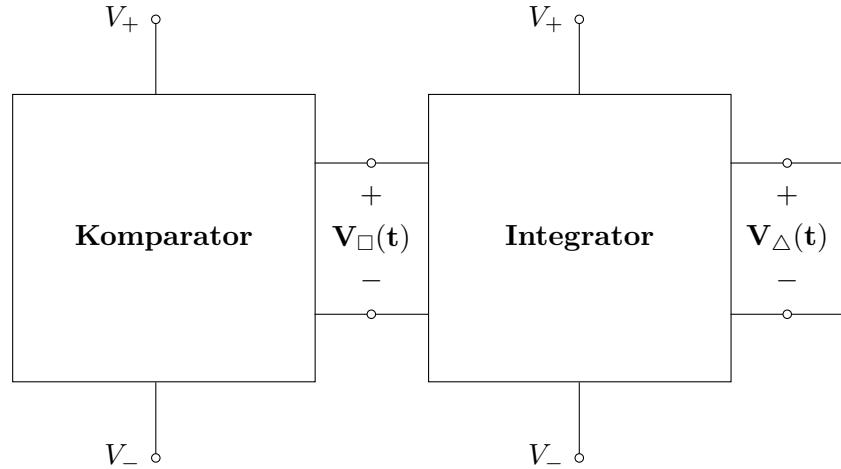
$$\frac{|\Delta f|}{f_0} \leq \frac{\Delta f_{max}}{10^6}, \quad (1)$$

der  $f_0$  er den valgte frekvensen for systemet og  $f$  er den målte frekvensen.

**Merk at** amplituden til trekantsignalet vil bli mindre enn amplituden til inngangsignalene, siden signalet svekkes når det beveger seg gjennom kabler og over motstander.

## 2 Prinsipiell løsning

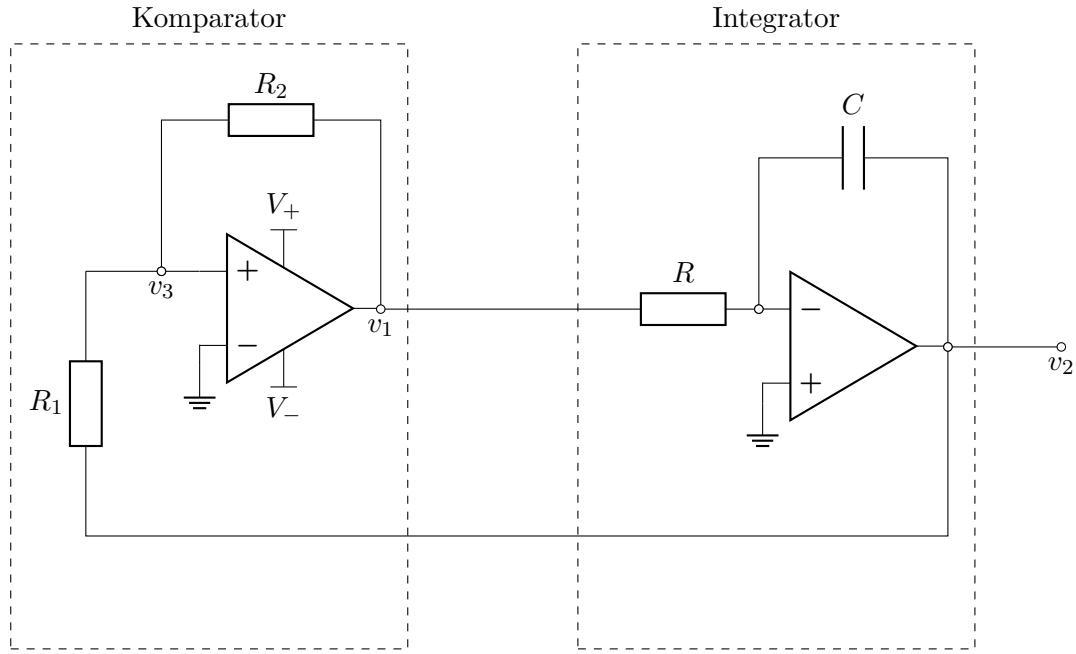
Trekantgeneratoren utvikles ved hjelp av to apparater vist i figur 2.



**Figur 2:** Komparator: Firkantsignal  $\mathbf{V}_{\square}(t)$ , Integrator: Integrerer  $\mathbf{V}_{\square}(t)$  til trekantsignal  $\mathbf{V}_{\triangle}(t)$ .

Fra figuren ser vi at både komparatoren og integratoren tar samme inngangssignaler  $V_-$  og  $V_+$  som trekantgeneratoren.

En foreslått kretstopologi til et slikt system er vist ved Figur 3.



**Figur 3:** Forslag til kretstopologi for trekantgenerator.

I teorien kansellerer  $V_-$  og  $V_+$  hverandre, som gir  $v_1 = 0V$ , mens i praksis, så forekommer det ulikheter mellom  $V_+$  og  $V_-$ , slik at det blir et utgangssignal på op-ampen  $V_{\square}(t) = v_1$  (Forklart grundigere av referansevedleggene [1] og [2]):

$$v_1 = \begin{cases} V & \text{for } v_3 > 0 \\ -V & \text{for } v_3 < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Den tiden det tar før op-ampen virker slik, er avhengig av op-ampens egenskaper, som man finner under *stigrate SR* i datablad til komponenten. Stigetiden for dette tilfellet er:

$$T_s = \frac{2V}{SR} \quad (3)$$

Dersom  $|v_1| > 0V$ , så vil op-ampen begynne å regulere forskjellen på dens + og – pol, slik at signalet vil skifte mellom negativ og positiv  $V$ .

Komparatoren er koblet med en feedback på utgangen  $v_1$ , som betyr at det vil gå et signal gjennom motstanden  $R_2$ . Inngangssignalet  $v_3$  er gitt av spenningsdelingen:

$$v_3 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} (v_1 - v_2) \quad (4)$$

Integratoren trekker på signalet  $v_1$  gjennom motstanden  $R$ , slik at kondensatoren  $C$  vil utvikle et trekantsignal  $V_\Delta(t) = v_2$ :

$$v_2(t) = v_2(0) - \frac{1}{\tau} \int_0^t v_1(t) dt \quad , \quad \tau = RC. \quad (5)$$

**Merk at** det er underforstått at spenningsforsyningene  $V_-$  og  $V_+$  til op-ampen gjelder både op-ampen i komparatoren og integratoren.

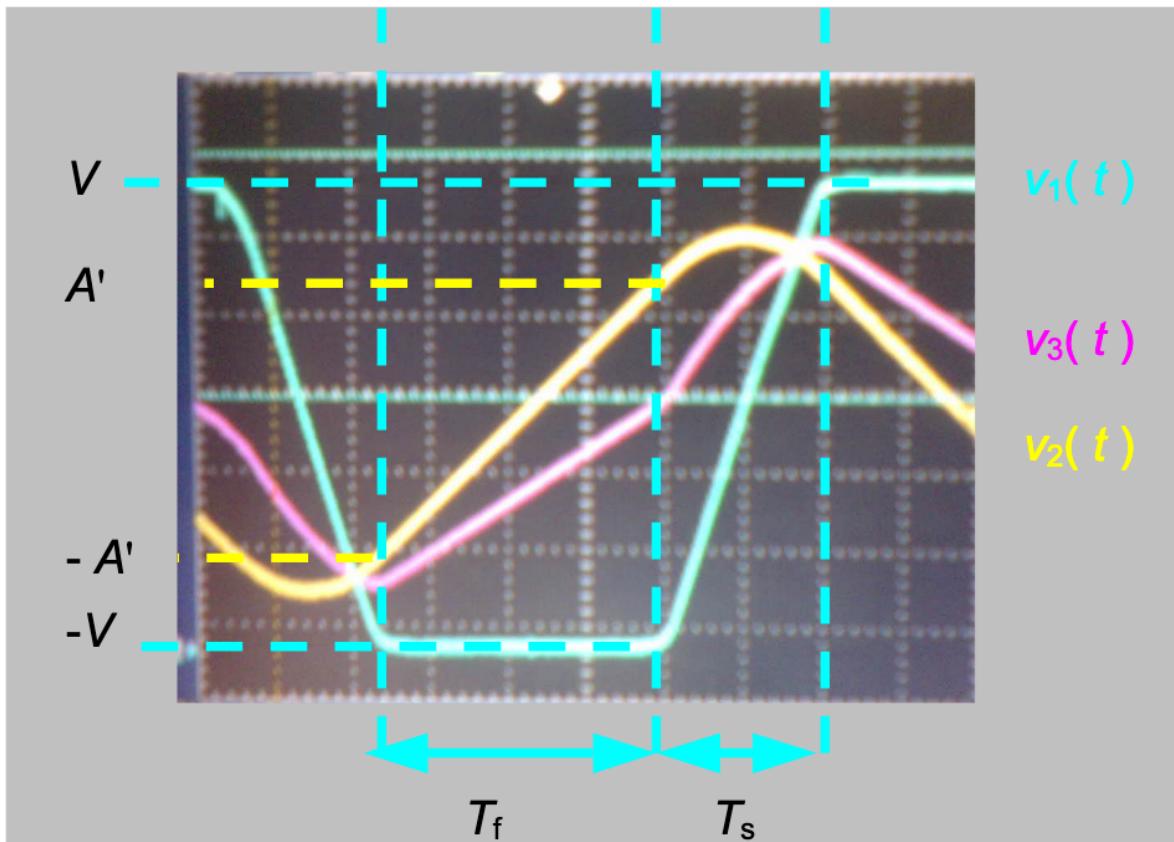
For å forklare at et firkantsignal integreres til et trekantsignal, så er det tre tilfeller å ta for seg.

Når  $v_1 > 0V$ , så vil signalet integreres bli en stigende linje.

Når  $v_1 < 0V$ , gir en synkende linje.

Når  $v_1 = 0V$ , gir topp-/bunnpunktet, gitt at  $|v_1| > 0V$  for tiden før.

Dette kan bli observert på oscilloskop-bildet i figur 4.



**Figur 4:** Signalene for komparatoren og integratoren [3].

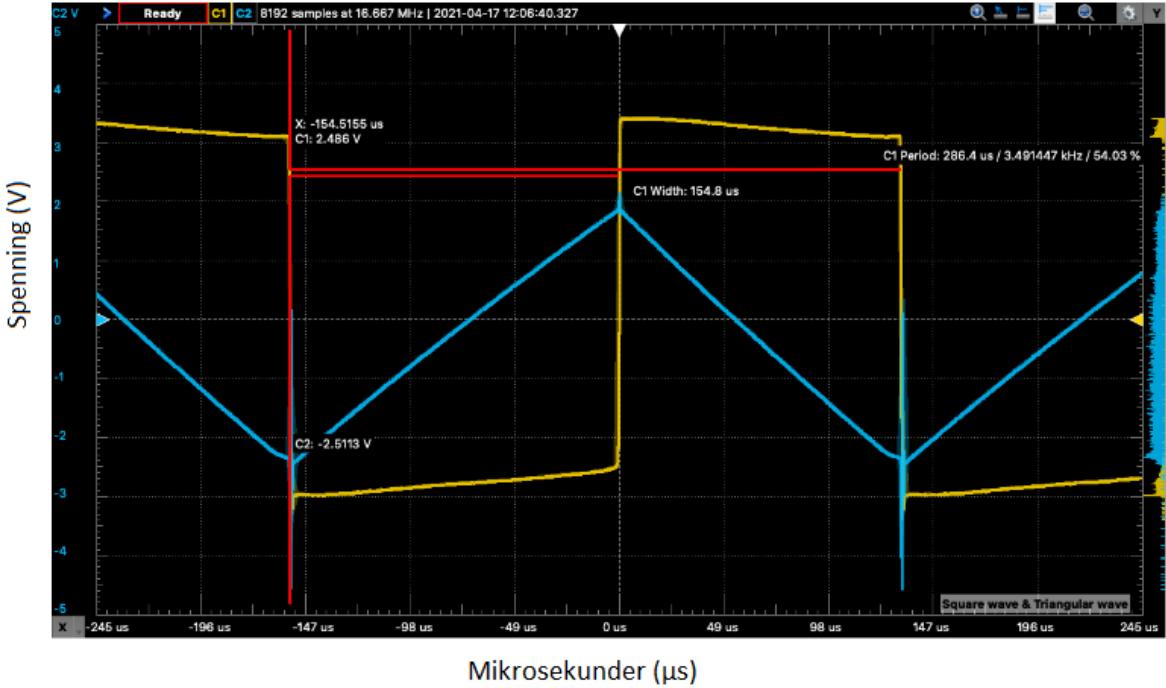
Symbolene og deres funksjonalitet fra figuren forklares i vedlegg A.

### 3 Realisering og test

Når systemet utvikles, så avhenger motstandsverdiene fra kretsen i figur 3 av frekvensen  $f_0$  på signalet. Verdiene brukt i systemet er fremvist i tabell 1.

Navn	Verdi	Beskrivelse
$f_0$	3.50000kHz	Teoretisk ønsket frekvens
$f$	3.49145kHz	Målt frekvens
$R$	$1000\Omega$	Teoretisk valgt motstand.
$R_1$	$1000\Omega$	$R_1 = R \implies$ ingen forsterkning.
$R_2$	$1410\Omega$	Målt med potensiometer
$C$	$1\mu F$	Teoretisk kondensator
$V_+$	5V	Op-amp spenningskilde
$V_-$	-5V	$V_- = -V_+$
Op-amp	LF353P	

**Tabell 1:** Verdiene brukt i realisering av systemet.



**Figur 5:** Blå funksjon:  $V_{\Delta}(t)$ , Gul funksjon:  $V_{\square}(t)$

Verdiene til motstandene er de teoretiske verdiene, som vi har valgt til å være  $1\text{k}\Omega$ , og bruker et potensiometer på  $R_2$  for å få en mest nøyaktig mulig  $f_0$ . Det er fordi kabler har motstand, samt motstandene har avvik på:  $R_{1a} = 7\Omega$ ,  $R_a = 10\Omega$  og  $R_{2a} = 10\Omega$  samt at kondensatoren ikke er ideell. Siden frekvensen er bestemt fra RC-kretsen i figur 3. Vi har valgt å finne motstandsverdiene eksperimentelt. Figur 5 viser en avbildning av firkantsignalet og trekantsignalet som den reelle kretsen i figur 6 gir. Den målte frekvensen  $f$  fra figuren er skrevet opp i tabell 1.

Bruker likning 1 for å sjekke om systemet er innenfor kravet:

$$\frac{|\Delta f|}{f_0} = 0.00244 < 0.01. \quad (6)$$

Denne realiseringen av systemet er innenfor systemkravet som er satt i seksjon 1.

Oscilloskop-bildet viser "humper" på topp-/bunnpunktene til trekantsignalet.

Kort sagt, så kommer dette av at signalet som blir utviklet er en parabel. Der størrelsen på "humpene" er gitt av likning 15. Forklaring og fremgangsmåten kommer frem i Vedlegg A.

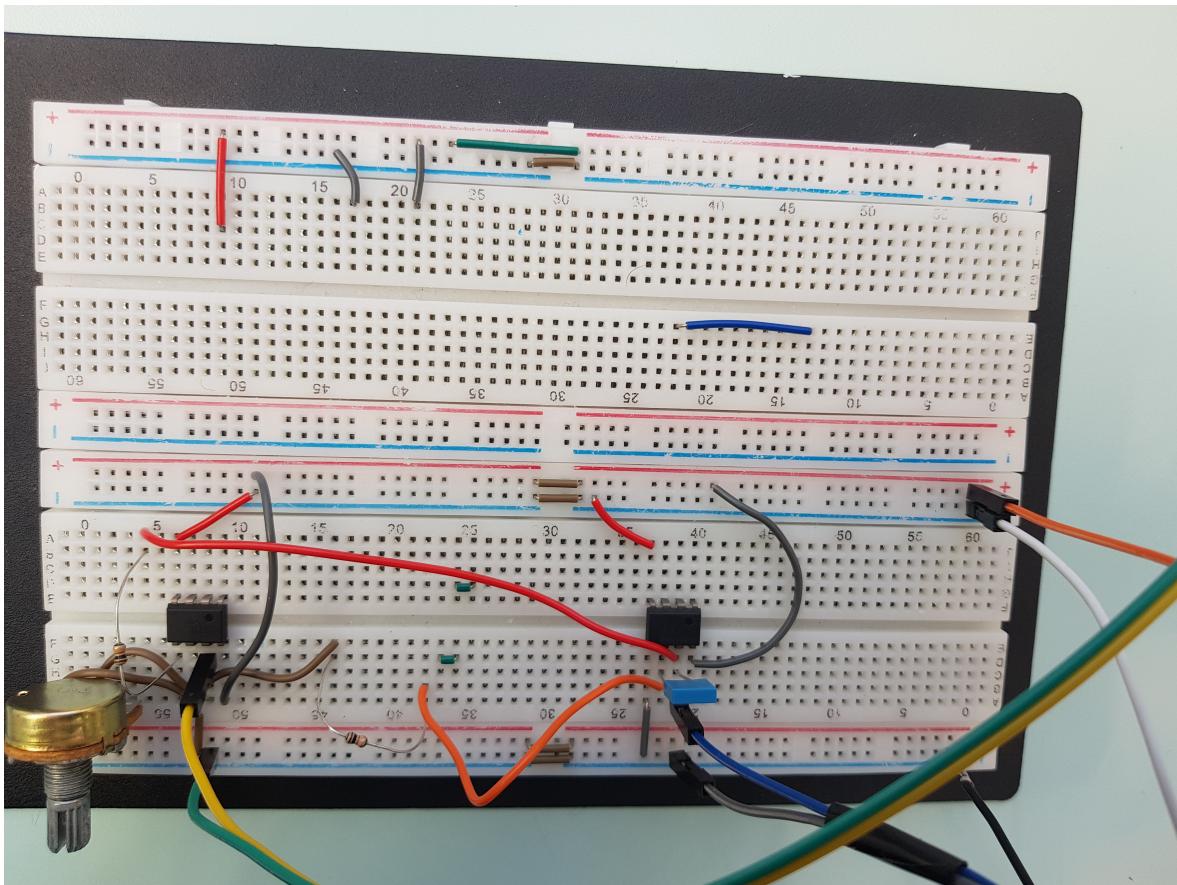
Høyden på amplitude-tillegget  $\Delta A$  er neglisjerbar for lave frekvenser og raske op-amper,

som også kan observeres ved likning 15.

Dette fordi  $\Delta A$  er omvendt proporsjonal med  $\tau$  og  $SR$ , der  $\tau$  bestemmes av frekvensen på signalet over kondensatoren  $C$  når det er vekselspenning.

Slik nevnt i seksjon 1, så får vi  $V_{\Delta}(t) < V_{\square}(t)$  som vist ved figur 5.

Den oppkoblede kretsen som gir oscilloskop-avbildningen i figur 5 er vist i figur 6.



**Figur 6:** Reell krets av systemet.

I figuren blir det brukt et potensiometer for  $R_2$  som går fra  $8\Omega$  til  $10\text{k}\Omega$ , fordi det er lettere å finne en ønsket motstandsverdi.

## **4 Konklusjon**

I dette notatet er det utviklet et trekantsignal fra to statiske inngangsignaler  $V_-$  og  $V_+$ . Dette er gjort ved hjelp av en komparator og en integrator.

Vi har funnet at trekantsignalet styrke er redusert fra firkantsignalet. Trekantsignalet har også forstyrrelser ved dens topp-/bunnpunkt.

En eventuell forbedring av systemet er bruk av en buffer mellom komparatoren og integratoren for å få en lik amplitude på trekantsignalet som firkantsignalet. For å bli kvitt eller redusere effekten av  $\Delta A$ , så kan en raskere op-amp brukes, og/eller lavere frekvenser på signalet.

Fra likning 6 ser vi at systemet lever opp til systemkravet fra seksjon 1.

## **5 Takk**

Takk til Håvard Romsaas og Jo Vegard Molvik for godt samarbeid under prosjektet.

## Referanser

- [1] '*Komparator - Comparator*' (2021). Wikipedia  
Tilgjengelig ved: <https://no.qaz.wiki/wiki/Comparator>  
(Sist åpnet: 25. April 2021).
- [2] EzEd Channel (2019), Video  
*Op-Amp as a WAVEFORM GENERATOR - Applications of OpAmp - BEE*  
Tilgjengelig ved: <https://www.youtube.com/watch?v=HJKFXmJVwaA>  
(Sist åpnet: 25. april 2021)
- [3] Teknisk notat: 'Trekantgenerator',  
Figur 2: '*Interne signal i trekantgeneratoren.*' (Torstein Bolstad, NTNU 2020, s.3).  
(Sist åpnet: 25. april 2021)

## A Årsaken til et uperfekt trekantsignal

Ser på tilfellet der  $v_1(t) = V_+$ , slik at integratoren vil generere en rett linje, så gir likning 5:

$$v_2(t) = v_2(0) - \frac{V}{\tau}t. \quad (7)$$

Siden op-ampene har en symmetrisk forsyningspenning  $V_+$  og  $V_-$ , så kan vi anta at det genererte signalet vil være symmetrisk om tidsaksen. Slik at  $v_2(T_f) = v_2(0)$ . Ved innsetting i likning 7, så har vi at

$$T_f = \frac{2v_2(0)}{V}\tau, \quad (8)$$

der  $T_f$  representerer tidsintervallet i figur 4 når firkantsignalet er på sin min.-/maks. verdi (respektivt  $V_-/V_+$ ).

Vi kan finne  $v_2(0)$  ved å bruke likning 4 sammen med likning 5 og likning 8, der  $v_1(T_f) = V_+$  og  $v_3(T_f) = 0$ , slik at

$$v_2(0) = \frac{R_1}{R_2}V. \quad (9)$$

Kan da utvikle likning 8 til

$$T_f = 2\frac{R_1}{R_2}\tau. \quad (10)$$

Analytisk så er det en fordel å sette  $t = 0$  ved starten av intervallet  $T_s$  fra figur 4 slik at  $v_1(t)$  blir

$$v_1(t) = V_- + \frac{2V}{T_s}t \quad , \quad t \in < T_f, T_s] \quad (11)$$

Likning 5 gir da at

$$v_2(t) = v_2(0) + \frac{V}{\tau} \left( t - \frac{t^2}{T_s} \right), \quad (12)$$

som er en parabel med toppunkt midt i tidsintervallet, slik at

$$v_2\left(\frac{T_s}{2}\right) = v_2(0) + \frac{VT_s}{4\tau}. \quad (13)$$

For å få flere kjente verdier, så kan vi utvikle den videre ved hjelp av likning 3:

$$v_2\left(\frac{T_s}{2}\right) = v_2(0) + \frac{V^2}{2\tau SR}. \quad (14)$$

Det vi ser er at parabelen sørger for at trekantsignalet ikke er perfekt ved topp-/bunnpunktet, som her utvikler en "hump". Størrelsen på den er gitt ved likning 15.

$$\Delta A = \frac{V^2}{2\tau SR}. \quad (15)$$

Den totale høyden på signalet her er da gitt av

$$A = v_2(0) + \Delta A. \quad (16)$$

Denne uønskede hendelsen observeres også i realiseringen av kretsen vist ved figur 5.

## B Vurdering

Teksten ser ut til å være forklarende, samt så presis som mulig. Figurene er beskrivende for hva som foregår i teksten. Variabler i figurer og likninger blir forklart. Figurer, likninger og tabeller er nummerert og har referanser der det passer og er beskrivende. Påstander ser ut til å bli forklart. Kun det essensielle matematisk kommer frem i prinsipiell løsning, fremgangsmåter er lagt til vedlegg dersom man ønsker nøyere lesning. Konklusjonen er kort oppsummerende og forklarer det vi er kommer frem til og mulige forbedringer.

## C Tilbakemelding

- Er teksten forklarende nok, eller er det noe som kunne utdypes mer?

- Er det lurt å legge den lange matematiske forklaringa til i et vedlegg, slik jeg gjorde (uperfekt trekantsignal) ?
- Er det prosessfokus, eller var det skrevet slik vi burde?
- Burde jeg ha tegnet opp hva som er hva på den reelle kretsen, eller går det greit å la være?
- Er referansene greit brukt?