Teknisk notat

Tittel: Trekantgenerator	
Forfattere: Torstein Bolstad	
Versjon: 1.0	Dato: 28.01.20

Innhold

---

1 Bakgrunn

Periodiske signaler med en gitt frekvens er nyttig i mange forskjellige sammenhenger. I dette notatet skal vi se på hvordan et trekantsignal kan genereres.

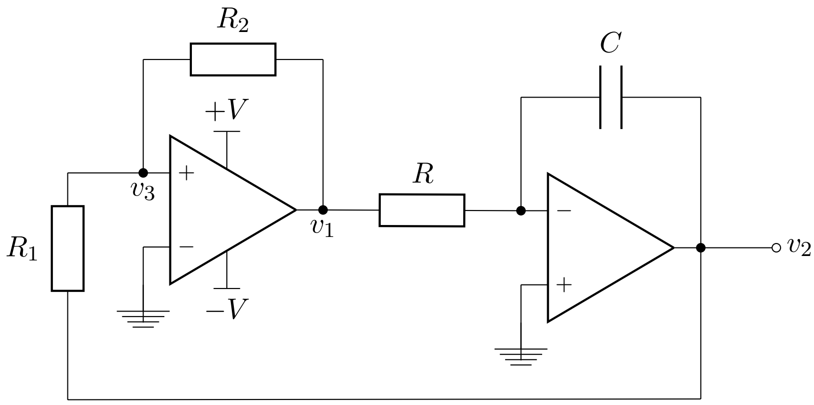
Frekvensnøyaktigheten til en oscillator som er spesifisert for en bestemt frekvens, betegnes ofte i ppm (parts per million). Det vil si hvor mange milliontedelers avvik fra den spesifiserte frekvensen som tillates. Anta at oscillatoren er spesifisert til å svinge med frekvens f_0 og svinger med aktuell frekvens f. Dersom maksimalt avvik fra spesifisert frekvens er Δf_{max} ppm, må altså faktisk avvik $\Delta f = f - f_0$ oppfylle

$$\frac{|\Delta f|}{f_0} \leq \Delta f_{max}/10^6.$$

2 Forslag til kretstopologi

Vi tar utgangspunkt i kretsen vist i figur 1.

For oversiktens skyld er forsyningsspenningene bare vist for operasjonsforsterkeren til venstre. Dette understreker at den er koblet som en komparator, det vil si at utgangsspenningen v_1



Figur 1: Den foreslåtte kretstopologien. Spenningen v_2 vil her ha form som et trekantsignal.

er gitt av

$$v_1 = \begin{cases} V & \text{if } v_3 > 0 \\ -V & \text{if } v_3 < 0. \end{cases} \tag{1}$$

Den andre operasjonsforsterkeren, A_2, er koblet som en integrator, slik at

$$v_2(t) = v_2(0) - \frac{1}{\tau}\int_0^t v_1(t)dt \tag{2}$$

der $\tau = RC$.

Spenningen v_3 vi nå finne ved spenningsdeling:

$$v_3 = v_2 + \frac{R_1}{R_1 + R_2}(v_1 - v_2). \tag{3}$$

At denne kretsen kan brukest som trekantgenerator, kan man argumentere for på følgende vis. Dersom spenninga $v_1(t)$ er et firkantsignal, så vil den integrerte spenningen $v_2(t)$ være et trekantsignal.

At $v_1(t)$ er et firkantsignal følger av at $v_1(t)$ er utgangen av en komparator. Dermed vil det skifte mellom de to ulike verdiene V og $-V$ og være konstant mellom to skifter.

For at $v_1(t)$ skal skifte som beskrevet, må inngangsspenningen $v_3(t)$ variere mellom negative og positive verdier. For å se at det er tilfelle kan vi se på en matematisk analyse av kretsen.

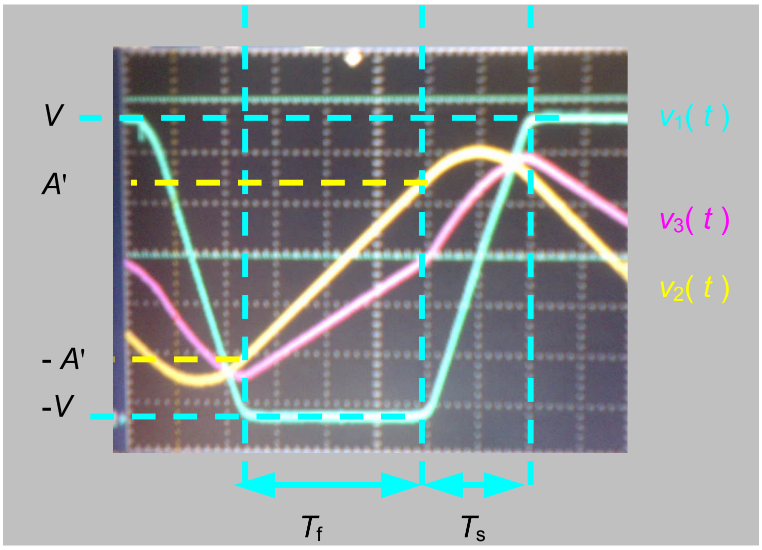
Figur 2 viser oscilloskopbilde av hvordan de tre spenningene $v_1(t)$, $v_2(t)$ og $v_3(t)$ kan se ut.

La oss først se på intervallet hvor $v_1(t)$ har den konstante verdien $-V$. Utgangen av integratoren er da en rett linje. La oss kalle verdien ved starten av intervallet $v_2(0) = -A'$. Ved (2) får vi da

$$v_2(t) = -A' + \frac{V}{\tau}t \tag{4}$$

for dette intervallet.

Samtidig vet vi at $v_3(t)$ er gitt av en spenningsdeler mellom nivåene $v_1(t)$ og $v_2(2)$. Derfor vil alltid $v_3(t)$ ha en verdi som ligger mellom verdiene $v_1(t)$ og $v_2(2)$. Dette ser vi også fra figur



Figur 2: Interne signal i trekantgeneratoren.

2 at stemmer. Som nevnt tidligere vil $v_1(t)$ skift verdi når $v_3(t)$ krysser null-linjen. Tiden det tar fra $v_3(t)$ begynner å stige til den når null-nivået er markert med T_f i figuren.

Sidan operasjonsforsterkerene har symmetrisk forsyningsspenning (V og $-V$) vil vi kunne argumenter for at det genererte signalet vil være symmetrisk om tidsaksen. Dermed vil verdien som $v_2(t)$ slutter på ved $t = T_f$ være $v_2(T_f) = A'$. Setter vi dette inn i (4) finner vi at

$$T_f = \frac{2A'}{V}\tau. \tag{5}$$

Ved å bruke (3) sammen med (4), (5), $v_1(T_f) = -V$ og $v_3(T_f) = 0$ finner vi videre at

$$A' = \frac{R_1}{R_2}V. \tag{6}$$

Setter vi dette inn i (5) finner vi til slutt at

$$T_f = 2\frac{R_1}{R_2}\tau. \tag{7}$$

Det figuren også viser, er at *det tar tid* for komparatoren å skifte fra $-V$ til V. Denne tiden, som er avhengig av operasjonsforsterkeren sine egenskapar er gitt av *stigeraten* SR (engelsk *slew rate*.) Dette er en parameter som man vil finne i datablad for den aktuelle komponenten. Stigetiden i vårt tilfelle blir altså

$$T_s = \frac{2V}{SR} \tag{8}$$

For analysens skyld, setter vi nå $t = 0$ til starten av intervallet merket med T_s i figuren. Innen dette intervallet vil da $v_1(t)$ ha formen

$$v_1(t) = -V + \frac{2V}{T_s}t. \tag{9}$$

Ved (2) finner vi at integratorutgangen vil være gitt av

$$v_2(t) = A' + \frac{V}{\tau}\left(t - \frac{t^2}{T_s}\right) \tag{10}$$

Dette er en parabel med toppunkt midt i intervallet, der verdien vil være

$$v_2(\frac{T_s}{2}) = A' + \frac{VT_s}{4\tau}, \tag{11}$$

som ved (8) kan skrives

$$v_2(\frac{T_s}{2}) = A' + \frac{V^2}{2\tau SR} \tag{12}$$

Parabelformen gjør altså at utgangen av integratoren ikke er perfekt trekantformet. Trekantsignalet får en parabelformet "hump" på toppen, med høyde

$$\Delta A = \frac{V^2}{2\tau SR} \tag{13}$$

over nivået A', slik at amplituden til integratorutgangen blir

$$A = A' + \Delta A. \tag{14}$$

Størrelsen på amplitudetillegget ΔA ser vi er omvendt proporsjonalt med τ og SR. Dermed blir det neglisjerbart for lave frekvenser og/eller raske operasjonsforserkere.

Alle signalene i kretsen vil ha samme periode. Det er lettest å finne denne ved å se på firkantsignalet $v_1(t)$. Symmetrien gir da at perioden blir

$$T = 2(T_f + T_s). \tag{15}$$

3 Designtips

Når vi realiserer en trekantgenerator som gir et signal med en gitt frekvens f_0 har vi flere frihetsgrader. Det vil si at det er flere ukjente enn likninger. Vi setter $f_0 = 1/(2(T_f + T_s))$ og ser at frekensen er avhengig av motstandene R_1 og R_2, tidskonstanten $\tau = RC$ gitt av motstanden R og kapasitansen C, stigeraten SR og forsyningsspenningen V (om vi antar at utgangsspenningen til komparatoren v_1 er lik forsyningsspenningen). SR vet vi fra databladet til operasjonsforsterkeren og for V kan det være praktisk å bruke 5 V. Nå kan det virke rett frem å bare velge R_1, R_2, R og C som gir ønsker f_0, men det er flere praktiske hensyns å tenke på:

- Om vi bruker LF353P i komparatoren i figur 1 så kan vi oppleve at komparatoren fungerer dårlig om v_3 blir for høy. Dette kan testes ved å måle utgangen av komparatoren med skopet og sette forskjellige spenninger på v_3. Siden $v_3 = v_2 + R_1/(R_1 + R_2)(v_1 - v_2)$ må R_2 være stor nok i forhold til R_1 og v_2 må ikke bli for høy.
- Sannsynligvis vil v_1 avvike noe fra $\pm V$.

- Slik som diskutert i øving 3 vil vi bruke motstander av “passe” verdier.

- Amplituden til v_2 må være slik at operasjonsforsterkeren ikke gå i metning og heller ikke bli så stor at v_3 blir for høy. Amplituden er gitt av $A' + \Delta A$ hvor A' og ΔA er gitt i øving 3.

- Ofte vil $A' >> \Delta A$ og $T_f >> T_s$. Dermed blir amplituden avhengig av R_1 og R_2, mens frekvensen er også avhengig av τ. Dermed kan vi, som en først tilnærming, velge R_1 og R_2 slik at komparatoren fungerer og τ slik at frekvensen blir rett. Dette kan være en god nok tilnærming og kan være bra nok under gitte forhold, men det må i så fall undersøkes ved regning eller måling.

A Ciruitikz-kode

Inkluder dette før `\begin{document}`:

```
\usepackage[europeanresistors]{circuitikz}
\tikzset{opampdownlbl/.style={
            below,
            draw=none,
            append after command={
                (\tikzlastnode.north) edge ([shift={(-5pt,0pt)}]\tikzlastnode.north)
                    edge ([shift={(+5pt,0pt)}]\tikzlastnode.north)
            }},
        opampuplbl/.style={
            above,
            draw=none,
            append after command={
                (\tikzlastnode.south) edge ([shift={(-5pt,0pt)}]\tikzlastnode.south)
                    edge ([shift={(+5pt,0pt)}]\tikzlastnode.south)
            }}
}
```

Kode for figur 1:

```
\begin{figure}[htbp]
\centering
\begin{circuitikz}
  \draw
  (0, 0) node[op amp,yscale=-1] (opamp) {}
  (opamp.+) to [short,-] ++(-1,0)
  to[R, l_=$R_1$,-] ++(0,-2)
  to[short,-] ++(0,-1) coordinate(v2v3)
  (opamp.+) to[short,*-] ++(0,1.5) coordinate (leftR)
  to[R, l=$R_2$] (leftR -| opamp.out)
  to[short,-*] (opamp.out) node[below]{$v_1$} coordinate (V1)
  (opamp.-) to node[ground]{} ++(0,-1)
  (opamp.up) ++ (0,-.5) node[opampdownlbl] {$-V$} -- (opamp.up)
  (opamp.down) ++ (0,.5) node[opampuplbl] {$+V$} -- (opamp.down)
 (opamp.+) to node[below]{$v_3$} (opamp.+)

  (5, -0.5) node[op amp] (opamp) {}
  (opamp.-) to[R,l_=$R$,-] (V1)
  (opamp.-) to[short,*-] ++(0,1.5) coordinate (leftC)
  to[C,l^=$C$] (leftC -| opamp.out)
  to[short,-*] (opamp.out)
  to[short,-o] ++(1,0) node[right]{$v_2$}
  (opamp.+) to node[ground]{} ++(0,-1)
  (opamp.out) to[short,-] ++(0,-2)
  to [short,-] (v2v3)
  ;
\end{circuitikz}
\caption{Bla bla.}
\label{fig:trekantoscillator}
\end{figure}
```