

En inre blick av 555-kretsen

Tobias Per Leopold Wennberg
Stockholm Science & Innovation School (SSIS)
tobias.wenn@pm.me

Innehåll

I. Om	(III)
I.I. GND	(III)
I.II. Vcc	(III)
I.III. TRIGGER	(III)
I.IV. OUTPUT	(III)
I.V. RESET	(III)
I.VI. CONTROL	(III)
I.VII. THRESHOLD	(III)
I.VIII. DISCHARGE	(III)
II. INRE DELAR	(III)
II.I. VOLTAGE DIVIDER	(III)
II.II. THRESHOLD- OCH TRIGGER JÄMFÖRARE	(IV)
II.III. LATCH	(IV)
II.IV. OUTPUT	(IV)
II.V. DISCHARGE	(IV)
III. RESULTAT	(V)
IV. LÄGEN	(V)
IV.I. ASTABIL	(V)
IV.I.I. HÄRLEDNING FORMLER	(VI)
IV.II. MONOSTABIL	(IX)
IV.II.I. HÄRLEDNING FORMEL	(IX)
IV.III. BISTABIL SR LATCH	(X)

I. Om

En 555 timer integrerad krets (IC) är en typisk krets för att skapa timer funktioner. Dessa kan vara förskjutningar, eller pulsgenerering. Pinouten är följande:

1. GND
2. V_{cc}
3. $\overline{\text{TRIGGER}}$
4. OUTPUT
5. $\overline{\text{RESET}}$
6. CONTROL
7. THRESHOLD
8. DISCHARGE

I.I. GND

Ground/jord Detta är jord och ska (oftast) kopplas till motsvarande jord i kretsen.

I.II. V_{cc}

Voltage Common (c) ska kopplas till ström.

I.III. $\overline{\text{TRIGGER}}$

När $\overline{\text{TRIGGER}}$ faller lägre än $\frac{1}{2}$ av V_{CONTROL} blir OUTPUT hög och timer intervallen startar. Medan $\overline{\text{TRIGGER}}$ fortsätter vara låg är OUTPUT hög.

I.IV. OUTPUT

push-pull kontakten (p.p) driver mellan låg och hög.

I.V. $\overline{\text{RESET}}$

Timinginterval återställs när denna blir låg.

I.VI. CONTROL

Ger tillgång till interna spänningsdivideraren. Kopplas oftast till en $470\mu F$ kondensator.

I.VII. THRESHOLD

När denna är högre än V_{CONTROL} slutar OUTPUT hög intervallen och OUTPUT blir låg.

I.VIII. DISCHARGE

Detta är en *open-drain (O.D)* port. Den kopplas till GND när OUTPUT är låg.

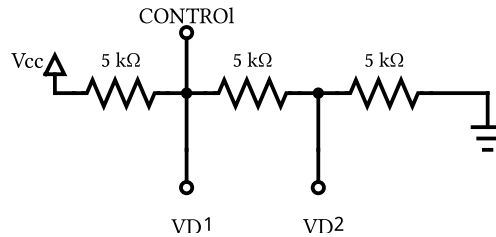
II. INRE DELAR

En 555-timer's krets är uppdelad av 6 delar:

1. Voltage divider
2. THRESHOLD jämnförare
3. $\overline{\text{TRIGGER}}$ jämnförare
4. Latch
5. Output
6. Discharge

II.I. VOLTAGE DIVIDER

Härifrån kommer namnet 555 i 555-timer. Det är tre $5k\Omega$ motstånd seriekopplade mellan jord och spänning:



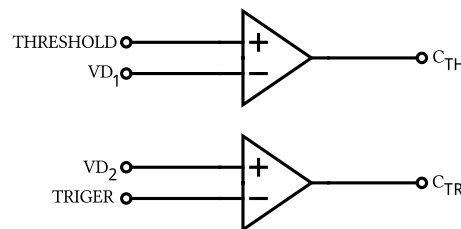
Detta ger en spänning av $\frac{1}{3} V_{cc}$ vid VD_1 och $\frac{2}{3} V_{cc}$ vid VD_2

II.II. THRESHOLD- OCH TRIGGER JÄMFÖRARE

En jämförare jämför två spänningar. Den ger hög om $V_+ > V_-$ och låg om $V_+ < V_-$

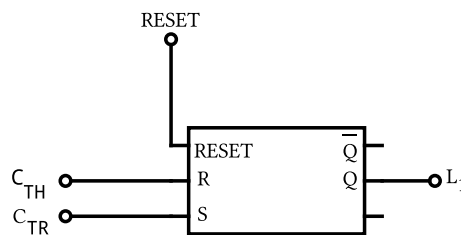
$$V_{out} := \begin{cases} 1 & \text{om } V_+ > V_- \\ 0 & \text{om } V_+ < V_- \end{cases}$$

Det är två jämförare i 555'an. Threshold jämföraren jämför VD_1 (från Voltage Divider) och THRESHOLD; trigger jämföraren jämför VD_2 med $\overline{TRIGGER}$.



II.III. LATCH

555'an använder en set-release (SR) latch som sparar statusen på timern. En SR-latch bevarar senaste inputen: om senast S var hög är Q hög och $\overline{Q}$ låg; om senast R var hög är $\overline{Q}$ hög och Q låg. Många latch'ar har även en *RESET* som tar Q låg och $\overline{Q}$ hög. Vissa SR-latch'ar har inte $\overline{Q}$ och på 555'an är den oanvänd. Latchen är kopplad mellan C_{TH} och C_{TR} från jämförarna.

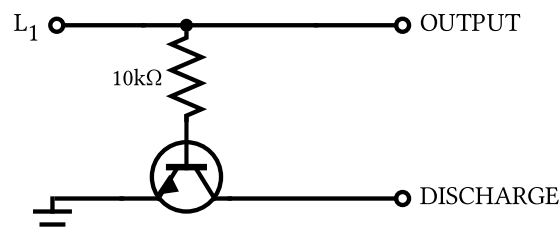


II.IV. OUTPUT

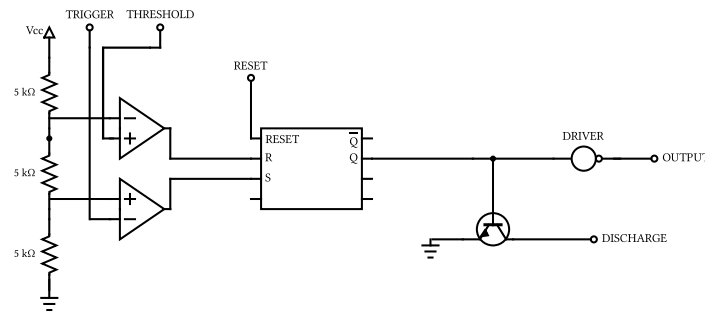
Denna förstärker **inversen** av signalen från Latch.

II.V. DISCHARGE

Kopplar DISCHARGE till GND när OUTPUT/Latch är hög.



III. RESULTAT



IV. LÄGEN

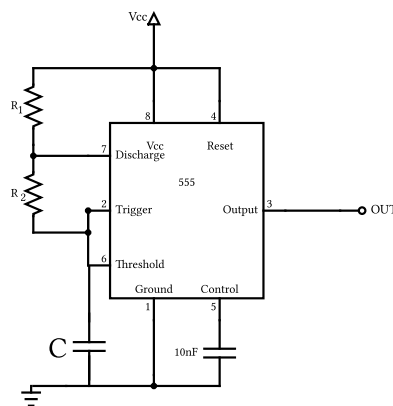
Man kan koppla in 555 kretsen på många sätt. Dessa sätt kallas lägen. Beroende på läget fungerar kretsen på olika sätt. De främsta lägena är

- Astabil
- Monostabil
- Schmitt trigger

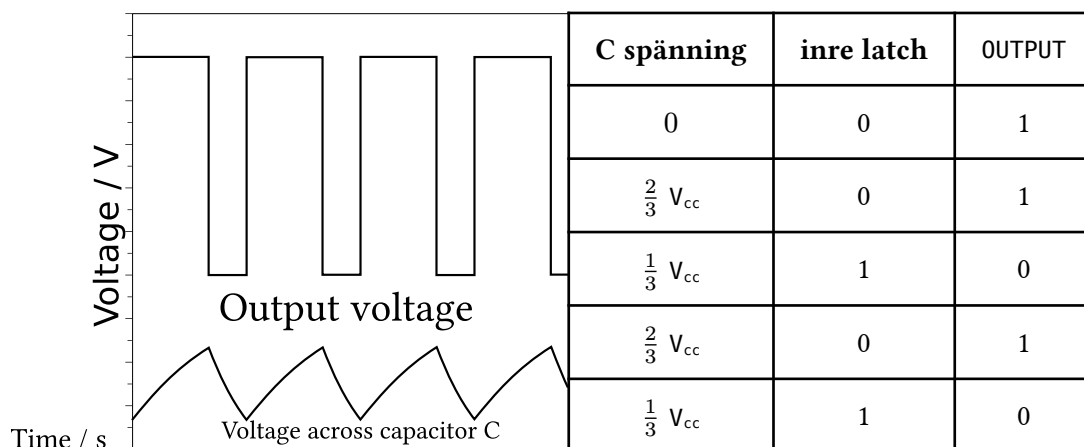
Några andra noterbara är

- **Sågtands oscillatorn** som skapar vågor gradvis och sedan dyker, likt ett sågblad.
- **Låg sändningscykel oscillatorn**, som skapar en kort hög puls.
- **Pulsbredds modulatore**
- **Förlorad puls detektor**, som märker om en puls inte kom.

IV.I. ASTABIL



i astabilt läge ger 555'an en kontinuerlig rektangulär puls med en satt period.



1. C är 0V, vilken innebär att TRIGGER är $< \frac{1}{3} V_{cc}$ och OUTPUT = 1. Det innebär även att DISCHARGE är öppen och kondensatorn laddas.
2. C är $> \frac{2}{3} V_{cc}$ vilket innebär DISCHARGE $> \frac{2}{3} V_{cc}$ och OUTPUT = 0. Det innebär även att DISCHARGE är stängd och kondensatorn börjar laddas ur.
3. C är $< \frac{1}{3} V_{cc}$ vilket innebär att DISCHARGE är $< \frac{1}{3} V_{cc}$ och OUTPUT = 1. DISCHARGE öppnas och kondensatorn börjar laddas.

Notera att laddningen går genom R_1 och R_2 medan urladdningen endast går genom R_2 . Detta innebär att OUTPUT kommer vara hög längre än låg. Ekvationen är

$$t_{\text{high}} = \ln 2 \cdot (R_1 + R_2)C$$

$$t_{\text{low}} = \ln 2 \cdot R_2 C$$

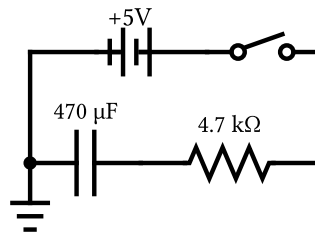
och frekvensen f blir

$$f = \frac{1}{t_{\text{high}}} + t_{\text{low}} = \frac{1}{\ln 2 \cdot (R_1 + 2R_2)C}$$

och sändningssyckeln (D) blir

$$D(\%) = \frac{t_{\text{high}}}{t_{\text{high}} + t_{\text{low}}} \cdot 100 = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2} \cdot 100$$

IV.II. HÄRLEDNING FORMLER



För en RC laddningskrets, där man laddar en kondensator över ett motstånd, tar det en viss tid för kondensatorn att ladda. Denna tid kommer bero på motståndet - R - och kondensatorns - C .

För fallande läget av spänningen över kondensatorn gäller differentialekvationen

$$C \frac{dV}{dt} + \frac{V}{R} = 0$$

Där V är spänningen över kondensatorn, C kapacitansen och R motståndet mellan kondensatorn positiva och negativa sida.



$$\frac{dV}{dt} + \frac{V}{RC} = 0$$

$$\text{I.F. } e^{\frac{t}{RC}}$$

$$\frac{d}{dt} V e^{\frac{t}{RC}} = 0$$

$$V e^{\frac{t}{RC}} = K, \text{ där } K \text{ är en konstant}$$

$$V = K e^{-\frac{t}{RC}}$$

Den allmänna formel för en kondensators naturliga urladdning i en RC krets är därmed $V = Ke^{-\frac{t}{RC}}$. Vi kan nu applicera den för bistabila 555-kretsen:

$$\begin{aligned} V &= Ke^{-\frac{t}{RC}} \\ V(0) &= \frac{2}{3}\varepsilon, \text{ där } \varepsilon \text{ är spänningen i kretsen} \\ K &= \frac{2}{3}\varepsilon \\ V &= \frac{2}{3}\varepsilon e^{-\frac{t}{RC}} \\ V(t_1) &= \frac{\varepsilon}{3} \\ \frac{2}{3}\varepsilon e^{-\frac{t_1}{RC}} &= \frac{\varepsilon}{3} \\ e^{-\frac{t_1}{RC}} &= \frac{1}{2} \\ -\frac{t_1}{RC} &= \ln \frac{1}{2} \\ t_1 &= \ln 2 \cdot RC \end{aligned}$$

En allmän funktion för spänningsändringen för en kondensator i en RC-krets är lite mer komplicerad att härleda. Enligt *Kirchoff's lag* vet vi $\varepsilon - V_R - V_C = 0$ där ε är kretsens spänning, V_R är spänningen över motståndet och V_C spänningen över kondensatorn i våran krets där resistorn och kondensatorn är seriekopplad mellan spänningskällan och jord. Kapacitans är definierad $C = \frac{q}{U} \equiv V_C = \frac{q}{C}$. Med *Ohm's lag* vet vi $V_R = IR$ och ströms definition vet vi $I = \frac{dq}{dt}$.

$$\begin{aligned} \varepsilon - V_R - V_C &= 0 \\ \varepsilon - IR - \frac{q}{C} &= 0 \\ \varepsilon - R\frac{dq}{dt} - \frac{q}{C} &= 0 \end{aligned}$$

Vi löser diff. ekvationen

$$\begin{aligned} \frac{dq}{dt} + \frac{q}{CR} &= \frac{\varepsilon}{R} \\ \text{I.F. } e^{\frac{t}{CR}} & \\ \frac{d}{dt} q e^{\frac{t}{CR}} &= \frac{\varepsilon}{R} e^{\frac{t}{CR}} \\ q e^{\frac{t}{CR}} &= \int \frac{\varepsilon}{R} e^{\frac{t}{CR}} dt = C\varepsilon \cdot e^{\frac{t}{CR}} + K, \text{ Där } K \text{ är en konstant} \\ q &= C\varepsilon + Ke^{-\frac{t}{CR}} \end{aligned}$$

Om kretsen startar på 0C säger vi

$$\begin{aligned}
q(0) &= 0 \\
C\varepsilon + Ke^{-\frac{0}{CR}} &= 0 \\
C\varepsilon + K &= 0 \\
K &= -C\varepsilon \\
q &= C\varepsilon - C\varepsilon \cdot e^{-\frac{t}{CR}} \\
&= C\varepsilon(1 - e^{-\frac{t}{CR}})
\end{aligned}$$

För överiga värden på startladdningen q_0 räknas

$$\begin{aligned}
q(0) &= q_0 \\
C\varepsilon + Ke^{-\frac{t}{CR}} &= q_0 \\
C\varepsilon + K &= q_0 \\
K &= q_0 - C\varepsilon \\
q &= C\varepsilon + (q_0 - C\varepsilon)e^{-\frac{t}{CR}}
\end{aligned}$$

Nu kan vi skapa en funktion för spänningen

$$V_c = \frac{q}{C} = \frac{C\varepsilon + (q_0 - C\varepsilon)e^{-\frac{t}{CR}}}{C} = \varepsilon + \frac{q_0 - C\varepsilon}{C}e^{-\frac{t}{CR}} = \varepsilon + (V_0 - \varepsilon)e^{-\frac{t}{CR}}$$

Med denna formel kan vi härleda båda faserna för astabila läget.

Vi sätter R_1 och R_2 som motstånden och C_1 kondensatorn i vår 555-krets. För fas 1 löser vi t:

$$\begin{aligned}
R &= R_1 + R_2 \\
C &= C_1 \\
V_0 &= \frac{1}{3}\varepsilon \\
V_c(t) &= \frac{2}{3}\varepsilon \\
\varepsilon + \left(\frac{1}{3}\varepsilon - \varepsilon\right)e^{-\frac{t}{CR}} &= \frac{2}{3}\varepsilon \\
\frac{3}{2} + \frac{1}{2} - \frac{3}{2}e^{-\frac{t}{CR}} &= 1 \\
e^{-\frac{t}{CR}} &= \frac{1}{2} \\
\frac{t}{CR} &= \ln 2 \\
t &= \ln 2 \cdot CR = \ln 2 \cdot C_1(R_1 + R_2)
\end{aligned}$$

För fas 2:

$$R = R_2$$

$$C = C_1$$

$$V_0 = \frac{2}{3}\varepsilon$$

$$V_c(t) = \frac{1}{3}\varepsilon$$

$$\varepsilon + \left(\frac{2}{3}\varepsilon - \varepsilon\right)e^{-\frac{t}{CR}} = \frac{1}{3}\varepsilon$$

$$3 + (2 - 3)e^{-\frac{t}{CR}} = 1$$

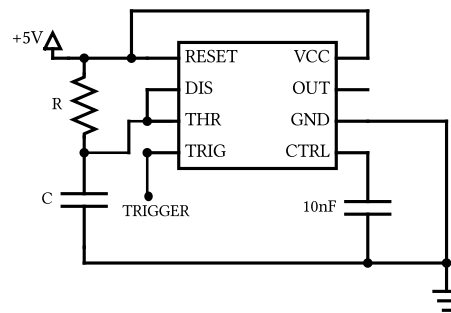
$$e^{-\frac{t}{CR}} = 2$$

$$\frac{t}{CR} = \ln 2$$

$$t = \ln 2 \cdot CR = \ln 2 \cdot CR_2$$

IV.II. MONOSTABIL

I monostabilt läge produceras en hög puls under en viss tid, beroende på R och C när TRIG ger en puls $> \frac{1}{3}V_{cc}$ (hög). TRIG's normalläge ska vara $< \frac{1}{3}V_{cc}$ (låg).



1. TRIG börjar låg. THRESHOLD $> \frac{2}{3} V_{cc}$ vilket innebär att OUTPUT = 0 och DISCHARGE är öppen. $V_C \rightarrow 0$
2. TRIG ger en puls. Latchen slår om, OUTPUT blir hög, DISCHARGE stängs, och kondensatorn börjar ladda genom motståndet.
3. $V_C > \frac{2}{3} V_{cc}$. Latchen slår om, OUTPUT blir låg, DISCHARGE öppnas, och kondensatorn laddar ur snabbt.

Tiden för att ladda motståndet är $t = RC \ln 3$

IV.II.I. HÄRLEDNING FORMEL

Vi vet från härledningen för bistabil att tiden för spänningsförändringen för kondensatorn i en RC-krets är

$$V_c = \varepsilon + (V_0 - \varepsilon)e^{-\frac{t}{CR}}$$

Spänningen i kondensatorn vid start är försumbar, och den är klar vid $V_C = \frac{2}{3} V_{cc}$.

$$V_c = \varepsilon + (V_0 - \varepsilon)e^{-\frac{t}{CR}}$$

$$V_0 = 0$$

$$V_c = \varepsilon - \varepsilon e^{-\frac{t}{CR}} = \varepsilon(1 - e^{-\frac{t}{CR}})$$

$$V_c(t_1) = \frac{2}{3}\varepsilon$$

$$\varepsilon(1 - e^{-\frac{t_1}{CR}}) = \frac{2}{3}\varepsilon$$

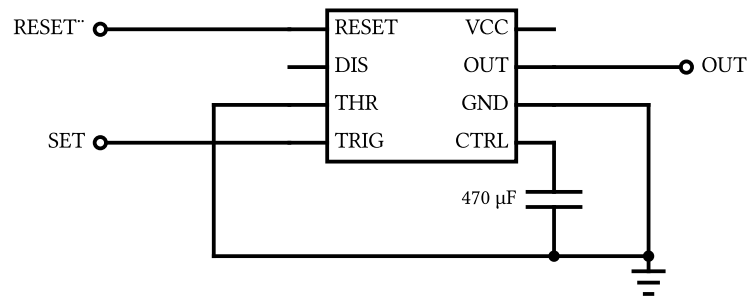
$$1 - e^{-\frac{t}{CR}} = \frac{2}{3}$$

$$e^{-\frac{t}{CR}} = \frac{1}{3}$$

$$t = CR \ln 3$$

IV.III. BISTABIL SR LATCH

555'an kan användas som en aktiv-låg SR latch



Hur denna krets fungerar är trivialt och lämnas som uppgift åt läsaren.