

Vrij te kiezen onafhankelijke hystereseniveaus voor comparatoren

met simulaties, spreadsheets en algebra

Stephen Bernhoeft (Verenigd Koninkrijk)

Bij het configureren van comparatoren willen we vaak beide hystereseniveaus nauwkeurig en onafhankelijk van elkaar kiezen. En dat is heel goed mogelijk. In dit artikel bespreken we hoe je dat voor elkaar krijgt.

In de beschikbare literatuur is meestal weinig te vinden over de keuze van de juiste weerstandswaarden voor de gewenste hystereseniveaus in comparatorschakelingen, behalve voor het geval waar de schakeldrempels op even ver van de voedingsrails moeten komen. In dit artikel leiden we met wat algebra enkele formules af voor populaire schakelingen aan zowel de inverterende als de niet-inverterende ingang. De spreadsheets, afleidingen, en *LTSpice*-schema's zijn beschikbaar als download [1].

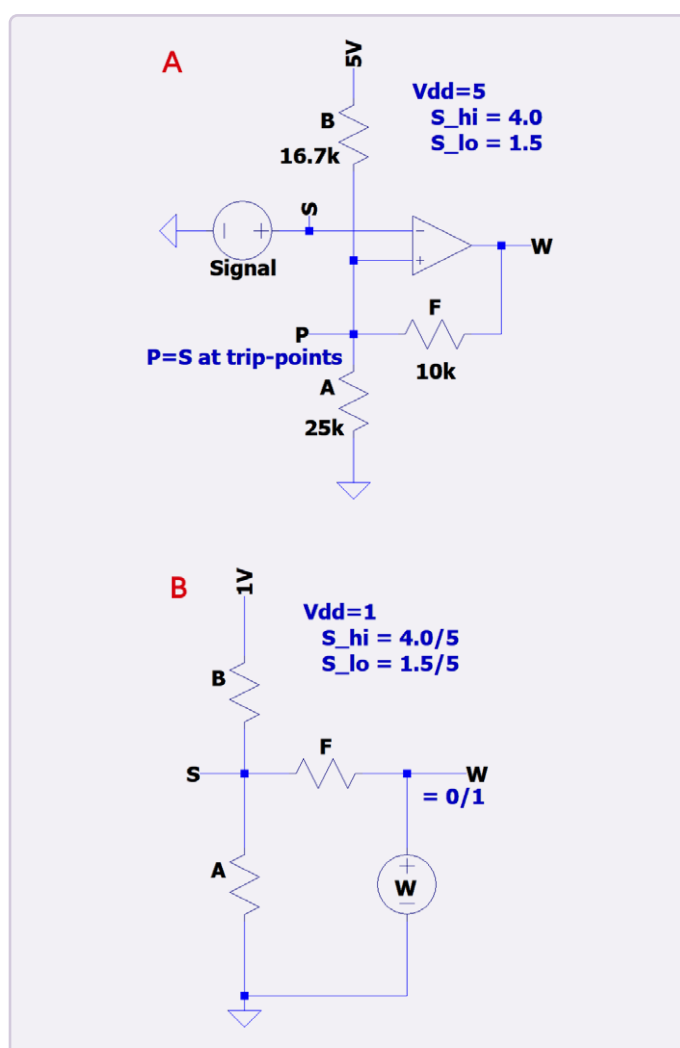
De resultaten zijn geldig voor:

- > comparatoren met rail-to-rail uitgangen
- > comparatoren met open-collector uitgangen en $R_{PULLUP} \ll R_{FEEDBACK}$

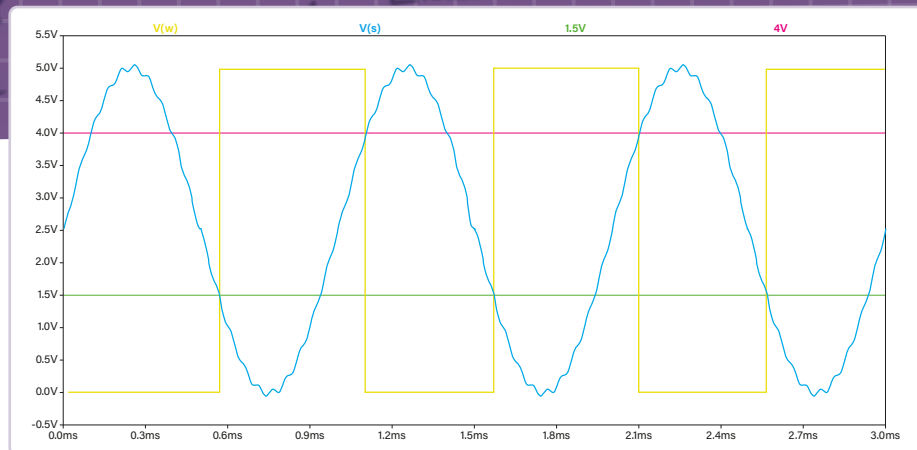
Voor een open-collector ontwerp kies je eerst R_{PULLUP} en maak je dan $R_{FEEDBACK}$ (aangeduid met 'F' in de rest van dit artikel) minstens $10 \times R_{PULLUP}$. De andere weerstanden worden berekend op basis van F.

Parameters

Kies de gewenste schakeldrempels en let op de uitgangsniveaus. De waarden mogen worden geschaald, maar voor open-collector schakelingen moet je op de pullup-waarde letten.



Figuur 1. Boven: de echte schakeling (A); onder: een vereenvoudigde versie voor onze analyse (B).



Figuur 2. De gesimuleerde signalen van schakeling (A) uit figuur 1.

Schema voor inverterende ingang

Zie voor dit geval **figuur 1**. De voordelen van deze configuratie zijn dat er geen aparte referentie nodig is, dat de ingangsimpedantie hoog is en dat weinig componenten nodig zijn. Het inverterende gedrag kan echter lastig zijn, zeker als je het aantal onderdelen wilt minimaliseren. In het vereenvoudigde schema in figuur 1b zien we dat F effectief parallel staat aan B (als $W = 1$) of A (als $W = 0$). De voedingsspanning is 1 V om het rekenwerk te vereenvoudigen. Natuurlijk kan de voedingsspanning worden geschaald. Als de voedingsspanning bijvoorbeeld 5 V is bij een drempelwaarde van 4 V, dan is dat te schalen naar een voedingsspanning van 1 V en een drempelwaarde van $4/5$ V, dus 0,8 V. W schakelt om als $P = S$, dus we kunnen aannemen dat $P = S$ bij beide schakeldrempels. In figuur 1a loopt knooppunt P mee met de uitgang van de comparator. We kunnen P herbenoemen naar S in het schema van figuur 1b omdat P dezelfde waarde heeft als S .

Als we nu definiëren:

- S_{LO} = lage schakeldrempel
- S_{HI} = hoge schakeldrempel

En we stellen:

$$k_{BF} = \frac{S_{HI} - S_{LO}}{S_{LO}} = \frac{B}{F}; \quad k_{AB} = \frac{S_{LO}}{1 - S_{HI}} = \frac{A}{B}$$

dan krijgen we:

geval 1: vaste A

$$B = \frac{A}{k_{AB}}; \quad F = \frac{B}{k_{BF}}$$

geval 2: vaste B

$$A = B \cdot k_{AB}; \quad F = \frac{B}{k_{BF}}$$

geval 3: vaste F

$$B = F \cdot k_{BF}; \quad A = B \cdot k_{AB}$$

We kennen nu de verhoudingen $A : B$ en $B : F$ voor de gekozen schakeldrempels. Als we één weerstand kiezen (A , B of F), kunnen

we de twee andere waarden berekenen. In **figuur 2** zie je de gesimuleerde signalen van schakeling (A).

Ontwerpoverwegingen

Bij de keuze van drempelwaarden spelen verschillende overwegingen een rol:

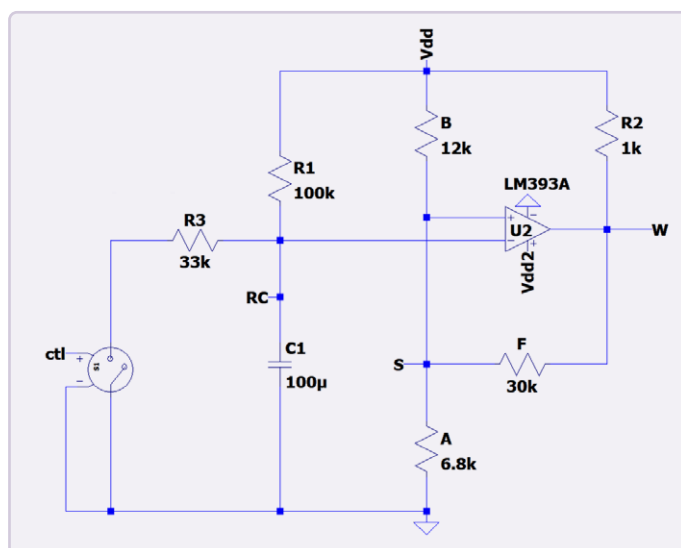
- voor RC-timingschakelingen: vermijd de langzame 'staart' van de RC-curve, want daar heeft een heel kleine verandering in spanning een grote invloed op de tijd;
- drempelwaarden moeten zo veel mogelijk onafhankelijk zijn van de offsetspanningen van de comparator. Daarom moet de laagste drempelspanning veel groter zijn dan de (absolute) waarde van die offsetspanning.

Met behulp van een spreadsheet [1] zien we dat bij een zeer lage waarde voor S_{LO} een groot verschil ontstaat tussen de vereiste weerstandswaarden voor A , B en F . Dat is duidelijk niet ideaal met het oog op de toleranties van de componenten. De beste relatieve nauwkeurigheid wordt bereikt als A , B en F niet te veel in waarde verschillen.

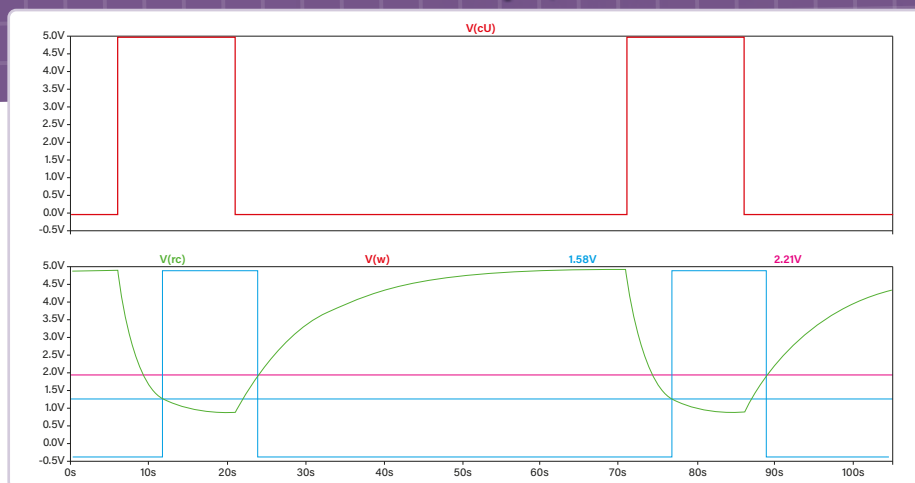
Toepassingen

Een praktijkvoorbeeld: de auteur was betrokken bij het ontwerp van een rookalarmsysteem. In het begin dachten we aan een analoog ontwerp, gebaseerd op een metaaloxidesensor (we durfden zelf geen software te schrijven voor zo'n veiligheidskritische toepassing).

Stel dat we 3 seconden rookdetectie willen voordat de alarmuitgang wordt geactiveerd, maar 6 seconden zonder rook voordat het alarm wordt gestopt. In **figuur 3** zie je een mogelijke schakeling en in **figuur 4** de gesimuleerde uitgangssignalen.



Figuur 3. De ingangstrap van een rookdetector. Als de schakelaar gesloten is, geldt $R_{EQ} = 25 \text{ k}\Omega$ en $V_{EQ} = 1,25 \text{ V}$. Als de schakelaar open is, geldt $R_{EQ} = 100 \text{ k}\Omega$ en $V_{EQ} = 5 \text{ V}$. $\Delta V = (5 - 1,25) = 3,75 \text{ V}$.



Figuur 4. De gesimuleerde uitgangssignalen van de schakeling uit figuur 3.

Als geen rook wordt gedetecteerd, is de schakelaar gesloten en de condensator laadt op tot een niveau van 5/4 V door een effectieve weerstand ter waarde van $R_{EQ} = R1||R3$. Als wel rook wordt gedetecteerd, opent het signaal ct schakelaar S1, zodat het RC-circuit wordt opgeladen van 1,25 V naar $V_{DD} = 5$ V.

Een spreadsheet geeft de benodigde drempelwaarden, en een ander spreadsheet geeft de omzetting van die spanningen naar weerstandswaarden voor A , B en F .

Schema voor niet-inverterende ingang

We gaan nu kijken naar de configuratie voor een niet-inverterende ingang (zie **figuur 5**). In dit geval hebben we een ingangsimpedantie van $A+F$. Deze configuratie is wat lastiger te analyseren.

We schrijven:

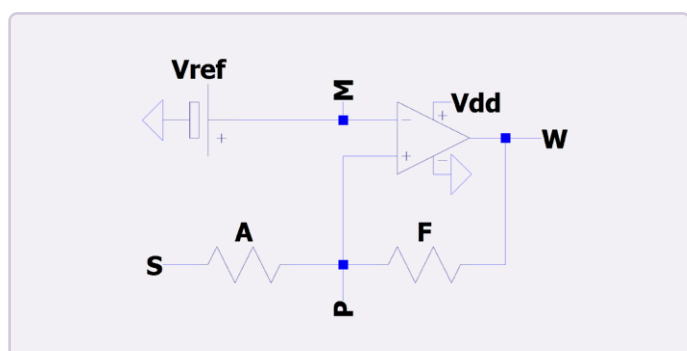
$$\Delta S = S_{HI} - S_{LO}; \quad \Delta W = W_{HI} - W_{LO}$$

$$\Sigma S = S_{HI} + S_{LO}; \quad \Sigma W = W_{HI} + W_{LO}$$

Dan is:

$$\frac{A}{F} = \frac{\Delta S}{\Delta W}$$

$$M = \frac{A \cdot \Sigma W + F \cdot \Sigma S}{2 \cdot (A + F)}$$



Figuur 5. De niet-inverterende configuratie.

M kan ook onafhankelijk van A of F worden berekend:

$$M = \left(\frac{1}{2} \right) \cdot \left(\frac{1}{\Delta W + \Delta S} \right) \cdot (\Delta S \cdot \Sigma W + \Delta W \cdot \Sigma S)$$

Voorbeeld

Stel dat we een lage schakeldrempel willen bij $S_{LO} = 0,5$ en een hoge drempel bij $S_{HI} = 3,0$, met als uitgangsniveaus $W_{LO} = 0$ en $W_{HI} = 5$. Dan geldt: $A/F = (3-0,5)/(5-0) = 0,5$ en $M = 0,5 \times 1/(5+2,5) \times (2,5 \times 5 + 5 \times 3,5) = 2$ V.

De resultaten zijn te zien in **figuur 6**.

Hysteresis voor stroomingangen

Als we weerstand A verbinden met massa, verandert de schakeling van figuur 3 in een comparator met stroomingang, zoals in **figuur 7** en **figuur 8**. De waarde van weerstand F volgt direct uit ΔW en ΔI . Dan kan de deilverhouding β worden bepaald. En tenslotte kunnen we de waarde van A berekenen. Een spreadsheet helpt hier, want we willen zowel β als A zo nauwkeurig mogelijk realiseren met behulp van standaard weerstandswaarden.

$$\beta = \frac{A}{A+F}; \quad R_p = \frac{A \cdot F}{A+F}$$

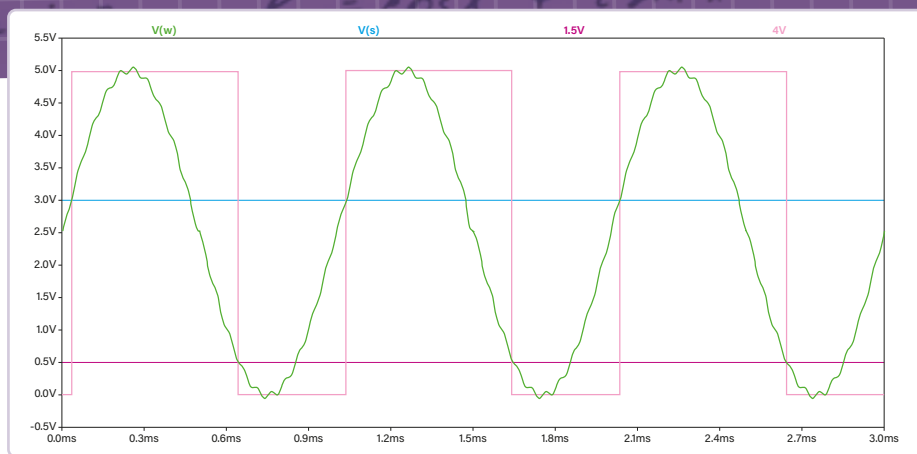
$$P = \beta \cdot W_H + I_L \cdot R_p = \beta \cdot W_L + I_H \cdot R_p$$

$$\beta \cdot \Delta W = R_p \cdot \Delta I; \quad \frac{R_p}{\beta} = F = \frac{\Delta W}{\Delta I}$$

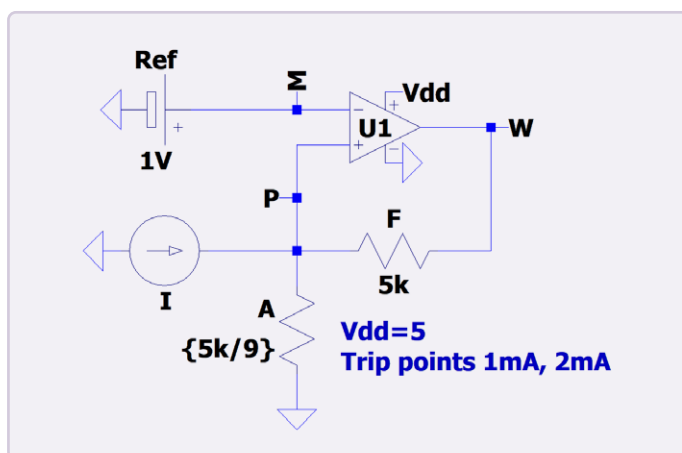
$$W_L = \frac{P - I_H \cdot R_p}{\beta} = \frac{P - I_H \cdot F \cdot \beta}{\beta} = \frac{P}{\beta} - I_H \cdot F$$

$$\frac{P}{\beta} = W_L + I_H \cdot F \rightarrow \beta = \frac{P}{W_L + I_H \cdot F}$$

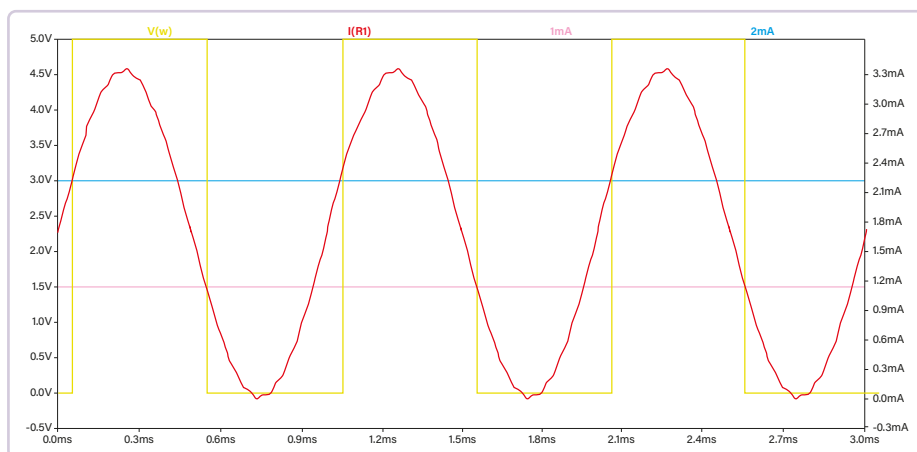
$$A = \frac{F \cdot \beta}{1 - \beta}$$



Figuur 6. De gesimuleerde signalen van de schakeling uit figuur 5.



Figuur 7. De schakeling uit figuur 3 aangepast voor een stroom-input.



Figuur 8. De gesimuleerde uitgangssignalen van de schakeling uit figuur 7.

Simulaties, spreadsheets en afleidingen

De simulaties, spreadsheets en de volledige afleidingen van de formules in dit artikel kunnen worden gedownload van de projectpagina bij dit artikel [1].

vertaling Evelien Snel — 200559-03

Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de redactie van Elektor via redactie@elektor.com.



Gerelateerde producten

- > Paul Horowitz, Winfield Hill, *The Art of Electronics (3rd Edition)* (SKU 17167) www.elektor.nl/17167
- > Gilles Brocard, *The LTspice XVII Simulator* (SKU 19741) www.elektor.nl/19741

WEBLINK

[1] Projectpagina bij dit artikel: <http://www.elektormagazine.nl/200559-03>