

## MAX038 functiegenerator IC

De MAX038 hoorde, met zijn bandbreedte tot 20 MHz, tot de tweede generatie functiegenerator-IC's. Hoewel dit IC niet meer in productie is, kunt u het nog steeds kopen als basis van een zélf ontworpen semi-professionele functiegenerator.

**Auteur:** Jos Verstraten, Landgraaf, Nederland  
**Email:** josverstraten@live.nl  
**Publicatiedatum:** 31-07-2020

### Kennismaking met de MAX038

#### Waar kunt u dit IC kopen?

Bij de bekende Nederlandse elektronica postorderbedrijven vist u achter het net, die hebben het niet meer. Op AliExpress wordt dit IC echter door diverse leveranciers vanaf ongeveer € 5,00 aangeboden. Via hetzelfde platform kunt u twee bouwpakketjes rond dit IC vinden voor prijzen vanaf € 18,00. Hiermee krijgt u op een goedkope manier alle componenten in huis die u nodig hebt om zélf met dit prachtige IC te gaan experimenteren.



*Twee goedkope bouwpakketjes die u via AliExpress kunt bestellen. (© AliExpress)*

#### De MAX038 van Maxim Integrated

De MAX038 is een hoogfrequente zeer nauwkeurige functiegenerator die met een minimaal aantal externe componenten sinusvormige, zaagtandvormige, driehoekvormige, rechthoekvormige en pulsvormige signalen genereert. De uitgangsfrequentie, instelbaar tussen 0,1 Hz en 20 MHz, wordt bepaald door een extern RC-netwerk, een stroom en een interne bandgap-referentie van 2,5 V.

De duty-cycle is instelbaar tussen 10 % en 90 % door het aanleggen van een stuurspanning van  $\pm 2,3$  V. Frequentiemodulatie en -sweeping kunnen op dezelfde manier worden ingesteld. De vorm van het uitgangssignaal wordt digitaal ingesteld door een binaire code op twee TTL-compatibele SELECT-pennen. Alle uitgangssignalen zijn volledig symmetrisch ten opzichte van de massa en hebben een top-tot-top waarde van 2 V. De afsluitende buffer heeft een zeer lage uitgangsimpedantie en kan stromen tot  $\pm 20$  mA leveren dan wel sinken. Er staat

een TTL-compatibele SYNC-uitgang ter beschikking die onder alle omstandigheden een tijdsymmetrisch signaal genereert met dezelfde frequentie als het hoofdsignaal. De MAX038 heeft een interne fase-comparator, die u kunt gebruiken om het IC op een gebruikersvriendelijke manier op te nemen in een PLL, een Phase Locked Loop.

### **De voornaamste high-lights van de MAX038**

- 0,1 Hz tot 20 MHz frequentiebereik.
- Sweepbereik over een 1 op 350 bereik.
- 0,75 % vervorming op de sinus.
- 0,1  $\Omega$  uitgangsimpedantie.
- 200 ppm/ $^{\circ}$ C temperatuursdrift op de frequentie.
- 10 % tot 90 % duty-cycle.

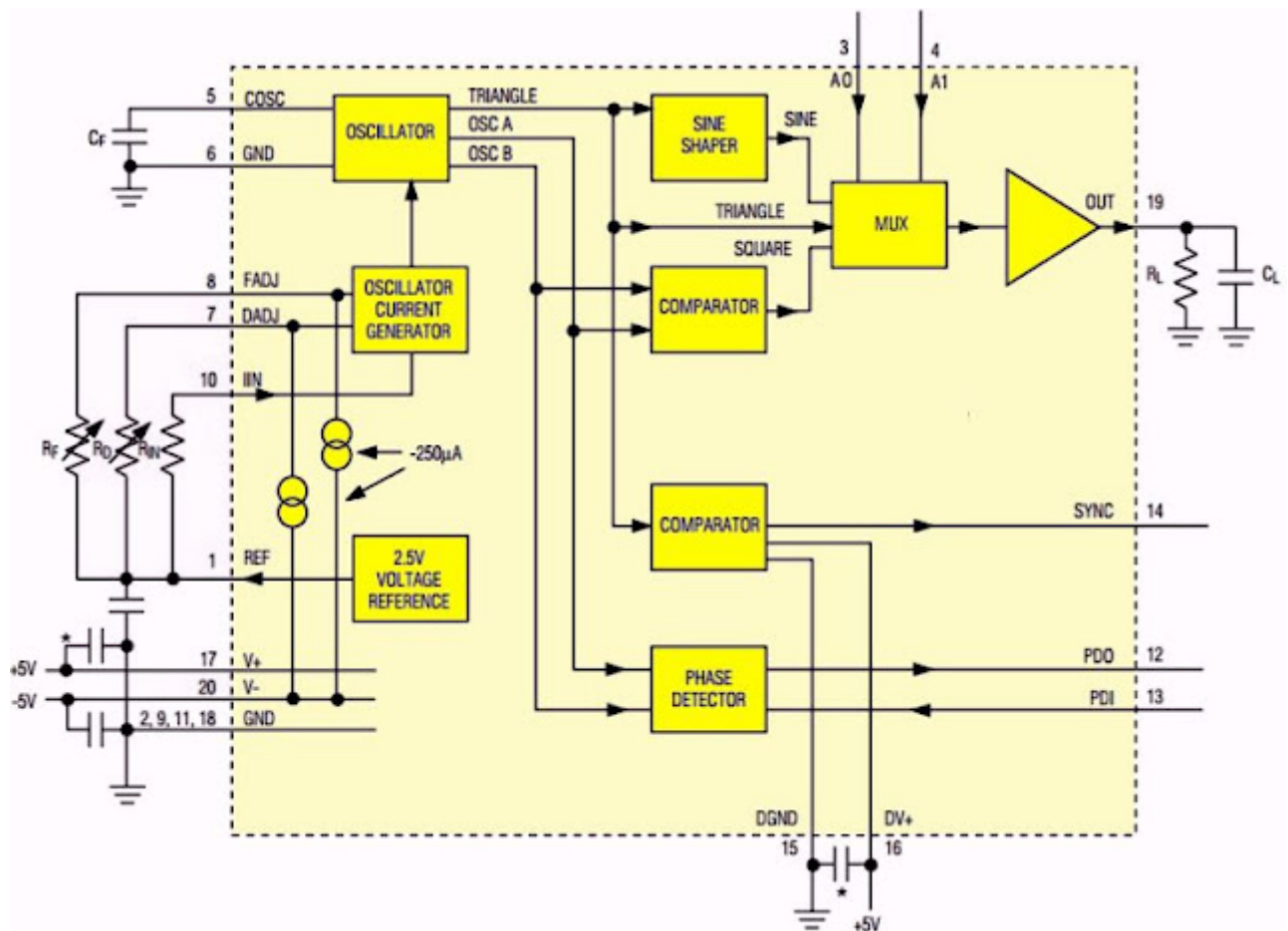
### **Het intern blokschema en de werking**

Het intern blokschema en de minimale externe configuratie zijn voorgesteld in de onderstaande figuur.

De interne oscillator is een relaxatie type, waarvan de frequentie wordt bepaald door het op- en ontladen van een condensator door middel van twee constante stromen. Op deze manier ontstaan driehoek- en blokvormige signalen. De stroomsterkten van deze twee stromen worden gecontroleerd door de stroom die in de pen IIN (10) vloeit en worden gemoduleerd door de spanning die wordt aangesloten op de FADJ en DADJ pennen (8 en 7). Op deze manier kunt u zowel de duty-cycle regelen als frequentiemodulatie toepassen. De stroom die in de IIN pen vloeit kan liggen tussen 2  $\mu$ A en 750  $\mu$ A. U kunt dus de frequentie over meer dan twee decaden variëren met een en dezelfde externe condensator.

Door het aanleggen van een gelijkspanning tussen -2,4 V en +2,4 V op de FADJ pen kunt u de frequentie van het uitgangssignaal over  $\pm 70$  % variëren. Deze instelling kan dienen als extra fijninstelling van de uitgangsfrequentie. Door de aanwezigheid van een zeer stabiele interne referentie met een uitgangsspanning van 2,5 V kunt u de genoemde instellingen realiseren met behulp van vaste weerstanden of potentiometers tussen deze referentie en de pennen IIN, FADJ en DADJ.

Na de relaxatie oscillator volgt een driehoek-naar-sinus omzetter met een zeer lage eigen vervorming. Een binair gecontroleerde analoge multiplexer schakelt de driehoek, sinus of vierkant uitgangen door naar de bufferversterker.



Intern blokschema van de MAX038. (© Maxim Integrated)

De schakelstand van deze multiplexer wordt gecontroleerd door de TTL-compatibele spanningen op de ingangen A0 (3) en A1 (4) en wel als volgt:

- **Sinus:** A0 = 'X' A1 = 'H'
- **Vierkant:** A0 = 'L' A1 = 'L'
- **Driehoek:** A0 = 'H' A1 = 'L'

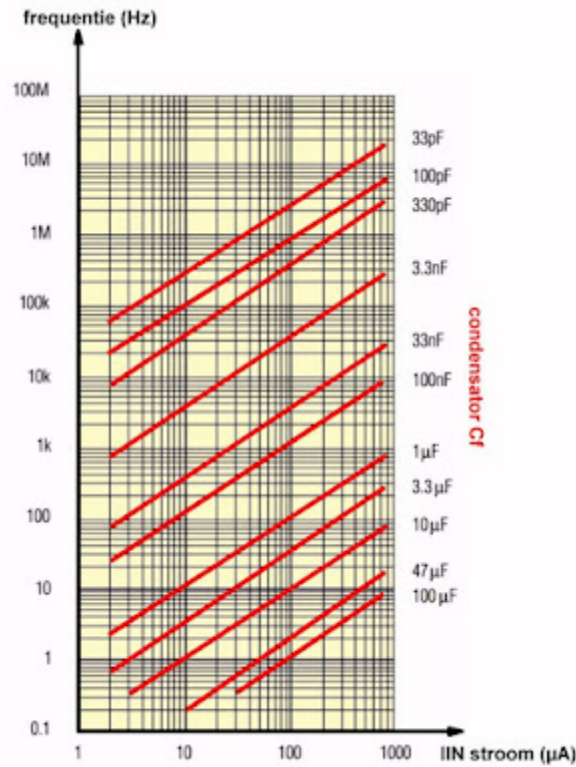
De breedbandige uitgangsversterker levert, onafhankelijk van de ingestelde signaalvorm, een signaal met een constante top-tot-top waarde van 2 V. De driehoekspanning gaat naar de comparator, die verantwoordelijk is voor het genereren van de SYNC-uitgang. Deze trap heeft een afzonderlijke voedingsaansluiting en kan worden uitgeschakeld. De hoofdosillator wekt twee fase-quadrature signalen op, die naar een EXOR fase-detector gaan. De tweede ingang kan worden verbonden met een extern signaal via de PDI pen (13). De schakeling vergelijkt de fase van beide signalen en levert op de PDO pen (12) een stroom die rechtstreeks verbonden kan worden met de FADJ ingang om de interne frequentie te synchroniseren met de externe.

### De uitgangsfrequentie

Het verband tussen de condensatorwaarde ( $C_F$ ), de IIN-stroom ( $R_{IN}$ ) en de gegenereerde frequentie volgt uit de onderstaande grafiek. Maximale lineariteit en minimale vervorming wordt gegarandeerd als de besturende stroom tussen 10  $\mu A$  en 400  $\mu A$  blijft.

Moet de schakeling werken met een vaste frequentie, dan wordt een stroom van 100  $\mu A$  aanbevolen en kunt u de frequentie instellen met de keuze van de externe condensator. De waarde van dit onderdeel ligt tussen 20 pF en 100  $\mu F$ .

Aanbevolen wordt de COSC pin (5) te voorzien van een ground-plane. Het zal duidelijk zijn dat u geen elektrolytische condensatoren kunt gebruiken, de spanning over het onderdeel verloopt immers bipolair.



De waarde van de uitgangsfrequentie. (© Maxim Integrated)

### De FADJ ingang

U kunt de uitgangsfrequentie moduleren door op deze ingang een spanning tussen -2,4 V en +2,4 V aan te leggen. Het verband tussen de frequentie-afwijking D (in %) en de spanning op deze ingang wordt gegeven door:

$$V_{FADJ} = -0,0343 \cdot D$$

Het verband tussen de uitgangsfrequentie en de spanning wordt gegeven door:

$$f = f_0 \cdot [1 - (0,2915 \cdot V_{FADJ})]$$

waarbij  $f_0$  de frequentie is met een stuurspanning van 0 V.

De ingang FADJ vraagt ongeveer 250  $\mu$ A sink-stroom van de externe spanning. Een regelbare spanningsbron is natuurlijk zonder meer in staat deze stroom te leveren. U kunt deze stroom ook aanvoeren door middel van een regelbare weerstand uit een constante spanningsbron. De temperatuurscoëfficiënt van dit systeem is echter veel slechter dan de besturing vanuit een regelbare spanningsbron met minimale impedantie.

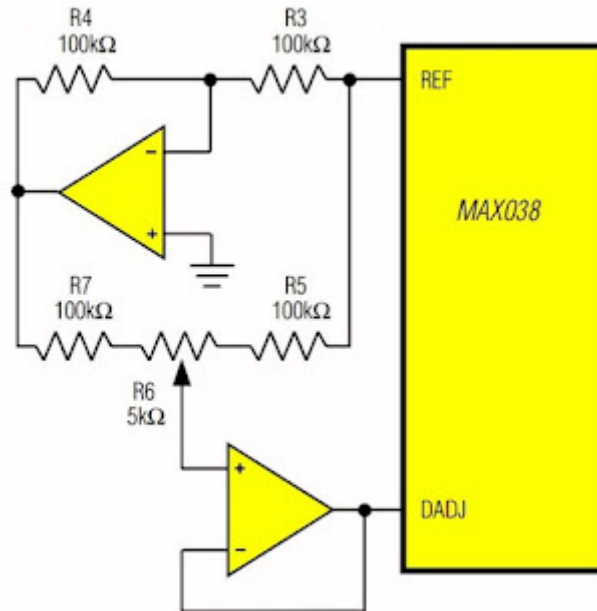
U kunt de werking van FADJ uitschakelen door deze pin via een weerstand van 12 k $\Omega$  te verbinden met de massa. Een nadeel van dit systeem is dat de gegenereerde frequentie verdubbelt, maar het voordeel is dat de temperatuurscoëfficiënt op de uitgangsfrequentie iets kleiner wordt.

### De uitgangsfrequentie sweepen

U kunt sweepen via IIN of via FADJ. De stroomsturing heeft het grootste bereik en wordt daarom aanbevolen. Het voordeel is bovendien dat alleen een positieve stroom noodzakelijk is, terwijl bij sturing via FADJ een bipolaire spanning noodzakelijk is.

### Minimaliseren van sinus-vertanding

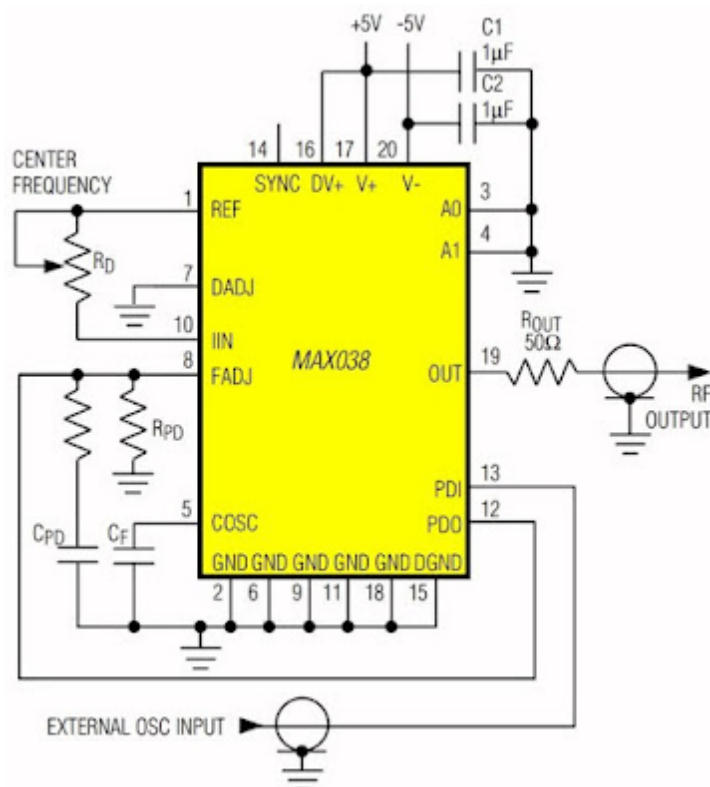
U kunt de vertanding op de sinusoidale uitgangsspanning minimaliseren door de schakeling van de onderstaande figuur toe te passen. De schakeling voert een zeer stabiele spanning van  $\pm 100$  mV toe aan de duty-cycle instelling DADJ, waardoor de tijdsymmetrie van de uitgangsspanning geoptimaliseerd kan worden. Hierdoor gaat de harmonische vertanding van het sinussignaal dalen.



Minimaliseren van de vervorming op de sinus. (© Maxim Integrated)

### Gebruiken van PLL

De interne fase-detector maakt het mogelijk de MAX038 op te nemen in een Phase Locked Loop (PLL), waardoor u de uitgangsfrequentie star kunt koppelen aan de frequentie van een extern signaal. Het basisschema is getekend in de onderstaande figuur. Als de PLL locked levert de PDO uitgang ongeveer 250  $\mu$ A stroom die verdeeld wordt tussen de weerstand  $R_{PD}$  en de FADJ ingang. De waarde van de weerstand bepaald het capture-bereik van de PLL. Hoe groter de weerstand, hoe kleiner de capture-range.



De MAX038 opgenomen in een Phase Locked Loop. (© Maxim Integrated)

### Voedingsspanningen en -stromen

U moet de analoge schakelingen in de MAX038 symmetrisch voeden. Het IC heeft bovendien nog eens een positieve digitale voeding nodig. De analoge en digitale voedingsspanningen moeten erg goed van elkaar ontkoppeld worden!

Er gelden onderstaande grenswaarden:

- **Analoog positief V+:** +4,75 V min., +5,25 V max.

- **Digitaal positief DV+:** +4,75 V min., +5,25 V max.
- **Analoog negatief U-:** -4,75 V min., -5,25 V max.
- **Voedingsstroom analoog positief:** 45 mA max.
- **Voedingsstroom digitaal positief:** 2 mA max.
- **Voedingsstroom analoog negatief:** -55 mA max.
- **Interne spanningsreferentie:** +2,48 V min., +2,50 V typisch, +2,52 V max.
- **Tempco referentie:** 20 ppm/°C typisch
- **Regelcapaciteit referentie:** 4 mV/mA max.

### Specificaties van de uitgangsspanningen

Voor de drie fundamentele uitgangsspanningen vierkant, sinus en driehoek worden onderstaande specificaties opgegeven:

Vierkantgolf uitgang:

- **Top-tot-top waarde:** 1,9 V min., 2,0 V typisch, 2,1 V max.
- **Stijgtijd:** 12 ns typisch
- **Daaltijd:** 12 ns typisch
- **Duty-cycle:** 47 % min., 50 % typisch, 53 % max.

Driehoekgolf uitgang

- **Top-tot-top waarde:** 1,9 V min., 2,0 V typisch, 2,1 V max.
- **Niet-lineariteit:** 0,5 % typisch
- **Duty-cycle:** 47 % min., 50 % typisch, 53 % max.

Sinusgolf uitgang:

- **Top-tot-top waarde:** 1,9 V min., 2,0 V typisch, 2,1 V max.
- **Vervorming:** 1,50 % niet afgeregeld, 0,75 % afgeregeld

Sync uitgang:

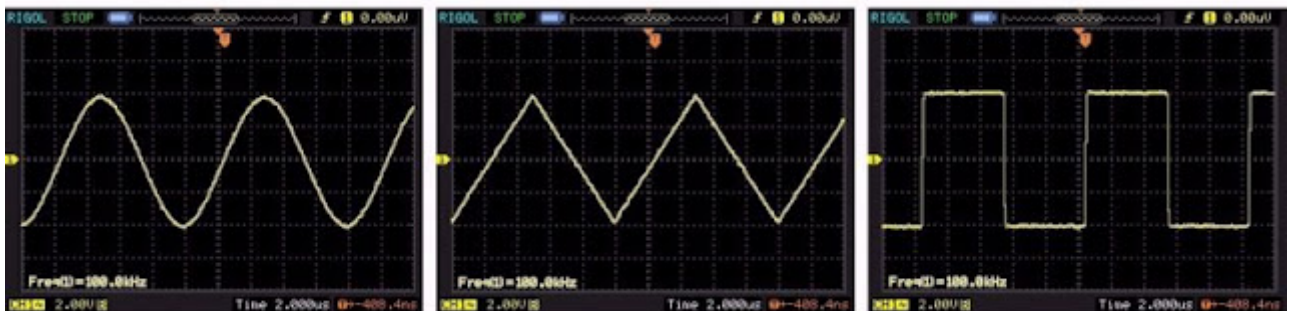
- **Amplitude:** 'L': 0,4 V max., 'H': 2,8 V min
- **Stijgtijd:** 10 ns typisch
- **Daaltijd:** 10 ns typisch
- **Duty-cycle:** 50 % typisch

### Uitgangssignalen bij 20 MHz en bij 100 kHz

In de onderstaande figuren ziet u de vorm van de drie fundamentele signalen bij een frequentie van 20 MHz en bij 100 kHz.



De uitgangsspanningen bij 20 MHz. (© Maxim Integrated)

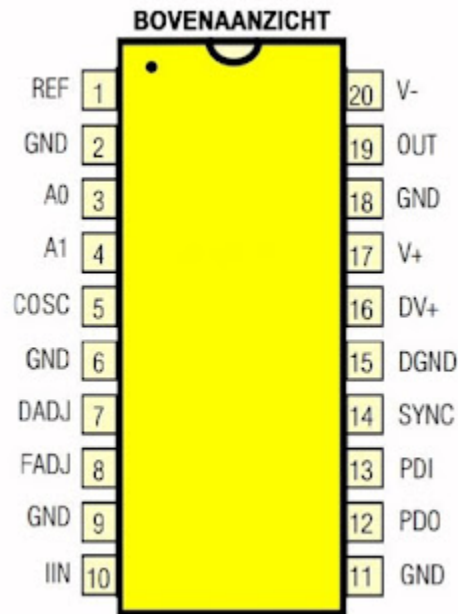


De uitgangsspanningen bij 100 kHz. (© electronics-diy.com)

### Aansluitgegevens en functie van de pennen

De MAX038 zit in een 20-pens DIL-behuizing. De functie van de pennen wordt nu in het kort toegelicht.

- **Pen 1: REF**  
Uitgangspen van de interne 2,5 V bandgap referentie.
- **Pen 2: GND**  
Een van de intern niet met elkaar verbonden massa-pennen.
- **Pen 3: A0**  
Eerste ingang voor het binair selecteren van de signaalvorm.
- **Pen 4: A1**  
Tweede ingang voor het binair selecteren van de signaalvorm.
- **Pen 5: COSC**  
Aansluiting van de externe condensator voor de frequentie-instelling.
- **Pen 6: GND**  
Een van de intern niet met elkaar verbonden massa-pennen.
- **Pen 7: DADJ**  
Ingang voor het instellen van de duty-cycle.
- **Pen 8: FADJ**  
Ingang voor het fijn instellen van de frequentie.
- **Pen 9: GND**  
Een van de intern niet met elkaar verbonden massa-pennen.
- **Pen 10: IIN**  
Stroom-ingang voor het grof instellen van de frequentie.
- **Pen 11: GND**  
Een van de intern niet met elkaar verbonden massa-pennen.
- **Pen 12: PDO**  
Uitgang van de fase-detector, moet aan de massa liggen als deze functie niet wordt gebruikt.
- **Pen 13: PDI**  
Ingang van de fase-detector, moet met de massa verbonden worden als deze functie niet wordt gebruikt.
- **Pen 14: SYNC**  
TTL/CMOS-compatibele uitgang waarmee u de interne oscillator kunt synchroniseren met een extern signaal, moet open blijven als deze functie niet wordt gebruikt.
- **Pen 15: DGND**  
Digitale massa.
- **Pen 16: DV+**  
Digitale +5 V voedingsaansluiting, alleen noodzakelijk als de SYNC-functie wordt gebruikt.
- **Pen 17: V+**  
+5 V positieve voedingsaansluiting.
- **Pen 18: GND**  
Een van de intern niet met elkaar verbonden massa-pennen.
- **Pen 19: OUT**  
Uitgangspen van het functiegenerator signaal.
- **Pen 20: V-**  
-5 V negatieve voedingsaansluiting.

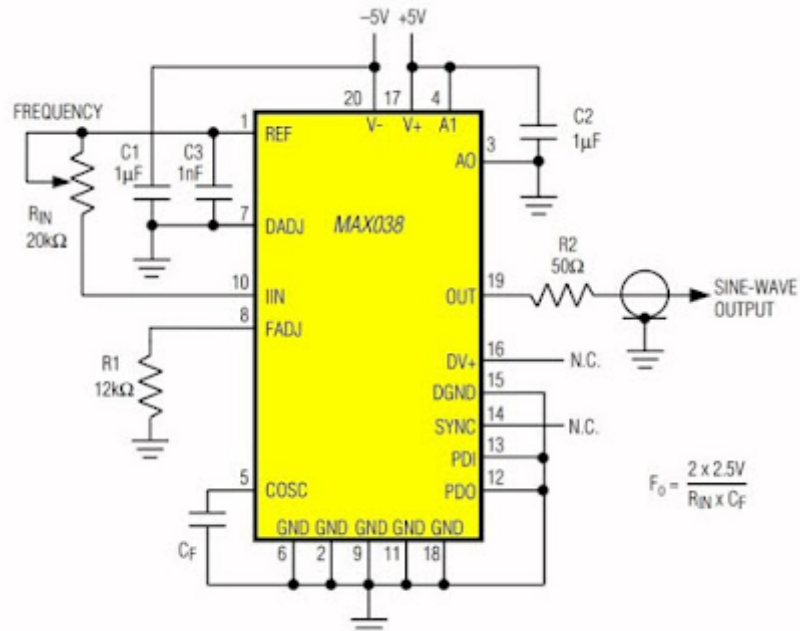


De aansluitgegevens van de MAX038. (© Maxim Integrated)

## Voorbeeldschakelingen met de MAX038

### Zeer eenvoudige sinusoscillator

In het schema van de onderstaande figuur wordt de MAX038 gebruikt als sinusoscillator, waarbij de frequentie wordt bepaald door de waarde van de condensator  $C_f$  en de weerstand  $R_{in}$ .



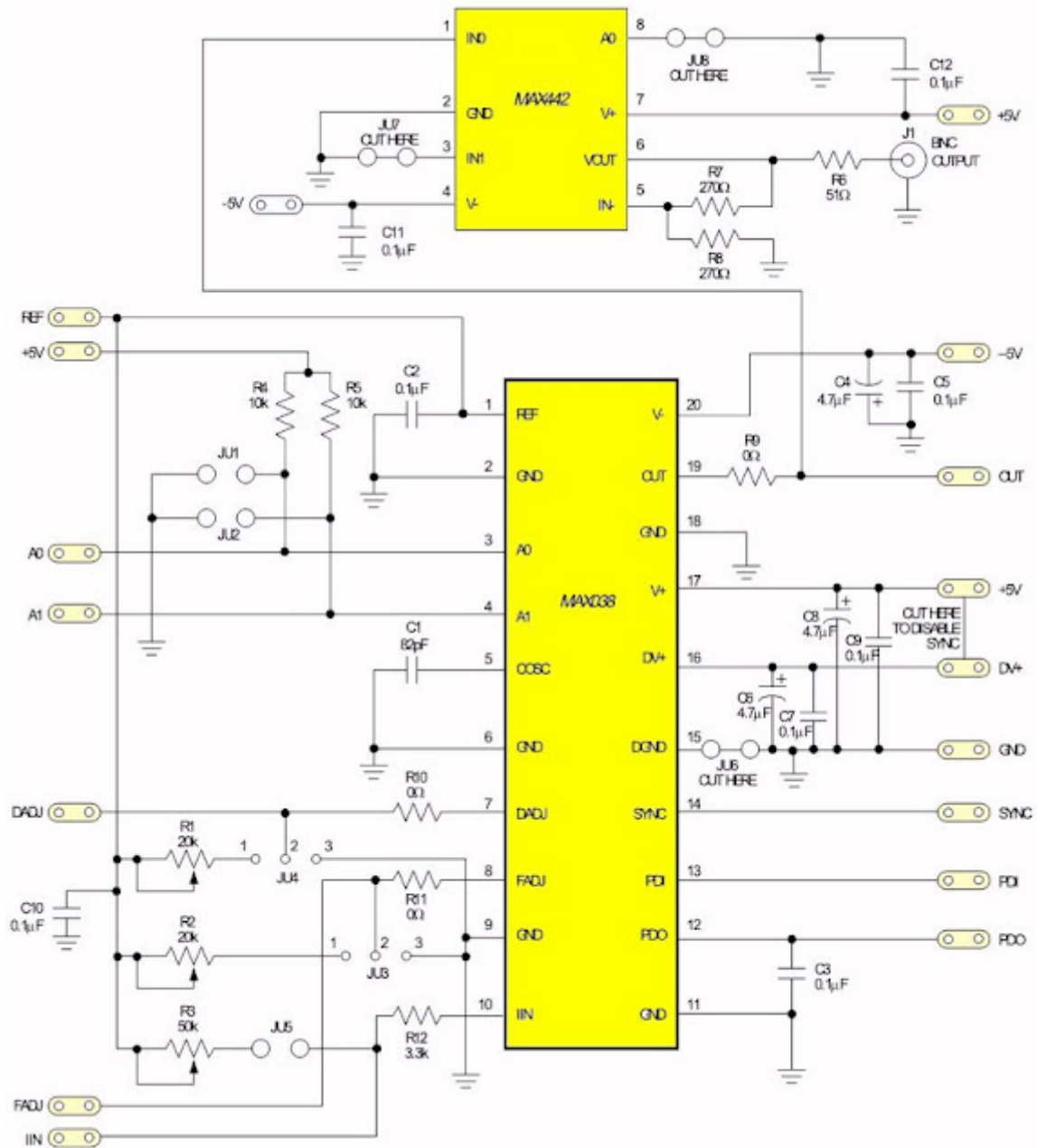
Een zeer eenvoudige sinusoscillator. (© Maxim Integrated)

### Experimenteerschakeling met de MAX038

De onderstaande figuur geeft het schema van het door Maxim Integrated ontwikkelde 'evaluation board'. De schakeling rond de MAX038 is volledig instelbaar door middel van jumpers. De MAX442 is toegevoegd om de uitgangsimpedantie van de MAX038 aan te passen aan de standaard 50 Ω BNC-kabel waarmee een oscilloscoop op de schakeling wordt aangesloten. Op een dergelijke proefschakeling werden in het Vego-lab wat metingen uitgevoerd, waaruit bleek dat zelfs zonder afregeling op minimale vervorming de gemiddelde vervormingswaarde op de sinus slechts 0,65 % bedraagt. De schakeling werd afgeregeld op minimale vervorming bij 1 kHz (0,6 %) en nadien gesweept tussen 200 Hz en 20 kHz. Bij



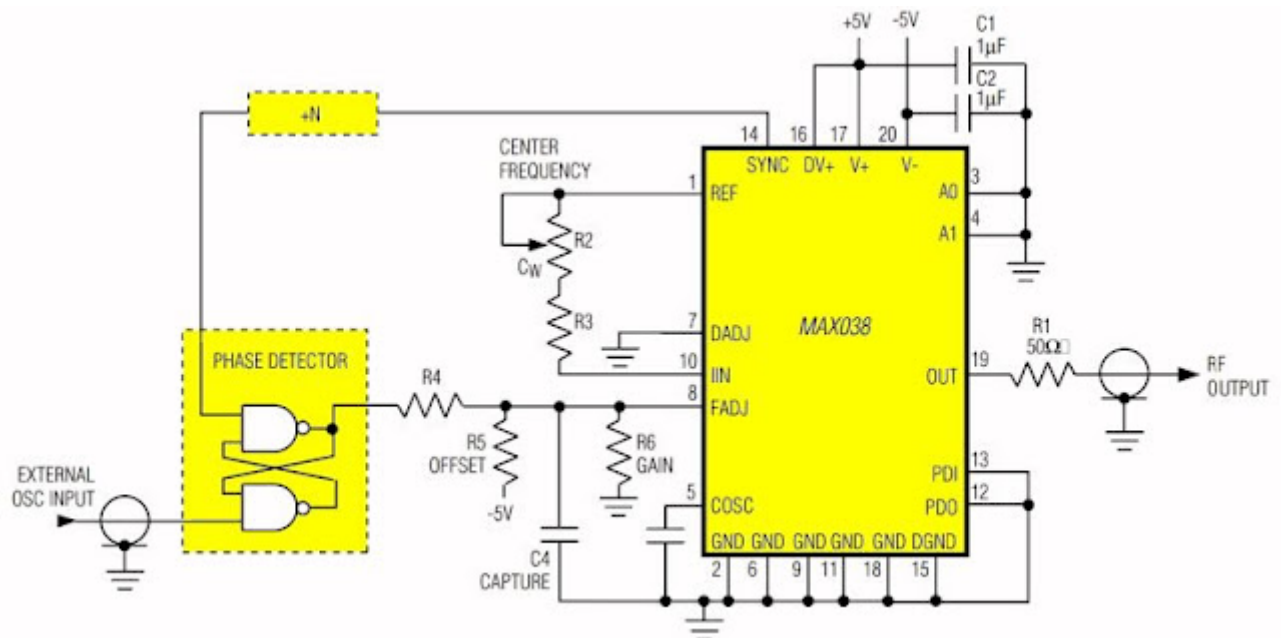
deze grenzen bedroeg de totale harmonische vervorming 1,2 % respectievelijk 1,3 %.



Een experimenteerschakeling rond de MAX038. (© Maxim Integrated)

### Een PLL met externe fase-detector

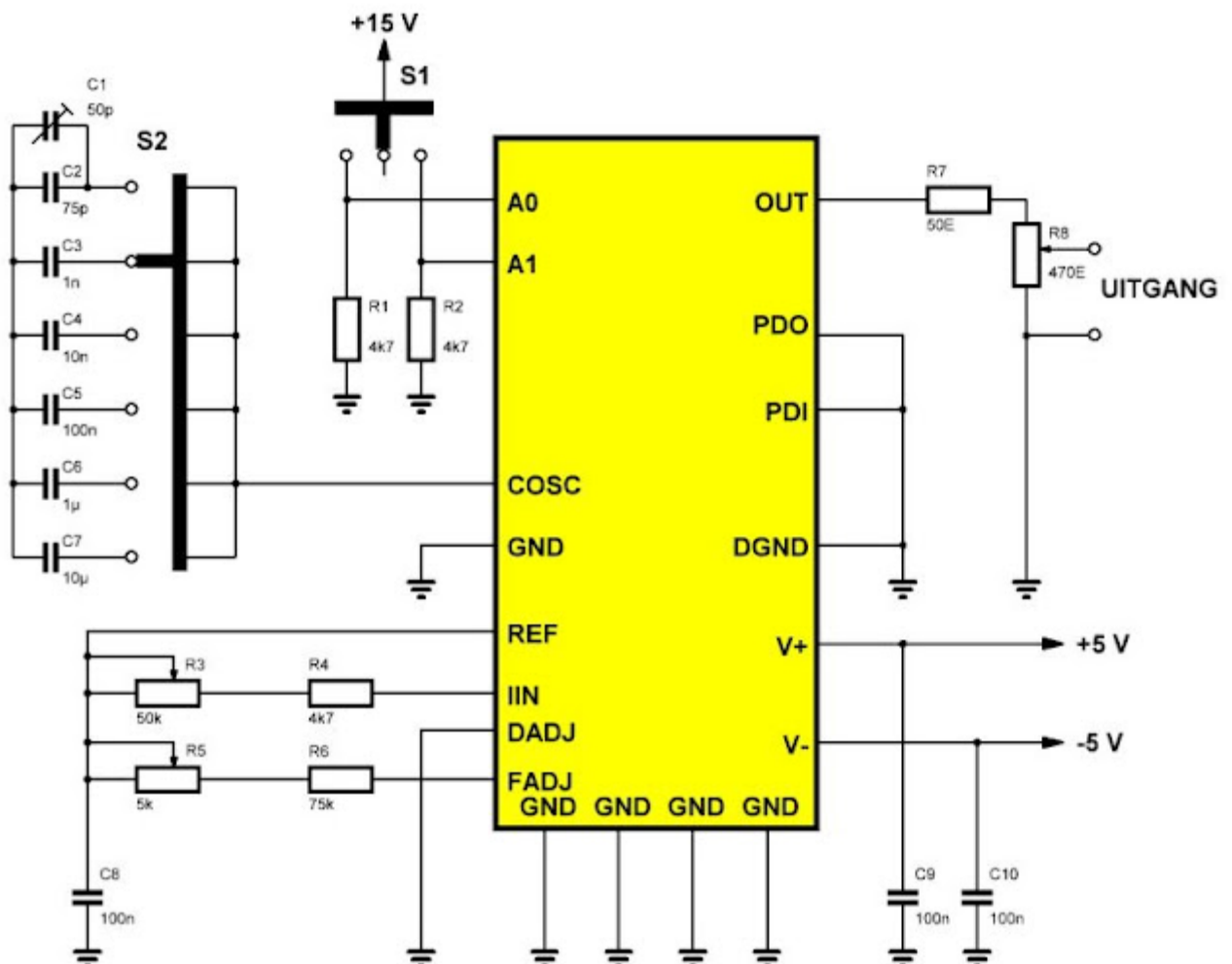
Natuurlijk kunt u ook een externe fase-detector gebruiken. In de onderstaande figuur is hiervan een voorbeeld gegeven. Eén ingang van de fase-detector wordt dan gestuurd uit de SYNC-uitgang van de MAX038, al dan niet met tussenschakeling van frequentiedelers. De waarden van R4, R5 en R6 bepalen de sync-range, terwijl de waarde van C4 de capture-range definieert. Het nadeel van deze schakeling is dat zowel wordt gelocked op de fundamentele frequentie als op harmonischen.



Een PLL met externe fase-detector. (© Maxim Integrated)

### Een functiegenerator van 5 Hz tot 5 MHz

In de onderstaande figuur is een gemakkelijk na te bouwen eenvoudige functiegenerator getekend die sinussen, driehoeken en rechthoeken met frequenties tussen 5 Hz en 5 MHz genereert. De frequentiebereiken worden geselecteerd met S2 en de condensatoren die met deze schakelaar zijn verbonden. Let er op dat u voor C6 en C7 geen elco's mag gebruiken! Met de schakelaar S2 kunt u de drie golfvormen selecteren. De uitgang levert een vaste uitgangsspanning, die u via een laagohmige potentiometer R8 regelbaar kunt maken. Met de trimmer C1 kunt u het hoogste bereik afregelen.



## Een digitaal programmeerbare frequentie-synthesizer

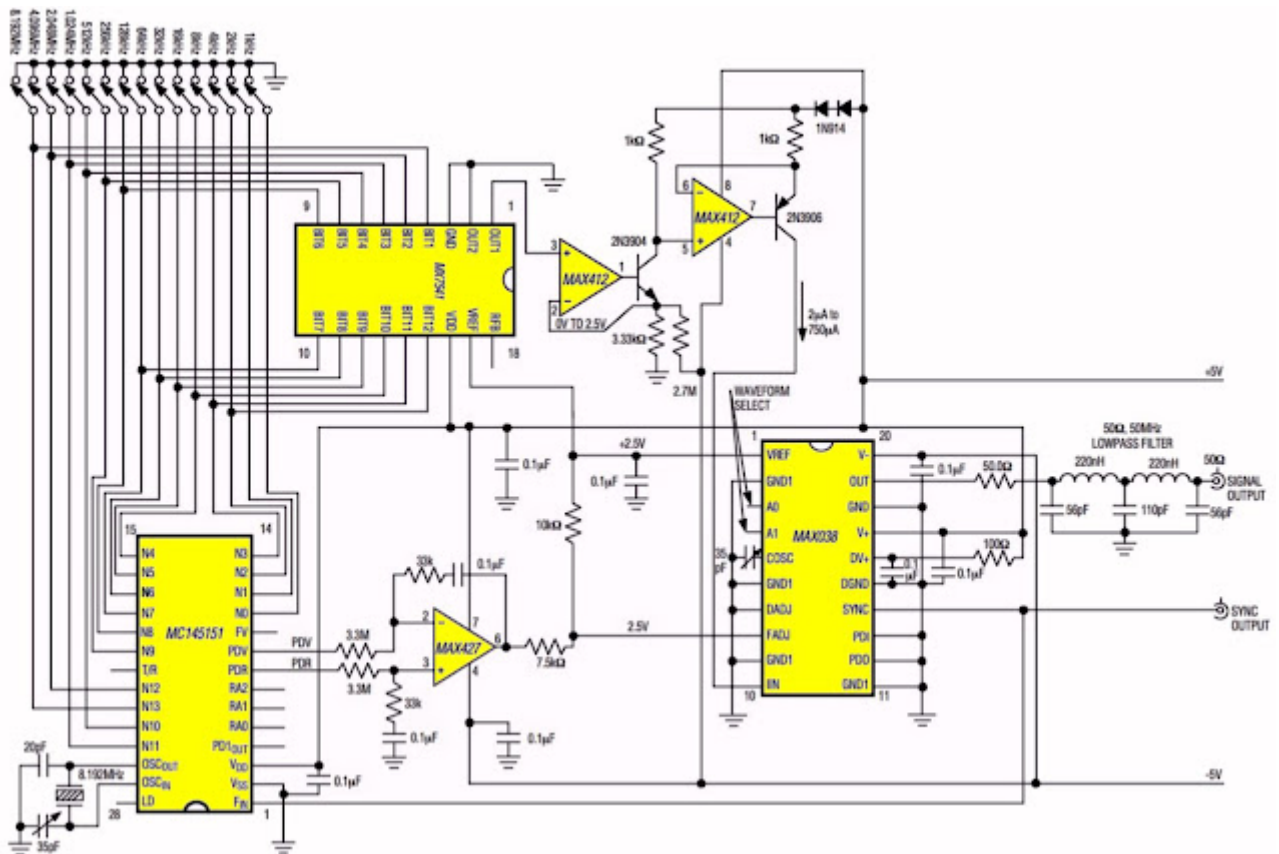
Tot slot van deze bespreking van de MAX038 wordt in de onderstaande figuur het schema gegeven van een digitaal programmeerbare frequentie-synthesizer met een frequentiebereik van 8 kHz tot 16,383 MHz en met een resolutie van 1 kHz.

Hart van de schakeling is een kristalgestuurde frequentiegenerator van Motorola, de MC145151. Dit IC bevat frequentiedelers, die programmeerbaar zijn door de N-ingangen met de massa te verbinden. Het openen van een schakelaar verhoogt de uitgangsfrequentie met de bij de schakelaar vermelde waarde. Dit IC wordt via AliExpress aangeboden voor € 6,90 en is in Nederland te koop via [www.hf-electronics.nl](http://www.hf-electronics.nl) voor € 12,95.

De schakelaars gaan bovendien naar een twaalf bit brede DAC (MX7541). De uitgangsspanning van deze DAC wordt omgezet in een stroom via de operationele versterker MAX412. De uitgangsstroom bestuurt de IIN pen van de MAX038 en legt daarmee de uitgangsfrequentie van de generator vast.

Natuurlijk moet deze frequentie gekoppeld worden aan de uitgangsfrequentie van de kristaloscillator. De MC145151 bevat een fase-detector, waarvan de uitgang via een laagdoorlaat filter (MAX427) de FADJ ingang van de MAX038 stuurt.

Aan de uitgang is een dubbel LC-laagdoorlaat filtertje opgenomen dat de hogere harmonischen onderdrukt.



Een digitaal programmeerbare frequentie-synthesizer. (© Maxim Integrated)