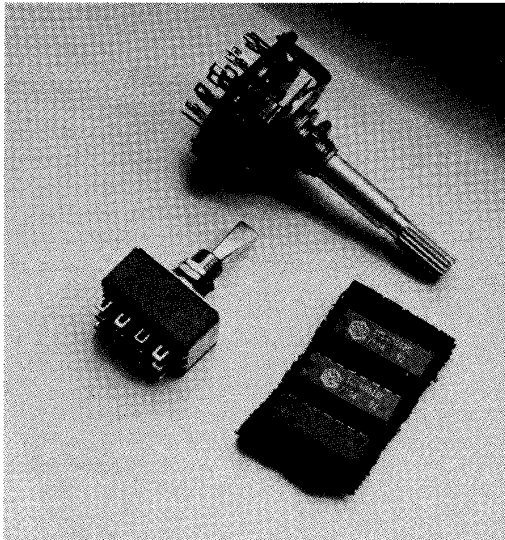


COMPUTERS EN ANALOGE SCHAKELAARS

H. J. C. OTTEN



Microcomputers bieden oneindig veel mogelijkheden om de analoge wereld te bestuderen als we in staat zijn de digitale ingangs- en uitgangssignalen om te zetten in acties in de analoge wereld.

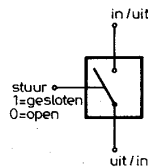
Daarbij hoeft niet alleen te worden gedacht aan analog-naar-digitaal- en digitaal-naar-analogomzetters, maar ook aan het vervangen van gewone schakelaars door computergestuurde analoge schakelaars.

Een relais is een goed voorbeeld van een component dat zich goed leent voor het vervangen door een schakelaar die met een digitaal signaal kan worden aangestuurd. Zijn de stromen, die de schakelaar moet verwerken maar klein, dan zijn er goedkopere en kleinere componenten in IC-vorm te verkrijgen. In de CMOS-familie zijn zogenoemde analoge schakelaars opgenomen, die zich uitstekend lenen voor besturing door computers ter vervanging van gewone schakelaars. In dit artikel worden de typen 4016, 4066, 4051, 4052 en 4053 besproken met een aantal voorbeelden.

■ Analoge schakelaars

Een analoge schakelaar is het elektrische equivalent van een mechanische aan-uitschakelaar. De analoge schakelaar wordt in de aan- of uitstand gezet door het aanbieden van een signaal of een digitale sturingang. De analoge CMOS-schakelaar, zoals die in afb. 1 is getoond, is in de aanstand als de sturingang hoog („1”) is en in de uitstand als de sturingang laag („0”) is.

Afb. 1 Analoge CMOS-schakelaar.



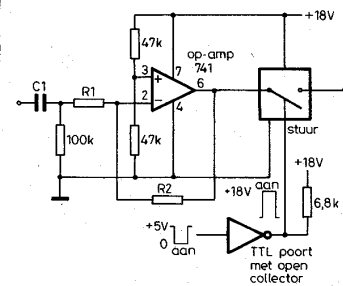
Evenals een mechanische schakelaar is een analoge schakelaar bi-directioneel. Daarom staat in afb. 1 bij de aansluitingen de tekst in/uit en uit/in, omdat deze aansluitingen volledig zijn te verwisselen. Bij het gebruik van een analoge schakelaar moeten een paar eigenschappen, die we nader zullen toelichten, in het oog worden gehouden.

■ Voedingsspanning en ingangsspanning

De spanning, die met de schakelaar kan worden geschakeld, is beperkt tot de voedingsspanning van het IC. Om de meeste analoge signalen optimaal te kunnen verwerken, zal het nulpunt van dat analoge signaal ongeveer halverwege de voedingsspanning (Vss) en de massa (Vdd) moeten liggen, zodat het analoge signaal afwisselend positief en negatief kan zijn.

Afb. 2 laat een schakeling zien waarmee het nulpunt van een analog signaal op de halve voedingsspanning wordt gelegd en eventueel versterkt (bepaald

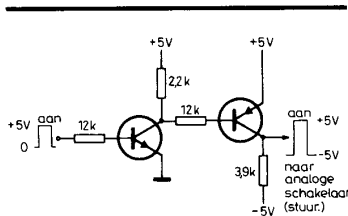
Afb. 2 Voorbeeld hoe het nulpunt van een analog signaal op de helft van de voedingsspanning kan worden gelegd en hoe een digitaal signaal van TTL-niveau op een hoger spanningsniveau is te brengen.



door de verhouding tussen weerstanden R1 en R2). Het digitale stuursignaal wordt via een (LS)TTL-poort met een open-collectoruitgang op de vereiste niveau gebracht.

Een tweede probleem dat zich kan voordoen, is het verschil tussen de benodigde voedingsspanning voor de analoge schakelaar en de grootte van het digitale stuursignaal. Zeker bij microprocessorsystemen zullen de digitale signalen tussen nul en vijf volt liggen: TTL-niveaus.

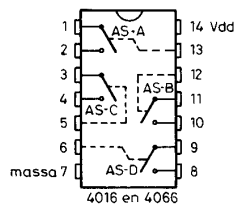
In afb. 3 is aangegeven hoe we met een symmetrische voeding van + en -5 V de analoge schakelaar met een digitaal signaal op TTL-niveau aansturen. Zoals hieronder nader zal worden toegelicht is dit vaak optredende probleem op een fraaie manier ondervangen bij de analoge schakelaars type 4051, 4052 en 4053.



Afb. 3 Voorbeeld hoe een digitaal signaal van TTL-niveau naar een positieve of negatieve spanning kan worden gebracht.

■ Overgangsweerstand

De analoge schakelaar gedraagt zich als een ideale schakelaar als we ruim binnen de beperkende eigenschappen blijven. Een van de eigenschappen waar we rekening mee moeten houden is de overgangsweerstand en de maximale belastingsweerstand om vervorming van het te schakelen signaal te voorkomen. Een belasting met ten hoogste 10 k Ω is aan te raden. De overgangsweerstand is ongeveer 125 Ω over het gehele gebied van de ingangsspanning. De vervorming wordt groter bij lagere voedingsspanning.



Afb. 4 Betekenis van de pennen van de IC's type 4016 en 4066.

■ Analoge schakelaars 4016 en 4066

IC's met de typenummers 4016 en 4066 bevatten elk vier van de hierboven beschreven analoge CMOS-schakelaars. De functie van de pennen is in afb. 4 te zien. De IC's zijn qua functie geheel uit te wisselen, het oudere IC type 4016 heeft minder goede eigenschappen, zoals een hogere overgangsweerstand (300 Ω) en een minder goede lineariteit. Met behulp van deze IC's is in principe ieder type schakelaar zelf samen te stellen, zoals typen met meerdere dekken en meerdere standen.

■ Toepassingen van analoge schakelaars

De mogelijkheden om deze schakelaars te gebruiken zijn legio. Een aantal standaard-toepassingen hebben geleid tot het ontwikkelen van een aantal IC's met analoge schakelaars in een vooraf gedefinieerde opstelling. Deze IC's worden nog apart behandeld. Toepassingen die voor-

Tabel 1

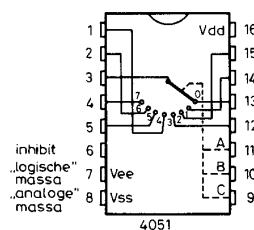
Eigenschap	Waarde
voedingsspanning	+3... +18 V
overgangsweerstand	125 Ω
vervorming	0,2 % (voeding +15 V) 0,4 % (voeding +10 V)
freq.-gebied v.h. analoge signaal	3 % (voeding +5 V) 10 MHz (-40 dB)

al in combinatie met computers interessant zijn, zijn het vervangen van schakelaars die niet veel vermogen behoeven te verwerken. Dit kan het vervangen van een druktoets zijn, bijvoorbeeld parallel aan een toets van een toetsenbord van een rekenmachine. Een andere toepassing die voor de hand ligt is het in- en uitschakelen van weerstanden en condensatoren in een schakeling. Typische toepassingen in combinatie met een computer zijn sample-and-hold-schakelingen en digitaal-maar-analoog-omzetters.

■ Analoge draaischakelaars 4051, 4052 en 4053

IC's met de typenummers 4051, 4052 en 4053 zijn bruikbaar als vervanging van draaischakelaars. Het zijn respectievelijk equivalenten van een draaischakelaar met acht standen (4051), een draaischakelaar met vier standen en twee dekken (4052) en een draaischakelaar met twee standen en drie dekken (4053). De betekenis van de pennen van de drie IC's is in afb. 5, 6 en 7 getoond. Naast de aansluitingen van de draaischakelaar zelf zijn er een aantal digitale ingangen (A, B en C en inhibit genoemd) te zien. De toestand op de ingangen A, B en C – zover van toepassing – bepaalt de stand van de draaischakelaar. In tabel 2, 3 en 4 is te zien wat de toestanden op de digitale ingangen voor gevolg hebben voor de stand van de draaischakelaar. De inhibit-uitgang maakt het mogelijk om alle schakelaars in de open toestand te zetten. Dat kan wel eens nodig zijn, want bij het overschakelen

Afb. 5 Betekenis van de pennen en het IC type 4051.



van de ene stand van de draai-schakelaar naar de andere is er een (zeer kortdurende) kans op sluiting tussen de twee schakelcontacten. In de hierna beschreven toepassing van het IC type 4051 zijn hiertegen maatregelen genomen.

De IC's type 4051, 4052 en 4053 hebben drie pennen voor de voeding van het IC. Naast de positieve Vdd-aansluiting zijn er twee verschillende pennen voor respectievelijk de analoge en de logische massa. Het probleem dat hierboven is geschetst, namelijk het tot de voedingsspanning beperkt zijn van het analoge signaal, heeft geleid tot deze twee massa-aansluitingen. Bij deze IC's mogen de digitale stuursignalen een nulpunt heb-

Tabel 2 Toestanden van de 4051.

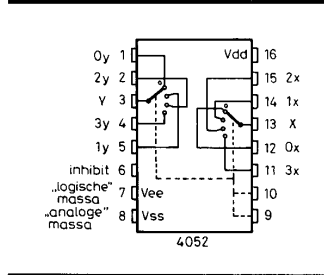
Inhibit-ingang	Stuur-ingangen			Stand v.d. draai-schakel.
	C	B	A	
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	x	x	x	geen

Tabel 3 Toestanden van de 4052.

Inhibit-ingang	Stuur-ingangen		Stand v.d. draai-schakel.
	B	A	
0	0	0	0x, 0y
0	0	1	1x, 1y
0	1	0	2x, 2y
0	1	1	3x, 3y
1	x	x	geen

Tabel 4 Toestand van de 4053.

Inhibit-ingang	Stuur-ingangen	Stand v.d. schakelaar
0	0	Ax, Bx, Cx
0	1	Ay, By, Cy
1	x	geen

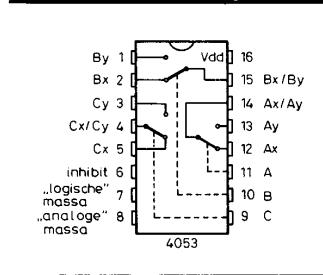


Afb. 6 Betekenis van de pennen en het IC type 4052.

ben dat boven het nulpunt van de analoge signalen ligt. De totale voedingsspanning is zoals in tabel 1 is vermeld en dit is het maximum tussen Vdd en Vss en tussen Vdd en Vee. De logische massa, Vee, moet boven of gelijk aan de analoge massa worden gekozen. In het hierna volgende voorbeeld van een computerge-stuurde versterking wordt hiervan dankbaar gebruik gemaakt. Naast het gebruik als draaischakelaar kunnen de IC's ook als analoge multiplexers of demultiplexers worden toegepast en vanzelfsprekend ook als componenten in een digitale schakeling.

■ **Uitbreiding van de analoge uitgangen van een computer**

Vele microcomputers zijn voorzien van een analoge output, gevormd door een of andere vorm van een digitaal-naar-analoog-omzetter. Met een IC type 4051, enige operationele versterkers en een paar condensatoren is die ene analoge output uit te breiden tot vier digitale uitgangen. De schakeling, zoals die in afb. 8 is getoond, bestaat in feite uit vier stuks zogenoemde sample-and-hold-schakelingen. Elke sample-and-hold-schakeling wordt gevormd door een analoge schakelaar (in het IC type 4051), een condensator (1000 pF, goede kwaliteit zoals polycarbonaat) en een buffer (een operationele versterker type CA3140 met FET-ingangen). Door de analoge schakelaar te sluiten wordt de condensator opgeladen tot over de condensator een spanning



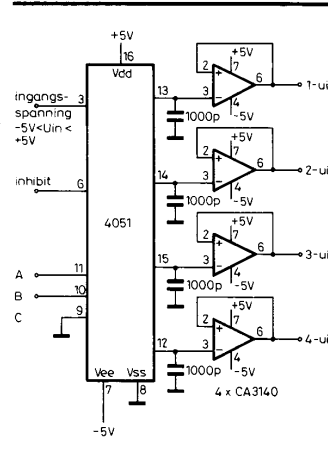
Afb. 7 Betekenis van de pennen van het IC type 4053.

staat gelijk aan die van de analoge output. Door de analoge schakelaar te openen, blijft over de condensator dezelfde spanning staan. De buffer voorkomt dat de condensator wordt ontladen.

In de schakeling worden de unieke eigenschappen van het IC type 4051 volledig benut. De digitale stuursignalen zijn op TTL-niveaus (0 en 5 V). De volgorde waarin de analoge schakelaars worden gesloten is vrij belangrijk. Zoals reeds is vermeld, is er een kans op een kortstondige sluiting bij het verdraaien van de schakelaar 4051. Door de inhibit-ingang te gebruiken tussen het verdraaien van de schakelaar wordt dit voorkomen.

Afb. 9 laat de tijdrelatie zien, die de verschillende digitale in-

Afb. 8 Schakeling om een analoge output van een computer uit te breiden tot vier digitale outputsignalen.



gangssignalen moeten aanhouden. Met een microcomputer voorzien van minimaal drie digitale uitgangen is een dergelijke tijdrelatie gemakkelijk te verwezenlijken.

De analoge signalen mogen zich tussen de de +5 en -5 V bewegen door de „analoge” massa met de -5V-voedingsspanning te verbinden.

De operationele versterkers type CA3140 worden ook met +5 en -5 V gevoed.

■ Computergestuurde versterker

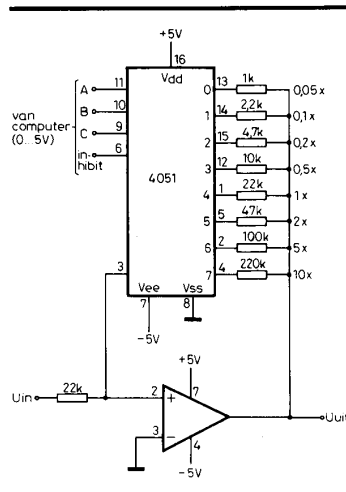
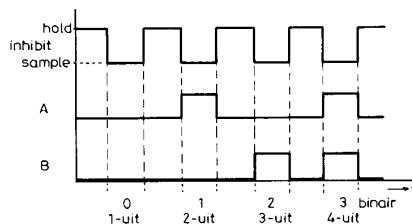
Niet alleen zullen we de computer de weg willen laten bepalen voor een analog signaal, maar we zullen ook de grootte willen beïnvloeden. De in afb. 10 getoonde schakeling biedt met twee IC's en enige weerstanden een in acht stappen instelbare versterking of verzwakking. De werking berust op de instelbare versterking van een operationele versterker. De verhouding tussen de weerstand in de terugkoppelingsweg en de weerstand aan de ingang bepalen de versterkingsfactor. De versterkingsfactor bedraagt (zie afb. 11):

$$A = \frac{R2}{R1}$$

R2 is de weerstand in de terugkoppelingsweg naar de invertierende ingang en R1 is de weerstand tussen het ingangssignaal en de invertierende ingang. De niet-invertierende ingang ligt aan de 0 V.

De versterking kan variabel worden gemaakt door bijvoorbeeld voor R2 een instelbare

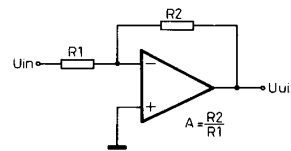
Afb. 9 Tijdrelatie tussen de digitale ingangssignalen van afb. 8.



Afb. 10 Computergestuurde versterker met een operationele versterker en een analoge schakelaar.

weerstand te kiezen. In afb. 10 wordt deze instelbare weerstand gevormd door de analoge draaischakelaar type 4051 en een handvol weerstanden. Met de drie sturingangen, bijvoorbeeld rechtstreeks afkomstig van een microcomputer, kan deze schakeling in totaal acht verschillende versterkingsfactoren opleveren.

Deze schakeling toont hoe de analoge schakelaar uitstekend is te gebruiken in schakelingen waar anders een mechanische (draai)schakelaar nodig is.



Afb. 11 Blokschema van de computergestuurde versterker.