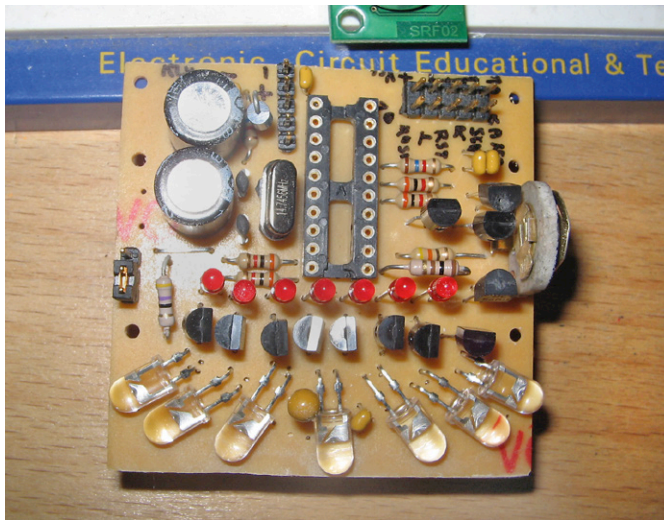


Snelle IR-robotbumper

Herkennt hindernissen in alle richtingen

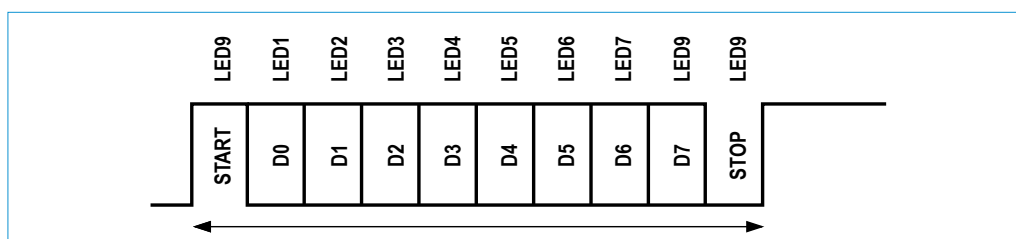


Ralf Schmiedel

Deze snelle contactloze botsingsdetector voor even snelle robots geeft niet alleen aan, dat er een obstakel in zicht is, maar ook in welke richting dit zich bevindt. Bij dit project werken hardware en software slim samen.

We kunnen ons deze IR-bumper voorstellen als een omgekeerde scanner. Een halfcirkelvormige rij IR-LED's scant de omgeving af. De IR-diodes worden daarbij één voor één aangestuurd door een microcontroller. Een IR-sensor met een grote zichthoek vangt het IR-licht op dat door een hindernis wordt gereflecteerd. De IR-sensor heeft alleen een digitale uitgang (licht / geen licht); een microcontroller moet aan de hand van de tijdsinformatie bepalen, uit welke IR-diode het licht gekomen is. Nou kunnen we natuurlijk zelf een geschikt

synchronisatiemechanisme gaan bedenken, maar we kunnen ook een bestaand protocol gebruiken. Als we de timing van de IR-LED's met een UART-besturen en de uitgang van de IR-sensor verbinden met de UART-ingang (RXD) van de controller, dan ontvangen we bits die altijd corresponderen met één van de IR-diodes. Zo kunnen we zelfs de richting van meerdere obstakels tegelijk bepalen. In dit project zijn zeven diodes ingebouwd, die elk overeenkomen met een bit in het UART-protocol 8N1 (zie **figuur 1**). Daar-



Figuur 1:
Toewijzing van de diodes
aan het 8N1-dataprotocol.

naast moeten er nog drie bits worden gegeneerd: startbit, achtste databit en stopbit. Dat wordt geregeld met een extra IR-LED die rechtstreeks op de IR-sensor is gericht. Deze LED heeft nog een tweede functie, namelijk het instellen van de versterker van de IR-sensoren. We komen daar nog op terug. De bumper wordt via dezelfde UART-interface verbonden met de host-controller van de robot en geeft daarmee de resultaten van de obstakeldetectie door. En de host-controller spreekt de bumper-controller aan met eenvoudige ASCII-commando's om zijn parameters in te stellen.

IR-diodes

De IR-bumper kan naar keuze worden gebouwd voor een scanbereik van 90° of 180°. Maar volgens hetzelfde principe kunnen we ook enkelvoudige sensoren aansturen met een controller in een SO-8-behuizing of 360°-sensoren met een grotere AVR-controller.

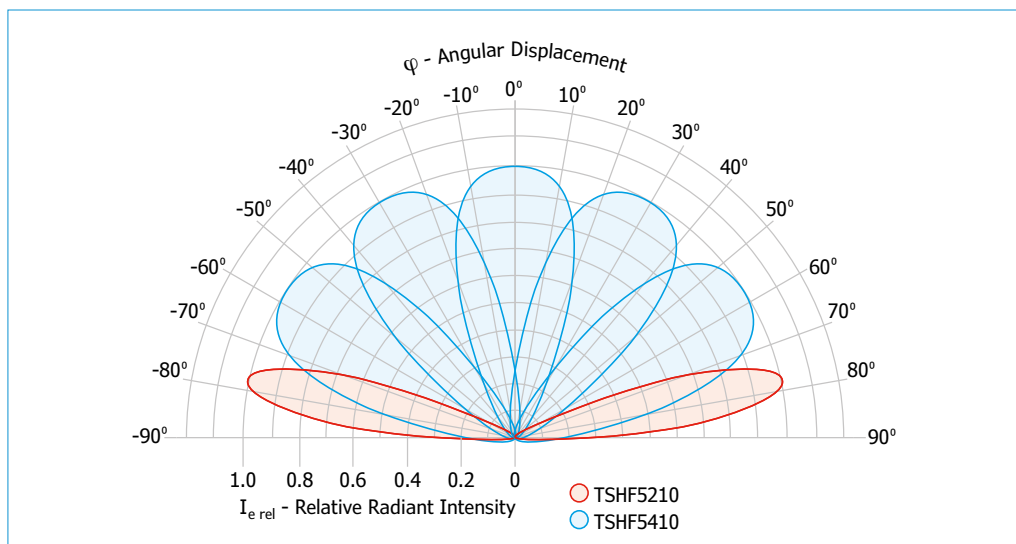
Als IR-sensor gebruiken we de zeer snelle TSOP7000 van Vishay [1]. Dit is een ontvanger voor afstandsbedieningen die niet, zoals de meeste andere TSOP-typen werkt met 30...56 kHz, maar met een modulatiefrequentie van 455 kHz. Zoals alle ontvangers voor afstandsbediening heeft ook de TSOP7000 een AGC-versterker (automated gain control) in de ingangstrap achter de fotoversterker. Deze past de versterking aan het ingangssignaal van een afstandsbediening aan, dat erg in sterkte kan verschillen. Dat voorkomt oversturing van de erop volgende demodu-

latietrap. Voor onze elektronische bumper werkt die AGC-functie juist contraproductief. De gevoeligheid kan, afhankelijk van de gebruikte diode, tot wel 20 m reikwijdte worden opgeschroefd. Dan zou de bumper altijd wel een obstakel zien. De ingangstrap biedt ons wel een extreem snelle en smalbandige ontvanger met een grote gevoeligheid. En dat zijn de eigenschappen die we hier nodig hebben.

Om de AGC-functie buiten werking te stellen en te gebruiken als een instelbare versterkertrap met constante versterking, wordt de AGC met behulp van een 'flits' goed gedompt omlaag geregeld. De flits wordt opgewekt met één of twee extra IR-zenddiodes die rechtstreeks op de sensor gericht zijn. De versterking wordt geregeld met een PWM-signaal (en een instelpotmeter). Omdat de AGC erg traag reageert (enkele honderden milliseconden) ontstaat bij regelmatig flitsen een constante versterking.

Als zenddiodes gebruiken we snelle IR-diodes van Vishay [2][3], afhankelijk van de gewenste sensorhoek (90° of 180°) met een afstraalhoek van 10° (voor een sensorhoek van 90°) of 22° (voor 180°). Samen bestralen die een doorlopend sensorgebied (zie **figuur 2**). De TSOP7000 heeft een ontvangsthoek van 90°, zodat voor een sensorhoek van 180° twee van deze sensoren in een open collector-schakeling (in wired OR-configuratie) moeten worden ingezet.

Als controller gebruiken we een AVRtiny2313. Deze beschikt over een UART-interface en is goedkoop verkrijgbaar.

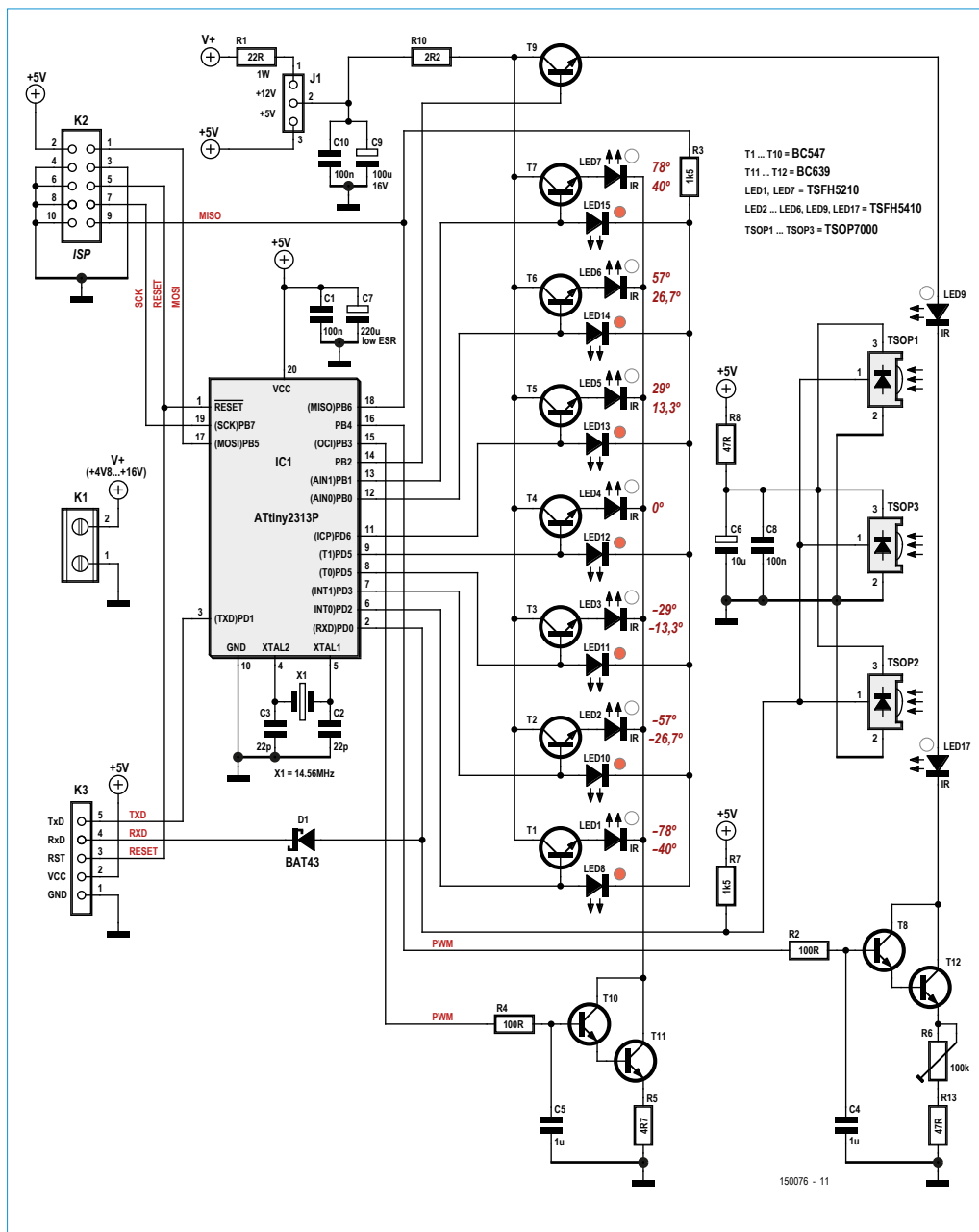


Figuur 2: Afstraalkarakteristiek van de IR-diodes voor 180°.

Het schema

In **figuur 3** zien we dan eindelijk het schema. De zenddiodes LED1...LED7 zijn aangesloten aan de uitgangen PB0...PB1 en PD2...PD6 van de controller. Deze diodes hebben meer

maar één extra poortpen nodig is. De 'normale', rode LED's aan de basisaansluitingen van de transistors worden via PB6 aan massa gelegd en lichten op als de overeenkomstige buffertrap wordt aangestuurd. We kunnen de



Figuur 3: Het schema van de bumper.

stroom nodig dan de controller kan leveren, dus voor elke IR-LED (of elk paar LED's) is een drivertransistor toegevoegd. Om ook iets te kunnen zien als er geen PC is aangesloten, zijn er zeven rode LED's voor het weergeven van de scanresultaten. Deze zijn gemultiplexed met de IR-zend-diodes, zodat

rode weergavediodes ook helemaal uitschakelen, door PB6 niet aan massa te leggen (dat spaart energie). Op poortpen PB3 is een PWM-sigitaal beschikbaar dat de stroom door de zenddiodes bepaalt. Het sigitaal wordt afgevlakt door het laagdoorlaatfilter R4/C5 en stuurt dan

Technische gegevens

- Modulatiefrequentie van de zenddiodes: 455...460 kHz
- Zendfrequentie van een scan: 19,2 kHz of 38,4 kHz
- Scantijd: 2 ms
- Scanfrequentie (vrijlopend): ca. 105 Hz
- Reikwijdte: 20 cm tot ruim 2 m, afhankelijk van het reflectiegedrag van het obstakel. Alleen bij heel donkere objecten is er een duidelijk verminderde gevoeligheid. Verdubbeling van de reikwijdte is bij de 90°-versie mogelijk door bundelen van de 10°-diodes.

als analoge spanning de darlingtontrap T10/T11 (BC547/BC639) die via emitterweerstand R5 de stroom van de IR-zenddiodes afvoert naar massa. De stroom door de IR-LED's is te berekenen met:

$$I = (V_{CC} \times \text{duty-cycle} - 2 \times U_{be})/R5$$

De gezamenlijke kathodes van de rode LED's zijn verbonden met stroombegrenzingsweerstand R3. Trouwens: basisweerstand aan de buffertransistors zijn vanwege de stroominstelling van de darlingtontrap niet nodig: de basisstroom stelt zich automatisch in en draagt ook een beetje bij aan de stroom door de LED. Zo besparen we niet alleen onderdelen, maar ook nog wat energie!

De beide flitsdiodes LED9 en LED17 krijgen hun stroom via een circuit dat lijkt op dat van de scandiodes, namelijk via PB4 en de darlington-stroombron T8/T12. De flitsstroom en daarmee de gevoeligheid van de TSOP is in te stellen met trimpotmeter R6.

Zoals al eerder vermeld, zijn de IR-ontvangers via hun open collector-aansluitingen in wired OR-configuratie geschakeld. Hun gezamenlijke uitgangssignaal gaat (met R7 als pullupweerstand) naar PD0 van de controller. De UART-interface van de controller 'verzamelt' op pen RXD niet alleen de data van de IR-sensoren, hij wordt ook nog eens gebruikt voor de communicatie met de host-controller (K3). D1 isoleert daarbij de RXD-lijn van de host van de TSOP-signalen. Ook de voedingspanning van de controller moet door de host worden geleverd. Omdat we te maken hebben met een flinke stroom voor de zenddiodes (maximaal 0,5 A), is een elco met een kleine ESR (C7) nodig voor een stabiele spanning.

De software

En dan zijn we alweer toe aan de software! LED9/LED17 zorgen met hun flits niet alleen voor de instelling van de versterking van de TSOP, maar genereren daarmee ook het startbit voor het 8N1-protocol. De eerste zeven databits bevatten de scan-informatie, het achtste bit (is altijd '1') en het stopbit worden weer met een flits opgewekt.

De host communiceert met de bumper-controller in ouderwetse ASCII-code, die maar 127 tekens kent en dus maar zeven bits gebruikt. Het achtste bit is bij deze communicatie dus altijd '0'. Zo kan de software de signalen van de IR-sensor onderscheiden van die van de host.

Er is wel een klein schoonheidsfoutje. De ontvangst van IR- en host-data is niet op elkaar afgestemd in de tijd, de tekens kunnen elkaar dus overlappen en storen. Maar dat probleem is op te lossen: De host moet wachten op een prompt > (ASCII 62), voordat hij iets mag verzenden. De host vraagt om die prompt door meerdere keren een ESC-teken (ASCII 27) te zenden. Na vijf ESC-tekens kan het bijna niet missen dat de host een prompt heeft gekregen (zo niet, dan stuurt hij nog meer ESC's). Zodra de prompt bij de host aankomt, is de interface exclusief beschikbaar voor de host; er wordt dan niet meer gescand. Als de scan dan weer loopt, hoeft de host meestal niet meer naar de bumper te schrijven en hoeft hij alleen nog de resultaten in te lezen.

Het programma is gemaakt in BASCOM. Alleen voor het zenden via de IR-diodes is een eenvoudig stukje assemblercode gebruikt om de snelheid van 455 kHz te halen. Bij de draaggolffrequentie van 455 kHz kan volgens het datasheet een modulatiefrequentie van 20 kHz worden gebruikt, wat overeen zou komen met 19,2 kBit/s als datasnelheid. De auteur heeft vastgesteld, dat ook 38,4 kBit/s gemakkelijk lukt, dus dat wordt in de software gebruikt. Ook andere frequenties zijn mogelijk (zie het commentaar in het programma).

In een lus wordt de toestand Rx-lijn van de UART-interface afgevraagd en verwerkt. De commando's / functies in **tabel 1** worden herkend. In het assemblergedeelte wordt de timing simpelweg geregeld met NOP-instructies (het juiste aantal is afhankelijk van het gebruikte kristal, zie broncode [2]). Voor een andere kristalfrequentie moeten we gewoon

Tabel 1: Overzicht van de commando's.

Commando	Functie	Bruikbare waarden
A	Stelt PWM_A van de controller in. Deze bestuurt het zendvermogen.	30...130
B	Stelt PWM_B van de controller in. Deze bestuurt de versterking van de 'vroegere' AGC.	30...130
M	Set modus: De individuele bits besturen de volgende functies, de rest is ongebruikt. Bit2: De PWM wordt dubbel geïncrementeerd, daardoor dubbele scansnelheid bij progressive scan. Bit4: 1= rode LED's aan. Bit4: 0= rode LED's uit.	
R	Radar: vrij lopende <i>progressive scan</i> -modus.	Beëindigen met ESC (ASCII 27), eventueel is herhalen nodig.
F	Free running. Vrij lopende scans.	Beëindigen met ESC (ASCII 27), eventueel is herhalen nodig.
W	Stelt de wachttijd tussen 2 scans in ms in (minstens 2 ms).	0...255
P	<i>Progressive scan</i> , eenmalig scannen met toenemende reikwijdte.	
S	Scan once, scant één keer en antwoordt dan met het resultaat.	
I	Set Initial command: Eén van de bovenstaande commando's wordt na de start automatisch uitgevoerd, alle andere ASCII-waarden geven een prompt '>' voor een invoer	

De commando's mogen ook in kleine letters worden gegeven.

de aanwijzingen in het commentaar volgen. Om een scan te starten, worden eerst de AGC's van de TSOP7000 'geflitst' om ze in te stellen op de gewenste gevoeligheid. Dan zenden de flits-diodes een startbit, waarna de zeven scan-diodes elk één bit van het UART-byte genereren. Ten slotte worden het achtste bit en het stopbit weer gemaakt met de flits-diodes. Het ontvangen van een scan is eenvoudig: De TSOP7000 is verbonden met de Rx-ingang van de UART-interface aangesloten, zodat in BASCOM meteen een byte binnenkomt.

Opbouw en afregeling

Nog een paar tips over de IR-diodes en -ontvangers. Vanwege de hoge zendfrequentie zijn de hier genoemde, supersnelle IR-diodes (of vergelijkbare types) nodig om de mogelijke reikwijdte uit te buiten. De zeer gangbare IR-

diode LD274 met een openingshoek van 20° is voor deze toepassing te traag en werkt alleen bij korte afstanden tot circa 30 cm. De reactietijd/flanksteilheid is gewoon onvoldoende om meer zendvermogen te realiseren.

De sensor karakteristiek van de TSOP7000 is te vinden in het datasheet. Deze is lobvormig met een openingshoek van ongeveer 90°. De 90°-uitvoering heeft dan ook een sensorgebied van ongeveer deze vorm. Voor de 180°-versie gebruiken we twee TSOP7000's, die uitgelijnd zijn op +45° en -45°. De verminderde gevoeligheid aan de rand heeft dan tot gevolg, dat de sensor dan niet alleen aan de rand, maar ook in het midden iets zwakker is. In het schema zijn voor een scanhoek van 180° als buitenste diodes TSHF5210's (10°) gekozen, die hebben maar de helft van de afstraalhoek van de TSHF5410 (22°), maar geven wel een grotere lichtdichtheid. Dat com-

penseert de slechtere ontvangsteigenschappen aan de rand van de TSOP en zo ontstaat een min of meer rechthoekig scangebied voor de sensor. Wie dat wil, kan ook aan de rand de TSHF5410 inzetten.

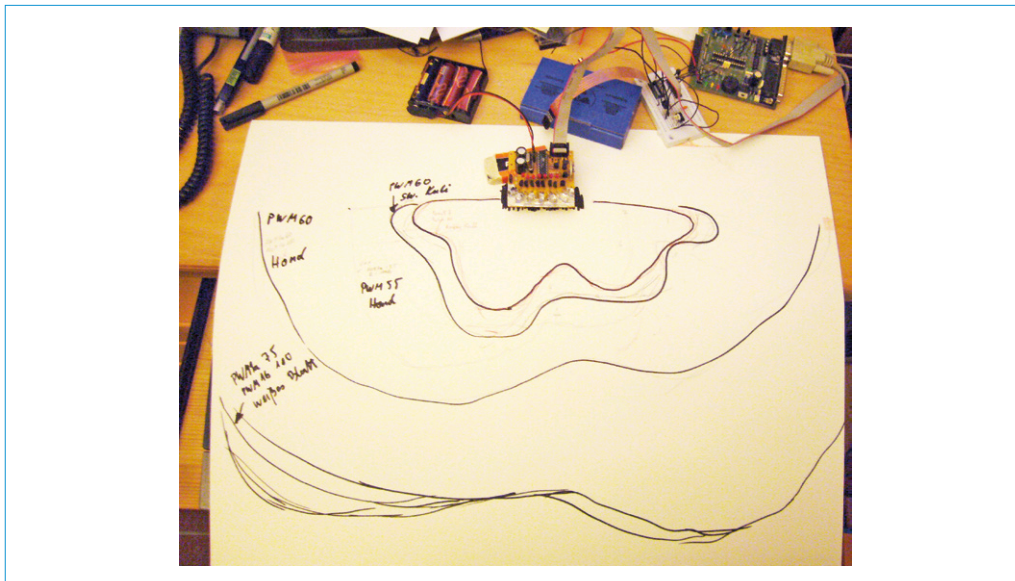
Met de twee TSHF5210's op de buitenste posities kunnen we de verminderde gevoeligheid aan de rand iets compenseren en bereiken we een bijna rechthoekig sensorgebied, dat alleen in het midden nog wat ingestulpt is. Als we ook iets voor het middengebied willen doen en het sensorgebied meer halfcirkelvormig willen maken, kunnen we een derde TSOP toevoegen, die net als bij de 90°-versie recht naar voren kijkt. Door de overlapping ontstaat dan een, in het midden iets verlengd, bijna halfcirkelvormig meetveld.

Zie **figuur 4** en [5] voor de activeringscurven van de obstakels (van binnen naar buiten) balpen, hand en wit vel papier bij verschillende PWM-instellingen. Het meetveld is

van het meetgebied.

Let er bij het opbouwen van de print op, dat TSOP7000, LED9 en LED17 (alleen bij 180°-scanhoek) aan de onderkant moeten worden gesoldeerd. De print moet optisch ondoorzichtig zijn. Een koperlaag, metaalplakband en een simpele markeerstift kunnen daarbij helpen. De IR-diodes moeten met een tang zorgvuldig haaks ten opzichte van de behuizing worden uitgelijnd, alleen dan staan de diodes onder de juiste hoek.

Als alle onderdelen succesvol op (en onder) de print zijn aangebracht, kunnen we de TTL-interface met de host-controller aansluiten en de voedingsspanning V_{CC} inschakelen. V_{CC} kan uit het host-systeem worden afgenomen en wordt aangesloten op K3. De zenddiodes kunnen naar keuze worden gevoed uit V_{CC} (jumper J1 op +5 V) of uit een ongeregelde spanningsbron (4,8...16 V, bijvoorbeeld uit een accu). Dat heeft geen invloed op het

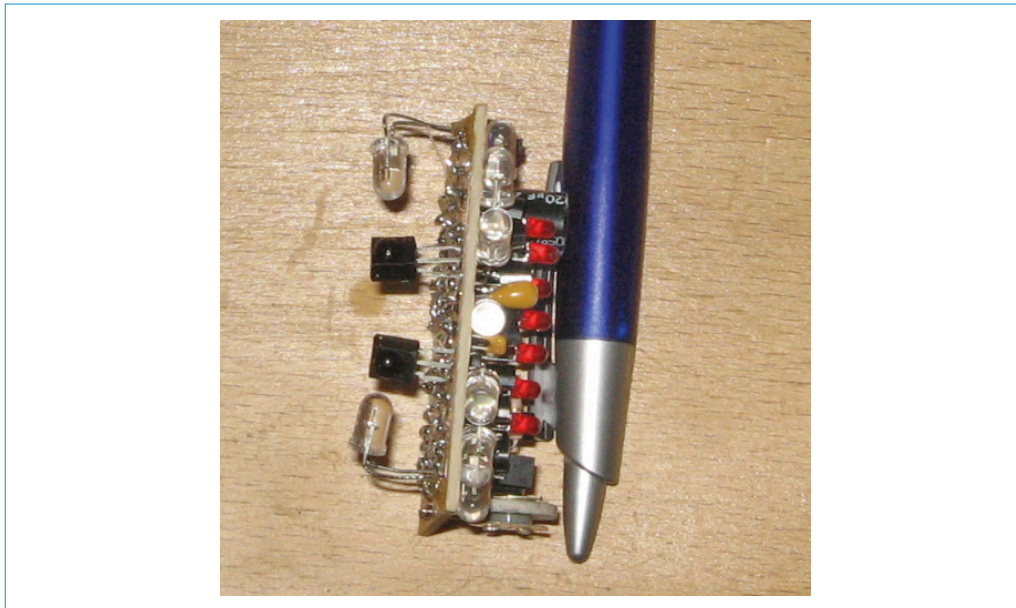


Figuur 4:
Activatiecurven met
verschillende obstakels.

niet helemaal symmetrisch, doordat de beide TSOP7000's blijkbaar verschillend waren 'geflitst', door toleranties van de gebruikte diodes of gewoon vanwege een verschillende afstand tussen de flitsdiodes en de sensor. De curves kunnen worden verbeterd door een mechanische verandering van de afstand tussen diode en TSOP of door een shunt (vast of instelbaar) parallel aan de diodes aan te brengen. In het vooraanzicht (**figuur 5**) zien we de verschillende afstand van de flitsdiodes voor de TSOP na een mechanische correctie

zendvermogen, want op de emitters van T1 t/m T7 staat altijd ca. 4,3 V ($V_{CC}-U_{be}$). De optionele weerstanden R1 en R10 reduceren het verliesvermogen in T1 t/m T7 bij erg snel continu scannen en maximale reikwijdte. Ze kunnen meestal worden vervangen door draadbruggen.

Voor de eerste experimenten is het handig om een PC met een terminalprogramma (bijvoorbeeld Hyperterminal) met de instellingen 8N1 te gebruiken, de TTL-UART-interface verbinden we via een USB/TTL-converter of een



Figuur 5:
Links zijn de flitsdioden met
'gekalibreerde' afstanden
voor de TSOP te zien.

vergelijkbare kabel met de PC. Verder moeten we zorgen voor +5 V op K3, bijvoorbeeld uit de USB-interface.

Na het inschakelen start de controller, afhankelijk van de waarde in het 'Initial Command-register', ofwel met een actie of met een prompt. Stuur een ESC (ASCII 27) om een prompt te verkrijgen, het kan nodig zijn om dat meerdere keren te doen. Daarna kunnen we één van de commando's uit de tabel invoeren.

Met de commando's R en P worden *progressive scans* uitgevoerd, dat wil zeggen dat de gevoeligheid langzaam wordt opgevoerd, terwijl meerdere scans worden gedaan. Als resultaat krijgen we dan twee waarden: de richting en de PWM-waarde waarbij een hindernis is gedetecteerd. Omdat de PWM maar

langzaam wordt opgevoerd, zijn veel scans nodig en de scansnelheid is hier afhankelijk van het aantal benodigde scans tot er iets wordt gedetecteerd. Dat kan al gauw 100 ms tot 1 s duren.

(150076)

Weblinks

- [1] <http://datasheet.octopart.com/TSOP7000.-Vishay-datasheet-595920.pdf>
- [2] www.vishay.com/docs/81313/tshf5210.pdf
- [3] www.vishay.com/docs/81303/tshf5410.pdf
- [4] Software: www.elektormagazine.nl/articles
- [5] www.youtube.com/watch?v=AAm9u9GZCo