



**Veelzijdige
dobbelsteen**



**Actief
Luidspreker-
systeem**

**Scheidings-
filters met
buizen**

**Werken met
SMD's**

SCHAKELLEN OP AFSTAND MET SMS



Uitslag flash-wedstrijd

Schaakcomputer wint met ruime voorsprong

Harry Baggen

De inzendingen voor de in de Halfgeleidergids uitgeschreven flash-wedstrijd bleken van een bijzonder hoog niveau te zijn. Praktisch alle deelnemers hadden bovendien een uitgebreide documentatie meegestuurd. Dat maakte het voor de jury niet gemakkelijk, maar uiteindelijk bleek één inzending er toch duidelijk boven uit te steken: de schaakcomputer van Pedram Azad en Tilo Gockel.

De winnaars:

Hoofdprijs: € 500,-

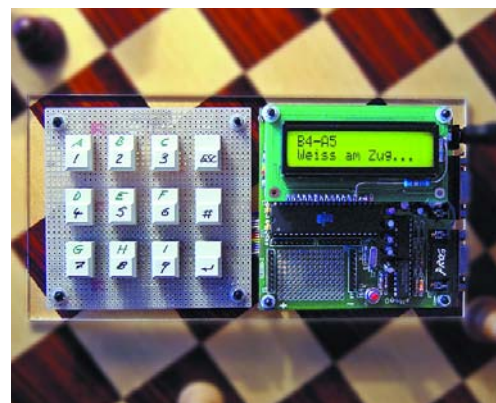
– **Schaakcomputer Deep Evelyn** van Pedram Azad en Tilo Gockel (D)

Troostprijzen: Elektuur-cadeaubon t.w.v. € 100,-

- **Programmeerbare schakelklok** van Wilfried Wätzig (D)
- **LED-lichtkrant**, eveneens van Wilfried Wätzig
- **Realtime-clock met DCF-synchronisatie** van Mark de Martelaer (B)
- **RGB-generator/converter** van Alexander Steiger (D)
- **DALFLASH-uitbreidingskaart** van Alain Desalle (B)

Uit de inzendingen bleek dat veel Elektuur-lezers bijzonder serieus aan de slag waren gegaan met het 89S8252 flash-board. Dat resulteerde in een aantal fraaie schakelingen en goede software. De meeste inzenders hadden uitgebreide beschrijvingen en foto's van hun projecten bijgevoegd om de jury een zo goed mogelijke indruk van hun project te geven. De jury bestond uit de vier hoofdredacteurs van respectievelijk de Nederlandse, Duitse, Engelse en Franse uitgave van Elektuur/Elektor, plus de chef van onze ontwerpafde-

ling. Het was immers een internationale wedstrijd, dus moest er ook een internationale jury naar kijken! Na het bestuderen van alle inzendingen en het optellen van de punten bleek dat de hele jury op één lijn zat voor de hoofdprijs: De schaakcomputer met de magische naam Deep Evelyn van het Duitse team Pedram Azad en Tilo Gockel was duidelijk de beste! Hun inzending bestaat uit een flash-board met een LCD en een toetsenbord, dat een volwaardige schaakcomputer vormt. De software is compleet in de controller onderge-



bracht. Eerlijkheidshalve moet erbij vermeld worden dat de oorspronkelijke 89S8252 door de heren is vervangen door een pin-compatibele 89S53 die wat meer geheugen (12 K) bevat, maar dat vond de jury acceptabel omdat hiervoor geen ingrijpende aanpassingen op het flash-board nodig waren. We feliciteren beide ontwerpers met hun prijs van € 500,- en we zullen hun project binnenkort in Elektuur nader voorstellen.

Onder de overige inzendingen waren nog verschillende die zeker de moeite waard zijn om in Elektuur te publiceren. Dat houdt u nog van ons tegoe voor de komende maanden.

(035036)

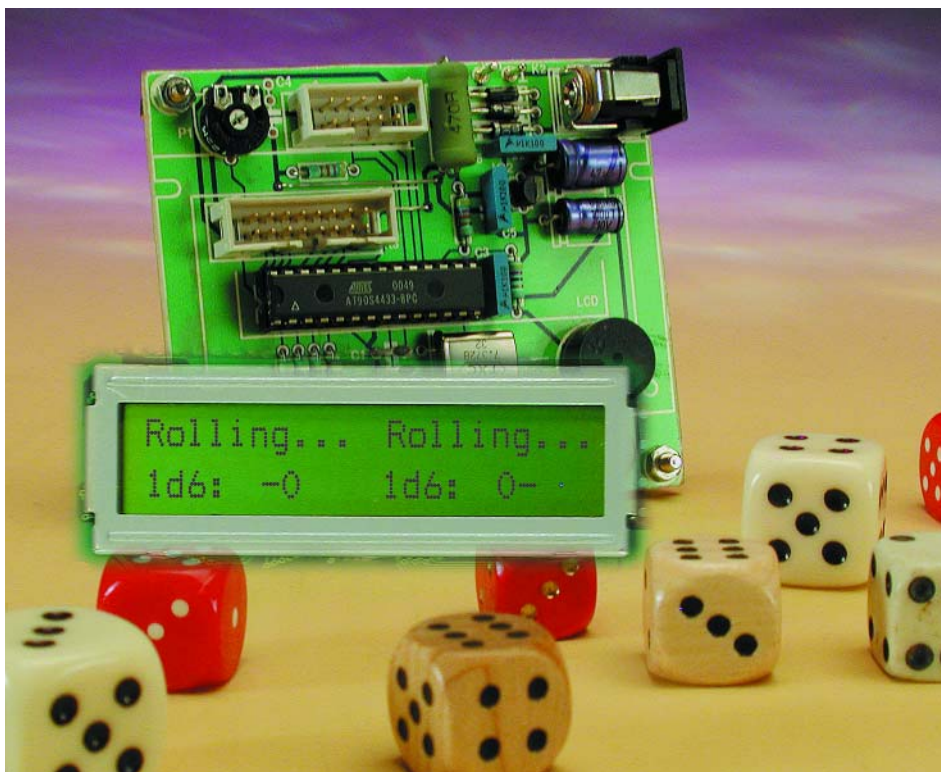
Dobbelsteen-generator

Voor rolspele

Ontwerp: E. Eugeni

bitlab@tin.it

Bij rolspele, (Role Playing Games of RPG's) draait alles om gebeurtenissen. Daarom zijn er veel verschillende soorten dobbelstenen nodig, misschien wel varianten waar u nog nooit van heeft gehoord! Deze op een microprocessor gebaseerde schakeling kan ze allemaal genereren - een must voor RPG-spelers.



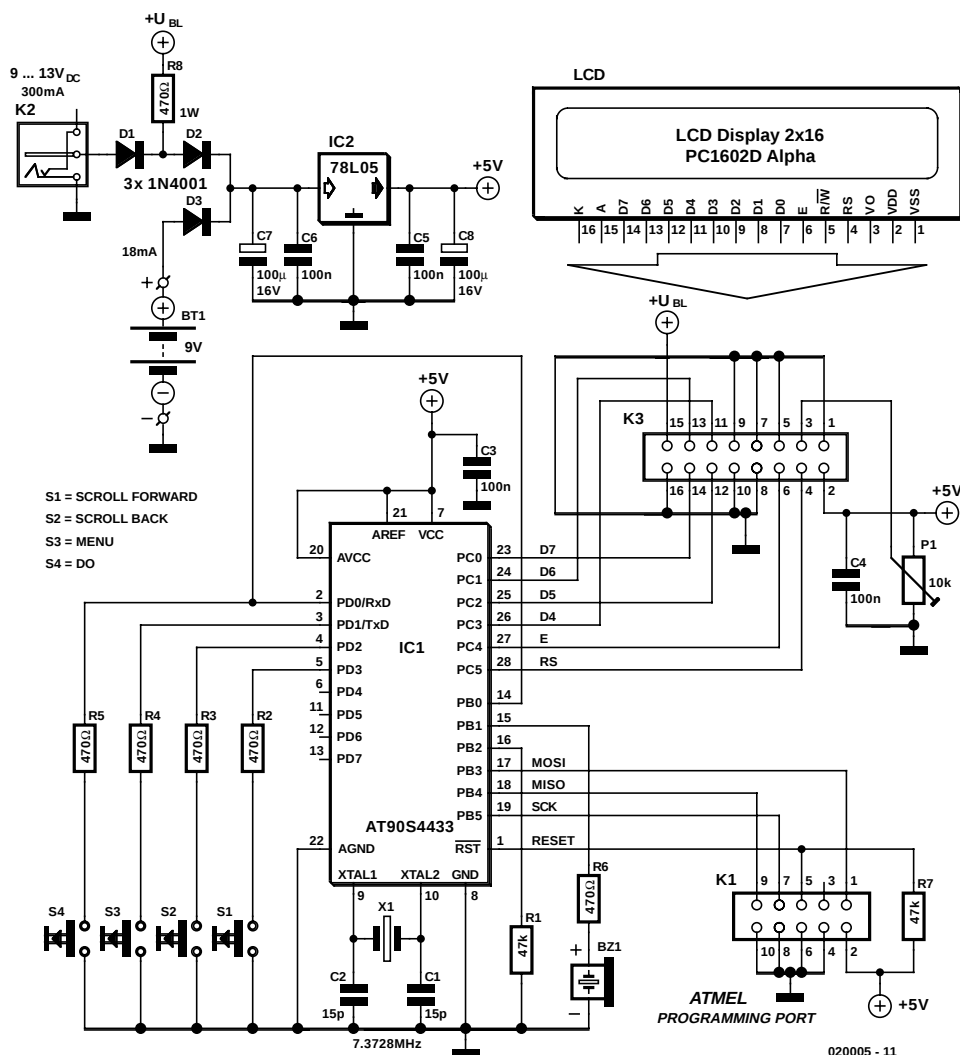
Als we een dobbelsteen op tafel gooien en een seconde of twee uit laat rollen, dan verwachten we een willekeurig nummer uit het interval één tot en met zes te zien. Dit interval is bepaald door de fysieke vorm van de

dobbelsteen, namelijk (in het klassieke geval) een kubus. Met twee of meer stenen kan een groter interval gecreëerd worden, met als gevolg een afnemende kans dat een

bepaald getal gegooid wordt. Een elektronische versie van, laten we zeggen, een hand vol dobbelstenen vereist een schakeling die een redelijke mate van pseudo-willekeurig gedrag vertoont.

Rolspele

Omdat ze werken met gebeurtenissen, zijn voor RPG's dobbelstenen nodig die er behoorlijk anders uitzien dan de klassieke zeskantige kubusvormige steen. De te simuleren actie kan variëren van een simpele tos (als spelers bijvoorbeeld moeten kiezen tussen ja of nee, waar of niet waar, zwart of wit etc.), tot zelfs het bepalen van een kans tussen de 0 en 100%: de uitkomst van het rollen met een dobbelsteen met 100 driehoekige, genummerde kanten. Tussen deze twee extremen in worden bij rolspele dobbelstenen gebruikt met 8, 10, 20 en zelfs 3 kanten. Uiteraard bestaat deze laatste steen niet; er wordt een gewone kubus gebruikt waarop elk nummer (1, 2 en 3) op twee van de zes zijden is gedrukt, geschilderd of geëtst. Verbaasd? Nog nooit gehoord van rolspele? Kijk eens op de volgende websites:



Figuur 1. Schema van de elektronische RPG-dobbelsteen. Alle intelligentie is in de flash-microcontroller IC1 ingebakken.

www.webrpg.com
www.rpgghost.com
www.rpg.net

Welke dobbelsteen daadwerkelijk in het spel wordt gebruikt, bepaalt de 'Game Master'. Hij of zij kan besluiten om de gehele reeks mogelijkheden te gebruiken, maar dat kan net zo goed alleen de 6- of 10-voudige steen zijn, waarbij bijvoorbeeld 100 kan worden gehaald door twee keer 10 te gooien. Niettemin zal, met de spreuk *melius abundare quam deficere* in gedachte ('beter te veel dan te weinig'), de ervaren RPG-speler altijd een zakje met een tiental stenen bij zich hebben, voor het geval dat...

In het volgende gedeelte beschrijven we de werking van een volledig elektronische variant van een dergelijk zakje met stenen.

Schakeling

Het schema van de elektronische RPG-dobbelsteen staat in **Figuur 1**. Het is een standaard toepassing van de programmeerbare flash-microcontroller Atmel AT90, samen met een aantal input devices (schakelaars S1-S4), output devices (buzzer BZ1 en een LCD) en voeding (IC2). Het schema zelf zou net zo goed weergegeven kunnen worden bij een artikel over een lanceerinstallatie voor een raket of over een eierwekker, de functionaliteit wordt natuurlijk bepaald door de software die in de AT90 chip wordt gezet. De schakeling is geschikt voor het in-circuit programmeren van de Atmel flash-chip via connector K1. De voedingsspanning kan verzorgd worden door een 9-V-batterij of een kleine netadapter met een spanning

tussen de 9 en 13 V_{DC} bij ongeveer 300 mA. Om de batterij een beetje te ontzien, brandt het backlight van het LCD (mits aanwezig) alleen als de schakeling op de netadapter is aangesloten. De batterij mag aangesloten blijven als de adapter wordt gebruikt. Weerstand R8 moet eventueel nog aangepast worden, afhankelijk van de benodigde stroom voor het toegepaste LCD. Het LCD alleen neemt ongeveer 18 mA op, maar dit zal aanzienlijk meer zijn als het backlight gebruikt wordt. Met de aangegeven waarde van R8 zal er een stroom van net 10 mA door het backlight lopen. Om voldoende lichtniveau te krijgen, dient deze waarde dus wellicht nog veranderd te worden (tussen 47 Ω en 82 Ω). Tegenwoordig is er een ruime keuze in LCD's van verschillende fabrikanten: nieuw, (gebruikte) restpartijen, speciale aanbiedingen, noem maar op. Hier gebruiken we het populaire type met 2 x 16 karakters. Ondanks het grote aanbod zijn de fabrikanten van deze dingen jammer genoeg geen

standaard overeengekomen voor de positie van de 16-polige connector. Daarom is de schakeling voor de dubbelsteengenerator uitgerust met een header waarop het LCD met een stukje flatcable aangesloten kan worden. Pen 1 van de header gaat naar pen 1 van het LCD, pen 2 naar pen 2, enz.

Ook de bevestigingsgaten in de hoeken van de LCD-print zitten niet op een gestandaardiseerde plek, daarom zijn er geen gaten gemaakt voor printsteunen op het dubbelsteen-board.

Niet bij alle LCD's met ingebouwde verlichting zitten de aansluitingen voor de lamp (of LED) op pennen 15 en 16, zoals in ons schema is aangegeven. Soms zitten deze twee aansluitingen op een andere plaats op de module en moeten de twee draadjes er naar toe een beetje verlegd worden. Als u twijfelt: zoek op Internet naar een datasheet

van uw LCD.

Met instelpotmeter P1 kan het contrast van het LCD worden aangepast aan verschillende kijkhoeken. Als er alleen maar zwarte blokjes of helemaal niets te zien is als de schakeling wordt aangezet, draai dan aan P1 totdat er tekst verschijnt. Gebeurt dat niet, dan zit er een fout in de hard- of software.

Opbouw

De opbouw van de elektronische dubbelsteen zou geen probleem moeten zijn, vooral omdat een kant-en-klare print bij Elektuur verkrijgbaar is (EPS 020005-1). Deze is afgebeeld in **figuur 2**. Bij Elektuur kunt u tevens een voorgeprogrammeerde

controller bestellen (EPS 020005-41). Er zijn verder geen speciale voorzorgsmaatregelen nodig die we hier moeten noemen, behalve wellicht dat het aan te bevelen is een IC-voetje voor de microcontroller te gebruiken. Verder moeten de verbindingen met de drukknoppen gecontroleerd worden voordat deze (vierkante) onderdelen op de print worden geplaatst. Met andere woorden: zoek de juiste contacten van de schakelaar in zijn behuizing en overtuig u er van dat ze naar de correcte soldeeraansluitingen gaan. De functie van alle afzonderlijke schakelaars is in het schema aangegeven. Tot slot: als u een voorgeprogrammeerde microcontroller gebruikt, hoeft er niets meer te worden aan-

Onderdelenlijst

Weerstanden:

R1, R7 = 47 k
R2-R6 = 470 Ω
R8 = 470 Ω /1 W (zie tekst)
P1 = 10 k instel

Condensatoren:

C1, C2 = 15 p
C3-C6 = 100 n
C7, C8 = 100 μ /16 V

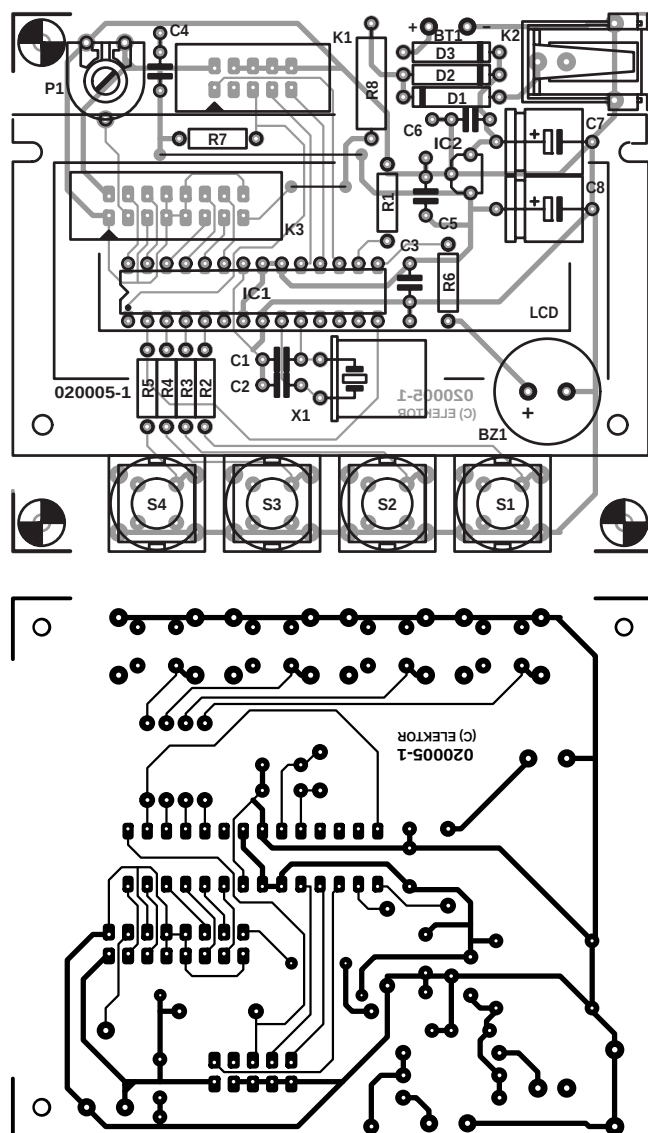
Halfgeleiders:

D1, D2, D3 = 1N4001
IC1 = AT90S4433-8PC (geprogrammeerd, EPS 020005-41)
IC2 = 78L05

Diversen:

BT1 = 9-V-batterij
BZ1 = DC-buzzer, 5 V
K1 = 2x5-polige boxheader
K2 = netadapterbus voor printmontage
K3 = 2x8-polige boxheader
S1...S4 = drukknop met maakcontact, voor printmontage
X1 = kristal 7,3728 MHz
LCD-module met 2 x 16 karakters, bij voorkeur met backlight, bijv. PC1602D, LM052L, LM016
Print EPS 020005-1
Floppy met source-code EPS 020005-1 I

Print-layout en source-code zijn ook gratis beschikbaar op www.elektuur.nl



Figuur 2. Layout and componentenopstelling van de print voor deze schakeling.

gesloten op de programmeerpoort van de Atmel!

Gebruik in de praktijk

De vier knoppen hebben de volgende naam: (van links naar rechts op de print):

- S4** DO (uitvoeren)
- S3** MENU
- S2** SCROLL BACK / '-' (min)
- S1** SCROLL FORW / '+' (plus)

Als de spanning wordt ingeschakeld, laat de schakeling gedurende een aantal seconden een welkomstboodschap zien. Vervolgens wordt de menupagina geladen en de default waarde 'Roll Dice' gekozen.

De genoemde welkomstboodschap ziet er overigens als volgt uit:

```
RPG DICE
V 1.0
```

en wordt vergezeld van drie korte piepjes uit de buzzer. De MENU-pagina is wat functionaliteit betreft in twee rijen verdeeld: de bovenste rij is statisch en laat eenvoudig het woord MENU zien. De onderste rij is dynamisch en laat de huidige bedrijfsmodus zien. Alle drie de modes zijn te bekijken door SCROLL BACK en SCROLL FORW te bedienen.

```
MENU
Roll Dice
```

```
MENU
Armour Class
```

```
MENU
Hit Points Memo
```

Als een bepaalde mode wordt weergegeven op de onderste regel, kan deze gekozen worden door op DO te drukken. Om terug naar het menu te gaan, kan op MENU gedrukt worden. Let op, een kleine handigheid: Als u op het punt staat een selectie te bevestigen, kan ook MENU worden gebruikt in plaats van DO. Met andere woorden: De MENU-toets kan zowel voor het kiezen als voor het verlaten van een bepaalde mode gebruikt worden. Deze ietwat vreemde functionaliteit is ingebouwd naar aanleiding van opmerkingen van spelers. Het blijkt dat zij liever één toets vaker bedienen dan meerder toetsen afzonderlijk.

Roll Dice mode

Als we op de eerste menupagina starten,

```
MENU
Roll Dice
```

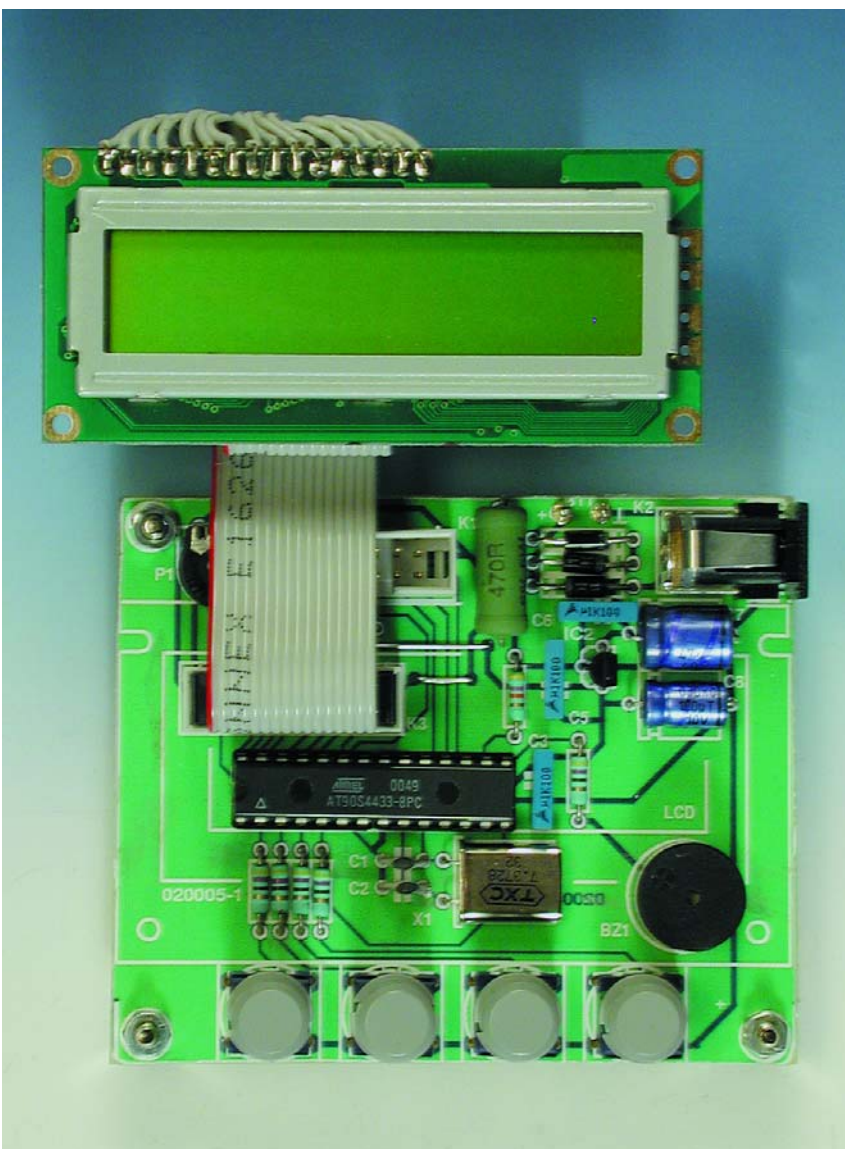
kan DO of MENU gekozen worden om de pagina voor de dobbelsteenkeuze te selecteren.

```
Select dice
1d4:
```

Deze pagina laat de statische tekst 'Select dice' zien en geeft het huidige gekozen type dobbelsteen aan. De typen worden weergegeven volgens het conventionele RPG-formaat. In compacte vorm: '1dn', waarbij '1d' een prefix is en n het aantal kanten van de steen.

De huidige versie van de firmware kan een worp met de volgende dobbelstenen simuleren:

- 1d4:** Een steen met slechts vier kanten (piramide met driehoekig grondvlak).
- 1d6:** De klassieke steen met zes kanten.
- 1d8:** Een steen met acht kanten (twee piramides met vierkant grondvlak tegen elkaar).
- 1d10:** Een steen met tien kanten (twee piramides met pentagonaal grondvlak tegen elkaar).
- 1d20:** Een steen met twintig kanten (lijkt op een kleine golfbal).
- 1d100:** Beter bekend als de 'percentagesteen', vaak vervangen door een 1d10 die dan twee keer geworpen wordt zodat de een- en de tientallen afzonderlijk verkregen worden.



Figuur 3. Opgebouwd prototype van de dobbelsteen.

Kan ik er van op aan?

Een voor de hand liggende vraag, wanneer zoiets als een elektronische variant van een alledaags voorwerp als een dobbelsteen wordt gemaakt: 'In welke mate kan een logisch werkende bouwsteen als een microcontroller willekeurigheid leveren'? Inderdaad, als er wordt geprobeerd bepaalde willekeurigheid in de programmatuur van een microcontroller te stoppen, komt dat altijd neer op een pseudo-random algoritme waarvan het uiteindelijke resultaat voorspeld kan worden.

Het hangt namelijk af van bekende en te voorspellen factoren. De benadering die de ontwerper van dit project heeft gevolgd, is anders. Het is te vergelijken met een dartboard dat snel rond draait als je gooit. Is nu te voorspellen waar het pijltje terecht komt? Het doel is weliswaar te zien, maar de exacte positie van ieder afzonderlijk stukje bord is noch te herkennen, noch is het mogelijk erop te anticiperen. Dat komt omdat het bord zo snel draait dat bewust richten ondoenlijk is. Nog sterker: zelfs als er tientallen darts op gezette tijden geworpen worden, is niet te voorspellen waar ze terecht komen. Al deze overwegingen zijn in

voldoende mate bij de constructie van deze elektronische RPG-dobbelsteen meegenomen. Om het willekeurige gedrag van een echte dobbelsteen te benaderen, wordt het resultaat van elke gesimuleerde worp niet door een pseudo-random algoritme bepaald, maar eenvoudig door het vaststellen van de 16-bits waarde van een binaire teller die honderden keren per seconde wordt bijgewerkt. Deze teller is weliswaar fysiek geïmplementeerd in de microcontroller, maar functioneert verder zonder directe interventie van het verwerkingsgedeelte. Als er op de DO-knop gedrukt wordt, neemt de firmware een momentopname van de tellerwaarde en laat vervolgens na een aantal rekenkundige operaties het eindresultaat zien. Het is dus duidelijk, dat de gebruiker zelf de echte 'random' variabele in dit proces is. De score van iedere worp kan namelijk niet geraden worden, bewust of onbewust, aan de hand van eerdere resultaten of aan de hand van de opbouw van de software.

Liefhebbers van programmatuur zullen het overigens ongetwijfeld op prijs stellen dat de broncode van de firmware voor de elektronische dobbelsteen gratis is te downloaden op de Elektuur website, onder nummer 020005-11.

De speler kan de lijst met stenen langs gaan door de scroll-toetsen te gebruiken. Als de gewenste steen op het scherm verschijnt, kan de gebruiker 'schudden en werpen' door DO ingedrukt te houden, of kan het menu verlaten worden door op MENU te drukken.

Laten we stap voor stap eens een voorbeeld bekijken.

Stap 1:

```
Select dice
1d6:
```

Stap 2: Druk op DO en houdt deze een tijdje ingedrukt.

```
Rolling... Rolling...
1d6: -0 1d6: 0-
```

De '-0' en '0-' patroontjes die hierboven te zien zijn, verschijnen meerdere keren per seconde achter

elkaar, als visuele bevestiging van het schudden. Tegelijkertijd maakt de buzzer een klikkend geluid, zodat het lijkt alsof er echte dobbelstenen over tafel rollen.

Stap 3: Uiteindelijk, als de knop wordt losgelaten, zal een score in het scherm verschijnen (hier: 4).

```
[DO] to roll
1d6: 04
```

Armour Classes en Neighbouring FAQ

Wat is een Armour Class?

Een 'Armour Class' is een integer die de mate waarin een vijand een aanval kan weerstaan representeert. Bijvoorbeeld wat betreft de kwetsbaarheid van zijn bewapening, zijn vege lijf, of wat dies meer zij en verder wat betreft de mate waarin hij een aanval kan ontwijken en zichzelf kan beschermen tegen een aanval. Ieder mogelijk doel in een rollenspel moet zijn eigen AC-waarde (normaal tussen -19 en 1) laten zien, zodat zijn kunde in het gevecht duidelijk is.

Wat is een THACO-waarde?

Een THACO-waarde, acroniem van 'Throw to Hit Armour Class zero', is ook een integer. Echter, in plaats van over een vijand zegt dit getal iets over de speler die aanvalt. Iedere speler moet een THACO-waarde tussen 1 en 20 hebben.

Wat is een throw to hit?

Een 'throw to hit' is niets anders dan een enkelvoudige worp met een 1d20. De resulterende score wordt afgetrokken van THACO, om een uitkomst te bepalen van een gevecht. Met andere woorden: de combinatie van de THACO-waarde van de speler die aan-

valt en de AC-waarde van de speler die aangevallen wordt, zorgt samen met de willekeur van de dobbelsteen voor een overtuigend en fascinerend RPG-scenario.

Om maximale resultaten te behalen als met de 'Armour Class mode' wordt gewerkt, dient de gebruiker de volgende stappen te volgen:

1. Stel vooraf een geschikte THACO-waarde in (de schakeling onthoudt de laatst ingestelde waarde).
2. Voer een 'throw to hit' uit.
3. Negeer de worp-score, maar noteer de waarde van AC.
4. Wijs alle spelers die een AC-waarde groter of gelijk aan de zojuist verkregen waarde hebben aan als 'geraakt'.

Opmerking: de genegeerde worpscores bij stap 3 kunnen in sommige spelsituaties wel degelijk nuttig zijn. Bijvoorbeeld bij een zogenaamde 'fumble' (score 1) en de 'critical hit' (score 20). Lezers die meer willen weten over de fascinerende wereld van de rollenspelen kunnen terecht op talloze webpagina's op internet. Geef bijvoorbeeld 'RPG' of 'Role Playing Games' in (soms ook incorrect geschreven als Roll Playing Games), in een zoekmachine als Google.

Vanaf nu kan, om opnieuw te gooien, weer op DO gedrukt worden, net zoals in stap 2 enz. Bedenk wel dat het type steen nu niet veranderd kan worden. De tekst op het scherm is immers '[DO] to roll', en niet 'Select dice' zoals eerst. Om van dobbelsteen te veranderen moet eerst op MENU gedrukt worden om terug te gaan naar de selectiepagina.

Armour Class mode

Als de schakeling in 'Armour class mode' staat,

```
MENU
Armour Class
```

kan met DO of MENU voor de volgende pagina gekozen worden:

```
Input THAC0
09
```

Hier wordt gevraagd om een getal van 01 tot en met 20 in te geven: de THAC0- (THAC nul) waarde.

Dit tweecijferige nummer kan in stapjes van één opgehoogd of verminderd worden door op SCROLL FORW/'-' of SCROLL BACK/'+' te drukken. In de huidige versie van de firmware is geen auto-repeat geïmplementeerd voor deze toetsen, dus voor iedere stap moet een keer gedrukt worden. Telkens wanneer het getal verandert klinkt er een korte piep uit de buzzer.

Als een geschikte THAC0-waarde is gekozen kan met DO naar de volgende pagina worden gegaan:

```
[DO] to hit!
Roll:      AC:
```

of met MENU teruggegaan worden naar het begin van de 'Armour Class mode'.

Vanaf hier herhaalt een en ander zich zoals in de 'Roll Mode': druk op DO en houdt deze vast, de lopende '-'

0' / '0-' patronen verschijnen weer naast 'Roll:' en 'AC:', en ook het klikkende geluid uit de buzzer is weer te horen.

```
[DO] to hit!  [DO] to hit!
Roll:-0 AC:-0 Roll:0- AC:0-
```

Als de DO-knop wordt losgelaten, verschijnen er twee getallen: een worp-score en een zogenaamde 'armour class hit':

```
[DO] to hit!
Roll:13 AC:-04
```

De getallen uit het voorbeeld betekenen dat de worp met de stenen de score 13 heeft opgeleverd en omdat de THAC0-waarde op 9 was gezet, iedere speler met een AC-waarde gelijk aan of groter dan $9 - 13 = -4$ als 'geraakt' mag worden beschouwd. Deze 'Armour Class mode' is bijzonder handig als in het RPG-scenario de uitkomsten van gevechten moeten worden bepaald. Dit kan een eenvoudig gevecht van man tot man zijn, of een meer complexe veldslag of zelfs 'Star Wars' zijn.

Hit Points Memo mode

Dit is een eenvoudige optie die verder weinig te maken heeft met random getallen of dobbelstenen. Het is een elektronisch, hopelijk nuttig alternatief voor een papieren kladblokje (dat altijd zoek is wanneer je het nodig hebt).

Er van uit gaande dat bij de meeste spellen een of andere score bijgehouden dient te worden (bij rolspellen zijn dit de zogenaamde Hit Points, als maat voor de 'vitaliteit' van een karakter), kan de 'Hit Points Memo'-optie een handig hulpmiddel zijn om scores tussen twee sessies in op te slaan.

Zoals gebruikelijk starten we vanaf de MENU-pagina:

```
MENU
Hit Points Memo
```

Druk op DO of MENU om naar de volgende pagina te gaan:

```
Change HP value
100
```

Druk vervolgens op SCROLL BACK of SCROLL FORW om de waarde op te hogen of te verminderen (tussen 001 en 250).

Zoals we zagen bij de THAC0-waarde, is in de huidige versie van de firmware geen auto-repeat geïmplementeerd voor deze toetsen, dus voor iedere stap moet een keer gedrukt worden. Echter, om het instellen wat te versnellen kan tegelijkertijd met het scrollen de DO-knop ingedrukt worden. Nu wordt het getal met stappen van tien opgehoogd of verminderd.

Hoe zit dat nu eigenlijk met die 'Hit Points'? Iedere RPG-speler krijgt bij de start een bepaalde 'vitaliteitswaarde', normaal gesproken tussen 4 en 6 keer de waarde van het karakter. Als de speler vervolgens geraakt wordt, gif drinkt, een ongeluk krijgt of bepaald lichamelijk letsel oploopt, worden er een of meerdere punten van zijn 'Hit Points' afgetrokken, afhankelijk van het gewicht van iedere afzonderlijke gebeurtenis.

Het spreekt voor zich dat wanneer een speler geen 'Hit Points' meer over heeft, hij af is. Welnu, als het spel dat gespeeld wordt kort is, dan kan als er gestart wordt met een waarde van 15, de waarde 0 binnen een uur of drie bereikt zijn. Maar als het een lang spel is en het dagen of zelfs maanden duurt, dan is het zaak nauwlettend de 'vitaliteitsgeschiedenis' bij te houden. De 'Hit Points Memo'-optie kan hierbij een handig hulpmiddel zijn en kan een papieren notitieblokje of een hoop losse blaadjes vervangen. Het interne niet-vluchtige geheugen van de microprocessor houdt de data enkele tientallen jaren vast en zal ook niet gewist worden door wat gemorste koffie. Veel plezier!

(020005)

Werken met SMD's

Keuze en montage van miniatuur onderdelen

Christian Tomanik

ctomanik@gmx.de

Jammer maar waar: steeds meer onderdelen zijn uitsluitend nog als SMD (Surface Mounted Device) verkrijgbaar. Is het voor elektronica-hobbyisten de moeite waard om volledig op SMD-onderdelen over te gaan? Geen angst, de omgang met deze kleintjes is makkelijker dan men denkt. Ook de kosten voor nieuw gereedschap zijn te overzien.

Een flink aantal elektronische onderdelen is uitsluitend nog als SMD verkrijgbaar. Is het misschien verstandig om SMD's en normale onderdelen door elkaar te gebruiken? Nee, als er dan toch SMD's gebruikt worden, dan alles SMD!

De omgang met SMD's is minder moeilijk dan men denkt, mits het juiste gereedschap wordt gebruikt. De auteur beschrijft zijn ervaringen die hij tijdens de praktijkstages voor zijn diploma met de montage van printen heeft opgedaan. Maar dat solderen dan? Is daar niet een speciaal soldeerstation voor nodig? Welnee, als de fijnste stift wordt gebruikt, gaat het ook met een gewone 30...60 W soldeerbout. Het vergt weliswaar wat oefening en enkele weerstanden en condensatoren zul-

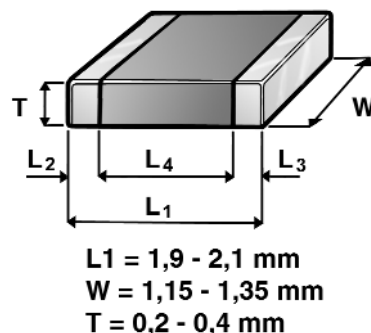
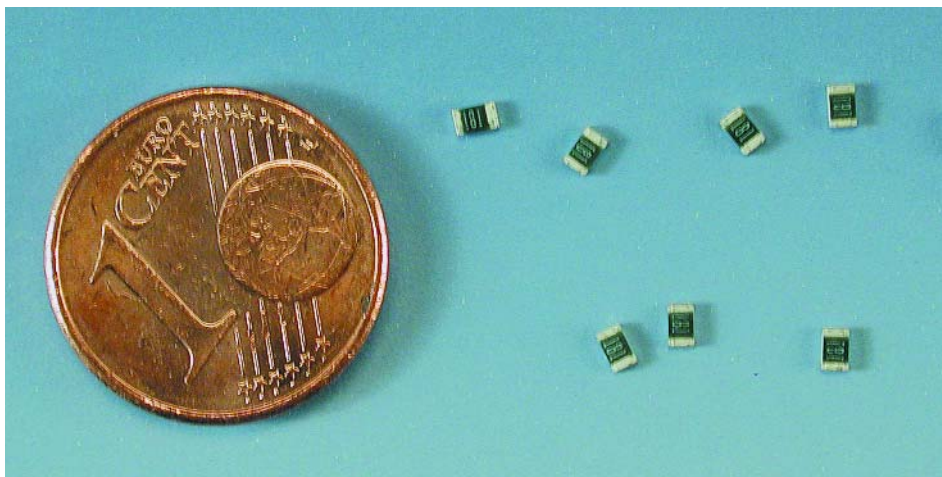
len het niet overleven, maar de verwerking is echt niet zo moeilijk.

SMD - het onbekende wezen?

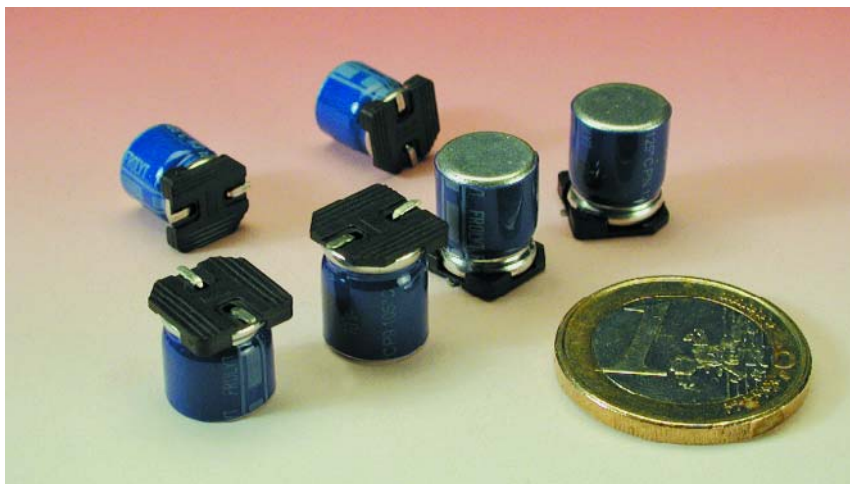
SMD's zijn onderdelen die aan de oppervlakte van de print worden gemonteerd, zoals de naam ook al aangeeft. Er zijn geen gaten in de print nodig om het onderdeel te monteren. Interessant is dat deze onderdelen heel klein zijn. Het benodigde oppervlak en volume zijn hierbij veel kleiner dan bij conventionele onderdelen. Daardoor is het nodig extra aandacht aan de printsporen

te besteden. Er mag bijvoorbeeld geen printspoor onder een onderdeel lopen.

SMD-onderdelen hebben zeer goede HF-eigenschappen. Dat komt omdat ze geen aansluitdraden hebben, maar hooguit stompvormige aansluitpootjes. Weerstanden hebben alleen aansluitkappen, geen draden. Gewone onderdelen met aansluitdraden worden op meer of minder afstand van de print gemonteerd. De HF-eigenschappen zijn daardoor niet exact vastgelegd. Bij SMD's liggen de onderdelen direct op de print en de HF-eigenschappen liggen vast en zijn goed reproduceerbaar.



Figuur 1. Tekening van de bouwvormen 1206, 0805 en 0603 en foto van weerstanden grootte 0805.



Figuur 2. Verschillende chip-elco's.

Belangrijk is dat door gebruik van SMD's de kosten lager worden. Zo zijn bijvoorbeeld SMD-weerstanden vrij goedkoop en ze nemen minder plaats op de print in. Daardoor kunnen de printen kleiner worden en zijn kleinere apparaten mogelijk.

Vorm en grootte

Laten we de bouwvormen en bouwgroottes van SMD-componenten eens nader bekijken.

- Chip-weerstanden/condensatoren (0805)
- Chip-elco's
- Tantaalcondensatoren (CT3516)
- Diodes (Mini-MELF)
- Transistoren (SOT23)
- IC's

Er is een groot aantal verschillende

bouwvormen, vooral bij de geïntegreerde schakelingen. We kunnen er hier slechts enkele de revue laten passeren. Het belangrijkste is dat men 'gevoel' voor de SMD-techniek krijgt. Voor wat de IC's betreft is het raadzaam eerst de datasheet te bestuderen en dan te beslissen of men het onderdeel zelf kan monteren. Er zijn namelijk bouwvormen die alleen door machines kunnen worden gemonteerd of waarvoor speciale apparatuur nodig is.

Chip-weerstanden/condensatoren

Weerstanden en keramische condensatoren zijn de meest gebruikte onderdelen. Ze zijn in chipvorm verkrijgbaar met aan beide kanten een aansluitkap die op de print wordt vastgesoldeerd. De behuizingen worden aangegeven met 1206, 0805, 0603 of 0201. De vier cijfers geven

aan hoe lang en hoe breed het onderdeel is. De eerste twee cijfers geven de lengte aan, de laatste twee de breedte. Als maateenheid wordt 1/10 inch gebruikt, overeenkomend met 2,54 mm. Een onderdeel met behuizingsvorm 0805 is $0,8 \times 2,54 = 2,032$ mm lang en $0,5 \times 2,54 = 1,27$ mm breed. In **figuur 1** zijn de bouwvormen 1206, 0805 en 0603 afgebeeld. Deze behuizingen hoeven geen problemen op te leveren, want ze kunnen met een gewone soldeerbout gemakkelijk worden gemonteerd.

Chip-elco's

Deze elco's lijken veel op elco's met aansluitdraden. Ze bestaan uit een bekercondensator die op een kunststof plaatje is gemonteerd. De aansluitpootjes zijn vanuit het midden onder de grondplaat naar buiten aan de zijkanten gevoerd (**figuur 2**). Ze zijn in een eenheidsraster uitgevoerd, bijvoorbeeld $4,3 \times 4,3$ mm voor een bekerdiameter van 4 mm en een hoogte van 5,5 mm. Voor deze bouwvorm bestaat geen bijzondere type-aanduiding.

Tantaalcondensatoren

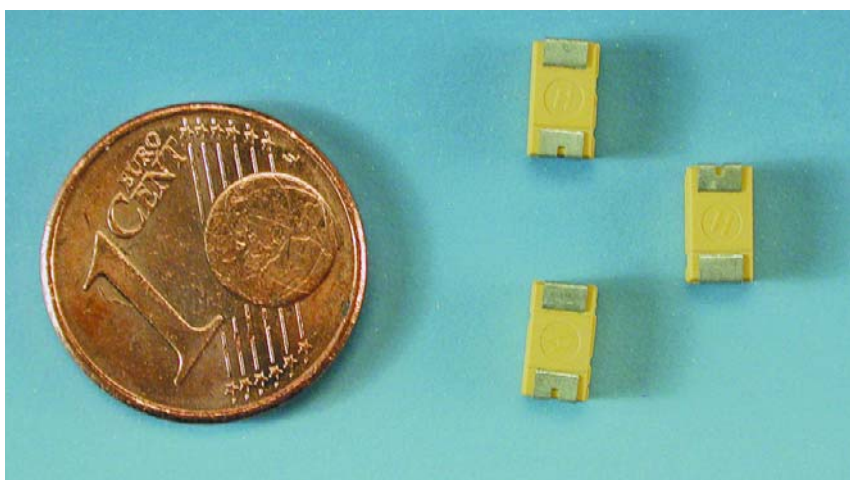
Tantaalcondensatoren hebben een typeaanduiding en een genormeerde maattekening waaruit de grootte van het onderdeel direct af te lezen is. De maateenheid in de tekening is de metrische. Er zijn de typen A tot D en de maattekeningen CT3216 t/m CT7343. Tekening CT3216 is type A. Uit het typenummer kan, in tegenstelling tot de tekening, de grootte van de bouwvorm niet worden afgeleid. CT betekent Chipcondensator Tantalum. De eerste twee cijfers geven de lengte van het onderdeel aan, de twee laatste de breedte, beide in millimeter. CT3216 (**figuur 3**) is een Chipcondensator Tantalum met een lengte van 3,2 mm en een breedte van 1,6 mm. Het enige dat niet in de tekening staat, is de hoogte die bij deze typen kan variëren.

Diodes

Diodes worden vrijwel uitsluitend in 'Mini-MELF' behuizingen gemaakt (**figuur 4**). Dit is een ronde behuizing met een diameter van 1,4 mm en een lengte van 3,6 mm. Door de manier waarop diodes worden gemaakt, zijn ze rond. Ronde onderdelen kunnen lastig worden vastgezet om te solderen, daarom is er ook een MELF-bouwvorm die rechthoekig is. De ronde diode is hierbij in kunststof ingegoten en van aansluitkappen voorzien.

Transistoren

Transistoren worden in een zogenaamde SOT23-behuizing geleverd (**figuur 5**). Dit is een eenvoudige chipbehuizing met drie aansluitpootjes. De afmetingen zijn $2,8 \times 2,1$ mm.



Figuur 3. Een tantaalcondensator van het type CT3216.

IC's

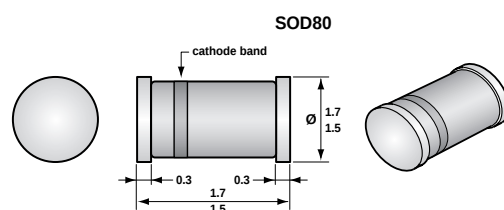
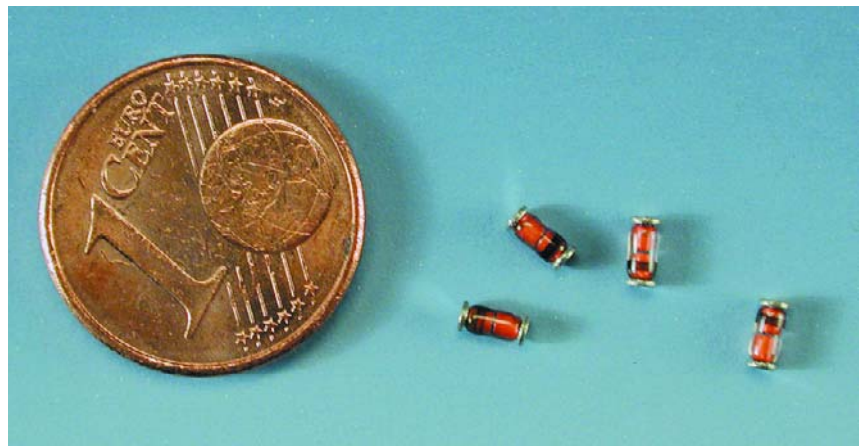
Er bestaat een enorme verscheidenheid aan behuizingen voor IC's; in dit artikel kan dan ook slechts een klein deel genoemd worden. De belangrijkste behuizingstypen voor hobby-elektronici zijn de μ MAX-behuizingen van Maxim, QFP, SOP en TSSOP. Deze behuizingen omvatten een aanzienlijk spectrum van IC's. Ze zijn er voor A/D-omzetters, digitale schakelingen en microcontrollers. Belangrijk voor het werken ermee is de breedte van en de afstand tussen de aansluitpootjes. Al deze behuizingen liggen in een bepaalde rastermaat. Wie met printontwerpprogramma's vertrouwd is, zal dit raster bekend voorkomen. Het basISRaster is 2,54 mm en de behuizingen passen op een onderverdeling ervan door een heel getal, dus op een kleiner raster van 1,27 mm, 0,635 mm of zelfs 0,3175 mm. Maar er zijn ook speciale behuizingen, zoals de μ MAX-behuizing, die een afwijkend raster hebben. Belangrijk voor de verwerking is natuurlijk het gereedschap dat men heeft, want hoe kleiner de afstand tussen de pootjes, des te dunner moet de punt van de soldeerbout zijn. Eventueel kan het zelfs nodig zijn om speciaal soldeergereedschap voor SMD's te gebruiken.

Maar laten we eerst eens kijken, welk gereedschap voor de omgang met SMD's nodig is en wat er zoal verkrijgbaar is.

SMD-gereedschap

Niet iedereen is in staat met kleine onderdelen als SMD's om te gaan. Het vraagt een vaste hand en goede ogen. Als men van plan is met SMD's te gaan werken, is het verstandig om dat eerst uit te proberen en niet meteen een assortiment duur gereedschap te kopen. Het belangrijkste gereedschap voor de omgang met SMD's is een pincet. Er bestaat een grote verscheidenheid aan pincetten waarvan enkele alleen voor speciale toepassingen bedoeld zijn. Belangrijk is ook de persoonlijke voorkeur die men voor een bepaalde pincet heeft. Schrijver dezes bijvoorbeeld zweert bij zijn gladde pincet met een hoek van 45°. Zijn hand is niet al te vast en zo kan zijn hand op de print of tafel steunen bij het plaatsen van het onderdeel met het pincet. Anderen geven er de voorkeur aan om het onderdeel van bovenaf aan te brengen, zodat ze er met de bout van alle kanten bij kunnen komen. Als men Mini-MELF behuizingen wil monteren, is onder bepaalde omstandigheden een speciaal Mini-MELF pincet handig. Maar de aanschaf van zo'n pincet loont zich alleen als veel van dergelijke behuizingen gemonteerd moeten worden.

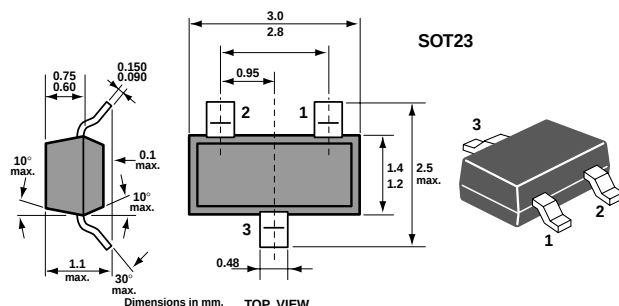
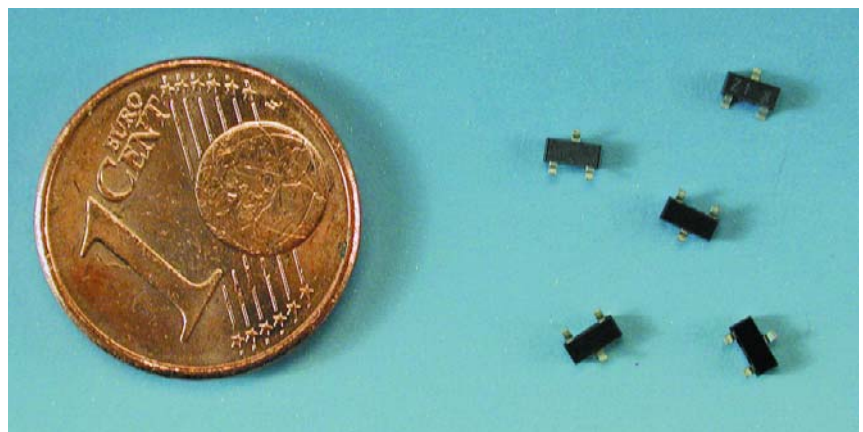
Heel belangrijk is de kwaliteit van het pincet. Een goed pincet kost al snel 15...20 Euro. Wie



Figuur 4. Diodes zitten meestal in een ronde Mini-MELF behuizing.

de beste pincetten uit titanium of zelfs keramisch materiaal wil, die betaalt zeker het dubbele. Ook duur zijn vacuüm-pincetten, die echter niet ieder onderdeel (door de oppervlaktestructuur) goed kunnen vastzuigen. Dan moet toch weer het

gewone pincet worden gebruikt. In het begin zijn dergelijke hoge investeringen echter niet nodig. Een goede loop die circa 8 maal vergroot, is ook heel belangrijk om de soldeerverbindingen te controleren. De werkplek waar de SMD's gemon-



Figuur 5. Een transistor in SOT23 behuizing.



Figuur 6. Uitrusting voor de verwerking van SMD-onderdelen (van links naar rechts: aardingsband, pincet, vloeimiddel, soldeer en tinzuiglitze).

teerd worden, moet goed verlicht zijn en een antistatische mat met een aardingsband is nuttig.

Voor het solderen van SMD's is soldeer nodig met een hoog zilveragehalte. Er is ook SMD-soldeerpasta in kleine spuitjes (inhoud circa 5 ml), waarmee makkelijk te werken is. Deze is wel iets duurder. Voor het aanbrengen van de pasta is een vaste hand nodig en de pasta laat na solderen een residu achter, dat moet worden verwijderd. Soldeerpasta kan het best met hete lucht worden verhit, maar daar is een - niet bepaald goedkoop - hete-luchtstation voor nodig. Het is mogelijk om de pasta met een soldeerbout te verwerken, maar toch heeft in dat geval soldeertin de voorkeur.

Bij onderdelen met veel pootjes dicht op elkaar moet SMD-vloeimiddel worden gebruikt. De vloeimiddel-gel wordt met een spuitje op de soldeer pads aangebracht voordat het onderdeel wordt geplaatst. Tijdens het solderen vervluchtigt het en laat (als het met beleid wordt aangebracht) geen residu achter.

Als bij controle van de soldeerverbindingen blijkt dat er soldeerbruggen tussen twee of meer aansluitingen zijn, kunnen die worden verwijderd met behulp van tinzuiglitze. Een breedte van 1 à 1,5 mm is daarvoor het meest geschikt. Voor het

schoonmaken van soldeer pads na het lossolderen van een onderdeel is tinzuiglitze met een breedte van circa 2,5 mm beter geschikt. Gebruik van tinzuigpompen moet worden afgeraden; de onderdelen zijn zo klein dat ze mee worden gezogen en de fijne printsporen kunnen er door worden beschadigd.

Heel handig om SMD-onderdelen in te bewaren zijn miniatuur doosjes met deksel. Voor ieder type onderdeel/waarde is een apart doosje nodig. Het is niet zinvol om meerdere waarden (van bijv. weerstanden) in één doosje te bewaren, want op dergelijke SMD's is meestal geen waarde gedrukt zoals bij 'normale' onderdelen. Wie wel eens per ongeluk een assortiment condensatoren door elkaar heeft 'gehutseld', zal snel een aantal van dergelijke doosjes kopen. En dan moet een capaciteitsmeter er aan te pas komen om de condensatoren weer te sorteren.

SMD-onderdelendozen zijn er in verschillende uitvoeringen, groottes, kleuren en vormen. Er zijn complete kasten met dozen van verschillende grootte, men kan ze natuurlijk ook zelf samenstellen. Goedkoop zijn ze niet, maar de aanschaf loont zich. Het is beter om geen goedkope alternatieven zoals busjes voor kleinbeeldfilms te gebruiken, want die zijn te groot en bovendien niet anti-

statisch, wat voor gevoelige halfgeleiders schadelijk kan zijn.

Vooruitblik

In het volgende nummer gaan we in op de montage van verschillende SMD-onderdelen met een gewone soldeerbout, type Ersä Analog 60A. Daarna wordt bekeken hoe de montage in zijn werk gaat met een echt SMD-soldeerstation, de Ersä SMT Unit 60A.

(020305-1)

Onderdelen, gereedschap en toebehoren

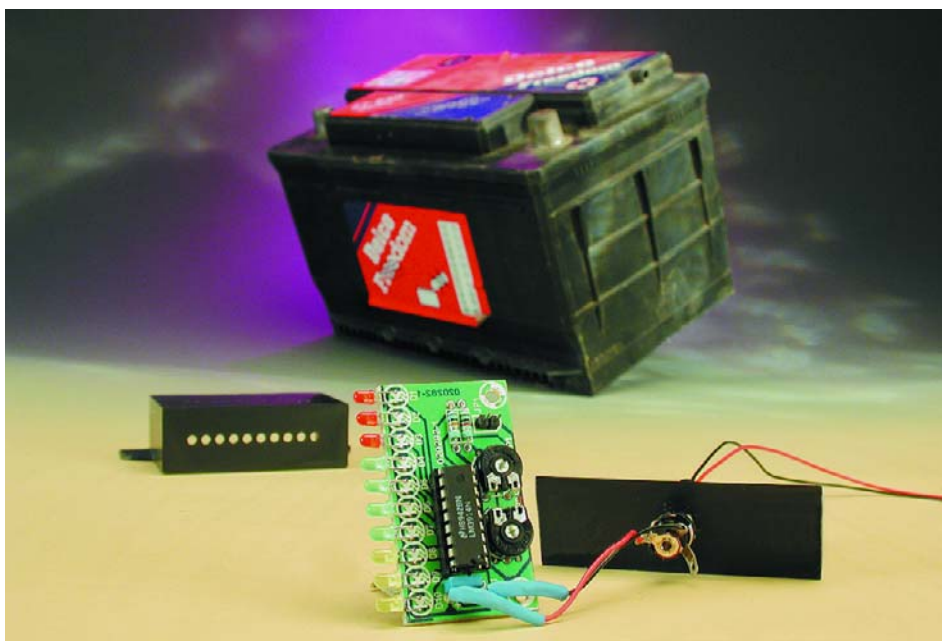
Alle goede elektronica-zaken en postorderbedrijven bieden wel een assortiment SMD-onderdelen, gereedschappen en toebehoren aan. Kleine aantallen onderdelen (meestal per tien stuks) zijn o.a. verkrijgbaar bij Conrad Electronic, Display Electronic Distribution en bij de meeste elektronica-specialisten. Het assortiment is veelal beperkt, maar toereikend voor de meeste elektronica-hobbyisten. Wie speciale zaken nodig heeft, kan meestal wel terecht bij Farnell of RS. Wat opbergdozen, pincetten en dergelijke betreft, daarvoor kan men ook goed terecht bij de Duitse firma's BJZ Epping (www.bjz-eppingen.de) en DPV Elektronik Service (www.dpv-elektronik.de).

Accuspanningsbewaker

Instelbaar op elke spanning

A. Schilp

De hier beschreven schakeling kan worden gebruikt voor het bewaken van elk spanningsbereik tussen minimaal 3 en maximaal 25 V. Men kan er dus de spanning van de auto-accu mee in de gaten houden, maar bijvoorbeeld ook die van de ontvangerbatterijen van een radiografische afstandsbesturing. Kortom, een heel universele schakeling.



Hoewel het hier om een uiterst simpel brokje elektronica gaat, biedt deze met een 10-voudig LED-display uitgeruste spanningsbewaker toch een paar onmiskenbare voordelen. In de eerste plaats is de schakeling zo compact dat ze gemakkelijk ergens ingebouwd kan worden – de print is niet groter dan een luciferdoosje en daar zal altijd wel een plekje voor te vinden zijn. In de tweede plaats is de schakeling (zeker in de 'dot-mode') heel zuinig met

stroom. En het derde en niet onbelangrijkste voordeel is dat de schakeling voor heel veel toepassingen bruikbaar is, aangezien er spanningen over een behoorlijk ruim gebied bewaakt kunnen worden. Een spanning van 3 V is het minimum (daaronder werkt hij niet) en 25 V het maximum (daarboven gaat hij stuk), maar binnen dat gebied kan het te

bewaken spanningsbereik vrij worden gekozen met behulp van twee potmeters. Dus de toepassing hoeft niet beperkt te blijven tot spanningsbewaker voor een auto-accu – de schakeling kan ook dienen als indicator voor accu's uit bijvoorbeeld de modelbouw, accuboormachines, accugrasmaaiers, enz. Gebruik als batterijtester is ook mogelijk, maar dan alleen voor batterijen van 3 V of hoger; het testen van losse 1,5-V-cellen is niet mogelijk.

LM3914

De schakeling is opgezet rond de geïntegreerde display-driver LM3914, die voor de meeste Elektuurlezers geen onbekende zal zijn. Dit IC vormt op zichzelf in feite al een complete voltmeter, omdat het ontworpen is om een variërende ingangsspanning rechtstreeks op een LED-schaal zichtbaar te maken. Intern beschikt de LM3914 daartoe over 10 comparatoren met stroombronuitgang, alsmede een referentietiebron en een laddervormige spanningsdeler die voor de vereiste referentiespanningen zorgen.

Figuur 1 illustreert dat de schakeling naast de LM3914 en de tien

(high-efficiency-) LED's nauwelijks componenten telt. De ondergrens van het meetbereik waarbij de eerste LED in de schaal (D10) oplicht, is

Onderdelenlijst

Weerstanden:

R1 = 1 k
R2 = 10 k
P1 = 25 k instel
P2 = 10 k instel

Condensatoren:

$$C_l = 100 \text{ n}$$

Halbleiters:

DI...D10 = high-efficiency-LED
|C| = LM3914 N

Diversen:

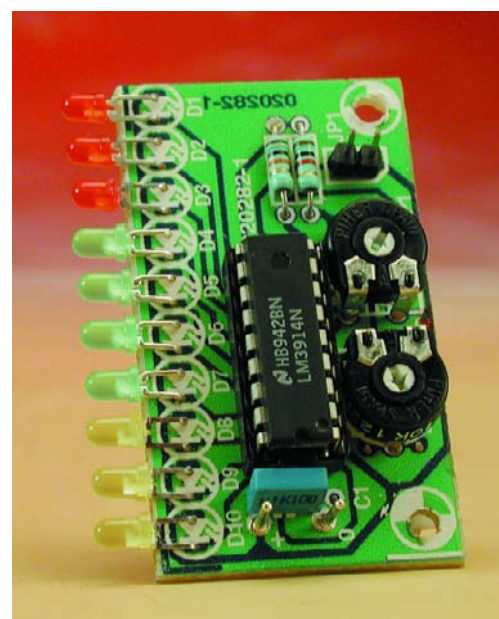
|P| = jumper

Print-layout is ook beschikbaar op
www.elektuur.nl

instelbaar met P2, de bovengrens met P1. Elke LED in de schaal vertegenwoordigt een tiende van het meetgebied. Als de spanning onder de ondergrens blijft, licht geen enkele LED op. Is de spanning hoger dan de bovengrens, dan blijft D1 oplichten.

Dot of bar

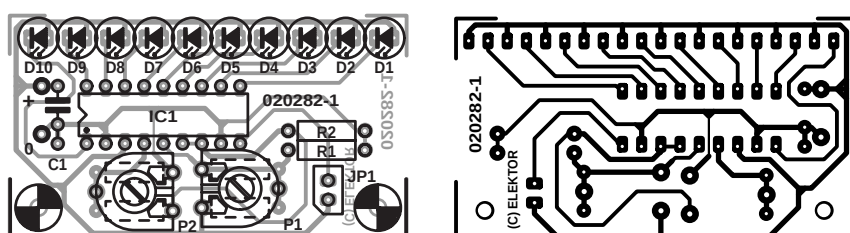
De LM3914 kan naar keuze in de dot-(punt-) of bar-(staaf-)mode werken. In het eerste geval licht er slechts één LED op, in het tweede geval ook alle exemplaren onder de desbetreffende LED. Keuze hiertussen is mogelijk met pin 9: wordt deze open gelaten, dan werkt het IC in dot-mode. Wordt jumper JP1 geplaatst, dan is de bar-mode geselecteerd. Houd er wel rekening mee dat de opgenomen stroom en de dissipatie van het IC in de bar-mode een stuk hoger is. Bij spanningen tot 15 V is er nog niet zo veel aan de hand.



pen 7. Voor de berekening geldt dat de stroom door de LED's ongeveer gelijk is aan 10 maal de stroom door R2 en P2. Omdat op pen 7 1,25 V staat, bedraagt de stroom per LED dus $1,25/5000 = 2,5 \text{ mA}$. Dat is precies de stroom die een high-efficiency-LED graag wil hebben. De stroom kan eventueel worden vergroot door R2 in waarde te verlagen.

Bouw

In **figuur 2** is de layout van het printje afgebeeld dat voor de spanningsbewaker werd ontworpen. Zoals te zien hebben alle compo-



Figuur 2. De print is zo klein uitgevallen dat inbouw geen probleem zal zijn.

nenten keurig hun plaatsje gevonden en omdat het er zo weinig zijn, hoeven we het over de opbouw nauwelijks te hebben. In de praktijk is het handig om een paar verschillende kleuren LED's te gebruiken, bijvoorbeeld rood voor te lage spanningen, groen voor goede en geel voor te hoge waarden. Dan ziet men al bij een eerste oogopslag of er reden is voor ongerustheid.

Nog een vermeldenswaardig detail: Op de print is bij P1 en P2 voorzien in een stel extra gaatjes. Die zijn bedoeld om deze instelpotmeters eventueel te kunnen vervangen door vaste weerstanden. Als de juiste waarde eenmaal is bepaald en niet meer hoeft te worden bijgesteld, heeft dat voordelen omdat vaste weerstanden stabiel zijn dan instelpots en minder last hebben van veroudering.

Afregeling

Met P1 en P2 kan bijna elk gewenst bereik worden ingesteld. Ter illustratie gaan we hier even uit van een auto-accu. Omdat de laadspanning daarvan doorgaans ca. 14,4 V bedraagt, moet in dat geval de bovengrens met P1 op bijvoorbeeld 15 V worden gelegd. Dat kan heel eenvoudig door de schakeling tijdelijk aan te sluiten op een gestabiliseerde voeding en net zolang aan P1 te draaien tot

D1 oplicht. Zorg er voor dat tijdens deze afregeling P2 helemaal rechtsom is gedraaid, anders kunnen er rare effecten optreden.

Vervolgens moet worden bepaald welke spanning de laagste LED dient aan te geven. Als we bijvoorbeeld stappen van 0,5 V per LED willen hebben, wordt de reeks 15-14,5-14-13,5-13-12,5-12-11,5-11-10,5. We stellen nu de gestabiliseerde voeding op 10,5 V in en draaien aan P2 tot de laagste LED oplicht. Klaar!

Op precies dezelfde manier is het natuurlijk ook mogelijk stapjes van 1/3 of 1/4 V te maken, of juist grotere stappen van 1 V. Draai P2 steeds eerst naar rechts, stel de hoogste spanning in met P1 en de laagste met P2. Wel zult u merken dat bij hele kleine stapjes van bijvoorbeeld 1/10 V, de LED's geleidelijk aan en uit gaan; het kan dus voorkomen dat er bij een bepaalde spanning twee tegelijk oplichten.

Metten

Houd er wel rekening mee dat bij een onbelaste accu zelfs in vrijwel

lege toestand vaak toch de volle bronspanning wordt gemeten. Om een zinnige indicatie te krijgen, moet daarom het testen van accu's en batterijen altijd plaatsvinden terwijl deze normaal worden belast.

Het aansluiten van de indicator op de auto-accu kan heel goed gebeuren zonder enige ingreep in de bedrading. Men kan voor dat doel namelijk prima gebruik maken van het sigarenaanstekercontact. Daarvoor zijn speciale stekers verkrijgbaar, waarvan de buitenste veertjes aan de 'min' van de accu liggen en de stift in het midden aan de 'plus'. Nog een allerlaatste punt: Aangezien de voedingsspanning van de accubewaker gelijk is aan de te meten spanning, was het in dit geval onmogelijk om een seriediode toe te voegen als polariteitsbeveiliging. Let daarom bij het aansluiten van de schakeling steeds goed op dat de plus en de min van de accu in kwestie niet worden verwisseld!

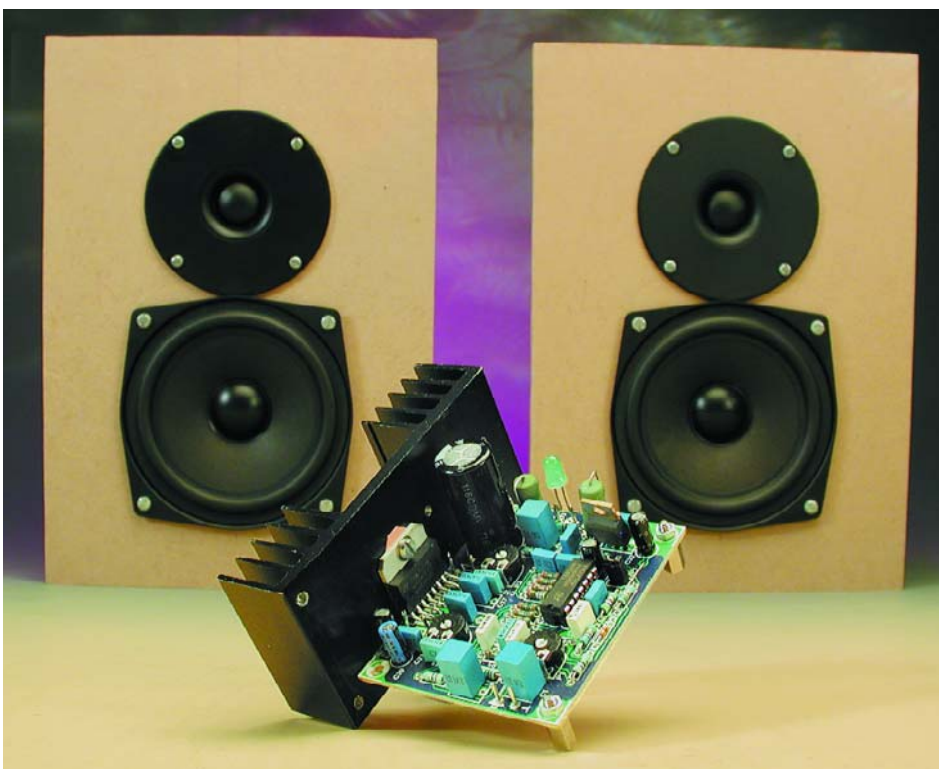
Actief luidsprekersysteem

Voor multimedia-gebruik

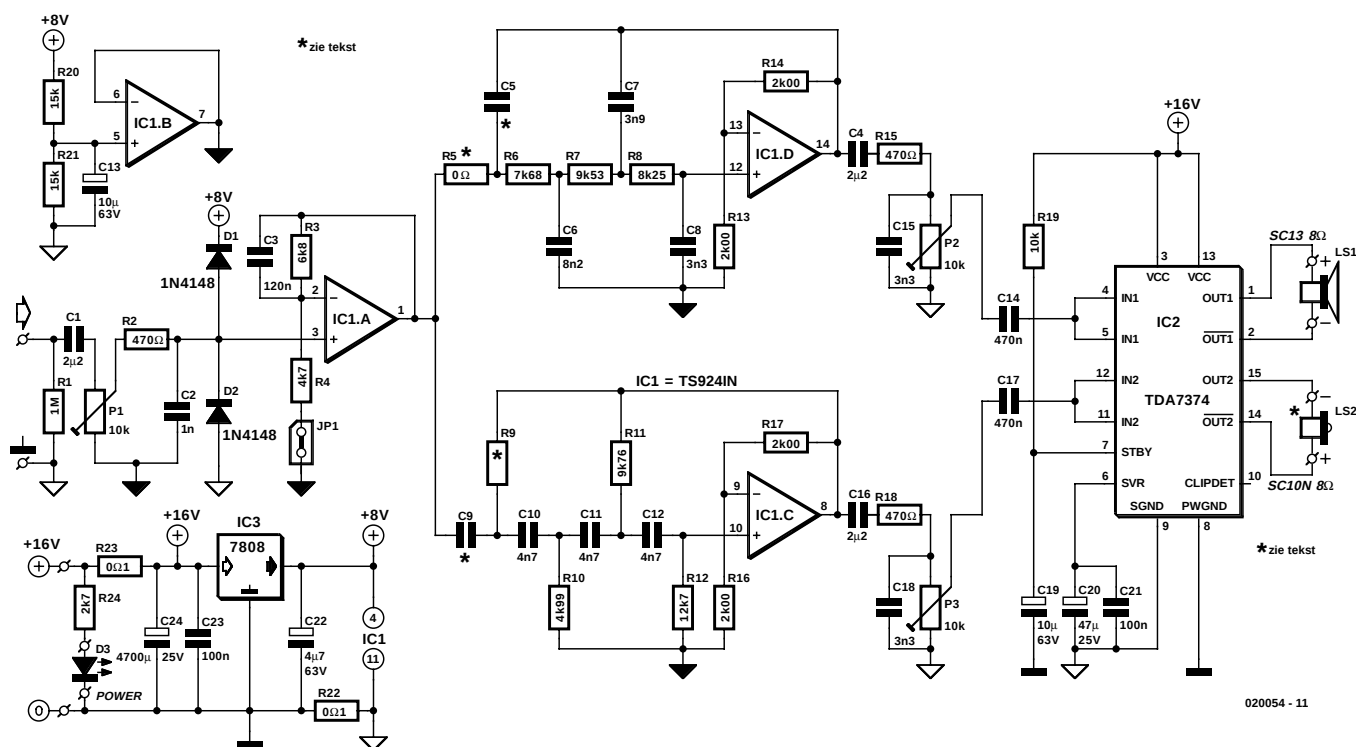
techniek: Ton Giesberts

tekst: Sjef van Rooij

De hier beschreven actieve tweeweg-luidspreker is in eerste instantie bedoeld voor gebruik bij de PC, maar is in principe even goed voor andere 'medium-fi'-toepassingen inzetbaar. Omdat het universeel opgezette scheidingsfilter naar eigen smaak en behoefte kan worden gedimensioneerd, is men zelfs niet per se gebonden aan de voorgestelde luidsprekers en behuizing. Andere woofer/tweeter-combinaties zijn desgewenst ook bruikbaar. Een bijpassende actieve subwoofer is voorts in de maak en zal binnenkort worden beschreven.



Uitgangspunt bij dit ontwerp vormde de ergernis over de middelmatige tot uitgesproken slechte kwaliteit van de meeste PC-luidsprekerboxjes. Dat moest met betrekkelijk eenvoudige middelen en voor niet al te veel geld toch beter kunnen, dachten wij zo. Natuurlijk is voor PC-toepassingen geen audiofiele geluidskwaliteit nodig, maar het is wel prettig als de luidsprekers een enigszins fatsoenlijke hifi-weergave produceren. Dan kan men tenminste tussendoor ook nog eens van een CD of DVD met muziek genieten. Voor de realisatie van een en ander zijn we eerst op zoek gegaan naar een compacte woofer/tweeter-combinatie met een goede prijs/kwaliteitsverhouding en die bovendien voorzien was van een magnetische afscherming - voor multimediale toepassingen is het immers wel zaak dat de luidsprekers vlak bij een monitor of TV geplaatst kunnen wor-



Figuur 1. Het schema valt op te splitsen in een ingangsbuffer, scheidingsfilter en een geïntegreerde dubbele eindversterker.

den zonder dat de beeldweergave erdoor aangetast wordt. Uiteindelijk zijn wij voor ons prototype uitgekomen bij een 25 mm dometweeter en een 13 cm bas/middentoner van de firma Visaton (de SC10N en de SC13), maar ook merken als bijvoorbeeld Vifa en Monacor leveren prima bruikbare afgeschermde luidsprekerchassis. Daarom vermelden we met nadruk dat ook andere luidsprekercombinaties met bijbehorend (door de fabrikant aanbevolen) kastontwerp voor dit actieve systeem als basis kunnen dienen.

De voor de 'activering' van de luidsprekerbox benodigde elektronica is zo eenvoudig en universeel mogelijk van opzet gehouden. Rond een viervoudige opamp is een tweeweg scheidingsfilter geconstrueerd, waarbij binnen zekere grenzen een keuze mogelijk is qua steilheid, filterverloop en kantelpunt. Voor de door ons aanbevolen luidsprekercombinatie werd het filter gedimensioneerd als een 3^{de}-orde Butterworth-type met een kantelfrequentie van 4 kHz.

Voor de eindversterkers lieten we het oog vallen op een geïntegreerde dubbele brugversterker, die nauwelijks

externe componenten nodig heeft en bij een voedingsspanning van 16 V een vermogen kan leveren van 2 x 19 W aan 4 Ω of 2 x 12 W aan 8 Ω. Gemeten naar hifi-maatstaven lijkt dat misschien aan de bescheiden kant, maar in combinatie met luidsprekers van een gemiddeld rendement is hiermee niettemin een geluidsdruk van zo'n 100 dB haalbaar - en dat is echt heel hard!

Wat valt er verder nog toe te voegen aan deze korte profielschets? Wel, een aardige bijzonderheid is dat dit actieve concept ons in staat stelde een nadeel van veel kleine luidsprekerboxen te ondervangen. De meeste boxen met een inhoud van enkele liters hebben de neiging om in het lage deel van de frequentiecurve vrij vroeg af te vallen. Daarom is hier een met een jumper inschakelbare laagcorrectie toegepast die het gedeelte van de curve tussen 1000 Hz tot 100 Hz 'optilt' tot een maximum van 6 dB bij 100 Hz. Ons proefmodel bleek daar veel profijt van te hebben en waarschijnlijk zal deze correctie ook een positief effect hebben bij veel andere luidsprekercombinaties met een vergelijkbare kleine bas/middentoner.

De elektronica

Na al dit inleidend gepraat zullen de meeste lezers het hoog tijd vinden om eens een blik op het schema te werpen. Dat is afgedrukt in **figuur 1** en valt globaal te verdelen in drie blokken:

Ingangsdeel en voeding

Als we op de gebruikelijke manier van links naar rechts door het schema gaan, belanden we na een afsluitweerstand, koppelcondensator en niveauregelaar P1 allereerst bij de rond IC1a opgebouwde ingangsbuffer. Deze maakt deel uit van de viervoudige rail-to-rail opamp TS924IN, een type dat zich met name onderscheidt door zijn relatief grote uitgangsstroom van 80 mA.

R2 en C2 vormen een laagdoorlaatfilter dat eventuele hoogfrequente stoorsignalen onderdrukt. Het netwerk C3/R3/R4 zorgt voor de reeds genoemde correctie van de lage frequenties; door het sluiten van JP1 kan dit filter worden ingeschakeld.

Om geen symmetrische voedingsspanning te hoeven gebruiken en toch een optimale signaalverwerking te krijgen van de buffer en het filter, is met IC1b een stabiele virtuele massa gecreëerd. C13 ontkoppelt de spanningsdeler R20/R21, waardoor de virtuele massa op precies de halve voedingsspanning is ingesteld. Uiteraard is de grote uitgangs-

stroom van de TS924IN juist bij de schakeling rond IC1b een belangrijk voordeel.

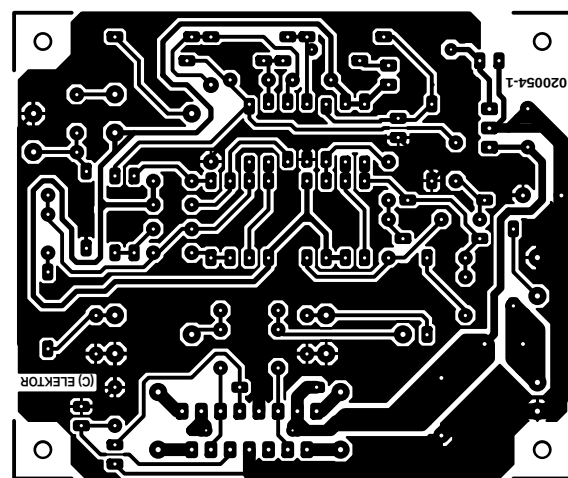
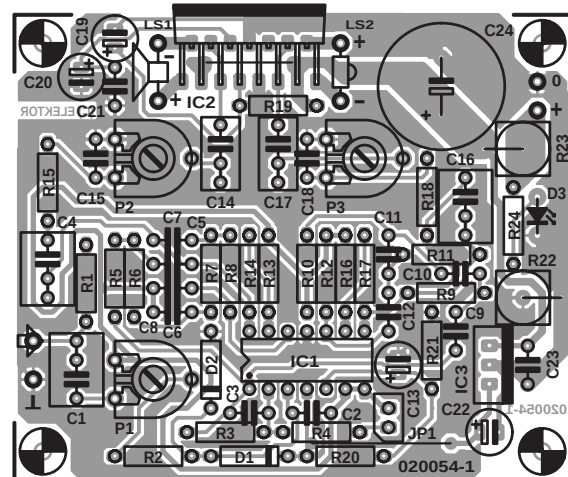
Om te voorkomen dat de ingangsbuffer en het filter mogelijk hinder zouden ondervinden van via de voedingslijn binnenkomende stoorsignalen, is opamp IC1 uitgerust met een eigen spanningsstabilisator (IC3). Voor een goede werking van deze 8-V-regelaar is het vereist dat de voedingsspanning van het actieve systeem minimaal 11 V bedraagt. Weerstand R22 is toegevoegd om de signaalmassa en de voedingsnul te scheiden in het geval dat er één gemeenschappelijke voeding voor twee of meer kanalen wordt toegepast. Als elk kanaal van een eigen voeding wordt voorzien, kan R22 door een draadbrug worden vervangen.

Filter

Dan zijn we nu toe aan het feitelijke scheidingsfilter. Zoals te zien in het schema worden vanuit de ingangsbuffer twee filtersecties aangestuurd. Deze zijn opgebouwd met de twee resterende opamps van IC1. Rond IC1d vinden we het laagdoorlaatfilter en rond IC1c het hoogdoorlaatfilter. Voor de opzet van de filters is bewust uitgegaan van een 4^{de}-orde configuratie, zodat op dezelfde print door het weglaten van componenten eventueel ook eenvoudiger filters kunnen worden opgebouwd. Wij hebben al een aantal varianten voor u uitgerekend. **Tabel 1** geeft de componentenwaarden voor een 3^{de}-orde Butterworth-filter en een 4^{de}-orde Linkwitz-Riley-filter voor kantelpunten op respectievelijk 1, 2,5 en 4 kHz. Voor de door ons in het prototype gebruikte Visaton-luidsprekers bleek een 3^{de}-orde Butterworth-combinatie met een scheidingsfrequentie van 4 kHz het beste te voldoen. De in het schema aangegeven componentenwaarden hebben dus betrekking op dat filtertype. Bij toepassing van een 4^{de}-orde Linkwitz-Riley-filter op 4 kHz gaven metingen onder een hoek afstraalproblemen te zien als gevolg van te grote faseverschuivingen. De 3^{de}-orde Butterworth-variant had daar aanzienlijk minder last van. De Linkwitz-Rileywaarden zijn dus vooral toegevoegd voor diegenen die van experimenteren houden. Let overigens op met de polariteit van de luidsprekers bij toepassing van een Linkwitz-Riley-filter, want de aansluitingen van de tweeters moeten dan verwisseld worden. Op de print is de polariteit aangegeven voor 3^{de}-orde Butterworth-filters (de tweeter staat hierbij dus 'uit fase' t.o.v. de woofer)! Nog een wetenswaardigheidje: het cross-over-punt van de Butterworth-filters ligt bij -3 dB, bij de Linkwitz-Riley-filters ligt dit bij -6 dB.

Eindversterker

De uitgangssignalen van de filters worden elk via een instelpotmeter (P2 en P3) naar de



Figuur 2. Het is bijna onvoorstelbaar dat op deze compacte print naast een scheidingfilter ook nog twee eindversterkers zitten die elk bijna 20 W leveren!

eindversterkers gevoerd. De potmeters dienen om rendementsverschillen tussen woofer en tweeter te kunnen compenseren. Heel veel dome-tweeters spelen bij dezelfde input zo'n 3 dB harder dan kleine bas/middentoners. De door ons toegepaste luidsprekers hebben echter nagenoeg hetzelfde rendement, zodat P2 en P3 in principe beide op maximum kunnen worden ingesteld. Voor de eindversterker is een dubbele IC-versterker van het type TDA7374B toegepast. Deze is eigenlijk bedoeld voor car-audio, maar kan natuurlijk ook heel goed in toepassingen als deze ingezet worden. Het IC heeft opvallend weinig externe onderdelen nodig (géén Boucherot-netwerken, géén uitgangselco's) en is van huis uit voorzien van adequate interne beveiligingen voor o.a. temperatuur en kortsluiting. Door al deze eigenschappen is onze dubbele

eindversterker dan ook recordhouder wat compactheid aangaat. Het schema illustreert dat overduidelijk. Over het geproduceerde vermogen hebben we het hierboven al gehad. De koeling van IC2 kan bij een belasting met 8-Ω-luidsprekers beperkt blijven tot een kleine koelplaat van zo'n 3 K/W. R19 en C19 zorgen voor een vrijwel plopvrije inschakeling van de versterker (er is altijd nog een kleine offset aan de uitgang van de versterker). De RC-netwerken R15/C15 en R18/C18 beperken de bandbreedte naar de eindversterkers om nog eens extra de invloed van HF-storingen te minimaliseren. In principe zou het beter zijn geweest om deze netwerken achter de potmeters te plaatsen, maar helaas gaat de bandbreedte dan hoorbaar variëren. C20 ontkoppelt de interne spanningsdeler die de diverse trappen op de halve voe-

Onderdelenlijst

Weerstanden:

R1 = 1 M
R2,R15,R18 = 470 Ω
R3 = 6k8
R4 = 4k7
R5 = 0 Ω
R6 = 7k68
R7 = 9k53
R8 = 8k25
R9 = open *
R10 = 4k99
R11 = 9k76
R12 = 12k7
R13,R14,R16,R17 = 2k00
R19 = 10 k
R20,R21 = 15 k
R22,R23 = 0 Ω 1/5W
R24 = 2k7
P1,P2,P3 = 10 k instel

Condensatoren:

C1,C4,C16 = 2 μ 2 MKT,
steek 5/7,5 mm
C2 = 1 n, steek 5 mm
C3 = 120 n, steek 5 mm
C5 = open *
C6 = 8n2, steek 5 mm
C7 = 3n9, steek 5 mm
C8,C15,C18 = 3n3 steek 5 mm

C9 = draadbrug *
C10...C12 = 4n7, steek 5 mm
C13,C19 = 10 μ /63 V radiaal
C14,C17 = 470 n
C20 = 47 μ /25 V radiaal
C21,C23 = 100 n, steek 5 mm
C22 = 4 μ 7/63 V radiaal
C24 = 4700 μ /25 V radiaal, steek 7,5 mm diameter 17 mm max.

Halfgeleiders:

D1,D2 = 1N4148
D3 = groene high-efficiency-LED
IC1 = TS924IN (ST, o.a. verkrijgbaar bij Farnell)
IC2 = TDA7374B (ST, o.a. verkrijgbaar bij DIL Elektronika)
IC3 = 7808

Diversen:

JPI = 2-polige pinheader + jumper
LS1 = SC13 8 Ω Visaton (Conrad)
LS2 = SC10N 8 Ω Visaton (Conrad)
koellichaam voor IC2: 3 K/W
hout: 12 mm MDF - zie figuur 4
BAF-wadding
print EPS 020054-I (zie Service-pagina's)

*) zie tekst en tabel I

dingsspanning instelt en bepaalt voor een groot deel de voedingsrimpelonderdrukking, die bij 100 Hz ongeveer 50 dB bedraagt.

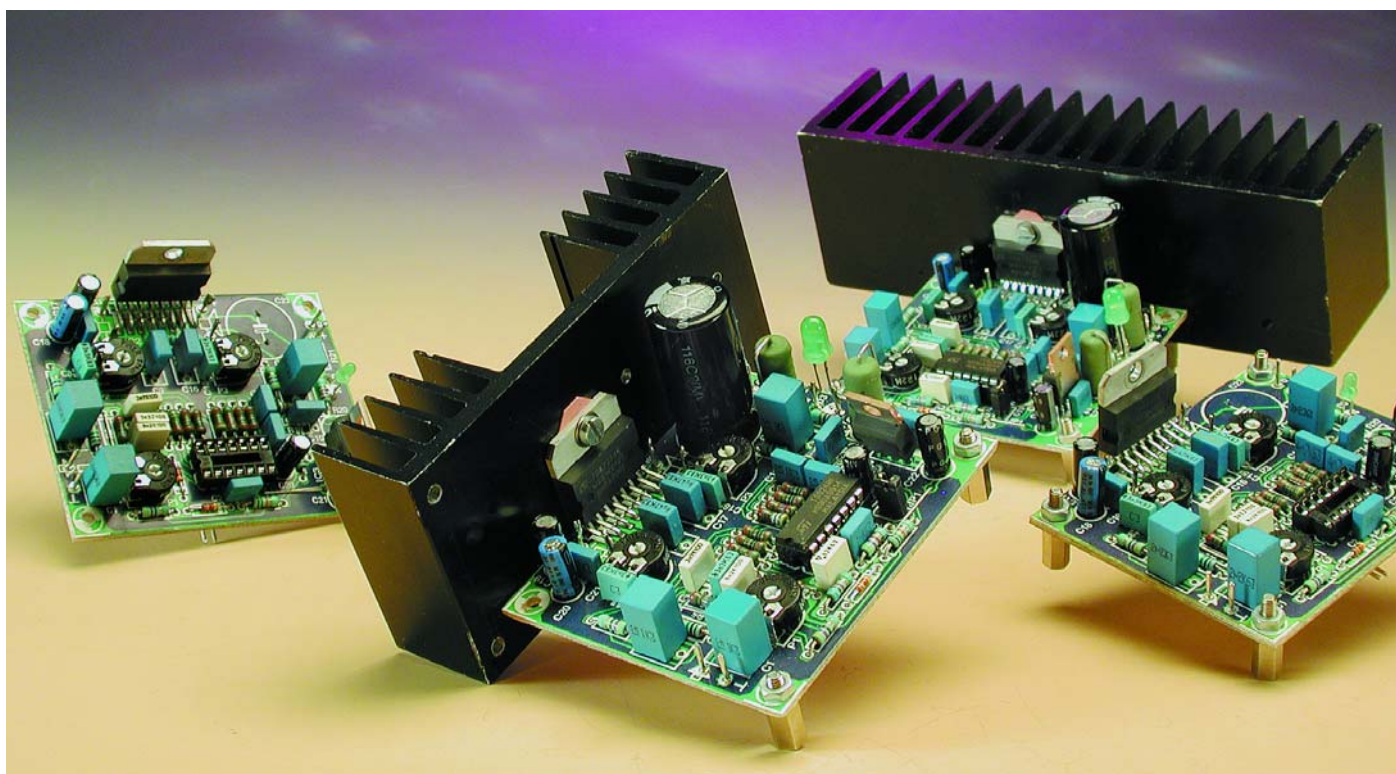
De print

In **figuur 2** is de print afgebeeld die ontworpen is voor de elektronica van de actieve tweeweg-luidspreker.

Erg veel bijzonderheden zijn er over de print niet te melden. De layout is redelijk overzichtelijk en de diverse aansluitingen zijn duidelijk gemarkeerd. Linksonder zijn de ingangsspannen gesitueerd, diagonaal daar tegenover (rechtsboven) de aansluitingen voor de voedingsspanning en een stukje daaronder vinden we aan/uit-LED D3. De aansluitpennen voor de woofer en tweeter (LS1 en LS2) bevinden zich ter weerszijden van IC2.

De draadbruggen verdienen een extra vermelding. Er zijn er twee: eentje vlak naast R20 en eentje onder(!) de aansluitpennen van IC2. Die laatste kan eventueel ook aan de onderkant van de print worden gemonteerd, maar in beide gevallen is hiervoor geïsoleerde draad aan te bevelen. IC2 is bewust aan de rand van de print geplaatst om er gemakkelijk een klein koellichaam (3 K/W) tegen te kunnen schroeven; gebruik hierbij wel een isolatieplaatje!

Als de print eenmaal is opgebouwd en getest, heeft men voor het inbouwen en afwerken de keuze uit verschillende mogelijkheden. Hij kan



Figuur 3. Aan de definitieve versie gaan altijd diverse proefprinten vooraf.

bij de luidsprekerkast worden ingebouwd, hij kan (al dan niet in een tweekanaals versie) in een aparte behuizing worden ondergebracht of hij kan met de nog te beschrijven subwoofer worden gecombineerd. Een aparte behuizing is misschien zo gek nog niet, omdat er ook nog een toonregeling voor dit systeem in voorbereiding is. Maar natuurlijk mag iedereen het zelf uitmaken.

De voeding kan gebeuren met de bekende trafo/brugcel/elco-combinatie. Per kanaal is een trafo nodig van 12 V/15 VA en een afvlakelco van 4700 μF /25 V. Voor een stereoversie kan men deze waarden verdubbelen. Wordt een gestabiliseerde voeding toegepast, dan kan de voedingsspanning eventueel worden verhoogd van 16 V naar de maximale waarde van 18 V, waardoor ook het uitgangsvermogen nog ietwat toeneemt. Er wordt in het Elektuurlab momenteel trouwens gewerkt aan een speciale voeding voor dit actieve luidsprekersysteem, dus het is misschien niet onverstandig met de bouw van een voeding nog even te wachten

Timmeren

Zoals bekend, wordt de grootte en uitvoering van een luidsprekerbox bepaald door de parameters van de gebruikte woofer. De toegepast SC13 van Visaton is hier ondergebracht in een gesloten kast van ca. 4 liter inhoud. Dat maakt het timmeren tot een betrekkelijk eenvoudige klus, want voor een kleine gesloten kast hoeven in feite alleen maar zes plankjes tegen elkaar te worden gelijmd. Nu

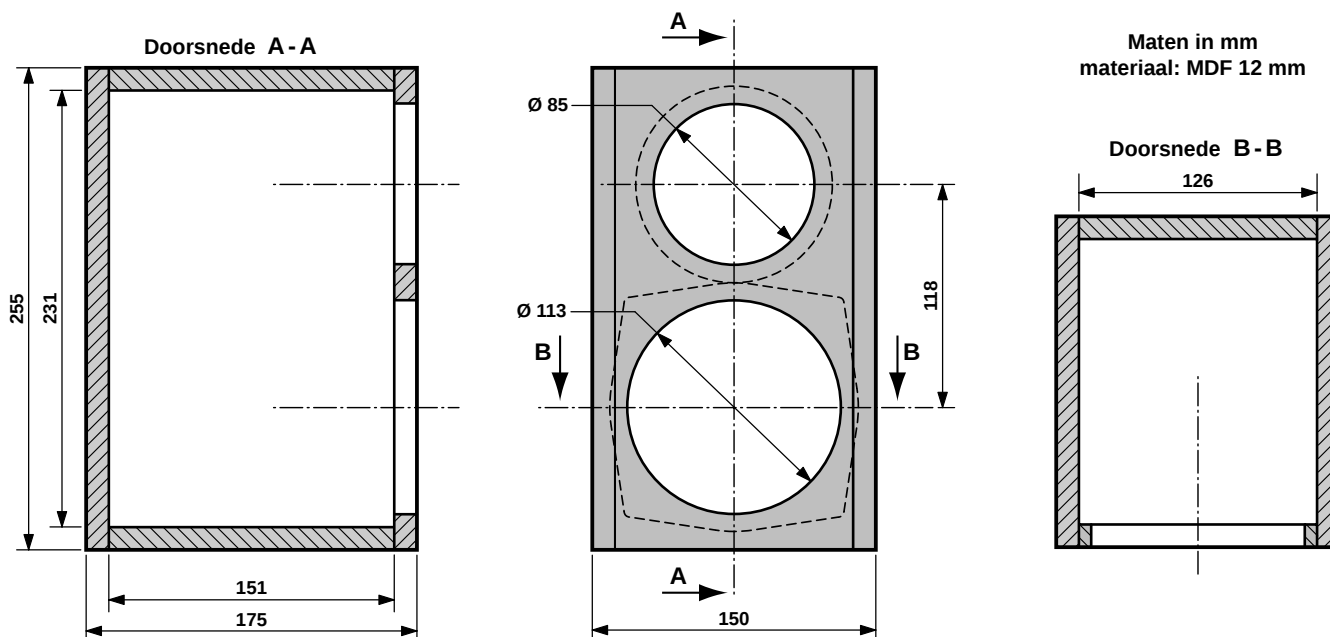
Tabel I

	3de-orde Butterworth			4de-orde Linkwitz-Riley		
	1 kHz	2,5 kHz	4 kHz	1 kHz	2,5 kHz	4 kHz
R5	brug	brug	brug	6k34	6k34	6k98
R6	8k06	6k65	7k68	13k3	9k31	10k7
R7	8k25	8k45	9k53	6k49	7k68	8k25
R8	6k81	8k06	8k25	9k31	7k50	8k45
C5	open	open	open	22 n	10 n	5n6
C6	33 n	15 n	8n2	39 n	18 n	10 n
C7	18 n	6n8	3n9	18 n	6n8	3n9
C8	15 n	5n6	3n3	8n2	3n9	2n2
R9	open	open	open	7k50	6k49	7k15
R10	5k23	4k53	4k99	3k83	3k32	3k65
R11	10k2	8k87	9k76	11k0	9k53	10k5
R12	13k0	11k5	12k7	19k6	16k9	18k7
C9	brug	brug	brug	18 n	8n2	4n7
C10	18 n	8n2	4n7	18 n	8n2	4n7
C11	18 n	8n2	4n7	18 n	8n2	4n7
C12	18 n	8n2	4n7	18 n	8n2	4n7

Tabel I. Dimensionering van de filters bij verschillende frequenties. Bij de 3^{de}-orde Butterworth-versie worden C5 en R9 niet geplaatst en worden R5 en C9 vervangen door een draadbrug.

kost dat een onervaren timmerman misschien al moeite genoeg, maar als het hout eenmaal op maat gezaagd is en men beschikt over een paar stevige lijmklemmen, dan moet

dit klusje zonder al te veel problemen geklaard kunnen worden. Het is in elk geval een voordeel dat er geen speciale schotten of poorten in hoeven. Het enige dat een beetje lastig



020054 - 12

Figuur 4. Bouwtekening van de box, compleet met alle maten. Er is uitgegaan van 12 mm dik MDF-plaat.

is, is het uitzagen van de gaten voor de luidsprekers.

Vanwege de geringe afmetingen hoeft ook het hout niet zo dik te zijn (mag wel, natuurlijk), zodat wij de in **figuur 4** afgedrukte bouwtekening hebben gebaseerd op MDF-plaat van 12 mm dik. In de tekening zijn alle details te vinden. Voor de benodigde akoestische damping volstaat het om de kast losjes te vullen met BAF-wadding (polyesterwol). De aansluitbussen kunnen in de achterwand worden gemonteerd. Het is misschien overbodig te zeggen, maar als de elektronica in de kast wordt ondergebracht, is het wel zaak dat zo te doen dat het koellichaam aan de buitenkant komt.

Om misverstanden te vermijden vermelden we dat de bouwtekening van figuur 4 beslist niet 'heilig' is. Een afwijkende kastvorm is zonder meer toegestaan, zolang men zich maar houdt aan de voorgeschreven inhoud van ca. 4 liter. De titelfoto bij dit artikel illustreert dat wij ook bij de uitvoering van de proefmodellen zijn afgeweken van de standaard 'schoenendoos'. Mede omwille van de originaliteit zijn we bij onze boxjes dit keer namelijk eens uitgegaan van een driehoekige vorm. Voordeel daarvan is dat er geen staande golven in de kast kunnen ontstaan, maar dit wordt bekocht met het nadeel dat drie van de vijf panelen nu randen met 'moeilijke' hoeken

hebben zoals 30° en 73,9°. Het front en de bodemplaat zijn nog het gemakkelijkste te zagen omdat de randen gewoon 90° zijn. Voor de bodemplaat is een gelijkzijdige driehoek gekozen en de bovenkant loopt vanuit het front onder een hoek van 30° naar beneden. Degenen die geïnteresseerd zijn in de bouwtekening van deze speciale uitvoering, kunnen deze downloaden van onze website. Voor het afwerken van de luidsprekerboxen staan diverse mogelijkheden open. 'Ouderwets' fineren is een optie natuurlijk, maar men kan ze ook beplakken met vinyl of een ander materiaal. Lakken of spuiten is voorts erg in bij boxenbouwers, waarbij voor een perfect resultaat eventueel de hulp van een autospuiterij kan worden ingeroepen.

(020054)

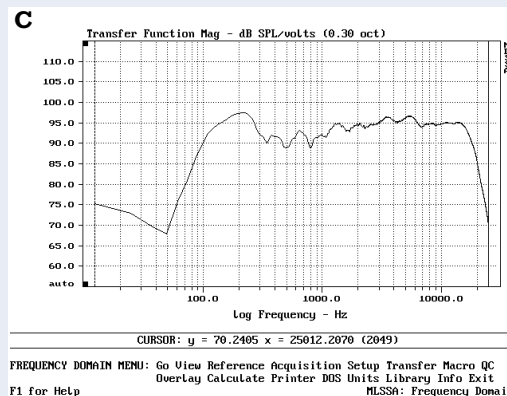
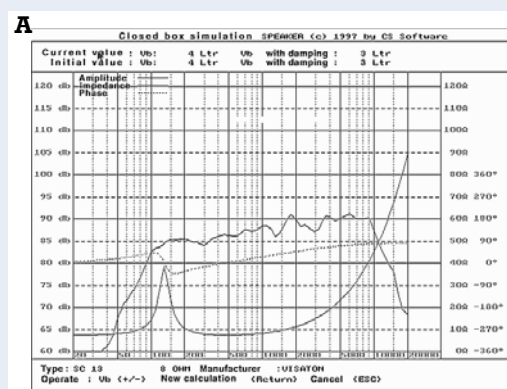
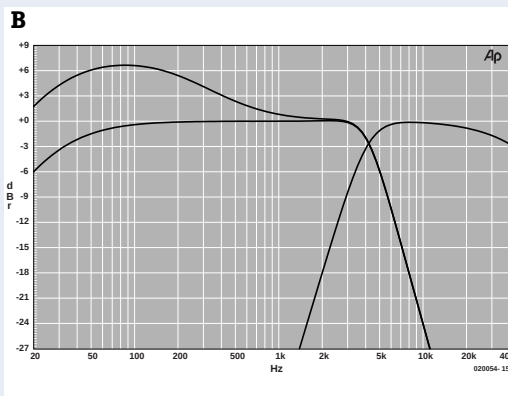
Specificaties (bij 16 V voedingsspanning)

Ingangsimpedantie	10 kΩ
Gevoeligheid (12 W/8 Ω, JPI open, P1/P2/P3 max.)	270 mV
Vervorming + ruis (1 W/8 Ω, 1 kHz)	0,013 % (B = 80 kHz)
Bandbreedte woofer-versterker (P2 max., JPI open)	32 Hz...4 kHz
Bandbreedte woofer-versterker (P2 half, JPI open)	25 Hz...4 kHz
Bandbreedte tweeter-versterker	4 kHz...45 kHz
Uitgangsvermogen per versterker (THD+N = 0,5 %)	12 W (8 Ω)
	19 W (4 Ω)
Ruststroom (zonder belasting)	0,17 A
Bandbreedte versterker + box (-3 dB)	100 Hz...18 kHz

Naast dit lijstje met cijfers hebben we ook nog drie curves voor u. De eerste (A) betreft een simulatie van de frequentiekaracteristiek van de SC13-woofer. Door de afwezigheid van sterke pieken en dalen ziet die curve er op zich best netjes uit, maar hij vertoont wel een vrij sterke afval in de richting van de laagste frequenties: bij 100 Hz ligt de amplitude bijna 8 dB lager dan bij 2 kHz. Een frequentiecorrectie is dus geen overbodige luxe.

De tweede curve (B) toont de gemeten amplitude-karakteristieken van de filters en de laag-correctie. Zoals te zien ligt het crossover-punt ligt niet helemaal op -3 dB en ook niet exact op 4 kHz. Dit is te wijten aan de tolerantie van de condensators in de filters. In de praktijk zijn dit soort afwijkingen echter volstrekt verwaarloosbaar.

Curve C laat tenslotte de gemeten amplitude-karakteristiek van het boxje zien, aangesloten op de versterkers. Hieruit valt duidelijk op te maken dat de frequentiecorrectie eigenlijk nog iets sterker had mogen zijn. Maar bij plaatsing op het bureau of tegen een muur zullen lage frequenties extra worden versterkt, waardoor de curve een stuk rechter wordt. De bult rond 200 Hz komt overigens op rekening van de ruimte waarin de meting plaatsvond en is dus sterk afhankelijk van de plaatsing van de box!



Kleine DC/DC-converters

Gelijkspanningsomzetters nader bekeken

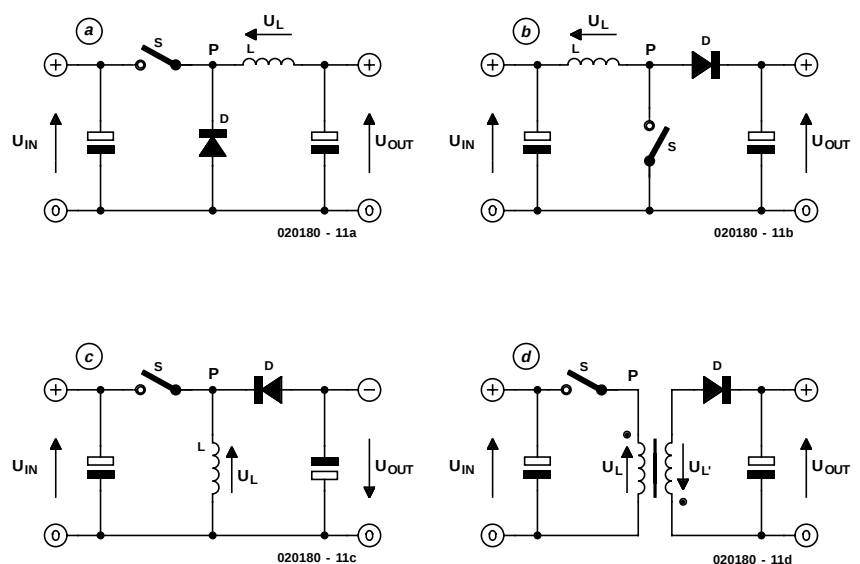
Prof. Dr.-Ing. Martin Oßmann

Schakelende voedingen zijn niet bepaald de meest populaire schakelingen van elektronica-hobbyisten. Sommige onderdelen ervan zijn moeilijk verkrijgbaar en duur, en fouten worden met een harde en kostbare knal afgestraft. Maar als men zich beperkt tot lage spanningen en geringe vermogens kunnen de belangrijkste principes worden uitgelegd aan de hand van enkele algemene schakelingen, die bovendien gemakkelijk kunnen worden aangepast.

De taak van DC/DC-omzetters is het omzetten van een gelijkspanning in een andere gelijkspanning. Daarbij kan de nieuwe gelijkspanning hoger of lager dan de ingangsspanning zijn, maar ook geïnverteerd of ervan geïsoleerd. Er bestaan dan ook een aantal werkingsprincipes waarvan we er hier enkele zullen behandelen.

De vier basisschakelingen zijn in **figuur 1** schematisch afgebeeld. De ingangsspanningen zijn met U_{IN} aangeduid, de uitgangsspanningen met U_{OUT} . Bij alle hier getekende schakelingen worden voor de essentiële functies een schakelaar S , een diode D en een spoel L gebruikt.

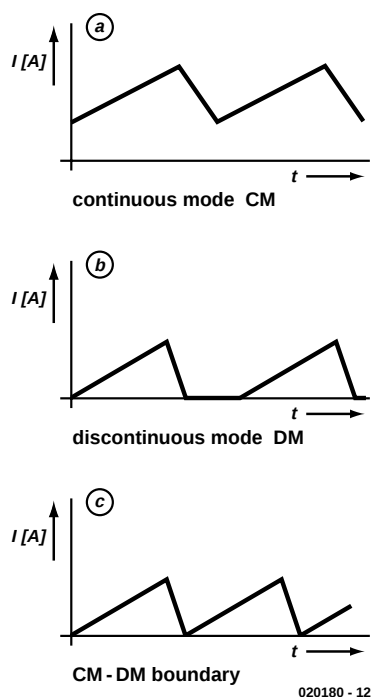
Als eerste bespreken we de eenvoudigste schakeling, de down- of buck-converter, ook wel omlaag-converter genoemd. Deze zet een ingangsspanning om in een lagere uitgangsspanning. De werking ervan is in het kort als volgt: Als schakelaar S gesloten is, dan staat er over spoel L een positieve spanning omdat $U_{IN} > U_{OUT}$. De stroom door de spoel neemt daardoor lineair toe. In de spoel wordt energie opgeslagen. Als nu schakelaar S wordt geopend, dan blijft de stroom door de uitgangsschakelaar lopen, maar nu via diode D . De



Figuur 1. Soorten DC/DC-omzetters: a) buck, b) boost, c) buck-boost, d) flyback.

spanning U_L over de spoel is nu negatief, zodat de stroom door de spoel lineair afneemt. De energie die in de spoel is opgeslagen wordt naar de uit-

gang getransporteerd. Vervolgens wordt schakelaar S weer gesloten en het spel begint van voren af aan. Welke spanning op de uitgang wordt



Figuur 2. Stroomvormen zoals die kunnen voorkomen.

opgewekt, hangt af van de aansturing van de schakelaar. Daarbij zijn in principe drie mogelijkheden voor het verloop van de stroom mogelijk, zoals in **figuur 2** is te zien. Als de stroom door de spoel bij het sluiten van de schakelaar nog niet tot nul is gedaald, loopt er altijd stroom door de spoel: Men spreekt dan van continuubedrijf (CM continuous mode). Als de stroom steeds even nul wordt (zoals in b), spreekt men van discontinuubedrijf (DM discontinuous mode). Als men de stroom door de spoel steeds precies nul laat worden en dan onmiddellijk de schakelaar sluit, dan spreekt men van CM/DM-grensbetrijf.

Door middel van de inschakelduur ofwel de puls/pauzeverhouding kan de uitgangsspanning en het overgedragen vermogen worden geregeld. Laten we nu de theorie maar even de theorie laten en direct een eenvoudige praktische schakeling bekijken.

LED-driver

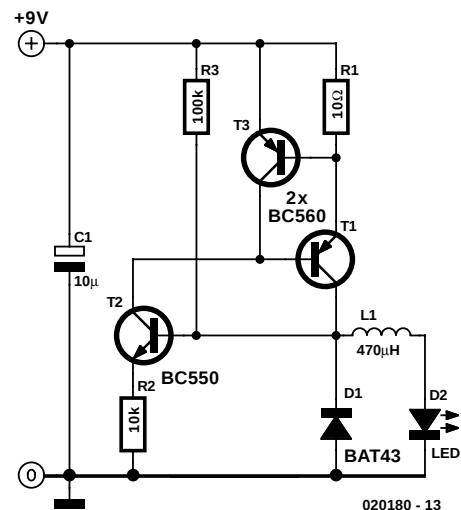
De schakeling [1] in **figuur 3** stuurt een LED met hoog rendement vanuit een voedingsspanning van 9 V. De onderdelen uit de oorspronkelijke schakeling zijn vervangen door gangbare. Hoe werkt de schakeling

nu precies?

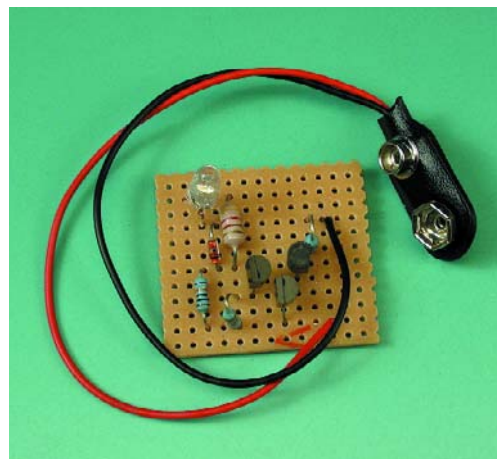
Transistor T1 vervult de functie van schakelaar S. Diode D1 en spoel L1 zijn de andere onderdelen van de down-converter. Na het inschakelen zorgt R3 er voor dat T2 basisstroom krijgt (de drempelspanning van D2, de LED, is immers hoger dan 0,7 V) en T2 komt in geleiding. Maar dan krijgt ook T1 via T2 basisstroom en T1 begint te geleiden. De spanning op punt P neemt toe en T2 krijgt meer basisstroom, waardoor de spanning op punt P snel stijgt tot circa 9 V. De stroom door L1 neemt toe, waarbij de snelheid van de stroomtoename afhangt van de zelf-inductie van L1 en de spanning erover. De toenemende stroom veroorzaakt een spanningsval over R1. Als die een waarde van 0,7 V bereikt (bij ongeveer 70 mA), begint ook T3 te geleiden en tapt basisstroom van T1 af. De stroom door L1 kan niet verder toenemen en daardoor zakt de spanning op punt P. Daardoor wordt T2 uitgeschakeld en uiteindelijk ook T1. De stroom door L1 blijft lopen, maar nu via D1 tot hij nul is geworden. Dan kan de spanning op de basis van T2 weer stijgen en het spel begint van voren af aan. Door de configuratie van de transistoren als thyristor-tetrode ontstaat positieve tegenkoppeling en kan de oscillatie in stand worden gehouden. T3 zorgt er voor dat bij het bereiken van een bepaalde grootte van de stroom T1 wordt uitgeschakeld. De converter werkt op de CM/DM-grens. **Figuur 4** toont de opbouw van het proefmodel.

Aanpassingen

Als men met deze schakeling geen LED wil sturen maar bijvoorbeeld een andere schakeling wil voeden, dan kan het bij veel belastingen voorkomen dat de converter niet start. De belasting verhindert dan dat T2 via R3 basisstroom krijgt. Soms kan een condensator (0,1 μF) tussen punt P en de basis van T2 uitkomst brengen. Verder moet over de uitgang een elco (10 μF) worden gezet om de spanning af te vlakken. De converter werkt aperiodisch en stelt meer een stroombron dan een spanningsbron voor. Toch kan deze schakeling voor eenvoudige toepassingen prima bruikbaar zijn.



Figuur 3. Down-converter om een LED te sturen.



Figuur 4. Proefmodel van de LED-converter.

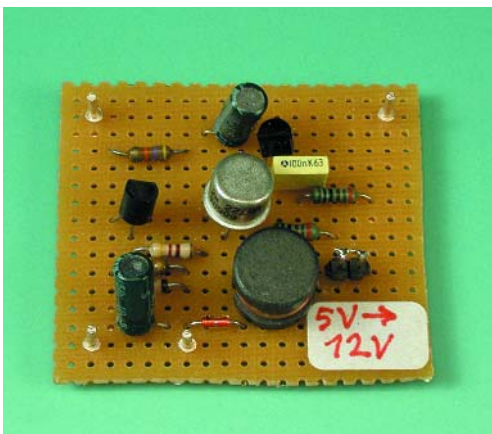
Step-up converter 5 V naar 12 V

Is het mogelijk om volgens een dergelijk concept ook een step-up-converter te maken? Laten we eerst eens zien hoe zo'n step-up-converter eigenlijk werkt. Het principe van dit type converter (ook wel boost-converter of omhoogregelaar) is in **figuur 1b** te zien. Als schakelaar S gesloten is, dan is de spanning U_L over de spoel gelijk aan de ingangsspanning en de stroom door de spoel neemt lineair toe. Als nu schakelaar S wordt geopend, dan zorgt de spoel er voor dat de stroom blijft lopen en zelfs onafhankelijk van de hoogte van de ingangsspanning. De stroom loopt dan door diode D. In stationaire toestand is de uitgangsspanning hoger dan de ingangsspanning en de spanning U_L is negatief, wat er ook nu toe leidt dat de stroom door de spoel lineair afneemt. In deze fase wordt weer energie uit de spoel naar de uitgang overgebracht. Dan wordt S weer geslo-

ten en het spel herhaalt zich.

Om nu uit de schakeling van figuur 3 een step-up converter te maken, zetten we eerst alle transistoren 'op hun kop' om schakelaar S aan de onderkant te krijgen, zoals het prinscheschema in figuur 1b dat verlangt. Ook diode D1 en spoel L1 worden van plaats verwisseld. De tegenkoppeling van T1 naar T2 wordt aangepast en ziedaar, de schakeling (**figuur 5**) werkt.

Met zenerdiode D2 kan de uitgangsspanning zelfs op 12 V worden geregeld. Als de uitgangsspanning te hoog wordt, dan verschuift het werkpunt van T2 zodanig dat T1 korter of zelfs even helemaal niet wordt ingeschakeld. Bij een uitgangsstroom van 20 mA bedraagt de uitgangsspanning 12,6 V. De stroomopname van de 5-V-ingangsspanning is dan 64 mA. Het rendement is daarmee 77%, helemaal niet slecht voor een dergelijke eenvoudige schakeling. **Figuur 6** toont de opbouw van het proefmodel.

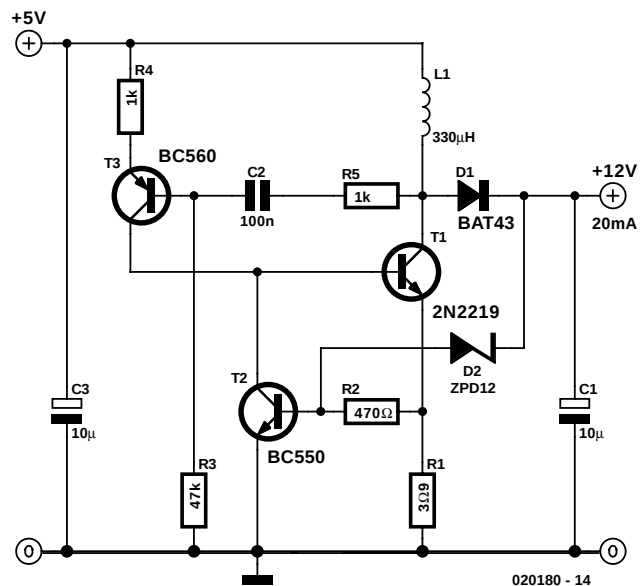


Figuur 6. Proefmodel van de converter volgens figuur 5.

Geregelde down-converter

Zou het niet nog eenvoudiger kunnen, bijvoorbeeld met twee transistoren in plaats van drie? Dat is inderdaad mogelijk. In **figuur 7** is een geregelde down-converter van 20 V naar 12 V te zien. Beschrijvingen ervan staan in de literatuurlijst [2,3]. Wel zijn de onderdelen op de marktsituatie hier aangepast.

De belangrijke onderdelen van de down-converter zijn transistor T1, diode D1 en spoel L1. T1 en T2 zijn herkenbaar als teruggekoppelde PNP/NPN-transistorcombinatie. In deze converter wordt transistor T1 niet uitgeschakeld bij het bereiken van de maximale stroom door de spoel, maar gestuurd door RC-combinatie C2/R4. Tegelijkertijd zorgt zenerdiode D2 met de emitteraansluiting van T2 aan de uitgang voor de regeling van de



Figuur 5. Geregelde 5-V- naar 12-V-converter.

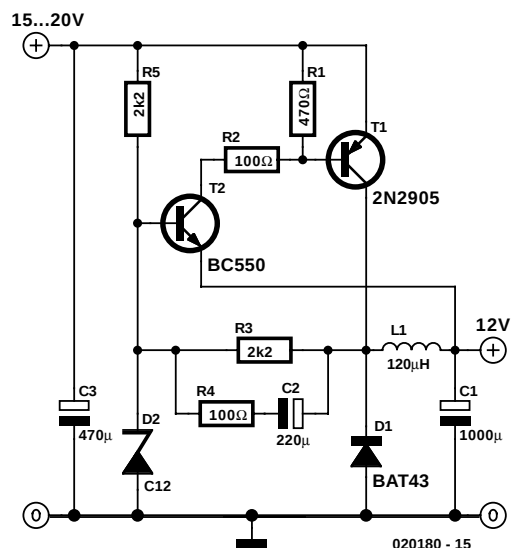
spanning. Het rendement van deze schakeling kan, volgens de gegevens, tot 90% bedragen.

Step-up-converter 1,2 V naar 5 V

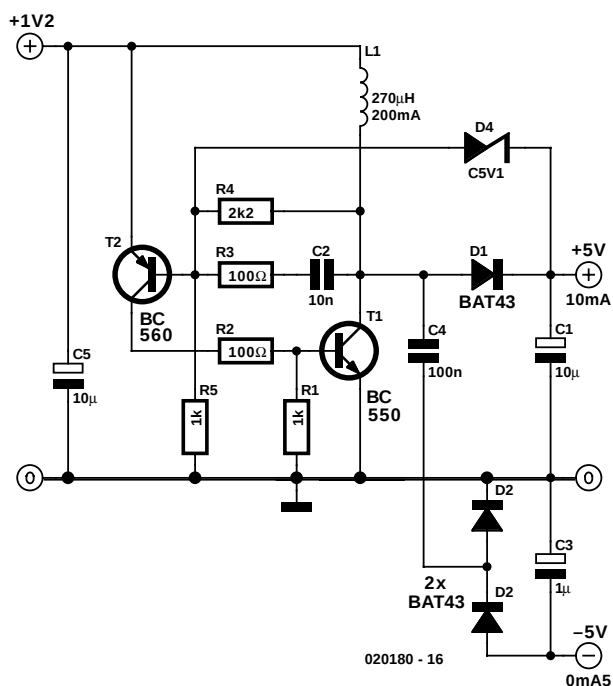
Ook deze down-converter is te veranderen in een up-converter. De schakeling is in **figuur 8** te zien. Ten opzichte van de schakeling in figuur 5 heeft deze het voordeel dat ze al met een voedingsspanning van 1,2 V probleemloos werkt. Voor de spanningsomzetting dienen ook hier transistor T1 met spoel L1 en diode D1.

Voor de regeling van de spanning wordt zenerdiode D4 gebruikt, die hier via de basis van T2 zijn werking doet gelden.

Deze schakeling wekt uit één NiCd-cel van 1,2 V de voedingsspanning voor een 5-V-systeem op. Ze kan maximaal 10 mA bij 5 V leveren, wat tegenwoordig voldoende is voor een low-power-microcomputer. Vaak is daarbij een extra negatieve hulpspanning nodig, die maar weinig stroom hoeft te leveren voor bijvoorbeeld een opamp of de bias voor een LCD. Ook daarin voorziet de schakeling. Condensator C4 vormt samen



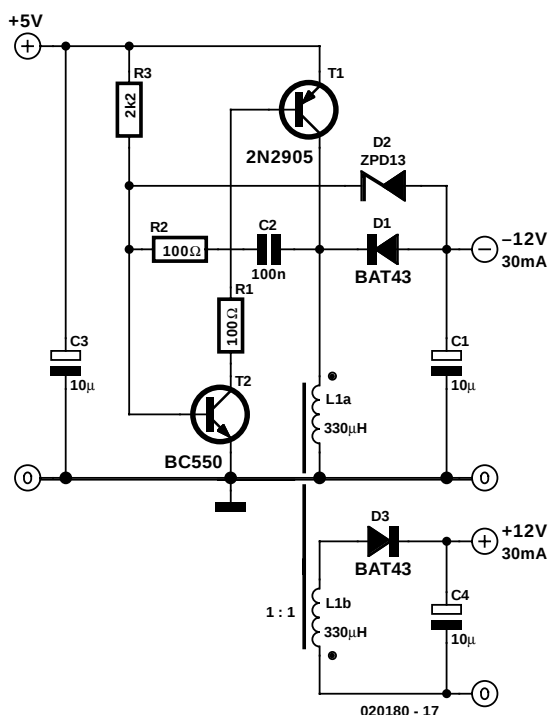
Figuur 7. Geregelde down-converter met twee transistoren.



Figuur 8. Boost-converter van 1,2 V naar 5 V.

met de diodes D2 en D3 een eenvoudige ladingspomp. De ongeregelde -5-V-spanning kan met maximaal 0,5 mA worden belast. Het rendement van deze schakeling bedraagt ongeveer 60%. Dat is niet erg hoog, maar bij een dergelijk lage

voedingsspanning telt iedere spanningsval zwaar mee. Als over de collector/emitter-overgang van de schakeltransistor bij geleiding 0,2 V staat, dan is dat al 20 procent van de energie. De transistoren moeten flink worden doorgestuurd, wat betekent

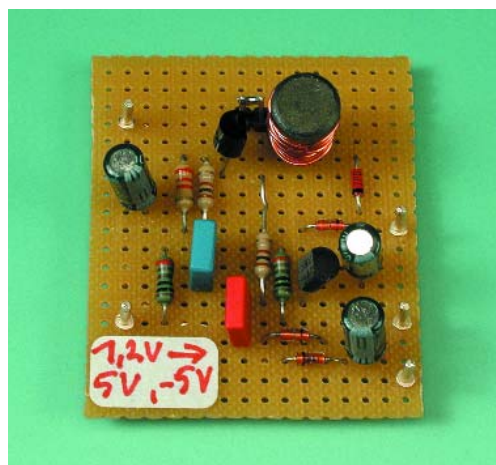


Figuur 10. Twee-in-een, invers en flyback-omzetter.

dat de basisstroom hoog moet zijn. Ook dat vermindert het rendement.

5 V naar ± 12 V en meer

Als variant van de geschakelde voedingen ontbreekt nu nog de invers-omzetter, die uit een positieve spanning een negatieve maakt. Het principe is in **figuur 1c** te zien. Als de schakelaar gesloten is, dan neemt de stroom door de spoel weer lineair toe. Als nu de schakelaar wordt geopend, dan blijft er stroom lopen maar nu door diode D. Daardoor ontstaat er een negatieve uitgangsspanning. Bij dit type converter is er trouwens wel een kenmerkend verschil met de voorgaande converters: Bij de invers-omzetter is er nimmer sprake van directe energie-overdracht van de ingang naar de uitgang. Alle energie wordt eerst in de spoel opgeslagen. Bij buck- en boost-converters wordt in bepaalde fases energie direct van de ingang naar de uitgang



Figuur 9. Proefmodel van de converter uit figuur 8.

overgebracht. De grootte van de uitgangsspanning kan bij invers-omzetters, afhankelijk van de uitvoering, hoger of lager dan de ingangsspanning zijn. Daarom noemt men dit type omzetter ook wel up-down of buck-boost converters. Het proefmodel volgens **figuur 10** is in staat om uit een ingangsspanning van 5 V een spanning van -12 V op te wekken. De basisschakeling is in principe gelijk aan die in figuur 3 en figuur 7.

Isolerende omzetters.

Tot slot moet nog worden uitgelegd hoe een geïsoleerde spanning kan worden opgewekt. Het basisprincipe is in **figuur 1d** getekend. In plaats van een enkele spoel wordt nu een spoel met twee wikkelingen gebruikt. Als

schakelaar S gesloten is, dan neemt de stroom in de eerste (primaire) wikkeling lineair toe, net als bij een invers-omzetter. Er wordt energie in de spoel opgeslagen. Nu wordt schakelaar S geopend, zodat door de primaire wikkeling geen stroom meer kan lopen, maar in plaats daarvan door de secundaire wikkeling via diode D. De in de spoel opgeslagen energie vloeit naar de last. Dit type converter wordt ook wel flyback- of sper-omzetter genoemd, omdat de energie naar de uitgang wordt overgebracht als de transistor spert. Alle energie moet, voordat deze de uitgang bereikt, net als bij de invers-omzetter eerst in de spoel worden opgeslagen. Daarom heeft men het soms over een spoel met twee wikkelingen in plaats van over een transformator.

Omdat de flyback-omzetter zoveel lijkt op de invers-omzetter, is een nieuw schema niet nodig. We brengen eenvoudig een tweede wikkeling op de spoel van de invers-omzetter aan (let op de wikkelrichting) en krijgen een extra galvanisch gescheiden uitgang. De verhouding tussen het aantal windingen is 1:1 en de uitgangsspanningen zijn daardoor even groot. Door een andere windingverhouding te kiezen, kunnen met een flyback-regelaar ook veel hogere of lagere uitgangsspan-



Figuur 11. Rolkernen voor spoelen.

ningen worden verkregen zonder al te extreme puls/pauze-verhoudingen. Bij de schakeling in **figuur 10** is trouwens alleen de uitgang van de invers-omzetter geregeld, de tweede (flyback) niet. Het rendement van de schakeling bedraagt ook hier ongeveer 60%. Deze schakeling kan prima worden gebruikt om positieve en negatieve voedings-

spanningen voor opamps uit een 5-V-spanning op te wekken.

Spoelen

Het enige 'lastige' onderdeel in onze schakelingen is de spoel. Daarom enkele opmerkingen hierover. Bij de vakhandel zijn kleine spoeltjes verkrijgbaar, maar die zijn vanwege hun

Meer informatie

Misschien heeft dit artikel uw interesse voor de efficiënt werkende schakelende voedingen opgewekt. Kijk dan eens op de websites en documentatiepagina's van onderstaande halfgeleiderfabrikanten.

Motorola resp. ON-Semiconductor	http://www.onsemi.com
Texas Instruments / Unitrode	http://www.ti.com
Linear Technology	http://www.linear-tech.com
Maxim	http://www.maxim-ic.com
Infineon	http://www.infineon.com
STMicroelectronics	http://www.st.com
International Rectifier	http://www.irf.com

hoge gelijkstroomweerstand niet geschikt voor onze toepassingen. Groter formaat inducties, die wat stroom betreft toereikend zijn, kunnen natuurlijk wel worden gebruikt. Heel eenvoudig in het gebruik zijn zogeheten rolkernen, waarvan **figuur 11** een voorbeeld laat zien (diameter en hoogte ongeveer 10 mm). Ze zijn vaak in oude PC-voedingen te vinden en kunnen worden overgewikkeld. Bij onze proefmodel-

len werd daarvoor geëmailleerd wikkeldraad met een diameter van 0,2...0,3 mm gebruikt. Door de grote 'luchtspleet' komt het kernmateriaal niet gemakkelijk in verzadiging. Bij het wikkelen van de dubbelspoel voor flyback-omzetters is het belangrijk dat de koppeling tussen de wikkelingen heel vast is. Bij de spoel voor de omzetter uit figuur 10 werd dat bereikt door bifilair te wikkelen (met twee draden tegelijk).

Tot slot

Zoals we hebben gezien, kunnen op eenvoudige wijze allerlei soorten schakelende voedingen worden gebouwd. In veel consumenten-elektronica-apparatuur wordt dat soort omzetters vaak gebruikt in plaats van een (dure) voedingstransformator. Vaak tot leedwezen van servicetechnici die voor de taak staan dergelijke apparaten te repareren. Als de voeding de geest heeft gegeven, dan doet niets het meer. Dat is de consequentie van het gebruik van dit type voedingen.

(020180)

Literatuur

- [1] J.S. Rohrer, LED Switching driver Cuts Current Draw to 3 mA, Electronic Design, August 7.th, 2000, Page 130
- [2] Eugene E. Mayle, Low-Cost Step-Down Regulator, Electronic Design, February 6.th 1995, page 118
- [3] Professionelle Schaltungstechnik, Band 9, pag. 583, Franzis Verlag

De waarheid over accu's

Zijn Li-ion-accu's echt zo slecht?

Harry Baggen

In onze hedendaagse maatschappij wordt alle apparatuur steeds meer 'draadloos'. Dat geldt niet alleen voor de communicatie, maar ook voor de stroomvoorziening. Laptop-computer en GSM-telefoon zijn hiervan de grote voorbeelden. Dankzij krachtige accu's zijn ze in staat om (relatief) lange tijd zonder netaansluiting te functioneren. Maar hoe zit het met de kwaliteit van de verschillende soorten accu's en hoe lang gaan ze mee?

BATTERIES
IN A PORTABLE WORLD
a handbook on rechargeable batteries for non-engineers

Search: [Go](#)
[Search Tips](#) | [Advanced Search](#) | [Site Map](#)

[Table of Contents](#)
[Battery FAQ](#)
[New Articles](#)
[About the Author](#)
[Order Book](#)
[Links](#)

Isidor Buchmann's latest edition of "Batteries in a Portable World" fills the definite need for practical information about rechargeable batteries.

The battery has become our steady travel companion - it helps call a friend; it expands our workplace beyond four walls; and it supports critical missions for people in need. Performance specifications for batteries and chargers are often based on ideal conditions.

Manufacturers carry out battery tests on brand new equipment within protected environments. In Batteries in a Portable World, Mr. Buchmann observes the battery as used by consumers in everyday life.

The battery handbook addresses the strengths and limitations of the modern battery. It illustrates which battery chemistry is most appropriate for each application. You will learn about charger technology, battery maintenance to prolong battery life and methods to restore weak batteries with a battery analyzer.

This site is sponsored by Cadex Electronics Inc. the maker of battery analyzers and chargers. Visit the [CADEX site](#).

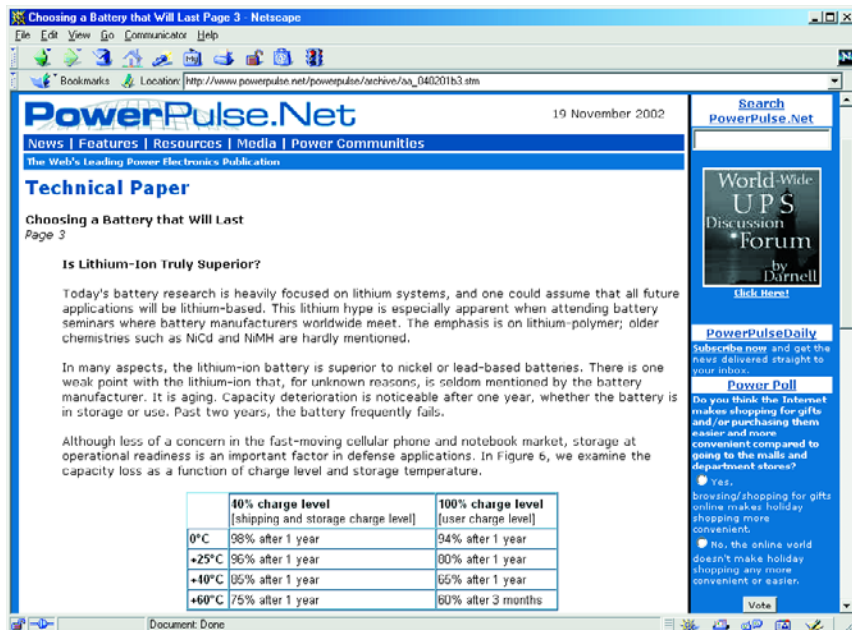
[Table of Contents](#) | [Battery FAQ](#) | [New Articles](#) | [About the Author](#) | [Links](#) | [Site Map](#) | [Contact Us](#)

Access foreign language articles here: [FR](#) [DE](#) [ES](#) [IT](#)

Steeds meer apparatuur maakt gebruik van batterijen of accu's voor de stroomvoorziening. Zowel in als buiten het huis worden batterijen ingezet voor CV-thermostaat, afstandsbediening, zaklamp, radio en walkman. In apparaten die meer energie consumeren, zoals digitale camera's en draagbare computers, worden gewoonlijk accu's toege-

past. Ook de GSM-telefoon kan niet zonder accu, want die staat praktisch de hele dag aan en moet dus regelmatig worden opgeladen. Er zijn verschillende soorten accu's in omloop, zoals de meeste Elektuur-lezers wel weten: NiCd, NiMH, Li-ion en Li-polymeer (er is ook nog

de gesloten loodaccu, maar die wordt vrij weinig in moderne apparatuur toegepast). Nikkel-cadmium is de oudste van deze en is zeer geschikt voor toepassingen waarbij grote stromen geleverd moeten worden, dankzij de lage inwendige weerstand. Helaas bevat dit type accu het giftige cadmium en over enkele jaren zal deze accu geheel van de Europese markt verdwenen zijn. Ter vervanging hiervoor heeft men de nikkel-metaalhydride-accu ontwikkeld, die intussen ook dermate goede eigenschappen heeft dat hij bijna als volwaardig vervanger van de NiCd-accu kan worden beschouwd (de inwendige weerstand is echter nog iets hoger). Voor toepassingen waarbij de energiedichtheid een grote rol speelt (veel energie in een kleine behuizing) is de lithium-ionen-accu ontwikkeld, die echter het nadeel heeft dat er een speciale lader noodzakelijk is. Een afgeleide daarvan is de lithium-polymeer-accu met een flexibele vorm, die o.a. in PDA's wordt toegepast. Al deze accutypen hebben hun



kenmerkende voor- en nadelen. Een goed overzicht van de eigenschappen is te vinden op de site **Digit-life.com** [1].

Volgens testen die o.a. door consumentenorganisaties in verschillende landen gehouden zijn, doen moderne NiCd- en NiMH-accu's niet veel voor elkaar onder. Van het bekende geheugeneffect bij NiCd blijkt nauwelijks nog sprake te zijn. Toch beweren testen op Internet vaak nog het tegendeel. Wie het dichtst bij de waarheid zit, is moeilijk in te schatten. Zulke eigenschappen kunnen specifiek zijn voor bepaalde merken of typen, maar in het algemeen blijken deze twee soorten accu's toch vergelijkbare eigenschappen te hebben.

Li-ion wordt gezien als de ideale accu voor mobiele apparatuur: veel capaciteit bij geringe afmetingen, weinig zelfontlading en een geringe inwendige weerstand. Maar wel heel kritisch wat laden betreft! Dankzij allerlei slimme chemische verbindingen in zo'n accu wordt het anders zo explosieve lithium in bedwang gehouden. Helaas heeft Li-ion de laatste tijd nogal een slechte naam gekregen door enkele berichten in Duitse computerbladen. Uit onderzoeken bleek dat Li-ion-accu's last hebben van een natuurlijke veroudering door de chemische samenstelling. Hierbij speelt het geen rol of de accu wel of niet gebruikt wordt. Volgens deze berichten zou een Li-ion-

accu na twee jaar nog maar de helft van zijn capaciteit bezitten! De industrie gaat er waarschijnlijk van uit dat in onze huidige consumptie-maatschappij laptops en GSM's toch maar een economische levensduur van enkele jaren hebben. Maar ook bij het aanschaffen van een nieuwe accu voor GSM of laptop speelt dit fenomeen een belangrijke rol. Een accu die enkele jaren in een magazijn op de plank heeft gelegen, is al een deel van zijn capaciteit kwijt. Toch moet er nog de volle prijs voor worden betaald! De meeste fabrikanten zwijgen over deze eigenschap van Li-ion-accu's en geven ook geen (leesbare) productiedatum op hun accu's aan.

Op Internet zijn verschillende sites te vinden die hiervan melding maken, zoals het artikel *Choosing a Battery that Will Last* op **PowerPulse.Net** [2]. De meeste artikelen die men over dit onderwerp op Internet vindt, baseren op onderzoeken en artikelen van Isidor Buchmann van de Canadese firma **Cadex** [3]. Deze firma produceert o.a. accu-analysers. Buchmann heeft zelf een site genaamd **Batteries in a portable world** [4]. Hier zijn verschillende interessante accu-artikelen beschikbaar. Een beschrijving van de eigenschappen van Li-ion-accu's is hier te vinden op [5]. Buchmann komt na zijn onderzoeken tot de conclusie dat Li-ion-cellen ook verouderen als ze niet gebruikt worden. Na twee jaar

Internet-adressen:

- [1] Digit-life.com:
www.digit-life.com/articles/mobileaccumulators/
- [2] PowerPulse.Net:
www.powerpulse.net/powerpulse/archive/aa_040201b3.stm
- [3] Cadex: www.cadex.com
- [4] Batteries in a portable world:
www.buchmann.ca/default.asp
- [5] Eigenschappen Li-ion:
www.buchmann.ca/Article9-page3.asp
- [6] LG:
http://battery.rnd.lgchem.co.kr/english/file/LG_Li-ion.pdf
- [7] NASDA:
www.nasda.go.jp/lib/nasda-news/2002/09/front_line_e.html

is het proces zover gevorderd dat de accu's het vaak begeven.

Bij de fabrikanten is hierover weinig tot niets te vinden. Na enig zoeken vonden we een datasheet van **LG** [6] over hun Li-ion-accu's, waarbij een grafiek is afgebeeld die aangeeft dat een Li-ion-accu na 6 maanden bewaren nog maar 90% van zijn originele capaciteit heeft (en hierbij gaat het dus niet om zelfontlading!). Dat geldt overigens bij 20°C, bij hogere temperaturen gaat de achteruitgang veel sneller.

Helaas hebben we bij al dat zoeken maar één serieuze test gevonden die van dit verschijnsel gewag maakt. De andere sites die dit verschijnsel vermelden, hebben zelf niet getest. We hebben de indruk dat het verouderingsverschijnsel afhangt van de chemische samenstelling van de accu en dat kan dus per fabrikant anders zijn. Bovendien wordt deze accutechnologie nog steeds verfijnd en het kan best zijn dat huidige typen er veel minder last van hebben dan exemplaren van een paar jaar terug.

Overigens is het nog interessant om te vermelden dat ruimtevaartorganisaties en fabrikanten van elektrisch aangedreven auto's de toepassingsmogelijkheden van grote Li-ion-accu's onderzoeken. En vooral bij satellieten speelt levensduur een belangrijke rol! Een accu moet daar probleemloos 10 jaar meegaan zonder dat de kwaliteit achteruit gaat! Een leuk voorbeeld daarvan is te vinden op de site van de **NASDA** [7].

Misschien is de Li-ion-accu toch niet zo slecht als sommige verhalen ons doen geloven?

(035005)

GSM-bestuurde schakelunit

Schakelen met SMS

Ali Elallali

Unitronic

Met deze bijzondere schakeling kunnen twee stroomverbruikers onafhankelijk van elkaar op een bepaald tijdstip aan- of uitgeschakeld worden door een SMS-berichtje te sturen.



Zaken zoals schakelen en meten via telecommunicatie-verbindingen zijn voor Elektuurlezers gesneden koek. Tien jaar geleden al kwamen we met een project voor een apparaat waarmee je middels DTMF-tonen zeven uitgangen kon schakelen. Andere hoogtepunten uit de Elektuur-geschiedenis waren

de mini-webserver (7...9/2001) en de afstandsbesturing met GSM en SMS (1...2/2002). De schakeling die hier wordt geïntroduceerd, komt qua mogelijkheden overeen met het eerste project en wat betreft de techniek met het laatste: Twee netspan-

ningsgebruikers worden door middel van een SMS-berichtje onafhankelijk van elkaar in- en uitgeschakeld. Dat kan meteen gebeuren, maar het is ook mogelijk om een real-time klok te programmeren en op die manier de actie op een bepaalde tijd in de toekomst uit te doen voeren.

GSM-Modem

Net zoals bij de mini-webserver en de afstandsbesturing passen wij hier een speciale module toe waarin de hele telecommunicatie wordt afgehandeld (**figuur 1**). Die module is een ontwikkeling van de Franse firma Wavecom (www.wavecom.com), die via de Nederlandse distributeur MCS verkrijgbaar is. Het type dat hier is toegepast, de Wavecom Integra, is een dual-band-GSM-modem voor 900 MHz en 1800 MHz. Deze module kan overweg met telefonie, voice-mail, SMS zenden en ontvangen, fax (groep 3) data-overdracht en nog veel meer, zonder dat er extra hardware nodig is. Het kleine metalen kastje dat iets kleiner is dan een pakje sigaretten beschikt over een SIM-kaarthouder, een antenne-aansluiting en een 50-polige stekker met een groot aantal functies en bussystemen: voedingstabilisatie, twee microfoonversterkers, twee audio-eindversterkers,

een complete RS232-interface, een A/D-omzetter, een toetsenbord-aansluiting, een SPI- en een I²C-bus, een aansluitmogelijkheid voor een externe SIM-kaart-houder, twee digitale in/uitgangen en nog een paar besturingslijnen.

Van al deze mogelijkheden op de 50-polige interface gebruikt onze schakeling alleen maar beide I/O signalen, twee stuursignalen (on/off en busy) en de RS232-interface die bovendien alleen maar nodig is als je het wachtwoord kwijt bent en de instellingen terug wilt zetten op de default waarde.

OpenAT

Het hart van de schakelunit is niet goedkoop, maar wel zijn geld helemaal waard. Het modem kan namelijk in een bijzondere programmeertaal worden aangesproken: openAT. De gebruikelijke microcontroller schakeling is hier niet nodig. Zoals de naam al doet vermoeden, is deze taal gebaseerd op een oude bekende, de gestandaardiseerde verzameling AT-commando's voor modems. Een openAT-toepassing bestaat uit de toepassingsspecifieke embedded toepassing, die met de openAT bibliotheek is ontwikkeld en gelinkt. Deze bibliotheek bestaat uit een groot aantal API's (Application Programming Interfaces):

- Application Mandatory API

Deze moet door de embedded toepassing gebruikt worden.

- AT Command API

Deze geeft toegang tot de verzameling AT-functies (Send AT commands, subscribe to unsolicited/intermediate indications).

- OS API

Deze geven toegang tot de functies van het operating system (Start/Stop timer, Read/Write data in flash memory, Init/Get/release memory, Delete objects stored in flash memory).

- FCM API

Deze geeft toegang tot de functies van de Flow Control Manager die zich bezig houdt met V24 en data-I/O (Open/close flow, Send/Receive Data).



Figuur 1. Het hart van het project: het programmeerbare GSM-modem.

- I/O-API

Voor het besturen van de seriële verbinding en de GPIO (de twee 'stop-contacten').

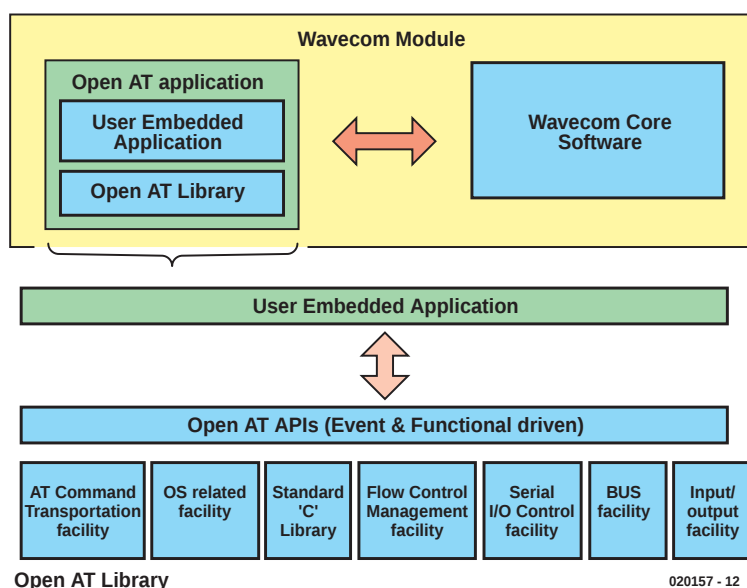
- BUS API

voor de besturing van de bussystemen SPI en I²C.

- Standard API

met een keur van standaard C-functies.

Figuur 2 geeft een overzicht van de samenhang tussen de API's en de gebruikerstoepassing in een GSM-module. Maar voor dit project is echt geen speciale programmeerkunst nodig. Het modem wordt namelijk compleet met de benodigde programmatuur geleverd. Bij wijze van uitzondering is de software niet beschikbaar voor download op de Elektuur-website en daar is een goede reden voor: OpenAT (ook wel genoemd MUSE) kost rond de € 6000,- en daarnaast is ook nog eens een ARM-compiler nodig die nog een extra € 4000,- kost. Een dergelijk bedrag is



Figuur 2. De samenwerking van de API's met de gebruikerstoepassing.

het GSM-modem data ontvangt en licht continu op bij communicatie, dus bijvoorbeeld bij het inschakelen als er een netwerkverbinding moet worden opgebouwd.

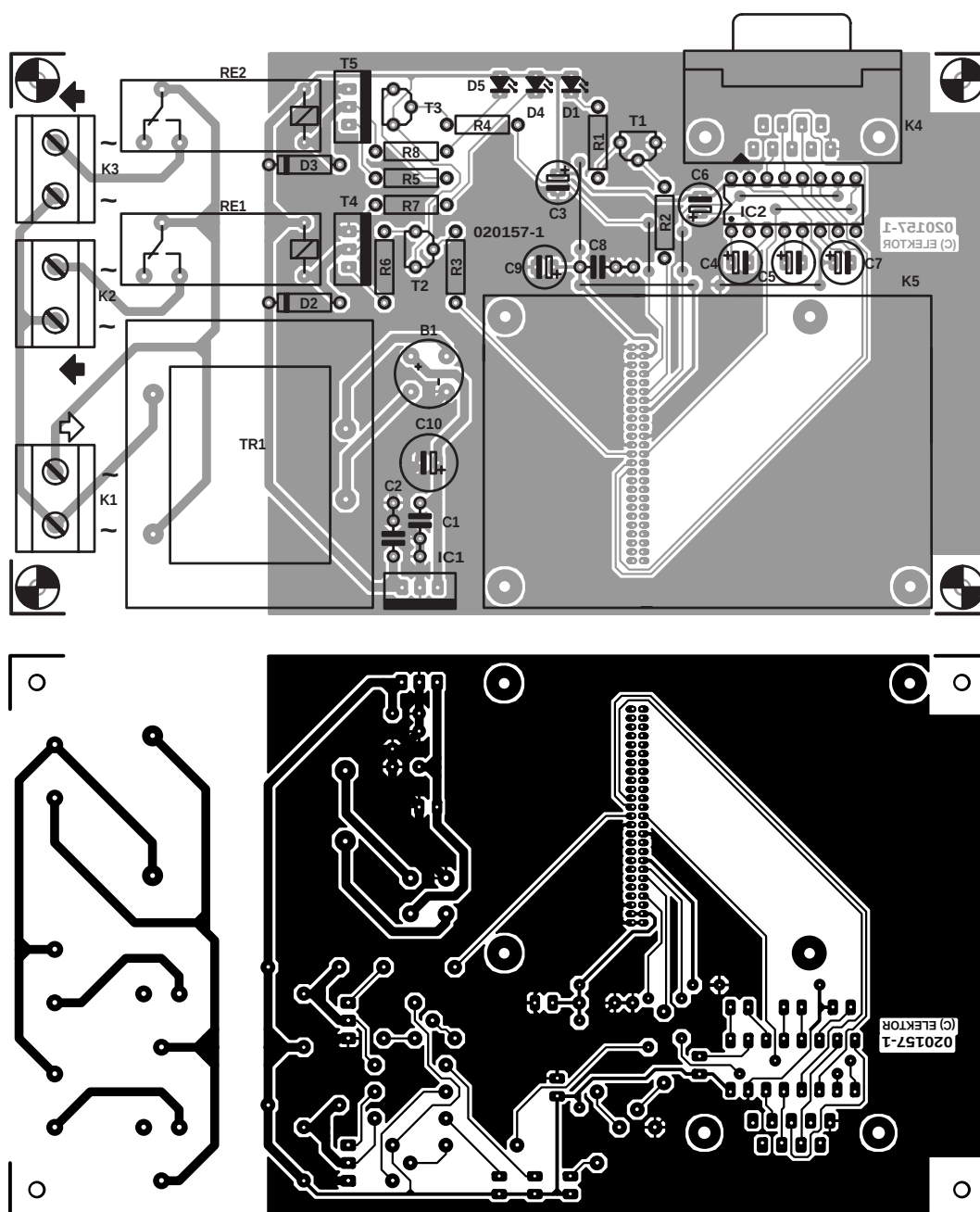
De opbouw

Voor de GSM-schakelunit hebben we een print ontworpen waarbij vooral goed gelet is op de elektrische veiligheid omdat hier 230 V geschakeld moet worden. De print is kant en klaar verkrijgbaar onder nummer 020324-1. De layout van **figuur 4** is

ook gratis te downloaden van de Elektuur website, voor degenen die het printje zelf willen maken. Zoals altijd bij dit soort werk is een soldeerbout met dunne punt en dun (gemakkelijk te doseren) soldeertin nodig omdat de contacten van connector K5 een onderlinge afstand van 1,27 mm hebben. Als u bij het solderen toch uitschiet met het soldeertin, dan hoeft dat geen probleem te zijn. Desoldeerlitze doet in zo'n geval wonderen. Nadat alle contacten van de connector zijn gesoldeerd is het geen gek idee er ter con-

trole nauwkeurig met een goede vergrotingsloop naar te kijken. Je weet niet wat je ziet! De rest lijkt nu nog kinderspel, maar natuurlijk moet er nauwkeurig gewerkt worden. Houd rekening met de juiste polariteit van de onderdelen en vergeet vooral niet de vijf (geïsoleerde) draadbrugjes aan te brengen; twee zitten er onder IC2.

Als alle onderdelen zijn gemonteerd en de print grondig is gecontroleerd, kan de print worden ingebouwd in een passende behuizing. De schakeling **moet** als een klasse-I-apparaat worden gebouwd. Het is hierbij niet van belang of de kast van metaal of van kunststof is, ALLE geleidende delen moeten



Figuur 4. De print voor de GSM-bestuurde schakel-unit.

met elkaar en met randaarde (!) verbonden worden. Lees nog eens zorgvuldig de veiligheidspagina door, die regelmatig in Elektuur wordt afgedrukt.

Diverse testen

Houd er bij alle testen rekening mee dat in de behuizing levensgevaarlijke netspanning aanwezig is.

Het is niet verstandig om het dure GSM-modem nu al meteen in de connector te steken. De eerste test is het controleren van de 5-V-gelijkspanning. Pas als die in orde is, schakelen we de netspanning weer uit en gaan we de GSM modem klaar maken voor gebruik.

Voor het modem is natuurlijk een SIM-kaart nodig, die echter niet beveiligd mag zijn met een PIN-code. Als dat wel het geval is, kunt u die PIN-code met een mobieltje uitschakelen (als de provider dit tenminste toelaat). Noteer het telefoonnummer dat bij de SIM-kaart hoort ergens aan de binnenkant van de behuizing.

Steek de SIM-kaart nu in de gleuf achter het zwarte klepje naast de antenne-ingang en druk vervolgens het modem in de connector op de print. Voor alle zekerheid moet het

Onderdelenlijst

Weerstanden:

R1,R7,R8 = 150 Ω
R2 = 1 k
R3,R4 = 1 k Ω
R5,R6 = 56 Ω

Condensatoren:

C1,C2,C8 = 100 n
C3..C7 = 1 μ /16 V radiaal
C9 = 100 μ /16 V radiaal
C10 = 220 μ /25 V radiaal

Halfgeleiders:

B1 = B80C1500 rond
D1 = low-current-LED 3 mm, geel
D2,D3 = 1N4148
D4,D5 = low-current-LED 3 mm, rood
IC1 = 78S05
IC2 = MAX232
T1..T3 = BC547B
T4,T5 = BD139

Diversen:

Tr1 = Nettrafo sec. 9 V/3,6 VA, kortsluitvast (bijv. Gerth 387.09)
Re1,Re2 = relais 1-maal om, voor printmontage, 6 V spoelspanning,

schakelcontact 250 V/4 A (Siemens V23057 B0001-A101)

K1...K3 = 2-polige printkroonsteen, steek 7,5 mm

K4 = 9-polige haakse female sub-D-connector voor printmontage

K5 = 2x25-polige rechte female printconnector, raster 0,05" (Farnell 672-348)

netentree metzekering (15 mA traag) en netschakelaar

GSM-modem Wavecom Integra, speciale Elektuur-uitvoering, bestelnr. 108340

Antenne met MMCX-connector (IMS Connectors Systems - www.imscs.com)

Print EPS 020157-1 (zie servicepagina's)

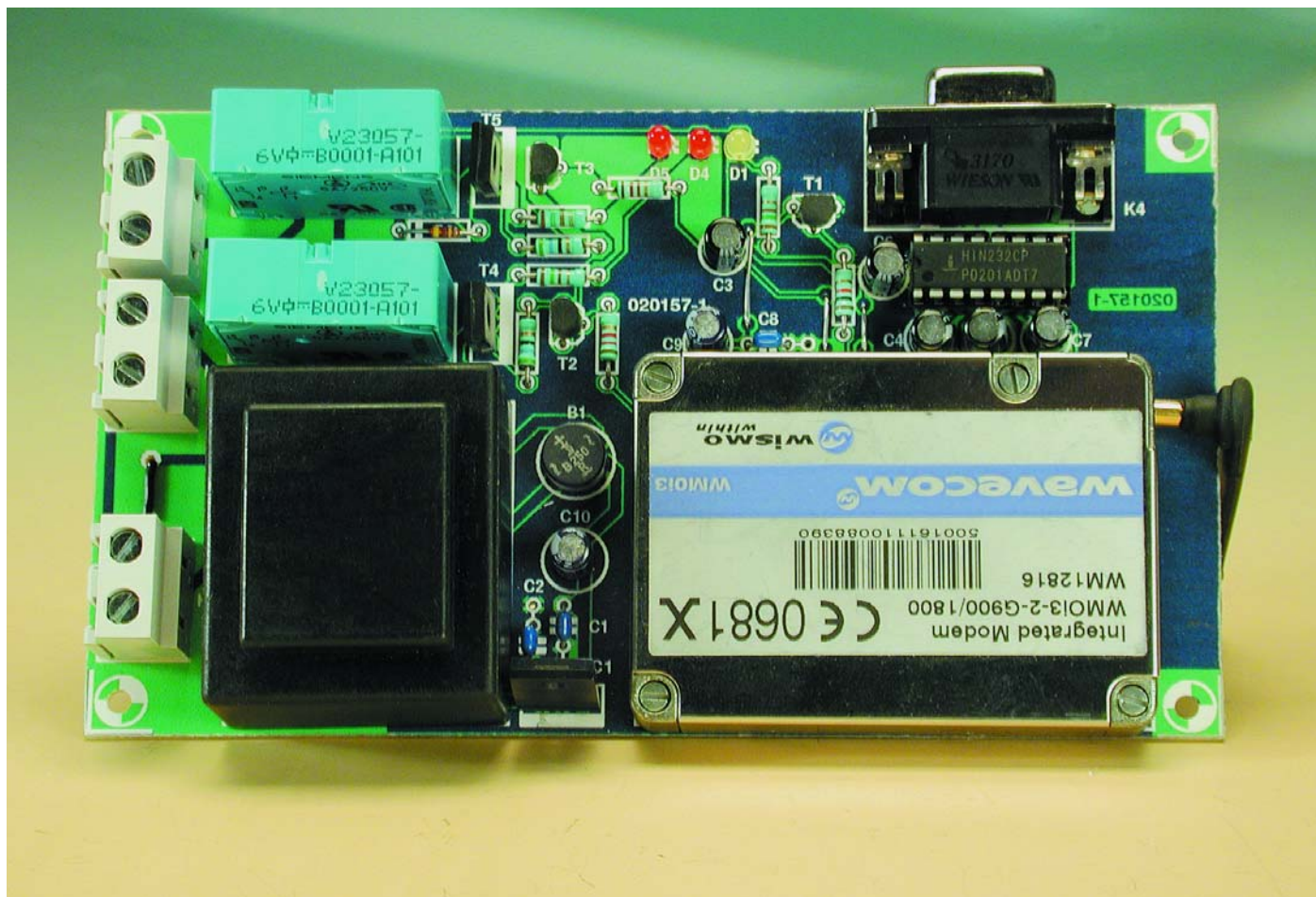
Het Wavecom-modem wordt geleverd door importeur/distributeur: MCS -

Mixe Communication Solutions B.V.
Postbus 10071, 3004 AB Rotterdam
Tel 010-4375555, fax 010-4375656

E-mail: info@mcs-nl.com

Website: www.mcs-nl.com

Let er op dat u de speciale Elektuurversie met nummer 108340 bestelt!



modem met schroefjes worden vastgezet. Gebruik daarbij geen ringetjes en dergelijke, want anders bestaat de kans op kortsluiting. Tenslotte wordt de antenne aangesloten.

Bij het inschakelen worden een paar modeminstellingen op hun default-waarde gezet:

PIN	0000
PIN-controle	uit
Antwoord	aan

Deze parameters kunnen door middel van een SMS-berichtje aangepast worden. Dit moet u dan ook meteen doen om te voorkomen dat iedereen de twee netschakelaars naar believen aan en uit kan schakelen. Het eerste SMSje dat naar het modem wordt gestuurd, is voor het instellen van de PIN-code. Het commando voor het veranderen van de PIN ziet er als volgt uit:

```
„change      password;<oude
PIN>;<nieuwe PIN>”
```

Stel dat we voor de PIN 0815 kiezen dan is het commando:

```
„change password;0000;0815”
```

Het GSM-modem past de PIN-code aan en stuurt de bevestiging 'Password changed' terug. Nu kunnen de uitgangen op de print alleen nog maar in- en uitgeschakeld worden als het commando is voorzien van de correcte PIN-code.

Dat willen we ook meteen uitproberen door een uitgang in te schakelen. Het commando heeft de volgende opbouw:

```
„#<password>;<socket number>,<on/off>,<date>,<time>”
```

Dat ziet er ingewikkelder uit dan het is, want niet alle velden hoeven te worden ingevuld. Sturen we bijvoorbeeld het volgende commando:

```
„#0815;1,1,,”
```

dan wordt uitgang nummer 1 inge-

schakeld. De komma's mogen niet worden vergeten! Een overzicht van alle mogelijke commando's is te zien in de **Tabel**.

Ook de RS232-interface moet getest worden. De instellingen van de seriële interface zijn vastgelegd op 8,N,1,9600. Na het inschakelen is automatisch het voorgeprogrammeerde openAT-programma in de speciale versie van het Wavecom-modem geactiveerd. Dan reageert het modem alleen maar op de volgende commando's over de RS232 interface:

AT+RESET

Herstel alle default-waarden. Dit commando is zeer nuttig als de PIN-code niet meer beschikbaar is (bijvoorbeeld vergeten).

AT+WOPEN = 0

Stopt het programma en herstelt de normale uitgangssituatie. Hierna kan het modem via AT-commando's bestuurd worden.

AT+WDWL

Nu kan een nieuw programma in het modem worden geladen. Dat gebeurt middels het X-modem-protocol dat de meeste communicatieprogramma's ondersteunen.

(020157)

SMS-Commando's

SWITCHING OUTPUT

Commando: **„#<password>;<socket number>,<on/off>,<date>,<time>”**

Dit commando stuurt een of meer uitgangen aan middels een SMS-bericht. Niet alle velden hoeven ingevuld te worden, enige velden zijn optioneel.

Password	Als de PIN-controle aan staat, dan moet de PIN-code hier ingevoerd worden.
Socket number	1 = uitgang 1, 2 = uitgang 2, 0 = beide uitgangen
On/off	1 = aan, 0 = uit
Date	jj/mm/dd (bijv. 02/09/15 is 15. September 2002). Als het veld leeg is, wordt de actuele datum ingevuld.
Time	hh:mm (bijv. 13:30 uur). Als het veld leeg is, wordt de actuele tijd ingevuld.

Het is mogelijk om meerdere schakelcommando's in één SMS-boodschap te sturen. De tweede opdracht wordt simpelweg achter de eerste geschreven. De string **#<password>;** is dan niet nodig. Het is mogelijk op deze manier tot 16 schakelfuncties te programmeren.

Antwoord: **<command> : accepted**

Voorbeelden:

#7324;1,1,,	uitgang 1 inschakelen
#7324;2,1,02/09/15,12:00	uitgang 2 op 15. september 2002 om 12:00 uur inschakelen
#7324;1,0,02/09/15,13:00,2,0,03/09/15,13:01	uitgang 1 op 15. September 2002 om 13:00 uur uitschakelen, uitgang 2 op 15. September 2002 om 13:01 uur uitschakelen

GET SWITCHES

Commando: **„switch?”**

Dit commando informeert naar de opdrachten voor beide uitgangen. Het GSM-modem stuurt een SMS-bericht met alle ontvangen en geaccepteerde acties.

Voorbeeld:

Commando *"switch?"*
 Antwoord *"1,1,,;0
 2,1,02/09/15,21:00;1
 1,0,02/09/15,13:00;2
 2,0,02/09/15,13:01;3"*

De laatste cijfers van een regel zijn een indexnummer. Deze index is nodig om een bepaalde actie te kunnen opheffen.

DELETE SWITCH

Commando: *"delete switch;<password>;<index>"*

Dit commando heft een actie op.

Password Als de PIN-controle aan staat, moet de PIN-code hier worden ingevuld.
Index De index van de actie die moet worden opgeheven, wordt in GET SWITCHES vermeld.

Voorbeeld:

Opdracht *"delete switch;7324;1"*
 Antwoord *"Switch 1 : deleted"*

Het is ook mogelijk alles tegelijk te cancellen. Dan is de index 16 nodig:

Opdracht *"delete switch;7324;16"*
 Antwoord *"Switch 16 : deleted"*

SET REAL TIME CLOCK

Met deze opdracht kunnen datum en tijd worden ingesteld.

Commando: *"rtc;<password>;<date>,<time>"*

Date jj/mm/dd (bijv. 02/09/15 is 15 september 2002)
Time hh:mm (bijv. 13:30 uur)

Voorbeeld:

Opdracht *"rtc;7324;02/29/07,10:49"*
 Antwoord *"The rtc is set succesfully"*

GET REAL TIME CLOCK

De datum en tijd zoals opgeslagen in het GSM-modem kunnen worden opgevraagd.

Commando: *"rtc?"*

Voorbeeld:

Commando *"rtc?"*
 Antwoord *"02/29/07,11:01"*

CHANGE PASSWORD

Hiermee kan de PIN-code worden aangepast.

Commando: *"change password;<old password>,<new password>"*

old password de oude PIN

new password de nieuwe PIN

Voorbeeld:

Opdracht **"change password;7324,0123"**

Antwoord **"Password changed"**

DISABLE/ENABLE PASSWORD

PIN-controle in- en uitschakelen.

Commando **"password;<password>;<enable/disable>"**

password PIN

enable/disable 0 = controle uitschakelen, 1 = controle inschakelen

Voorbeeld:

Opdracht **"password;0123;0"**

Antwoord **"Password disabled"**

DISABLE/ENABLE RESPONSE

Het GSM-modem kan elke opdracht bevestigen indien gewenst.

Commando: **"response;<password>;<enable/disable>"**

password PIN

enable/disable 0 = bevestiging uitschakelen, 1 = bevestiging inschakelen

Voorbeelden:

Opdracht **"response;0123;0"**

Antwoord geen, we hebben de bevestiging immers net uitgeschakeld!

Opdracht **"response;0123;1"**

Antwoord **"Response enabled"**

GET REPORT

Deze opdracht levert een status-rapport van het GSM-modem op.

Commando: **"report?"**

Deze opdracht wordt altijd uitgevoerd, ook als de bevestiging is uitgeschakeld.

Voorbeeld:

Commando **"report?"**

Antwoord

```

"Socket 1      : on
Socket 2      : off
Password      : enabled
Response      : enabled
Time         : 11:05
Date         : 02/07/29"

```

CompactFlash-interface voor μ C

Onder andere voor het 89S8252 flash-board

Paul Goossens

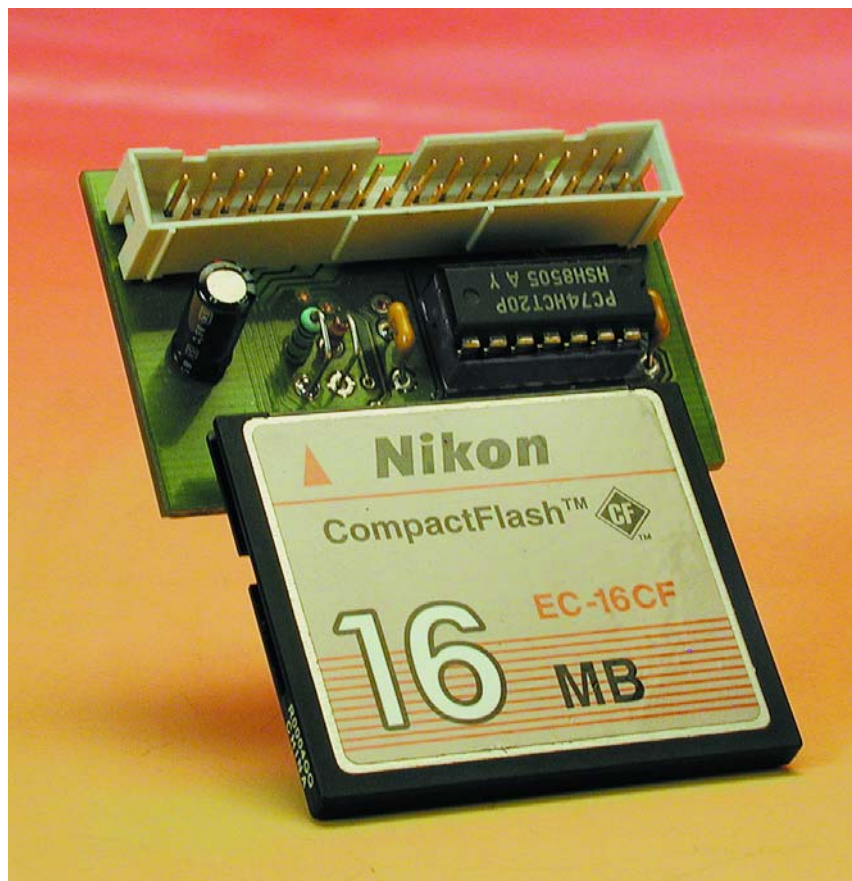
CompactFlash-kaarten zijn ideaal voor het opslaan van grotere hoeveelheden data. Deze blijven jarenlang in het geheugen aanwezig zonder dat er een voedingsspanning nodig is. Na de CompactFlash-drive voor PC's (april 2002) presenteren we nu een soortgelijke schakeling voor microprocessorboards, in het bijzonder het populaire 89S8252-board van de basiscursus microcontrollers.

Deze CF-interface is in eerste instantie ontworpen als uitbreiding van het in december 2001 gepubliceerde 89S8252 flash-board. De schakeling kan ook worden toegepast bij andere microcontroller-boards, maar dan moet men zelf een verloop-adapter maken tussen de CF-interface en de uitbreidingsconnector die op het bewuste controller-board aanwezig is. De interface maakt het mogelijk dat de processor gegevens kan lezen en schrijven van en naar een CompactFlash-card. Op deze manier wordt de geheugencapaciteit van de schakeling enorm vergroot. Er zijn tegenwoordig al CompactFlash-cards te krijgen met een capaciteit van maar liefst 1 GB! Het mooiste van dit soort kaarten is dat ze een niet-vluchtig geheugen bevatten, zodat eventueel belangrijke data niet verloren gaat wanneer de spanning wegvalt.

Als toepassing van deze uitbreiding valt te denken aan een data-logger, spraak-recorder/speler, enzovoorts. De mogelijkheden worden eigenlijk alleen maar begrensd door de fantasie van de gebruiker.

Het schema

Het schema van de interface (**figuur 1**) is zeer eenvoudig. De enige echte 'elektronica'



bestaat uit een adresdecoder die bestaat uit precies één logisch poortje (IC1a). Deze decodeert A12 t/m A15 en selecteert de CompactFlash-card indien deze adreslijnen allemaal '1' zijn. Dit betekent dat de CompactFlash-card het adresbereik van F000_{HEX} t/m FFFF_{HEX} beslaat.

De rest van de schakeling verbindt de juiste aansluitingen van de CF-card met de juiste processorsignalen en voorziet de CF-card van voedingsspanning.

C1 en C2 zorgen voor de noodzakelijke ontkoppeling van de voedingsspanning. C3, R1 en D1 produceren een reset-sigitaal bij het inschakelen van de voedingsspanning.

Daarmee is de hele schakeling al besproken. Voor meer informatie over de afmetingen en aansluitgegevens van de CF-card verwijzen we naar het artikel van de CompactFlash-drive in april.

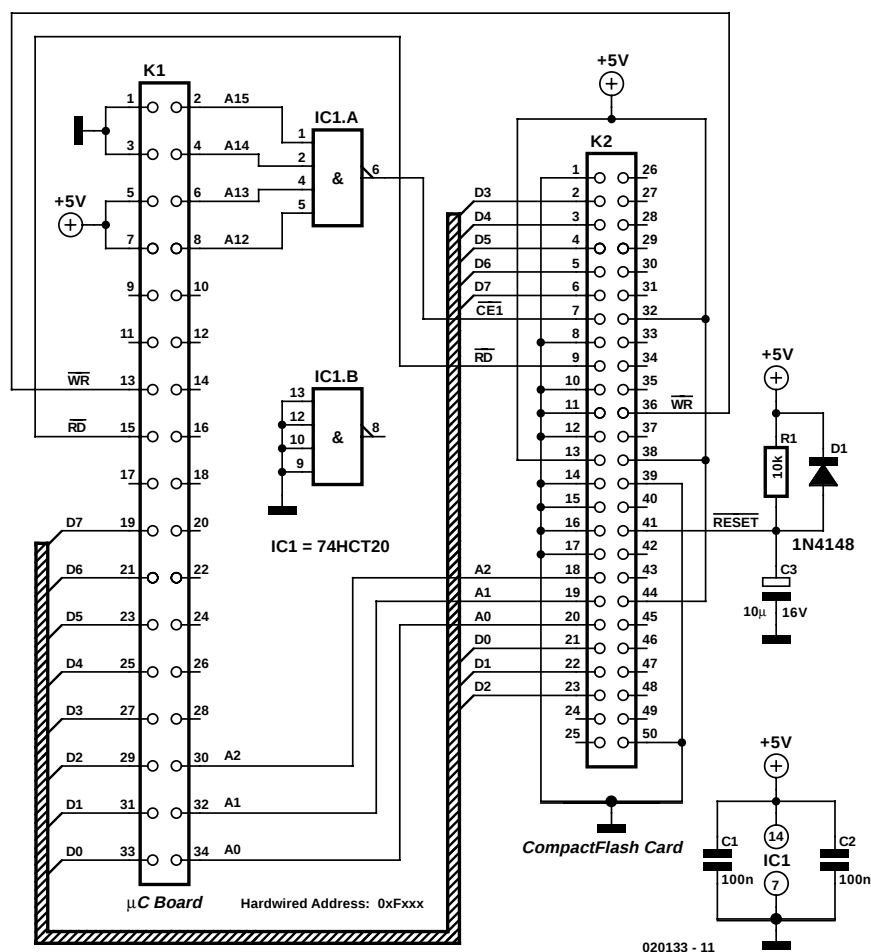
In **figuur 2** is de layout van de dubbelzijdige print voor de schakeling afgebeeld. De meeste ruimte wordt in beslag genomen door de 50-polige connector voor de CF-card en de 34-polige boxheader die de verbinding met het flash-board voor zijn rekening neemt.

Het opbouwen van de schakeling is niet moeilijk, maar het is toch verstandig om vooral bij de pinheader voor de CF-card zorgvuldig te solderen, want de pennen zitten dicht naast elkaar.

De verbinding tussen de interface (K1) en het flash-board (K8) bestaat uit een stukje 24-aderige flat-cable met twee persconnectoren. Op de kopfoto is te zien hoe het interface-printje naast het flash-board kan worden opgesteld. De CF-card wordt zodanig op connector K2 geschoven dat de bedrukte kant boven zit (zie foto). Denk er aan dat deze uitbreiding NIET werkt indien er een LCD op het flash-board is aangesloten!

De software

Zonder software doet een processor niks met het gegeven dat er een CompactFlash-card is aangesloten op zijn geheugenbereik. De programmeur moet de processor dan ook de opdracht geven om data te lezen/schrijven **plus** aangeven hoe de processor dit moet verwezenlijken. De complete specificaties van de



Figuur 1. Het schema van de CompactFlash-interface bestaat uit twee connectoren en heel weinig elektronica.

CompactFlash-interface zijn nogal uitgebreid en dat zou de meeste mensen ervan kunnen weerhouden om zelf aan de slag te gaan met een CompactFlash-card. Om deze 'koud-watervrees' enigszins weg te nemen hebben wij een demonstratieprogrammaatje geschreven, waarin de meest belangrijke (en nuttige) functies van de interface worden gebruikt. De hier gebruikte functies staan vermeld in **tabel 1**. Dit programma kan dan als voorbeeld dienen voor het zelf te schrijven programma, zonder dat men moeizaam de specificaties moet gaan doorploeteren.

Voor degene die toch de specificaties van de CompactFlash-interface erop wil naslaan: Deze zijn gratis te downloaden van de Internet-site van de CompactFlash Association. Het adres is: www.compactflash.org. De source-code voor dit programma en het programmeerbestand zijn te

downloaden vanaf de Elektuur-website of kunnen worden besteld op floppy (EPS 020133-11). Het C-programma is geschreven in de C-compiler van Tasking. Om deze source-code te kunnen gebruiken in een andere C-compiler kan het zijn dat enkele details veranderd moeten worden. Hierbij valt te denken aan de declaratie van de CF-registers e.d. Het programmeerbestand kan via het bekende 'MicroFlash' direct in de AT89S8252 geprogrammeerd worden. Met behulp van HyperTerminal kunnen dan op de PC de verschillende functies van de interface worden uitgetoetst. De instellingen voor HyperTerminal

Tabel 1.

De belangrijkste functies van de CompactFlash interface

Command Name	Command code
READ SECTOR(S)	0x20
WRITE SECTOR(S)	0x30
IDENTIFY DRIVE	0xEC

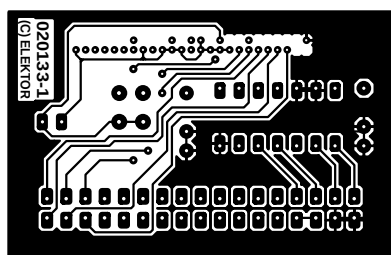
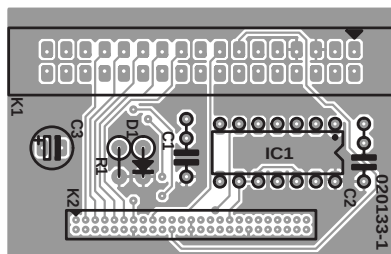
zijn: 9600 baud, 1 startbit, 8 databits en geen pariteit.

Bij het starten van het programma wordt de CF-card gereset en worden de benodigde gegevens opgevraagd. Ook wordt de sector

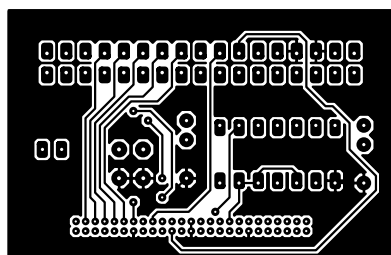
op het adres CYL 1, HEAD 1, SECTOR 1 gelezen en in de buffer geplaatst. Hierna verwacht het programma een commando van de gebruiker.

Tot slot

Bij het gebruiken van een CompactFlash-card is het verstandig om eerst een backup te maken van de inhoud



soldeerzijde



componentenzijde

Figuur 2. De dubbelzijdige print voor de CompactFlash-interface.

Onderdelenlijst

Weerstanden:

R1 = 10 k

Condensatoren:

C1, C2 = 100 n

C3 = 10 µ/16 V radiaal

Halfgeleiders:

D1 = 1N4148

IC1 = 74HCT20

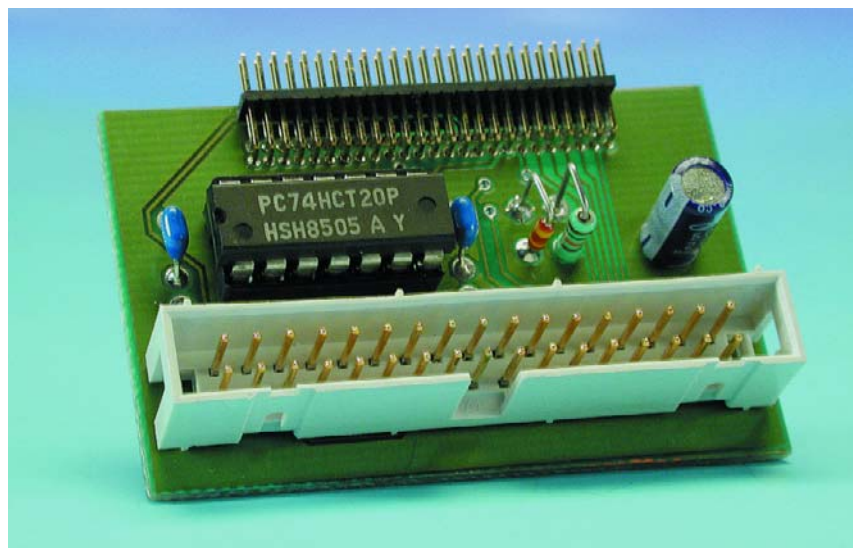
Diversen:

K1 = 34-polige boxheader

K2 = 50-polige haakse 0,05"-grid pinheader
(bijv. Farnell bestelnr. 307-8127)

print EPS 020133-1 (zie service-pagina's)
floppy met source-code
voorbeeldprogramma: EPS 020133-1

Print-layout en source-code zijn ook gratis
beschikbaar op www.elektuur.nl



Tabel 2.

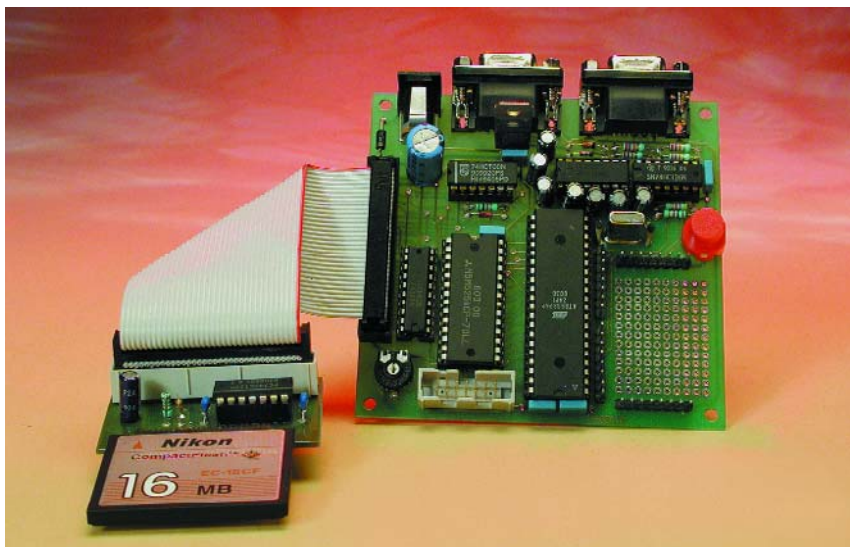
De registers van de CompactFlash-interface.

Adres	Lezen	Schrijven
F000h (atrDATMSB)	D8..D15	D8..D15
F006h (atrALTERN) (atrDEVCTRL)	Alternate Status	Device control
F007h (atrDRIVEAD)	Drive Adre	
F008h (atrDATLSB)	Data	Data
F009h (atrERROR) (atrFEATURE)	Error	Feature
F00Ah (atrSECCNT)	Sector Count	Sector Count
F00Bh (atrSECNr)	Sector Number	Sector Number
F00Ch (atrCYLLOW)	Cylinder Low	Cylinder Low
F00Dh (atrCYLHIG)	Cylinder High	Cylinder High
F00Eh (atrDRHEAD)	Drive/Head	Drive/Head
F00Fh (atrSTATUS) (atrCOMMAND)	Status	Command

Tabel 3.

De commando's van het voorbeeldprogramma.

?	Help	Geeft beknopt alle functies van het programma weer
D	Display	Laat de inhoud van de buffer zien in hexadecimale weergave en ASCII-weergave
I	Info	Geeft de belangrijkste gegevens van de aangesloten CompactFlash-card weer
R	Read	Leest een sector van de CompactFlash-card en plaatst de inhoud in de buffer
W	Write	Schrijft de inhoud van de buffer naar een sector op de CompactFlash-card
C	Cylinder	Wijzigt de huidige geselecteerde cilinder
H	Head	Wijzigt de huidige geselecteerde kop
S	Sector	Wijzigt de huidige geselecteerde sector



Figuur 3. Zo wordt de schakeling op het flash-board aangesloten.

van deze kaart, zodat er zonder problemen naar hartelust mee geëxperimenteerd kan worden.

Wanneer er via het microcontroller-systeem geschreven is naar de CompactFlash-card, moet men er rekening

mee houden dat het mogelijk is dat deze CF-card voor toepassing in een ander systeem (PC, camera) naderhand waarschijnlijk opnieuw geformatteerd moet worden voordat hij weer voor normaal gebruik geschikt

is. Dit komt omdat camera's en PC's gebruik maken van een bestandssysteem om de gegevens op een CF-Card in mappen en bestanden te kunnen ordenen. Dit bestandssysteem gebruikt een gedeelte van de CF-card om bij te houden waar de afzonderlijke mappen en bestanden beginnen. Ook kunnen bestanden nogal 'verspreid' over de kaart worden opgeslagen. Het bestandssysteem bewaart dan ook gegevens welke aangeven in welke volgorde de bepaalde sectoren gelezen moeten worden om een bepaald bestand te lezen.

Het voert te ver om in dit artikel de structuur van de verschillende bestandssystemen uit de doeken te doen. Ook ons voorbeeldprogramma maakt bewust geen gebruik van een bestandssysteem, zodat het programma simpel kan blijven en zodoende zijn taak het beste vervult, namelijk duidelijk laten zien hoe sectoren beschreven en weer gelezen kunnen worden.

Wie meer wil weten over het bestandssysteem dat in Windows-systemen wordt toegepast, verwijzen we naar een uitgebreide documentatie van Microsoft:

www.microsoft.com/hwdev/download/hardware/FATGEN103.doc

(020133)

Advertentie

Applicator is een rubriek waarin interessante, vaak nieuwe componenten met hun toepassingen worden beschreven; als gevolg daarvan is de verkrijgbaarheid niet altijd gegarandeerd. De inhoud is gebaseerd op informatie die door fabrikanten en importeurs is verstrekt en stoelt niet noodzakelijkerwijs op praktijkervaringen van de redactie.

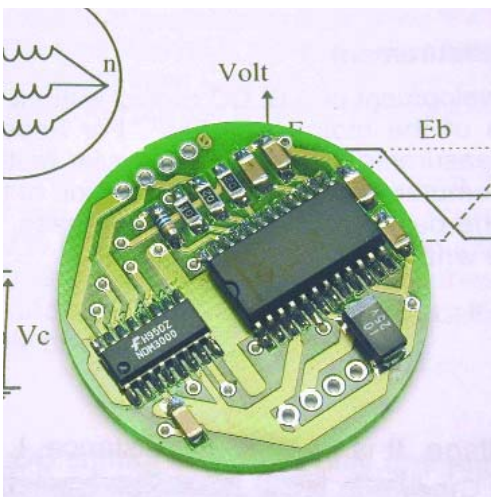
3-fase BLDC-motorsturing

Eenvoudige sturing van borstelloze gelijkstroommotoren

René Merz

Magnetron Labs – www.magnetron.ch

Borstelloze DC-motoren kunnen door een vrij eenvoudige elektronische schakeling worden aangestuurd, waarbij de EMK van de motor wordt gebruikt voor de positiebepaling. Exacte positionering is met deze methode echter niet mogelijk.



Borstelloze DC-motoren hebben een veel langere levensduur dan gelijkstroommotoren met borstels en een collector. Om deze BLDC-motoren op de juiste manier aan te sturen, is tamelijk gecompliceerde elektronica nodig met Hall-sensoren om de positie van de rotor te bepalen. De hier voorgestelde stuelelektronica bestaat uit slechts twee IC's en er zijn geen Hall-sensoren nodig. Door het eerste IC worden de vereiste fase-signalen opgewekt, het tweede IC is een 3-fasen vermogenstrap. De momentele positie van de rotor wordt ver-

kregen door analyse van de EMK. De totale elektronica zit op een printje met een diameter van slechts 35 mm en een hoogte van 4,15 mm. De vermogenstrap bestaat uit halvebrug-schakelingen, opgebouwd met N- en P-kanaal MOSFET's. Door de lage R_{DSon} -weerstand van de MOSFET's wordt, afhankelijk van het type motor en de voedingsspanning, een rendement van 85% tot 97% gehaald. Een welkome bijkomstigheid van de borstelloze sturing is dat de EMC-storing veel lager is.

BLDC-motor

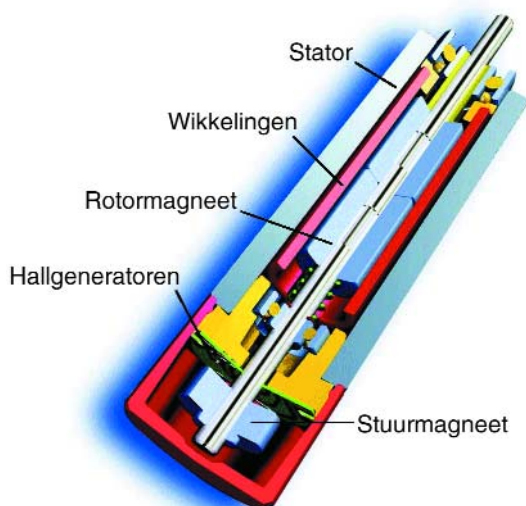
In **figuur 1** is een 'opengewerkte' borstelloze motor te zien. In het huis (de stator) zijn geïsoleerde koperwikkelingen van de drie of vier (deel-)wikkelingen opgenomen. Ze omsluiten - gescheiden door een luchtspleet - een twee- of meerpolige magneet, de rotor. Om een elektromagnetisch draaiveld op te wekken moeten de wikkelingen in de juiste volgorde en intensiteit worden bekrachtigd. Hiervoor zorgt de elektronica, zodat borstels niet nodig

zijn. Slijtage door het vonken van borstels is er dus niet, evenmin als de wrijving en verliezen van de elektromechanische commutatie bij een gewone DC-collectormotor. Bovendien wordt voor de stators van moderne BLDC-motoren een speciaal zacht-magnetisch mengferriet gebruikt om bij hoge toerentallen hysteresisverliezen te minimaliseren.

Elektronische commutatie

Gewoonlijk bevatten BLDC-motoren Hall-generatoren, die de logische signalen leveren voor een correcte sturing van de motorspoelen. In het motorhuis (de stator) zitten drie Hall-generatoren, exakt 120° verschoven ten opzichte van elkaar, vlakbij de rotormagneet om het geïnduceerde magneetveld te detecteren. De signalen van de Hall-generatoren worden via niveau-aanpassers en vermogensversterkers gebruikt om de motorspoelen te sturen.

In de schakeling van **figuur 2** zijn geen Hall-generatoren nodig als nauwkeurige positionering geen ver-



EC-06 Motor

Figuur 1. Elektronisch commuterende motor met een diameter van 6 mm.

eiste is, maar wel prijs wordt gesteld op een hoog rendement (ventilatoren, pompen, aandrijvingen). Ook voor toepassing bij elektro-modelvliegtuigen, fietsen met een elektro-hulpmotor, aandrijving van robots e.d. lijkt de schakeling veelbelovend. Als sensor- en commutatiecontroller wordt de TDA5142T van Philips

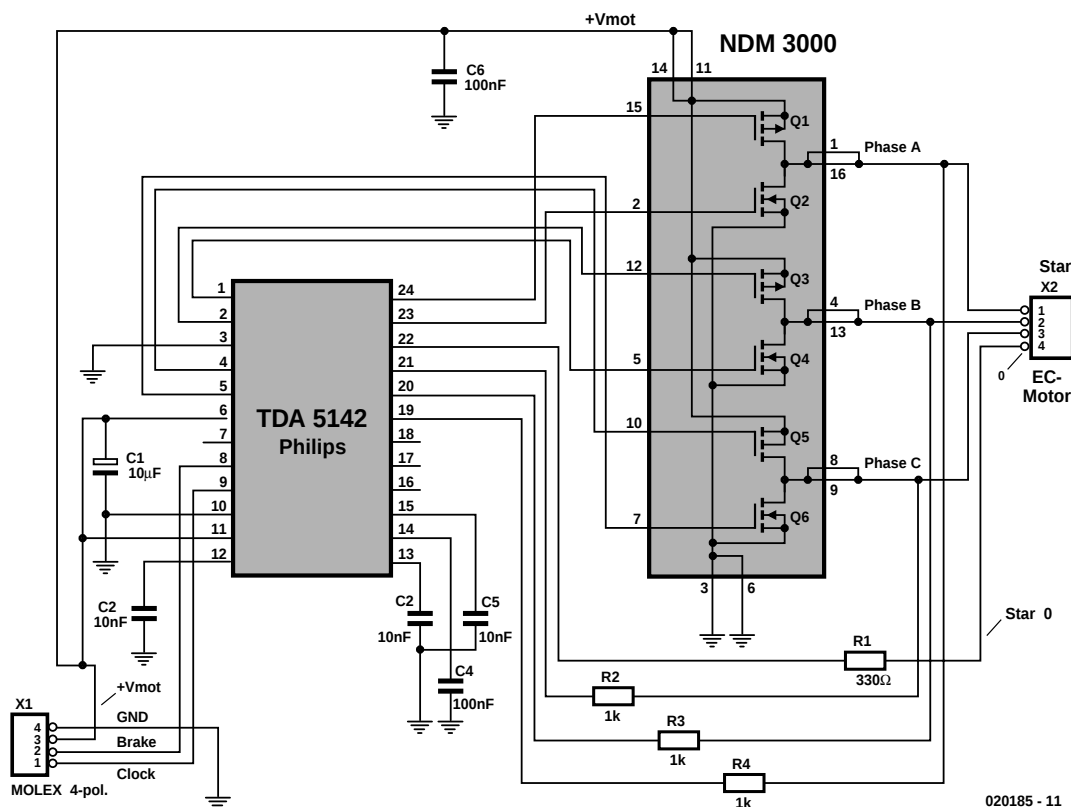
gebruikt; het inwendige blokschema daarvan is in **figuur 3** te zien. De EMK van de ster-motorwikkelingen wordt via de weerstanden R2...R4 op de comparator-ingangen (pen 19...21) gezet. Het ster-nulpunt van de wikkelingen wordt via R1 met de gemeenschappelijke comparator-aansluiting (pen 22) verbonden.

Eigenschappen

- Voedingsspanning 3...18 VDC
- Kan continu 2 A per fase sturen
- Voor motoren met driehoek- of sterwikkelingen
- EC-motor loopt stiller door trapeziumvormige stuursignalen
- Rem-ingang Brake activeert alle uitgangen
- Pulsuitgang Clock voor closed loop (externe PLL)
- Goedkoop, bespaart drie Hall-sensoren plus een stuurmagneet in de motor
- Rendement: 85...97%

Motoren met een driehoekswikkeling kunnen ook worden aangesloten door met weerstanden van 1 k Ω een kunstmatig ster-nulpunt te creëren.

Na het inschakelen van de voedingsspanning blijft de rotor van de BLDC-motor stilstaan, zodat er geen EMK wordt opgewekt. Daarom wordt door een 'start-up oscillator' kortstondig een draaiveld opgewekt, waardoor de motor in een bepaalde richting begint te draaien. Tijdens de start kan de rotor wat 'heen-en-weer' bewegingen maken. Dan nemen de EMK-comparators de commutatie over. Daarbij kan - afhankelijk van de momentele snelheid van



Figuur 2. BLDC-motorsturing met slechts twee IC's en zonder Hall-sensoren.

de rotor - de inschakelfase-verhouding extra nageregeld worden.

Door condensatoren (C2/C3) aan pen 12/13 wordt de timing van de adaptieve commutatievertraging - afhankelijk van het toerental, type motor en belasting - in bepaalde bereiken aangepast. De start-up frequentie wordt bepaald door de op pen 14 aangesloten condensator C4 (hier 100 nF). Ook condensator C5 (pen 15) speelt een rol bij de timing van de commutatie. De inwendige transconductantie-versterker (aansluitingen 16...18) wordt hier niet gebruikt en is niet aangesloten.

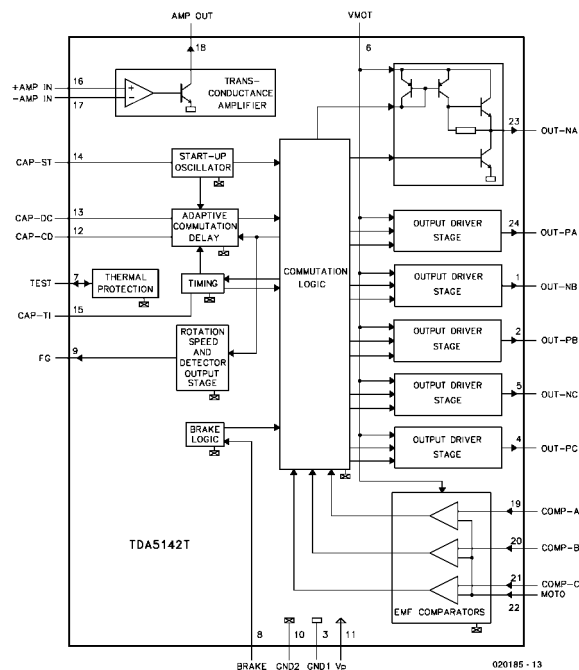
Een kleine MOSFET-krachtpatser

De door de TDA5142 opgewekte 3-fase-signalen, onderling 120° in fase verschoven, op de uitgangen 1/2, 4/5 en 23/24 worden versterkt door de complementaire MOSFET-driver NDM3000 (**figuur 4**) van Fairchild Semiconductor. Deze driver kan probleemloos motorstromen tot 2 A verwerken en de beschermingsdioden maken deel uit van de schakeling. Omdat in de bovenste tak van elke halve brug P-kanaal MOSFET's zijn toegepast in plaats van - zoals soms gebruikelijk - N-kanaal MOSFET's, is de schakeling echt complementair en moeten de gates van de FET's apart worden aangestuurd.

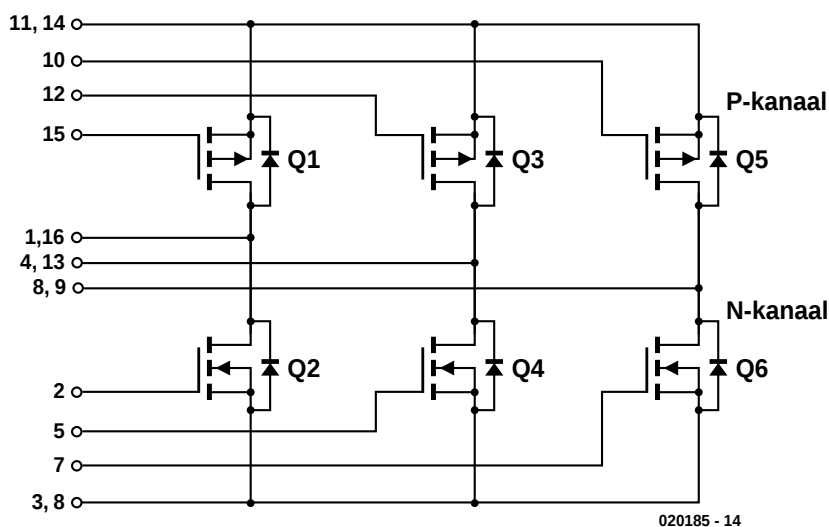
De schakeling werkt al bij lage voedingsspanningen vanaf 3,5 V en stuurt geschikte motoren betrouwbaar aan. Deze schakeling lijkt als het ware voorbestemd voor gebruik in Solar-modelvliegtuigen, bij Solar-pompen of apparatuur met accu- of batterijvoeding. Door meerdere NDM3000's parallel te zetten (vanaf 2 A per fase), kunnen hogere stromen worden geleverd.

Rem-ingang (Brake)

De remfunctie is beperkt inzetbaar. Als de rem-ingang (pen 8) wordt verbonden met een spanning lager dan 2,3 V (of met massa) worden de onderste N-kanaal MOSFET's continu geleidend en remmen zo de motor. Omdat de motor tevens generator is, kan het in bepaalde omstandigheden (hoog toerental, groot traagheidsmoment) voorkomen dat de maximaal toelaatbare stroom door de MOSFET's overschreden wordt en de NDM3000 de geest geeft. De absolute waarde van de 'rem-stroom' hangt ook af van de weerstand van de wikkelingen van de gebruikte motor en de weerstand van de aansluitdraden. Om de verliezen zo laag mogelijk te houden is het raadzaam de doorsnede van de aansluitdraden (ook die naar de voeding) voldoende groot te kiezen en ze zo kort mogelijk te houden.



Figuur 3. Het inwendige van de BLDC-controller TDA5142T.



Figuur 4. De 3-fase complementaire MOSFET-eindtrap.

Maximale waarden

Symbol	Parameter	Waarde	Eenheid
V_{Supply}	max. voedingsspanning	18,00	V
I_{Mot}	motorstroom (continu)	2,00	A
P_D	maximale dissipatie (driver)	1,70	W
$R_{Supplymin}$	minimale inwendige weerstand van de voeding	3,00	W
T_J	temperatuurbereik tijdens bedrijf	0...60	°C

Grenzen

Het maximaal bereikbare toerental van een BLDC-motor is recht evenredig met de hoogte van de voedingsspanning. Op pen 2 van de print staat de commutatie-frequentie die voor tests of regeldoelinden gebruikt kan worden.

Verandering van draairichting van de motor is met deze schakeling niet direct mogelijk. Wel kan met een externe schakelaar of een relais de fasevolgorde veranderd worden, om zo de draairichting om te keren. Bij het omkeren van de draairichting van een sneldraaiende motor zou de maximaal toelaatbare stroom door de MOSFET's kunnen worden overschreden, daarom is het raadzaam de motor eerst tot stilstand te laten komen.

Onderdelenlijst

Weerstanden:

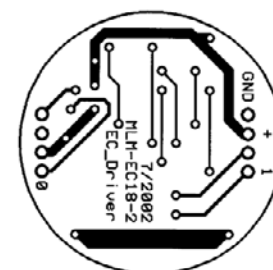
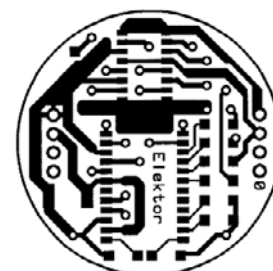
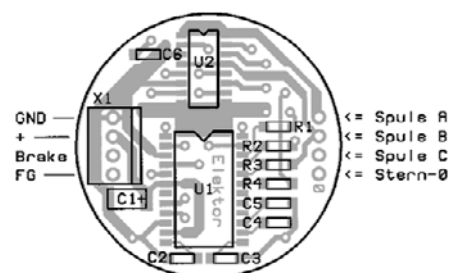
R1 = 330 Ω (SMD 1206)
R2...R4 = 1 k (SMD 1206)

Condensatoren:

C1 = 10 μ /25 V (tantaal SMD)
C2,C3,C5 = 10 n/63 V keramisch (SMD 1206)
C4,C6 = 100 n/63 V keramisch (SMD 1206)

Halfgeleiders:

IC1 = TDA5142T (Philips, SOIC24)
IC2 = NDM3000 (Fairchild, SOIC16)



Figuur 5. Layout van het ronde printje.

Aansluitgegevens

van de print

Aansluiting	Uitgang/ingang	Functie
X2-1	motor fase A	uitgangsdriever, 2 A
X2-2	motor fase B	uitgangsdriever, 2 A
X2-3	motor fase C	uitgangsdriever, 2 A
X2-4	ster-0	ster-aansluiting
X1-4	GND	massa
X1-3	Supply	voedingsspanning, 3,5...18 VDC
X1-2	input-rem	L-niveau: Motor krijgt geen stroom (kortgesloten)
X1-1	uitgang blokgolfsignaal	snelheidsregeling met externe elektronica (PLL)

Literatuur, Datasheets:

Elektrische Kleinmotoren – Helmut Moczala (u.a.)
Expert Verlag ISBN 3-8169-0909-4

Allegro MicroSystems, Inc., USA	www.allegromicro.com
Analog Devices, Inc., USA	www.analog.com
Aveox Brushless Motors, USA	www.aveox.com
API-Portescap Motoren, Schweiz	www.danahermcg.com
Fairchild Semiconductor, USA	www.fairchildsemi.com
Faulhaber Motoren, Deutschland	www.faulhaber.de
HB Elektronik, Deutschland	www.hb-motoren.de
Magnetron Labs Merz, Schweiz	www.magnetron.ch
Maxon Motor, Schweiz	www.maxonmotor.com
Micro Linear Inc., USA	www.microlinear.com
Mitsubishi Semiconductors, USA	www.mitsubishichips.com
Minimotor SA, Schweiz	www.minimotor.ch
Texas Instruments, USA	www.ti.com
Papst Motoren, Deutschland	www.papst.de
Philips Semiconductors, Holland	www.philips.com

Draairichting	Verbinding
rechtsom (CW)	pen A aan MA
	pen B aan MB
	pen C aan MC
linksom (CCW)	pen A aan MB
	pen B aan MA
	pen C aan MC

De MOSFET-drivertrap mag met maximaal 2 A per fase continu worden belast. De temperatuurverhoging van het IC bedraagt daarbij 52°C en bij een omgevingstemperatuur van 23°C is de chiptemperatuur dan tot 75°C toegenomen. Om te zorgen dat BLDC-motoren met wikkelingsweerstand lager dan 1,8 Ω ohm (L-fase = 0,3 mH) bij het op gang komen met belasting de elektronica niet overbelasten, moet de voedingsspanning worden aangepast.. Eventueel is het mogelijk om de motorspanning (V_{mot}) in de aanloophase te verlagen.

(020185)

Scheidingsfilters met buizen

Met filter-ontwerpprogramma

John R. Broskie

crvquestion@glass-ware.com

Als een luidsprekerbox meerdere luidsprekers bevat die ieder een deel van het audiospectrum voor hun rekening nemen, dan is een scheidingsfilter nodig om de afzonderlijke frequentiegebieden te splitsen. Dan rijst ook de vraag of dit filter passief of actief moet zijn. En als voor een actief filter wordt gekozen, moet dat dan met halfgeleiders of met elektronenbuizen worden opgebouwd?

Waarschuwing:

In deze schakelingen komen levensgevaarlijke spanningen voor. Wees daarom voorzichtig en raak geen enkel spanningvoerend punt in de schakeling aan, als deze in bedrijf is. Houd er ook rekening mee dat het geruime tijd duurt voordat de spanning over elco's tot een veilige waarde is gezakt.

van flink formaat. In goedkope boxen worden vaak minderwaardige spoelen gebruikt die snel in verzadiging raken en elektrolytische condensatoren die in serie zijn geschakeld om ze 'bipolair' te maken.

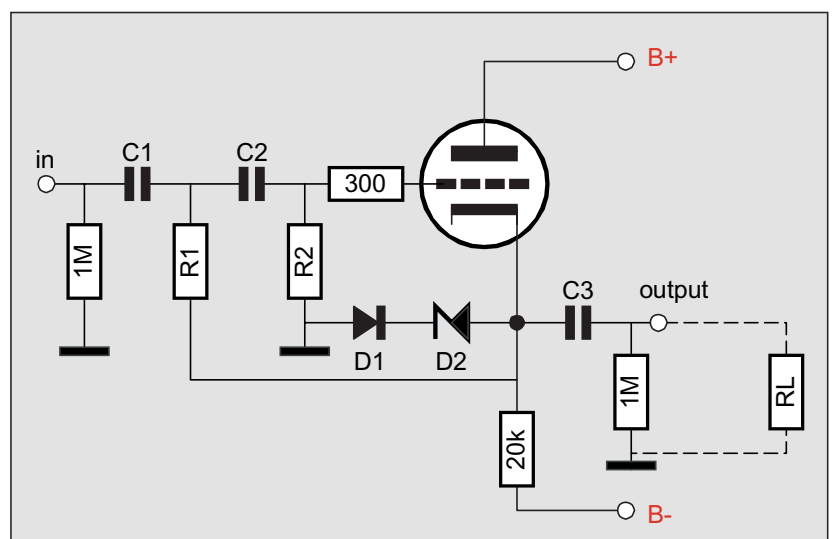
Verder moeten een passief scheidingsfilter worden aangepast aan de reactieve belasting die een luidspreker nu eenmaal vormt.

In actieve scheidingsfilters daarentegen worden geen spoelen toege-

Scheidingsfilters bevatten een of meer filters die het ingangssignaal splitsen in aparte frequentiebanden voor iedere luidspreker in de box, al of niet via een eigen versterkertrap. Er zijn twee basisuitvoeringen van deze filters: digitaal en analoog. De laatste kan weer worden onderverdeeld in passief en actief.

Ieder type filter heeft zijn voor- en nadelen. Voor heel hoge frequenties, gaat de beperkte bandbreedte van actieve componenten een rol spelen en dan werken passieve filters beter.

Voor audiofrequenties verdienen actieve filters de voorkeur, omdat dan passieve filters een aantal nadelen hebben. In goede luidsprekerboxen worden bijvoorbeeld passieve scheidingsfilters gebruikt die zijn opgebouwd uit een combinatie van zware en dure spoelen en misschien nog wel duurdere film- of papiercondensatoren, eveneens



0200324 - 11

Figuur 1. Voorbeeld van een schema, gemaakt door de Tube Crossover Designer software. De waarden van de genummerde onderdelen kunnen per geval verschillen.

past, maar goedkope precisieweerstanden en kleine nauwkeurige condensatoren. Actieve scheidingfilters zijn niet alleen goedkoper, maar ook nauwkeuriger en veel flexibeler dan passieve filters. Omdat precisieweerstanden en -condensatoren gemakkelijk verkrijgbaar zijn, kan de kantelfrequentie eenvoudig worden veranderd door andere waarden te gebruiken. Tot slot wordt ook de eindversterker efficiënter gebruikt omdat in luidsprekerboxen veelal verzwakkers worden toegepast om de geluidsniveaus van de afzonderlijke luidsprekers in balans te brengen. Bij een actief scheidingfilter zijn zulke verzwakkers niet nodig en kunnen de niveaus worden aangepast door simpelweg een potmeter te verdraaien.

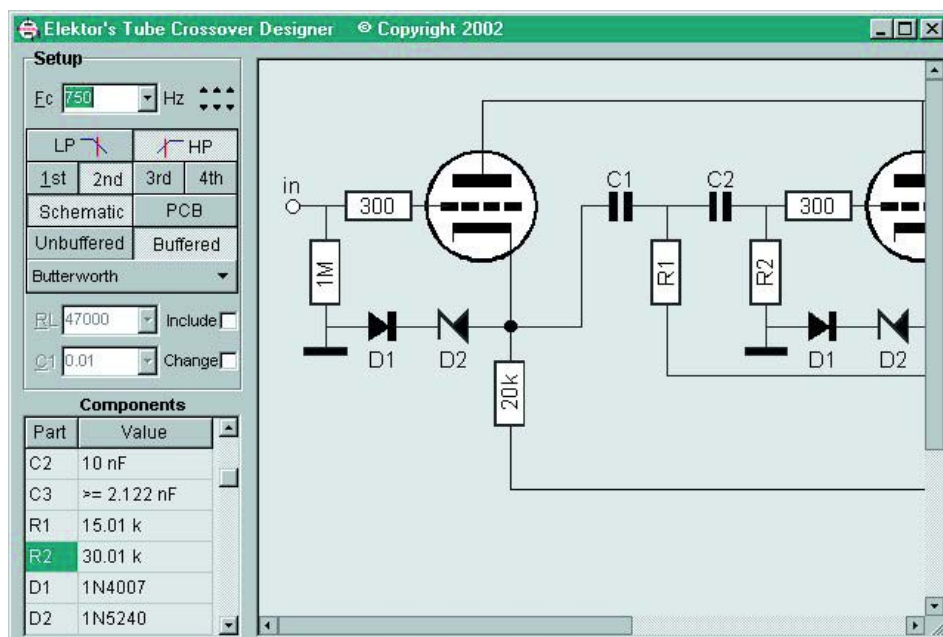
Scheidingsfilters met buizen

Scheidingsfilters met buizen vervullen dezelfde functie als die met halfgeleiders. Waarom buizen in plaats van handige en kleine IC's? Wie deze vraag stelt, zou eens moeten luisteren naar een goede audio-installatie met buizen. Een actief scheidingfilter met buizen geeft dezelfde aangename geluidswaardering als een goede buizen-gitaarversterker of een voorversterker met buizen.

Een scheidingfilter met buizen is niet moeilijker of ingewikkelder dan een filter met halfgeleiders, maar wel duurder. Buizen werken met vrij hoge spanningen en daarvoor zijn dure onderdelen nodig. Een condensator van 47 $\mu\text{F}/250\text{ V}$ kost achtmaal zoveel als exemplaar voor 25 V. Ook elektronenbuizen zijn niet goedkoop; voor de prijs van een buis heb je een handvol IC's. Een apparaat met buizen is dus duur, maar het is prettig om naar te luisteren en het trekt de aandacht, zelfs als het uit staat.

Het plan

De auteur wil een scheidingfilter presenteren dat zo flexibel mogelijk is en hij heeft daarom gekozen voor een printplaat in plaats van voor losse bedrading. De gebruikte print is een kruising tussen een experimenteerprint en een 'normale' print, waardoor hij heel flexibel in gebruik is. Iedere print bevat twee buisvoe-



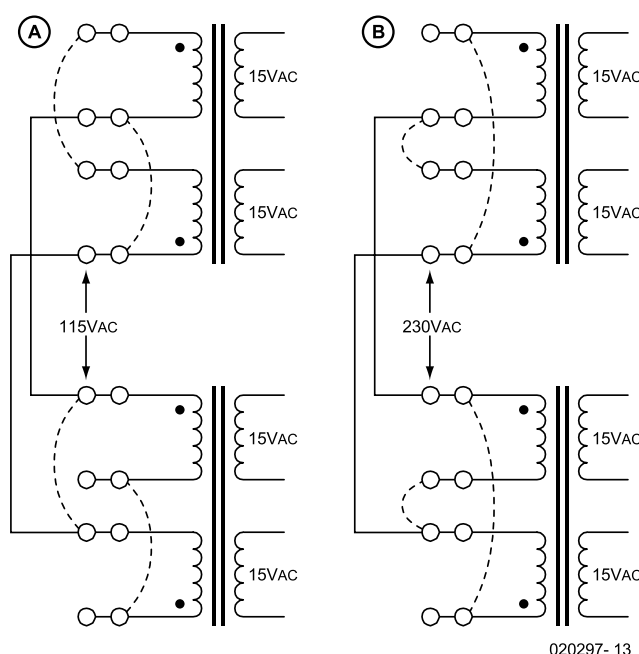
Figuur 2. Het ontwerpprogramma in actie. Complete schakelingen, onderdelenopstellingen en stuklijsten worden geproduceerd door een druk op een knop.

ten en veel extra gaten.

De mogelijkheden zijn opmerkelijk. Door het kiezen van een bepaalde manier van opbouw zijn er tientallen mogelijkheden zoals 1^e, 2^e, 3^e en 4^e orde filterhellingen. Twee kanalen van bij elkaar horende hoogdoorlaaten laagdoorlaatfilters (tot de 3^e orde) kunnen op één print worden opgebouwd. Zelfs een eenkanaals drie-

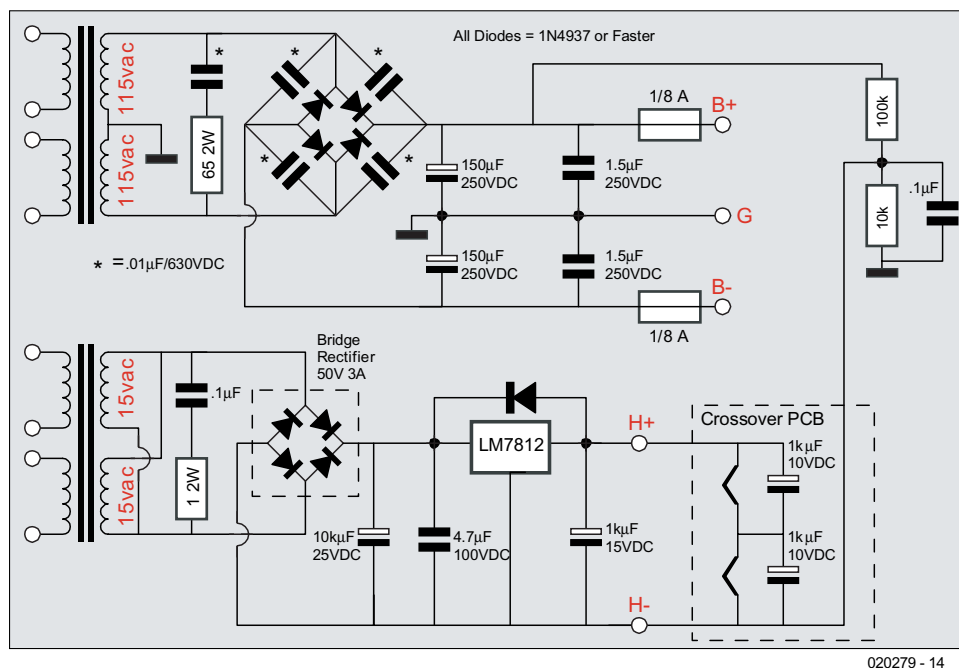
weg scheidingfilter opgebouwd uit 1^e, 2^e en 3^e orde filters past op één print. (Voor een drieweg scheidingfilter met 4^e orde filterhellingen moeten twee printen achter elkaar worden gezet).

Zoveel flexibiliteit kan verwarrend zijn. Welke condensator komt waar? Welke buishelft is ingang? Een overzicht van alle mogelijkheden met formules en schema's zou een heel blad vullen. Daarom is dat hier anders opgelost en



020297- 13

Figuur 3. Bedrading voor 115 V_{ac} (3a) en 230 V_{ac} (3b). De netfrequentie kan 50 of 60 Hz zijn.



Figuur 4. Het schema van het voedingsgedeelte.

is een Windows-programma geschreven om de waarden van de componenten te berekenen en de componentenopstelling op de print te laten zien. **Figuur 1** toont een screendump van het programma in actie. Het Crossover Designer programma kan gratis worden gedownload van de Elektuur website, het nummer is 020297-11.

Het programma bevat veertien basis-filter-configuraties en door meer printen achter elkaar te zetten wordt het aantal mogelijkheden ruimschoots verdubbeld. Het programma is heel makkelijk in gebruik: de kantelfrequentie moet worden aangegeven, het soort filter (hoog- of laagdoorlaat), de orde van het filter (1^e, 3^e of 4^e) en het type filter (Bessel, Butterworth of Linkwitz-Riley). De onderdelen en de waarden verschijnen in een apart venster en door op de knop Schematic (schema) of PCB (print) te drukken verschijnt in het hoofdvenster het schema of de onderdelenopstelling op de print.

De schakeling

In dit scheidingsfilter - **figuur 2** laat een willekeurige variant zien - worden kathodevolgers gebruikt om een lage uitgangsimpedantie te krijgen en het filter zelf zo min mogelijk te belasten. Kathodevolgers versterken niet, maar de vervorming is gering. Door de inherente tegenkoppeling is de uitgangsimpedantie laag en de frequentie karakteristiek vlak. Ook is de ingangscapaciteit laag omdat ingang en uitgang in fase zijn (geen Miller-effect) en de gelijke fase biedt

ook de mogelijkheid voor positieve terugkoppeling.

Bij veel filtertypen wordt positieve terugkoppeling gebruikt (ter vervanging van spoelen). Verder kan de niveauvermindering bij het kantelpunt ermee worden gecompenseerd. Bij gewone RC-filters is de spanning op het kantelpunt altijd lager.

In het filter zijn door de auteur de buizen 6DJ8 en 6N1P gebruikt, maar ook andere buizen met overeenkomstige eigenschappen kunnen worden toegepast (6BQ7, 6BS7, ECC85, ECC88, 6DJ8 of 6AQ8).

In de schakeling zijn zo weinig mogelijk koppelcondensatoren gebruikt. Zo ligt de ingang van de kathodevolger voor gelijkspanning aan massa en is een condensator daar niet nodig. Deze kostenbesparing wordt echter goeddeels te niet gedaan door de noodzaak voor een symmetrische voeding van ± 165 V.

Beschermingsdiodes

In de voeding worden voor de gelijkrichting halfgeleiderdiodes gebruikt en vrijwel direct na inschakeling staat op de uitgang de volle spanning. De kathode van de buis is dan nog niet op temperatuur en heeft nog geen emissie. Tussen het rooster en de katode staat dan een spanning van 165 V en de kathode kan wor-

den beschadigd doordat er moleculen uit worden losgetrokken. Door diode D1 en zenerdiode D2 wordt dit probleem opgelost. Als de triodes koud zijn, wordt de spanning op de kathode door de diodes op een veilige waarde van -11 V begrensd en als de kathode op temperatuur is, spelen D1 en D2 geen rol meer.

De voeding

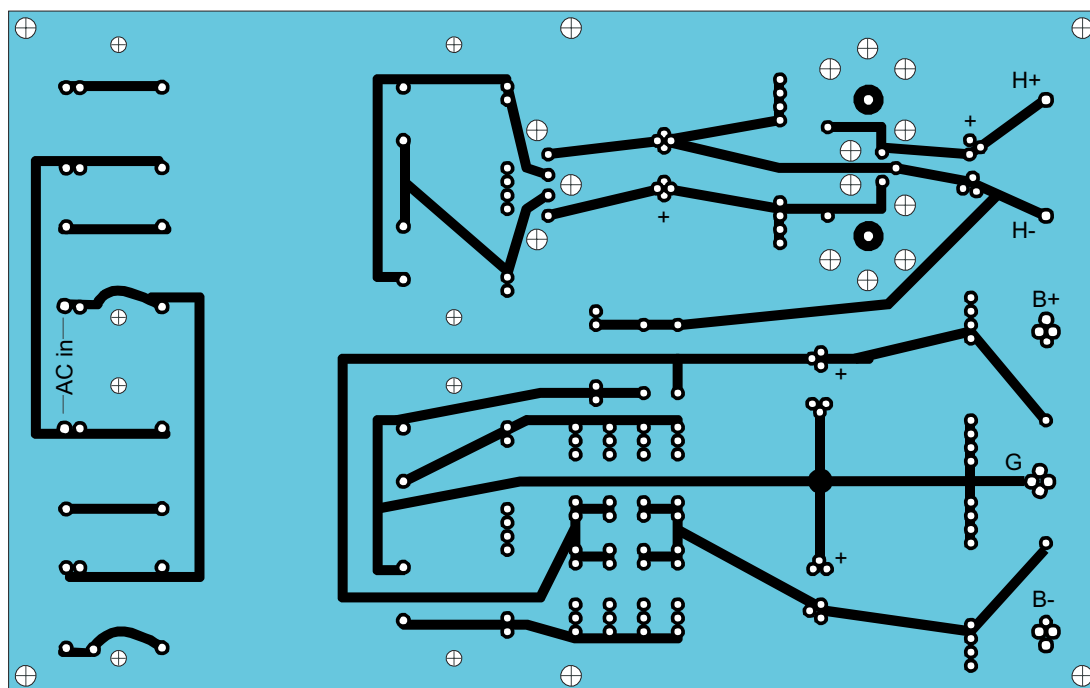
De door de auteur gebruikte voedingstransformatoren Signal IF-30-30 en IF-30-230 (zie www.signaltransformer.com/) zijn in kunststof ingegoten en uitgevoerd met printpenen. Beide trafo's hebben een primaire wikkeling die dubbel is uitgevoerd, en ze kunnen met 115 V (figuur 3a) of 230 V (figuur 3b) wisselspanning (50 Hz of 60 Hz) worden gevoed. Men kan hier overigens ook andere merken transformatoren toepassen, als ze maar dezelfde secundaire spanningen leveren (vermogen circa 30 VA).

In **figuur 4** is het schema van de voeding is te zien. Het is vrij eenvoudig. Er worden twee voedingstransformatoren gebruikt, een voor de symmetrische hoogspanning voor de kathodevolgers en een voor de laagspanning voor de gloeidraden. De transformatoren hebben ieder twee secundaire wikkelingen. Bij het

hoogspanningsdeel zijn de wikkelingen in serie geschakeld. Door de middenaansluiting aan massa te leggen en de reservoir- en HF-ontkoppelcondensatoren ook aan massa te leggen, ontstaat een symmetrische ± 165 V voeding met als bijkomend voordeel dat de werkspanning voor

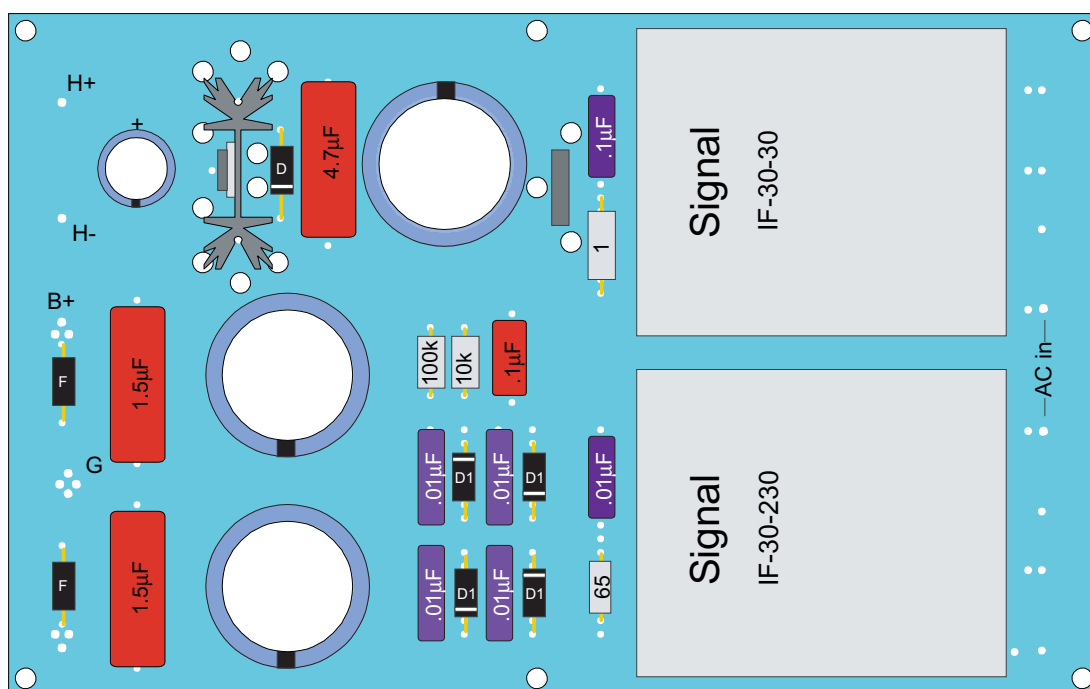
deze condensatoren kleiner kan zijn. Kathodevolgers zijn ongevoelig voor rimpel op de hoogspanning en verdere afvlakking is niet nodig. Bij het laagspanningsdeel voeden de twee parallel geschakelde secundaire wikkelingen een gelijkrichtbrug, waarna over de reservoi-

relco de ongestabiliseerde laagspanning staat. De spanningsregelaar LM7812 zorgt vervolgens voor een rimpelvrije en stabiele 12-V-spanning. Bij serieschakeling van de gloeidraden wordt de gloeispanning van de buizen 12,6 V. De geleverde 12-V-spanning ligt binnen de toleranties en de buizen gaan bovendien langer mee.



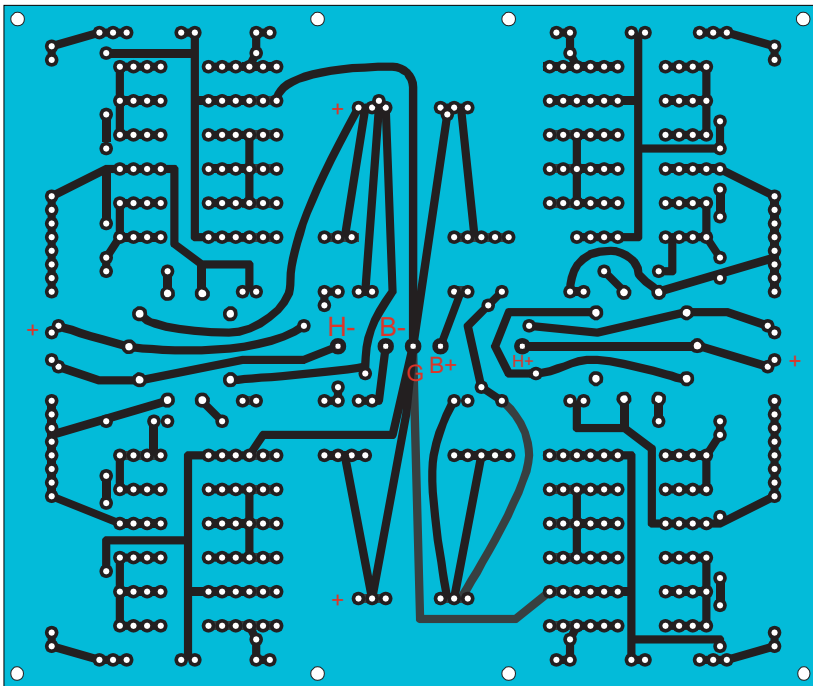
0200324 - 15

Figuur 5. Print-layout van de voeding op 71% van de ware grootte.



0200324 - 16

Figuur 6. Onderdelenopstelling van de voeding.



020297 - 17

Figuur 7. Print-layout van de filterprint op 71% van de ware grootte.

Soorten filters

Voor auditoepassingen is het Butterworth-filter het populairst. Dat is logisch, want het heeft een vrij regelmatig faseverloop, een redelijk scherpe knik bij het kantelpunt en een heel vlakke doorlaatband. Zijn belangrijkste concurrent, het Bessel-filter, heeft een

nog beter faseverloop, maar het verloop rond het kantelpunt is nogal flauw. Andere filtertypen zoals Chebyshev en het elliptische filter worden zelden gebruikt in auditoepassingen omdat ze daarvoor ongewenste eigenschappen hebben (bijv.

rimpel in de doorlaatband of onregelmatig faseverloop).

De Linkwitz-Riley-variant van het Butterworth filter is met name interessant voor gebruik bij luidsprekers omdat het een vlak overnamegebied geeft door de -6 dB verzwakking bij de kantelfrequentie. Als twee luidsprekers precies dezelfde frequentie weergeven, zonder amplitude- of faseverschillen (bij gebruik van even-orde filters, dus 2^e en 4^e), dan geven ze gezamenlijk een dubbel zo sterk volume af, dus +6 dB.

Butterworth filters zijn zodanig ontworpen dat ze bij de kantelfrequentie 3 dB verzwakking geven. Bovendien geven even-orde filters van dit type per orde een faseverschuiving van 90° (i.c. 180°, 360°, 540°) bij de kantelfrequentie. Afhankelijk van de faserelatie tussen de luidsprekers is het resultaat dus diepe stilte of een volumetoename bij de kantelfrequentie.

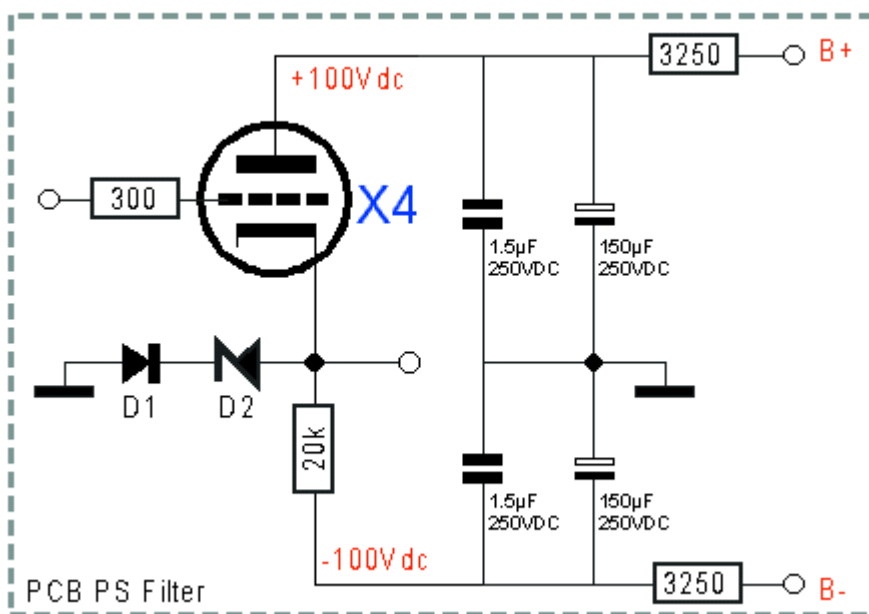
Butterworth-filters van oneven orde (1^e, 3^e) daarentegen hebben bij de kantelfrequentie een faseverschuiving van 45° (45°, 135°, 215°), wat resulteert in een volumetoename van +3 dB. Dit compenseert de eerder genoemde dip van -3 dB dus perfect. Oneven orde Butterworth-filters geven wat betreft het niveau bij de kantelfrequentie dus weer het gewenste resultaat.

Maar theorie alleen is niet zaligmakend en vaak is het gewoon een kwestie van uitproberen tot het gewenste resultaat is bereikt. Actieve scheidsfilters lenen zich daartoe veel beter dan passieve.

1^e, 2^e en 3^e orde scheidsfilters

Een scheidsfilter van de eerste orde is het eenvoudigste en tevens beste filter, omdat het gesommeerde fase- en amplitudeverloop rond de scheidsfrequentie het vlakst zijn. Een nadeel is dat het filter niet steil is, waardoor tweeters overbelast kunnen worden en woofers te veel hoge frequenties weergeven. Gebruik van twee-, drie- of zelfs vierweg scheidsfilters maakt de kans op beschadiging van de luidsprekers kleiner.

Ook is het mogelijk om een eerste-orde filter in combinatie met een filter van een hogere orde te gebruiken. Een heel goede combinatie is een



Figuur 8. Op elke filterprint zit standaard een voedingsontkoppeling per voedingsspanning die bestaat uit een weerstand van 3250 Ω, een elco van 150 µ/250 V en een condensator van 1,5 µ/250 V.

hoogdoorlaat van de eerste orde met een laagdoorlaatfilter van de derde orde. Deze combinatie werkt prima bij breedband-speakers en subwoofers. Als ongebufferde filters worden gebruikt, past de stereo-uitvoering op één print.

In principe zou de RC-combinatie die de uitgangscapacitor met de ingangsweerstand van de volgende versterker vormt, als hoogdoorlaatfilter kunnen worden gebruikt. Dit scheelt een condensator, maar zou ten koste gaan van de flexibiliteit omdat de ingangsweerstand van versterkers kan verschillen. Daarom is het beter om de standaard configuratie met meer condensatoren te gebruiken.

Als de voorkeur wordt gegeven aan gebufferde filters, zijn twee printen nodig omdat dan de hoogdoorlaaten laagdoorlaat-filters worden gestuurd door kathodevolgers. De frequentiebepalende componenten zijn dan afgeschermd tussen kathodevolgers.

Door het faseverschil tussen de laag- en hoog-uitgang bij de kantelfrequentie kan het nodig zijn de plus- en min-aansluitingen van de subwoofers ten opzichte van de satellieten te verwisselen.

Naarmate we filters van een hogere orde gaan gebruiken, neemt het aantal mogelijkheden toe. De 2^e en 4^e orde scheidingsfilters kunnen worden geconfigureerd als Bessel, Butterworth of Linkwitz-Riley. Het 3^e orde scheidingsfilter kan Bessel of Butterworth, maar geen Linkwitz-Riley zijn.

Bij alle drie configuraties kan worden gekozen tussen ongebufferd en gebufferd. Bij de gebufferde uitvoering zitten de frequentiebepalende componenten tussen twee kathodevolgers. Voor ieder filter - tot de 3^e orde - is daarbij een print nodig. Gebufferde scheidingsfilters van de 4^e orde zijn niet opgenomen vanwege het aantal printen dat daarvoor nodig is. Voor bijvoorbeeld een gebufferd tweeweg 4^e orde scheidingsfilter zijn 12 kathodevolgers nodig, dus drie printen, wat tevens het maximum is dat de voeding aan kan. Voor een dergelijk drieweg-filter zouden 16 kathodevolgers (4 printen) nodig zijn.

Bij de ongebufferde versie is wel een kathodevolger aan de uitgang aan-

wezig, zodat de uitgangsimpedantie vrij laag is. De ingang is hierbij direct de filteringang. Een ongebufferd filter moet daarom worden aangestuurd door een bron met een lage impedantie, zoals een lijnversterker, een CD-speler o.i.d., maar geen potentiometer.

Als gebruik wordt gemaakt van de ongebufferde versie, past op één print een tweekanaals tweeweg scheidingsfilter tot de 3^e orde of een éénkanaals tweeweg scheidingsfilter van de 4^e orde. Voor driewegfilters tot de 3^e orde is per kanaal een print nodig, voor hogere ordes zijn meer printen nodig. Als er printen achter elkaar worden gezet, bevat het signaalpad wel meer actieve componenten, maar de tweeter wordt beter afgeschermd tegen lage frequenties. Een voorbeeld: een 2^e orde scheidingsfilter (-12 dB/octaaf) met kantelfrequenties op 500 Hz en 5 kHz. De eerste print stuurt frequenties onder 500 Hz naar de woofer en frequenties boven 500 Hz naar de tweede print met het 5-kHz-filter. De middentoner 'ziet' hellingen van de 2^e orde bij 500 Hz en 5 kHz. De tweeter wordt gefilterd onder 5 kHz met een 2^e orde helling; onder 500 Hz neemt die toe tot een 4^e orde helling (-24 dB/octaaf). Deze extra filtering beschermt de tweeter effectief tegen lage frequenties. Vooral bij hoornluidsprekers is dat belangrijk omdat bij lage frequenties de uitslagen van de spreekspoel niet worden gedempt door de luchtkolom in de hoorn.

Opbouw

In de figuren 5 en 6 staan de print-layout en de onderdelenopstelling van de voeding. Er kunnen maximaal drie filterprinten op worden aangesloten. Alle printen kunnen in één kast worden gemonteerd, maar er ook kunnen de voeding en de filterprinten in aparte kasten worden gezet. Dan is er een afgeschermd verbindingskabel nodig, met geaarde mantel en met aan de kant van de filterprinten een female connector voor de veiligheid.

Figuur 7 toont de layout van de filterprint. Hoewel het Crossover Designer programma de opstelling van de onderdelen op de print en de waarde van de onderdelen laat zien,

zijn toch enkele richtlijnen nodig. De weerstanden in de filters hebben een tolerantie van 1% of 2% en een vermogen van 0,5 W. De condensatoren in de filters zijn 2% of beter met een werkspanning van minimaal 160 V. De kathodeweerstanden (4 per print) moeten 1-W- of 2-W-typen zijn en ze moeten 2 à 4 mm boven de print worden gemonteerd (betere warmte-afvoer). Hetzelfde geldt voor de twee weerstanden van 3250 Ω ; het vermogen hiervan is 2 à 5 W.

Op de voedingsprint staan ook de transformatoren. Ze zijn tamelijk zwaar en ze moeten daarom niet alleen worden gesoldeerd maar ook worden vastgeschroefd. Met vier zelftappers per trafo (plus acht soldeerverbindingen) worden ze stevig op hun plaats gehouden. Voor de bedrading van de spanningskeuze (115 of 230 V) en voor alle andere draadbruggen moet geïsoleerd draad worden gebruikt.

Testen

Eerst wordt de voeding getest zonder belasting. Als een variac wordt gebruikt, kan die eerst op een veilige lage spanning worden ingesteld, waarna de spanning wordt verhoogd tot de eindwaarde.

De laagspanning moet 12 V_{DC} zijn met een maximale afwijking van 0,5 V. Onbelast is de hoogspanning veel hoger dan de nominale spanning van ± 165 V; ze zal eerder in de buurt van ± 200 V liggen.

De spanningen op de filterprint worden in eerste instantie gecontroleerd zonder buizen. Omdat de gloeidraden van de buizen in serie staan, is bij de voetjes op pennen 4 en 5 geen spanning aanwezig. Over de twee voeten moet 12 V staan. De anodespanning (pen 6) moet hoger zijn dan 165 V en op de kathodes (pennen 3 en 8) moet ongeveer -11 V t.o.v massa worden gemeten. Met de buizen in de voeten moet de anodespanning circa 100 V bedragen en de spanning op de kathodes +3 V. Afgeregeld hoeft er niets te worden, de buis stelt zichzelf in.

Gebruik

Het is onwaarschijnlijk dat de luidsprekers eindtrappen allemaal gelijke rendementen hebben, daarom zullen de niveaus individueel moeten worden ingesteld. Afregeling op het gehoor is heel goed mogelijk, maar voor een klankneutrale afstelling zijn een witte-ruis-generator en een geluidsdrukmeter onmisbaar.

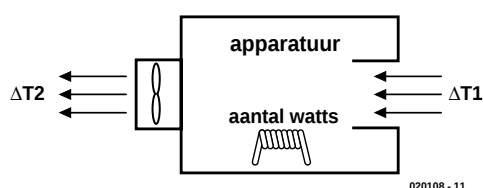
(020297)

Koelventilatoren

Berekenen en kiezen

Bron: Sunon, Taiwan

Het gebruik van de juiste koelventilator voor een apparaat is erg belangrijk. Aan de ene kant willen we de ventilator niet te groot kiezen omdat dat energie verspilt en onnodig lawaai maakt. Aan de andere kant moet de ventilator groot genoeg zijn om de warmte af te voeren. Als we de ventilator te krap dimensioneren, riskeren we oververhitting, wat tot grote reparatiekosten kan leiden.



Figuur 1. De warmte die wordt geproduceerd in een elektrisch apparaat kan worden afgevoerd met koellucht.

Bij het kiezen van een koelventilator gaan we gewoonlijk als volgt te werk:

1. Bepaal het gedissipeerde vermogen in het apparaat.
2. Bepaal de maximaal toelaatbare temperatuurstijging in de kast.
3. Bereken de luchtverplaatsing die nodig is om aan deze voorwaarden te voldoen.
4. Maak een schatting van de weerstand die de luchtstroom in het apparaat ondervindt.
5. Kies de ventilator met behulp van de belastingscurve in de catalogus of de datasheet van de fabrikant.

De benodigde luchtverplaatsing om een apparaat te koelen kan worden berekend uit het gedissipeerde vermogen en de toelaatbare temperatuurstijging met behulp van de basisformule voor warmteoverdracht:

$$H = C_p \times W \times \Delta T$$

Waarin:

H = gedissipeerd vermogen;
 C_p = soortelijke warmte van lucht;
 ΔT = toelaatbare temperatuurstijging in de behuizing;

W = Massa van de verplaatste lucht.

De massa van de verplaatste lucht is te berekenen als $W = Q \times D$, waarbij D = soortelijke massa van lucht en Q = verplaatste lucht. Aziatische fabrikanten drukken laatstgenoemde meestal uit in kubieke voet per minuut (cubic feet/minute). Europese fabrikanten vermelden de luchtverplaatsing gewoonlijk in kubieke meter per uur. De omrekening is echter eenvoudig ($1 \text{ ft}^3/\text{min} = 0,0283 \text{ m}^3/\text{min} = 1,7 \text{ m}^3/\text{h}$).

Door substitutie vinden we:

$$Q = \frac{H}{C_p \times D \times \Delta T}$$

Door de conversiefactoren voor de soortelijke warmte en soortelijke dichtheid van lucht (op zeeniveau) toe te passen, komen we dan tot een maat voor de benodigde luchtverplaatsing

per graad temperatuurstijging:

$$Q = 1,76 \times \text{aantal watts} / \Delta T \text{ (CFM)}$$

$$Q = 0,05 \times \text{aantal watts} / \Delta T \text{ (m}^3/\text{min)}$$

We vinden dan de volgende vergelijkingen:

$$Q(\text{CFM}) = \frac{1,76 \times P}{\Delta T_c}$$

$$Q(\text{m}^3/\text{min}) = \frac{0,05 \times P}{\Delta T_c}$$

waarin:

Q = benodigde luchtverplaatsing;
 P = gedissipeerd vermogen;
 T_c = toelaatbare temperatuurstijging in °C;
 $\Delta T = \Delta T_1 - \Delta T_2$.

Het verband tussen temperatuurstijging, gedissipeerd vermogen en luchtverplaatsing (in ft^3) is samengevat in **tabel 1**.

Een voorbeeld

Als het gedissipeerde vermogen 500 W is en ΔT is 10°C, dan vinden we:

$$Q = \frac{1,76 \times 500}{10} = 79 \text{ CFM}$$

Tabel 1. Verband tussen de temperatuur en het te dissiperen vermogen.

kWh	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
ΔT °C										
50	18	35	53	70	88	105	123	141	158	176
45	20	39	59	78	98	117	137	156	176	195
40	22	44	66	88	110	132	154	176	195	220
35	25	50	75	100	125	151	176	201	226	251
30	29	59	88	117	146	176	205	234	264	293
25	35	75	105	141	176	211	246	281	316	351
20	44	88	132	176	220	264	308	351	396	439
15	59	117	176	234	293	351	410	469	527	586
10	88	176	264	351	439	527	615	704	791	879
5	176	351	527	704	879	1055	1230	1406	1582	1758

of

$$Q = \frac{0,05 \times 500}{10} = 2,25 \text{ m}^3/\text{min}$$

Luchtweerstand/ systeemkarakteristiek

De lucht die zich verplaatst door de behuizing van het apparaat ondervindt een zekere weerstand, waardoor de stroming wordt belemmerd. Daardoor ontstaat een drukverschil tussen de instromende en de uitstromende lucht. We kunnen dit verschil (ΔP) uitdrukken in millimeter (of inches) waterdruk (mm H₂O).

Het verband tussen de hoeveelheid lucht die door het systeem stroomt en het drukverschil dat hierdoor ontstaat (de zogenaamde statische druk) kunnen we uitdrukken in een formule voor de systeemkarakteristiek:

$$\Delta = KQ^n$$

Hierin is

K = een constante die afhangt van de opbouw van het systeem;

Q = luchtstroom;

n = turbulentiefactor, $1 \leq n \leq 2$; (laminare stroming, $n = 1$; turbulente stroming, $n = 2$).

Dit verband is dus niet-lineair als er sprake is van turbulentie. Hoe groter de turbulentie is, hoe meer de grafiek van de druk als functie van de luchtverplaatsing zal afwijken van

een rechte lijn en hoe meer deze zal gaan lijken op een parabool.

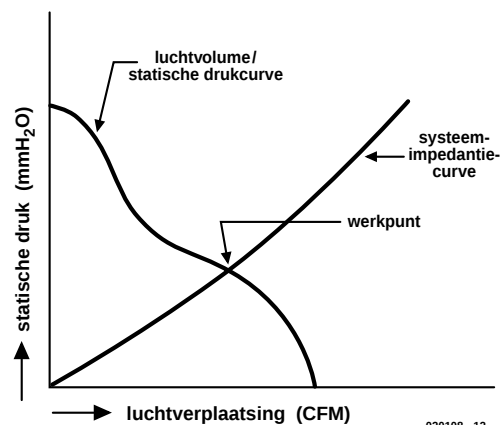
Het snijpunt tussen deze karakteristieke curve (de impedantiecurve) van het systeem en de belastingslijn van de ventilator bepaalt nu het zogenaamde werkpunt van het systeem met ventilator. Zoals in **figuur 2** te zien is, kunnen we hiermee het werkpunt van het systeem vinden en daarmee een keuze maken voor de meest geschikte ventilator. Dit is het punt waar zowel de hellingshoek van de belastingslijn als die van de ventilator minimaal zijn. Ook de statische efficiëntie (luchtstroom maal statische druk gedeeld door vermogen) is op dat punt optimaal.

Ontwerpoverwegingen

Bij de opbouw van het systeem kunnen we hiermee rekening houden, zodat een zo klein mogelijke ventilator kan volstaan:

1. Zorg er voor dat de luchtstroom zo weinig mogelijk belemmerd wordt. Houd vooral de in- en uitlatopeningen van de lucht zoveel mogelijk vrij.
2. Laat de lucht bij voorkeur verticaal door de behuizing stromen.
3. Als een stoffilter nodig is, houd dan rekening met de extra weerstand die de luchtstroom daardoor ondervindt.

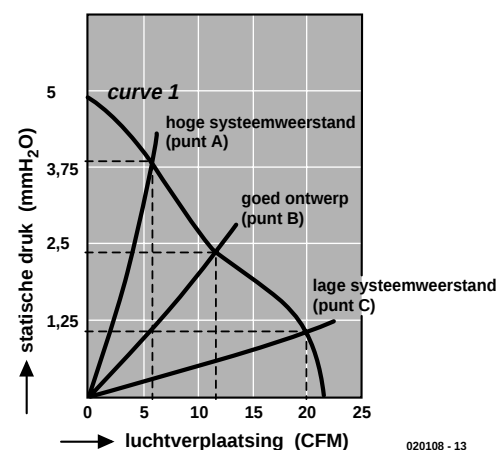
Sunon geeft enkele voorbeelden voor de keuze van een ventilator uit hun catalogus.



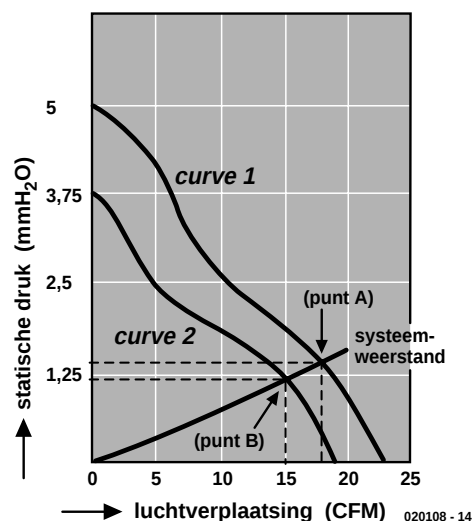
Figuur 2. Het snijpunt van de belastingslijn van de ventilator en de impedantiecurve van het apparaat heet het werkpunt.

Voorbeeld 1: In **figuur 3** zien we een voorbeeld van de belastingslijn van een typische Sunon DC ventilator met afmetingen van 60 x 60 x 25 mm. Deze ventilator kan bijvoorbeeld gebruikt worden in de werkpunten A en C, met respectievelijk een luchtstroom van 6 CFM en 20 CFM. Bij een (te) hoge karakteristieke impedantie van het systeem, bijvoorbeeld 4 mm H₂O, komen we uit in werkpunt A. Bij een lage karakteristieke impedantie van 1 mm H₂O komen we uit in werkpunt C. Maar als we de opbouw van het systeem zo kunnen aanpassen dat de karakteristieke weerstand 2,3 mm H₂O is, dan kunnen we uitkomen in het punt B, waar de ventilator meer dan 12 CFM verplaatst.

Voorbeeld 2: Curve 2 in **figuur 4** hoort bij een ventilator van dezelfde afmetingen, maar een lager toerental dan curve 1. Als het systeem



Figuur 3. Belastingslijn van een ventilator van 60 x 60 x 25 mm bij normale snelheid.



Figuur 4. Belastingslijn van een ventilator van 60 x 60 x 15 mm bij lage en normale snelheid.

maar 15 CFM nodig heeft bij 1,25 mm H₂O, dan gaat de parabool van drukverschil versus stroomsnelheid door punt B. Een ventilator die 18 CFM levert bij een statische druk van 0 is dus voldoende voor de koeling. Er kan dan een ventilator met een lager toerental gebruikt worden.

In figuur 4 wordt het verschil tussen deze beide toerentallen weergegeven in één plaatje. Als de luchtweerstand in het systeem ver genoeg teruggebracht kan worden, dan kan zelfs een ventilator met kleinere afmetingen maar dezelfde luchtverplaatsing gebruikt worden.

Parallel en serieel gebruik

Bij parallel gebruik worden twee ventilatoren naast elkaar gebruikt zoals in **figuur 5**.

Als twee identieke ventilatoren parallel (**naast elkaar**) gebruikt worden, zou de totale luchtverplaatsing het dubbele van de luchtverplaatsing van een ventilator kunnen zijn, als we het drukverschil dat ontstaat door de luchtweerstand in het systeem buiten beschouwing laten. In de praktijk zal de totale luchtverplaatsing minder dan twee keer zo groot zijn, vooral bij een hoge karakteristieke luchtweerstand. Het parallel gebruik van ventilatoren wordt dan ook alleen aangeraden bij systemen met een kleine luchtweerstand.

Bij serieel gebruik worden meerdere ventilatoren **achter elkaar** geplaatst, zoals in **figuur 6**. In deze configuratie kunnen de ventilatoren een twee keer zo groot drukverschil bereiken als wanneer er één ventilator gebruikt wordt. De totale luchtverplaatsing blijft echter hetzelfde als we de luchtweerstand van het

systeem buiten beschouwing laten. Bij een systeem met een hoge luchtweerstand kan de luchtverplaatsing wel vergroot worden door de serieschakeling van meerdere ventilatoren. Serieschakeling van ventilatoren kan dus een goed idee zijn bij systemen met een hoge luchtweerstand.

Geluid

De hoeveelheid geluid die ventilatoren produceren, wordt gewoonlijk gemeten in een akoestisch dode ruimte. Het geluidsniveau wordt gemeten met een microfoon op een afstand van 1 meter van de instroomopening. Om het geruis van de ventilator zoveel mogelijk te beperken, moeten we rekening houden met de volgende punten.

Systeemimpedantie - Het gebied tussen de inlaat en de uitlaat voor de koellucht in de behuizing bepaalt voor zo'n 60...80% de karakteristieke impedantie van het systeem. Hoe groter de impedantie, hoe meer lucht er nodig is om de warmte af te voeren. Maar hoe meer lucht er stroomt, hoe hoger ook het geluidsniveau wordt. We moeten de systeemimpedantie dus zo laag mogelijk zien te houden.

Verstoring van de luchtstroom - Alle obstakels in de luchtweg zorgen voor extra geluid. Bij een turbulente stroming is dat effect nog sterker dan bij een laminaire stroming. Vooral in de buurt van de luchtinlaat en -uitlaat moeten obstakels vermeden worden.

Toerental en grootte van de ventilator - Een sneldraaiende ventilator

veroorzaakt meer geruis dan een langzaam draaiende. Het is dan ook het beste om, waar mogelijk, een ventilator met een laag toerental te kiezen. Een grote ventilator met een laag toerental is over het algemeen gunstiger dan een kleine ventilator met een hoog toerental.

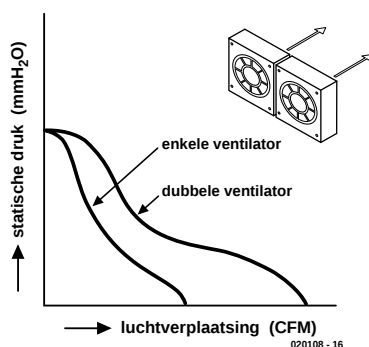
Temperatuurstijging - De hoeveelheid stromende lucht door het apparaat is omgekeerd evenredig met de toelaatbare temperatuurstijging in de kast. Een kleine verandering in die temperatuurstijging kan daardoor een groot verschil maken in de hoeveelheid benodigde lucht. Daarom moeten we kritisch kijken naar de eisen voor de temperatuurstijging. Als we daar een kleine concessie kunnen doen, maakt dat een groot verschil in de keuze van de ventilator.

Trillingen - Door de ventilator te monteren op een zachte, flexibele ondergrond, bijvoorbeeld met behulp van een rubber ring, kunnen we voorkomen dat de trillingen van de ventilator worden doorgegeven aan de kast van het apparaat.

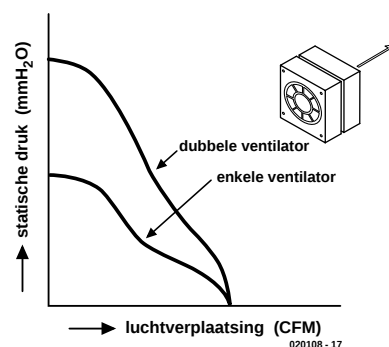
Voedingsspanningsvariaties - De spanning waarmee de ventilator gevoed wordt, beïnvloedt het toerental en daarmee de geproduceerde ruis. We moeten de ventilator dus niet voeden met een hogere spanning dan strikt noodzakelijk is.

Ventilator ontwerp - De fabrikant van de ventilator kan veel doen om het lawaai te beperken. Het ontwerp van het anker van de ventilatormotor, de schoepen, de behuizing en de lagers hebben hier allemaal een grote invloed op.

(020108)



Figuur 5. Het effect van parallelschakeling van ventilatoren.



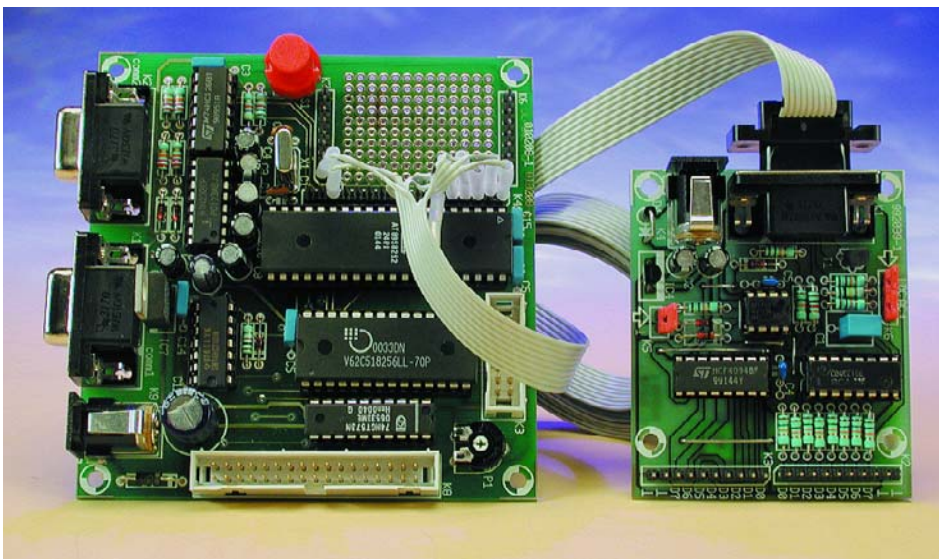
Figuur 6. Het effect van serieschakeling van ventilatoren.

Uitbreidingen voor het 89S8252-board

Extra analoge en digitale I/O met weinig poorten

Burkhard Kainka

Als de beschikbare poorten van een microcontroller voor een bepaalde toepassing te kort schieten, dan kan het systeem uitgebreid worden met externe componenten. En als daarbij naast digitale ook analoge signalen verwerkt moeten worden, dan wordt hiervoor een A/D converter ingezet.



Als het erom gaat om met zo min mogelijk kosten uitbreidingen te realiseren, dan zijn de standaard CMOS-IC's niet te evenaren. Met slechts drie poorten, te weten een datalijn, een kloklijn en een signaal waarmee de data gelatched worden, kunnen door middel van een schuifregister extra uitgangen worden gerealiseerd. Extra digitale ingangen zijn op dezelfde eenvoudige wijze te realiseren, evenals analoge ingangen, aangezien veel A/D-converteren volgens hetzelfde principe van geklokte seriële dataoverdracht werken. Als uitgangspunt voor deze uitbreiding voor het populaire 89S8252 flash-board

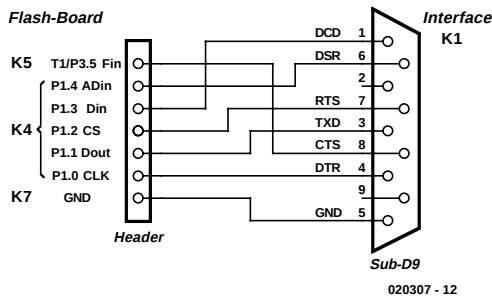
uit december 2001 wordt de 'Universele meet-interface' (Elektuur 12/99) gebruikt, waarvan de schakeling nog eens in **figuur 1** is weergegeven. Deze wordt direct op de RS232 interface aangesloten en biedt door middel van een 4094-schuifregister acht uitgangen, met een 4021-schuifregister acht ingangen en een goedkope A/D converter TLC549 voor een 8-bits analoge ingang met een meetbereik tot +5 V. Daarbij komt ook nog eens een snelle ingang voor een digitale tel-

ler ten behoeve van bijvoorbeeld frequentiemetingen.

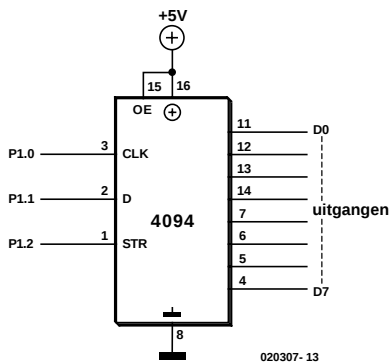
De schakeling moet zeer zuinig omgaan met het aantal benodigde signalen, omdat op de RS232 interface slechts drie uitgangen en vier ingangen beschikbaar zijn. Daarom wordt er een gemeenschappelijk kloksignaal en een gemeenschappelijke chip-select signaal toegepast. Alleen voor de datalijnen zijn drie aparte signalen beschikbaar.

Wat voor direct aansluiten op een PC goed is, kan ook voor aansluiten op een microcontroller nooit verkeerd zijn. Want hoe minder lijnen er gebruikt worden, des te meer poorten blijven over voor andere doeleinden. Dat betekent dat de universele interface onveranderd aangesloten kan worden op de microcontroller.

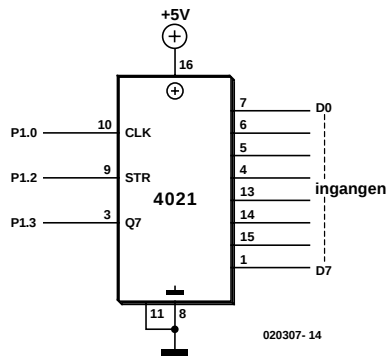
De interface gebruikt zenerdioden om de signalen op de RS232-interface op het 5-V-niveau van de CMOS-IC's aan te passen. Dit is voor het aansluiten van de interface op de microcontroller uiteraard niet nodig en heeft zelfs een klein nadeel: steile flanken van snel veranderende signalen kunnen door de diodecapaciteit worden beïnvloed. Als men echter reeds in het bezit is van een opgebouwde interface-print, dan hoeven de zenerdiodes niet verwij-



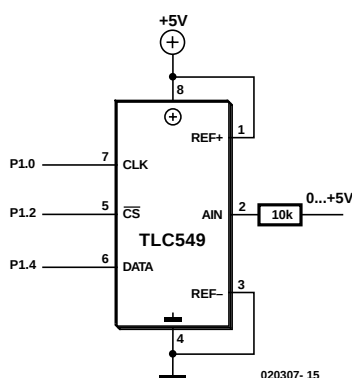
Figuur 2. De kabelverbinding tussen interface en flash-board.



Figuur 3. Aansluiten van het 4094-schuifregister.



Figuur 4. Acht ingangen door middel van een 4021-schuifregister.



Figuur 5. Aansluiten van de A/D-converter TLC549.

gebruikt. In zo'n geval zal een andere schrijfwijze nodig zijn, zoals het geval is bij STR/STRB. De editor ondersteunt de programmeur hierbij door alle gereserveerde woorden vet weer te geven in de source-code.

Het versturen van de data gebeurt door middel van een lus die precies acht keer wordt doorlopen. Ieder keer wordt door middel van de variabele Bitval de waarde van bit 0 overgenomen en verstuurt deze dan over de datalijn naar het schuifregister. Vervolgens wordt een klok-puls opgewekt waarmee de data ingeklokt wordt in het schuifregister. De hierbij benodigde vertraging wordt geleverd door de Delay-functie, waarmee BASCOM-51 een wachttijd van 100 μ s produceert. Na het doorlopen van deze lus zorgt een soortgelijke constructie voor een strobe-puls van 100 μ s, waarmee de data van het schuifregister wordt overgenomen in de latch.

Op de uitgangen van het schuifregister staat nu het wisselende bitpatroon. Iedere afzonderlijke uitvoer kost 1,4 ms, waarvan 0,9 ms veroorzaakt wordt door de ingebouwde vertragingen. Als het IC direct aangesloten wordt op de controller kunnen alle vertragingen worden verwijderd, waardoor de uitvoer ongeveer drie keer sneller wordt. Voor het aansturen van de interface zijn de wachttijden echter wel nodig.

Schuifregister 4021

Het ingangsschuifregister 4021 wordt nu als tweede aangestuurd (figuur 4). Ook hier wordt vanwege de compatibiliteit de aanduiding van de data-ingangen aangehouden zoals in de Windows-software. Een strobe-puls op pen 9 neemt de ingangsdata over in het schuifregister. Deze worden vervolgens met iedere klokpuls een bit opgeschoven en verschijnen vervolgens achter elkaar op uitgang Q7.

Het BASCOM-51-programma in listing 2 leest deze waarden in en geeft ze weer op een tweeregelig LCD. Hoewel het bij de oudere versies nog moeilijk was om de parallelle LCD-interface te gebruiken, zorgt het nieuwe meta-statement \$lcdrs = &h8002 vanaf versie 2.0.10 voor de correcte aansturing hiervan op het flash-board. Het

hoofdprogramma illustreert de eenvoudige aansturing van het LCD. Op de eerste regel wordt de ingangswaarde in decimale notatie weergegeven, op de tweede regel in hexadecimale notatie. Een wachtinstructie Waitms 250 zorgt voor een toereikende vertraging en een goed leesbare aanduiding.

De eigenlijke leesroutine begint met een 100 μ s lange strobe-puls voor het opslaan van de data op de ingangen van het schuifregister. Ieder afzonderlijk bit wordt vervolgens via datalijn Din ingelezen en opgeslagen in bit 7 van de variabele Indat. Door het cyclisch verschuiven naar rechts verplaatst het eerst ingelezen bit steeds verder naar bitpositie 0 en uiteindelijk blijft dus het laatst ingelezen bit staan op bitpositie 7. Na ieder ingelezen bit zorgt een klok-puls van 100 μ s voor het verschuiven van de data in het schuifregister.

A/D-converter TLC549

Een goedkope en daarom vaak toegepaste A/D-converter is de TLC549 van Texas Instruments (figuur 5). Met een resolutie van 8 bits of 256 stappen wordt een spanningsbereik tot 5 V in stappen van ongeveer 20 mV verdeeld. Het IC heeft slechts twee uitgangen en een ingang nodig om te worden aangesloten op een microcontroller. Na een positieve CS-puls van tenminste ongeveer 20 μ s kunnen acht databits uit het IC geklokt worden. De conversie begint na een negatieve flank op CS. De klok voor het schuiven wordt tegelijk gebruikt als klok voor de successieve approximatie. Hierdoor wordt bij iedere leesactie de waarde van de vorige conversie geretourneerd.

Het programma van listing 3 zorgt voor de besturing van de A/D-converter en geeft de gemeten waarde weer op het LCD. De converter levert een getal tussen 0 en 255. Door dit getal te vermenigvuldigen met 20 kan de spanning in millivolt worden berekend. Dit wordt op de eerste regel van het display weergegeven. Voor een weergave in volt is eigenlijk een datatype 'real' nodig, dat echter in BASCOM-51 ontbreekt. Daarom worden op de tweede regel afzonderlijk het gedeelte voor en na de komma afgebeeld. Op die manier wordt 2300 mV weergegeven als 2.300 V.

De A/D-routine *Adtlc549* vertoont veel gelijkenis met de routines voor het inlezen van het 4021-schuifregister. Alleen is hier de richting van het schuifregister anders: als eerste wordt het hoogste bit gelezen, zodat in de leeslus schuiven naar links noodzakelijk is.

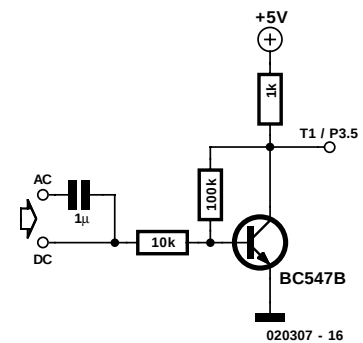
Alles in één

De aansturingen van de verschillende IC's hebben zoveel overeenkomsten dat het de moeite waard is om een algemene subroutine te schrijven. Er hoeft slechts één klok-sig-naal te worden gebruikt voor zowel de beide schuifregisters als de A/D-converter. Het chip-select-sig-naal van de A/D-converter wordt ook gebruikt als strobe-sig-naal voor beide schuifregisters. Bovendien wordt tegelijkertijd nog een extra frequentie-ingang gelezen. Voor het meten van een frequentie is timer 1 van de controller erg handig. Een ingangssig-naal wordt door een kleine voorversterker (zie **figuur 6**) versterkt. De gebruiker kan gebruik maken van een AC- of een DC-kop-peling. De op deze manier gereali-seerde frequentiemeter heeft een meetbereik tot ongeveer 400 kHz. Het programma in **listing 4** initiali-seert eerst timer 1 als 16-bits teller

met externe ingang op P3.5. De eigenlijke meting met een tijdven-ster van 100 ms wordt pas uitge-voerd aan het einde van de univer-sele hardware-routine *Shiftall*. Counter 1 wordt daartoe op nul gezet en gestart. Na 100 ms wordt de teller gestopt en uitgelezen. Aan-gezien de pulsen op de ingang maxi-maal 100 ms lang mogen zijn, is de resolutie ongeveer 10 Hz. Vermen-digvuldigen met 10 levert ons de fre-quentie in hertz.

Het hoofdprogramma verwerkt alle in- en uitgangen. De ingangsspan-ning van de A/D-converter, de nive-aus op de digitale ingangen en de actuele frequentie van het sig-naal op de telleringang worden allemaal op het display weergegeven. De waarde van de ingang van de A/D-converter wordt continu naar de uit-gangen doorgestuurd, zodat daar-mee bijvoorbeeld LED's kunnen wor-den aangestuurd om de waarde van de A/D converter te visualiseren.

De subroutine *Shiftall* zorgt voor de gemeenschappelijke aansturing van alle beschikbare IC's. Voor het opwekken van de het gemeenschap-pelijke kloksig-naal wordt geen gefor-ceerde vertraging gebruikt, maar wordt de benodigde vertraging gewoon veroorzaakt door het uitvoe-ren van de tussenliggende program-



Figuur 6. Een kleine voorversterker voor de telleringang.

maregels. De totale geklokte dataoverdracht kost in totaal minder dan een milliseconde. Op die manier kunnen ook relatief tijdskriti-sche opgaven worden uitgevoerd. De fre-quentiemeting heeft echter altijd een meet-tijd van 100 ms.

(020307)

Literatuur

[1] B. Kainka / H.-J. Berndt:

PC-poorten onder Windows

Uitgeverij Segment, ISBN 90-5381-114-1

[2] B. Kainka:

Schakelingen voor de buitenwereld

Uitgeverij Segment, ISBN 90-5381-140-0

Listing 1.

Extra uitgangen door middel van een 4094-schuifregister

```
'-----
'      Shift4094.BAS
'      Elektor 89S8252 board
'-----
$regfile = "89s8252.dat"
Dim N As Byte
Dim Outdat As Byte
Declare Sub Out4094

While 1 = 1
```

```
For N = 0 To 255
  Outdat = N
  Out4094
Next N
Wend
End

Sub Out4094
  Clk Alias P1.0
  Dat Alias P1.1
  Strb Alias P1.2
  Dim Count As Byte
  Dim Bitval As Byte
  Strb = 0
```

```
Clk = 0
For Count = 1 To 8
  Bitval = Outdat And 1
  If Bitval > 0 Then Dat = 1
Else Dat = 0
  Clk = 1
  Delay
  Clk = 0
  Shift Outdat , Right , 1
Next Count
Strb = 1
Delay
Strb = 0
End Sub
```

Listing 2.

Extra Ingangen door middel van een 4021-schuifregister.

```
'-----
'      Shift4021.BAS
'      Elektor 89S8252 board
'-----
$regfile = "89s8252.dat"
Dim N As Byte
Dim Indat As Byte
Declare Sub In4021
```

```
Config Lcd = 16 * 2
$Lcd = &H8000
$Lcdrs = &H8002

Cls
While 1 = 1
  In4021
  Locate 1 , 1

  Lcd "Inputs=" ; Indat ; "
  Lowerline
```

```
Lcd "hex "
Lcdhex Indat
Waitms 250
Wend
End

Sub In4021
  Clk Alias P1.0
  Strb Alias P1.2
  Din Alias P1.3
  Dim Count As Byte
  Strb = 0
```

Clk = 0	For Count = 1 To 8	Delay
Strb = 1	Shift Indat , Right , 1	Clk = 0
Delay	If Din > 0 Then Indat = Indat	Next Count
Strb = 0	+ 128	
Indat = 0	Clk = 1	End Sub

Listing 3. Lezen van de A/D converter TLC549.

```
'-----
'      Adtlc549.BAS
' Elektor 89S8252 board
'-----
```

```
$regfile = "89s8252.dat"
Dim N As Byte
Dim Addat As Byte
Dim Voltage As Integer
Dim Millivolts As Integer
Dim Volts As Integer
Declare Sub Adtlc549
```

```
Config Lcd = 16 * 2
$lcd = &H8000
$lcdrs = &H8002
```

```
Cls
While 1 = 1
  Adtlc549
  Voltage = Addat * 20
  Locate 1 , 1
  Lcd "AD= " ; Voltage ; " mV "
  Lowerline
```

```
Volts = Voltage / 1000
Millivolts = Voltage Mod 1000
Lcd "AD= " ; Volts ; "." ; Millivolts ; " V "
Waitms 250
Wend
End
```

```
Sub Adtlc549
  Clk Alias P1.0
  Cs Alias P1.2
  Adin Alias P1.4
  Dim Count As Byte
  Addat = 0
  Cs = 0
  Clk = 0
  Cs = 1
  Delay
  Cs = 0
  For Count = 1 To 8
    Shift Addat , Left , 1
    If Adin > 0 Then Addat = Addat + 1
    Clk = 1
    Delay
    Clk = 0
  Next Count
End Sub
```

Listing 4.

Het complete programma.

```
'-----
'      Interface.BAS
' Elektor 89S8252 board
'-----
```

```
$regfile = "89s8252.dat"
Dim N As Byte
Dim Outdat As Byte
Dim Indat As Byte
Dim Addat As Byte
Dim Voltage As Integer
Dim Freq As Long
Declare Sub Shiftall
```

```
Config Lcd = 16 * 2
Config Timer1 = Counter , Gate = Internal , Mode = 1
```

```
$lcd = &H8000
$lcdrs = &H8002
```

```
Cls
While 1 = 1
  Shiftall
  Outdat = Addat
  Voltage = Addat * 20
  Locate 1 , 1
  Lcd Voltage ; " mV "
  Locate 1 , 12
  Lcdhex Indat ; " "
  Lowerline
  Lcd Freq ; " Hz "
  Waitms 250
Wend
End
```

```
Sub Shiftall
  Clk Alias P1.0
  Dout Alias P1.1
  Cs Alias P1.2
  Din Alias P1.3
  Adin Alias P1.4
  Dim Count As Byte
  Dim Bitval As Byte
  Clk = 0
  Indat = 0
  Addat = 0
  Cs = 1
  Delay
  Cs = 0
  For Count = 1 To 8
    Shift Addat , Left , 1
    If Adin > 0 Then Addat = Addat + 1
    Shift Indat , Right , 1
    If Din > 0 Then Indat = Indat + 128
    Bitval = Outdat And 1
    If Bitval > 0 Then Dout = 1 Else Dout = 0
    Clk = 1
    Shift Outdat , Right , 1
    Clk = 0
  Next Count
  Cs = 1
  Delay
  Cs = 0
  T11 = 0
  Th1 = 0
  Start Counter1
  Waitms 100
  Stop Counter1
  Freq = Th1 * 256
  Freq = Freq + T11
  Freq = Freq * 10
End Sub
```

Alleen vragen of opmerkingen die voor meer lezers interessant zijn en die betrekking hebben op Elektuur-publicaties niet ouder dan 2 jaar, komen voor beantwoording in aanmerking. Gezien de hoeveelheid kunnen helaas niet alle brieven worden beantwoord en kan

niet worden ingegaan op persoonlijke wensen en verzoeken om aanpassingen van of aanvullende informatie over Elektuur-projecten.

Stuur uw brief naar Postbus 121,
6190 AC BEEK.

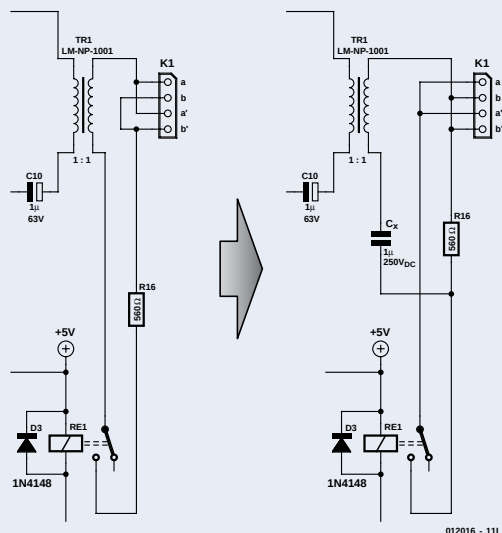
Het LEK van Elektuur

Baby-telefoon (nov. 2002)

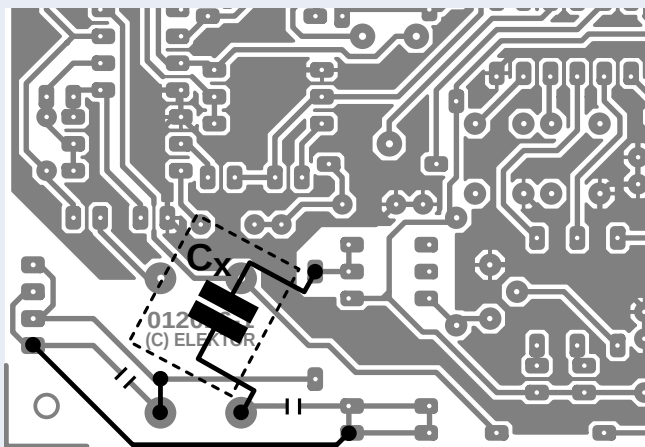
De ontwerper heeft er geen rekening mee gehouden dat door de lijntrafo (TR1) absoluut geen gelijkstroom mag lopen. De werking van de schakeling wordt daar namelijk nadelig door beïnvloed. Dat valt eenvoudig te verhelpen door het toevoegen van een seriecondensator Cx van 1 μ F/250 VDC volgens bijgaand schema.

Op de print kan dit worden gerealiseerd door allereerst de printsporen die naar de secundaire aansluitingen van TR1 voeren met een scherp mesje te onderbreken. Daarna wordt één van die onderbroken trafo-aansluitingen met het knooppunt R16/K1 verbonden. De toegevoegde condensator Cx komt tussen de andere trafo-aansluiting en het knooppunt R16/relaiscontact. Tenslotte wordt het onderbroken moedercontact van het relais (aan de rand van de print) doorverbonden met de onderbroken verbinding die naar K1 (a en a') voert. Ter illustratie is het aldus gecorrigeerde deel van de print hierbij afgebeeld.

Nog een (klein) foutje in het schema: C8 moet 470 pF zijn. In de onderdelenlijst is de juiste waarde aangegeven.



012016 - 11L



Inductieradio

In de uitgave van oktober dit jaar, worden door B. Eelen een paar vragen gesteld over de inductieradio. Het eerste waar ik aan moest denken tijdens het lezen van dit stuk is een microfonische buis. Gek genoeg is hierover niets terug te vinden in uw reactie, terwijl een fluittoon in de meeste gevallen het gevolg is van een microfonische buis. Sommige fabrikanten hebben hier meer problemen mee dan anderen, maar ik zou meneer Eelen adviseren om eens een andere buis te proberen, misschien zelfs een buis van een andere fabrikant.

J. Blom

We hebben hier zelf geen ervaring mee, maar misschien is dit wel een goede tip. We hebben ons in oktober bewust beperkt tot het commentaar van de auteur, maar we geven uw suggesties langs deze weg graag door aan de heer Eelen en andere geïnteresseerden.

Compact-Flashdrive

Bij het kopiëren van jpg-files van de kaart naar mijn PC, of gewoon bij het bekijken van jpg-files die op de kaart staan, gebeurt het soms dat de foto a.h.w. in horizontale banden wordt verdeeld en die banden t.o.v. elkaar verschoven zijn.

De oorzaak ligt niet bij mijn foto-toestel, noch bij de kaart, want via een PCMCIA-CF-adapter op een laptop is de foto wel okee.

Enig idee hoe dit komt en hoe het op te lossen is?

D. Desmet

Dit probleem kan twee oorzaken hebben :

1. De software op de PC kan niet goed omgaan met de jpg-files van uw camera. Dit is te testen door de bestanden van de laptop via een floppy over te brengen naar de PC en ze dan te bekijken. Worden deze beelden dan wel goed weergegeven door hetzelfde programma, dan is er

inderdaad sprake van data-verminking.

2. De interface verminkt de data door bijvoorbeeld timing-problemen. Als de data verminkt wordt, is het misschien zo dat de IDE-interface waarop de CF-interface is aangesloten niet juist is ingesteld voor de CF-interface, of eventuele andere hardware (CD-ROM, harde schijf, e.d.) gooit roet in het eten.

De eerste mogelijkheid kan worden onderzocht door in de BIOS de instellingen voor de IDE-interface (harddisk instellingen) aan te passen. Hierbij kunt u denken aan bijvoorbeeld de tragere PIO-mode 1. Indien dit het probleem niet oplost, probeer dan de interface op een IDE-kabel die verder door geen enkel apparaat wordt gebruikt. Hiermee moet het probleem zijn opgelost.

PCM-afstandsbesturing?

Bij de zender ontvanger van de multifunctionele klok van Velleman die je vindt in Elektuur van februari 2002, zit ik met het volgende probleem: de zender werkt enkel als ik deze vlak bij de ontvanger hou. Zou het helpen als ik de condensators van de ontvanger vergroot of is hier een beter oplossing voor.

Van Kerckvoorde Tom

Zender en ontvanger van een klok?? U bedoelt ofwel de multifunctionele modelbouwchip van febr. 2002 of (en dat is waarschijnlijker) de 'PCM-afstandsbesturing' van okt. 2001. Beide schakelingen zijn overigens Elektuurontwerpen en hebben niets met Velleman te maken. Als u bij het laatstgenoemde ontwerp de IR-versie hebt gebouwd, is de reikwijdte ongeveer 10 à 15 meter. Bij de 433-MHz-versie is dat enkele tientallen meters. Haalt u dat niet, dan is er ergens een opbouwfout gemaakt. Kijk de verschillende onderdelenwaarden nog maar eens goed na.

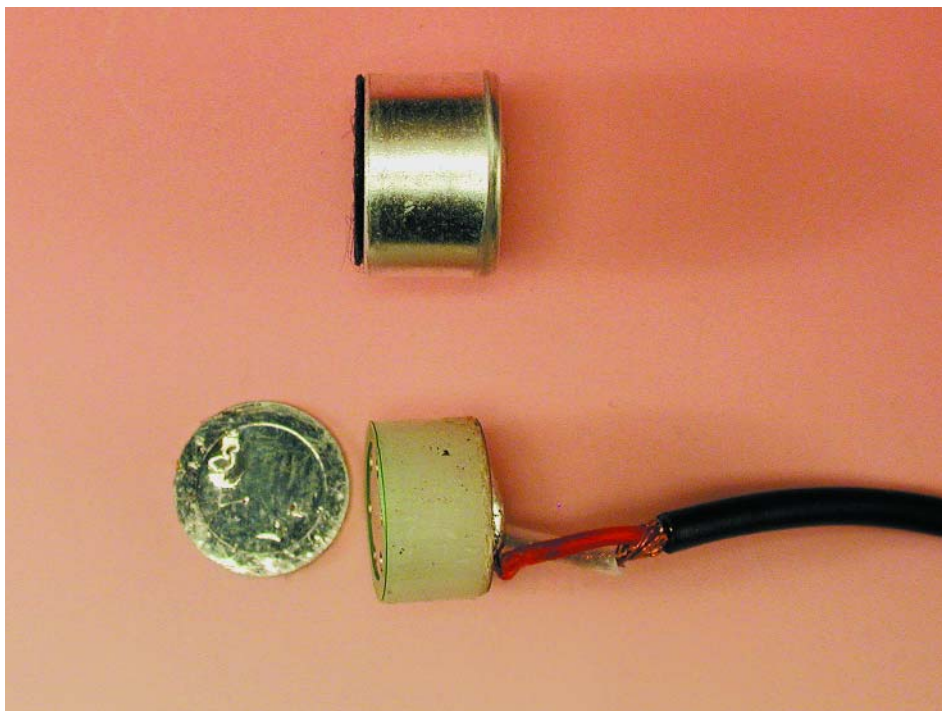
In deze rubriek stellen wij in beknopte vorm eigen ontwikkelingen van onze lezers voor. Anders dan bij 'normale' Elektuurprojecten zijn deze schakelingen niet getest en verder ontwikkeld in het Elektuurlab. Voor een ontwerp dat in deze rubriek wordt gepubliceerd ontvangt de inzender afhankelijk van omvang en originaliteit een honorarium tussen 50 en 250 €.

Infrasoon-microfoon

met goedkoop elektreet-kapsel

Karl Heinz Kopp

Industriële microfoons voor infrageluid zijn voor de gemiddelde knutselaar niet te betalen. Echter als het niet gaat om een nauwkeurig meetinstrument, dan is zelfbouw heel goed te doen.



Infrageluid is geluid beneden de 20 Hz. Het is voor ons mensen niet hoorbaar, maar soms wel te voelen als trillingen in de maagstreek bij keiharde muziek. Olifanten maken voor hun communicatie gebruik van infrageluid. Onweer, verkeer en heipalen (bij het heien) veroorzaken infrageluid, evenals vliegtuigen die door de geluidsbarrière gaan.

Een microfoon moet ervoor zorgen dat geluid wordt omgezet in een elektrisch signaal en wel zo natuurgetrouw mogelijk. Die omzetting gaat in twee stappen, namelijk eerst van

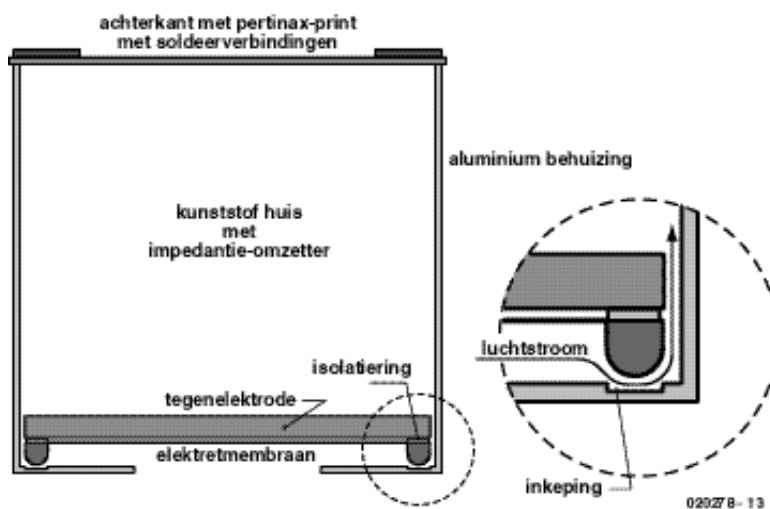
akoestische naar mechanische trillingen en vervolgens van mechanisch naar elektrisch signaal. De karakteristieke eigenschappen van een microfoon zijn de richtingsgevoeligheid en het frequentiebereik. Wij zijn vooral geïnteresseerd in het frequentiebereik. Hoe kun je een microfoon die volgens de technische gegevens pas vanaf 50 Hz iets begint te doen, ertoe bewegen om infrageluid van een paar hertz te ver-

werken? Voor het beantwoorden van deze vraag nemen wij een duik in de theorie.

De frequentieafhankelijkheid van een microfoon wordt bepaald door de koppeling tussen de omzetter en het kapsel. Hierbij moet onderscheid worden gemaakt tussen dynamische microfoons (band- en spoelmicrofoons) en de elektrostatische condensatormicrofoon. Andere omzetters zoals kristal-, kool- en contactmicrofoon spelen tegenwoordig praktisch geen rol meer.

Als we geïnteresseerd zijn in een goedkope en eenvoudige microfoon, hoeven we niet ver te zoeken. Alleen de elektreetmicrofoon komt dan in aanmerking. Deze microfoon werkt volgens het principe van de condensator. Ze zijn overal verkrijgbaar in tal van uitvoeringen en kosten niet veel. In tegenstelling tot de traditionele condensatormicrofoon heeft een elektreettype geen voorspanning nodig omdat het membraan (de elektrode) bestaat uit een speciaal elektreet-materiaal. In de regel is dat teflonfolie dat een permanente lading krijgt door het met elektronen te bombarderen. De betere elektreetmicrofoons hebben een tegen-elektrode die ook is opgedampt met een elektreet.

In **figuur 1** is het inwendige van een elektreetmicrofoon te zien. Het elektreet-membraan bevindt zich aan de



Figuur 1. Dwarsdoorsnede van een elektreet-microfoonkapsel.

voorkant, de tegenelektrode zit er vlak achter. Het membraan is op een isolatieringetje bevestigd. Een zeer belangrijk onderdeel van het kapsel is een elementje van kunststof waarin een kleine impedantie-aanpasser (een eenvoudige FET-schakeling) is opgenomen. Het printje met de FET-schakeling dient zowel als achterkant en als aansluiting. Het geheel is in een aluminiumbuisje met gefelste randen ondergebracht.

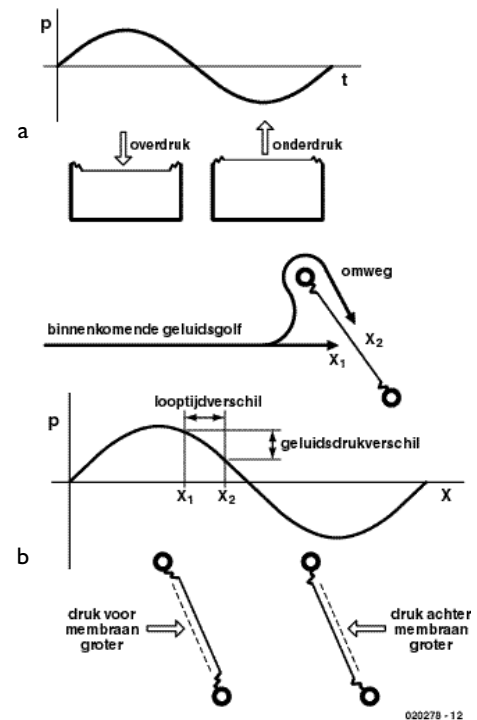
Druk- en gradiëntontvanger

Bij een nauwkeurige blik op het inwendige van een elektreetmicrofoon stuit men op een klein detail dat echter verstrekkende consequenties voor de frequentiekenarakteristiek heeft. In de rand van de aluminium behuizing zijn onder de isolatie groeven aangebracht. Hierdoor kan de lucht bewegen tussen de voorkant en de achterkant van het membraan. Het kapsel is om die reden geen simpele drukontvanger maar een drukgradiëntontvanger.

Dit principiële verschil is te zien in **figuur 2**. Bij een drukontvanger gaat het membraan bij een lagere luchtdruk naar buiten (dus in het laagste punt van een geluidsgolf). Bij een hogere luchtdruk op de top van een geluidsgolf gaat het membraan naar binnen. Ook al zou de luchtdruk heel langzaam veranderen, dan nog wordt het membraan (in ieder geval in theorie) toch bewogen. In de prak-

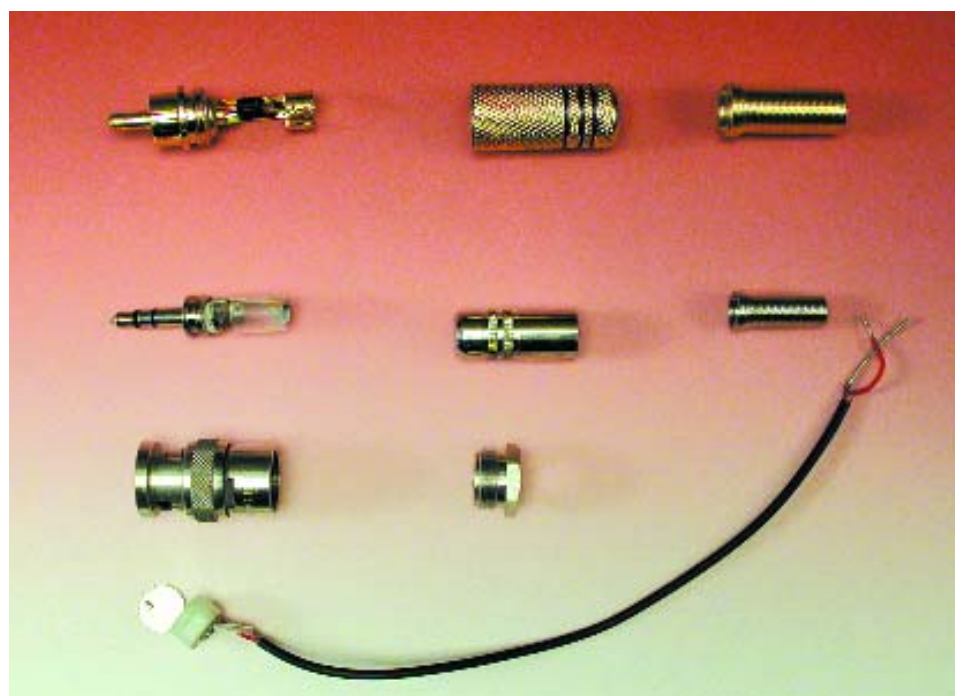
tijk wordt een drukgevoelige ontvanger voorzien van een heel klein gaatje waardoor het membraan geen last heeft van een langere periode van lage of hoge druk.

Bij een gradiëntontvanger is dit heel anders. De uitsturing van het membraan wordt hier veroorzaakt door een verschil in druk tussen de voor- en de achterkant. Dat verschil wordt opgewekt door een verschil in looptijd van de geluidsgolf naar de voorkant en achterkant van het membraan. Dit veroorzaakt dus de druk-

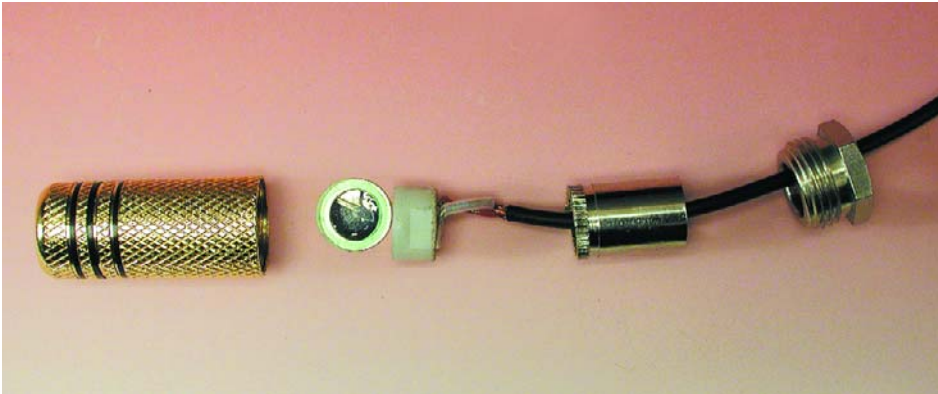


Figuur 2. Vergelijking tussen een drukontvanger (a) en een drukgradiëntontvanger (b).

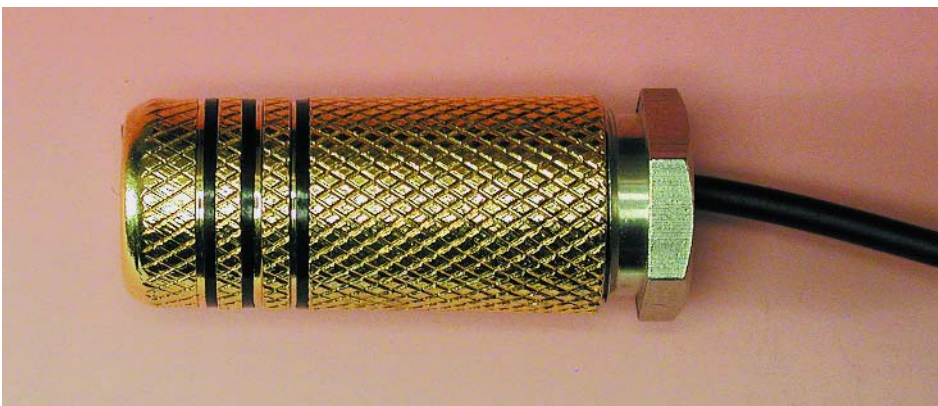
gradiënt. Zonder formules is al duidelijk dat deze drukgradiënt steeds kleiner wordt naarmate de frequentie omlaag gaat. Zeer lage frequenties worden door een drukgradiëntontvanger nauwelijks opgepikt, zulks in tegenstelling tot een drukontvanger die theoretisch vanaf 0 Hz al een signaal afgeeft.



Figuur 3. Van drie naar een: de toegepaste pluggen.



Figuur 4. Het hoort niet bij elkaar, maar past toch prima.



Figuur 5. De huls van de jackplug wordt met de BNC-schroef gefixeerd.

Wat er verder nog nodig is

Het enige dat we dus moeten doen om een infrasofoon-microfoon te bouwen, is de drukgradiëntontvanger te veranderen in een drukontvanger. Daarvoor hoeven we eigenlijk alleen maar de groeven met bijvoorbeeld wat lijm dicht te smeren. Theoretisch een goed idee maar helaas praktisch niet uitvoerbaar omdat het membraan dan naar binnen wordt getrokken. Daarom zit er niets anders op dan de hele behuizing te vervangen! Omdat niet iedereen de beschikking heeft over een draaibank om een behuizing op maat te maken, heeft de auteur standaardonderdelen gevonden die als behuizing kunnen worden 'misbruikt'.

Men neemt een cinch-contrasteker, een stereo-jack (3,5 mm) en een BNC-connector met schroefaansluiting voor de kabel. In **figuur 3** is een en ander in losse onderdelen te zien. Alle drie bovengenoemde zaken moeten van metaal zijn (de BNC-connector is zowiezo alleen maar in metaal verkrijgbaar). De drie onderdelen worden niet in zijn geheel maar slechts gedeeltelijk gebruikt, namelijk het achterstuk van de cinch-steker en de stereo-jack en de schroefbevestiging van de BNC-connector.

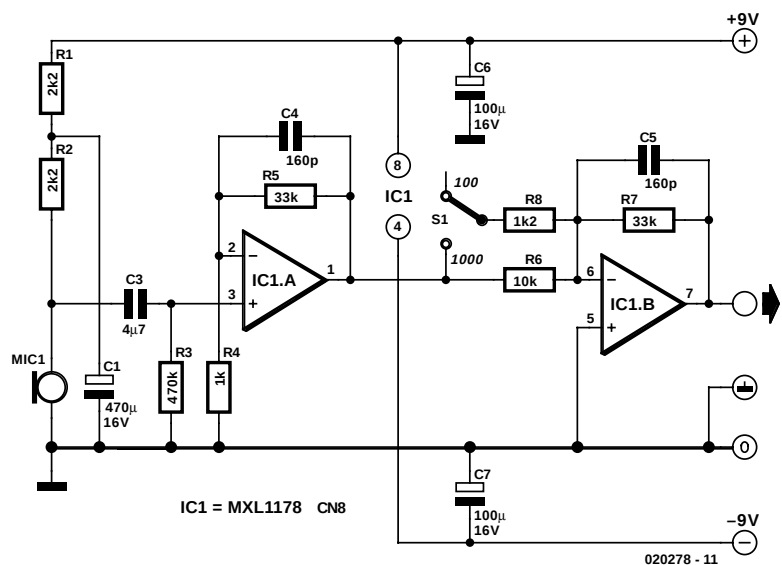
De buitenhuls van de cinch-connector vervangt straks de behuizing van het microfoonkapsel. De binnenmaat hiervan mag hoogstens enige tienden van een millimeter kleiner zijn

dan de buitenmaat van de kale microfoon. De huls wordt in een boorkop geklemd en om een passend stukje rond hout wordt een strookje zeer fijn (400) schuurpapier gewikkeld. Met behulp daarvan wordt de binnenkant van de huls zo ver uitgeschuurd als nodig is, echter zonder de schroefdraad al te zeer te beschadigen. Vervolgens wordt de huls van de jackplug, die dezelfde diameter moet hebben als de 'kale' microfoon, ingekort tot ongeveer 10 mm. De zaagsnede moet zeer zorgvuldig worden ontbraamd en glad geschuurd. De diverse onderdelen zijn in **figuur 4** te zien in de juiste volgorde van opbouw.

Nu is de microfoon aan de beurt. De gefelste rand van de aluminium behuizing wordt aan de achterkant met een scherp mes (Stanley-mes) tot aan het printje weggesneden. Voorzichtig, raak vooral niet de microfoonopening aan want anders zou het membraan beschadigd kunnen worden. Trek de microfoon er nog niet uit want we solderen eerst een afgeschermde kabel op het aansluitprintje (houd de polariteit in de gaten!).

Een superschone ruimte

Nu hebben wij nog een stofvrije ruimte nodig, die we echter gemakkelijk zelf kunnen maken van een doorzichtige plastic zak. Stof, vet, vuil en elektrische lading kunnen het



Figuur 6. Schema van de microfoonvoorversterker.

inwendige van het kapsel beschadigen. Daarom aarden we onszelf eerst, bijvoorbeeld met behulp van een geleidend pols- of enkelbandje (stukje blank koperdraad) dat via een weerstandje van 1 M Ω met een geschikt aardpunt wordt verbonden. Trek dunne gummi handschoenen aan (zonder talkpoeder!). Deze zijn verkrijgbaar bij drogist of apotheek of zijn te vinden in de (auto)verbanddoos. Alle verdere werkzaamheden doen we in onze superschone ruimte.

Houd het kapsel verticaal en trek de aluminium behuizing voorzichtig naar boven terwijl u het kapsel aan de kabel tegenhoudt. Nu gaan we, wederom heel voorzichtig, de huls van de cinch-connector over het kapsel heen schuiven zonder het binnenwerk aan te raken. Het isolatieringetje van het membraan rust nu tegen de binnenrand van de huls die normaal gesproken de rubber kabeltule van de cinch-connector op zijn plaats houdt. De afgezaagde huls van de jackplug wordt er in geschoven en met de BNC-schroef gefixeerd (**figuur 5**).

De infrason-microfoon, zo mogen we hem nu wel noemen, kan nu uit onze superschone ruimte gehaald worden. De behuizing zou nu voldoende luchtdicht moeten zijn voor metingen in het gebied van het infrageluid. Voor alle zekerheid zou men het randje op de grens van de isolatiering en de bus nog met wat secondenlijm dicht kunnen smeren. Pas daarbij op dat het membraan niet wordt aangeraakt.

Het blootliggende membraan is zeer gevoelig en moet tegen stof en aanraking beschermd worden. Schuif daarom een kunststof slangetje van ongeveer 2 cm lang over het voorste stuk en sluit de opening af met een stukje schuimrubber.

Elektronische versterking

De uitgangsspanning van een elektreetmicrofoon is bepaald niet hoog en moet dus fors versterkt worden. De eerste stap, impedantiëtransformatie, vindt in het kapsel zelf plaats en daarvoor is uiteraard voedingsspanning nodig. Deze wordt verzorgd door R1/R2 (**figuur 6**). De wisselspanning van de microfoon komt via koppelcondensator C3

Tabel 1

Frequentie in Hertz	Correctiefactoren			
	Infrasoon-microfoon	Voorversterker	Terratec geluidskaart	Totaal
10	1	1	1	1
4	1	1	0,62	1,6
2	1	1	0,37	2,7
1	1	1	0,25	4

Tabel 2

Frequentie in Hertz	Correctiefactoren			
	Infrasoon-microfoon	Voorversterker	Edirol UA-1A	Totaal
10	1	1	1	1
4	1	1	0,94	1,1
2	1	1	0,85	1,2
1	1	1	0,73	1,4

binnen op de ingang van de eerste versterkertrap IC1a. R3 bepaalt de ingangsimpedantie en de versterking bedraagt 1+R5/R4. C4 beperkt de bandbreedte en voorkomt instabiel gedrag. De 34-voudige versterking is echter in het licht van een microfoonspanning van -30 .. -70 dBu niet voldoende. Een tweede versterkingstrap zorgt voor een extra versterking van naar keuze 3,3 of 30 maal. Hierdoor is een totale versterking van 100 (in de getekende stand van S1) mogelijk of 1000 in de andere stand van de schakelaar. Door deze keuzemogelijkheid kan in principe elk gangbaar type elektreetmicrofoon (van de juiste afmetingen) worden toegepast. Aan de uitgang van de schakeling is het signaal op lijnniveau beschikbaar.

De dual-opamp die hier is toegepast is overigens een nauwkeurige versterker (met lage offset) van Maxim. De stroombehoefte is heel gering, hetgeen de opamp zeer geschikt maakt voor batterijvoeding. Gegevens van dit IC zijn te vinden op <http://pdfserv.maxim-ic.com/arpdf/MXL1178-MXL1179.pdf>

Om het infrageluid te analyseren wordt de microfoonversterker aangesloten op de ingang van de geluidskaart. Een geschikt programma (met een gratis testversie) voor het analyseren van trillingen en geluid is *Medusa*. Dit programma is te vinden

op www.maschinendynamik.de/index.html

Een handleiding voor het bouwen van deze microfoon is overigens ook op het Internet te vinden. Op de website www.brummt.de van IGZAB (Interessengemeinschaft zur Aufklärung des Brummtons) is de hele procedure, voorzien van kleurenfoto's, nog eens na te lezen in de Duitse taal.

De microfoon, de microfoonversterker en de geluidskaart hebben in het interessante meetbereik beneden de 10 Hz geen lineaire frequentiecarakteristiek. Zolang men niet de mogelijkheid heeft om de hele overdrachtsketen van geluid naar digitaal signaal echt te meten (ijken), kan er alleen maar worden uitgegaan van geschatte waarden. De overdrachtsparameter van de infrason-microfoon is niet bekend en wordt daarom maar (met enig optimisme) op 1 gesteld. De correctiefactoren van de toegepaste microfoonversterker en de (Terratec-) geluidskaart konden worden gemeten, zodat de aanpassingsfactoren uit **tabel 1** zijn verkregen:

Natuurlijk kan ook zonder geluidskaart infrageluid worden opgenomen, door een aparte A/D-omzetter te gebruiken. De auteur maakt gebruik van de *UA-1A USB Audio Interface Edirol* van Roland. Dan moeten er andere correctiefactoren worden toegepast (zie **tabel 2**). Worden beide ingangen van de Edirol gebruikt en twee microfoons op een bekende afstand van elkaar opgesteld, dan kan zelfs aan plaatsbepaling van de geluidsbron gedacht worden.

(020278)