

KORTEGOLF GAAT DIGITAAL

DRM-ontvanger



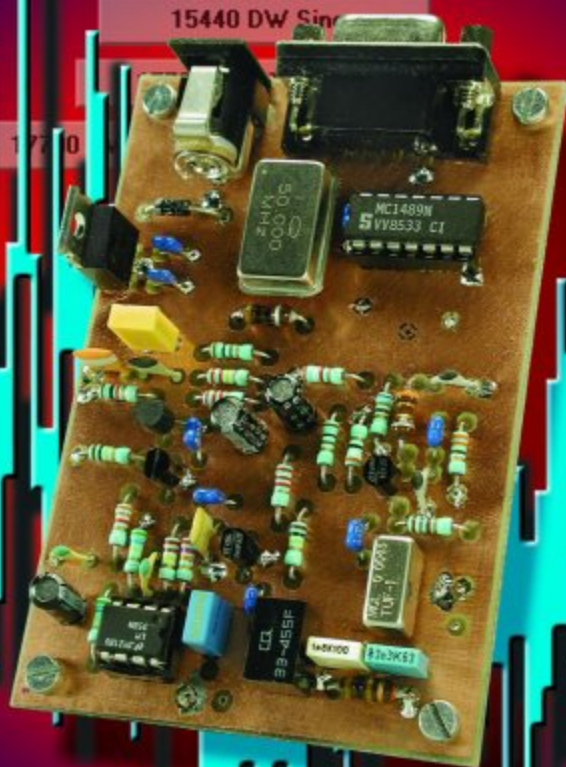
**Veelzijdige
frequentie-
meter**



**Servo-interface
voor Lego RCX**

**Analyser voor
RC-modellen**

**Lichtsensoren
in de praktijk**



5955 DW Wertachtal

9410 BBCWS Ramp

5975 T-System Quelich

9850 RNW Flevo

095 RTL Junglinster

9655 DW Wertachtal

W Wertachtal

15440 DW Sing

17700

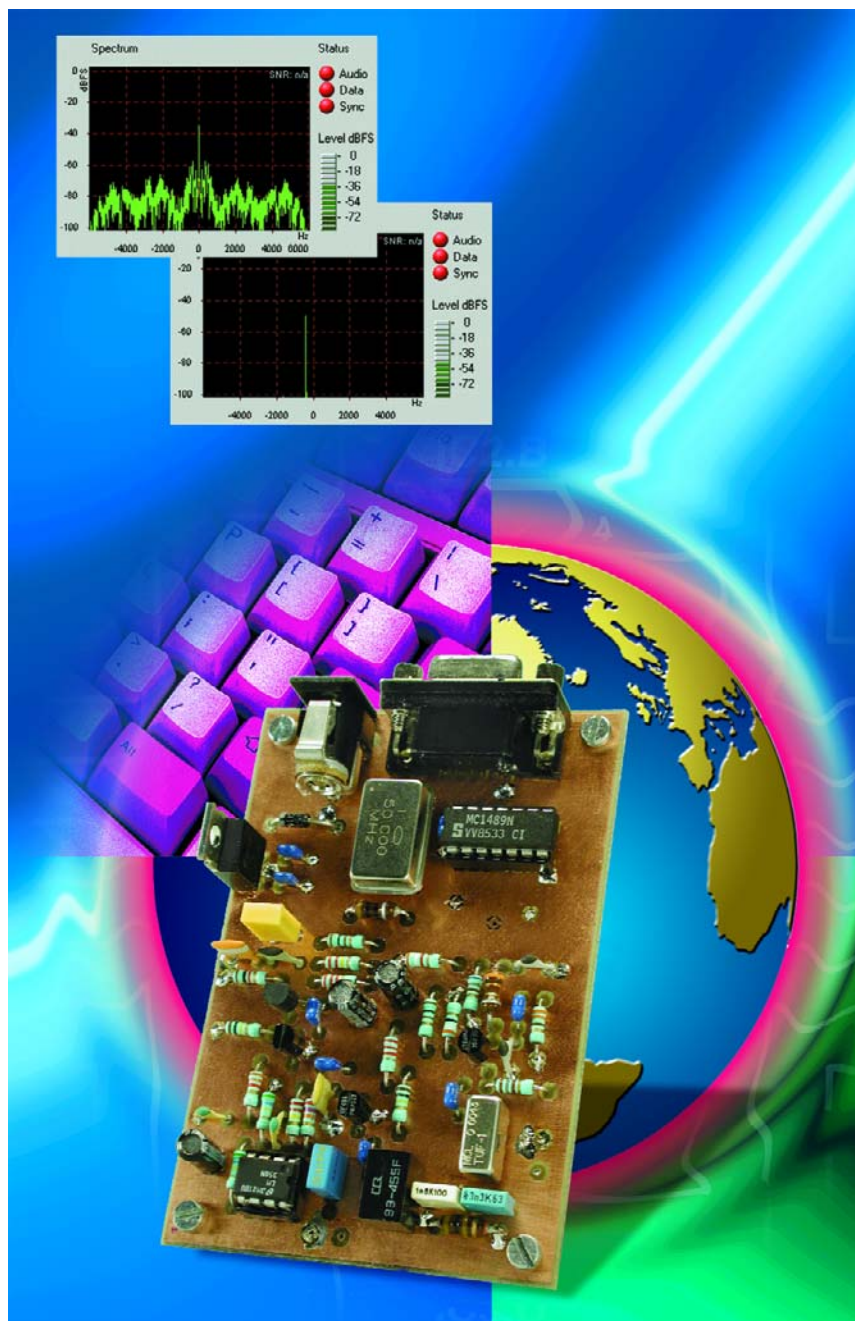
DRM-ontvanger

Digitale ontvangst van 500 kHz tot 22 MHz

Burkhard Kainka

Met dit project heeft Elektuur waarschijnlijk een primeur in handen. Deze betaalbare DRM-ontvanger voor zelfbouw ontvangt de nieuwe digitale omroep in MP4-kwaliteit. Een PC zorgt via de RS232-interface voor de afstemming van de ontvanger. Het 12-kHz-uitgangssignaal van de ontvanger wordt via de geluidskaart door de PC verder gedemoduleerd en gedecodeerd.

Sinds 15 december 2003 is de als Digital Radio Mondiale (DRM) bekend staande digitale omroep een nieuwe fase ingegaan. De codering is overgegaan op MP4, waardoor de geluidskwaliteit nog verder is verbeterd. De in dit artikel beschreven ontvanger is speciaal ontwikkeld voor alle lezers die met niet al te veel moeite DRM-signalen willen ontvangen.



In het ontwerp van de ontvanger is gestreefd naar een goede ontvangst-kwaliteit en zo weinig mogelijk afregelpunten. Er zijn geen speciale spoelen of draaicondensatoren nodig, maar in plaats daarvan goed verkrijgbare vaste spoelen. Daarmee wordt tegemoet gekomen aan degene die nog weinig ervaring heeft met het bouwen HF-schakelingen. Ook een ingewikkelde afregelprocedure met speciale meetapparatuur ontbreekt. Een zeer eenvoudige software-procedure volstaat om de toleranties van de oscillators af te regelen.

Hoe de DRM-codering precies werkt, is in *Elektuur* (12/2002) al eens eerder toegelicht. Precies een jaar later, in *Elektuur* 12/2003, werd aangegeven hoe met behulp van de eerder gepubliceerde DDS-generator en een mixer de DRM-signalen konden worden ontvangen en met de PC gedecodeerd. Ook in de hier gepresenteerde DRM-ontvanger wordt een DDS-schakeling gebruikt. De eerder genoemde artikelen zijn in dit verband dus nog steeds zeer informatief.

DRM-interface

Eigenlijk kan de ontvanger ook worden gezien als DRM-interface voor de PC. Zoals in **figuur 1a** te zien is, heeft de DRM-ontvanger twee verbindingen met de computer. Via de RS232-koppeling wordt de ontvanger afgestemd op de gewenste zender. Het signaal aan de uitgang van de DRM-ontvanger is, in tegenstelling tot een normale radio, niet te beluisteren met een hoofdtelefoon. Deze DRM-ontvanger mengt het antennesignaal omlaag tot een laatste 'middenfrequentie' van 12 kHz. Het uitgangssignaal van de ontvanger bevat het voor DRM specifieke spectrum van gemoduleerde draaggolven die samen als digitale datastroom het gemoduleerde audiosignaal bevatten. Dit DRM-spectrum heeft een bandbreedte van 10 kHz en wordt via de geluidskaart (line-ingang, of bij een zwak signaal de microfoon-ingang) aan de PC doorgegeven. De geluidskaart digitaliseert het signaal en een DRM-ontvangstprogramma zorgt voor de demodulatie van het DRM-signaal en vervolgens voor de MP4-decodering van de ontvangen datastroom. Het eindre-

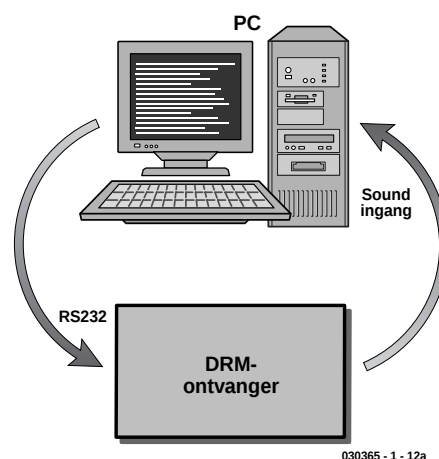
sultaat is een stereosignaal van hoge kwaliteit, dat aan de uitgang van de geluidskaart beschikbaar is.

Dubbelsuper

Zoals te zien is in **figuur 1b**, wordt het antennesignaal twee keer gemengd. De eerste keer met het signaal van de synthesizer (afstemming), resulterend in een vaste middenfrequentie van 455 kHz. De tweede mengtrap heeft een vaste lokale oscillator van 476 kHz om het 455 kHz MF-signaal omlaag te mixen naar 12 kHz. Deze configuratie wordt in de ontvangertechniek 'dubbelsuper' genoemd, vanwege de twee mengtrappen en de twee middenfrequenzen. De eerste lokale oscillator is een zogenaamde synthesizer, waarbij de frequentie digitaal wordt ingesteld. In dit geval gaat het om een DDS-oscillator (DDS = direct digital synthesis). De frequentie-instelling wordt door de DDS-schakeling ontvangen via een RS232-interface die is verbonden met de COM-poort van de PC.

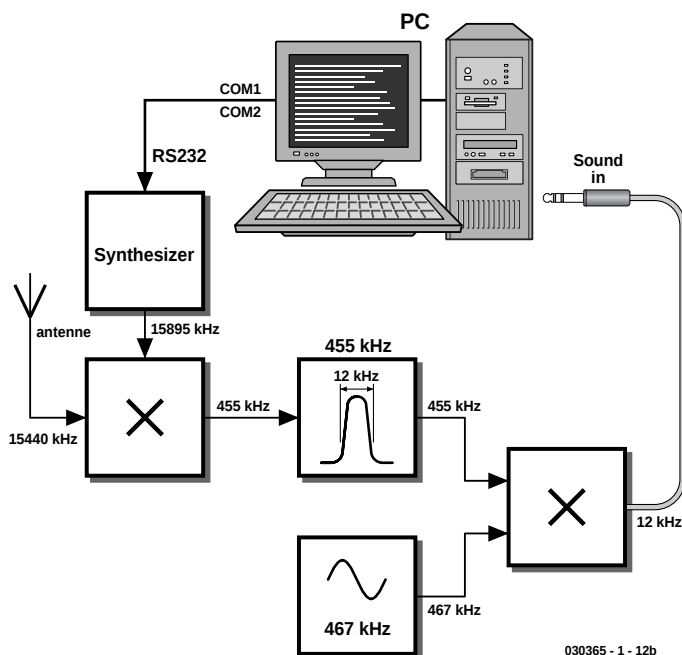
De schakeling

Het schema van de DRM-ontvanger is te zien in **figuur 2**. Het blokschema is in het schema gemakke-



figuur 1a. De DRM-ontvanger heeft twee verbindingen met de computer: een seriële interface voor het afstemmen en een audio-verbinding met de geluidskaart voor het decoderen van het DRM-signaal.

lijk terug te vinden. De DDS-oscillator (IC2) levert het uitgangssignaal via T1 aan de eerste mixer. Die eerste mixer is een diode-ring-mixer, wat een hoog dynamisch bereik oplevert. Het middenfrequent-signaal van 455 kHz doorloopt een keramisch filter met steile flanken. De bandbreedte van dit filter is 12 kHz. Een MF-versterker met een BF494 (T2) versterkt het signaal met circa 20 dB. Vervolgens wordt het signaal toegevoerd aan een passieve FET-mixer met een BF245C (T4).

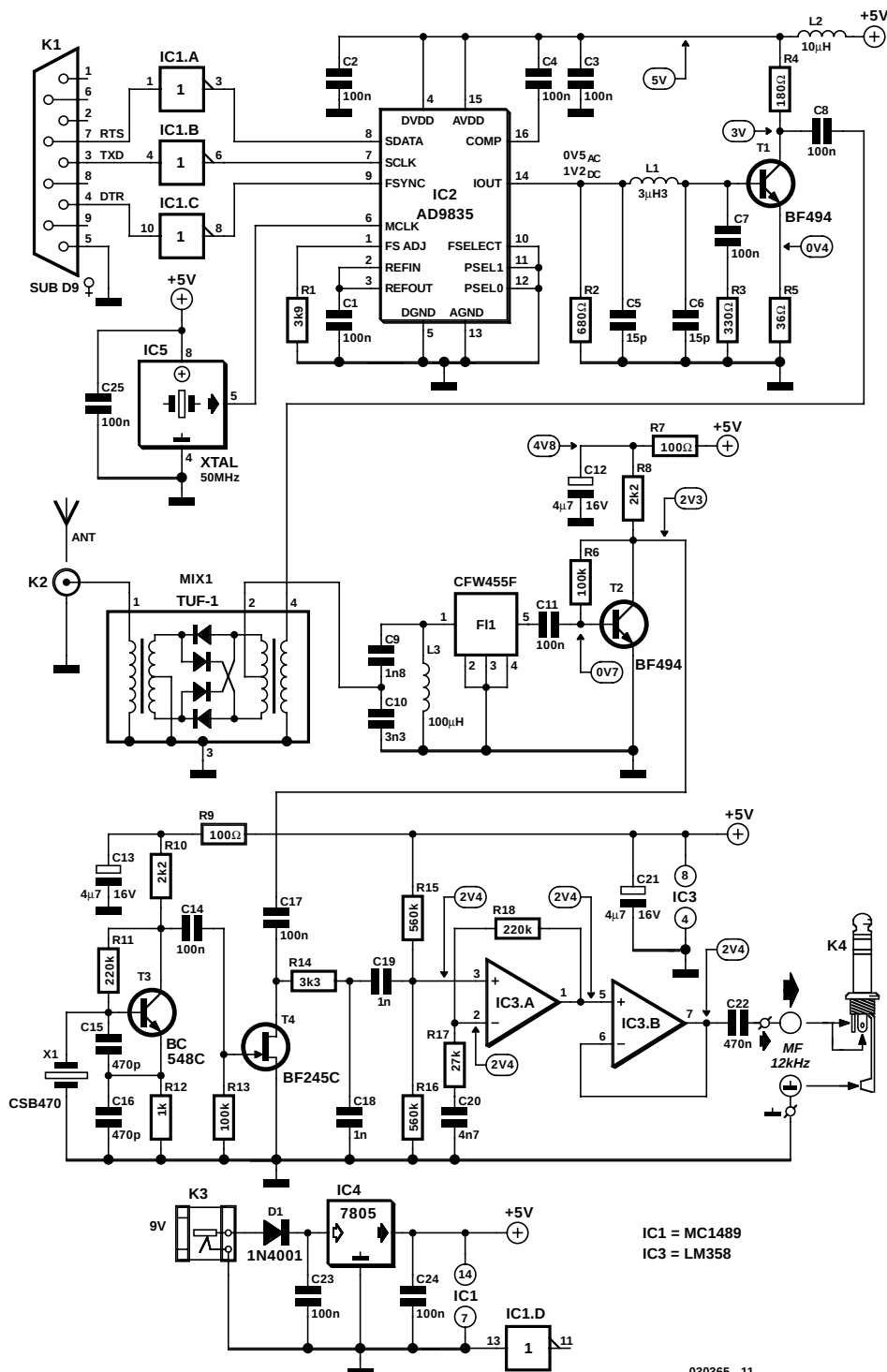


figuur 1b. Blokschema van de DRM-ontvanger. Het antennesignaal wordt eerst omlaag gemengd naar een vaste MF van 455 kHz. Vervolgens wordt omlaag gemengd naar een tweede middenfrequentie van 12 kHz.

De tweede oscillator wordt gestabiliseerd door een keramische resonator. Deze resonator CSB470 is eigenlijk bedoeld voor 470 kHz, maar wordt door de schakeling 3 kHz omlaag getrokken. Het resulterende 12 kHz MF-sig-naal doorloopt nog een enkelvoudig band-doorlaatfilter en wordt tenslotte door twee opamps (IC3) nog eens 20 dB versterkt en gebufferd. Na gelijkspanningsontkoppeling

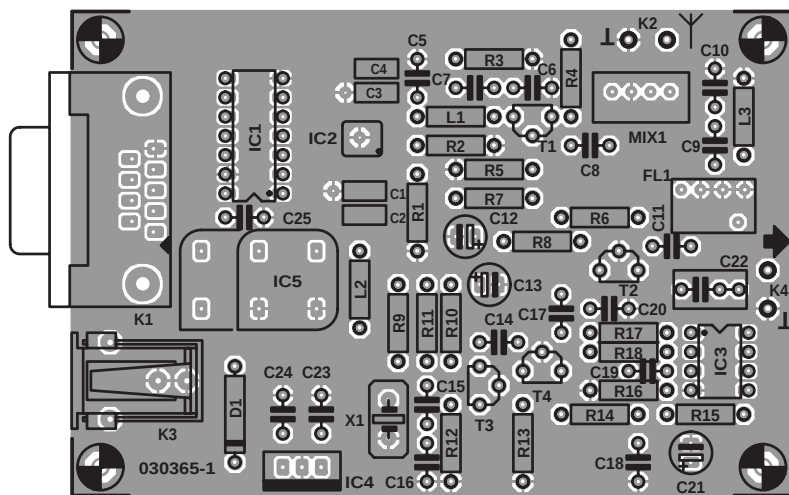
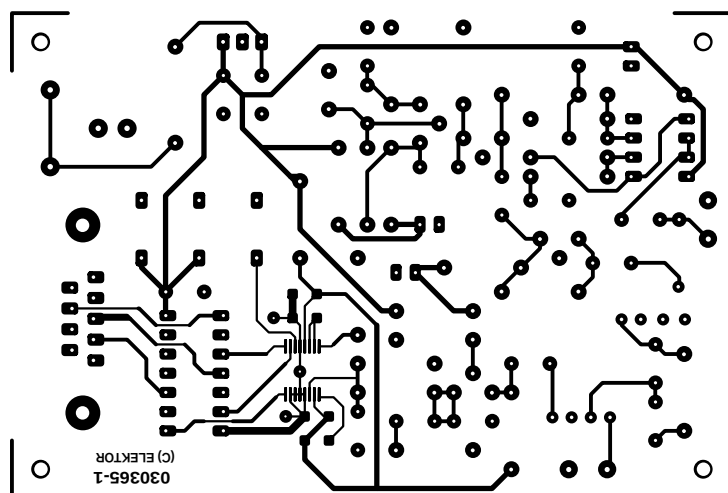
met C22 is het signaal beschikbaar om te worden aangesloten op de PC-gehuidskaart. Erg belangrijk voor een goede DRM-ontvanger is de fasereinheid van de lokale oscillatoren. Fasereinheid wilt hier zeggen dat het signaal van de oscillator zo min mogelijk belast is met fasejitter en de hiermee verband

houdende ruiszijbanden. De in deze DRM-ontvanger gebruikte DDS-oscillator voldoet wat fasereinheid betreft aan de allerhoogste eisen. Ook belangrijk is een goed grootsignaal-gedrag, iets dat ruimschoots wordt bereikt door voor de eerste mixer een diode-ringmixer te kiezen. Dit alles is aan de resultaten goed af te lezen.

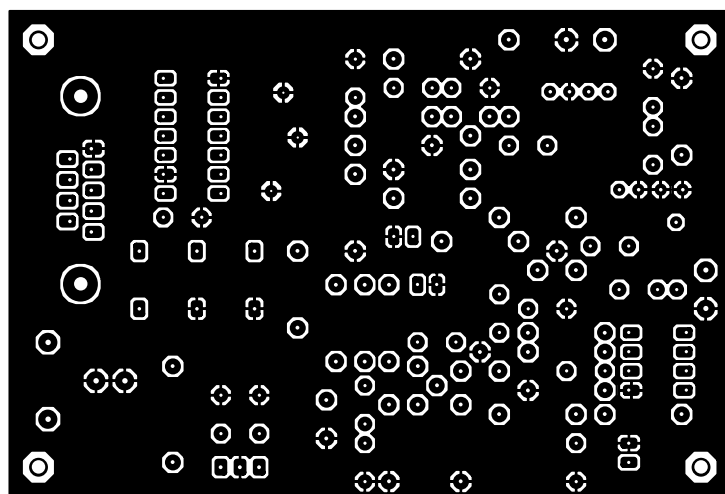


Figuur 2. Het schema van de ontvanger: boven de DDS-oscillator en daaronder de twee zeer lineaire mengtrappen.

soldeerzijde



componenzijde



Figuur 3. De dubbelzijdige print is doorgemetalliseerd. Bij de montage moeten de aansluitingen van de HF-componenten zo kort mogelijk worden gehouden.

Bij gebruik van een langdraadantenne wordt nog steeds een stoorafstand van 30 dB gemeten, iets dat normaal gesproken alleen met een kostbare professionele ontvanger wordt bereikt. Hier wordt dus opnieuw bewezen dat met een goed doordachte zelfbouwschakeling mooie resultaten zijn te bereiken.

Het dynamische bereik van de PC-geluidskaart is, samen met de DRM-software, groot genoeg om de tot 30 dB oplopende sterkteverschillen van het ontvangen signaal op te vangen. Daarmee vervalt de noodzaak om in de ontvanger een AGC (automatic gain control) op te nemen. Een hoge gevoeligheid van de ontvanger is voor DRM evenmin nodig. Meer versterking zou alleen het ruisniveau verhogen.

In de meeste gevallen heeft een ontvanger voor de eerste mixer een (afstembaar) filter om te zorgen voor onderdrukking van de spiegelfrequentie. Luisterproeven hebben echter uitgewezen dat de ontvanger ook zonder preselectie te gebruiken is. De spiegelfrequentie ligt met 910 kHz (2×455 kHz) zodanig ver van de ontvangstfrequentie af dat de spiegelfrequentie meestal buiten de beluisterde omroepband valt. Bovendien heeft de DRM-decoder een behoorlijke ongevoeligheid voor stoorsignalen.

Wie dat wenst, kan natuurlijk een antenne met preselector gebruiken. De bouw van een dergelijke antenne komt in een later artikel nog aan de orde. In de meeste gevallen volstaat echter een draadantenne van 3...10 m lengte. Een dergelijke antenne wordt bij voorkeur zo vrij mogelijk opgehangen (zo ver mogelijk van andere objecten verwijderd) en kan direct worden aangesloten op de ontvangeringang.

Details

De antenne-ingang met een impedantie van 50Ω is breedbandig direct met de ingang van de diode-ringmixer TUF-1 verbonden. De TUF-1 is door de fabrikant bedoeld voor het frequentiebereik van 2...600 MHz. In feite werkt de mixer ook nog beneden 2 MHz, maar de ingangsimpedantie neemt dan wel af en wordt sterk inductief. In de praktijk werkt deze ontvanger ook nog uitstekend in het middengolgebied vanaf ongeveer 500 kHz.

Aan de uitgang van de ringmixer zien we een aanpassingsnetwerk. De resonantiekring transformeert de lage uitgangsimpedantie van de ringmixer omhoog met ongeveer een factor 10. De ingangsimpedantie van het keramische filter bedraagt $1 \text{ k}\Omega$. Voor de aanpassing is geen grote nauwkeurigheid noodzakelijk, omdat de werkelijke antenne-impedantie meestal ook hoger is dan 50Ω en de

diode-ringmixer zich nogal transparant gedraagt. Door de gekozen waarden voor L en C is de Q-factor van deze resonantiekring tamelijk laag ($Q < 10$). De bandbreedte van de kring is met circa 50 kHz dus zo hoog dat de toleranties van de componenten hier geen rol meer spelen. Dat maakt het afregelen van de kring dus overbodig. Toch draagt de resonantiekring nog iets bij aan de veraf-selectiviteit van het MF-filter.

Het gebruikte filter CFW455F heeft een bandbreedte van 12 kHz. Voor DRM-ontvangst is een bandbreedte van 10 kHz noodzakelijk, maar een iets breder filter kan geen kwaad. In feite is iets meer bandbreedte zelfs gewenst, om de toleranties in de tweede oscillator op te vangen.

Als de tweede lokale oscillator niet precies op 467 kHz, maar op bijvoorbeeld 467,5 kHz oscilleert, dan verschuift de eerste MF naar 455,5 kHz. De software moet dan de eerste oscillator 500 Hz hoger afstemmen. Uiteindelijk ontstaat toch zoals gewenst een signaal van 12 kHz. De licht verschoven eerste MF past nog steeds door het MF-filter. Op deze manier wordt een duur speciaal geslepen kristal voor de tweede lokale oscillator uitgespaard. Zoals eerder gemeld, is het keramische filter CSB470 eigenlijk bedoeld om op 470 kHz te oscilleren. In deze schakeling echter wordt door de grote waarden voor C15 en C16 de resonantiefrequentie 3 kHz verlaagd. Aangezien de toleranties van keramische resonatoren veel groter zijn dan bij kristallen, is hier nog steeds een maximale frequentieafwijking van 1 kHz mogelijk. Na het filter volgt een versterktrap (T2) met een vaste versterkingsfactor van ongeveer 20 dB. Omdat de ontvanger geen voorversterker heeft en zowel de mixer als het daaropvolgende filter demping geven, is oversturing van deze versterktrap niet waarschijnlijk.

De JFET BF245C (T4) werkt als passieve FET-mixer. Het werkingsprincipe van deze mengtrap is dat van de schakelende vermenigvuldiger. Een sterke kant van deze mengschakeling is dus, naast de grote eenvoud en de lage kosten, de uitstekende lineariteit. De mixer verwerkt signalen van meer dan 100 mV zonder waarneembare vervorming.

DDS-afstemming

De DDS-oscillator is in deze schakeling generaliseerd met een AD9835 van Analog Devices. De DDS wordt direct, zonder tussenkomst van een microcontroller, aangestuurd via een RS232-interface. De line-receiver MC1489 zorgt hier voor de noodzakelijke niveau-aanpassing. De DDS wordt geklokt met een frequentie van 50 MHz, wat theoretisch een maximale uitgangsfrequentie van 25 MHz

Onderdelenlijst

Weerstanden:

R1 = 3k9
R2 = 680 Ω
R3 = 330 Ω
R4 = 180 Ω
R5 = 39 Ω
R6,R13 = 100 k
R7,R9 = 100 Ω
R8,R10 = 2k2
R11 = 220 k
R12 = 1 k
R14 = 3k3
R15,R16 = 560 k
R17 = 27 k
R18 = 220 k

Condensatoren:

C1...C4 = 100 n, SMD 1206
C5,C6 = 15 p
C7,C8,C11,C14,C17,C23,C24,C25 = 100 n, 5 mm steek
C9 = 1n8, 5 mm steek
C10 = 3n3, 5 mm steek
C12,C13,C21 = 4 μ 7/16V radiaal
C15,C16 = 470 p
C18,C19 = 1 n, 5 mm steek
C20 = 4n7, 5 mm steek
C22 = 470 n

Spoulen:

L1 = 3,3 μ H
L2 = 10 μ H
L3 = 100 μ H

Halfgeleiders:

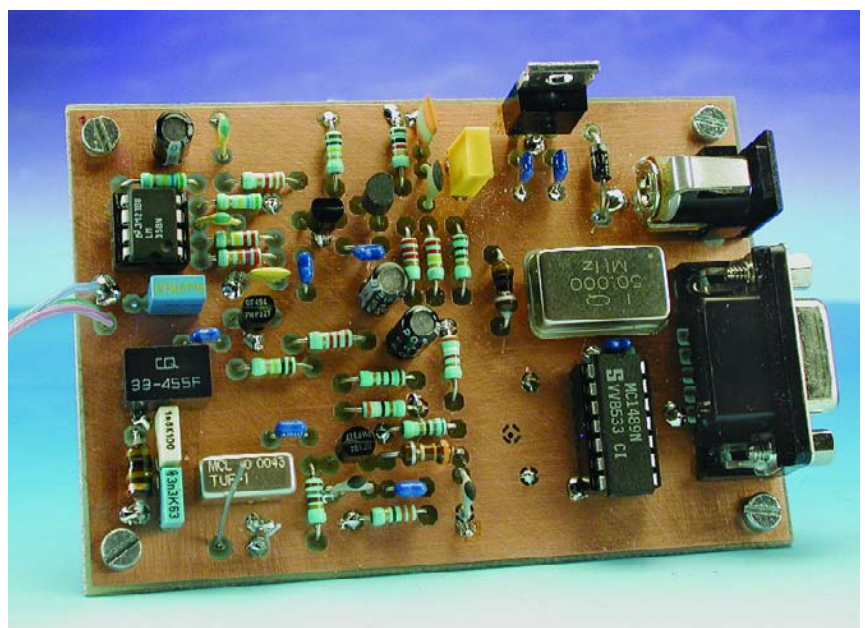
D1 = 1N4001

T1,T2 = BF494
T3 = BC548C, BC549C, BC550C
T4 = BF245C
IC1 = MC1489 N
IC2 = AD9835 BRU (Analog Devices)
IC3 = LM358 N
IC4 = 7805
IC5 = 50-MHz kristaloscillator DIP-8 of DIP-16
MIX = TUF-1 diode-ringmixer (Mini-Circuits)

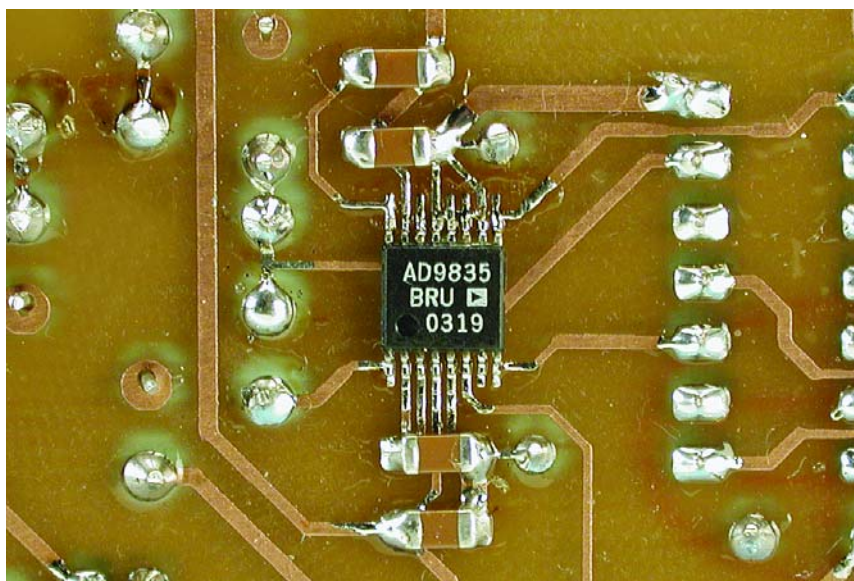
Bovendien:

K1 = 9-polige haakse sub-D connector, female, voor printmontage
K2 = 2 soldeerpenen
K3 = voedingsspanningsconnector voor printmontage
K4 = kabel met 3,5 mm mono- of stereo klinksteker
FL1 = CFW455F (455-kHz-filter B = 12 kHz)
X1 = CSB470 (470-kHz-resonator Murata)
Seriële I:1-kabel voor RS232 (**geen** nulmodemkabel, dus **geen** gekruiste RX en TX!)
Print EPS 030365-1 (zie Service-pagina's)
Floppy met software: EPS 030365-1 I

Print-layout en software zijn ook beschikbaar op www.elektuur.nl



Figuur 4. De componentenzijde van een prototype. Door het gesloten massavlak aan de bovenzijde van de print zijn korte massaverbindingen mogelijk.



Figuur 5. Het DDS-IC is alleen verkrijgbaar in een SMD-behuizing. Het IC wordt samen met vier SMD-condensatoren op de onderkant van de print aangebracht.

oplevert. In de praktijk echter is het uitgangssignaal nabij deze grens sterk verzwakt, zodat de afstemming beter beneden de 24 MHz kan blijven. Een eenvoudig laagdoorlaatfilter (C5, L1, C6) met een kantelfrequentie van 24 MHz zorgt voor een afdoende onderdrukking van de hogere harmonischen. De extra versterktrap met T1 staat garant voor een voldoende sterke aansturing van de mixer.

Analog Devices biedt een uitgebreid assortiment DDS-schakelingen,

waaronder een aantal met hoge klokfrequenties. Toch werd hier voor de AD9835 gekozen omdat dit type nog betaalbaar en bovendien gemakkelijk verkrijgbaar is. De geringe middenfrequentie van 455 kHz zorgt er voor dat de VFO-frequentie slechts weinig boven de ontvangstfrequentie ligt. De bovengrens van de afstemming is niet scherp gedefinieerd. Het vermogen van de oscillator neemt boven de 20 MHz geleidelijk af. Daarom kon bijvoorbeeld toch nog het DW-station Trincomalee

(Sri Lanka) op 21780 kHz worden ontvangen. Voor het instellen van de ontvangstfrequentie werd het PC-programma DRM.exe ontwikkeld. Dit programma zorgt tevens voor de noodzakelijke kalibratie van de ontvanger. De inbedrijfname is in het kader 'Stap voor stap' gedetailleerd uitgewerkt. Bij de eerste keer dat het programma wordt gestart, moet worden aangegeven welke seriële poort zal worden gebruikt. De standaard toegewezen instelling is COM1, maar dit kan natuurlijk worden aangepast. Deze en andere instellingen worden door een klik op de tab 'Save Setup' opgeslagen in het bestand Init.txt, dat bij elke volgende start van het programma zal worden geladen. Zodra de verbinding correct tot stand is gebracht, kan met de schuifregelaar (**figuur 6**, boven in het venster) de ontvangstfrequentie worden ingesteld. Door op de pijlen aan weerszijden te klikken wordt een 1-kHz-stap uitgevoerd. Een klik in het vakje naast de schuifknop resulteert in een stap van 10 kHz.

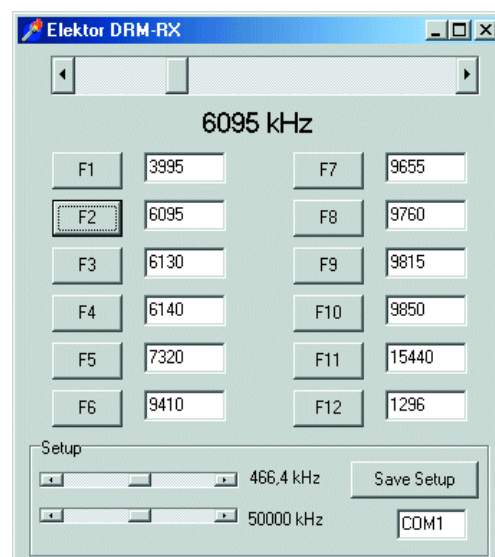
Kalibratie

Een kalibratie van de frequentie is noodzakelijk omdat beide oscillatoren van de ontvanger een bepaalde frequentietolerantie hebben die niet met een trimmer is weg te regelen. In de eerste plaats moet de frequentie van de tweede oscillator (nominaal 467 kHz) worden vastgesteld. Om dit te bereiken moet eerst de ontvangstfrequentie worden ingesteld op 0 kHz (schuifknopje in het venster geheel naar links), waarna de DRM-software wordt gestart. In de hier volgende beschrijving wordt het programma *DRM Software Radio*

Stap voor stap

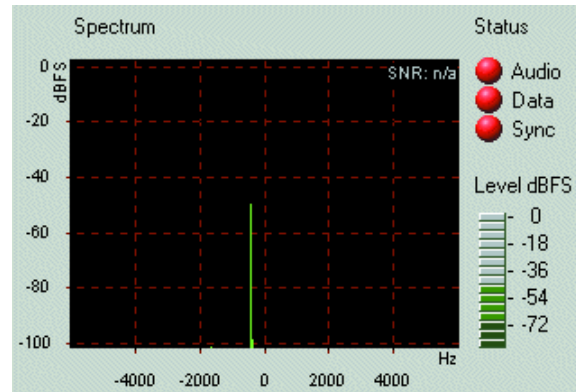
Bij het aansluiten en testen van de ontvanger en de software kan de volgende procedure worden gehanteerd:

1. Verbind de RS232-connector van de ontvanger met een beschikbare COM-poort van de PC via een I:1-kabel (geen gekruiste aders!).
2. Verbind de uitgang van de ontvanger via een afgeschermd audiokabel met de line-ingang van de geluidskaart in de PC.
3. Sluit de voeding aan op de ontvanger en schakel deze in.
4. Start de DRM-software en kies de geluidskaart als bron en doel.
5. Open de Volumeregeling van Windows door te dubbelklikken op het luidspreker-icoon rechtsonder in de taakbalk van Windows.
6. Klik nu op Opties > Eigenschappen > Opnemen.
7. Plaats een vinkje bij Microfoon en bij Lijningang en klik op OK.
8. De Volumeregeling is nu Opnameregeling geworden. Stel de regelaar van de gebruikte ingang in op de juiste sterkte.
9. Activeer opnieuw de Opnameregeling en kies nu Opties > Eigenschappen > Afspelen. Haal nu alle vinkjes weg, met uitzondering van Volumeregeling en Wave. Klik op OK en gebruik de twee regelaars om het volume van de luidsprekers in te stellen.
10. Start nu voor de afstemming van de ontvanger het programma DRM.exe.



Figuur 6. Het Windows-programma DRM.exe, waarmee de ontvanger kan worden afgestemd.

van het Fraunhofer Instituut gebruikt, maar in plaats daarvan kan ook *Dream* worden gebruikt. Zie hiervoor ook het kader 'Decoder-software'. Aan de ontvanger is nog geen antenne aangesloten. In het spectrum (zie **figuur 7**) is nu een enkele spectrale lijn te zien. Deze lijn ontstaat doordat de frequentie van de eerste oscillator precies in de middenfrequent-doorlaat valt en gedeeltelijk door de mixer lekt. De bovenste schuifregelaar in het vak Setup moet nu zo worden ingesteld dat de spectrale lijn in het midden van het spec-



figuur 7. Kalibratie van de middenfrequentie. Hier wordt het programma DRM Software Radio gebruikt (versie 2.034).

Listing I

(gedeelte van het programma VB)

```
Const XTAL = 40000
Const IF1 = 454.3

Private Sub output(Data)
    TXD 0
    Delay 0.1
    DTR 1          ' CE
    Delay 0.1
    BitValue = &H8000&
    For n = 0 To 15
        If (Data And BitValue) >
            0 Then RTS 0 Else RTS 1
            Delay 0.1
            TXD 1          ' clock
            Delay 0.1
            TXD 0
            Delay 0.1
            Delay 0.1
            BitValue = BitValue \ 2
    Next n
    Delay 0.1
    DTR 0
    Delay 0.1
End Sub

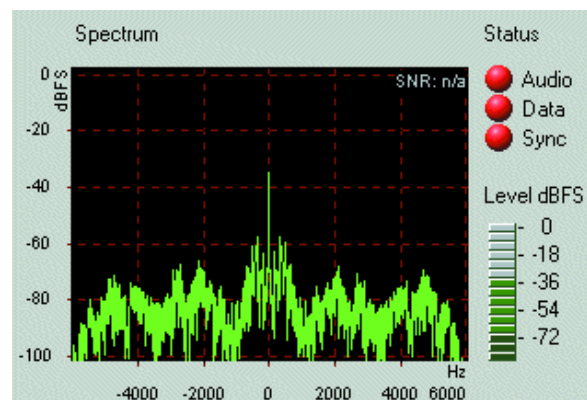
Private Sub LO(freq)
    HScroll1.Value = freq
    Label1.Caption =
        Str$(freq) + " kHz"
    Dim frg As Long
    Dim freqLo As Long
    Dim freqHi As Long
    Dim Daten As Long
    freq=freq+IF1 'add IF1
    frg=Int(freq/XTAL*
        4294967296#)
    freqHi=frg\&H10000
    freqLo=frg-freqHi*&H10000
    freqLoL=freqLo And &HFF
    freqLoH=freqLo\&H100
    freqHiL=freqHi And &HFF
    freqHiH=freqHi \ &H100
    output &HF800& 'Reset
    '4 Bytes to FREQ0
    output(&H3000& + freqLoL)
    output(&H2100& + freqLoH)
    output(&H3200& + freqHiL)
    output(&H2300& + freqHiH)
    output &H8000& 'Sync
    output &HC000& 'Reset end
End Sub
```

trum valt. Het uitgangssignaal van de ontvanger bedraagt dan exact 12 kHz. Het prototype van deze ontvanger had een correcte instelling bij 466,4 kHz. Dat wil zeggen dat de tweede oscillator een afwijking had van 600 Hz naar beneden. Dit wordt nu gecompenseerd door de eerste oscillator met hetzelfde getal te verhogen. Het regelbereik van de kalibratie bedraagt ± 2 kHz.

Opmerking: Als in deze procedure de ontvanger pas wordt ingeschakeld nadat de software al is gestart, dan is de spectrale lijn pas te zien nadat de ontvangstfrequentie opnieuw is ingesteld. Is de lijn dan nog niet te zien, dan is het uitgangssignaal van de ontvanger te klein en moet de microfooningang van de geluidskaart worden gebruikt. Het ruisen van de ontvanger moet eigenlijk onder in het spectrale beeld al zichtbaar zijn. Het kan ook zijn dat de lijn buiten het bereik van het beeld valt. In dat geval moet de schuifregelaar zover worden verstemd dat de lijn weer zichtbaar wordt.

De volgende stap in de kalibratie is het uitmiddelen van de frequentiefout van de kristaloscillator. De kristaloscillator heeft een frequentietolerantie van ± 100 ppm, dus 100 Hz per MHz. Bij een oscillatorfrequentie van 10 MHz kan de afwijking dus oplopen tot 1 kHz. Om deze fout weg te werken moet nu een antenne worden aangesloten en afgestemd op een sterke zender. Voor het afstemmen wordt natuurlijk de bovenste schuifregelaar van DRM.exe gebruikt. Alle DRM-zenders liggen in een zeer nauwkeurig 5-kHz-raster en kunnen als frequentiereferentie worden gebruikt. In **figuur 8** is het spectrum van een 6085-kHz-zender te zien. De onderste schuifregelaar moet nu zo worden ingesteld dat de centrale lijn precies in het midden van het scherm staat.

Theoretisch zou vervolgens de eerste kalibratiestap weer moeten worden herhaald, dan weer de tweede stap enzovoorts. In de praktijk is dat



Figuur 8. Het spectrale beeld van een AM-zender.

Decoder-software

Om de DRM-ontvanger te kunnen afstemmen, wordt het programma DRM.exe gebruikt. Dit programma kan worden gedownload van de Elektuur-website. Maar om het ontvangen signaal te kunnen decoderen is ook nog een software-decoder nodig. Men kan hier kiezen uit twee producten.

Het Fraunhofer Instituut, de ontwikkelaars van de DRM-codering, bieden hun decodeer-software aan voor een prijs van ca. 60 Euro. Dit programma wordt aangeduid met 'DRM Software Radio' en verkeert inmiddels in versie 2.034. Voor de betaling is een Credit Card nodig. De download-informatie en een software-key komen per e-mail. Het programma ondersteunt nu de nieuwe DRM-standaard op basis van de MP4-codering. Deze nieuwe codering is per 15 december 2003 ingevoerd. Bijna alle kortegolf-DRM-stations zenden nu uit in stereo en bereiken met het programma een uitstekende geluidskwaliteit.

Het open-source-project DREAM van Volker Fisher en Alexander Kurpiers, beide van het Institut für Kommunikationstechnologie van de universiteit van Darmstadt, heeft nu het versienummer 1.0. Dit gratis programma wordt alleen als C++ brontekst beschikbaar gesteld. De website is te vinden onder <http://sourceforge.net/projects/drm/>. Wie niet zelf beschikt over een C++-compiler met de bijbehorende bibliotheken, is voor het compileren van dit programma aangewezen op de hulp van een bevriende studie- of vakgenoot. Toch is DREAM_V1.0 een inmiddels serieus te nemen alternatief geworden voor DRM Software Radio. Het programma draait absoluut stabiel en vereist minder rekenkracht dan de eerdere versies. Inmiddels behoort ook het ontvangen van beelden tot de mogelijkheden en kan het programma een log-bestand van ontvangstresultaten bijhouden. DREAM is zeer tolerant voor frequentie-afwijkingen in het ontvangen signaal. Ook is de detectie van conventionele AM-signalen met dit programma mogelijk. Daarmee wordt de DRM-ontvanger dus geschikt om ook de klassieke korte- en middengolfomroep te ontvangen

echter niet nodig, omdat de geringe afwijking van de kristaloscillator slechts voor circa 1% terug te vinden is in de middenfrequentie. Bij een vastgestelde afwijking van 1 kHz bij 50 MHz bedraagt de fout bij 455 kHz nog maar 10 Hz. De DRM-software vereist slechts een afstemnauwkeurigheid van ± 500 Hz.

Na het kalibreren van de oscillatoren

mag niet worden vergeten de gegevens op te slaan. Het programma zal dan, de volgende keer dat het wordt gebruikt, automatisch met deze ingestelde waarden starten. Overigens worden nog enkele andere gegevens opgeslagen, zoals de laatst ontvangen frequentie. Het programma zal bij de volgende start op hetzelfde station terugkomen. Ook

kunnen aan de twaalf functietoetsen stations worden toegewezen. De frequentie en de stationsnaam van elke toets zal dan worden opgeslagen in het setup-bestand.

Aansturing

De aansturing en afstemming door middel van een PC biedt nog een aantal andere mogelijkheden. Zo kunnen bijvoorbeeld de voorkeuzetoetsen worden voorzien van een stationsnaam. Ook is het mogelijk om, gebruik makend van een timer, verschillende radioprogramma's te ontvangen en op te slaan. Bovendien is het mogelijk om met deze DRM-ontvanger metingen te verrichten. Om de dadendrang van de lezer niet te beperken, wordt de aansturing van de ontvanger hier uitgelegd aan de hand van een eenvoudig Visual-Basic-voorbeeld. In **figuur 9** is het venster van een voorbeeldprogramma te zien. Er wordt een schuifregelaar gebruikt voor de afstemming, er zijn twaalf voorkeuzetoetsen en bovendien twee velden waarin de frequentie numeriek kan worden ingetoetst. De kalibratieprocedure is hier niet toegankelijk voor de gebruiker.

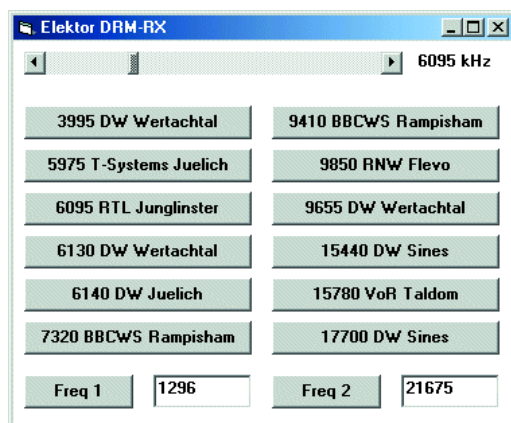
In **listing 1** zijn twee procedures van het programma te zien. Met output (Data) worden telkens 16 bits naar de AD9835 gestuurd. De procedure LO berekent de frequentie en de benodigde registerinstelling van de DDS-chip. De oscillatorfrequentie wordt ingesteld door een 32-bits woord. De stapgrootte van de DDS bedraagt $50 \text{ MHz}/2^{32} = 0,01164 \text{ Hz}$. Meer details betreffende de registers en de adressering zijn te vinden in de datasheet van de AD9835. In het programmavoorbeeld zijn de zeven registers herkenbaar. Een frequentiewaarde wordt opgedeeld in vier bytes en via vier registers (freqLoL...freqHiH) verstuurd.

Boven in de brontekst zijn twee constanten te vinden die bij het kalibreren van de frequentie moeten worden aangepast. De benodigde gegevens zijn af te leiden van de gebruikte ontvanger. XTAL = 50000 staat voor de frequentie van de kristaloscillator. IF1 = 455 representeert de waarde van de eerste middenfrequentie. De aansturing van de RS232-interface gebruikt een software-module die al eerder in [3] is toegelicht.

(030365)

Literatuur:

- [1] H. Weber, *Digital Radio Mondiale*, Elektuur 12/2002
- [2] B. Kainka, *Experimenteren met DRM*, Elektuur 12/2003
- [3] B. Kainka, *Elektronica en Visual Basic*, Elektuur 2002



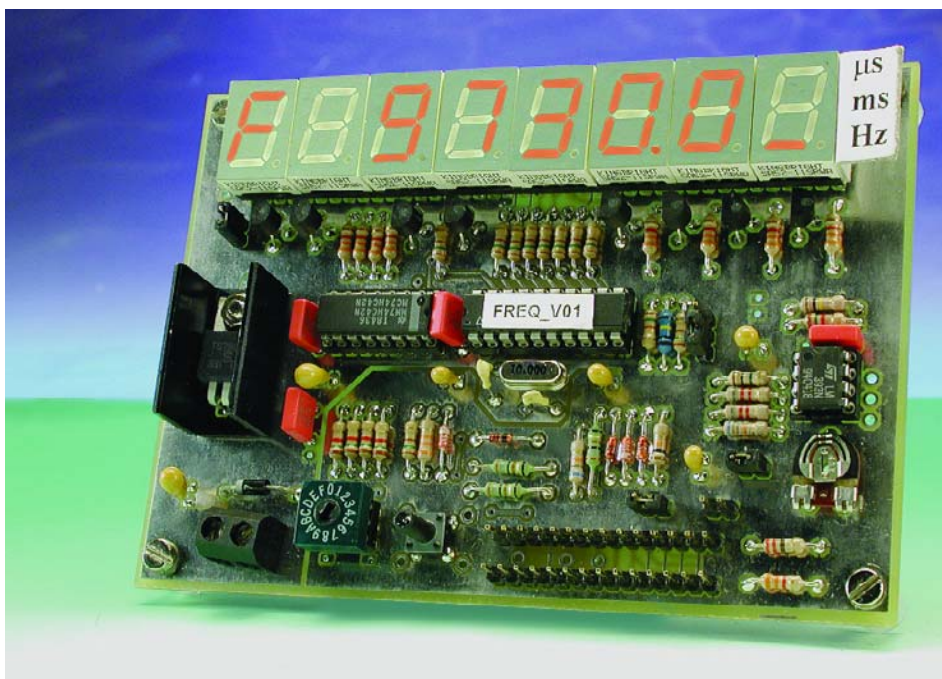
Figuur 9. Het venster van het voorbeeldprogramma gemaakt met Visual Basic.

Universele frequentiemeter

Multi-talent voor tijdmetingen

Reinhard Zenzinger

Deze op een microcontroller gebaseerde frequentie- en pulsteller is gemakkelijk te bedienen en heeft veel gebruiksmogelijkheden. De functionaliteit van het apparaat heeft bij het ontwerp voorop gestaan en de opbouw is vrij eenvoudig. Ook is veel aandacht besteed aan EMC-compatibiliteit.



Een frequentie/pulsteller is een onmisbaar apparaat in iedere elektronica-werkplaats. De fundamentele schakeling van zo'n meetinstrument is eigenlijk vrij eenvoudig. Er bestaan al sinds jaren geïntegreerde schakelingen waarmee frequentie- en tijdmetingen mogelijk zijn, vaak in combinatie met pulstel-

lingen, en die het resultaat op een LED- of LC-display zichtbaar maken. Tegenwoordig zijn frequentiemeters vaak als 'extra' op functiegeneratoren aanwezig en worden dan vaak, in technisch opzicht tenminste, als ondergeschikt behandeld.

Aan welke eisen moet een goede frequentiemeter voldoen? Het belangrijkste is natuurlijk dat hij nauwkeurig moet zijn, zelfs na jarenlang gebruik. Een groot frequentiebereik is ook heel nuttig en de prijs moet liefst laag zijn. Het apparaat moet verder voor een veelheid van meetfuncties geschikt zijn, gemakkelijk te bedienen zijn, een grote gevoeligheid hebben en toch een hoge stoordrempel hebben. Deze eisen zijn niet altijd gemakkelijk met elkaar te combineren en het uiteindelijke resultaat is een zo goed mogelijk gekozen compromis.

Wat heeft de hier voorgestelde frequentiemeter te bieden? Het frequentiebereik van de meter bedraagt DC...4 MHz. Dat lijkt in eerste instantie misschien niet veel, maar het is toch een weloverwogen keuze. Als men geen zendamateur of HF-specialist is, komt het niet vaak voor dat frequenties boven 4 MHz moeten worden gemeten. Verder is het meten van frequenties in hogere mega- of misschien zelfs gigaherzgebieden geen eenvoudige zaak. Er zijn dan speciale voorversterkers en prescalers nodig om het signaal te

Technische gegevens en functies

- Frequentiemeting met drie poorttijden
- Periode-tijdmeting in milli- en microseconden
- Pulsduurmeting op positieve/negatieve flank in milli- en microseconden
- Pulsteller tot 10^7
- Chronometer met tussentijd, resolutie 10 ms
- Display met acht 7-segment LED-displays
- Instelbare pauzetijd 1...5 s of manuele start
- Resolutie 0,1 μ s en 0,1 s
- Maximale frequentie 4 MHz
- Minimaal meetbare pulsduur 1 μ s
- Maximaal meetbare pulsduur 1000 s
- Ingangsspanningsbereik 10 mV...5 V, beveiligd tot 30 V (hogere spanningen met externe spanningsdeler)
- Overflow-indicatie, onderdrukking van leading zero's, waarschuwing bij foutieve metingen

conditioneren en in frequentie omlaag te brengen, voordat het door een microcontroller bewerkbaar is. In het gekozen frequentiebereik is de nauwkeurigheid uitmuntend: de

meetfout bedraagt maximaal slechts ± 100 ppm ± 1 digit. Maar, zoals de naam al zegt, deze universele teller kan meer dan alleen frequenties meten. Hij kan pulstijden met een

minimale duur van 1 μ s meten en puls/perio-detijden tot maximaal 1000 s. Het ingangsspanningsbereik loopt van 10 mV tot 5 V, hogere spanningen zijn mogelijk door externe spanningsdelers. (Door gebruik te maken van externe prescalers kunnen natuurlijk ook frequenties hoger dan 4 MHz worden gemeten.) Voor de keuze van de meetfunctie is een BCD-draaischakelaar aanwezig met 16 standen en het meetresultaat wordt op een acht karakters tellend display weergegeven. Een overzicht van alle functies en bijzonderheden staat in de tabel.

De controller en wat daarbij hoort

Het schema in **figuur 1** is zo overzichtelijk dat een blokschema van de universele teller overbodig zou zijn. De verschillende functiegroepen om de controller (display, schakelaar voor de functiekeuze, signaalverwerking en de voeding) zijn gemakkelijk te herkennen. Laten we het eerst eens over de schakeling zelf hebben, daarna komen de meetmogelijkheden en de software aan de orde.

S2	LED-display								Functie
	7	6	5	4	3	2	1	0	
0	—	—	—	—	—	—	—	—	Geen (reserve)
1	8.	8.	8.	8.	8.	8.	8.	8.	Alle segmenten en DP worden getoond
2		W6	W5	W4	W3	W2.	W1	—	Pulsduurmeting positieve pulsen in microseconden
3		W6	W5	W4	W3	W2.	W1	—	Pulsduurmeting positieve pulsen in milliseconden
4		W6	W5	W4	W3	W2.	W1	—	Pulsduurmeting negatieve pulsen in microseconden
5		W6	W5	W4	W3	W2.	W1	—	Pulsduurmeting negatieve pulsen in milliseconden
6		W6	W5	W4	W3	W2.	W1	—	Periode-tijdmeting in microseconden
7		W6	W5	W4	W3	W2.	W1	—	Periode-tijdmeting in milliseconden
8		W6	W5	W4	W3	W2	W1	0	Frequentiemeting, poorttijd 0,1 s
9		W6	W5	W4	W3	W2	W1	—	Frequentiemeting, poorttijd 1,0 s
10		W6	W5	W4	W3	W2.	W1	—	Frequentiemeting, poorttijd 10,0 s
11		W6	W5	W4	W3	W2	W1	.	Pulsteller 7-cijferig
12		W6	W5	W4	W3.	W2	W1	.	Chronometerfunctie met tussentijd, resolutie s/100
13	—	—	—	—	—	—	—	—	Geen (reserve)
14		C	F	C	—	1..5	—		Instelling wachttijd voor aanvang volgende meting (1...5 s) manuele start
15		C	F	C	—				Instelling telflank positief/negatief

W6...W1: meet- of telwaarde

Bij een meet/telwaarde met >6 cijfers wordt de zevende automatisch als meetwaarde display gebruikt. De functie wordt dan niet meer getoond

Display 7 knippert tijdens de meting

Decimale punt van display 7 geeft overflow/grenswaarde aan

Centraal in de schakeling staat de AT90S2313-microcontroller van Atmel. De klokfrequentie bedraagt 10 MHz. Er zijn twee poorten met in totaal 15 I/O-lijnen beschikbaar, die vrij configureerbaar zijn. Poort B is als uitgang ingesteld en dient voor de aansturing van de segmenten van acht 7-segment displays. Poort D wordt gemengd gebruikt. Afhankelijk van het gebruik en de gekozen functie kunnen sommige lijnen individueel als ingang of als uitgang zijn ingesteld. Alleen PD0 en PD4 zijn altijd als ingang ingesteld met actieve pullup-weerstanden (ongeveer 50 k Ω). PD1...PD3 zijn alleen na een reset of omschakeling naar een andere functie als ingang ingesteld. Tijdens normaal bedrijf zijn ze uitgang voor de sturing van het display. PD5 en PD6 zijn als ingang ingesteld, zonder pullup-weerstand. Hier is het echter noodzakelijk dat PD5 en PD6 bij open ingang laag zijn. Daarvoor dient R9. Verder zijn PD5 en PD6 parallel geschakeld (via beveiligingsweerstand R15/R12). De reden: PD5 stuurt direct de interne timer/counter aan, helemaal los van de programmaloop. Dat is met name bij hogere frequenties belangrijk. PD6 genereert een interrupt en reageert daardoor direct op het ingangssignaal. Dat is een vereiste bij korte signalen in periode/pulsmeting-mode.

In klok-mode worden PD5 en PD6 als uitgang ingesteld. Door R12 en R15 wordt dan de stroom begrensd.

Signaalverwerking

Voor de verbinding tussen de meetingang en de externe signaalbronnen is een 14-polige printhead (K2) aanwezig. Via K2.6 bereikt het meetsignaal de meetversterker. R11 zorgt er voor dat de ingang normaal laag is en door de Schottky-diodes D5/D6 wordt de ingang beveiligd tegen te hoge spanningen tot maximaal 30 V. Er is geen zenerdiode gebruikt, omdat daardoor de flanksteilheid van het signaal (= hoge frequenties) wordt verslechterd. Als op JP1 links een jumper aanwezig is, gaat het signaal direct naar pen 9 en 11 van de microcontroller. Dat is noodzakelijk als het een TTL-compatibel (0/5 V) signaal betreft, waarvan de frequentie te hoog is voor de comparator. Met de jumper rechts op JP1 is de comparator tussengeschaakeld. Dan is de signaalweg via R19 en R21 naar de niet-inverterende ingang van de comparator LM393 (IC3a). Op de inverterende ingang van de comparator staat een drempelspanning van ongeveer 2 V die afkomstig is van spanningsdeler R17/R18. Als de ingangsspanning (op pen 3) hoger is dan deze drempelspanning, klappt de uitgang van de comparator om en worden PD5 en PD6 van de microcontrol-

ler hoog. R23 zorgt voor een kleine hysteresis in het gedrag van de comparator, zodat ook bij signalen met lage flanksteilheid geen oscillaties optreden.

Tot nu toe is aangenomen dat de jumpers JP2...4 niet aanwezig zijn en dat alleen aansluiting K2.6 is gebruikt. Door jumper JP4 te plaatsen wordt spanningsdeler R16/P1/R14 actief. De weerstandswaarden daarvan zijn veel lager dan die van R17/R18, zodat de laatste vrijwel geen invloed meer heeft. De drempelspanning op de inverterende ingang van de comparator is nu instelbaar met P1. Met de aangegeven weerstandswaarden bedraagt het instelbereik ongeveer 10 mV tot 3,7 V, een bereik dat met een LM339 op 5 V voedingsspanning haalbaar is. In plaats van instelpotentiometer P1 kan natuurlijk ook een gewone potmeter worden gebruikt, die op het bedieningspaneel van het apparaat wordt gemonteerd. Dan is de drempelwaarde van buiten af instelbaar. De potmeter wordt aangesloten op K2.9, 10 en 11. De instelpotmeter wordt dan natuurlijk niet gemonteerd.

Door jumper JP2 te plaatsen - of als alternatief K2.12 met massa te verbinden (K2.4 en K2.14) - wordt een extra ingangsspanningsdeler actief (R13 + R19/R20), waardoor het signaal wordt gehalveerd. Bij toepassing van een externe voorschakelweerstand kunnen ook hogere spanningen worden gemeten.

Door jumper JP3 tenslotte (of door K2.13 met massa te verbinden) wordt condensator C9 ingeschakeld. Aan de ingang bevindt zich dan een laagdoorlaatfilter, zodat ook signalen met sterke rimpel of contactdender (schakelaars, relais e.d.) betrouwbaar kunnen worden gemeten.

Behalve meetingang K2.6 zijn er nog twee verbindingen van K2 naar de microcontroller. K2.3 is een digitale sturingang die is aangesloten op PD.4. Deze ingang die door R10 en zenerdiode D4 wordt beveiligd, kan voor extra functies worden gebruikt. C7 is aanwezig om dender van een eventueel extern schakelcontact onschadelijk te maken.

Druktoets S1 is de reset- respectievelijk de startknop. Voor de ontddering dienen R1 en C10 en door R3 wordt de schakelstroom begrensd.

Als optie kan aan K2.1 (en massa) een externe drukknop worden aangesloten. Deze aansluiting is door R2/D3 tegen spanningen tot 30 V beveiligd.

Met BCD-schakelaar S2 wordt de meetfunctie gekozen. De vier lijnen A...D zijn verbonden met PD0...PD3 van de controller. PD1...PD3 hebben dubbelfuncties; tijdens bedrijf zijn ze als uitgangen ingesteld voor de multiplexsturing van de displays. Van daar ook dat R4...R7 zijn opgenomen om kortsluiting door de BCD-schakelaar te voorkomen.

Display

De drie BCD-lijnen worden door een 74HCT42 gedecodeerd naar een decimale waarde. De transistoren T1...T8 sturen de (gemeenschappelijke) anodes van het acht posities tellende display na elkaar aan. Iedere transistor schakelt maximaal circa 160 mA met een frequentie van ongeveer 80 Hz. De uitschakeltijd van deze transistoren moet vrij kort zijn (< 1 μ s), anders is op het display een storend nalichteffect te zien. In de software is hiermee rekening gehouden, zodat men ook 'normale' transistoren kan toepassen.

Alle gelijknamige segmenten van de acht displays zijn parallel geschakeld en worden direct door poort B van de controller gestuurd. R40...R47 begrenzen de stroom door de LED-segmenten en controller-uitgangen.

Voeding

Op printkroonsteen K1 wordt de voedingsspanning (8...12 V_{DC}) aangesloten. D1 dient als ompoolbeveiliging. Normaal gesproken is voor spanningsstabilisator 7805 (1 A) geen koelvin nodig en is het massavlak op de print voldoende, maar bij hogere voedingsspanningen (tot 15 V) is een koellichaam wel noodzakelijk. C1, C2 en C3 zijn de standaardcondensatoren bij de 7805. D2 is opgenomen om de spanning te begrenzen tot 5,6 V in het geval dat de overspanningsbeveiliging van de meetingang in werking treedt door een uitzonderlijk hoge ingangsspanning. Alle IC's zijn trouwens apart ontkoppeld door C4...C6.

Op de print lopen aparte voedingbanen voor de LED's om eventuele sto-

ringen door het multiplexen te voorkomen. De schakelstromen kunnen immers tot 160 mA bedragen. In eerste instantie zijn C13 en C14 niet nodig, alleen bij grote spanningsrimpel op K1 moeten ze worden opgenomen.

Gebruik van de meter

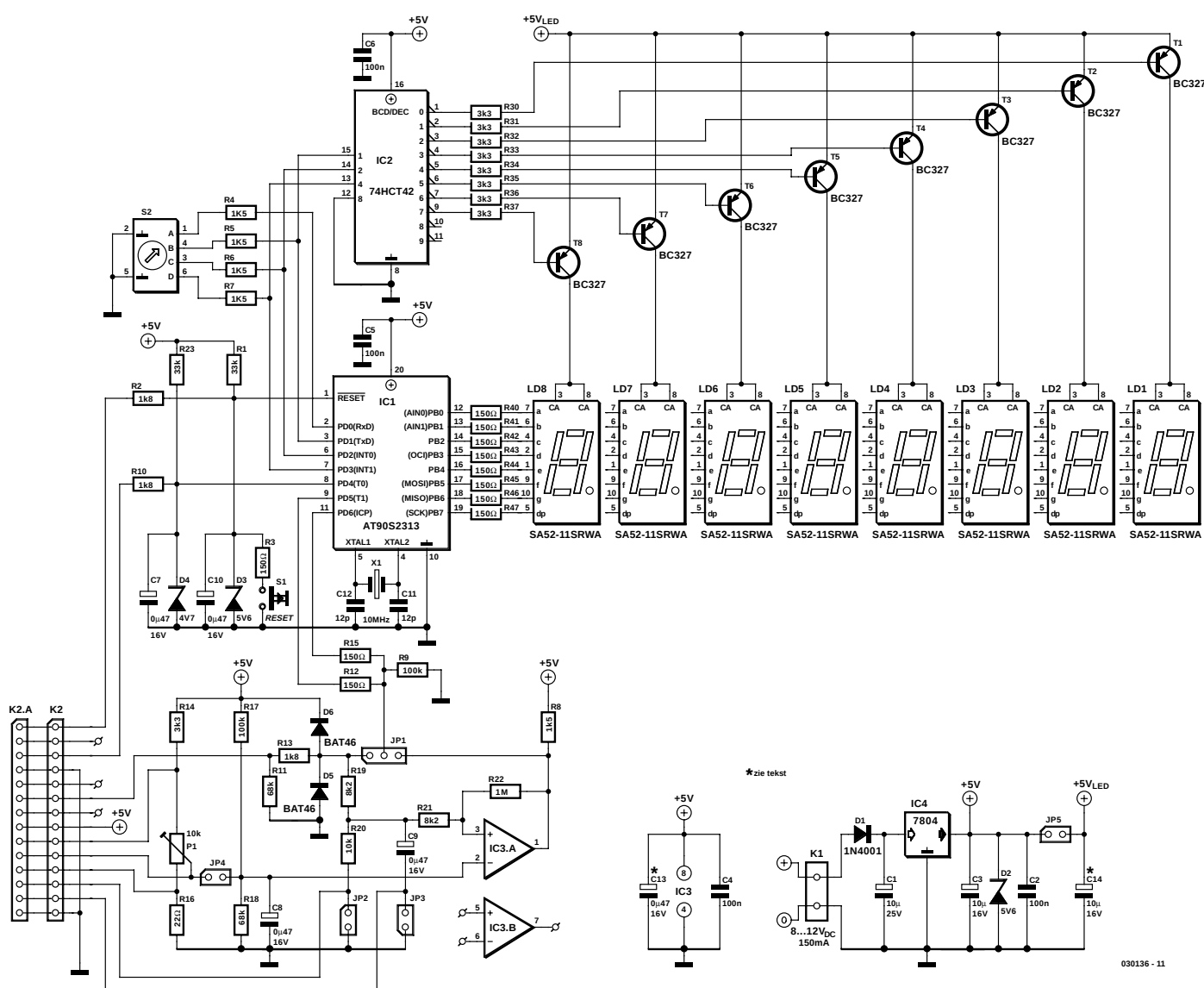
Hoewel de materiaalkosten van de universele frequentiemeter vrij laag zijn, is het apparaat prettig te bedienen en heeft het een goed afleesbaar display met acht 7-segment displays. Er zijn elf meetfuncties en drie extra functies (instellingen), die met de BCD-schakelaar op ieder moment kunnen worden gekozen. **Tabel 2** geeft een overzicht van de functies.

Bij power-on worden de standaard instellingen geladen (pauzetijd = 3 s, opgaande telflank). Deze standaard instellingen kunnen desgewenst met de BCD-schakelaar in stand CONFIG1 of CONFIG2 worden veranderd. Daartoe kiest men de desbetreffende stand en drukt zoveel keer op de reset-toets tot de gewenste instelling verschijnt. Daarna wordt de gewenste functie gekozen. Na iedere functieverandering wordt direct een nieuwe meting gestart. Tijdens het wachten op de triggering en tijdens de meting knippert display 7. Na afloop van de meting gaat de decimale punt van display 0 even kort branden (zie tabel 2). Zo ziet de gebruiker het verloop van de meting, dat is nuttig bij korte metingen en

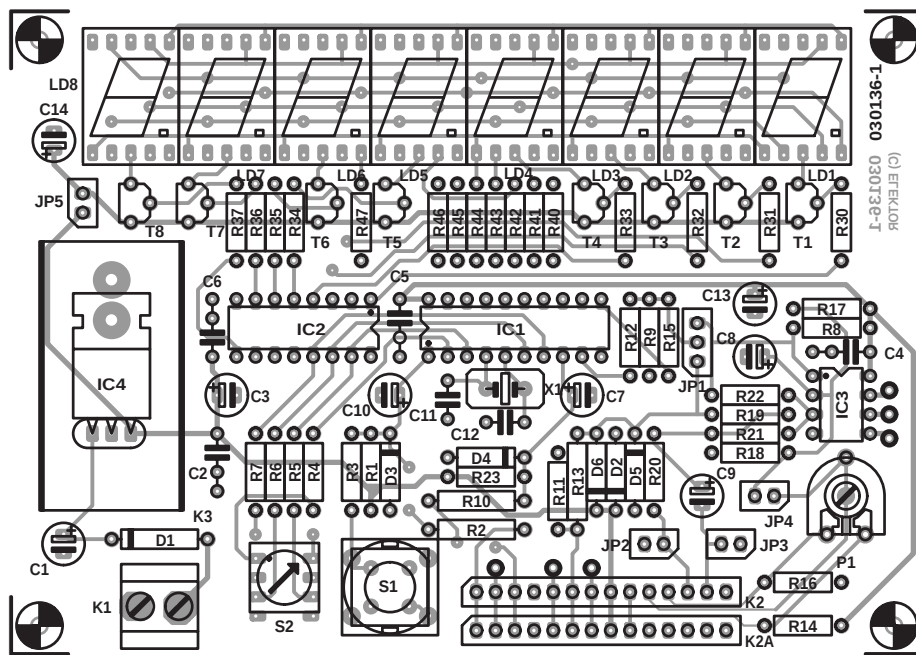
display-refresh na afloop van een meting. Afhankelijk van de instellingen van CONFIG1 wordt na een wachttijd automatisch een nieuwe meting gestart. Deze wachttijd is instelbaar tussen 1...5 s, maar het is ook mogelijk om een nieuwe meting manueel te starten.

Met de aparte poortingang K2.3 (PD.4) zijn enkele extra functies mogelijk, bijvoorbeeld een tussenaflezing tijdens de frequentiemeting of pulsmeting. Als deze ingang met massa wordt verbonden, wordt de meetwaarde alleen na afloop van de meting op het display gezet, waardoor tijdens de meting ook de vorige meetwaarde afleesbaar blijft. Deze poort-ingang maakt ook een start-stop-reset chronometer-bedrijf mogelijk.

De decimale punt van display 7 gaat branden bij een 'overflow'. Normaal worden voor de weergave van de meetwaarde de displays 1



Figuur 1. De overzichtelijke schakeling van de frequentiemeter, met centraal de microcontroller.



Figuur 2. De dubbelzijdige print maakt een compacte opbouw van de universele frequentiemeter mogelijk.

t/m 6 gebruikt, maar als dat (voor de weergave van de meetwaarde) nodig is, wordt ook display 7 gebruikt. De functie-aanduiding verdwijnt dan. Als er dan nog sprake is van overflow, gaat de decimale punt van display 7 knipperen. Deze overflow-indicatie wordt ook actief bij pulsen die te kort zijn om te meten ($< 1,6 \mu\text{s}$) en bij hoge frequenties ($> 300 \text{ kHz}$). Dan dient de indicatie als waarschuwing. Door de software worden 'leading zero's' automatisch onderdrukt. Alleen in de mode 'Display verversen na afloop van meting' zijn niet-significante nullen op het display zichtbaar, na de meting verdwijnen ze. Ze blijven zichtbaar als volgende metingen kleiner zijn (en kunnen worden gewist door een reset). Bij tussenaflezing (bevrozen van het display met de aparte ingang) zijn leading zero's wel zichtbaar. Na 'vrijgave' is op het display (bij bijv. chronometer of pulsteller) direct weer de actuele waarde te zien.

Funcities

Met de functies pulsmeting en periodemeting worden respectievelijk pulstijden en periodetijden gemeten. Op display 0 verschijnt het symbool voor ' μs ' of ' ms ' en op display 7 het symbool voor de functie. Op display 2 verschijnt de decimale punt. Na de start van de meting wordt gewacht op de eerstvolgende actieve flank (afhankelijk van de instelling). Bij periodemetingen wordt altijd op de positieve flank getriggert. Zonodig kan de scha-

keldrempel via de comparator worden ingesteld. Dat is met name nodig als hetingangssignaal niet rechthoekig is.

Bij de frequentiemeting kunnen poorttijden van 0,1 s; 1 s en 10 s worden gekozen. Op display 0 verschijnt het symbool voor 'Hz' en op display 7 een 'F' (Frequentie). Als de poorttijd 10 s bedraagt, verschijnt op display 2 een decimale punt, bij een poorttijd van 0,1 s staat op display 0 een '0'.

In de functie als pulsteller brandt op display 0 de decimale punt en display 7 geeft aan of positieve of negatieve flanken worden geteld. De flankrichting kan met CONFIG2 worden ingesteld, standaard is die positief. Er kunnen pulsen met een herhalingsfrequentie tot 4 MHz worden geteld. Een tussenaflezing is mogelijk door de poortingang laag te maken. Dan gaat ter indicatie DP0 knipperen.

De chronometer heeft een resolutie van $1/100 \text{ s}$. Voor de sturing (start, tussenaflezing, reset) wordt een contact of drukknop op K2.3 aangesloten. In eerste instantie staat op het display de waarde 0,00 s. Op display 0 staat het symbool voor 's' en op display 7 een 'C' (Clock). Na een korte druk op de knop gaat de timer

Onderdelenlijst

Weerstanden:

R1, R23 = 33 k
R2, R10, R13 = 1 k Ω
R3, R12, R15, R40...R47 = 150 Ω
R4...R8 = 1 k Ω
R9, R17 = 100 k
R11, R18 = 68 k
R14, R30...R37 = 3 k Ω
R16 = 22 Ω
R19, R21 = 8 k Ω
R20 = 10 k
R22 = 1 M
P1 = instelpotmeter 10 k liggend (met steekas*)

Condensatoren:

C1 = 10 $\mu\text{F}/25 \text{ V}$ radiaal (evt. tantaal)
C3 = 10 $\mu\text{F}/16 \text{ V}$ radiaal (evt. tantaal)
C2, C4, C5, C6 = 100 n
C7...C10 = 0,47 $\mu\text{F}/16 \text{ V}$ radiaal (evt. tantaal)
C11, C12 = 22 p
C13, C14 = 10 $\mu\text{F}/16 \text{ V}$ radiaal (evt. tantaal) (alleen indien nodig)

Halfgeleiders:

D1 = 1N4001
D2, D3 = zenerdiode 5V6/500 mW
D4 = zenerdiode 4V7/500 mW
D5, D6 = BAT46
T1...T8 = BC327-25
IC1 = AT90S2313-10PC (geprogrammeerd, EPS 030136-41)
IC2 = 74HCT42 of 74HC42
IC3 = LM393 (8-polig DIL)
IC4 = 7805 (TO-220)

Diversen:

JP1 = 3-polige printhead
JP2...JP5 = 2-polige printhead
K1 = 2-polige printkroonsteen, RM5
K2, K2A = 14-polige SIL-printhead
S1 = drukknop 1 x maak (klein model)
S2 = BCD-schakelaar (16 standen)
X1 = kristal 10 MHz
LD1...LD8 = SA52-1 ISRWA (Kingbright)
Koelplaatje voor IC4 (U25, 30 K/W)
Print EPS 030136-1 (zie Servicepagina's)
Floppy met source- en hex-code: EPS 030136-11

Print-layout en software zijn ook beschikbaar op www.elektuur.nl

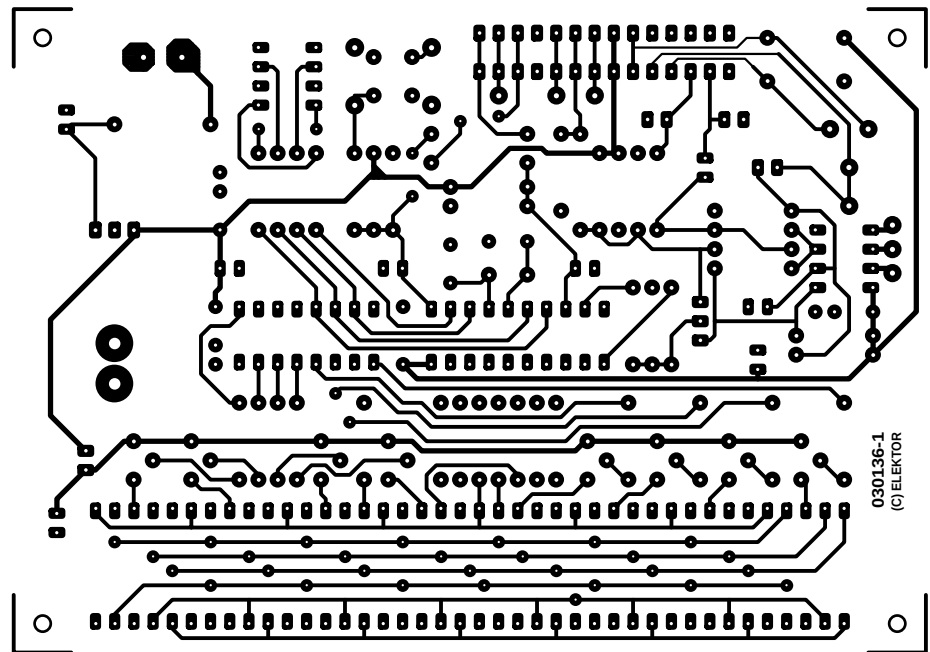
lopen. DP0 is nu uitgeschakeld. Een stop- of tussentijd kan steeds worden geregistreerd door een korte druk op de knop. De aflezing bevriest dan en DP0 knippert ter aanduiding van een lopende meting. Door weer even kort op de knop te drukken loopt het display verder met de dan geldige timer-waarde en DP0 brandt weer continu. Deze procedure kan steeds worden herhaald. De chronometer wordt teruggezet door de knop langer in te drukken (>2 s) of door op de reset-toets te drukken.

Op- en inbouw

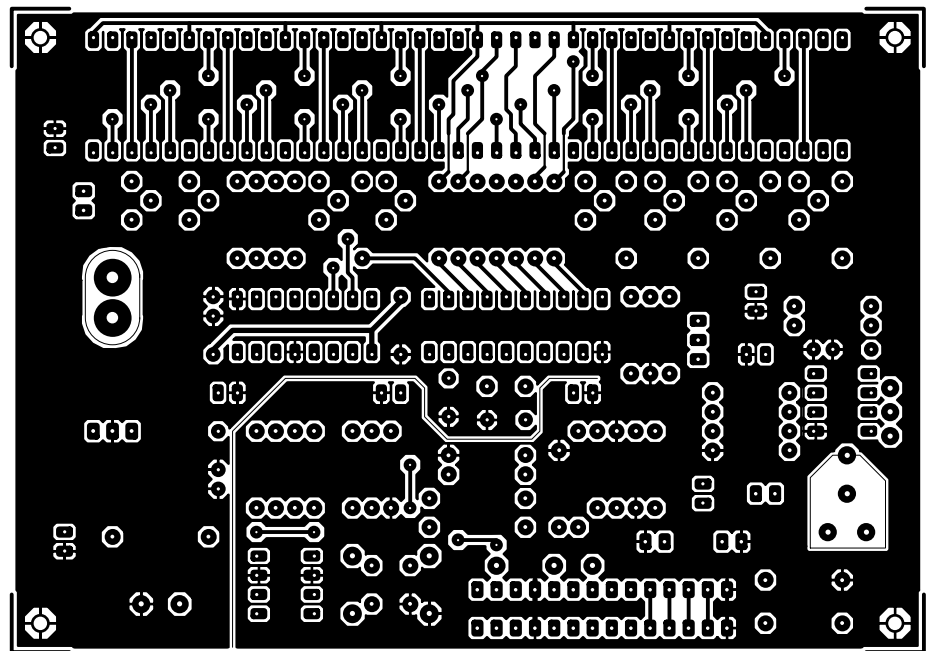
In **figuur 2** is de dubbelzijdige print voor de universele teller te zien. De print is vrij klein, maar toch worden er geen SMD's gebruikt; alleen onderdelen met normale aansluitdraden. Het opbouwen zal daarom geen problemen hoeven op te leveren. Belangrijk is wel dat, waar nodig, op de juiste polariteit van onderdelen wordt gelet en dat voor de IC's voetjes van goede kwaliteit worden gebruikt.

Het is altijd verstandig om een pas opgebouwde print goed na te kijken. Gebruik van een vergrootglas bij twijfelgevallen - controle van een soldeerlas of een ongewilde draadbrug - kan veel zoekwerk besparen. De IC's en de LED-displays worden in dit stadium nog niet gemonteerd. Eerst wordt een voedingspanning van circa 8 V aangesloten (liefst met stroombegrenzing) en wordt gecontroleerd of op de daarvoor bestemde punten spanning staat. Ook kan meteen de beveiliging van de ingangen tegen overspanning worden getest.

Als alles in orde is, kunnen de displays worden geplaatst en kan worden gecontroleerd of alle segmenten naar behoren werken. Dat gaat eenvoudig met twee stukjes draad. Met het ene draadje wordt bij het decoder-voetje (IC2) pen 1 met massa verbonden, dan worden bij het voetje voor de microcontroller na elkaar alle segmentaansluitingen (pen 12 t/m 19) met massa verbonden. De procedure wordt voor de displays 2..8 herhaald door de bijbehorende decoder-aansluitingen 2...7, 9 met massa te verbinden. Als ook deze test goed is verlopen, dan zijn de displays en anode-drivers



soldeerzijde



componentenzijde

(T1...T8) in orde en kunnen de IC's in de voetjes worden gedrukt. Let daarbij op de positie van pen 1.

Tot slot worden alle functies getest. De nauwkeurigheid van het apparaat wordt bepaald door de precisie van de kristaloscillator. Zonodig kan de frequentie iets worden bijgesteld door de waarden van C11 en C12 te veranderen.

De op deze wijze opgebouwde print is prima 'op zichzelf' te gebruiken. Door in de bevestigingsgaten een

paar afstandsbusen te schroeven (plakvoetjes zijn misschien nog handiger) kan de print stevig op het werkblad staan en na aansluiting van een netstekervoeding (8...12 V_{DC}, 300 mA) op K1 is het apparaat al bedrijfsklaar. Als men de print in een kastje wil inbouwen, moeten natuurlijk de bedieningselementen van de print naar de frontplaat worden verplaatst. Gebruik van een kuststof kastje met een transparant deksel bespaart veel werk; de uitsparing voor het display kan dan namelijk achterwege blijven. Dit soort kastjes worden door diverse fabrikanten aangeboden.

Zelf programmeren

De controller is geprogrammeerd verkrijgbaar (zie de Service-pagina's in dit blad). Wie liever zelf programmeert, kan de broncode en het HEX-bestand downloaden van www.elektuur.nl of deze op diskette bestellen (EPS 030136-11). Voor zelfprogrammeerders is het volgende van belang:

LB1 = 1 (ongeprogrammeerd)
 LB2 = 1 (ongeprogrammeerd)
 SPIEN = 0 (default, seriële programmering mogelijk)
 FSTRT = 1 (default)

Als men er niet tegen op ziet om een uitsparing voor het display te maken, is het nodig om de displays met behulp van tussenstukken verhoogd op te stellen. Daarvoor zijn enkelrijige printheaders met ronde pennen en buscontacten prima geschikt. De print wordt met vier afstandstukken tegen de frontplaat bevestigd, waarbij de as van schakelaar S2 boven de frontplaat uitsteekt. Voor reset-toets S1 moet een groter gat worden geboord. Op de betekenis van de jumpers JP2...JP4

hoeven we niet meer in te gaan. Er zijn miniatuur schakelaars verkrijgbaar, die zonder meer op de print passen in plaats van de genoemde printheaders. Verder zijn alle jumperaansluitingen ook beschikbaar op de dubbel uitgevoerde printhead K2/K2A (gelijke penbezetting), waardoor gebruik van schakelaars met schroefbevestiging probleemloos mogelijk is. Iets dergelijks geldt ook voor de potmeter: Als een type met uitstekende as wordt gebruikt, of een gat in de frontplaat wordt geboord om de potmeter met een schroeven-draaiert te kunnen verdraaien, dan vervalt de noodzaak voor een externe potmeter op K2/K2A.

De poortingang wordt op een drukknop aangesloten. Door op de knop te drukken wordt hij dan met massa verbonden. Parallel aan de drukknop komen twee ingangsbussen. De poortingang kan dan naar keuze met de hand of elektronisch worden bediend. Voor de meetingang raden we een BNC-chassisdeel aan.

Over storing

De ingangsweerstand van de schakeling is vrij hoog. Afhankelijk van de instelling van de jumpers bedraagt deze 15...65 k Ω . Bij gebruik van lange aansluitsnoeren en/of een omgeving met veel storing kunnen ongewenste 50-Hz-signalen worden opgevangen en op het display verschijnen (bijv. bij dimmers met faseaansnijding). Het is wel leuk dat de netfrequentie zo zonder enige moeite potentiaalvrij kan worden gemeten, maar het is toch beter om eenduidige omstandigheden te scheppen. Vanwege de vrij hoge meetfrequentie tot 4 MHz, kunnen op de ingang geen dempingscondensatoren worden aangesloten. Houd daarom de volgende regels voor gebruik in acht: De signaalbronnen moeten bij voorkeur laagohmig zijn en lange snoeren moeten zijn afgeschermd. Gebruik zo nodig een afsluitweerstand (< 10 k Ω) aan de ingang.

(030136)

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.

AVR450-acculader

Neusje van de zalm op het gebied van laadtechniek

Sjef van Rooij

Dit AVR450-referentieboard heeft zo ongeveer alles te bieden wat je maar van een acculader zou mogen verwachten. Op een en hetzelfde board kunnen met dezelfde hardware in feite een hele reeks verschillende laders worden gerealiseerd, door alleen de microcontroller anders te programmeren. Uniek is bovendien dat de configuratie geschikt is voor zowel Li-ion-, NiMH-, NiCd- als loodaccu's.

Features

- Zeer complete lader
- Modulaire 'C'-broncode en uiterst compacte assemblycode
- Goedkoop
- Ondersteunt alle gangbare accutypen
- Snellaad-algoritme
- Hoge meetnauwkeurigheid door 10-bit A/D-converter
- Optionele seriële interface
- Eenvoudige aanpassing van laadparameters
- EEPROM voor opslag van accukarakteristieken

Het door Atmel geïntroduceerde AVR450-board bevat twee afzonderlijke laadcircuits, waarvan het ene is opgebouwd met de AT90S4433 en het andere met de goedkope 8-pens ATtiny15. Maar er kunnen ook andere AVR-microcontrollers worden toegepast, mits voorzien van A/D-converter, PWM-uitgang en genoeg programmeergeheugen om de gewenste laad-algoritmes op te slaan. De onverminderd verdergaande ontwikkelingen in de accu-technologie vragen om steeds verfijndere algoritmes om snel en veilig laden

mogelijk te maken. Bij het bewaken van het laadproces is een hogere nauwkeurigheid vereist om de laadtijd te bekorten en altijd de maximum celcapaciteit te benutten zonder de cellen te beschadigen.

De AVR-microcontrollers van Atmel zijn uiterst efficiënte 8-bit RISC-typen en bieden Flash, EEPROM en een 10-bit A/D-converter in één chip. Het EEPROM-geheugen leent zich perfect voor het opslaan van kalibratie-data en accu-karakteristieken. Bovendien maakt het de permanente opslag van de laadhistorie van de cellen in kwestie mogelijk, zodat de capaciteit optimaal kan worden benut. De 10-bit A/D-converter zorgt voor een zeer goede resolutie bij de metingen, waardoor het laadgedrag exact kan worden afgestemd op de cellen en geen externe opamp nodig is als spanningsvergelijker.

De 8-bit AVR-microcontrollers bieden verder het voordeel dat ze ontworpen zijn voor hogere programmeertalen als 'C'. Het referentie-ontwerp voor de AT90S4433 is dan ook geheel

in 'C' geschreven. Het referentie-ontwerp voor de ATtiny15 is geschreven in assembly om maximale code-dichtheid te bereiken.

De beide laadcircuits zijn uiteraard nogal verschillend qua specificatie. Zo kan de AT90S4433 gebruikt worden voor spanning- en temperatuur-bewaking met een UART PC-interface voor data-logging. Het ATtiny15-ontwerp biedt weer het voordeel dat het een van de sterkst geïntegreerde en tegelijk goedkoopste laadcircuits is die vandaag de dag beschikbaar zijn. In **tabel 1** zijn de verschillen tussen beide schakelingen op een rijtje gezet.

Verschillende accutypen

In consumentenelektronica worden vier typen oplaadbare cellen toegepast: Lithium-Ion (Li-ion), Nikkel-Metaal-Hydride (NiMH), Nikkel-Cadmium (NiCd) en gesloten loodaccu's (Pb).

Hoewel de laad-algoritmes van de diverse typen accu's zeer verschil-

Tabel 1. Verschillen tussen de twee laadcircuits

	AT90S4433	ATtiny15
Programmeertaal	C	Assembly
Code-grootte	ca. 1,5 Kbyte	<350 byte
Stroommeting	externe opamp	interne verschiltrap
PWM-frequentie	14 kHz, 8-bit resolutie	100 kHz, 8-bit resolutie
Klok	extern kristal 7,3 MHz	interne RC-osc. 1,6 MHz
Seriële interface	ja	nee
In-system programmeren	ja	ja

lend zijn, geldt voor moderne snel-laders (laadtijd 3 uur of minder) dat ze zonder uitzondering een nauwkeurige meting van de celspanning, laadstroom en celtemperatuur vereisen, om de cellen volledig te kunnen laden zonder het risico van overlading of beschadiging van de cellen. We laten hieronder de vier accutypen even de revue passeren.

Pb-accu's worden met een constante spanning geladen, waarbij een stroombegrenzing voor beveiliging tegen oververhitting zorgt in de eerste fase van het laadproces. Pb-accu's kunnen in principe oneindig lang worden geladen, zolang de celspanning niet boven het door de fabrikant gespecificeerde maximum komt (meestal 2,2 V per cel).

NiCd-cellen worden met een constante stroom geladen. Bij het ontladen van een accu-pack kan het gebeuren dat een van de in serie geschakelde cellen wordt omgepoold. Om beschadiging te vermijden, moet de celspanning dan ook nauwkeurig worden bewaakt en dient de stroomafname te worden beëindigd als de celspanning onder de 1,0 V daalt.

NiMH-cellen worden tegenwoordig zo ongeveer het meest toegepast en hebben een hogere energiedichtheid dan NiCd-accu's. Ze worden net als NiCd's geladen met een constante stroom, maar zijn gevoelig voor overlading en daarom is het hierbij zaak dat de celspanning tijdens het laden zeer nauwkeurig wordt bewaakt. Ook NiMH's kunnen beschadigd raken door ompoling.

Li-ion-cellen hebben de hoogste energiedichtheid en worden evenals Pb-accu's geladen met een con-

stante spanning. Ook hier fungeert een stroombegrenzing als beveiliging tegen oververhitting tijdens het begin van het laadproces. Het laden wordt gestopt als de laadstroom onder een bepaalde waarde daalt. Li-ion-cellen zijn gevoelig voor overlading en kunnen in extreme gevallen zelfs exploderen.

Laadmethode

De maximale laadstroom is altijd afhankelijk van de capaciteit (C) van het type accu in kwestie. Als een accu wordt geladen met een stroom ter grootte van 1C (één maal de accucapaciteit in mAh), dan is hij in een uur vol. Druppelladen gebeurt vaak met een (ongevaarlijke) stroom van C/40, oftewel de capaciteit van de accu gedeeld door 40.

Er dient rekening mee te worden gehouden dat als de accu eenmaal vol is, alle aan de accu toegevoerde laadstroom wordt omgezet in thermische energie. Bij een snellader leidt dat al gauw tot een behoorlijke opwarming van de accu, hetgeen onvermijdelijk in beschadiging resulteert als de laadstroom niet wordt uitgeschakeld. Temperatuurbeveiliging is in een snellader dus van levensbelang.

Afhankelijk van het type cel en de toepassingsomstandigheden, zijn er verschillende manieren om te bepalen of een cel vol is of dat de laadstroom om andere redenen moet worden uitgeschakeld. Bij de AVR450 wordt in eerste instantie gebruik gemaakt van de bekende spanningsval die optreedt aan het eind van het laadproces ($-dV/dt$), terwijl de temperatuur en de absolute

spanning als secundair criterium dienen. Maar de hardware ondersteunt alle hieronder opgesomde methoden:

t - tijd Een van de simpelste methoden om het laadproces tijdig te beëindigen. Bij snelladers wordt een timer vaak als extra beveiliging gebruikt. Bij normale laders (14 tot 16 uur laadtijd) vormt dit de meest gebruikelijke methode. Toepasbaar bij alle accu's.

V - spanning Het laden wordt beëindigd als de celspanning boven een bepaalde waarde komt. Vaak toegepast bij laden met een constante stroom. Bij Pb-accu's wordt de maximumwaarde meestal net even boven de laadspanning gelegd, zodat ze continu worden geladen. Bij Li-ion-cellen wordt deze methode gebruikt om het snelladen op een bepaald moment te stoppen en de cellen daarna met een veilige (veel lagere) stroom tot 100% vol te laden. Ook bruikbaar als extra beveiliging bij NiCd- en NiMH-cellen.

-dV/dt - spanningsval Hierbij wordt gebruikt gemaakt van de celspanningsdaling die optreedt als de accu vol is. Wordt toegepast in combinatie met een constante laadstroom bij NiCd- en NiMH-cellen. Bij de laatste is het trouwens beter de laadstroom af te schakelen als de celspanning niet meer stijgt (zie $dV/dt = 0$).

I - stroom Bij het laden met constante spanning wordt het laden vaak gestopt als de laadstroom onder een bepaalde waarde komt. Bij Li-ion-cellen wordt op deze manier de tweede laadfase na het snelladen beëindigd.

T - temperatuur Het uitschakelen van de laadstroom boven een kritische (absolute) celtemperatuur wordt meestal als beveiliging toegepast en niet zozeer als primair criterium.

dT/dt - temperatuurstijging De stijging van de celtemperatuur als functie van de tijd kan bij snelladers als uitschakelcriterium dienen. De temperatuurstijging varieert per accu, maar bedraagt gemiddeld 1°C/min. voor NiCd-accu's. Bruikbaar bij NiCd's en NiMH's.

DT - temperatuur boven omgevingstemperatuur Betrouwbaarder dan de absolute temperatuurmeting, zeker in koude ruimten. De omgevingstemperatuur wordt meestal alvorens met laden wordt begonnen door dezelfde sensor gemeten als die voor de celtemperatuur wordt gebruikt. Toepasbaar bij NiCd- en Pb-accu's als primair criterium of als beveiliging.

dV/dt = 0 - nul-deltaspanning Lijkt veel op de $-dV/dt$ -methode, met het verschil dat nu

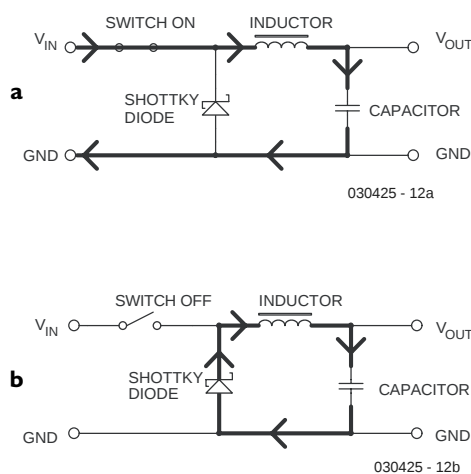
wordt uitgeschakeld als de celspanning niet meer toeneemt. Geschikt voor NiCd- en vooral voor NiMH-cellen.

De hardware

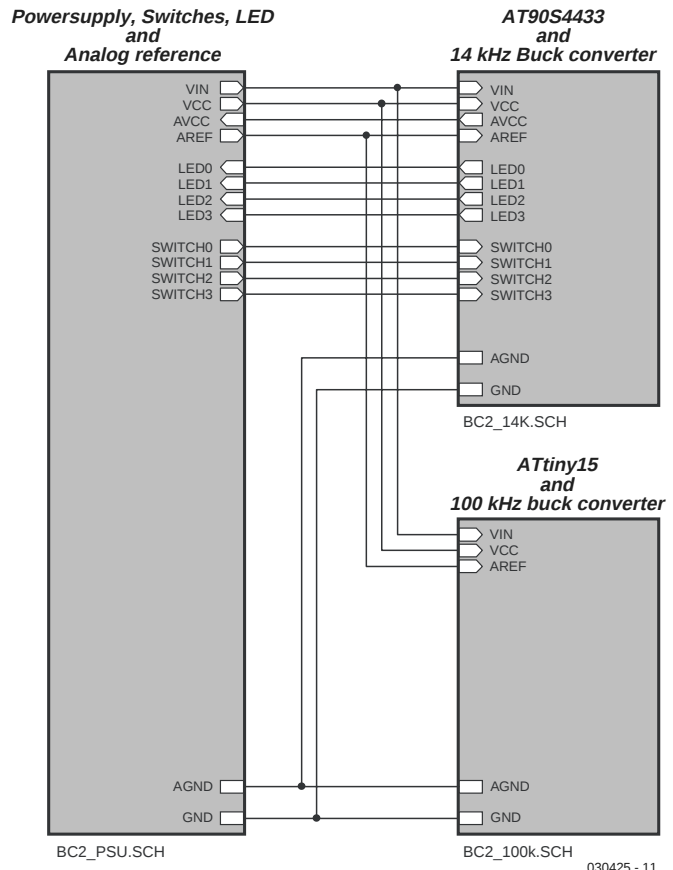
Zoals gezegd, bevat het referentieboard twee complete acculaders. Functioneel gezien kan de print eigenlijk worden opgedeeld in drie hoofdblokken (zie **figuur 1**).

In het grote blok links zijn een aantal losse onderdelen bij elkaar 'geveegd', zoals de diverse LED's en schakelaars, de voeding, de referentiespanning en de PC-interface. De voeding is gewoon een standaard 5-V-stabilisator, opgebouwd met een LM7805. De referentiespanning bestaat uit een TL431 en een paar weerstanden. De PC-interface is verbonden met de UART-interface op de AT90S4433 en kan gebruikt voor het loggen van accugegevens tijdens het laden. De data kunnen worden ingevoerd in een spreadsheet om de laadkarakteristieken op een PC weer te geven. De AT90S4433 kan overigens ook als datalogger dienst doen wanneer de ATtiny15-lader wordt gebruikt.

De blokken rechts in figuur 1 stellen de twee processoren voor, waarvan de PWM-uitgang in beide gevallen is verbonden met een Buck-converter. Dit zijn dus de feitelijke laadcircuits. De ATtiny15 heeft een interne stroomversterker die de verschillingspanning tussen de twee A/D-kanalen kan versterken. De 90S4433-schakeling is hiertoe voorzien van een extra opamp. Dit laadcircuit is bovendien zo opgezet dat het met alle accutypen overweg kan en voor alle denkbare laad-algoritmes geschikt te maken is.



Figuur 2. De belangrijkste ingrediënten van een Buck-converter zijn een schakelaar, een spoel en een condensator.



Figuur 1. De drie functieblokken waaruit de AVR450 bestaat.

Buck-converter

De Buck-converters van beide laadcircuits vertonen grote overeenkomst. Zij bestaan uit een P-kanal MOSFET als schakeltransistor die via een bipolaire NPN-transistor aangestuurd wordt vanuit de processor. De schakeltransistor is verbonden met een spoel, een diode en een condensator (zie **figuur 2**). Een extra diode voorkomt dat er stroom terug kan worden geleverd van de accu naar de processor als de voedingspanning wordt uitgeschakeld. Wanneer de schakeltransistor in geleiding is, loopt de stroom zoals geschetst in figuur 2a. De condensator wordt via de spoel geladen door de ingangsspanning. Als de schakelaar wordt geopend (figuur 2b), zal de spoel trachten de stroom in stand te houden door een spanning te induceren. De resulterende stroom laadt, via de diode en de spoel, de condensator op tot een hogere spanning. Hoe hoger de duty-cycle van het schakelsignaal, hoe hoger de uitgangsspanning. De maximale uitgangsspanning is gelijk aan $V_{in} +$

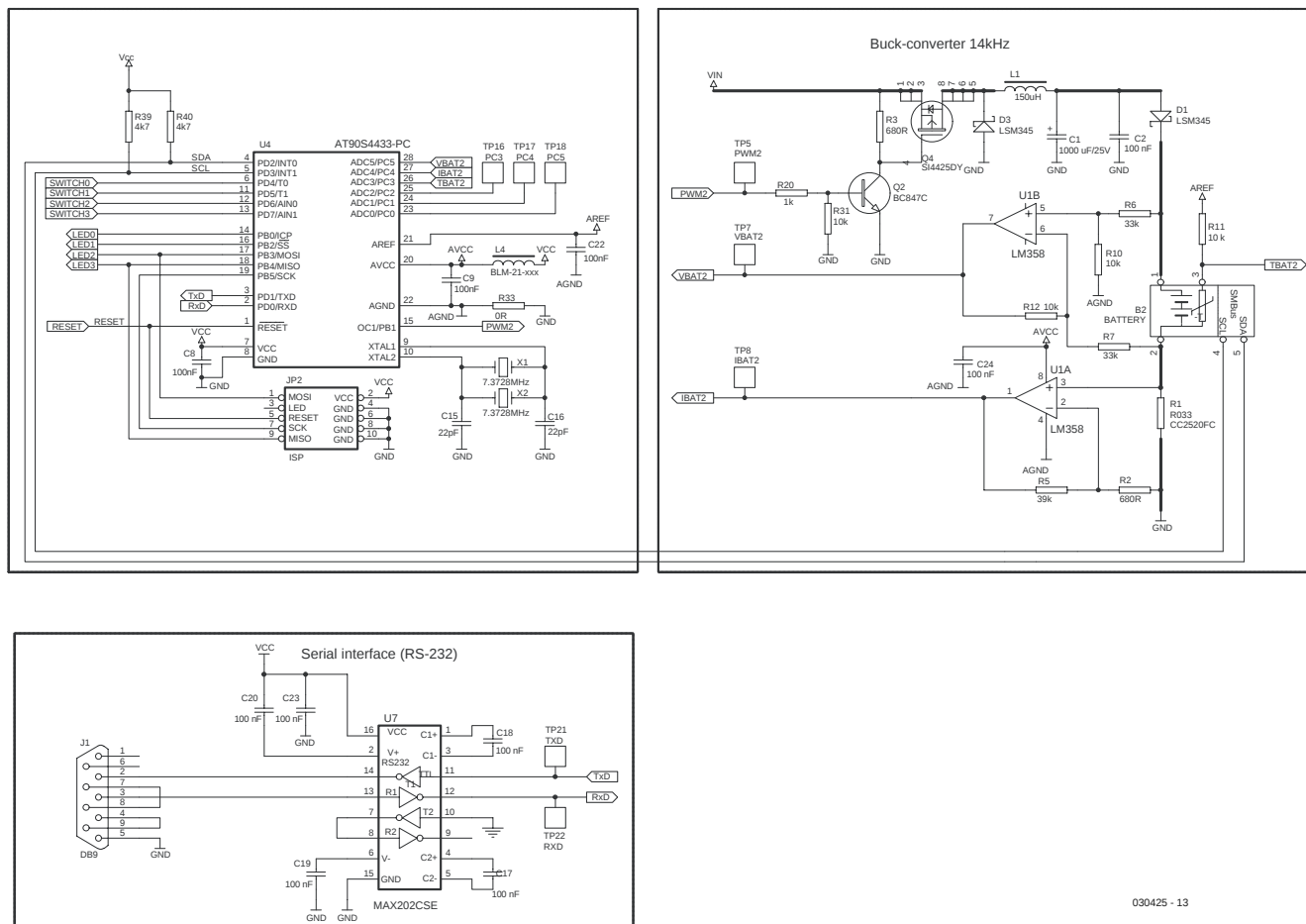
0,6 V. Het rendement van de converter is het hoogst bij een duty-cycle van 50%.

De AT90S4433-lader

In **figuur 3** is het complete schema van het AT90S4433 laadcircuit te zien: links de processor, rechts de Buck-converter en onder de seriële interface.

De laadspanning wordt bewaakt door opamp U1B, waarvan de ingangen parallel zijn geschakeld aan de te laden accu. Teneinde het juiste meetbereik te kiezen voor de opamp, dient eerst bepaald te worden uit hoeveel cellen de accu bestaat en wat voor type het is. Dan kan er een geschikte ingangsspanning worden gekozen en kunnen de weerstanden worden gedimensioneerd.

Als sensor voor de hoogte van de laadstroom fungeert shuntweerstand R1. De hierover vallende spanning wordt versterkt door opamp U1A om de meetnauwkeurigheid te verbeteren voordat de spanning aan de A/D-converter van de processor



Figuur 3. Schema van het AT90S4433-laadcircuit met de 14 kHz Buck-converter.

Tabel 2. 'C'-broncode-bestanden		
Naam	Omschrijving	Code-formaat
lo4333.h	Header met symbolische namen voor AT90S4333	
cstartup.s90	Opstart-bestanden voor de C-compiler	
Lnk0t.xcl	Commando-bestand voor de linker, speciaal voor AT90S4433	
B_def.h	Definieert accutype, celspanning, accucapaciteit en spanningstappen	
Bc.h	Header voor bc.h, constanten en macro-definities	
Bc.c	Hoofdprogramma, identiek voor alle typen accu's	474 bytes
SLA.h	Header voor loodaccu's, lader parameters en functieomschrijvingen	
SLA.c	Broncode voor loodaccu's	446 bytes
NiCd.h	Header voor NiCd-accu's, laderparameters en functieomschrijvingen	
NiCd.c	Broncode voor NiCd-accu's	548 bytes
NiMh.h	Header voor NiMH-accu's, laderparameters en functieomschrijvingen	
NiMh.c	Broncode voor NiMH-accu's	514 bytes
Liion.h	Header voor Li-ion-cellen, laderparameters en functieomschrijvingen	
Liion.c	Broncode voor Li-ion-cellen	690 bytes

wordt toegevoerd.

Het voor de spannings- en stroommeting vereiste rekenwerk komt in de datasheet van de AVR450 uitgebreid aan de orde.

De ATtiny15-lader

De hardware van dit laadcircuit lijkt bijna als twee druppels water op dat van de AT90S4433, reden waarom we schema hier uit ruimtebrek niet hebben afgedrukt.

De oscillatorfrequentie van 25,6 MHz wordt opgewekt door een on-chip PLL, die als klok een

1,6-MHz-sigitaal krijgt, afkomstig van een interne RC-oscillator. Een kenmerkend verschil met het andere laadcircuit is dat de opamps in de Buck-converter ontbreken en zijn vervangen door twee weerstandsdelers, die respectievelijk parallel over de accu en over de shuntweerstand zijn geschakeld. Die weerstanden zijn niet standaard op het AVR450-board aanwezig, maar kunnen naar behoefte worden gedimensioneerd, afhankelijk van de accuspanning en de gewenste laadstroom.

De over de accu gemeten verschilspanning

Tabel 3. Assembly broncode-bestanden

Naam	Omschrijving	Code-formaat
bc.inc	Include-bestand voor register-definities, A/D-kanaaldefinities en algemene constanten	
tn15def.inc	Include-bestand voor ATtiny15	
NiCd.inc	Include-bestand voor NiCd-accu's, laderparameters	
NiCd.asm	Broncode voor NiCd-accu's	324 bytes
NiMh.inc	Include-bestand voor NiMH-accu's, laderparameters	
NiMh.asm	Broncode voor NiMH-accu's	328 bytes
Liion.inc	Include-bestand voor Li-ion-accu's, laderparameters	
Liion.asm	Broncode voor Li-ion-accu's	340 bytes

levert ook hier de benodigde informatie over de laadspanning en deze spanning wordt door een interne 20x-versterker in de processor versterkt. Voor de laadstroominformatie gebeurt hetzelfde met de spanningsval over de in serie met de accu opgenomen shuntweerstand.

Software

Bij deze AVR450 wordt het laadprotocol uiteraard geheel via de software bepaald. Daarbij zijn nagenoeg alle denkbare variaties mogelijk. **Tabel 2** geeft een opsomming van de 'C'-broncode-bestanden en **tabel 3** van de Assembly broncode-bestanden.

De software kan worden aangepast om het laden van een of meerder cellen te ondersteunen. De makkelijkste manier om dat te doen, is om de cellen beurtelings te laden. Lood- en Li-Ion-accu's kunnen parallel worden geschakeld tijdens het laden, mits uiteraard de accupacks bestaan uit een gelijk aantal cellen. De laadstroom voor elke accu is begrensd en de laadspanning per cel eveneens.

In de 'Battery Characteristics' (b_car.h) worden alle waarden gedefinieerd tesamen met de bijbehorende schaaufactoren. Deze waarden worden vastgelegd in de include-files, berekend bij het compileren, en vervolgens gebruikt als constanten tijdens het uitvoeren van het programma. Alle van de A/D-converter afkomstige meetwaarden kunnen rechtstreeks worden vergeleken met deze constanten. Dit betekent dat er geen tijd wordt verdaan met het herberekenen van waarden tijdens de uitvoering van het programma, hetgeen zowel tijd als geheugenruimte spaart.

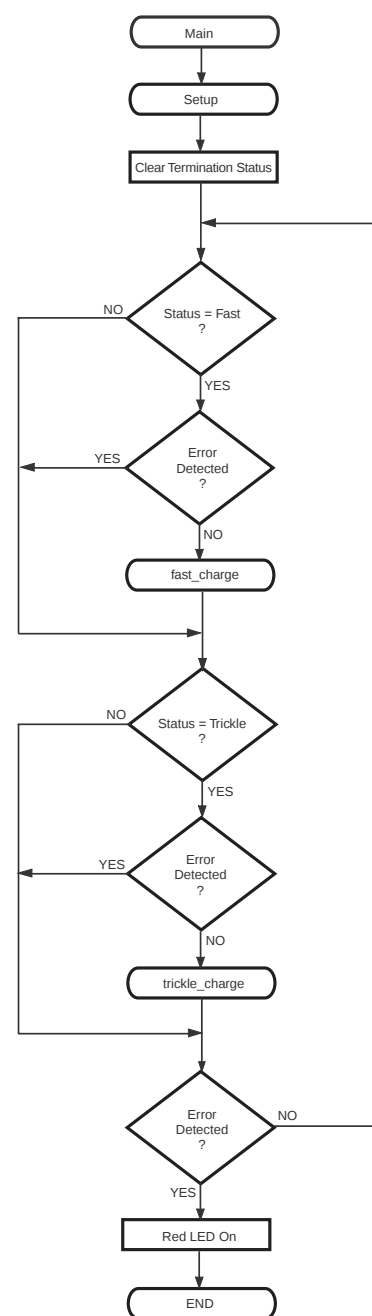
Bij NiCd-accu's wordt het laden gestart wanneer de accutemperatuur binnen het veilige bereik ligt. Het laden wordt beëindigd als een error-melding aangeeft dat de temperatuur de maximumwaarde overstijgt, de spanning boven de maximale accuspanning komt of de maximale snellaadtijd is bereikt.

De normale manier om vast te stellen dat een accu vol is, is om gebruik te maken van de eerder genoemde dT/dt - of $-dV/dt$ -methoden. Daartoe wordt elke minuut een monster genomen van de temperatuur en elke seconde een monster van de spanning. Deze monsters worden steeds vergeleken met de vorige monsters. Wanneer de accu volledig is opgeladen, gaat de laadstatus automatisch over op druppellading, waarbij het programma dus overstapt op de druppellaad-functie. In **figuur 4** is een eenvoudig flow-diagram afgebeeld van de normale laadfunctie.

Bij de druppellaadfunctie werkt het programma een lus af, waarbij gecontroleerd wordt op veranderingen in laadstatus en temperatuur, en de gemeten laadspanning en -stroom in de gaten worden gehouden. In geval de maximum temperatuur of accuspanning worden overschreden, wordt de error-flag geset en wordt de functie beëindigd. Als er geen error optreedt en de laadstatus niet wordt gewijzigd door de gebruiker, loopt de druppellaadfunctie in principe oneindig lang door.

Er valt natuurlijk nog veel en veel meer te vertellen over deze AVR450 acculader. Dat zou echter binnen het kader van deze 'applicator' ietwat te ver voeren en daarom verwijzen we daarvoor naar de uitgebreide application-note nr. 1659B-AVR-11/02 die van de website van Atmel kan worden gedownload. Te zijner tijd hopen wij u ook nog een praktisch uitgewerkte laderschakeling te presenteren op basis van de AVR450. Maar dat kan nog wel eventjes aanlopen.

(030425)



030425 - 14

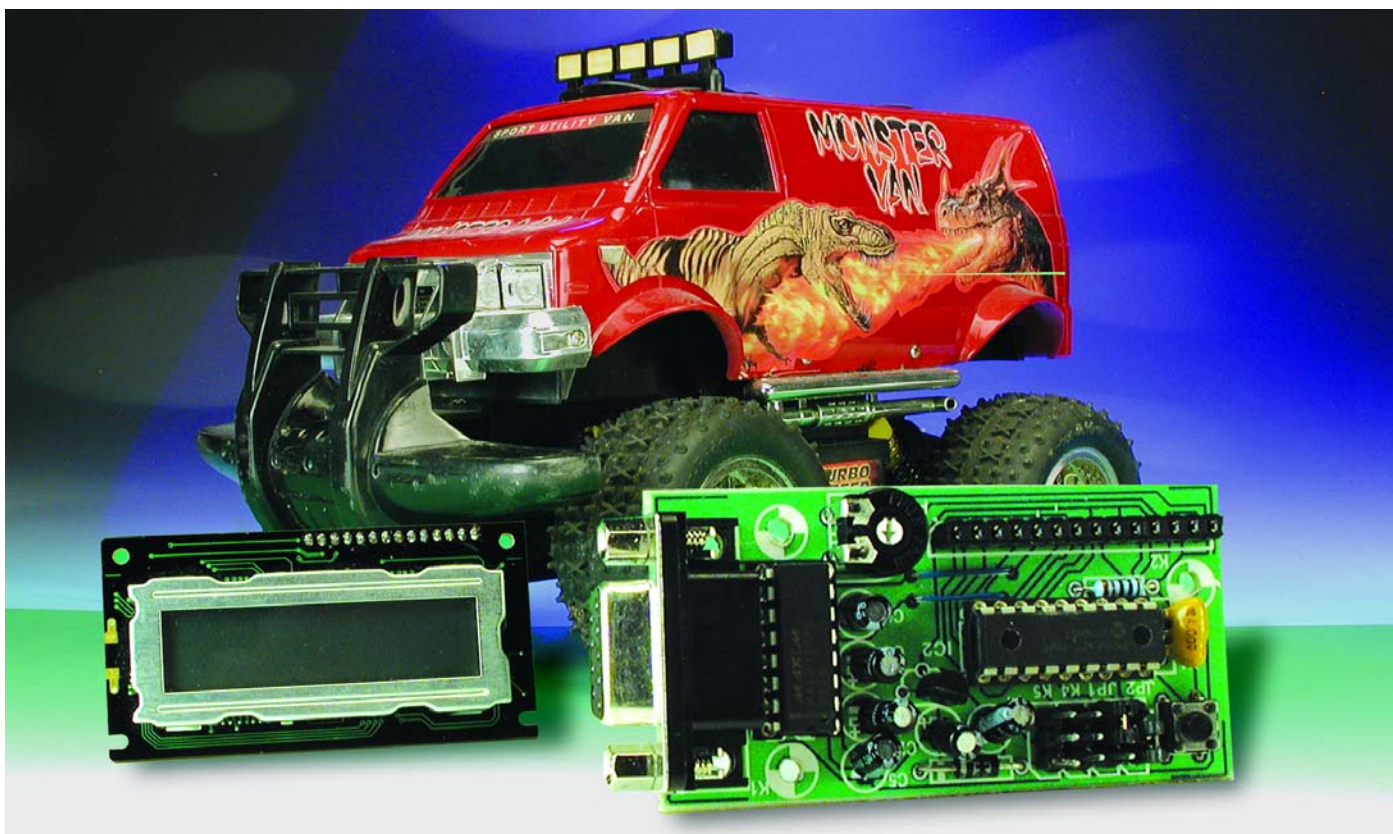
Figuur 4. Flowdiagram van de hoofdfunctie van de lader.

RC-analyser

Snelheidsmeting bij modelauto's

Dipl.-Ing. Udo Kischel udo.kischel@t-online.de

Deze RC-analyser is ontwikkeld om de snelheid van RC-auto's te meten. Het ontwerp is bijzonder interessant voor rijders en constructeurs van RC-auto's die willen weten wat nu precies de topsnelheid van hun auto is.



Deze RC-analyser meet de snelheid van modelauto's. De snelheid wordt niet gemeten door rondentelling, dus het bepalen van de snelheid aan de hand van de gemeten rondentijden, maar continu in de auto zelf. Op die manier kunnen de snelheden en in het bijzonder de topsnelheid in bepaalde bochten en rechte stukken worden gemeten. Een snelheidsprofiel voor het desbetreffende circuit

als extra, kan helpen om de rijstijl te optimaliseren.

Door een toerenteller wordt continu het aantal omwentelingen van het hoofdtandwiel gemeten. Omdat de meting continu is, kan niet alleen de snelheid worden gemeten, maar kunnen ook technische aanpassingen aan de auto getest en geanaly-

seerd worden om de optimale instellingen te krijgen en de motor in het gunstigste toerentalbereik te laten draaien. Daarbij zijn de grootte van het hoofdtandwiel en het motorrondsel in de overbrengingsverhouding een essentiële factor. Voor fervente racers een kans die ze niet mogen laten liggen.

De gemeten snelheden worden per seconde bepaald en opgeslagen. Met de huidige versie van de software kunnen 120 waarden gemeten, opgeslagen en na de gerekenen ronden worden uitgelezen. Er kan dus een rijtijd van 2 minuten worden gemeten. De auteur is nog van plan om een extra EEPROM op de print op te nemen, waardoor de meettijd alleen nog afhangt van de capaciteit van de rij-accu (dus 8...10 minuten). Het vaste tijdsinterval waarin de pulsen worden geteld, kan via de software worden ingesteld.

Het analyser-systeem

Het RC-analyser-systeem bestaat uit de analyser zelf, een (van drie mogelijke) toerenteller, een LC-display om de gegevens op het circuit te kunnen

aflezen en tenslotte een RS232-interface voor aansluiting op de PC.

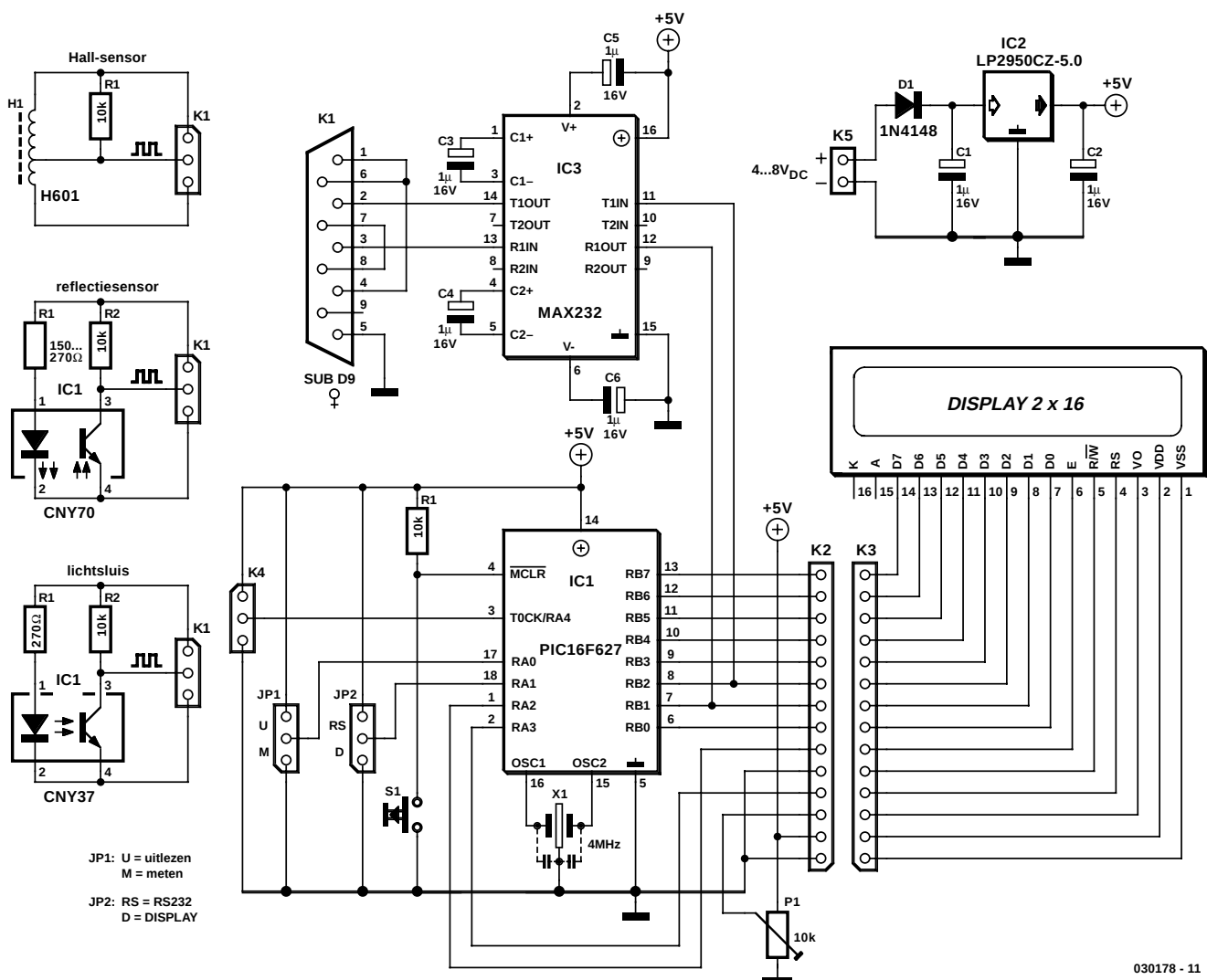
Het hart, of liever gezegd de intelligentie van het systeem (zie **figuur 1**), bestaat uit een PIC-microcontroller PIC16F627 met 1 KB flash-geheugen en een geïntegreerde 128 byte EEPROM voor de opslag van de meetwaarden. De controller (18-pens DIL-behuizing) kan het best in een voetje worden gezet, zodat een eventuele update later geen problemen geeft. De microcontroller wordt door een keramische resonator met een frequentie van 4 MHz geklokt. Op de microcontroller zijn twee jumpers JP1 en JP2 aangesloten, waarmee een aantal functies/instellingen kan worden gekozen.

Verder is op de controller een RS232-niveau-aanpasser (IC3) aangesloten voor de communicatie met de seriële

Eigenschappen

- Voedingsspanning 5...8 V
- Alle aansluitingen met stekers uitgevoerd
- Menukeuze met jumpers
- Eenvoudig te bouwen met standaard onderdelen
- PIC-microcontroller
- LC-display met contrastinstelling
- RS232-interface
- Grafische presentatie van de gegevens
- Aansluiting voor externe drukknop
- Meten, opslaan en uitlezen
- 3 mogelijk sensortypen (infrarood en magnetisch)

poort van de PC. Er wordt geen gebruik gemaakt van handshaking en alleen TxD en RxD zijn aangesloten. RxD is in eerste instan-



Figuur 1. De RC-analyser kan met drie verschillende soorten sensoren werken.

tie nog niet nodig, maar alvast voor latere uitbreidingen opgenomen.

Als 5-V-stabilisator is een speciaal low-drop-type gebruikt dat met een voedingsspanning van 5,5 V al een uitstekende stabilisatie geeft en er voor zorgt dat de schakeling betrouwbaar werkt met de gebruikelijke accupakketten. Met reset-knop S1 kan de meting worden gestart. Met instelpotentio-meter P1 kan het contrast van het LCD traploos worden ingesteld. Pen 5 (R/W) van het display is vast met massa verbonden, omdat er geen gegevens uit het display hoeven te worden gelezen. Voor alle aansluitingen op de print (voeding, toerenteller, display, externe drukknop en RS232-interface) zijn connectoren gebruikt. Voor de grafische presentatie van de gegevens en analyse op de PC is een programma beschikbaar, dat in Visual Basic is geschreven. Al met al is het RC-analyser-systeem een transparant systeem waarin latere uitbreidingen en vernieuwingen - hardware en software - gemakkelijk kunnen worden ingebouwd.

Als toerenteller kan in principe uit drie verschillende sensorsystemen worden gekozen. Voor de aansluiting ervan dient K4. De drie systemen zijn: een Hall-sensor die op een roterend magneetveld reageert, een optische reflectie-lichtsluis en een optische onderbrekingslichtsluis.

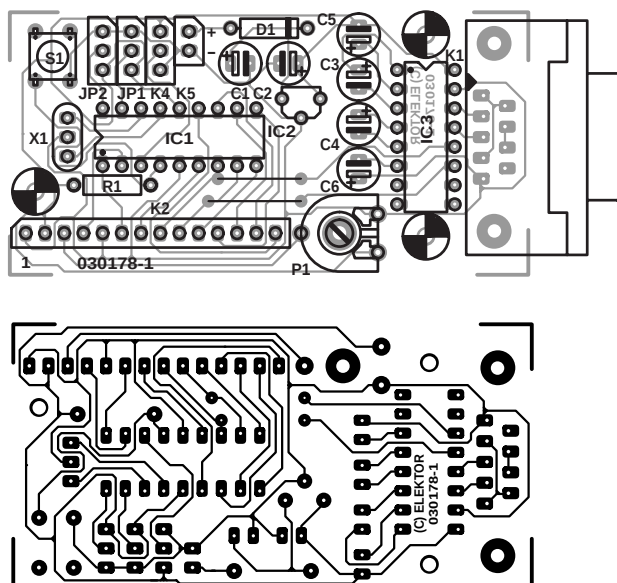
Bij gebruik van een optische onderbrekingslichtsluis moet in het hoofdtandwiel van de RC-auto een gaatje worden geboord, waardoor bij iedere passage van het gaatje door de lichtsluis een IR-lichtstraal wordt doorgelaten. Een mogelijk nadeel is dat een onderbrekingslichtsluis vrij veel plaats inneemt. De afstand tussen lichtbron en detector moet worden aangepast aan de dikte van het hoofdtandwiel.

Bij gebruik van een reflectie-lichtsluis moet op het hoofdtandwiel een reflecterend vlakje aanwezig zijn, bijvoorbeeld een stukje aluminiumfolie of een druppel witte verf. De afstand tussen reflectie-lichtsluis en het reflecterende vlak is niet kritisch. Een afstand van 15 mm bleek nog betrouwbaar te overbruggen.

Bij gebruik van een Hall-sensor moet op het hoofdtandwiel een magneetje worden bevestigd. Bij iedere passage van het magneetje langs de sensor wordt een puls opgewekt. De afstand tussen de sensor en het magneetje moet vrij klein zijn, niet meer dan 5 mm.

Meetwaarden lezen en laten zien.

Drie mogelijkheden - het resultaat is hetzelfde: De door het hoofdtandwiel onderbro-



Figuur 2. De enkelzijdige print wordt met normale onderdelen opgebouwd en is toch vrij klein.

Onderdelenlijst Hoofdprint

Weerstanden:

R1 = 10 k
P1 = 10 k instelpot

Condensatoren:

C1...C6 = 1 µF/16 V radiaal

Halfgeleiders:

D1 = 1N4148
IC1 = PIC16F627-4/CP
(geprogrammeerd, EPS 030178-41)
IC2 = LP2950CZ-5.0
IC3 = MAX232CP

Diversen:

JP1, JP2 = 3-polige printhead met jumper
K1 = 9-polige haakse female sub-D-connector, voor printmontage
K2 = 14-polige SIL-printhead
K3 = LCD 2x16 karakters, met verbindingkabel en 14-polige female printhead
K4 = 3-polige printhead
K5 = 2-polige printhead

S1 = drukknop 1 x maak (Conrad-nr. 704849-8B)

X1 = 4 MHz resonator (3 aansluitingen, ingebouwde C's)

Print 030178-1 leverbaar via ThePCBShop

Floppy met software: EPS 030178-1 I

Hall-sensor

R1 = 10 k
H1 = Hall-sensor H601 (Conrad-nr. 158623-8B)
K1 = 3-polige printhead

Reflectiesensor

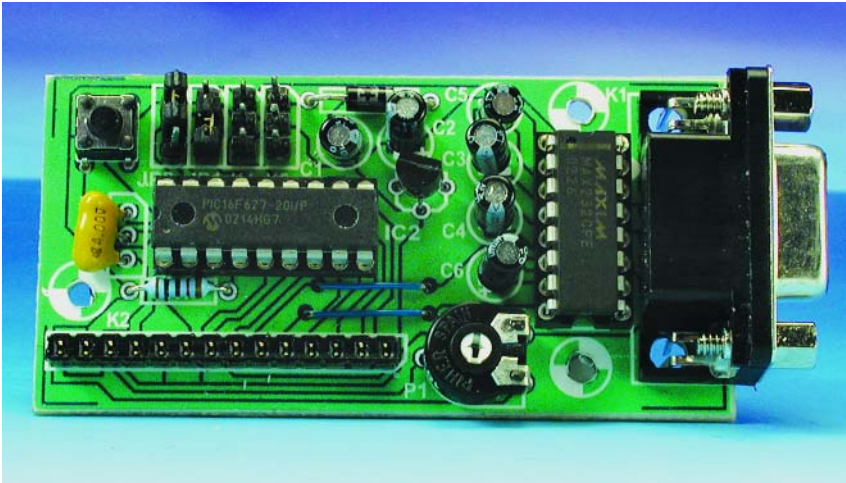
R1 = 150...270 Ω
R2 = 10 k
IC1 = CNY70
K1 = 3-polige printhead

Onderbrekingsensor

R1 = 270 Ω
R2 = 10 k
IC1 = CNY37
K1 = 3-polige printhead

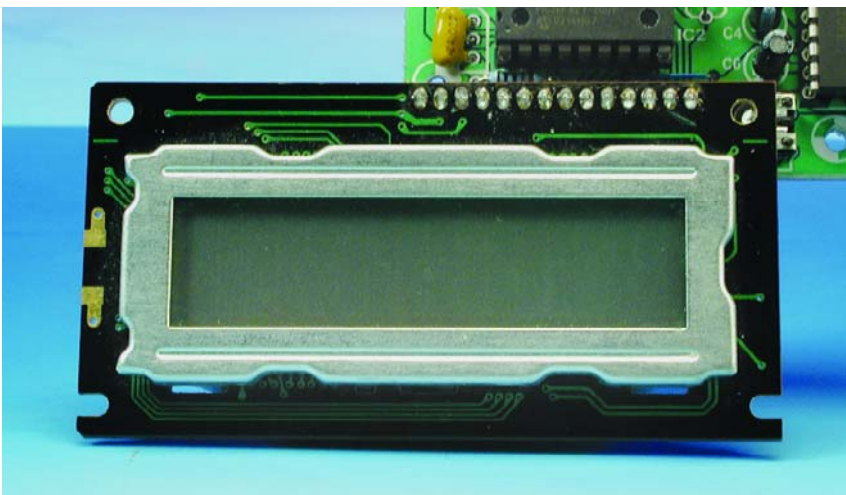
ken of gereflecteerde lichtstraal of de verandering van het magnetische veld bij de Hall-sensor zorgt voor een blokvormige puls op telleringang RA4 van de microcontroller. Deze Schmitt-trigger-ingang is verbonden met de interne timer TMR0 die als up-counter is ingesteld en het aantal

pulsen (op de negatieve flank) per tijdseenheid telt. Deze tijdseenheid (en dus het aantal mogelijke meetwaarden) kan software-matig worden ingesteld op 1/20, 1/10, 1/2 of 1 s. Iedere meting wordt in de interne EEPROM opgeslagen. Door op S1 te drukken begint een



meetsessie. Eerst is er een pauzetijd van 10 seconden (kan eenvoudig worden aangepast), waarin de rijder

zich naar zijn startplaats kan begeven of zich op de start kan concentreren. Tijdens deze pauzetijd wordt



ook de inhoud van de inwendige EEPROM van de PIC gewist.

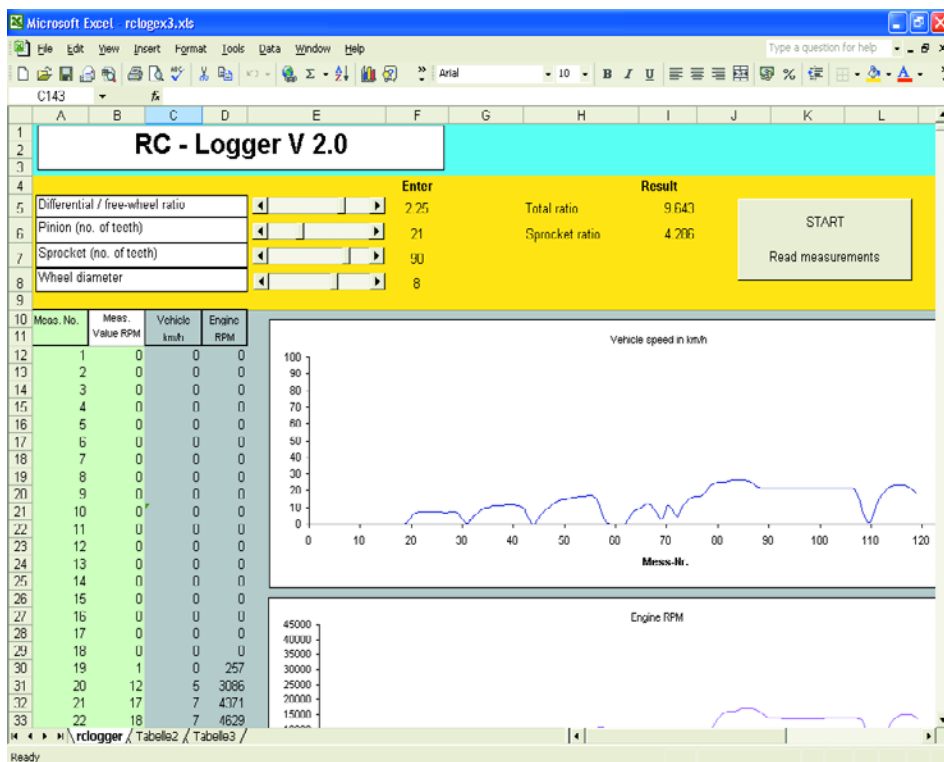
Met S1 kan niet alleen een meting worden gestart, maar ook het uitlezen van de gemeten waarden op het LCD of via de RS232-interface. Dat wordt bepaald door de jumperstanden JP1 en JP2 (zie onderstaande tabel). Op het tweeregelige LCD met 16 tekens per regel worden steeds het nummer van de meting en de waarde van de meting getoond. De waarde is het aantal omwentelingen per seconde van het hoofdtandwiel. De snelheid van de auto is hieruit eenvoudig te berekenen. In een toekomstige software-versie zal de snelheid direct in km/uur te zien zijn. De omrekeningsfactor (afgelegde afstand per omwenteling van het hoofdtandwiel) kan dan via de software worden ingesteld.

De software om de gegevens via de seriële poort over te zenden en op de PC zichtbaar te maken, is in Visual Basic voor Excel geschreven. Door middel van een eenvoudig invoerscherm kunnen de parameters worden ingesteld en de snelheid en het motortoerental grafisch zichtbaar worden gemaakt. Dat is ideaal om te bepalen wat de invloed is van de keuze van hoofdtandwiel en motorrendsel op het toerental.

Kleine print

De plaatsruimte in een RC-auto is beperkt en dat stelt dus ook eisen aan de afmetingen van de analyser-print. Toch hebben we een aanvaardbare oplossing gevonden met een enkelzijdige print en 'normale' onderdelen (**figuur 2**). SMD's worden niet gebruikt en de montage van de print is heel eenvoudig. Er zijn twee draadbruggen en, zoals eerder al is vermeld, moet voor de controller een voetje

Metten	Display aflezen	Lezen via RS232
K5 met de rij-accu of een vrij ontvangerkanaal (alleen + en – aansluiten) verbinden		
Sensor op K4 aansluiten	Display op K2 aansluiten	K1 met RS232-poort van de PC verbinden
JP1 op M	JP1 op R	JP1 op R
JP2 open	JP2 op D	JP2 op RS
–	–	Excel-bestand rlogex3.xls openen en START-knop indrukken. Het programma wacht op gegevens (eindloze lus, beëindigen met Esc)
Op S1 drukken		
Na afloop van de vertragingstijd wordt de eerste van 60 (0,5 s poorttijd) of 120 metingen (1,0 s poorttijd) uitgevoerd	Op het display worden na elkaar de meetnummers (0...59/119) en de bijbehorende meetwaarden (o/s) getoond	De meetwaarden worden gelezen. Nadat alle data zijn gelezen (circa 20 s), verschijnt de mededeling 'Ready', dan op de OK-knop drukken
Nieuwe meetsessie starten door opnieuw op de knop te drukken (de oude meetwaarden worden gewist)	Nieuwe uitlezing starten door opnieuw op de knop te drukken (1-2 keer)	Het bestand RSAPI.DLL met de functiebibliotheek voor de sturing van de seriële PC-poort moet eerst in de Windows-systeemmap worden gekopieerd



Figuur 3. Zo worden de gegevens in Excel op het scherm gezet.

worden gebruikt. De sub-D-connector kan eventueel worden vervangen door printheaders als dat vanwege plaatsruimte nodig is. Wel moet dan een adapterkabeltje worden gemaakt.

Software

Het assembler-programma bevat de intelligentie van het RC-analyser-systeem. De aparte, overzichtelijk

modulair geprogrammeerde functies worden door sprongen vanuit het hoofdprogramma aangeroepen. Na afloop van de desbetreffende taak wordt weer naar het hoofdprogramma teruggekeerd. In het hoofdprogramma zelf worden de in- en uitgangen van de PIC geïnitieerd, de twee jumpers gelezen en oude meetwaarden uit het interne EEPROM-geheugen gewist.

Sturing van de seriële interface

De functie-bibliotheek RSAPI.DLL maakt het mogelijk om apparaten via de seriële poort van de PC te sturen. Typische toepassingen zijn die voor meet- en stuurdoeleinden. De sturing gebeurt door in VB geschreven macro's van Office-software, zoals Word of Excel. Een voordeel daarbij is dat de overgedragen meetwaarden niet omgerekend hoeven te worden, maar direct in de tabellen of spreadsheets kunnen worden gebruikt. Het bestand wordt bij de PC in de Windows-systeemmap gekopieerd. Bij het Excel-programma *rclogex3.xls* worden in een macro de desbetreffende functies en procedures (Subs) van de RSAPI.DLL gedeclareerd. Hierdoor weet Basic dat nieuwe externe functies zullen worden gebruikt. In de VB-module staan deze declaraties altijd bovenaan, daarna volgt de routine voor het lezen van de meetwaarden.

De seriële poort wordt met de parameters 2400 Baud, no parity, 8 data-bits, 1 stopbit geïnitieerd en geopend. Het Excel-sheet *rclogger* wordt geactiveerd en kolom B met de oude waarden wordt gewist. Dan wacht de macro op nieuwe waarden. Zolang de knop van de RC-analyser om de gegevens te lezen niet wordt ingedrukt, blijft het programma in een lus wachten (te verlaten door op 'ESC' te drukken). Nadat de knop is ingedrukt, worden de gegevens regel na regel via de functie READ-BYTE gelezen. Na de overdracht wordt de poort met CLOSECOM gesloten en er verschijnt een melding. In **figuur 3** is te zien hoe de gegevens op overzichtelijke wijze op het scherm worden gepresenteerd.

(030178)

Geplande uitbreidingen en ideeën

De software en de print-layout voor dit ontwerp zijn beschikbaar op de Elektuur-website (EPS-nr. 030178-11 resp. 030178-1). Een geprogrammeerde controller is via de Elektuur-service verkrijgbaar onder EPS-nummer 030178-41. Een kant-en-klare print kunt u bestellen bij ThePCBShop.

Voor geïnteresseerden heeft de auteur een aantal webpagina's over de RC-analyser gemaakt: www.georgeii.de/analyzer/analyzer.htm

Hier vindt u de nieuwste software en de meeste recente modificaties, uitbreidingen en ideeën zoals:

- Meer dan 1000 meetwaarden in een externe EEPROM opslaan
- Starten van de meting via de afstandsbesturing
- Gebruik van de analyser als schakelmodule voor extra functies
- Remlicht als de auto wordt geremd via een stuurknuppel
- Draadloze overdracht van meetgegevens
- Temperatuursensoren
- Meten van de accutoestand (ontladingcurve)

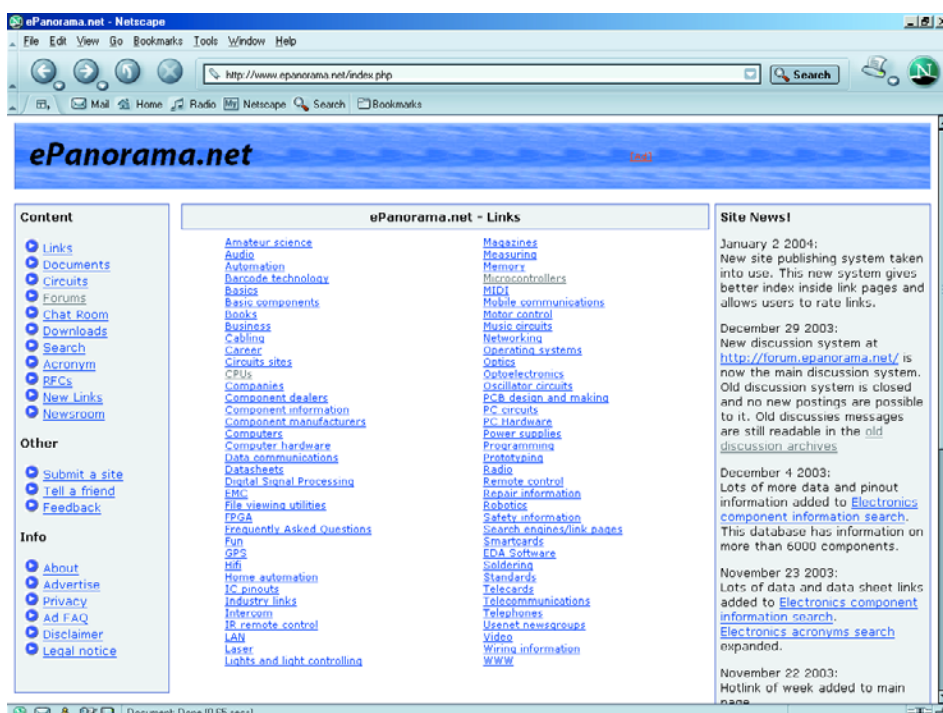
De RSAPI.DLL is beschikbaar op de website van B. Kainka: <http://home.t-online.de/home/H.Kainka/rsapidll.zip>

500 Links over microcontrollers

datasheets en applicaties

Harry Baggen

Microcontrollers zijn niet meer weg te denken uit moderne elektronicaschakelingen. Deze veelpotige alleskunnners voeren door middel van een programma allerlei handelingen uit. Afhankelijk van binnengekomen signaalniveaus kunnen ze beslissingen nemen en processen sturen. Op die wijze kan gemakkelijk 'intelligentie' aan een schakeling worden toegevoegd.



De afgelopen decennia hebben microcontrollers een steeds dominantere plaats ingenomen in de elektronica. Het is bijna niet meer

mogelijk om een wat complexere schakeling op te bouwen zonder gebruik te maken van zo'n controller.

Vroeger zou er voor het realiseren van een aantal functies al snel een hele handvol aan TTL- of CMOS-IC's nodig zijn geweest, wat resulteerde in een grote, stroomvretende en (door het grote aantal componenten) minder betrouwbare schakeling. Nu zoekt de ontwerper een geschikte controller uit met voldoende rekenkracht, I/O en ingebakken extra functies. Na het toevoegen van de overige externe elektronica zal de schakeling verder op de computer worden ontwikkeld, want de software voor de controller bepaalt uiteindelijk wat de hele schakeling precies doet.

Er is tegenwoordig een groot scala aan microcontrollers beschikbaar. Diverse fabrikanten hebben in de

loop der jaren hun eigen families ontworpen en verder ontwikkeld. Van simpele slome schakelknechten zijn de controllers inmiddels uitgegroeid tot echte snelle rekenwonders met tal van extra mogelijkheden.

De gebruiker heeft nu diverse keuzemogelijkheden: Aantal I/O-pennen, weinig of veel werkgeheugen, flash-memory voor programma en niet-vluchtige gegevens, langzaam (en zuinig) of supersnel, het is allemaal te krijgen. In elke familie heeft een fabrikant tegenwoordig ook een aantal exemplaren met extra functionaliteit, zoals A/D- en/of D/A-omzetters, diverse communicatie-interfaces (zoals I²C of RS232), extra aansluitingen voor het aansturen van een LCD, en zelfs ingebouwde sensoren voor het meten van bijv. de temperatuur.

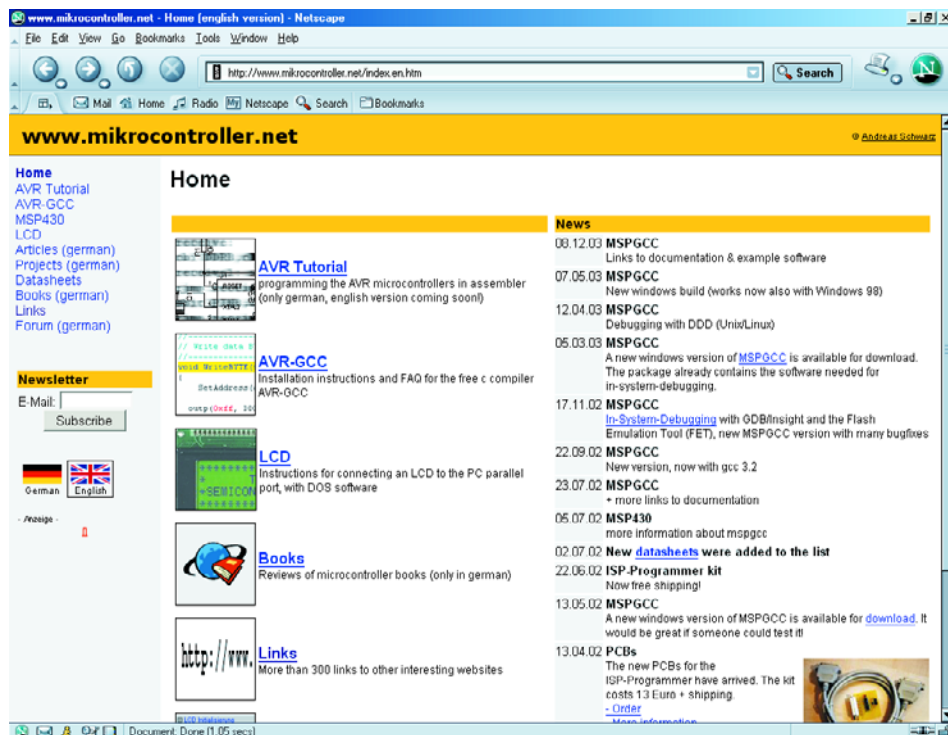
Iedere fabrikant biedt op het Internet voor zijn controllerfamilie(s) natuurlijk een heleboel informatie aan. Dat zijn voornamelijk datasheets en application notes. Voor de ontwerper is dit natuurlijk de eerste plaats om te gaan kijken als hij meer wil weten over een bepaald type controller.

Maar daarnaast zijn er nog zoveel andere sites die zich op een of andere manier bezig houden met het onderwerp controllers, bijbehorende software of aanverwante zaken, daar raak je toch snel het spoor bijster.

Dankzij de twee adressen die we in dit artikel bespreken, heeft u meer dan 500 goede microcontroller-links overzichtelijk gerangschikt binnen handbereik. De links zijn ingedeeld in controller-families. Bij sommige populaire controllers zijn nog verschillende onderverdelingen gemaakt, naar het soort informatie dat aangeboden wordt.

De eerste site die we bekijken, is **ePanorama** [1]. Dit elektronica-portaal biedt een enorme hoeveelheid links die netjes in rubrieken gerangschikt zijn. Ook voor andere elektronica-onderwerpen is dit een adres dat zeker bij uw favorieten in de browser hoort te staan!

Bij een klik op het onderwerp 'micro-controllers' komen we terecht op een indexpagina met onderwerpen zoals algemene info, software en micro-controllers. Het laatste onderwerp is verder uitgesplitst in de meest gangbare controller-typen:



PIC's

Intel 8051/8052

x86-processoren

Basic Stamp

Motorola 68HC11

Scenix microcontrollers

SGS-Thomson microcontrollers

ARM

PowerPC

Atmel microcontrollers

Hitachi

Zilog

Picaxe

Rabbit controllers

Bij elke familie wordt een algemene introductie gegeven, waarna een aantal links met steeds een korte omschrijving van de inhoud volgt. De tweede site die we hier voorstellen, draagt de naam **Mikrocontroller.net** [2]. De site is beschikbaar in twee talen, Duits en Engels. Sommige delen zijn nog niet beschikbaar in het Engels, maar voor de meeste links op de site zal dat geen pro-

bleem vormen.

Met een muisklik op de knop 'Links' komen we terecht bij een overzicht van meer dan 300 links die ook hier netjes gerangschikt zijn naar controller-families:

8051 en compatibele typen

AVR

PIC

68HCxxZ80

MSP430

M16C

Diverse controllers

Daarna volgen nog links voor aanverwante onderwerpen, zoals prototyping, solderen, FPGA, CPLD, GAL, DSP en ARM.

De beschrijvingen bij de links zijn weliswaar beperkt, maar de meeste links zijn duidelijk wat de benaming betreft en dan weet men al wat men daar kan verwachten. Leuk is hier dat bij een aantal links door middel van vlaggetje is aangegeven in welke talen deze beschikbaar zijn.

(045019)

Internet-adressen

[1] ePanorama: www.epanorama.net/index.php

[2] Mikrocontroller.net:

www.mikrocontroller.net/ (Duitstalig)

www.mikrocontroller.net/index.en.htm (Engelstalig)

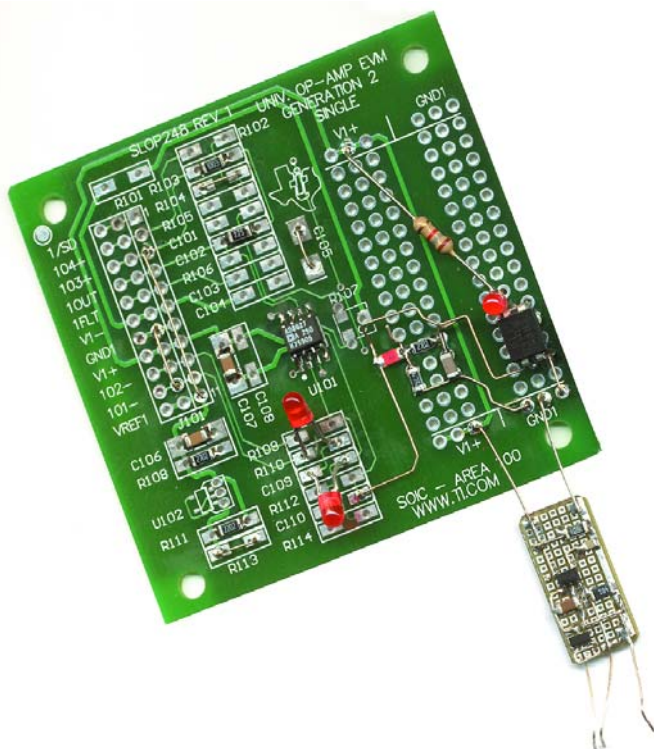
Lichtsensoren

Met LED's daglicht meten

Klaus-Jürgen Thiesler

kjt@gmx.de

Een lichtgevoelige opnemer met dezelfde eigenschappen als het menselijke oog wordt meestal gerealiseerd met fotoweerstanden of met speciale en daardoor dure fotosensoren. Slechts weinigen weten dat normale LED's als optische opnemer geschakeld in bepaalde opzichten op ons eigen oog lijken.



Fotodetectoren voor het zichtbare licht zijn meestal gebaseerd op de genoegzaam bekende lichtgevoelige weerstanden (LDR). Het gevoeligheidsspectrum lijkt op dat van het menselijke oog. De voor- en nadelen in het SMD-tijdperk zijn de grote afmetingen, grote toleranties, grote afhankelijkheid van temperatuur, grote detector-stroom en dan

deze zit in een ronde metalen TO5-behuizing met een actief oppervlak van 7,5 mm². Omdat ze als referentie-element wordt toegepast, is ze weliswaar duur, maar ze bezit ook een uitstekende lineariteit en is beduidend sneller ($t_{on/off} = 6 \mu s$) dan een LDR ($t_{off} \approx 3 s$). Deze fotodiode

ook nog eens duur en zeer traag. LDR's reageren net zo traag op verandering van helderheid als onze ogen, met een weerstandsverandering in de grootte-orde van seconden.

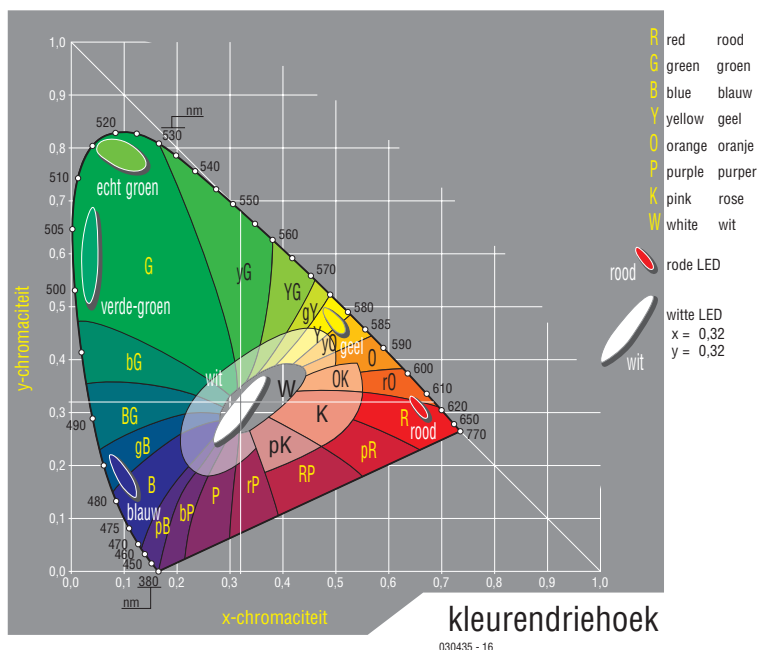
Snelle fotodiodes die in dezelfde mate lichtgevoelig zijn als het menselijke oog zijn zeldzaam. De meeste zijn gevoelig in het infrarode bereik tot 1100 nm. De speciale silicium fotodiode BPW21 werkt in het zichtbare bereik van 425...675 nm,

wordt vaak voor zonlicht-referentiemetingen gebruikt in fotovoltaïsche opstellingen. De fototransistor BPW21 is 'obsolete', hij wordt dus niet meer geproduceerd en ondersteund. Toch is hij nog goed verkrijgbaar. Een vervanger is de BPW21R van Vishay Semiconductors. Wat de prijs betreft ligt hij samen met de precisie-opamp AD820 van Analog Devices op hetzelfde hoge niveau.

Andere lichtsensoren zijn moderne intelligente optosensoren met laboratorium-eigenschappen, zoals de TCS230 van TAOS, de HSDL9000 van Agilent Technologies of de TSL230 van Texas Instruments. Verder zijn er nog bouwelementen die functioneren als licht-naar-frequentie-omzetter. De HSMF-C118 van Agilent Technologies is een tricolor-RGB-LED in SMD-behuizing. **Tabel 1** geeft een overzicht van daglicht-sensoren.

Verschillende chipfabrikanten hebben in het verleden geprobeerd enige nadelen op te heffen en sensoren als omvormer met geschikte parameters voor het zichtbare spectrum in te stellen. En dat met een sneller reactievermogen dan de passieve LDR.

Voor laboratoriumtoepassingen is er de zeer nauwkeurige en dus dure truecolor drievoudige RGB kleuren-



Figuur 1. Het kleurenspectrum volgens de CIE-norm en de sterk begrensde LED-spectra.

sensor MCS3xx met een genormeerde spectrale gevoeligheid en kleurenfiltering. Er volgen nog meer IC's met sensor-arrays, zoals in CCS-elementen.

De monolithische OPT301 van Burr-Brown geeft bij geel een relatieve gevoeligheid van 80% en heeft zijn maximum in het nabije infraroodbereik. Deze is alleen verkrijgbaar in een metalen, hermetisch gesloten TO99-behuizing. De benodigde symmetrische voedingsspanning is tegenwoordig vaak al een nadeel. Voor de toepassing als daglichtsensor is een infrarood filter nodig.

heid ultraviolet is te verwaarlozen. Langgolvig licht (IR/warmtestraling) kan het oog niet waarnemen, onze huid is daar beter voor uitgerust. Omdat echter bijna alle silicium detectoren hier nou juist hun grootste gevoeligheid hebben, zijn ze ongeschikt voor de detectie van daglicht en kunstlicht.

Een standaard LED van een willekeurige kleur straalt zichtbaar licht uit – daar is hij uiteindelijk ook voor ontwikkeld. Het rendement is erg laag. Het grootste deel van het vermogen wordt omgezet in warmte,

hoewel deze warmteontwikkeling gezien het lage vermogen nauwelijks merkbaar is.

Vergeleken met alle andere kunstlichtbronnen stralen LED's bijna monochromatisch licht uit met een grote kleurverzadiging. In het CIE-diagram in **figuur 1** liggen de LED-kleurgebieden allemaal dicht bij de buitenrand van de hoefijzervormige lijn met maximale kleurverzadiging. In het witpunt daarentegen is de kleurverzadiging praktisch nihil.

Het CIE-model

Het CIE-model (van de Commission Internationale de l'Eclairage) is niet perfect, want kleuren zoals bruin en goud kunnen er niet mee verklaard worden. Het is daardoor niet geschikt om ons subjectieve kleur gevoel te definiëren en te concretiseren. Kleuren buiten RGB/CMYK/LAB en andere modellen ontstaan pas in onze hersenen. Alle kleur gevoelige kegeltjes en staafjes op ons netvlies overlappen elkaar behoorlijk in het zichtbare spectrum en leveren dus allemaal hun bijdrage aan het beeld dat we zien. De informatie wordt via een chemische puls door een zenuwstreng naar de hersenen gevoerd. Onderweg worden die pulsen door overspraak tussen de individuele zenuwcellen al voorgemengd en dan in ons brein samengevoegd tot een beeld. De receptoren sturen alleen maar pulsen, dus zonder enige kleur informatie. De kleuren ontstaan door de combinatie en de relatie tussen de pulsen pas in de hersenen.

Met een flatpanel-display waarvan de RGB-LED's allemaal apart worden bestuurd, kan een zogenaamd full-color beeld worden getoond. Maar ook hier ontbreken de 'decoratieve kleuren'. De kleurverzadiging van een LED-display daarentegen kan noch door een kunstdruk, een reflecterend LED-display, een

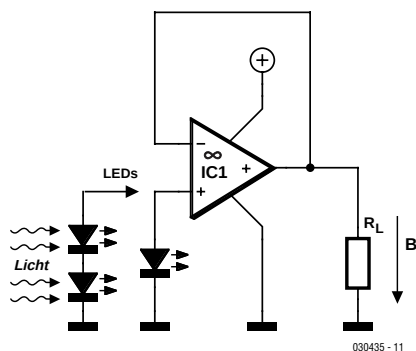
Daglicht

Daglicht bestaat voor een groot deel uit langgolfige infrarood straling. Wij ervaren zonlicht als warm, bij zonsondergang. Maanlicht 's nachts daarentegen bestaat voor een groot deel uit kortgolfige ultraviolet straling. Daarom ervaren wij het nachtelijke licht als koud. Ons gezichtsvermogen is zo aangepast dat afhankelijk van de lichtsterkte het spectrum wordt verschoven, waarbij de kleur gevoeligheid afneemt als er minder licht is. Het licht van een gloeilamp bevat relatief veel infrarood, de hoeveel-

Tabel 1. Geïntegreerde daglichtsensoren.

Type	Topologie	Gevoeligheid		Fabrikant	Behuizing
		Bereik in nm	Maximum in nm		
BPW 21	PN-fotodiode	420...675	565	Vishay	TO 5 - 2 Pin
OPT 101	fotodiode met OTA	280...1.200	850	Burr-Brown	SO 8 + DIP 8 + SIP 5
OPT 301	fotodiode met OTA	200...1.150	750	Burr-Brown	TO 99 - 8 Pin
TSL 25x	fotodiode met OTA	300...1.100	780	Texas Instruments	plastic - 3 Pin
MCS3xx	3x RGB-PN-fotodiodes*	400...510 490...610 590...750	–	Jencolour	TO 5 + SO 8

* truecolor-drievelde-RGB-kleurensensor-IC's met diëlektrisch interferentiefilter en genormaliseerde spectrum-gevoeligheid met/zonder IR-filter.



Figuur 2. De ingangen van de CMOS-opamp zijn zo hoogohmig dat de fotospanning van de sensor-LED nauwelijks wordt belast.

beeldbuis of zelfs gekleurde gloeilampen geëvenaard worden. De filmprojector in de bioscoop gebruikt een lichtboog als lichtbron! Dit toont maar weer aan hoe goed en slecht LED's zich als kleursensor lenen, vergeleken met het menselijke oog. Vandaar dat het niet verwonderlijk is dat nu pas krachtige kleursensoren op basis van LED's ontwikkeld worden. Toch zit de ontwikkeling van LED's vooralsnog in de kinderschoenen en weten we niet wat voor ontwikkelingen op dit gebied nog gaan komen.

Omgekeerd

Laten wij het spel eens omdraaien! In plaats van een LED licht te laten geven zetten we de LED voor een lichtbron en sluiten een gevoelige voltmeter rechtstreeks aan op de gele of groene LED. Op die manier kunnen we een spanning aflezen die afhankelijk is van het licht dat op de LED valt.

Met de gemeten waarde kunnen we niet veel, omdat de lichtgevoelige oppervlakte en het zeer lage rendement geen belasting groter dan een paar femto ampères toelaten. Ook de inwendige weerstand van een DVM is duide-

lijk lager dan de bronweerstand van een LED in sensor-mode.

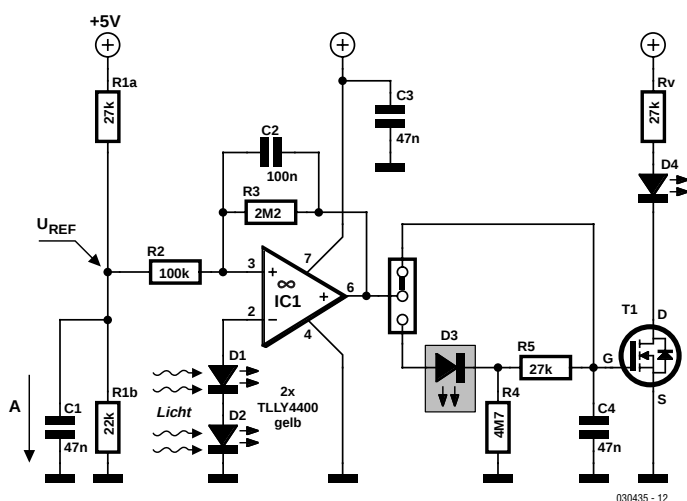
In de schakeling van **figuur 2** is de LED als sensor aangesloten op de niet-inverterende ingang van een opamp. Deze opamp is geschakeld als impedantie-aanpasser en vormt praktisch geen belasting voor de LED-sensorspanning, dankzij een JFET- of CMOS-ingang met een ingangsweerstand in de grootteorde van meerdere tera-ohms ($10^{12} \Omega$). Met deze meetschakeling zijn de spanningen van de LED-sensoren in **tabel 2** verkregen.

Het begrip impedantie-aanpasser is eigenlijk niet op zijn plaats, het gaat hier om een transimpedantieversteker, een vierpool die een stroomversterking, een spanningsversterking en een impedantie-omzetting kent. In het geval van figuur 2 is de transimpedantieversteker gewoon als impedantie-omzetter geschakeld. Maar

laten we daar niet verder op ingaan.

In **figuur 3** is een elektronische schakeling te zien die de aangesloten belasting R_L inschakelt als de avond invalt en tijdens de ochtendschemering weer uitschakelt. Het netwerk bestaande uit $R1...R3$ zorgt voor een referentiespanning $U_{REF} = 2,25 \text{ V}$ aan de niet-inverterende ingang, met een hysteresis van ongeveer 250 mV . Deze drempelwaarde is niet kritisch en is geschikt voor twee in serie geschakelde gele low-current LED's.

Met twee LED-sensoren die elk in een andere richting kijken, wordt dit schakelpunt tijdens de schemering relatief snel doorlopen. Voor deze nauwkeurige schakeling kunnen gewone 10%-weerstand gebruikt worden. De dubbele LED's zorgen er voor dat de schakeling ongevoelig is voor kunstlicht van straatlantaarns of autolampen, dat maar op één LED terecht komt. Ook



Figuur 3. De daglichtschakelaar functioneert met bijna alle JFET/CMOS-opamps.

Tabel 2. Equivalente LED-spanning bij gemiddeld avond/ochtend-schemerlicht en in maanloze nacht (uitgang in figuur 1).

LED	Type	$U_{BIAS} \text{ [V]}$ bij één LED		$U_{BIAS} \text{ [V]}$ bij twee LED's	
		schemering	donker	schemering	donker
Geel	TLLY4400 (3 mm low-current)	1,1	0,8	2,2	1,0
Rood	TLLR4400 (3 mm low-current)	1,0	– 1	2,0	– 1
Groen	TLLG4400 (3 mm low-current)	1,2	0,8	2,4	1,4
Blauw 3	LF-59EBGBC (5 mm RGB)	1,5	– 2	2,4	– 2

1: de rode LED detecteert de nabije warmtestraling, daarom is een nachlichtmeting niet mogelijk!

2: niet gemeten.

3: blauw maar eenmaal aangesloten

Tabel 3. Een aantal geschikte opamps met JFET-ingang.

Type	GBP in MHz	Offset in μV	ingangs-bias in pA	U_{CC} in V	I_{CC} in mA	U_{IN} max. in V	Fabrikant	Behuizing	Getest	Opmerking
AD8033	80	1.000	1,5	+5...24	3,3	$0...+U_{CC}-3$	Analog Devices	SO 8 + SOT 23	ja	Shutdown
AD8065	145	400	2	+5...24	6,4	$0...+U_{CC}-3$	Analog Devices	SOT 23	ja	
AD820	1,8	100	2	+3...36	0,65	$-0,2...+U_{CC}-1$	Analog Devices	SO 8 + DIP 8	ja	
AD8610	25	85	2	+5...26	3,5	$0...+U_{CC}-3$	Analog Devices	SO 8 + MSOP8	ja	
AD8627	5	500	0,5	+5...26	0,75	$0...+U_{CC}-1$	Analog Devices	SO 8 + SC70	ja	
OPA132	8	250	5	+5...36	4	Rail-to-Rail (in- en uitgang)	Burr-Brown	SO 8 + DIP 8	ja	THD = 0,000.08%
TLE2071	10	500	6	+4,5...36	1,7	$0...+U_{CC}$	Texas Instruments	SO 8 + DIP 8	ja	Offset adj.
TLE2081	10	1.100	6	+4,5...36	1,7	$0...+U_{CC}$	Texas Instruments	SO 8 + DIP 8	ja	Offset adj.
TL081C	3	3.000	5	+4,5...16	1,4	$0...+U_{CC}$	Texas Instruments	SO 8 + DIP 8	ja	Offset adj.
TLC271C	0,09	1.100	0,1	+3...16	1	$-0,2...+U_{CC}-1$	Texas Instruments	SO 8 + DIP 8	ja	Offset adj.
OPA655	240	1.000	-5	$\pm 4,75...5,25$	25	$\pm 2,75$	Burr-Brown	SO 8 + DIP 8	nee	
INA121	-	200	4	$\pm 2,25...18$	0,45	$-U_{CC}+2...+U_{CC}-1$	Burr-Brown	SO 8 + DIP 8	nee	Precision-InAmp

het uitgangsfiler met LED D3, R4, R5 en C4 draagt daar toe bij. LED D33 wordt in een stukje krimpkous lichtdicht opgesloten en heeft daarmee betere spereigenschappen dan een normale diode.

Een opamp kiezen

Theoretisch zou een TLC271 met een gewone P-kanaal-MOSFET aan de ingang moeten voldoen, want de ingangs-bias-stroom is net zo klein als bij een AD820. In de praktijk echter heeft hij de neiging om rond het schakelpunt te gaan oscilleren. Dit gedrag is ook bij de opamps TLC271, OPA132, AD8035, AD8510 en TLE2081 te zien. Bij de AD8065, AD820 en AD8610 wordt met het netwerkje R2/R3/C2 een hysteresis verkregen die nodig is om ook bij een langzaam invallende schemering zonder oscillaties om te schakelen. Bij de laatst genoemde typen

opamps kan het uitgangsfiler worden weggelaten.

De TL081 gebruikt het integratorknetwerk niet voor de drempelwaarde, maar alleen als terugkoppeling voor de versterkingsfactor. In de schakeling van **figuur 2** moet dan een Schmitt-trigger tussen de uitgang van IC1 en LED D3 geplaatst worden, die rond de drempelwaarde schakelt. In elk geval oscilleert de TL081 niet zo erg.

De zeer nauwkeurige OPA655 is veel te goed (en overeenkomstig duur) voor een taak als daglicht-sensor. Er is echter wel een snelle detector voor een lichtboog mee te maken. hiervoor is echter een symmetrische voeding nodig van ± 5 V.

Tabel 3 geeft een overzicht van geschikte opamps, die met succes in deze schakeling getest zijn. Andere opamp-types met bipolaire ingangstransistoren of met complementaire MOSFET's zijn niet

geschikt, omdat de ingangsweerstand te laag is of de ingangsstroom (offset) veel te groot. Met een andere dimensionering van R1a/b kan het schakelpunt aangepast worden voor andere lichtsterktes of andere LED's. Dan is het zinvol om het uitgangsfiler (LED D3, R4, R5) te overbruggen. Dit uitgangsfiler zorgt voor een vertraging van ongeveer 3 s. Dat lijkt kort in relatie tot de tijd die het duurt voor de schemering op onze breedtegraad overgaat in de nacht, maar het blijkt in de praktijk goed te voldoen. Houd er rekening mee dat onze ogen bij het zien van kleuren wat betreft de lichtsterkte een dynamisch bereik hebben van ongeveer 100 dB (van ongeveer 0,1...20.000 lux)!

Gedurende de schemering neemt de bias-spanning van de LED sterk toe respectievelijk af. Het omklappunt wordt dus redelijk snel gepasseerd. Bij een heel langzaam verlopende schemering moeten moderne opamps zoals de AD8610 gebruikt worden. Die schakelen praktisch stabiel en hebben een kleine lighthysteresis. Dan kan eventueel

het uitgangsfiltreer voor de schakelvertraging worden weggelaten.

De menselijke aspecten van het spectrum

Figuur 4 geeft de verschillende lichtgevoeligheidscurves van het menselijk oog overdag en 's nachts, in relatie tot verschillende elektronische bouw-elementen.

Onze ogen verschuiven de interpretatie van kleur bij verschillende lichtsterktes. Daardoor kunnen we het blauwachtige maanlicht met zijn spectrum in de buurt van ultraviolet zien, maar ook het gelige zonlicht met een spectrum meer naar infrarood.

Net zoals het netvlies zich kan aanpassen aan verschillende lichtsterktes, zo treedt ook bij een langere kijktijd een gewenning op aan kleur. Een wit vel papier ervaren we zelfs onder het licht van een gloeilamp als wit, omdat we er als het ware bij denken 'het papier is wit' ondanks het feit dat het papier geelachtig-rood licht reflecteert.

Het menselijk oog kan zich over een geweldig dynamisch helderheidsbereik instellen tussen nachtzicht en dagzicht. Het bereik loopt van 0,000.01...1.000.000 cd/m² (dit komt overeen met een dynamisch bereik van 220 dB!). Er is geen kunstmatig element dat hieraan kan tippen. Met de toename van de lichtsterkte verbetert het kleurenzien en het zien van contrast, maar bij nog verder toene-mende lichtsterkte neemt dat weer af. In een groot deel van het bereik van de lichtsterkte is het menselijk oog echter voornamelijk gevoelig in het zwartwit gebied. In kleur heeft ons oog 'slechts' een bereik van 100 dB. De gevoeligheid voor kleuren verschilt van persoon tot persoon. Er bestaat geen universele eenduidige kleur groen, noch grijs of volkomen wit. Elke monitor-instelling hangt helemaal af van de individuele gebruiker. Verschillen zijn wel goed te normeren. Het grijs van de lucht van een bewolkte middag, het wit van een gloeilamp of de sahara-gele kleur van een autocarosserie is technisch meetbaar, instelbaar en kan dus herhaald worden. Het netvlies (de retina) zit in de achterste helft van de oogbol en bestaat uit een netwerk van kegel- en staafvormige zintuigen (receptoren) die het invallende licht omzetten naar een elektrochemische substantie (neuro-nale energie). De onderlinge verhouding en hoeveelheid is verschillend verdeeld over het hele oppervlak van de achterkant van de oogbol. Verschillend in relatie tot het oppervlak van het netvlies en ook verschillend bij indi-viduele mensen.

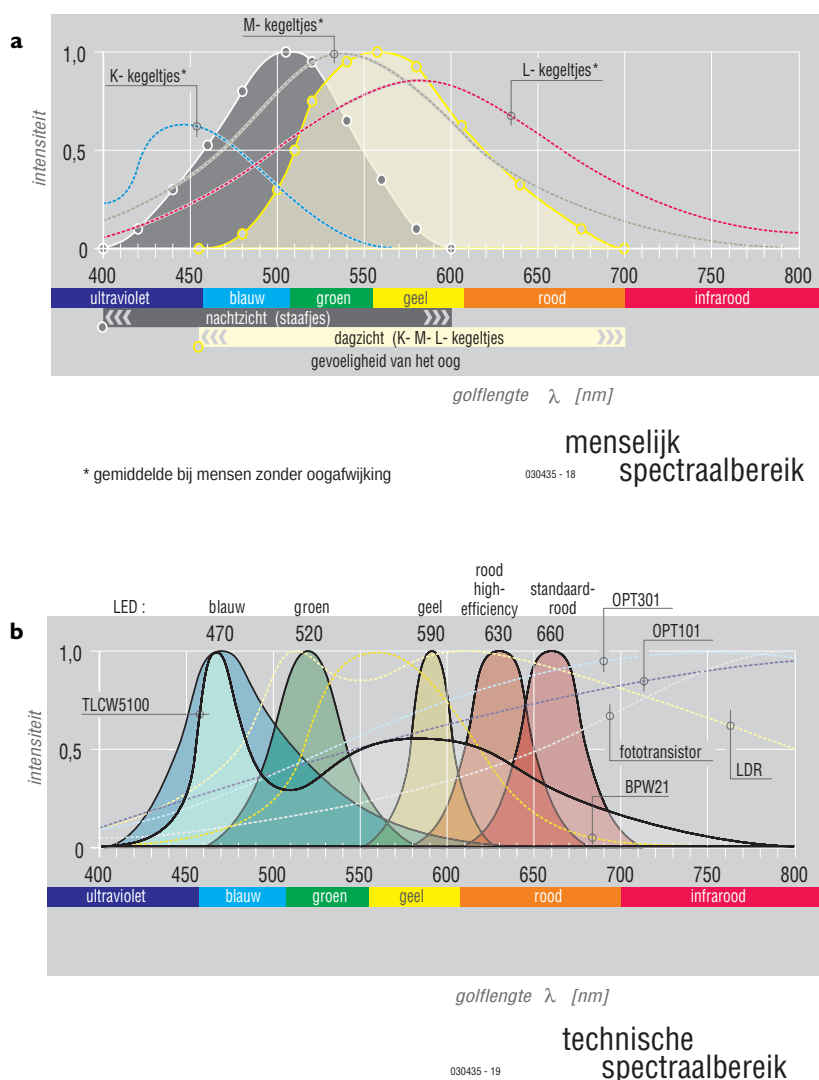
Voor het zien in de nacht zijn ongeveer 120 miljoen staafjes actief, voor het zien overdag ongeveer zes miljoen kegeltjes. Net zoals

LED's verschillen in bandbreedte en stralingsintensiteit, reageren gevoelige cellen verschillend op helderheid, contrast en kleur met steeds grotere bandbreedte. De drie types daglichtgevoelige kegeltjes reage-ren sterk overlappend op kort-, midden- en langgolvig licht (K/M/L-kegeltjes) in tegenstelling tot de bijna monochromatische kleurenit-straling van LED's.

Omdat de cellen die gevoelig zijn voor korgolvig licht minder sterk op prikkels reageren, zien de kleuren in het blauwe deel van het spectrum er donkerder uit dan in het groen-rode deel. Door de grote overlap van de spectrale gevoeligheid van de K-M-L-kegeltjes is een mens met een normaal gezichtsvermogen vooral gevoelig voor kleurig daglicht (foto-pisch zien) rond 555 nm (groen). De

lichtgevoelige sensor BPW21 en bijvoorbeeld lichtsignaleringsystemen bij de spoorwegen en de scheepvaart zijn hierop afgestemd. Daarentegen houden moderne verkeerslichtinstallaties langs de wegen sinds kort juist rekening met mensen waarbij het kleurenzien niet normaal is en hebben groene waarschu-wingslichten om die reden een hoog gehalte aan blauw licht.

Onze ooglenzen absorberen ultravi-olet licht. Bij zogenaamde grauwe staar kan de natuurlijke hoornachtige lens operatief vervan-gen worden door een kunstmatige kunststof lens. Hierdoor ziet men dan UV-licht tot onder de 300 nm dankzij de K-kegeltjes. Insecten zijn bijzonder gevoelig voor UV-licht. Mensen met een normaal gezichts-vermogen hebben bij nachtzicht



Figuur 4. Vergelijking van het menselijke (a) met het technische (b) spectraalbereik.

(scotopisch zien) een maximum in de spectrale gevoeligheid bij 507 nm. Bij de gegevensoverdracht van de lichtgevoelige cellen naar de hersenen is er overspraak tussen naburige cellen, en wel op het netvlies, de gezichtszeneuwen en de hersencellen. Een virtueel beeld ontstaat pas bij het verwerken van deze zenuwpulsen in relatie met eerder opgeslagen informatie. Het oog zelf fungeert hierbij alleen maar als meetwaarde-opnemer, de lichtgevoelige cellen zelf hebben geen weet van kleur of vorm. Die zetten alleen maar licht-energie om in een chemisch-elektrische prikkel en daarin zit geen kleur of beeldinformatie.

Dat is te vergelijken met een grafische processor met zijn drie RGB-draden naar de monitor: Er worden alleen maar spanningen overgedragen, maar geen kleur of beeldinformatie. Het oog bewerkt het fotorealistische beeld dat door de lens en de pupil op de afzonderlijke receptoren valt in zekere zin digitaal voor. Door de overspraak op naburige receptoren, gezichtszeneuwen en hersencellen zien wij weer een pixelvrij fotorealistisch beeld zonder hinderlijke rasters, moiree-effecten en kleurenranden, zoals je die wel bij een monitor kan zien of in de druktechniek. Daar zit nu eenmaal geen intelligentie ingebouwd. Aldus krijg je dus pas een kleurenprikkel in de hersenen na de verwerking van de informatie van alle receptoren en gezichtszeneuwen.

Van Isaac Newton stamt de uitspraak: "De kleur zit niet in het licht, niet in het oog, maar in ons brein."

Deze ingewikkelde chemisch-elektrische omzettingen en overdrachten maken een normalisatie onmogelijk, temeer nog omdat de hoeveelheid lichaamseigen stoffen de kleurervaring kan veranderen, bijvoorbeeld bij vitaminegebrek. Dan is er nog de zogenaamde black-out die kan ontstaan bij de afbraak van lichaamseigen producten, waarbij de hersenen steeds meer wit zien, de kleuren steeds meer verbleken en de grijstinten helderder worden.

Het zuivere kleurenaspect in onze hersenen is oninteressant. Dat wordt duidelijk als we (tevergeefs) proberen om de afstand tot een lichtbron te bepalen. We weten hoe-

ver een ster aan de nachtelijke hemel ongeveer van ons af kan staan, we schatten op zijn hoogst de afstand tot een lamp aan de hand van de omgeving. Daarvoor heeft ons brein – in relatie tot de opgeslagen ervaringen – de structuur en de oppervlaktekenmerken nodig in combinatie met de kleurenstraling om dan pas met al deze kleurinformatie een beeld op te wekken. Daarnaast houdt ons brein dan ook nog rekening met andere invloeden die via het voelen, smaken, ruiken en horen tot ons komen. En natuurlijk ook de informatie van het tweede oog!

Ongeveer 8...10% van alle Europese mannen en 0,5...1% van de vrouwen hebben een erfelijk bepaalde lagere gevoeligheid voor rood en/of groen. Normaal is een verhouding van gevoeligheden van de drie dagzichten K/M/L-kegeltjes van 10% blauw, 48% groen en 42% rood. Bij kleurenblindheid zijn de drie typen kegeltjes anders verdeeld (bijvoorbeeld bij kleurenblindheid voor groen met 30% blauw, 30% groen en 40% rood), waarbij behoorlijke verschillen kunnen optreden. De een kan nog goed het verschil zien tussen groen en rood, een ander ziet geen enkel verschil en weer anderen hebben alleen in het centrale gezichtsveld zo'n probleem. De verdeling van de kegeltjes varieert bij ieder mens ook over het gehele oppervlak van het netvlies: De herkenning van rood-groen neemt permanent af als je verder weg gaat van het centrale punt waarop we scherp zien (de buitenste rand van de halve bol van de achterkant van het oog).

Totale kleurenblindheid komt maar zeer zelden voor, bij 0,003% van de bevolking. Ook een kleurenprobleem in het gebied van geel-blauw komt slechts zelden voor (0,004%). Deze erfelijke afwijking verandert overigens niet tijdens de levensloop. Ook is het niet mogelijk dat kleurenblindheid later ontstaat; je hebt het geërfd of niet.

De norm voor rood-groen geldt voor midden-Europa. De achtergrond daarvan ligt in de oertijd van de verzamelaars en de jagers, toen het nog belangrijk was voor het overleven om rode bessen tussen de groene bladeren te vinden of een bloedspoor in het bos te volgen.

Deze norm van ons is, als je het nauwkeurig bekijkt, een overgevoeligheid voor rood-groen-contrasten, die in andere omgevingen zoals het woestijn- of het poolgebied helemaal niet nodig is.

Dit vermeende gebrek van het gezichtsvermogen is dus eigenlijk een verbetering van het zien in een bepaald landschap.

Voor beroepen zoals webontwerper of industrieel ontwerper, die zich bezighouden met de optische aspecten van een apparaat, is het doorgaans belangrijk met deze fenomenen rekening te houden omdat toch een groot deel van de bevolking kleurenblind (of eigenlijk kleurenslechtziend) is. Wat is wit? Wat is blauw? Wat is neutraal grijs? Deze aspecten hebben hun invloed op het simultaancontrast (schijnbare kleurvastheid van een vlak voor een achtergrond), kleurenstereoscopie (rood lijkt dichtbij, blauw verder weg), de onmogelijkheid van het lezen van rode tekst op een groene achtergrond, en andere kleurverschuivingen. En tenslotte is ons leven, onze stemming ook nog eens kleurgevoelig. De techniek in onze elektronische media lijkt op de biologie van onze ogen. Alleen de omzetting in onze zenuwen en hersenen tot een foto lukt tot nu toe nog niet met technische middelen.

Conclusie

Het direct aansluiten van standaard-LED's als lichtsensor op opamps met J-FET-ingangen moet weloverwogen gebeuren. Daarbij blijkt dat de verschillende chip-technologieën aanleiding geven tot verschillend oscillatorgedrag bij het schakelen.

Bij oude IC's is de oscillatiefrequentie in het schakelpunt met C2 en R3 alleen maar integrerend in de hand te houden. De moderne opamps daarentegen gebruiken de RC-schakeling aan de niet inverterende ingang voor een beter schakelgedrag met toegevoegde hysteresis. Dat hangt af van het geïntegreerde compensatiesysteem dat van buitenaf echter niet zichtbaar is.

Alle opamps uit de lijst zijn echter geschikt voor de eenvoudige lichtsensor-schakeling volgens figuur 2, met het uitgangsfILTER van drie seconden. De onderlinge verschillen zijn aanzienlijk kleiner dan die van de uitwendige passieve onderdelen.

Al met al hebben we nu een nauwkeuriger en goedkopere SMD-opbouw met minder onderdelen op een kleiner oppervlak verkregen dan met een discrete schakeling met een JFET BF245, een standaard opamp en een instel potentiometer.

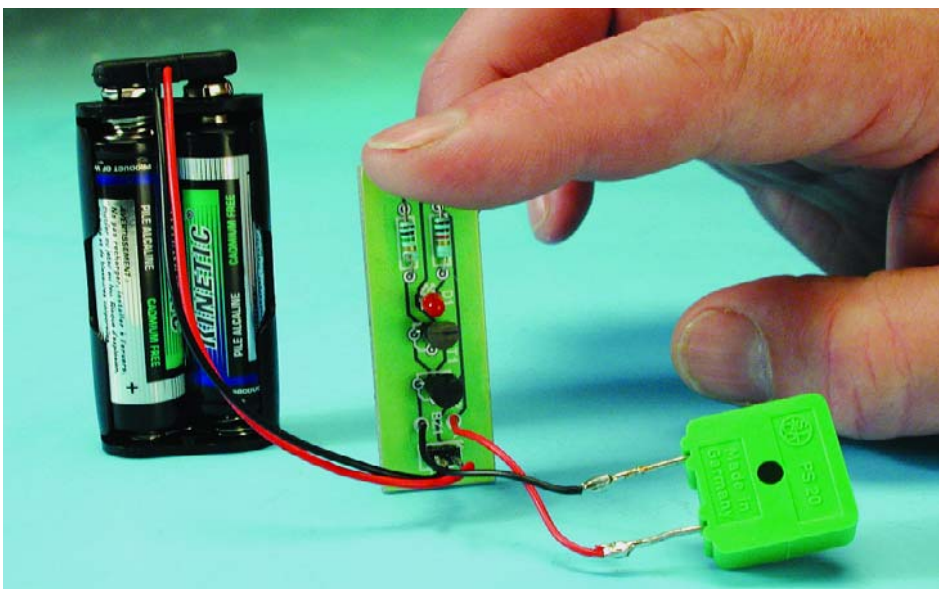
(030435)

Spannings- en geleidingstester

Voor gelijk- en wisselspanning

Burkhard Kainka

Elektrische spanning kun je niet zien, daarom is goede meetapparatuur onontbeerlijk in het lab. Maar vaak is een exact voltage niet eens zo interessant en is het voldoende te weten of er op een bepaald punt spanning staat of niet. Met de hier voorgestelde tester is het zelfs niet meer nodig twee meetsnoeren aan te sluiten: het desbetreffende meetpunt even aanraken met de meetpen is genoeg!



Hoe zit dat dan met die andere pool, zult u zich afvragen. Een potentiaalverschil meet men immers altijd tussen twee punten. In feite wordt de spanning ten opzichte van de behuizing gemeten, die verondersteld wordt aan massa te liggen. De gemeten spanning wordt mede bepaald door de persoon die de tester vasthoudt. Telkens als er gemeten wordt, loopt er een ongevaarlijke stroom van enkele microampères door het lichaam. De

schakeling versterkt deze stroom zodanig dat die met een LED zichtbaar kan worden gemaakt.

Opbouw en werking

De bijzonder compacte print (figuur 1) past samen met twee penlight-(AA) of lady-batterijen (AAA) in een metalen buisje. De diameter van het

buisje is dus afhankelijk van de omvang van de toegepaste batterijhouder. Aan de voorkant wordt vervolgens de meetpen **geïsoleerd** bevestigd. Het is raadzaam een low-current type voor de LED toe te passen, zodat deze ondanks de kleine stroom voldoende helder oplicht. Een aan/uit-schakelaar is overigens niet nodig, omdat de schakeling in rusttoestand geen stroom verbruikt. Met alkaline-batterijen zal de levensduur door de geringe zelfontlading ettelijke jaren bedragen.

Het principe van dit meetapparaat zal eenieder ongetwijfeld eerder bij zogenaamde spanningzoekers zijn tegengekomen. Dit zijn meestal kleine schroevendraaiers met een neonlampje en een voorschakelweerstand. Een metalen dop of schroef aan de bovenkant dient als massa-aansluiting en zorgt voor de verbinding met het lichaam van de gebruiker. Overigens werken spanningszoekers met een neonlampje pas bij wisselspanningen vanaf ongeveer 100 V. Het is bij het hier gepresenteerde meetapparaat vanwege de veiligheid beslist **niet** de



Figuur 1. De bijzonder compacte print past samen met twee lady- of penlight-batterijen in een metalen buisje.

bedoeling netspanning te meten - gebruik hiervoor een gewone spanningzoeker! De spanningstester is ontworpen voor kleine spanningen tot maximaal 60 V. Bovendien is de tester geschikt als geleidingstester en LF-signaalvolger.

Schakeling

In de schakeling in **figuur 2** is een eenvoudige darlington-trap met twee transistoren van het type BC548C weergegeven. Elke transistor versterkt de stroom minstens 420 maal, zodat zij samen de ingangsstroom meer dan 170.000 keer versterken. De stroom door de collector is al bij 1 mA op de maximale waarde. Een ingangsstroom van minder dan 0,01 μA (= 10 nA) is dus al voldoende om de LED op te laten lichten. Met het extra piezo-pieper-tje is de tester ook als LF-signaalvolger te gebruiken. Als er namelijk een wisselspanning op de ingang staat, zal niet alleen de LED branden, maar zal het signaal ook te horen zijn.

In de praktijk kan de massa op twee manieren worden gedefinieerd:

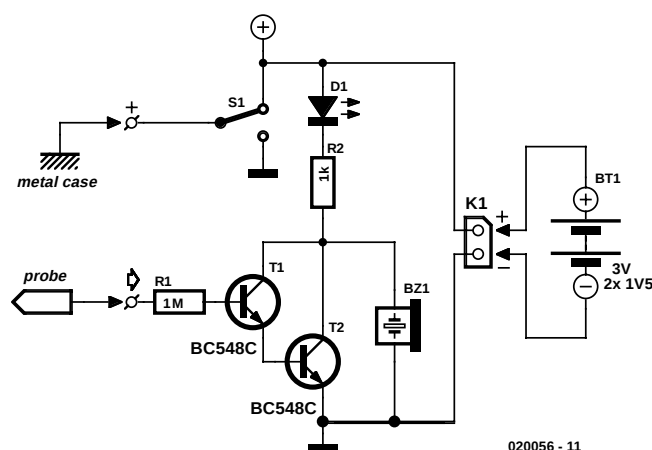
Massa (behuizing) aan de negatieve pool van de batterij

Het apparaat is zo geschikt voor ingangsspanningen vanaf +1 V en ideaal voor foutzoeken in schakelingen. Met de rechterhand wordt de tester vastgehouden, met de linker wordt de massa van de te onderzoeken schakeling aangeraakt. Door het aantippen van een meetpunt kan vervolgens bepaald worden of hier tenminste +1 V op staat.

Op deze manier is de tester ook geschikt als batterij- of polariteitstester, als met de andere hand telkens de tegenpool van de batterij wordt aangeraakt. Bovendien kunnen zo wisselspanningen met een topspanning van meer dan +1 V zichtbaar en hoorbaar worden gemaakt.

Massa (behuizing) aan de positieve pool van de batterij

Het meetapparaat werkt nu als geleidingstester, waarbij 'geleiding' hier als zeer hoogohmig geïnterpreteerd moet worden. Een weerstand van 1 M Ω wordt al als geleiding herkend. Bovendien kunnen kleine condensatoren met een capaciteit tot



Figuur 2. De schakeling bestaat in feite slechts uit een darlington-trap met hoge stroomversterking.

Onderdelenlijst

Weerstanden:

R1 = 1 M

R2 = 1 k

Halfgeleiders:

D1 = rode LED, low-current

T1, T2 = BC547C, BC548C of BC549 C

Diversen:

BZ1 = buzzer

K1 = 2-polige header, raster 2,5 mm, of twee printpennen

S1 = schakelaar, enkelvoudig om (optioneel: zie tekst)

Batterijhouder voor twee lady- (AAA) of penlight- (AA) batterijen

Behuizing: passende metalen buis (zie tekst)

Print-layout 020056-I leverbaar via

ThePCBShop

Print-layout is ook beschikbaar op

www.elektuur.nl

100 pF getest worden. Laad- en eventuele lekstroom zijn eenvoudig te herkennen. Ook zijn doorgebrande gloeilampen of zekeringen snel te testen. Ook nu is het erg handig dat volstaan kan worden met het aanraken van de tegenpool.

In het schema is een wisselschakelaar (kleine wip- of schuifschakelaar) opgenomen, waarmee tussen de twee opties gewisseld kan worden. Als maar een van de twee mogelijkheden gewenst is, kan de schakelaar natuurlijk ook weggelaten worden. De metalen behuizing van de tester kan dan direct met de bewuste aansluiting van de voedingspanning worden verbonden.

Verdere toepassingen

De grote gevoeligheid van de tester biedt een aantal extra mogelijkheden. Zo kunnen bijvoorbeeld in een wand weggewerkte netleidingen opgespoord worden. De capacatieve koppeling met het net is al bij een afstand van enkele centimeters voldoende om de wisselspanning te detecteren.

Ook statische ladingen zijn te detecteren. Als met de tester in de hand - de meetpen van het lichaam af gericht - over vloerbedekking wordt gelopen, licht de LED bij iedere stap fel op.

Ongetwijfeld zijn voor deze minischakeling nog veel meer toepassingen te vinden...

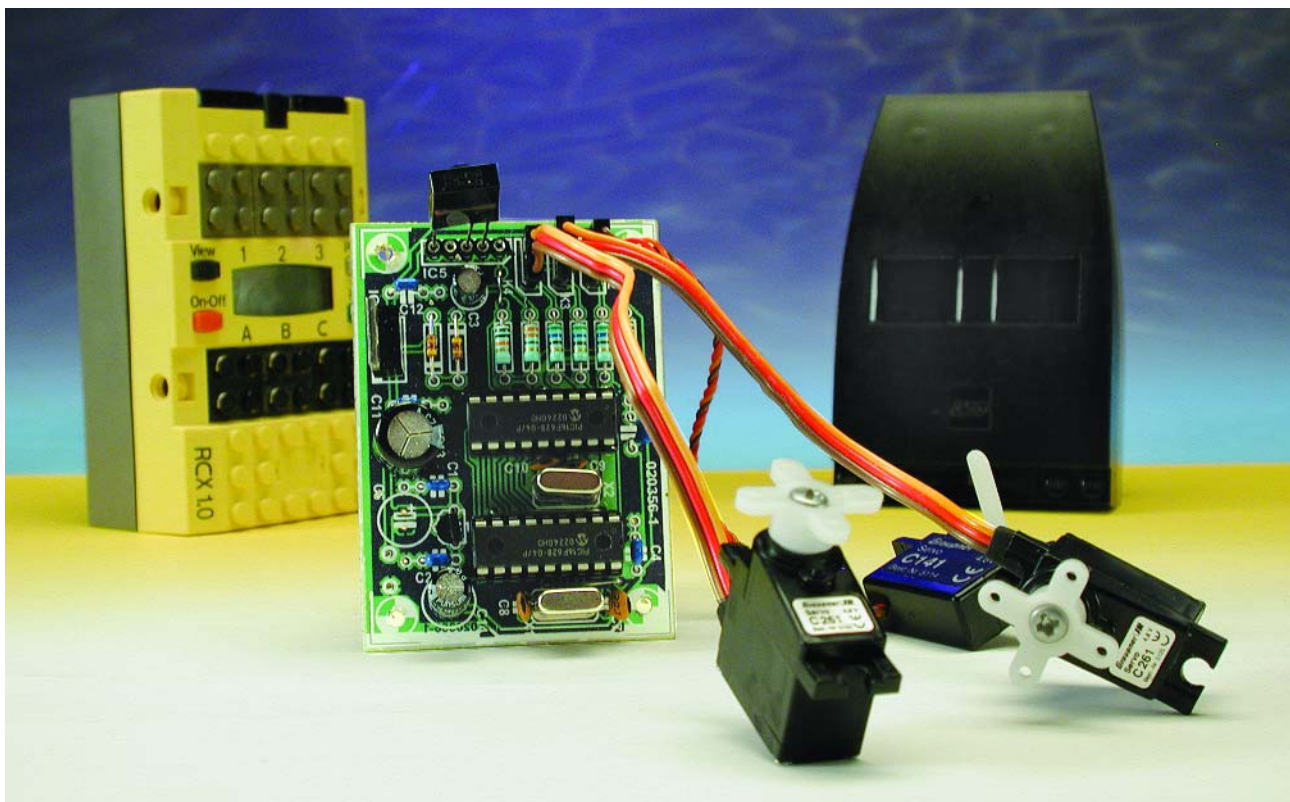
(020056)

IR servo-interface voor RCX

Lego-RCX-compatibele infraroodsturing voor modelbouwservo's

Claude Baumann

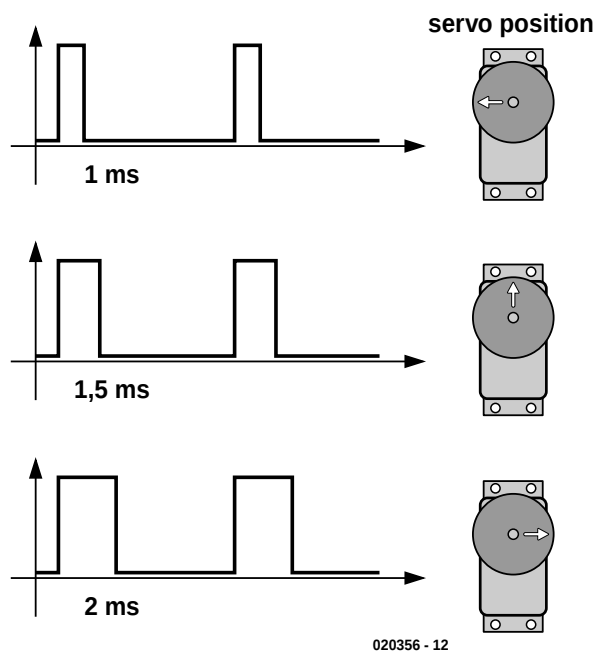
Een van de weinige tekortkomingen van het Lego Mindstorms systeem is het ontbreken van voldoende nauwkeurige instelmotoren. Dat was voor de auteur reden om een interface voor de sturing van drie modelbouwservo's te ontwerpen. De servo's worden via de IR-interface van de RCX-module gestuurd en kunnen gelijktijdig worden aangedreven.



Voor de meeste robotprojecten zijn de drie verschillende Lego Technics 9-V-motoren prima geschikt. Maar voor nauwkeurige

instelling is de speling ervan te groot en zou een beter alternatief meer dan welkom zijn.

De bekende modelbouwservo's zijn er in vele soorten en maten en ze zijn vrij nauwkeurig. Maar soms kan het



Figuur 1. Principe van de sturing van een servo door een pulsvormig signaal, waarbij de pulsbreedte de positie bepaalt.

lastig om ze mechanisch te koppelen en ook is directe sturing door de RCX niet mogelijk. De RCX is de centrale stuurmodule van het Lego Mindstorms systeem. Het is een microcomputer die in een wat groot uitgevallen knalgele LEGO-steen is ondergebracht.

Ralph Hempel, de schrijver van pbForth en Andreas Peter hebben elk schakelingen ontwikkeld waardoor de RCX voor de sturing van twee servomotoren kan worden gebruikt. De beschrijvingen zijn op Internet bij [1] en [2] te vinden. Hempel heeft voor de sturing van zijn schakeling zelfs speciale instructies in pbForth opgenomen, namelijk SERVO_INIT en SERVO_SET [3]. Met de hier beschreven schakeling kunnen tot drie servo's gelijktijdig worden aangestuurd met de standaard RCX-Firmware 2.0. Hiervoor wordt de IR-interface gebruikt.

Servosturing

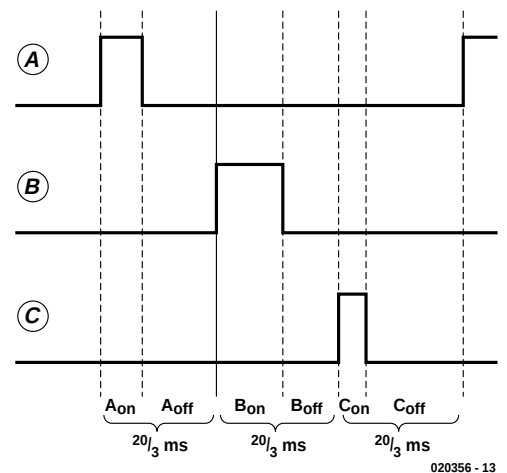
Modelbouw servo's worden met een soort pulsbreedte-modulatie (PWM) aangestuurd. Het stuursignaal is een rechthoeksignaal met een frequentie van ongeveer 50 Hz. De frequentie kan iets verschillen per fabrikaat, maar ligt altijd wel tussen 30 en 50 Hz. De informatie is opgeslagen in

de breedte van de rechthoekpuls, die kan variëren tussen 1 en 2 ms. Zoals in **figuur 1** is te zien, staat de servo bij 1,5 ms in de middenstand. Inwendig in de servo is een potentiometer met de uitgaande as verbonden. Door deze potmeter 'weet' de ingebouwde elektronica de momentele stand van de uitgangsas. De potmeter heeft eindaanslagen waar de servo niet overheen mag draaien, anders kan hij worden beschadigd. Dat kan gebeuren als de pulsbreedte buiten de toegestane waarden valt. Soms is daarom een mechanische blokkering aanwezig.

Om drie servo's gelijktijdig te sturen, moeten er drie rechthoeksignalen worden opgewekt, waarvan de pulsbreedtes onafhankelijk van elkaar kunnen worden veranderd. In het schema (**figuur 3**) is te zien dat deze signalen worden opgewekt door een microcontroller PIC16F628 (IC3). Het PIC-programma is zo opgezet dat bij 50 Hz de stuurpulsen na elkaar worden geproduceerd, waarbij de volgende vergelijking geldt:

$$Aon + Aoff + Bon + Boff + Con + Coff = 1/50 \text{ s} = 20 \text{ ms}$$

waarbij Aon, Bon en Con de gewenste pulsbreedtes zijn. De beschik-



Figuur 2. Pulsdiagram van het PIC-uitgangssignaal om drie servo's te sturen.

bare tijd van 20 ms wordt in drie gelijke delen onderverdeeld, waarbij geldt:

$$Aoff = 20/3 \text{ ms} - Aon ; Boff = 20/3 \text{ ms} - Bon ; Coff = 20/3 \text{ ms} - Con$$

Dit verloop is in het impulsdiagram van **figuur 2** te zien. Het stuurprogramma van de pulsgenerator ziet er vereenvoudigd als volgt uit (in pseudocode):

```
Label_1
  OutA on
  Wait Aon
  OutA off
  Wait Aoff

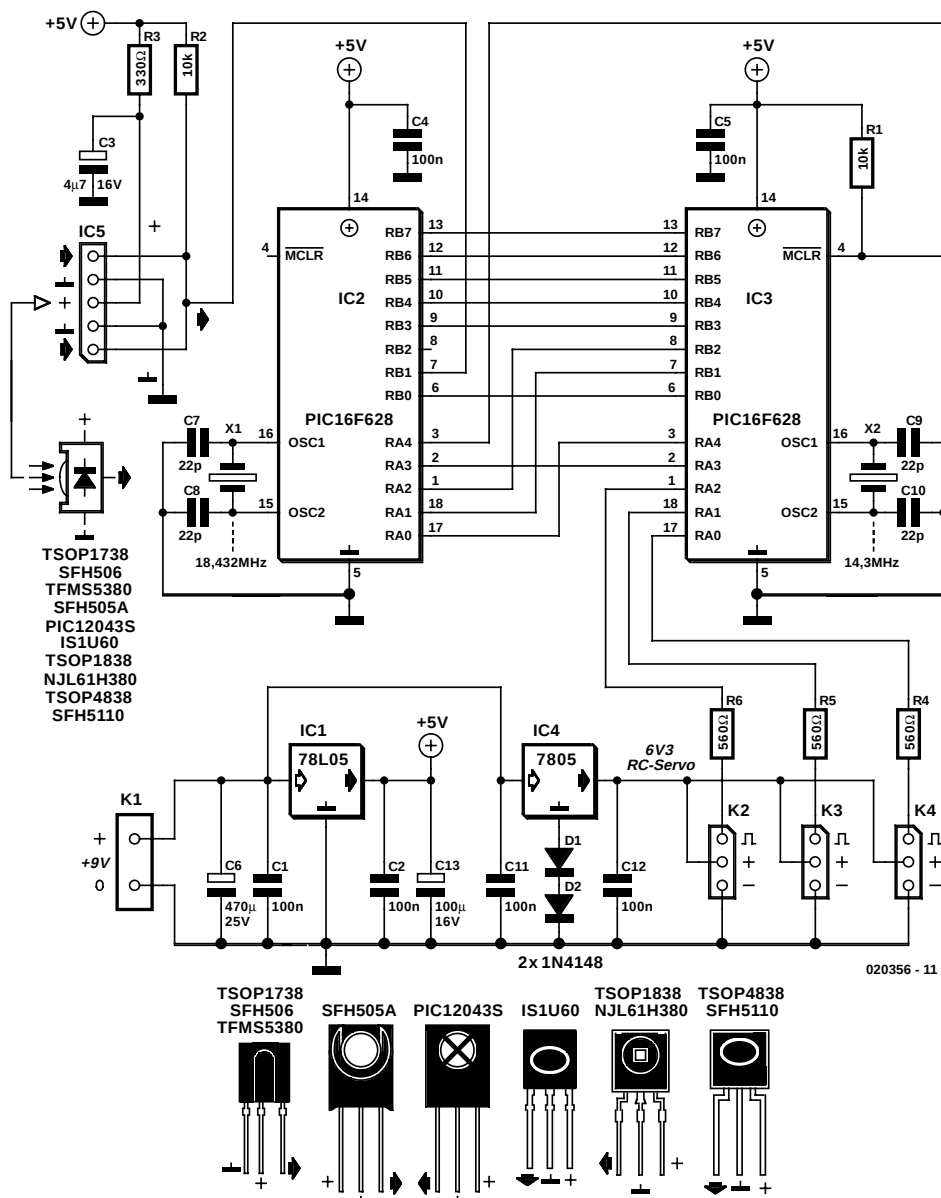
  OutB on
  Wait Bon
  OutB off
  Wait Boff

  OutC on
  Wait Con
  OutC off
  Wait Coff

  Goto Label_1
```

Interface-schakeling

De schakeling wordt gevoed door een apart 9-V-blok. De dubbele spanningsstabilisering met twee regelaars (IC1, IC2) zorgt voor een betrouwbare werking tijdens het draaien van



Figuur 3. De schakeling bestaat uit drie delen: twee stabilisators voor de twee voedingsspanningen (IC1 en IC4), een IR-ontvanger (IC5 en IC2) en pulsbreedtegenerator IC3

de servo's. Als de drie motoren gelijktijdig draaien, kan de opgenomen stroom wel 500 mA of meer bedragen. Daarom mag de interface beslist niet op een uitgang van de RCX worden aangesloten, die is daarvoor niet ontworpen. De dioden D1 en D2 worden op een ietwat ongewone manier gebruikt. Over iedere diode valt een spanning van ongeveer 0,65 V, wat samen een spanning van 1,3 V op de massa-aansluiting van de 7805 geeft. De uitgangsspanning van regelaar IC4 wordt daardoor met eenzelfde waarde verhoogd en bedraagt 6,3 V, een spanning die voor servo's toelaatbaar is. De IR-servomotor-stuurschakeling bestaat uit een IR-ontvanger IC5 en twee achter elkaar

geschakelde microcontrollers van het type PIC16F628. De eerste controller zet de seriële IR-informatie om naar parallel en stuurt deze over een 8-bits databus met 3 stuurlijnen naar de tweede controller (IC3). De maximale resolutie is dus 255. Het tijdsinterval van 1 ms is onderverdeeld in 255 stapjes, waardoor de instel-nauwkeurigheid - afhankelijk van de servo - beter dan 1° is. Bij sommige servo's kan de 'dode zone' (meestal 5 µs) meer dan 1° zijn en zal de servo niet altijd op de kleinste stapverandering reageren. (Opmerking: de dode zone is bij servo's nodig omdat

tijdens het verstellen het inwendig opgewekte referentiesignaal najlt op de binnenkomende pulsduur. De dode zone helpt mede om de servo zo snel mogelijk - zonder oscillatie - in de nieuwe positie te brengen.) De tweede PIC (IC3) wordt met 14,3 MHz geklokt. Deze frequentie hangt samen met de relatie pulsduur/PIC-cycli. Bij 14,3 MHz bedraagt de kloktijd 69,9 ns. Net als bij de populaire 16F84 worden bij de 16F628 de meeste instructies in 4 klokpulsen uitgevoerd, evenals de incrementering van de timer. Een instructie duurt dus 279,6 ns. Door het programma in IC3 wordt de 16-bits timer (TMR1) gebruikt. De kortste servopuls van 1 ms komt daardoor vrijwel overeen met 3575 timer-stappen, wat trouwens ook de begininstelling is. Dan volgt een OFF-pauze van $(20/3 - 1)$ ms, wat overeenkomt met 20258 klokslagen. De pulsduur in PIC-cycli kan als volgt worden berekend:

$$t = a \cdot x + b, \text{ waarbij geldt:}$$

$0 < x \leq 255$, 0 is voor speciale doeleinden gereserveerd

$$a = (7150 - 3575) / (255 - 1) = 14,0, \text{ bereik (Slope)}$$

$$b = 3575, \text{ nulpuntverschuiving (Intercept)}$$

Hieruit kan de keuze van de klokfrequentie van IC3 worden verklaard: de breuk 3575/254 is bijna een geheel getal. In het PIC-programma is namelijk de mogelijkheid ingebouwd om bereik en nulpuntverschuiving in de bovenstaande formule te veranderen om zo een individuele trimming van de servo's mogelijk te maken. In het overdrachtsprotocol heeft dit als consequentie dat feitelijk alleen 8-bits gegevens mogen worden verzonden. Daarom kunnen voor Slope en Intercept alleen hele getallen worden gebruikt (Intercept alleen in stappen van 20).

Data-overdracht

De parallelle data-overdracht tussen IC2 en IC3 gebeurt in twee stappen. Er worden twee microcontrollers gebruikt omdat er meerdere tijdskriti-

Tabel 1 Waarheidstabel voor de stuurlijnen.

IC2 (UART)					
A4	A3	A0	Wert	PortA-waarde (A7-A5, A2, A1 gemaskerd)	Betekenis
0	0	0	0	0	NOP
0	0	1	1	1	Charge A
0	1	0	2	8	Charge B
0	1	1	3	9	Set Slope
1	0	0	4	16	Charge C
1	0	1	5	17	Set Intercept
1	1	0	6	24	NOP
1	1	1	7	25	Reset

sche taken moeten worden uitgevoerd. In de eerste plaats moet de UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) continu op ontvangst zijn ingesteld, omdat een IR-commando op ieder willekeurig moment kan binnenkomen. Dan moet de UART de ontvangst volgens het gebruikte Lego-protocol (opcode 0x14) afhandelen, wat bij een baudrate van 2400 en een blokgröße van 15 bytes (startbit, 8 databits, pariteitsbit en stopbit inbegrepen) een overdrachtstijd van ongeveer 70 ms per commando betekent.

Verder moeten, afhankelijk van de ontvangen commando's, drie onafhankelijke stabiele pulsbreedtesignalen worden opgewekt met een nauwkeurigheid beter dan 5 µs. Het is veel eenvoudiger om voor deze taken twee PIC's te gebruiken dan te proberen alles door een PIC te laten doen. Voor wat betreft de totaalkosten maakt het vrij weinig verschil.

De pennen RB1 en RB2 van IC2 zijn als UART geconfigureerd en dus niet meer beschikbaar als lijnen voor de parallelle databus. Daarvoor in de plaats worden RA1 en RA2 gebruikt. Een gevolg daarvan is dat er een stuurlijn meer nodig is omdat de poorten A en B van IC2 niet gelijktijdig kunnen worden geschakeld. Zonder aparte stuurlijn bestaat de mogelijkheid dat IC3 onbetrouwbare data ontvangt. RA4 van IC2 is een open-drain-uitgang, vandaar dat R1 als pullup-weerstand is toegevoegd. Bij beide IC's wordt de $\overline{\text{MCLR}}$ standaard door een inwendige weerstand naar V_{DD} getrokken. Daardoor kan deze pen van IC3 als ingang RA5 worden gebruikt. In **tabel 1** staan alle mogelijke toestanden van de stuurlijnen met de betekenis.

RCX-UART

Uit documentatie van de Mindstorms SDK2 [4] blijkt dat de firmware 2.0 de gebruiker toegang geeft

tot het zenderkanaal van de RCX-UART. Hierdoor komen nieuwe robottoepassingen in beeld. Zo kan bijvoorbeeld een RCX een andere RCX programmeren of een aantal RCX-modules kunnen gemeenschappelijk van variabelen of sensorwaarden gebruik maken. Belangrijk is wel dat het Lego-UART-protocol wordt gebruikt, evenals de juiste opcodes. Vanzelfsprekend is dat alle RCX-modules binnen het ontvangstbereik van de IR-transmissie moeten vallen, anders kan dat rampzalige gevolgen hebben, aldus de documentatie. Door ons is gekozen voor opcode 0x14 (Setvar of Setv). Dit commando wordt in Robolab 2.5 niet meer gebruikt, omdat met de

Tabel 2

Extra gegevens van het Lego-protocol ter controle van de transmissie.

Dataheader (voor alle opcodes)	hex 55 FF 00
opcode	0x14 (=d20)
opcode-complement	0xFF-0x14 = 0xEB
dummy	0x00
dummy-complement	0xFF
dummy	0x00
dummy-complement	0xFF
instruction	n
instruction-complement	not(n)
data	x
data-complement	not(x)
checksum	s
checksum-complement	not(s)

Firmware 2.0 een universeel SET-commando is geïntroduceerd, waarmee ook - afhankelijk van de instelling - sensorwaarden (clicks) en andere variabelen kunnen worden gezet. Overeenkomstig de datasheet is de volledige opcode als volgt:

SETVAR: 0x14 variable, source, number (LO), number (HI)

Reply 0xE3, de ontvangende RCX-module stuurt namelijk na het testen van de opcode een ontvangstbevestiging. Hier speelt die geen rol, alleen moet tussen opvolgende opcode-transmissies een korte pauze worden ingelast omdat er anders storing kan optreden.

Dit commando wordt door ons op iets aangepaste wijze gebruikt:

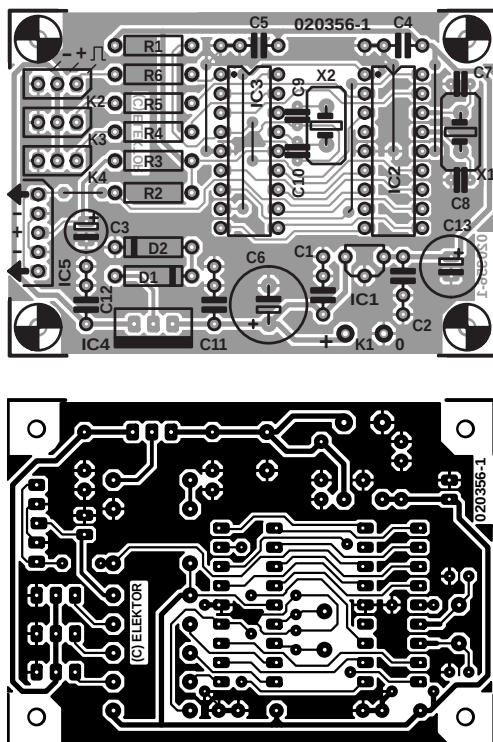
0x14 0 (dummy), 0 (dummy), instructie, data

(Bij de desbetreffende RCX wordt helaas vari-

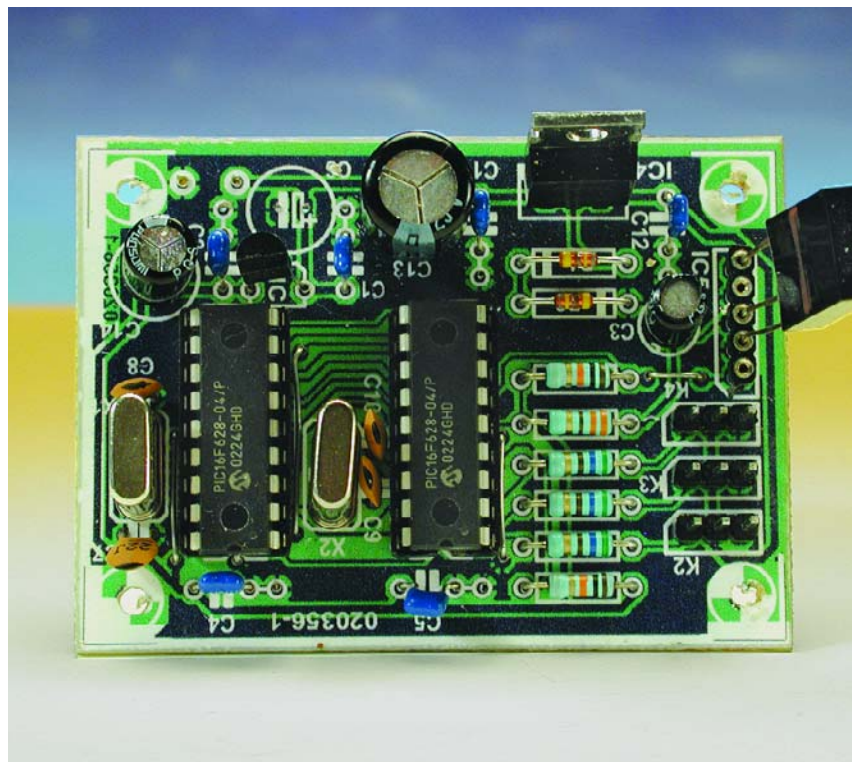
Tabel 3

Robolab commando-overzicht (Device Instruction Set)

Instruction	Number	Command
1 (1)	0	Select channel A
2 (8)	0	Select channel B
4 (16)	0	Select channel C
1 (1)	1..255	Charge A
2 (8)	1..255	Charge B
4 (16)	1..255	Charge C
3 (9)	0..255	Set slope of selected channel (default 14)
5 (17)	0..5100 (0..255)	Set intercept (DIV 20) of selected channel (default 3575)
7 (25)	x	Reset all the slopes and intercepts to default



Figuur 4. De enkelzijdige print is vrij compact, maar vergeet de draadbruggen niet.



Onderdelenlijst

Weerstanden:

R1, R2 = 10 k
R3 = 330 Ω
R4...R6 = 560 Ω

Condensatoren:

C1, C2, C4, C5, C11, C12 = 100 n
C3 = 4 μ F/16 V radiaal
C6 = 470 μ F/16 V radiaal
C7...C10 = 22 pF
C13 = 100 μ F/16 V radiaal

Halfgeleiders:

D1, D2 = 1N4148
IC1 = 78L05
IC2, IC3 = PIC16F628 (geprogrammeerd,
IC2: EPS 020356-41, IC3: EPS 020356-42)
IC4 = 7805
IC5 = TSOP1738 (zie tekst)

Diversen:

K1 = 9-V-batterij (zie tekst)
K2...K4 = 3-voudige SIL printhead male
X1 = 18,432 MHz kristal
X2 = 14,3 MHz kristal (zie tekst)

Print 020356-1 leverbaar via ThePCBShop
Floppy met software: EPS 020356-1 I

Print-layout en software zijn ook
beschikbaar op www.elektuur.nl/tijdschrift/

abele 0 opgeofferd en mag niet worden gebruikt.)

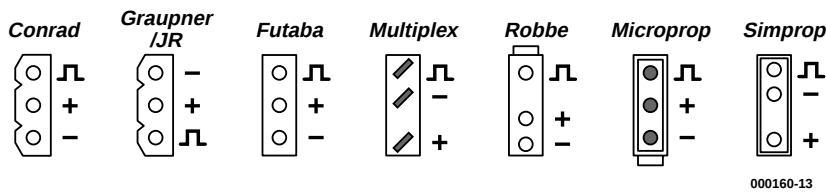
Bij het Lego-protocol zijn aanvullende gegevens nodig om de overdracht te kunnen controleren; deze staan in **tabel 2**. Als bij de ontvanger de complementaire gegevens en de checksum correct blijken te zijn en dat ook voor het volgende byte het geval is, dan is het vrijwel zeker dat de data-overdracht foutloos is. Door de RCX wordt nog een pariteitscontrole uitgevoerd, maar in het PIC-programma in IC2 wordt dat niet gedaan omdat de UART in de 16F628 deze mogelijkheid niet heeft. Als IR-ontvanger/demodulator is door de auteur een (vrij goedkope) TSOP 1738 van Vishay-Telefunken gebruikt. De LEGO-IR transmissie geschiedt met een draaggolffrequentie van 38 kHz en 2400 baud. De ontvanger is vrij gevoelig en als de RCX juist is ingesteld, zijn afstanden tot 10 m te overbruggen.

Tabel 3 geeft een overzicht van de in het Robolab-programma gebruikte instructies. De eigenlijke verzonden waarden zijn tussen haakjes vermeld. Zoals reeds is aangegeven, mag bij het trimmen van de servo's

de maximale uitslag niet worden overschreden. Daarom moet met kleine stapjes worden getrimd.

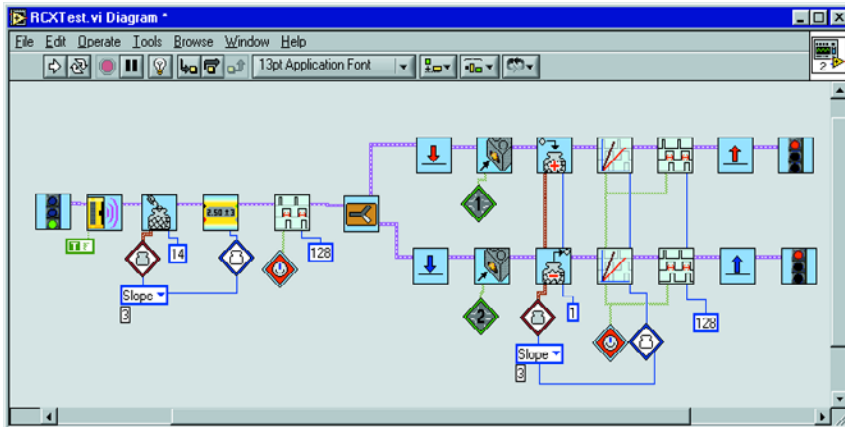
Opbouw

Hoewel de print vrij compact is, is de bouw toch niet moeilijk (**figuur 4**). De print is enkelzijdig en daarom zijn in totaal zes draadbruggen nodig. Drie zitten onder de IC's: een onder IC2 en twee onder IC3. Voor deze draadbruggen kan het best geïsoleerd draad worden gebruikt dat aan de koperkant wordt aangebracht. Als alternatief kunnen ze ook onder de IC's of IC-voetjes worden aangebracht, maar dan moet wel dun koperdraad worden gebruikt. De normale gang van zaken is om eerst de draadbruggen te monteren en dan de onderdelen, te beginnen met de laagste. Belangrijk is natuurlijk om zorgvuldig te solderen, de waarden van de onderdelen goed te controleren en ook op de polariteit van onderdelen als elco's, dioden en de indicatie op de IC's te letten. Bij spanningsregelaar IC4 is de koelvin naar de rand van de print gericht. Voor de aansluiting van de voeding dienen de twee printpennen, aange-

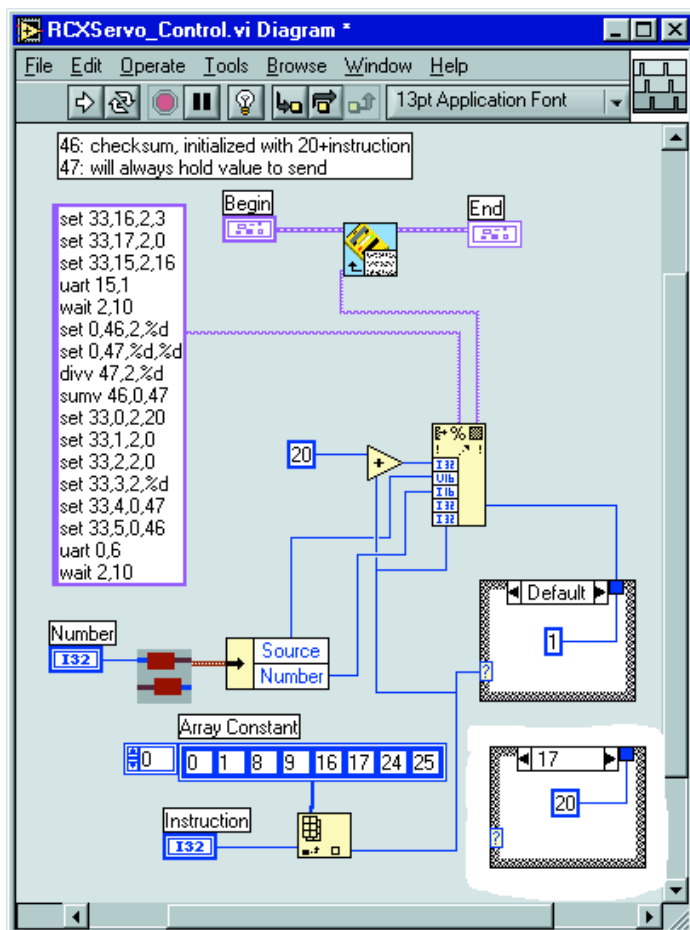


000160-13

Figuur 5. Aansluitgegevens van verschillende typen servo's.



Figuur 6. Een van de RCX-programma's die kunnen worden gedownload. Hier kan de stand van de servo's d.m.v. aanraaksensoren worden veranderd.



Figuur 7. Het hart van het RCX-programma: Het zenden van de RCX-UART.

duid met K1. Het stroomverbruik van de schakeling wordt grotendeels bepaald door het aantal servo's en de stroom die ze opnemen. Voor de voeding kunnen eventueel batterijen worden gebruikt, de voorkeur verdienen dan zes penlites in een houder, want een 9-V-blok-batterij gaat slechts kort mee.

IR-ontvanger IC5 hoeft niet per se op de print te worden gemonteerd. Als dat beter uitkomt kan hij op enige afstand worden geplaatst en via een 3-aderig kabeltje met de print worden verbonden. In plaats van een TSOP1738 van Vishay-Telefunken kunnen ook andere IR-ontvangers (met dezelfde eigenschappen) worden gebruikt. In het schema (figuur 3) staan alternatieven met aansluitingen. Alle IC's hebben weliswaar drie aansluitingen, maar er zijn meerdere configuraties. Daarom zijn op de print voor IC5 vijf aansluitpunten aanwezig, die zo zijn geplaatst dat elk van de zes IR-ontvangers toch direct op de print kan worden gesoldeerd (of aangesloten) in drie naast elkaar gelegen gaten.

Als het problemen oplevert om aan een 14,3-MHz-kristal (X2) te komen, dan kan als alternatief een 16-MHz-kristal worden gebruikt. Normale RC-servo's hebben geen problemen met de afwijking die daardoor ontstaat.

De servo's worden aangesloten op pinheaders K2, K3 en K4. De meeste servo's kunnen direct worden aangesloten, maar sommige fabrikanten hebben andere (contra) stekers. In **figuur 5** staan de aansluitingen van de meest gebruikte servotypen.

Gebruik

De servo-interface kan worden gebruikt met Robolab 2.5 en RCX-firmware 2.0, met de Lego-Tower (RS232 en USB) en door de RCX zelf. Daarvoor kunnen diverse programma's worden gedownload (zie het kader 'Downloads voor dit project'). We zullen er een paar in het kort voorstellen.

Een eenvoudig download-programma met twee parallele taken is in **figuur 6** te zien. In dit voorbeeld zal de RCX de stelhoek van de rode servo (vanuit de middenstand) vergroten of verkleinen, afhankelijk van de sensor die wordt aangeraakt. De kleuren rood, blauw en geel zijn gekozen volgens de gebruikelijke Robolab-kleurcodes. Het tweede programma-icoon stelt de RCX in voor 'grote IR-afstand'. Op het display is de desbetreffende Slope-waarde te zien. Op identieke wijze kan ook de Intercept-waarde worden ingesteld. Door veranderen van de Slope wordt de servo-uitslag vergroot of verkleind, Intercept heeft alleen invloed op de (neutrale) middenstand. Zoals in Robolab/Labview gebruikelijk is,

worden programmadelen visueel tot nieuwe iconen samengevoegd. Hierdoor blijven zelfs complexe programma's overzichtelijk. In **figuur 7** is het hart van het RCX-programma te zien: het betreft het zendergebruik van de RCX-UART. In de Lego-Mindstorms SDK [4] is meer informatie over het gebruik van de UART te vinden.

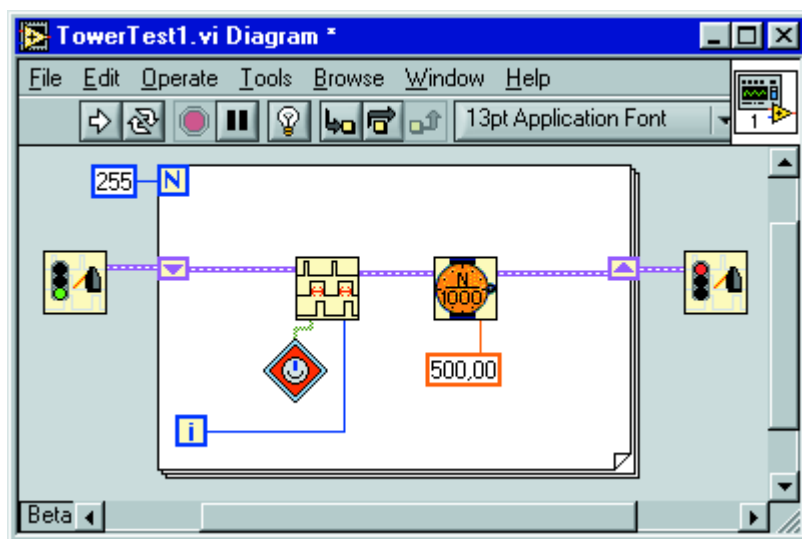
Het eenvoudige programma in **figuur 8** draait op een PC. De rode servo maakt langzaam een hele slag. Let ook op de Labview-FOR-lus in combinatie met het schuifregister. Door de geblokte draad lopen gegevens die via het schuifregister bij iedere volgende lus-doorloop worden gebruikt. Hierdoor kan bijvoorbeeld een optredende fout gemakkelijk worden gelocaliseerd. De twee iconen aan de zij-kanten initialiseren respectievelijk sluiten onder andere de verbinding met de Lego-Tower. Het programma zoekt de Tower-verbinding in Robolab. De normale Robolab-RCX-Direct-Mode kan niet worden gebruikt, omdat dan steeds op ontvangstbevestiging door de RCX wordt gewacht. In ons geval wordt slechts eenzijdig gezonden.

Tot slot is in **figuur 9** het frontpaneel van het RCServo-Manager-programma te zien, dat heel eenvoudig is te bedienen. Trimmen wordt gedaan met Slope en Intercept. De Tower zendt alleen als er een waarde verandert. Als dat continu het geval is, dan bepaalt de waarde RATE voor de klokfrequentie.

(020356)

Downloads

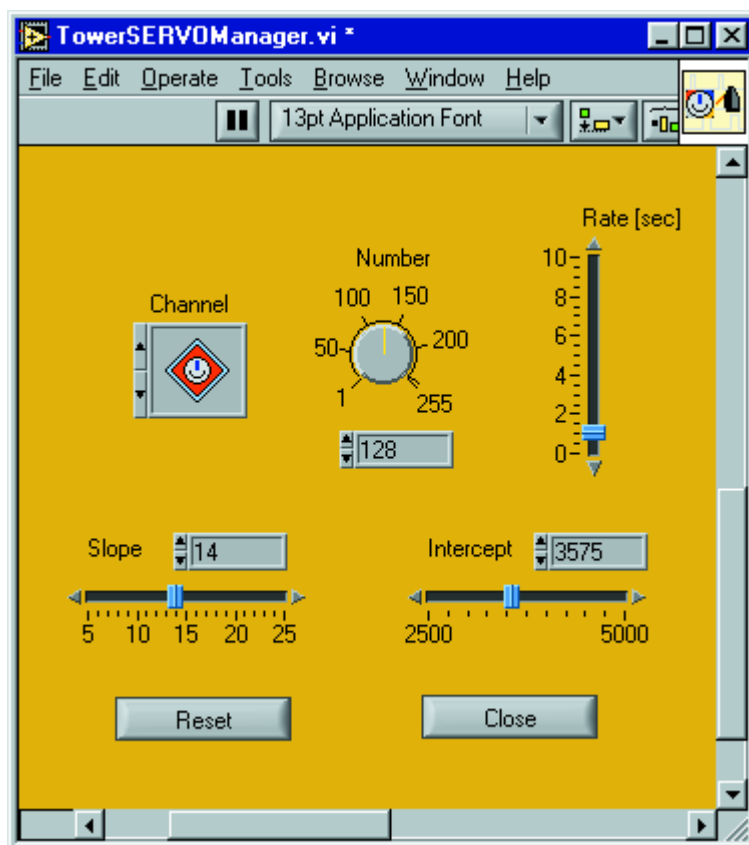
- Layout van de print in PDF-formaat onder download-nr. 020356-I
- RCX-programma's voor servosturing en source- en hexcode van de twee PIC-programma's onder download-nr. 020356-II
- De auteur stelt zijn volledige documentatie met afbeeldingen, programma's, asm-/hex-bestanden en tips voor download ter beschikking op:
www.convict.lu/IR_Servo_control.zip



Figuur 8. Dit eenvoudige programma draait op een PC en stuurt de servo's via de Lego-Tower.

Extra info

- [1] www.inchlab.net/2servo_interface.htm
- [2] www.hempeldesigngroup.com/lego/servos/
- [3] Dave Baum, Michael Gasperi, Ralph Hempel, Luis Villa: 'Extreme Mindstorms, An Advanced Guide to LEGO MINDSTORMS', pag. 313
- [4] www.csee.tufts.edu/robolab/csee/Documentation/LEGOMindStormsSDK.zip



Figuur 9. Het eenvoudig te bedienen frontpaneel van de RCServo-manager.

Naderingsschakelaar

Magisch schakelen... met behulp van een PIC

Jürgen Wickenhäuser

In plaats van met een speciaal IC is een capacitieve naderingsschakelaar ook prima met een goedkope PIC te realiseren.

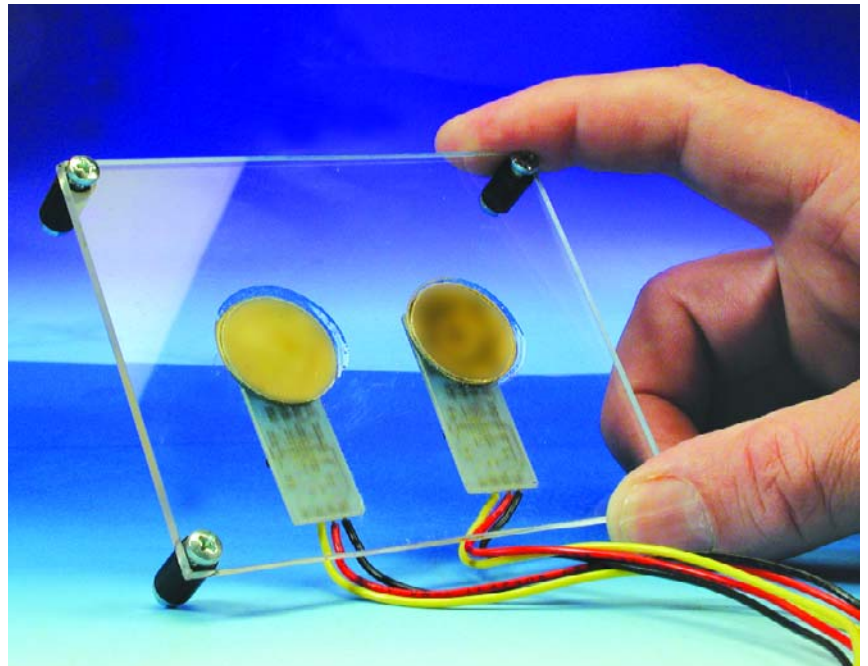
Verschillende fabrikanten leveren sinds enige tijd speciale IC's ten behoeve van 'aanraakloze' schakelaars. Meestal functioneren deze op het capacitieve principe gebaseerde schakelaar-IC's uitstekend, maar ze zijn helaas moeilijk verkrijgbaar en bovendien niet echt goedkoop. Een capacitieve knop is echter ook prima met traditionele middelen (wat natuurkunde en een microcontroller) op te bouwen.

De mens als plaat

Samen met een op een koperen printplaat gesoldeerd muntstuk als een pool, vormt een persoon zo de andere pool van een condensator (PAD in **figuur 1**). Grof (zeer grof) geschat: met een koperoppervlak van 3,2 cm², een afstand van 4 mm (plexiglas schijf als afstandshouder) en een aangenomen relatieve diëlektrische constante van 8, is de capaciteit idealiter ongeveer 8 pF. Als de schakelaar niet wordt aangeraakt is dit slechts 2...3 pF.

Via twee weerstanden wordt een tweede condensator (C2) geladen. De drie schakelaars zijn in feite poorten van een microcontroller, waarbij GP1/GP2 signaal A en GP0 signaal B voorstellen.

De eigenlijke meting bestaat slechts uit het via signaal B voor ongeveer 2 μ s sluiten van beide schakelaars. In deze tijd kan condensator C1 zich via R1 bijna volledig opladen. Een kleine hoeveelheid lading (hier te verwaarlozen) zal overigens via R2 naar massa wegvloeien. Vervolgens worden beide schakelaars geopend en kan C2 door C1 opgeladen worden. Zodra de spanning op C2 een bepaalde waarde (hier ongeveer 0,7 V) overschrijdt, 'sluit' signaal B en wordt C2 ontladen. De cyclus kan nu weer van voren af aan beginnen. Het aantal keren dat nodig is tot de



tweede condensator vol is, wordt nu geteld. Zo eenvoudig is het dus! Het feit dat C2 gelijktijdig op- en ontladen wordt, lijkt op het eerste gezicht natuurlijk tegenstrijdig. Omdat de schakelaars echter veel langer geopend dan gesloten zijn, gaat slechts een klein deel van de lading van C2 verloren.

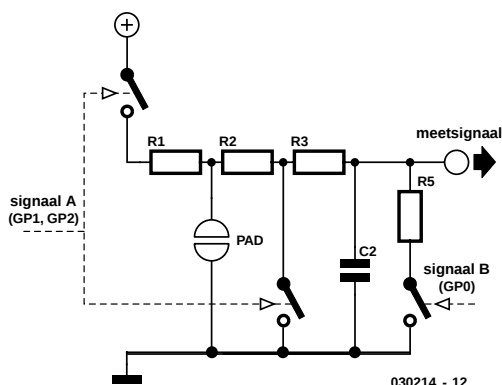
Een slimme knop

In het ideale geval zijn ongeveer 20.000 cycli nodig om C2 met de vinger van een gebruiker te ontladen. Een meting duurt hierdoor ongeveer 50 ms. Zodra de software een 'druk

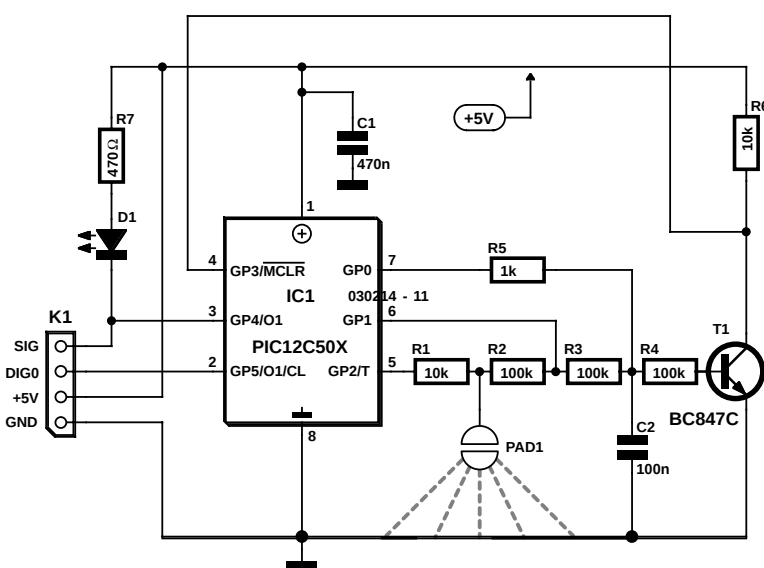
op de knop' via GP3 herkent, wordt uitgang GP4 laag en gaat de LED branden. Verder wordt via pin GP5 het aantal benodigde cycli bij iedere meting uitgegeven. Met een oscilloscoop of een teller is het naderen heel goed te volgen!

Als microcontroller is (zoals in **figuur 2** is te zien) een goedkope en goed verkrijgbare PIC12C508 met 512 bytes geheugen gebruikt. Heeft u toevallig nog een 509 met 1024 bytes liggen, dan kan ook die controller ingezet worden. De PIC werkt met zijn interne RC-oscillator op ongeveer 4 MHz.

De print in **figuur 3** is enkelzijdig.



Figuur 1. Blokschema van de naderingsschakelaar.



Figuur 2. Het complete schema met de PIC-microcontroller.

Normaal gesproken is het oppervlak van het koper op de print voldoende, maar dat kan indien gewenst (voor verbeterde gevoeligheid) ook vergroot worden.

De schakeling heeft nog andere voordelen: de werking is adaptief! Dat wil zeggen dat de detectiedrempel langzaam wordt aangepast om bijvoorbeeld verstoringen te compenseren. Alleen snelle veranderingen leiden tot detectie! Verder kan het feit dat de meting eigenlijk

geheel software-matig verloopt nog verder worden uitgebuit: de PIC's hebben uitgekiende mechanismen aan boord om energie te sparen. Omdat een meting maar ongeveer 50 ms duurt en elke 500 ms meten

normaal gesproken ook voldoende is, kan de controller het grootste gedeelte van de tijd in de slaapstand staan. De gemiddelde stroomopname is hierdoor zonder problemen terug te brengen tot ongeveer 0,1 tot 0,2 mA! Ook HF-signalen zullen geen roet in het eten gooien: de frequentie van signaal A wordt tijdens het meten uit voorzorg telkens een beetje veranderd. Je weet maar nooit...

(030214)

Downloads

De broncode die bij dit project hoort is evenals de print-layout gratis te downloaden van <http://www.elektuur.nl>. Kijk hiervoor bij het artikel 'Naderingsschakelaar' in het overzicht van de januari-uitgave 2004.

Onderdelenlijst

Weerstanden:

R1,R6 = 10 k (SMD 0805)
R2...R4 = 100 k (SMD 0805)
R5 = 1 k (SMD 0805)
R7 = 470 Ω (SMD 0805)

Condensatoren:

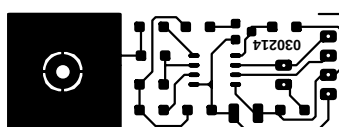
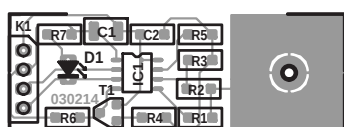
C1 = 470 n (SMD 1206)
C2 = 100 n (SMD 0805)

Halfgeleiders:

D1 = chip-LED rood (SMD 0805)
T1 = BC847 (SOT23)
IC1 = PIC12C508A04/SO8
(geprogrammeerd, EPS 030214-11)

Diversen:

K1 = 4-polige mini-printkroonsteen, steek 2,5 mm
PAD = sensoroppervlak (zie tekst)
Print 030214-1 leverbaar via ThePCBShop
Floppy met broncode EPS 030214-11



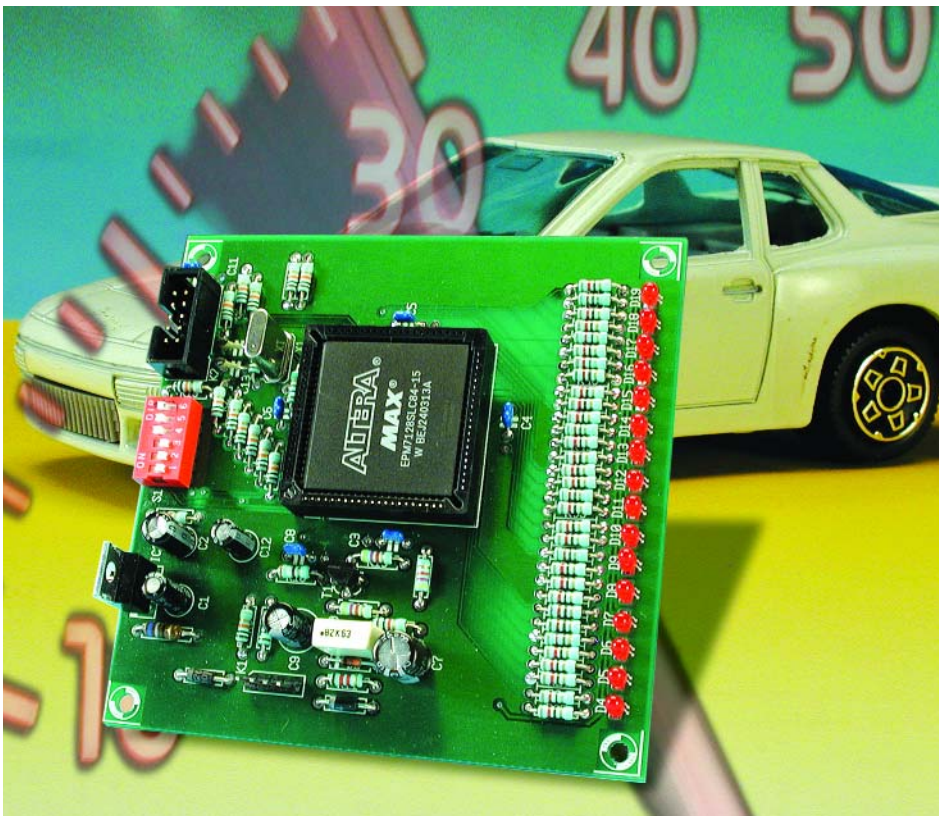
Figuur 3. Layout en componentenopstelling van de mini-print.

CPLD's in de praktijk

Deel 2: de hardware van de Altera 7000S

Alfred Rosenkränzer

In dit tweede deel komt de hardware van een 7000S-CPLD van Altera aan de beurt. Daarna kunnen we de programmering voor de digitale toerenteller uit de doeken doen.



De nu volgende beschrijving van de hardware kan de uitgebreide documentatie op de website van Altera niet vervangen en dat is ook niet nodig. We hebben de uitleg alleen maar nodig om te verklaren wat er allemaal binnen in de chip gebeurt.

De kleinste eenheid van een CPLD is de macrocel, een flipflop met bijbehorende logica. Deze logica kan wel 36 ingangssigna-

len aan die tegelijkertijd ook nog eens als true en complement (dus niet-geïnverteerd en geïnverteerd) worden aangeboden. Deze signalen worden vervolgens op AND-poorten aangesloten (product-term). Elke macrocel kan tot vijf van deze producttermen OR-en (middels een OR-poort). Als er meer dan vijf OR-ter-

men nodig zijn, dan is het mogelijk om de poorten van een naburige of andere macrocel te gebruiken. Het resultaat van deze logische bewerkingen wordt (eventueel nog via een exclusive-OR-poort, een XOR-poort) aan de ingang van de flipflop aangesloten. De flipflop kan uitgevoerd worden als een D-, T-, JK- of SR-flipflop. Als uitsluitend combinatorische logica nodig is, dan wordt de FF overbrugd.

Als kloksignaal voor de FF kan een van de twee algemene klokken worden gebruikt of een productterm van de logica. In het algemeen is het beter om met een synchrone schakeling (waarbij alle registers hetzelfde kloksignaal gebruiken) te werken dan met een asynchroon ontwerp. Als de interne logica het kloksignaal verzorgt, dan kom je bij de wat grotere schakelingen al gauw in de problemen. Dat zullen we later aan de hand van een voorbeeld toelichten. Principeel is het ook mogelijk om gelijktijdig zowel de op- als neergaande helling van het kloksignaal te gebruiken. Ook dit mag alleen maar in geval van nood toegepast worden, omdat de maximaal toelaatbare kloksnelheid anders omlaag gaat. Het is beter om met het enable-sig-naal de juiste klokflank te selecteren. Er zijn ook asynchrone set- en reset-ingangen beschikbaar, die dus onafhankelijk van het kloksignaal werken. Die signalen kunnen door de

logica worden opgewekt, maar er is ook een algemeen clear-sigitaal (en een clear-aansluiting op de chip zelf). Bij de CPLD's van Altera vormen 16 van die macrocellen een LAB (Logic Array Block). Elk LAB heeft 36 ingangssignalen die uit een interne bus, een PIA (Programmable Interconnect Array) komen. Daardoor is het bijvoorbeeld niet mogelijk om twee woorden van 20 bits met elkaar te vergelijken, omdat je daarvoor 40 ingangen nodig zou hebben. Maar in de regel zijn 36 signalen wel genoeg. Alle uitgangen van alle macrocellen, alle bijzondere uitgangsaansluitingen en alle I/O-pennen zijn verbonden met de PIA.

De verschillende bouwstenen van de 7000S-serie verschillen in het aantal LAB's. De kleinste, de 7032S, heeft twee LAB's en dus 32 macrocellen. De laatste drie cijfers van het type-nummer geven dus het aantal macrocellen aan. Afhankelijk van de bouwsteen en de behuizing zijn alle of maar een paar macrocellen van een I/O-pen voorzien.

De programmagegevens worden via de JTAG-interface in de bouwsteen geladen. Die interface werd in het eerste deel (Elektuur februari 2004) beschreven. De zogenaamde Byteblaster vormt de verbinding tussen de JTAG-poort en de parallel-poort van de PC. De nieuwere versie hiervan, de ByteblasterMV, kan verschillende voedingsspanningen aan. De oude versie werkt alleen op 5 V. Vroeger was er ook nog een versie voor de seriële interface (Bitblaster) en de nieuwste werkt via de USB-poort. Overigens doet het er niet toe hoe de gegevens op de JTAG-interface terecht komen.

Het programmeren

Hiervoor komen meerdere softwarepakketten van verschillende leveranciers in aanmerking. Altera levert MAX2PLUS en QUARTUS.

MAX2PLUS is het oude programma. Met de freeware-versie, die op het Internet verkrijgbaar is, kan alleen met een schema of AHDL worden gewerkt. Voor Verilog- en VHDL-invoer is een licentie nodig. Volgens Altera wordt MAX2PLUS in de toekomst niet meer ondersteund.

Tabel I

```

/*
% =====
% |
% | Function      : PAL for AR rev counter
% |
% | =====
% | Chip Type    : 7128S PLCC84
% | Manufacturer: Altera
% | Project      : Rev counter with freely programmable LEDs
% | PC Board     : Prototype
% | Reference    : Rev counter
% | Language     : Verilog, Quartus 3.0
% | Author       : AR
% | Company      : Myself
% |
% | =====
% | Version  Date      Modification/Reason
% |
% | V 1.0      13.10.02  Initial Version
% |
% | V 2.0      08.11.02  Clock at 455kHz, ceramic Resonator
% |
% | V 2.1.     10.11.02  Bar mode only, no individual LED
% |
% | V 3.0      28.11.02  7128, 4.915MHz xtal, thousands readout
% |
% | V 3.1      28.12.02  External Reset
% |
% | V 4.0      16.04.03  DZ_IN_B for Schmitt trigger
% |
% | V 4.1      25.05.03  Reduced brightness with lights on
% |
% | V 5.0      09.10.03  Converted to Verilog
% | =====
*/

module drehzahl
(
    CLK,
    RESET,
    ZYL,
    MODE,
    LICHT,
    MRES,
    C4_IN,
    C4_OUT,
    DZ_IN,
    DZ_IN_B,
    LED_R_OA,
    LED_R_OB
);

    input          CLK;
    input [2:0]    ZYL;
    input [2:0]    MODE;
    input          LICHT;
    input          C4_IN;
    input          RESET;
    input          DZ_IN;

    output         MRES;
    reg            MRES;
    reg            Next_MRES;

    output         C4_OUT;
    reg            C4_OUT;

    output         DZ_IN_B;
    reg            DZ_IN_B;

    reg [8:0]      M;

```

Met **QUARTUS** kan ook in de freeware-web-versie met Verilog en VHDL gewerkt worden, en het programma kan ook grotere FPGA's aan. Daarvoor is wel duidelijk meer rekenkracht en geheugen nodig. Omdat dat tegenwoordig geen probleem is, gaan wij met dit pakket aan de slag. Bij Altera staat onder-tussen al versie 3.0 klaar om te downloaden. Na de installatie moet er nog wel via email een zogenaamde *License File* worden aangevraagd. Daarvoor is het nummer van de harde schijf of de netwerkaart nodig. Dat kost over het algemeen maar een paar minuten. Het hele gebeuren wordt voldoende begrijpelijk in het Engels uitgelegd.

Met QUARTUS zijn er meerdere wegen om een ontwerp te definiëren. Een ontwerp kan hiërarchisch worden opgebouwd, maar er kunnen ook verschillende invoervormen gebruikt worden. Wij gaan met tekstuele invoer werken en beperken ons tot slechts één hiërarchisch niveau. Verder kiezen we voor VERILOG als programmeertaal. VERILOG ligt niet zo dicht bij de hardware als AHDL, maar is gemakkelijker in het gebruik. Als het nodig is om het onderste uit de kan te halen met een kleine en daardoor goedkopere bouwsteen wat betreft aantal functies en/of snelheid, dan is een meer hardware-matige vorm van programmering nodig. Dan is het zeker zinvol om AHDL uit te proberen.

In principe kan het ontwerpbestand (XXX.v) met een willekeurige tekst-editor worden aangemaakt. Quartus heeft echter een speciale editor die verschillende typen tekst een eigen kleur geeft (gereserveerde woorden blauw, commentaar groen, enz.) zodat syntax-fouten zoals bijvoorbeeld het vergeten van een afsluiting van commentaar gemakkelijker te vinden zijn. Het is beter om het gebruik van speciale tekens zoals trema's en dergelijke te vermijden.

Header

In **tabel 1** is het eerste deel te zien van de gegevens uit het .v-bestand van de vorige maand beschreven toerenteller. /* en */ geven het begin en het einde aan van commentaar. Het bestand begint met een grote ontwerp-header als commentaar. Een korte beschrijving van de verschillende versies geeft inzicht in de ontwikkelingsgeschiedenis van het programma. Bij grotere aanpassingen is het aan te bevelen een backup-versie te maken.

De eigenlijke definitie begint met het sleutelwoord **module** en de daaropvolgende naam. Dan volgt een opsomming van alle in- en uitgangssignalen. Deze strikte scheiding is niet echt nodig, maar het maakt het allemaal wat

```

reg      [8:0]    Next_M;

reg      [10:0]   V;
reg      [10:0]   Next_V;

reg      VRES;
reg      Next_VRES;

reg      DZ_IN_1D;
reg      Next_DZ_IN_1D;

reg      DZ_IN_2D;
reg      Next_DZ_IN_2D;

reg      TOR;
reg      Next_TOR;

reg      TOR_D;
reg      Next_TOR_D;

reg      TOR_NF;
reg      Next_TOR_NF;

reg      [15:0]   LED;
reg      [15:0]   Next_LED;
reg      [15:0]   LED_R;
reg      [15:0]   Next_LED_R;

reg      [15:0]   LED_Z;

output   [15:0]   LED_R_OA;
reg      [15:0]   LED_R_OA;

output   [15:0]   LED_R_OB;
reg      [15:0]   LED_R_OB;

reg      [15:0]   MASK;

reg      [4:0] i;

/*=====*/

```

overzichtelijker. Aan het einde van een regel kan ook nog commentaar staan met een korte beschrijving van het signaal, later kan daar ook het pennummer worden vermeld. Maar alleen als commentaar, want de eigenlijke koppeling van signaal en pennummer staat in een ander bestand.

Ingangs- en uitgangssignalen

DZ_IN is het signaal van de bobine (ontstekingsspoel) op TTL-niveau aan de uitgang van de interface-schakeling.

CLK, de ingang voor de systeemklok, wordt door de uitgang van de kristaloscillator C4_OUT bestuurd.

C4_IN is de ingang van de kristaloscillator.

MODE[2..0] is het signaal van drie DIP-schakelaars waarmee uit de verschillende display-mogelijkheden wordt gekozen. Als er meerdere gelijkwaardige signalen zijn, dan kunnen ze onder een noemer gebracht worden. Ze kunnen dan individueel of als groep worden aangeduid. MODE[1] bijvoorbeeld verwijst naar een signaal, MODE[1..0] verwijst naar de twee laagste bits en met MODE[2..0] worden alle drie de bits aangeduid.

ZYL[2..0] geeft de mogelijkheid onderscheid te maken tussen verschillende motoren (aantal cilinders) zonder dat het programma van de

Tabel 2

```

/*=====*/
/* FlipFlops */
always @ (posedge CLK or negedge RESET)
begin
    if (RESET == 0)
    begin
        M          <=      9'd0;
        MRES       <=      1'b0;
        V          <=      11'd0;
        VRES       <=      1'b0;
        DZ_IN_1D <=      1'b0;
        DZ_IN_2D <=      1'b0;
        TOR        <=      1'b0;
        TOR_D      <=      1'b0;
        TOR_NF     <=      1'b0;
        LED        <=      16'd0;
        LED_R      <=      16'd0;

    end
    else
    begin
        M          <=      Next_M;
        MRES       <=      Next_MRES;
        V          <=      Next_V;
        VRES       <=      Next_VRES;
        DZ_IN_1D <=      Next_DZ_IN_1D;
        DZ_IN_2D <=      Next_DZ_IN_2D;
        TOR        <=      Next_TOR;
        TOR_D      <=      Next_TOR_D;
        TOR_NF     <=      Next_TOR_NF;
        LED        <=      Next_LED;
        LED_R      <=      Next_LED_R;

    end
end
/*=====*/

```

Tabel 3

```

/*=====*/
/* Clock oscillator */
always @ (C4_IN)
begin
    C4_OUT = !C4_IN;
end
/*=====*/

```

Tabel 4

```

/*=====*/
always @ (M or ZYL)
begin
    if (
        (M == 9'd478) && (ZYL == 3'd0) ||
        (M == 9'd238) && (ZYL == 3'd1) ||
        (M == 9'd158) && (ZYL == 3'd2) ||
        (M == 9'd118) && (ZYL == 3'd3) ||
        (M == 9'd78)  && (ZYL == 3'd4) ||
        (M == 9'd58)  && (ZYL == 3'd5) ||
        (M == 9'd38)  && (ZYL == 3'd6) ||
        (M == 9'd28)  && (ZYL == 3'd7) )
        Next_MRES = 1'b1;
    else
        Next_MRES = 1'b0;
end
/*=====*/

```

CPLD hoeft te worden aangepast.

LICHT vermindert de helderheid van het LED-display als de verlichting is ingeschakeld ('s nachts bijvoorbeeld).

RESET is de ingang van de power-on-reset-schakeling.

C4_OUT is de uitgang van de kristaloscillator.

MRES is een debug-uitgang, deze wordt verderop nog toegelicht.

LED_R_OA[15..0] zijn de eerste 16 uitgangen voor de besturing van het LED-display.

LED_R_OB[15..0] vormen de tweede 16 uitgangen voor de besturing van het LED-display. Een uitgang kan maar 12 mA naar massa afvoeren (sinken). De gewenste LED-stroom ligt daar echter boven, vandaar dat telkens twee uitgangen parallel geschakeld worden.

DZ_IN_B is het gebufferde ingangssignaal DZ_IN. Twee externe weerstanden zorgen voor meekoppeling, waarmee een Schmitt-trigger-ingang wordt gemaakt.

Alle uitgangen en de interne signalen worden ook als **reg** (register) gedefinieerd. Dat wil echter niet zeggen dat het signaal ook daadwerkelijk uit een flipflop komt.

In het blok uit **tabel 2** staan alle flipflops vermeld. De signalen in de *sensitivity list* (tussen haakjes na *always*) zijn verantwoordelijk voor de veranderingen van de uitgangssignalen, dus de opgaande flank van de klok of de neergaande flank van het reset-signaal. Alle flipflops worden door een reset op nul gezet. Bij een positieve flank van het kloksignaal wordt de toestand van het *NEXT* signal overgenomen. Hierdoor worden de flipflops gescheiden van hun logica. Dat is weliswaar niet nodig, maar het bevordert de overzichtelijkheid en het wordt in een paar Verilog-design-guides aanbevolen, speciaal bij state-machines.

Logica-functies

In eerste instantie wordt de kristaloscillator gespecificeerd. Die bestaat alleen maar uit een enkele inverter (**tabel 3**).

Een regel met =-tekens in het commentaar dient alleen maar als optische scheiding voor een functieblok en heeft verder geen betekenis. In een regel wordt de functie kort beschreven.

Het uitgangssignaal C4_OUT wordt verkregen door het ingangssignaal C4_IN te inver-

teren. Dit wordt met een uitroepteken (!) aangegeven.

De volgende stap is het delen van de kristalfrequentie en wel afhankelijk van de stand van DIP-schakelaar ZYL[2..0]. Een viertaktmotor heeft per cilinder per twee omwentelingen een ontsteekpuls nodig. Bij een viercilinder dus twee pulsen per omwenteling en bij een achtcilinder vier. Het ligt voor de hand om deze relatief trage pulsen verder te delen, maar dat leidt uiteindelijk tot een onrustige aanwijzing op het display. Het is daarom beter om de klokfrequentie aan te passen.

De code in **tabel 4** definieert het reset-sigitaal MRES voor de 9-bits teller M. De formule bestaat uit acht AND-termen die overeenkomen met de acht mogelijkheden van een 3-bits DIP-schakelaar. Op die manier worden alle negen bits van de teller links van de dubbele == vergeleken met de decimale waarde rechts. Het aantal bits is met 9 aangegeven, de letter d geeft aan dat het volgende getal decimaal moet worden geïnterpreteerd. De logische waarde van de linker uitdrukking tussen de haakjes is '1' als de tellerstand M gelijk is aan de aangegeven waarde, anders is deze '0'. Hetzelfde geldt voor de rechter uitdrukking. Die krijgt de waarde '1' als de ingestelde waarde van de DIP-schakelaar ZYL gelijk is aan het decimale getal daarachter. Beide uitdrukkingen worden weer door een AND-operatie gekoppeld. De vierde regel bijvoorbeeld levert een '1' als de tellerstand 118 is en bovendien de DIP-schakelaar op 3 staat ingesteld. Bij de volgende opgaande flank van CLK gaat de teller nog eenmaal door tot 119 en MRES wordt '1'. In de daaropvolgende periode wordt de teller M[] door MRES teruggezet op 0 en ook MRES wordt op '0' gezet. Dan staat de teller weer klaar voor de volgende periode. Hij telt van 0 tot 119 en doorloopt dus 120 cycli. Door de synchrone reset hoeven we niet bang te zijn voor glitches (naaldpulsen). MRES deelt de klok dus door 120.

In **tabel 5** wordt het gedrag van de teller M beschreven. Als MRES hoog is, dan worden alle 9 bits van NEXT_M op '0' gezet en anders op M + 1. Bij de volgende positieve helling van de klokpuls springt de teller afhankelijk van MRES op 0 of telt een stapje verder.

In **tabel 6** zien we de verwerking van hetingangssignaal van de bobine DZ-IN en de pulsen die daaruit worden gemaakt. DZ_IN wordt gebufferd en gaat dan verder als DZ_IN_B om samen met twee externe weerstanden een Schmitt-trigger te vormen.

Hetingangssignaal loopt natuurlijk niet synchroon met het kloksignaal van de kristaloscillator. Om een betrouwbare verwerking in de CPLD mogelijk te maken, wordt het signaal achtereenvolgens op twee verschillende

Tabel 5

```
/*=====*/
/* Counter M, Reset using MRES, else count up */
always @ (M or MRES)
begin
    if (MRES ==1'b1)
        Next_M = 9'd0;
    else
        Next_M = M + 1'b1 ;
end
/*=====*/
```

Tabel 6

```
/*=====*/
/* Input signal, counter gating, etc. (TOR = gate) */
always @ (DZ_IN)
begin
    DZ_IN_B = DZ_IN;
end
/*=====*/

/*=====*/
always @ (DZ_IN)
begin
    Next_DZ_IN_1D = DZ_IN;
end
/*=====*/

/*=====*/
always @ (DZ_IN_1D)
begin
    Next_DZ_IN_2D = DZ_IN_1D;
end
/*=====*/

/*=====*/
always @ (DZ_IN_1D or DZ_IN_2D or TOR)
begin
    if (DZ_IN_1D & !DZ_IN_2D)
        Next_TOR = !TOR;
    else
        Next_TOR = TOR;
end
/*=====*/
/*=====*/
always @ (TOR)
begin
    Next_TOR_D = TOR;
end
/*=====*/

/*=====*/
always @ (TOR or TOR_D)
begin
    Next_TOR_NF = !TOR & TOR_D;
end
/*=====*/

/*=====*/
always @ (TOR_NF)
begin
    Next_VRES = TOR_NF;
end
/*=====*/
```

Tabel 7

```

/*=====*/
/* Counter V */
always @ ( V or VRES or MRES or TOR)
begin
    if (VRES == 1'b1)
        Next_V = 11'd0;
    else
        if (!VRES & MRES & TOR)
            Next_V = V + 1'b1;
        else
            Next_V = V ;
end
/*=====*/

```

Tabel 8

```

/*=====*/
/* LEDs */
/* Mode 0    1000 to 6000 rpm, res. 333 */
/* Mode 1    750 to 4500 rpm, res. 250 */
/* Mode 2    4125 to 6000 rpm, res. 125 */
/* Mode 3    2500 to 10000 rpm, res. 500 */

always @ (LED[15] or MODE or VRES)
begin
    if (    LED[15] && (V == 204) && (MODE == 0) ||
        LED[15] && (V == 272) && (MODE == 1) ||
        LED[15] && (V == 204) && (MODE == 2) ||
        LED[15] && (V == 122) && (MODE == 3) )
        Next_LED[15] = 1'b0;
    else
        if (    VRES & !LED[15])
            Next_LED[15] = 1'b1;
        else
            Next_LED[15] = LED[15];
end
/*=====*/
.
.
/*=====*/
always @ (LED[0] or MODE or VRES)
begin
    if (    LED[0] && (V == 1228) && (MODE == 0) ||
        LED[0] && (V == 1637) && (MODE == 1) ||
        LED[0] && (V == 297) && (MODE == 2) ||
        LED[0] && (V == 491) && (MODE == 3) )
        Next_LED[0] = 1'b0;
    else
        if (    VRES & !LED[0])
            Next_LED[0] = 1'b1;
        else
            Next_LED[0] = LED[0];
end
/*=====*/

```

Tabel 9

```

/*=====*/
/* Copying into output register */
always @ (LED_R or LED or TOR_NF)
begin
    if ( TOR_NF )
        Next_LED_R[15:0] = LED[15:0];
    else
        Next_LED_R[15:0] = LED_R[15:0];
end
/*=====*/

```

tijdstippen bemonsterd. Eerst met flipflop DZ_IN_1D en dan nog eens met DZ_IN_2D. De variabele TOR wisselt van waarde als DZ_IN_1D hoog is en DZ_IN_2D laag, dus steeds bij een positieve flank van het ingangssignaal. De schakeling werkt als een digitale differentiator. TOR is hiermee een periode van het toerentalsignaal hoog en in de daaropvolgende periode laag. Met TOR_D wordt TOR met een klokperiode vertraagd. TOR_NF ziet dan de negatieve flank van TOR. Met deze signalen wordt het verloop van de volgende teller en register bestuurd.

Nu volgt in **tabel 7** nog een teller V[10..0] van elf bits. De synchrone reset gebeurt met het signaal VRES en er wordt geteld als zowel MRES alsook TOR hoog zijn. MRES is de reset van de delertrap M[] en is telkens een klokperiode lang. Daardoor telt V[] niet bij elke klokflank, maar alleen degene die door MRES zijn aangewezen. De stand van DIP-schakelaar ZYL[] bepaalt de frequentie van MRES. VRES is de met een klokperiode vertraagde TOR_NF.

Display

In **tabel 8** heeft elke LED zijn eigen flipflop die door VRES net als een teller op '1' wordt gezet. Afhankelijk van de stand van de DIP-schakelaar MODE[] wordt de flipflop bij het bereiken van een bepaalde tellerstand weer op nul gezet. In het bijbehorende commentaar zijn de toerentallen en de resolutie (toerental per LED) aangegeven. Die zijn door de voordeler onafhankelijk van het type motor. Alleen de code voor LED15 en LED0 is afgedrukt. Als er een negatieve helling is van TOR (TOR_NF is hoog), wordt net zoals in **tabel 9** de toestand van de flipflops LED[] overgenomen in register LED_R[].

Samenvatting

DZ_IN is de puls van de bobine, die tweemaal wordt bemonsterd. De opgaande flank triggert toggle-flipflop TOR. Zolang TOR hoog is, telt V[] met MRES als kloksignaal. M[] is de instelbare klokdeler die rekening houdt met verschillende motoren. De flipflops LED[] worden bij het bereiken van bepaalde van te voren ingestelde tellerstanden door V[] weer op nul gezet. Op de negatieve helling van TOR wordt de toestand van LED[] overgenomen door LED_R[]. Een klokperiode later worden V[] en LED[] weer op 1 gezet. Zodra TOR weer 1 wordt, begint alles weer van voren af aan.

Hiermee wordt eigenlijk slechts iedere tweede periode van het toerentalsignaal geteld, in de volgende periode worden de gegevens overgenomen en de zaak weer op

nul gezet. Door de opslag in LED_R[] flinkt het display echter niet.

Tot nu toe bestaat het display uit een oplichtende balk, afhankelijk van het werkelijke toerental. Nu komen we op een paar bijzonderheden. In de eerste plaats moet de helderheid van het display afhangen van de ingeschakelde verlichting. Dat gebeurt in **tabel 10** in de beide eerste regels van de for-lus. Staat het licht uit, dan is LED_Z[i] steeds gelijk aan LED_R[i]. Als het licht aan is, dan wordt het derde bit van teller M er nog bij gehaald. Hierdoor is de aan/uit verhouding 50% bij LED_Z[i] en dat geldt natuurlijk ook voor de helderheid van de LED.

Ten tweede zijn er wel acht verschillende display-modi. Zonder verdere uitleg is de kans groot het overzicht te verliezen over welke mode gekozen is en welke LED welk toerental aanduidt. Voor de oriëntatie moeten de duizentallen-LED's licht gloeien zolang 'hun' toerental nog niet bereikt is. Wordt dat toerental bereikt of overschreden, dan moeten ze net zo helder als de andere LED's oplichten.

Dat is in binaire vorm (16 nullen en enen vormen de LED-reeks) goed te zien. Een '1' is een duizentallen-LED. Het signaal van de DIP-schakelaar Mode[] selecteert het overeenkomstige masker, dat natuurlijk voor het programmeren van LED_R wel moet passen. Ook hier wordt de helderheid door het signaal LICHT (door een keuze uit de verschillende puls/pauze verhoudingen) middels M[0..2] aangepast.

In de vergelijkingen van **tabel 11** worden de signalen LED_Z[i] aan de open-drain-uitgangen LED_R_OA[i] toegewezen. Via zo'n uitgang kan alleen maar stroom naar massa lopen. Een open-drain-uitgang kan geen stroom naar VCC opnemen. Maar het is zo wel mogelijk om een LED via twee weerstanden aan twee uitgangen aan te sluiten.

In **tabel 12** tenslotte worden de uitgangen LED_R_OB[i] direct vanuit LED_R[i] aangestuurd, dus zonder licht opvloeiende duizentallen-LED's. De uitgangen worden helemaal uitgeschakeld zodra het licht wordt aangezet. Met het keyword *endmodule* wordt het einde van het ontwerp-bestand aangegeven.

Tot zover deze korte inleiding in het programmeren. Voor de nabije toekomst zijn nog enkele artikelen over het gebruik van Quartus en Verilog gepland, waarbij diverse voorbeelden en een bijpassende experimenteerprint het inzicht en de conversieslag van ontwerp naar code zullen vergemakkelijken.

(030052-2)

Tabel 10

```

/*=====*/
/* LEDs for thousands should light dimly, M0, M1 und M2 create Duty
Cycle */
/* M0 and M1 = 1/4, for lights off, M0, M1 and M2 = 1/8, for lights
on */
/* Mode 0    1000 to 6000 rpm, res. 333, LED 0,3,6,9,12,15 */
/* Mode 1    750 to 4500 rpm, res. 250, LED 1,5,9,13 */
/* Mode 2    4125 to 6000 rpm, res. 125, LED 7,15 */
/* Mode 3    2500 to 10000 rpm, res. 500, LED 1,3,5,7,9,11,13,15 */

always @ (LED_R or LICHT or M or MODE)
begin
    case (MODE)
        0:                MASK = 16'b1001001001001001;
        1:                MASK = 16'b0010001000100010;
        2:                MASK = 16'b1000000010000000;
        3:                MASK = 16'b1010101010101010;
        default: MASK = 16'b0000000000000000;
    endcase

    for (i=0;i<=15;i=i+1)
        begin
            LED_Z[i]      = LED_R[i] & !LICHT
                          | LED_R[i] & LICHT & M[2]
                          | MASK[i] & !LICHT & M[0] & M[1]
                          | MASK[i] & LICHT & M[0] & M[1]
& M[2];
        end
    end
end
/*=====*/

```

Tabel 11

```

/*=====*/
always @ (LED_Z)
begin
    for (i=0;i<=15;i=i+1)
        begin
            if (LED_Z[i])
                LED_R_OA[i] = 1'b0;
            else
                LED_R_OA[i] = 1'bz;
        end
    end
end
/*=====*/

```

Tabel 12

```

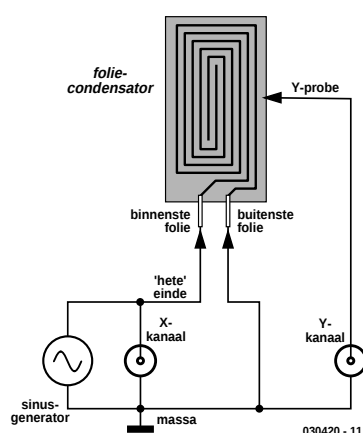
/*=====*/
always @ (LED_R or LICHT)
begin
    for (i=0;i<=15;i=i+1)
        begin
            if (LED_R[i] & !LICHT)
                LED_R_OB[i] = 1'b0;
            else
                LED_R_OB[i] = 1'bz;
        end
    end
end
/*=====*/
endmodule

```

Foliecondensatoren aansluiten

Verschil tussen de 'hete' en 'koude' kant

Hansjörg Friedli



Figuur 1. Zo wordt de condensator aan sinusgenerator en oscilloscoop aangesloten.

Vrijwel iedereen weet dat een elektrolytische condensator met de juiste polariteit in een schakeling moet worden gemonteerd. Sluit men een elco verkeerd om aan, dan is de kans groot dat hij al na korte tijd 'explodeert'. Dat houdt in dat hij op de zwakste plek openscheurt en het vloeibare elektrolyet over de print uitstroomt, met alle nare gevolgen van dien. Praktisch alle elektronici kennen dit fenomeen, net zo goed als ze ook allemaal weten dat bij een 'gewone' condensator de polariteit gelukkig geen rol speelt.

Dat laatste is echter niet helemaal waar. Toegegeven, gewone condensatoren exploderen niet als men ze verkeerd om aansluit. Maar bij de uitgewikkelde folie bestaande condensatoren treedt wel het effect op dat al naargelang de manier waarop ze worden aangesloten er meer of minder stoorsignaal uit de omgeving wordt opgepikt. Bij veel toepassin-

gen heeft dat een niet te verwaarlozen invloed op de werking van de schakeling, hetgeen zich uit door het optreden van brom, overspraak of oscillatie. Een sprekend voorbeeld: in een buizenversterker leidt een van de pootjes van een koppelcondensator naar het zeer hoogohmige stuurrooster van de volgende trap. Deze aansluitdraad moet per se met de binnenste folie verbonden zijn; de aansluitdraad van de buitenste folie dient daarentegen aan de anode van de voorafgaande buis te liggen.

Bij veel condensatoren is de buitenste folie met bijvoorbeeld een streepje gemarkeerd. Helaas is een dergelijk merkteken lang niet altijd aanwezig, terwijl bovendien niet vastligt wat er met een bepaald merkteken wordt aangeduid.

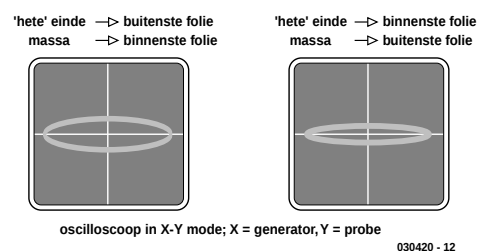
Er bestaat echter een eenvoudige meettruc waarmee kan worden vastgesteld welke aansluitdraad met welke folie is verbonden (en dit vormt tevens het bewijs voor de juistheid van de hier geponeerde stelling). Om te beginnen wordt op de condensator een sinusvormige spanning aangesloten. Deze spanning wordt ook toegevoerd aan de x-ingang van een 2-kanaals oscilloscoop en dient een amplitude te hebben van een paar volt bij een frequentie van ongeveer 1 kHz (figuur 1). Vervolgens drukt men de meetpen van het y-kanaal tegen de buitenkant van de condensatorbehuizing en bekijkt daarbij de resulterende amplitudeverandering op de scoop, die voor dit doel op een zo gevoelig mogelijk bereik wordt ingesteld. In de xy-mode zien we een min of meer geopende, verbrede en

eventueel schuin geplaatste ellips op het scherm. Wordt deze bij het aandrukken in de y-richting breder, dan is de buitenste folie met het 'hete' einde van de generator verbonden; wordt hij kleiner, dan is de buitenste folie met massa verbonden (zie figuur 2). Ter controle kunnen de condensatoraansluitingen worden verwisseld en de test worden herhaald.

Zijn er geen duidelijke vormveranderingen van de ellips vast te stellen, dan is ofwel de generatorspanning te laag, de frequentie te laag, het y-kanaal niet gevoelig genoeg of de invloed van de handen te groot. Wanneer men aan de y-meetpen een klein metalen plaatje bevestigt en dit op zijn beurt tegen de condensatorbehuizing drukt, dan neemt de capaciteit tussen de buitenste folie en het y-kanaal toe en wordt het testen vergemakkelijkt.

Heeft men op de hier beschreven manier de aansluitingen van een bepaalde condensator geïdentificeerd, dan kan men er helaas niet op vertrouwen dat de aansluitingen bij alle andere exemplaren van hetzelfde type en fabrikaat identiek zijn. De praktijk leert dat fabrikanten hier tamelijk willekeurig mee om gaan en dat elk exemplaar getest dient te worden om zeker van de juiste aansluitingen te zijn. Voor kritische toepassingen loont zich deze moeite echter alleszins!

(030420)



Figuur 2. Links fout en rechts correct gepoold!

Blackfin DSP development-kit

Stoeien met DSP's

Paul Goossens

Experimenteren met DSP's is een boeiende aangelegenheid, maar het is wat moeilijk om daarbij een goed startpunt te vinden. Meestal wordt er in DSP-schakelingen namelijk gebruik gemaakt van zeer hoge frequenties, waardoor het printontwerp nogal kritisch is. Verder is het solderen van deze componenten ronduit lastig omdat ze bijna allemaal in zogenaamde Ball-Grid-Arrays ondergebracht zijn. Hoe kunnen we deze nadelen te lijf gaan?

Een hoop problemen kunnen worden omzeild als gebruik wordt gemaakt van een kant-en-klare ontwikkelkit. Daar komt bovendien nog het voordeel bij dat dergelijke kits meestal geleverd worden met een uitgebreide ontwikkelomgeving en de nodige voorbeelden. Er is momenteel een ruime keuze aan DSP-ontwikkelkits. In dit artikel nemen we één bord onder de loep en stellen het aan u voor: de ADSP-BF533-EZ-KIT Lite van Analog Devices.

Inhoud van de kit

De kit bestaat uit de volgende elementen:

- Print
- CD-ROM met ontwikkelomgeving Visual DSP++ (demo) plus voorbeelden en documentatie
- System manual
- Voeding
- USB-kabel

De print heeft als hart een DSP van het type ADSP-533. Deze DSP is een telg uit de Blackfin-familie van Analog Devices. Verder is de print ruimschoots voorzien van relevante I/O-en geheugenchips. Zo is er een 32 MB SDRAM (16 M x 16 bit), 2 flash-geheugens met per chip 1 MB primair flash-geheugen, 64 K secundair flash-geheugen, 32 KB SRAM en 256 bytes met configuratieregisters. Deze chips (PSD4256 van

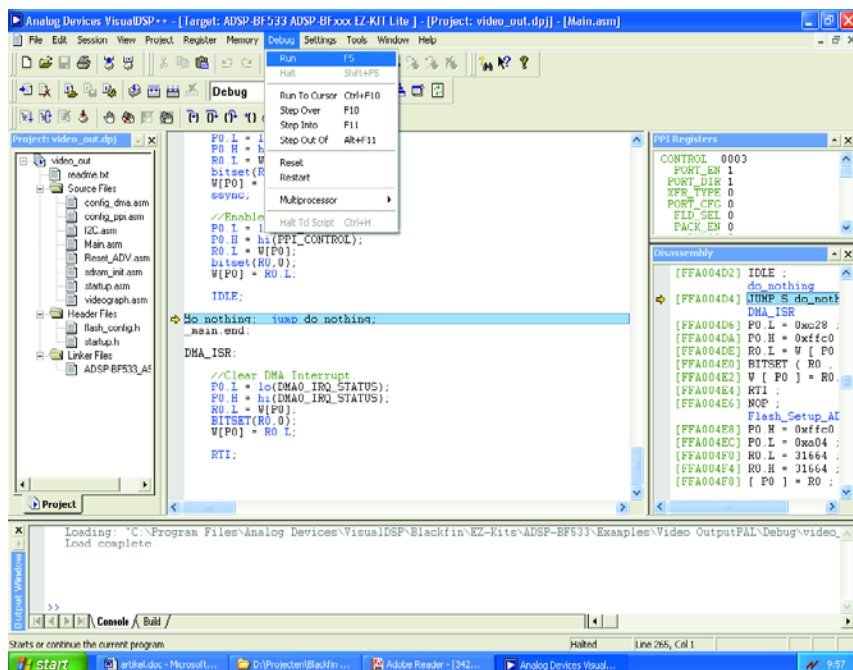


ST) zijn op zich al een artikel waard, aangezien ze zeer multifunctioneel zijn; we komen in een volgende uitgave dan ook nog gedetailleerd op deze PSD-familie terug.

Wat de audio-interfaces betreft, is deze kaart voorzien van vier analoge ingangen en zes analoge uitgangen. Deze worden bestuurd

door een codec die al deze aansluitingen kan aansturen met 48 kHz. Als men er voor kiest om slechts de helft van de in- en uitgangen te benutten, is zelfs een sample-rate van 96 kHz haalbaar.

De gebruikte DSP is zo krachtig dat ook videobewerking tot de mogelijkheden behoort. Dat is dan ook de



reden waarom er op dit bord tevens een video-interface aanwezig is. Hiertoe zijn er drie analoge video-ingangen en drie analoge video-uitgangen op de print ondergebracht. Deze video-interface wordt verderop nog uitgebreid beschreven.

Een programmeerinterface mag natuurlijk niet ontbreken op een ontwikkelkit. In deze uitvoering heeft men de keuze om een JTAG-interface te gebruiken, of (en dit is zeer interessant) een USB-aansluiting. Deze aansluitingen dienen niet alleen om te programmeren, maar ook om real-time te debuggen!

Als laatste noemen we hier nog de RS232-interface, alsmede vier drukknoppen (ontdenderd!) plus zes LED's die via I/O aangestuurd kunnen worden. Ook een voeding ontbreekt niet op de print en deze genereert de benodigde spanningen op het bord vanuit de adapter-aansluiting. Aan de onderkant van de print zijn via drie connectoren alle relevante signalen toegankelijk voor eigen uitbreidingen.

Software

Iedere ontwikkelkit staat of valt met de meegeleverde software. De Windows-software bij deze kit is zeer omvangrijk. Wel moet hierbij worden opgemerkt dat het gaat om een lite-versie die een aantal beperkingen heeft ten opzichte van zijn grote broer. De beperkingen vallen in de

praktijk echter wel mee. Zo is de maximale grootte van een zelf geschreven programma beperkt tot 20 Kbyte en zijn de simulator- en emulator-sessies niet toegankelijk. Verder kan er maximaal slechts één DSP-bord tegelijkertijd worden aangesloten op deze versie. Tenslotte start het programma alleen maar als de kit is aangesloten op de PC en is ingeschakeld.

De ondersteunde programmeertalen zijn assembler, C en C++. Vooral deze laatste twee zijn erg interessant om snel een eigen algoritme te controleren op functionaliteit. Naderhand kan zo'n algoritme eventueel in assembler geprogrammeerd worden om het onderste uit de kan te halen wat performance betreft. Een belangrijk punt hier is wel dat de assembler-syntax zeer duidelijk is en het programmeren in assembler een stuk minder cryptisch te werk gaat dan bij DSP's van andere fabrikanten. Dit is niet alleen een pluspunt voor beginners, maar ook de gevorderde programmeur kan een duidelijke syntax meestal wel waarderen. De ontwikkelomgeving is zeer compleet en bevat alle relevante componenten om zelf software te schrijven, debuggen en uploaden naar het DSP-bord. Er zijn wat nuttige tools geïntegreerd, zoals een picture-viewer die een grafisch plaatje (of een frame van het videosignaal) in het DSP-geheugen zichtbaar maakt. Uiteraard zijn alle interne registers

van de DSP te bekijken en te bewerken, evenals het externe geheugen.

De DSP

De toegepaste DSP is voorzien van zeer veel on-board voorzieningen. Dit blijkt wel uit de datasheet van 936 pagina's, waarin de hardware-kant van de DSP wordt belicht. De belangrijkste pluspunten sommen we hieronder even op.

Afgezien van alle ingebouwde 'periferie', is de instructieset toch wel opmerkelijk te noemen voor een DSP. De chip bevat naast de gebruikelijke DSP-instructies ook een hele set aan 'normale' CPU-instructies, zoals eenvoudige bit-manipulaties etc., waardoor het overstappen van een controller naar een DSP qua programmering makkelijker wordt. Dit betekent overigens niet dat een ervaren DSP-programmeur deze instructies niet weet te waarderen...

In een DSP is het rekenkundige gedeelte uiteindelijk natuurlijk het belangrijkste. Net zoals de meeste andere verkrijgbare DSP's bevat ook dit exemplaar twee zeer geoptimaliseerde rekenunits die ieder per klokcyclus een berekening kunnen uitvoeren, ongeacht of dit nu een vermenigvuldiging, optelling of shift-functie is. Bij een interne klokfrequentie van 600 MHz komen we zodoende uit op een rekenkracht van 1,2 GMACS! Dit zal voor de meeste huidige multimedia-tepassingen ruim voldoende zijn.

Deze verwerkingssnelheid wordt zelfs nog een met een factor vergroot wanneer gebruik wordt gemaakt van de 8-bits video-instructies. We horen u al denken: 8-bits, dat is toch verleden tijd? Niets is minder waar, want de meeste video-algoritmes (zoals de MPEG-standaard) maken veelvuldig gebruik van 8-bits data.

De datastroom

Zoveel rekenkracht is mooi, maar daar heb je alleen iets aan met een supersnelle datatoevoer. Hier komen de DAG's (Data Address Generators) van pas. Deze zijn te beschouwen als pointers die naar keuze gebruik maken van een offset, automatisch verhogen/verlagen en eventueel bit-reverse-addressing genereren (voor de kenners: handig bij een FFT-analyse). Deze voorzieningen vereisen een snelle verbinding met het geheugen. Naast het interne L1- en L2-cache-geheugen is de DSP ook voorzien van een SDRAM-controller, waardoor zonder extra componenten SDRAM tot maximaal 128 MB gebruikt kan worden.

Andere soorten geheugens kunnen eveneens worden geadresseerd. Hierbij moet de pro-

grammeur wel eerst aangeven om welk type geheugen het gaat en hoe snel dit geheugen toegankelijk is, zodat ook van de standaard-geheugencomponenten gebruik kan worden gemaakt. Zo zijn er voorzieningen om naast SDRAM ook SRAM, flash- en ROM-geheugen aan te sturen zonder externe logica. Om de datastroom soepel te laten verlopen, is er verder een 12-kanaals (!) DMA-controller die verbonden is met de diverse interfaces. Hierdoor is het mogelijk grote hoeveelheden data te transporteren, terwijl de processor gewoon kan blijven doorrekenen.

Enkele interessante interfaces

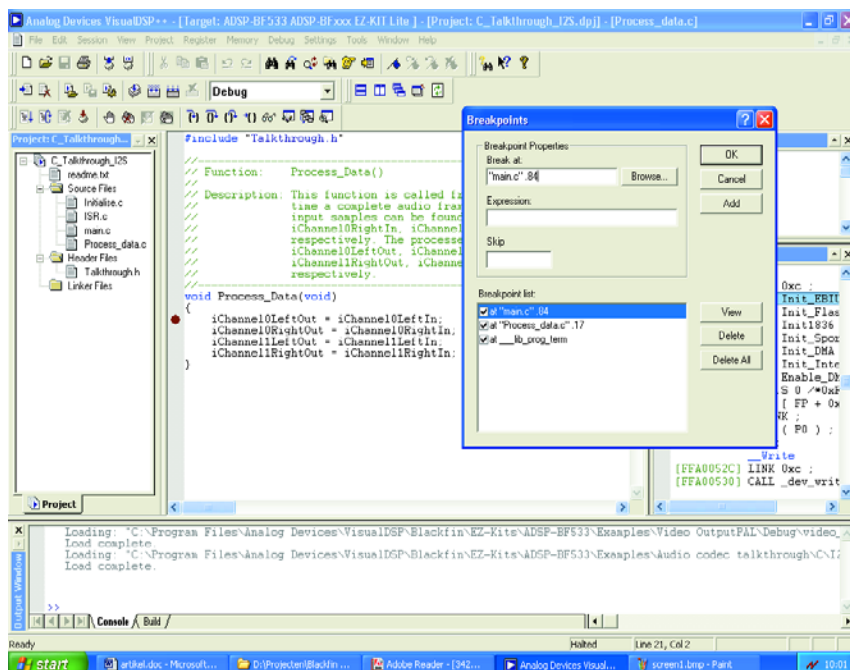
Alsof dit allemaal nog niet genoeg is, bevat de DSP ook nog een USB-controller. Met behulp hiervan kan gemakkelijk een interface met een externe computer worden gerealiseerd. Voor de gevorderden onder ons is het ook interessant te weten dat de DSP tevens een heuse PCI-interface aan boord heeft, die als host en als slave kan werken in een PCI-systeem!

Tenslotte willen we ook nog de PPI vermelden. Dit is een zeer uitgebreide parallelle interface die in staat is zelfstandig video-beelden te verzenden of ontvangen en desgewenst ook de nodige synchronisatiekanalen kan opwekken.

Voorbeelden

Bij de ontwikkelkit worden uiteraard een aantal voorbeelden meegeleverd, die zonder meer op het evaluatiebord werken. Deze voorbeelden kunnen de basis vormen van een eigen toepassing. Een voorbeeld betreft het genereren van een testbeeld met behulp van de video-encoder. Dit voorbeeld genereert helaas een NTSC-sigitaal, terwijl in de meeste Europese landen PAL de norm is. Moderne TV-toestellen kunnen doorgaans met beide signalen overweg.

Toch vonden we dit een vervelende beperking, waarop we besloten hebben om zelf het voorbeeld aan te passen zodat het PAL-signalen genereert. Dit was meteen een goede oefening om vertrouwd te raken met de DSP en de video-encoder. De datasheet van de video-encoder meldde ons dat we de chip via I²C moesten configureren, dus werden er eerst wat simpele I²C-routines geschreven. Achteraan in de datasheet staat een lijst met instellingen voor de verschillende TV-normen. Helaas werkte onze aanpassing niet meteen, want we hadden een kleinigheidje over het hoofd gezien. In de lijst met I²C-registers en hun bijbehorende waarden bleken namelijk twee registers te



ontbreken die bedoeld zijn voor toekomstige uitbreidingen van de chip. Wanneer u dus zelf deze video-encoder wilt configureren in uw eigen toepassing, houd er dan rekening mee dat in de lijst de twee registers op subadres 5 en 6 niet vermeld zijn. Hier moet u of een '0' in schrijven, of (nog beter) ze helemaal overslaan. Waak er dus voor om de gepubliceerde lijst zonder meer naar de chip te sturen!

Ons voorbeeld om een PAL-video-sigitaal te genereren is gratis te downloaden vanaf de Elektuur website www.elektuur.nl (EPS-nr. 030439-11).

Uitbreidingen

Mocht het zo zijn dat de on-board periferie niet al uw wensen vervult, dan is er nog altijd de mogelijkheid om via de drie connectoren aan de onderkant van de print de hardware uit te breiden. Alle relevante signalen zijn op deze connectoren te vinden.

Verder levert Analog Devices nog diverse kant-en-klare uitbreidingen voor deze print, zodat ook mensen die liever niet zelf hardware ontwerpen en bouwen, de hardware van deze kit kunnen uitbreiden. Bij deze uitbreidingsprinten moet men denken aan: een externe camera-aansluiting, snelle A/D- en D/A-converters etc. De typische I/O voor DSP's dus.

Tot slot

De processor is, zoals al eerder vermeld, uitgerust met veel features die we hier niet in detail kunnen bespreken. Dit nummer zou dan namelijk niet meer door uw brievenbus passen! Ook de aanwezige I/O-chips zijn zeker de moeite waard om eens nader te bekijken.

Deze kit is helaas niet echt goedkoop (\$ 245 af fabriek), maar nog altijd redelijk aantrekkelijk geprijsd, zeker gezien de mogelijkheden die geboden worden.

Na een uitgebreide kennismaking met de 'ADSP-BF533-EZ-KIT Lite' komen we tot de conclusie dat het een zeer krachtig ontwerp is, waarbij de complexiteit van het programmeren alleszins meevalt. Natuurlijk is dit niet iets voor beginners, maar men hoeft geen DSP-expert te zijn om er leuke projecten mee te realiseren. Voor nieuwsgierige technici is deze kit dus zonder meer een aanrader!

(030439)

Deze kit kan worden besteld bij Analog Devices of een van de distributors:

www.analog.com/commerce/index.html

Postbus 121

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.

Zelfbouwkits

Op jullie website zag ik dat er bouwkits te bestellen zijn bij DIL-elektronika. Aangezien ik geen regelmatige bezoeker van jullie website, of lezer van jullie tijdschrift ben, is deze bouwkit-service voor mij nieuw. (Het lijkt mij overigens een prachtige service.) Naar aanleiding van deze bouwkit-service heb ik twee vragen:

1. Voor de USB/RS232-interface (mei 2003) is bouwkit EL020375-1 beschikbaar. Is hier ook het bijbehorende artikel uit Elektuur inbegrepen? Of wordt er op een andere manier voorzien in een bouwhandleiding?

2. Komt er binnenkort ook een bouwkit beschikbaar voor de USB-audiorecorder (juni 2003)?

Allard Elings

Wat uw eerste vraag betreft: Zowel DIL als wij gaan er vanuit dat u wel Elektuurlezer bent. Het desbetreffende nummer of artikel wordt dus niet meegeleverd en dat zult u als niet-abonnee bij ons moeten bestellen.

Over de vraag van welke projecten DIL bouwkits maakt, kunt u DIL beter zelf aan de jas trekken. Via www.dil.nl komt u snel alles aan de weet.

Gitaarprocessor

Ik ben van plan om zeer binnenkort een gitaarversterker te bouwen. Toen ik uit interesse 'Postbus 121' aan het lezen was, zag ik dat jullie bezig zijn met een gitaarprocessor. Kunnen jullie daar inmiddels al iets meer over zeggen? Wanneer die ongeveer uitkomt bijvoorbeeld en misschien al een schatting van de kosten. Weten jullie verder misschien nog een adres waar ik trafo's kan vinden voor de in (jullie) boek 'Gitaarelektronica' beschreven versterkers? Er staat wel een Duits adres in, maar mijn Duits is niet zo best, dus bel ik liever niet naar die firma. Verder alleen nog maar complimenten voor jullie blad, geen gezeur over te weinig dit of dat, gewoon voor iedereen wat wils.

A. Boogaard

De bewuste ontwerper is al vrij ver gevorderd met zijn gitaarprocessor, we denken dat deze over enkele maanden in het blad kan verschijnen. De kosten zullen toch wel een paar honderd Euro bedragen, want er zit o.a. een digitale signaalprocessor en een grafisch display in. Voor de trafo's hebben we helaas ook geen ander adres. Maar u kunt best eens bellen naar het Duitse adres en proberen Engels met ze te praten, want ze krijgen wel meer aanvragen uit het buitenland.

Harddisk-selector

Kun je bij gebruik van de Harddisk-selector uit de halfgeleidergids 2003 je tweede harde schijf (slave) laten zitten en de masterconnector op K1 zetten van de selector, zodat je dus drie schijven hebt.

J. Izelaar

De door u voorgestelde configuratie is niet mogelijk, omdat in deze schakeling al twee harddisks op de IDE-controller zijn aangesloten, die als master en slave of omgekeerd zijn geschakeld.

Bij uw opzet zou daar dan nog een tweede slave bij komen en dat werkt niet. U zult die extra harddisk op een andere IDE-connector moeten aansluiten (als er geen meer vrij is, bestaat de mogelijkheid een IDE-insteekkaart er bij te plaatsen).

Boek over CD-spelers

Is er een boek of cursus te koop waar de volledige werking van audio-CD-spelers wordt uitgelegd, ook in de praktijk. Dus uitleg over het schema. Dit met de bedoeling fouten te kunnen opsporen.

Erwin Van der Schoot

Zo'n boek hebben we helaas niet. Waarschijnlijk bestaat dat ook niet, omdat de toegepaste technologie de laatste jaren nog sterk geëvolueerd is en de interne opzet van CD-spelers

daardoor voortdurend verandert. Vooral de ver doorgevoerde integratie van de elektronica maakt het foutzoeken in CD-spelers tegenwoordig steeds moeilijker. Het repareren bestaat dan ook grotendeels uit het uitwisselen van modules.

Lambda-probe voor carburateur-tuning

In de halfgeleidergids van 2003 staat de 'lambda-probe voor carburateur-tuning' Ik ben geïnteresseerd in deze schakeling, en heb mij er dus in verdiept. Wat mij opviel in het schema is dat alle anodes gekoppeld zijn, maar volgens mij moeten deze ook aan +12V liggen. Klopt dat?

T. van der Vleuten

U heeft helemaal gelijk met uw opmerking: de anodes moeten allemaal doorverbonden zijn met +12 V. Anders zullen ze natuurlijk niet oplichten.

Voeding 'Actief luidspreker-systeem'

Ik heb de actieve luidsprekers gemaakt uit het januarinummer 2003. In het artikel staat dat als voeding een klassieke trafo/brugcel/elko-combinatie gebruikt kan worden met een trafo van 12 V. Ik heb nog een ringkerntrafo van 15 V/50 VA liggen, 3 volt teveel dus. Kan ik deze trafo gebruiken, of is het aan te raden toch een 12-V-model aan te schaffen?

Stijn Vanhee

De absolute maximumspanning voor het eindversterker-IC bedraagt 18 V. Dat redt u niet met een trafo die 15 V wisselspanning levert.

Maak dus gebruik van een eenvoudige stabilisatieschakeling die de gelijkspanning een paar volt verlaagt (bij enkele ampères). Het is ook mogelijk de schakelende voeding uit maart 2003 te bouwen; die kan ingangsspanningen tot 30 V verwerken en levert een gestabiliseerde uitgangsspanning van 17 V.

Resi & Transi

Jullie hebben ooit een stripverhaal uitgegeven 'Resi & Transi maken korte metten met de mysteries van de elektronica'. Op een franse site heb ik gezien dat er oorspronkelijk meerdere strips waren van deze figuurtjes. Komt er misschien nog eens een herdruk van deze stripboeken, of weet u nog een adresje waar ik ze zou kunnen kopen?

Het zou uitstekend ondersteunend lesmateriaal zijn voor mijn leerlingen.

J. Vermulst

Er zijn inderdaad meerdere boeken verschenen, maar die zijn al lang niet meer verkrijgbaar. Misschien kunt u ze nog ergens vinden in een tweedehands winkel. Groot is de oplage indertijd niet geweest, de kans daarop is dus gering. Een herdruk zit er niet in, daarvoor was de belangstelling indertijd al te klein.

Atmel programmer

De software van deze in september 2001 beschreven programmer is opnieuw verbeterd door de auteur. Enkele features zijn nieuw. Onder Setup kan als taal nu gekozen worden tussen Engels, Duits en Frans. Instellingen als Read SignatureByte, Verify After Programme, enz. worden in de Registry opgeslagen, zodat e.e.a. bij de volgende start van het programma automatisch wordt ingesteld.

Het afvragen van de Com-poort is vervallen, omdat de Com-poort ook onder Setup kan worden ingesteld. Bij het opstarten van het programma verschijnt de melding 'Com-poort definiëren'. De ingestelde poort wordt eveneens in de Registry opgeslagen en kan ook naar behoefte worden veranderd.

Bovenstaande wijzigingen zijn inmiddels al aangebracht in de via onze website en EPS-service verkrijgbare software van deze programmer.