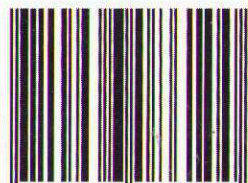


RBelektronica

Nr. 3/4 april/mei 2002

prijs Euro 13,95

72 jaar RB



05

8 710966 086100

“Maar de stekker hou ik zelf!”

Radiohobby-avonturen in de jaren '50 toen makkelijk nog moeilijk was

Wim van Bussel

Radiohobby-avonturen in de jaren '50 toen makkelijk nog moeilijk was, is een boek geworden dat voor iedereen interessant is om te lezen. De ouderen onder ons herkennen hierin hun eigen avonturen. Herinneringen komen weer boven.

De jongeren ontdekken dat er meer bestaat dan de computer en de huidige technieken. Het is immers niet eens zo lang geleden dat wij, ik spreek inmiddels ook uit ervaring, dergelijke gebeurtenissen, zoals alleen Wim van Bussel ze zo sprekend op papier kan zetten, schering en inslag vormde met als uiteindelijk doel het laten functioneren van iets waar iedereen met bewondering naar luisterden en later naar keek. Een tijdperk vol nostalgie, waarin jong ontdekt waarom wij ouderen zo vol enthousiasme over deze beginperiode kunnen vertellen. Het boek is verluchtigd met een groot aantal sprekende tekeningen van de hand van zijn dochter Christien van Bussel.

Dit unieke boekwerk, dat inmiddels is verschenen,
kan tegen een aantrekkelijke prijs van € 34,00
worden verkregen. (incl. verzendkosten)
Zie ook onze website: www.rbe.nl

U kunt het boek bestellen door het bedrag van € 34,00 over te maken op Postbanknr. 21.35.596 t.n.v. Bureau Belper met als kenmerk Radiohobby. Vergeet niet u naam en adresgegevens te vermelden. Abonnees van RB Elektronica krijgen een korting en dienen slechts € 29,50 over te maken. Vergeet niet u abonneenummer te vermelden.

Radiohobby-avonturen in de jaren '50 toen makkelijk nog moeilijk was, is een uitgave van Bureau Belper, uitgever van onder andere RB Elektronica.

Inhoud

Elektriciteitsbedrijven dragen fors bij aan Nederlandse KYOTO-doelstelling	4
RB Microcontroller experimenteer systeem (5).....	5
De Assembler en Editor, Assembleren, De Stack, Debuggen	5
De Assembler	5
De Editor	5
Assembleren	6
De Stack	7
Debuggen (foutzoeken)	8
Elementaire instrumentkalibratie	9
Het belang van ijking voor fabrikanten en gebruikers	9
Gebruikersperspectief	9
Fabrikantperspectief	10
Aanpak	10
Documentatie	11
Gesloten behuizing kalibratie	12
Productieaspecten bij Bluetooth-testen	14
Testfilosofie	15
Teststrategie	15
Het testen van Bluetooth en unieke test problematiek	16
Vragenlijst	16
Fabricageomgeving	17
Bedrijfsdoelstellingen en -cultuur	18
Maskertesten vereenvoudigt en versnelt conformiteitstesten met een digitale	
oscilloscoop	19
Introductie	19
Communicatie conformiteit testen	19
Verbinding is essentieel	21
Oogdiagram	21
Gigahertz-testen	22
Samenvatting	23
PLL-simulatie met sigma/delta-modulator maakt vrijwel onbeperkte frequentie-	
resolutie zonder stoorpulsen mogelijk	24
Werking van PLL's	24
Hoge frequentieresolutie met fractionele-N synthese	25
Simulatie van een fractionele-N PLL	26
Accumulatormodel	28
Simulatieresultaten	29
Sigma/delta-modulator elimineert stoorpulsen	30
Meerstaps sigma/delta-modulator	31
Willem H. M. van Dreumel zet de jeugd weer aan het solderen	34
PowerDesk Pro 5	34

Elektriciteitsbedrijven dragen fors bij aan Nederlandse KYOTO-doelstelling

De Nederlandse elektriciteitsproductiebedrijven gaan investeren in meer duurzame productie, resulterend in een gemiddelde jaarlijkse vermindering van 5,8 megaton CO₂-uitstoot in de periode van 2008 tot 2012. Hiermee dragen ze fors bij aan de realisering van de Nederlandse Kyoto-doelstelling. De vermindering wordt gerealiseerd door meer biomassa in plaats van kolen in kolencentrales te verstoken en het nemen van maatregelen waardoor de Nederlandse centrales qua energie-efficiency blijvend tot de wereldtop zullen behoren. De maatregelen passen binnen het fiscale stimuleringsbeleid van de overheid voor duurzame energie. De afspraken zijn vastgelegd in het Convenant Kolencentrales en CO₂-reductie dat vandaag is ondertekend door de ministers Jorritsma en Pronk, branche-organisatie EnergieNed en de directies van de zes elektriciteitsproductiebedrijven die eigenaar zijn van kolencentrales.

In Nederland staan acht kolencentrales. Deze zijn in eigendom van Electrabel Nederland N.V., Elektriciteits-Produktie maatschappij Zuid-Nederland EPZ, Essent Energie Productie B.V., E.ON Benelux Generation N.V., Reliant Energy Power Generation Benelux B.V. en N.V. Nuon Energy Trade & Wholesale. In de meeste van deze centrales wordt op dit moment al biomassa bijgestookt. In het convenant is vastgelegd dat in de jaren 2008 – 2012 het biomassa-aandeel wordt verhoogd. Dat resulteert in een gemiddelde CO₂-reductie van 3,2 megaton. Daarnaast zullen de elektriciteitsproductiebedrijven deelnemen aan het Convenant Benchmarking energie-efficiency. Daarmee verplichten de elektriciteitsproductiebedrijven zich dat hun centrales (zowel gas- als kolengestookt) qua energie-efficiency tot de wereldtop blijven behoren. Dit resulteert naar verwachting in een jaarlijkse reductie van 2 megaton CO₂ in de periode 2008 – 2012. Het nemen van aanvullende maatregelen levert nog eens een jaarlijkse reductie van 0,6 megaton CO₂ op. Het convenant is op vrijwillige basis tussen de bedrijven en de overheid tot stand gekomen. Het convenant is voor de eerstgenoemde 3,2 megaton CO₂ een resultaatsverplichting en voor de overige 2,6 megaton CO₂ een inspanningsverplichting.

Europese dimensie

De overheid stimuleert bijsmaak van biomassa al – op dit moment door gebruikmaking van de Regulerende Energiebelasting – en verplicht zich dat tot 2012 zo of op vergelijkbare manier te blijven doen. De emissie-eisen die aan Nederlandse centrales gesteld worden zullen, met uitzondering van enkele specifieke punten, niet strenger zijn dan uit Europese richtlijnen voortvloeit en zullen door de overheid nog in wetgeving worden omgezet. Vooruitlopend daar op zijn besturen van provincies en gemeenten hierover geïnformeerd in de circulaire Emissiebeleid voor energiewinning uit biomassa en afval. Dit is van belang omdat de provincies en gemeenten de emissie-eisen in vergunningen vastleggen. De overheid zal voor de productie van elektriciteit geen nationale brandstofbelastingen meer heffen. Al deze randvoorwaarden zijn voor de elektriciteitsproductiebedrijven van groot belang omdat de productie van elektriciteit in Europa inmiddels geliberaliseerd is.

Kyoto

De doelstelling van Kyoto is in de periode van 2008-2012 de emissie van CO₂ en andere broeikasgassen met 6% terug te dringen ten opzichte van 1990. Voor Nederland betekent dat volgens de huidige inzichten, verwoord in de Evaluatienota Klimaatbeleid, dat in totaal 40 megaton uitstoot van broeikasgassen zal moeten worden teruggedrongen. Het Convenant Kolencentrales en CO₂-uitstoot levert hieraan een forse bijdrage.

C o l o f o n

RB Elektronica

(jaargang 72)
is een uitgave van

Bureau Belper Communications V.O.F.

Batterijlaan 39
NL - 1402 SM Bussum
Tel. +(0)35 6424 831
Fax.: +(0)35 6936293
E-mail: rbc@rbe.nl
WEB-site: WWW.RBE.NL
Postbank: 21.35.596

Hoofdredactie: D.J.F. Scheper

Redactieraad: G.R. Beleecke, S. Swolffs, S.D. Scheper, A. Rens, J. van der Aa, H. Tuininga, A. de Bruin, Leo Oostveen

Vaste medewerkers: G. van de Werff, R. Wals, S. Swolffs, A.J. Hurenkamp, J.W. Richter

Prepress: BB Prepress opmaak

Advertentieverkoop

D.J.F. Scheper, tel.: +(0)35 6424831

Abonnementen Nederland

Standaard Nederland 45 Euro per jaar
Standaard België 60 Euro per jaar (vanuit Nederland verzonden), via Partner Press 45 Euro
Buitenland 102 Euro per jaar
Studenten 32 Euro per jaar

Abonnementen worden automatisch verlengd, tenzij uiterlijk drie maanden voor het einde van de aflooperperiode schriftelijk bericht is ontvangen.

Druk

Van der Weij Grafische Bedrijven BV

Abonnementen België

Partnet Press - RB Elektronica
Charles Parentéstraat 11
BE - 1070 Brussel/Bruxelles
Tel.: 02/5564140
Fax.: 02/5564146

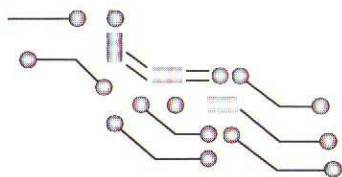
Auteursrecht

Het geheel of gedeeltelijk overnemen, kopiëren of op enige andere wijze vermenigvuldigen van de in dit tijdschrift gepubliceerde artikelen is uitsluitend mogelijk na schriftelijke toestemming en met bronvermelding. Gepubliceerde schakelingen en software kunnen door een (Nederlands) octrooibureau zijn beschermd. De uitgever is niet aansprakelijk voor de gevolgen van eventuele fouten.

ISSN: 0928-500

RB Microcontroller experimenteer systeem (5)

De Assembler en Editor, Assembleren, De Stack, Debuggen



Wim Hagedoorn
wihatronics@wx.nl
0591 390132

De Assembler

De assembler is een programma dat de instructies voor de 68HC11 zoals LDAA #\$45, omzet naar HEX waarden die in de processor ingelezen kunnen worden en samen een programma vormen. We hebben dit al gedaan bij het assembleren van de monitor voor Pcbug11. Het voordeel van een assembler is dat we met een losse editor kunnen werken en hierdoor is het veel eenvoudiger om dingen te veranderen en eventuele fouten te verbeteren. Er zijn verschillende assembler programma's voor de 68HC11 waaronder een aantal freeware programma's ik heb voor deze artikelen gekozen voor de assembler van Tony Papadimitriou omdat deze wat meer mogelijkheden had en wat moderner is als de freeware assemblers van Motorola zelf. Deze assembler wordt geleverd als "Freeware with an option to pay!" zie hiervoor de documentatie van de assembler. Dit programma kan van internet gehaald worden op het volgende adres: **http://**

www.geocities.com/SiliconValley/Code/8605/

Ook staat het programma op de CD bij de bouwkit. Er zijn echter ook nog verschillende andere assemblers in omloop en als je een andere eenvoudiger of beter vind kun je die natuur-

lijk altijd gebruiken meestal bereik je de beste resultaten met een programma dat je goed kent en waarmee je prettig kunt werken dit hoeft lang niet altijd de nieuwste versie van een programma te zijn. Soms zijn er aan een nieuwe versie zoveel "toeters en bellen" toegevoegd die je toch niet gebruikt dat een oudere versie vaak prettiger en sneller werkt.

De Editor

Voor de editor geldt ook wat ik hiervoor geschreven heb kies er een uit waarmee je prettig werken kunt enkele dingen die ik zelf bij een editor wel prettig vind is "syntax highlighting" dit betekent dat de keywords zoals LDAA, LDX enz. in een andere kleur worden weergegeven dit maakt het schrijven van een programma vaak een stuk eenvoudiger omdat je meteen ziet als je een keyword verkeerd gespeld hebt omdat die dan in een andere kleur op het scherm komt. Ook handig is de mogelijkheid om vanuit de editor direkt de assembler aan te roepen je kunt dan in de editor blijven tot het programma goed is en het dan in de 68HC11 laden en testen.

Vaak bestaat er ook de mogelijkheid om de output van het dos programma in een scherm van de editor te krijgen zodat je

meteen kunt zien waar de fout zit. Een Dos editor die ik vaak gebruikte was Aurora deze wordt echter niet meer ondersteund c.q. verkocht maar is nog wel op internet te vinden. Onder Windows gebruik ik Ultraedit deze kan alles wat ik wil (en meer) en werkt naar mijn mening wel prettig. Ik zou persoonlijk geen tekstverwerkers zoals Word of WP gebruiken omdat deze vaak control karakters in de tekst plaatsen die de assembler niet snapt je kunt vaak wel als ASCII tekst save maar een "gewone" editor werkt naar mijn mening een stuk prettiger en sneller.

Assembleren

We maken in de editor de volgende tekst file en save die als TEST1.ASM.

```
org 0
portb EQU $1004
start lds #00c3
      clra
lus1 staa portb
      inca
      jsr delay
      bra lus1
delay ldx #0fff
lus2 dex
      bne lus2
      rts
end
```

Er zitten een paar dingen in die we nog niet eerder tegengekomen zijn namelijk:

org 0

Dit vertelt de assembler waar het programma geladen moet worden in de controller.

Portb equ \$1004

Dit kent aan het label portb de waarde \$1004 toe overal waar we nu portb invullen maakt de assembler er \$1004 van dit maakt het programma een stuk

duidelijker omdat we nu niet alle adressen hoeven te onthouden. Bij de assembler zit meestal ook wel een file waarop alle interne registers van de controller van een label zijn voorzien later kun je die ook gebruiken.

End

Dit geeft het einde van het programma aan dit is niet bij alle assemblers nodig maar sommige werken niet goed als het er niet staat en het kan ook geen kwaad om het te plaatsen.

We kunnen het programma nu assembleren met het commando **asm11 test1.asm**

We krijgen dan de volgende melding terug:

C:\asm11>asm11 test1.asm

WRN TEST1.ASM (9) Direct mode wasn't used (forward reference?)

WRN TEST1.ASM (9) A JUMP was used when a BRANCH would also work

Assembled TEST1.ASM (17 lines) [Warnings: 2] 20 bytes 1 file processed!

De assembler geeft nu 2 Warnings dit betekent niet dat het programma fout is maar dat het eenvoudiger of korter had gekund de **jsr delay** hadden we kunnen vervangen door een **bsr delay** dit was een byte korter geweest voorlopig laten we het even zo omdat we de subroutines zelf nog niet hebben besproken.

Als we nu **dir test1.*** geven zien we het volgende:

C:\asm11>dir test1.*

Volume in drive C is WIN95
Volume Serial Number is
046A-18E9

Directory of C:\asm11

```
TEST1.ASM 162 10-24-01
3:16p test1.asm
TEST1.S19 64 10-24-01 4:04p
TEST1.S19
TEST1.LST 1,887 10-24-01
4:04p TEST1.LST
TEST1.MAP 151 10-24-01
4:04p TEST1.MAP
```

4 file(s) 2,264 bytes
0 dir(s) 1,624,506,368 bytes
free

We zien nu dat er drie files bij zijn gekomen namelijk **test1.s19** dit is de file die in de 68HC11 geladen wordt **test1.lst** dit is een zogenaamde listing file en bevat naast de source ook de adressen en de opcodes van het programma de laatste file is **test1.map** dit is file die door bepaalde debuggers wordt gebruikt voorlopig doen we hier niets mee. Een gedeelte van de listing file is hieronder afgebeeld:

```
1 0000 org 0
2
3 1004 portb EQU $1004
4
5 0000:8E00 C3 [ 3] start lds
  #00c3
6 0003:4F [ 2] clra
7 0004:B710 04 [ 4] lus1 staa
  portb
8 0007:4C [ 2] inca
9 0008:BD00 0D [ 6] jsr delay
10 000B:20F7 (0004) [ 3] bra
   lus1
11
12 000D:CE0F FF [ 3] delay
   ldx # 0fff
```

```

13 0010:09 [ 3] lus2 dex
14 0011:26FD (0010) [ 3] bne
lus2
15 0013:39 [ 5] rts
16
17 0000    end

```

Het programma is ongeveer gelijk aan wat we de vorige keer gemaakt hebben er zit echter een instructie in die we nog niet eerder gebruikt hebben namelijk de **JSR** (Jump to SubRoutine) op regel 9 een subroutine kunnen we beschouwen als een stukje programma dat aangeroepen kan worden in een ander deel van het programma en dat als het klaar is verder gaat met de volgende instructie van het programma. In ons programma wordt in regel 9 de subroutine delay aangeroepen als deze klaar is gaat hij via de **RTS**. (ReTurn from Subroutine) terug naar regel 10 **bra lus1** . Hoe weet de subroutine nu naar welk adres hij terug moet springen ? Om dit uit te leggen zullen we eerst proberen het begrip stack uit te leggen.

De Stack

De stack (stapel) is eigenlijk wat de naam zegt een stapel(tje) gegevens die door het programma verandert kunnen worden meestal is dit een gedeelte van de **Ram** van de processor maar het kan ook apart geheugen zijn.

Hoe werkt dit ? we gaan uit van de 68HC11 bij andere processoren kan het iets anders werken maar het principe blijft hetzelfde. We hebben een **Stackpointer** die naar de eerst vrije

geheugenpositie wijst in ons voorbeeld op regel 5 laden we de stackpointer met **\$C3** als we nu de subroutine in regel 9 aanroepen verandert de stackpointer naar **\$C1** twee plaatsen naar beneden en komt het adres waar naar toe gesprongen moet worden als de subroutine afgelopen is op adres **\$C2** en **\$C3** te staan als de subroutine afgelopen is wordt het retour adres van de stack gehaald en de stackpointer weer op **\$C3** gezet. We kunnen dit controleren door het programma in de controller te laden **LOADS TEST1.S19** we controleren of de PC op **\$0000** staat (links onder in de rode balk) zo nodig kunnen we dit veranderen met het commando **RS PC 0000** hiermee zetten we de Program Counter op **\$0000** we kunnen hiermee trouwens ook de andere registers veranderen zie de help functie. We gaan er van uit dat de macro RBMES geladen is en starten nu met **T** (Trace) we zien nu de **PC** bij elke keer dat we **T** geven verandert en dat de volgende instructie die uitgevoerd wordt op het scherm komt ook zien we de andere registers veranderen. We gaan door tot we de **JSR** instructie tegenkomen en letten dan goed op de **SP** als de instructie uitgevoerd is zien we dat de stackpointer op **\$C1** staat als we nu op adres **\$C2** en **\$C3** kijken (**MD C0**) zien we op adres **\$C2** **\$00** staan en op adres **\$C3** staat **\$0B** als we in de listing kijken zien we dat inderdaad het adres is van de volgende instructie die uitgevoerd moet worden na de subroutine. We kunnen nu verder door het programma stappen met **T** en

zien dat het X register steeds een minder wordt door de **DEX** instructie we kunnen net zolang doorgaan tot X nul is en we de subroutine verlaten wordt maar dat duurt wel erg lang we zetten daarom met **RS X 02** de waarde van X op 2 we zien dit ook in de rode balk veranderen we moeten nu nog twee keer door de lus gaan en dan is X nul en wordt de subroutine verlaten na de **RTS** instructie zien we dat de Stackpointer weer op **\$C3** staat en we weer in de begin situatie zijn. Enkele andere instructies die van de stack gebruik maken zijn **PSHA** (PuSH register A plaats register A op de stack), **PSHB** en **PSHX** en de tegengestelden **PULA** (PULl register A haal register A van de stack) **PULB** en **PULX** er zijn er echter nog meer. Kort samengevoegd kun je dus zeggen dat je met een **PSH** instructie data op de stack plaatst en het er met een **PUL** instructie weer af haalt. Als het misschien nog niet helemaal duidelijk is kunnen we ook het voorbeeld van het laden kastje weer gebruiken bekijk de stack als een laden kastje en de stackpointer als een wijzer die naar het eerstvolgende ongebruikte laatje wijst we beginnen in ons voorbeeld met de wijzer naar laatje C3 te laten wijzen als we nu de **JSR** instructie uitvoeren wordt het hoogste deel (MSB) van het return adres in laatje C3 gestopt en het laagste deel (LSB) in laatje C2 en wordt de wijzer op laatje C1 gezet. Bij de **RTS** instructie gebeurt het omgekeerde en worden de waarden terug gehaald en de wijzer weer terug gezet op C3. Het is mis-

schien wel goed om nog even op te merken dat de laatjes (geheugenplaatsen) niet echt leeg gemaakt worden maar alleen terug gelezen worden en weer vrij gegeven voor nieuw gebruik de oude waarde blijft dus gewoon staan.

Debuggen (foutzoeken)

Met debuggen bedoelen we het fout zoeken en verbeteren van een programma de meeste wat langere programma's werken meestal niet direkt zoals we bedoelt hadden en het is dan de kunst om uit te vinden waar het fout gaat. Dit begint eigenlijk al bij het schrijven van het programma en hier heb ik dus al direkt een (bewuste) fout gemaakt namelijk door geen commentaar bij het programma te plaatsen voor een kort programma zoals dit lijkt het misschien niet nodig om commentaar te plaatsen maar als we een wat langer programma maken en we zien het een half jaar later terug is het vaak heel moeilijk om zonder commentaar bij de listing te zien wat we ook al weer bedoeld hadden. We kunnen commentaar op de volgende manier toevoegen:

```
org 0; startadres van het programma
portb EQU $1004; poort die gebruikt wordt voor de led's
start lds #00c3; stel stack-pointer in op de top van vrije ram
clra ; zet A reg op nul om met een vaste waarde te beginnen
Enz.
```

Het kan vrij lastig zijn om duidelijk commentaar te maken

en het is natuurlijk extra type werk maar op de duur loont het zeker ook is handig als we duidelijke labels kiezen in plaats van **portb equ \$1004** hadden we beter kunnen schrijven **led_poort equ \$1004** het was dan direkt duidelijk geweest dat op die poort de leds aangesloten waren normaal gebruiken we een include file waar alle poorten van de 68HC11 in staan, dit is een aparte file die tijdens het assembleren ingelezen wordt, we hadden dan kunnen schrijven **led_poort equ portb** wat weer een stukje duidelijker was geweest. Op deze manier maken we het programmeren eenvoudiger en wordt de kans op fouten ook automatisch kleiner hoe we de include file moeten gebruiken staat wel in de beschrijving van de assembler bij de voorbeelden ook kunnen we onze eigen include file maken. Het debuggen begint dus eigenlijk al bij het schrijven van het programma fouten die we namelijk niet maken hoeven we ook niet op te lossen. Om een fout te kunnen zoeken moeten we eerst een fout maken normaal gaat dit vanzelf al hebben we het niet zo bedoeld nu maken we een bewuste fout in het programma veranderen we de instructie **bne lus2** in **beq lus2** we assembleren het opnieuw en laden het in de 68HC11. We hebben nu verschillende mogelijkheden om het programma te testen we kunnen het starten met **G 0** zoals we al eerder gedaan hebben we zien nu dat alle leds branden en dat de teller niet langzaam verhoogd zoals we bedoelt hadden als we het programma nu met het commando **T** doorlopen zien we al

snel dat de subroutine direkt weer verlaten word zonder dat het X register 0 is omdat we de verkeerde instructie gebruikt hebben. Een ander interessante mogelijkheid is het zetten van een breakpoint het programma loopt dan net zo lang door tot het adres bereikt is waarop de breakpoint is ingesteld. We doen dit met het commando **BR <adres> <macro>** b.v. **BR 7 TRACE** als we nu starten met **G 0** stopt het programma als adres 7 bereikt is en voert de macro trace uit we kunnen dan op volle snelheid het programma doorlopen en stoppen op een vooringesteld adres. De beste manier om dit te leren is gewoon experimenteren en dingen te proberen hardware matig kun je eigenlijk niets stuk maken rest nog even te zeggen dat het trace commando niet altijd goed werkt in een dos box onder windows onder dos geeft het geen problemen.

Van dit ontwerp is een bouwkit gemaakt bestaande uit de volgende onderdelen:
MC68HC811E2P, MC34064, L293D, ULN2803, HIN232CP = MAX232, Print (ongeboord)
+ Layout en schema op A4 formaat. Info bij de auteur.



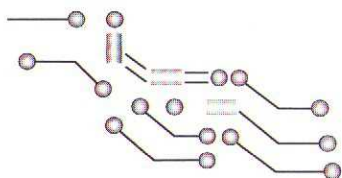
Elementaire instrumentkalibratie

Het belang van ijking voor fabrikanten en gebruikers

De meeste elektronische meetinstrumenten moeten periodiek worden gekalibreerd en zonodig afgeregeld om er zeker van te zijn dat zij correct werken en binnen hun productspecificaties blijven. Er zijn verschillende mogelijkheden om dit te realiseren, zoals:

- met faciliteiten en apparatuur binnen het eigen bedrijf;
- via een onafhankelijke dienstenleverancier;
- door gebruik te maken van de kalibratiediensten van de fabrikant.

Bij de twee laatste opties kan het instrument zowel op locatie bij de klant als intern worden gekalibreerd.



Dee Larson, Service & Support Engineer, Agilent Technologies

Dee Larson is verantwoordelijk voor de onderhoudsplanung en -ondersteuning bij de divisie Measurement Products van Agilent Technologies. In die hoedanigheid ontwikkelt hij ondersteuningsstrategieën voor nieuwe producten, implementeert hij deze en zorgt hij voor fabrieksondersteuning voor Agilent's serviceorganisatie. Larson heeft meer dan dertig jaar ervaring in diverse technische en managementfuncties bij Hewlett-Packard en nu bij Agilent. Hij heeft zijn studie Electrical Engineering aan de Utah State University zowel op HBO- als WO-niveau afgerond.

Dit artikel zal ingaan op kalibratie en afregeling vanuit het perspectief van de gebruikers en fabrikanten en op de diverse strategieën van de dienstenleveranciers. Ook wordt aandacht besteed aan 'gesloten-behuizing' kalibratie, een methode die mogelijk is met moderne instrumenten en die op een zeer doelmatige manier uitstekende kalibratie/afregel resultaten oplevert.

Gebruikersperspectief

Voor gebruikers van elektronische meetinstrumenten zijn een aantal zaken, bij het inschakelen van kalibratie- en afregeldiensten, van belang. De belangrijkste zijn:

- Zekerheid krijgen over de validiteit (binnen de specificaties) van recente metingen.
- Erop kunnen vertrouwen dat het instrument binnen zijn specificaties zal blijven functioneren totdat de volgende kalibratie of afregeling wordt uitgevoerd.
- Het verkrijgen van verslagen/rapporten om te voldoen aan de eisen die het eigen bedrijf stelt, zoals:

- een kalibratiesticker op het product;
- een kalibratiecertificaat dat het type kalibratie documenteert (doorgaans hanteert het kalibratielaboratorium hiervoor een standaardprocedure of een industriernorm);
- informatie krijgen over alle punten waarop het instrument de toleranties overschrijdt voordat hij opnieuw wordt afgeregeld;
- tijdige rapportage wanneer apparatuur gekalibreerd moet worden, zodat hiermee rekening gehouden kan worden.
- lokalisatie en statusrapportage van instrumenten die buiten bedrijf zijn en aangeven waar zij zich in het kalibratie/afregel proces bevinden.
- Het beheersen van de kosten van de genoemde diensten zodat ze in het budget van de gebruiker passen.
- De periode dat een instrument buiten bedrijf is minimaliseren.
- Het kalibratie- en afregelproces zo betrouwbaar mogelijk maken (lees: foutvrij maken).

- Het documenteren van de driftsnelheid zodat de gebruiker de prestaties van het instrument kan evalueren en het interval tussen opeenvolgende kalibraties kan bijstellen.

Fabrikantperspectief

Producenten van meetinstrumenten hebben operationele doelstellingen die voor een belangrijk deel overeenkomen met die van de gebruikers:

- Producten moeten ruim voldoen aan hun specificaties gedurende de aanbevolen periode tussen kalibraties. Dit vermindert de vragen en de zorgen die de gebruikers kunnen hebben en heeft bovendien een zeer gunstige invloed op de onderhouds- en garantiekosten.
- Dienstenleveranciers die de kalibratie verzorgen, moeten dit proces gemakkelijk, doelmatig en effectief kunnen uitvoeren. Fabrikanten weten dat wanneer zij de kalibratie- en afregelkosten van hun producten tot een minimum weten te beperken, dit de eigendomskosten bij de gebruiker aanzienlijk verlaagt en dat geeft de instrumenten een betere concurrentiepositie.
- Voor kalibratie moet met een minimale set apparatuur kunnen worden volstaan, waarbij instrumenten kunnen worden gebruikt waarover ook de meeste kleine kalibratieafdelingen kunnen beschikken. Hierdoor neemt het aantal leveranciers dat kwalitatief goede kalibraties kan uitvoeren toe. Onderlinge

concurrentie maakt bovendien de kosten van de kalibratie lager.

Het zal duidelijk zijn dat het kwaliteitsniveau van de kalibratie/afregeldiensten voor een belangrijk deel bepaalt in hoeverre aan de eisen en doelstellingen van zowel de instrumentgebruikers als de fabrikanten wordt voldaan.

Aanpak

In de loop der tijd zijn verschillende methoden ontstaan om de kalibratie/afregeling aan te pakken. Daarvan zijn er drie die verreweg het meest voorkomen.

Aanpak 1

Het kalibratielaboratorium voert een initiële verificatietest uit op het instrument. Als het op alle testpunten binnen de productspecificaties valt, wordt een kalibratierapport gegenereerd. Alleen als de gemeten waarden buiten de specificaties liggen, wordt het instrument afgeregeld en uitsluitend op de betreffende punten.

Rapportage: De inkomende en uitgaande meetgegevens zijn in de meeste gevallen dezelfde. Als afregelen nodig was, zullen de waarden alleen verschillen op de bijgestelde parameters.

Aanpak 2

Het kalibratielaboratorium voert een initiële verificatietest uit op het instrument om te bepalen of dit aan zijn specificaties voldoet. Afregeling vindt alleen plaats als de resultaten buiten gedefinieerde limieten vallen. Deze liggen dicht bij de nominale waarde dan de

grenzen van de instrumentspecificaties. Dit relatief smalle bewakingsvenster biedt betere garanties dat, wanneer het instrument door drift in de buurt komt van de tolerantiegrenzen, hij op het einde van het kalibratie-interval nog steeds binnen zijn specificaties zal presteren.

Rapportage: De inkomende en uitgaande meetgegevens zijn in de meeste gevallen dezelfde. Als afregelen nodig was, zullen de waarden alleen verschillen op de bijgestelde parameters.

Aanpak 3

Het kalibratielaboratorium voert een initiële verificatietest uit op het instrument om te bepalen of dit aan de voorgescreven specificaties voldoet. Dit wordt gevolgd door een complete afregeling om de meetwaarden dicht bij hun nominale, 'ideale' waarden te brengen voor een aantal vastgelegde testcondities. Dit betekent dat de parameters van het instrument met bijna de helft van het volledige specificatievenster kunnen veranderen voordat de toleranties worden overschreden.

Een kalibratieproces dat afregeling gebruikt als een manier om de kans te verhogen dat het instrument tot aan de volgende geplande kalibratie aan zijn specificaties voldoet, is gebaseerd op de volgende stappen:

- bij ontvangst worden de prestaties eerst volledig geverifieerd om de testgegevens vast te leggen en te vergelijken met de specificaties van het instrument;
- hierna vindt de afregeling plaats om ervoor te zorgen

- dat de parameters weer dichterbij de buurt van hun nominale waarde liggen;
- en ten slotte wordt een eindtest uitgevoerd om te verifiëren dat de afregeling effectief was.

Het grootste nadeel van een kalibratieproces dat deze stappen hanteert, is dat de prestatietest twee maal moeten worden uitgevoerd: voor en na de afregeling. Dit geldt alleen als de gebruiker wil weten of de metingen die hij voorafgaand aan de kalibratie maakte ook valide zijn. Is deze informatie niet nodig dan zijn alleen de twee laatste stappen (afregelen en eindtest) vereist.

Voor een complete verificatie van de instrumentspecificaties zijn normaal gesproken meerdere verschillende meetopstellingen nodig in verband met de diverse standaarden en testsignalen. Figuur 1 toont drie afzonderlijke opstellingen voor het kalibreren en afregelen van een functiegenerator. Het veranderen van zo'n configuratie kan een behoorlijk tijdrovende bezigheid zijn. Minimalisatie van het aantal verschillende configuraties maakt het kalibratieproces dan ook aanzienlijk doelmatiger.

Rapportage: De inkomende en uitgaande meetgegevens zullen op vrijwel alle punten verschillen omdat het instrument een volledige afregeling ondergaat.

Documentatie

Het onderhoudshandboek van de fabrikant is het belangrijkste document waarin de kalibratie- en afregelprocessen zijn vastge-

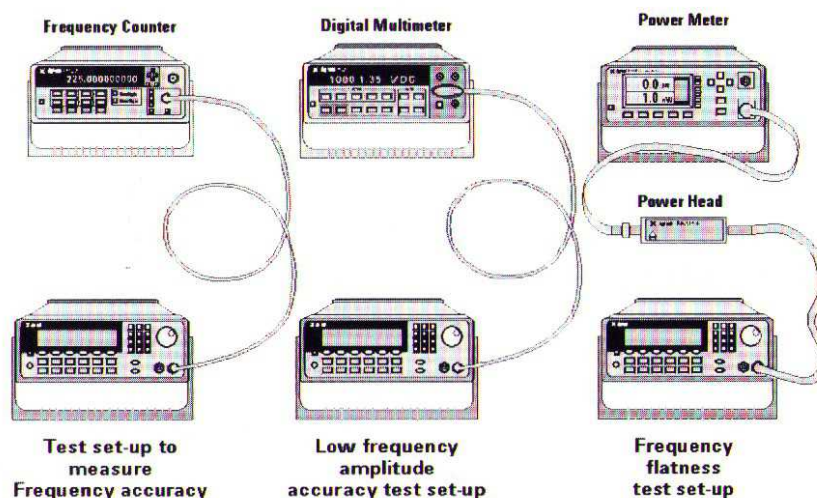
legd. De hoofdstukken die deze twee procedures beschrijven, zijn meestal opgesteld vanuit een drietal afwegingen:

- De sectie over de verificatie van de specificaties moet aan meerdere doelstellingen voldoen:
- een gedocumenteerd proces beschrijven voor acceptatietesten, oftewel het testen van de kwaliteit van het instrument bij ontvangst;
- de basis vormen voor een gedetailleerde prestatietest door onder meer de verzameling gegevens vast te leggen die moet worden gemeten bij binnenkomst van het instrument en, na de eindtest, de uitgaande gegevens die deel uitmaken van het kalibratiecertificaat of -rapport.
- Het hoofdstuk over afregelen staat op zichzelf en is gescheiden van de prestatieverificatie om verwarring te voorkomen.
- Zowel de verificatie- als de afregelprocedure zijn doorgevoerd zodanig opgesteld dat deze handmatig kunnen worden uitgevoerd (dus niet

bestuurd vanuit een computer).

Het opstellen van kalibratieprocedures op basis van alleen de informatie in de handleiding van het instrument creëert beperkingen die de uitvoering ervan langer en complexer maken. In dergelijke handleidingen staat maar zelden of er interacties bestaan tussen de diverse afregelpunten. De enige garantie die zij in dit opzicht bieden, is dat de afregelingen effectief zullen zijn wanneer zij in de voorgeschreven volgorde worden uitgevoerd.

Een logische gevolgtrekking is dat, op het moment dat het instrument op een enkel punt is afgeregeld, alle hierna volgende afregelstappen moeten worden doorlopen vanwege hun mogelijke interacties. Als de gebruiker een rapport van meetgegevens wil hebben bij binnenkomst en het instrument daarna wordt bijgesteld dan is rapportage van de uitgaande meetgegevens essentieel om te kunnen verifiëren dat de afregeling juist



Three of the Unique Set-ups used in the Calibration/Adjustment of a Function Generator

werd uitgevoerd en dat deze effectief is.

De meeste handleidingen beschrijven een proces waarbij de initiële verificatie, de afregeling en de eindverificatie worden gescheiden in afzonderlijke stappen. Elk daarvan vereist ongeveer evenveel verschillende meetopstellingen. Voor de uitvoering van die stappen worden steeds soortgelijke meetopstellingen voor de te testen eenheid (UUT, Unit Under Test) gebruikt.

Om deze reden is het begrijpelijk waarom veel kalibratielaboratoria ervoor kiezen het kalibratieproces na de initiële verificatie te stoppen als uit de meetresultaten blijkt dat het instrument nog binnen zijn specificaties functioneert. Zouden alle drie de stappen volledig worden doorlopen dan kost dat ongeveer drie maal zoveel tijd en moeite.

Er wordt vaak een computer ingezet om de kalibratie en afregeling te besturen. Dit maakt de uitvoering ervan een stuk efficiënter. Een nadeel is dat de meeste programmatuur die hiervoor ontwikkeld is, slechts de procedures van het onderhoudshandboek van de fabrikant implementeert. In de meeste gevallen zorgt de computer voor het verzamelen van de meetgegevens en het opstellen van het kalibratierapport. Veranderingen in de meetopstelling gebeuren handmatig, op basis van aanwijzingen die de software geeft. Hoewel deze benadering zeker een werkend kalibratieproces oplevert, is het bepaald niet de optimale manier van automatiseren.

Gesloten behuizing kalibratie

Veel moderne instrumenten zijn geschikt voor zogenoemde *gesloten-behuizing kalibratie*. Zij werken niet meer met de traditionele afregelpunten en instelbare componenten om meetfouten als versterkingsniveaus en offsets te compenseren. In plaats daarvan worden deze afwijkingen mathematisch gecorrigeerd door de processor van het instrument. De kalibratieconstanten voor deze correctieberekeningen worden tijdens het kalibratie/afregelproces ingevoerd en opgeslagen in niet-vluchtig geheugen. Compensatie van analoge parameters is ook mogelijk via digitaal/analoog-omzetters waarbij de mate van correctie wordt vastgesteld tijdens kalibratie. De regel informatie voor deze analoge correcties wordt ook in ditzelfde niet-vluchtige geheugen opgeslagen.

De meeste apparaten vereisen verschillende meetconfiguraties om alle verificatietesten te kunnen uitvoeren. In de regel zijn dezelfde opstellingen nodig voor het volledig afregelen van het instrument. Als de eerder beschreven kalibratieaanpak wordt geïmplementeerd als een reeks opeenvolgende handelingen dan zijn al die verschillende meetconfiguraties nodig voor zowel de initiële en eindverificatie als de afregeling.

Voor standaardinstrumenten met faciliteiten voor gesloten-behuizing kalibratie is een veel efficiënter proces mogelijk. Dat gebeurt op basis van 'Aanpak 3' en daarbij worden alle verifica-

tietesten en afregelstappen volledig doorlopen, wat de best denkbare garanties biedt dat het instrument nog steeds binnen zijn specificaties presteert bij de volgende geplande ijking. De tijdswinst wordt vooral bereikt doordat elke meetconfiguratie maar één maal nodig is. De stappen in tabel 1 werken met twee computerbestanden voor het opslaan van informatie die wordt uitgewisseld tussen de computer en de UUT. Alle initiële kalibratieconstanten van de UUT komen in bestand 1 te staan. Bestand 2 begint met deze zelfde informatie maar naarmate bij de afregeling parameters worden bijgesteld, vervangen de nieuwe kalibratieconstanten de opgeslagen waarden. Het in tabel 1 beschreven proces is geschikt voor zowel meetinstrumenten (zoals spanningsmeters) als voor signaalbronnen (bijvoorbeeld functiegeneratoren). Zie tabel op de volgende pagina.

Bij tabel 1 is uitgegaan van de volgende aannames:

- De meetopstelling voor het uitvoeren van de kalibratie zijn dezelfde die nodig zijn voor het uitvoeren van een volledige verificatie van de prestaties. Op zich leent de aanpak zich ook voor situaties waarin deze configuraties verschillen maar het proces is eenvoudiger te begrijpen zonder deze complicatie.
- Wanneer de afregeling met een bepaalde meetopstelling is voltooid, functioneert het instrument correct zodat de eindverificatie geldige resultaten oplevert. Dit houdt in dat afregelingen die binnen een bepaalde configuratie

STAP #	BESCHRIJVING
#1	sla 'binnen-komst' kalibratieconstanten van UUT op in bestand 1 en 2
#2	maak alle verbindingen die nodig zijn voor het configureren van de eerste kalibratie/afregelopstelling
#3	verzamel alle 'binnen-komst' meetgegevens die bij deze configuratie horen
#4	maak alle afregelingen die bij deze configuratie horen
#5	verzamel alle einddata die bij deze configuratie horen
#6	sla alle nieuwe kalibratieconstanten die bij deze meetopstelling zijn gegenereerd op in bestand 2
#7	gebruik bestand 1 om alle initiële kalibratieconstanten in de UUT te laden
#8	maak alle verbindingen die nodig zijn voor het configureren van de volgende kalibratie/afregelopstelling
#9	verzamel alle initiële meetgegevens die bij deze configuratie horen
#10	gebruik bestand 2 om alle tot nu toe gegenereerde, nieuwe kalibratieconstanten in de UUT te laden
#11	maak alle afregelingen die bij deze configuratie horen
#12	verzamel alle einddata die bij deze configuratie horen
#13	sla alle nieuwe kalibratieconstanten die bij deze meetopstelling zijn gegenereerd op in bestand 2
#14	herhaal stap 7 t/m 13 tot alle meetconfiguraties die nodig zijn voor een volledige kalibratie/afregeling zijn toegepast

N.B. de kalibratieconstanten in de UUT na het uitvoeren van de laatste stap zijn alle nieuwe parameters

Tabel 1. Beschrijving van een efficiënt kalibratie/afregelproces.

- werden gemaakt, onafhankelijk zijn van wat er bij volgende meetopstellingen gebeurt.
- Het is mogelijk kalibratieconstanten in een bestand in te lezen en vanuit een bestand naar de UUT te sturen.

Conclusie

Fabrikanten kunnen een sleutelrol spelen bij het ontwikkelen van effectieve en doelmatige kalibratieprocessen voor elektronische meetinstrumenten die geschikt zijn voor gesloten-behuizing kalibratie. Door dergelijke testprogramma's te

gebruiken, kunnen dienstverleners hun klanten voordelen bieden zoals:

- een 'binnen-komst' verificatie uitvoeren of een samenvattend testrapport genereren waarin alle parameters staan die buiten de tolerantiegrenzen vallen;
- het afregelen van de UUT op de nominale gewenste waarden en zo meer zekerheid bieden dat het instrument tot de volgende geplande kalibratie binnen zijn specificaties zal blijven;
- een gedetailleerde eindrapportage verzorgen;

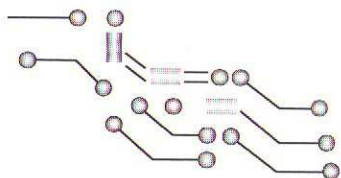
- al deze zaken kunnen uitvoeren met een minimum aan wisseling van verschillende meetopstellingen, wat de ijkingsprocessen aanzienlijk minder tijdrovend maakt.

Uiteindelijk maakt dit proces het mogelijk om de drie fasen - initiële verificatie, afregeling en eindverificatie - samen af te ronden in nauwelijks meer tijd dan voor elke fase afzonderlijk nodig is.



Productieaspecten bij Bluetooth-testen

Het testen van Bluetooth tijdens de fabricage lijkt op het selecteren van persoonlijke verzekeringen; in beide gevallen moet je een groot aantal aspecten meewegen om een definitieve keuze te kunnen maken.



Brian Fetz, Agilent Technologies

Brian Fetz is Wireless Networking Solutions Planner bij Agilent Technologies in Spokane (Washington, VS). Hij heeft meer dan vijftien jaar ervaring bij Agilent Technologies (en daarvoor Hewlett-Packard) in het ontwikkelen en evalueren van productievoorzieningen. Met zijn expertise richt hij zich nu op het helpen van klanten bij het optimaliseren van hun teststrategieën op het gebied van draadloze communicatie.

Fabrikanten van testapparatuur hebben instrumenten op de markt gebracht met specifieke functies die het beproeven van Bluetooth-producten versnellen en vereenvoudigen. Zo voert de E1852A Bluetooth Communication Test Set van Agilent Technologies een reeks functionele en parametrische testen uit op Bluetooth-apparatuur. De bediening loopt via een PC en die koppeling maakt het tevens gemakkelijk om de testresultaten in productie- en ondernemingsdatabanken te importeren.

Voor een ontwerper die niet met beperkingen te maken heeft, is het selecteren van componenten voor een systeem met Bluetooth-voorzieningen een gemakkelijke opgave. In werkelijkheid hebben we echter te maken met aspecten als afmetingen, vermogensconsumptie en kosten. Dit zijn tevens drie belangrijke factoren die de toegevoegde waarde van Bluetooth representeren. De

eerste-generatie producten die nu op de markt worden gebracht, laten al duidelijk zien wat de invloed van Bluetooth zal zijn op de toekomstige markt voor consumentenelektronica. Wat voor consumenten minder duidelijk zichtbaar is, zijn de beslissingen die ontwikkelaars moeten nemen bij het ontwerpen van Bluetooth-apparatuur. De uitkomsten hiervan, samen met de andere

bedrijfsmatige keuzes die de fabrikant maakt, bepalen het testregime dat moet worden gevolgd wanneer tot productie wordt overgegaan.

Als productie- of testspecialist die een verificatieproces probeert op te zetten voor een apparaat met voorzieningen voor draadloze communicatie, heb je met meer zaken rekening te houden dan alleen het product. Het is niet waarschijnlijk dat de ontwerpers je het recept voor een succesvol testprogramma geven en je vervolgens alleen laten zodat je in alle rust aan de implementatie kunt werken. Misschien zou je dan met de prachtigste testcode komen, maar zou die helaas niet voldoen aan de bedrijfsdoelstellingen. Daarom is het aan te bevelen een proces te volgen waarbij het management de hoog-niveau doelstellingen aangeeft, waarna de ontwikkelaars deze 'naar beneden' vertalen naar het feitelijke testplan.

Testfilosofie

Alvorens te bepalen wat te testen en op welke manier, — het testplan —, is het de moeite waard eerst de testfilosofie na te gaan. Dit zijn de aspecten met betrekking tot de verificatieprocessen die zorgen dat de lange-termijn winstdoelstellingen van de onderneming kunnen worden gehaald. Afwegingen die hierbij meespelen zijn niet alleen de testkosten (apparatuur, testtijd, infrastructuur) maar ook de toegevoegde waarde die voortvloeit uit kwaliteitsbewaking, kwaliteits-

perceptie, product- en fabricageverbeteringen en het continu op de markt brengen van nieuwe producten. Het gewicht dat elk van deze aspecten in de schaal legt, is voor iedere fabrikant anders en samen vormen zij de testfilosofie.

We kunnen een deel van deze definitie van de testfilosofie verwoorden met 'testen is de kunst om het voldoende verzekeringen af te sluiten'. Als je te weinig test zullen defecte producten in grote getale op de markt komen. De leverancier krijgt dan te maken met forse retourpercentages, ontevreden klanten en verlies aan merkvertrouwen en marktaandeel. Als je te uitgebreid test, worden de kosten onnodig hoog, resulterend in lagere marges in een toch al bijzonder concurrentiegevoelige markt.

Maak je producten die alle metingen perfect doorstaan dan is het logischerwijze onnodig nog te testen. Hier word je niets wijzer van en op de informatie die je krijgt hoeft je geen actie te ondernemen. Testen is dan alleen maar het verspillen van tijd en geld.

Analoog aan deze redenering is het evenmin logisch om elk product dat van de band rolt uitvoerig te beproeven. Dit impliceert een volkomen gebrek aan vertrouwen in het ontwerp, veronderstellend dat dit eigenlijk niet compleet is. Volledig testen is in het algemeen zo duur dat dit het succes van een product belemmert. Bovendien is dit, in het geval van Bluetooth, volstrekt overdreven in bijna alle denkbare situaties.

Teststrategie

Uit het voorgaande blijkt wel dat er een goed plan van aanpak nodig is om te bepalen hoeveel moet worden getest. De teststrategie voorziet in dit plan en daarbij is het ondergeschikt aan de testfilosofie. Een teststrategie omvat niet alleen specifieke technische verificatiepunten maar houdt ook rekening met de diversiteit aan producten die deze techniek gebruiken. Ook worden de korte- en lange-termijn verwachtingen met betrekking tot productverificatie bij de fabricage erin meegenomen, evenals koppeling met de resultaten van de ontwerpvalidatie.

Natuurlijk kan een ontwerp- en productieteam nooit alle mogelijke oorzaken van problemen kennen. Maar door hun kennis van ontwerpdetails te combineren met hun gezamenlijke ervaring in de industrie kunnen ze wel beginnen de onderdelen van hun teststrategie in te zien door vragen te stellen als: „Gegeven onze kennis van het product en van de zaken die ermee mis kunnen gaan, wat moeten we doen om er voldoende zeker van te zijn dat de producten in behoorlijk goede conditie de fabriek verlaten?” Merk op dat hiermee niet wordt gestreefd naar een retourpercentage van nul. Hoewel je dat graag zou willen, komt het neer op het betalen voor een verzekering die je nooit nodig hebt en dus op het weggooien van tijd en geld.

Het testen van Bluetooth en unieke test problematiek

Het belangrijkste document voor het testen van Bluetooth waar productiespecialisten bekend mee zullen zijn, is het conformiteitsregime dat is vastgelegd in de Bluetooth-specificaties. Hierin worden zowel het beproeven van het protocol als van de HF-kenmerken beschreven. De protocolsectie bevat honderden testen, de HF-sectie zestien. Algemeen wordt het protocol tot de programmacode gerekend en deze hoort tijdens het ontwerpen van het product al te zijn geverifieerd zodat dit bij de fabricage niet meer nodig is. Daarom concluderen de meeste ontwikkelaars dat de productietesten zich moeten concentreren op het hoogfrequente deel, en met recht. Uit de ervaring blijkt dat bij HF-circuits de gemeenste dingen fout kunnen gaan. Bluetooth zou verandering in dit inzicht kunnen brengen maar voornamelijk is dat niet het geval.

Het in de standaard gespecificeerde HF-testregime is het uiterste in behoudend fabricagetesten, het helemaal niet uitvoeren van testen het andere uiterste. In aanmerking genomen dat bij de meest grootschalige productie, die van OEM-Bluetooth-modulen, de testtijd ongeveer tien seconden mag bedragen, is het extreem behoudende testregime in de praktijk duidelijk niet haalbaar. Hoeveel parametrische metingen - spectrum, bitfoutgevoeligheid,

vermogen/frequentieverdeling - kun je testen in vijf, tien of een handvol seconden? Hier komt nog bij dat je een behoorlijk snel toevoermechanisme nodig hebt om de producten in het testsysteem te krijgen en dat tussen die twee een 'live link' opgebouwd moet worden. Zo wordt het steeds duidelijker dat het Bluetooth-probleem een behoorlijke uitdaging vormt. Bij mobiele telefoons, bijvoorbeeld, is de totale testtijd zo'n twintig maal groter. Wat het fabriceren van Bluetooth-producten nog complexer maakt, is dat OEM-modulen deel uitmaken van apparaten die zelf ook weer een bepaald niveau van verificatie nodig hebben.

En om de afwegingen met betrekking tot het testen of verifiëren van met Bluetooth uitgeruste toestellen te completeren: het kan goed zijn dat alleen functioneel wordt beproefd of een combinatie van functioneel en parametrisch testen.

Vragenlijst

Bij het beslissen waar de dunne scheidslijn tussen onder- en overtesten moet worden getrokken, kan het beantwoorden van de onderstaande reeks vragen een goede start vormen. Zij leiden tot een nauwkeurige inventarisatie van de productdoelstellingen en de rol die Bluetooth in deze plannen speelt. Ook helpen ze om de testfilosofie en teststrategie mee te laten wegen, met als uiteindelijk doel het vastleggen van de details van het testplan.

De vragen zijn onderverdeeld in drie brede categorieën:

- productdefinitie
- fabricageomgeving
- bedrijfsdoelstellingen en -cultuur

Productdefinitie

1. Is een Bluetooth-verbinding cruciaal voor het functioneren van het systeem of is het een extra voorziening. Hoe gemakkelijk kan het in het veld worden vervangen?

Als de verbinding in een Bluetooth-computerkaart niet werkt, is het product onbruikbaar. Aan de andere kant geldt dit niet voor veel andere apparaten. Als een toestel wordt uitgebreid met Bluetooth als extra, kan de teststrategie een hoger risico-profiel hanteren omdat het systeem zijn hoofdfuncties ook kan uitvoeren als er geen of een niet-optimale verbinding is. Dit evenwichtskunstje vereist inzicht in het percentage gebruikers dat de Bluetooth-functionaliteit nodig heeft, het voorspelde uitvalpercentage en de kosten van reparatie in het veld (onderhoudsmonteur met een vervangingsmodule). Aan de andere kant van de balans staan de extra kosten in kapitaalgoederen en instrumenten om voldoende testdekking te krijgen. Dit gezegd hebbende, kan de auteur hier nog aan toevoegen dat hij bij een recent aangeschafte magnetron geconfronteerd werd met een segment van het LED-scherm dat niet werkte.

2. Wat is de interactie tussen de Bluetooth-verbinding en het feitelijke product?

Het is mogelijk dat de Bluetooth-verbinding de prestaties

van het kernproduct beïnvloedt. Neem bijvoorbeeld een draadloze hoofdtelefoon voor een mobiele telefoon. Het kan gebeuren dat de Bluetooth-zender de gevoeligheid van de HF-ontvanger in het telefoongedeelte aantast. In zulke gevallen is het belangrijk om de Bluetooth-parameters zeer nauwkeurig te testen. Het omgekeerde kan ook voorkomen: een onderdeel van het kernproduct heeft een negatieve invloed op de Bluetooth-verbinding. Er kan bijvoorbeeld een transformator of een andere component in het apparaat zitten die elektromagnetische velden uitstraalt of geleidt die het zenden of ontvangen van signalen verstoren.

3. Wat is de vormfactor van het product?

Dit aspect is ongebruikelijk en uniek voor Bluetooth. Er is geen andere technologie die breed in alle mogelijke modellen kan worden toegepast. Het kan terechtkomen in een hoofdtelefoon, een PC-printer, een auto en een broodrooster. En ongeacht waar de module in komt, de testontwikkelaar moet routines en fixtures realiseren die binnen de productielijn werken. Vanzelfsprekend is de testfixture voor een printer veel groter dan die voor een mobiele telefoon. Ook is het van belang dat elke testopstelling is afgeschermd van de andere, zodat hoogfrequente strooivelden van de ene tester niet de aangrenzende stations beïnvloeden. Afscherming is sowieso een onderschat maar bijzonder belangrijk punt bij Bluetooth-testen tijdens de fabricage.

4. Hoe is het radiogedeelte geïmplementeerd?

De verschillende ontwerpen die de diverse halfgeleiderfabrikanten in hun Bluetooth-IC's hebben toegepast, hebben allemaal eigen sterke en zwakke punten. Deze worden grotendeels bepaald door de toegepaste technieken, circuitblokken en ontwerpmethoden. Zo kunnen bepaalde chips bijzonder ontvankelijk zijn voor frequentiedrift als gevolg van een vrijlopende oscillator. Andere kunnen weer marginaal presteren op het gebied van de gevoeligheid omdat is gekozen voor een ontwerp dat thermisch zeer robuust is. Tot de overige aspecten kan digitale ruis van de databus horen, die inductief of galvanisch van het hoofdsysteem bij de Bluetooth-circuits komt.

Fabricageomgeving

1. Wat voor rol spelen upstream-testen en kwaliteitsbewaking?

Een bedrijf dat Bluetooth-printers vervaardigt, kan er voor kiezen om een compleet geassembleerde en geteste hoogfrequentmodule te integreren. Maar kan de leverancier van de module de volledige garantie geven dat zijn product juist functioneert? En is die garantie voldoende om de printerfabrikant te ontheffen van de noodzaak de Bluetooth-verbinding uitgebreid te testen? Is steekproefgewijs testen wellicht een betere optie?

2. Wat zijn de geprognostiseerde productieaantallen? Hoe zullen

afhandeling en parallel testen naar verwachting verlopen?

Bij een massaproduct heeft het zin het Bluetooth-testen te automatiseren. Daarvoor moeten fixtures en een afhandelingsysteem worden ontwikkeld. Bij grote productieaantallen is het ook van belang dat het testen zo kort mogelijk duurt, waarbij minder dan tien seconden een bruikbare streeftijd is. Gaat het om kleinere aantallen dan zullen sommige bedrijven uit de voeten kunnen met handmatig testen, waarbij de meetresultaten eerder na een minuut dan na enkele seconden beschikbaar komen. Als bijvoorbeeld in een auto Bluetooth wordt ingebouwd, kan een technicus eenvoudigweg rond het voertuig lopen en controleren of de verbinding werkt bij verschillende afstanden en onder variërende omstandigheden.

Een andere beslissing is of producten na elkaar worden getest of dat er meerdere gelijktijdig worden beproefd teneinde de doorvoersnelheid te vergroten. Bij massafabricage zal de keuze bijna zeker op parallel testen vallen en dat maakt het ontwerp van de fixture complexer. Aan de andere kant leidt een sequentiële testopstelling ertoe dat kalibratie en schakelen lastiger worden. Een bijkomende afweging is het type en de diversiteit van de producten en fixtures waarmee een station te maken kan krijgen.

Bedrijfsdoelstellingen en -cultuur

1. Wat is het standpunt van het bedrijf aangaande productconformiteit?

Hoewel elk Bluetooth-product overeenkomstig de standaard functioneert, dankzij het grondige kwalificatieregime, is het geen eis dat deze testen tijdens de fabricage worden uitgevoerd. De meeste fabrikanten, en vooral die met ervaring op het gebied van hoogfrequentiecircuits, kiezen in dit opzicht voor de behoudende aanpak. Het valt echter te verwachten dat andere ondernemingen hier wat nonchalanter in zullen zijn.

2. Gaat het bedrijf zelf de producten vervaardigen of wordt dit overgedragen aan een contractfabrikant?

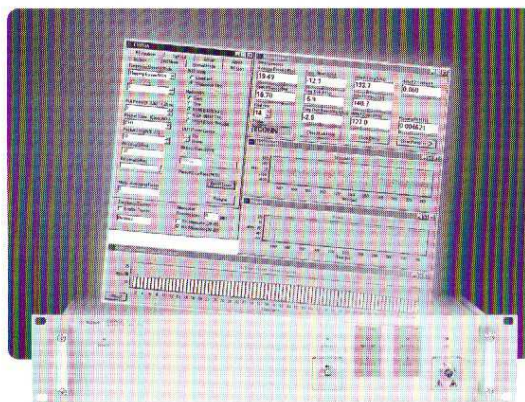
Als de fabricage zelf ter hand wordt genomen, impliceert dit ook investeringen in de bijbehorende testinfrastructuur. Dit kan helpen bij de continue optimalisatie tijdens de opstartperiode. Rekent het bedrijf op de diensten van een contractfabrikant dan zullen ook zijn testfaciliteiten moeten worden geëvalueerd. Daarbij is het absoluut noodzakelijk niet alleen bij het begin van de samenwerking uit te zoeken in hoeverre wordt voldaan aan de verificatie-eisen van het ontwerp maar daarna ook hoe de opschaling in de tijd verloopt.

3. Hoeveel producten met Bluetooth denkt het bedrijf te gaan maken?

Mikt een onderneming op slechts één Bluetooth-product dan verschilt de testaanpak voor dat ontwerp van de werkwijze wanneer er tien producten zijn gepland. In de eerste plaats is het waarschijnlijk dat met maar één halfgeleiderleverancier zaken zullen worden gedaan. Dat opent de mogelijkheid van continue optimalisatie in de tijd, zeker waar het dat ene producttype betreft. Gaat het om verschillende soorten apparaten dan heb je ook te maken met diverse interfaces en vormfactoren. Bij het ontwerp van de teststations en fixtures zal hiermee rekening moeten worden gehouden. Schaalbaarheid van de testconfiguratie is eveneens een eis omdat na verloop van tijd de totale verwachte productieaantallen groter zullen worden en de prijsdruk vanuit de markt zal toenemen.

Samenvatting

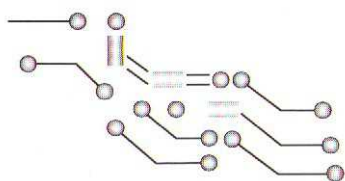
Hoe Bluetooth-gebaseerde producten moeten worden getest, en in welke mate, zijn complexe vragen waar geen eenvoudige antwoorden voor zijn. Voorlopig is de technologie nog zo nieuw en zijn alle betrokkenen nog zo vooraan in hun leercurve dat fabrikanten de neiging hebben te kiezen voor een behoudende aanpak. Op dit moment wordt hun gelijk hierin ook bevestigd. Echter, op de lange termijn zullen slimme ondernemingen gaan zoeken naar manieren om hun 'verzekeringspremies' zo laag mogelijk te houden door alleen een beperkte verzameling specifieke testen uit te voeren op een deel van de totale productie. Om welke testen het gaat, hangt af van het standpunt dat het bedrijf in heeft genomen ten aanzien van productontwerp, fabricagefilosofie en bedrijfsdoelstellingen.



Maskertesten vereenvoudigt en versnelt conformiteitstesten met een digitale oscilloscoop

Introductie

Of het nu gaat om conformiteitstesten van een communicatiesysteem, het meten van de jitter op een netwerk, het controleren van de signaalintegriteit voor een laboratoriumontwerp of het versnellen van de testprocedures in een productielijn, werken met masker- of sjabloontesten is bij de meeste digitale oscilloscopen een gemakkelijke en tijdbesparende methode. Een masker is een sjabloon dat in een oscilloscoop kan worden geladen en dient als basis voor vergelijking met een gemeten signaal van een DUT (Device Under Test). Hierbij toont het masker de grenswaarden die een golfvorm mag hebben door het gebied te definiëren waar deze binnen moet blijven. Als hetingangssignaal een grens van het masker overschrijdt, heeft de vergelijking of de maskertest een negatieve uitkomst. Met een maskertest kunnen snel verschillende metingen in één vergelijking worden uitgevoerd, terwijl de gebruiker tevens waardevolle visuele terugkoppeling krijgt omtrent het slagen of falen van de test. Voor het beproeven van golfvormen kunnen verschillende soorten maskers worden gebruikt, waaronder voorgedefinieerde standaardmaskers voor de controle op conformiteit met industriestandaarden, maskers die automatisch worden gegenereerd aan de hand van een perfecte ('gouden') of gegarandeerd juiste golfvorm dan wel een masker dat de gebruiker op de PC heeft aangemaakt en dat in de scope wordt geladen.



Helen Muterspaugh, Agilent Technologies

Communicatie conformiteit testen

In de huidige, zich snel ontwikkelende en concurrentiegevoelige communicatiemarkt is het essentieel dat de digitale systemen van een groot aantal leveranciers met elkaar kunnen worden verbonden. Dit maakt het nodig om te testen op conformiteit met de betreffende industriestandaarden. Alleen hiermee kan de interoperabiliteit tussen de verschillende componenten worden gegarandeerd. Naarmate aan telecommunicatiesystemen hogere eisen worden gesteld, gaat het testen een steeds grotere rol spelen om een minimale uitvaltijd te garande-

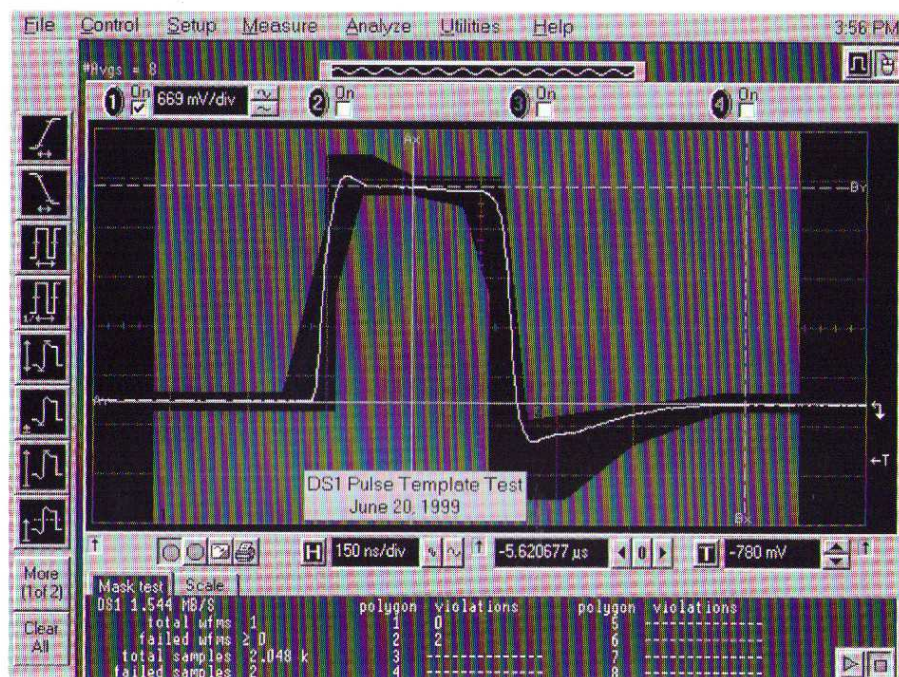
ren. Ontwikkelaars moeten snel en gemakkelijk het ontwerp van netwerkcomponenten als switches, multiplexers, repeaters en routers kunnen verifiëren.

Bij het testen op compatibiliteit met de industriestandaarden moeten diverse parameters van de telecommunicatiesignalen worden gemeten. Deze zijn vastgelegd in een aantal normen, waaronder de Noord-Amerikaanse ANSI T1.102, de internationale ITU-T G.703 en industriestandaarden als Ethernet (IEEE 802.3). Voor pulssignalen als DS1 en DS3 definieert de ANSI-norm bijvoorbeeld pulsbreedte, maximale amplitude, opslingering, demping en pulsvorm.

Een oscilloscoop is een zeer geschikt instrument voor al deze metingen en in plaats van vier of vijf afzonderlijke parametrische metingen te doen kan een masker of sjabloon worden gebruikt. Een masker bestaat doorgaans uit een tweetal lijnen die de boven- en ondergrens aangeven. Zolang het ingangssignaal binnen het masker, dus binnen die twee grenslijnen blijft, vallen alle betrokken parameters binnen hun tolerantie en voldoet het signaal aan de conformiteitstest. Komt een deel van het signaal buiten het masker, dan is het testresultaat negatief.

Net als vroegere scoopmetingen, zoals het bepalen van U_{pp} of de periode, neerkwamen op het tellen van rastercellen en hoofdrekken zo werden de eerste maskertesten uitgevoerd door met een zacht potlood een sjabloon op het scherm te tekenen of door een transparante film met diezelfde curves op het scherm te plakken. Deze primitieve en onnauwkeurige visuele beoordelingsmethode is nu vervangen door de digitale oscilloscoop die niet alleen de boven- en ondergrenzen van het masker kan weergeven maar ook heel precieze goed/fout-berekeningen op het ingelezen signaal kan uitvoeren.

Bij de Infiniium-serie oscilloscopen van Agilent worden maskertesten geïmplementeerd door een databank te creëren die gegevens bevat van alle pixels op het weergavescherm. Elke ingang in de databank heeft een 21-bit teller (met een bereik tot ruim twee miljoen). Iedere keer dat een punt van het ingangssignaal een pixel van het weergavescherm doet oplichten, wordt de waarde van



Figuur 1. Afbeelding van een DS1-sig-naal met masker. De mogelijkheid van maskermetingen met moderne digitale oscilloscopen, zoals Agilent's Infiniium-serie, versnelt het automatisch testen op conformiteit door niet alleen visuele resultaten te geven maar ook door voorzieningen om het signaal automatisch op het masker uit te lijnen, op 'geïsoleerde enen' te triggeren en goed/fout-analyses uit te voeren.

de teller van het bijbehorende beeldpunt verhoogd. Als bij maskervergelijking een signaalpunt een pixel laat oplichten dat zich in een niet-toegestaan deel van het signaalbereik bevindt, faalt de betreffende test. De databank blijft de telling bijhouden bij iedere trigger op het ingangssignaal totdat de scoop stopt met het inlezen van data of totdat het maskertesten wordt uitgeschakeld. Op de aldus verkregen meetresultaten kan bijvoorbeeld een histogramanalyse worden uitgevoerd. Ook kunnen de tellergegevens in kleurgradaties worden weergegeven, wat de statistische analyse van foutsignalen ondersteunt.

De optionele set telecommunicatiemaskers voor de Infiniium bevat maskers die speciaal voor telecommunicatiemetingen zijn. Ze omvatten het volledige spectrum aan elektrische mas-

kertesten voor meer dan twintig telecommunicatienormen, waaronder DS1, DS3 en STS1. Elk van deze standaardmaskers kan op het beeldscherm van de scoop worden weergegeven. Automatische uitlijning helpt bij het instellen van het instrument. Over het algemeen zal deze functie de horizontale en verticale instellingen van de scoop zodanig aanpassen dat het signaal wordt uitgelijnd op het masker. Ook worden de bijbehorende triggervoorwaarden gedefinieerd.

Verder kan de scoop snel en automatisch zoeken naar de optimale passing van het testsignaal binnen het masker. Dit betekent dat handmatig instellen van de oscilloscoop vrijwel nooit nodig zal zijn. De scoop kan vervolgens worden gebruikt om met behulp van de goed/fout-maskertest te bepalen of het ingangssignaal voldoet

aan de conformiteitsnormen. Normaal gesproken zal de maskertest het aantal golfvormmetingen en het aantal limietoverschrijdingen aangeven. In aanvulling hierop accentueert de scoop de foutgebieden op het scherm: de segmenten van het signaal die buiten de toleranties vallen, worden in rood weergegeven.

Vaak eist de maskerstandaard dat een geteste puls geïsoleerd voorkomt, dat wil zeggen dat het moet gaan om een positieve of negatieve '1' voorafgegaan en gevolgd door nullen. Zo'n geïsoleerde '1' is een puls die niet wordt beïnvloed door interferentie tussen symbolen onderling of door ruis van aangrenzende pulsen. Om een apparaat met realistische verkeerssignalen te kunnen beproeven, moet de oscilloscoop in staat zijn zo'n specifiek bitpatroon te vinden en hierop te triggeren alvorens de maskertest uit te voeren. De testen in de Infiniium maskerbibliotheek maken gebruik van de in de scoop aanwezige triggerfuncties voor geïsoleerde enen. Hierdoor is het niet nodig het te testen communicapparaat te stimuleren met een bekend, vast signaalpatroon. De oscilloscoop zal automatisch de triggervoorwaarden zo instellen dat het geïsoleerde-'1' patroon wordt ingelezen, conform de definitie van de betreffende ANSI- of ITU-norm.

Veel standaarden eisen dat pulsen met zowel positieve als negatieve polariteit worden gemeten. In die gevallen is testen met geïnverteerd masker nodig om de conformiteit te bepalen. De meeste communicatiemasker kits voor de Infiniium oscilloscopen zijn in staat

zowel positieve als negatieve maskers weer te geven en te gebruiken bij het vergelijken en triggeren. In sommige gevallen gebeurt dit door simpelweg de pulspolariteit naar positief of negatief om te schakelen.

Verbinding is essentieel

Ten slotte is het verbinden van de DUT met de oscilloscoop een belangrijk aspect voor gebruikers in de communicatiesector. De ingangsimpedantie van het instrument moet worden aangepast aan die van het te testen apparaat en dat vereist specifieke adapters. Gaat het bij de meting om differentiële communicatiesignalen dan moeten deze worden geconverteerd naar een asymmetrisch signaal zodat de scoop ze kan meten.

Veel communicatiespecialisten gebruiken noodgedwongen zelfgemaakte adapters om de scoop op de juiste manier op de DUT aan te sluiten. Met de huidige communicatiekits voor oscilloscopen hoeft dat niet meer nodig te zijn. Zo wordt de Infiniium maskerkit geleverd met een wisselspanninggekoppelde, gebalanceerde adapter die geschikt is voor het aansluiten van differentiële communicatiesignalen en het signaal af te sluiten met 100, 110 of 120 ohm. Ook converteert deze adapter diverse connectorvormen (bantam, RJ48C en Siemens) naar de 50-ohm BNC-ingang van de scoop. De afsluitimpedantie kan worden gekozen met een driestandenschakelaar, terwijl de autoprobe-interface van de oscilloscoop de adapter automatisch herkent.

Daarnaast maakt een gelijkspanninggekoppelde, niet-gebalanceerde adapter aansluiting mogelijk van communicatiesignalen als DS3 en E3 op de 50-ohm BNC-ingang van de scoop. Deze connectoren geven de gebruiker de zekerheid dat de verbinding met de DUT betrouwbaar is en nauwkeurige meetresultaten oplevert.

Oogdiagram

In aanvulling op de eenvoudige boven- en ondergrensmaskers is het testen met oogdiagram een nuttige methode voor het meten van de kwalitatieve prestaties van een digitaal systeem. Gedurende opeenvolgende sweeps bouwen willekeurige bitpatronen een samengesteld beeld op van mogelijke patroonreeksen en transities en creëren zo een oogdiagram. De triggerbron is een stabiel kloksignaal dat niet wordt weergegeven. Het oogdiagram toont een groot open gebied in het midden van de puls, de *opening*, met aan de bovenkant de waarde '1' en onderaan de waarde '0'. De afstand tussen boven- en onderkant van de opening is de *ooghoogte*, terwijl de afstand tussen transities wordt aangeduid als *oogbreedte*.

Met weergave in kleurgradaties is het tevens mogelijk een statistisch beeld van het signaal te krijgen. Deze zogeheten *kleurpersistentie* gebruikt verschillende kleuren om het aantal maal aan te geven dat een pixel op het scherm is opgelicht. Dit geeft een indruk van de frequentie waarmee het signaal bepaalde waarden bereikt. Kleurpersistentie biedt meer visuele informatie dan een normale beeldschermweergave.

Bij communicatietoepassingen helpt het bij het opbouwen en interpreteren van oogdiagrammen.

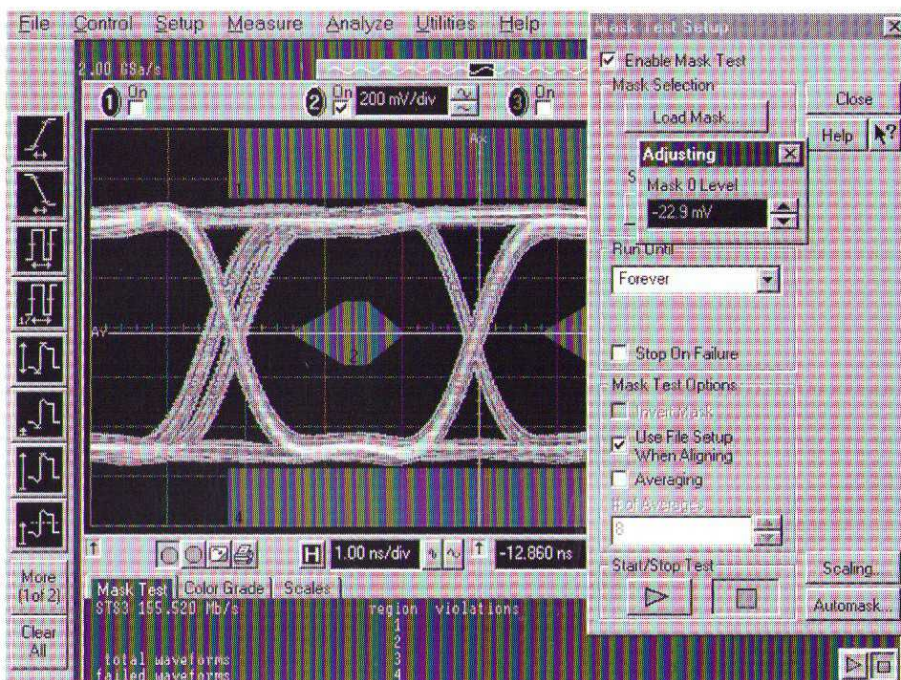
Weergave met behulp van oogdiagrammen en histogrammen is een heel nauwkeurige manier om jitter te karakteriseren. In communicatiesystemen kan *jitter* worden gedefinieerd als fasevariatie of tijdsdeviatie ten opzichte van het ideale signaal. Deze verstoring kan leiden tot een hogere bitfoutfrequentie. Ontwerpers van digitale systemen proberen jitter tussen het kloksignaal en de flanken van de ingangsdata, die onnauwkeurige gegevensoverdracht kan veroorzaken, te vermijden.

In sommige oscilloscopen maken voorzieningen als de oogdiagrammen en histogrammen precieze statistische metingen van ingangssignalen mogelijk.

Histogrammen kunnen horizontaal en verticaal worden weergegeven. Bij een verticale oriëntatie zijn ze geschikt om het ruisniveau of de '1'- en '0'-waarden in een oogdiagram te bepalen. Een horizontale weergave is handig voor het meten van de timing-jitter of om vast te stellen waar de snijpunten in oogdiagrammen liggen.

Gigahertz-testen

Van een heel ander kaliber is de snelle bemonsterende oscilloscoop waarmee ontwikkelaars van snelle digitale communicatietoepassingen de volgende-generatie glasvezelcomponenten en andere geavanceerde systemen ontwerpen. Hierbij gaat het om instrumenten met bandbreedtes van 50 GHz, ruisarme versterkers en inge-



Figuur 2. Oogdiagramtesten: met oogdiagrammen en histogrammen is nauwkeurige statistische meting van communicatiesignalen mogelijk.

bouwde functies voor telecom-communicatietesten. Ze stellen de gebruiker in staat datasignalen met overdrachtssnelheden in het Gbit/s-bereik weer te geven en te controleren. Om deze snelheid te halen, wijkt de architectuur af van de conventionele real-time digitaliserende oscilloscopen, die na een triggermoment steeds een golfvorm in zijn geheel inlezen en weer geven. De bemonsterende scoop kan alleen met herhalende signalen werken omdat hij na elke trigger maar één datapunt inleest. Voor het opbouwen van de complete golfvorm zijn honderden triggers nodig en dit gebeurt met hoge nauwkeurigheid resulterend in een zeer hoge bandbreedte. Dat maakt het een ideaal instrument voor het analyseren van snelle optische en elektrische datasignalen.

Zelf-gedefinieerde maskers
Het kan voorkomen dat moet worden getest volgens een norm waarvoor nog geen stan-

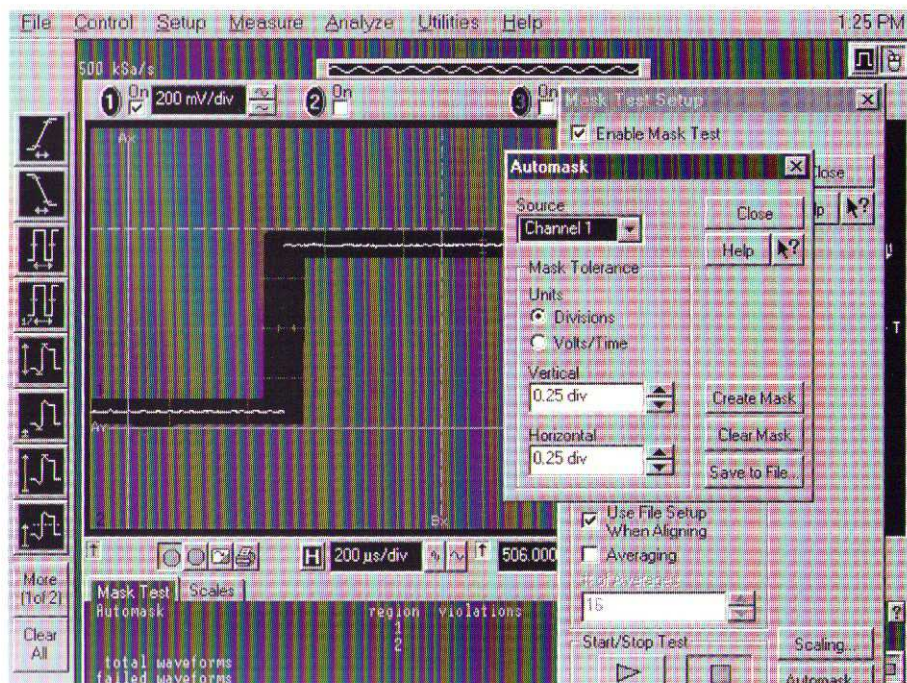
daardmasker gedefinieerd is. Als hiervoor wel een signaal beschikbaar is dat met zekerheid juist is en kan worden gebruikt als 'gouden' standaard dan is het niet moeilijk aan de hand hiervan zelf een speciaal masker te genereren. Zo zijn de meeste oscilloscopen nu uitgerust met een automask-functie. Het aanmaken van een eigen masker begint met het gouden signaal en het definiëren van de verticale en horizontale toleranties. Vervolgens genereert het automask-algoritme van de oscilloscoop zelf een omhullende van het signaal en toont deze op het scherm. Als het berekende resultaat voldoet, kan de omhullende worden opgeslagen en is dan als zelf-gedefinieerd masker beschikbaar voor goed/fout-vergelijkingen op nieuwe ingangssignalen.

Ook de gedefinieerde toleranties kunnen worden aangepast om applicatiespecifieke testspecificaties te krijgen. Bovendien is het mogelijk uit te gaan van

een standaardmasker en de vorm daarvan te wijzigen. Sommige oscilloscopen slaan hun maskers op als simpele tekstbestanden. Deze kunnen op een willekeurige PC worden ingelezen, met een tekstverwerker of ander programma bewerkt en zijn vervolgens als applicatiespecifiek masker weer in de scope te laden.

Voor ontwikkelaars in onderzoek en ontwikkeling- en productieomgevingen kan de mogelijkheid om specifieke maskers te genereren een aanzienlijke tijdsbesparing betekenen. Zij worstelen dagelijks met problemen op het gebied van de signaalintegriteit. Deze treden op als circuits niet meer op het juiste moment of op het juiste spanningsniveau reageren. De oorzaak hiervan kan liggen in onjuist in het ontwerp geplaatste IC's, afsluitcomponenten of incorrecte routing van hoogfrequente signalen. Een en ander kan leiden tot verkeerde data aan de uitgang, circuits die af en toe of helemaal niet functioneren, valse triggers, signaaloscillaties, opslingering, damping en problemen met de instel- en houdtijd van signalen.

Een ontwerp heeft een goede signaalintegriteit als de signalen aankomen op het juiste moment, met de juiste duur en de juiste spanning. Een ontwikkelaar zou signaalintegriteit snel kunnen testen met behulp van een masker dat hij heeft gedefinieerd op basis van de maximale toleranties rond een 'gouden' ingangssignaal. Vervolgens kan een nauwkeurige statistische analyse van het systeem worden verkregen door met dit masker



Figuur 3. Met de automask-functie kunnen specifieke maskers worden gecreëerd aan de hand van een bekend, 'gouden' ingangssignaal.

een reeks goed/fout-testen uit te voeren.

Op dezelfde manier profiteren productiespecialisten van de mogelijkheid om met een enkele meting verschillende parameters te beproeven, wat de doorvoersnelheid van de productielijn kan opvoeren. Ze hoeven niet meer vier of vijf afzonderlijke metingen te verrichten voor het bepalen van waarden als U_{max} , U_{min} , periode, stijgende flank en dalende flank. In plaats daarvan geeft een enkel, zelf-gedefinieerd masker aan of deze parameters al dan niet binnen de toegestane grenzen vallen.

Samenvatting

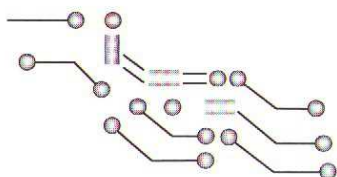
Of het nu gaat om het op conformiteit testen van een communicatiesysteem of productiemetingen in een productielijn, snelle en nauwkeurige testen zorgen voor betere garanties ten aanzien van de werking van de apparatuur en, uiteindelijk, in meer tevreden klanten. Boven-

dien leveren snelle testen ook nog kostenbesparingen op. Wat eveneens bijdraagt aan reductie van de kosten en een hogere klanttevredenheid is dat een geautomatiseerd testsysteem in staat is de meetresultaten gedurende langere tijd op te slaan. Deze gegevens kunnen onder meer worden gebruikt om lange-termijn trends in het productieproces zichtbaar te maken. Dit geeft de ontwerpers informatie waarmee zij de producten verder kunnen verbeteren, terwijl onderhoudsspecialisten er het uitvallen van apparatuur mee kunnen voorkomen. Automatisch testen bespaart tijd en geld en leidt tot betere documentatie. Dat helpt ontwikkelaars en fabrikanten bij het vervaardigen, evalueren en onderhouden van ontwerpen en, uiteindelijk, in het leveren van het best mogelijke product aan de klant.



PLL-simulatie met sigma/delta-modulator maakt vrijwel onbeperkte frequentieresolutie zonder stoorpulsen mogelijk

Vaak is het wenselijk om een PLL (Phased Locked Loop) te ontwerpen met een resolutie die kleiner is dan de frequentie van de referentieoscillator. Zo'n circuit wordt doorgaans gerealiseerd met een fractionele-N PLL, waarin de deler in een bepaald tempo wordt gevarieerd tussen N en $N+1$. Het nadeel van deze aanpak is dat hij leidt tot de vorming van stoorfrequenties die de kwaliteit van het uitgangssignaal aantasten. Een alternatief is het gebruik van een sigma/delta-modulator, een circuit waarbij dithering van het deelgetal de stoorpulsen in het frequentiedomein elimineert. Dit artikel gaat in op de werking van een basis-PLL en op fractionele-N simulatie en sigma/delta-simulatie van PLL's.



Andy Howard,
Agilent EEsof EDA

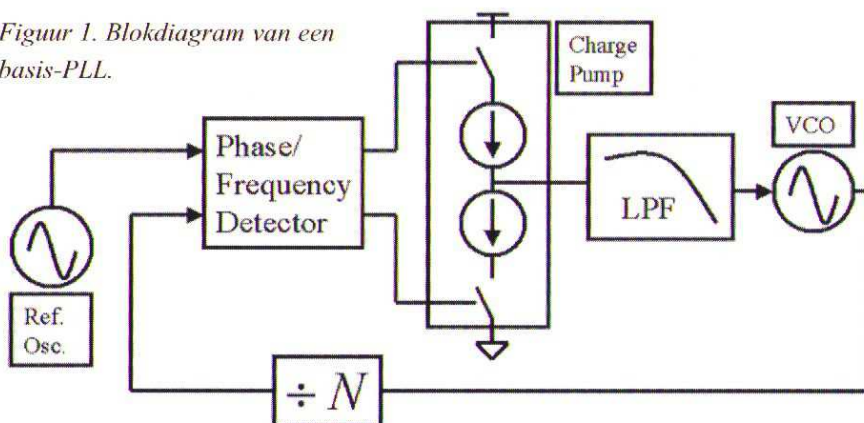
Andy Howard kwam in 1985 in dienst bij Agilent (Hewlett-Packard) als ontwerper van microgolfcircuits. Hij was een jaar in Japan werkzaam als systeemontwikkelaar voordat hij in 1993 HP EEsof applicatieontwikkelaar werd. Tot de door hem geïmplementeerde toepassingen behoren het simuleren van ruis in niet-lineaire circuits, doeltreffende ontwerptechnieken (ontwerpen van experimenten), circuitomhullende en de laatste vier jaar voorbeeldapplicaties voor Agilent ADS. Hij stelde de ADS Power Amplifier Design Guide samen en heeft ook meegewerkt aan de Mixer Design Guide. Eerder dit jaar ontwierp hij een snel prescaler-IC met behulp van Agilent's RFIC Dynamic Link. Andy studeerde af als BSEE aan de universiteit van Berkeley in 1983 en verkreeg zijn masters-grad in 1985. In zijn afstudeerperiode liep hij gedurende een jaar stage als onderzoeker bij NEC's Central Research Labs in Japan. Hij spreekt vloeiend Japans.

Werking van PLL's

Het blokschema van een basis-PLL is weergegeven in figuur 1. Deze PLL bestaat uit een referentiebron, een fase/frequentie-detector, een ladingpomp, een laagdoorlaatfilter (LPF), een spanningsgestuurde oscillator (VCO, Voltage Controlled Oscillator) en een frequentiedeler. Als het deelgetal N constant is, zorgt de terugkoppellus ervoor dat de spanningsgestuurde oscillator een frequentie genereert die exact N maal zo

groot is als de frequentie van de referentieoscillator. De fase/frequentie-detector en de ladingpomp leveren positieve of negatieve pulsen, afhankelijk van het feit of de fase van het referentiesignaal voor- dan wel achterloopt op die van het VCO-signaal. Deze pulsen worden geïntegreerd in het laagdoorlaatfilter en leveren zo een stuurspanning op. Hiermee wordt de VCO naar boven of naar beneden bijgesteld totdat de referentieklok en het deel-

Figuur 1. Blokdiagram van een basis-PLL.



de signaal volledig synchroon lopen.

PLL's worden in veel toepassingen ingezet als frequentiesynthesizer wanneer het nodig is een nauwkeurige signaalfrequentie te genereren met weinig stoorpulsen en weinig faseruis. De signaalfrequentie van de VCO kan worden veranderd door ofwel de frequentie van het referentiesignaal aan te passen ofwel het deelgetal te wijzigen. Omdat de referentieklok vaak een zeer stabiele generator is waarvan de frequentie niet kan worden gevarieerd, is in de praktijk de deler de enige variabele parameter. De waarde daarvan moet een geheel getal zijn, waarbij geldt dat $F_{uit} = N * F_{ref}$.

Een beperking bij dit type PLL is dat de VCO-frequentie niet kan worden gewijzigd in stappen die kleiner zijn dan de referentiefrequentie. Dit kan worden ondervangen door toevoeging van een 1/M-deler tussen het referentiesignaal en de fase/frequentie-detector. Dit maakt het circuit niet veel complexer en zorgt ervoor dat het door de VCO gegenereerde signaal een functie is van twee gehele deeltallen:

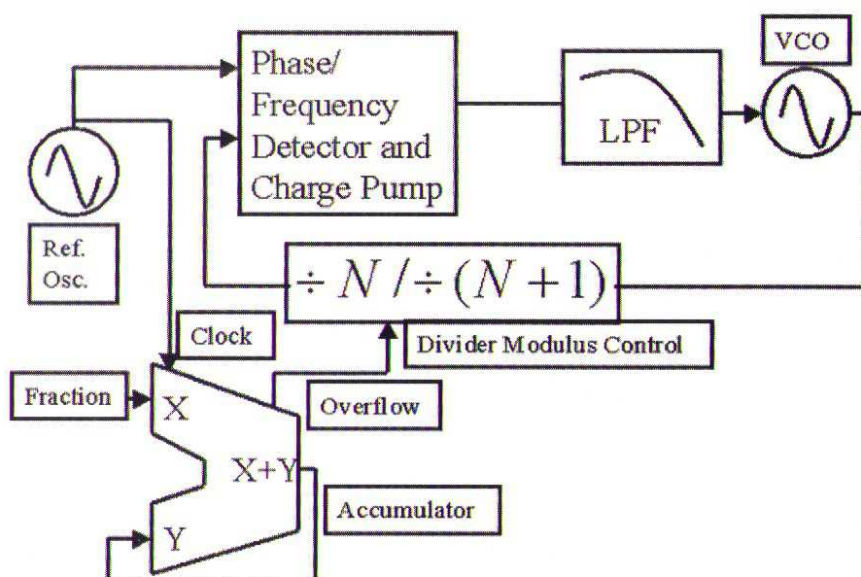
$$F_{uit} = (N/M) * F_{ref}$$

Ook wanneer de PLL een stabiele toestand heeft bereikt en de twee vergeleken signalen zich in fase bevinden, komen er nog steeds kleine pulsen aan de uitgang van de ladingpomp. Dit wordt veroorzaakt door kleine verschillen in de positieve en negatieve ladingpomp en door andere factoren, zoals niet-perfecte fase/frequentie-detec-

tie. Hierdoor ontstaan stoorpulsen, of *spurs*, in het frequentiespectrum van de VCO. Het frequentieverschil ten opzichte van het gewenste uitgangssignaal is gelijk aan de referentiefrequentie.

Het aanpakken van deze stoorpulsen gaat gepaard met compromissen in het ontwerp. Als we streven naar een hoge frequentieresolutie, moet de referentiefrequentie laag zijn maar dit veroorzaakt nevensignalen die dicht bij F_{uit} liggen. Dit betekent dat er een smalbandig filter nodig is om de stoorsignalen weg te filteren. Het nadeel daarvan is dat hierdoor de insteltijd bij transiënten - de overgangstijd van de ene frequentie naar de andere - groter wordt, waardoor de PLL wellicht niet de gewenste reactiesnelheid haalt (zie ook [1]). Bovendien heeft een smalle lusbandbreedte in de PLL tot gevolg dat de faseruis in het uitgangssignaal van de VCO minder wordt onderdrukt.

Figuur 2. Blokdiagram van een fractionele-N synthesizer-PLL.



Hoge frequentieresolutie met fractionele-N synthese

De fractionele-N techniek wordt vaak toegepast om een frequentieresolutie te krijgen die kleiner is dan de referentiefrequentie. Hierbij wordt het deelgetal periodiek gevarieerd tussen twee gehele waarden. Een blokdiagram van dit type PLL is weergegeven in figuur 2. De gemiddelde VCO-frequentie kan worden bepaald met vergelijking 2 uit [2]:

$$\text{gemiddelde } F_{vco} = [T_n N F_{ref} + T_{n+1} (N+1) F_{ref}] / (T_n + T_{n+1})$$

die kan worden herleid tot:

$$\text{gemiddelde } F_{vco} = [N + (T_{n+1} / (T_n + T_{n+1}))] * F_{ref} = (N + \text{fractie}) * F_{ref}$$

Hieruit volgt dat het fractionele deel van het deelgetal afhanke-

lijk is van de schakelverhouding, het deel van de tijd dat de deler door $N+1$ deelt.

Dit type PLL kan worden gemodelleerd met behulp van een accumulator die iedere klokcyclus van het referentiesignaal de gewenste fractie bij zichzelf optelt [2]. Zolang de som van de accumulator kleiner is dan zijn totale bereik, is het overloopbit 0 en deelt de deler door N . Op het moment dat de accumulator zijn maximale waarde bereikt, loopt hij over en wordt het deelgetal ingesteld op $N+1$. Is de gewenste fractie 0,1 dan zal de accumulator elke tiende klokcyclus overlopen; is de gewenste fractie 0,5 dan zal het overloopbit elke tweede klokcyclus worden geactiveerd.

In een fractionele- N PLL hebben de signalen aan de ingang van de fase/frequentie-detector niet dezelfde frequentie. Het referentiesignaal zit op F_{ref} , terwijl het gedeelde VCO-signaal op $F_{ref} \cdot (1 + \text{fractie}/N)$ uitkomt. Met betrekking tot de VCO betekent dit frequentieverschil dat de fase van de VCO per klokcyclus van het referentiesignaal in een tempo van *fractie* rad verder voor gaat lopen op het signaal met een frequentie van $N \cdot F_{ref}$. De accumulator telt deze fractie elke referentiecycclus bij zichzelf op zodat deze waarde in hetzelfde tempo toeneemt als de VCO-fase. Derhalve komt de overloop van de accumulator op hetzelfde moment als het faseverschil van de VCO (relatief ten opzichte van een signaal op $N \cdot F_{ref}$) de waarde 2π rad bereikt. Wanneer de accumulator overloopt, wordt het deelgetal verhoogd tot $N+1$ gedurende

één klokcyclus. Dit trekt $2\pi/N$ rad af van het gedeelde VCO-signaal, waarmee de fase van beide signalen aan de ingang van de fase/frequentie-detector weer gelijk is. Daarom moet het faseverschil tussen de twee signalen aan de ingang van de fase/frequentie-detector toeneemen en weer op nul worden gesteld in hetzelfde tempo dat de som van de accumulator toeneemt en overloopt. Een numeriek voorbeeld is uitgewerkt in [2].

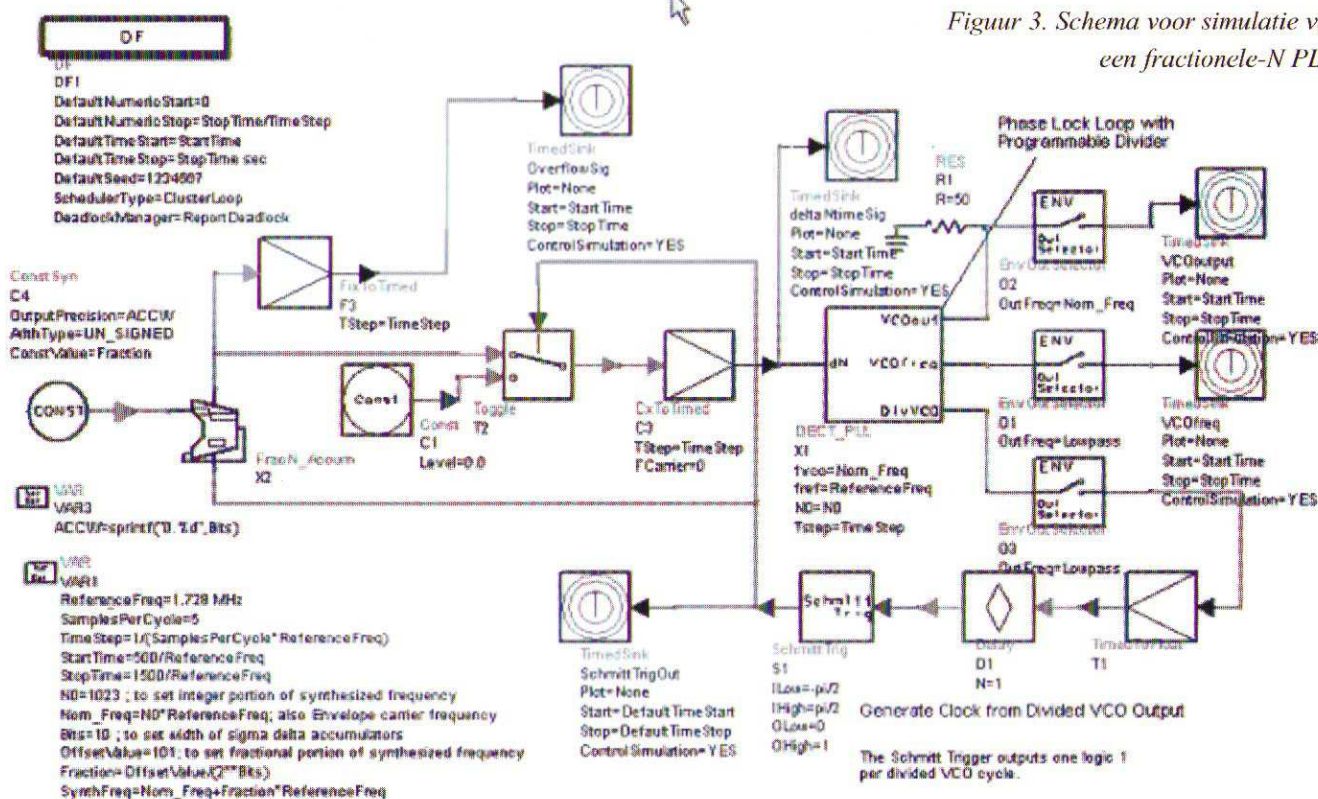
Simulatie van een fractionele- N PLL

Figuur 3 toont de configuratie voor het simuleren van een fractionele- N PLL, gebruikmakend van Agilent EEsos's Advanced Design System 2001 (ADS 2001). Hierbij wordt cosimulatie toegepast, wat het mogelijk maakt numerieke verwerking te integreren in de conventionele circuitsimulators die de vergelijkingen van Kirchhoff's stroomwet oplossen. In dit hoog-niveau schema worden diverse parameters ingesteld, zoals de referentiefrequentie, de tijdstap van de simulator, de bitbreedte van de accumulator, het nominale deelgetal en de fractie. De gewenste fractie is gelijk aan de constante waarde aan de ingang van de accumulator. De vijf *timed sinks* zijn componenten die gedurende de simulatie data inlezen om daarna de resultaten te kunnen weergeven. (Zie fig. 3.)

Het PLL-subcircuit, weergegeven in figuur 4, bestaat uit een gedragsmodel van een fase/frequentie-detector, een lading-

pomp, een laagdoorlaatfilter, een VCO met N -deler en een referentiebron. Dit PLL-ontwerp staat beschreven in [1] en daarbij wordt ook ingegaan op afwegingen met betrekking tot de fasemarge, die de componentwaarden bepaalt. Het circuit is zo ontworpen dat het bij ongeveer 6600 Hz een versterking van 1 heeft. De fase/frequentie-detector werkt met dubbele flipflops en genereert digitale pulsen waarvan de duur afhangt van het faseverschil tussen de referentiebron en het gedeelde VCO-signaal. (Zie fig. 4.)

In werkelijkheid is de fase/frequentie-detector in een PLL asynchroon, wat inhoudt dat zijn uitgang verandert wanneer een bepaalde logische drempel wordt overschreden en niet in respons op een periodiek klok-signaal. Dergelijke circuits vragen veel rekentijd bij de simulatie omdat hele korte signaalfanken, minder dan 100 ps, moeten worden doorgerekend, zelfs als de totale simulatieperiode enkele milliseconden bedraagt. Het hier gehanteerde model voor de fase/frequentie-detector gebruikt interpolatie om met een hogere resolutie dan de tijdstap te bepalen wat de transitiepunten van het ingangssignaal in de tijd zijn. Verder wordt de pulsamplitude van het uitgangssignaal gemoduleerd om de beperking van de tijdstap van de simulator te omzeilen. De werking van de fase/frequentie-detector staat in detail beschreven in [3]. Ten einde het faseverschil tussen de signalen aan de ingang van de fase/frequentie-detector met grotere precisie te berekenen, zijn deze gemodelleerd als



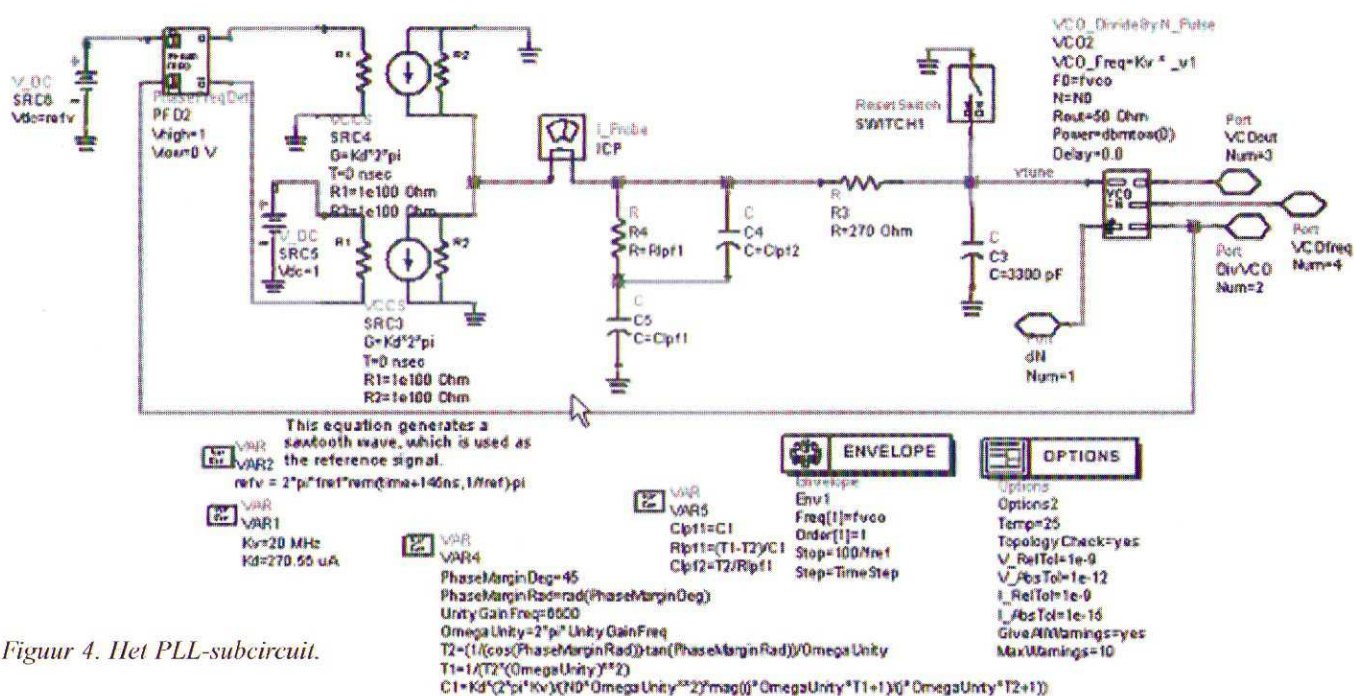
zaagtandgolven die de fase van de referentiebron en het gedeelde VCO-sigitaal representeren.

De ladingpomp is opgebouwd uit twee ideale spanningsge-
stuurde stroombronnen die
ofwel stroom in het laagdoor-
laatfilter sturen of hieruit

stroom wegtrekken. Ze kunnen worden vervangen door niet-ideale stroombronnen of transistoren om het gedrag van een niet-lineaire ladingpomp te simuleren.

Het blok met de VCO en de N-
deler combineert deze twee

circuits in een enkel gedragsmodel om een meer efficiënte simulatie te krijgen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de geavanceerde voorzieningen in ADS die het mogelijk maken gedragsmodellen te creëren of te wijzigen door alleen de vergelijkingen in het schema



aan te passen, zonder dat deze opnieuw moeten worden gecompileerd. Tijdens het simuleren van transiënten of stabiele PLL-situaties, waarbij het niet echt nodig is de VCO-uitgang te zien, laat dit gecombineerde model het toe om de tijdstap zo in te stellen dat hij net klein genoeg is om het gedeelde VCO-signaal te bemonsteren. Dit betekent dat de tijdstap enkele orden van grootte groter mag zijn dan wanneer ook de VCO zelf zou moeten worden bemonsterd, wat een navenant snellere simulatie oplevert.

Het VCO/deler-blok heeft een ingang voor de stuurspanning, een delta-ingang voor het deelgetal, een parameter voor het instellen van de nominale deelverhouding en een vergelijking die de VCO-karakteristiek frequentie versus stuurspanning definieert. De momentane delerverhouding wordt bepaald

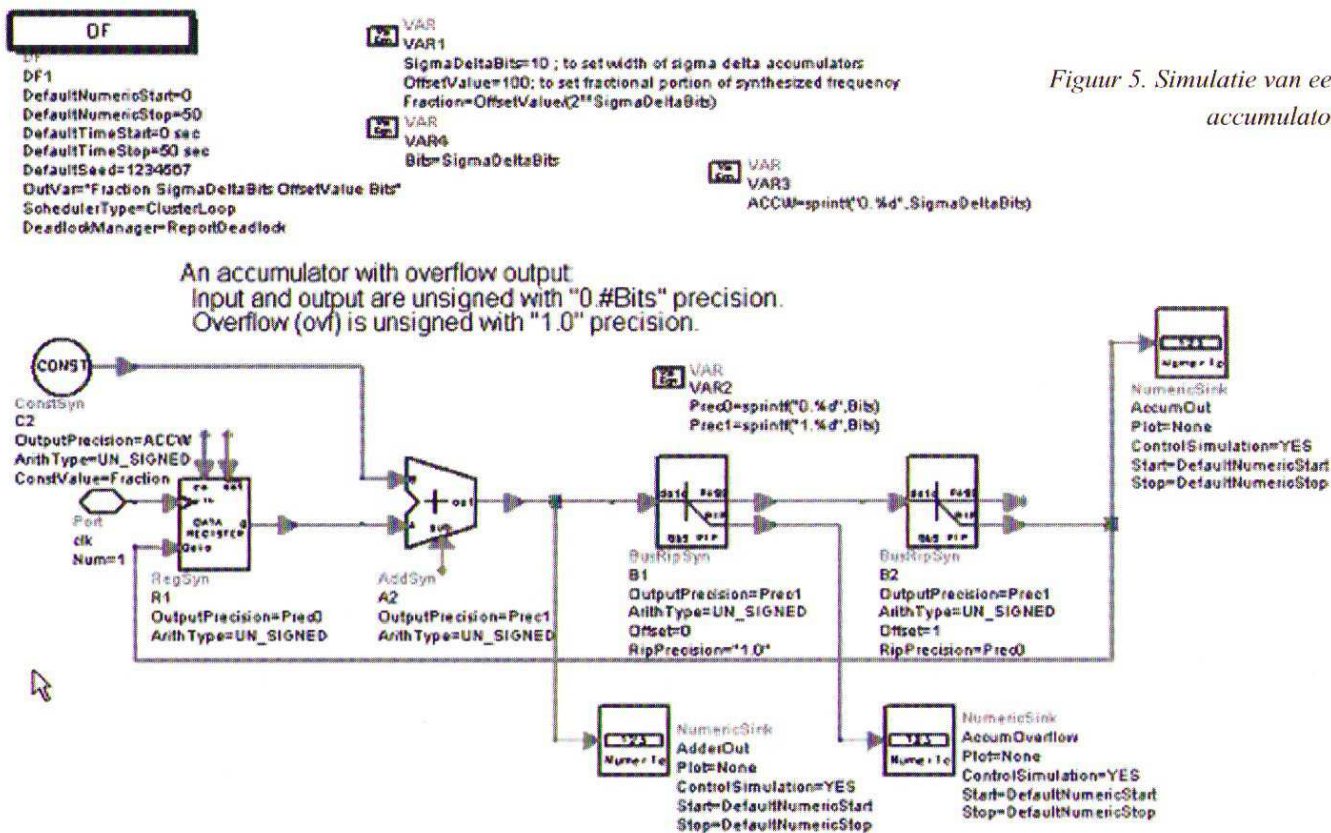
door de som van de nominale delerverhouding ($N=N_0$) en de spanning op de delta-deleringang. In deze simulatie wordt het niveau aan de delta-deleringang bepaald door het overloopbit van de accumulator, dus ofwel een '1' ofwel een '0'.

De drie uitgangen van het VCO/deler-blok zijn respectievelijk de omhullende van het VCO-signaal, zijn momentane frequentie en de fase van het gedeelde signaal als een zaagtandgolf en variërend tussen -p en +p. Er is gekozen voor deze golfvorm als uitgang, in plaats van een sinusoïde, omdat, zoals eerder beschreven, de fase/frequentie-detector het meest nauwkeurig werkt wanneer hij als ingangssignalen twee zaagtandgolven vergelijkt.

Accumulatormodel

De accumulator is een belangrijk onderdeel van de sigma/delta-modulator. Figuur 5 toont een simulatiemodel voor een accumulator. De accumulator bestaat uit een opteller, twee busrippers en een dataregister. De accumulator telt continu een constante waarde (in dit geval de delerfractie) bij zichzelf op en genereert zo een accumulerende som. In het voorbeeldschema is de numerieke precisie van de eerste busripper ingesteld op 1, wat inhoudt dat hij alleen een 1 naar zijn uitgang stuurt als de uitgang van de opteller groter is dan 1. Voor alle andere waarden is de uitgang 0. Op die manier genereert de eerste busripper het overloopbit. De tweede busripper voert het fractionele deel van de uitgangswaarde terug naar de ingang van de opteller. Als bijvoorbeeld de te somme-

Figuur 5. Simulatie van een accumulator.



ren fractie gelijk is aan $100/2^{10}=0,097656$ dan zal na tien cyclussen de uitgang van de opteller gelijk zijn aan 1,0742187. Het overloopbit wordt dan 1 en de waarde die naar de opteller wordt teruggevoerd is 0,0742187. Door deze aanpak kan de simulator gemakkelijk worden ingesteld op een andere sommatieprecisie (het aantal gebruikte bits). (Zie fig. 5.)

De zaagtandgolf aan de uitgang van de accumulator en het overloopbit, dat ongeveer elke tien sommatiecyclussen van 0 naar 1 schakelt, zijn weergegeven in figuur 6. Het Schmitt-triggerblok (uit figuur 3) doet niets meer dan de zaagtandgolf van de klok bemonsteren en één keer per gedeelde VCO-cyclus een logische '1' genereren. Dit zorgt ervoor dat het overloopbit van de accumulator niet vaker dan eens per klokecyclus wordt bemonsterd. (Zie fig. 6.)

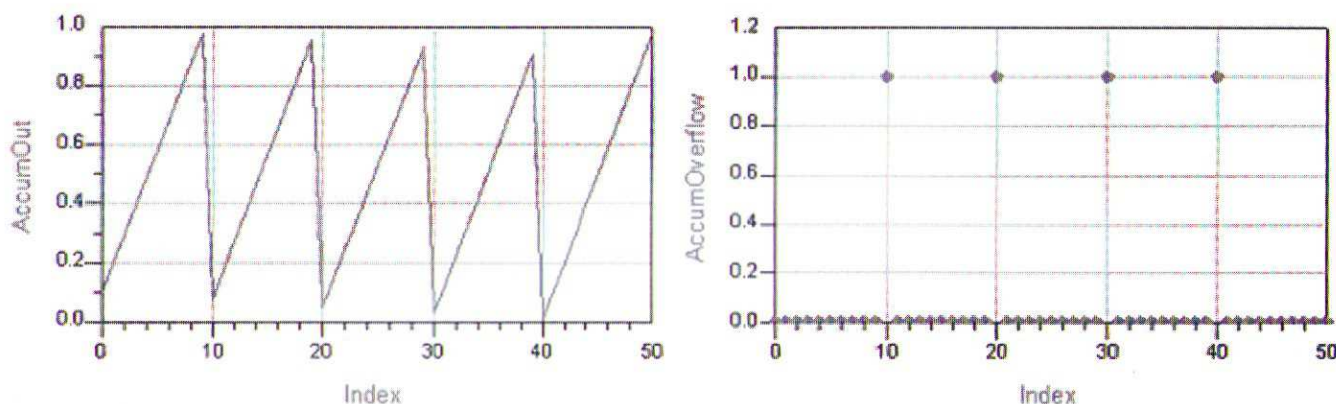
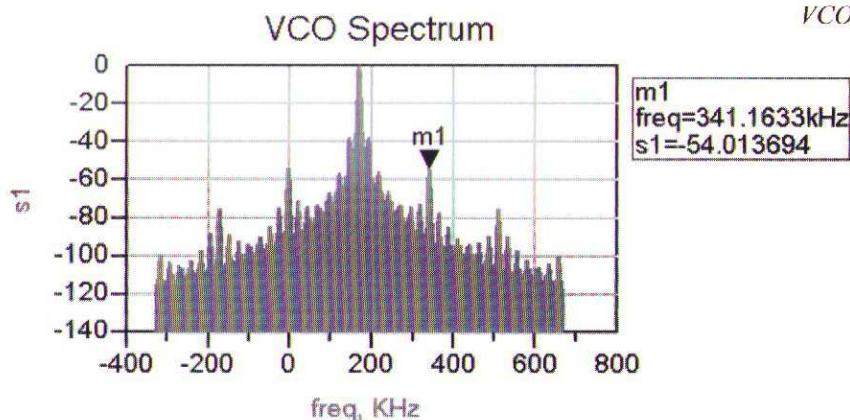
Simulatiresultaten

In de simulatie is de referentiefrequentie (F_{ref}) ingesteld op 1,728 MHz, het nominale deelgetal N_0 op 1023, het aantal bits waar de accumulator mee rekt op 10 en de delerfractie op $101/2^{10}$. Dit betekent dat de gemiddelde VCO-frequentie uit zou moeten komen op $(N_0 + \text{fractie}) * F_{ref} = 1,767914$ GHz. Figuur 7 toont het frequentiespectrum van de VCO,

waarbij 0 Hz overeenkomt met $N_0 * F_{ref}$ (Zie fig. 7.)

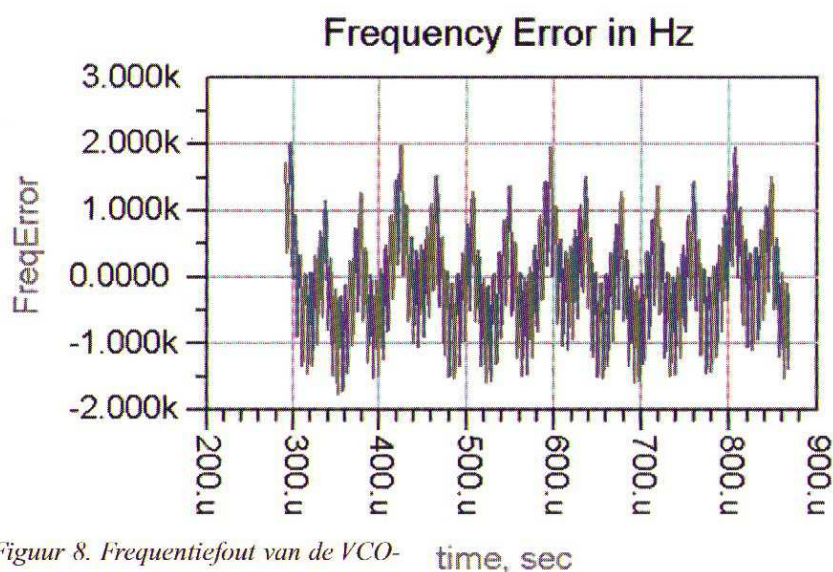
In dit diagram zijn de stoorpulsen die deze fractionele-N PLL genereert duidelijk te zien. Het uitgangssignaal zelf ligt op $(N_0 + \text{fractie}) * F_{ref}$ en de grootste stoorpieken bevinden zich op een afstand van $\text{fractie} * F_{ref}$ daarvan. De in figuur 8 (volgende pagina) geplotte frequentiefout geeft aan hoe de fre-

Figuur 7. Uitgangsspectrum van de VCO.



Figuur 6. Simulatie-uitgangen van de accumulator, inclusief overloopbit.

Index	AccumOut	AccumOverflow	AdderOut
0	0.09765625000	0.00000000000	0.09765625000
1	0.19531250000	0.00000000000	0.19531250000
2	0.29296875000	0.00000000000	0.29296875000
3	0.39062500000	0.00000000000	0.39062500000
4	0.48828125000	0.00000000000	0.48828125000
5	0.58593750000	0.00000000000	0.58593750000
6	0.68359375000	0.00000000000	0.68359375000
7	0.78125000000	0.00000000000	0.78125000000
8	0.87890625000	0.00000000000	0.87890625000
9	0.97656250000	0.00000000000	0.97656250000
10	0.07421875000	1.00000000000	1.07421875000
11	0.17187500000	0.00000000000	0.17187500000
12	0.26953125000	0.00000000000	0.26953125000



Figuur 8. Frequentiefout van de VCO-uitgang versus de tijd.

quantie periodiek om zijn nominale waarde varieert.

Sigma/delta-modulator elimineert stoorpulsen

In het ideale geval is de deler-verhouding een continue variabele die elke willekeurige waarde kan aannemen. In dat geval is het mogelijk een continue frequentieresolutie zonder stoorpulsen te krijgen. Maar omdat de deler een geheel getal moet zijn, is dit in de praktijk niet haalbaar. In de fractionele-N PLL wordt de gewenste fractie geconverteerd naar een reeks enen en nullen, een '1' wanneer de accumulator zijn overloopbit activeert en een '0' wanneer deze weer uit staat. Dit proces komt min of meer overeen met een grove analoge/digitaal-conversie met een 1-bit A/D-omzetter.

Zoals wordt beschreven in [2] en [4] kan een accumulator worden beschouwd als een eenvoudige sigma/delta-modulator (figuur 9). Het $1/(1-z^{-1})$ -

blok in het schema implementeert de feitelijke accumulator-bewerking. De 1-bit kwantisa-tor genereert normaal gesproken een '0' en wordt alleen '1' op het moment dat de accumulator overloopt. Door de overloopwaarde af te trekken van de ingangswaarde, blijft alleen het fractionele deel van de geaccumuleerde som over, ook wanneer een overloop optreedt.

De vergelijking voor het uitgangssignaal (het overloopbit van de accumulator) in het Z-domein (bemonsterde data in het frequentiedomein) is:

$$Y(z) = F(z) + (1-z^{-1}) * E_q(z).$$

Als het ingangssignaal willekeurig varieert, is ook de kwantiseringsfout een toevalsfunctie en kan de kwantiseringsruis met een hoogdoorlaatfilter worden geëlimineerd. Om dit te bereiken moet $z=e^{j\omega}$ waarbij voor lage frequenties geldt:

$$1 - e^{-j\omega} \approx 1 - (1 - j\omega + \frac{(-j\omega)^2}{2!} + \dots) \approx j\omega$$

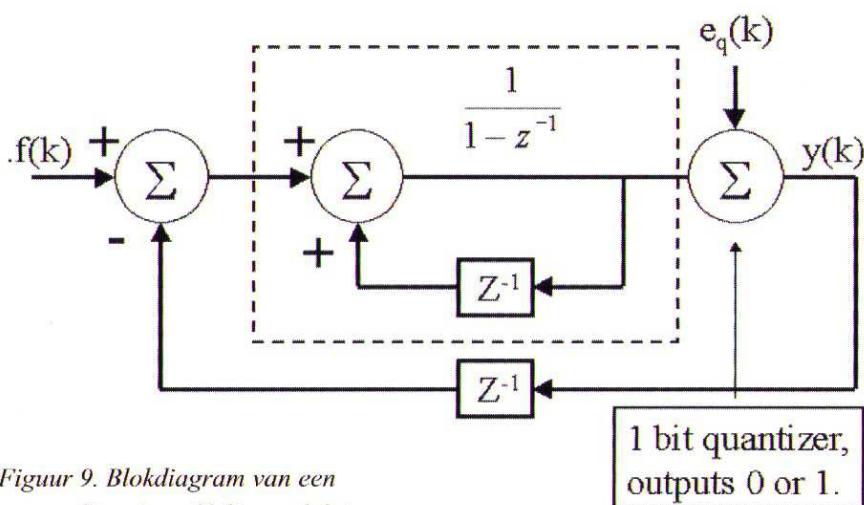
wat bijna nul is. Of alternatief:

$$e^{-j\omega} = \cos \omega - j \sin \omega$$

zodat geldt voor kleine ω :

$$|1 - e^{-j\omega}| \approx |j \sin \omega|$$

De faseruis of stoorpulsen verschuiven dan ook naar grotere offset-frequenties, weg van de basisfrequentie van de VCO. Maar als bij een fractionele-N synthesizer het ingangssignaal een constante is en de kwantiseringsruis periodiek toeneemt (samen met de accumulatoruitgang), zal het uitgangsspectrum van de VCO grote, ongewenste zijbanden vertonen.



Figuur 9. Blokdiagram van een eenvoudige sigma/delta-modulator.

Meerstaps sigma/delta-modulator

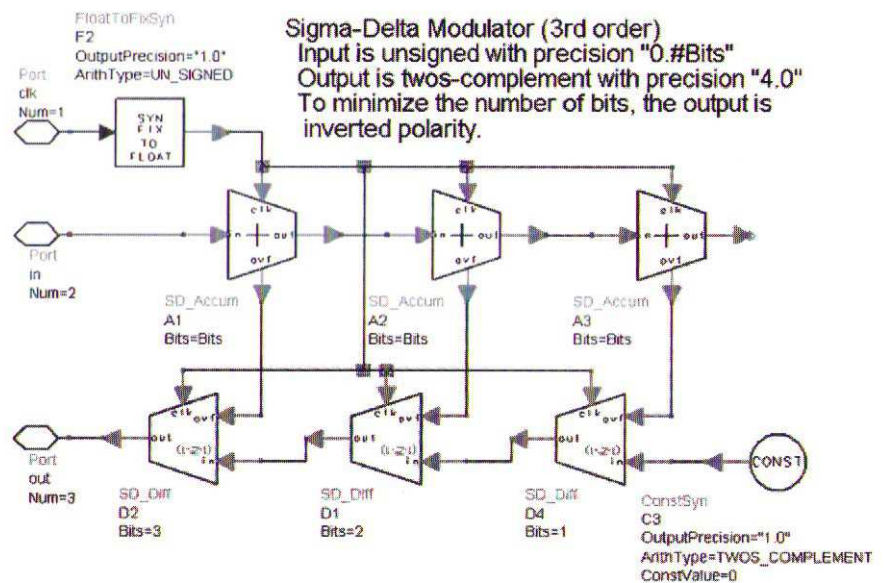
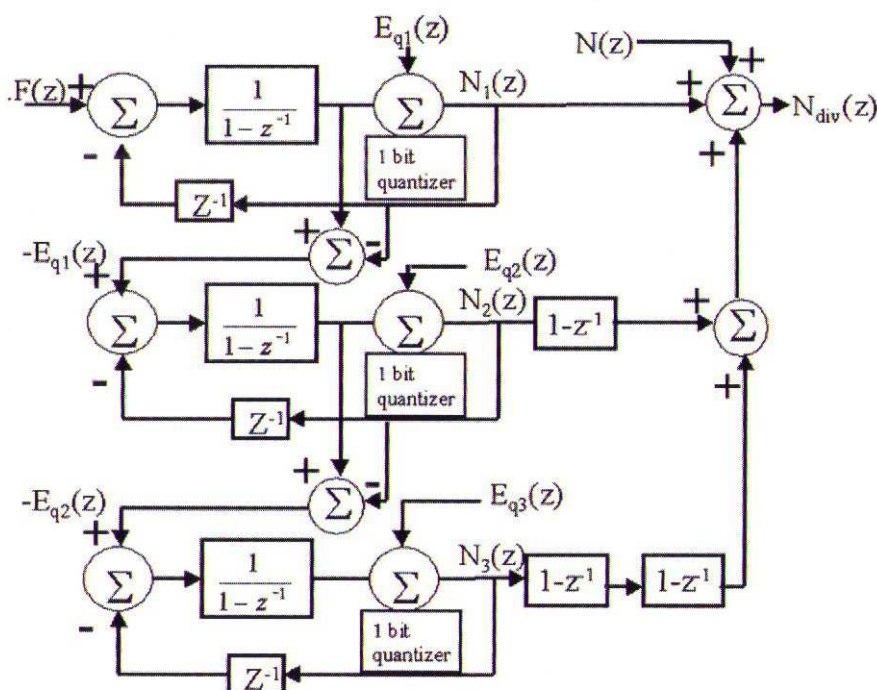
Om een delerverhouding te krijgen waarbij de kwantiseringruis een met een hoogdoorlaatfilter gevormde frequentieresponsie heeft en die geen periodiciteit vertoont (inclusief de bijbehorende stoorpulsen van een sigma/delta-modulator met enkele accumulator), werd een meerstaps architectuur gesimuleerd, zoals weergegeven in figuur 10 en beschreven in [2] en [4].

De vergelijking voor de uitgangsfrequentie van een PLL op basis van een driestaps modulator is:

$$F_{\text{uit}}(z) = N \cdot F(z) * F_{\text{ref}} + (1 - z^{-1})^3 * F_{\text{ref}} * E_{q3}(z)$$

Hierin is $E_{q3}(z)$ de kwantiseringruis van de derde modulatrapp. Deze vergelijking kan gemakkelijk worden herleid uit het blokdiagram van figuur 10.

Figuur 10. Blokdiagram van een meerstaps sigma/delta-modulator.



Figuur 11. ADS-schema van een driestaps sigma/delta-modulator.

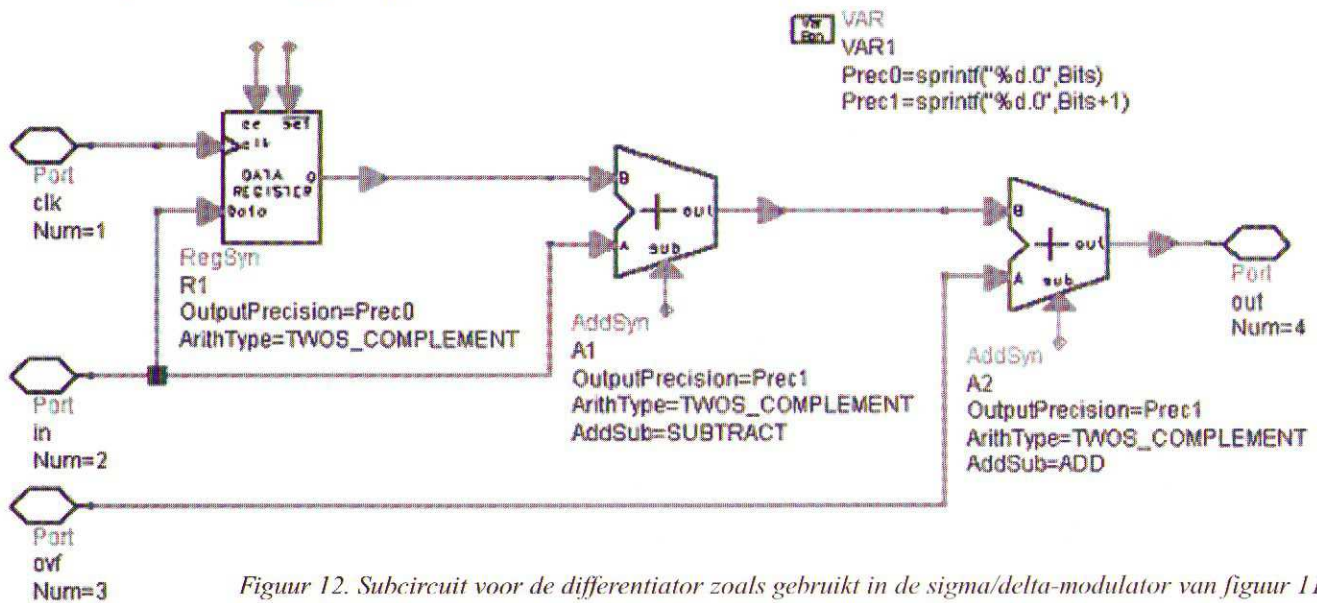
Echter, de formule heeft de frequentieruis als uitkomst terwijl in toepassingen op het gebied van frequentiesynthese de faseruis belangrijker is. Een vergelijking voor de faseruis als functie van de offset-frequentie f en het aantal modulatrappen m en als gevolg van de kwantiseringruis is formule 12 in [2]. Deze vergelijking geeft echter geen prognose van de algehele ruisprestaties van de

PLL. Deze hangen mede af van de lusbandbreedte, de faseruis van de VCO in vrijloop, de ruis van de fasedetector en de deler plus een reeks andere factoren.

Figuur 11 toont een driestaps sigma/delta-modulator die is geïmplementeerd met behulp van accumulators en differenciatoren. De accumulators hebben een klokingang, een ingang voor de te sommeren waarde, een overlooptuitgang (1 of 0) en een uitgang die de fractionele waarde van de geaccumuleerde som bevat.

Het subcircuit voor de differentiator is weergegeven in figuur 12 (volgende pagina). De ingang wordt gedifferentieerd via het dataregister en de opteller (geconfigureerd voor aftrekken) zodat als uitkomst A-B wordt gegenereerd ofwel de huidige waarde bij in minus de waarde van in bij de voorgaande klokcyclus. Het resultaat wordt vervolgens opgeteld bij de ovf -ingang, zodat het subcircuit werkelijk een differentiëring combineert met een optelling.

A differentiator/summer block for the sigma delta modulator.
 ovf is a single input with "1.0" precision, that is treated as [0,-1] two's complement.
 Input is two's complement with "Bits.0" precision.
 Output is two's complement with "Bits+1.0" precision.



Figuur 12. Subcircuit voor de differentiator zoals gebruikt in de sigma/delta-modulator van figuur 11.

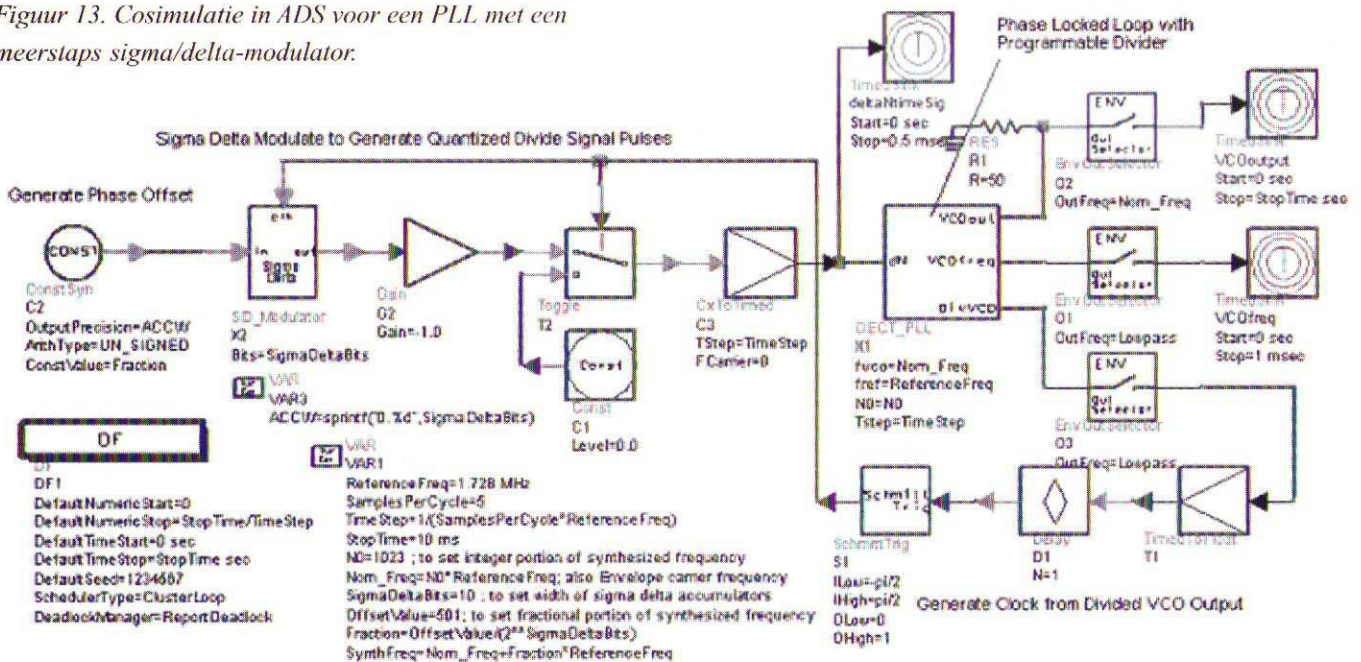
Het sigma/delta-modulatorcircuit is zodanig uitgevoerd dat het gemakkelijk is om het aantal trappen of de numerieke precisie te wijzigen en het resulterende spectrum te beoordelen. Figuur 13 geeft het schema voor de overkoepelende ADS-simulatie, die grote over-

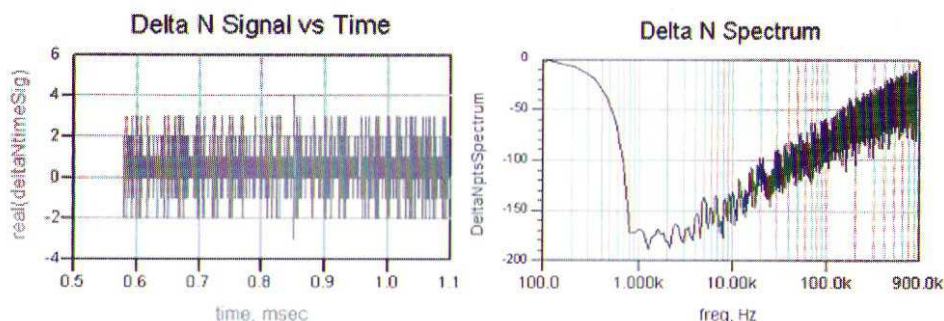
cenkomst vertoont met die van de fractionele-N PLL. In feite zouden de uitkomsten identiek moeten zijn wanneer een enkeltraps sigma/delta-modulator wordt geconfigureerd.

Het gesimuleerde uitgangssig-
naal van de sigma/delta-modu-

lator, zowel in het tijd- als het frequentiedomein, is te zien in figuur 14. Wanneer dit signaal wordt opgeteld bij de nominale delerverhouding, krijg je de momentane delerverhouding. Merk op dat het spectrum, zoals verwacht, een hoogdoorlaatkarakteristiek heeft. Figuur 15

Figuur 13. Cosimulatie in ADS voor een PLL met een meerstaps sigma/delta-modulator.





Figuur 14. Gesimuleerd uitgangssignaal (deviatie in delerverhouding ten opzichte van de nominale waarde) van de sigma/delta-modulator, beide in tijd en frequentie.

toont het gesimuleerde uitgangsspectrum en een logarit-misch uitgezette spectrale plot die het ingesloten spectrum weergeeft. De lusbandbreedte is vergroot tot ongeveer 20 kHz en boven deze offset-frequentie vlakkt het ruisspectrum af. Overigens is in de plot van het VCO-spectrum de X-as niet de absolute frequentie maar de offset van de nominale analyse-frequentie op $N_0 \cdot F_{ref}$. In figuur 13 is de fractie ingesteld op $501/2^{10}$. Deze waarde maal de referentiefrequentie van 1,728 MHz geeft 845,4375 kHz en dat is, zoals verwacht, tevens hoe ver de VCO boven de nominale analysefrequentie ligt.

Samenvatting

Dit artikel laat zien hoe Agilent's EEs of Advanced Design

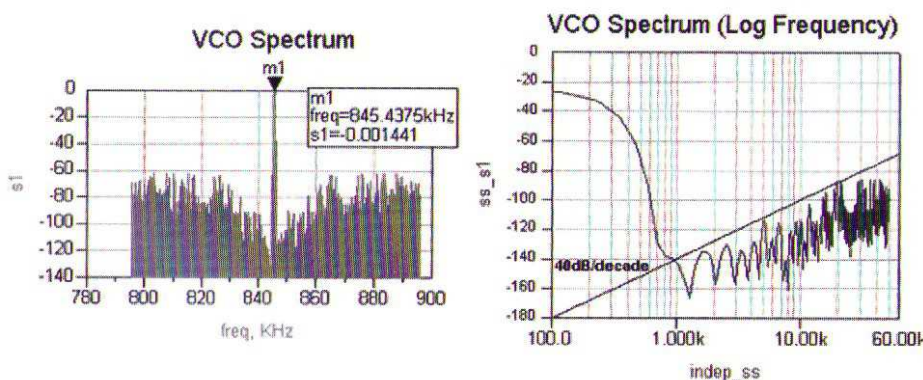
System 2001 een PLL kan simuleren met een sigma/delta-modulator om een stoerpulsvrij uitgangsspectrum en een zeer hoge frequentieresolutie te krijgen. Hierbij worden ADS 2001's Circuit Envelope- en Agilent Ptolemy-simulatoren gebruikt, evenals de cosimulatie-techniek van ADS. Zowel de logicafuncties (als accumulatoren en differentiatoren) als componenten op circuitniveau (weerstand, condensatoren, gedragsmodellen) kunnen hiermee worden doorgerekend. Hoewel niet beschreven in dit artikel, kunnen subcircuits op transistorniveau worden gebruikt ter vervanging van de gedragsmodellen. Voor meer informatie over ADS 2001, Circuit Envelope, Agilent Ptolemy, cosimulatie en voor het ophalen van de voorbeeld-

bestanden die in dit artikel worden beschreven (PLL_SigmaDelta_prj.zip) kunt u terecht op www.agilent.com/cesof-eda.

Referenties:

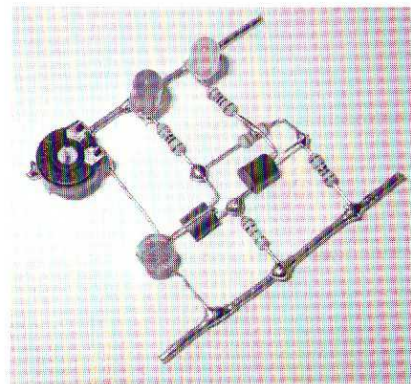
- [1] Franceschino, Albert, "Phase-Locked Loop Primer and Application to Digital European Cordless Phone," *Applied Microwaves and Wireless*, najaar 1994.
- [2] Miller, Brian, "Technique Enhances the Performance of PLL Synthesizers," *Microwaves and RF*, januari 1993.
- [3] Agilent Technologies, "Phase-Locked Loop Simulation Using Circuit Envelope," video beschikbaar via Agilent EEs of product-marketing.
- [4] Miller, Brian and Robert J. Conley, "A Multiple Modulator Fractional Divider," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 40, No. 3, juni 1991.

Figuur 15. Gesimuleerd uitgangsspectrum van de synthesizer en logarit-mische plot van het ingesloten spectrum.



Willem H. M. van Dreumel zet de jeugd weer aan het solderen

Ooit, héél lang geleden, was er een tijdschrift dan 'Dr. Blan' heette. Dat tijdschrift richtte zich op de jeugd en voorzag deze van de absolute basiskennis die nodig is om met elektronica te kunnen stoeien en enthousiasme en verwondering voor dit mooie vakgebied te ontwikkelen. Uiteraard stond het experimenteren en hobbyen met eenvoudige en goedkope elektronica voorop. De tijd van 'Dr. Blan' lijkt lang voorbij. In tegenstelling tot in deze beginjaren is de huidige vakliteratuur voor de absolute beginner moeilijk toegankelijk geworden. Wie moderne elektronica tijdschriften doorbladert stelt vast dat tegenwoordig niets meer schijnt te werken zonder een microprocessor, dubbelzijdige printen en pagina's lange programmeercode. Toch is zélf experimenteren met elektronica nog steeds leuk, het doet geen grote aanslag op financiële middelen en de resultaten kunnen imponerend zijn.



Dit boek, geschreven door Willem H. M. van Dreumel, gaat terug naar de basis. Het is een écht doe-boek waarin de basisschakelingen van de elektronica, uitgevoerd in een aantal basistechnologieën, in speelse projecten bouwklaar worden gepresenteerd. Omdat geen gebruik gemaakt wordt van printplaten, kunnen de projecten zonder noemenswaardige voorbereiding tegen zeer lage kosten gerealiseerd worden. Met een eenvoudige soldeerbout, een nagelknipper, een universeelmeter en een handjevol onderdelen leert de lezer de basisbeginselen van de elektronica. Dát maakt dit boek geschikt voor een eerste persoonlijke ontdekkingsreis maar ook voor een interessante educatieve introductie in de techniek die aan de basis van onze informatiemaatschappij ligt. In dit boek wordt de noodzaak van een moeilijk te maken printplaat omzeild door het toepassen van de 'takkenbos techniek'. Er worden goedkope standaard onderdelen met aansluitingen in de vorm van koperdraden of pootjes gebruikt. Even gauw een takkenbosje opzetten geeft zeer snel resultaten en wijzigingen zijn eenvoudig aan te brengen. Door de takkenbos bouwwijze systematisch op te zetten wordt een uitstekende koppeling met de eraan ten grondslag liggende elektronische schema's bereikt. Ze zien er dan ook in veel gevallen vrijwel hetzelfde uit.

Takkenbos elektronica, Willem H. M. van Dreumel, Uitgever: Vego VOF, Landgraaf (NL), 'Werkboek' uitvoering: A4 enkelzijdig, stevig geplastificeerd omslag, metalen ringband, 85 pagina's, 140 illustraties
- ISBN: 90-805610-5-3, NUGI: 433, Prijs EUR 24,99 exclusief BTW en verzending, Nadere informatie: e-mail: vego_vof@compuserve.com, internet: www.vego.nl

PowerDesk Pro 5

PowerDesk Pro 5 van Ontrack geeft de mogelijkheid om op een eenvoudige manier allerlei bestanden (tekstdocumenten, spreadsheets, digitale foto's, MP3 bestanden en webafbeeldingen) te beheren en te organiseren. U kunt bestanden sorteren, zoeken, bekijken, kopiëren, verplaatsen, flp-en, zippen/ontzippen, labelen, encrypten/decrypten, converteren, totaal verwijderen. PowerDesk Pro 5 is veel meer dan alleen maar een luxe uitgevoerde filemanager. *PowerDesk Pro 5 is een totale vervanging van Windows Verkenner*

Belangrijke functies

- Bestanden weergeven in dual pane mode (gemakkelijk voor drag and drop)
- Commentaar toevoegen aan tekstbestanden, foto's en MP3 bestanden, zichtbaar in bestandslijst
- Prioriteit toekennen aan folders d.m.v. verschillende kleuren
- Bekijken van meer dan 200 verschillende bestandsformaten
- Bestandslijst met extra kolom voor relevante bestandsinfo
- Converteren, ook in batch-formaat, van meer dan 30 grafische formaten
- Zoeken van bestanden aan de hand van heel veel criteria
- MP3 bestanden zoeken op naam, titel etc
- Dialog Helper voor gemakkelijker openen en wegschrijven van bestanden
- Synchroniseren van PC en desktop
- Synchroniseren van willekeurige folders of subfolders op PC en in netwerk
- Maken van eigen "Toolbar" voor snelle toegang tot applicaties, folders, bestanden, printers
- Veel gebruikte functies toevoegen aan "Toolbar"
- Size Manager geeft grootte van folders, subfolders en bestanden grafisch weer en in getal
- Uitgebreide FTP-mogelijkheden met o.a afbreken/hervatten van uploaden/downloaden
- Met Size Manager een folderlijst exporteren naar een tekstbestand
- Zippen/ontzippen met wachtwoordbescherming
- Encryptie van ZIP-bestanden met wachtwoordbescherming
- Grafische afbeeldingen bekijken aan de hand van thumbnails
- Ondersteuning van USB flashkaarten voor digitale camera's
- Totaalbeheer van MP3 bestanden (afspelen, bewerken, sorteren, zoeken etc)

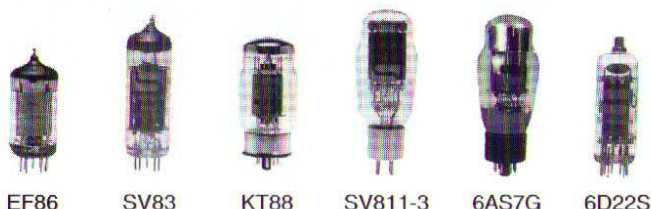
Prijs 39.95 incl BTW, Informatie bij: CD & E Distribution (Europe), tel.: +31 20 4535357, www.cd-e.com

Svetlana

buizen



**AMPLIMO IS DE BENELUX IMPORTEUR
VAN DEZE KWALITEITSBUIZEN
NU OOK UIT VOORRAAD LEVERBAAR:**



Door de grote belangstelling voor het nieuwe boek 'Moderne High End Buizenversterkers met ringkerntrafo's' van ir. Menno van der Veen is er veel vraag naar deze topklasse buizen. Want wie zo'n high end versterker bouwt met de nieuwe generatie ringkern-uitgangstrafo's wil daarbij de beste buizen toepassen.

Specificaties en prijslijst worden op aanvraag toegezonden, ook via onze Internet site

AMPLIMO

AMPLIMO B.V.
Voessenbrinkweg 1
7491 DA Delden

Internet www.amplimo.nl
Email info@amplimo.nl

Telefoon 074 376 3765
Fax 074 376 3132

SPEAKER & CO



Speaker & Co en Speakerland zijn erkende zelfbouw-luidspreker-specialisten, bij ons vind je alles op het gebied van exclusieve luidsprekers. Van slanke zuilen voor stereo en Dolby Digital, tot actieve subwoofers.



Elke luidspreker is leverbaar, met of zonder houtpakket, of als u dat makkelijker vindt, met afgewerkte kasten in elke gewenste kleur. De kosten? Al gauw de helft van een vergelijkbaar fabrieksmodel. Je weet wat je koopt omdat je de speakers vooraf kunt beluisteren. Wij hebben tevens een ruime sortering in onderdelen en accessoires. Laat u eens overtuigen en kom vrijblijvend langs voor een demonstratie in beeld en geluid.

Speaker & Co Groningen Kleine kruisstraat 12-14 Tel: (050) 3144978

Speaker & Co Rotterdam Bergweg 283 Tel: (010) 4672777

Speaker & Co Haarlem Jansweg 37 Tel: (023) 5320230

Speakerland Oss Smalstraat 21 Tel: (0412) 647650

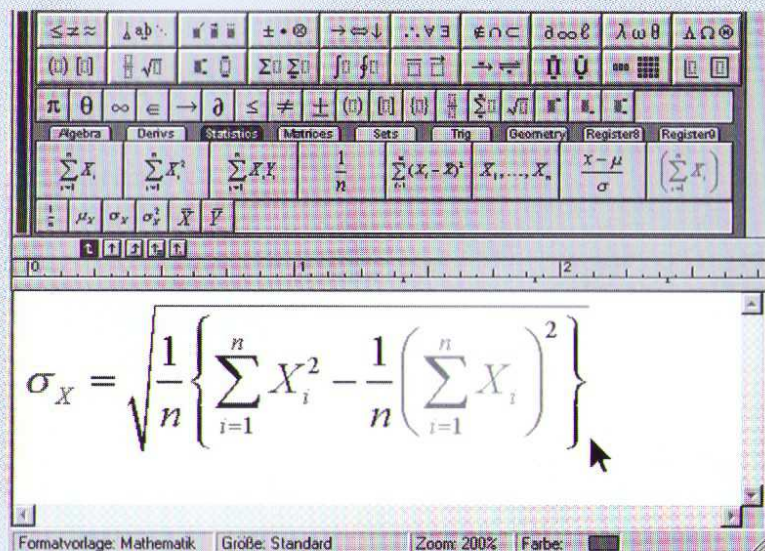
website op www.speakerenco.nl of www.speakerland.nl

MathType 5

Het mathematische, ook wel aangeduid als het wiskundige, programma MathType 5 is de laatste versie van een bekende wiskundige editor als aanzienlijke verbetering op de formule-editor in Word. Het programma kenmerkt zich in het eenvoudige gebruik en de flexibiliteit die het aan de gebruiker geeft. Met MathType 5 wordt het de gebruiker mogelijk gemaakt om op een eenvoudige wijze complete technische manuscripten en verhandelingen te schrijven zonder allerlei vreemde sprongen te moeten maken

om formules in het boekwerk, artikel of ander tekstdocument op te kunnen nemen. Bureau Belper heeft hiervoor de verkooprechten verworven. Kijk op www.rbe.nl, ga vervolgens naar de RB-Winkel met behulp van de betreffende knop en kies dan voor Elektronica Software. U verkrijgt dan meer informatie over dit programma en de bestelwijze.

U kunt ook een bedrag van Euro 134,00 (inclusief verzendkosten) overmaken op Postbank 21.35.596 t.n.v. Bureau Belper te Bussum. Vergeet niet uw naam en adresgegevens te vermelden. Als u abonnee bent, vergeet niet uw abonnenummer te vermelden, u hoeft dan geen verzendkosten te betalen. U maakt dan een bedrag over van Euro 129,00. Levertijd circa 10 werkdagen.



Hoofdcatalogus 2002

boordevol slimme elektronica en techniek



Vul de bon in
en stuur 'm op!

...of bestel hem nu op

0800 - 099 66 00

...of www.conrad.nl

Alles op het gebied van:

- Communicatie
- Computers
- Meettechniek & Netvoedingen
- Energie & Milieu
- In en om het huis
- Satelliet, Audio & Video
- Licht & Geluid
- Hobby & Vrije tijd
- Gereedschap & Soldeertechniek
- Bouwpakketten
- Componenten
- Zendapparatuur
- Modelbouw

Ja, ik wil graag gratis de nieuwe Hoofdcatalogus 2002 ontvangen

Naam

Adres

Postcode/Woonplaats

Telefoon

Vul de bon in en stuur 'm naar: Conrad Electronic • Postbus 12 • 7500 AA Enschede