

RB elektronica

Nr. 1 - 2003

prijs Euro 9,95

73 jaar RB

Themadag

**Elektronische
assemblage**

Voortgang op gebied van
miniaturisatie en milieu

mikrocentrum



Geen rimpeling in het heelal ontgaat supergeleidende sensor 3

De eerste nieuwe ontwikkelingen binnen het meet- en regelgebied vinden in de regel plaats op het terrein van de elektronica en software en specifiek in onderzoekscentra of binnen universiteiten. Hier de laatste ontwikkelingen op sensorgebied.

Trends in substrates, embedded passives 9

Increasing integrated circuit functionality, wafer level packaging, decreasing package sizes, size reduction of passive components, and introduction of build-up multilayers have fuelled the ongoing miniaturisation of electronic devices over the last decades.

Impact van de micro-elektronica evoluties op de chip interconnectie en verpakkingstechnologieën 12

De immer voortdurende miniaturisatie van de micro-elektronische basisschakelingen heeft een zeer belangrijke invloed op de verschillende technologieën die momenteel aangewend worden voor het verpakken en met elkaar verbinden van geïntegreerde schakelingen.

Inleiding tot Micro Electro-Mechanical Systems (MEMS) en specifieke MEMS packaging technologie 14

De hedendaagse halfgeleider technologie kan buiten voor het fabriceren van zeer krachtige en kleine elektronica schakelingen ook gebruikt worden voor het maken van sensoren en actuatoren.

Omhullen van IC's door gebruik te maken van film in de matrijs (FAM) 16

Sinds het begin van de semi conductor industrie worden IC's omhuld door in een matrijs de chips te verpakken in epoxy compound. Epoxy biedt een goede bescherming van de chip tegen externe factoren en voorkomt een vroegtijdige uitval van het IC.

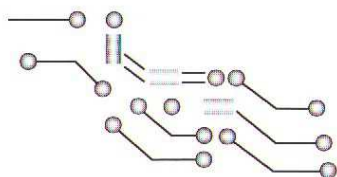
SACD versus DVD-Audio 18

Al geruime tijd probeert de audio-industrie de markt te overtuigen van de noodzaak van een opvolger van de cd. Voor het overgrote deel van de markt is daar geen enkele reden toe, maar de drang naar vernieuwing is niet te stuiten. Wat zijn de achtergronden en zit er misschien iets in?

EXTREME DUTY: de elektronica in robot wars! 22

Robot Wars: honderd kilo zware radiografisch bestuurd vechtmachines, die elkaar te lijf gaan met pneumatische hakbijlen, vliegwielen, vlammenwerpers en hydraulische knijpers. Pantsermateriaal van 8 mm dik vliegtuigaluminium of 12 mm macrolon wordt in een oogopslag aan gort geslagen.

Kijk ook eens op www.rbe.nl



RB Elektronica

(jaargang 73)

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: rbe@rbe.nl

WEB-site: WWW.RBE.NL

Postbank: 21.35.596

Hoofdredactie: D.J.F. Scheper

Redactieraad: G..R. Belecke, S. Swolffs, S.D. Scheper, 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, Django Mathijssen, Armand van Ommeren

Prepress: BB Prepress opmaak

Advertentieverkoop

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

Abonnementen Nederland

Standaard Nederland 29,95 Euro per jaar

Standaard België 50 Euro per jaar (vanuit Nederland verzonden)

Buitenland 60 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

Zie Bureau Belper

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

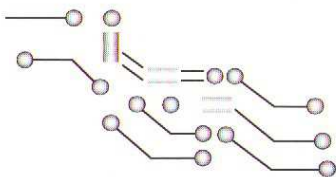
©2003 Bureau Belper Communications



Geen rimpeling in het heelal ontgaat supergeleidende sensor

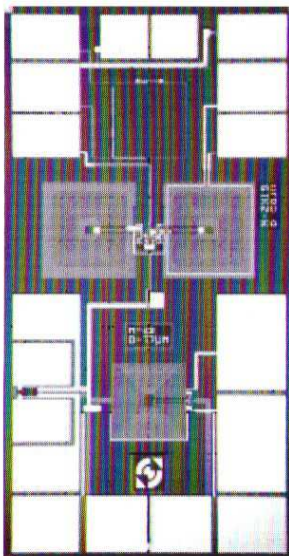
SQUID gevoelig genoeg voor meting gravitatiegolven

De eerste nieuwe ontwikkelingen binnen het meet- en regelgebied vinden in de regel plaats op het terrein van de elektronica en software en specifiek in onderzoekscentra of binnen universiteiten. Het duurt vaak jaren voordat een bepaalde ontwikkeling ook als een commercieel product op de markt wordt gebracht. Desondanks zijn dergelijke ontwikkelingen van grote invloed op het denken en bepalen van vernieuwingen in de industrie. Geregeld zijn er ontwikkelingen, die vrijwel geruisloos hun weg vervolgen, zonder dat het grote publiek of een industrietak het in de gaten heeft. Enkele ontwikkelingen van de afgelopen tijd wil ik u daarom niet onthouden. Het zijn ontwikkelingen die naar mijn mening hun invloed zullen krijgen en verwerven binnen de industrie, medische wereld of anderszins. Een ontwikkeling die ik als eerste wil aanhalen in dit artikel is bijvoorbeeld het SQUID (Superconducting Quantum Interference Device). We gaan hierbij wat dieper in op de allerlaatste ontwikkeling die op de (Technische) Universiteit Twente heeft plaatsgevonden en gaan vervolgens gedetailleerder op de materie en de verschillende technieken in.



Dirk Scheper

(met dank aan ir. W. van der Veen, dr. Martin Podt en Jaap Flokstra)



Promotie UT

Tien miljard keer kleiner dan de afmetingen van een atoom. Die minieme verplaatsing moet te meten zijn om succesvol gravitatiegolven te kunnen detecteren. Een supergeleidende sensor is een geschikte kandidaat, stelt promovendus Martin Podt van de Universiteit Twente. Hij heeft de gevoeligheid van zo'n sensor, een zogenaamd SQUID, zodanig verbeterd dat die inzetbaar is in combinatie met een bolvormige detector van gravitatiegolven. Podt bereikt dit door niet alleen de sensor, maar ook de essentiële elektronica eromheen te laten werken bij een temperatuur van een fractie boven het absolute nulpunt. Podt promoveerde op 17 januari aan de faculteit Technische Natuurwetenschappen. Gravitatiegolven zijn uiterst interessant omdat ze informatie geven over botsingen in het heelal. Natuurkundigen werken wereldwijd aan detectoren om deze golven te kunnen meten. De

Universiteit Leiden ontwikkelt hiervoor momenteel een grote bolvormige detector (diameter 65 centimeter), de zogenaamde MiniGRAIL¹, die onder invloed van een gravitatiegolf minimaal zal opbollen of inkrimpen. De uitwijking is niet meer dan 10^{-20} meter, dat is nog tien miljard keer kleiner dan de afmetingen van een atoom. Zouden we de bol voor het gemak vergelijken met de aarde, dan wil je een uitwijking van een vijfde picometer (een picometer is een miljoenste van een miljoenste meter) aan het aardoppervlak kunnen onderscheiden (de aarde is 20 miljoen keer groter dan de bol, en er is uitgegaan van een 20 miljoen keer grotere uitwijking; dat is 0,2 picometer).

Twintig milliKelvin

Podt stelt op basis van de resultaten uit zijn proefschrift dat het Superconducting Quantum Interference Device (SQUID) de vereiste gevoeligheid haalt, onder meer door het nog verder af te koelen.

Een SQUID is een uiterst gevoelige sensor die werkt dankzij supergeleiding. "Het SQUID-systeem dat eerder aan de UT is ontwikkeld moest ik nog wel een stuk gevoeliger maken voor dit doel. Met het bestaande systeem halen we de vereiste gevoeligheid gewoonweg niet. Er blijft teveel ruis over, waardoor je de meting niet goed kunt onderscheiden van de ruis," aldus Podt. De sensor werkt bij zeer lage temperaturen, vlakbij het absolute nulpunt. De elektronica die de meting verwerkt, werkt echter bij kamertemperatuur. Het verlies aan gevoeligheid en snelheid dat daardoor ontstaat, wilde Podt ook nog wegwerken. Hij heeft bij de sensor dus ook meteen een versterker en digitale elektronica geïntegreerd, die eveneens werken bij de lage temperatuur. Het SQUID meet echter een magnetisch veld of een magnetische flux, en geen verplaatsing. Daarom wil Podt de minime beweging van de bol, die overigens ook werkt bij die lage temperatuur, vertalen naar een elektrisch signaal. Bij een elektrisch signaal hoort vervolgens een magnetisch signaal, en dat gaat de nieuwe sensor meten. Indirect, en zonder verlies wordt dan de verplaatsing gemeten. Als post-doc onderzoeker werkt hij dit principe momenteel uit, samen met de Leidse onderzoekers.

Hartmetingen

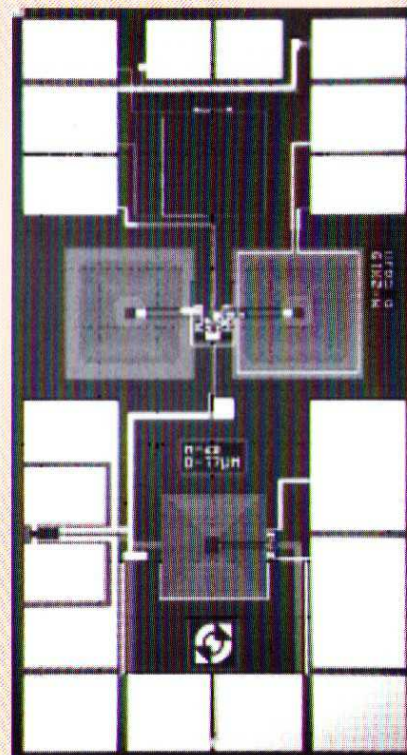
Het SQUID is een van de meest succesvolle toepassingen van supergeleiding. De sensoren in hun gangbare vorm zijn al zo gevoelig dat ze de magnetische activiteit kunnen meten van het hart of de hersenen, zelfs van een ongeboren kind. SQUID's zijn ook te maken van 'hoge temperatuur' supergeleiders en in dat geval veel eenvoudiger te koelen. Maar dan halen ze

niet de gevoeligheid die Podt wilde bereiken.

Wat is een SQUID?

Het begrip SQUID staat voor Superconducting Quantum Interference Devices. De SQUIDs zijn de meest gevoelige magnetische sensoren van dit moment. De werking van deze sensor is gebaseerd op een combinatie van het bekende Josephson-effect en de flux kwantisatie in een supergeleidende ring. Fundamenteel kunnen we twee verschillende typen SQUIDs onderscheiden: het zogenoemde dc-SQUID (afb. 1a) en het rf-SQUID (afb. 1b). Beide typen worden via een verschillend fabricageproces verkregen. Belangrijk te weten is dat rf-SQUIDs tegenwoordig niet meer worden toegepast. Het dc-SQUID wordt in clean rooms met behulp van dunne lagen technieken (bijv. sputteren, opdampen, laser ablatie) gefabriceerd..

Het dc-SQUID wordt onder andere gebruikt als meetelement in een 19-kanaals MEG-systeem. Het gaat hierbij om het meten van de elektrische verschijnselen in het hart van de foetus. Dit gebeurt in de magnetisch afgeschermd kamer van het Biomagnetic Centre². Het is een ontwikkeling die nog niet volledig is afgerond. We spreken hierbij over de zogenoemde (foetale fic) het magnetocardiography systeem. In het VU ziekenhuis te Amsterdam en in het Dondersinstituut te Nijmegen metten tegelijkertijd op meer dan 100 plaatsen dichtbij het hoofd magnetische velden ten gevolge van hersenactiviteit (magnetoencefalogrammen) met dc SQUIDs als sensoren.



Afb. 1 Foto van het SQUID met geïntegreerde voorversterker. Werkelijke afmetingen 2,2 bij 4,0 mm.

Typen SQUIDs

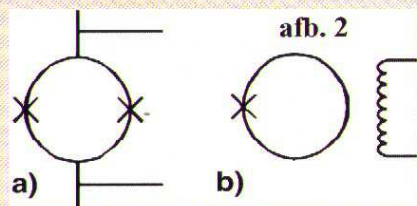
Met gebruikmaking van de zogenoemde low-Tc technologie zijn ook de zogenoemde, Relaxation Oscillations SQUID (ROS) en de Double Relaxation Oscillation SQUID (DROS) sensoren ontwikkeld (zie voor meer uitleg de onderstaande alinea's hierover). Recentelijk is daarnaast de zogenoemde smart SQUID-sensor naast gekomen. Deze laatstgenoemde sensor is gebaseerd op een DROS. Het high-Tc SQUID-onderzoek is voornamelijk gericht op het verbeteren van de ruisprestaties bij de SQUIDs. De meest in het oogspringende ontwerpen op dit gebied zijn de zogenoemde inductively shunted SQUID en het multiloop ontwerp.

De verschillende SQUIDs nader bekeken

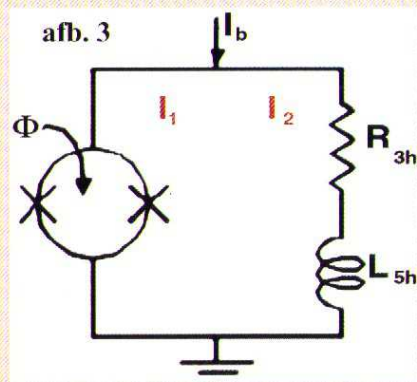
1. Relaxation

Oscillation SQUIDs

Relaxation Oscillation SQUIDs (ROSSs, afb. 2) zijn gebaseerd op



de low-Tc dc-SQUIDs. Kijken we naar het schema van afb. 3 dan zien we dat de bias stroom wordt

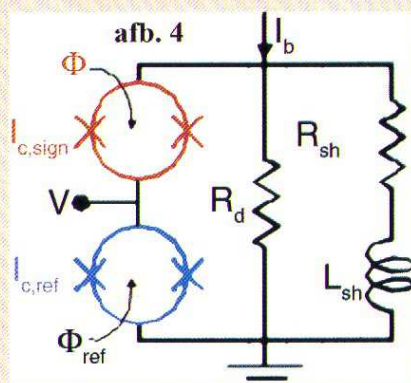


verdeeld over de SQUID en een RL-schakeling. In de nul spanningstoestand zal de stroom I2 afnemen en neemt de stroom I1 toe tot dat deze stroom de I_c van de SQUID bereikt. Op dat moment ontstaat er een spanning over de schakeling: de stroom I1 zal als gevolg daarvan toenemen en I1 zal afnemen totdat het weer vrijwel nul is geworden en de schakeling weer in de nul spanningstoestand terecht komt. Een magnetische flux zal de I_c van de SQUID en daarmee de frequentie van het schakelen en de gemiddelde

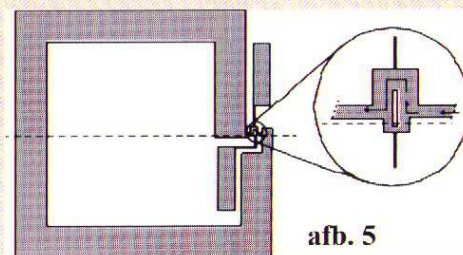
spanning over de ROS-sensor veranderen.

2. Double Relaxation Oscillation SQUIDs

Double Relaxation Oscillation SQUIDs (DROSSs, afb. 4) zijn feitelijk gemodificeerde ROS-sensoren. Het enige verschil is nu dat er twee SQUIDs worden



toegepast die in serie zijn geschakeld. Tijdens de oscillatie in de relaxiefase (rustfase) zal slechts een van de beide SQUIDs schakelen. Welke is afhankelijk van de mate waarin en welke SQUID de laagste kritische stroom opneemt. Als de toegevoerde flux naar de signaal SQUID verandert, verandert zijn kritische stroom en de uitgangsspanning V zal ofte wel zichtbaar worden ofte wel verdwijnen en daarmee de uitgang van



de sensor vervormen.

3. High-Tc inductief parallel geschakelde (shunt) dc-SQUID

In een geometrie met een inductief parallel geschakelde dc-SQUID (afb. 5) wordt de te meten flux opgepikt door middel van een grote supergeleidende lus. De geïnduceerde stroom doorloopt de SQUID lus en induceert daar een flux. Deze flux wordt door het dc-SQUID gemeten. Dit werkingsprincipe betekent dat de flux in

SPEAKER & CO en speakerland

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.



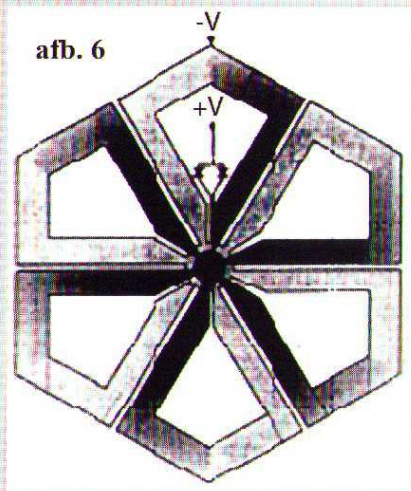
Elke luidspreker is leverbaar, met of zonder houtpakket, of als u dat makkelijker vindt, met afgewerkte kasten in elke gewenste kleur. De kosten? Al gauw de helft van een vergelijkbaar fabrieksmodel. Je weet wat je koopt omdat je de speakers vooraf kunt beluisteren. Wij hebben tevens een ruime sortering 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

hetde SQUID lus aanzienlijk kan toenemen als de prestaties van hetde SQUID worden verbeterd.

4.High-Tc multiloop dc-SQUID



In de geometrie van een multiloop dc-SQUID (afb. 6) zijn een n aantal pickup lussen parallel met elkaar verbonden. Gezamenlijk vormen ze een enkele dc-SQUID en kan het geheel worden gezien als een eerder genoemde inductively shunted SQUID. Deze geometrie reduceert het effectieve sensorgebied met een factor n, terwijl de ruis van de flux wordt gereduceerd met een factor n^2 . Om dit ontwerp te realiseren wordt gebruik gemaakt van twee supergeleidende lagen. Ze worden gescheiden door een isolatielaag, die aan de bovenzijde van elke laag wordt opgebracht (opgedampt) en wordt op vooraf gespecificeerde plaatsen aangesloten.

Deze multilagen structuur stelt speciale eisen voor wat betreft de voorbereidingen voor de fabricage.

Voorbeeld

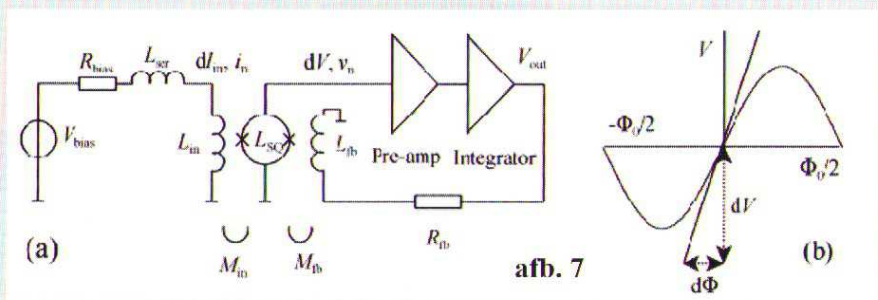
SQUID als stroomversterker

Een SQUID is een sensor voor het meten aan en van magnetische velden en met een ongeëvenaarde gevoeligheid. De uitgangsspanning van een SQUID is sinusvormig en vormt een functie van de toegevoerde magnetische flux. Dientengevolge is het gedrag en de frequentie niet lineair. Een enkele cyclus (periode) komt overeen met het magnetische flux kwantum Φ_0 , waarbij $\Phi_0 = 2 \cdot 10^{-15}$ Wb. Met een ingangspoel als stroom naar flux omzetter verkrijgen we een zeer gevoelige cryogene stroomversterker, die in het bijzonder uitstekend geschikt is voor bronnen met een lage impedantie. Het juiste gebruik van een SQUID als stroomversterker wordt bemoeilijkt door twee van zijn karakteristieken. De ruisspanning aan de uitgang van het SQUID is laag in vergelijking met de ruisniveaus aan de ingang van een conventionele elektronische schakeling. Dit betekent dat we extra aandacht aan dit fenomeen moeten besteden. In overeenstemming met het periode gedrag, de lineariteit en het dynamische gebied moeten we ook aan deze

eigenschappen speciale aandacht schenken. In de onderstaande afbeeldingen gaan we op een aantal van deze karakteristieken in en de mogelijkheden om deze eigenschappen te optimaliseren.

1.De flux locked loop

Een geregeld toegepaste oplossing om de linearisatie en het dynamische gebied te verbeteren is met behulp van de FLL (Flux Locked Loop). De elektronische equivalent van de FLL gebruikt in een microcalorimeter die uitgelezen wordt door een SQUID wordt weergegeven in afbeelding 7a. De R_{bias} van de microcalorimeter bestaat uit een voorspanning die geleverd wordt door de bron V_{bias} . De stroomverandering is magnetisch gekoppeld met een inductie LSQ in de lus (loop) van hetde SQUID via het gebruik van een ingangspoel met een impedantie L_{in} , waarbij geldt dat $d\Phi_{in} = dM_{in} dI_{in}$ met $M_{in} = k[L_{in}LSQ]^{1/2}$ en $k\Phi_0$ de koppelconstante tussen de ingangspoel en de lus van het SQUID. Dientengevolge wordt de verandering van de magnetische flux $d\Phi$ omgezet in een spanningsverandering dV via de overdrachtsfunctie $dV/d\Phi$. Deze functie vormt de helling van de flux-naar-spannings curve ($V-\Phi$) op het punt van de voorspanning van de curve op het biaspunt van het SQUID met een voorstroom (afbeelding 7b).



Afb. 7 Het equivalent van de elektrische schakeling van de SQUID, inclusief de biasspanning van de bolometer en een additioneel in serie geschakelde inductie in de ingangslus (7a). De parameters van de $V-\Phi$ -curve (spanning/frequentie) wordt in 7b weergegeven.

Het resultaat is dat de uitgang dV wordt voorversterkt tot een meetbaar signaal van de uitgangsspanning. Ten einde een breed dynamisch gebied te waarborgen, wordt er in de schakeling een terugkoppeling voor de lineariteit en stabiliteit een feedback aan het circuit toegevoegd. Deze schakeling bestaat uit een terugkoppelpoel L_{fb} die gekoppeld wordt aan de lus van het SQUID met de wederkerige inductie $M_{fb} = k[L_{fb}L_{SQ}]^{1/2}$ en wordt door het uitgangssignaal gevoed via een terugkoppelweerstand R_{fb} . Een integrator is in de lus opgenomen ten einde een erg breed dynamisch bereikgebied te verkrijgen en de benodigde stabiliteit bij lage frequenties. De bandbreedte van een FLL-systeem wordt bepaald door de transmissie vertragingstijden in de kabels en de bandbreedte van de elektronica (zoals de voorversterker en integrator)). De maximale bandbreedte wordt in een praktisch systeem begrensd op circa 5 MHz.

2. Array SQUIDS

Een manier om het niveau van de uitgangsruis van een SQUID te matchen met de halfgeleider elektronica is door het in serie plaatsen van een n aantal SQUIDS. Als alle SQUIDS in fase lopen, neemt de uitgangsspanning toe met een factor n, terwijl de ruis van het SQUID toeneemt met $\sqrt{n}$. Op deze wijze is het mogelijk om de aanpassing tussen de op kamertemperatuur werkende elektronica en de SQUIDS te verbeteren. Tegenwoordig zijn er zogenoemde SQUID stroomversterkers die op dit principe zijn gebouwd en gelineariseerd in FLL commercieel in de Verenigde Staten verkrijgbaar (zie ook: www.hypres.com). Deze componenten zijn compatibel met

de eisen, zoals die gesteld worden aan enkelvoudige pixel uitlezingen. Een enkelvoudige pixel is een enkel beeldpunt op bijvoorbeeld een beeldscherm of monitor of een beeldpunt van de digitale camera om enkele populaire voorbeelden te noemen. SQUID arrays hebben overigens in de praktijk een belangrijk nadeel: het niet 'in fase lopen' van de verschillende SQUIDS, waardoor signalen elkaar zelfs kunnen uitdoven...

3. Local feedback

Een andere mogelijkheid om een ruisaanpassing te verkrijgen is met behulp van APF (Additional Positive Feedback). Plaatselijke (positieve) terugkoppeling naar het SQUID wordt toegepast om de overdrachtsfunctie van het SQUID te veranderen, waardoor er een betere impedantie-aanpassing met de elektronica (op kamertemperatuur) wordt verkregen. Het nadeel van deze techniek voor standaard toepassingen is dat het lineaire bereik van het systeem op deze manier afneemt. Dit heeft weinig met impedantie aanpassing te maken: in uitgangsruis van een SQUID wordt aangepast op de ingangsspanning van de voorversterker op kamertemperatuur.

4. Adaptive Noise

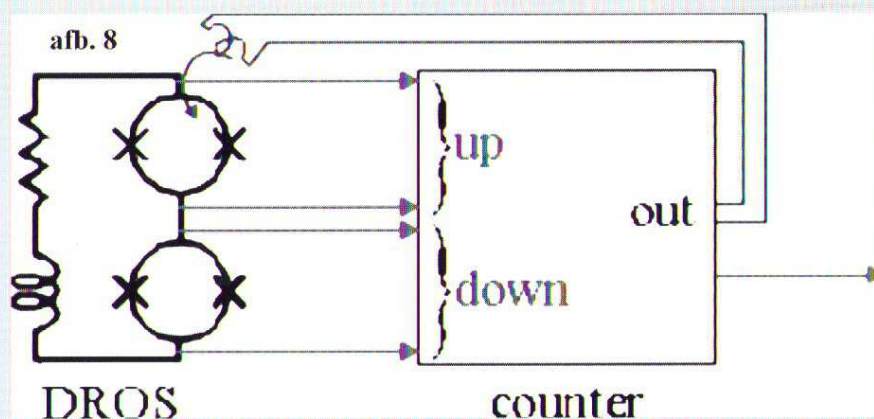
Cancellation

Een andere route om de ruisaanpassing te realiseren is de weg volgen volgens VTT (Espoo, Finland) waarbij gebruik wordt gemaakt van de zogenoemde ANC-methode (Adaptive Noise Cancellation). In dit geval wordt in plaats van een voorinstelling van de stroom (current bias) een voorspanning voor het SQUID gebruikt. Deze voorziening biedt de mogelijkheid van terugkoppeling met als voordeel dat de spanningsruis van de voorversterker wordt uitgebannen. Deze benadering heeft bovendien geen gevolgen voor het dynamische gebied van het systeem. Wel is het zo dat we een geringe concessie moeten doen met betrekking tot de bandbreedte van het systeem en dat we zeer zorgvuldig aan de eisen voor de fijnafstemming van de terugkoppellus in de vorm van een koude FET met zeer gespecificeerde weerstand moeten voldoen. Ook hier geldt dat het systeem in essentie aan de eisen van de XEUS³ voldoet.

5. Smart

SQUIDDROS

Een volgende ontwikkeling op het gebied van de SQUIDS was de



smart SQUIDDROS sensor (afb. 8). Deze verdergaande ontwikkeling is voortgekomen uit de wens om zoveel mogelijk van de noodzakelijke elektronica op dezelfde chip als de sensor te integreren. Dit ontwerp is bestudeerd binnen de leerstoel Lage Temperaturen (LT) van de UT en is gebaseerd op het al eerder besproken DROS-principe. Het uitgangssignaal van de DROS wordt gebruikt als ingangssignaal voor een Josephson op/nee teller (up/down counter). De uitgang wordt vervolgens teruggeleid naar de sensor. Op het moment dat de gemeten flux gelijk is aan de teruggekoppelde flux, bereikt de teller een stabiele waarde. Deze stabiele waarde is dan de uitgang van het totale smart SQUIDDROS.

6. Tweeptraps SQUID

Een zeer belangrijke ontwikkeling is het zogenoemde tweeptraps SQUID, waarbij één SQUID als sensor fungeert en een tweede SQUID als voorversterker wordt gebruikt. (Zie proefschrift Martin Podt). Op de UT wordt een dc-SQUID als sensor gebruikt en een DROS als tweede trap, als zeer gevoelige, cryogene voorversterker. Op deze manier zijn zeer snelle, eenvoudige en zeer gevoelige SQUID systemen ontwikkeld.

Literatuur:

Wideband Low-Noise Integrated SQUID Systems, M. Podt, proefschrift Universiteit Twente (2003), zie <http://www.tup.utwente.nl>
Frequency Read-out of Relaxation Oscillation Superconducting Quantum Interference Devices in the GHz regime M.J. van Duuren, D.J. Adelerhof, G.C.S. Brons, J. Kawai^{*,**}, G. Uehara^{*,}, H. Kado^{****}, J. Flokstra and H. Rogalla,

University of Twente, Department of Applied Physics, Low Temperature Division, P.O. Box 217, 7500 AE Enschede, the Netherlands.

*Superconducting Sensor Laboratory, 2-1200 Muzaigakuendai Inzai, Chiba 270-13, Japan. **Present address: Yokogawa Electric Corporation, corporate R&D, 2-9-32 Nakamachi Musashino, Tokyo 180, Japan. ***Present address: Kanazawa Institute of Technology, human information system laboratory, 1-15-

13 Jingumae Shibuya, Tokyo 150, Japan..

Stirling cooler magnetic interference measured by a high-Tc SQUID mounted on the cold tip H.J.M. ter Brake, H.J. Holland, H. Rogalla Cryocoolers 9, Ed: R.G. Ross J. Plenum Press, (1997) 935-942.

Cryogenic design of a high-Tc SQUID-based heart scanner cooled by small Stirling cryocoolers P.J. van den Bosch, H.J.M. ter Brake, H.J. Holland, H.A. de Boer, J.F.C. Verberne, H. Rogalla Cryogenics, 37, (1997) 139-151.

Multichannel heart scanner based on high-Tc SQUIDs H.J.M. ter Brake, N. Janssen, J. Flokstra, D. Veldhuis, H. Rogalla IEEE Trans. on Appl. Superconductivity, part II, 7, 2 (1997) 2545-2548.

Multichannel high-Tc SQUID based heart scanner H.J.M. ter Brake, J. Flokstra, D. Veldhuis, H. Rogalla Proc. of the 16th Internat. Cryog. Eng. Conference (ICEC), Part II, eds. T. Haruyama, T. Mitsui, K. Yamafuji, (1997) 1181-1184.

Application of SQUID magnetometers in fetal magnetocardiography A.P. Rijpma, Y. Seppenwoolde, H.J.M. ter Brake, M.J. Brake, H. Rogalla Proc. EUCAS'97, Applied Superconductivity, Inst. of Phys. Conf. Series No. 158, 1, (1997), 771-774.

Application of SQUID magnetometers in fetal magnetocardiography A.P. Rijpma, Y. Seppenwoolde, H.J.M. ter Brake, M.J. Peters, H. Rogalla, Proc. Dutch Annual Conf. on Biomed. Eng., iBME, (1997) 91-93.

Interessante links voor meer informatie:

<http://nanocom.et.tudelft.nl/proposal.htm#qdev>
http://www-lt.tn.utwente.nl/lt/Research/themes/SQUID_frame.htm
http://www.math.ruu.nl/people/gill/abstract_gill.html
<http://www.minigrail.nl/Student/student-long.html>
www.hypres.com

(Footnotes)

1 (MiniGRAIL is de eerste bolvormige gravitatie golf antenne ter wereld. De bol is gemaakt van CuAl6% (koper met 6 gewichtsprocent aluminium), heeft

Wordt vervolgd op pagina 9











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








EF86 SV83 KT88 SV811-3 6AS7G 6D22S

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 B.V.
Vossenbrinkweg 1
7491 DA Delden

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

Telefoon 074 376 3765
Fax 074 376 3132

Trends in substrates, embedded passives

Increasing integrated circuit functionality, wafer level packaging, decreasing package sizes, size reduction of passive components, and introduction of build-up multilayers have fuelled the ongoing miniaturisation of electronic devices over the last decades.

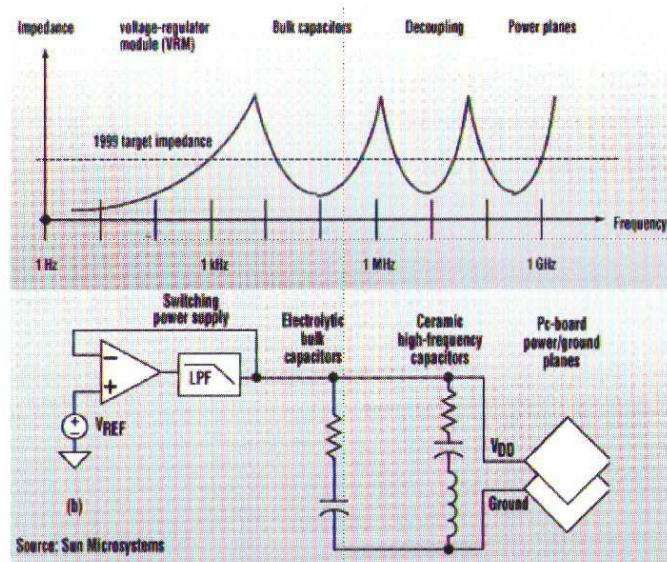
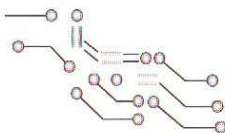


Fig.1 The circuit is a representation of a power-distribution system. The curve represents a hypothetical frequency characteristic of such a system.



W.G.M. Peels
Philips CFT, Eindhoven

Virtually all of the active functions are nowadays contained in a few, highly integrated specialized IC's. Passive components, by comparison, have made little progress and continue to be a major roadblock to the miniaturisation of electronic systems.

Due to the increased functionality of IC's the passives to actives ratio is increasing rapidly. Passives outnumber the active devices by several times and take up the largest real estate on the board and account for an increasing part of the costs.

Size reduction of the discrete passive components makes assembly more difficult and reliability doubtful.

Because there is a limit to size reduction of passive components, the industry has now started working on integration of passives. Arrays and networks are taking the place of individual discretes. Silicon based integrated passives devices (IPD) have been announced. However none of these solutions postpone the need for an embedded solution, buried between the layers of a printed circuit board.

Decoupling capacitors

A typical example of embedded passives is an embedded decoupling capacitor. Planar distributed

Wordt vervolgd op pagina 10

Vervolg van pagina 8

een diameter van 65 cm en weegt 1150 kg. De resonantie frequentie is 3 kHz en de band breedte zal ongeveer 230 Hz zijn. Als een gravitatie golf de antenne passeert, zal hij een zeer kleine fractie van z'n energie aan de bol overbrengen. Gravitatie golven met een frequentie van 3 kHz, zullen dus de resonantie modes van de bol exciteren, waardoor deze in trilling wordt gebracht. De uitwijking van deze trillingen zijn echter zeer klein (in de orde van 10^{-20} m) en dus erg moeilijk te meten. Volgens de berekeningen zal de MiniGRAIL een gevoeligheid moeten kunnen bereiken om een uitwijking van 2×10^{-21} meter te kunnen meten. Sterrekundigen voorspellen bij deze frequentie en uitwijking bronnen als botsingen van kleine zwarte gaten en instabiliteiten in neutronen sterren.)
2 (The Biomagnetic Centre is a separate laboratory, located at a site on the University Campus with low magnetic noise. It houses the measurement system, and computer facilities for the biomagnetics group. The biomagnetism group is involved in developing and optimising methods for the determination of sources from measurements of the magnetic fields generated by the heart or the brains.)
3 (XEUUS is a potential follow-on to ESA's Cornerstone X-Ray Spectroscopy Mission (XMM-NEWTON).
XEUUS will be a permanent space-borne X-ray observatory with a sensitivity comparable to the most advanced planned future facilities such as NGST, ALMA and Herschel The mission is under study as envisaged by the Horizons 2000 Survey Committee, who recommended "analysing the potential offered by a major high energy astrophysics facility within the Space Station Utilisation Programme".)



embedded decoupling capacitance layers (preferably between the power and ground planes) can replace multiple discretes while maintaining signal integrity and improving EMI suppression. The distributed capacitance can be accessed by dropping a single via (low inductance) down to the power plane. This method of accessing capacitance has a distinct advantage for decoupling capacitors where the performance is limited by the total inductance of the connections and the component.

The use for decoupling capacitors has the advantage of less stringent tolerances. For capacitors in decoupling applications more capacitance is better and less inductance is better. The planar distributed capacitance is usually much lower than the decoupling capacitors being replaced; however the much reduced inductance more than compensates.

The effect of the inductance on decoupling at higher frequencies is illustrated in Fig. 1. Power/ground plane decoupling is compared to ceramic capacitors and electrolytic capacitors. Above 350 MHz the power planes provide the only significant decoupling at board level.

A planar capacitor has two parallel conductive surfaces separated by a dielectric material, which stores the charge. The amount of charge storage is directly proportional to the area of the parallel-plate capacitor and to the dielectric constant of the dielectric material. The dielectric constant is a measure of how much charge storage is possible. The higher the dielectric constant, the more potential charge storage (capacitance). The amount of capacitance is inversely propor-

tional to the dielectric thickness; thus, to maximise capacitance per unit area, the thinnest material with the highest

dielectric constant is desired. An additional advantage of decreasing the dielectric thickness is reduced inductive impedance.

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$

where

$$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 / \text{N m}^2$$

ϵ_r = material constant

A = capacitor area

d = dielectric thickness

Typical dielectric materials for board fabrication are woven glass fibre reinforced epoxy systems (FR4) and polyimides (PI). The lower dielectric constants of these materials can be greatly improved by ceramic fillers, such as BaTiO₃. The dielectric constant of the composites can be enhanced by increasing

- 1) the dielectric constant of the polymers,
- 2) the dielectric constant of the filler,
- 3) increased filler loading, and
- 4) through the directional anisotropy of the filler particles with respect to the measuring direction.

The dielectric constant has a logarithmic relation to the volume percentage of filler. However at higher filler contents the material will become too brittle to handle in the fabrication process.

Copper foils will be laminated to the filled FR4 and PI materials. Consequently these laminates will be subjected respectively to inner layer processing and panel processing. Inner layer imaging will

nF/Sq	Cent	Capacitance Technology in PWB
2001	.5 – 5	Organic
2003	.5 – 10	Organic
2005	.5 – 50	Organic — Ceramic
2011	.5 – 100	Ceramic and Singulated

Table 2 NEMI Roadmap, expected capacitance range

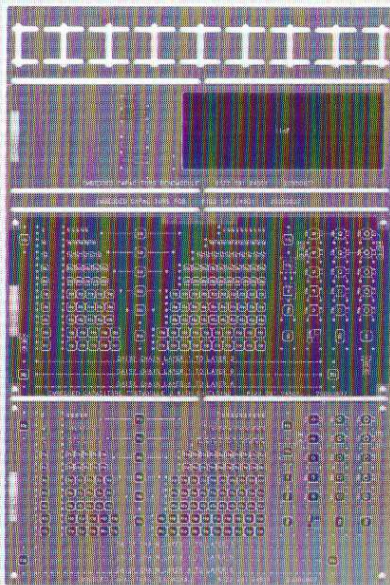
define the capacitor area; panel processing will make the electrical interconnects to the parallel-plate capacitor.

The capacitance values that can be realised in the future could be 100 times greater than now. Nowadays the dielectric is an epoxy with ceramic loading, in the future thin film type true ceramic-like dielectrics will be used.

As a rule of thumb integral substrates (embedded passives) are candidates to replace discrete capacitors (and resistors) on printed wiring boards that have average component densities above 2-3 components per square centimetre of a single component type.

To summarise embedded decoupling capacitors have multiple advantages:

- Improved electrical performance:
 - o Low impedance at high frequencies.
 - o Decreased power bus noise.
 - o Permits digital circuits to operate faster.
- Board size reduction and improved wiring capability:
 - o Discrete capacitors can be removed.
 - o Reduced number of vias and solder joints.
- Simplified circuit assembly and improved reliability.
 - o Improved EMI suppression.



o Has the potential for cost reduction.

Termination resistors

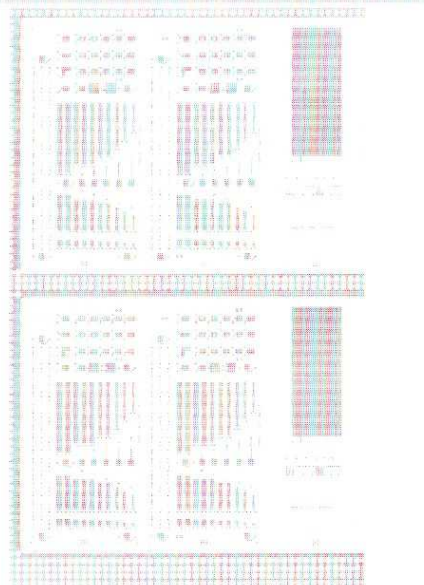
Modern digital integrated circuits have very steep signal edge rates which cause ringing if connected to long (relative to edge rate) board tracks that are not properly terminated. Termination is necessary to match the signal source impedance to the board track, thereby reducing ringing. Ringing can cause degradation of signal quality to a degree that makes the circuit fail its intended function, and worse, it can cause permanent damage to integrated circuits if voltage overshoot is too high. For many connections a source (series) termination resistor of approximately 30-40 ohms is a very good measure to reduce ringing.

Devices used in current designs often contain up to 800 I/O signals, some even over 1000. With multiple of these devices (BGA package with 1mm pitch) on a board it becomes very difficult to place 'conventional' SMD resistors close enough to the device. Replacement of discretes by arrays or smaller types can give a temporary relief, but is not a generic solution. BGA pitch continues to shrink to 0.8 mm and further down to 0.5 mm.

Embedded resistor technology is a promising generic solution. Embedded resistors can be added to the interposer in an IC package (1st level interconnect) or to the printed circuit board (2nd level interconnect).

The main technologies for embedded resistors are screen printing, sputtering, electroless and electroplating. In all cases a thin layer

Fig. 2 Embedded Decoupling Capacitor Test Module, final product and innerlayer



of a resistive material is applied onto the inner- or outer layers of a printed circuit board. The resistance is a function of the square resistance (material property at a certain defined layer thickness) and the geometrical dimensions (length and width) of a resistor element.

Summary

Embedded passives (embedded decoupling capacitors, embedded termination resistors, and others) and later on embedded actives will completely change the structure of a printed circuit board. Multifunctional substrates or SiB (System in Board) will be the successors of the high-end build-up multilayers of today.

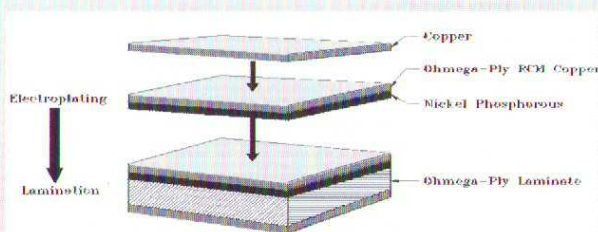
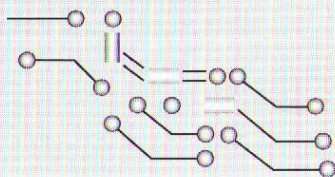


Fig. 3 Embedded resistors with Ohmega-Ply RCM technology

Impact van de micro-elektronica evoluties op de chip interconnectie en verpakkingstechnologieën

De immer voortdurende miniaturisatie van de micro-elektronische basisschakelingen heeft een zeer belangrijke invloed op de verschillende technologieën die momenteel aangewend worden voor het verpakken en met elkaar verbinden van geïntegreerde schakelingen. Deze technieken hebben in hun evolutie, geen gelijke tred weten te houden met de micro-elektronica schalingswetten. Hierdoor is een ware "interconnect-kloof" ontstaan. Om deze "kloof" te overbruggen zijn nieuwe hoge dichtheid interconnectie technologieën en hoge dichtheid verpakkingstechnologieën. In deze presentatie zal vooral worden ingegaan op de mogelijke rol van meerlaagse dunne filmtechnologieën, de integratie van passieve componenten alsook op de realisatie van zogenaamde "Systems-in-a-Package" (SIP's).



Eric Beijne
Imec, Leuven - België

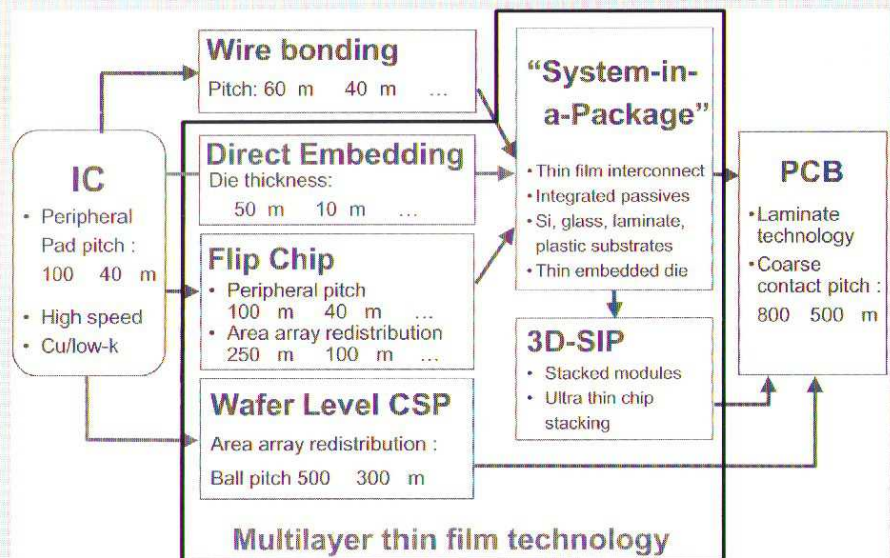
De meerlaagse dunne filmtechnologie kan een belangrijke bijdrage bieden in het samenbrengen van de dense on-chip interconnecties (micrometerschaal) met de grovere PCB technologie (mm schaal). Deze brugfunctie wordt in figuur 1 schematisch weergegeven. De belangrijkste kenmerken van de dunne film technologie zijn het gebruik van processen op "wafer"-niveau, het gebruik van gedeponeerde geleiders en dielectrica en het gebruik van planaire 1X lithografie. De minimale dimensies van geleiders, spaties en diktes bedragen ongeveer 5 µm. Deze technologie is verder uitermate geschikt voor het realiseren van passieve componenten (zoals weerstanden, capaciteiten en spoelen) met kleine toleranties, hetgeen vereist is bij het integreren van o.a. hoog frequente radio schakelingen.

Voor zeer sterk geminiaturiseerde systemen is een 3D- interconnectiebenadering noodzakelijk. Een specifieke toepassing is de realisatie van verdeelde autonome systemen voor de zogenaamde "intelligente omgeving". Dergelijke

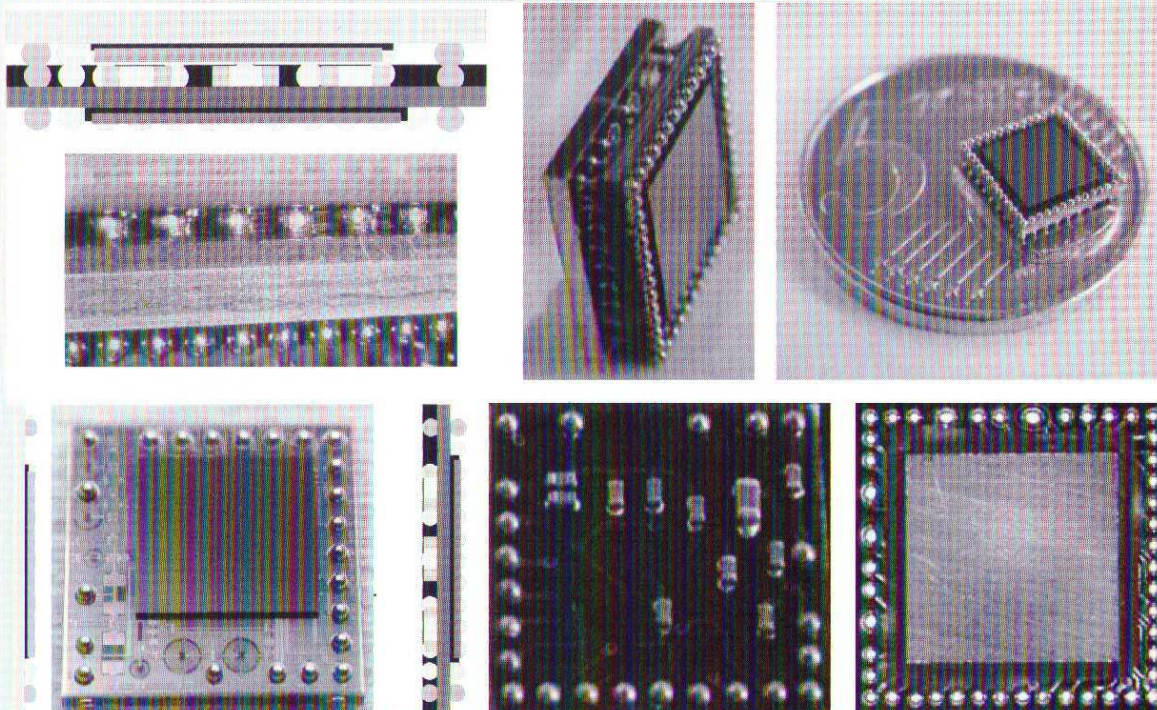
systemen kunnen opgedeeld worden in een aantal subsystemen, zoals de antenne, de rf-radio, de digitale radio, een processorfunctie, sensoren en actuatoren, vermogen opslag en beheer en eventueel ook vermogengeneratie (zonnecel, vermogen uit vibratie, vermogen uit thermische gradiënten,...). Elk van deze functies kan gerealiseerd worden als een SIP-substelsel. Dergelijke systemen kunnen zeer klein zijn (enkele mm tot een paar cm), hetgeen het gebruik van waferniveau processen aantrekkelijk maakt. De systemen worden hanteerbaar door standaardtoestellen, en een zeer groot aantal systemen worden simultaan en collectief gefabriceerd, gelijkaardig aan de schaaieconomie bij het fabriceren van geïntegreerde schakelingen. De SIP-subsystemen kunnen op waferniveau getest worden. De functionele systemen worden na test en verzagen op een bodemsubstraat gestapeld. Na finale omhulling en test kunnen de afzonderlijke 3D-SIP devices uit de "wafer" verzaagd worden.

Een voorbeeld van een dergelijke 3D-SIP toepassing, gerealiseerd op

IMEC, is de geminiaturiseerde rf-transceiver uit figuur 2. Dit device meet slechts $7 \times 7 \times 2,5$ mm. Het is opgebouwd uit twee CSP sub-systemen (CSP="Chip-Scale-Package"). De bovenste CSP integreert het rf-deel van de transceiver. De onderste CSP integreert het laagfrequente, digitale deel. Voor de rf-CSP is een dunne film substraat met geïntegreerde passieve componenten gebruikt. De rf-front-end chip is hierop aangebracht met flip-chip technologie. De onderste CSP bestaat uit een hoge densiteit PCB met flip chip montage van de digitale chip aan de onderzijde en montage van passieve componenten aan de bovenzijde.



Figuur 1: Schematische voorstelling van het interconnectprobleem tussen geavanceerde geïntegreerde schakelingen en de "standaard" PCB (gedrukte schakelingen) interconnecties. In dit gebied is de meerlaagse dunne film technologie een "enabling" technologie voor de realisatie van zogenaamde "System-in-a-Package" (SIP) oplossingen.



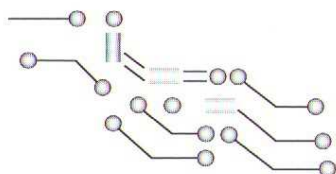
Bovenaan: rf-front-end CSP

Onderaan: base band CSP (boven en onderaanzicht)

Figuur 2: Miniaturisatie van een rf-transceiver, $7 \times 7 \times 2,5$ mm, gerealiseerd door een 3D stapeling van CSP subsystemen.

Inleiding tot Micro Electro-Mechanical Systems (MEMS) en specifieke MEMS packaging technologie

De hedendaagse halfgeleidertechnologie kan buiten voor het fabriceren van zeer krachtige en kleine electronicschakelingen ook gebruikt worden voor het maken van sensoren en actuatoren. In combinatie met het vrij-etsen van mechanische structuren in Silicium (of andere materialen) kunnen zogenaamde Micro Electro-Mechanical Systems gemaakt worden. Twee technieken worden gebruikt : enerzijds kunnen er gaten of putten ge-etst worden in en door de Si wafer, we spreken dan over bulk micromachining. Men kan ook vrijstaande structuren realiseren door een zogenaamde sacrificiële laag te gebruiken. Deze wordt op het einde van het proces wegge-etst onder een laag die de sensor vormt ("surface micromachining").



P. De Moor
IMEC, Leuven - België

Wat zijn nu de toepassingen van deze technologie. We kunnen ze ruwweg splitsen in twee groepen : sensoren en actuatoren. Sensoren zetten een fysische meting van bijvoorbeeld temperatuur, druk, versnelling, licht, interactie van biomoleculen enzovoort. om in een elektrisch signaal. Actuatoren brengen de vrijstaande MEMS structuren in beweging. Typische voorbeelden hiervan zijn microschakelaars (relais, ook het schakelen van radiofrequentiesignalen in toekomstige mobiele telefoons), draaibare spiegeltjes (in displays), micropompjes en micromotoren. Hieronder ziet u een rij van infrarooddetectoren gemaakt in surface micromachining technologie. Een individueel detectortje is zo breed als een mensenhaar (ongeveer 50 micron), en honderd keer zo dun

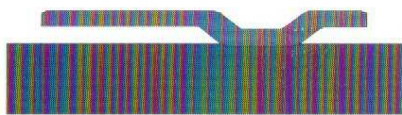
(< 1 micron). Deze detectoren warmen op onder invloed van infrarode straling. Door de opwarming van een hele rij (of matrix) van deze detectoren te registreren wordt een infraroodbeeld bekomen.

MEMS structuren kunnen dan wel detecteren of bewegen, ze zijn niet zo eenvoudig te verpakken als een klassieke chip. Dit heeft enerzijds te maken met de fragiele natuur van micromechanische structuren, en anderzijds met hun functie. Het is bijvoorbeeld duidelijk dat de infraroodsensoren moeten kunnen

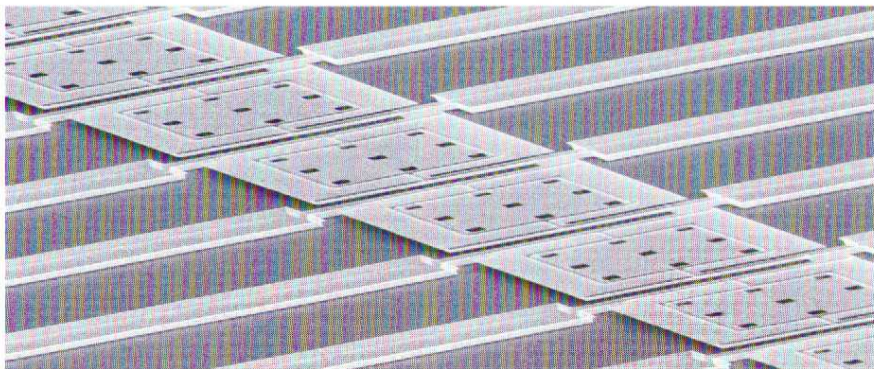
Een voorbeeld van surface micromachining MEMS technologie: een rij van microbolometers voor infrarooddetectie.



Bulk micromachining

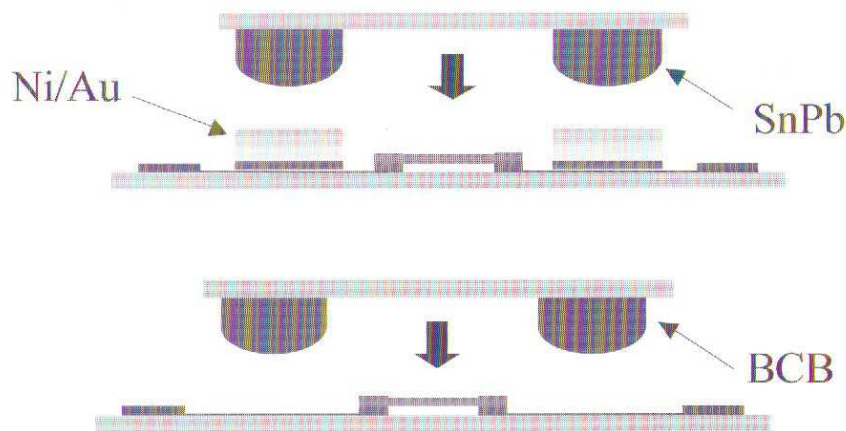


Surface micromachining



door de verpakking 'kijken'. Dit maakt de verpakking van MEMS specifiek. Het aanpassen van verpakkingen voor klassiek chips is (te) duur. Bovendien kunnen stappen in het verpakkingsproces (zoals het verzagen in een vloeistofmilieu) dodelijk zijn voor MEMS.

Om deze problemen te vermijden werd de zogenaamde zero-level packaging technologie ontwikkeld. Door middel van flip-chip technologie of wafer-to-wafer bonding wordt een tweede substraat over de structuren geplaatst. Deze "kap" wordt bevestigd met een ring van soldeer- of polymeermateriaal. Deze ring zorgt tevens voor een hermetische afsluiting van het microkamertje rond de MEMS structuren. Dit is niet alleen belangrijk omwille van het tegenhouden van vloeistoffen, maar kan ook wezenlijk zijn voor de werking van de microsystemen. De infrarooddetectoren bijvoorbeeld werken enkel optimaal in vacuüm. Een bijkomend voordeel van deze manier van werken is dat na dit specifiek verpakken van de structuren, wel klassieke verpakking

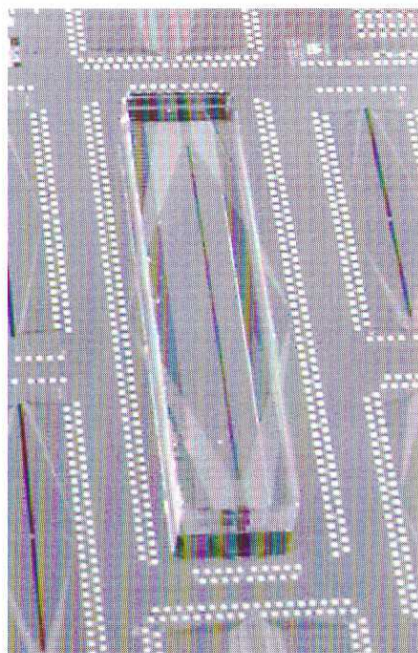


Twee manieren om een 0-level verpakking te realiseren rond een MEMS structuur: met een soldeerverbinding (boven) of met behulp van polymeren (onder).

kan toegepast worden. Dit kan helaas echter enkel indien de finale verpakking compatibel is met de functie van de MEMS structuur.

Samenvattend kunnen we stellen dat de micro-elektronica technologie een zeer ruim nieuw toepassingsgebied vindt in het produceren van microsystemen. Er moet

echter van bij het design van deze systemen ter dege rekening gehouden worden met hun specifieke eigenschappen, zeker wat betreft het verpakken. De hierboven beschreven 0-level-packaging technologie kan daarbij helpen.



Twee interessante producten

Readiris Pro 8 is een eenvoudig te gebruiken tekstherkenningsprogramma. Hiermee kan de gebruiker snel en eenvoudig papieren documenten, PDF-bestanden en beelden omzetten in bruikbare computerbestanden. De gebruiksvriendelijkheid t.o.z. van versie 7 is toegenomen, evenals de mogelijkheden van het programma zelf. Kolommen, beelden en lay-out van het oorspronkelijke origineel kunnen worden gehandhaafd of worden aangepast aan de wensen van de gebruiker, of worden aangepast aan de eigen wensen. Interessant is dat ook read-only PDF-bestanden kunnen worden verwerkt. Kortom: een interessant en vooral bruikbaar programma voor iedereen die veel met papieren documenten heeft te maken en die alles digitaal wil verwerken.

Readiris PRO 8

Regelungstechnik

ISBN: 3-8023-1929-X (Vogel Verlag, Würzburg).

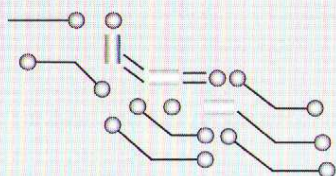
Regelungstechnik is een CD-ROM leerprogramma met tekst, bewegende beelden en het gesproken woord. Het programma is geheel aangepast en voorzien van een nieuwe opmaak t.o.v. zijn voorganger. Het programma is geschikt voor zowel de leek die zich in de regeltechniek wil gaan verdiepen als wel voor de gevorderde regeltechnicus. Het programma geeft de theoretische achtergronden van de regeltechniek. Interessant is dat alleen de sleutelwoorden en alle belangrijke informatie op het scherm wordt getoond (ook animaties) en dat alle informatie per gesproken woord wordt doorgegeven. Een CD die geen enkele regeltechnicus mag missen.



Omhullen van IC's door gebruik te maken van film in de matrijs (FAM)

Sinds het begin van de semi conductor industrie worden IC's omhuld door in een matrijs de chips te verpakken in epoxy compound. Epoxy biedt een goede bescherming van de chip tegen externe factoren en voorkomt een vroegtijdige uitval van het IC.

In de matrijs, voorzien van vormholten, worden de chips, die op een drager zijn gemonteerd, omhuld met epoxy. De epoxy wordt in de vorm van een pil geladen in de matrijs. Door de hoge temperatuur van de matrijs smelt de epoxy en wordt de epoxy vloeibaar en onder druk geperst in de vormholtes. In de vormholte hardt de epoxy uit en kunnen de dragers met de omhulde chips uitgenomen worden.



A. van Weelden
Boschman Technologies B.V.
Duiven-Nederland
www.boschman.nl

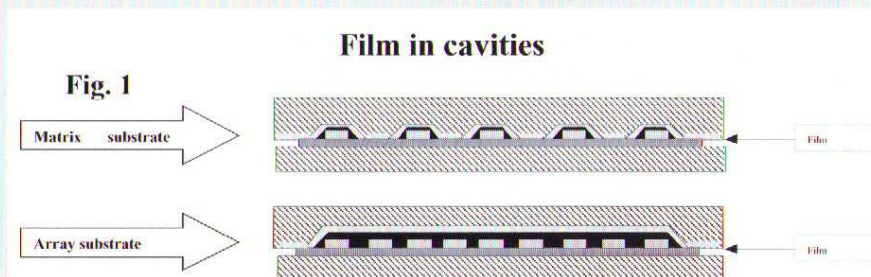
Voor dit uitnemen zijn in de matrijs uitstoters opgenomen omdat de epoxy zich niet alleen hecht aan de drager en de chips maar ook wil hechten aan de matrijs. Tevens wordt door de compound fabrikant een lossingsmiddel toegevoegd aan de epoxy om een te sterke hechting aan de matrijs te voorkomen.

Drs. R.Pas van BDM Nederland heeft in het begin van de jaren 90 een methode gepatenteerd waarbij gebruik gemaakt wordt van film in de matrijs. De film wordt vacuüm gezogen in de vormholtes van de matrijs en de film beschermt de matrijs tegen het hechten van de compound aan de matrijs. De functie is te vergelijken met een teflon laag in een pan, echter na elke cyclus wordt de film vernieuwd. Na vele jaren van ontwikkeling wordt het gebruik van film in de matrijs door de semiconductor industrie geaccepteerd en

kunnen allerlei nieuwe methoden ontwikkeld worden om aan de steeds hogere eisen van de semiconductor industrie te kunnen voldoen. Door de toepassing van film in de matrijs kunnen geheel nieuwe technieken toegepast worden, zoals het partieel omhullen van sensor chips.

Bij uiterst dunne producten wordt de film toegepast voor de "easy release" uit de matrijs. De film wordt met behulp van vacuüm gefixeerd op het matrijs oppervlak en vervolgens wordt vacuüm in de vormholtes aangebracht. De film volgt de contour van de vormholte en deze methode is toepasbaar voor zowel enkelvoudige producten als producten in een array, zie figuur 1.

Voor deze toepassing wordt een ETFE-film gebruikt met een hoge rek om goed de contouren van de caviteit te kunnen volgen. Uiterst dunne producten op een substraat



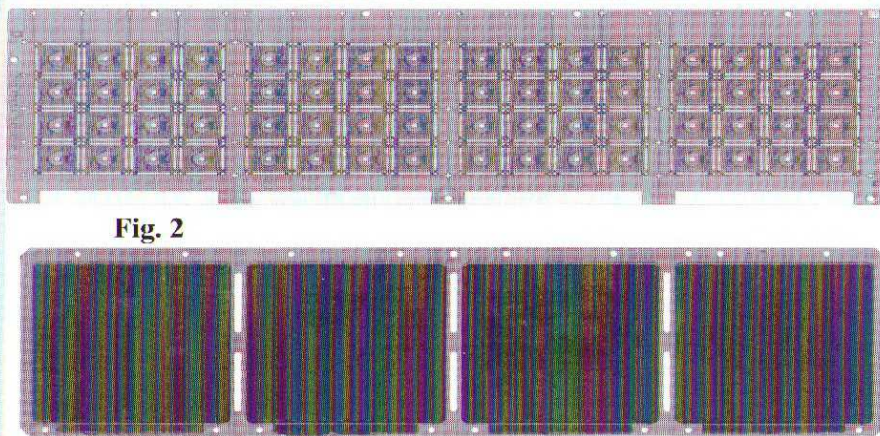


Fig. 2

drager, zoals BGA's zie figuur 2, kunnen zonder toepassing van uitstoters op een betrouwbare wijze uit de matrijs gehaald worden en reiniging van het matrijs oppervlak is niet meer nodig. Slijtage van de matrijs wordt voorkomen door toepassing van de film. Zie figuur 2.

Bij de toepassing van de ETFE-film als een "seal film" wordt gebruik gemaakt van de afdichtende eigenschappen van de film. Door de film volgens bepaalde contouren te klemmen fungeert de klemrand als een afdichting, zie figuur 3. Oppervlakken van de chip of de drager kunnen op deze wijze "flash free" gemaakt worden. De vloeibare compound heeft de neiging sterk te bloeden langs de klemranden, de film voorkomt dit verschijnsel. Zie figuur 3

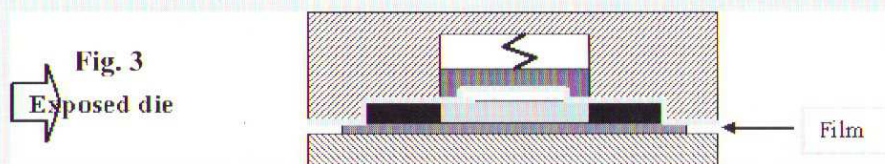


Fig. 3

Exposed die

Film

De seal film technologie is te gebruiken voor sensoren, waarbij een deel van het chip oppervlak vrij moet blijven van compound. Een toepassingsgebied is de biometrische toepassing met als voorbeeld de fingerprint sensor, zie figuur 4. Andere toepassingen zijn optische of druksensoren.

Adhesive Film Technology

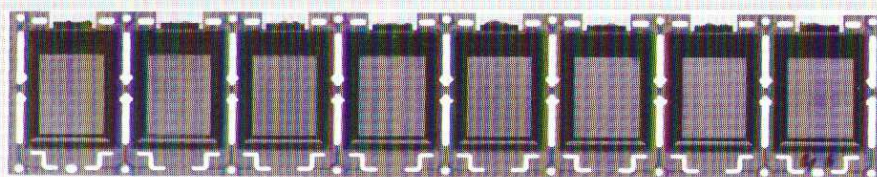


Fig. 4

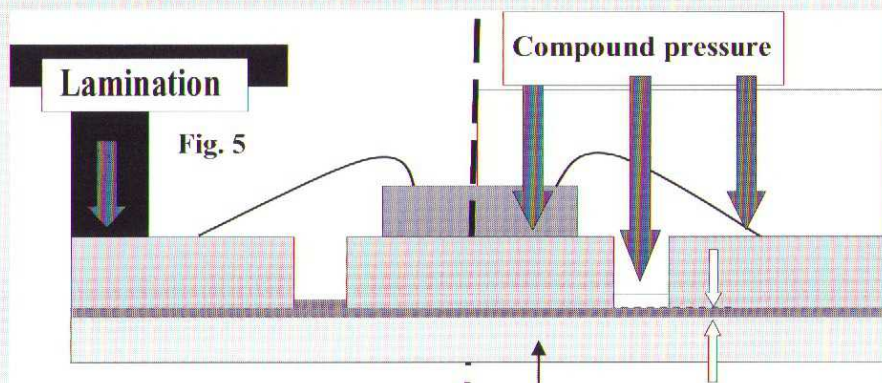


Fig. 5

Film met een lijmlaag wordt gebruikt voor het omhullen van lead less produkten op een metalen frame. De film is een alternatieve toepassing voor het werken met

metalen drager op de film aangebracht en de film draagt er zorg voor dat de onderzijde van de drager vrij blijft van compound, zie figuur 5.

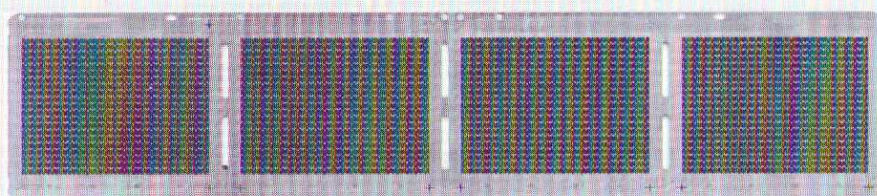
Grote oppervlakken van array packages kunnen vrij gehouden worden van compound en de lijmlaag op de film laat geen residu achter op de drager, zodat de dragers direct na het omhullen vertind kunnen worden. De methode is uitermate geschikt voor voorvertinde metalen dragers.

Een voorbeeld van zo'n metalen drager is het lead frame van figuur 6 met ruim 1700 produkten. Zie fog. 6.



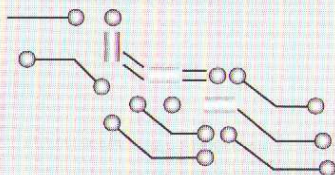
Fig. 6

een drager waar voor het omhullings proces een tape aangebracht wordt. In de matrijs wordt de



SACD versus DVD-Audio

Al geruime tijd probeert de audio-industrie de markt te overtuigen van de noodzaak van een opvolger van de cd. Voor het overgrote deel van de markt is daar geen enkele reden toe, maar de drang naar vernieuwing is niet te stuiten. Wat zijn de achtergronden en zit er misschien iets in?



Armand van Ommeren

Tunnelvisie?

Een van de zaken die mij door de jaren heen in audio en dan speciaal die uit Japan is opgevallen, is de drang naar betere specificaties. Geen mens die zich af vraagt of het zin heeft, maar de ruisafstand moet omhoog, het frequentiebereik moet ruimer en de vervorming moet omlaag. Vraag niet ten koste van wat, noch wat het kost, maar het **moet** beter. De relevantie is zelden punt van discussie en men gaat maar door. Eerlijkheid gebied overigens te zeggen dat er ook argumenten zijn die dit relativeren: crossoververvorming bijvoorbeeld beweegt zich op een uiterst laag niveau – 0,1% of minder – en de hinderlijkheid ligt dermate hoog dat je je er wel degelijk druk over dient te maken. Helemáál uit de lucht gegrepen is die angst dus ook weer niet. Wèl durf ik de stelling aan dat het verschil tussen –96 dB ruisafstand en –120 dB op papier dan veel mag lijken, maar totaal niet interessant is. Evenmin kan ik warm lopen voor een frequentiebereik tot 100 kHz, liever niet zelfs. Het hele verhaal rond frequentiebereik is overigens overtrokken, zeker bij gebruik van microfoons die op minder dan een honderdste van de normale luisterafstand opgesteld staan. Een toelichting.

Compact Disc

Aan het einde van het analoge tijdperk wat de LP betreft, waren de muzikliefhebbers echt wel aan een verbetering toe. Iedereen die

veel muziek consumeert zoals ik – klassiek en jazz – herkent zich in de vaststelling dat het slot van een concert zelden gaaf van de naald kwam en dat een orgelrecital al te vaak rokend en krakend uit de groeven werd opgedist. Lenco-clean – met alle consequenties – was de enige manier om er nog iets genietbaars van te maken. Ergo, de gemiddelde muzikliefhebber ruidde maar al te graag al het gekraak en de typische aftastvervorming voor een systeem dat wellicht ook iets negatiefs had, maar in elk geval zonder grote en niet te verteren problemen het einde van een concert wist te halen. En dat gebeurde dus ook. En de gewone man (m/v) die weinig om kwaliteit gaf, waardeerde het bedieningsgemak en de relatieve duurzaamheid. Zo bezien hou je nog niet één procent van de gebruikers over die over iets beters dan de cd zouden willen nadenken. Zeker, de cd was aanvankelijk ook niet zonder bijverschijnselen, maar vergeleken met een orgel met 25% aftastvervorming in de pieken of een rasperig slotakkoord wel zo ongeveer de hemel op aarde. Destijds stelden Jan Kool en ik vast dat de IM-vervorming bij pu-elementen vaak rond de 10% lag en niet zelden op een veelvoud daarvan! Vooral in de overspraaksignalen gaat het vaak mis. Maar dat terzijde. Inmiddels is de cd redelijk volwassen geworden en zijn we in zekere zin weer terug bij af: ook tegen het einde van het LP-tijdperk waren steeds meer mensen niet meer zo gelukkig met de

heersende opnamepraktijk en het is de komst van de cd geweest die ons een hele tijd van dat punt afgehouden heeft. Heel veel kritiek op de cd hoort in dat vakje thuis: wat mij betreft valt het merendeel van de opnamen op cd tegen, niet omdat de cd iets mankeert, maar omdat de opnamen minder goed zijn dan we zouden wensen. Te vaak komt het in ons vak voor dat men van de volmaaktheid van de opname uitgaat en de schuld van een tegenvallend resultaat bij de weergave apparatuur en vooral de speler legt. Zonder op mijn beurt die speler heilig te willen verklaren, durf ik wel te stellen dat in veruit de meeste gevallen de bijdrage van de opname heel wat groter en doorslaggevender is. De geschiedenis van de cd-techniek is wat dat betreft ook niet helemaal over rozen gegaan. Boeiend was in dat verband het artikel in het Financieel Dagblad over Kees Schouhamer Immink die vertelt hoe dat eind jaren '70 tussen Philips en Sony is gegaan. Oorspronkelijk dacht men aan Delta modulatie en niet aan PCM. Maar met Delta was (toen) geen goede kwaliteit haalbaar omdat de haalbare informatiedichtheid te gering was en de hoogst haalbare processorfrequentie niet verder kwam dan een kleine 50 kHz, wilde men tenminste een beetje behoorlijke speelduur op een schijfje realiseren. Daarom greep men naar PCM-techniek die via sampling en een zogeheten ladder-netwerk wel binnen een niet al te gek frequentiespectrum resultaten kon boeken. Per seconde werd 44.1000 maal een monster – sample – van het signaal genomen en de waarde vastgelegd. Elk monster kende 65.536 mogelijkheden (2^{16}) wat in 16 bits uitgedrukt werd. Door elk van die 16 in of uit te schakelen kon elke waarde

tussen 0 en 65.536 worden opgetekend en gereproduceerd. Velen meenden dat zowel die 22 kHz als het aantal bits ontoereikend was, maar daar heb ik nooit in geloofd. Die enkele zeldzaam fraaie en genuanceerde cd's bewijzen dat het daar niet aan ligt. Daarbij teken ik ook aan dat het met een echt goed afgeregeld Telefunken M5 of M15, Studer C37 of A80 welhaast onmogelijk was te horen wat voor en wat achter band was. Het was veel meer de techniek tussen de oorspronkelijke band en de uiteindelijke plaat, of de nabewerking, die verantwoordelijk waren voor het vaak bedroevende resultaat.

1-Bit

Gepresenteerd als het ei van Columbus – het zoveelste – maar aanvankelijk was de industrie helemaal niet zo zeker. Op een seminar in Osaka (ik dacht 1988) presenteerde Technics een verbeterde D/A-converter met heel veel omhaal en een lang, moeilijk te begrijpen verhaal van Ted Abe – één van de competentste en aardigste Japanse technici die ik ooit heb ontmoet – waar collega Peter van Willenswaard en ik eigenlijk geen touw aan vast konden knopen, tot we (Peter dus) er achter kwamen dat hier in feite de éénbitter werd verdoezeld. Men durfde het gewoon niet aan om de Europese pers – een man of twaalf – te vertellen dat hier geen 18 bitter met 8-voudige oversampling aan het werk was, maar een 1-bitter. Die 1-biter was namelijk ontwikkeld voor draagbare goedkope spelers waar geen kwaliteit van werd verlangd en dat had men in een dure speler gestopt, wetend dat het veel beter was dan men aanvankelijk dacht. Ondanks het feit dat noise-shaping noodzakelijk

was en ondanks het feit dat de processorsnelheid volstrekt ontoereikend was. Niet zo gek lang daarna bewees Technics met haar uiterst kostbare topmodel van pakweg 7500 Euro dat men ook in de topklasse met een 1-bitter mee kon spelen. Alle credit voor Ted Abe en zijn mensen. Toch bleef het in de betaalbare klasse behelpen, de spelers met meerbitters – ladder-netwerken – bleven de betere, dankzij de chips van Burr-Brown.

Toch liepen beide technieken in feite vast. In beide gevallen was namelijk aan opnamezijde een normale samplingtechniek nodig en die kon niet vermeden worden. Alleen als men ook aan opnamezijde iets aan het systeem zou doen, kon een stap vooruit gezet worden.

SBM en Yamaha

24-bit

Voor de gebruiker met zijn 16 bit speler niet zo vreselijk relevant, behalve dat de kans wat groter is dat er na de verliezen onderweg netto nog 16 overblijven. In die zin is moeilijk te bepalen wat het effect van Super Bit Mapping (Sony) werkelijk is, vooral omdat de platenmaatschappijen nooit de verleiding kunnen weerstaan ook aan de klank te sleutelen, zodat je niet weet wat het effect van het systeem is. Beide fabrikanten deden iets aan de opnamezijde – Sony 20 bits en Yamaha 24 bits – waar wel iets mee bereikt werd: het uitgangssignaal was theoretisch beter dan vroeger en de kans op een beter resultaat was daarmee reëel.

DSD

In feite een latere ontwikkeling van Delta modulatie is Direct Stream

Digital waar nu de sacd speler mee werkt. Een geniaal idee – teruggrijpend op diezelfde techniek waar bij de conceptie van de cd sprake al van was, maar die toen niet realiseerbaar. Geniaal ja, want hier vervalt de gehele samplingtechniek. Met een zeer hoge monitorfrequentie (2,8224 MHz) wordt het signaal voortdurend beoordeeld. En dan niet op absolute waarde, maar – afhankelijk van de waarde 0 of 1 – resp. een stapje lager of een stapje hoger. DSD geeft dus nooit een absolute signaalwaarde, maar een verandering ten opzichte van het voorgaande: is dat hoger dan is het 1, is het lager dan is het 0. Uiteraard zijn de stapjes zelf gefixeerd. Ik spreek hier daarom liever niet van een samplingfrequentie, want dat is het niet echt. En pas als je die term loslaat, realiseer je je dat DSD ècht iets anders is. DSD heeft namelijk door die opzet een in wezen analoog karakter, niet in klanktechnische zin, maar in natuurkundige zin. DSD volgt het signaal, monitort de verandering van het signaal i.p.v. er monsters van te nemen en die te registreren. Ook realiseer je je dan dat een hele hoge monitorfrequentie noodzakelijk is om voldoende steilheid in transiënts te kunnen krijgen en dat daarmee zoveel ruimte beschikbaar komt dat er (veel) meer dan 20 kHz geregistreerd kan worden. Een cadeautje eigenlijk dat uit de gebruikte techniek volgt en waar het systeem niet persé voor is ontwikkeld. Een bijverschijnsel, hoe hinderlijk ook.

Hinderlijk?

Hinderlijk, want het is natuurlijk juist dat de frequentiekenarakteristiek van het hele systeem van opname tot weergave 'recht' moet zijn, maar wanneer je je microfoons neerzet op een plaats waar ze drie tot tien maal zoveel hoge frequenties

opvangen dan de luisteraar op normale afstand, wat is dan 'recht'? Als je je zich realiseert dat je op een afstand van een meter of 8 de lijnfrequentie van een tv (15.625 Hz) al niet meer hoort, dacht iemand dan dat je de 80 kHz die men een viool toeschrijft op die afstand wel hoorbaar zou zijn? Het is een misverstand dat je de verandering die dergelijke frequenties te weeg zouden brengen aan de frequenties die je wel kunt horen wel hoorbaar zouden zijn. Dat misverstand is dat wat je hoort begrensd is door de grootte van het verschijnsel: ons gehoor haakt af boven ca. 20 kHz. Wanneer de verandering kleiner is dan een golfje van 20 kHz – en dan maakt het niets uit of dat golfje zelfstandig is of een facet van een lagere frequentie is – dan ontgaat het ons. Net zoiets als infrarood licht: je kunt er van verbranden, maar we zien het niet. Dat is op een andere frequentie hetzelfde verschijnsel. En dat de één tot 18 kHz hoort en een enkeling misschien tot 23 kHz doet aan het principe niets af.

DVD Video

Het is uiteraard de DVD-techniek die de realisatie van e.e.a. mogelijk heeft gemaakt, naast de komst van processoren die snel genoeg zijn. Op zichzelf is de DVD een doorontwikkeling van de cd die niet wezenlijk anders is: de techniek is verder verfijnd, andere lasers en betere servotechnieken, allemaal fraai, maar niet schokkend. Inmiddels waren er nogal wat surround-achtige verschijnselen rond video op de markt gekomen en de DVD als verbeterde cd was een drager die dergelijke signalen – Dolby Surround als eerste – kon bevatten en dat gebeurde natuurlijk ook. Langzamerhand begon alles en iedereen zich op surround te storten

en DVD Video werd al spoedig door alle filmbedrijven omhelst als de enige drager die dat allemaal met schitterend resultaat in huis kon brengen. Dolby in allerlei versies, waar zich later ook DTS bij voegde – het zat al op alle spelers voor er één schijfje in de winkel lag, over sterke marketing gesproken! – bij het videobeeld kon blijkbaar ineens alles wat destijds met geluid alleen in quadra niet was gelukt. En voor films is daar ook heel best in te komen. Voor geluid alleen – muziekweergave – ligt dat mijns inziens heel anders.

Video

Het is altijd al zo geweest dat video veel meer geld kost en veel meer geld oplevert dan geluid – vergelijk maar radio en TV. Een uur TV kost een ton en een uur radio 1000 piek, in die verhouding moet je dat ongeveer zien. Dat betekent automatisch dat alle fabrikanten meer geld stoppen in de ontwikkeling van videotechniek dan in audiotechniek. En dat leveranciers van videoprogramma's meer uitgeven dan die van audioprogramma's: omdat het ook meer oplevert. En dat betekent dan weer dat op het moment dat de drager van audio en video dezelfde is, audio het slachtoffer wordt. Want de drijvende kracht achter de drager is video en audio moet zich maar aanpassen.

DVD-Audio

In het licht van video moet m.i. ook de ontwikkeling van DVD-Audio worden gezien. Dankzij de nieuwe lasers en nieuwe processoren ruimte zat die aanvankelijk geheel voor video werd gebruikt: DVD-Video. Maar wanneer iedereen zijn cd-speler langzamerhand door een dvd-speler vervangt – om films te draaien, maar gewone cd's gaat ook

– dan loopt via dvd de markt vanzelf over naar dvd. Wat ligt er dan meer voor de hand dan e.e.a. min of meer stilzwijgend te laten plaatsvinden? Je zou dan ook dvd-audio heel gemakkelijk in de markt kunnen zetten en in feite met één systeem voor beide toe kunnen. Natuurlijk. Tot een paar slimme jongens bedachten dat je alle videodromen – surround – uit kunt voeren (ruimte zat, weet u nog?) en misschien kun je de muziekliefhebber ook nog wel tot meerkanaals verleiden, quadra op herhaling? Met pakweg tienmaal zoveel ruimte als op de cd kun je zes kanalen van elk 100 kHz kwijt – onder het motto ‘meer is altijd beter’ – plus 24 bits wat ook aanspreekt en de consument vindt het prachtig. Het enige voordeel is – vanuit de muziek geredeneerd – dat wanneer je met 24 bits begint, de kans reëel is dat je er aan het einde van de rit – het opname- en productieproces – misschien een stuk of 16 overhoudt. Bij de cd waar het opnameproces met 16 begint, is de kans klein dat er uiteindelijk op de cd in de winkel nog 16 over zijn. Het gemiddelde zal eerder bij 12 liggen. In die zin is bij DVD-A sprake van vooruitgang, maar daar houdt het wel mee op, want gebleven is het samplingproces met alle consequenties van dien: filtering, noise-shaping, bemonstering, interpolatie en anti-aliasing filters. Kortom, meer van hetzelfde, zij het ontegenzeggelijk op een iets hoger plan.

Oud en nieuw

Wat ik hiermee wil zeggen is dat waar DVD-A verdergegaan is op de al veel eerder ingeslagen weg, sacd teruggegrepen heeft naar de basis die bij de conceptie van de cd in wezen al was gelegd: Delta modulatie-techniek. Gegeven het feit dat sowieso een andere speler nodig

zou zijn, was er ineens ook geen bezwaar meer om aan opnamezijde maatregelen te nemen. Philips en Sony – vader en moeder van de cd – werkten (gelukkig en eindelijk!) weer samen en grepen terecht naar die techniek van toen, zich realiserend dat het nu wel kon. Geluk daarbij was dat Sony inmiddels zo ongeveer de gehele audio opnamewereld beheerst waar het op technologie aankomt en daar behoorlijk in kon sturen. Mede daardoor zou sacd een kans kunnen hebben; niet vanwege meerkanaals, maar vanwege de superieure kwaliteit. Het grote punt van sacd is de werking gebaseerd op één vaste bit zowel bij opname als bij weergave die aangeeft of er een stap omhoog of omlaag moet worden gezet. Dankzij de enorme snelheid van de moderne processoren ontstaat een digitale omzetting die nauwelijks bijeffecten kent en alle moeilijke stadia van de PCM techniek kan missen, bij opname en bij weergave. Hoe fraai DVD-A op zichzelf ook kan zijn, het is een ontwikkeling die, uitgaande van de eisen van audio en video, op conventionele wijze gebruik gemaakt heeft van de grotere ruimte die DVD bood, maar met conventionele middelen, in feite inderdaad alleen maar meer van hetzelfde. Dit heeft zeker ook te maken met de roep om een hogere samplingfrequentie van bepaalde stromingen in audio en met de schreeuw om meer dynamiek in andere kampen. Allemaal onzin, want er bestaat gelukkig niet één conventionele cd met een dynamiek van 96 dB. Uitgaande van een vermogen van 50 mW voor het zachtste signaal zou dan een vermogen van duizenden watts nodig zijn voor het luidste signaal en uw huis is daar beslist niet tegen bestand.... Jericho?

Adder

Voor beide systemen sacd en dvd-a geldt dat althans in de klassieke en jazz sector, geen betere opname-techniek in huis wordt gehaald, uitzonderingen daargelaten. Integendeel, het wordt erger: iedereen die zich niet conformeert aan surround voor muziekweergave, is het kind van de rekening. Stap voor stap gaat de opnamewereld over op het maken van meerkanaals opnamen en stereo wordt daar elektronisch van afgeleid. Een enkeling zet op een hybride cd ook nog het echte stereosignaal, maar lang zal dat niet duren. Binnen de kortste keren wordt dat een elektronisch afgietsel, al dan niet in de speler zelf aangemaakt en de stereoluisteraar kan het helemaal schudden. Sterker nog, ook het meerkanaals signaal zal binnen korte tijd een elektronisch tot stand gebracht resultaat zijn, uit een veelheid microfoons wordt een aangenaam klankbeeld gemanipuleerd en de muziekliefhebber heeft het nakijken. Gek eigenlijk, de consument die het niet zo veel kan schelen wordt prima bediend en de liefhebber ziet maar!

Hoop

Ondanks de sobere laatste woorden hoop ik dat in men de muziekliefhebber niet in de steek zal laten en ervoor zal zorgen dat altijd een echt stereosignaal beschikbaar zal blijven, want ik zie het echt niet gebeuren dat iedereen met vijf of zes kanalen zal gaan werken. Zes elektrostaten.... ik moet er niet aan denken!

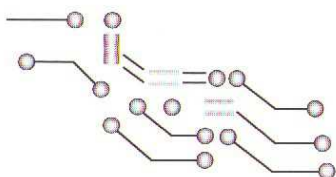
wordt vervolgd



EXTREME DUTY: de elektronica in robot wars!

Deel 1: DE MYTHRAS 2.0-speedcontroller

Robot Wars: honderd kilo zware radiografisch bestuurd vechtmachines, die elkaar te lijf gaan met pneumatische hakbijlen, vliegwielen, vlammenwerpers en hydraulische knijpers. Pantsermateriaal van 8 mm dik vliegtuigaluminium of 12 mm macrolon wordt in een oogopslag aan gort geslagen. Die vijandige omgeving heeft robuuste elektronische schakelingen voortgebracht die functies vervullen waartoe bestaande elektronica niet in staat is. Niet zonder trots hebben wij een aantal van de succesvolste roboteers bereid gevonden hun geheimen te onthullen en hun speciaal bij RobotWars ontwikkelde en beproefde "Extreme-duty" schakelin-prijs te geven. In deel 1 behandelen we de mythras-speedcontroller: een vierkwadrant RC-bestuurde chopper die twee elektromotoren bestuurt met maximaal 36 Volt en 80 Ampère.



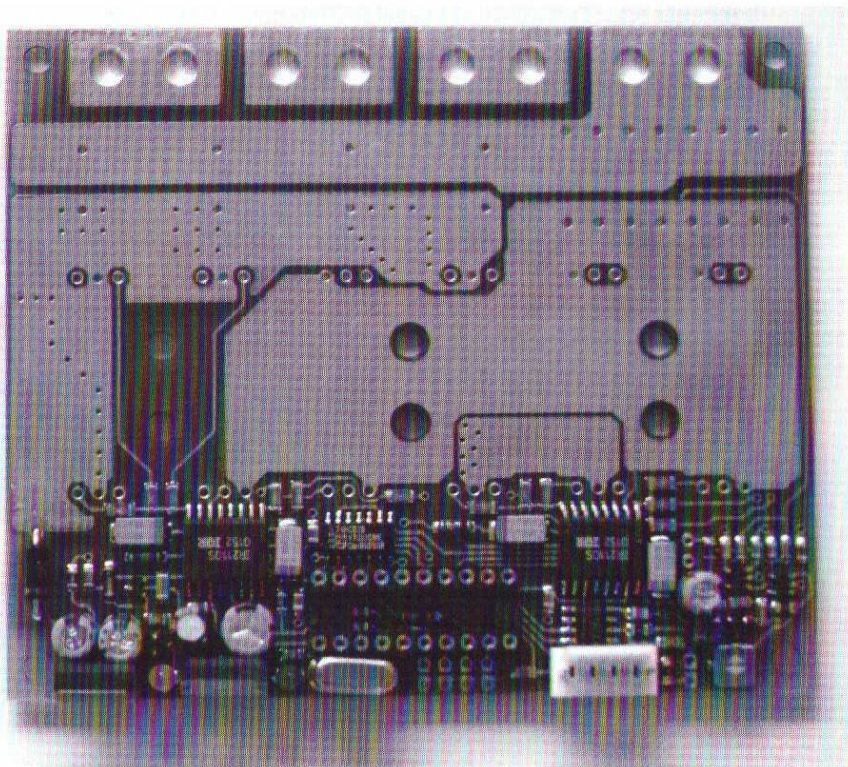
Django Mathijssen in samenwerking met Kees Sicking

De bedenker van Robot Wars is Marc Thorpe. Deze kunstenaar, technicus en levensgenieter werkte vanaf 1979 als special-effects-expert voor filmregisseur George Lucas. Thorpe bouwde robots en modellen voor de StarWars- en IndianaJones-films. Nadat hij in 1992 een radiografische stofzuiger had gebouwd kreeg hij het idee om een kettingzaag crop te monteren. Het spelen met deze gewapende

robot leverde een verzameling vernielde meubels op en het idee voor een gemechaniseerde vechtsport, waarbij afstandbestuurde robots in een arena op leven en dood vechten, net de gladiatoren in het oude Rome. Het doel is simpel: immobiliseer de robot van je tegenstander. Bijna elk middel is toegestaan: rammen, omvergooien, vitale delen beschadigen... De robot die blijft rijden is de winnaar.

Thorpe zette zijn collega's aan om vechtrobots te bouwen en op 20 augustus 1994 vond in San Francisco het eerste RobotWars-evenement plaats. In 1997 sloeg de vonk over naar Engeland met een televisieversie van RobotWars op de BBC. RobotWars wordt een jaarlijks spektakel, waarbij de finales tot zeven miljoen kijkers trekken. In 1999 vond een eerste WK RobotWars plaats en in 2001 werd Nederland na Engeland en Amerika het derde land met een nationale RobotWars.

Derek Foxwell, het technische brein in de RobotWars-organisatie, schakelde mij in om zijn werk in Nederland, Duitsland en België te doen: robots keuren en roboteers rekruteren, adviseren en ondersteu-



nen. In die functie zie ik alle robots voorbijkomen en probeer de technologische ontwikkeling van de robots te katalyseren.

In een decennium RobotWars heeft deze technologie een enorme vlucht genomen. Diverse bijzondere schakelingen zijn cruit voortgekomen, die ook voor andere toepassingen van nut kunnen zijn:

- besturingssystemen om bijvoorbeeld een ruitenwissermotor tot een supersterke RC-servo om te functioneren;
- accusnelladers waarmee drie 12 V 13 Ah loodgel-accu's in 45 minuten opgeladen kunnen worden;
- tweekanaals RC-speedcontrollers van 80 ampère en 36 volt.

Voornamelijk die speedcontrollers maken vaak het verschil uit tussen winst en verlies. Speedcontrollers uit de modelbouwwereld kunnen de vermogens nodig om een 100 kg robot aan te drijven niet aan. De 50 Ampère die voor sommige modelbouwspeedcontrollers wordt aangegeven maken ze in de praktijk niet waar. We hebben honderden roboteers zien opdagen met modelbouwspeedcontrollers die allemaal in de arena in rook zijn op gegaan. Rolstoelmotoren van 150 Watt en bijbehorende rolstoelspeedcontrollers zijn het absolute minimum.

Robotwars-standaard

Wie competitief wil zijn heeft twee 750 Watt motoren voor de aandrijving nodig: eentje voor de linkerwielen en eentje voor de rechterwielen. Gestuurd wordt als een tank door het snelheidsverschil links/rechts. De Bosch GPA 750 Watt 24 Volt motor met een overbrengverhouding van rond 10 en



kartwielletjes geldt als de aandrijvingstandaard. Commerciële speedcontrollers voor dergelijke motoren worden gebruikt in golfkarretjes en zijn erg duur. Vandaar dat alle roboteers met een elektronica-achtergrond hun eigen speedcontrollers zijn gaan ontwikkelen. Momenteel geldt de "Mythras"-speedcontroller, ontwikkeld door de Nederlandse roboteer Kees Sicking, als wereldwijd de allerbeste.

Kees heeft zijn speedcontroller in eerste instantie ontwikkeld voor zijn eigen twee robots: Alien Destructor en Das Gepäck. Daarmee heeft hij meegestreden in de twee Nederlandse RobotWars. Bovendien heeft hij in een speciale Duitsland-Engeland-match de trofee voor Duitsland in de wacht gesleept. Zijn speedcontroller wordt momenteel door bijna de helft van alle Nederlandse en Duitse roboteers gebruikt.

Eisenpakket speedcontroller

De Bosch GPA750 is een 24 Volt motor die nominaal 750 Watt levert. De nominale stroomsterkte

is 40 Ampère, het toerental 3300 omw/min. Uit ervaring is echter gebleken dat deze motor tijdens de wedstrijden, die slechts vijf minuten duren, zwaarder belast kan worden dan nominaal. Zowel de spanning als de stroomsterkte wordt in de praktijk verhoogd. De meeste roboteers verhogen de spanning tot de in de reglementen maximaal toegelaten 36 Volt. Dat levert een 50 % hoger toerental op. De stall-current (de stroomsterkte als de motor zijn stilstandkoppel moet leveren) is bij 24 Volt 150 Ampère. Dat kan hij korte tijd aan. Bij 36 Volt stijgt de stall-current echter naar 225 Ampère, genoeg om de motor in seconden in rook op te laten gaan.

Stall-current-situaties komen bij RobotWars in de praktijk van het gevecht regelmatig voor: wanneer je tegenstander je wiel blokkeert bijvoorbeeld. Om de motor te beschermen moet de speedcontroller daarom de stroomsterkte begrenzen. Uit ervaring is gebleken dat tweemaal nominaal een goed compromis is tussen levensduur en vermogen.

Afgezien van de elektrotechnische eisen zijn de mechanische eisen die aan de speedcontroller gesteld worden zeer hoog. Er wordt letterlijk mee gegooid en gesmeten. Om dit aan te kunnen moet alles heel compact zijn.

Het eisenpakket aan de motorsturing omvat dus:

- 1 36 Volt bedrijfsspanning;
- 2 Stroombegrenzing instelbaar tot 80 Ampère;
- 3 Aangestuurd via RC-ontvanger;
- 4 Kleine afmetingen.

Ontwikkeling

Twee jaar geleden is Kees begonnen zijn controller te ontwerpen. Versie 1.0 voldeed precies aan de eisen. Dat was echter niet genoeg voor gevechtssomstandigheden. De controller draaide op het randje van zijn specificaties. Een haartje verder en je kreeg een prachtig flitslicht met bijbehorend paddestoelvormig wolkje boven de robot. De controllers werkten prima als je ze beperkte tot maximaal 60 Ampère en zorgde voor een goede koeling. De exemplaren die Kees gebruikte waren afgeregeld op 70 Ampère en zijn nooit stukgegaan tijdens wedstrijden. Maar het was nog niet genoeg: er zat meer potentieel in de motoren! Kees ging terug naar het tekenbord om meer vermogen cruij te halen. De eerste controller was ontworpen met een enkele brug van vier irf 3205 MOSFET's. Deze MOSFETS zijn ontworpen voor 110 Ampère. De behuizing (TO-220) kan echter maar 75 Ampère hanteren. Voor meer stroom moesten meer MOSFETS parallel worden geplaatst. De bedoeling was om naar minimaal twee keer zoveel stroom te kunnen gaan. Uiteindelijk werd gekozen voor een verdrievoudiging van de brug.

Tevens werd een betere MOSFET toegepast: de irf 1405. Zo ontstond versie 2.0 die zelfs bij een verdubbeling van de stroomsterkte nog minder weerstandsverliezen in de MOSFET's heeft dan de eerste schakeling.

De schakeling van Mythras 2.0 bestaat uit:

- 1 De besturing;
- 2 De communicatie-interface;
- 3 De interne stroomvoorziening;
- 4 De vermogensdriver;
- 5 De vermogens H-brug;
- 6 De stroombegrenzing;
- 7 De bufferelco's.

De besturing

De besturing is het kloppend hart van de schakeling. Deze wordt gevormd door een AT89C2051 single chip microcontroller (IC3) met een klokfrequentie van 22.1184 MHz. In deze microprocessor loopt de software die de hele besturing afhandelt. Deze software is grofweg in drie delen op te splitsen:

- 1 De communicatie met de buitenwereld;
- 2 De besturing van de vermogens H-brug;
- 3 De stroombegrenzing.

ad 1. De communicatie met de buitenwereld

De controller wordt bestuurd via seriële communicatie (pin 2 en pin 3 van de microprocessor). Hiervoor wordt een relatief simpel protocol gebruikt, dat vanuit een andere processor gestuurd moet worden. In principe is de gebruiker vrij om hiervoor zelf iets te maken. Kees heeft in zijn ontwerp daarvoor een apart printje gemaakt,

genaamd de "centrale processor" (CPU-080). Dit printje is de interface tussen de controllers (maximaal 4) en de RC-ontvanger. Hierin zit ook software voor o.a. een failsafe en een kruismixer. De failsafe zorgt ervoor dat de robot wordt uitgeschakeld wanneer de RC-ontvangst wegvalt. De kruismixer zorgt ervoor dat tankstijlbesturing met 1 joystick gerealiseerd kan worden. De signalen vooruit/achteruit en links/rechts van de zenderjoystick worden door de kruismixer opgeteld en van elkaar afgetrokken. Deze som- en verschilsignalen geven vervolgens de gewenste snelheid van de linker- en rechtermotor aan.

De baudrate is 57600 Baud. Het protocol is als volgt:

De microprocessor verwacht vier ASCII tekens

- 1 Een ':' (het startteken).
- 2 Een adres '0-3' (het kanaalnummer).
- 3 Een hexwaarde '00-FF' (Hierbij is 80H = 128 de middenstand: controller uit. Maximum stand is 128+106 of 128-106. Dit komt overeen met 95 % uitsturing.)

Het protocol dient elke 100 ms opnieuw naar de microprocessor gestuurd te worden. Gebeurt dit niet, dan veronderstelt de microprocessor dat er een communicatieprobleem is en schakelt de besturing uit.

Het adres van de controller wordt ingesteld met J2 en J3:

Adres J3	J2
0	open open
1	open gesloten
2	gesloten open
3	gesloten gesloten

De kruismixer werkt alleen op adres 0 en 1. Als twee controllers



op hetzelfde adres staan zullen ze hetzelfde reageren.

Ad 2. De besturing van de vermogens

H-brug

De besturing van de vermogens H-brug wordt gevormd door de uitgangen HIGH_A, LOW_A, HIGH_B en LOW_B. Deze sturen de desbetreffende MOSFET's aan. J1 wordt gebruikt om de besturing te enablen en dient altijd gemaakt te zijn.

troller wordt bestuurd via een seriële verbinding: RS485 bus (pin2 en pin3) waarop een aantal controllers (maximaal vier) geplaatst kunnen worden. IC4 is de BUS-driver.

RS485 is een symmetrische transmissielijn (een aderpaar). Op deze lijn mogen meerdere units aangesloten worden. In principe moeten de uiteinden van de lijn afgesloten worden met een 100 Ohm impedantie. Dit kan door J5 te sluiten. Dan wordt R7 over de bus aangesloten. In de praktijk zijn de verbindingen in een robot

echter zo kort dat dit niet echt uitmaakt. Verder heeft de communicatie-interface voeding voor de centrale processor: pin 1 is min en pin 5 is +15 Volt. Diode D6 wordt gebruikt om te voorkomen dat er voeding via de communicatie-interface terug de controller ingaat. Pin 4 wordt niet meer gebruikt, maar was in het eerste ontwerp een ingang om de controller extern te enablen.

De interne stroomvoorziening
De interne voeding wordt gebruikt om de besturing en drivers van energie te voorzien. Voor de drivers is 15 Volt (IC1) noodzakelijk. Voor de besturing is 5 Volt (IC3) vereist. Voor 24 Volt is het niet noodzakelijk deze IC's te koelen. Bij hogere voedingsspanningen kan dat echter wel noodzakelijk zijn.

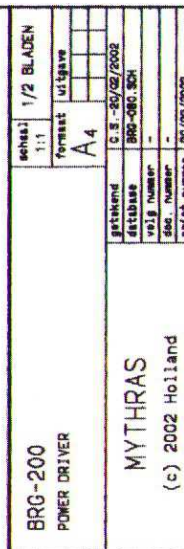
De microprocessor heeft een speciaal reset-circuit dat ingrijpt zodra de 15 Volt voeding te laag wordt (circuit rond T1). Als de reset ingrijpt, worden alle uitgangen van de microprocessor hoog. De aansturingen naar de MOSFET's die aan de plus liggen worden dan via IC8 geïnverteerd en schakelen uit. De MOSFET's die aan de min liggen worden juist

Ad 3. De stroombegrenzing

De uitgang CLCK wordt gebruikt om de stroombegrenzing te resetten. De stroombegrenzing wordt aan de processor gemeld via ingang CURRENT.

De communicatie-interface
De communicatie-interface (connector CN1) wordt gebruikt om de diverse controllers aan elkaar aan te sluiten en aan de centrale processor te verbinden. De con-





wel ingeschakeld. Hierdoor wordt de motor kortgesloten en remt af.

De vermogensdriver

De vermogensdriver stuurt de MOSFET's aan met voldoende vermogen om ze snel open en dicht te schakelen. De IR2110 die hier gebruikt wordt is speciaal bedoeld om twee MOSFET's in een halve brug aan te sturen. Hij interfacet tussen de 5 Volt-signalen uit de microprocessor en de 15 Volt gatespanning van de MOSFET's. Tevens zorgt hij voor een floating driver voor de MOSFET in de hoge kant van de brug. Hij kan de gate met 2 Ampère aansturen.

De hoge stroom die de driver kan leveren, bracht in het eerste ontwerp nog wat problemen met zich mee. De drivers hadden namelijk zoveel vermogen nodig dat de interne voeding instortte, wat tot gevolg had dat de microprocessor resette. Dit is opgelost door weerstanden (R19-R29) in serie te zetten met de gates van de MOSFET's en door een serieweerstand (R6) in de voeding van de drivers op te nemen.

De driver hoeft de maximale stroom alleen maar te leveren op het moment van schakelen. Dit duurt ongeveer 200 ns en komt in principe 4 keer voor gedurende elke cyclus. Een cyclus duurt circa 60 µs, dus de driver moet ongeveer 1/75ste van de tijd de maximale stroom leveren. De gemiddelde stroom wordt dan circa 26 mA. De maximale stroom wordt geleverd vanuit buffercondensatoren (C18, C19, C22 en C23). Dit moeten tantalumcondensatoren zijn vanwege de hoge stroom die ze in zeer korte tijd moeten leveren. Omdat de condensatoren (C18 en C22), die de MOSFET's aansturen die aan de plusleiding verbonden

zitten, geladen worden als de sturing naar nul gaat (via diodes D7 en D8) mag de sturing nooit 100 % worden. In de software wordt dit beperkt tot 95 %. Als dit wel 100 % zou zijn, dan worden deze condensatoren niet meer geladen zodat ze langzaam zouden ontladen. Hierdoor zou de bijbehorende MOSFET uitvallen en dus de motor stilvallen.

De vermogensbrug

Dit is het belangrijkste deel van de schakeling. Opgebouwd uit 12 stuks irf1405 heeft Kees deze brug ontworpen voor een indrukwekkende 200 Ampère. Hij bestuurt de snelheid van de motoren door PWM (Pulse Width Modulation). De brug wordt met een cyclus van 16,457 kHz aangestuurd, waarvan de pulsbreedte in 112 stapjes geregeld kan worden.

Het is een volle H-brug, wat betekent dat elke motor vooruit en achteruit kan. De brug wordt symmetrisch gebruikt, dus wat voor linksom geldt wordt rechtsom contra gebruikt. De ene kant op wordt de helft van de brug gebruikt als schakelaar die tussen plus en min schakelt en de andere helft van de brug ligt aan de min. De andere kant op is dit andersom, maar altijd naar de min.

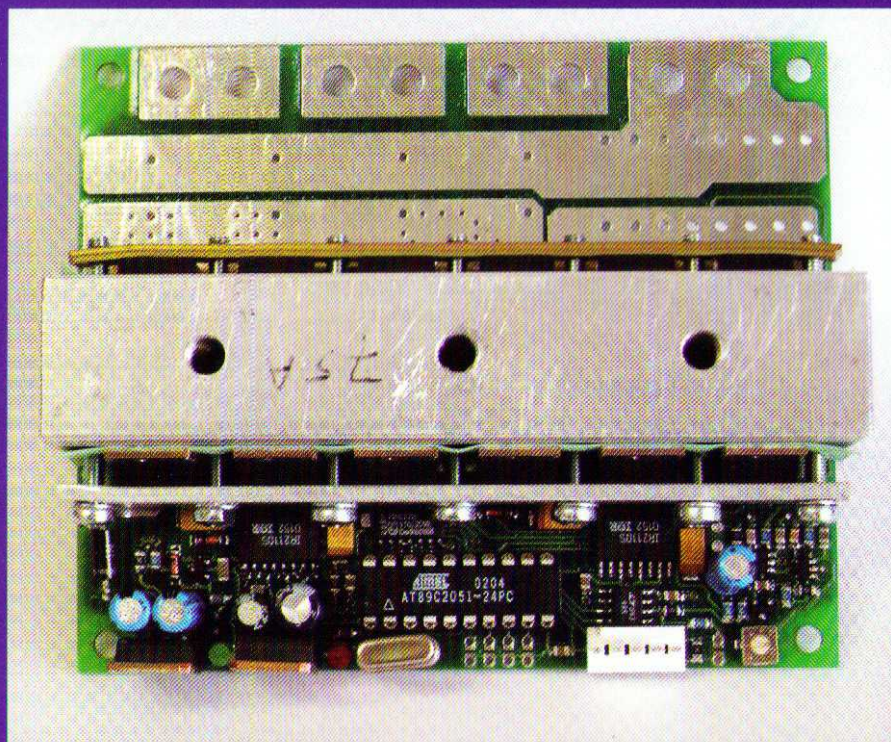
Als een tak van de brug geschakeld wordt, wordt eerst de gesloten MOSFET uitgeschakeld en vervolgens de open MOSFET ingeschakeld, mits de duty-cycle dit toelaat. Als dat niet gaat wordt de energie via de reverse diode van de MOSFET gevoerd. Deze situatie zou alleen voorkomen wanneer de sturing boven de 95 % zou komen, wat door de software geblokkeerd wordt.

Deze controller is een vierkwadrantencontroller. Dit betekent dat de motoren behalve vooruit en

achteruit bekrachtigd ook vooruit en achteruit geremd kunnen worden. De brug gaat in remstand als de sturing in het midden staat. In deze stand wordt de motor met een 50% duty-cycle kortgesloten en vrijgegeven. Dit heeft tot gevolg dat de opgeslagen rotatie-energie van de motor teruggevoerd wordt naar de voeding via de reverse diodes van de MOSFET's.

De stroombegrenzing

Voor de bescherming van de controller en de motoren zijn twee vormen van stroombegrenzing noodzakelijk. Beide vinden plaats via een directe meting met een senseweerstand (R30-R37) van $0,005 \text{ Ohm} / 8 = 0,000625 \text{ Ohm}$. Bij 200 Ampère staat hierover 0,125 Volt. Deze spanning wordt vergeleken met twee referenties. Omwille van de bescherming van de controller vergelijkt het systeem van IC5, R38 en R15 deze spanning met een maximale waarde. Die maximale waarde wordt met een NTC (R38) thermisch terugge-regeld zodat de maximale stroom afneemt met de temperatuur. De tweede vergelijker (IC6, R14 en R10) is instelbaar, zodat de controller op een waarde ingesteld kan worden die de motor beschermt. De stroombegrenzing grijpt direct in de besturing in en geeft een signaal aan de microprocessor zodat deze terug kan regelen. Als de stroombegrenzing ingrijpt wordt er een flipflop gezet (gevormd door twee NOR-poorten van IC8). De software reset deze flipflop elke keer dat de brug naar de min geschakeld wordt. Als de flipflop gezet wordt gaat de rode LED D5 branden. De flipflop blokkeert de sturing naar de vermogensdrivers waardoor de MOSFETS die aan de plus zitten uitgeschakeld worden. In



gaat. Om dit probleem te beperken, wordt er ook een signaal aan de microprocessor doorgegeven. Deze reageert door de duty-cycle terug te regelen, totdat er geen stroombegrenzing meer optreedt. Vervolgens wordt de duty-cycle weer (relatief) langzaam opgeregeld totdat de gewenste waarde bereikt wordt, of tot er weer ingegrepen wordt.

De bufferelco's

Dit deel van een controller wordt vaak zwaar onderschat! Wanneer je grote stromen schakelt met een hoge snelheid, dan kan een toevoerdraad van 6 mm² al een aanzienlijke inductie vormen. Zonder bufferelco's kan de ingangsspanning aanzienlijk dalen door de inductie van de toevoerdraad, met als gevolg dat er minder vermogen voor de motor beschikbaar is. Bovendien laat, wanneer de brug uitschakelt, de opgeslagen energie in deze toevoerdraadinductie de spanning zeer snel en hoog

oplopen. Dit heeft tot gevolg dat de MOSFET's over de breakdown-spanning gaan en opgeblazen worden. Daar komt nog bij dat de meeste accu's niet zo goed omgaan met hoge schakelsnelheden. De bufferelco's dienen om de accu's en toevoerdraden een meer gelijkvormige stroom te laten voeren. Ze moeten grote stromen kunnen leveren met weinig verliezen. Daarvoor dienen ze zo dicht

mogelijk op de brug te staan. Uiteindelijk zijn hiervoor vier elco's (C24 - C26) van 1000 µF parallel gezet van de HD-serie van Nichicon. Dit is een compromis tussen afmetingen, kosten en gedrag. Deze elco's hebben een inwendige weerstand van 0,021 Ohm en zijn daarbij zeer klein.

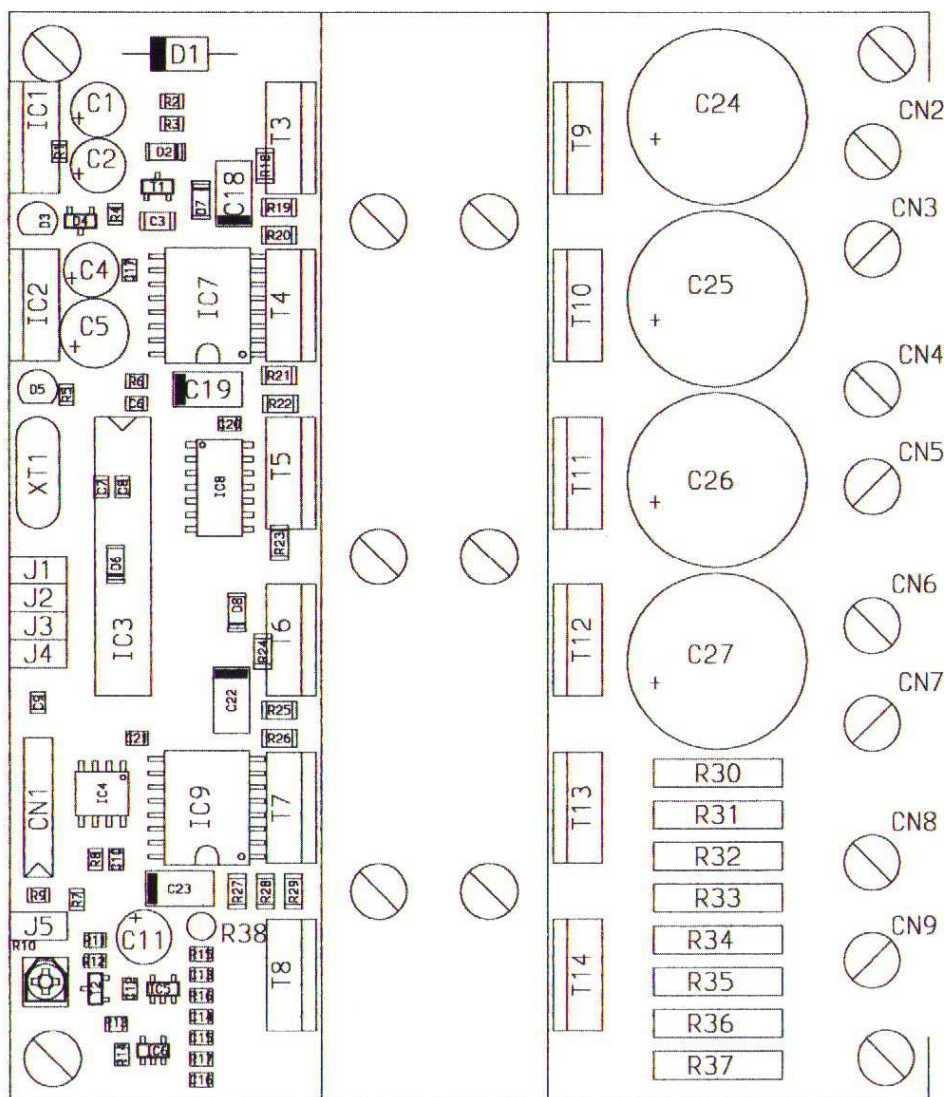
Rendement

De MOSFET's hebben een $R_{DS(on)}$ van 0,005 Ohm. Met drie parallel wordt dat 0,001666 Ohm. Per schakelelement (3 MOSFETS) is er dan 66,7 watt verlies bij 200 A. Aangezien de stroom altijd door twee schakelelementen loopt is er totaal 133,3 Watt aan Ohmse verliezen in de MOSFET's bij maximale belasting. Er zijn echter ook nog schakelverliezen die meegenomen moeten worden. Volgens de datasheet schakelen de MOSFETS met circa 190 ns in. Deze grote stroom vergt een zeer lage weerstand van alle toevoerleidingen. Een probleem hierbij is de PCB. Stel je wilt 10 mm² hebben. Standaard printmateriaal is 17 µm dik. Dan heb je dus een spoorbreedte nodig van 588 mm. En de



BRG-200 20/02/2002

(c) Mythras electronics



print is maar 100 mm breed. Dat gaat dus niet. Daarom heeft Kees een print laten maken met 130 μ m koperdikte. En eigenlijk is dat nog

steeds weinig voor de stromen die er lopen. De warmte die in de PCB ontwikkeld wordt, wordt via geleiding ook aan de MOSFET's overgedragen.

De tabel geeft een idee van de vermogens en het rendement bij 36 volt en 75 % duty-cycle. Uit deze tabel blijkt dat het verlies vrij snel toeneemt wanneer meer stroom gevraagd wordt. Dit verlies wordt in de controller in warmte omgezet en dient dus afgevoerd te worden met koeling. Tot 75 Ampère is nog met simpele oplossingen te volstaan. Daarboven is het oppassen geblazen of er niets te heet wordt. Een ventilator valt dan te overwegen.

Zelf bouwen

Voor wie een goede RobotWars-speedcontroller wil ontwerpen is Mythras 2.0 het schoolvoorbeeld. Hij is overigens kant-en-klaar bij Kees Sicking te bestellen (kees@mythras.demon.nl). Een compleet set kost 440 euro (twee controllers van 190 euro en een interface van 60 euro). Ervaren elektrotechnici kunnen 90 euro uitsparen door de controller als bouw pakket te bestellen. Maar pas op: zelfs dan is het bouwen van de speedcontroller geen sinecure!

Weinig ervaren elektrotechnici hebben een goede kans hun handwerkje alsnog in rook op te zien gaan.

Rendement berekening BRG-200

ingangsspanning 36
duty-cycle 0,75

uitgangs- stroom	ingangs- vermogen	uitgangs- vermogen	Rendement	Verliezen in vermogens- trap	nullast	stuur- ver- mogen	buffer- verlies	PCB- verlies	schakel- verliezen	RDson verlies	Rsense verlies
0	0,720	0,000	0,000	0,000	0,720	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
25	676,656	664,904	0,983	10,096	0,720	0,936	0,820	1,094	5,806	2,083	0,293
50	1351,656	1321,229	0,977	28,771	0,720	0,936	3,281	4,375	11,613	8,330	1,172
75	2026,656	1968,975	0,972	56,025	0,720	0,936	7,383	9,844	17,419	18,743	2,637
100	2701,656	2608,142	0,965	91,858	0,720	0,936	13,125	17,500	23,226	33,320	4,688
125	3376,656	3238,729	0,959	136,271	0,720	0,936	20,508	27,344	29,032	52,063	7,324
150	4051,656	3860,738	0,953	189,262	0,720	0,936	29,531	39,375	34,839	74,970	10,547
175	4726,656	4474,168	0,947	250,832	0,720	0,936	40,195	53,594	40,645	102,043	14,355
200	5401,656	5079,018	0,940	320,982	0,720	0,936	52,500	70,000	46,452	133,280	18,750

NAME	TYPE	SPECIFICATIONS	REMARK	C 26	1000UF 50V	ELCO	7.5MM
R 1	560R	CHIP 0805 1%		25*16MM			
R 2	5.6K	CHIP 0805 1%		C 27	1000UF 50V	ELCO	7.5MM
R 3 1	0K	CHIP 0805 1%		25*16MM			
R 4	2.2K	CHIP 0805 1%		CN 1	PIN-HEADER	5P KK 22-27-2051	MOLEX
R 5	1K	CHIP 0805 1%		D 1	1N4004		
R 6	2.2R	CHIP 0805 1%		D 2	1N4148	SOD-80	
R 7	100R	CHIP 0805 1%		D 3	LED LED ROND	3MM	
R 8	1.1K	CHIP 0805 1%		D 4	3.3V ZENER	SOT-23	
R 9	1.1K	CHIP 0805 1%		D 5	LED LED ROND	3MM	
R 10	10K	SINGLE TURN S	MD 4.0*4.9MM	D 6	1N4148	SOD-80	
R 11	560R	CHIP 0805 1%		D 7	1N4148	SOD-80	
R 12	4.7K	CHIP 0805 1%		D 8	1N4148	SOD-80	
R 13	4.7K	CHIP 0805 1%		IC 1	LM317	TO-220	
R 14	390K	CHIP 0805 1%		IC 2	7805	TO-220	
R 15	68K	CHIP 0805 1%		IC 3	AT89C2051	24MHZ	DIL-20
R 16	1K	CHIP 0805 1%		IC 4	75176	SO-8	
R 17	10K	CHIP 0805 1%		IC 5	LMV7235	SOT-23-5	
R 18	10R	CHIP 1206 1%		IC 6	LMV7235	SOT-23-5	
R 19	10R	CHIP 1206 1%		IC 7 1	R2110	SOW-16	
R 20	10R	CHIP 1206 1%		IC 8	74HC02	SO-14	
R 21	10R	CHIP 1206 1%		IC 9	IR2110	SOW-16	
R 22	10R	CHIP 1206 1%		J 1	JUMPER	2P	
R 23	10R	CHIP 1206 1%		J 2	JUMPER	2P	
R 24	10R	CHIP 1206 1%		J 3	JUMPER	2P	
R 25	10R	CHIP 1206 1%		J 4	JUMPER	2P	
R 26	10R	CHIP 1206 1%		J 5	JUMPER	2P	
R 27	10R	CHIP 1206 1%					
R 28	10R	CHIP 1206 1%					
R 29	10R	CHIP 1206 1%					
R 30	0.005R 1W	OAR					
R 31	0.005R 1W	OAR					
R 32	0.005R 1W	OAR					
R 33	0.005R 1W	OAR					
R 34	0.005R 1W	OAR					
R 35	0.005R 1W	OAR					
R 36	0.005R 1W	OAR					
R 37	0.005R 1W	OAR					
R 38	4.7K	NTC					
C 1	10UF 63V	ELCO	2MM 5*7MM				
C 2	10UF 63V	ELCO	2MM 5*7MM				
C 3	470NF	CHIP	1206 10% X7R				
C 4	22UF 16V	ELCO	2MM 5*7MM				
C 5	100UF 25V	ELCO	2.5MM				
6.3*11MM							
C 6	100NF	CHIP	0805 5% NP0				
NAME	TYPE	SPECIFICATIONS	REMARK	NAME	TYPE	SPECIFICATIONS	REMARK
C 7	22PF	CHIP 0805	5% NP0	T 1	BC857	SOT-23	
C 8	22PF	CHIP 0805	5% NP0	T 2	BC847	SOT-23	
C 9	100NF	CHIP 0805	5% NP0	T 3	IRF1405	TO-220	
C 10	100NF	CHIP 0805	5% NP0	T 4	IRF1405	TO-220	
C 11	47UF 25V	ELCO 2MM 5*7MM		T 5	IRF1405	TO-220	
C 12	100NF	CHIP 0805	5% NP0	T 6	IRF1405	TO-220	
C 13	1NF	CHIP 0805	5% NP0	T 7	IRF1405	TO-220	
C 14	100NF	CHIP 0805	5% NP0	T 8	IRF1405	TO-220	
C 15	2.2NF	CHIP 0805	5% NP0	T 9	IRF1405	TO-220	
C 16	100NF	CHIP 0805	5% NP0	T 10	IRF1405	TO-220	
C 17	100NF	CHIP 0805	5% NP0	T 11	IRF1405	TO-220	
C 18	10UF 20V T	ANT CHIP-C		T 12	IRF1405	TO-220	
C 19	10UF 20V	TANT CHIP-C		T 13	IRF1405	TO-220	
C 20	100NF	CHIP 0805	5% NP0	T 14	IRF1405	TO-220	
C 21	100NF	CHIP 0805	5% NP0	XT 1	22.1184MHZ	HC-49/U	
C 22	10UF 20V	TANT CHIP-C		1	BRG-200	PCB	
C 23	10UF 20V	TANT CHIP-C		1	KOELBLOK	20X30X100	
C 24	1000UF 50V	ELCO	7.5MM	1	PCB	BRG-200	
25*16MM				2	IC-VOET	10P SIL	
C 25	1000UF 50V	ELCO	7.5MM	2	BEUGEL	ALU	2X10X100MM
25*16MM				3	SLEEVE	2.4MM	ZWART
				L=20MM			
				3	ISOLATIE VEL	22X100MM	
				6	ISOLATIE RING	TO-220	
				6	BOUT	M3 X 8	KBC
				7	BOUT	M3 X 40	KKV
				7	MOER	M3	
				7	TANDRING	M3	
				8	MOER	M4	
				8	RING	M4	
				8	TANDRING	M4	
				8	BOUT	M4 X 10	KBC



Wordt vervolgd

De nieuwe Hoofdcatalogus 2003

Prijs € 3.75

Alles op het gebied van:

- Computer & Kantoor
- Communicatie
- Zendapparatuur
- Satelliet • Audio • Video
- Licht & Geluid
- Auto-HiFi • Auto-accessoires
- Gereedschap • Soldeertechniek
- In en om het huis
- Energie & Milieu
- Modelbouw • Modelspoor
- Meettechniek • Netvoedingen
- Bouwpakketten
- Componenten



Ruim 960 pagina's boordevol elektronica en techniek

Ja, ik wil graag de nieuwe Hoofdcatalogus 2003 ontvangen

en ik machtig Conrad Electronic Nederland om € 3.75 (als bijdrage in de verzendkosten) van onderstaande bank- of girorekening af te schrijven

Naam M/V

Plaats

Bedrijfsnaam

Rekeningnummer

Adres

Postcode

Handtekening

Knip de bon uit en stuur hem op naar: Conrad Electronic • Antwoordnummer 1001 • 7500 VB Enschede