

The background of the entire page is a detailed, high-contrast black and white image of a microprocessor circuit board. The intricate patterns of traces, pads, and components are visible throughout. At the top, there is a dark horizontal band containing the text 'radio bulletin + computer bulletin' and a large, stylized 'RB+CB' logo. In the lower-middle section, the title 'de microprocessor van morgen' is printed in a bold, sans-serif font.

radio bulletin +
computer bulletin

RB+CB

**de microprocessor
van morgen**



teleac

De microprocessor van morgen is een uitgave van De Muiderkring b.v., Bussum en Drukkerij Onnes b.v., Amersfoort in samenwerking met de Stichting Teleac, Utrecht, ten behoeve van de compilatiecursus microprocessors 1 en 2.

Auteurs: H. J. C. Otten
P. G. J. de Beer
Redactieleiding: W. Hesselink
Vormgeving: Menno Scheepstra
Druk: Onnes b.v., Amersfoort
Exploitatie: D. Smaalders

Alle rechten voorbehouden.

Overname van artikelen of gedeelten daaruit is uitsluitend toegestaan na schriftelijke toestemming van de uitgevers.



Uitgeverij De Muiderkring b.v.
Postbus 10
1400 AA Bussum
Tel. 02159-31851



Drukkerij Onnes b.v.
Postbus 43
3800 AA Amersfoort
Tel. 033-30544

Neem een abonnement op Radio Bulletin. Voor een vol kalenderjaar is de prijs f 38.-. Stuur meteen een kaartje of bel even naar De Muiderkring b.v. Vermeld naam, adres en postcode. De betaling van het abonnementsgeld geschiedt uitsluitend door middel van de toegezonden accept-girokaart.

Radio Bulletin en de computer

Om ons heen zien we, hoe de mens in steeds sterkere mate de wereld, waarin hij leeft, beïnvloedt. Dit heeft tot gevolg, dat die wereld verandert, soms buiten de controle en de kennis van de initiatiefnemer om. Om die controle terug te winnen dienen de veranderingsprocessen te worden onderzocht en aan de hand daarvan gecorrigeerd. Dat dit soms zeer complex is zal iedereen duidelijk zijn. In veel gevallen is de mens niet meer in staat dit zelf te doen en moet hij zijn toevlucht nemen tot machines, die door een samenbundeling van menselijke intelligentie in korte tijd een probleem kunnen oplossen. Zo'n machine is een computer. Slechts door een klein aantal mensen begrepen en toegepast, is de computer al ver in de hedendaagse wereld doorgedrongen. Voor velen is de computer echter nog een onbekend en misgewaardeerd ding. Om daar verandering in te brengen kan men zelf informatie zoeken of zich laten voorlichten over al hetgeen, waartoe een computer wel of niet in staat is. Men raakt zo bepaalde vooroordelen kwijt en vervangt die door werkelijke kennis. Uiteindelijk zal dit leiden tot een integratie van de computer in onze maatschappij, op dezelfde wijze waarop zoveel andere nieuwigheden zijn voorgegaan. Ook computers zullen eens een normaal onderdeel van ons leven vormen en te vinden zijn in tal van zaken, waarbij nu nog veel tijd en energie verloren gaan. Een goede manier om zichzelf informatie te verschaffen over de computerontwikkeling is er over lezen. Wij als blad Radio Bulletin hebben daarom een apart deel aan deze ontwikkeling gewijd: Computer Bulletin. Hierin vindt u informatie, die is gericht op twee groepen. Enerzijds zijn er artikelen voor diegenen, die niet direct met computers te maken hebben, doch die belangstelling hebben voor de toegepaste techniek, de mogelijkheden ervan inzien en de computer min of meer tot een hobby hebben gemaakt. Wij geven informatie over de bouw (bouwprojecten), het gebruik (programma's en programmastructuur, cursussen) en de aankoop van computers (testen), waardoor de hobbyist alsook de geïnteresseerde een duidelijk inzicht krijgt. Anderzijds richten wij ons ook op de professionele gebruiker van computers middels onze rubrieken met industriële informatie (microgebeuren) en besprekingen van nieuwe producten.

De 16 bits microprocessor

De in de Teleac-cursus behandelde 8080 microprocessor van Intel is waarschijnlijk de meest gebruikte 8 bits microprocessor, maar wordt nu langzaam aan verdrongen door zijn opvolgers zoals de 6809 en de Z80 die meer mogelijkheden bieden. Een nieuw soort microprocessor, de 16 bits microprocessor, zal in de komende jaren belangrijk worden als het hart van krachtige microcomputers. Een viertal van deze microprocessors, de TMS 9900 van Texas Instruments, de 8086 van Intel, de Z8000 van Zilog en de 68000 van Motorola willen wij in de volgende vier artikelen aan u voorstellen. Het is te verwachten dat de 16 bits microprocessor de 8 bits versies zullen verdringen als de computer hogere programmeertalen moet verwerken. Bij het ontwerpen van de 16 bits microprocessor is meer rekening gehouden met de eisen van een hogere programmeertaal dan bij de 8 bits microprocessor die eigenlijk als procesbestuurder is ontwikkeld. De verbeterde instructieset leidt tot compacte en efficiënte programma's. In feite is de 16 bits microprocessor niet meer een microprocessor maar een miniprocessor. Bij veeleisende real-time toepassingen is de 16 bits microprocessor ook in het voordeel. De 16 bits brede databus geeft een hogere dataverwerkingssnelheid, nog ondersteund door een efficiënte instructieset. Procesbesturingstoepassingen waar de 8 bits microprocessor te kort schiet kunnen met de 16 bits microprocessor wel worden gerealiseerd. De opkomst van deze geavanceerde microprocessors hoeft niet te betekenen dat de 8 bits microprocessor zal verdwijnen. Voor vele toepassingen is de 8 bits microprocessor krachtig genoeg. We zien nu al in randapparatuur van 16 bits microcomputers een 8 bits microprocessor als bestuurder. Voorlopig is de 8 bits microcomputer ook goedkoper dan de 16 bits versie. Wat opvalt als we de 8 en 16 bits microprocessor vergelijken is dat ze veel meer geheugen kunnen adresseren (kilobytes tegenover megabytes) en veel meer registers bevatten, naast de 16 bits structuur. Ook de stack en interrupt-mogelijkheden zijn uitgebreid, evenals de mogelijkheden van controle van een programma. Ook zijn de meeste 16 bits microprocessors voorbereid op multi-processing (naast elkaar werkende processoren).

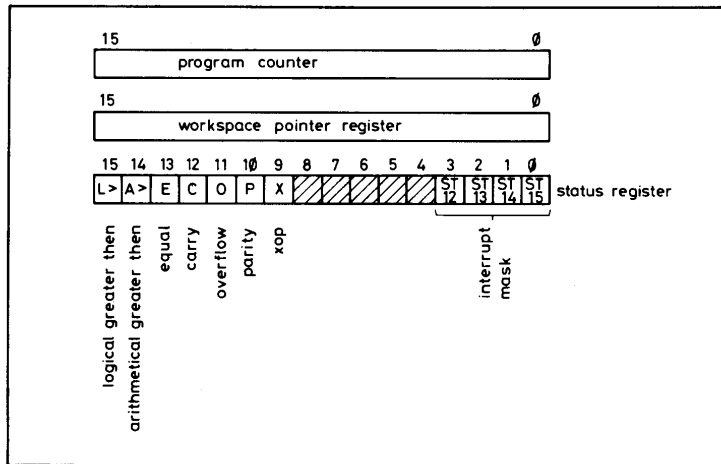
TMS 9900

Algemeen

De TMS 9900 is een 16 bits microprocessor van Texas Instruments. Hij is gevat in een 64 pins behuizing, mede een gevolg van het feit dat de 15 bits adresbus en de 16 bits bidirectionele databus gescheiden zijn uitgevoerd. De opzet van de 9900 is rechtlijnig en doorzichtig. Het direct adresseerbare geheugenbereik beslaat 64 Kbytes ofwel 32K woorden van 16 bits. De klok moet extern worden toegevoerd en heeft een maximale frequentie van 3,3 MHz. De NMOS-chip wordt gevoerd met +5 V, +12 V en -5 V. Voor de sturing van het geheugen zijn de normale controlesignalen aanwezig. Ook langzame geheugens kunnen met de processor worden gesynchroniseerd. De processor is geschikt voor direct memory access (DMA).

Programmeermodel

De 9900 heeft een speciale register structuur. Aanwezig zijn een Program Counter (PC), een Status Register (ST) en een Workspace Pointer register (WP), zie afb. 1. De eerste twee registers spreken voor zich. Het laatste register wijst naar een plaats in het geheugen, waar zich een set van zestien opeenvolgende locaties bevindt, die op dat moment dienst doen als 16 bits general purpose registers. Elke plek in het geheugen kan worden gebruikt als workspace. De 9900 dient ten alle tijden voorzien te zijn van RAM. Het WP register verwijst naar de geheugenlocatie, waar zich op dat moment het eerste register R0 bevindt. Tijdens de uitvoering van een programma adresseert de processor een willekeurig register door het rangnummer ervan op te tellen bij de inhoud van het WP register. Elk van de zestien registers in de workspace kan dienen als index of address register. Feitelijk vinden alle operaties tussen geheugen en registers plaats in het geheugen zelf. Dit wordt de „memory to memory” structuur van de TMS9900 genoemd. Het status register is 16 bits lang en bevat zeven flags en vier



interrupt-mask bits. Onderscheiden worden een equal, carry, overflow en parity flag, een flag die aangeeft, wanneer een extended operation instruction (XOP) is uitgevoerd, een flag „logical greater then” en „arithmetical greater then”.

Stack

De 9900 kent geen conventionele stack, maar maakt hiervoor gebruik van een alternatief. Om belangrijke gegevens tijdens een subroutine of interruptroutine tijdelijk op te slaan, worden deze achtergelaten in de workspace van het verlaten programma. Door wijziging van de program counter, het status register en het workspace pointer register kan verder worden gewerkt met de gegevens in een nieuw gekozen workspace. Na afwerking van een routine kan door terug halen van de oude SP, ST en WP worden verder gegaan met de inhoud van de vorige workspace. Dit wordt door Texas Instruments omschakeling van programma omgeving (context switching) genoemd. Een vectoradres bevat dan ook niet alleen een nieuwe program counter maar ook een nieuwe workspace pointer en beslaat in totaal vier bytes.

Interrupts

De 9900 kent zestien interrupt niveaus, ieder met een eigen vector veld. Niveau 0 heeft de hoogste prioriteit en is gereserveerd voor de reset functie. Wanneer een interrupt wordt veroorzaakt, wordt de interruptcode, aangeboden op vier pennen van de processor, vergeleken met de interrupt-mask code in de vier bits van

Afb. 1 Het programmeermodel van de TMS9900.

het status register. Is het niveau van het binnengekomen interrupt kleiner of gelijk aan het niveau van de mask code, dan wordt het interrupt gehonoreerd en vindt via een vector een omschakeling van programma omgeving plaats. De oude WP, PC en ST worden opgeslagen in de registers 13, 14 en 15 van de nieuwe workspace. Vervolgens verlaagt de 9900 de interrupt mask code, zodat alleen interrupts met een hogere prioriteit nog in aanmerking komen. Daarbij is het niet mogelijk de processor te interrumperen, voordat de eerste instructie van de servicroutine is uitgevoerd.

Datatypes

De 9900 kent de volgende datatypes:
— bit
— byte (8 bits)
— word (16 bits)

Adresseringswijze

De 9900 kent de volgende methoden om operands in het geheugen te adresseren.
— register direct, de operand bevindt zich in een register in de workspace
— register indirect, het register in de workspace bevat het auto increment adres van de operand. Na het ophalen van de operand wordt de register inhoud met 1 (byte mode) of met 2 (word mode) verhoogd
— symbolic, het woord, volgend op de instructie, bevat het adres van de operand
— indexed, het woord, volgend op de instructie, bevat een basis adres. Register Rn in de workspace bevat de index. De som van index en basis

- adres wijst naar het adres van de operand
- immediate, het woord, volgend op de instructie, bevat de operand
 - program counter relative, de 8 bits offset met teken in de lower byte van de instructie wordt met twee vermenigvuldigd en opgeteld bij de inhoud van de program counter. Het resultaat wordt in de program counter geplaatst (jump, branch, enz.)
 - CRU relative, de 8 bits offset in de lower byte van de instructie wordt opgeteld bij het basis adres van de CRU (bit 3 tot en met 14 van R12 in de workspace). Het resultaat is het adres van een CRU bit.

LDCR (Load Communications Register) en STCR (Store Communications Register). De manier, waarop het uiteindelijke adres tot stand komt voor een enkel CRU bit is als volgt. De instructie bevat een opcode en een offset met teken. Het basis adres bevindt zich in R12 van de workspace. De bepaald bit wordt geselecteerd door optelling van de offset en het basis adres. Voor de adressering van groepen CRU bits bevat de instructie een opcode, vier bits, waarmee de grootte van een groep wordt aangegeven en dan het adres volgens een van de adresseringsmethoden.

Instructieset

Naast de gangbare kent de 9900 een aantal speciale instructies. Compare Ones Corresponding bijvoorbeeld (COC) test de destination of er een '1' staat op die plaatsen, waar een '1' staat in het source adress. Als dat zo is, wordt bit ST2 van het status register gezet. De tegenhanger is Compare Zero Corresponding (CZC). Deze test of '0' aanwezig is op de plaatsen waar een '1' staat in het source adress. Verder kent de 9900 de instructies multiply en divide. De instructie multiply vermenigvuldigt twee 16 bits woorden zonder teken met als resultaat een 32 bits woord zonder teken. Divide deelt een 32 bits woord zonder teken door een 16 bits woord met als resultaat een 16 bits woord zonder teken. De rest van deze bewerking wordt in de

locatie, volgend op die van het quotient, geplaatst. Wanneer de source kleiner is dan de destination, wordt de operatie niet uitgevoerd en de overflow flag gezet. De executie tijd voor de bovenvermelde multiply instructie bedraagt minimaal 52 clockcycles x 330 ns cycletime = 17,3 μ s. De 9900 kent vijf externe instructies. Wordt één van deze instructies uitgevoerd, dan verschijnt een specifieke code op de meest significante adreslijnen samen met een klokpuls. De instructie XOP is een software interrupt en resulteert in een omschakeling van programma omgeving op ongeveer dezelfde wijze als een normaal interrupt.

IC familie

De TMS9900 vormt de basis van een groot aantal afgeleide processoren. De 9980 en 9981 zijn 8 bits processoren met dezelfde eigenschappen als de 9900. Zij kunnen echter 16 Kbytes adresseren, hebben een 2048 bits CRU, één klokingang en zijn gevat in een 40 pins behuizing. De 9940 is ook een afleiding van de 9900, maar met 2 Kbytes EPROM en 128 bytes RAM op de chip, meestal georganiseerd als vier groepen van zestien 16 bits registers. De bus is van buiten af niet toegankelijk, wel zijn 256 CRU bits adresseerbaar. De 9940 leent zich bijzonder goed voor multi-processor toepassingen, doordat volgens een zelf te bepalen protocol seriële data tussen processoren kan worden uitgewisseld. De 9904 is een kristalgenerator, die de vier klokfasen voor de 9900 opwekt. Bovendien is hierop een gesynchroniseerde reset uitgang aanwezig. De 9901, een Programmable System Interface (PSI), voorziet in de uitbreiding van de in/uit mogelijkheden van de 9900. Hij wordt gestuurd door 32 bits van het CRU veld en biedt een parallel in/uit poort, 14 interrupt request lijnen en een programmeerbare timer.

Ondersteuning

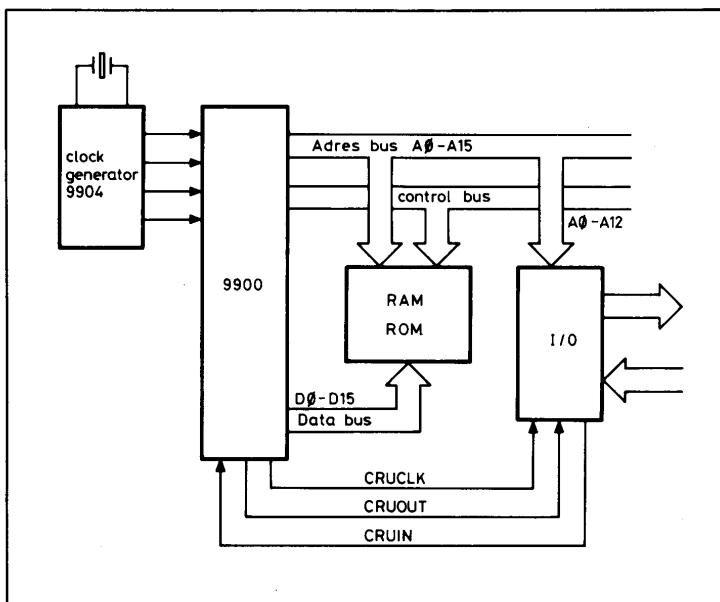
Voor de TMS9900 bestaan de volgende ontwikkelsystemen. De CS990 is een prototyping system met cassettes als middel om programma's te laden. Een floppydisk systeem is de FS990, net als de FS990 voorzien van de 990/4 micro-computer. Daarnaast bestaat het AMPL systeem, geschikt voor simulatie. De 990/10 tenslotte is een multi-user systeem.

Inlichtingen: Texas Instruments, Amstelveen.

In/uit

De 9900 is voor de in- en uitvoer van data voorzien van een zogenoemd Communications Register Unit (CRU). Hiermee kunnen direct 4096 input en 4096 output bits worden geadresseerd. Voor de selectie van één bit of groepen van één tot zestien bits wordt gebruik gemaakt van de adreslijnen A3 tot en met A14. Er zijn drie instructies die op een enkel bit betrekking hebben, SBO (Set Bit to One), SBZ (set bit to zero) en TB (Test Bit). Er zijn twee instructies om groepen van één tot zestien bits uit te wisselen met het geheugen. Dat zijn

Afb. 2. Een computersysteem met de TMS9900.



De 8086

Algemeen

De 8086 van Intel is een 16 bits processor van de nieuwe generatie. Het direct adresseerbare geheugenbereik bedraagt 1 Mbyte. De adres- en databus zijn gemultiplexed. De chip is in een 40 pins behuizing ondergebracht. De extern op te wekken klok heeft een frequentie van 5 MHz en de 8086 werkt met een enkele voedingsspanning van 5 V. Inwendig is de processor te splitsen in de Bus Interface Unit (BIU) en de Execution Unit (EU). De BIU verzorgt alle bus operaties, zoals instruction fetch, operand fetch en store, en address relocation. Belangrijk hierbij is, dat de BIU een soort tussenbuffer vormt van het type FIFO (First In-First Out). De BIU is in staat tot maximaal zes instructies uit het geheugen te halen, die tijdelijk op te slaan (queuing) en vervolgens zo efficiënt mogelijk door te spelen aan de EU. Dit deel van de processor draagt zorg voor de eigenlijke uitvoering van de instructie, waarvan het resultaat weer overgedragen wordt aan de BIU. Het geheugenbereik is opgedeeld in segmenten van 64 Kbytes. Er bestaan zestien van deze segmenten, waarvan de processoren op een bepaald moment vier gebruikt, elk met een eigen Segment Pointer. Het 16 bits woord in een segment pointer register vertegenwoordigt de 16 meest significante bits van het 20 bits fysische adres. Een segment kan aldus op elke geheugenplaats beginnen, mits deze deelbaar is door zestien. Het fysische adres ontstaat door bij de inhoud van het segment pointer register een offset adres van 16 bits op te tellen.

Programmeermodel

De 8086 beschikt over drie groepen van elk vier 16 bits registers, zie afb. 1. De eerste groep omvat de Accumulator (AX), het Base (BX), het Count (CX) en het Data (DX) register. Dit wordt de General register of HL groep genoemd. De Stack Pointer (SP), Base Pointer (BP), het Source Index (SI) en het Destination Index (DI) register behoren tot de Pointer en Index groep (P en I). De reeds genoemde Segment Groep (S) omvat het Code (CS), Data (DS), Stack (SS) en Extra Segment (ES) register. Verder is er een Flag register met negen flags, de F groep en de Instruction Pointer (IP). De flags zijn onder te verdelen in zero, sign, overflow, carry, auxiliary carry en parity. De direction flag regelt de richting van string manipulaties. De trap flag brengt de processor in de single step mode. De interrupt enable flag staat wel of geen interrupts toe.

Stack

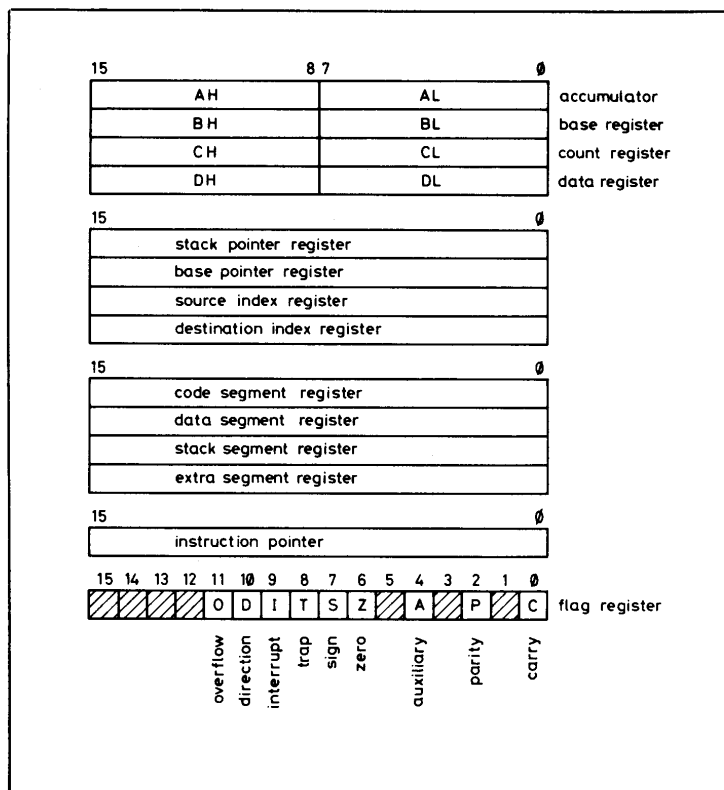
De 8086 beschikt over een stack pointer en een Stack Segment register. Het SS register bepaalt, welke 64 Kbytes in het

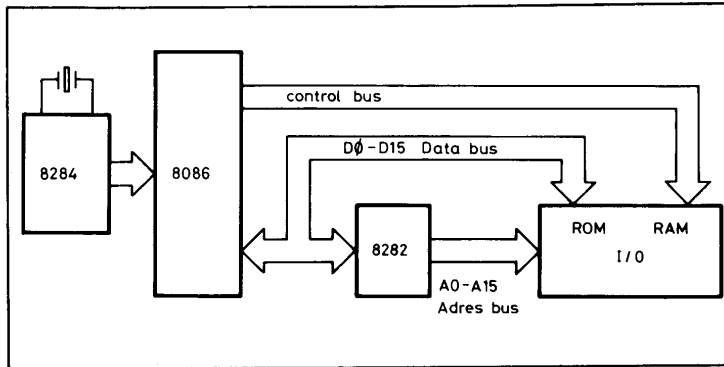
geheugenbereik beschikbaar is voor de stack. Een bepaalde plaats in de stack wordt aangeduid door de stack pointer. Alle stack operaties zijn aldus relatief ten opzichte van het SS register.

Interrupts

Interrupts kunnen door hardware of software worden veroorzaakt. De non-maskable interrupt lijn is flank gevoelig, de interrupt request lijn is niveau gevoelig. Software interrupts hebben de hoogste prioriteit. Er zijn 256 interrupt vectoren, waarvan de eerste vijf zijn gereserveerd voor speciale interrupts, zoals delen door nul, single step mode, non-maskable interrupts en software interrupts. Een vector bestaat uit twee 16 bits woorden. In de eerste staat de nieuwe inhoud voor het Code Segment register, in de tweede staat de nieuwe program counter.

Afb. 1 Programmeermodel van de 8086.





Afb. 2. Minimaal systeem met de 8086.

Datatypes

De 8086 kent de volgende datatypes:

- packed BCD
- unpacked BCD
- byte (8 bits)
- word (16 bits)

Adresseringswijze

De 8086 kent de volgende methoden om een operand in het geheugen te adresseren:

- direct, de 16 bits displacement, volgend op de instructie, wordt opgeteld bij de inhoud van het DS register. Dit resulteert in het adres van de operand
- implied, de inhoud van het DI of SI wordt opgeteld bij de inhoud van het DS register. Het resultaat is het adres van de operand
- direct indexed, een 8 of 16 bits displacement wordt opgeteld bij de inhoud van het DI of SI en dit weer bij de inhoud van het DS register. Het resulterende adres bevat de operand
- base relative indexed, gelijk als de voorgaande methode, alleen wordt hierbij nog de inhoud van het BX register gevoegd
- program relative, een 8 bits displacement met teken wordt opgeteld bij de inhoud van de program counter.

Een bijzondere manier van adresseren is mogelijk bij string manipulaties. Het SI opgeteld bij het DS register vormt het source address en het DI opgeteld bij het ES register vormt de destination van een string operand.

Instructieset

De 8086 kent een groot aantal instructies, mede door zijn adresseringswijzen.

Er zijn de reeds genoemde primitieve string manipulaties, die zowel voor- als achterwaarts kunnen worden uitgevoerd. Door een repeat prefix kunnen

instructies worden herhaald, waarbij de program counter onaangetast blijft. Er is voorzien in een conditionele sprong, afhankelijk van Boolean functies. Er zijn vier loop-until instructies. De instructie escape geeft andere processoren de gelegenheid instructies van de 8086 over te nemen. De bus-lock instructie maakt multiprocessor netwerken mogelijk. De 8086 kan BCD getallen, bytes en 16 bits woorden met of zonder teken vermenigvuldigen en delen. De benodigde tijd om twee 16 bits woorden zonder teken met elkaar te vermenigvuldigen bedraagt $124 \text{ clockcycles} \times 200 \text{ ns cyclotime} = 14.8 \mu\text{s}$.

In/uit

De 8086 kent 64 Kbytes ofwel 32K woorden in/uit poorten. Deze kunnen worden geadresseerd middels variabele in/uit instructies via het DX register. De eerste 256 bytes kunnen met directe in/uit instructies worden bestuurd. Om bij memory-mapped in/uit onderscheid te maken tussen een in/uit poort en een geheugenadres genereert de 8086 het signaal M/I/O. In/uit poorten worden op dezelfde wijze geadresseerd als geheugenlocaties.

IC familie

De 8086 kent een minimum en maximum configuratie. In de minimum mode worden door de processor een aantal direct toepasbare controle signalen gegenereerd. In de maximum mode wordt inwendig omgeschakeld naar een aantal timing en controle signalen, die door een extra IC, de 8288 bus controller, kunnen worden gedecodeerd voor de besturing van een complex systeem. Voor busbuffering dragen de 8282 latch

en de 8286 transeiver zorg. Het kloksignaal wordt gegenereerd door de 8284 klokgenerator. Het systeem kan worden uitgebreid met een 8259 programmable interrupt controller en het verdere gamma aan geheugen en peripheral IC's van Intel.

Ondersteuning

Voor ontwikkelingsdoeleinden levert Intel een aantal modellen van de Intellect Series 2, te weten de 220, 230 en 240. Model 220 bevat een enkele kaart met CPU, 32 Kbytes RAM en 4 Kbytes ROM. Bij opstarten wordt een zelftest gedaan. Er zijn interfaces aanwezig voor papertape reader/puncher, printer en PROM-programmer. Ingebouwd zijn een CRT en floppy disk drive. Gewerkt wordt met diskette operating system ISIS 2. Model 230 heeft 64 Kbytes RAM extra en kan hogere programmeertalen aan als PL/M en Fortran. Model 240 werkt bovendien nog met Basic en Cobol. Uitgebreid kan worden middels een Expansion Chassis met een tweetal floppy disk drives en/of een PROM-programmer. Ook is de ICE 86 (In Circuit Emulator) verkrijgbaar, waarmee de gebruiker zijn ontwerp kan testen middels het Intellect systeem. De speciale hogere programmeertaal PL/M 86 is een compiler die relocatable en linkable object code levert. Verder bestaat er nog een single board microcomputer, de SDK 86, met 8086, toetsenbord, 8 LED's uitlezing, PROM, RAM, USART en parallelle I/O poort.

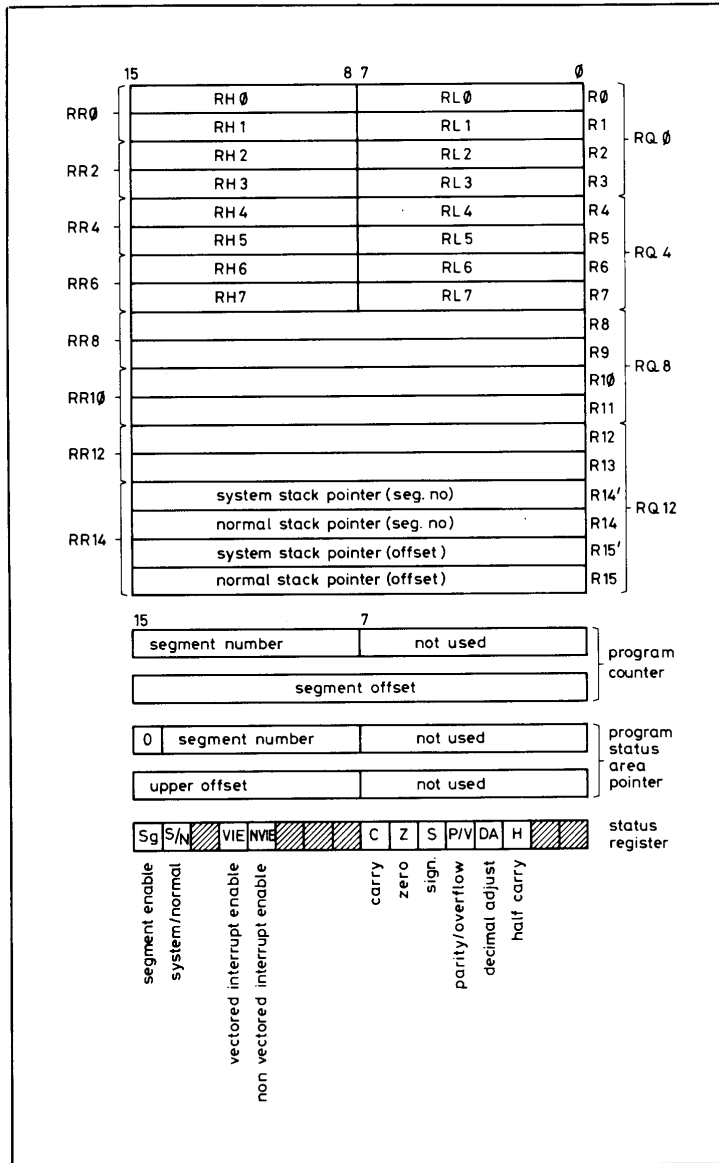
Inlichtingen: Intel, Rotterdam.

Z8000

De 16 bits microprocessor van Zilog, de ontwikkelaar van de populaire Z80, is de Z8000. Van deze microprocessor zijn twee versies beschikbaar, de Z8001 en de Z8002, die onderling verschillen in de hoeveelheid te adresseren geheugen. De Z8000 is een register georiënteerde machine met 16 registers van 16 bits. De processor kan in twee toestanden werken, de system of de normal toestand. In de normal toestand zijn een aantal instructies niet toegestaan, die dat in de system toestand wel zijn. Dit is gedaan om alleen het operating system, dat de computer in de system toestand bestuurt, de controle over de machine te geven en te beveiligen tegen desastreuze gevolgen van applicatieprogramma's. Het geheugengebied is opgedeeld in 128 segmenten, door 7 bits bepaald in de program counter. Elk segment bestaat uit 64 Kbytes, de plaats in een segment wordt door een 16 bits register in de program counter bepaald. Met behulp van een aantal statuslijnen is het te adresseren gebied verdeeld in stack, instructiecode en datagebied, terwijl de system en de normal toestand ieder een volledig eigen adresgebied hebben. De totaal te adresseren hoeveelheid geheugen komt hiermee op 48 Mbytes (megabytes). De Z8002 heeft geen segment mogelijkheid en kan daardoor maar 384 Kbytes adresseren. De 16 bits databus en de laagste 16 adreslijnen worden gemultiplext uitgevoerd. Voor de segmentatie is een MMU (Memory Management Unit) nodig, waar de 7 segmentlijnen heen worden gevoerd. De Z8000 heeft een klok van 4 MHz en een 5 V voeding nodig. Om makkelijk dynamische RAM te kunnen gebruiken is een refresh counter ingebouwd.

Programmeermodel

In afb. 1 is de registerorganisatie van de Z8001 te zien. Er zijn 16 stuks 16 bits registers die alle als accumulator zijn te gebruiken en op een na als indexregister. Een register is te gebruiken als 8 bits register (de eerste 8 als 16 stuks 16 bits register), 16 bits register, 32 bits register (paren van 2 stuks 16 bits registers) en afs



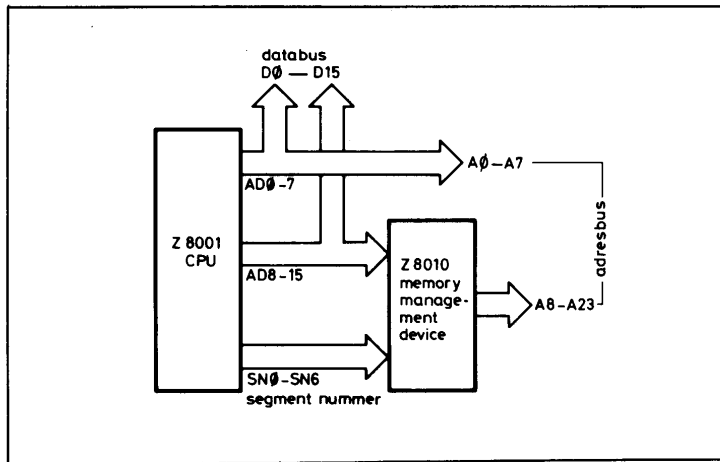
64 bits register (4 stuks 16 bits registers). De al besproken program counter bestaat uit twee delen: een 16 bits offset in een segment en een 7 bits segment register. De programma status bevat de flags en de controle bits. De flags zijn de carry, sign, zero, parity/overflow, decimal adjust en halfcarry. De controle bits zijn interrupt enable bits (vectored en non-vectored), het system/normal bit en het segment enable bit. Door het

Afb. 1. Het programmeermodel van de Z8001

segment enable bit is het mogelijk programma's van de niet gesegmenteerde Z8002 op de wel gesegmenteerde Z8001 te draaien door de segmentmogelijkheid te onderdrukken.

Stack

Er zijn twee stack pointers, die bij de



system of normal toestand horen. Deze stacks zijn overal in het geheugen te plaatsen, door de statussignalen is aan de stack een geheel eigen ruimte toegewezen, de scheiding tussen system en normal geeft een verdubbeling van de stack ruimte.

Interrupts

Bij de Z8000 wordt onderscheid gemaakt tussen trap's, dit zijn interrupts die door de microprocessor worden veroorzaakt zoals bij niet bestaande instructies, delen door nul etc. en echte interrupts die van buiten komen en niet met de microprocessor zijn gesynchroniseerd. Interrupts kunnen van het type non-maskable of maskable zijn en vectored of non-vectored. Als een interrupt of trap optreedt wordt de programmastatus opgeborgen op de stack met daaraan toegevoegd een 16 bits woord met de identificatie van de interrupt of trap. Daarna wordt een nieuw status register geladen van een adres dat wordt aangewezen door de PSAP (Program Status Area Pointer).

Datatypes

De instructies van de Z8000 kunnen met de volgende datatypes werken:

- bit
- BCD (4 bits)
- byte (8 bits)
- word (16 bits)
- long word (32 bits)
- byte string
- word string

Adresseringswijzen

De Z8000 kent 8 adresseringswijzen:

- register, de operand is in het register te vinden

Afb. 2. De samenwerking tussen Z8001 CPU en de Memory Management Unit

- indirect register, het register bevat het adres van de operand
- direct address, het adres van de operand is na de instructie te vinden
- indexed, het effectieve adres van de operand is te vinden door het directe adres bij het register op te tellen
- immediate, operand na instructie te vinden
- base address, na de instructie is een offset te vinden die bij een adres in het register moet worden opgeteld
- base indexed, een register bevat het adres waarbij een offset van een ander register wordt opgeteld
- relative address, na de instructie staat een offset die bij de program counter wordt opgeteld.

In/uit

De Z8000 heeft een speciale in/uit ruimte, aangegeven door de statuslijnen. Voor de in/uit is een ruimte van 64K beschikbaar. Er zijn twee soorten in/uit instructies, de standaard input, output en blok in/uit, en speciale, die data van en naar de memory management unit verplaatsen. De standaard in/uit instructies kunnen zowel met 8 als met 16 bits instructies werken.

Instructieset

Er zijn 110 basis typen instructies, met de 8 adresseringswijzen en de 7 datatypes levert dit in totaal 414 instructies op. Er is getracht een zo uniform mogelijke instructieset te maken, hetzelfde soort instructie kan met vele datatypes en adresseringswijzen werken. De

instructieset is uiterst krachtig en geschikt voor gestructureerde talen. Opmerkelijke instructies zijn de multiply en divide die met 16 en met 32 bits integers kunnen werken met een 32 respectievelijk 64 bits resultaat en een teken. De tijd die nodig is om twee 16 bits getallen te vermenigvuldigen tot een 32 bits getal met teken is 70 klokkcyclussen van 250 ns, dit is 17,5 μ s.

IC familie

Voor de Z8000 microprocessoren is een reeks speciale IC's ontwikkeld:

- Z8010 de Memory Management Unit
- Z8034 Universal Peripheral Controller, een slaaf Z8 CPU
- Z8036 Controller Input Output met drie timers en twee parallel in/uit poorten met handshake
- Z8030 Serial Communications Controller met twee seriële in/uit kanalen
- Z8038 FIFO buffer
- Z8060 twee kanaals uitbreiding van de Z8038
- Z6132 een 4K x 8 quasi statische RAM

Er wordt nog gewerkt aan DMA en CRT controllers.

Ondersteuning

Door Zilog wordt het Z8000 Development Module geleverd, een single board computer met 2K woorden EPROM en 16K woorden RAM, 2 RS232 poorten, 32 parallellijnen. Zowel de Z8001 als de Z8002 kunnen hiermee worden uitgetoet. De Development Module kan zelfstandig of in samenwerking met het Zilog MCZ of ZDS systeem werken. Er is een Software Development Package met Z8000 assembler etc.

Inlichtingen: Tekelec Airtronic, Zoetermeer.

De 68000

Motorola, de producent van de 6800, is ook op de markt gekomen met een 16 bits microprocessor: de 68000. Het is een 16 bits machine door de 16 bits databus maar intern is de structuur als een 32 bits machine opgebouwd. De 68000 kan in twee toestanden verkeren, de supervisor en de user mode. Deze twee toestanden zijn gecreëerd om een applicatieprogramma, dat uit de hand loopt, niet het gehele systeem in de war te laten schoppen, door dit in de user toestand te laten draaien. Alleen het operating system draait in de supervisor toestand waarin instructies zoals Stop en Reset zijn toegestaan. De in een 64 pins behuizing geplaatste 68000 werkt met een 5 V voeding en een 8 MHz klok. Er zijn 23 adreslijnen beschikbaar, wat een geheugen van 8 Mbytes geeft. Door de scheiding tussen user en supervisor toestand wordt dit verdubbeld tot 16 Mbytes. Een hulpmiddel voor het debuggen is de trace mode, waarin een programma stap voor stap wordt doorlopen. Bij het ontwikkelen van de 68000 is rekening gehouden met de uitbreiding tot een 32 bits microprocessor, waardoor de interne structuur, zoals de registers, 32 bits breed is.

Programmeermodel

Afb. 1 toont het programmeermodel van de 68000. Er zijn 17 stuks 32 bits registers, waarvan 8 data registers, 7 adres registers en twee stack pointers. De adres en data registers zijn ook als 16 bits registers te gebruiken. De data registers zijn als accumulator te gebruiken, de adres registers als base address registers. Alle registers zijn als index register beschikbaar. Er is een 16 bits status register met controle bits en flag's. Als flag's zijn aanwezig carry, overflow, zero, negative, en extend. De controle bits zijn een 3 bits interrupt-mask, de trace toestand en de supervisor toestand. De program counter is een 32 bits register waarvan alleen de laagste 23 bits worden gebruikt.

Stack

Er zijn twee stack pointers, voor de supervisor en de user toestand. Deze stacks zijn overal in het geheugen te plaatsen. Welke stack wordt gebruikt wordt aangegeven door het supervisor bit in het status register.

Interrupts

De 68000 kent twee typen interrupts, de van buiten komende interrupt en de trap die door de machine zelf wordt veroorzaakt. Een trap wordt door een instructie opgewekt maar ook door een illegale instructie of andere abnormale processor conditie zoals door nul delen. Interrupts kunnen van het type maskable of non-maskable zijn. Zowel

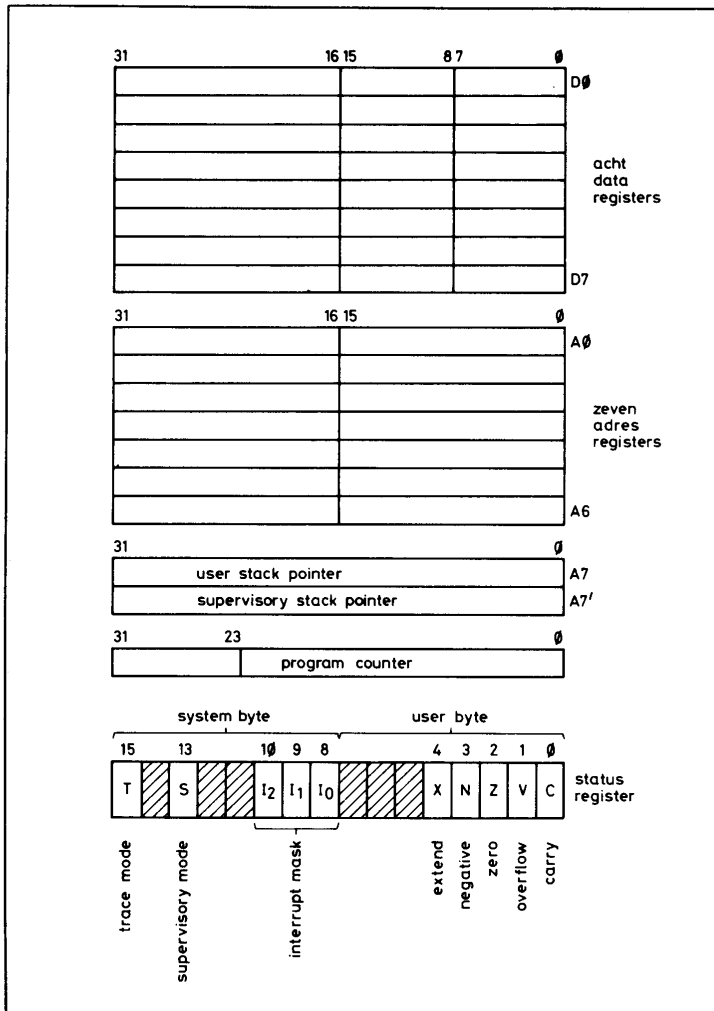
vectored als non-vectored interrupt mogelijkheden zijn aanwezig, 192 fully-vectored en 7 auto-vectored. Aan een interrupt kan een prioriteit worden toegekend, waarvoor drie bits in het status register en drie inputs zijn aangebracht.

Datatypes

De 68000 kan met de volgende datatypes werken:

- bit
- BCD (4 bits)
- byte (8 bits)
- word (16 bits)
- long word (32 bits)

Afb. 1 Het programmeermodel van de 68000



Adresseringswijzen

De adresseringswijzen van de 68000 zijn in drie groepen in te delen: register direct, memory address en special address. De adresseringswijzen zijn:

- data register direct, de operand is in het data register te vinden
- address register direct, het adres van de operand is in het adres register te vinden
- address register indirect, het adres van de operand is in het adres register te vinden, dat na de instructie staat de vorige instructie kan ook met post- en predecrement, displacement en index werken
- absolute short address, adres is te vinden na de instructie
- absolute long address, zelfde als vorige met volledig adres
- program counter with displacement, adres is som van de program counter en de 16 bits offset
- program counter with index, adres is som van de program counter en het register en de offset
- immediate, operand staat na instructie
- implied

In/uit

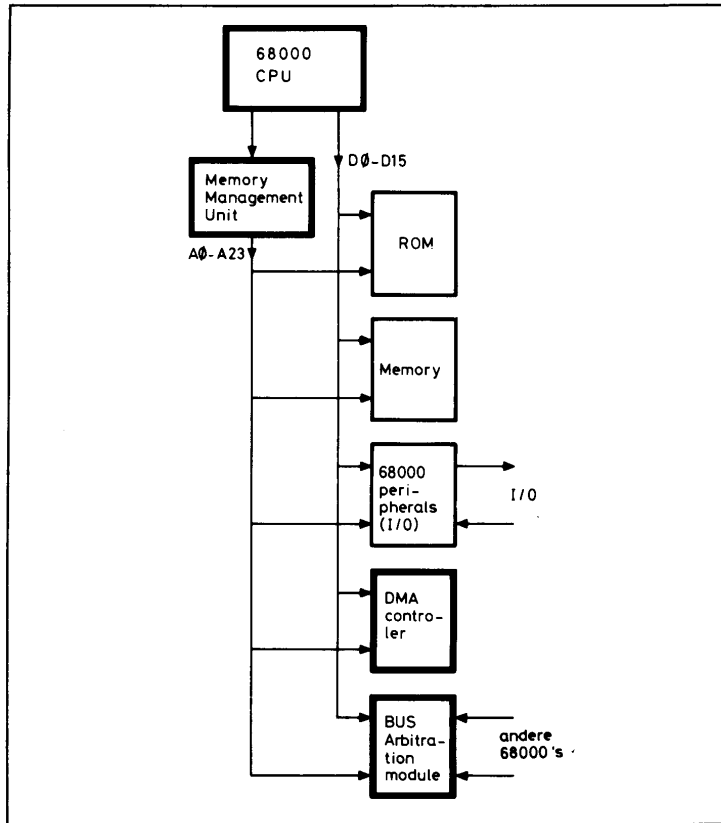
De 68000 maakt gebruik van memory-mapped in/uit, de in/uit adressen zijn onderdeel van het geheugengebied. Er is een hardware voorziening die het mogelijk maakt de bekende 6800 serie IC's te gebruiken zoals de PIA en ACIA. De asynchroon werkende 68000 moet daartoe aan de synchroon werkende 6800 IC's worden aangepast. Op deze wijze is er een grote groep in/uit IC's beschikbaar die goed en goedkoop verkrijgbaar zijn. Omdat de in/uit memory-mapped is, zijn alle instructies ook voor in/uit bewerkingen beschikbaar.

Instructieset

Bij het ontwikkelen van de instructieset is zoveel mogelijk rekening gehouden met gestructureerde programmeertalen zoals Pascal. Er zijn 50 basis instructies die met de 15 adresseringswijzen en de 5 datatypen in totaal meer dan 1000 instructies opleveren. Onderdeel van deze instructieset zijn multiply en divide instructies die twee 16 bits getallen bewerken tot een 32 bits getal met of zonder teken. De multiply signed instructie die 16 bits getallen tot een 32 bits getal vermenigvuldigt heeft hiervoor ongeveer 10 μ s nodig.

IC familie

Vrijwel alle IC's uit de 6800 serie zijn bij



de 68000 toe te passen, waaronder PIA, ACIA etc. Dit is een volledig programma IC's. Speciaal voor de 68000 zijn drie IC's ontwikkeld:

- DMAC, een Direct Memory Access Controller
- MMU, Memory Management Unit, voor segmentatie en geheugenbescherming
- BAM, Bus Arbitration Module, waarmee meerdere processoren kunnen samenwerken in een multiprocessor systeem.

Ondersteuning

Motorola is als ondersteuning voor het ontwikkelen van 68000 software begonnen met het design module MEX68KM, een single board computer met 32K RAM, 4K ROM, 2 RS232 poorten, twee parallel poorten en drie programmeerbare timers. Dit design module kan met een andere computer worden verbonden voor software ontwikkeling op die andere computer. Voor deze koppeling zijn verschillende cross assemblers beschikbaar op de

Afb. 2 Een computersysteem met de 68000.

Exorciser, IBM370 en de PDP11. Op de Exorciser kan ook een Pascal compiler draaien. Met de introductie van Exormacs heeft Motorola een nieuw ontwikkelsysteem voor de 68000 op de markt gebracht. Exormacs is ook ontworpen voor de toekomstige microprocessoren door een 32 bits bus. Ook kunnen multiprocessor toepassingen hiermee worden gerealiseerd. In Exormacs is 32K statische RAM, 128K dynamische RAM, een floppy disk board en diverse in/uit opgenomen. Voor Exormacs is een uitgebreid software pakket beschikbaar met een multitasking operating system, een Pascal compiler en een macro assembler, aangevuld met editors en debuggers. Het Exormacs systeem kan worden uitgebreid tot een multi-user systeem voor maximaal 8 gebruikers en met een harddisk geheugen.

Inlichtingen: Manudax, Heeswijk Diode, Utrecht.