

## Tweedimensionale luchtgelagerde tafel op granietbasis. Deel 3. Met microcomputersturing.

**Citation for published version (APA):**

Struik, K. G., & Lammers, M. G. M. (1986). Tweedimensionale luchtgelagerde tafel op granietbasis. Deel 3. Met microcomputersturing. *I-twee werktuigbouwkunde*, 2(5), 21-27.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1986

**Document Version:**

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

**Please check the document version of this publication:**

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

**Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

Met microcomputersturing

# Tweedimensionale luchtgelagerde tafel op granietbasis (3)

In het derde en laatste deel van deze reeks artikelen behandelen de auteurs het positioneringssysteem van de tafel. Ook komen de resultaten aan de orde van een aantal metingen inzake stijfheid, rechtheid en de nauwkeurigheid van de positionering.

In het algemeen zijn besturingen in twee typen te onderscheiden.

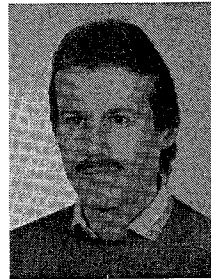
1) De stuurketen of open besturing. Een stuurketen is een keten die als regel uitgaat van de opgegeven waarde ( $n$ ) van één of meer systeem-variabelen en afhankelijk daarvan het systeem maar niet de zojuist genoemde systeemvariabelen, beïnvloedt. Het essentiële van het begrip sturen is het ontbreken van elke terugkoppeling: het effect van een stuurketen op een systeem is voor de stuurketen onmerkbaar. De stuurketen is open.

2) De regelketen of gesloten besturing. Een regelketen is een gesloten keten waarin de gemeten waarde van een geregelde grootte wordt vergeleken met de ingestelde waarde. Afhankelijk van het verschil van deze twee waarden wordt de geregelde grootte zodanig beïnvloed dat het verschil kleiner wordt. Het essentiële van het regelen is het meten van de te regelen grootte en het ingrijpen in het systeem zodanig dat deze grootte beïnvloed wordt.

Op grond van de volgende overwegingen is voor toepassing in de xy-tafel gekozen voor een gesloten besturing:

- Een stuurketen compenseert alleen het effect van een opgegeven storing. Als er behalve deze ingangsgrootte nog een aantal variabele en niet opgegeven ingangsgrootheden zijn, wordt het effect daarvan niet gecompenseerd. Daarentegen doet het er voor de regelketen niet toe waar de storing vandaan komt.
- Bij een stuurketen is er geen enkele controle of het vereiste effect inderdaad wordt bereikt. De regelketen is juist gebaseerd op het controleren van de te regelen grootte.

M. Lammers



Ir. M.G.M. Lammers is hoofd van de afdeling Ontwikkeling bij de firma Pelt en Hooykaas te Helmond.

K. Struik



Ing. K.G. Struik is wetenschappelijk ambtenaar aan de afdeling Werktuigbouwkunde van de Technische Hogeschool te Eindhoven.

- De stuurketen moet een nauwkeurig voorgeschreven werking hebben. De regelketen hoeft slechts zodanig te zijn dat, rekening houdend met resonantieverschijnselen, de rondgaande versterking zo groot mogelijk is.
- De werking van een stuurketen is in het algemeen gevoeliger voor veranderingen in het systeem dan die van een regelketen.
- Als de ingangsgrootte niet goed meetbaar is, is een stuursysteem niet toepasbaar en moet wel een regelsysteem worden gebruikt. Omgekeerd, als de uitgangsgrootte niet goed meetbaar is, moet een stuursysteem worden gebruikt. Bij de xy-tafel is deze uitgangsgrootte (de verplaatsing van de slede) juist zeer goed en op verschillende manieren meetbaar.

Figuur 1 toont het blokschema van de

gesloten besturing voor de x-as. Het aandrijfsysteem bestaat uit de vermogensversterker, de servomotor en de mechanische overdrachtselementen. Daarnaast is het aandrijfsysteem uitgerust met een snelheidsregelkring via het tachogeneratorsignaal. Naast een versterking van de spanning die het toerental bepaalt, heeft de servoversterker nu de taak de afgegeven spanning van de tacho te vergelijken met de spanning uit een referentie-spanningsbron, teneinde het toerental en het draaimoment van de motor constant te houden (onafhankelijk van bijvoorbeeld belasting-, temperatuur- of netspanningsvariaties). De in de xy-tafel toegepaste versterker regelt met proportionele-integrerende actie. Het positioneringssysteem ontstaat door combinatie van het snelheidssturingssysteem met een terugkoppeling voor de werkelijke slede-verplaatsing. Het meetsysteem zorgt voor deze positieterugkoppeling van de regelkring. De werkelijke positie  $x_w$  van de slede wordt met behulp van een hoek- of weg-meetsysteem gemeten en samen met het ingangssignaal  $x_g$  (de gewenste positie) naar de positieregelaar gestuurd, waarna een stuursignaal voor de aandrijfmotor wordt gevormd.

In figuur 1 is van alle componenten de overdrachtsfunctie geschetst. De positieregelaar heeft een proportioneel karakter, terwijl de snelheidsregelaar proportioneel-integrerend werkt. De vermogensversterker met motor is in eerste benadering op te vatten als een proportioneel systeem met een eerste orde vertraging (eerste orde systeem). De mechanische overdrachtselementen zijn theoretisch benaderd als een integrator. De tacho en het meetsysteem zijn opgevat als proportionele systemen.

### Keuze

Van de in figuur 1 getekende componenten moest wat betreft de xy-tafel nog een keuze worden gemaakt voor de positieregelaar en het te gebruiken meetsysteem. Voor de mogelijkheid van, standaard in de handel verkrijgbare PLC's werd niet gekozen in verband met de geringe flexibiliteit van deze systemen. Een microprocessor voldoet in dit opzicht beter en kan bovendien sneller zijn. Een directe digitale regeling met een microcomputer is veel universeel bruikbaar en is vooral

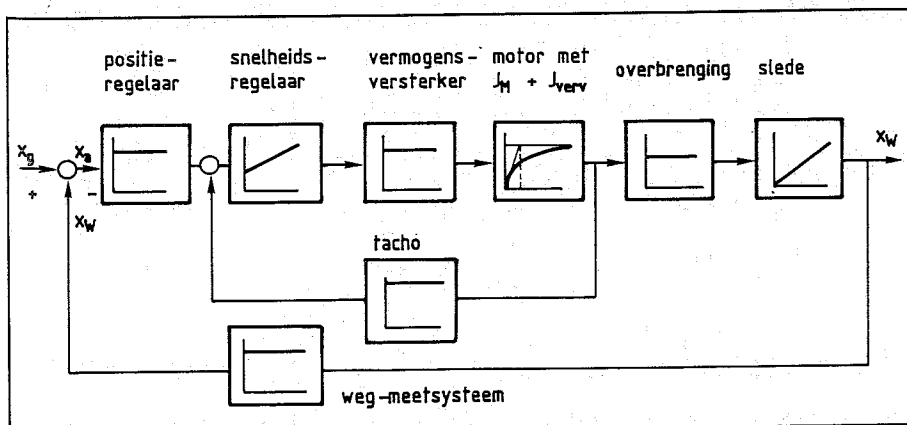


Fig. 1. Blokschema van een positieregeling met snelheids terugkoppeling

van voordeel als de computer naast de functie van het regelen tevens veel berekeningen moet uitvoeren of meetgegevens moet verwerken. Bij de xy-tafel is bijvoorbeeld correctie mogelijk op systematische afwijkingen in de tafelbewegingen ten gevolge van doorbuigingen van de geleidingen of door afwijkingen in het meetsysteem. Op grond van bovenstaande overwegingen is gekozen voor een positieregelaar in de vorm van een microcomputer. Het is hierbij wel noodzakelijk om de nodige omvormers te gebruiken. Dat zijn analoog-digitaal omzetter (AD-convertors) die de gemeten grootheden omzetten in numerieke waarden, of digitaal-analoog omzetter (DA-convertors) die de door de rekenmachine berekende waarden weer omzetten in een analoog signaal. Bovendien gebeurt de regeling nu software-matig, wat impliceert dat de programmatuur voor het regelalgoritme ontwikkelt en geschreven moet worden. Daar staat het grote voordeel tegenover dat slechts door verandering van het stuurprogramma de werking en daarmee de gebruiksmogelijkheden van het motorsturingssysteem aangepast kunnen worden. In verband met de ruime interfacing mogelijkheden en de hoge processor-snelheid viel de keuze op de IBM personal computer. Deze computer is uitgerust met een Intel 8088 microprocessor. Om effectief te kunnen programmeren is een goed inzicht in de architectuur van de processor noodzakelijk. [3] De serie 8086/8088 chips van Intel zijn 16 bit microprocessors, die een logische uitbreiding zijn van de zeer populaire 8 bit 8080. De voordelen van de 8086/8088 chips ten opzichte van de 8080 zijn:

- Een hogere processorsnelheid: tot tweemaal sneller in de combinatie met de 8087 NDP (Numeric Data Processor) coprocessor voor double precision, floating point berekeningen.
- De hoeveelheid code voor equivalente programma's is tot 50% minder (onder andere door de ingebouwde vermenigvuldigings- en deelroutines). De instructieset is uitgebreider.
- 16 Bit processoren kunnen overweg met informatie en data in veelvoud van 16 bit in plaats van 8 bit. Ze zijn hierdoor veel accurater en nauwkeuriger.
- De 8086/8088 kunnen door hun speciale structuur gebruik maken van gespecialiseerde co-processoren, zoals eerder genoemde 8087 rekenprocessor voor extreem snelle floating point operaties en de 8089 Input/Output processor voor efficiënte verplaatsing van data blokken.

Deze mogelijkheid is misschien wel het meest relevante verschil tussen de 8 en 16 bit processoren. De co-processoren hebben een eigen instructieset.

- De 8086/8088 kunnen een veel groter geheugengebied adresseren: 1 Mbyte ten opzichte van 64 Kbyte bij de 8080. Hierdoor zijn krachtiger programma's mogelijk.
- Een hoogwaardig interrupt systeem met ingebouwde priority structuur wordt mogelijk gemaakt door de complexere circuits op de 8086/8088.

De 8088 is intern exact gelijk aan 8086, maar is ontworpen om met een 8 bit externe data-bus te werken en is compatibel met veel bestaande 8 bit bussen. Dit heeft het voordeel dat huidige goedkope I/O- en geheugenchips gebruikt kunnen worden. Data transfers tussen de 8088 en andere systeemcomponenten of naar geheugen en I/O met 8 bit tegelijk. De 8086 daarentegen werkt met een hardware data-bus breedte van 16 bit. De instructieset en de interne data afmetingen zijn identiek voor beide processoren. De 8086/8088 werken op een frequentie  $f$  van 4,77 Mhz (vgl. 2 Mhz voor de 8080). De lengte van de clock-periode  $T_c = 1/f = 210$  ns.

Het meetsysteem wordt gekozen op grond van eigenschappen als: oplossend vermogen, lineariteit, nauwkeurigheid, mechanische sterkte, ongevoeligheid en levensduur verwachting. Eigen frequenties in meetsystemen moeten veel hoger zijn dan trillingen van de machine. Daarnaast is de kostprijs van het meetsysteem van belang, evenals de eenvoud van montage en afstelling. De grondgedachte bij elke meetmethode is, dat een energiebron door middel van een fysisch medium energie kan overdragen aan een opnemer. Een merktekendrager zorgt ervoor dat bij een relatieve verplaatsing ten opzichte van de energiebron en de opnemer een wisselende energie-overdracht plaatsvindt. Meetsystemen zijn naar principes onder te verdelen in: [4] analoge en digitale systemen:

- analoge en digitale systemen: De kenmerkende eigenschap van een analoog meetsysteem is, dat elke positieverandering een evenredige verandering van de uitgangsgrootte veroorzaakt. Een digitaal meetsysteem geeft als functie van de positieverandering een stapvormige verandering van de uitgangsgrootte. Bij een verplaatsing tussen twee opeenvolgende merktekens blijft het uitgangssignaal van de opnemer

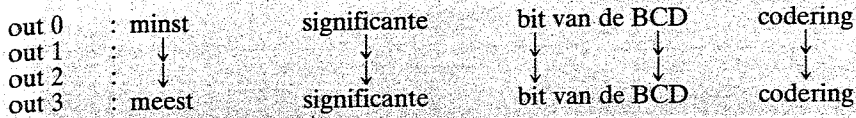
constant van grootte. Het oplossend vermogen is gelijk aan de afstand tussen twee opeenvolgende merktekens.

- absolute en inkrementele systemen: Absoluut meten betekent dat voor elke positie van de meetopnemer een uniek uitgangssignaal vastligt. Het nulpunt van het systeem is niet te kiezen of te verplaatsen. Bij incrementale systemen wordt de positie opgegeven ten opzichte van de voorgaande positie. Deze systemen hebben het voordeel dat het nulpunt willekeurig te kiezen is.

- indirecte en directe systemen. Bij indirecte meetsystemen wordt de slede-positie niet rechtstreeks gemeten, maar met behulp van elementen die de beweging van de slede doorleiden. Meestal wordt bij deze methode gebruik gemaakt van een rotatie-opnemer (bijvoorbeeld op de motor-as). Spelingen en slijtage in de mechanische componenten tussen motor en slede leiden tot onnauwkeurige metingen. Bij het indirecte meetsysteem wordt de positie van de slede direct bepaald dus zonder tussenschakels. Er worden geen fouten geïntroduceerd door de transformatie van de motoras-rotatie naar de slede-translatie. Als een hoge nauwkeurigheid vereist is, verdient deze methode aanbeveling. De kostprijs van een direct meetsysteem is echter aanzienlijk hoger dan die van een indirect systeem.

- statische en dynamische systemen.

De opnemer van een statisch meetsysteem geeft een constant uitgangssignaal als het meetsysteem in rust is. Hierin treedt slechts verandering op in geval van positieverandering. De opnemer van een dynamisch systeem daarentegen bemonstert de merktekendrager continu. De aard van het dynamische signaal (bijvoorbeeld frequentie en/of fase) verandert als de positie verandert. Interpolatie (het vergroten van het oplossend vermogen door metingen tussen de merktekens) komt voor beide systemen duidelijk verschillend tot stand. Bij statische systemen leidt interpolatie tot ingewikkelder en groter wordende opnemers naarmate de interpolatiefactor toeneemt. Bij dynamische systemen kan interpolatie veel gemakkelijker en tot grotere factoren plaatsvinden, gebruik makend van moderne elektronische technieken. Vervuiling van de merktekendrager leidt tot variërende signaal-amplitudes. Het statische systeem is hiervoor zeer gevoelig. Bij een dynamisch systeem is de amplitude alleen van belang als het signaal dermate zwak wordt dat de signaal/ruis verhouding tot fase-onnauw-



keurigheden kan leiden.

Voor toepassing in de XY-tafel is gekozen voor een direct, digitaal systeem van Philips. Het meetsysteem MK IV is lineair, optisch en incrementeel. De bemonstering van de merktegengedrager gebeurt dynamisch. De maximale fout per meter is 5,5 µm, het oplossend vermogen is 0,5 µm. Om de signalen, afkomstig van de meetwaarde-gevers, geschikt te doen zijn voor computerverwerking, staan er twee mogelijkheden ter beschikking:

a. Het meetsysteem kan worden verbonden met de Philips digitale teller/indicator SA 2476, met optionele BCD uitgang. De spanningen afkomstig van deze uitgang zijn van TTL niveau en zijn daarom direct geschikt voor computerverwerking. De BCD codering vereist wel een software conversie naar een binaire code.

b. Er kan gebruik worden gemaakt van de externe adapter PE 2585 (wordt vervangen door PE 2586). Deze adapter levert twee, 90° in fase verschoven, blokgolven samen met hun geïnverteerde componenten. Dit zogenaamde S<sub>00</sub>-S<sub>90</sub> signaaltype is geschikt voor vrijwel alle typen CNC besturingen, maar is in deze vorm niet zonder meer bruikbaar bij microcomputers. Voor een juiste aanpassing zouden enkele elektronische schakelingen moeten worden ontworpen. In verband met een beperkte ervaring op dit gebied en een voorkeur voor standaard verkrijgbare componenten, is gekozen voor de minder elegante oplossing met BCD uitgang. Een voordeel bij deze oplossing is dat de meetlijnen kunnen worden uitgerust met digitale uitlezingen. In verband met demonstratie doeleinden van de xy-tafel werd deze visuele terugkoppeling van belang geacht. In het geval van de externe adapter is aansluiting van dergelijke uitlezingen niet mogelijk.

**Alarmpuncties**

De microprocessor gestuurde SA 2476 is een éénassige teller/indicator voor toepassingen in combinatie met het Philips lineair meetsysteem. Het display omvat 7 cijfers en een polariteitsaanduiding. Niet-significante nullen worden automatisch onderdrukt. De meetwaarde wordt weergegeven in fixed-point notatie met drie decimalen, hetgeen een resolutie oplevert van 1 µm. De teller beschikt over 3 alarmpuncties die de status van het meetsysteem bepalen. De eerste betreft een indicatie voor een vervuilde liniaal (vooralarm). Het tweede alarm komt in werking bij ernstige vervuiling van de

liniaal en bij te hoge verplaatsingssnelheden (V<sub>max</sub> = 48 m/min). Het derde alarm wordt gegeven indien een fout wordt gevonden met betrekking tot het referentiepunt.

Voor de BCD interface staan zes ingangssignalen ter beschikking, resp.:

- 1. select (SEL)
- 2. decade select 0 (DSEL 0)
- 3. decade select 1 (DSEL 1)
- 4. decade select 2 (DSEL 2)
- 5. reset (RES)
- 6. preset (PRE)

Deze zes ingangssignalen vormen twee groepen van ieder vijf ingangen. De selectie van een van beide groepen vindt plaats met het eerste ingangssignaal (SEL). Afhankelijk van de waarde van dit signaal (logisch 0 of 1) hebben de overige vijf signalen een bepaalde functie. Als het SEL signaal de waarde 1 heeft, kunnen de toetsen op het bedieningspaneel elektronisch worden gesimuleerd. Vanuit de microcomputer kan de teller worden gereset, of er kan een bepaalde preset waarde in het geheugen van de teller gezet worden. Omdat voor het positioneringssysteem deze toepassing niet relevant is, wordt er verder geen gebruik van gemaakt. Met andere woorden: het SEL signaal heeft altijd de waarde 0. De signalen RES en PRE hebben in dit geval geen functie. De drie overige ingangssignalen kunnen worden gebruikt voor opvragen van positie en statusinformatie. Deze informatie is beschikbaar op de vier uitgangssignalen: out 0, out 1, out 2, out 3. De werking is als volgt: na aanbieden van een bepaalde code op de vier ingangssignalen SEL, DSEL 2, DSEL 1, DSEL 0 op tijdstip T<sub>1</sub>, wordt de actuele positie, aangegeven door het display van de teller, tesamen met de status van het meetsysteem in een buffer gezet.

Deze actie heet de status selectie. Op tijdstip T<sub>1</sub> + Δt wordt de status behorende bij de positie op tijdstip T<sub>1</sub> uitgegeven over de vier uitgangssignalen:

- out 0 : tekenbit
- out 1 : meetsysteem alarm-indicatie
- out 2 : meetsysteem vooralarm
- out 3 : RPF (reference point finder) indicatie.

(Voor de sturing van de XY-tafel is in eerste instantie slechts het tekenbit van belang. De overige drie signalen worden in het programma gemaskeerd. In een later stadium kunnen deze signalen worden gebruikt om door middel van een

interrupt een bepaalde boodschap via de monitor naar de gebruiker te zenden.) Na deze cyclus kan op tijdstip T<sub>2</sub> een nieuwe ingangscodice aangeboden worden, waarmee een willekeurige decade uit de coördinaat behorende bij tijdstip T<sub>1</sub> geselecteerd kan worden. Op tijdstip T<sub>2</sub> + Δt is de gekozen decade in BCD code beschikbaar op de vier uitgangssignalen. Deze codering houdt in dat ieder digit van een getal in decimale notatie, wordt gerepresenteerd in een nibble (= 4 bit = halve byte), gevormd door 4 uitgangssignalen: (zie bovenstaande tabel).

In het gunstige geval wordt de eerste decade-selectiecode aangeboden juist nadat het tekenbit is gelezen. Dan geldt T<sub>2</sub> ≈ T<sub>1</sub> + Δt, zodat de waarde van de betreffende decade niet eerder dan op tijdstip T<sub>1</sub> + 2 Δt (= T<sub>2</sub> + Δt) beschikbaar kan zijn. Op dit moment kan een nieuwe decade uit de op tijdstip T<sub>1</sub> gebufferde coördinaat worden geselecteerd, dat opnieuw na een tijdsinterval Δt kan worden gelezen. Op deze wijze kan worden aangetoond dat voor het lezen van een coördinaat bestaande uit 6 decades een tijdsduur noodzakelijk is van minimaal 7 \* Δt s. Met Δt ≈ 15 ms volgt hieruit een tijdsinterval van ruim 0,1 s tussen het moment van bufferen van de positie en het moment waarop verwerking in het regelalgoritme kan plaatsvinden. Bij een snelheid van de slede van v mm/s zal er een afwijking zijn van 0,1 \* v mm tussen de werkelijke coördinaat van de slede en de meest recente coördinaat-informatie waarmee wordt gepositioneerd. Het is duidelijk dat het oorspronkelijke idee om te regelen met volledige positie-informatie onuitvoerbaar is wegens de extreem grote looptijd: De BCD gecodeerde actuele coördinaat zou in het positioneringsprogramma worden omgezet in een binaire waarde en worden afgetrokken van een binair getal dat de gewenste coördinaat representeert. De microcomputer stuurt een met dit verschil proportionele spanning naar de servoversterkers, die de motoren zodanig bekrachtigen dat de afwijking kleiner wordt. Eventueel kan de snelheid waarmee het uitgangssignaal van de microcomputer verandert een functie zijn van de afwijking, of het uitgangssignaal kan een functie zijn van de snelheid waarmee de positieafwijking naar nul nadert (integrerende respectievelijk differentiërende actie). Om op deze manier een snelle en nauwkeurige positieregeling te realiseren is een (quasi) real-time terugkoppeling vereist.

**Lezen**

Uiteraard is het niet noodzakelijk steeds alle decades van een gebufferde positie in te lezen. Vanaf zekere verschillen tussen gewenste en werkelijke coördinaat zullen bepaalde decades een constante waarde houden zodat het lezen van deze cijfers met de hiermee gepaard gaande extra tijd-vertraging overbodig wordt. Het bufferen van een nieuwe positie kan dan na kortere tijdsintervallen plaatsvinden, zodat het najken van de coördinaat in het computerprogramma ten opzichte van de werkelijke coördinaat van de slede evenredig zal verminderen. Het beste resultaat is wat dit betreft te bereiken als in de computer een positioneer-regeling plaatsvindt per afzonderlijke decade. Met andere woorden na het bufferen van een positie en het lezen van het tekenbit wordt slechts de meest relevante decade door de computer uitgelezen. Na bepaling van de regelactie wordt een nieuwe positie gebufferd enzovoort. De meest relevante decade in dit opzicht is afhankelijk van het verschil tussen actuele en gewenste positie. De tijd die nu verstrijkt tussen het moment van bufferen en het moment waarop de computer de beschikking heeft over de informatie is gelijk aan  $2 \cdot \Delta t = 30 \text{ ms}$ .

Hoewel ook vertragingen in deze orde van grootte ontoelaatbaar groot zijn in een doeltreffend positioneringssysteem, is een algoritme ontwikkeld, gebaseerd op bovenstaande overwegingen, dat tot aanvaardbare resultaten leidt.

**Interfacing**

De interfacing tussen de verschillende componenten is verwezenlijkt met behulp van een zogenaamd DADIO (Digitaal Analog conversie en Digitale Input/Output) board van het fabricaat Tecmar. De functie van dit board, dat gemonteerd wordt in een van de vrije uitbreidingsloten van de IBM PC, is tweeledig. Enerzijds verzorgt het de interfacing tussen de BCD uitgangen van de digitale tellers en de ingang van de microcomputer, anderzijds zorgt het voor een koppeling tussen de uitgang van de computer en de ingang van de servoversterkers. Voor de eerste toepassing (koppeling BCD uitgang/computer ingang) wordt gebruik gemaakt van de 24 parallele input/output lijnen, die op de DADIO kaart aanwezig zijn in de vorm van een industrie compatible 8255 IC. De 24 I/O lijnen vormen drie 8 bit poorten A, B, en C. Van een willekeurige poort kan data gelezen en geschreven worden. Poort A wordt gebruikt voor het lezen van de BCD geco-

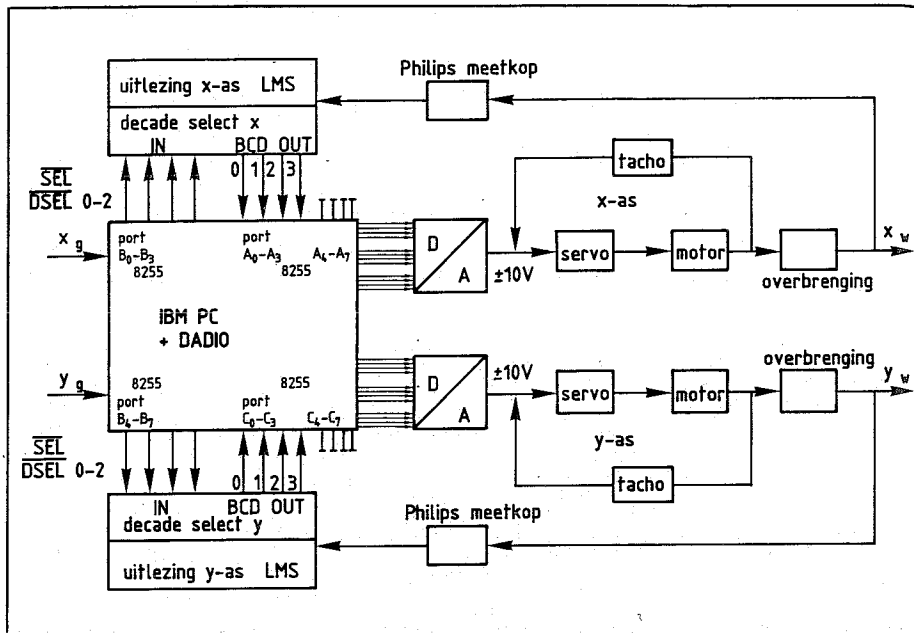


Fig. 2. Schematische weergave van het complete twee-assige positioneringssysteem

deerde decades van de x-coördinaat over de vier output lijnen van de x-as digitale uitlezing. Poort C wordt op een identieke manier gebruikt voor de y-as. Via poort B worden de decade-select codes vanuit de microcomputer verstuurd naar zowel de x-als de y-as teller. Voor de koppeling van de digitale computer uitgang naar de analoge versterker ingang is een digitaal/analoog converter (DAC) noodzakelijk. Op de DADIO kaart zijn vier onafhankelijke 12 bit DAC's aanwezig. Alle vier kanalen kunnen tegelijkertijd van niveau veranderen. Omdat de 8088 microprocessor slechts een 8 bit externe data bus heeft, moet er twee keer data naar de DAC's geschreven worden om een verandering van de uitgang te bewerkstelligen. De uitgangsspanningsrange is met jumpers instelbaar. Met een 12 bit resolutie en een output range van b.v.  $-10 \text{ V}$  tot  $+10 \text{ V}$  zijn dan spanningsvariaties mogelijk in incrementen van  $\Delta V/2^{12} \approx 0,005 \text{ Volt}$ .

Figuur 2 geeft een schematisch overzicht van het complete 2-assige positioneringssysteem. Voor grof positionering is de tafel uitgerust met een „joy-stick” handbediening.

**Software**

De software van de positioneerregeling is geschreven in ASM-86 de assembly-taal van de 8088. De keuze van assembly als programmeertaal is gebaseerd op de oorspronkelijke veronderstelling dat in de positioneerketen met real-time signaaloverdrachten de computer tijd - kritisch gezien - waarschijnlijk de zwakste schakel is. Het grote voordeel van assembly ten opzichte van programmeertalen als basic, fortran of pascal is namelijk de veel kortere run-tijd van het programma. Daarnaast is de geheugen-behoefte geringer en zijn alle processor-faciliteiten direct toegankelijk. Daartegenover staat dat de software-ontwikkeling ten opzichte van hogere programmeertalen veel

moeizamer verloopt, terwijl een gedetailleerde hardware-kennis noodzakelijk is. Door het microprocessor-programma wordt de XY-tafel absoluut-punt-bestuurd, dat wil zeggen de inputs van het programma zijn de via het keyboard ingegeven x en y coördinaten van de nieuwe positie van het werkoppervlak; deze coördinaten worden opgegeven onafhankelijk van de huidige positie. Bij de ontwikkeling van het regelalgoritme is rekening gehouden met de volgende twee eisen:

- de tafel moet simultaan in x- en y-richting kunnen bewegen.
- er mag geen overshoot optreden.

Zoals eerder uiteengezet, is het programma ontwikkeld op grond van decade informatie behorende bij de actuele coördinaat. De minimum sample-tijd tussen twee decade-selecties behorende bij verschillende posities is dan  $T_s = 30 \text{ ms}$  (bij verwaarlozing van de computerrekening). Om in dit geval op  $1 \mu\text{m}$  te kunnen positioneren moet de slede kunnen bewegen met een snelheid niet groter dan circa  $30 \mu\text{m/s}$ . Tengevolge van het dode gebied van de motor (de motor reageert niet op uitgangsspanningen van de D/A converters tussen circa  $-0,15 \text{ V}$  en  $+0,15 \text{ V}$ ) is deze gewenste minimale snelheid niet haalbaar. De sampletijd  $T_s$  tussen twee metingen is nu bepalend voor de haalbare nauwkeurigheid. Het afbouwen van de sledesnelheid kan doorgevoerd worden tot een maximale positie-afwijking van  $15 \mu\text{m}$ . Een verhoging van de nauwkeurigheid is slechts haalbaar indien de benodigde tijd tussen twee samples belangrijk te verminderen is. Wat het optimaliseren van het positioneringssysteem betreft, zal de samenwerking tussen Pelt & Hooykaas Helmond en de afdeling Productietechnologie en Bedrijfsmechanisatie van de THE worden voortgezet in de vorm van een nieuwe eindstudie-opdracht.



**Meetresultaten**

*Stijfheid van de luchtlagering*

De stijfheid van de luchtlagering is gemeten bij twee toevoerdrukken: 2 bar en 6 bar.

Met behulp van een inductieve opnemer is de verticale verplaatsing van het werkopervlak gemeten tengevolge van een belasting van 300 N. Bij een toevoerdruk van 2 bar kon een verplaatsing worden gemeten van 1,5 µm; bij een druk van 6 bar was de verplaatsing 0,5 µm. Bij lineaire interpolatie zijn de hiermee corresponderende stijfheden respectievelijk 200 N/µm en 600 N/µm! Hierbij dient te worden opgemerkt dat de metingen plaatsvonden rond het werkpunt in de voorgespannen lagerkarakteristiek, met andere woorden in het steilste stuk van de grafiek. Naarmate de belasting toeneemt zal de stijfheid afnemen.

*Rechtheid van de x- en y-beweging*

**x-beweging:**

1. De afwijkingen in y-richting ten op-

zichte van een rechte evenwijdig aan de x-as worden bepaald door de nauwkeurigheid van het 45°-vlak van de basisplaat aan de zijde van de star gemonteerde lagers. Met een maximale afwijking van 1,1 µm van dit vlak (N.B. uit Pelt & Hooykaas meetrapport) wordt de maximale rechtheidsafwijking van het werkopervlak  $1,1 \times \sqrt{2} = 1,6 \mu\text{m}$ .

2. Het bovenvlak van de basisplaat (vlakheidsafwijking: 2,2 µm max.) is bepalend voor de afwijkingen van het werkopervlak in z-richting ten opzichte van een rechte evenwijdig aan de x-as. Deze afwijkingen zijn gemeten met behulp van een autocollimator met de basisplaat als referentievlak. De meetwaarden zijn verwerkt in het computerprogramma \*RECHT van het Laboratorium voor Lengtemetingen van de THE.

5 metingen: 25,7" - 24,8" - 23,6" - 24,0" - 23,7" basislengte: 120 mm. standaardafwijking van de metingen: 0,3". Tabel 1 geeft de resultaten van de rechtheidsmeting.

**y-beweging:**

3. De afwijkingen in x-richting ten opzichte van een rechte evenwijdig aan de y-as, worden bepaald door de nauwkeurigheid van het 45°-vlak van de zwaluwstaart aan de zijde van de starre lagers enerzijds en de doorbuiging van deze zwaluwstaart tengevolge van de lagervoorspankracht anderzijds.

Deze meting is uitgevoerd met behulp van een referentievlak dat zonder rotatie parallel wordt uitgericht ten opzichte van de luchtlagergeleiding van de y-as (figuur 3).

Tijdens de tafelbeweging wordt het referentievlak in positie 1 continu afgetast met een inductieve opnemer op hoogte z. De uitslag van de taster als functie van de y-coördinaat is een functie f(y). De referentiecurve op hoogte z wordt gerepresenteerd door de functie r(y), de te meten curve door m(y). Na de eerste meting wordt de referentiebalk 180° om de y-as gedraaid (positie 2). Dan volgt een

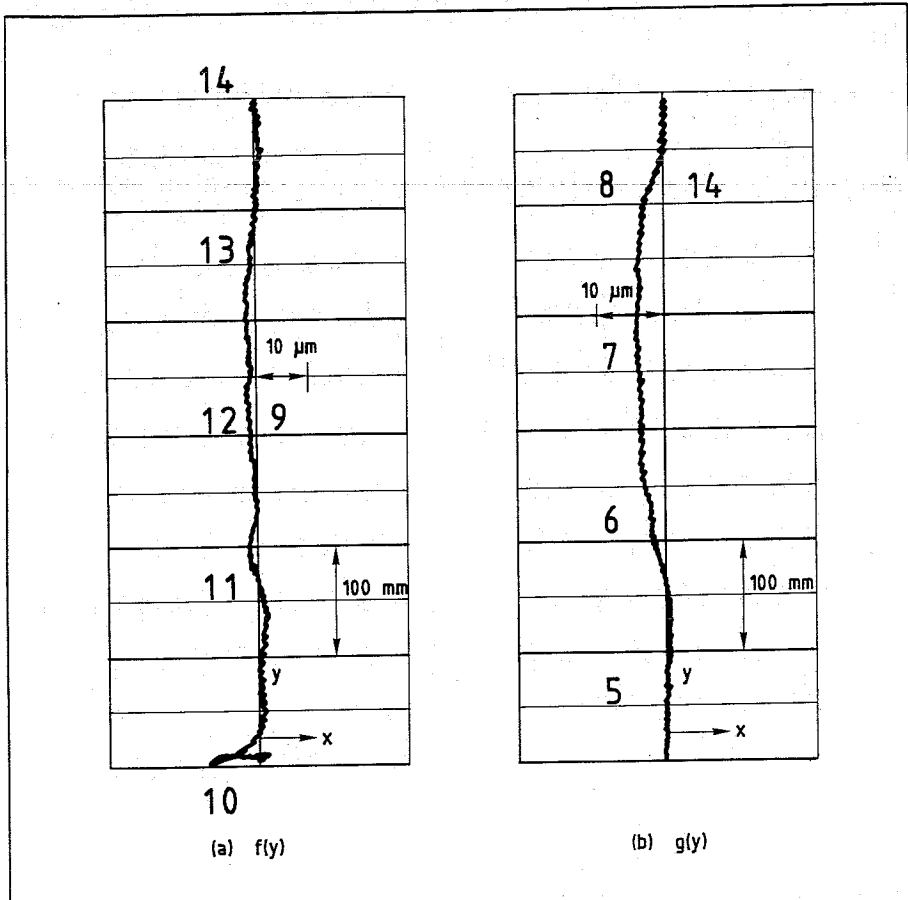


Fig. 4. Tastersignalen-rechtheidsmeting

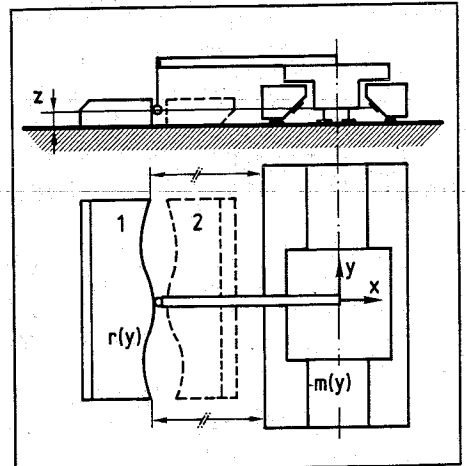


Fig. 3. Rechtheidsmeting met behulp van een referentiebalk

Tabel 1. Resultaten rechtheidsmeting x-as (afwijkingen in z-richting)

	(1)	(2)	(3)	(4)
0	0,000	0,000	0,000	-0,600
1	0,000	0,300	0,804	0,252
2	-0,540	0,424	1,068	0,564
3	-0,800	0,520	0,612	0,156
4	-2,820	0,600	0,396	-0,012
5	-4,020	0,671	0,000	-0,360

(1) = hoogte in micrometer  
 (2) = 2° SDEV van de hoogte  
 (3) = afwijking t.o.v. de lijn door begin- en eindpunt  
 (4) = afwijking t.o.v. kleinste kwadratenlijn  
 We constateren een maximale afwijking van circa 1,2 µm.

nieuwe meting (eveneens met taster-hoogte z). Het resultaat wordt voorgesteld door de functie  $g(y)$ .

Tekenafpraak: een indrukking van de inductief taster geeft in beide gevallen een positief uitgangssignaal. Bij aannahme van deze afspraak (en bij omkering van de aantastrichting) geldt:

$$\frac{f(y) + g(y)}{2} = r(y) \quad (1)$$

$$\frac{f(y) - g(y)}{2} = m(y) \quad (2)$$

Figuur 4 toont de gemeten functies  $f(y)$  en  $g(y)$ .

Uit deze grafieken en (1) en (2) volgt voor de absolute waarde van het maximum van  $r(y)$ : ca.  $3 \mu\text{m}$ . maximum van  $m(y)$ : ca.  $2 \mu\text{m}$ .

(Uit figuur 4 blijkt dat een redelijke benadering van deze functies door polynomen mogelijk is, zodat eventueel in het computerprogramma kan worden gecorrigeerd voor  $m(y)$ .)

4. De afwijking in z-richting ten opzichte van een rechte evenwijdig aan de y-as is niet met een autocollimator te meten als gevolg van het ontbreken van een mogelijkheid de autocollimator op te stellen met de basisplaat als referentie. (Dit is nodig om kantelfouten in de waarnemingen uit te sluiten). Daarom is ook voor deze meting de referentiebalk uit onderdeel 3 gebruikt. Figuur 5 geeft de gemeten curve. De vorm van de curve vertoont grote overeenkomsten met  $g(y)$  uit figuur 4, met andere woorden na aftrekking van het profiel van het referentievlak zal een kromme resteren met een afwijking kleiner dan ca.  $1 \mu\text{m}$ . De haaksheid van de x- en y-as is ingesteld met behulp van een door P&H vervaardigd hoekblok met een haaksheidafwijking kleiner dan  $0,5$  boogseconden. Voor alle metingen geldt uiteraard dat de nauwkeurigheid afhankelijk is van de nauwkeurigheid van de gebruikte meetsystemen.

#### Positioneernauwkeurigheid van de mechanische aandrijving

Voor deze meting is de x-as aandrijving gebruikt, ontkoppeld van microcomputer en servoversterkers. Tegen een van beide zwaluwstaarten wordt in x-richting een inductief meetsysteem geplaatst. Het signaal van dit meetsysteem wordt, na

versterking, negatief teruggekoppeld naar de motor. Aanvankelijk bevindt het systeem zich in de nulstand. Door met de hand de slede enigszins uit de evenwichtsstand te bewegen, zal er een spanning over de motor komen te staan, evenredig met de uitslag van de inductieve taster. De draairichting van de motor ten gevolge van deze spanning is zodanig dat de slede gaat bewegen in een richting tegengesteld aan de richting van de beginuitwijking totdat de nulstand van het meetsysteem opnieuw is bereikt. Uit het verschil tussen beide evenwichtsstanden bepalen we de positioneringsnauwkeurigheid van de aandrijving.

Door het ontbreken van voldoende demping, zowel in de elektronische als in de mechanische componenten, blijkt het systeem te gaan oscilleren rond de nieuwe evenwichtsstand. Hierdoor is een eenduidige registratie van deze positie niet mogelijk.

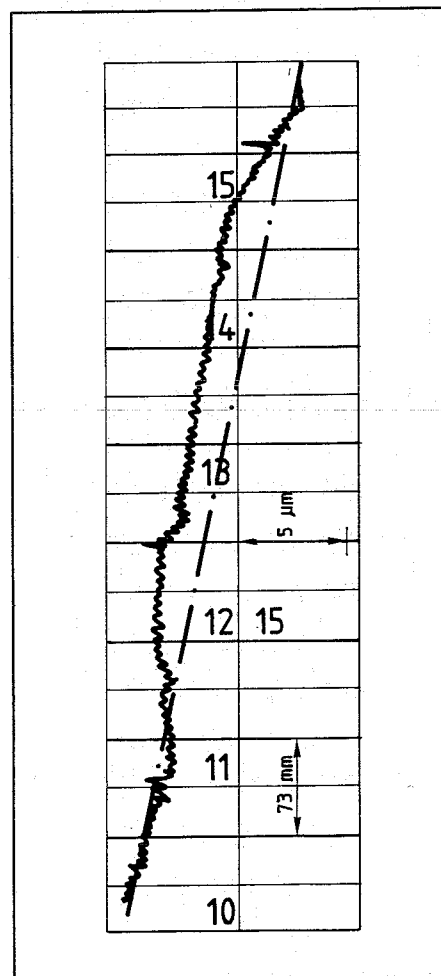


Fig. 5. Tastersignaal-rechtheidsmeting

De amplitudes van de oscillaties na terugregeling is ongeveer  $0,15 \mu\text{m}$ , terwijl de posities met uitwijking nul (het "hart" van de trilling) zich telkens bevinden op een afstand kleiner dan  $0,3 \mu\text{m}$  van de oorspronkelijke evenwichtstoestand. Met deze gegevens kunnen we bij benadering stellen dat de tafel is te positioneren met een onnauwkeurigheid van ten hoogste  $0,45 \mu\text{m}$ .

#### Samenvatting

Ten aanzien van de in de opdracht gestelde eisen blijkt achtereenvolgens voor:

##### De stijfheid

De metingen van de stijfheid van de tafel tonen aan dat deze, afhankelijk van de toevoerdruk, ligt tussen  $200$  en  $600 \text{ N}/\mu\text{m}$ , zodat de gestelde eis hiervoor haalbaar is.

##### Bewegingstrajekt en bewegingsnauwkeurigheid

In het ontwerp is de eis ten aanzien van het bewegingstrajekt haalbaar gebleken. De rechtheidsmetingen aan de geleidingen tonen aan dat de afwijkingen die hierdoor ontstaat niet groter zijn dan  $2 \mu\text{m}$ . Voor deze afwijkingen kan eventueel, in het computerprogramma dat de nieuwe uit te geven positie berekend, worden gecorrigeerd.

##### Positioneernauwkeurigheid

De positioneernauwkeurigheid van de plaatregelpositie is  $\approx 0,5 \mu\text{m}$ . Vanwege de grote sampletijd en de betrekkelijk grote minimale snelheid van de slede geven echter een afwijking in de opgegeven positie van  $15 \mu\text{m}$ .

Uit het bovenstaande kan worden afgeleid dat de nauwkeurigheid van het systeem bepaald wordt door het regel-algoritme, waarin vooral de grote sampletijd problemen geeft.

Voorgesteld wordt om door middel van hardware-aanpassing de positioneerregellus met een aparte besturing uit te voeren.

#### Literatuur:

- [1] Lammers M.G.M., Ontwerp en bouw van een luchtgelagerde twee-dimensionaal instelbare, tafel op graniet basis, met microcomputer gestuurd positioneringssysteem WPB-rapport nr. 0158 THE, 1985.
- [2] Van der Wolf A.C.H., e.a. Numerieke besturing. Post-academische cursus, 1982.
- [3] Morgan C.L., Waite M., 8086/8088 16-bit microprocessor primer. Mc Graw-Hill 1982.
- [4] Mulders P.C., Meet- en aandrijfsystemen van gereedschapswerktuigen, dictaat THE.