

## Constructies voor het nauwkeurig bewegen en positioneren (10)

P.C.J.N. Rosielle, E.A.G. Reker,  
M.P. Koster

### Manipulator voor twee translaties

In de uitvoering volgens figuur 95 kan een rotatie worden voorgeschreven (of vastgelegd). Als de plaat dun genoeg is wordt alleen de hoekverdraaiing  $\theta$  vastgelegd en blijven alle andere coördinaten vrij.

Dezelfde constructie kan worden uitgevoerd in dikke plaat (draadgevonkt). Hij legt dan alle vrijheidsgraden vast behalve  $x$  en  $y$  en kan zo vaak een traditionele opbouw met afzonderlijke  $x$ - en  $y$ -slede vervangen.

Hierbij geeft de uitvoering volgens figuur 96 een grotere symmetrie dan figuur 95, met bijvoorbeeld bij vastgezet middendeel (gearceerd) een zeer goede rechtgeleiding van het middelpunt van het tussenkader T en van het middelpunt in de  $x$ - $y$  manipulatorplaat, terwijl bij een koppel alle "stangen" alleen op trek (of alleen op druk) belast worden. De hoekverdraaiing van het tussenkader is echter  $y^2/(a \cdot b)$ . In de uitvoering volgens figuur 95 is deze hoekverdraaiing in principe nul maar de

"rechtgeleiding" is een boog; hij heeft dus een afwijking  $y^2/(2a)$  enz.

### Evenwijdige fijninstelling

Figuur 97 geeft de fijninstelling van de verticale hoofdspil van een zeer nauwkeurige vlakslijpbank. De werking wordt met behulp van figuur 98 verduidelijkt. Met een zeer kleine overbrengingsverhouding wordt het deel AA zuiver evenwijdig, door de stelschroef S verplaatst.

Het vlak AA kan met behulp van de gegeven fijninstelling nog (nauwkeurig evenwijdig) over plus tot min 20  $\mu\text{m}$  versteld worden ten opzichte van de gearceerde plaatdelen die vastgebout zitten tegen het vaste freem.

De slag van de stelschroef is plus tot min 1 mm, de eerste hefboomoverbrenging is ca. 1 op 4, de tweede trap is ca. 1 op 12,5.

De hoeken zijn respectievelijk 1/70 en 1/500.

Alle gaten zijn 8mm in diameter; de damhoogte is 1 mm in de twee scharnieren van de eerste hefboom ( $\sigma_{\text{max}}$  daar ca. 630 N/mm<sup>2</sup>) en verder overal 2 mm.

De verticale stijfheid in het vlak AA is circa  $3,5 \cdot 10^8$  N/m bij de plaatdikte van 25 mm. (Na fijnverstelling wordt het spilhuis tegen het freem geklemd met circa  $5 \cdot 10^9$  N/m.)

### Kniehefboom als instelmechanisme

Figuur 99 toont een voorziening om in een optisch apparaat de spiegels onder een zeer nauwkeurig bepaalde hoek op te stellen. Het instrument heeft een, grof- en fijninstelling. De fijninstelling is niet lineair. Het nadeel is dan dat een vaste verdraaiing van schroef 1 geen vaste verandering van de hoek  $\varphi_m$  geeft. Het voordeel is dat men de overbrenging vrijwel willekeurig kan kiezen.

Als  $x \ll \ell_1 = \ell_2 = \ell$  dan geldt:

$$u/2x = x/(2\ell), \text{ dus } u = 2x^2/(2\ell)$$

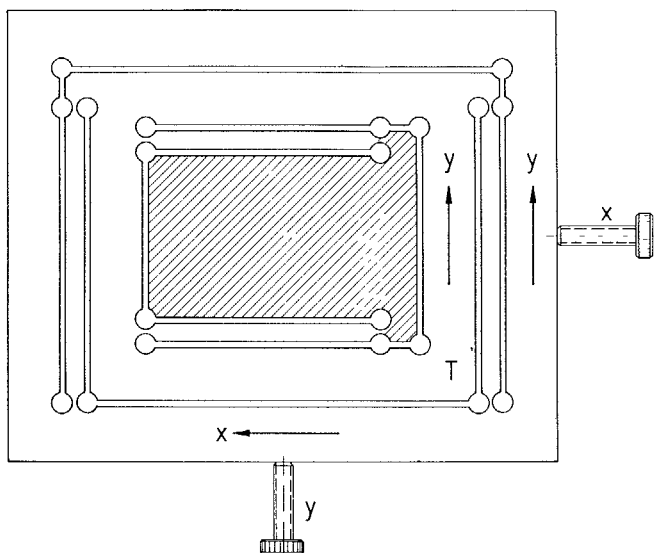
$$y = u/\sin\alpha$$

$$\varphi_m = u/(\ell_3 \sin\alpha), \text{ en}$$

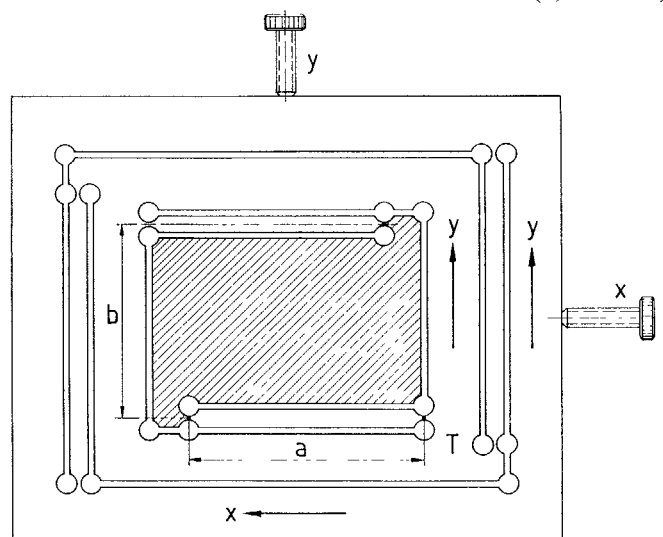
$$\alpha = \pi/4 \text{ rad}$$

Hierin is  $u$  de verkorting over het traject  $\ell_1 \ell_2$  bij verplaatsing  $x$ .

Tabel 1 geeft een praktisch voorbeeld: het bereik van schroef 1 ( $0,5 < x < 1,5$ ,



Figuur 95.



Figuur 96.

$y > 0,0141 \text{ mm}$ ) overlapt de nauwkeurigheid van schroef 2 (0,01 mm).

**Meertrapsinstelmechanisme**

Figuur 100, waarin  $x$  de in te stellen coördinaat is, geeft een indruk van de mogelijkheden met meer insteltrappen. De buitenomtrek van de vlakke plaat van figuur 101 waarin de constructie is uitgefreesd en gezaagd, is vaste wereld. De uitgang U moet een fijn instelbare verplaatsing hebben in  $x$ -richting over  $40 \mu\text{m}$  (de vóórinstelling gebeurt door het in te stellen instrument in de juiste stand ten opzichte van de wereld op U vast te zetten).

Hefboom 1 kan met de schroeven  $S_1$  op 0,1 mm ingesteld worden (slippend door de rem F1). Op U betekent dit bij een hefboomverhouding 1/20 een plaatsnauwkeurigheid van  $5 \mu\text{m}$ . Daarna wordt  $S_1$  losgesteld. Hefboom 2 geeft voor  $S_2$  en  $F_2$  een fijnregeling  $(1/20)^2 \times 0,1 \text{ mm} = 1/4 \mu\text{m}$ ; hefboom 3

**Tabel 1.**

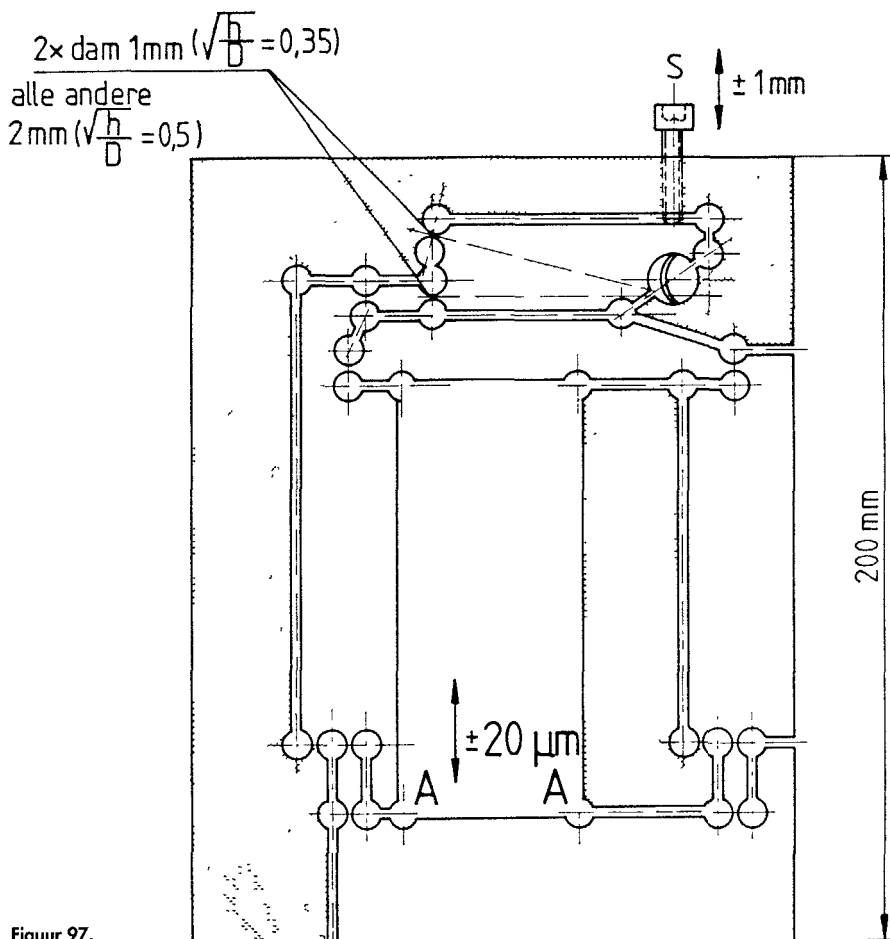
Bij $l=100 \text{ [mm]}$ en een vóórinstelling $x$ van	1	mm
hebben we een overbrengingsverhouding $i$ van	0,0282	
en aan de top een verplaatsing van $y$	0,0141	mm
en daaruit resulterend een begin-helling $\varphi_m$ van	$10^{-4}$	rad
Bij een instelnauwkeurigheid van schroef 1 van 0,01 mm geldt bij benadering een $\Delta x$ van	0,01	mm
Bij de geldende overbrengingsverhouding geeft dat een $\Delta y$ van	0,000282	mm
en een hoek-instelstap $\Delta\varphi$ van	$10^{-6}$	rad
Bij een werkgebied van $0,5 x_u$ tot $1,5 x_u$ is het instelgebied dan $\varphi_m$	$100 \cdot 10^{-6}$	rad

( $S_2 F_2$ ) brengt die desgewenst op  $1/80 \mu\text{m}$ .

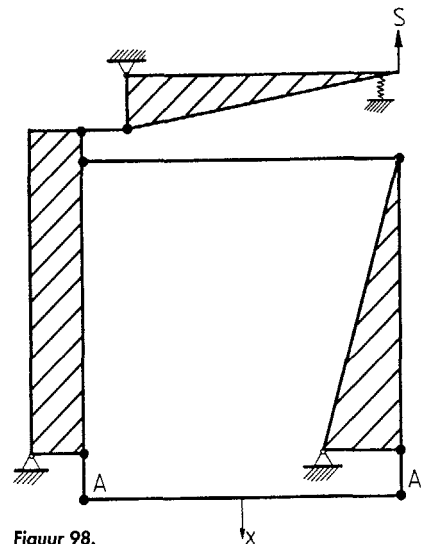
Met "flink knippen" in de staaf U, gebruikmakend van de dwarscontractie is hetzelfde te bereiken maar het is moei-

lijk om tijdens het bedienen van klem-schroeven het systeem vrij van dwarskrachten en momenten te houden.

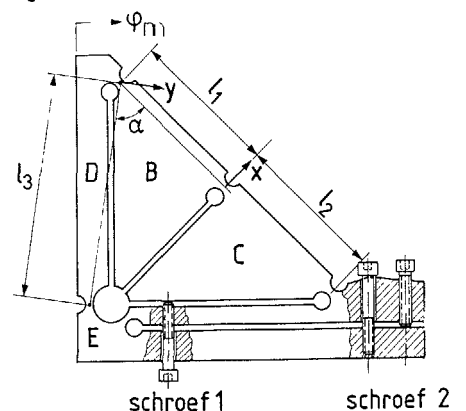
Men realiseere zich dat een trekkracht van 25 N op een staaf U van  $4 \times 10 \times$



Figuur 97.

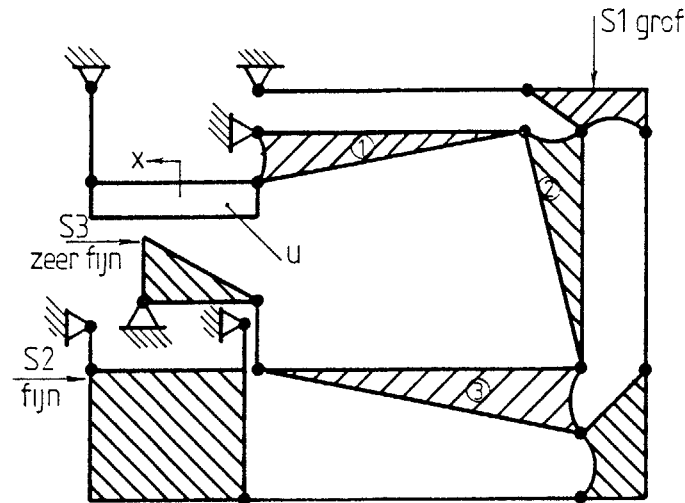


Figuur 98.



Figuur 99.

## Manipuleren en instellen (deel 2)



Figuur 100.

40 mm een verlenging geeft van  $1/80 \mu\text{m}$ , hetzelfde als een temperatuurverhoging van  $1/40 \text{ K}$ . Dit, als indicatie dat de met figuur 101 in principe aangetoonde "onbeperkte haalbaarheid van nauwkeurigheden" gemakkelijk vastloopt in temperatuurgradiënten en deformatie tengevolge van uitwendige belastingen. Toch zijn er toepassingen – onder andere het positioneren van preparaten onder een elektronenmicroscop – waar de plaats op enkele Angstrom ( $= 10^{-10}\text{m}$ ) beheerst wordt: plaatsnauwkeurigheden van minder dan  $10^{-3} \mu\text{m}$ !

### Coördinatentransformatie in manipulators

In figuur 102 is afgebeeld een manipulator die dient om een star lichaam in zijn 6 graden van vrijheid op zijn plaats te brengen. Dit moet met een nauwkeurigheid van  $\pm 0,1 \cdot 10^{-6}\text{m}$  in het  $x$ - $y$  vlak en met  $\pm 0,5 \cdot 10^{-6}\text{m}$  loodrecht daarop, ten opzichte van een ander lichaam worden gepositioneerd.

Voor het instellen van de uitgaande coördinaten, zoals die hier zijn gedefinieerd, levert deze manipulator een *onafhankelijke instelprocedure*. Hij is echter zeer gecompliceerd. Bovendien zal het moeilijk blijken hem in de  $x$ -en  $y$ -richting voldoende stijf te maken.

### Stijfheidseis

De stijfheidseis behoeft een toelichting. Tijdens het instellen glijden de naderhand te fixeren elastische bevestigingspootjes van de te positioneren

component langs het vaststaande lichaam. De normaalkracht is  $N=1\text{N}$ , de wrijvingscoëfficiënt wordt gesteld op  $\mu=0,2$ .

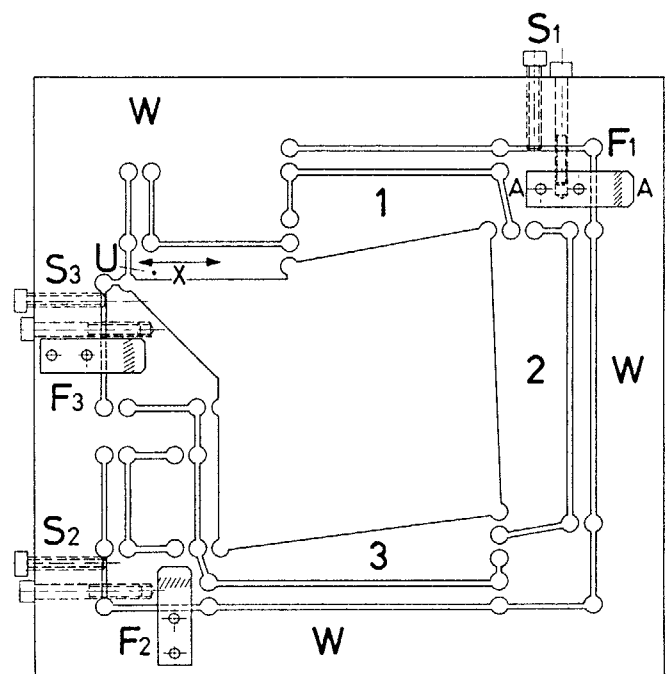
Om binnen een virtuele speling te komen van  $s_v=0,2\mu\text{m}$  is een stijfheid van de manipulator nodig ter grootte  $c=2\mu N/s_v = 2 \cdot 10^6 \text{N/m}$ . Het ontwerp van figuur 102 is daarvoor niet erg geschikt.

Figuur 103 is een aantrekkelijk ontwerp. Het is eenvoudiger dan het voorafgaande, maar vooral geschikt om *zeer stijf* uit te voeren. Immers van de elastische elementen wordt slechts trekstijfheid gevraagd als het er om gaat in het punt U een grote stijfheid te krijgen.

### Passieve isolatie

Verkleining van de "stoorsnelheden" – impulsoverdracht uit de omgeving – kan op goedkope wijze worden bereikt door de gehele apparatuur op te hangen aan elastische galgen, of door ze op de in figuur 104 getekende wijze op te leggen op stukken binnenband. Men realiseert zich dat zelfs de zwaarste machines kunnen worden 'opgelegd' met behulp van slechts een relatief kleine overdruk in de banden! Figuur 104 toont een methode om demping te introduceren. De binnenbanden zijn hiertoe via slangen verbonden met een ruim reservoir (als de banden niet op de juiste wijze ten opzichte van het zwaartepunt zijn ge-

DOORSNEDE A-A



Figuur 101.

rangschikt, moet men meer reservoirs nemen, elk met een aangepaste druk). Als de slangen een stromingsweerstand nul zouden hebben, dan zou de slingering van de opstelling ongedempt zijn. Bij een oneindig grote stromingsweerstand geldt hetzelfde. Daartussen ligt een weerstandswaarde die optimale demping geeft

### Opmerking 1

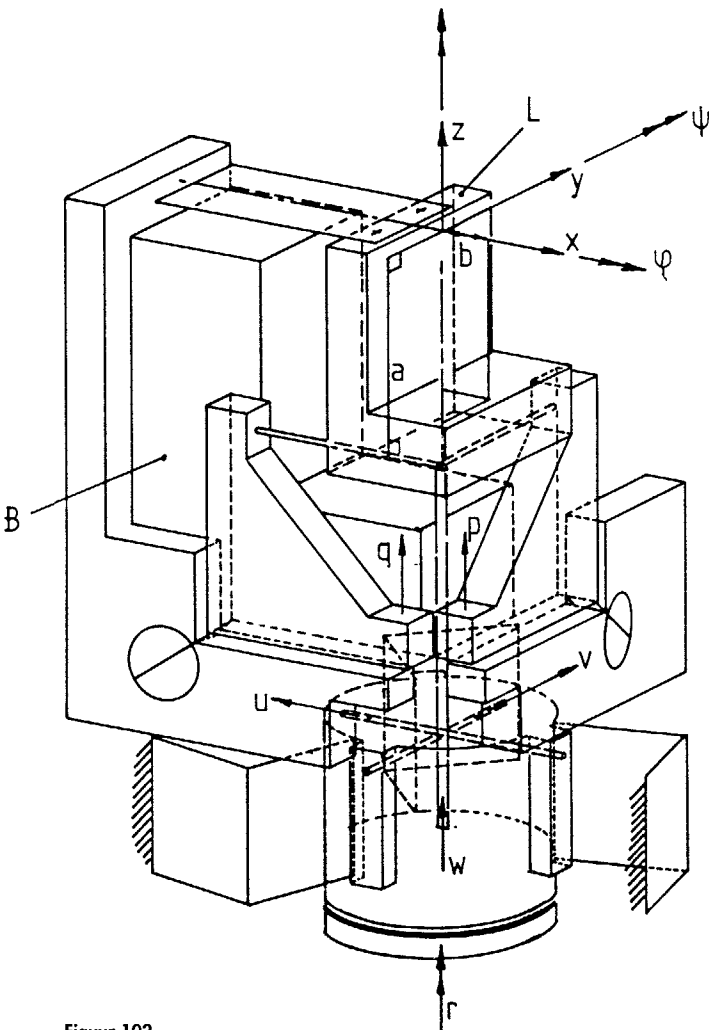
De stabiliteit van de ondersteuning vertoont analogie met die van een schip ("metacenterhoogte" enz.).

Voor stabiliteit tegen kapeizen moet de afstand tussen de banden ( $a$  in figuur 104) groot zijn en de ligging van het zwaartepunt ten opzichte van de oplegvlakken voldoende laag.

In het geval van figuur 10 is de voorwaarde voor stabiliteit om de lengtes:

$$a^2 > 4b \cdot z (\ell_1 + \ell_2) / (\pi \cdot \ell_1)$$

In verband met veiligheid tegen overbelasting (reserve in draagvermogen) en bewegingsbereik (slag in hoogte of hoek) moet de band nog tamelijk "rond" staan in normaal belaste toestand, zodat bij plaatselijke indrukking het draagvlak nog snel toeneemt (nominale breedte  $b$  in de orde van de halve diameter van de onbelaste band). De stijfheid is onafhankelijk van de breedte:



Figuur 102.

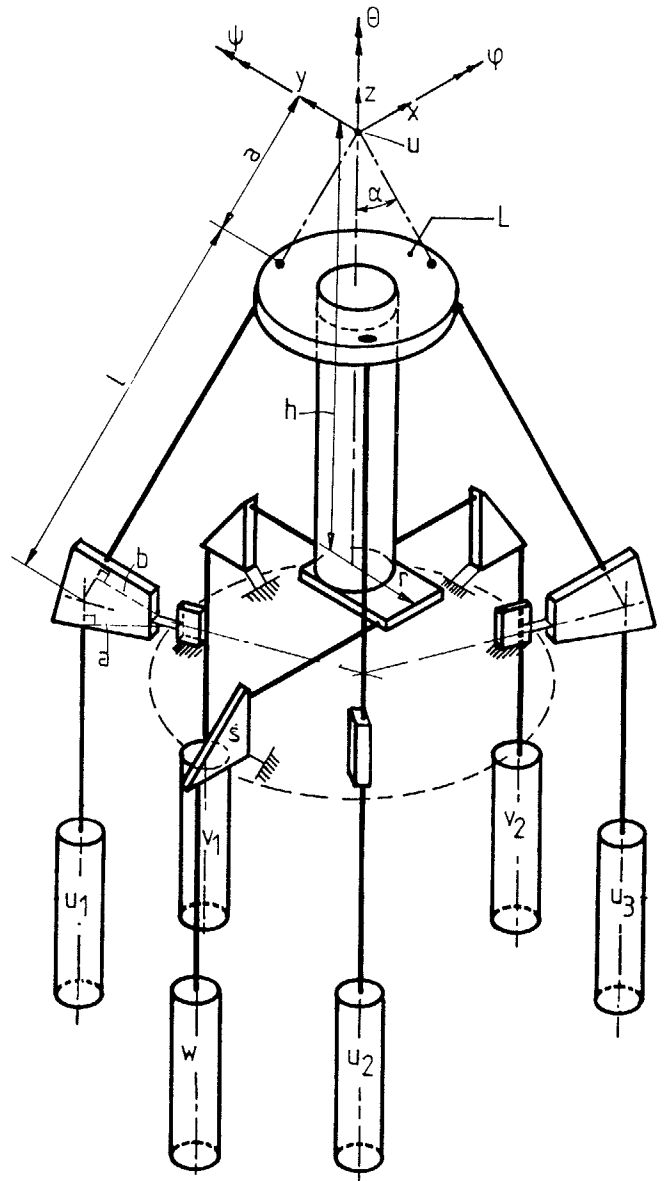
$dF/dh = -\pi p \ell / 2$ , waarin  $h$  de inzakking van de band en  $p$  de luchtdruk is.  
 De stijfheid in langrichting van de bandstukken heeft men vooral in de hand met de keuze van de banddiameter: grote diameter gaat gepaard met korte lengtes en lage axiale stijfheid. Ideaal is de situatie dat het zwaartepunt ver onder de banden ligt.

**Opmerking 2**

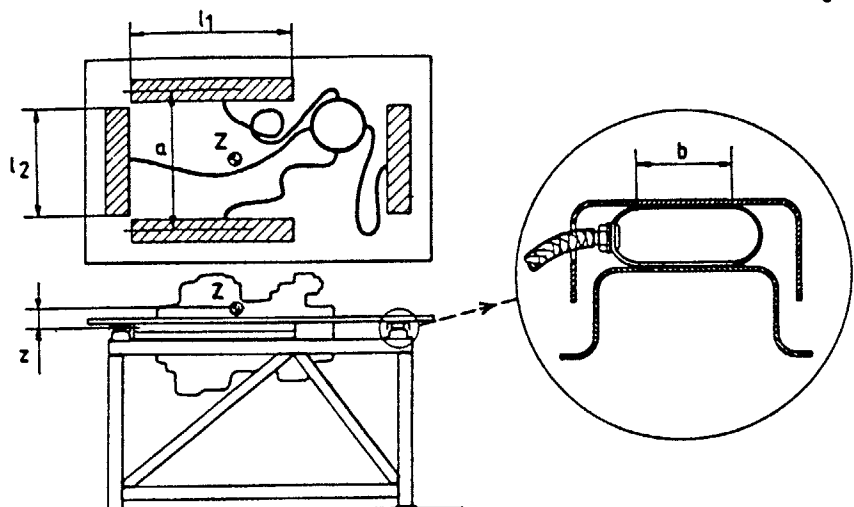
Men vergeet niet enkele massief rubberen aanslagblokjes toe te voegen die in geval van onverhoopte klapband het instrument opvangen om zo schade te voorkomen!

**Effect van de ondersteuning**

Wat is nu het effect van een dergelijke elastische ondersteuning van het freem op de gevoeligheid van de erop gemonteerde micromanipulator voor stoorsnelheden uit de omgeving?

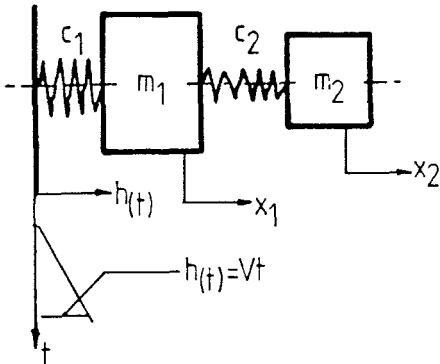


Figuur 103.



Figuur 104.

Manipuleren en instellen (deel 2)



Figuur 105.

Stel de massa van het freem  $m_1$ , de massa van de micromanipulator  $m_2$  ( $m_1 \gg m_2$ ), de stijfheid van de elastische ondersteuning  $c_1$  en de stijfheid van de micromanipulator  $c_2$ ; zie figuur 105.

Stel dat de elastische ondersteuning zo slap is dat geldt:

$$\frac{c_1}{m_1} \ll \frac{c_2}{m_2}$$

Dan kan men voor de beide eigenfrequenties van het systeem van figuur 105 schrijven:

$$\omega_{e1} = \sqrt{(c_1/m_1)}, \quad \omega_{e2} = \sqrt{(c_2/m_2)}$$

De responsie van het systeem op een sprong in de snelheid,  $h(t) = vt$ , is bij benadering:

$$x_1 = v(t - (1/\omega_{e1}) \sin \omega_{e1} t) \quad (1)$$

$$x_2 \approx x_1.$$

Toch is er een verschil tussen  $x_2$  en  $x_1$  dat kleiner is naarmate de beide eigenfrequenties verder uit elkaar liggen.

Uit (1) volgt:

$$x_1 = v(1 - \cos \omega_{e1} t); \quad \dot{x}_1(0) = 0$$

$$x_1 = v\omega_{e1} \sin \omega_{e1} t; \quad x_1(0) = 0$$

$$\ddot{x}_1 = v\omega_{e1}^2 \cos \omega_{e1} t; \quad \dot{x}_1(0) = v\omega_{e1}^2$$

zie figuur 106.

De manipulator van figuur 107 krijgt dus op het tijdstip  $t=0$  een sprong

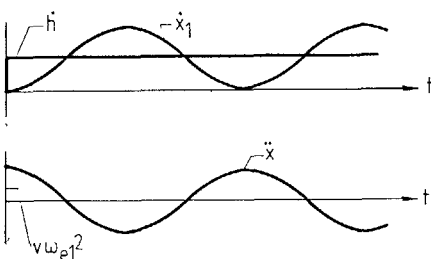
in de derde afgeleide  $x_1$  ter grootte  $v\omega_{e1}^2$ . De amplitude  $\hat{u}$  van de responsie van de manipulator daarop is  $\hat{u} = \dot{x}_1/\omega_{e2}^3$

$$\hat{u} = v\omega_{e1}^2/\omega_{e2}^3$$

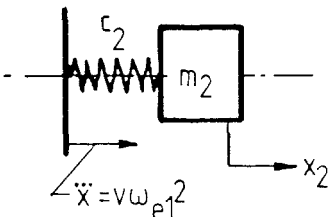
Als de manipulator van figuur 107 direct op de vloer zou hebben gestaan dan zou de plaatsamplitude zijn geweest:

$$\hat{u} = v/\omega_{e2}$$

De passieve isolatie door middel van het slap opgestelde freem geeft dus een reductie van de amplitude van de responsie op een stoorsnelheid uit de omgeving met een factor  $(\omega_{e1}/\omega_{e2})^2$ .



Figuur 106.



Figuur 107.

"Constructies voor het nauwkeurig bewegen en positioneren" is een selectie uit de verzameling constructieprincipes die op initiatief van Prof. ir. W. v.d. Hoek in 1962 is opgezet en die nog steeds wordt uitgebreid. Door ir. P.C.J.N. Rosielle en E.A.G. Reker (TU-Eindhoven) is speciaal voor de lezers van *Mikroniek* een selectie gemaakt die in 18 afleveringen wordt gepresenteerd.

Bijdragen van lezers als kritiek, suggesties of eigen ervaring worden door de auteurs op prijs gesteld.

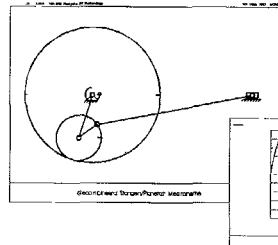
Adverteren in  
**Mikroniek**

Buro Jet bv  
tel: 070 - 3990000  
fax: 070 - 3902488

Mechanismen Analyse op de PC

**SAM 2.0**

**NU ook  
krachten-analyse**



Gebruikersvriendelijke analyse van willekeurige stangen- en planetaire mechanismen

v.a. hfl. 599,-