

Spleetvolgende las

Het bouwen van vaten, zoals tanks en schepen, vindt plaats door het dichtlassen van de spleten tussen plaatdelen. Daarbij moet het lasapparaat de spleet volgen.

In het geval van een tank voor vloeibare voedingsmiddelen (fig. 1) wordt de mantel opgebouwd uit ringen van 4 mm dikke RVS plaat. Op een carroussel worden de ringen successievelijk opgestapeld en gelast. De roterende carroussel voert de lassespleet langs het lasapparaat.

Indien men met de hand last dan is de taak van de lasser om de lassespleet in de axiale richting van de tank te volgen en er voor te zorgen dat het lasapparaat de juiste afstand houdt tot de (niet perfect cirkelvormige) tankwand. Besloten werd om deze taak te automatiseren.

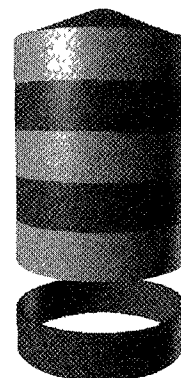


Fig. 1 Tank voor voedingsmiddelen

• M.P. Koster •

Lasmanipulator

Een concept voor een lasmanipulator dat voor de hand ligt, maakt gebruik van een sensor die de lasnaad kan waarnemen en van een actuator die het lasapparaat in de y-richting (fig. 2) kan verstellen, zodanig dat de met een vooraf ingestelde omtreksnelheid (ω) voorbijtrekkende lasnaad in de y-richting door het lasapparaat wordt gevolgd.

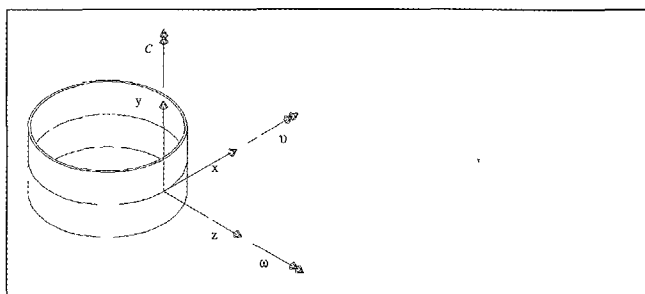


Fig. 2 Coördinaten lasautomaat.

Een tweede sensor is nodig om de hoogte van het lasapparaat t.o.v. de in fig. 2 afgebeelde tankwand (de z-coördinaat (fig. 2)) te bepalen. De manipulator is opgesteld op de vloer, vlak naast de carroussel. Deze manipulator zal derhalve 2 graden van vrijheid hebben; (x) en (y). Bij het ontwerp zal men moeite moeten doen om de stijfheid voldoende groot te maken teneinde de dynamische vervormingen van het toestel t.o.v. de lasplaats op de carroussel tijdens het bedrijf voldoende klein te houden. Daarbij moet men letten op de stijfheid van de gehele constructie van de carroussel en zijn bevestiging op de vloer, de vloer zelf, de bevestiging van de manipulator op de vloer en tenslotte, de manipulator zelf.

Heeft men eenmaal oog voor het feit dat men deze conditie in het ontwerp moet realiseren dan kan men ook op de gedachte komen dat men bij het schrijven de pols op het schrijfblood legt en dat de tandarts tijdens het werk zijn hand steeds op de kaak van de patiënt afsteunt.

-automaat

M a.w het is voordelig om een zo kort mogelijke verbinding [3],(V1.3.2), tussen het werkstuk en het gereedschap (in casu het lasapparaat) te zoeken, om een grote stijfheid tussen die twee te bereiken.

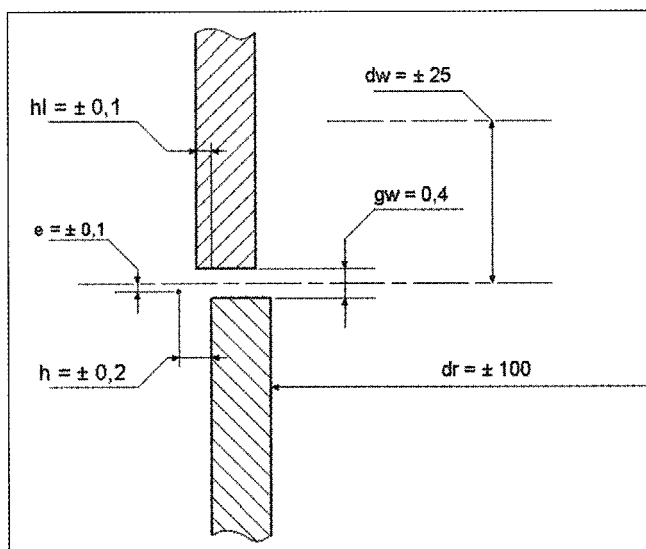


Fig.3 Doorsnede op de lasnaad

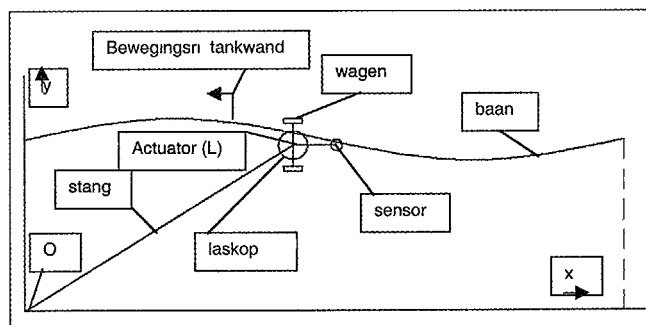
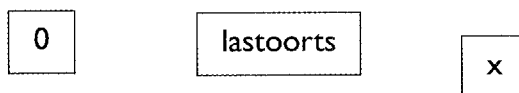


Fig.4 Concept manipulator

Het gevolgde concept is dat van fig.4. De twee-wielige *wagen* steunt op de tankwand en is vrij om deze te volgen. Daarmee wordt de z-coördinaat aan weerszijden van de lasplaat afgetast. De *wagen* krijgt op deze wijze de informatie over de lasplaat in de z-richting, zonder dat hiervoor een actieve regellus nodig is. De *stang* (OM) is draaibaar om het vaste punt (O). De *wagen* is om de *stang* draaibaar om het punt (L) dat tevens het middelpunt is van de *laskop* die in de *wagen* is opgehangen. De

wagen draagt een optische *sensor*. Deze volgt de *baan* van de voorbijkomende lasspleet. Deze sensor is, gezien in de relatieve rijrichting, geplaatst vóór de laskop. Tussen de *stang* en de *wagen* is een actuator aangebracht die de rotatie van de *wagen* om de *stang* in (M) aandrijft. Een door de sensor gesignaleerde afwijking van de baan leidt tot een actie van de actuator, die de *wagen* verdraait om de z-as zodanig dat hij naar de baan wordt terugge-stuurd.



De baan

De ideale baan is een rechte lijn op de omtrek van de tank, loodrecht op diens as. De werkelijke baan wijkt daarvan af. De belangrijkste afwijking wordt beschreven als waarin (zie fig.5)

$$y(x) = \hat{y} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{l}\right) \cdot x$$

$y(x)$ is de hoogte y ter plaatse x .

\hat{y} is de maximale uitwijking van de baan.

$l = 2\pi r$ is de lengte van de baan, gelijk aan de omtrek van de tank.

x is de positie x op de omtrek.

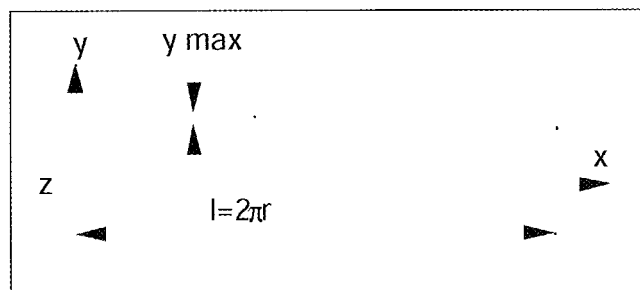


Fig.5 Baanvorm

Men denke hierbij aan
 $r \approx 4000\text{mm}$, $r \approx 25\text{mm}$

De vraag is nu of volgens het concept van fig.4 een manipulator te maken valt die de laskop voldoende nauwkeurig over de lasspleet beweegt.

Evaluatie van het gekozen concept

Fig.6 stelt het gekozen concept voor met daarin aangegeven

ω = hoeksnelheid van de tank

L_0 = lengte van de arm.

r = straal van de tank.

a = afstand tussen laserbundel en sensor

φ en $\theta \ll 1$.

y_0 = hoogte van de naad boven oorsprong.

y_s = positie van de sensor.

\hat{y} = maximale uitwijking van de baan.

y_L = positie van de lasbundel.

y = positie punt op baan van de lassolet (ter hoogte van de sensor).

y^* = positie punt op baan van de lassolet (ter hoogte van laserbundel).

In het model van fig 6 gelden de volgende vergelijkingen. Sensor, aangenomen dat zijn signaal rechtevenredig is met de waargenomen uitwijking ($y - y_s$):

$$U_s = S (y - y_s). \tag{1}$$

Plaats laser (L): $y_L = L_0 \cdot \sin\alpha.$

Plaats sensor (S): $y_S = L_0 \cdot \sin\alpha + \varphi \cdot \alpha$ (2)

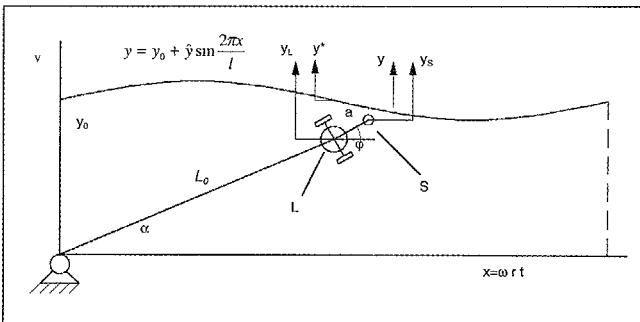


Fig.6 Model van de lasmanipulator

Zolang φ relatief klein is mag worden geschreven

$$y_s = y_L + \varphi \cdot \alpha \tag{3}$$

De krachten de koppels die werken in het draaipunt (L) zijn in figuur 7 afgebeeld:

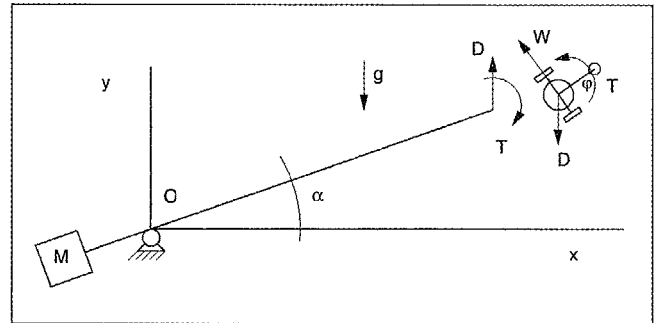


Fig.7 Krachten en koppels in het draaipunt

Vanuit deze figuur kunnen de volgende vergelijkingen worden afgeleid:

Rotatie wagen

$$T = J \ddot{\varphi} \rightarrow \varphi = \frac{1}{Js^2} T \tag{4}$$

Toelichting: in plaats van $\varphi = d\varphi/dt$ schrijven wij hier $s^2\varphi$. Koppel servomotor:

$$T = k_m I \tag{5}$$

Evenwicht arm L_0 :

$$D \cdot L_0 = T \tag{6}$$

Evenwicht van de wagen in de y-richting als $\varphi \ll 1$:

$$D = W \rightarrow W \leq \mu N \tag{7}$$

met: k_m = motorconstante [Nm/A].

J = massa traagheid van de wagen en zijn rotatie-actuator [kgm^2].

Uit (3) en (3) blijkt dat er geen dwarsslip is als

$$T < \mu N L_0 \tag{8}$$

Weliswaar staat het x-y vlak van het systeem in de richting van het zwaarteveld (g), zodat eigengewichten een rol spelen, doch met behulp van de contra massa (M) worden deze om O uitgebalanceerd. Het koppel T is dan alleen bestemd voor de koerswijzigingen j van de wagen. De hoekversnelling ($\ddot{\varphi}$) zal blijken zo klein te zijn dat de benodigde normaalkracht (N) bescheiden zal blijven en ook aan de conditie (8) kan worden voldaan.

Verder gelden nog de vergelijkingen die de dynamica beschrijven.

De regelaar, $H(s)$, versterkt het sensorsignaal (U_s)

$$U_R = U_S \cdot H(s) \quad (9)$$

Voor de versterker geldt:

$$I = AU_R \quad (10)$$

kinematica van de wagen die voldoet aan de voorwaarde (8), m.a.w. die niet in de dwarsrichting slijpt:

$$\varphi = \frac{dy_L}{dx} \Rightarrow \varphi = \frac{dy_L}{dt} \cdot \frac{dt}{dx} \Rightarrow \varphi = \frac{y_L}{\omega \cdot r} \Rightarrow (\omega \cdot r) \cdot \varphi = y_L \quad (11)$$

De uitdrukkingen (1) t/m (5) en (9) t/m (11) geven aanleiding tot het blokschema van de gesloten regellus volgens fig.8.

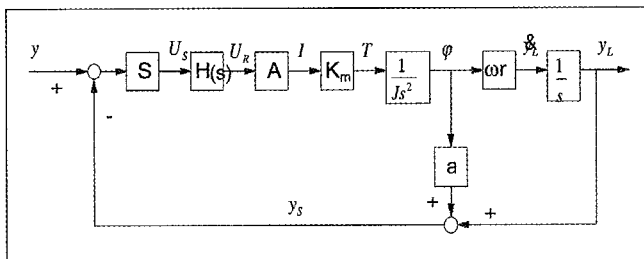


Fig.8 Gesloten regellus

In het schema van fig.8 liggen de relevante dynamische eigenschappen van de spleetvolgende manipulator opgesloten. Een relatief simpele wijze van werken is nu het invoeren van het vereenvoudigde blokschema van fig.9

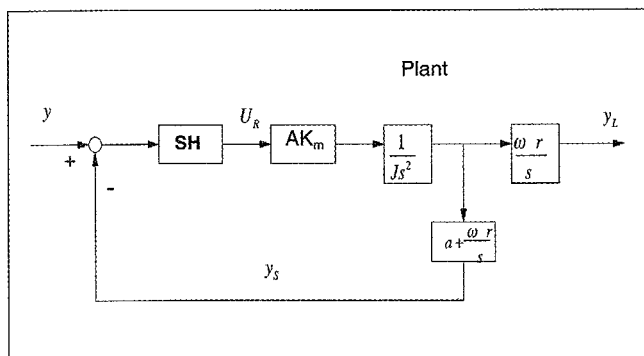


Fig.9 Vereenvoudigd blokschema

Het met "plant" aangegeven deel beschrijft de dynamica van de manipulator. Het deel $S \cdot H(s)$, de sensor en de regelaar, sluit de regellus.

Overdrachtsfuncties

Overdracht van het te regelen systeem

Een overdrachtsfunctie beschrijft de relatie tussen een uitgangssignaal en een ingangssignaal.

In het geval van de "plant" van fig. 9 is (y_L), de positie van de laskop het uitgangssignaal. Het ingangssignaal, U_R , is de spanning waarmee de versterker wordt bestuurd.

$$\frac{y_L}{U_R} = \frac{AK_m}{Js^2} \cdot \frac{\omega \cdot r}{s} \quad (12)$$

Deze overdrachtsfunctie blijkt van de derde orde omdat de noemer een uitdrukking bevat met daarin s^3 . Deze uitdrukking wijst erop dat het verplaatsingen van de laskop in de richting van de coördinaat (y_L) ten gevolge van het signaal (U_R) plaatsvinden als de laskop met zijn massa-traagheidsmoment (J) wordt versneld (in rotatie-zin) zodat daarna de koerswijziging aanleiding geeft tot het dwars-verplaatsen, zolang de te lassen trommel draait (ω)

Overdracht geregeld systeem.

In het algemeen wordt de te regelen grootte gemeten, met de bedoeling die vervolgens te regelen. Hier gaat het om de positie van de laskop (y_L) ten opzichte van de lasnaad (y^*). Het is echter onmogelijk om op de plaats waar wordt gelast tevens te meten. Er is daarom een zekere afstand (a) aanwezig tussen de lasplaats (L) en de plaats van de sensor (S). De sensor meet het signaal ($y - y_s$). Voor (y_s) geldt:

$$y_s = y_L + \varphi a \quad (13)$$

hetgeen in fig.8 is aangegeven.

Uit fig 9 kan nu de overdrachtsfunctie voor de gesloten regellus worden afgelezen

$$\frac{y_L}{y} = \frac{SH(s)AK_m \left(\frac{1}{Js^2} \right) \cdot \frac{\omega \cdot r}{s}}{1 + SH(s)AK_m \left(\frac{1}{Js^2} \right) \left(a + \frac{\omega \cdot r}{s} \right)}$$

welke kan worden vereenvoudigd tot

$$\frac{y_L}{y} = \frac{SH(s)AK_m \omega \cdot r}{Js^3 + SH(s)AK_m (as + \omega \cdot r)} \quad (14)$$

Deze overdrachtsfunctie geeft aan hoe en in welke mate de lastoorts (y_L) de lasspleet (y) kan volgen

Nu is $H(s)$, de karakteristiek van de regelaar) nog een onbekenden. De vraag is welke regelaar het meest geschikt is voor deze toepassing.

Als de versterking $SH(s)A_{k_m}$ zeer groot is, dan nadert de overdrachtsfunctie tot

$$\frac{y_L}{y} \approx \frac{\omega \cdot r}{as + \omega r} = \frac{1}{1 + \frac{a}{\omega r} s} \quad (15)$$

hetgeen er op wijst dat het systeem zich nagenoeg als een eerste-orde systeem [2] gedraagt. Het gedrag van zo'n systeem is bekend; het wordt niet instabiel (zolang het 1^e-orde-gedrag domineert) en de mate waarin het uitgangssignaal (y) het ingangssignaal (y_L) volgt wordt bepaald door de eerste-orde-tijdconstante, die hier de waarde ($\tau = a/(\omega r)$) heeft. Het systeem volgt beter naarmate (τ) kleiner is. Dit betekent dat wij (a) zo klein mogelijk moeten houden.

Voor ($H(s)$) geldt: als hij maar groot is mits een stabiliteitsgrens wordt bereikt. Wij kunnen de lus sluiten met bijvoorbeeld een proportionele regelaar: $H = p$. Om stabiliteitsproblemen te vermijden wordt er een klein beetje demping (d) aan toegevoegd. Een PD-regelaar

$$H(s) = (p + sd). \quad (16)$$

voldoet derhalve.

$$\frac{y_L}{y} = \frac{(p+ds)gr\omega}{Js^2 + (p+ds)g(as+\omega r)}$$

$$\text{Met } g=SA_{k_m} \quad (17)$$

volgt

Hieruit volgt als overdracht voor het p-d geregelde systeem:

$$\frac{y_L}{y} = \frac{(p + ds)gr\omega}{Js^2 + dgas^2 + (pga + d\omega r)s + pg\omega r} \quad (18)$$

Eerste orde benadering.

Een eerste indruk van het gedrag van dit systeem verkrijgt men door zich te realiseren dat het effect van de massa-traagheid van de (zeer langzaam) roterende las-kop niet veel invloed zal hebben op het totale dynamische gedrag. Als we dan ook nog de demping (d) buiten beschouwing laten dan blijkt dat het gedrag voornamelijk wordt bepaald door :

$$\frac{y_L}{y} = \frac{\omega pgr}{pgas + pg\omega r} = \frac{1}{1 + \frac{a}{\omega r} s} \quad (19)$$

$$\hat{O} = \frac{a}{\omega r} \left[\frac{m}{s^2 m} = s \right]$$

$$\frac{y_L(s)}{y} = \frac{1}{1 + \tau s}$$

Responsie

De taak van het geregelde systeem is het volgen van de lasspleet. De baan van de lasspleet is gedefiniëerd volgens fig.5, een sinusvormige baan. De responsie is dan eveneens sinusvormig. In het geval van harmonische (sinusvormige) functies geldt dat $s = j\omega$, zodat uit (19) volgt dat

$$\frac{y_L}{y}(\omega) = \frac{1}{1 + j\omega\tau} \quad (20)$$

$$\frac{\hat{y}_L}{\hat{y}}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2\tau^2}}$$

$$\omega\tau = \omega \cdot \frac{a}{\omega r} = \frac{a}{r}$$

en de faseverschuiving

$$\varphi = -\omega \tau$$

Hierdoor wordt de amplitude-verhouding:

$$\frac{\hat{y}_L}{\hat{y}}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{a}{r}\right)^2}} \approx \frac{1}{1 + \frac{1}{2}\left(\frac{a}{r}\right)^2} \quad (21)$$

Toelichting: $(p+q)^2 = p^2 + 2pq + q^2 \approx p^2 = 2pq$ als $q \ll p$.

De maximale plaatsfout is $\hat{y}_L - \hat{y}$. Uit (16) volgt dan:

$$\frac{\hat{y}_L - \hat{y}}{\hat{y}} \approx -\frac{1}{2} \left(\frac{a}{r}\right)^2 \quad (22)$$

Toelichting:

$$y = \frac{1}{1+q} \Rightarrow y - 1 = \frac{1}{1+q} - 1 = \frac{1}{1+q} - \frac{1+q}{1+q} = -\frac{q}{1+q} \approx -q$$

als $q \ll 1$.

Uit (22) volgt, met $a=100$ mm en $r=5400$ mm:

$$\frac{\hat{y}_L - \hat{y}}{\hat{y}} \approx -\frac{1}{2} \left(\frac{1}{54^2} \right) = 171 \cdot 10^{-6}$$

Met $\hat{y} = 26 \cdot 10^{-6} m$ is het verschil in amplitude gelijk aan

$$\hat{y}_L - \hat{y} = 4,27 \cdot 10^{-6} m$$

De tijdconstante (19) van dit systeem, als $\omega = v/r = 0.05$ [m/s] / 5.4 [m] = 0.00926 r/s, is

Uitgaande van (20) is de faseverschuiving, op de trommelomtrek gemeten, gelijk aan:

$$\phi r = \frac{a}{r} r = a = 0,1 m$$

Deze is kennelijk gelijk aan de maat (a) zelf, zodat het inzicht ontstaat dat de baan van de laskop (y_L) en de baan van de lasspleet ter plaatse van de laskop (y^* , fig.6) in fase zijn. Het hierboven berekende amplitudeverschil is derhalve ook de maximale plaatsfout tussen de lastoorts en de spleet.

Met behulp van deze beschouwing is een eerste indruk ontstaan betreffende de nauwkeurigheid waarmee de laskop (y_L) de baan (y^*) volgt. Vastgesteld kan worden dat een deze volgfout, minder dan 5 micrometer, een ruim voldoende nauwkeurigheid biedt.

Simulaties

Op basis van de volledige modelbeschrijving volgens

(1) t/m (8) en fig.8, zijn simulaties in MATLAB (fig.9) uitgevoerd.

Daarbij is de versterking ($g=SAk_m$) zo hoog ingesteld als in (15) wordt bedoeld en, om instabiliteit te voorkomen, is er een zekere waarde voor de demping (d) ingesteld. Het resultaat, weergegeven in fig. 11, komt goed overeen met de het resultaat van de, bovenstaande, analytische beschouwing. De vooronderstelling, dat op de aangegeven wijze ingesteld, het systeem zich bijna als een eerste-orde systeem gedraagt, kan worden gehandhaafd

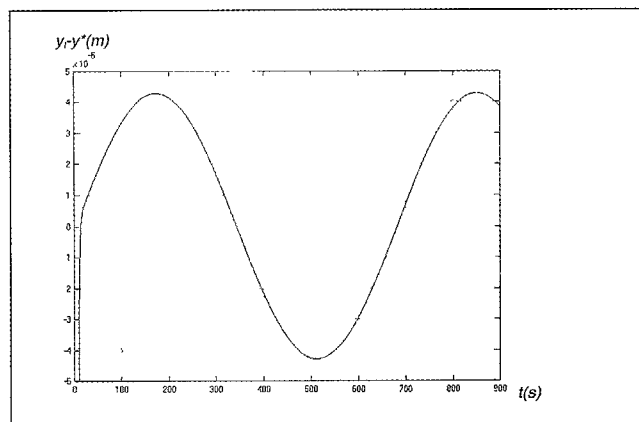


Fig.11 Simulatie van de plaatsfout m.b.v. MATLAB

Deze simulatie is gestart met de laskop betrekkelijk verwijderd van de lasspleet, maar wel zo, dat de sensor de lasspleet nog kon "zien". Men krijgt op uit fig.10 ook een indruk hoe snel de lastoorts naar de lasspleet toe beweegt; na een aantal mm verplaatsing langs de omtrek is dit inschakelverschijnsel achter de rug.

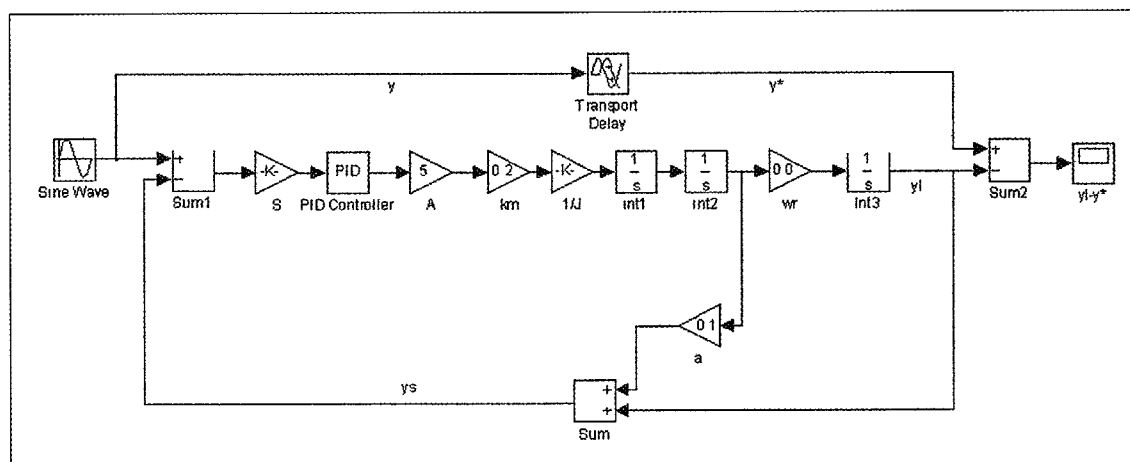


Fig.10
MATLAB model

Het ontwerp

Het punt (L) in fig.4 is het middelpunt van de laskop. Tevens is dit het draaipunt van de *wagen* om de *stang*. Het probleem is nu om het draaipunt in het midden van de laskop te construeren.

Men moet zich realiseren dat de hoekverdraaiing van de *wagen* om de *stang* relatief klein zal zijn.

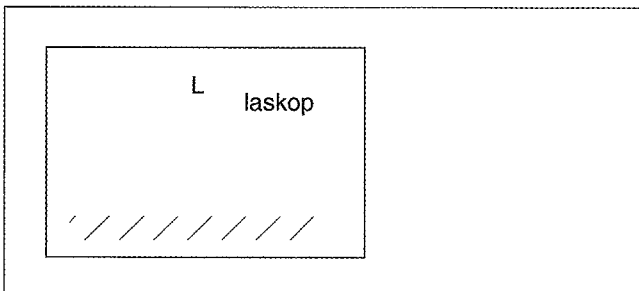


Fig. 12 Kinematica van het draaipunt (L)

De pool van het koppelvlak (de laskop) van het stangen-vierzijde van fig.12 zal nauwelijks verlopen als de hoekverdraaiing van de laskop om (L) relatief klein is. Om het draaipunt te realiseren is in het midden van de laskop derhalve geen materiële voorziening nodig. De schar-

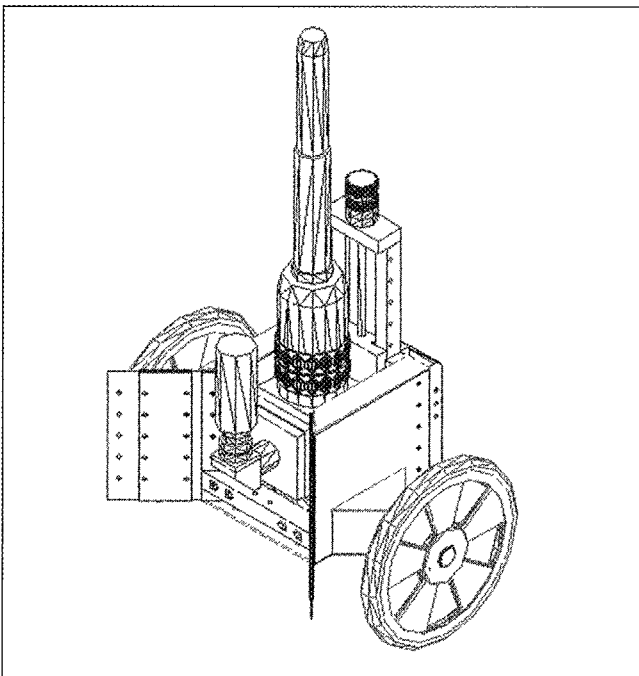


Fig.13a Wagen met laskop en elastisch scharnier

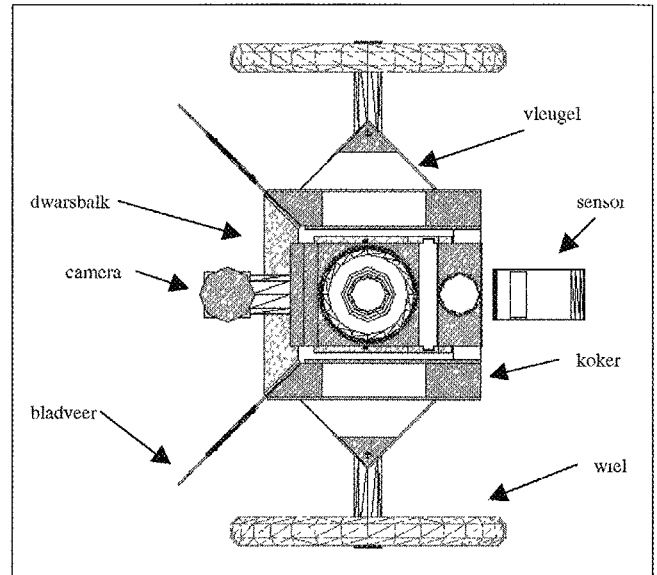


Fig 13b Boven-aanzicht wagen

nierpunten worden vervolgens als elastische lijn-scharnieren uitgevoerd, zoals in fig. 13 is afgebeeld. De vlakken van de respectievelijke bladveren (met verstijfd middestuk) snijden elkaar in de hartlijn van de laskop.

Aan de andere zijde zijn de bladveren verbonden met de *stang* (fig.4).

Met de wielen aan weerszijden van de lassoort rijdt de *wagen* over de buitenmantel van de te lassen tank. De *wagen* wordt tegen kantelen om de wiel-as behoed door hem op te nemen in een parallellogram. Zo ontstaat de complete las-manipulator van fig.14.

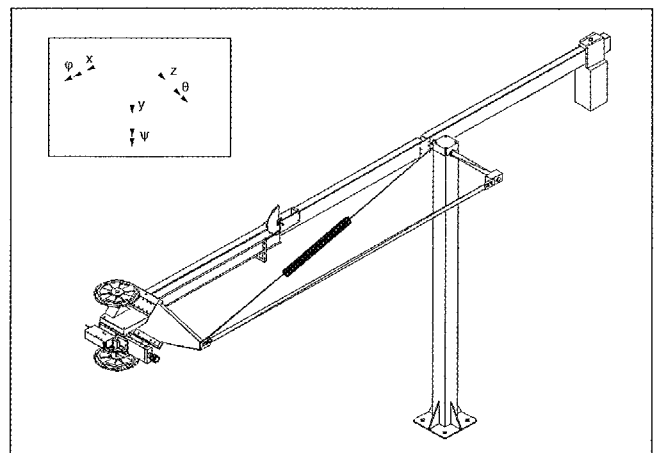


Fig 14 las-manipulator

Wij letten nu op de coördinaten van de wagen.

x: vastgelegd in de stang

y: vastgelegd door de wielen zo lang deze geen dwarsslip vertonen

z: vastgelegd omdat de wielen over de tankomtrek rollen, daarbij aangedrukt door de veer welke diagonaal in het parallellogram staat voorgespannen.

φ : vastgelegd omdat beide wielen over de tankomtrek rollen, waarbij het noodzakelijk is dat in het parallellogram de scharnieren, respectievelijk aan de bovenzijde van de wagen en die aan de vaste wereld als kogelscharnieren zijn uitgevoerd om de j-rotatie niet te belemmeren. In fig. 13 zijn op deze plaatsen geen kogelscharnieren te zien; daar zijn nog de aanvankelijk gekozen elastische scharnieren afgebeeld. De stang draait met de j-rotatie mee.

ψ -rotatie: is belemmerd door het parallellogram.

θ -rotatie: wordt door de besturing vastgelegd

De besturing

De rotatie (j) van de wagen om de stang vindt plaats door middel van een servo-motor en een overbrenging. Dit systeem is op de stang aangebracht, zoals in fig.14 zichtbaar is. Aan de wagen is een helmstok (fig.15) bevestigd. Deze wordt bestuurd door een spiraalnok waarvan de stand door de in de regellus opgenomen servo-motor wordt bepaald. Men ziet dat aan de stang (fig 14) het in fig.7 aangegeven contragewicht (M) is .

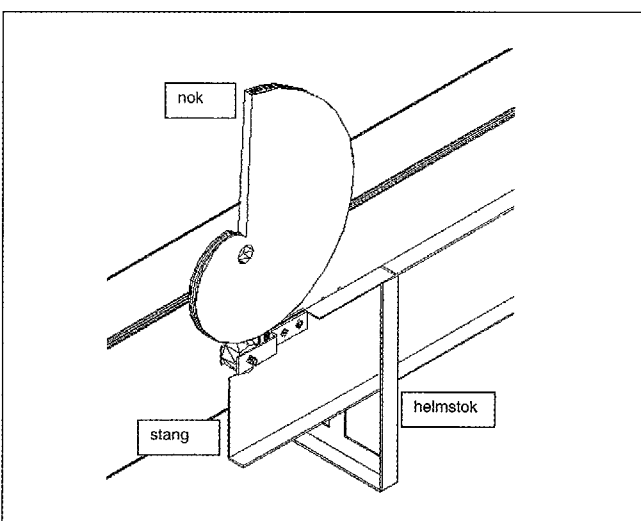


Fig. 15 Besturing

Implementatie

Voor het implementeren van de regeling is numerieke informatie nodig over verschillende onderdelen van het ontwerp, o.a. het massa-traagheidsmoment van de roterende laskop. Men moet er aan denken om alle roterende delen mee te tellen

Fig.16 toont het dynamische model. Hier zien wij de laskop (J_{kop}), de nokschijf (J_{nok}) en de servomotor (J_m).

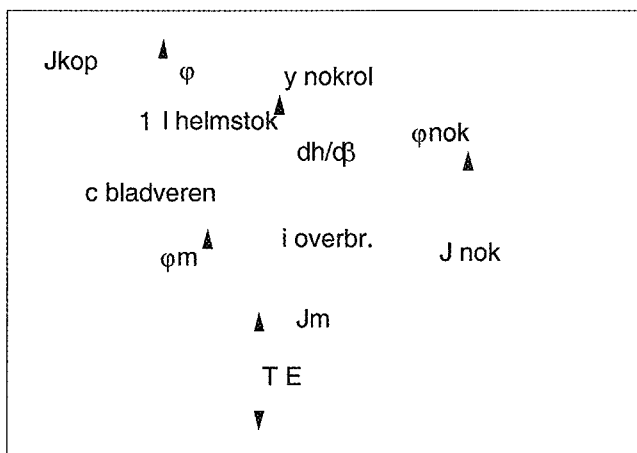


Fig.16 Dynamisch model van de besturing

De bijdragen van deze onderdelen, getransformeerd naar de rotatie-as van de laskop zijn

$$J_{kop} = 0,3 \text{ kgm}$$

$$J_{nok}^* = J_{nok} * \left[\frac{l_{helmstok}}{1} \frac{d\beta}{dh} \right]^2 = 9 \cdot E - 4 * \left[\frac{1}{1} \frac{\pi}{0,04} \right]^2 = 5,5 \text{ kgm}^2$$

$$J_m^* = J_m \left[\frac{1}{i_{overbr}} \frac{l_{helmstok}}{1} \frac{d\beta}{dh} \right]^2 = 2,3E - 6 * \left[18 \cdot \frac{1}{1} \cdot \frac{\pi}{0,04} \right]^2 = 4,5 \text{ kgm}^2$$

Het is duidelijk dat de sneldraaiende delen het overgrote deel van het massa-traagheidsmoment vertegenwoordigen.

Een punt van aandacht is de kwaliteit van de lasspleet uit het oogpunt van de detectie. In de proefopstelling werd beschikt over een lasspleet die in breedte sterk varieerde en derhalve niet representatief was voor de toekomstige praktijk. Voordat het lassen begint worden de te lassen delen met een aantal hechtlassen bijeen gehouden. Op het moment dat de sensor tegen een

obstakel in de spleet aanloopt, in casu een hechtlas, dan is het signaal niet meer representatief voor het midden van de spleet. Er is immers geen spleet meer op die plek. Om er nu voor te zorgen dat de manipulator zonder problemen de hechtlas kan passeren, is de volgende oplossing bedacht.

De sensor detecteert, naast het midden, ook nog de breedte van de lassespleet. Op het moment dat deze nul wordt dan wordt de laatste waarde bewaard tot het moment dat er weer sprake is van een lassespleet. Met andere woorden: de manipulator wordt in de laatst bepaalde richting gestuurd. Na de hechtlas corrigeert het sensorsignaal een eventuele afwijking, op basis van de nieuwe waarneming.

De implementatie van de regeling is afgebeeld in fig.17.

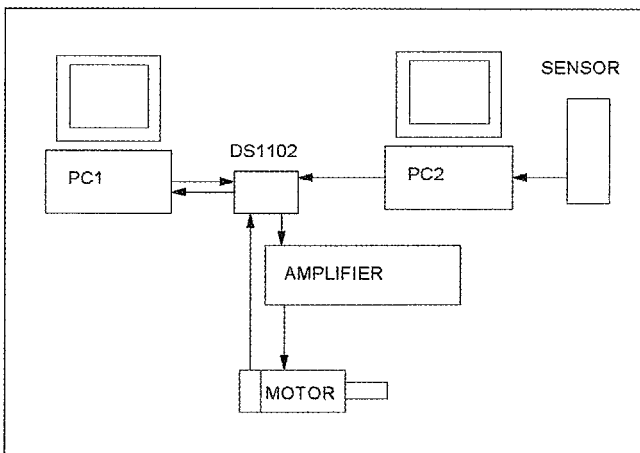


Fig. 17 Implementatie van de regeling in dSpace

Op PC1 wordt het MATLAB-Simulinkmodel (fig.9) geladen op de dSpace DS1102 kaart. In het programma Control Desk kan een gebruikersinterface(fig.18) gemaakt worden, waarmee het proces aan en uitgezet wordt en de gebruiker kan volgen hoe het systeem zich gedraagt.

Resultaten

Wij zijn uiteraard geïnteresseerd in de positie van de laskop t.o.v. de lassespleet (y^*-y_L). Dit signaal is in het geregelde systeem niet zonder extra sensoren beschikbaar. Om een eerste indruk te krijgen van het systeem behelpen wij ons met de sensorpositie t.o.v. de lasnaad ($y-y_s$), een signaal dat uiteraard wel beschikbaar is

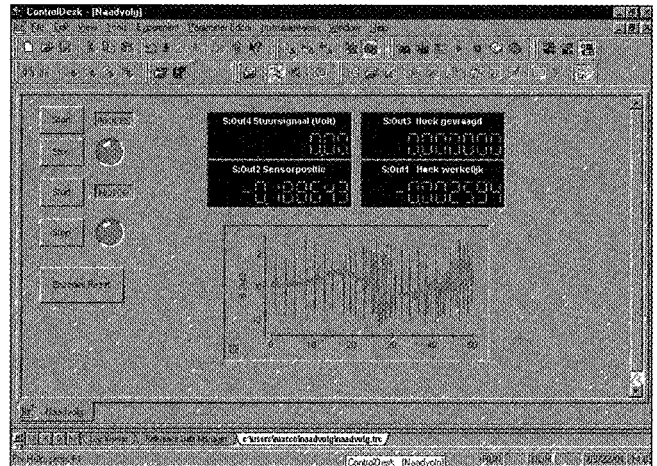


Fig.18 Gebruikersinterface

In deze paragraaf staan drie afbeeldingen van de verelens van de sensorpositie:

- de eerste geeft weer, hoe de manipulatorkop zich gedraagt als deze zo op de naad geplaatst wordt dat de naad ongeveer in het midden van het sensorbereik staat.
- de tweede geeft aan hoe de manipulatorkop zich gedraagt als deze naast de naad wordt geplaatst.

startpunt midden op de spleet

In figuur 19 is de sensorpositie gelogd over een periode van 25 sec.

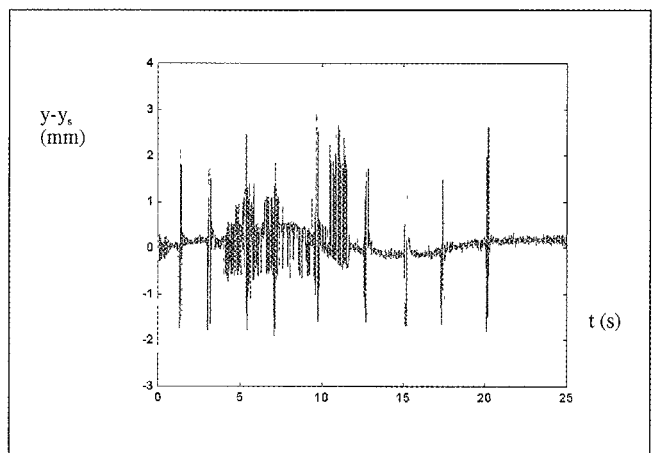


Fig.19 Sensorpositie, startpunt: midden op de naad

Er treden opvallende pieken op. Zo'n piek ontstaat bij het passeren van een hechtlas. Dit gedrag duidt op een nog onvoldoende gedrag van het hierboven besproken algoritme voor het passeren van hechtlassen.. Ten onrechte tracht de regelaar koerscorrecties aan te brengen . Verder viel op dat de lasnaadbreedte vaak groter was dan de bedoelde 0.4 mm (fig.3). Dit is van invloed op de nauwkeurigheid van de y_L -positie

Startpunt naast de spleet

In figuur 20 wordt de manipulorkop, naast de naad gestart. Het systeem reageert door de manipulorkop naar de naad toe te bewegen.

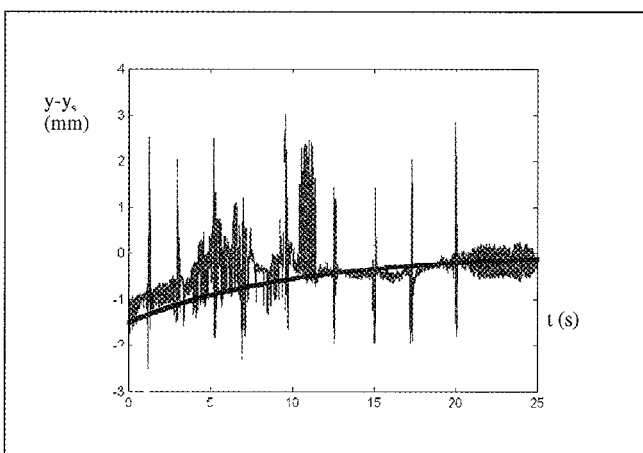


Fig.20 Startpunt naast de lassalet

Na het wegfilteren van de hierboven besproken pieken ziet men het eerste-orde-gedrag waarmee de laskop naar de lassalet toe loopt

Conlusies

- 1 Ondanks de veel ongunstiger omstandigheden waarbinnen de manipulator in de proefopstelling functioneert dan voorzien, blijft het systeem de spleet volgen hetgeen duidt op een aanzienlijke robuustheid
- 2 Om uitspraken te kunnen doen over de te realiseren volgfouten die, op grond de evaluaties zijn te verwachten, moeten de randvoorwaarden waarbinnen de proeven worden gedaan, worden verbeterd.

- 3 Een gedegen analyse van het proces van het volgen van een lassalet op een tankwand heeft geleid tot dit eenvoudige concept, waarbij slechts één graad van vrijheid (y) moet worden geregeld, in tegenstelling tot hetgeen gebruikelijk is in deze industrie: een manipulator die bovendien de hoogte boven het tankoppervlak regelt.
- 4 Een stijve verbinding tussen het tankoppervlak en de laskop wordt door middel van de tweewielige wagen op eenvoudige wijze gerealiseerd. Een dergelijke stijfheid is met een apart naast de draaitafel opgestelde manipulator nauwelijks bereikbaar. Deze eigenschap leidt tot een simpele regeltechnische opgave; het regelen van een eenvoudig eerste-orde-systeem.

Woord van dank

Een woord van dank wordt gericht aan ir J.C. Storm. In dit artikel is gebruik gemaakt van het rapport van zijn afstudeerproject waarvan de auteur de begeleider was in zijn vroeger functie als hoogleraar aan de UT.

Referenties

- [1] J.C. Storm, *Ontwerp van een laserkopmanipulator*. Universiteit Twente. april 2001.
- [2] M.P. Koster c.s, *Mechatronica*. fac., Elektrotechniek Universiteit Twente. mei 2001.
- [3] M.P. Koster, *Constructieprincipes*. Twente University Press. 2000.

Koster Eindhoven Innovator KEI

Neherlaan 39
5631NH Eindhoven
e-mail: k.e.i@iae.nl

$$1 + \frac{a}{\omega r} s$$

$$\frac{y_L(\omega)}{y}(\omega) = \frac{1}{1 + j\omega}$$

$$\hat{y}_L(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2}}$$

$$\hat{\delta} = \frac{a}{\omega r} \left[\frac{1}{s^2 m} \right] \Rightarrow y^{-1} = \frac{1}{1 + q} = \frac{1}{1 + \frac{a}{\omega r} s}$$

$$\frac{1}{1 + \frac{a}{\omega r} s} = \frac{1}{1 + q} = \frac{1}{1 + \frac{a}{\omega r} s} = \frac{1}{1 + \frac{a}{\omega r} s} = \frac{1}{1 + \frac{a}{\omega r} s}$$