

De recente ontwikkelingen van compliantie in de montage

Citation for published version (APA):

Gijsen, P. J., & Apeldoorn, G. P. (1992). *De recente ontwikkelingen van compliantie in de montage*. (TH Eindhoven. Afd. Werktuigbouwkunde, Vakgroep Produktietechnologie : WPB; Vol. WPA1273). Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1992

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

Take down policy

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

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

TECHNISCHE UNIVERSITEIT EINDHOVEN
FACULTEIT DER WERKTUIGBOUWKUNDE
VAKGROEP PRODUKTIE TECHNOLOGIE EN AUTOMATISERING (WPA)

**DE RECENTE ONTWIKKELINGEN VAN
COMPLIANTIE IN DE MONTAGE.**

Literatuurstudie door:

P.J. Gijsen, G.P. Apeldoorn.

Rapportnummer: WPA-1273

Verslag literatuuronderzoek

Hoogleraar : Prof.ir.J.M. van Bragt

Begeleider : Ir.A.T.J.M. Smals

Eindhoven, maart 1992.

SAMENVATTING

Dit rapport bevat de recentste ontwikkeling op het gebied van compliantie. Compliantie is in de automatische montage nodig om soepelheid in het systeem (assembleer-eenheid) te brengen.

Er is onderzoek gedaan naar de ontwikkeling van passieve compliantie, actieve compliantie en de combinatie van deze twee. In dit onderzoek is het meeste aandacht besteed aan de passieve compliantie omdat dit het grootste raakvlak heeft met de werktuigbouwkunde.

De principes van passieve compliantie, die in de jaren '70 ontwikkeld zijn, zijn besproken.

Op het gebied van actieve compliantie is veel onderzoek gedaan. In dit rapport wordt volstaan met de beschrijving van één van de laatst ontwikkelde sensoren, die geschikt is voor actieve compliantie.

Tenslotte zijn er vier uitvoeringsvormen beschreven die actieve en passieve compliantie combineren.

Deze zijn :

- De magnetisch ondersteunde intelligente hand.
- Een robot polssysteem met compliantie.
- De parallel-manipulator.
- Een magnetisch zwevende compliantie voor kleine bewegingen met zes graden van vrijheid.

INHOUDSOPGAVE

| | |
|--|----|
| Samenvatting | 2 |
| 1. Inleiding | 4 |
| 2. Passieve compliantie | 6 |
| 2.1 De R.C.C.-methode | 6 |
| 2.2 Beperkingen van de R.C.C.-methode | 9 |
| 3. Actieve compliantie | 10 |
| 4. Combinatie van Actieve en Passieve compliantie | 13 |
| 4.1 Inleiding | 13 |
| 4.2 De magnetisch ondersteunde intelligente hand | 13 |
| 4.3 Een robot polssysteem met compliantie | 16 |
| 4.4 De parallel-manipulator | 17 |
| 4.5 Een magnetisch zwevende compliantie voor kleine bewegingen met zes graden van vrijheid | 19 |
| 5. Conclusies | 22 |
| Literatuur | 23 |

1. INLEIDING.

Dit literatuuronderzoek heeft als doel, een overzicht te geven van de ontwikkelingen van compliantie toegepast in de montage in de laatste jaren. Tijdens deze literatuurstudie is er vooral veel aandacht besteed aan de passieve compliantie omdat deze het grootste raakvlak heeft met de werktuigbouwkunde. Verder zal er veel aandacht aan de combinatie van actieve en passieve compliantie geschonken worden, omdat het erop lijkt dat hierin het antwoord ligt op een optimale oplossing.

Wat is compliantie ?

Compliantie betekend letterlijk soepelheid. Er zijn verschillende soorten van compliantie te onderscheiden. Er kan sprake zijn van actieve compliantie, passieve compliantie en een combinatie van deze twee.

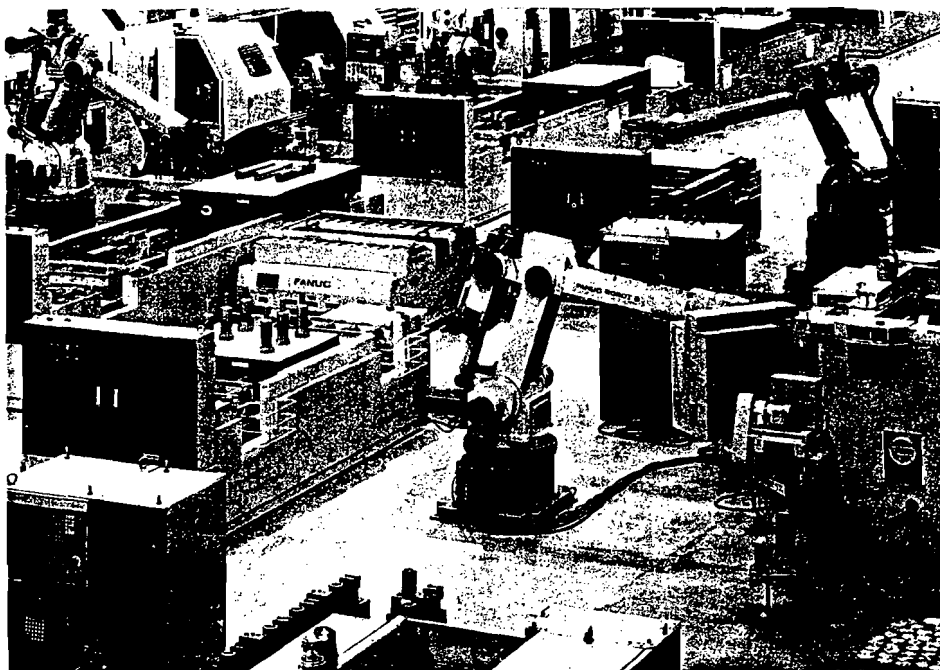
Passieve compliantie : Door een onnauwkeurige positionering van het ene onderdeel ten opzichte van het andere ontstaan er contactkrachten. Door de structuur en/of de elastische eigenschappen geeft de "compliantie" ten gevolge van deze krachten mee. Op deze manier wordt de positioneerfout gecorrigeerd.

Actieve compliantie : Hierbij wordt er een signaal, dat een maat is voor de gemeten contactbelasting en/of positioneerfout, teruggekoppeld naar de robotbesturing, die deze informatie gebruikt om de foutieve positionering te corrigeren.

Combinatie passief/actief : Er is sprake van een passief principe, maar er vinden tevens metingen van de contactkrachten plaats, die teruggekoppeld worden.

Om tot automatische assemblage te komen kunnen er robots toegepast worden. Wil dit economisch verantwoord zijn, dan moet de robot snel de gewenste assemblagetaak uitvoeren. Verder moet de robot een hoge positioneer nauwkeurigheid halen om verschillende onderdelen in elkaar te steken. Deze twee eigenschappen bezitten een tegenstrijdigheid. Om snel (met een hoge versnelling en een hoge vertraging) van de ene positie naar een andere positie te gaan worden er positioneerfouten geïntroduceerd. Assemblage is vaak precisiewerk en de toleranties zijn in vele gevallen erg klein. Onnauwkeurig gemaakte onderdelen enerzijds, positioneerfouten van robot, draagblokken of grippers anderzijds kunnen, bij voornamelijk insteekbewegingen met nauwe toleranties, aanleiding geven tot klemming of blokkering. Door het klemmen of blokkeren ontstaan hoge contactkrachten. Om deze hoge krachten te vermijden en/of positioneerfouten op te heffen wordt vaak compliantie toegepast. De assemblage-operaties waar compliantie van groot belang

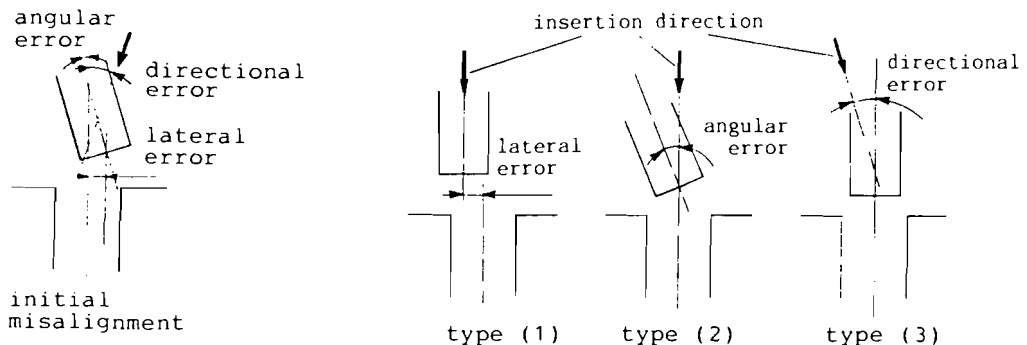
is, zijn: Het steken van een pen in een gat, het volgen van een contour met een constante kracht en positioneren in een hoek.



2. PASSIEVE COMPLIANTIE

2.1 De R.C.C.-methode

De bekendste toepassing van passieve compliantie is het R.C.C. -principe, dat vooral toegepast wordt bij pen-gat assemblage. R.C.C. staat voor Remote Center Control, en is al in de jaren zeventig bedacht door Nevins en Whitney [1]. De compliantie komt in werking op het moment dat er een positioneerfout optreedt. Deze positioneerfout ontstaat doordat de hartlijn van het gat niet samenvalt met de hartlijn van de pen. Door het contact ontstaan er krachten die ervoor zorgen dat de compliantie vervormt en de positioneerfout gecorrigeerd wordt. Er kunnen zowel translatie als rotatiefouten worden gecorrigeerd (zie figuur 2). Het geometrische principe van Whitney en Nevins bestaat uit met elkaar verbonden stangen-vierzijden die drie dimensionaal zijn opgesteld (zie figuur 3).



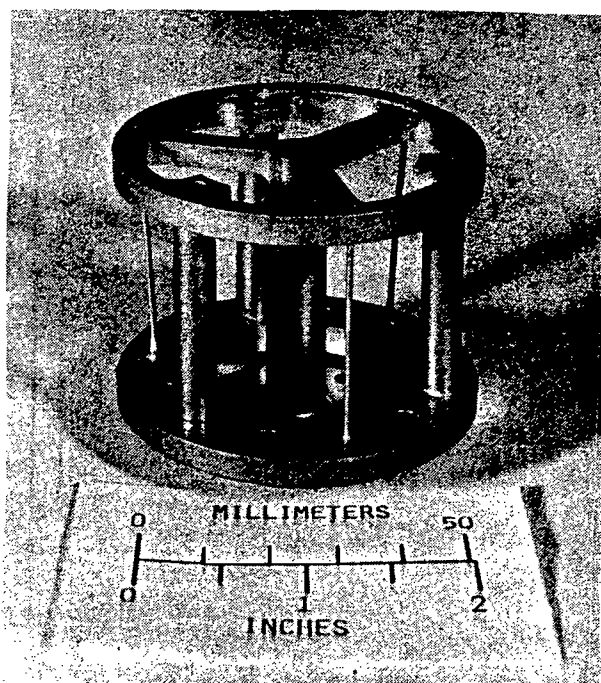
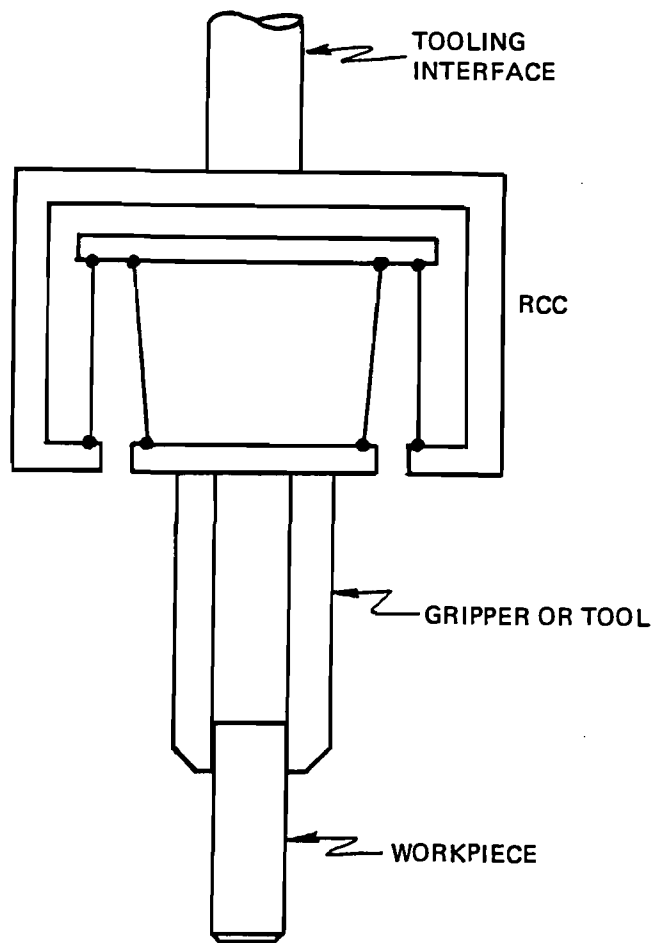
figuur 2 : De te corrigeren fouten

De compliantie van Whitney en Nevins is op te delen in :

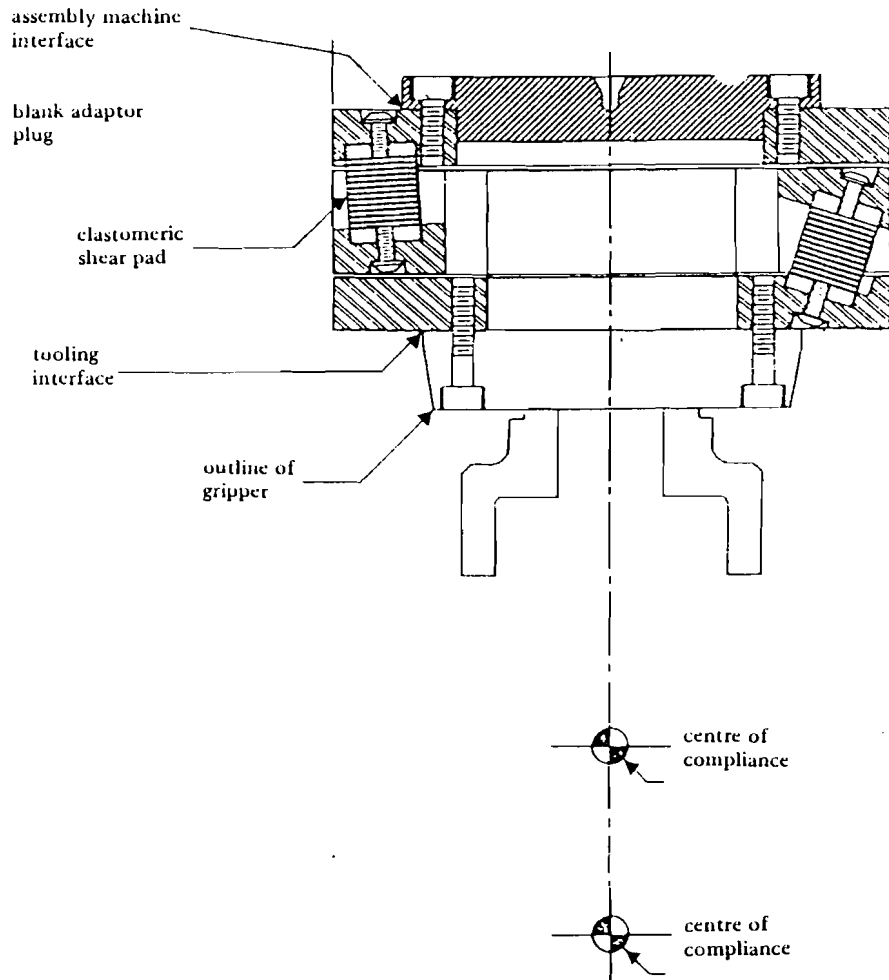
- Het translatie gedeelte : bestaande uit drie parallelle sprieten.
- Het rotatie gedeelte : Drie sprieten die naar één punt wijzen (het R.C.C.), waardoor een kleine sferische beweging om dit punt mogelijk is. Het R.C.C. moet op of vlakbij het onderste punt van het in te steken voorwerp liggen.

Een belangrijke eigenschap van dit systeem is, dat het translatie en het rotatie-gedeelte ontkoppeld zijn.

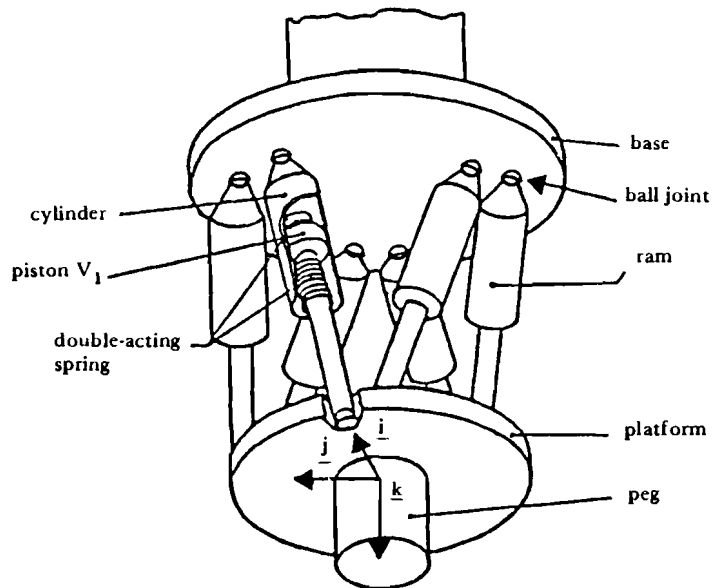
Naast dit klassieke principe zijn er vele andere uitvoeringsvormen bedacht, die alle voldoen aan deze R.C.C.-methode. Voorbeelden hiervan zijn uitvoeringen met rubber of ander elastische materiaal en dempers (zie figuur 4 en 5).



figuur 3 : principe van Whitney en Nevins



figuur 4 : uitvoering met elastisch materiaal



figuur 5 : uitvoeringsvorm met veren

2.2 Beperkingen van de R.C.C.-methode.

Het principe van passieve compliantie is niet de ideale oplossing en wordt daarom weinig toegepast in de industrie. Dit vanwege de volgende beperkingen :

- Het R.C.C. kan niet verplaatst worden, dit punt wordt bepaald door de geometrie. Het is slechts bruikbaar indien er voortdurend met de zelfde lengte van te assembleren onderdelen gewerkt wordt. Dit, omdat het principe alleen goed werkt, indien het R.C.C. in de buurt ligt van het onderste punt van de pen.
- De compliantie kan alleen verticaal naar beneden assembleren.
- Bij assemblage waar hoge snelheden bereikt worden is er demping nodig. Deze demping is moeilijk in te bouwen in het R.C.C.-instrument.
- De compliantie bezit een bepaalde stijfheid, waardoor de optredende contactkrachten groter worden. Indien er gevoelige componenten geassembleerd dienen te worden, kunnen deze beschadigen. Dit kan al gebeuren voordat er klemming of blokkering optreedt.

3. ACTIEVE COMPLIANTIE

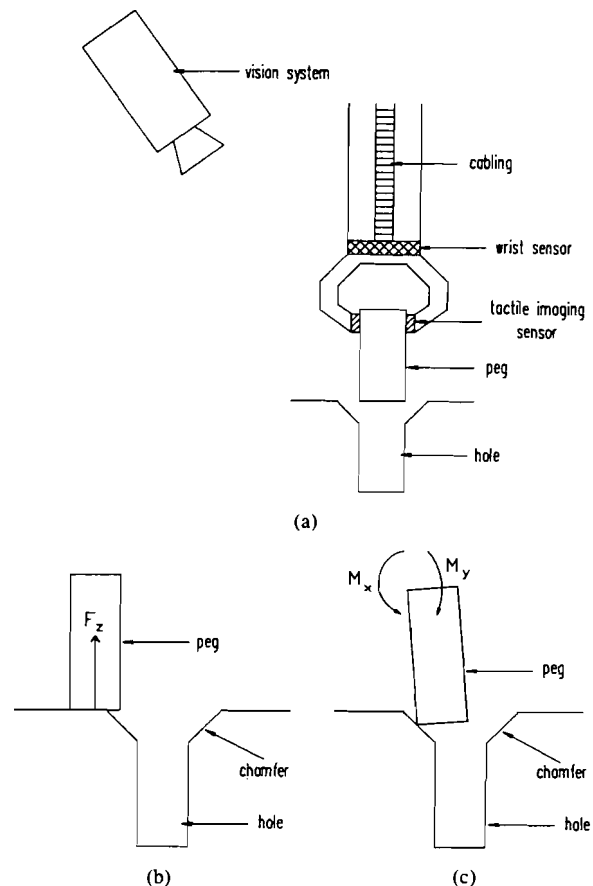
Zoals in de inleiding is vermeld, wordt de actieve compliantie niet uitgebreid besproken. Dit omdat er bij actieve compliantie gebruik wordt gemaakt van sensoren. De verschillende vormen van compliantie berusten op een verschillend gebruik van sensoren. Het doel van deze literatuurstudie is niet om na te gaan welke type sensoren er zijn. Daarom is er alleen een recent ontwikkeld type beschreven.

Bij actieve compliantie wordt een signaal, dat een maat is voor de contactkracht, gemeten en teruggekoppeld naar de robot besturing. De robot gebruikt deze informatie om de foutieve positionering te corrigeren.

Het constateren van een foutieve positionering bij assemblage en/of het volgen van een contour, kan op verschillende manieren gebeuren. Veel gebruikte methoden zijn die, via krachtsensoren en/of optische-sensoren. Vaak zijn krachtsensoren onmisbaar bij visuele methoden, omdat het zeer goed mogelijk is dat, een robotarm of het te positioneren produkt zelf, het gezichtsveld belemmert op een cruciaal moment van het assembleren.

Een effectieve tastsensor is gebaseerd op de gecombineerde werking van twee typen krachtsensoren (zie figuur 6). De ene is een directe pols krachtensor die de kracht op de grijper, ten gevolge van mechanische weerstand, meet. De tweede is een tastsensor op de vingertoppen van de robohand die gebruikt wordt om de vorm te identificeren van het te assembleren object en om te controleren of hij goed in de grijper is gepositioneerd.

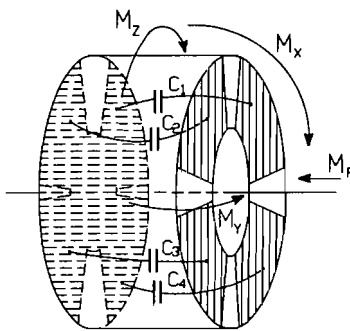
Een visueel systeem kan gebruikt worden voor werkzaamheden zoals, bepaling van de grootte en bewegingsrichting van het produkt. Het laatste deel van de assembleer handelingen, waar compliantie nodig is, kan verzorgd worden door gecombineerde werking van de pols- en vingersensoren (zie figuur 6).



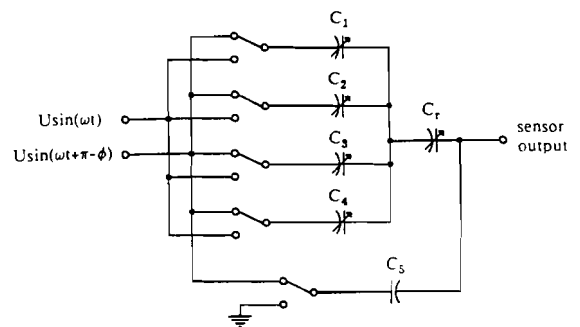
figuur 6 : opstelling sensoren

Een robotpolssensor kan werken

via kracht-omzetting of verplaatsings-omzetting. In [2] wordt het verplaatsings-type beschreven met een flexibel sensorlichaam. Als er een kracht op werkt vervormt het sensormateriaal. De sensor werkt op de volgende manier: hij bestaat uit twee tegengestelde elektrode- patronen met elastisch materiaal ertussen (zie figuur 7 en 8). Dit materiaal zal vervormen als er een kracht op werkt, met als gevolg dat er een verandering in de afstand en overlapping van de elektrodes ontstaat. Waardoor er een capaciteitsverandering optreedt. De geometrische dimensies zullen klein moeten zijn om een acceptabele lineariteit te krijgen. Het uitgangssignaal wordt verkregen aan de hand van een zeer gevoelige methode beschreven in [3], die o.a. werkt met een faseverschil en een AC bestuurd versterker met compensatie van de gemeten capaciteiten en een sinusgolf spanning, die iets minder dan 180° uit fase is met de stuurspanning.



figuur 7



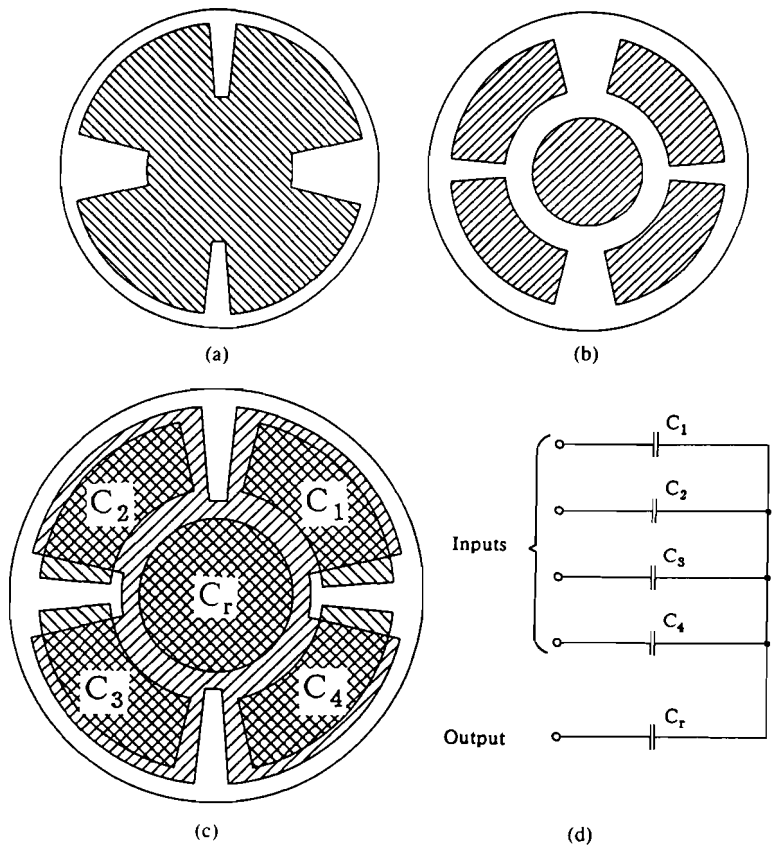
figuur 8

Een eigenschap van sensoren, die van groot belang is, is het gewicht en dus ook de benodigde hoeveelheid kabels voor energie en informatie stromen. Het gewicht van een robot-eindunit is vooral opgebouwd uit het gewicht van de servomotoren voor de pols en vingers, de kabels en de sensoren.

Deze sensor geeft een reductie in gewicht en de benodigde hoeveelheid bedrading door zijn eenvoudige constructie, in vergelijking met sensoren die gebruik maken van spanningsgrootte [4],[5],[6], inductieve elementen [7] of een andere structuur met capacatieve elementen [8].

De reductie van de hoeveelheid kabels wordt bereikt door het gebruik van maar vier gevoelige elementen voor onafhankelijke detectie van de drie momenten, met eenzijdige elektrische verbindingen (zie figuur 9).

De polssensor is geschikt gemaakt om de buigende momenten M_x , M_y , het wringende moment M_z en de kracht in de z-richting (F_z) te meten. De krachten in x en y-richting kunnen bepaald worden doordat bijvoorbeeld een kracht in de x-richting op een vingertop een moment teweeg brengt in de pols. Hierdoor kan deze sensor gebruikt worden in een zes graden van vrijheid manipulator. Voor een uitgebreidere beschrijving van de structuur en werking wordt naar [2] verwezen.



figuur 9

4. COMBINATIE VAN ACTIEVE EN PASSIEVE COMPLIANTIE.

4.1 Inleiding

Zowel het principe van passieve als actieve compliantie brengt verschillende problemen met zich mee, als ze toegepast worden in de industrie. De beperkingen van passieve systemen zijn reeds in hoofdstuk 2.2 genoemd. De grootste problemen bij actieve compliantie zijn het stabiel krijgen van het systeem en de snelheid waarmee gewerkt kan worden. Vanwege deze problemen is men doorgegaan met het zoeken naar een goed (simpel, economisch en betrouwbaar) werkend systeem. Het onderzoek richt zich steeds meer op systemen die zowel passief als actief werken.

Er worden nu een aantal "oplossingen" beschreven die de laatste jaren gepubliceerd zijn.

4.2 DE MAGNETISCH ONDERSTEUNDE INTELLIGENTE HAND.

De MSIH (magnetically supported intelligent hand) is een robot hand, die ontwikkeld is voor precisie-assemblage [9] en [10]. De MSIH bezit een "zwevend" gedeelte waaraan de grijper is bevestigd. Dit zwevende gedeelte wordt op zijn plaats gehouden door een magnetisch veld. Doordat het zwevend is, zijn er geen wrijvingskrachten, is er geen speling en zijn er veel graden van vrijheid mogelijk. Het MSIH-principe dat hier beschreven wordt, bezit vijf graden van vrijheid en werkt volgens de R.C.C.-methode. Het voordeel hiervan is, dat de MSIH de beperkingen van het klassieke-principe niet heeft.

De MSIH heeft drie basis functies :

- 1) Het R.C.C. is programmeerbaar.
- 2) Het is nauwkeurig in de drie translatie en twee rotatie-vrijheden.
- 3) Het meten van krachten, momenten en afwijkingen. Dit is nodig om het actieve compliantie-gedeelte mogelijk te maken.

Door deze drie functies in combinatie met elkaar toe te passen, zou het zelfs mogelijk moeten zijn om meerdere assemblagemethoden uit te voeren, dan met een enkel passieve compliantie.

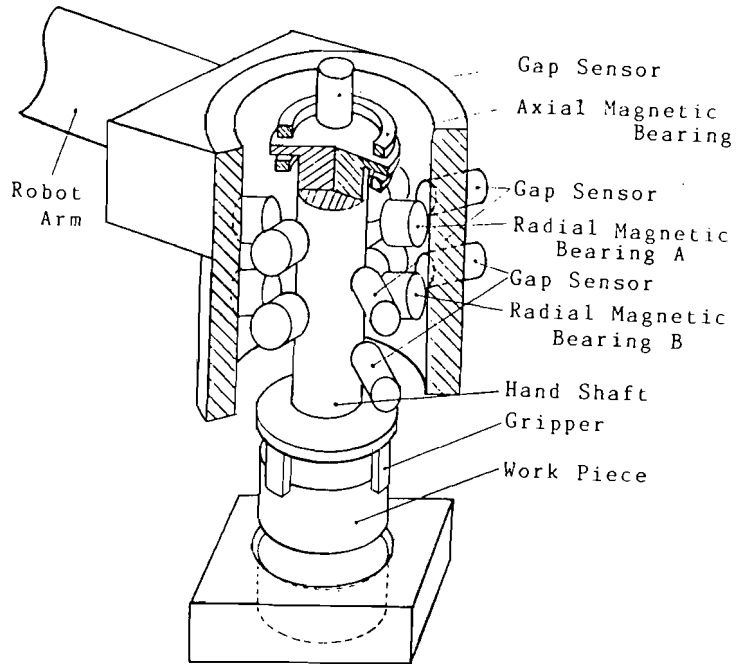
De constructie van de MSIH.

Het mechanisme van de MSIH is op te delen in het zwevende deel en het ondersteunende deel (zie figuur 10). Aan het zwevende deel is een grijper bevestigd. Het ondersteunende gedeelte is bevestigd aan de robot en bezit vijf paar elektromagneten voor het zwevende deel en vijf afstand-sensoren om de vijf graden van vrijheid van het zwevende deel te controleren. De rotatiegraad van vrijheid om de symme-

trie-as kan niet gecontroleerd worden. De fouten, weergegeven in figuur 2, kunnen gecorrigeerd worden bij het positioneren van een pen in een gat.

Het controle systeem en de functies.

Er is een actief controle systeem nodig om het geheel stabiel te houden. In figuur 11 is een blokschema weergegeven van het controle systeem, die de drie functies van de MSIH mogelijk maakt.



figuur 10 : structuur van de MSIH

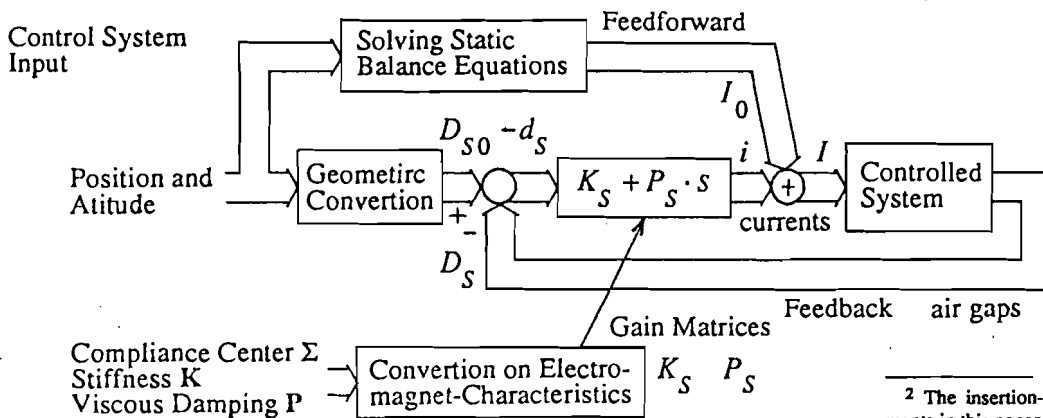


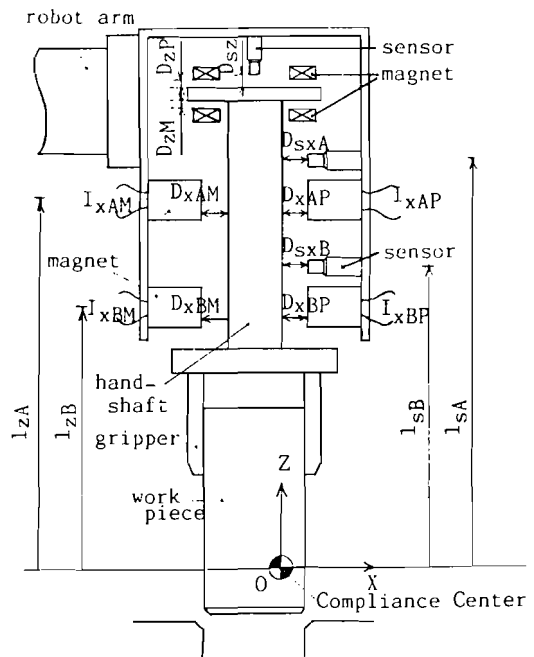
Figure 3. Block diagram of the control system.

² The insertion-force implies insertion forces and moments in this paper.

figuur 11 : blokschema

Met dit schema is het ook mogelijk om een MSIH met zes graden van vrijheid uit te voeren. De terminologie van het systeem is weergegeven in figuur 12. De globale werking van het controle systeem is als volgt : het ingangssignaal van de MSIH is

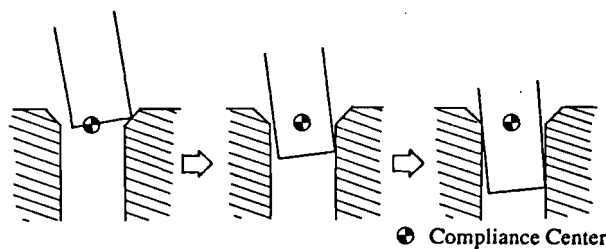
een vector (I) dat ontstaat in de windingen van de elektromagneten. Het uitgangssignaal (D_s) ontstaat uit de 5 afstandssensoren. Het besturingssysteem bezit een terugkoppeling (K_s en P_s) om het zwevende deel te stabiliseren. De drie eerder genoemde basisfuncties zijn op deze manier flexibel programmeerbaar en exact.



figuur 12

Mogelijkheden

Met het MSIH-principe is het mogelijk om met een ideaal R.C.C. te werken. Dit R.C.C. ligt boven het gat en blijft daar, tijdens het positioneren van de pen, liggen. Zie figuur 13. Een andere mogelijkheid is om tijdens het positioneren alle stijfheid op te heffen waardoor de insteekkracht laag blijft. Een nadeel is dat er sneller klemmen optreedt.



figuur 13 : De ideale R.C.C.-methode

Conclusie

MSIH is een verbetering van de puur passieve R.C.C.-methode en kan de beperkingen van de R.C.C.-methode genoemd in hoofdstuk 2.2, oplossen.

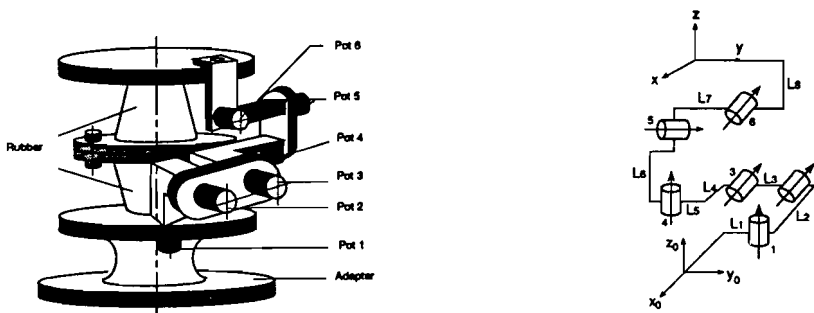
4.3 EEN ROBOT POLSSYSTEEM MET COMPLIANTIE.

Het nu volgende principe past passieve compliantie met zes graden van vrijheid toe [11]. Verder is het systeem in staat de afwijkingen (positioneerfouten) in de zes graden van vrijheid te meten (actieve compliantie). Deze afwijkingen zijn de afwijkingen die de eind-effector (grijper) maakt ten opzichte van de pols van de robot. Dit systeem gebruikt de passieve compliantie om de positioneerfout te corrigeren. Verder verzorgt de passieve compliantie de koppeling tussen de positionering en de kracht-controle.

Er zijn twee prototypen instrumenten bedacht, die de bekende positie koppelt aan een kracht. Beide prototypen bestaan uit twee platen, de ene zit aan de pols van de robot en de ander aan de grijper. Tussen deze twee platen bevindt zich het systeem wat de afwijking van de ene plaat meet ten opzichte van de andere.

Het actieve gedeelte zorgt voor de terugkoppeling en maakt het systeem controleerbaar. Verder voorkomt dit gedeelte klemming. Het actieve gedeelte is opgebouwd uit zes in serie staande scharnieren met potentiometers op de scharnierpunten. Deze zijn toegepast vanwege de eenvoud en directheid. Het passieve gedeelte is opgebouwd uit rubber elementen.

Als gevolg van beweging of contact ontstaat er een hoekfout. De hoekfout in de scharnieren wordt gemeten, vervolgens wordt de positie-fout in cartesische coördinaten berekend in de richting van de zes graden van vrijheid. De uitvoeringsvorm en de kinematische keten van dit eerste prototype zijn weergegeven in figuur 14.



figuur 14

Het verschil met het andere prototype is het meetmechanisme. Het meetmechanisme van het tweede prototype berust op de ellipsoïde-theorie [11]. Het doel hiervan is om bij een correctie alle scharnieren evenveel te verdraaien.

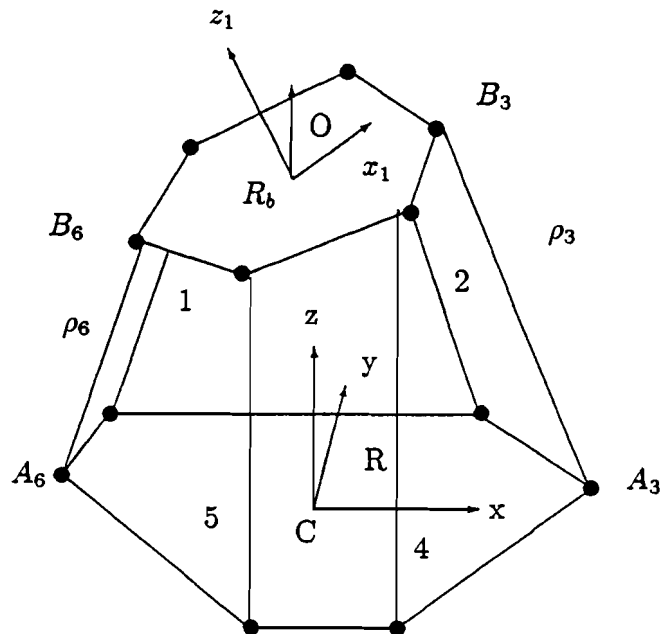
De uitvoeringsvorm en de kinematische keten van het tweede prototype zijn weergegeven in figuur 15.



figuur 15

4.4 DE PARALLEL-MANIPULATOR.

Klassieke manipulatoren zijn niet erg geschikt voor assemblage-taken, als het steken van een pen in een gat. Dit is omdat ze niet nauwkeurig genoeg zijn. Aan het Institute National de Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA) in Frankrijk is de zogenaamde parallel manipulator ontwikkeld [12]. Deze manipulator kan zowel als actieve pols van de robot dienen (hij neemt drie graden van vrijheid voor zijn rekening) of als extra modulen voor speciale assemblage-taken (de LEFT-HAND).



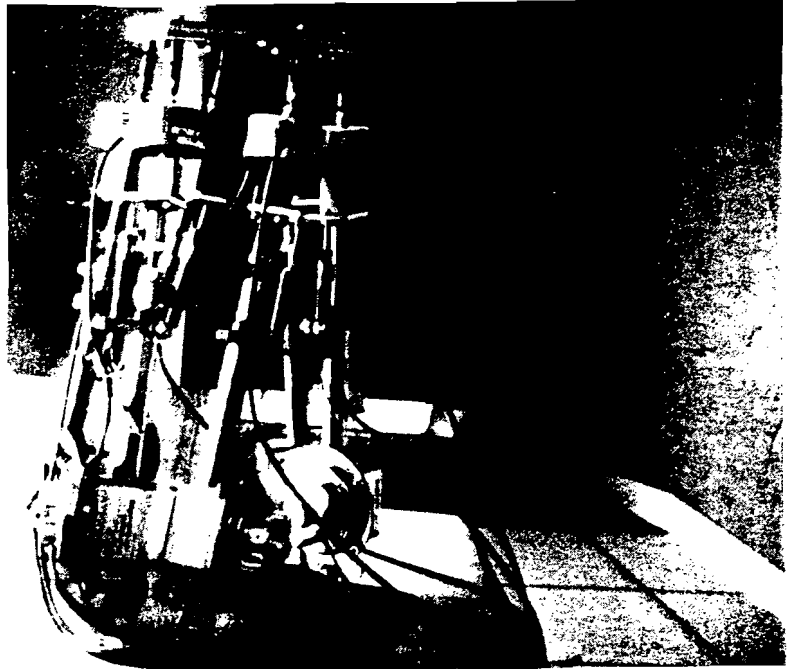
figuur 16

Het principe bestaat uit twee platen, die met zes identieke "gewrichten" (schakels) aan elkaar zijn verbonden (zie figuur 16). Iedere schakel kan uitgevoerd zijn met een krachtsensor waarmee de

optredende krachten (deze ontstaan doordat er contact is tussen pen en gat) gemeten worden. Deze gemeten kracht wordt teruggekoppeld en de positioneerfout wordt gecorrigeerd.

In iedere schakel bevindt zich een lineaire actuator waarmee het mogelijk is de lengte van de schakel te controleren. Door de lengte van alle schakels te controleren worden de zes graden van vrijheid van de ene plaat t.o.v. de andere plaat gecontroleerd.

Een voorbeeld van een uitvoeringsvorm is gegeven in figuur 17. De lengte variatie wordt gemeten met lineaire precisie potentiometers.



figuur 17

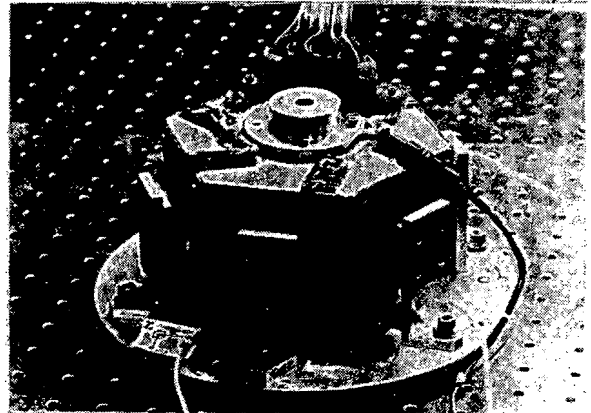
4.5 EEN MAGNETISCH ZWEVENDE COMPLIANTIE VOOR KLEINE BEWEGINGEN MET ZES GRADEN VAN VRIJHEID.

Dit systeem werkt met magnetische velden waardoor er veel overeenkomsten met MSIH (zie hoofdstuk 4.2) zijn. Het grootste verschil met de MSIH is dat dit ontwerp zes graden van vrijheid heeft [13].

Er zijn twee hoofd componenten, een stator en een flotor (zie figuur 18).

Deze twee componenten worden van elkaar gehouden met behulp van magnetische velden, waardoor er geen mechanisch contact is en het geheel dus wrijvingsloos en spelingsvrij werkt.

Aan de flotor is de grijper of een ander gereedschap bevestigd en de stator is met de robotarm verbonden. De naam flotor is afgeleid van rotor zoals die in conventionele elektromotoren wordt toegepast, omdat de flotor het bewegende deel van de pols is.

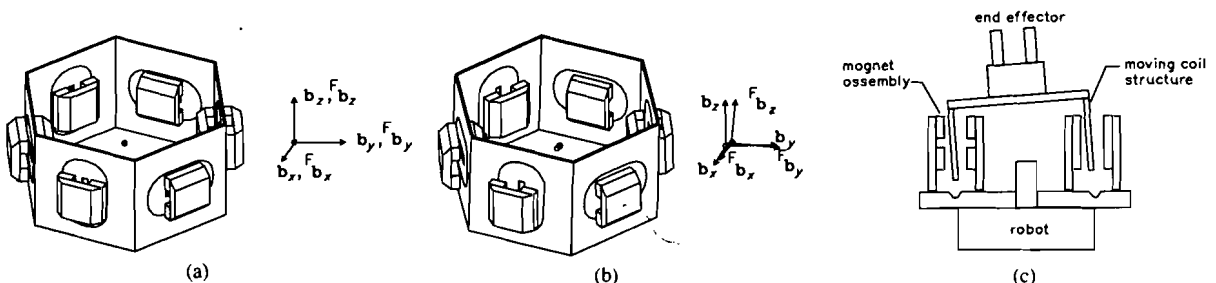


figuur 18

Een essentiële vereiste voor een zes graden van vrijheid bestuurbaarheid is, dat de elektrodynamische krachtelementen (Lorentz krachten) zo geplaatst worden, dat ze in combinatie en in elke richting een gezamenlijke kracht en/of moment vector kunnen uitoefenen op de flotor.

De stator elementen zijn ringvormig opgesteld (een binnenring en een buitenring) en bestaan uit permanente magneten. In de spleet tussen de stator elementen bevindt zich de flotor. De spleet moet breed genoeg zijn om bewegingen in alle zes vrijheidsrichtingen toe te staan.

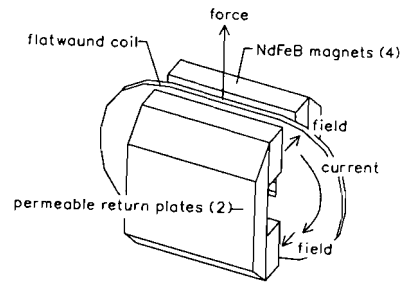
Op de flotorring en tussen de permanente magneten op de stator, zitten plat gewonden spoelen (zie figuur 19).



figuur 19

De combinatie van een spoel en een set magneten vormt een elektromagnetische stureeenheid (zie figuur 20).

Er zijn zes van deze elementen afwisselend horizontaal en verticaal opgesteld en werken daarom ook in die richtingen (zie figuur 19).



figuur 20

De kracht die ontstaat is:

$$F_c = -I \int B dl$$

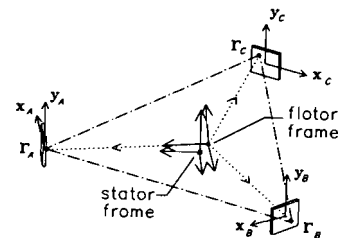
I = stroomsterkte in de spoel

B = magnetisch veld

l = lengte draad

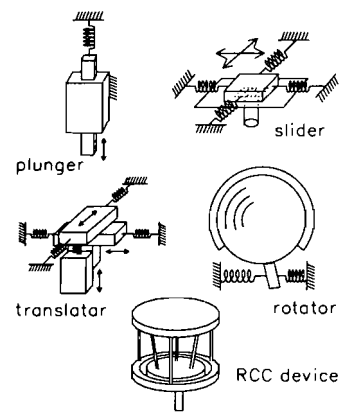
Als de flotor beweegt verandert de positie en de oriëntatie van de spoel, waardoor de geproduceerde kracht verandert. Deze verandering is zo klein dat hij verwaarloost mag worden.

De rotatie en translatie compensatie tussen de flotor en de stator wordt verkregen via optische sensoren. Er zijn drie positie sensoren (PSD's) [14], die met een onderlinge hoek van 120° aan de buitenkant van de stator-binnenring bevestigd zijn en drie LED's op de flotor, die op de PSD's gericht zijn. Hierdoor kan een verplaatsing van de stator ten opzichte van de flotor waargenomen worden (zie figuur 21).



figuur 21

De pols kan gebruikt worden voor positie besturing, krachtsbesturing en als compliantie. Als de pols gebruikt wordt voor compliantie doeleinden is het mogelijk een R.C.C. in te stellen. Ook is het mogelijk bepaalde compliantie-mechanismen te vervangen (zie figuur 22).



figuur 22

5. CONCLUSIES

Het probleem dat optreedt bij het automatisch assembleren, met name met een behoorlijke snelheid een pen in een gat steken met nauwe toleranties, wordt getracht op te lossen door compliantie in het systeem toe te voegen. Geconcludeerd kan worden dat een goede compliantie bedenken niet eenvoudig is. In de jaren zeventig is men begonnen met het ontwikkelen van de compliantie, maar een goede, eenvoudige, economische en betrouwbare oplossing is nog steeds niet gevonden. Het grootste probleem is, dat er positioneerfouten op kunnen treden in alle vrijheidsrichtingen, waardoor een compliantie zes graden van vrijheid moet hebben om deze fouten te kunnen corrigeren. Tevens moet een assembleereenheid, waar de compliantie een onderdeel van is, een bepaalde stijfheid en demping hebben. Dit omdat er uit economisch oogpunt zeer snel geassembleerd moet kunnen worden.

Het "klassieke" principe van passieve compliantie (met R.C.C.), dat in het begin van de ontwikkeling van compliantie uitgevonden is (jaren '70), is niet verbeterd. Uit de aanwezige literatuur blijkt dat dit puur passief principe niet de geëiste resultaten levert. Vandaar dat dit principe niet zondermeer voor ieder assemblage probleem toepasbaar is.

Er is veel onderzoek gedaan naar actieve compliantie. Uit dit onderzoek volgt dat ook hier zoveel problemen optreden (instabiliteit, lage snelheid, duur), dat ook hiermee niet een ideale oplossing te vinden is en dat dit weinig toepassing vindt.

De laatste ontwikkelingen houden zich bezig met de combinatie van passieve en actieve compliantie. Op deze manier wordt geprobeerd de positieve eigenschappen van beide te combineren tot een optimale oplossing die toegepast kan worden in de praktijk.

LITERATUUR

- [1] Nevins, J.L.; Whitney, D.E.
What is the remote center compliance (R.R.C.) and what can it do?
Proceedings of 9th International Symposium on Industrial Robots
Washington, march, 1979.
- [2] Wolffenbuttel, R.F.; Kamal, M.m.; Regtien, P.P.L.
Compliant Capacitive Wrist Sensor for Use in Industrial Robots.
IEEE Transactions on Instrument and Measurement. vol. 39. no. 6.
december 1990.
- [3] Wolvenbuttel, R. F.; Regtien, P.P.L.
Capacitance-to-phase angle conversion for the detection of extremely
small capacitances.
IEEE Trans. instrum. Meas., vol IM-36, pp. 868-872, 1987.
- [4] Ingio, R.M.; Kossey, R.M.
Closed-loop control of a manipulatorarm using a wrist force sensor.
IEEE Trans. Ind. Electron., vol. IE-34, pp. 371-378, aug. 1987.
- [5] Van Brussel, H.; Simons, J.
Automatic assembly by active force feedback accomodation, in tactile
& non-vision,(Ed., A. Pugh). London UK: IFS Ltd.,pp 53-66, 1986.
- [6] Van Brussel, h.; Belien, H.; Thielemans, H.
Force sensing for advaned robot control,
Proc. 5th Int. Conf. on Robot Vision and Sensory Controls, pp. 59-68,
1985.
- [7] Piller, G.
A compact six-degree-of-freedom force/torque sensor for assembly
robots.
Robot Sensors: Tactile & Non-vision, (Ed., A. Pugh), London UK:pp.
67-74, 1986.

- [8] Falkner, A. H.; Sahotay, H. S.; Yeung, M.
Practical developments in robot sensing,
Proc. 6th Int. Conf. on Systems Engineering, pp. 851-858, 1988.
- [9] Toshiro Higuchi, Masahiro Tsuda, Shigeki Fujiwara.
Magnetic Supported intelligent Hand for Automatic Precise Assembly.
IEEE IECON Int. Conf. on Ind. Elect. Control and Instrumentation. vol
2, 1987.
- [10] Tsuda, M.; Higuchi, T.; Fujiwara, S.
Automated Precision Assembly Using Magnetically Supported Intelli-
gent Hand.
Robotics Reasearch 1989.
- [11] Yangsheng Xu; Richard P.P.
A Robot Compliant Wrist System for Automated Assembly.
IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 1990.
- [12] Merlet J.P.
A new concept of force feedback controlled robot for assembly
automation.
Proc. 9th Int. Conf. Development in Assembly Automation, Japan vs
Europe (ED., A. Pugh). London,UK march 1988.
- [13] Hollis, R.L.; Salcudean, S.E.; Allan A.P.
A Six-Degree-of-Freedom Magnetically Levitated Variable Compliance
Fine-Motion Wrist: Design, Modeling, and Control.
IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol.7, No.3, June
1991.
- [14] Wang, W.; Busch-Vishniac, I.J.
The linearity and sensitivity of lateral effect position sensitive devices-
An improved geometry.
IEEE Trans. Electron Devices, vol.36, No.11,pp.2475-2480, Nov.1989.