

Dynamisch gedrag van de aandrijving van een copier

Citation for published version (APA):

Vercammen, R. W. A. (1991). *Dynamisch gedrag van de aandrijving van een copier*. (DCT rapporten; Vol. 1991.047). Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1991

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.

**Stageverslag : Dynamisch gedrag van de
aandrijving van een copier.**

Door R.W.A. Vercammen.

Begeleiders : Ir. P. Klein Meuleman van
OCÉ Nederland B.V. afd R & D.
Dr. Ir. A de Kraker.

Rapportnummer WFW : 91.047



FORMULIER MANAGEMENT SUMMARY
stage-verslagen / rapporten

Korte samenvatting van het verslag / rapport:

SAMENVATTING.

Het in dit rapport beschreven onderzoek behandelt het dynamisch gedrag van de aandrijving van een copier die gebruikt maakt van contact-transfer. Contacttransfer houdt in dat poederinkt met hoge druk op papier overgezet wordt. Hiertoe moet papier nauwkeurig getimed tussen een walsenpaar gestuurd worden. Op moment dat een velletje papier tussen het walsenpaar komt (stoeprandeffect) wordt de snelheid van het walsenpaar met zo'n 5 à 10 % verstoord.

Het doel van dit onderzoek was om een model van motor, overbrenging en walsensysteem te maken zodanig dat het dynamisch gedrag van het systeem ten gevolge van het inkomen van het papier gesimuleerd kan worden.

Voor de simulaties van het dynamisch gedrag is gebruik gemaakt van het programma PC MATLAB. Waarbij deze simulaties de experimentele resultaten redelijk benaderen.

Het model werd gebruikt om het dynamisch gedrag van een tweede constructie te voorspellen. Dit gedrag moet nog wel geverifieerd worden.

"De schrijver/schrijfster werd door Océ-Nederland B.V. in staat gesteld een onderzoek te verrichten, dat mede aan dit rapport ten grondslag ligt. Océ-Nederland aanvaardt geen verantwoordelijkheid voor de juistheid van de in dit rapport vermelde gegevens, beschouwingen en conclusies, die geheel voor rekening van de schrijver/schrijfster komen".

SAMENVATTING.

Het in dit rapport beschreven onderzoek behandelt het dynamisch gedrag van de aandrijving van een copier die gebruikt maakt van contacttransfer. Contacttransfer houdt in dat poederinkt met hoge druk op papier overgezet wordt. Hiertoe moet papier nauwkeurig getimed tussen een walsenpaar gestuurd worden. Op moment dat een velletje papier tussen het walsenpaar komt (stoeprandeffect) wordt de snelheid van het walsenpaar met zo'n 5 à 10 % verstoord.

Het doel van dit onderzoek was om een model van motor, overbrenging en walsensysteem te maken zodanig dat het dynamisch gedrag van het systeem ten gevolge van het inkomen van het papier gesimuleerd kan worden.

Voor de simulaties van het dynamisch gedrag is gebruik gemaakt van het programma PC MATLAB. Waarbij deze simulaties de experimentele resultaten redelijk benaderen.

Het model werd gebruikt om het dynamisch gedrag van een tweede constructie te voorspellen. Dit gedrag moet nog wel geverifieerd worden.

INHOUD :

	blz
SAMENVATTING	i
INHOUD	ii
SYMBOLENLIJST	iii
1. INLEIDING	1
2. OPSTELLEN MODEL	4
2.1 Het kneepgedrag	4
2.2 De aandrijving	9
2.3 Velscheiding	9
2.4 Lagering	10
2.5 Vereenvoudigingen	10
2.6 Bewegingsvergelijkingen	12
2.7 Stationaire begintoestand	13
3. BEPALEN PARAMETERS	15
3.1 Bepaling b_{iop} , b_{dop} , i_{ip} en i_{pd}	15
3.2 Bepaling k_{io} en k_{do}	16
3.3 Bepaling b_{int} en b_{dw}	16
3.4 Bepaling b_{io} en b_{do}	17
3.5 Papierkracht	17
4. RESULTATEN	18
5. ALTERNATIEVE CONSTRUCTIE : HARDE KOPPELING.	20
6. CONCLUSIES / SUGGESTIES VOORTGANG	22
LITERATUUR	24
BIJLAGEN	25
Bijlage 1. Toevoegen massa (traagheid) van de drum aan de intermediate.	25
Bijlage 2. Matrices \underline{M} , \underline{B} , \underline{K} en \underline{H}	27
Bijlage 3. Matrices \underline{A} en \underline{B}^*	28
Bijlage 4. Berekening overige parameters	29
Bijlage 5. b_{iop} , b_{dop} , i_{ip} en i_{pd}	33
Bijlage 6. k_{io} en k_{do}	35
Bijlage 7. b_{int} en b_{dw}	36
Bijlage 8. b_{io} en b_{do}	37
Bijlage 9. Vorm papierkracht	38
Bijlage 10. Meetresultaten	40
Bijlage 11. Harde koppeling : matrices	42

SYMBOLENLIJST :

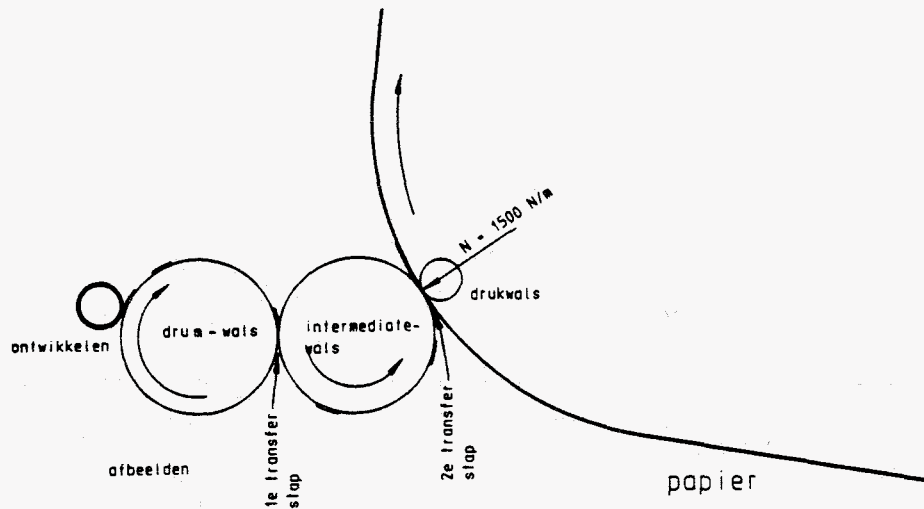
b_{aandr}	= demping aandrijftrein.
b_{di}	= demping harde koppeling drukwals - intermediate.
b_{do}	= demping fictief punt drukwals.
b_{dop}	= demping tussen papier en fictief punt drukwals.
b_{dw}	= demping ophanging drukwals.
b_{dwrem}	= demping tussen drukwals en rotor van de rem.
b_{io}	= demping fictief punt intermediate.
b_{lop}	= demping tussen fictief punt intermediate en papier.
b_{int}	= demping ophanging intermediate.
b_{rem}	= demping ophanging stator van de rem.
b_{rosta}	= demping tussen rotor en stator van de rem.
F_p	= externe papierkracht.
i_{di}	= overbrengverhouding harde koppeling.
i_{dri}	= overbrengverhouding intermediate - drum.
i_{ip}	= overbrengverhouding intermediate - papier.
i_{pd}	= overbrengverhouding drukwals - papier.
k_{aandr}	= stijfheid aandrijftrein.
k_{di}	= stijfheid harde koppeling drukwals - intermediate.
k_{do}	= stijfheid tussen fictief punt drukwals en drukwals.
k_{dwrem}	= stijfheid tussen drukwals en rotor van de rem.
k_{io}	= stijfheid tussen fictief punt intermediate en int.
k_{rem}	= stijfheid ophanging stator van de rem.
M_{int}	= massa intermediate.
M_{dw}	= massa drukwals.
M_{ro}	= massa rotor van de rem.
M_{sta}	= massa stator van de rem.
q_{do}	= verplaatsing fictief punt drukwals.
q_{dw}	= verplaatsing drukwals.
q_{dr}	= verplaatsing drum.
q_{drio}	= verplaatsing fictief punt kneep drum - intermediate.
q_{int}	= verplaatsing fictief punt intermediate.
q_{p}	= verplaatsing papier.
q_{ro}	= verplaatsing rotor van de rem.
q_{sta}	= verplaatsing stator van de rem.

HOOFDSTUK 1.

INLEIDING.

DYNAMISCH MODEL VAN DE AANDRIJVING VAN EEN COPIER.

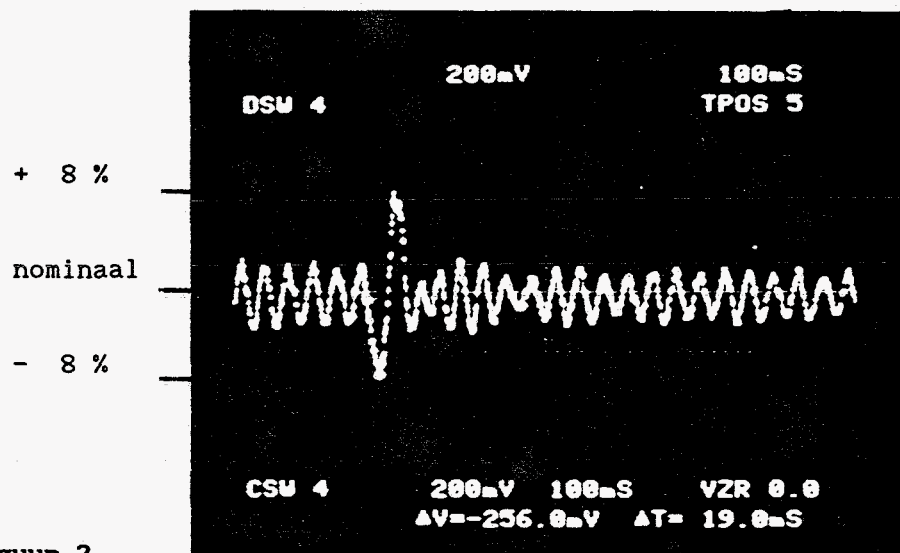
Het in dit rapport beschreven onderzoek behandelt het dynamisch gedrag van een copier die gebruik maakt van contacttransfer. Toner (poederinkt) wordt in een bepaald patroon op de drum aangebracht. In de eerste transferstap wordt de toner ten gevolge van adhesie van de drum naar de intermediete verplaatst. De intermediete is warm, de toner verweekt en wordt in de tweede transferstap met druk op het papier vastgedrukt. Deze hoge druk wordt met de drukwals aangebracht.



figuur 1

Standaard papier (80 gram/m^2) heeft een dikte van 0.1 mm . Dikkere papiersoorten ($120, 160$ en 170 gram/m^2) komen als specialiteiten ook voor. Een 80 grams vel dat de tweede transferstap in wordt gestuurd verplaatst de drukwals in korte tijd over een afstand van 0.1 mm . Dit is vergelijkbaar met een auto die een stoeprand op rijdt. Om de toner voldoende vast op papier te drukken is een lijndruk tussen drukwals en intermediete noodzakelijk van zo'n 1500 N/m . De functiebreedte van een kantoorapparaat ($A4$ dwarsdoorvoer) is ongeveer 300 mm . De benodigde

energie om de drukwals te lichten is dus : $0.3 \cdot 1500 \cdot 0.1 = 0.045$ Joules. De totale kinetische energie van de draaiende walsen was in de orde van 0.1 Joules. Het wegdrukken van de drukwals onttrok daardoor in korte tijd bijna 50 % van de bewegingsenergie. Dit had een proces-snelheidsverstoring van dezelfde grootte orde tot gevolg die door het hele apparaat heen werkte, hetgeen uiteindelijk het afbeelden verstoortte. De huidige oplossing, gebaseerd op verhoging van de kinetische energie, geeft echter nog geen bevredigend resultaat. Er wordt gebruik gemaakt van een synchroonmotor (buitenloper, 1500 omw/min) die in één enkele vertragingstap aan de as van de intermediale gekoppeld wordt. Ten opzichte van de vorige situatie is de kinetische energie 500 maal zo groot geworden. De verwachting was dat de snelheidsverstoring enkele orders kleiner zou worden. Helaas bleef een snelheidsverstoring van zo'n 5 à 10 % aanwezig.



figuur 2

De rimpeling vóór en na de verstoring wordt door de wormoverbrenging veroorzaakt.

Omdat de verschillende massa's, stijfheden en dempingswaarden in het systeem de mate van de snelheidsverstoring bepalen is een dynamisch model gemaakt waarmee het inkomen van het vel gesimuleerd kan worden.

In hoofdstuk 2 wordt het opstellen van dit model behandeld.

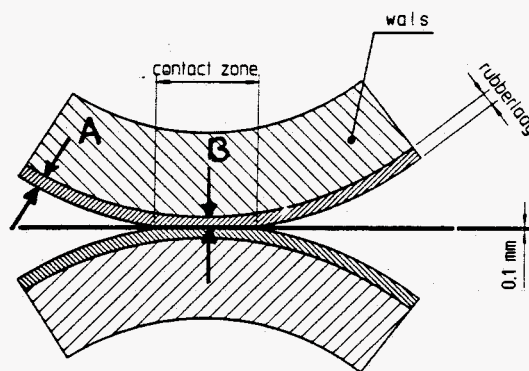
In hoofdstuk 3 staat vermeld hoe de parameters, die in het model gebruikt worden, bepaald zijn. In hoofdstuk 4 worden de resultaten van de met PC MATLAB berekende simulaties besproken.

Het voordeel van dit model is dat door een eenvoudige aanpassing van het bestaande model het dynamisch gedrag van een andere constructie voorspeld kan worden. Zo is de situatie, dat de drukwals aangedreven wordt en dat de intermediate via tandwielen aan de drukwals gekoppeld is, beschreven in hoofdstuk 5.

HOOFDSTUK 2 : OPSTELLEN MODEL.

Om sneller te begrijpen welke interacties er tussen de verschillende walsen zijn worden in het model alle rotaties naar translaties omgeschreven (zie bijlage 1). Bovendien beschrijft het model alleen de toestand met papier en wordt het inkomen van het vel papier gemodelleerd door een papierkracht, die een functie van de papierpositie is. Dit wijkt af van de praktijk situatie omdat er eerst een stationaire situatie zonder papier is. Vervolgens komt het vel in de kneep (contactzone tussen twee walsen) waar na inschakelverschijnselen een stationaire toestand met papier ontstaat. Er zou dus eigenlijk tussen een model zonder en met papier geswitcht moeten worden.

2.1 HET KNEEPGEDRAG.



figuur 3

Kneepgedrag zonder papier :

Als de vrij draaiende drukwals tegen de aangedreven intermediate gedrukt wordt blijkt dat er een snelheidsverschil tussen beide walsen ontstaat zonder dat er slip optreedt. Dit wordt veroorzaakt door de rubberen lagen die op beide walsen zitten. Door de aandrukkracht wordt het rubber naar de zijkanten geduwd. Omdat rubber incompressibel is en omdat aan de wet van behoud van massa voldaan moet worden zal het rubber in de kneep stromen. Dit is ook aan de hand van figuur 3

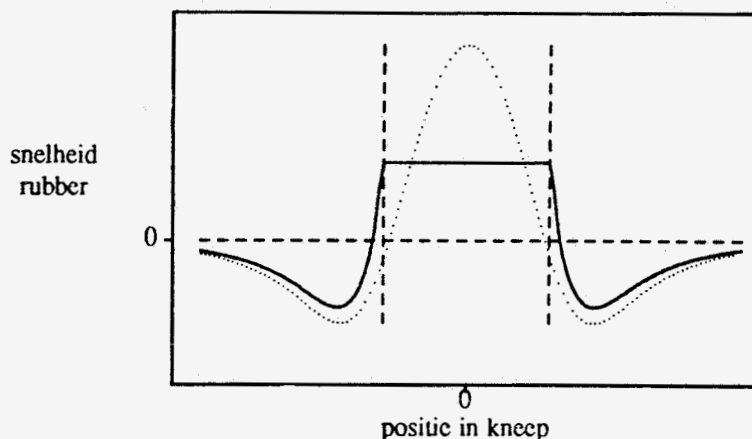
duidelijk te maken. De rubberlaag van de bovenste wals is in doorsnede B , door de aandrukkracht, dunner dan in doorsnede A. Maar omdat per seconde door beide doorsneden het zelfde volume moet gaan zal de rubbersnelheid in B hoger zijn.

Gevolg : de snelheid van de vrijdraaiende drukwals zal toenemen na mate de drukkracht hoger is. Voor meer informatie over het krachtenspel in een kneep zie L.Saes (1989).

Kneepgedrag met papier :

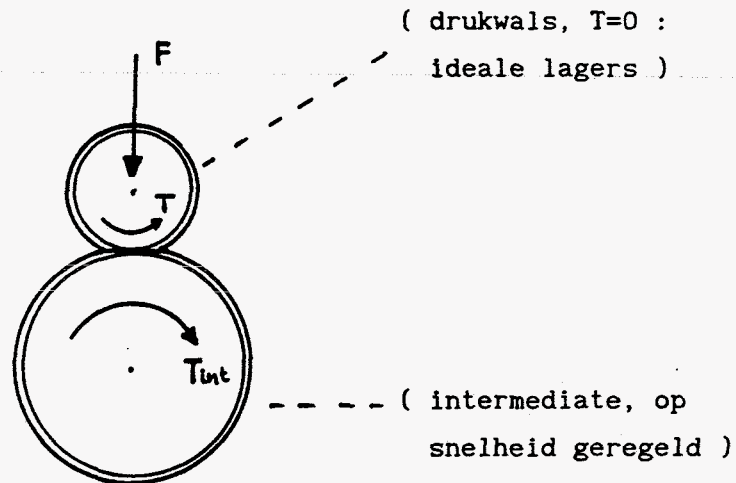
Het papier wordt ten opzichte van de rubberen lagen star verondersteld ($E_{\text{papier}}=100 \cdot E_{\text{rubber}}$). Door de rubberen laag tussen intermediate en het papier zal de snelheid van het papier hoger zijn. Dit zelfde geldt voor de drukwals en papier (mits de drukwals aangedreven wordt). Deze twee snelheidsverschillen kunnen door de overbrengverhoudingen i_{ip} en i_{pd} gemodelleerd worden. Beide overbrengverhoudingen zijn verschillend omdat de eigenschappen en geometrieën van de rubber lagen ongelijk zijn.

In de volgende figuur, overgenomen uit L. Saes (1989), staat de rubbersnelheid tegen de kneeppositie uitgezet. De gestippelde lijn beschrijft de situatie zonder papier, de getrokken lijn de situatie met papier. Omdat het papier star is zal de rubbersnelheid in de kneep constant zijn.



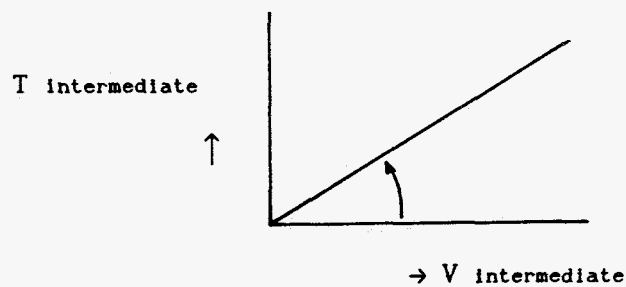
figuur 4

Veronderstel de volgende situatie :



figuur 5

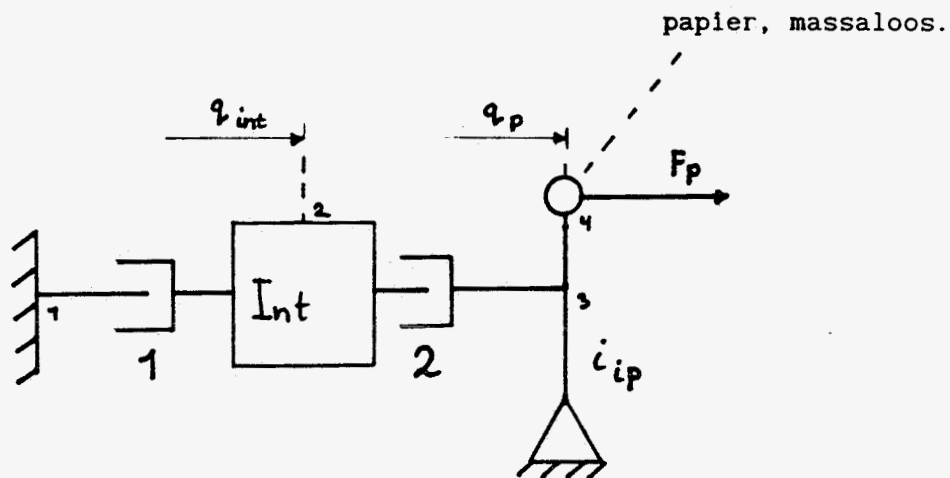
Als beide rollen van puur elastisch materiaal zouden zijn dan zou de vervormingsenergie aan het einde van de kneep weer voor 100 % vrijkomen zodat er weer vervorming plaats kan vinden (etc.). Echter de walsen zijn voorzien van een laagje rubber dat een visco-elastisch materiaal gedrag heeft. Hierdoor komt de vervormingsenergie niet meer voor 100 % vrij. Er wordt continu energie gedissipeerd. Dit houdt in dat er continu een koppel T_{int} . geleverd moet worden om de snelheid van de intermediate constant te houden. Uit metingen blijkt dat er een lineair verband is tussen koppel en snelheid. Dit lineair verband wordt met een lineaire demper gemodelleerd.



figuur 6

Stel dat een vel papier tussen de twee rollen van figuur 5 gaat. Op moment dat er aan het papier getrokken wordt zal de snelheid van het papier veranderen. Omdat er in de kneep geen slip optreedt zal er continu aan het papier getrokken moeten worden om de snelheid van het papier constant te houden. Het verband tussen de kracht op en snelheid van het papier wordt, uitgaande van de stationaire situatie, lineair verondersteld. \Rightarrow lineaire demper.

Voor de stationaire interactie tussen intermedate en papier kan nu het volgende model opgesteld worden.



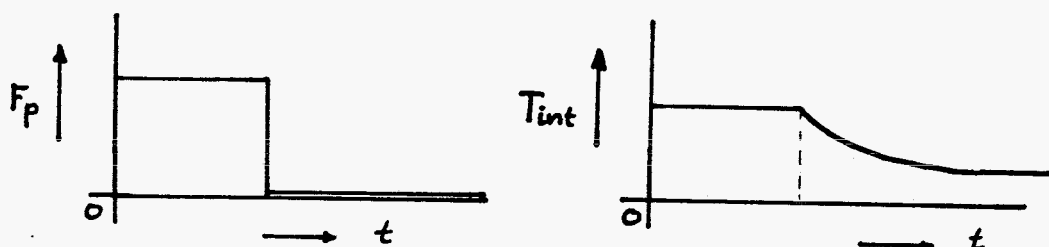
figuur 7

Demper 1 : Beschrijft de kracht (koppel) dat continu nodig is ten gevolge van de indrukking van het rubber.

Demper 2 : Beschrijft de kracht die nodig is om het papier een andere snelheid te geven.

i_{ip} : De overbrengverhouding tussen intermedate en papier in de stationaire situatie en dat er niet aan het papier getrokken wordt. Want in de stationaire situatie zijn de snelheden in de punten 2 en 3 gelijk.

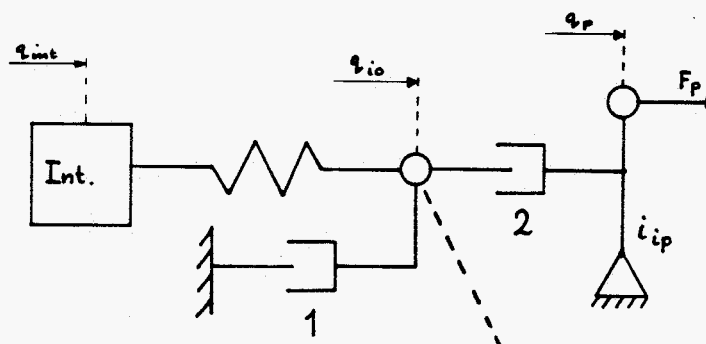
Uit proeven, door Theo Heeren gedaan, blijkt dat wanneer een vel papier met een extra externe kracht F_p door de kneep getrokken wordt er bij een stapvormige variatie van die kracht en bij een constante snelheid van de intermediaate het volgende optreedt :



figuur 8

Het aandrijfkoppel neemt volgens een e-macht af en bereikt na een aantal seconden een stationaire toestand.

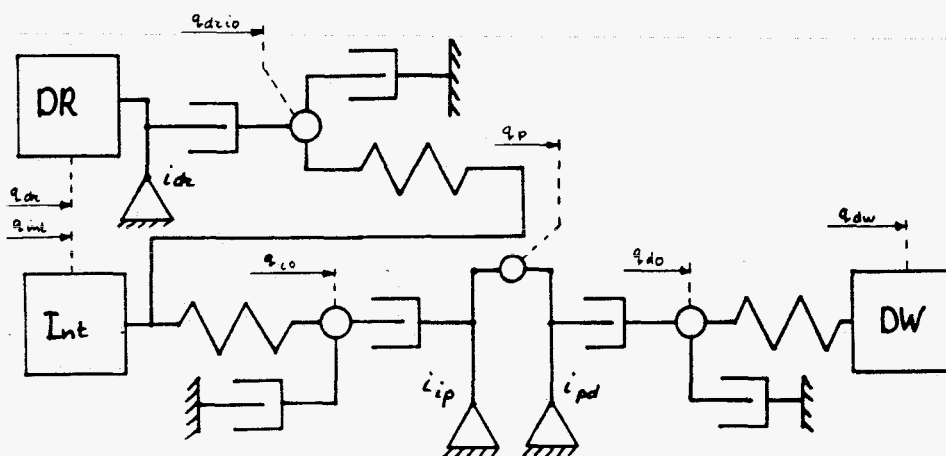
Omdat het model in figuur 7 deze e-macht niet beschrijft wordt de intermediaate vervangen door een massaloos fictief punt en wordt het model met een (lineaire) veer uitgebreid om de e-macht te kunnen beschrijven. Deze veer zal parallel met demper 1 moeten komen te staan, maar verbonden met de intermediaate en het fictieve punt zodat een grotere relatieve verplaatsing (hoekverdraaing) tussen beide punten een grotere kracht vraagt. (zie figuur 9). De fysische betekenis van de veer is dan ook duidelijk. Ter plaatse van de kneep wordt het rubber afgeschoven. Dit kan met een lineair elastische veer beschreven worden.



figuur 9

fictief (massaloos) punt tussen rubber opperv. en kern van de intermediaate.

De gedachten experimentjes, tot nu toe gedaan, zijn ook toepasbaar voor drukwals - papier en intermediaate - drum zodat het volgende model verkregen wordt :



figuur 10

2.2 DE AANDRIJVING.

Via een wormoverbrenging, asje en een oldham koppeling drijft een synchroonmotor de intermediate aan. Deze motor wordt als een rotor en een stator, elastisch opgehangen aan de vaste wereld, gemodelleerd. De drum is via een set tandwielen hard aan de intermediate gekoppeld. De stijfheden en demping van asje, koppeling en worm kunnen door één stijfheid en demping vervangen worden. Als benadering moeten dan wel de massa's (traagheden) van asje, koppeling en wormwiel bij de intermediate toegevoegd worden.

Ook overbrenging van de worm is al uit het model gehaald. Dit is mogelijk als de traagheden, stijfheden en dempingswaarden daarvoor gecorrigeerd worden. Zie figuur 11.

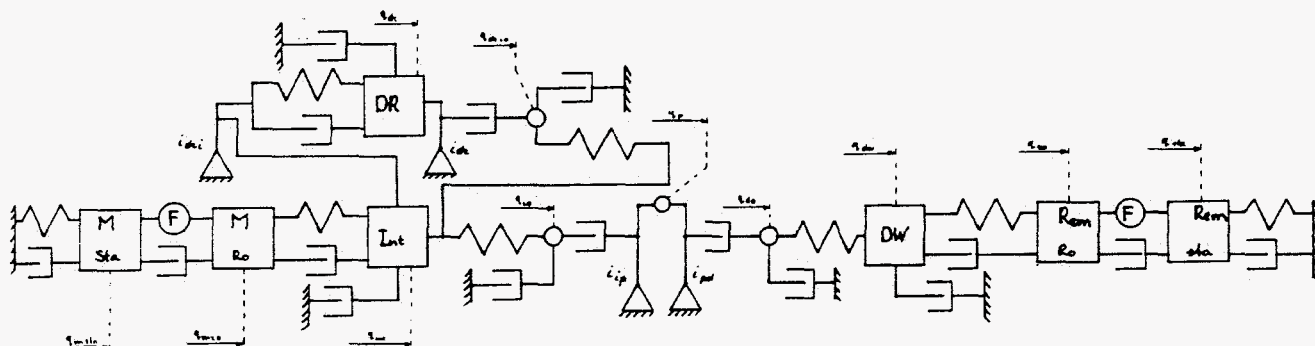
2.3 VELSCHEIDING

Om te zorgen dat de vellen niet aan de warme intermediate blijven plakken wordt met behulp van een rem op de drukwals een tegenwerkend koppel op de intermediate gezet. De rem kan verdeeld worden in een rotor en een stator, die weer verend is opgehangen. Zie figuur 11.

2.4 LAGERING.

Zowel de intermediate, drukwals als drum zijn gelagerd. Er wordt verondersteld dat, uitgaande van de stationaire snelheid, het verband tussen snelheidsvariatie en verandering van de weerstand lineair is. Zie figuur 11.

Totaal model :



figuur 11

2.5 VEREENVOUDIGINGEN.

Omdat een eenvoudig model in eerste instantie het meeste inzicht in het systeem geeft worden een aantal vereenvoudigingen gemaakt.

1)

Voor de drum is geen verplaatsing ten opzichte van de intermediate gemeten op moment dat papier in de kneep kwam. Op grond hiervan is het gedeelte van de drum weggelaten, terwijl de massa (traagheid) van de drum + tandwiel bij die van de intermediate wordt gevoegd. (zie bijlage 1)

2)

Door met een code wielkje + opnemer de snelheid van de motor te meten is vastgesteld dat de snelheid van de motor niet ten opzichte van de

stationaire snelheid varieërd op moment dat een vel papier in de kneep komt. Op grond hiervan wordt de motor als snelheidsbron gemodelleerd.

De volgende vereenvoudigingen waren al bij het opstellen van het model aangenomen :

a)

De stijfheden van asje, koppeling en worm zijn door één stijfheid vervangen. Dit was al vermeld in paragraaf 2.2. De berekening staat in bijlage 4.

b)

Zoals al vermeld aan het begin van dit hoofdstuk, beschrijft dit model de situatie met papier. Door middel van een aanstootkracht wordt het inkomen van een vel gesimuleerd. Eigenlijk zouden er twee modellen moeten zijn. Een model zonder papier en een model met papier waartussen geswitcht moet worden.

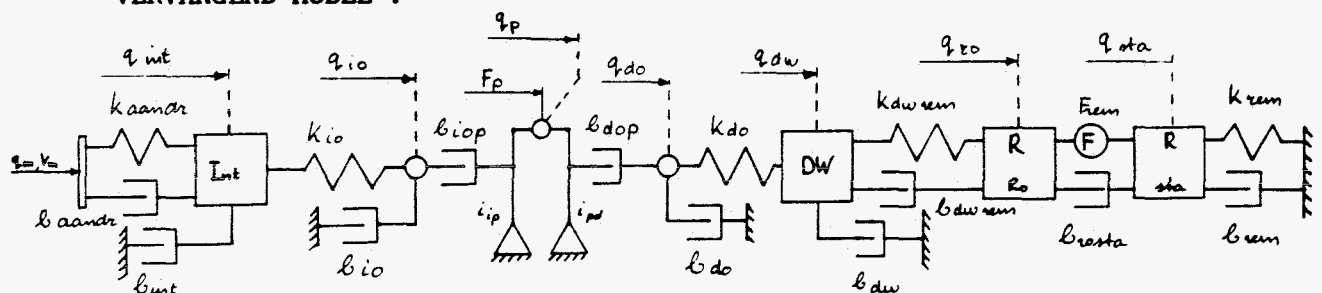
c)

In het model zijn een aantal extra walsen niet opgenomen. Het weglaten vermindert de drukkracht van de drukwals op de intermediate met 500 N/m. Om de simulaties met de metingen te kunnen vergelijken zijn de metingen ook zonder deze walsen gedaan.

d)

De drukwals heeft een vrijheidsgraad die loodrecht op de al gemodelleerde vrijheidsgraad staat. De drukwals is namelijk verend opgehangen. De drukwals wordt door het velletje papier opgetild. Deze vrijheidsgraad wordt niet gemodelleerd.

VERVANGEND MODEL :



figuur 12

2.6 BEWEGINGSVERGELIJKINGEN.

Er zijn drie bewegingsvergelijkingen van traagheidsloze vrijheidsgraden en vier vergelijkingen van traagheidsvoerende vrijheidsgraden:

$$k_{io} (q_{io} - q_{int}) + b_{io} \dot{q}_{io} + b_{iop} (\dot{q}_{io} - \dot{q}_p / i_{ip}) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{b_{iop}}{i_{ip}} \left[\frac{\dot{q}_p}{i_{ip}} - \dot{q}_{io} \right] + \frac{b_{dop}}{i_{pd}} \left[\frac{\dot{q}_p}{i_{pd}} - \dot{q}_{do} \right] - F_p = 0 \quad (2)$$

$$b_{dop} (\dot{q}_{do} - \dot{q}_p / i_{pd}) + k_{do} (q_{do} - q_{dw}) + b_{do} \dot{q}_{do} = 0 \quad (3)$$

$$M_{int} \dot{q}_{int} + k_{aandr} [q_{int} - q_m] + b_{aandr} [\dot{q}_{int} - V_m] +$$

$$k_{io} [q_{int} - q_{io}] + b_{int} \dot{q}_{int} = 0 \quad (4)$$

$$M_{dw} \dot{q}_{dw} + k_{do} (q_{do} - q_{do}) + k_{dwrem} (q_{dw} - q_{ro}) +$$

$$b_{dwrem} (\dot{q}_{dw} - \dot{q}_{ro}) + b_{dw} \dot{q}_{dw} = 0 \quad (5)$$

$$M_{ro} \dot{q}_{ro} + b_{dwrem} (\dot{q}_{ro} - \dot{q}_{dw}) + k_{dwrem} (q_{ro} - q_{dw}) +$$

$$b_{rosta} (\dot{q}_{ro} - \dot{q}_{sta}) - F_{rem} = 0 \quad (6)$$

$$M_{sta} \dot{q}_{sta} + b_{rem} \dot{q}_{sta} + k_{rem} q_{sta} + b_{rosta} (\dot{q}_{sta} - \dot{q}_{ro}) +$$

$$F_{rem} = 0 \quad (7)$$

Deze vergelijkingen kunnen ook in matrix notatie geschreven worden. Daarvoor worden de volgende vectoren gedefinieerd :

$$g_m = \begin{bmatrix} q_{int} \\ q_{dw} \\ q_{ro} \\ q_{sta} \end{bmatrix} ; \quad g_z = \begin{bmatrix} q_{io} \\ q_{do} \\ q_p \end{bmatrix} ; \quad g = \begin{bmatrix} q_m \\ q_z \end{bmatrix} ; \quad u = \begin{bmatrix} q_m \\ V_m \\ F_{rem} \\ F_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_m \\ f_z \end{bmatrix}$$

$$\underline{M} \dot{\underline{q}} + \underline{B} \dot{\underline{q}} + \underline{K} \underline{q} + \underline{H} \underline{u} = \underline{0} \quad (8)$$

(voor \underline{M} , \underline{B} , \underline{K} en \underline{H} zie bijlage 2)

Deze vergelijking kan gesplitst worden in wel en niet traagheidsvoerende matrixvergelijkingen :

$$M_{11} \dot{\underline{q}}_m + B_{11} \dot{\underline{q}}_m + B_{12} \dot{\underline{q}}_z + K_{11} \underline{q}_m + K_{12} \underline{q}_z + H_{11} \underline{f}_m = \underline{0} \quad (9)$$

$$B_{21} \dot{\underline{q}}_m + B_{22} \dot{\underline{q}}_z + K_{21} \underline{q}_m + K_{22} \underline{q}_z + H_{22} \underline{f}_z = \underline{0} \quad (10)$$

De volgende toestandsvector wordt gekozen :

$$\underline{x} = \begin{bmatrix} \underline{q}_m \\ \dot{\underline{q}}_m \\ \underline{q}_z \end{bmatrix} \Rightarrow \dot{\underline{x}} = \underline{A} \underline{x} + \underline{B}^* \underline{u} \quad (11)$$

Deze toestandsvergelijking (11) is de op te lossen vergelijking, waarbij in de vector \underline{u} onder andere de papierkracht, als functie van de tijd, zit. Het oplossen van deze vergelijking gebeurt met het programma PC MATLAB. (De matrices \underline{A} en \underline{B}^* staan in bijlage 3 vermeld.)

Omdat de verstoring bovenop de stationaire procestoestand aangebracht wordt moet de stationaire begintoestand berekend worden. Dit gebeurt in de volgende paragraaf.

2.7 STATIONAIRE BEGINTOESTAND.

Stationair betekent dat de snelheden constant zijn $\Rightarrow \dot{\underline{x}} = \underline{0}$

$$\dot{\underline{x}} = \underline{A} \underline{x} + \underline{B} \underline{u} \quad (11)$$

$$\dot{\underline{x}} = \underline{A} \underline{x} + \underline{B} \underline{u} = \underline{0} \quad (12)$$

Door (11) in (12) in te vullen wordt de volgende vergelijking gevonden :

$$\dot{\underline{x}} = \underline{A} (\underline{A} \underline{x} + \underline{B} \underline{u}) + \underline{B} \underline{u} = \underline{0}$$

$$\dot{\underline{x}} = \underline{A}^2 \underline{x} + \underline{A} \underline{B} \underline{u} + \underline{B} \underline{u} = \underline{0}$$

$$\underline{A}^2 \underline{x} = - (\underline{A} \underline{B} \underline{u} + \underline{B} \underline{u}) \quad (13)$$

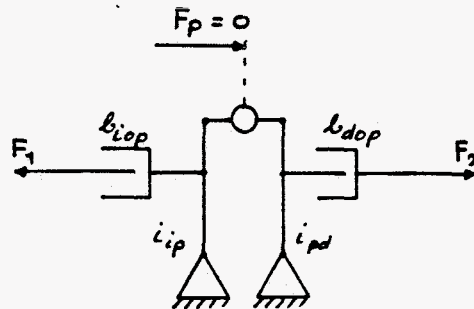
De vector \underline{u} is nu gelijk aan de eerder gedefinieerde ingangsvector op het tijdstip : $t = 0$

De matrix \underline{A}^2 is singulier (twee eigenwaarden van deze matrix zijn nul) omdat zowel de positie van het papier als die van drukwals + rotor-rem vrij gekozen kunnen worden. (Dit volgt direct uit het model). Om vergelijking (13) op te kunnen lossen worden q_{r_0} en q_p nul verondersteld en worden de bijbehorende kolommen van matrix \underline{A}^2 verwijderd. Met behulp van PC MATLAB wordt vergelijking (13) opgelost.

HOOFDSTUK 3 : BEPALEN PARAMETERS.

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe de parameters die het kneepgedrag vormen, bepaald kunnen worden. De berekening van de overige parameters staat in bijlage 4 vermeld.

3.1 BEPALING B_{iop} , B_{dop} , i_{ip} en i_{pd} .



figuur 13

$$F_1 = b_{iop} \left(\dot{q}_p / i_{ip} - \dot{q}_{io} \right) \quad (14)$$

$$F_2 = b_{dop} \left(\dot{q}_{do} - \dot{q}_p / i_{ip} \right) \quad (15)$$

De externe papierkracht F_p wordt nul verondersteld :

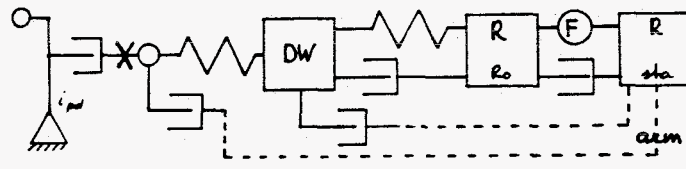
$$F_p = 0 \Rightarrow F_1 = F_2 \quad (16)$$

Zowel de snelheid van de intermediate als die van de drukwals worden met een Heidenhain pulsenschijf gemeten. Bij de stationaire

processnelheid geldt : $\dot{q}_{int} = \dot{q}_m = \dot{q}_{io}$

$$\dot{q}_{do} = \dot{q}_{dw}$$

Door het remkracht te varieëren, verandert ook de snelheid van de drukwals. De snelheid van de intermediate blijft gelijk. Als de remkracht met behulp van een arm en een krachtdoos wordt gemeten geldt dat $F_2 = F_{rem}$ omdat namelijk ook de krachten die de dempers b_{do} en b_{dw} op het systeem uitoefenen in feite via de stator van de rem naar de vaste wereld doorgeleid worden. Zie figuur 14.



figuur 14

Van de intermediate - drukwals combinatie is, in warme toestand, de beeldverlenging intermediate - papier als functie van het remkoppel bekend. Door bij een bekend remkoppel de snelheid van de intermediate met de bijbehorende beeldverlenging te vermenigvuldigen is \dot{q}_p bekend. Er blijven dus alleen nog de vier onbekenden met twee vergelijkingen over. Door nu bij twee snelheden van de drukwals de remkracht en de papiersnelheid te bepalen zijn twee sets van twee vergelijkingen met twee onbekenden verkregen waaruit b_{iop} , b_{dop} , i_{ip} en i_{pd} berekend kunnen worden. (zie bijlage 5)

3.2 BEPALING K_{io} en K_{do} .

K_{io} en K_{do} zouden uit het verloop van het aandrijfkoppel (e-macht) gehaald kunnen worden op moment dat de papierkracht instantaan gevarieërd wordt. Omdat dit praktisch een aantal problemen gaf zijn beide parameters theoretisch bepaald.

In de kneep worden de rubberen lagen afgeschoven. Als een lineair elastisch constitutief model gekozen (Hooke) wordt geldt het volgende : $\tau = G\varepsilon$; $u = \varepsilon D$; $F = H\tau \Rightarrow k = \frac{F}{u} = \frac{HG}{D}$ (17)

Uit de elasticiteitsmodulus en de geometrie van het rubber in de kneep wordt de stijfheid k berekend. (zie bijlage 6)

3.3 BEPALING B_{int} en B_{dw}

Omdat het labmodel niet een gelijkstroommotor maar een synchroommotor gebruikt, is een proefopstelling met een op snelheid geregelde gelijkstroommotor, een intermediate en een drukwals gebouwd. Door de gelijkstroommotor met een rem, vibro-, spanning- en stroommeter bij één snelheid te ijken is bij één snelheid het uitgaande vermogen als functie van het ingaande vermogen bekend.

Uit het vermogen dat nodig is om de intermediate zonder drukwals op processnelheid te laten draaien kan b_{int} berekend worden :

$$P_{uitgaand} = \dot{q}_{int}^2 * b_{int} \quad (18)$$

b_{dw} wordt drie maal kleiner dan b_{int} gekozen. (zie bij lage 7)

3.4 BEPALING B_{i0} en B_{d0} .

Als een harde drukwals zonder rem tegen de intermediate geplaatst wordt zal in het model het gedeelte tussen papier en drukwals vervallen. Omdat bij stationaire processnelheid zowel de veren als de demper b_{aandr} geen energie dissiperen ($\dot{q}_m = \dot{q}_{int}$) kan uit het totaal gedissipeerde vermogen b_{i0} bepaald worden. (zie bijlage 8)

Door vervolgens een gewone drukwals te plaatsen kan direct uit het gedissipeerde vermogen de dempingswaarde b_{d0} bepaald worden. Helaas was het vanwege scheefloop van het papier niet mogelijk continu papier door te voeren. De experimentjes zijn daarom zonder papierdoorvoer gedaan. (zie bijlage 8)

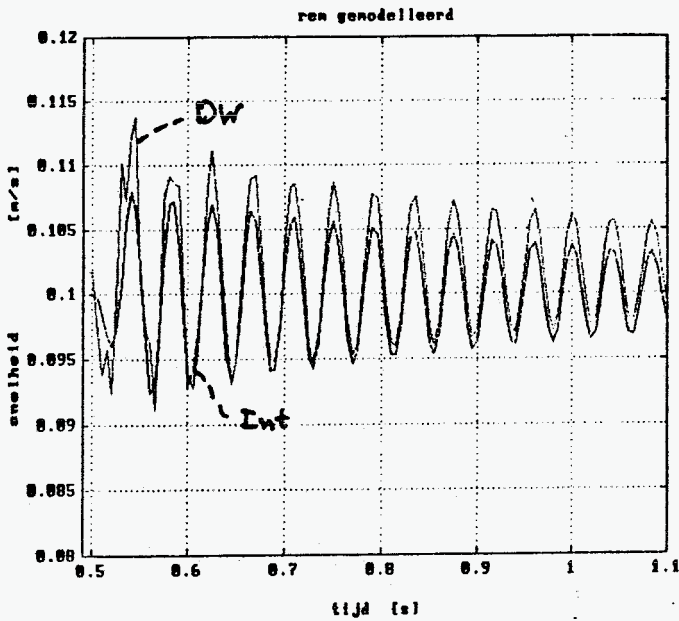
3.5 PAPIERKRACHT.

Het inkomen van het vel in de kneep wordt in het model gemodelleerd met een externe kracht op het papier. Op moment dat het vel in de kneep komt oefent het vel een kracht op de walsen uit. De arbeid die die kracht verricht is gelijk aan de arbeid die nodig is om de drukwals omhoog te drukken ($1000 \text{ N/m} * 0.3 \text{ m} * \text{dikte papier}$) en moet gelijk zijn aan het oppervlak onder de curve van de papierkracht als functie van de papierpositie. De vorm van die curve is dus bepalend voor de topwaarde.

In bijlage 9 is beschreven hoe schattingen van de vorm van de papierkracht gemaakt zijn.

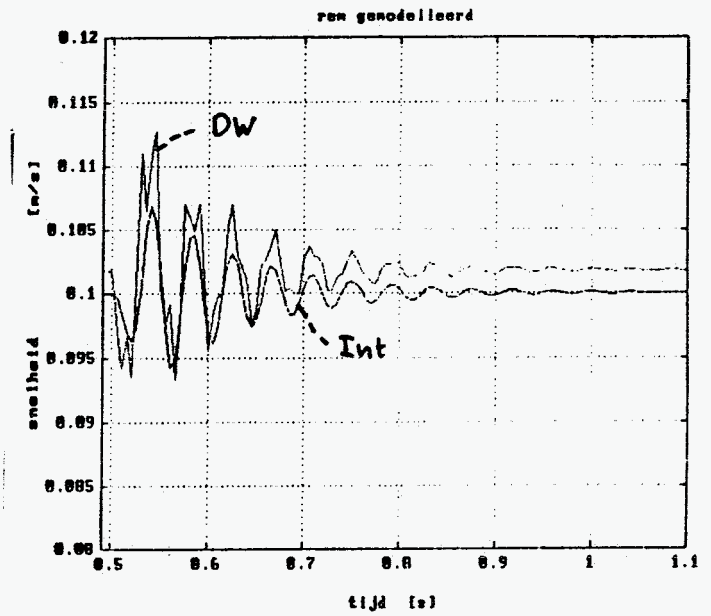
HOOFDSTUK 4 : RESULTATEN

Met behulp van het programma PC MATLAB werden er simulaties uitgevoerd waarbij b_{aandr} de ene keer nul, de ander keer 500 Ns/m verondersteld werd :



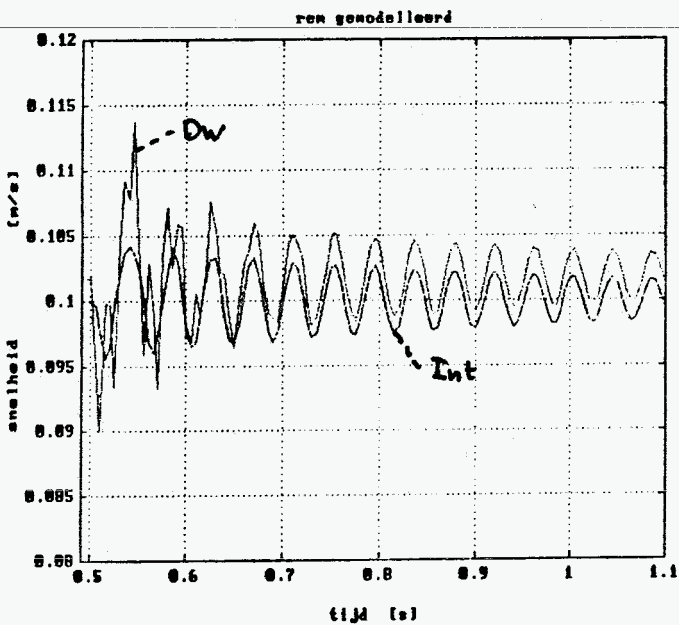
figuur 15 : krachtvorm 1

$$b_{aandr} = 0$$



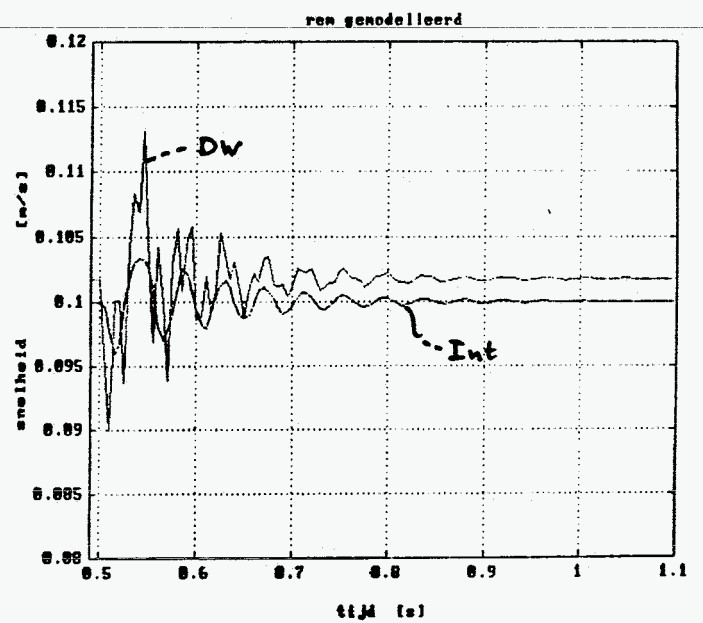
figuur 16 : krachtvorm 1

$$b_{aandr} = 500 \text{ Ns/m}$$



figuur 17 : krachtvorm 2

$$b_{aandr} = 0$$



figuur 18 : krachtvorm 2

$$b_{aandr} = 500 \text{ Ns/m}$$

De niet mooie sinusvormige responsie van de drukwals komt zeer waarschijnlijk doordat de drukwals in één van zijn eigen-frequenties wordt aangestoten. Dit moet nog verder onderzocht worden.

Als de simulaties van de intermediate en drukwals snelheid vergeleken worden met de metingen (zie bijlage 10) kan het volgende geconcludeerd worden :

- frequentie van de simulaties zijn gelijk (≈ 22 Hz)
- amplitude van de simulaties : hangt af van de vorm van de papierkracht. Bij krachtvorm 1 : amp. simulaties ongeveer gelijk.
Bij krachtvorm 2 : amp. simulaties kleiner.
(krachtvormen zie bijlage 9)
- Als $b_{\text{aandr}} = 0$: demping van de simulaties veel kleiner.
Als $b_{\text{aandr}} = 500$: redelijke benadering van gemeten demping.

Door de parameters van het systeem stuk voor stuk te varieëren kwam aan het licht dat de stijfheid van de aandrijftrein grote invloed heeft op de frequentie en de amplitude van de responsie. De demping van de aandrijftrein is bepalend voor de totale demping. En juist deze demping was niet te bepalen. De amplitude van de responsie is rechtevenredig met de grootte van de topwaarde van de papierkracht. Het tijdstip waarop de topwaarde bereikt wordt, bepaald het tijdstip waarop de amplitude van de responsie maximaal is.

Dat de simulaties niet tot dezelfde resultaten leiden als de metingen wordt veroorzaakt door :

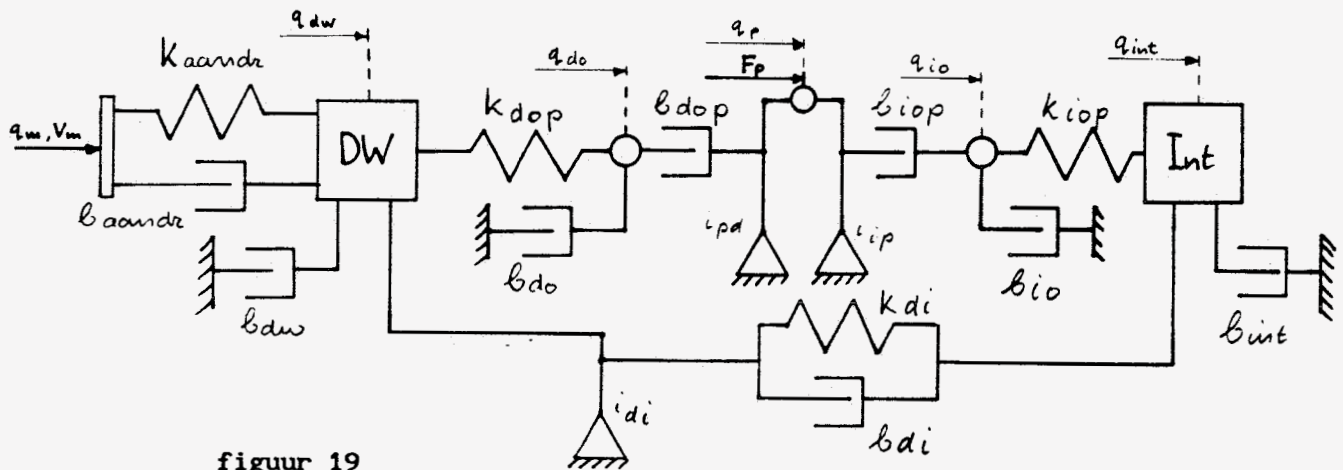
- * Onzekere vorm papierkracht en onbekende dempingparameters.
- * De wormoverbrenging introduceert een snelheidsrimpel. Hierdoor is het moeilijk de snelheidsverstoringen van intermediate en drukwals van deze rimpel te onderscheiden.
- * Gemaakte vereenvoudigingen.

Het model bevat nog een aantal onzekerheden ten aanzien van de numerieke waarden maar het is goed genoeg om te kunnen onderzoeken welke effecten aanpassingen in de constructie op het dynamisch gedrag hebben. Zo is in hoofdstuk 5 een alternatieve constructie gemodelleerd.

HOOFDSTUK 5 : ALTERNATIEVE CONSTRUCTIE : HARDE KOPPELING.

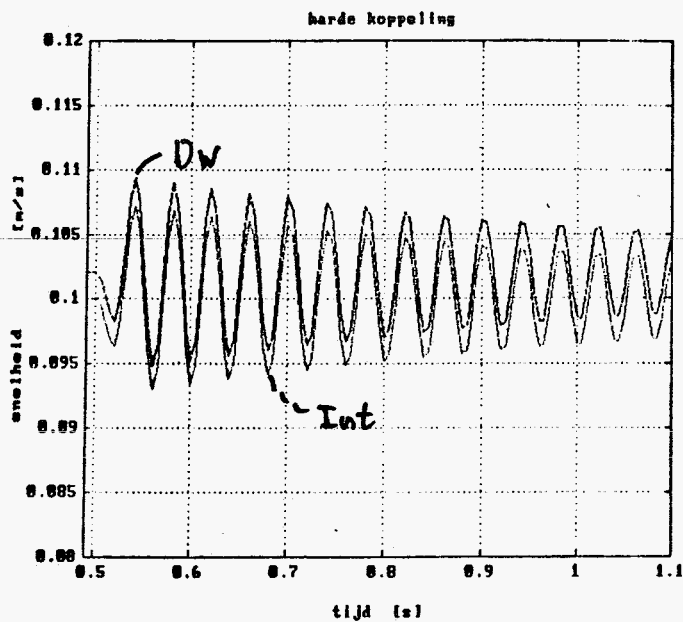
Omdat de massa traagheid van de drukwals zeer klein is en de poederrem niet naar wens functioneert, wordt de drukwals aangedreven. De intermediate wordt met een set tandwielen aan de drukwals gekoppeld. Door de tandwieloverbrenging net iets anders te kiezen dan de overbrengverhouding van de kneep, zal een constante remkracht geïntroduceerd worden.

model : (matrices : zie bijlage 11)

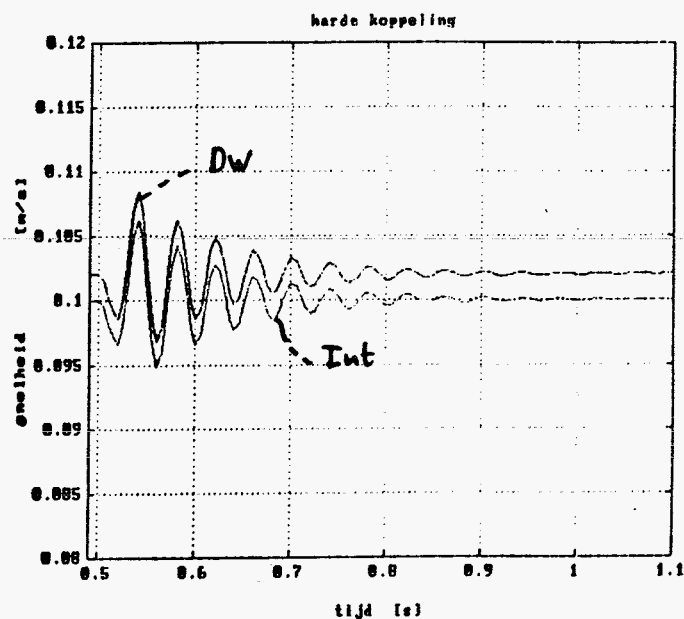


figuur 19

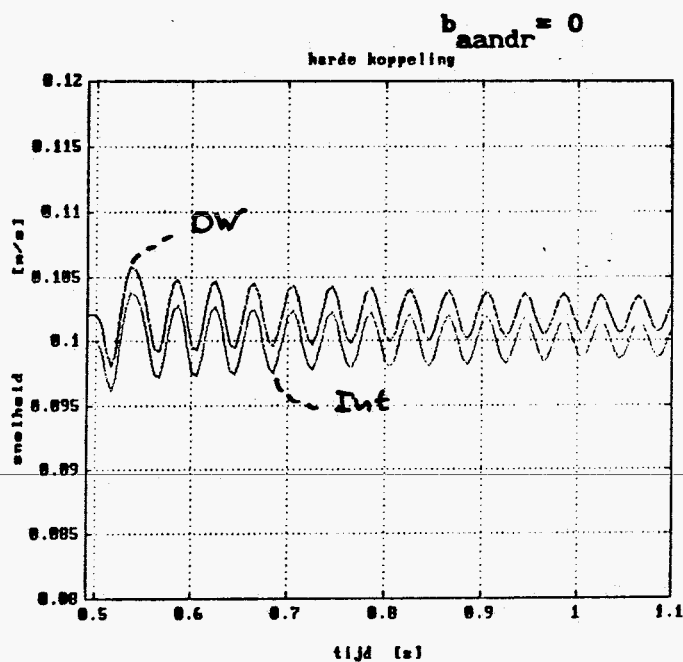
Bij de simulaties waarbij de poederrem nog gebruikt werd, was de remkracht op nul ingesteld. Hoewel de remkracht alleen de stationaire snelheid beïnvloedt en niet de dynamische responsie, zijn voor de tweede constructie de overbrengverhoudingen van kneep en tandwielen gelijk gekozen \Rightarrow geen remkracht, zodat bij de juiste opgelegde snelheid van de drukwals en dezelfde stijfheid en demping van de aandrijftrein de simulaties van beide constructies vergeleken kunnen worden. Hierbij is de harde koppeling tussen drukwals en intermediate als erg stijf gemodelleerd.



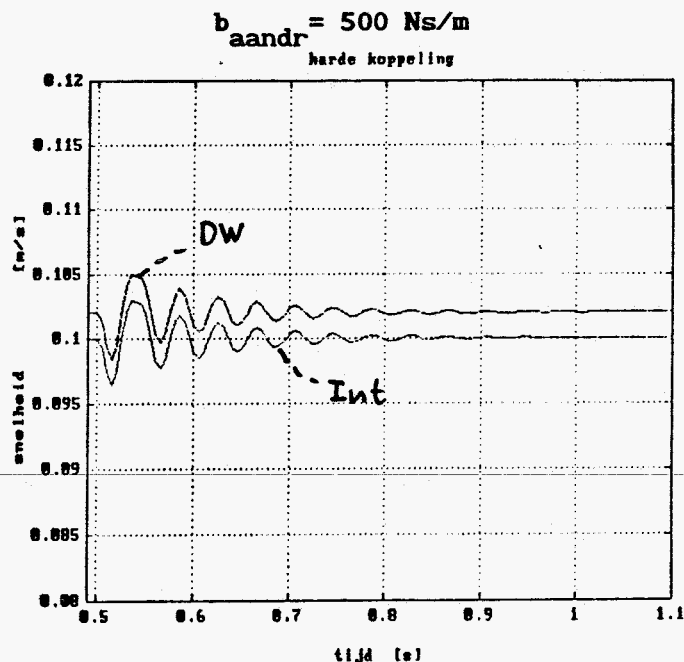
figuur 20 : krachtvorm 1



figuur 21 : krachtvorm 1



figuur 22 : krachtvorm 2



figuur 23 : krachtvorm 2

De responsie van de drukwals is gelijk aan die van de intermediaate geworden en is nu dus wel sinusvormig. Door de starre overbrenging is de drukwals kennelijk niet meer in staat om vrij te trillen. In hoeverre er verder eigenfrequenties aangestoten worden moet nog onderzocht worden. De snelheidsverstoring is door de harde koppeling helaas weinig afgenomen. Er werd gevoelsmatig een grotere afname verwacht. Door de constructie te bouwen kan het model geverifieerd worden.

HOOFDSTUK 6 : CONCLUSIES / SUGGESTIES VOORTGANG.

Conclusies :

- * Ondanks een aantal onbekende parameters benadert het model redelijk de experimentele resultaten.
- * Uit een aantal simulaties volgt dat de invloed van het kneepgedrag op het dynamisch gedrag in het eerste model zéér klein is ten opzichte van de invloed van de aandrijftrein. Op grond hiervan lijkt het verstandig de stijfheid van de aandrijftrein enkele malen groter te kiezen dan de kneepstijfheid.
- * De remkracht heeft geen invloed op het dynamisch gedrag.
- * De parameters die het dynamisch gedrag het meest beïnvloeden zijn : Stijfheid aandrijftrein ⇒ frequentie en amplitude van de responsie.
 - : Damping aandrijftrein ⇒ demping van de responsie.
 - : Papierkracht ⇒ amplitude van de responsie.
- * In het tweede model is de responsie van de drukwals minder heftig. De responsie is nu van dezelfde grootte als die van de intermediaate, die nauwelijks afgenomen is.
- * Het is verstandig om het model te verifieëren door de tweede constructie te bouwen en hieraan te meten.

Suggesties voortgang :

- * Bepalen demping aandrijftrein.
- * Beter bepalen vorm papierkracht.
- * Gevoeligheidsanalyse op zowel eerste als tweede model loslaten en op grond hiervan tot een betere constructie zien te komen.
- * Onderzoeken wat de eigenfrequenties van het systeem zijn.
- * De synchronomotor vervangen door een gelijkstroommotor met regeling. Het voordeel hiervan is dat bij het uitvoeren van metingen de snelheid instelbaar is en dat precies bekend is wat voor vermogen er geleverd wordt.
- * Onderzoeken in hoeverre speling doorlopen wordt (bijvoorbeeld bij het uitkomen van een vel papier) en deze speling modelleren.

- * Uitbreiden van de modellen met de drum.
- * De drukwals heeft twee vrijheidsgraden. De translatie van de drukwals is niet gemodelleerd. Het model zou met deze vrijheidsgraad uitgebreid kunnen worden.

- * Bepalen invloeden van verschillende uitvoeringsvormen van de rem.
- * Bouwen van en meten aan de alternatieve constructie.

LITERATUURLIJST :

Saes, L., Tangentiële belastingen in knepen, herkomst en vorm van de belastingsprofielen vanuit een praktisch gezichtspunt. OCE Nederland B.V., Venlo, 1989.

BIJLAGE 1 : TOEVOEGEN MASSA (TRAAGHEID) VAN DE DRUM AAN DE INTERMEDIATE.

Veronderstel dat de intermediate geen rubber laag heeft maar dat er toch geen slip tussen de intermediate en de drum is. Bij de stationaire processnelheid zal dan het volgende gelden :

$$\dot{\phi}_{\text{drum}} * R_{\text{drum}} = \dot{\phi}_{\text{int.}} * R_{\text{int}} \Rightarrow \dot{\phi}_{\text{drum}} = \frac{R_{\text{int}}}{R_{\text{drum}}} * \dot{\phi}_{\text{int}}$$

De kinetische energie van de intermediate is : $T_{\text{kin}} = \frac{1}{2} J_{\text{int}} \dot{\phi}_{\text{int}}^2$

De totale kinetische energie is :

$$T_{\text{kin}} = \frac{1}{2} J_{\text{int}} \dot{\phi}_{\text{int}}^2 + \frac{1}{2} J_{\text{drum}} \dot{\phi}_{\text{drum}}^2 = \frac{1}{2} \dot{\phi}_{\text{int}}^2 \left(J_{\text{int}} + J_{\text{drum}} \frac{R_{\text{int}}^2}{R_{\text{drum}}^2} \right)$$

Als de drum bij de intermediate gevoegd wordt is de term tussen de haakjes de vervangende traagheid J.

J_{int} is niet alleen de massatraagheid van de intermediate maar bevat ook die van het asje, koppeling en worm.

$J_{\text{alleen int}}$ en J_{drum} zijn met een CAD systeem bepaald. De overige zijn aan de hand van de geometrie berekend.

$$\begin{aligned} J_{\text{alleen int}} &= 51284 \text{ kgmm}^2 \\ J_{\text{drum}} &= 33395 \text{ kgmm}^2 \\ J_{\text{wormwiel}} &= 132 \text{ kgmm}^2 \\ J_{\text{as}} &= 1.5 \text{ kgmm}^2 \\ J_{\text{kop}} &= 11.5 \text{ kgmm}^2 \end{aligned}$$

Omdat de overbrenging van de wormoverbrenging uit het model gehaald is (de motor heeft in het model een lagere snelheid gekregen) moeten de traagheden van het asje, koppeling en worm met de destreffende overbrengingen in het kwadraat vermenigvuldigd worden. Bewijs :



$$\omega_m = i \omega_1 \Rightarrow \omega_m^* = \frac{1}{i} \omega_m$$

$$T_m = \frac{1}{2} J_m \omega_m^2 = \frac{1}{2} J_m i^2 \omega_m^{*2}$$

$$i(1) = i \text{ intermediate - wormwiel} = \frac{90}{51,9} = 1,73$$

$$i(2) = i \text{ as - wormwiel} = 141$$

$$i(3) = i \text{ as - intermediate} = i(2) / i(1) = 81,8$$

$$i(4) = i \text{ intermediate - drum} = \frac{90}{50} = 1,8$$

De koppeling leidt alleen maar het toerental door $\Rightarrow i \text{ kop - as} = 1$

$$J_{\text{int}} = J_{\text{alleen int}} + J_{\text{wormwiel}} + J_{\text{as}} i(3)^2 + J_{\text{kop}} i(3)^2$$

$$J_{\text{int}} = 138402 \text{ kgmm}^2$$

$$J = 246602 \text{ kgmm}^2$$

Omdat in het model niet rotaties maar translaties gemodelleerd zijn moet de traagheid naar massa omgerekend worden.

$$\text{Uit } M = D = J \dot{\omega} \text{ volgt dat } F = J a/R^2 = m a \text{ dus } m = J/R^2$$

De straal waarop het systeem op de intermediate aangrijpt :

$$R = 90 \text{ mm} \Rightarrow m = 30,4 \text{ kg}$$

De massa's van de rem en drukwals kunnen op basis van geometrieën en gegevens van de fabrikant berekend worden :

$$M_{\text{rem (stator)}} = 0,52 \text{ kg}$$

$$M_{\text{rem (rotor)}} = 0,85 \text{ kg}$$

$$M_{\text{dw}} = 0,56 \text{ kg}$$

BIJLAGE 2 : MATRICES M, B, K EN H

$$M_{11} = \begin{bmatrix} M_{int} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & M_{dw} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M_{ro} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & M_{sta} \end{bmatrix} \quad \underline{MM} = \begin{bmatrix} M_{11} & 0 \\ (3*4) & (3*3) \end{bmatrix}$$

$$\underline{B} = \begin{bmatrix} (b_{aandr} + b_{int}) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & (b_{dwrem} + b_{dw}) - b_{dwrem} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -b_{dwrem} & (b_{dwrem} + b_{rosta}) - b_{rosta} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -b_{rosta} & (b_{rosta} + b_{rem}) & 0 \\ \hline 0 & (b_{io} + b_{iop}) & 0 & -b_{iop}/i_{ip} & 0 \\ (3*4) & 0 & (b_{dop} + b_{do}) & -b_{dop}/i_{pd} & 0 \\ & -b_{iop}/i_{ip} & -b_{dop}/i_{pd} & (b_{iop} + b_{dop}) & 0 \\ & & & -\frac{1}{i_{ip}^2} + \frac{1}{i_{pd}^2} & 0 \end{bmatrix}$$

$$\underline{K} = \begin{bmatrix} (k_{aandr} + k_{io}) & 0 & 0 & 0 & -k_{io} & 0 & 0 \\ 0 & (k_{do} + k_{dwrem}) - k_{dwrem} & 0 & 0 & 0 & -k_{do} & 0 \\ 0 & -k_{dwrem} & k_{dwrem} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_{rem} & 0 & 0 & 0 \\ \hline -k_{io} & 0 & 0 & 0 & k_{io} & 0 & 0 \\ 0 & -k_{do} & 0 & 0 & 0 & k_{do} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\underline{H} = \begin{bmatrix} -k_{aandr} & -b_{aandr} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

BIJLAGE 3 : MATRICES \underline{A} EN \underline{B}^*

$$\underline{A} = \left[\begin{array}{c|c|c} 0 & I & 0 \\ \hline M^{-1}(B_{12} B_{22}^{-1} K_{21} - K_{11}) & M^{-1}(B_{12} B_{22}^{-1} - B_{11}) & M^{-1}(B_{12} B_{22}^{-1} - K_{12}) \\ \hline - B_{22}^{-1} K_{21} & - B_{22}^{-1} B_{21} & - B_{22}^{-1} K_{22} \end{array} \right]$$

$$\underline{B}^* = \left[\begin{array}{c|c} 0 & 0 \\ \hline - M^{-1} H_{11} & - M^{-1} B_{12} B_{22}^{-1} H_{22} \\ \hline 0 & - \bar{B}_{22}^{-1} H_{22} \end{array} \right]$$

BIJLAGE 4 : BEREKENING OVERIGE PARAMETERS.

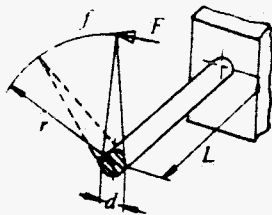
* K_{aandr}

Door de intermediate te blokkeren en met een gedefinieerde kracht aan de rotor van de synchroonmotor te draaien zou de stijfheid van de aandrijftrein bepaald kunnen worden. Helaas braken er tanden van het wormwiel af. Daarom zijn de stijfheden van het asje, koppeling en wormwiel met de hand berekend.

Koppeling : Mc7/mc7c 100 (grootste diameter 8 mm)

Gegeven is de torsiestijfheid $k^* = 46,41 \cdot 10^3$ Nmm/rad

Deze torsiestijfheid k^* kan naar stijfheid k omgerekend worden door de torsiestijfheid te delen door de straal waarop de kracht aangrijpt en door de straal waarop de verplaatsing berekend wordt. Bewijs :



$$k = \frac{F}{f} \quad \text{N/m} \quad \text{voor torsiestaaaf : } F = \frac{3}{16} \frac{\pi d^3 \tau}{r} \quad \text{N en} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$f = \frac{2}{dG} \frac{l r \tau}{d} \quad \text{m}$$

(zie Polytechnisch zakboekje)

$$k = \frac{\pi d^4 G}{32 r^2 l} \quad \text{N/m} \quad (1)$$

met $G = \frac{E}{2(1+\nu)}$ N/m² (2)

Voor de torsiestijfheid is gegeven : $k^* = \frac{\pi d^4 G}{32 l}$ Nm/rad

Dus $k = k^* / r^2$ (mits de straal waarop de kracht aangrijpt gelijk is aan de kracht waarop de verplaatsing f berekend wordt).

In dit geval $r = 4$ mm $\Rightarrow k_{kop} = 2,9 \cdot 10^3$ N/mm

Asje : $k = \frac{\pi d^4 G}{32 r^2 l}$ in N/mm

$E = 200 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$, $l = 290 \text{ mm}$

en $r = \frac{d}{2}$ de straal waarop de kracht aangrijpt en de verplaatsing berekend wordt. \Rightarrow

$k_{as} = 8,775 \cdot 10^3 \text{ N/mm}$

Wormwiel : Het wormwiel, van Polyoximethyleen (handelsnaam Dupont is Delrin), wordt verdeeld in een massieve schijf en één tand.

massieve schijf :

$r_1 =$ straal waarop de kracht aangrijpt = 51,9 mm
(steekcirkel wormwiel).

$r_2 =$ straal waar de verplaatsing berekend wordt
= 51.0 mm (straal massieve schijf).

$E = 3200 \text{ N/mm}^2$

$\nu = 0.38$

Uit vergelijking (1) en (2) volgt : $k_{schijf} = 5,82 \cdot 10^5 \text{ N/mm}$

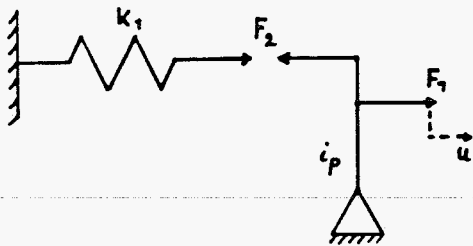
tand :

De doorbuiging van de tand wordt bij de verdraaiing van de schijf opgeteld.

De stijfheid van één tand wordt berekend aan de hand van een rechthoekig blokje. $\Rightarrow k_{tand} = 3EI/l = 2,170 \cdot 10^3 \text{ N/mm}$

Omdat de stijfheden van schijf en tand in serie staan geldt voor de totale stijfheid : $k_{worm} = \frac{k_{schijf} \cdot k_{tand}}{k_{schijf} + k_{tand}} = 2,16 \cdot 10^3 \text{ N/mm}$

Omdat de overbrengverhouding uit het model gehaald is moeten de stijfheden van asje, koppeling en wormwiel daarvoor gecorrigeerd worden.



$$\left. \begin{aligned} F_2 &= F_1/i_p \\ F_2 &= k_1 \cdot u \cdot i_p \end{aligned} \right\} \Rightarrow F_1 = k_1 \cdot u \cdot i_p^2 \quad F_1 = k_2 \cdot u \Rightarrow k_2 = k_1 \cdot i_p^2$$

De vervangende stijfheid van het asje, koppeling en wormwiel in serie wordt : (overbrengverhoudingen : zie bijlage 1)

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_{kop} \cdot i(3)^2} + \frac{1}{k_{as} \cdot i(3)^2} + \frac{1}{k_{worm} / i(1)^2} \Rightarrow k = 7,27 \cdot 10^2 \text{ N/mm}$$

* b_{aandr}

Vanwege de zelfremmendheid van de wormoverbrenging is het niet mogelijk om de intermediaate een hoekverdraaiing te geven (en de motor stil) om vervolgens, als de wals losgelaten wordt, de responsie te meten. De demping die in de responsie op zou treden is een maat voor b_{aandr} .

Door tijdgebrek was het ook niet mogelijk om met een frequentie-analyser deze dempingswaarde te pakken te krijgen. De parameter is onbekend gebleven.

* b_{rosta}

Omdat het koppel dat de rem, als functie van de snelheid, levert constant is, wordt b_{rosta} voor het gemak nul gesteld. Dit houdt in dat als de snelheid van de rotor toeneemt de kracht die de stator op de rotor uitoefent niet verandert. Echter de rem vraagt wel een bepaald vermogen. De rem is een poederrem , waarbij poeder tussen stator en rotor zorgt dat de rotor minder hard gaat draaien. Er zijn dus wrijvingsverliezen. Dit is verder buiten beschouwing gelaten.

* k_{rem} en b_{rem}

Deze parameters zijn geschat : $k_{rem} = 1 \cdot 10^{10}$ N/m
 $b_{rem} = 5$ Ns/m

* k_{dwrem} en b_{dwrem}

Het asje van de poederrem is met een stalen buisje aan de as van de drukwals gekoppeld. De dempingswaarde hiervan wordt nul verondersteld. De stijfheid wordt uit de geometrie gehaald :

Binnen diameter : 12 mm

Buiten diameter : 19 mm

Lengte : 80 mm

Omdat een buisje gebruikt wordt, moet vergelijking (1) door (3) vervangen worden :

$$k = \frac{G\pi(D^4 - d^4)}{32 \frac{d^2}{4} l} \quad (3)$$

maar omdat $(t/dm)^2$, met t de dikte van het buisje, $\ll 1$

wordt $\frac{\pi(D^4 - d^4)}{32}$ vervangen door $\pi(dm)^3 t/4$
(zie polytechnisch zakboekje)

$$\Rightarrow k = 1,14 \cdot 10^6 \text{ N/mm}$$

BIJLAGE 5 : B_{iop} , B_{dop} , i_{ip} en i_{pd}

Beeldverlenging (intermediate - papier) als functie van het remkoppel :

0,32 Nm	⇒	3,7 %
0,64 Nm	⇒	2,8 %
0,96 Nm	⇒	2,0 %
1,28 Nm	⇒	1,2 %
1,60 Nm	⇒	0,1 %

De snelheden van de intermediate en de drukwals worden met pulsenschijven gemeten. Dit gebeurt door het aantal afgegeven pulsjes binnen een vastgestelde tijd te meten. Het quotient van aantal pulsen en de meettijd levert een frequentie op. Door deze frequentie te vermenigvuldigen met het quotient van de omtrek van een wals en het aantal pulsjes, dat de schijf per omwenteling afgeeft, wordt de snelheid verkregen.

De snelheid van het papier, als functie van het remkoppel, is gelijk aan de snelheid van de intermediate maal de beeldverlenging.

Uit de eerste set van twee vergelijkingen met twee onbekenden volgt :

$$\left. \begin{aligned} F_1^1 &= b_{iop} \left(\dot{q}_p^1 / i_{ip} - \dot{q}_{io}^1 \right) \\ F_1^2 &= b_{iop} \left(\dot{q}_p^2 / i_{ip} - \dot{q}_{io}^2 \right) \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} b_{iop} &= \frac{F_1^2 i_{ip}}{\left(\dot{q}_p^2 - \dot{q}_{io}^2 i_{ip} \right)} \\ i_{ip} &= \frac{\left(F_1^2 \dot{q}_p^1 - F_1^1 \dot{q}_p^2 \right)}{\left(F_1^2 \dot{q}_{io}^1 - F_1^1 \dot{q}_{io}^2 \right)} \end{aligned}$$

Stationaire situatie : $\dot{q}_{int} = \dot{q}_{io}$

Bij een drukwals snelheid van 101,3 mm/s :

Remkoppel : 0,23 Nm (straal drukwals = 11 mm)

Beeldverlenging : 3,95 %

Intermediate snelheid : 100,3 mm/s ⇒ papiersnelheid : 104,3 mm/s

Bij een drukwals snelheid van 98,84 mm/s :

Remkoppel : 0.89 Nm (straal drukwals = 11 mm)

Beeldverlenging : 2,18 %

Intermediate snelheid : 100,3 mm/s \Rightarrow papersnelheid : 102,5 mm/s

Door invullen wordt verkregen : $i_{ip} = 1,046$

: $b_{iop} = 34,88$ Ns/mm

Uit de tweede set van twee vergelijkingen met twee onbekenden volgt :

$$\left. \begin{aligned} F_2^1 &= b_{dop} (\dot{q}_{do} - \dot{q}_p / i_{ip}) \\ F_1^2 &= b_{dop} (\dot{q}_{do} - \dot{q}_p / i_{ip}) \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} b_{iop} &= \frac{F_2^2 i_{pd}}{(\dot{q}_{dop}^2 i_{pd} - \dot{q}_p^2)} \\ i_{ip} &= \frac{(F_2^1 \dot{q}_p^2 - F_2^2 \dot{q}_p^1)}{(F_2^1 \dot{q}_{do}^2 - F_2^2 \dot{q}_{do}^1)} \end{aligned}$$

Stationaire situatie : $\dot{q}_{dw} = \dot{q}_{do}$

Er kan weer van dezelfde meet gegevens gebruik worden gemaakt :

Bij een drukwals snelheid van 101,3 mm/s :

Remkoppel : 0,23 Nm (straal drukwals = 11 mm)

Beeldverlenging : 3,95 %

Intermediate snelheid : 100,3 mm/s \Rightarrow papersnelheid : 104,3 mm/s

Bij een drukwals snelheid van 98,84 mm/s :

Remkoppel : 0.89 Nm (straal drukwals = 11 mm)

Beeldverlenging : 2,18 %

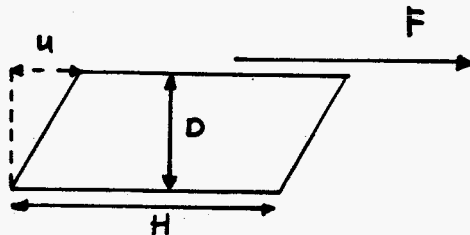
Intermediate snelheid : 100,3 mm/s \Rightarrow papersnelheid : 102,5 mm/s

Door invullen wordt verkregen : $i_{pd} = 1,027$

: $b_{dop} = 84,80$ Ns/m

BIJLAGE 6 : K_{i0} en K_{d0}

Voor berekening van deze stijfheden moet er gebruik gemaakt worden van de wet van Hooke : $\tau = G\epsilon \Rightarrow k = \frac{HG}{D}$: er is sprake van afschuiving.



Maar omdat eerst verondersteld werd dat de rubberlagen als trekveertjes te beschouwen waren werden de simulaties bij de verkeerde stijfheden uitgevoerd. Uit de formule voor de afschuifstijfheid volgt dat die stijfheid omgekeerd evenredig is met de dikte van de rubber laag. Bij een trekveertje is de stijfheid wel evenredig met de dikte. Omdat de dikte van de rubber laag op de intermediaate dikker is dan die op de drukwals zal de stijfheid k_{i0} lager zijn dan k_{d0} :

$$K_{i0} = 1,7 \cdot 10^6 \text{ N/m}$$

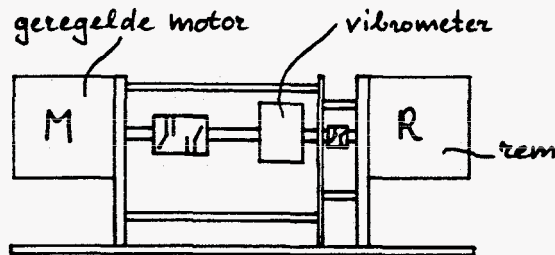
$$K_{d0} = 7,4 \cdot 10^6 \text{ N/m}$$

Op moment dat de lagen als veertjes beschouwd worden zijn beide stijfheden wel gelijk ($4,0 \cdot 10^5$ resp. $4,5 \cdot 10^5$ N/m)

BIJLAGE 7 : BEPALING B_{int} EN B_{dw}

Het ijken van de electromotor gebeurt met de volgende opstelling :

Motor : SWF 402394 24V



Omdat de gelijkstroommotor in de kleine testopstelling, waar alleen maar een intermediate en een drukwals in zat, gebruikt werd moest de overbrengverhoudingen van de tandwielen eerst bepaald worden om te zorgen dat de intermediate met de juiste hoeksnelheid zou draaien :

$$\omega_{motor} = \frac{94}{34} \omega_{intermediate}$$

Door de motor op snelheid te regelen en het remkoppel, dat de rem levert, te varieëren kan met de vibrometer het koppel en het constante toerental afgelezen worden. Het produkt van het koppel en het toerental is het vermogen dat door de rem gevraagd wordt. Het produkt van de spanning over en stroom door de motor is het ingaande vermogen. De verhouding van beide vermogens is het rendement.

$$P_{uitgaand} = \dot{q}_{int}^2 * b_{int}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_{in} = 4,3 \text{ W} \Rightarrow P_{uit} = 1,5 * 10^{-1} \text{ W} \\ \dot{q}_{int} = 0,1 \text{ m/s} \end{array} \right\} \Rightarrow b_{int} = 15 \text{ Ns/m}$$

Omdat in de opstelling de drukwals niet direct aangedreven kon worden is b_{dw} geschat. b_{dw} is drie maal kleiner dan b_{int} gekozen.

$$b_{dw} = 5 \text{ Ns/m}$$

BIJLAGE 8 : B_{i_o} en B_{d_o}

Energie-vergelijking bij gebruik van de harde drukwals om b_{i_o} te kunnen bepalen :

$$P_{uit} = \dot{q}_{int}^2 (b_{int} + b_{i_o}) + \dot{q}_{dw}^2 b_{dw} + (\dot{q}_{dw} - \dot{q}_{int})^2 b_{i_{op}}$$

De snelheid van de drukwals werd in de kleine testopstelling niet gemeten. Er wordt daarom de volgende schatting van de snelheid gemaakt : $\dot{q}_{dw} = \frac{1,046}{1,027} \dot{q}_{i_o}$

$$\begin{aligned} P_{in} &= 5.0 \text{ W} \\ P_{uit} &= 8,2 \cdot 10^{-1} \text{ W} \\ \dot{q}_{int} &= 0,1 \text{ m/s} \\ b_{int} &= 15 \text{ Ns/m} \\ b_{dw} &= 5 \text{ Ns/m} \\ b_{i_{op}} &= 3,5 \cdot 10^4 \text{ Ns/m} \Rightarrow b_{i_o} = 50 \text{ Ns/m} \end{aligned}$$

Als vervolgens de harde drukwals vervangen wordt door een normale drukwals geldt de volgende energie vergelijking :

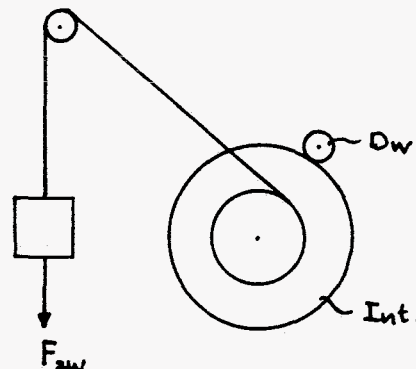
$$P_{uit} = \dot{q}_{int}^2 (b_{int} + b_{i_o} + b_{d_o} \left(\frac{1,046}{1,027} \right)^2 + b_{dw} \left(\frac{1,046}{1,027} \right)^2)$$

De meting van het ingaande vermogen is niet correct gebeurt omdat er geen papier doorgevoerd werd. Het doorvoeren van papier was vanwege het scheeflopen niet mogelijk.

$$\left. \begin{aligned} P_{uit} &= 5,1 \text{ W} \\ P_{in} &= 9,0 \cdot 10^{-1} \text{ W} \end{aligned} \right\} \text{ bij } 100^\circ\text{c} \Rightarrow b_{d_o} = 19 \text{ Ns/m}$$

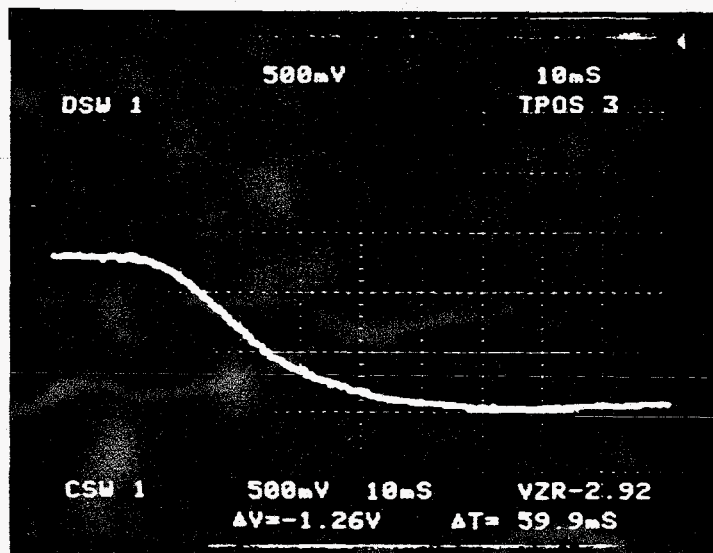
BIJLAGE 9 : VORM PAPIERKRACHT

De snelheidsregeling van de motor is te langzaam om het koppel, veroorzaakt door het inkomen van het velletje papier, te kunnen bepalen. Daarom wordt de volgende proefopstelling gebruikt om de vorm van de kracht vast te stellen :



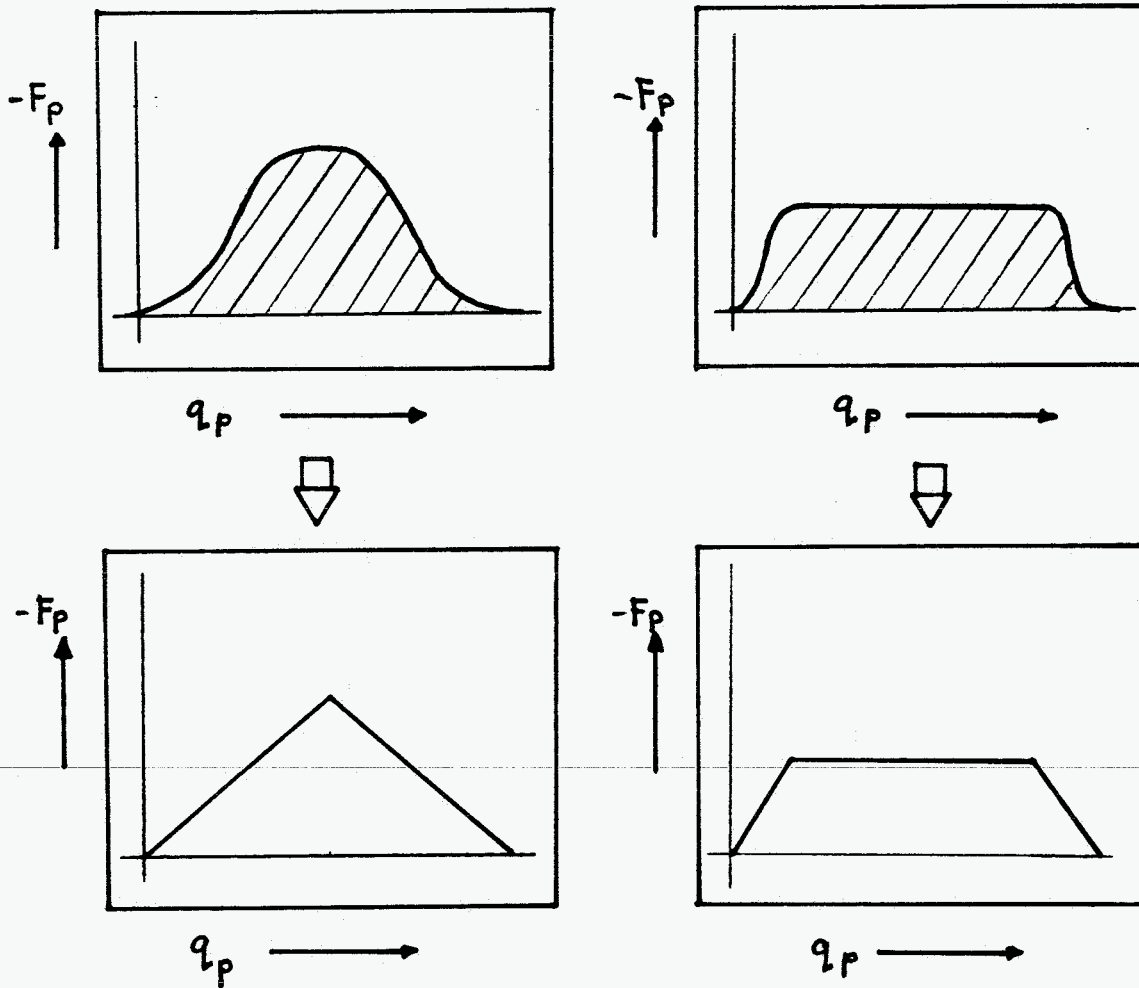
Via een staalkabel en een katrol wordt een gewicht aan de intermediate verbonden. Even nadat het gewicht losgelaten is bereikt de intermediate een constante snelheid. Op dat moment wordt een vel papier in de kneep gebracht. De snelheid van de intermediate wordt gemeten.

resultaat :



Omdat een constant gedefinieerd moment op de intermediate gezet wordt is af te lezen welk koppel het invoeren van een vel vraagt. Dit gevraagde koppel is evenredig met de vertraging die de intermediate ondergaat ($T = J \dot{\omega}$). De vertraging neemt eerst toe totdat de vertraging een constante waarde aanneemt om vervolgens weer af te nemen. Het constante koppel dat nodig is om het papier

, als de voorkant van het papier voorbij de kneep is, tussen de walsen door te draaien wordt bij het modelleren van de papierkracht niet meegenomen :



papiervorm 1

papiervorm 2

In beide gevallen is na $100 \text{ mm/s} * 45 \text{ ms} = 4,5 \text{ mm}$ de papierkracht weer nul verondersteld. Deze afstand is gelijk aan de kneeplengte. Omdat bij $0,2 \text{ mm}$ dik papier de verrichte arbeid gelijk is aan : $1000 * 0,3 * 0,2 = 60 \text{ Nmm}$ zal bij papiervorm 1 de topwaarde ongeveer -27 N zijn . In het tweede geval ongeveer -20 N .

BIJLAGE 10 : RESULTATEN METINGEN :

De snelheden van de intermediate en drukwals zijn gemeten. Het remkoppel stond op 3 Nm/m ingesteld. De drum draaide wel mee, maar zat niet tegen de intermediate aan. De simulaties hadden ook bij een remkoppel van 3 Nm/m gedaan kunnen worden. De enige verandering die dan zou optreden is de grootte van de stationaire snelheden. De dynamische responsies blijven gelijk. Voor het gemak is daarom gekozen $F_{rem} = 0$

Voor het geval wel een remkracht aangebracht moet worden kan als volgt het remkoppel naar remkracht omgerekend worden :

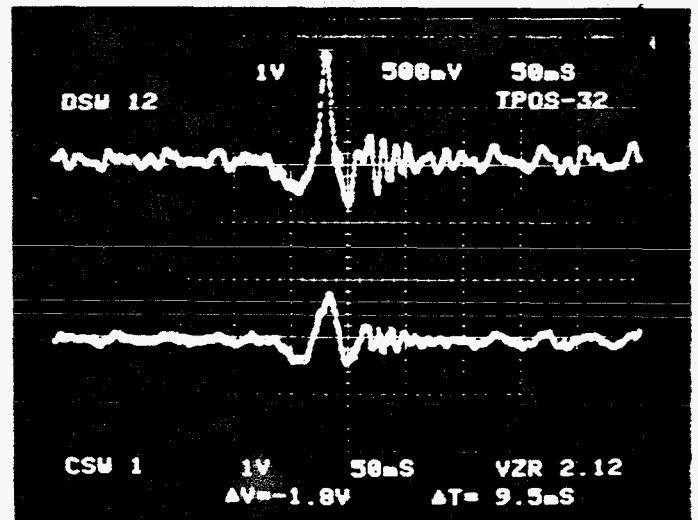
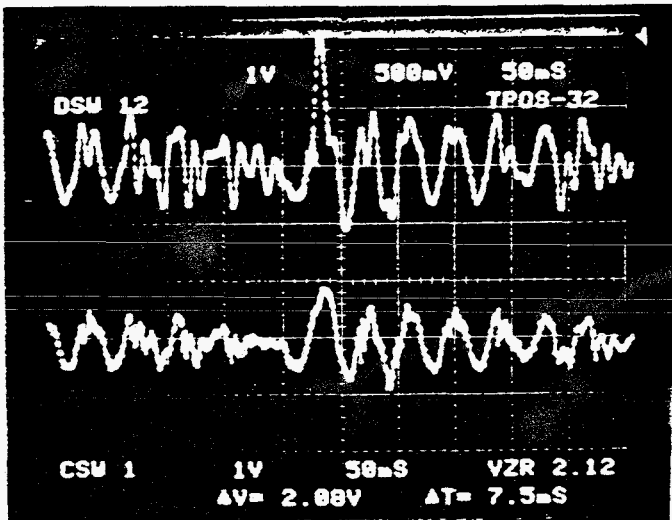
Functiebreedte apparaat : $FB = 300 \text{ mm}$

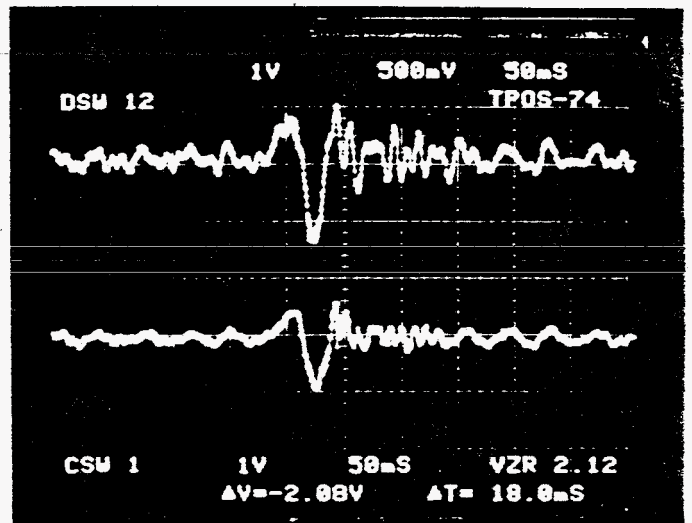
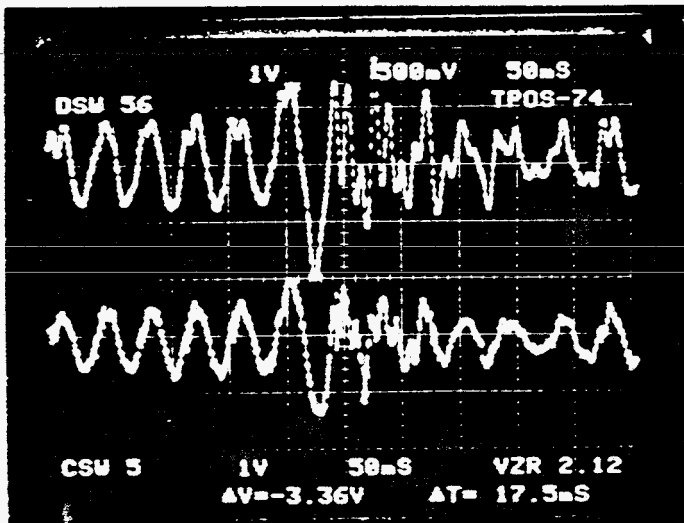
Remkoppel per eenheid van lengte : $T_{rem} = 3 \text{ Nm/m}$

Straal waarop de remkracht aangrijpt : $r = 11 \text{ mm}$

$$\Rightarrow F_{rem} = \frac{T_{rem} \cdot FB}{r} \cong 90 \text{ N}$$

De onderstaande twee figuren geven de snelheden van de drukwals (boven) en intermediate (onder) weer als een vel papier in de kneep komt. De laatste twee figuren (op de volgende pagina) geven dezelfde snelheden weer, alleen nu gaat het vel uit de kneep. In het model kan dat gemodelleerd worden door de papierkracht tegengesteld te nemen. Dat de snelheidsvariaties bij het uitkomen van het papier groter zijn wordt waarschijnlijk veroorzaakt door het doorlopen van de speling in de worm. De figuren met de kleine rimpeling voor en na de verstoring zijn metingen met eenzelfde wormwiel, alleen pas één uur gebruikt .





BIJLAGE 11 : HARDE KOPPELING MATRICES M, B, K EN H

$$\underline{q}_m = \begin{bmatrix} q_{dw} \\ q_{int} \end{bmatrix}; \quad \underline{q}_z = \begin{bmatrix} q_{do} \\ q_{fo} \\ q_p \end{bmatrix}; \quad \underline{u} = \begin{bmatrix} q_m \\ V_m \\ F_p \end{bmatrix}$$

$$M_{11} = \begin{bmatrix} M_{dw} & 0 \\ 0 & M_{int} \end{bmatrix}$$

$$\underline{B} = \left[\begin{array}{ccc|ccc} (b_{aandr} + b_{dw} + b_{df}/i_{df}^2) & & & -b_{df}/i_{df} & & \\ & & & b_{df} + b_{int} & & 0 \\ & & & & & (2*3) \\ \hline 0 & (b_{do} + b_{dop}) & 0 & -b_{dop}/i_{pd} & & \\ (3*2) & 0 & (b_{iop} + b_{io}) & -b_{iop}/i_{ip} & & \\ & -b_{dop}/i_{pd} & -b_{iop}/i_{ip} & (b_{iop} & b_{dop}) & \\ & & & -i_{ip}^2 & -i_{pd}^2 & \end{array} \right]$$

$$\underline{K} = \left[\begin{array}{ccc|ccc} (k_{aandr} + k_{do} + k_{df}/i_{df}^2) & & & -k_{df}/i_{df} & & -k_{do} & 0 & 0 \\ & & & -k_{df} + k_{io} & & 0 & -k_{io} & 0 \\ \hline & & & & & & & & \\ & -k_{do} & 0 & & & k_{do} & 0 & 0 \\ & 0 & -k_{io} & & & 0 & k_{io} & 0 \\ & 0 & 0 & & & 0 & 0 & 0 \end{array} \right]$$

$$\underline{H} = \left[\begin{array}{cc|c} -k_{aandr} & -b_{aandr} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{array} \right]$$

De stationaire toestand kan met behulp van paragraaf 2.7 en bijlage 3 berekend worden. De matrix \underline{A}^2 heeft nu maar één eigenwaarde gelijk aan nul.

Omdat de drukwals in plaats van de intermedieate aangedreven wordt, en er niet geremd wordt, geldt $V_m = 0,102 \text{ m/s}$ en $i_{df} = 1,02$ ($i_{df} \cong i_{ip}/i_{pd}$) zodat $\dot{q}_{int} = 0.100 \text{ m/s}$.