Octrooiraad

(12) A **Terinzagelegging** (11) **8901912**

Nederland (19) **NL**

(54) **Werkwijze en inrichting voor het simuleren van het gedrag van een voertuig.**

(51) Int.Cl[5].: G09B 9/04.

(71) Aanvrager: Jacques Mettes te Heumen.

(74) Gem.: Ir. L.C. de Bruijn c.s.
Nederlandsch Octrooibureau
Scheveningseweg 82
2517 KZ 's-Gravenhage.

(21) Aanvrage Nr. 8901912.

(22) Ingediend 24 juli 1989.

(32) - -

(33) - -

(31) - -

(62) - -

(43) Ter inzage gelegd 18 februari 1991.

De aan dit blad gehechte afdruk van de beschrijving met conclusie(s) en eventuele tekening(en) bevat afwijkingen ten opzichte van de oorspronkelijk ingediende stukken; deze laatste kunnen bij de Octrooiraad op verzoek worden ingezien.

Werkwijze en inrichting voor het simuleren van het gedrag van een voertuig.

De uitvinding heeft betrekking op een werkwijze en inrichting voor het simuleren van het gedrag van een voertuig onder invloed van variaties in de bedieningsorganen van het voertuig, waarbij gebruik wordt gemaakt van weergeefmiddelen om de simulatieresultaten aan een gebruiker te presenteren.

Een dergelijke werkwijze is op zichzelf bekend. Er zijn bijvoorbeeld computerspelprogramma's in de handel verkrijgbaar die tijdens de uitvoering ervan op het beeldscherm van de computer een gestyleerd voertuig laten zien, waarvan de snelheid door de speler met behulp van een op de computer aangesloten joystick of op andere wijze kan worden geregeld.

Verder zijn simulatoren bekend, waarbij op een beeldscherm het panorama wordt weergegeven dat een bestuurder van een voertuig waarneemt als het voertuig zich door het landschap beweegt. De gebruiker van de simulator kan deze beweging met behulp van een rempedaal en een gaspedaal of een joystick vertragen, respectievelijk versnellen en daarmee het beeld simuleren dat een chauffeur waarneemt vanuit een sneller of langzamer rijdend voertuig.

In geen van de bekende werkwijzen en inrichtingen wordt echter zelfs maar een poging gedaan om het feitelijke gedrag van het voertuig na te bootsen. In beide gevallen kan door de speler respectievelijk gebruiker alleen invloed uitgeoefend worden op de snelheid van het voertuig. De speler, respectievelijk gebruiker behoeft daartoe echter niet te beschikken over enige rij-ervaring of ervaring in de omgang met een voertuig zoals een auto, motorfiets, tractor of ander voertuig voorzien van een motor, koppelingsmechanisme en versnellingbak.

Er bestaat echter behoefte aan een simulator waarmee een gebruiker bijvoorbeeld de juiste behandeling van een voertuig kan leren zonder daarbij aan het verkeer deel te nemen en zonder zich zelfs in een feitelijk rijdend voertuig te bevinden. Een dergelijke simulator kan gebruikt worden als oefeninrichting voor het besturen van een personenauto, vrachtauto, tank, grondverzetmachine, enz.

Ook spelprogramma's worden steeds realistischer en ook op dit terrein bestaat een behoefte aan meer met de werkelijkheid corresponderende simulatiemethoden.

De uitvinding heeft nu ten doel aan deze behoefte te voldoen door het verschaffen van een werkwijze van in de aanhef genoemde soort, die

8901912

volgens de uitvinding wordt gekenmerkt door

- dat in een mechanisch model van het voertuig onderscheid wordt gemaakt tussen diverse bewegende delen van het voertuig, die elk, onder invloed van de genoemde variaties in de bedieningsorganen, in mindere of meerdere mate gekoppeld kunnen zijn met andere delen van het voertuig, respectievelijk met de ondergrond waarover het voertuig zich kan bewegen,
- dat van elk van de genoemde delen in een wiskundig model een differentiaal vergelijking wordt opgesteld, waarvan de vorm mede afhangt van de aard van de koppeling tussen het betreffende deel en andere delen van het voertuig, respectievelijk de weg, zodat het gedrag van de totaliteit van het voertuig op een willekeurig moment beschreven kan worden door een stelsel van gekoppelde differentiaalvergelijkingen, waarbij de sterkte van de koppelingen afhangt van de stand van de bedieningsorganen,
- en dat tijdens het simuleren van het gedrag van het voertuig de bedieningsorganen met voorafbepaalde intervallen worden afgetast en de verkregen met de stand van deze organen corresponderende waarden worden gebruikt om a) vast te stellen of het in gebruik zijnde stelsel differentiaalvergelijkingen nog steeds actueel is en b) waarden te bepalen voor de ermee corresponderende parameters in het van toepassing zijnde stelsel, waarna op grond van de gevonden oplossing de genoemde weergeefmiddelen zodanig worden bestuurd, dat de visuele presentatie van de simulatieresultaten op de weergeefmiddelen wordt aangepast aan de nieuw berekende situatie.

De uitvinding zal in het volgende nader worden verklaard aan de hand van de bijgaande figuren.

Figuur 1 toont een schematische weergave van een mechanisch model van die delen van een voertuig die in verband met de uitvinding van belang zijn.

Figuur 2 toont een schematische weergave van een mechanisch model van die delen van een versnellingsbak die in verband met de uitvinding van belang zijn.

Figuur 3 toont een aantal deelaanzichten behorend bij de mechanische modelbeschrijving van de synchronisatiemechanismen die geïllustreerd zijn in figuur 2.

Figuur 4 toont in vereenvoudigd aanzicht het H-vormige patroon waarlangs in het algemeen de versnellingshandel van een voertuig kan worden bewogen.

Figuur 5 toont een perspectief-aanzicht van een relatief eenvoudige simulator voor het uitvoeren van de werkwijze volgens de uitvinding opgebouwd met behulp van een home-computer, een daarop aangesloten video-eenheid en enkele bedieningsorganen, die zodanig zijn uitgevoerd dat daarmee de bedieningsorganen van een voertuig worden gesimuleerd.

Figuur 6 toont een verder ontwikkelde uitvoeringsvorm van een simulator volgens de uitvinding, meer geschikt voor professionele doeleinden.

Figuur 7 toont een algemeen stroomschema van het programma dat behulpzaam is bij het uitvoeren van de werkwijze volgens de uitvinding.

In het volgende zal allereerst aan de hand van de figuren 1 t/m 4 een gedetailleerde beschrijving worden gegeven van een mechanisch model van die delen van het voertuig, die in verband met de uitvinding van belang zijn. Vervolgens zal op basis van de dan verkregen informatie een wiskundig model worden opgesteld, waarvan diverse details zullen worden besproken. Daarna zal een praktische realisatievorm worden toegelicht aan de hand van de figuren 5 en 6. Vervolgens zal in detail worden besproken hoe tijdens het uitvoeren van de werkwijze volgens de uitvinding in de simulator telkens van het ene wiskundige model wordt overgestapt op het andere wiskundige model afhankelijk van de varierende omstandigheden, die worden gesimuleerd.

Tenslotte zal nader ingegaan worden op een meer gedetaileerde en verder uitgewerkte uitvoeringsvorm van een simulator volgens de uitvinding.

Het mechanische model

Figuur 1 toont in een schematische gestyleerde weergave een model van een voertuig. Aan de rechterzijde van de figuur bevindt zich de motor 1, die via de carburator 2 brandstof krijgt toegevoerd uit een brandsstofreservoir 24. De door de motor 1 ontwikkelde kracht P(g) wordt beïnvloed door de stand g van de gaspedaal 3. De krukas 4 van de motor 1 heeft een zekere massa of traagheidsmoment K, gesymboliseerd door het massablok 5. Anderzijds werkt op de krukas 4 ook de krukaswrijving Z in, welke krukaswrijving wordt gesymboliseerd door een weerstandsblok 6. Het uiteinde van de krukas 4 is verbonden met het eerste deel 7 van het koppelingsmechanisme. Het andere deel 8 van het koppelingsmechanisme kan worden bediend door middel van de koppelingspedaal 9 met behulp waarvan de koppeling tussen de delen 7 en 8 kan worden gemaakt, of verbroken. De stand k van de koppelingspedaal 9 bepaalt de koppelingsweerstand C(k),

welke factor zoals duidelijk zal zijn door de gebruiker kan worden beïnvloed.

Het tweede koppelingsgedeelte 8 is verbonden met de synchronisatie-as 14, die tevens de ingaande as van de versnellingsbak 12 vormt. Ook deze synchronisatie-as bezit een zekere massa in de vorm van traagheidsmoment H, gesymboliseerd door het massablok 10 en verder ondervindt deze as een wrijving D, die wordt gesymboliseerd door het weerstandsblok 11. De versnellingsbak 12 met de daarin aanwezige tandwielen, die zorgen voor een bepaalde overbrengingsverhouding tussen de rotatie van de ingaande as 14 en die van de uitgaande as 15 is in figuur 1 slechts symbolisch weergegeven. De inhoud van de versnellingbak 12 en de werking daarvan, voor zover althans voor het model van belang, zal aan de hand van figuur 2 in meer detail worden besproken. De stand van de diverse elementen in de versnellingsbak 12 wordt beïnvloed met behulp van de versnellingshandel 13, waarmee de overbrengingsverhouding V(i) kan worden gewijzigd (i = 1, 2, 3, ..., N, waarbij N het aantal versnellingen is met inbegrip van de achteruit-stand).

De uitgaande as 15 van de versnellingsbak 12 is gekoppeld met de roterende delen van het voertuig-onderstel, in het bijzonder gekoppeld met de wielen van het voertuig. Op deze wielen werkt een traagheidsmoment veroorzaakt door de massa M van het voertuig als geheel, welk traagheidsmoment of massa wordt gesymboliseerd door het massablok 16. Om de rotatie van de wielen te kunnen vertragen is het voertuig voorzien van een remmechanisme, gesymboliseerd door de rempedaal 18, waarmee een bepaalde remweerstand R(r) kan worden ontwikkeld afhankelijk van de stand r van de rempedaal 18. Verder ondervinden de draaiende delen van het voertuig-onderstel een zekere wrijving tijdens de voortbeweging van het voertuig. Deze autowrijving W is gesymboliseerd door het weerstandblok 17. Naast deze autowrijving die als een inwendige kracht kan worden beschouwd, ondervindt het voertuig ook nog invloed van uitwendige of externe krachten, zoals wind of helling, welke externe krachten E worden gesymboliseerd door het weerstandsblok 19.

In figuur 1 zijn de diverse bedieningselementen, waarop de gebruiker invloed kan uitoefenen, te weten de gaspedaal 3, de koppelingspedaal 9, de versnellingshandel 13 en de rempedaal 18 schematisch opgenomen in een ingangsveld 25. Verder is het model voorzien van een uitgangsveld 26 waarin een aantal uitgangswaarden voor de gebruiker op de een of andere wijze zichtbaar worden gemaakt. Een eerste uitgangswaarde is het toerental 20 van de motor 1, welk toerental

8501912.1

wordt gemeten met behulp van een opnemer, die gekoppeld is met de krukas 4 van de motor. Een verdere uitgangswaarde is de voertuigsnelheid 21, welke voertuigsnelheid wordt bepaald via een opnemer die gekoppeld is met de uitgaande as 15 van de versnellingsbak 12. Deze zelfde opnemer kan ook de benodigde informatie leveren voor een kilometerteller 22, waarmee de totaal door het voertuig afgelegde weg wordt geregistreerd. Verder bevindt zich in het uitgangsveld 26 een benzinemeter 23 die informatie ontvangt van een vlottersysteem dat aanwezig is in de benzinetank 24.

In figuur 2 zijn op symbolische wijze de belangrijkste delen van een versnellingsbak weergegeven. In het getoonde voorbeeld is uitgegaan van een versnellingsbak met drie versnellingen vooruit en één achteruit. De versnellingbak is voorzien van een ingaande as 14, een uitgaande as 15 en twee tussenassen 27 en 28. De ingaande as 14 is gekoppeld met de tussenas 27, doordat op de ingaande as 14 een poelie 31 is bevestigd, op de tussenas 27 een poelie 30 is bevestigd en beide poelies 30 en 31 met elkaar zijn gekoppeld via een eindloze riem 32. Daardoor zullen de assen 14 en 27 altijd met dezelfde snelheid en in dezelfde richting roteren. Op soortgelijke wijze is de as 15 gekoppeld met de tussenas 28. Daartoe is op de uitgaande as 15 de poelie 33 gemonteerd en op de tussenas 28 de poelie 34. Beide poelies zijn gekoppeld via de eindloze riem 35, met als resultaat dat ook de assen 15 en 28 altijd met dezelfde snelheid en in dezelfde richting zullen roteren.

Op de ingaande as 14 zijn twee tandwielen 36 en 37 gemonteerd met bijbehorende synchronisatie-koppelingsmechanismen. Deze tandwielen 36 en 37 draaien in principe vrij rond de ingaande as 14. Soortgelijke tandwielen 38 en 39 met bijbehorende synchronisatie-koppelingsmechanismen zijn gemonteerd op de tussenas 27. Ook deze tandwielen 38 en 39 draaien in principe vrij op de tussenas 27. Op de uitgaande as 15 zijn de tandwielen 40 en 41 gemonteerd die vast aan de as 15 zijn gemonteerd en met deze as ronddraaien. Op de tussenas 28 zijn de tandwielen 42 en 43 gemonteerd, die vast aan deze as 28 zijn bevestigd en met deze as ronddraaien. Tenslotte is tussen het tandwiel 36 en het tandwiel 43 nog een extra achteruit-tandwiel 44 gemonteerd op een daartoe geschikt hulpasje 45.

De versnellingshandel 13 kan door de gebruiker worden bewogen binnen een H-vormige baan 46. Wordt de handel naar een van de uiteinden van de verticale poten van de H-vormige baan bewogen dan zal het bij dit uiteinde behorende, aanvankelijk vrijlopende tandwiel worden gekoppeld en wordt daarmee de versnellingbak in een bepaalde versnelling

8501912

geplaatst. In de figuur zijn de versnellingen weergegeven met de grote cijfers "1", "2", "3" en met de letter "R", waarmee de achteruit-stand wordt gesymboliseerd. Wordt bijvoorbeeld de versnellingshandel 13 vanuit de getekende neutrale beginstand eerst naar links en vervolgens naar boven bewogen, dan zal als resultaat daarvan het tandwiel 38, dat aanvankelijk vrij liep rond de hulpas 27, met deze hulpas worden gekoppeld waardoor er via de poelie 31, de eindloze riem 32, de poelie 30, de hulpas 27, het tandwiel 38, en het tandwiel 40 een vaste koppeling wordt gerealiseerd met een voorafbepaalde overbrengingsverhouding (corresponderend met de eerste versnelling) tussen de ingaande as 14 en de uitgaande as 15. De versnellingsbak staat daarmee in de eerste versnelling geschakeld. De tandwielen 36, 37 en 39 lopen nog steeds vrij. Op soortgelijke wijze kan de versnelling in de tweede of derde versnellingstand, dan wel in de achteruitstand worden gebracht.

De sterkte van de koppeling tussen de ingaande as 14 en de uitgaande as 15 hangt af van de positie van de versnellinghandel 13 binnen het H-vormige spoor 46. Bevindt de versnellingshandel 13 zich in de neutrale stand, die getekend is in figuur 2 dan zullen alle vier de tandwielen 36, 37, 38 en 39 vrij ronddraaien en is er geen sprake van enige koppeling tussen de ingaande as 14 en de uitgaande as 15. Bevindt de versnellingshandel 13 zich aan één van de uiteinden van de benen van het H-vormige spoor 46 dan zal er sprake zijn van een vaste of rigide koppeling in één van de vier versnellingsstanden. Tussen deze vaste koppelingsstand en de neutrale stand wordt de koppeling gerealiseerd waarbij de synchronisatie-koppelingsmechanismen in werking treden. De versnellingshandel doorloopt tussen de neutrale stand en de vaste koppelingsstand een aantal gebieden, die afzonderlijk zijn geïllustreerd in figuur 3.

Figuur 4 toont vergroot de H-vormige baan, waarlangs de versnellingshandel kan worden bewogen. In figuur 4 zijn verder een aantal verschillende gebieden aangegeven, aangeduidt met I, II en III. Bevindt de versnellingshandel zich in het gebied I dan is er geen versnelling ingeschakeld, geen van de tandwielen 36, 37, 38 of 39 is gekoppeld en de versnellingsbak staat derhalve in de neutrale stand. Bevindt de versnellingshandel zich in één van de gebieden III, dat wil zeggen is de versnellingshandel verplaatst naar één van de uiteinden van de poten van de H-vormige baan, dan is de bij dat uiteinde behorende versnelling ingeschakeld en is er sprake van een vaste koppeling tussen de ingaande as 14 en de uitgaande as 15 via één van de tandwiel-

combinaties in de versnellingsbak 12. Bevindt de versnellingshandel zich in één van de gebieden II dan wordt de versnellingsbak vanuit de neutrale stand naar één van de mogelijke koppelingsstanden gebracht, dan wel vanuit de koppelingsstand teruggebracht naar de neutrale stand. In gebied II zal er een van de synchronisatie-koppelingsmechanismen actief zijn. De werking van deze synchronisatie-koppelingsmechanismen zal worden geïllustreerd aan de hand van het schematische model dat getoond is in figuur 3.

In figuur 3 is, aan de hand van vier in de tijd op elkaar volgende aanzichten a), b), c) en d), geïllustreerd wat er gebeurd indien één van de vrijlopende tandwielen 36, 37, 38 of 39 onder invloed van de beweging van de versnellingshandel 13 in de gekoppelde stand wordt gebracht. Als voorbeeld wordt uitgegaan van het tandwiel 36 dat zich bevindt op de as 14, maar het zal duidelijk zijn dat de werking van de synchronisatie-koppelingsmechanismen behorend bij het tandwiel 37 op de as 14 of de tandwielen 38 en 39 op de as 27 identiek is.

Het tandwiel 36 is voorzien van pennen die evenwijdig lopen aan de as 14 en concentrisch verdeeld zijn rond deze as. Deze pennen steken vanaf het vlak van het tandwiel 36 in de richting van een koppelingswiel 50. Eén van de genoemde pennen van het tandwiel 36 is in figuur 3 aangeduid met 46. Tussen het tandwiel 36 en het koppelingswiel 50 bevindt zich een veer 47. Op de as 14 bevindt zich verder een penwiel 48 dat vast aan de as 14 is bevestigd. Dit penwiel is aan de rechterzijde van de figuur nogmaals in vooraanzicht geïllustreerd en bestaat uit een centraal lichaam waaruit radiaal een aantal pennen steken.

In aanzicht a) bevindt de versnellingshandel 13 zich in gebied I waarin er geen invloed wordt uitgeoefend op het tandwiel 36, zodat dit tandwiel 36 vrij loopt rond de as 14. Wordt de versnellingshandel bewogen in de richting van het tandwiel 36 dan zal, zoals in aanzicht b) is geïllustreerd, het tandwiel 36 naar rechts worden geduwd. Als gevolg van de aanwezigheid van de veer 47 zal ook het koppelwiel 50 naar rechts worden geduwd, totdat het rechter eindvlak daarvan in aanraking komt met het linker eindvlak van het penwiel 48. Op dat moment komt de versnellingshandel vanuit gebied I terecht in gebied II. Tussen de beide genoemde eindvlakken zal een slipkoppeling ontstaan, waarvan de koppelingssterkte afhangt van de mate waarin de veer 47 is ingedrukt. In aanzicht b) is deze koppeling net gerealiseerd en zal de sterkte van de koppeling nog gering zijn. Wordt de versnellingshandel 13 echter verder ingedrukt dan zal, zoals aanzicht c) toont, het koppelingswiel 50 steeds

sterker tegen het penwiel 48 worden gedrukt, waardoor de koppelingssterkte toeneemt. Ondertussen bewegen ook de pennen, zoals pen 46, door de openingen, zoals opening 49, die voor dat doel in de koppelingsplaat 50 zijn aangebracht. Gebied II wordt derhalve gekenmerkt door een varierende koppelingssterkte.

Wordt de versnellingshandel nog verder in de richting van zijn uiteindelijke eindstand bewogen dan onstaat, vlak voordat de eindstand wordt bereikt, de situatie de geschetst is in afbeelding c). De pennen, zoals pen 46, lopen nu volledig door de openingen, zoals opening 49, in de koppelingsplaat 50 en naderen de pennen van het pennenwiel 48. De slip tussen het koppelingswiel 50 en het pennenwiel 48 is nu normalerwijze nagenoeg tot nul gereduceerd. Bij nog verder doorbewegen van de versnellingshandel 13 naar zijn eindstand, waarbij de handel 13 gebied II verlaat en terecht komt in gebied III, zullen de pennen 46 insteken in de openingen tussen de pennen van het pennenwiel 48 zoals getoond is in afbeelding d). Daarmee is de gewenste eindstand met volledige vaste of rigide koppeling bereikt. Indien het synchronisatiemechanisme niet correct kan functioneren, bijvoorbeeld omdat het rotatiesnelheidsverschil tussen de ingaande as en de uitgaande as veel te groot is (bijvoorbeeld indien men vanuit een relatief hoge versnelling direct tracht terug te schakelen naar een relatief lage versnelling) dan zullen de uiteinden van de pennen 46 bij overgang van gebied II naar gebied III niet netjes invallen in de tussenruimten tussen de pennen van het pennenwiel 48, maar zullen door de relatief snel langsbewegende pennen van dit pennenwiel 48 worden tegengehouden. Gebeurt dit bij een echte auto dan zal als gevolg daarvan de versnellingsbak met een ratelend geluid ("tandenpoetsen") protesteren.

De overgang tussen zone II en zone III is dus voor een computersimulatie van het mechanische model dat getoond is in de figuren 1, 2, 3 en 4 van belang. Bij de overgang tussen zone II en zone III moet er in het model worden gekeken naar het verschil tussen de rotatiesnelheid van de betreffende as (14 of 27) en de rotatiesnelheid van het betreffende tandwiel (36, 37, 38 of 39). De rotatiesnelheid van het laatstgenoemde tandwiel is via een factor, die afhankelijk is van de in werking zijnde tandwielcombinatie, rechtstreeks te bepalen uit de snelheid van het voertuig. Alleen indien het bovengenoemde rotatiesnelheidsverschil binnen een redelijk geachte marge valt, welke marge experimenteel kan worden bepaald, kan er van uitgegaan worden dat er inderdaad op normale wijze een inschakeling van een versnelling wordt gerealiseerd. Wordt echter een te groot snelheidsverschil vastgesteld

dan wordt er in het model van uitgegaan, dat het inschakelen niet slaagt en dat de pennen 46 met een ratelend geluid langs de pennen van het pennenwiel 48 zullen schuiven.

Het wiskundige model

Het gedrag van het voertuig waarvan het mechanische model in de bovenbeschreven figuren is geïllustreerd, kan worden beschreven door het gedrag van de onderdelen afzonderlijk te beschrijven. Voor een voldoend realistisch model kan worden volstaan met het beschrijven van een drietal hoofdonderdelen, die overeenkomen met de vrijheidsgraden, die gebruikt worden in het hieronder te beschrijven wiskundige model. Deze drie vrijheidsgraden zijn:

1) de rotatie van de krukas 4;
2) de rotatie van de synchronisatie-as 14 in de versnellingsbak 12;
3) de rotatie van de uitgaande as 15 van de versnellingsbak. Deze rotatie is equivalent aan de positie van het voertuig als geheel ten opzichte van het wegdek.

Ieder van deze drie vrijheidsgraden heeft een traagheidsmoment en een wrijvingscoëfficiënt. Op de krukas 4 werkt het krukas-traagheidsmoment (massa 5 in figuur 1) en de krukaswrijving (weerstand 6 in figuur 1). De synchronisatie-as heeft een synchronisatie-as-traagheidsmoment (massa 10 in figuur 1) en een synchronisatie-as-wrijving (weerstand 11 in figuur 1). Het voertuig als geheel heeft zijn eigen traagheidsmoment (massa 16 in figuur 1) en ondervindt een wrijvingskracht en een uitwendige kracht (resp. weerstand 17 en 19 in figuur 1).

Deze drie vrijheidsgraden kunnen via koppelingsmechanismen aan elkaar gekoppeld zijn, waarbij sprake is van de volgende koppelingen :

a) de krukas 4 kan gekoppeld worden met de synchronisatie-as 14 via het koppelingsorgaan 7, 8, 9, in het vervolg genoteerd als koppelingsmechanisme A.
b) de synchronisatie-as 14 kan ook nog gekoppeld worden met de bewegingsvrijheidsgraad van het voertuig via de synchronisatiekoppelingsmechanismen in de versnellingsbak 12, notatie: koppelingsmechanisme B.
c) de bewegingsgraad van het voertuig kan gekoppeld worden met het wegdek via het remmechanisme 18, notatie: koppelingsmechanisme C.

Elk van de drie bovengenoemde koppelingsmechanismen A, B en C kan zich in twee essentieel verschillende toestanden bevinden namelijk rigide gekoppeld of niet-rigide gekoppeld. Hierbij is de niet-rigide gekoppelde toestand voor koppelingsmechanisme B wezenlijk anders dan de

niet-rigide gekoppelde toestand voor de koppelingsmechanismen A en C. Bij de genoemde koppelingsmechanismen kan onderscheid gemaakt worden tussen drie gevallen:

Geval 1) niet-rigide koppelingstoestand voor de koppelingsmechanismen A en C:
De werking van het koppelingsmechanisme in deze toestand is gebaseerd op de wrijvingscoëfficiënt van twee materialen die met elkaar in aanraking zijn. De beide delen van zo'n koppeling zullen niet ten opzichte van elkaar bewegen totdat er een bepaalde maximale wrijvingskracht tussen de beide delen wordt overschreden. Er is dan feitelijk sprake van een rigide koppeling zoals hieronder zal worden besproken onder geval 3). Zodra genoemde overschrijding het geval is, wordt er op ieder van de beide delen van de koppeling een kracht uitgeoefend die gelijk is aan deze maximale wrijvingskracht en die werkt in een richting die de beweging van het betreffende deel ten opzichte van het andere deel tegenwerkt. Deze laatstgenoemde toestand beschrijft het hier bedoelde niet-rigide koppelingsgeval.

Geval 2) Niet-rigide koppelingstoestand voor koppelingsmechanisme B:
Dit is een koppeling van het zogenaamde hydraulische type waarin de kracht die te koppelen delen op elkaar uitoefenen evenredig is aan hun snelheidsverschil en deze kracht werkt in een richting die het snelheidsverschil tussen de te koppelen delen doet verkleinen.

Geval 3) Rigide koppelingstoestand voor koppelingsmechanismen A, B en C:
Bij een koppeling van het vaste of rigide type zijn de bewegende delen hecht met elkaar verbonden en kunnen als één geheel worden beschouwd.

In het wiskudige model waarmee het mechanische model uit de figuren 1 t/m 4 wordt beschreven worden de volgende definities gebruikt:

C(k) = koppelingsweerstand
D = synchronisatie-as-wrijving
E = externe kracht
g = gaspedaalstand
H = synchronisatie-as-traagheidsmoment
i = versnellingsfactor index
j = versnellingspookstand (verticaal)
K = krukas-traagheidsmoment

8501172

k = koppelingspedaalstand
M = automassa
P(g) = motorkracht
q(t) = synchronisatie-ashoeksnelheid
qq(t) = synchronisatie-ashoekversnelling
R(r) = remweerstand
r = rempedaalstand
S(j) = synchronisatie
s(t) = krukas hoeksnelheid
ss(t) = krukas hoekversnelling
t = periode duur
u(t) = voertuig snelheid
uu(t) = voertuig versnelling
V(i) = versnellingsfactor
W = autowrijving
Z = krukaswrijving

Zoals uit de bovenstaande lijst blijkt, wordt de tijdsafgeleide van een tijdafhankelijke grootheid genoteerd door het herhalen van het functiekarakter. Met andere woorden de voertuigversnelling du(t)/dt wordt bijvoorbeeld genoteerd als uu(t).

In het wiskundige model wordt gebruik gemaakt van differentiaal vergelijkingen, waarmee het gedrag van het voertuig onder alle omstandigheden kan worden beschreven. Welke combinatie van differentiaal vergelijkingen nodig is, hangt af van het feit of de voertuigsnelheid al dan niet gelijk is aan 0, van belang voor koppelingsmechanisme C, en hangt af van het feit of het verschil tussen de krukas-hoeksnelheid S(t) en de synchronisatie-as hoeksnelheid Q(t) al dan niet gelijk is aan 0, van belang voor koppelingsmechanisme A. Bovendien moet bij al deze gevallen nog worden gekeken naar de zone waarin de synchronisatie-koppelingsmechanismen zich bevinden, van belang voor koppelingsmechanisme B. In het bijzonder moet onderscheid worden gemaakt tussen een situatie waarin de synchronisatie-koppeling zich bevindt in zone I of zone II dan wel een situatie waarin de synchronisatie-koppeling zich bevindt in zone III (een toestand waarin sprake is van een vaste of rigide koppeling). Rekening houdend met deze voorwaarden kunnen 18 verschillende situaties worden beschreven met behulp van 18 verschillende stelsels van drie gekoppelde differentiaal vergelijkingen:

A. Koppelingsmechanisme A en C gedragen zich als hierboven

beschreven is als geval 1) :

A1: Koppelingsmechanisme B valt onder het hierboven beschreven geval 2) (4 gevallen) :

$$M.uu(t) = E - R(r) - W.u(t) + S(j).(V(i).q(t) - u(t))$$

$$K.ss(t) = P(g) - Z.s(t) - C(k)$$

$$H.qq(t) = C(k) - D.q(t) + V(i).S(j).(u(t) - V(i).q(t))$$

A2: Koppelingsmechanisme B valt onder geval 3) (4 gevallen) :

$$(H + M.V(i).V(i)).qq(t) = -(D + V(i).V(i).W).q(t) + C(k) + V(i).(E - R(r))$$

$$K.ss(t) = P(g) - Z.s(t) - C(k)$$

$$u(t) = V(i).q(t)$$

B. Koppelingsmechanisme A valt onder geval 3) en koppelingsmechanisme C onder geval 1) :

B1: Koppelingsmechanisme B valt onder geval 2) (2 gevallen):

$$M.uu(t) = E - R(r) - W.u(t) + S(j).(V(i).s(t) - u(t))$$

$$(K+H).ss(t) = P(g) - (Z+D).s(t) + V(i).S(j).(u(t) - V(i).s(t))$$

$$q(t) = s(t)$$

B2: Koppelingsmechanisme B valt onder geval 3) (2 gevallen) :

$$(K+H+M.V(i).V(i)).ss(t) = -(Z+D+V(i).V(i).W).s(t) + P(g) + V(i).(E-R(r))$$

$$q(t) = s(t)$$

$$u(t) = V(i).q(t)$$

C. Koppelingsmechanisme A valt onder geval 1) en koppelingsmechanisme C onder geval 3) :

C1: Koppelingsmechanisme B valt onder geval 2) (2 gevallen) :

$$u(t) = 0$$

$$K.ss(t) = P(g) - Z.s(t) - C(k)$$

$$H.qq(t) = C(k) - D + V(i).V(i).S(j)).q(t)$$

C2: Koppelingsmechanisme B valt onder geval 3) (2 gevallen) :

$$q(t) = 0$$

$$K.ss(t) = P(g) - Z.s(t) - C(k)$$

$$u(t) = 0$$

D. Koppelingsmechanisme A valt onder geval 3) en koppelingsmechanisme C onder geval 3) :

D1: Koppelingsmechanisme B valt onder geval 2) (1 geval)

$$u(t) = 0$$

$$(K+H).ss(t) = P(g) - Z + D + V(i).V(i).S(j)).s(t)$$

$$q(t) = s(t)$$

D2: Koppelingsmechanisme B valt onder geval 3) (1 geval) :

8901912.

$s(t) = 0$

$q(t) = 0$

$u(t) = 0$

De vergelijkingen voor de situaties waarin er sprake is van een rigide synchronisatiekoppeling zijn telkens verkregen door het stelsel te zoeken dat dezelfde oplossing heeft voor $t \rightarrow$ als de bijbehorende situatie waarin er geen rigide synchronisatiekoppeling is, in het limiet geval waarin S(j) naar oneindig nadert.

De bovenvermelde aantallen gevallen slaan op het aantal mogelijke verschillende stelsels, die verkregen kunnen worden door in het beschreven stelsel, indien ze in de vergelijkingen aanwezig zijn, R(r) te vervangen door -R(r) en/of C(k) door -C(k). Daardoor wordt respectievelijk tot uitdrukking gebracht dat het voertuig achteruit rijdt of dat teruggeschakeld wordt.

Voor het zoeken naar een oplossing van de bovenstaande differentiaalvergelijkingen, passend bij een bepaalde combinatie van ingangsvariabelen en ingangsconstanten kan gebruik worden gemaakt van algemeen geformuleerde oplossingen.

In de bovenstaande stelsels komen twee typen van differentiaal-vergelijkingen voor, die in hun algemene vorm als volgt kunnen worden beschreven:

type 1 (afzonderlijke vergelijking): $A.d/dt(x(t)) = -B.x(t)+C$

met als oplossing: $x(t) = a.EXP(b.t) + c$

waarbij:

$a = x(0) - C/B$, $b = -B/A$, en $c = C/B$

$x(0)$ is de waarde van x op tijdstip 0

(EXP(z) is e tot de macht z)

type 2 (stelsel van twee samenhangende differentiaalvergelijkingen)

$A.d/dt(x(t)) = -B.x(t) + C + D.(E.y(t) -x(t))$ en

$F.d/dt(y(t)) = -G.y(t) + H + E.D.(x(t) -E.y(t))$

met de oplossing: $x(t) = a.EXP((b+g).t) + d.EXP((b-g).t) + e$

$y(t) = m.EXP((b+g).t) + n.EXP((b-g).t) + q$

waarbij:

$e = (D.E.H. + C.(G +E.E.D))/(D.G + B.(G +E.E.D))$

$q = (D.E.C. + H.(B +D))/(D.G + B.(G +E.E.D))$

$b = -(B +D)/(2.A) - (G +E.E.D)/(2.F)$

$g = SQRT(b.b. + D.D.E.E/(A.F))$

$a = (-B.x(0) + C + D.(E.y(0) - x(0)) - (b - g).A.(x(0) - e))/(2.A.g)$

$m = (-G.y(0) + H + D.E.(x(0) - E.y(0)) - (b - g).F.(y(0) - q))/(2.F.g)$

$d = x(0) - a - e$

$n = y(0) - m - q$

(SQRT(z) is de wortel uit z)

(x(0) en y(0) zijn de waarden van x resp. y op tijdstip 0)

Door substitutie van de juiste waarden in de oplossing van deze algemene vergelijkingen kan dus telkens een oplossing gevonden worden van het stelsel vergelijkingen dat op een bepaald moment geldig is.

De praktische realisatie

In figuur 5 is een schematisch perspectief aanzicht getoond, van een mogelijke praktische uitvoeringsvorm van de simulator volgens de uitvinding. Op een tafel 50 bevindt zich de computer 51, die uitgangssignalen afgeeft aan een beeldschermeenheid 52. De computer 51 ontvangt ingangssignalen van een aantal bedieningselementen, die bij voorkeur zodanig uitgevoerd zijn, dat ze een realistische gelijkenis vertonen met de bedieningsorganen van het voertuig, dat gesimuleerd wordt. In het bijzonder ontvangt de computer 51 in het getoonde uitvoeringsvoorbeeld signalen van een versnellingshandel 53, een koppelingspedaal 55, een rempedaal 56 en een gaspedaal 57. Deze laatstgenoemde drie pedalen zijn gemonteerd in een pedaaleenheid 54.

De standen van de pedalen en van de versnellingshandel moeten omgezet worden in voor de computer begrijpelijke gegevens. In de pedalen 55, 56 en 57 kunnen bijvoorbeeld regelbare weerstanden ingebouwd zijn, waarvan de weerstandswaarde afhangt van de stand van de betreffende pedaal. Deze weerstandswaarden kunnen vervolgens met behulp van analoog/digitaal-omvormers gecombineerd met een spanningsbron omgevormd worden in een digitale getalwaarde. De versnellingshandel 53 kan met twee variabele weerstanden uitgerust worden, waarmee nauwkeurig de stand van de handel in het H-profiel kan worden gecodeerd. Op zichzelf zijn dergelijke bedieningsmechanismen bekend en een nadere gedetailleerde bespreking daarvan wordt dan ook overbodig geacht.

In veel gevallen zal gebruik gemaakt kunnen worden van de op de computer aanwezige joystick-aansluitingen, waarop digitale waarden van 8 bit ingelezen kunnen worden (waarden die varieren tussen 0 en 255 decimaal). In zo'n geval kan de simulator relatief goedkoop worden gerealiseerd.

Zoals uit de bovenstaande bespreking van het wiskundige model duidelijk zal zijn, levert de koppelingspedaal afhankelijk van zijn stand

k een ingangswaarde voor de grootheid C(k), de rempedaal 56 levert afhankelijk van zijn stand r een ingangswaarde voor de grootheid R(r) en de gaspedaal 57 levert afhankelijk van zijn stand g een ingangswaarde voor de grootheid P(g).

Van de versnellingshandel 53 is naast de informatie in welke arm de versnellingspook zich bevindt (i = 1, 2, ...), hetgeen resulteert in een waarde van index i en dus ook van V(i), alleen de verticale verplaatsing binnen het H-vormige spoor van belang. Afhankelijk van de verticale stand j levert de versnellingshandel 53 een waarde op voor het berekenen van de synchronisatie S(j). In het horizontale deel van het H-profiel loopt de versnellingsbak vrij. Een beweging van de handel in dit deel van het profiel heeft op het gedrag van het voertuig geen enkele invloed. Er wordt in het volgende van uitgegaan, dat de waarde van S(j) in het vrijloopgebied gelijk is aan 0 en dat S(j) steeds hogere (positieve) waarden aanneemt naarmate de versnellingshandel verder van de vrijloopzone verwijderd is.

Tijdens bedrijf zal de simulator zich altijd in één van de hierboven beschreven toestanden bevinden. De computer 51 zal telkens met korte tussenperioden de standen van de invoermiddelen 53, 55, 56 en 57 aftasten en levert de waarden voor r, k, g, i en j. Binnen de computer moeten naast de waarde voor t, de periodeduur tussen de aftastmomenten, nog waarden bekend zijn voor de automassa M, de autowrijving W, het kruk-astraagheidsmoment K, de kruk-as-wrijving Z, het synchronisatie-as-traagheidsmoment H, de synchronisatie-as-wrijving D en de externe kracht E. Deze waarden kunnen bijvoorbeeld via het toetsenbord van de computer 51 aan het begin van het simulatieproces eenmalig worden ingevoerd. De waarde voor de externe kracht E kan anderzijds ook, althans gedeeltelijk worden geleverd door het programma waarmee het landschap 58 op de beeldscherm-eenheid 52 zichtbaar wordt gemaakt. Komen in dit landschap bijvoorbeeld hellingen voor dan kan de waarde van E aan deze hellingen worden aangepast.

Aan het begin en/of aan het einde van een periode wordt gekeken of het onderhavige stelsel nog steeds van toepassing is, zoals verderop zal worden beschreven onder: veranderen van stelsel. Voor de berekening worden de eindwaarden q(t), s(t) en u(t) van de voorafgaande periode nu als de beginvoorwaarden respectievelijk q(0), s(0) en u(0) gebruikt voor de actuele periode. Vervolgens worden nieuwe waarden voor q(t), s(t) en u(t) berekend en worden op grond daarvan worden uitgangssignalen afgegeven aan de beeldschermeenheid 52. Op deze beeldschermeenheid 52 kan een aantal meetinstrumenten getoond worden die, in overeenstemming met de indicatie-

elementen 20, 21, 22 en 23 uit het mechanische model van figuur 1, het toerental, de snelheid, kilometerstand, en benzinetank-inhoud aangeven, alsmede bijvoorbeeld een landschapsinhoud 58 met onder andere een wegdek met middenstreep. Op het scherm van de eenheid 52 wordt bijvoorbeeld onder het landschap 58 van links naar rechts weergegeven een klok waarmee de werkelijke tijd (afgeleid uit de interne klok van de computer 51) wordt weergegeven, een snelheidsmeter, een toerenteller en geheel rechts boven elkaar een combinatie van kilometerteller en benzinestandwijzer.

Wordt de periode t tussen de opeenvolgende aftastmomenten kort genoeg gekozen, bijvoorbeeld enkele tientallen miliseconden, dan ontstaat er op het beeldscherm een vloeiend beeld, hetgeen voor de gebruiker een realistische indruk geeft. De tijd t zal zo kort mogelijk moeten zijn, maar moet groter of gelijk gekozen worden aan de maximale tijd die de computer 51 nodig heeft om de oplossing te berekenen van het stelsel differentiaalvergelijkingen, het aftasten van de invoerorganen en het afgeven van de uitvoergegevens.

Veranderen van stelsel

Voor de synchronisatiekoppeling is, zoals in het bovenstaande onder geval 2a) al is aangegeven, een model van het hydraulische type gebruikt, omdat er voor dit model een analytische oplossing bestaat, die onder alle omstandigheden geldig is. Voor het andere, meer realistische wrijvingsweerstandmodel, bovengenoemd ONDER GEVAL 1), dat toegepast wordt voor de koppeling tussen de motor en de versnellingsbak (de elementen 7, 8 in figuur 1) en voor de rem (element 18), zijn er drie verschillende oplossingen, die ieder geldig zijn afhankelijk van de aard van de relatieve beweging van de door het koppelingsmodel met elkaar gekoppelde vrijheidsgraden ten opzichte van elkaar, namelijk stilstand, beweging in een (arbitrair gekozen) positieve richting of beweging in een negatieve richting. Doordat dit laatstgenoemde stelsel verschillende oplossingen heeft en doordat de synchronisatiekoppeling rigide is of niet-rigide is moet er voortdurend van beschrijvend stelsel worden gewisseld. Er kan voor het wrijvingsweerstandmodel onderscheid worden gemaakt tussen twee situaties, die in het volgende in detail zullen worden beschouwd.

Situatie 1:

De via het wrijvingsweerstandsmodel gekoppelde delen staan ten opzichte van elkaar stil.

In dit geval worden er krachten vergeleken. Omdat de aan het begin van een periodeduur geactualiseerde ingangsgegevens in de computer kunnen leiden tot een wijziging van de uitgeoefende krachten dient er in dit

geval vlak na het ophalen van deze ingangsgegevens te worden getest of het nog steeds gerechtvaardigd is om te werken met een model dat uitgaat van een onderlinge stilstand van de vrijheidsgraden ten opzichte van elkaar. Deze test komt neer op het testen van het al dan niet waar zijn van een ongelijkheid, die op de volgende wijze wordt verkregen:

Bepaal welke van de twee gekoppelde delen het grootste traagheidsmoment bezit en stel de ongelijkheid voor dit onderdeel op. Het deel met het grootste traagheidsmoment wordt gekozen omdat dit onderdeel minder gemakkelijk een grote snelheidsverandering kan ondergaan. In het geval van de koppeling tussen het voertuig en de weg zal hiervoor het wegdek worden gekozen en de bepaling van de versnelling van het wegdek is in dit geval eenvoudig, deze versnelling is natuurlijk gelijk aan 0. In het geval van de koppeling (delen 7, 8, 9 in het model van figuur 1) wordt voor het begintijdstip van de onderhavige periode de versnelling berekend, die de twee erdoor gekoppelde delen ondergaan. In het van toepassing zijnde wiskundige model wordt daartoe u(0), s(0) en q(0), te weten de beginvoorwaarden op t = 0, gesubstitueerd; deze beginvoorwaarden zijn gelijk aan de eindwaarden berekend in de voorafgaande periode. Vermenigvuldiging van de op deze wijze gevonden versnelling met het bij dit onderdeel behorende traagheidsmoment levert de som van de krachten, die op dit onderdeel worden uitgeoefend (voor de rem zal deze som 0 zijn). Als nu van deze som alle krachten worden afgetrokken, die er op worden uitgeoefend, behalve die van de (te testen) door de koppeling overgebrachte kracht, dan ontstaat een uitdrukking van de zojuist genoemde door de koppeling overgebrachte kracht. Deze kan nu worden vergeleken met de wrijvingsweerstand van de koppeling om te testen of deze wrijvingsweerstand wordt overschreden. Er is een test voor een overschrijding die gevolgd moet worden door een beweging, waarbij het snelheidsverschil tussen de gekoppelde delen positieve waarden aanneemt en een test die gevolgd moet worden door negatieve waarden.

Op soortgelijke wijze worden met behulp van de diverse stelsels differentiaalvergelijkingen de volgende ongelijkheden verkregen:

A. Voor het geval dat u(t) ongelijk aan nul is en (s(t) -q(t)) gelijk aan nul is: (in dit geval wordt de koppeling getest)

a. synchronisatie koppeling niet rigide :

$$ss(0) = \frac{P(g) -(Z +D).s(0) \ +V(i).S(j).(u(0) -V(i).s(0))}{\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad}$$

8901912.

(K+H)

Subst in de ongelijkheid:

K.ss(0) - P(g) +Z.s(0) > C(k) gevolgd door positieve waarden van s(t)-q(t),

K.ss(0) - P(g) +Z.s(0) < -C(k) gevolgd door negatieve waarden.

b. synchronisatie koppeling rigide :

$$ss(0) = \frac{-(Z+D+V(i).V(i).W).s(0) + P(g) + V(i).(E - R(r))}{K + H + M.V(i).V(i)}$$

In het geval dat u(t) negatief is moet in de bovenstaande uitdrukking R(r) vervangen worden door -R(r).

Ongelijkheid:

K.ss(0) - P(g) + Z.s(0) > C(k) gevolgd door positieve waarden,

K.ss(0) - P(g) + Z.s(0) <- C(k) gevolgd door negatieve waarden.

B. Voor het geval dat u(t) nul is en (s(t) -q(t)) ongelijk aan nul is: (in dit geval wordt de rem getest)

a. synchronisatie koppeling niet rigide :

Ongelijkheid:

S(j).V(i).q(0) + E > R(r) gevolgd door positieve u(t),

S(j).V(i).q(0) + E < -R(r) gevolgd door negatieve u(t).

b. synchronisatie koppeling rigide :

Ongelijkheid:

{ V(i).E + C(k) } / V(i) > R(r) gevolgd door positieve u(t),

{ V(i).E + C(k) } / V(i) < -R(r) gevolgd door negatieve u(t).

In het geval dat s(t)-q(t) negatief is moeten in de bovenstaande twee ongelijkheden C(k) vervangen worden door -C(k)

C. Voor het geval dat u(t) en (s(t) -q(t)) beiden gelijk aan nul zijn: in dit geval wordt zowel de koppeling als rem getest.

Allereerst de test van de koppeling,

a. synchronisatie koppeling niet rigide :

ss(0) = { P(g) -(Z +D +V(i).V(i).S(j)).s(0) } / (K+H)

Voor de ongelijkheid:

P(g) -Z.s(0) -K.ss(0) > C(k) gevolgd door positieve waarden,

P(g) -Z.s(0) -K.ss(0) < -C(k) gevolgd door negatieve waarden.

b. synchronisatie koppeling rigide :

Ongelijkheid :

P(g) > C(k) gevolgd door positieve waarden,

P(g) < -C(k) komt nooit voor aangezien P(g) altijd positief is.

Vervolgens de remkracht overschrijdingstest,

c. synchronisatie koppeling niet rigide :

Ongelijkheid:

S(j).V(i).q(0) + E > R(r) gevolgd door positieve u(t),

S(j).V(i).q(0) + E < -R(r) gevolgd door negatieve u(t).

d. synchronisatie koppeling rigide :

Ongelijkheid:

{ P(g) + V(i).E } / V(i) > R(r) gevolgd door positieve u(t),

{ P(g) + V(i).E } / V(i) < -R(r) gevolgd door negatieve u(t).

Indien de test onder b oplevert dat P(g) > C(k) dan dienen de twee bovenstaande ongelijkheden te worden vervangen door :

{ C(k) +V(i).E } / V(i) > R(r) gevolgd door positieve u(t),

{ C(k) =V(i).E } / V(i) < -R(r) gevolgd door negatieve u(t)

Het linkerlid van de ongelijkheden vertegenwoordigt telkens de kracht, die uitgeoefend wordt door ofwel de koppeling (de verbinding via de delen 7 en 8 tussen de krukas 4 en de synchronisatie-as 14) ofwel de rem (de verbinding van de translationele bewegingsvrijheidsgraad van het voertuig met het wegdek). Indien de ongelijkheid waar is dan wordt de maximale wrijvingskracht van de koppeling of de rem overschreden en moet er van beschrijvend model worden gewisseld.

In het bovenstaande geval C (waarin u(t) en (s(t)-q(t)) beiden gelijk aan nul zijn), dient zowel de ongelijkheid van de koppeling als die van de rem te worden getest, alvorens er besloten kan worden tot welk beschrijvend model moet worden overgegaan. De vergelijking tussen de krachten vindt zoals gezegd plaats aan het begin van een periode. Vindt de krachtsoverschrijding plaats ergens in een periode dan kan de computer daar pas na het volgende aftasttijdstip op reageren en derhalve zal er een fout onstaan. Deze fout wordt kleiner naarmate de periode korter kan worden gekozen. Voor de gebruiker zou deze fout kunnen worden omschreven als het "enigszins blijven plakken" van de koppeling of de rem.

Situatie 2.

De door middel van het wrijvingsweerstandsmodel gekoppelde delen vertonen een onderlinge beweging. Aangezien deze relatieve beweging binnen de periodeduur t verandert, dient er in dit geval aan het einde van een dergelijke periode getest te worden of het beschrijvende wiskundige model, geldig aan het begin van de periode, nog steeds van kracht is. Omdat de aan het begin van de periode opgehaalde ingangsgegevens van de computer gedurende de periode als constanten worden beschouwd en omdat alle oplossingen, die bij het wrijvingsweerstandsmodel behoren een monotoon

dalend of stijgend karakter hebben, kan er in ieder geval van uitgegaan worden dat de bewegingsrichting van de afzonderlijke delen van het model gedurende de periode zelf niet veranderd. De test aan het einde van de periode kan eenvoudig uitgevoerd worden door te kijken of de relatieve beweging aan het einde van de periode van richting (wiskundig gezien van teken) is veranderd. Als de richting inderdaad veranderd is dan zijn er twee vragen die beantwoord moeten worden:

1) Op welk moment gedurende de periode stonden de gekoppelde vrijheidsgraden ten opzichte van elkaar stil?
2) Wat was de snelheid van de vrijheidsgraden op het onder 1) gevonden moment? (voor de koppeling van de bewegingsvrijheidsgraad van het voertuig met het wegdek via de rem is deze snelheid gelijk aan 0).

Om deze vragen te beantwoorden kan zonder bezwaar gebruik worden gemaakt van een niet exacte benaderende methode. Weliswaar worden hierdoor onnauwkeurigheden geïntroduceerd, maar deze onnauwkeurigheden zijn zo klein dat ze voor een gebruiker niet storend zijn, terwijl bovendien dergelijke wisselingen naar verhouding slechts sporadisch voorkomen. Zo is een mogelijk wat grove benadering de bovengenoemde vraag 1), namelijk de vraag op welk moment in de periode de stilstand optrad, verder te vergeten en onmiddelijk aan een nieuwe periode met het nieuwe model te beginnen. In dat geval wordt nauwelijks aandacht besteed aan de synchronisatie in de tijd.

In het nieuwe model moet de koppeling dan worden vervangen door een rigide koppeling waarbij als beginsnelheid van de nu rigide gekoppelde delen bijvoorbeeld de snelheid wordt genomen van het onderdeel met het grootste traagheidsmoment aan het begin van de zojuist vroegtijdig afgebroken periode. Een nauwkeuriger benadering voor deze snelheid zou zijn de snelheid te nemen op het moment van de relatieve stilstand, welke snelheid dan weer lineair kan worden benaderd. In dat geval zou de onderstaande formule voor de lineaire benadering worden gebruikt met de aantekening dat natuurlijk ook hogere orde benaderingen mogelijk zijn:

$$x(t') = x(0) + \frac{(x(t) - x(0)).(x(0) - y(0))}{x(0) - y(0) - x(t) + y(t)}$$

waarbij:

t = periodeduur
x(0) = snelheid van onderdeel 1 op tijdstip 0
y(0) = snelheid van onderdeel 2 op tijdstip 0
x(t) = snelheid van onderdeel 1 op tijdstip t

y(t) = snelheid van onderdeel 2 op tijdstip t

t' = het moment van doorsnijding van x en y (d.w.z. stilstand)

(t' = (x(0) -y(0)).t / (x(0) -y(0) -x(t) +y(t))).

De kleine fout (maximaal gelijk aan een periodeduur) in de tijdsbepaling zal zoals al gezegd nauwelijks effect hebben op de gebruiker.

Er zijn een aantal varianten mogelijk voor de bovengenoemde afhandeling van de modelwisseling, zoals de periode niet voortijdig af te breken, maar af te wachten totdat een volledige tijdsduur t is verstreken of, zoals reeds vermeld, hogere orde benaderingen te maken van de beginsnelheid van het gekoppelde deel. Ook kan de genoemde t' in aanmerking worden genomen in de synchronisatie in de tijd, maar geen wezenlijke verbetering van de simulator is door dergelijke varianten te verwachten.

Verder ontwikkelde uitvoeringsvorm

Om de simulator voor de gebruiker interessanter te maken, verdient het de voorkeur dat de omgeving waarin de simulator functioneert beter aan de realiteit wordt aangepast met andere woorden, de simulator moet bij voorkeur in een zodanige omgeving worden geplaatst, dat de gebruiker van de simulator het gevoel krijgt zich inderdaad in een voertuig te bevinden en dit voertuig te besturen. In de eerste plaats verdient het derhalve de voorkeur om aan de bedieningsorganen een stuurwiel toe te voegen, welk stuurwiel eveneens ingangsgegevens kan leveren aan de computer, die daarmee een besturing van de landschap-achtergrond kan realiseren. Op zichzelf is het gebruik van dergelijke stuurwielen en de koppeling daarvan met een programma voor het genereren van een achtergrond landschap bekend, zodat daarop niet nader in detail behoeft te worden ingegaan.

Een mogelijke zeer realistische opstelling van de simulator, in het bijzonder geschikt voor professioneel gebruik, is schematisch geïllustreerd in figuur 6. In figuur 6 is de simulator opgebouwd binnen een behuizing 60, die althans voor de gebruiker die zich in de stoel 61 bevindt de sfeer op de bestuurdersplaats van een voertuig nabootst. De simulator is weer voorzien van een gaspedaal 62, een rempedaal 63 en een koppelingspedaal 64, alsmede van een versnellingshandel 65. Verder is als toegevoegd invoermiddel 66 met stuur aanwezig. De uitvoermiddelen bestaan ook hier weer uit een beeldschermeenheid, waarvoor in dit geval een televisie-projectie-eenheid is gekozen met een groot scherm 67. De eigenlijke projectoren, die overigens tot de stand der techniek behoren, kunnen aangebracht zijn binnen de behuizing 60 aan de achterzijde van het

scherm 67. Op het dashboard 68 bevinden zich op een gebruikelijke plaats de gecombineerde snelheidsmeter/kilometerteller 69, de toerenteller 70 en de benzinemeter 71. In deze uitvoeringsvorm worden deze meetinstrumenten niet, zoals uit de uitvoeringsvorm van figuur 5 in software gerealiseerd, maar zijn als afzonderlijke meetinstrumenten ingebouwd in het dashboard 68 en worden als zodanig via een geschikte uitgangspoort van de computer bestuurd. Of nu voor deze wijze van presentatie wordt gekozen dan wel voor een geheel software gestuurde presentatie op het beeldscherm, zoals in figuur 5 is getoond, maakt overigens voor de uitvinding geen enkel verschil. De simulator is verder voorzien van het toetsenbord 72 dat in dit geval aan de zijkant van de behuizing 60 is aangebracht op een plaats die toegankelijk is voor een operateur of instructeur, terwijl zonodig eventueel een hulpscherm 73 kan worden geïnstalleerd, waarop de operateur ofwel hetzelfde beeld als zichtbaar is op het scherm 67, dan wel eventueel op een andere wijze met de computer, die zich in de behuizing 60 bevindt via het toetsenbord 72 kan communiceren.

Voor toepassingen als het leren bedienen van een voertuig met een handbediende versnellingsbak of als vaardigheids-amusementsspel kan er genoegen worden genomen met een relatief eenvoudige landschapsinhoud zoals een wegdek met middenstreep, dat een eenvoudig gesloten circuit vormt. Eventueel kan zelfs volstaan worden met een plattegrond van het circuit, dat door het voertuig wordt afgelegd. Bij een meer realistische uitvoeringsvorm zoals in figuur 6 verdient het echter de voorkeur om ook de landschapsprojectie een meer realistisch karakter te geven. Het projecteren van dergelijke realistische en met een voertuig meebewegende landschappen behoort echter tot de stand der techniek en maakt geen deel uit van de uitvinding.

Een verdere bijdrage om de simulator realistischer te laten lijken, kan worden verkregen door het inbouwen van een geluidsbron in de behuizing 60, welke geluidsbron eveneens wordt gestuurd door de in figuur 6 niet zichtbare computer. Deze geluidsbron brengt, afhankelijk van de momentane situatie waarin de simulator zich bevindt, een geluid voort dat afhankelijk van het toerental van de motor overeenstemt met het geluid dat in een werkelijk voertuig wordt waargenomen. Bovendien kan deze geluidsbron worden gebruikt voor het simuleren van eventuele schakelsignalen op momenten waarop de versnellingshandel 65 wordt bediend. Bij voorkeur is de geluidsbron verder voorzien van mogelijkheden om, onder besturing van de computer, het verkeerd schakelen realistisch te laten horen door een "tandenknarsend" geluid weer te geven.

Het verdient de voorkeur om in de simulator nog een startknop in te

bouwen, waarmee de motor van het voertuig als het ware kan worden gestart. De motor "slaat aan" zodra een van tevoren bepaald toerental door de kruk-as-rotatie wordt overschreden. Ook zal de motor moeten "afslaan" als het toerental beneden een zeker toerental komt. Deze situatie kan zich bijvoorbeeld voordoen indien de gebruiker remt zonder de motor in de vrijstand te schakelen. Gaat het remmen zolang door totdat het voertuig nagenoeg stilstaat dan zal tevens de motor afslaan. Voor P(g) geldt dat er bij een niet-stilstaande motor een minimale waarde is zelfs als het gaspedaal volledig wordt losgelaten. Deze minimale waarde kan met behulp van de software worden ingesteld en eventueel gewijzigd. Deze minimale waarde van P(g) zorgt er in het normale geval voor dat de motor stationair kan blijven lopen.

De waarden van P(g) kunnen worden gesommeerd door middel van numerieke integratie en daarmee kan op eenvoudige wijze een indicatie worden verkregen van het brandstofverbruik. Is een brandstofmeter 71 aanwezig dan kan deze op grond van de berekende sommatiewaarden eenvoudig worden bestuurd.

Er kan een simulatie van de handrem worden toegevoegd in de vorm van een extra bijdrage aan de remweerstand R(r). In dat geval zal een handremhandel in de simulator geïnstalleerd moeten worden, die eveneens periodiek door de computer wordt afgevraagd om de stand van de handrem te bepalen. Wordt een handremsimulatie toegepast, dan behoeft in de wiskundige modellen alleen de term R(r) te worden vervangen door R(r)+HR(r'), waarbij HR(r') de handremweerstand is en r' de positie van de handremhandel.

Figuur 7 toont in de vorm van een stroomschema de belangrijkste functies, die onder softwarebesturing door de computer, binnen de simulator worden uitgevoerd. Nadat de software in het START-blok 80 is opgestart met u(t) = s(t) = q(t) = 0 en met de vlaggen A en C gezet, welk laatste wil zeggen dat de koppelingsmechanismen A en C in de rigide toestand zijn, zal het programma cyclisch de in deze figuur weergegeven grote lus gaan doorlopen. In blok 81 wordt de vlag Q gereset waarvan de functie verderop wordt besproken en wordt de interne computerklok op 0 gezet.

Zo zullen op een gegeven moment in blok 82 de invoergegevens E, g, r, k, j en i worden opgehaald, alsmede een invoergegeven dat correspondeert met het al dan niet ingedrukt zijn van de startmotorschakelaar. Het is dit laatste invoergegeven dat in het volgende blok 83 bepaalt of vlag S gezet wordt.

De grootte van het toerental s(t) ten opzichte van de eerder

beschreven toerentallen van de krukas, waar boven of waar beneden de motor loopt dan wel afgeslagen is, is bepalend voor het al dan niet gezet worden van vlag N in blok 84.

Rechtstreeks uit het invoergegeven betreffende de verticale positie j van de versnellingspook valt af te leiden of vlag B al dan niet gezet moet worden in blok 85, dit correspondeert met het al dan niet rigide zijn van koppelingsmechanisme B. Voor dit koppelingsmechanisme dient bij overgang van niet-rigide mnaar rigide koppeling nog getest te worden of het verschil in rotatiesnelheid van de te koppelen delen voldoende klein is, zoals beschreven in het "het mechanische m,odel", hetgeen neerkomt op een test voor het zogenaamde "tandenpoetsen van de versnellingsbak.

Bovendien kan er een test worden ingebouwd die controleert of de krachten die de gekoppelde delen op elkaar uitoefenen voldoende klein zijn om een overgang van rigide naar niet-rigide gekoppelde toestand toe te staan (de te testen ongelijkheid kan op analoge wijze worden verkregen zoals beschereven onder "veranderen van stelsel","situatie 1"). Zeer realistisch zou zijn een door de computer electrisch te bedienen mechanische voorziening aan te brengen die de doorgang van de versnellingspook in het "H-profiel" indien nodig kan blokkeren.

Vervolgens wordt er in blok 86 gekeken, of er een van de twee of allebei de koppelingsmechanismen A en C in de rigide toestand is hetgeen dan gevolgd wordt door een aan de situatie aangepaste test en verdere afhandeling.

Deze verdere afhandeling vindt plaats in de blokken 87, 88 en 89, waarin de ongelijkheden worden getest, die beschreven zijn onder "veranderen van stelsel, situatie 1" onder respectievelijk A, B en C. Alvorens er in deze blokken tot de feitelijke tests wordt overgegaan, dient er nog onderscheid gemaakt te worden aan de hand van vlag B voor de situatie met koppelingsmechanisme B rigide of niet-rigide. Voor blok 87 dient er bovendien nog onderscheid gemaakt te worden voor een beweging u(t) in positieve dan wel in negatieve richting zodra er sprake is van een rigide koppelingsmechanisme B. Voor blok 88 dient er onderscheid gemaakt te worden tussen positieve en negatieve s(t)-q(t) eveneens zodra er sprake is van een rigide koppelingsmechanisme B.

Er zijn tests die, indien aan de voorwaarde voldaan wordt, gevolgd worden door een beweging in positieve richting en tests gevolgt door een negatieve beweging, waarbij er vlaggen kunnen worden gezet die deze verschillende bewegingsrichtingen tot uitdrukkig brengen.

Voor het simuleren van de werking van een startmotor en van de mechanismen voor de aan- of afslag van de motor dient overal in de zojuist

besproken ongelijkheden, maar ook in de formules voor de in blok 90 te berekenen oplossingen, P(g) te worden vervangen door:"P(g)", als vlag N gezet is en vlag S gereset; door: "0", als zowel vlag N en S gereset zijn; door: "P(g) + kracht startmotor" als zowel S als N gezet zijn en door: "kracht startmotor" als S gezet en N gereset is.

Hierna volgt dan blok 90 waar afhankelijk van de toestand van de vlaggen S, N, A, B en C, alsmede hierboven vermelde vlaggen voor de richtingen van de bewegingen het van toepassing zijnde stelsel wordt geselecteerd en opgelost. Hierbij worden de (oude) waarden van u(t), s(t) en q(t) nu de (nieuwe) beginvoorwaarden u(0), s(0) en q(0) en worden vervolgens de nieuwe waarden voor u(t), s(t) en q(t) berekend.

Voor het geval dat koppelingsmechanisme A niet rigide is wordt er, in het bij blok 91 behorende testgedeelte, nagegaan of voor de zojuist berekende nieuwe waarden van u(t), s(t) en q(t) er een bewegingsrichtingsverandering heeft plaatsgevonden. Een dergelijke test is besproken onder "veranderen van stelsel, situatie 2" en indien aan de geteste voorwaarde voldaan wordt moet vlag A gezet worden, zodat er verder weer sprake is van een rigide koppelingsmechanisme A, bovendien moet er in zo'n geval nog de vlag Q gezet worden.

Deze zojuist genoemde vlag Q zal er verderop in blok 93 voor zorgen dat er zonder verder tijdsverlies aan een nieuwe cyclus wordt begonnen.

Blok 92 verloopt analoog aan blok 91 maar dan voor het koppelingsmechanisme C.

Blok 94 zorgt voor de synchronisatie in de tijd door in een wachtlus het moment af te wachten waarop de computerklok aangeeft dat er één periodetijdsduur t is verstreken.

Tenslotte worden in blok 95 de weer te geven uitgangsgegevens geactualiseerd en wordt weer doorgegaan met blok 81 en met het ophalen van invoergegevens in blok 82 enz.

Alhoewel in het bovenstaande al in het algemeen is aangegeven op welke wijze een oplossing kan worden gezocht voor de stelsels van differentiaalvergelijkingen wordt bij voorkeur gebruik gemaakt van een aantal tabellen waarin van tevoren berekende waarden, die tijdens het simulatieproces nodig kunnen zijn, zijn opgeslagen. In verband daarmee wordt opgemerkt, dat de van de invoerorganen afhankelijke parameters met uitzondering van S(j) en V(i) in de uiteindelijke oplossingen alleen in de vorm van coëfficiënten worden teruggevonden. Deze parameters komen dus niet voor in de uitdrukkingen, die de parameters vormen van de aanwezige exponentiele functies. Hetzelfde geldt voor de randvoorwaarden u(0), q(0)

en s(0), die ook alleen in de vorm van coëfficiënten voorkomen. Dat houdt in, dat alle oplossingen uiteindelijk te herschrijven zijn tot de volgende algemene vorm:

$$x(t) = c1.x(0) + c2.C(k) + c3.R(k) + c4.P(g) + c5.y(0)$$

Hierbij zijn c1 tot en met c5 functies van de parameters V(i), S(j), M, W, t, ...,
x(0) en y(0) staat voor u(0), q(0) of s(0),
x(t) en y(t) staat voor u(t), q(t) of s(t).

De ongelijkheden die in het bovenstaande zijn aangegeven en bestemd zijn om te bepalen of er van model moet worden gewisseld, kunnen op dezelfde manier worden behandeld en leiden dan ook tot een relatief eenvoudige vorm.

De consequenties daarvan zijn dat gebruik kan worden gemaakt van tabellen, waarin alle mogelijke waarden voor de genoemde coëfficiënten c1, c2, c3, c4 en c5 kunnen worden ingevoerd. Het op de juiste manier adresseren van deze tabellen leidt dan direct tot een waarde voor de betreffende coëfficiënten. Wordt er bijvoorbeeld van uitgegaan dat de index i wordt gekozen met i = 1, 2, ..., 5 en dat j discrete waarden kan aannemen met j = 1, 2, ..., 128 dan moeten er vijfmaal 128 mogelijke waarden per c1, c2, ...c5 in de tabel worden opgeslagen. Deze tabel is van tevoren te berekenen en functioneert tijdens de feitelijke simulatieprocessen alleen als een opzoektabel waarin actuele waarden kunnen worden opgezocht, die uitsluitend nog maar vermenigvuldigd behoeven te worden met x(0), C(k), R(k), P(g) en y(0). Een eenvoudige optelling resulteert dan vervolgens in de nieuwe waarden van u(t), q(t) en s(t). Alhoewel er enerzijds extra geheugenruimte nodig is voor het opslaan van de tabellen is in de praktijk gebleken dat deze geheugenruimte past binnen de ruimte die beschikbaar is in de gangbare microcomputers. De tijdwinst die door het gebruik van de tabellen kan worden gerealiseerd en daarmee de verkorting van de periodeduur t zal over het algemeen veel zwaarder wegen dan de eventueel extra benodigde geheugencapaciteit.

CONCLUSIES

1. Werkwijze voor het simuleren van het gedrag van een voertuig onder invloed van variaties in de bedieningsorganen van het voertuig, waarbij gebruik wordt gemaakt van weergeefmiddelen om de simulatieresultaten aan een gebruiker te presenteren, met het kenmerk,

- dat in een mechanisch model van het voertuig onderscheid wordt gemaakt tussen diverse bewegende delen van het voertuig, die elk, onder invloed van de genoemde variaties in de bedieningsorganen, in mindere of meerdere mate gekoppeld kunnen zijn met andere delen van het voertuig, respectievelijk met de ondergrond waarover het voertuig zich kan bewegen,
- dat van elk van de genoemde delen in een wiskundig model een differentiaal vergelijking wordt opgesteld, waarvan de vorm mede afhangt van de aard van de koppeling tussen het betreffende deel en andere delen van het voertuig, respectievelijk de weg, zodat het gedrag van de totaliteit van het voertuig op een willekeurig moment beschreven kan worden door een stelsel van gekoppelde differentiaalvergelijkingen, waarbij de sterkte van de koppelingen afhangt van de stand van de bedieningsorganen,
- en dat tijdens het simuleren van het gedrag van het voertuig de bedieningsorganen met voorafbepaalde intervallen worden afgetast en de verkregen met de stand van deze organen corresponderende waarden worden gebruikt om a) vast te stellen of het stelsel van differentiaalvergelijkingen nog steeds actueel is en b) waarden te bepalen voor de ermee corresponderende parameters in het van toepassing zijnde stelsel, waarna op grond van de gevonden oplossing de genoemde weergeefmiddelen zodanig worden bestuurd, dat de visuele presentatie van de simulatieresultaten op de weergeefmiddelen wordt aangepast aan de nieuw berekende situatie.

2. Werkwijze volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat de genoemde delen van het voertuig die binnen het mechanische model afzonderlijk worden beschouwd en die in het wiskundige model in de vorm van variabelen deel uitmaken van tenminste een stelsel differentiaalvergelijkingen bestaan uit:

- het bewegende deel van de aandrijfmotor met het daarmee verbonden deel van de koppeling,
- het andere deel van de koppeling en de daarmee in vaste relatie verbonden bewegende delen van de versnellingsbak met inbegrip van een deel van de synchronisatiemechanismen in deze versnellingsbak,

- het andere deel van de synchronisatiemechanismen en de daarmee verbonden bewegende delen van de versnellingsbak, respectievelijk van het voertuig onderstel.

3. Werkwijze volgens conclusie 1 of 2, met het kenmerk, dat die deelberekeningen, die uitgevoerd moeten worden bij het oplossen van het stelsel vergelijkingen en die resulteren in een waarde, behorend tot een relatief beperkte groep van waarden, worden vervangen door een opzoekstap in een tabel, waarbij alle mogelijke waarden behorend tot de genoemde groep zodanig in deze tabel worden opgeslagen dat deze tabel, geadresseerd door de discrete gedigitaliseerde waarden van de variabelen, waarmee deelberekeningen moeten worden uitgevoerd, de juiste uitgangswaarde oplevert.

8901912

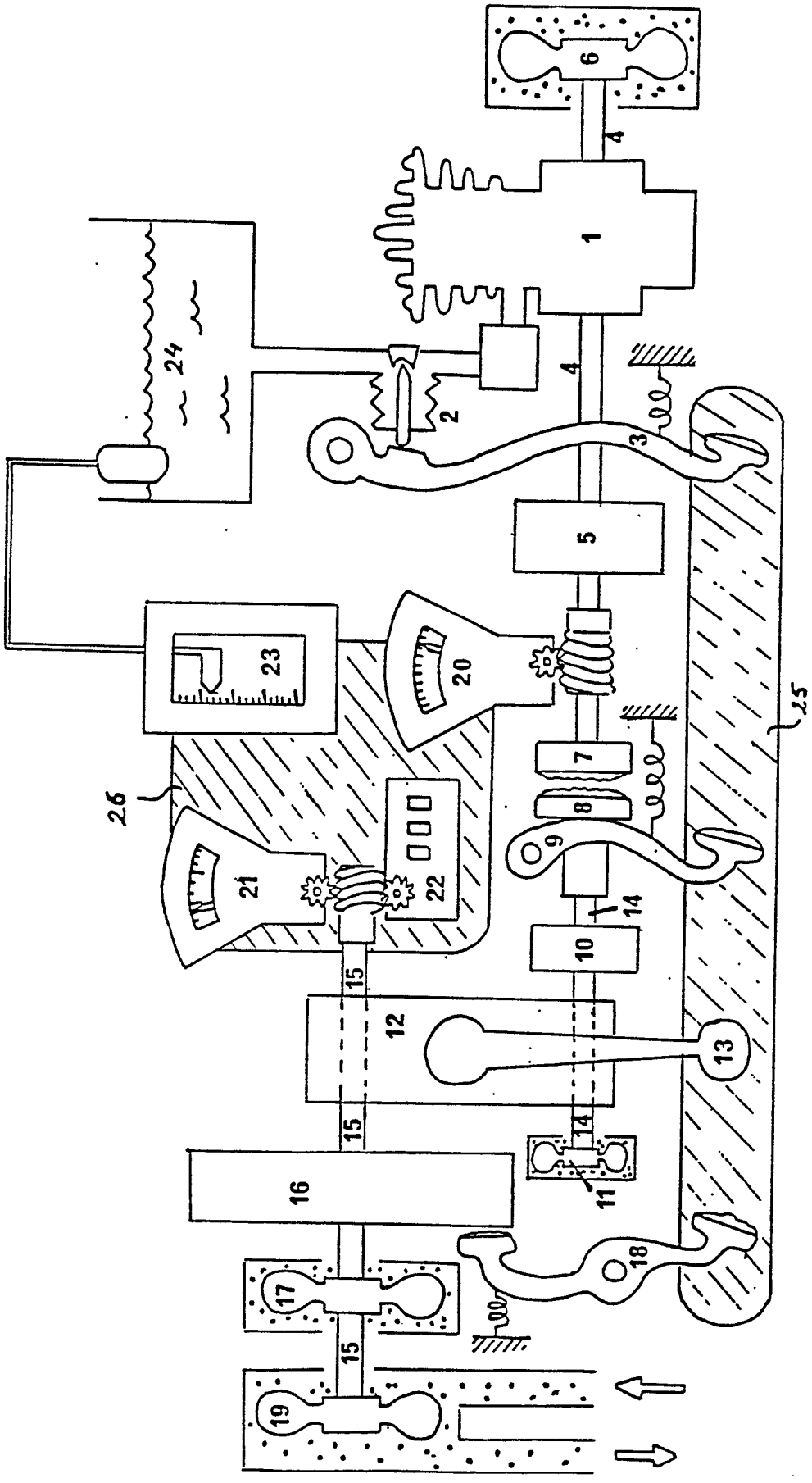

6
4
1
24
2
4
3
5
23
20
25
26
7
8
21
22
9
14
10
15
12
13
15
14
16
11
18
17
15
19

Fig_1

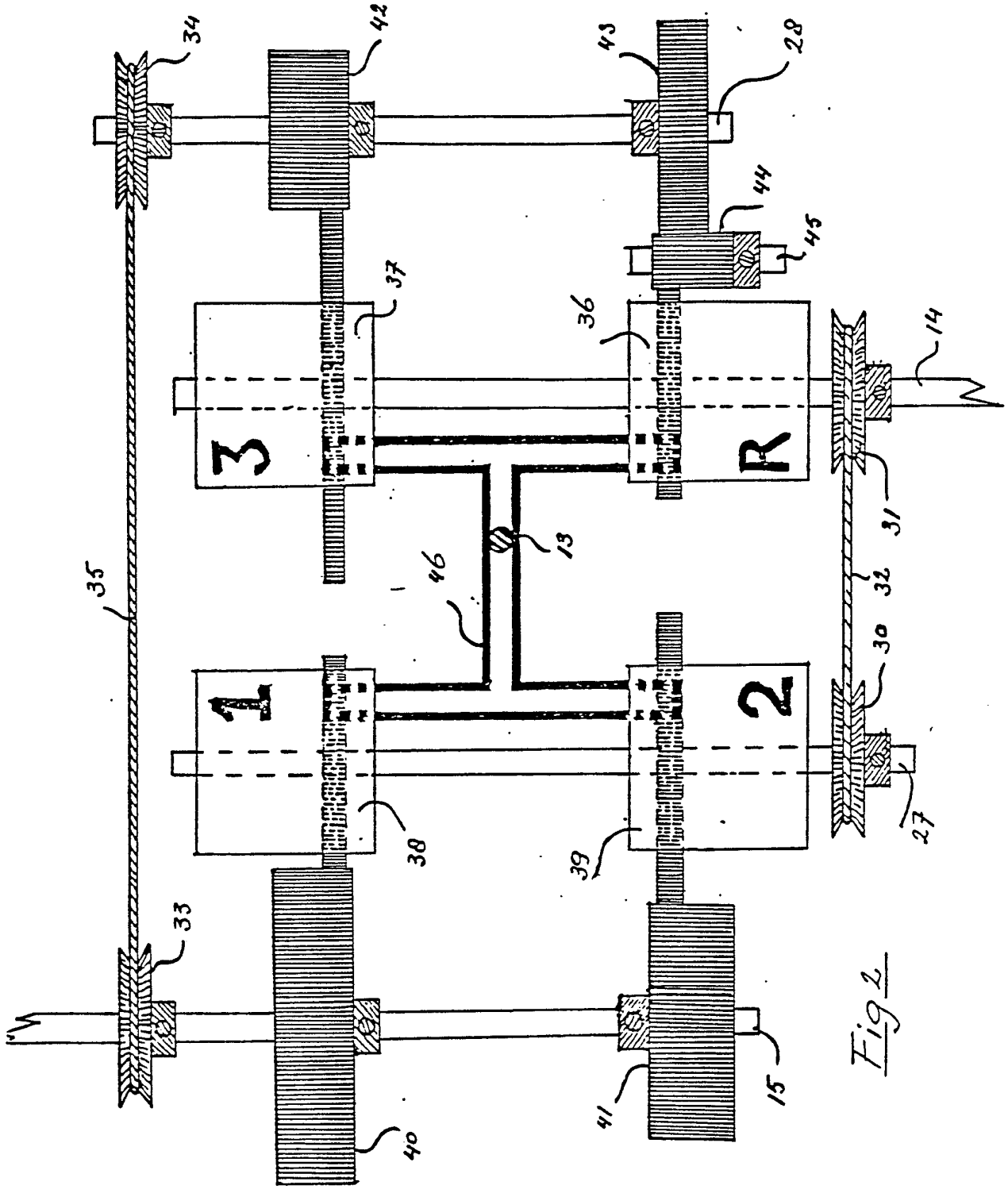


Fig 2

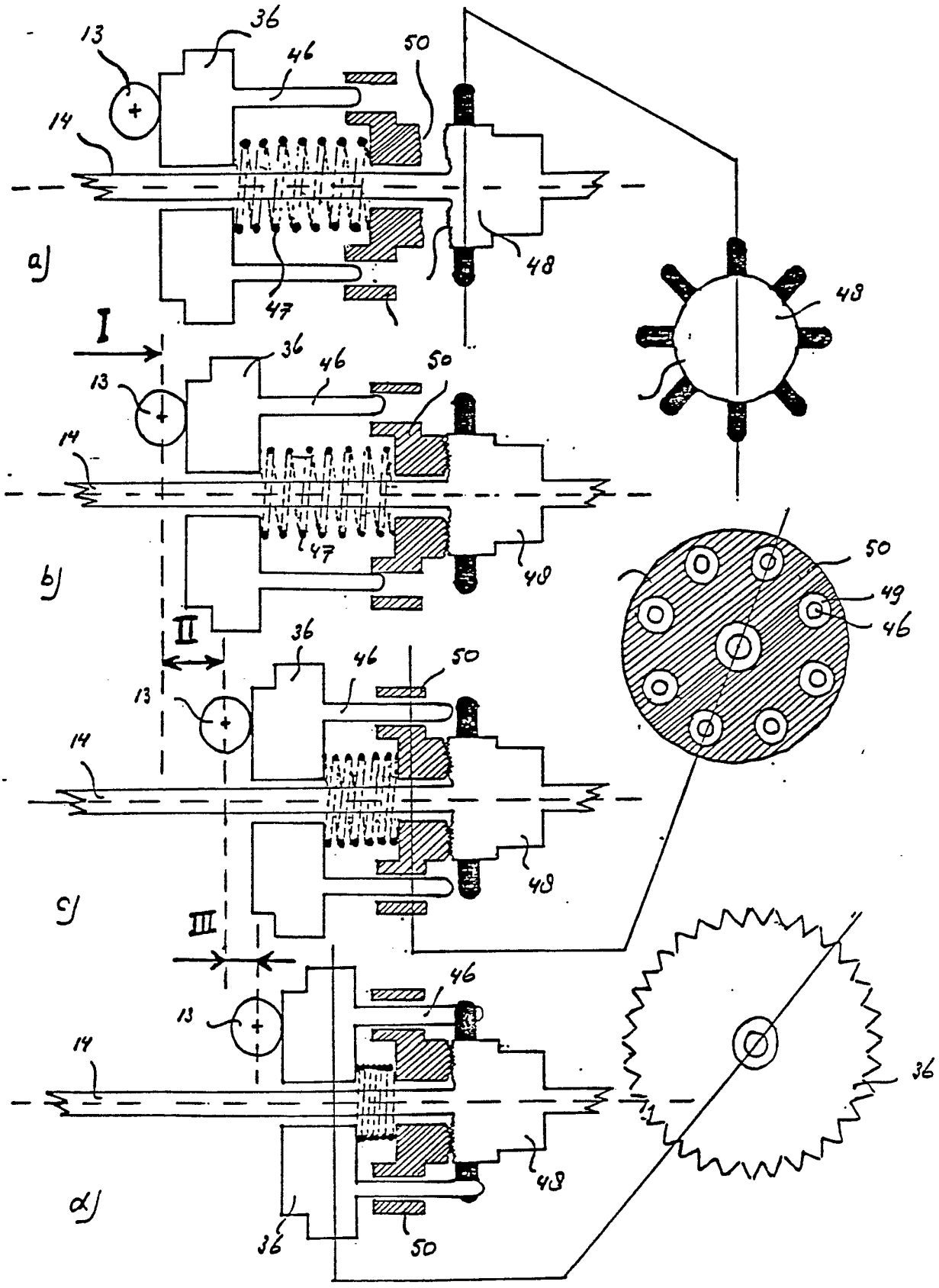


Fig 3

DE 4310068

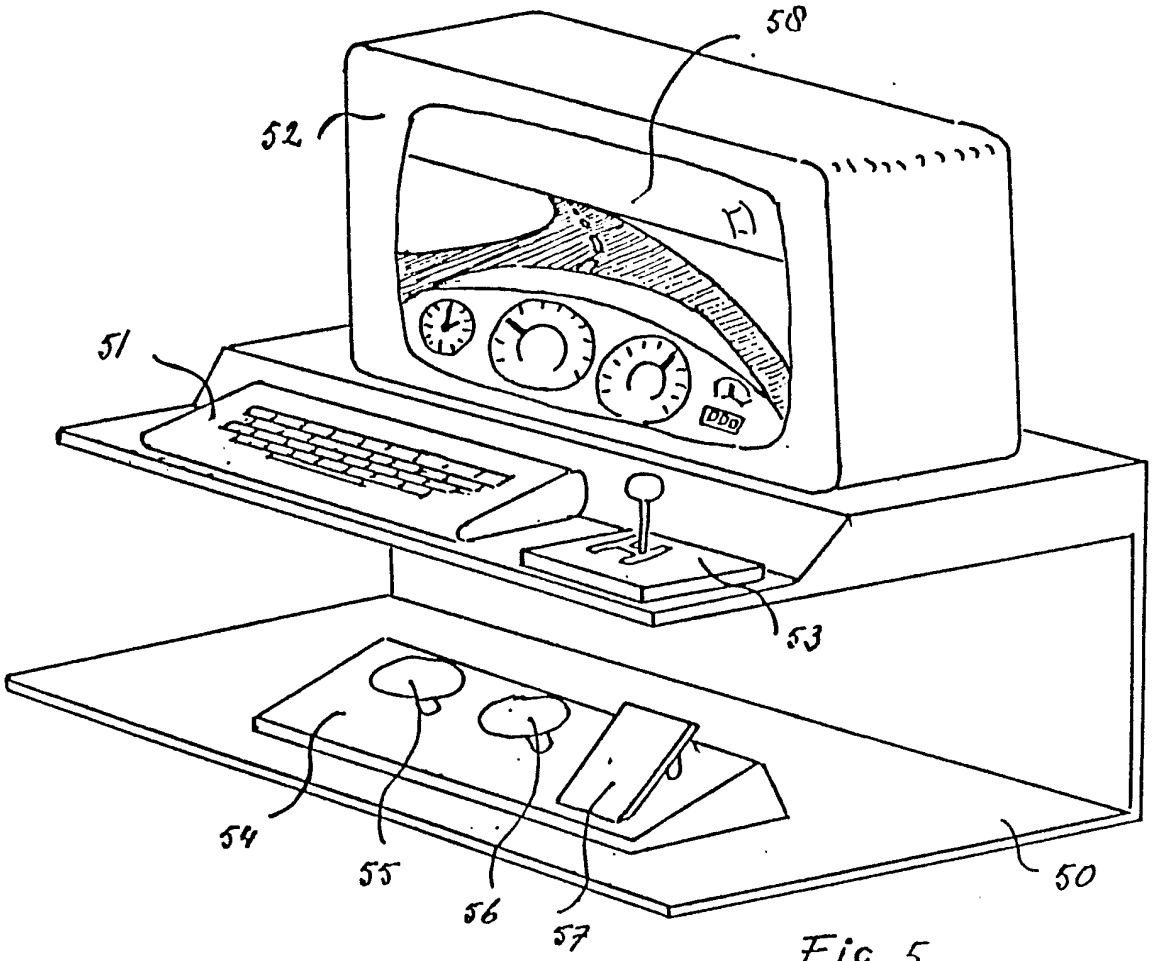


Fig. 5

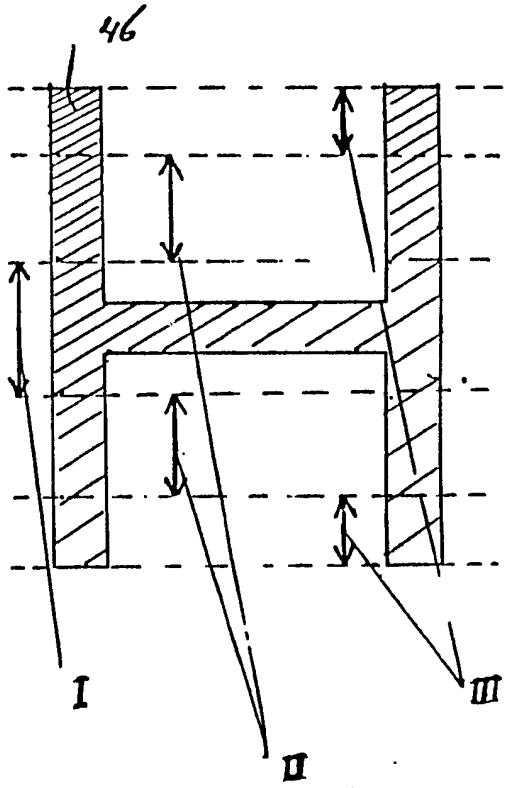


Fig 4

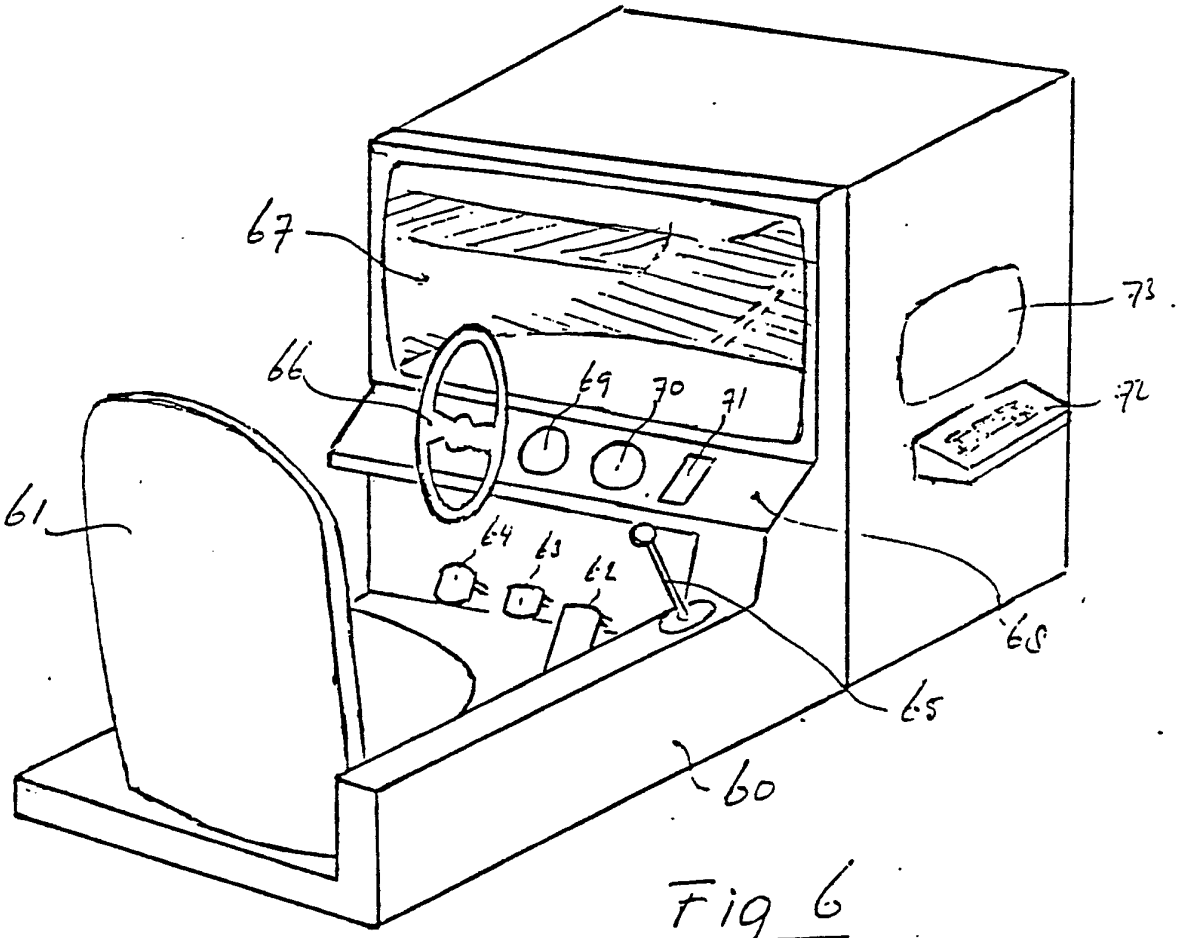
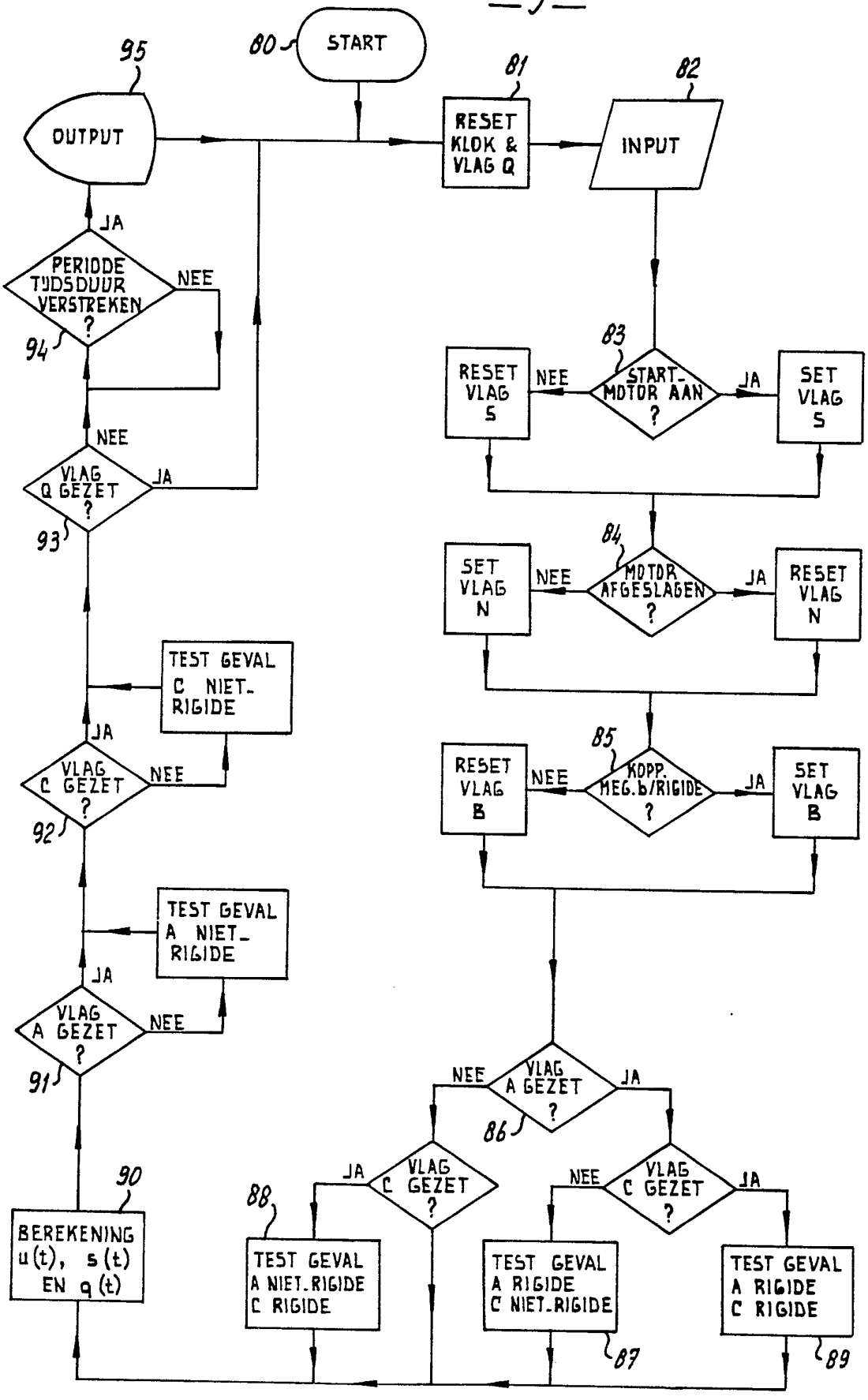


Fig 6

Fig 7


80
START
81
RESET KLOK & VLAG Q
82
INPUT
83
START-MOTOR AAN ?
JA
NEE
SET VLAG S
RESET VLAG S
84
MOTOR AFGESLAGEN ?
JA
NEE
RESET VLAG N
SET VLAG N
85
KOPP. MEG.b/RIGIDE ?
JA
NEE
SET VLAG B
RESET VLAG B
86
VLAG A GEZET ?
JA
NEE
87
TEST GEVAL A RIGIDE C NIET-RIGIDE
88
VLAG C GEZET ?
JA
NEE
TEST GEVAL A NIET-RIGIDE C RIGIDE
89
TEST GEVAL A RIGIDE C RIGIDE
90
BEREKENING u(t), s(t) EN q(t)
91
VLAG A GEZET ?
JA
NEE
TEST GEVAL A NIET-RIGIDE
92
VLAG C GEZET ?
JA
NEE
TEST GEVAL C NIET-RIGIDE
93
VLAG Q GEZET ?
JA
NEE
94
PERIODE TIJDSDUUR VERSTREKEN ?
JA
NEE
95
OUTPUT