
Octrooiraad



⑩ A **Terinzagelegging** ⑪ **8006091**

Nederland

⑲ **NL**

- ⑤4 **Vluchtnabootser.**
- ⑤1 Int.Cl³: G09B 9/08.
- ⑦1 Aanvrager: Fokker BV Postbus 7600 te 1117 ZJ Schiphol - Oost.
- ⑦4 Gem.: Ir. B.H.J. Schumann c.s.
Octrooibureau Arnold & Siedsma
de Ruyterlaan 2A
7511 JH Enschede.

-
- ②1 Aanvraag Nr. 8006091.
 - ②2 Ingediend 7 november 1980.
 - ③2 --
 - ③3 --
 - ③1 --
 - ⑥2 --

-
- ④3 Ter inzage gelegd 1 juni 1982.

De aan dit blad gehechte stukken zijn een afdruk van de oorspronkelijk ingediende beschrijving met conclusie(s) en eventuele tekening(en).

Korte aanduiding: Vluchtnabootser

De uitvinding betreft een vluchtnabootser, omvat-
tende:

(1) tenminste één element, waarvan de stand tijdens
de vlucht kan veranderen, zoals een bedieningsorgaan,
5 bijvoorbeeld een stuurknuppel;

(2) een met het of elk element gekoppeld, bijbeho-
rend programmeerbaar servomiddel, omvattende:

(a) een versterker;

(b) een met de uitgang daarvan gekoppelde servomotor;

10 (c) een tussen de servomotor en het element aangebrachte
kracht-elektrisch-signaalomzetter, waarvan de uit-
gang is gekoppeld met een eerste ingang van de
versterker;

15 (d) een aan het element aangebracht positie-elektrisch-
signaalomzetter, waarvan de uitgang is gekoppeld
met een tweede ingang van de versterker; en

(e) een computer, die op grond van de vluchtomstandig-
heden, en de relevante eigenschappen van het of elk
element een bij de toestand van dat element be-
20 horende kracht berekent en een daarmee overeenkomend
signaal aan de versterker toevoert.

Een dergelijke vluchtnabootser is in verschillende
uitvoeringen bekend. Bij een bekende vluchtnabootser wordt
gebruik gemaakt van drie tegenkoppellussen, waarmee
25 respectievelijk de positie, de snelheid (=de eerste afge-
leide van de positie) en de versnelling (=tweede afgeleide
van de positie) van het betreffende bedieningsorgaan
beheerst moeten worden.

30 Voor een juist begrip van de beperkingen en gebre-
ken van deze bekende vluchtnabootser, wordt nu eerst
verwezen naar de figuren 1 tot en met 5.

8006091

Figuur 1 toont een schematische voorstelling van een werkelijk systeem, bestaande uit een bedieningsorgaan en het daardoor te bedienen element, alsmede het via de koppeling daartussen optredende krachtenspel.

5 Figuur 2 toont een met fig. 1 corresponderend mechanisch analoog schema, waarin het krachtenspel meer in detail is weergegeven.

Figuur 3 toont nog eens het mechanische analogon van het aft-systeem.

10 Figuur 4 toont een blokschema van het voor het juiste begrip van de uitvinding belangrijkste deel van de bekende vluchtnabootser.

Figuur 5 toont de overdrachtsfunctie van de de wrijving simulerende schakeling volgens fig. 4.

15 Het systeem volgens fig. 1 omvat een stuurknuppel 1, waarop een kracht F kan worden uitgeoefend rond een scharnierpunt 2. Een stuurvlak 3 wordt via een koppeling 4, met demping 62, bestaande uit stangen, kabels e.d., en een servomechanisme 5 bediend.

20 Het blok 6 wordt gewoonlijk aangeduid als het "forward-systeem"; het blok 7 wordt gewoonlijk aangeduid als het "aft"-systeem.

25 Figuur 2 toont het mechanische analogon van het schema volgens fig. 1. In de getekende samenhang voldoen de diverse elementen aan onderstaande vergelijkingen:

$$X_c = X_2 - X_1 \quad \dots (1)$$

$$F_1 = M_1 \ddot{X}_1 + K_{D1} \dot{X}_1 + F_{\text{sys}t.1} + K_c X_c + K_{Dc} \dot{X}_c \quad \dots (2)$$

$$F_1 = F_2 \quad \dots (3)$$

$$F_2 = M_2 \ddot{X}_2 + K_{D2} \dot{X}_2 + F_{\text{sys}t.2} + F_{cF2} \quad \dots (4)$$

$$F_{\text{sys}t.2} = f(X_2, \dots) \quad \dots (5)$$

30

De diverse elementen zijn met verwijzingsgetallen aangeduid. Ze corresponderen volgens onderstaande lijst met de diverse fysische karakteriserende grootheden:

- 8 = X_c = rek (c.q. indrukking) van de koppeling 4;
5 9 = X_2 = verplaatsing van het stuurvlak 3;
10 = X_1 = verplaatsing van de stuurknuppel 1;
11 = M_1 = massa van de stuurknuppel 1;
12 = K_{D1} = dempingscoëfficiënt van stuurknuppel 1;
13 = $F_{\text{sys}t.1}$ = op M_1 werkende systeemkrachten, bijvoorbeeld
10 de zwaartekracht;
14 = K_c = stijfheid van de koppeling 4;
15 = F_1 = door de koppeling 4 op M_1 uitgeoefende kracht;
16 = F_2 = door de koppeling 4 op M_2 uitgeoefende kracht;
17 = K_{D2} = dempingscoëfficiënt;
15 18 = F_{CF2} = op M_2 werkende wrijvingskrachten;
19 = $F_{\text{sys}t.2}$ = op M_2 werkende systeemkrachten;
62 = K_{DC} = dempingscoëfficiënt van de koppeling 4;

De vergelijkingen (1) tot en met (5) leveren gezamenlijk een systeem van tenminste de vierde orde op. Het forward-systeem en het aft-systeem zijn namelijk
20 elk van tenminste de tweede orde. De vergelijkingen (1) tot en met (4) zullen geen nadere toelichten behoeven. Vergelijking (5) geeft weer, dat $F_{\text{sys}t.2}$ van nog andere grootheden dan van x_2 een functie kan zijn. In dit geval kan de orde van het systeem hoger en zelfs veel hoger zijn
25 dan twee.

Onder verwijzing naar fig. 3 wordt vergelijking (4) nu als volgt herschreven:

$$\ddot{X}_2 = \frac{F_2 - K_{D2}\dot{X}_2 - F_{\text{sys}t.2} - F_{CF2}}{M_2} \quad \dots (4a)$$

Tevens geldt:

30 $\dot{X}_2 = \int \ddot{X}_2 dt \quad \dots (6)$

$$X_2 = \int \dot{X}_2 dt = \iint \ddot{X}_2 dt dt \quad \dots (7)$$

$$F_{CF2} = K_{CF2} \frac{\dot{X}_2}{|\dot{X}_2|} \dots (8)$$

De vergelijkingen (6) en (7) spreken voor zichzelf. In vergelijking (8) is K_{CF2} = de Coulombwrijvingskracht. Zoals vergelijking (8) weergeeft, is de richting van deze kracht altijd tegengesteld aan de bewegingsrichting, ook voor zeer kleine snelheden.

In een statische situatie geldt nu:

$$|F_2 - F_{\text{sys}t.}| \leq |F_{CF2}| \dots (9)$$

en $X_2 = 0 \dots (10)$

10 $\dot{X}_2 = 0 \dots (11)$

$$\ddot{X}_2 = 0 \dots (12)$$

Figuur 4 toont een bekende simulatie van een tweede-orde systeem met Coulombwrijving.

Het ingangssignaal correspondeert met de kracht F_2 aangeduid met 15. Het uitgangssignaal correspondeert met de positie X_2 aangeduid met het getal 9. Het kracht-signaal 15 wordt toegevoerd aan een combineerschakeling 119 waarvan de uitgang is verbonden met de ingang van een deler 20 die zijn ingangssignaal deelt door de massa M_2 . De uitgang van de deler 20 is verbonden met de ingang van een eerste integrator 21 waarvan de uitgang is verbonden met de ingang van een tweede integrator 22. De uitgang van de eerste integrator 22 is verbonden met een eerste tegenkoppelschakeling 23 en een tweede tegenkoppelschakeling 24, de uitgangen van welke tegenkoppelschakelingen elk met een inverterende ingang

van de combineerschakeling 119 zijn verbonden. De schakeling 23 representeert de wrijving en bezit daartoe een zodanige overdrachtskarakteristiek, dat bij een positief ingangssignaal van willekeurige grootte een vast positief
5 uitgangssignaal wordt verkregen en bij een negatief ingangssignaal van willekeurige grootte een negatief uitgangssignaal van dezelfde vooraf bepaalde grootte. De tweede tegenkoppelschakeling 24 representeert de viskeuze demping. De uitgang van de tweede integrator 22 is ver-
10 bonden met een ingang van een computer 25, waarvan de uitgang met een inverterende ingang met een combineerschakeling 119 is verbonden. Aan een uitgang van de computer is $F_{\text{syst.2}}$ 19 beschikbaar.

Opgemerkt wordt dat de massa M_2 in het systeem volgens fig.4 niet nul mag worden. De randvoorwaarden voor de integratoren 21 en 22 zijn nul gekozen. De demping K_{D2} die wordt gerepresenteerd door de tweede tegenkoppelschakeling 24 mag wel nul worden.

In het kader van de eerste tegenkoppelschakeling 23
20 is de overdrachtsfunctie weergegeven. Deze overdrachtsfunctie impliceert een oneindig hoge versterkingsfactor. Als gevolg van de begrenzingen aan de versterkingsfactor vertoont de overdrachtsfunctie afwijkingen van de weergegeven ideale vorm. Figuur 5 toont een realistisch voor-
25 beeld van de overdrachtsfunctie. Het resultaat van deze overdrachtsfunctie volgens fig. 5 is, dat de te simuleren Coulomb-frictie zich binnen het met 25 aangeduide gebied gedraagt als een dempingsterm. Hierbij wordt de aandacht er op gevestigd, dat juist in het gebied rond de waarde 0
30 de subjectieve waarneming van de wrijving dominerend is voor de realistische simulatie.

Een verdere uiterst belangrijke consequentie van de overdrachtsfunctie volgens fig. 5 is, dat de gestabiliseerde eindwaarde van x_2 altijd 0 wordt voor $F_2 = 0$.
35 Aan de vergelijkingen (9) tot en met (12) is dus niet te voldoen.

Uit de voorgaande beschrijving van een representatief voorbeeld uit de stand der techniek volgen een aantal beperkingen en gebreken.

Het blijkt met de bekende techniek onmogelijk te
5 zijn, voldoende realistische simulaties te verkrijgen voor
zeer kleine krachten rond de waarde 0. Daartoe zou namelijk
een oneindig grote versterkingsfactor nodig zijn. In het ge-
val van zeer kleine krachten moet gedacht worden aan de
statische stijfheden en wrijvingen. In het geval van zeer
10 kleine snelheden moet gedacht worden aan dynamische verschijn-
selen, waaronder onder meer gerekend worden: krachtenverlo-
pen, massa's, demping. Deze moeten voor een subjectief
realistisch systeem worden benaderd door een hogere orde
dan 2, hetgeen de waarde is waartoe de vluchtsimulator vol-
15 gens de stand der techniek beperkt is.

Verder blijkt het bekende systeem niet voldoende
in staat tot onderdrukking, bijvoorbeeld door compensatie,
van in het systeem gegenereerde storingen. Bijvoorbeeld
voor het door tegenkoppeling compenseren van ruis-storingen
20 in de servomotor, bijvoorbeeld een lineaire hydromotor, is
een hoge open-lus-versterking nodig, die gemakkelijk tot
instabiliteit aanleiding geeft.

De uitvinding stelt zich ten doel, een vluchtnaboot-
ser te bieden die een volmaakt natuurgetrouwe simulatie
25 van alle praktische systemen verschaft en geen beperkingen
stelt aan de orde van het te simuleren systeem.

Verder stelt de uitvinding zich ten doel, een
vluchtnabootser te verschaffen, die geen stabiliteitspro-
blemen kent, ongeacht de orde van het systeem.

30 Tevens stelt de uitvinding zich ten doel een
vluchtnabootser te verschaffen, waarvan de effectieve
bandbreedte tenminste gelijk is aan die van de vlucht-
nabootser volgens de stand der techniek.

Ter bereiking van de bovengenoemde doelstellingen
35 stelt de uitvinding een vluchtnabootser van de in de aan-

hef vermelde type voor, die de bijzonderheid bezit, dat de computer met de versterker is gekoppeld via een de relevante mechanische eigenschappen van het betreffende element weergevend analogon.

5 Bij voorkeur omvat het elektrische analogon:

(1) een deler voor het door een met de massa van het element evenredige waarde delen van hetingangssignaal;

(2) een met de uitgang van de deler verbonden, eerste integrator; en

10 (3) een met de uitgang van de eerste integrator verbonden tweede integrator, waarvan de uitgang met de ingang van de versterker is gekoppeld.

Tevens kan de uitgang van de deler en/of die van de eerste integrator met de versterker gekoppeld zijn.

15 De vluchtnabootser volgens de uitvinding kan het kenmerk vertonen dat een verschilversterker aanwezig is, waarvan de ene ingang met de positie-elektrisch-sig-naal-omzetter, de andere ingang met de uitgang van de tweede integrator en de uitgang met een ingang van de versterker is gekoppeld.

20 Een voorkeursuitvoeringsvoorbeeld van de nabootser volgens de uitvinding is gekenmerkt door:

(1) een eerste combineerschakeling, die met zijn eerste ingang is verbonden met de uitgang van de tweede integrator;

(2) een derde combineerschakeling, waarvan de ene ingang is verbonden met de uitgang van de eerste combineerschakeling en de tweede ingang is verbonden met uitgang van de computer;

30 (3) een tweede-ordeschakeling, waarvan de ingang is verbonden met de uitgang van de derde combineerschakeling en de uitgang is verbonden met de ingang van de computer en een tweede ingang van de eerste combineerschakeling,

alsmede een tweede combineerschakeling waarvan de uitgang is verbonden met de ingang van de deler, en een eerste ingang is verbonden met de kracht-elektrisch-sig-naal-

omzetter en een tweede ingang is verbonden met de uitgang van de eerste combineerschakeling.

Een zeer natuurgetrouwe nabootsing van de wrijvingskarakteristieken van een te bedienen element wordt
5 verkregen met een vluchtnabootser waarvan de tweede-
ordeschakeling een simulatieschakeling omvat, die slechts een uitgangssignaal afgeeft, indien de absolute waarde van het ingangssignaal een voorafgekozen waarde overschrijdt, waarbij het teken van het uitgangssignaal eenduidig
10 samenhangt met het teken van het ingangssignaal, en de voorafgekozen waarde correspondeert met een statische wrijving. Deze simulatieschakeling kan een van een differentiator voorzien tegenkoppellus vertonen.

Voor het verhogen tot een willekeurige gewenste orde
15 van het systeem kan de vluchtnabootser volgens de uitvinding zijn gekenmerkt door een cascadeschakeling van eenheden van het genoemde type, zodanig dat de orde van het systeem gelijk is aan tweemaal het aantal gecascadeerde eenheden.

20 De beschreven niet-lineariteiten zijn noodzakelijk voor het natuurgetrouw simuleren van niet-lineaire mechanische verschijnselen. Gedacht kan bijvoorbeeld worden aan het overbrengen van een lineaire beweging naar een roterende beweging en omgekeerd of overbrengingen met een schaar-
25 of stangenconstructie. De niet-lineaire verschijnselen kunnen worden uitgedrukt door overdrachtsfuncties met dode banden, begrenzingen, stapsgewijze overgangen en/of krommingen.

De uitvinding zal nu worden toegelicht aan de hand
30 van de figuren 6 en 7.

Fig. 6 toont een uitvoeringsvoorbeeld van een vierde-orde vluchtnabootser volgens de uitvinding. De piloot oefent een kracht F uit op de stuurknuppel 1, die via het scharnierpunt 2 en een krachtopnemer 26 is gekoppeld met de zuiger 27 van de lineaire hydraulische motor 28, waarvan de servoklep 29 kan worden bestuurd vanuit de versterker 30. De kracht-elektrisch-signaalomzetter 26 is via een potentiometer 31 verbonden met een inverterende ingang van de versterker 30. Het zal zonder toelichting duidelijk zijn, dat de beschreven lus een kracht-servolus of kracht-tegenkoppellus vormt. De krachtopnemer 26 geeft een met de gemeten kracht corresponderend signaal 32 af. Hiermee wordt gecorrigeerd op statische belastingfouten die bijvoorbeeld het gevolg kunnen zijn van de compressibiliteit van de toegepaste olie. Het signaal 32 wordt tevens toegevoerd aan een blok 132, dat een elektrisch analogon of vervangingschema van het forward-systeem 6 representeert.

Zoals nog meer in detail zal worden besproken, is het analogon 132 verbonden met een analogon 33, dat de eigenschappen van de koppeling 4 weergeeft. Dit analogon 33 is op zijn beurt verbonden met een analogon 34, dat de eigenschappen van het aft-systeem 7 weergeeft. Het is van het grootste belang op te merken, dat het analogon 34 kan bestaan uit een met de te simuleren orde van het aft-systeem corresponderend aantal blokken 35, die elk op zichzelf een tweede-ordessysteem vertegenwoordigen, zoals later aan de hand van figuur 7 zal worden besproken. Aldus kan door cascadering elke gewenste orde van het aft-systeem worden verkregen. Het "onderste" blok 35 van het analogon 34 is verbonden met een computer 36, die dienst doet voor het simuleren van de vluchtomstandigheden.

Met de stuurknuppel 1 is tevens gekoppeld een positie-elektrisch-signaalomzetter 37, waarvan de uitgang via een versterker 38 en een potentiometer 39 is verbonden met een ingang van de versterker 30.

8006091 Het analogon 132 van het forward-systeem omvat een

deler 40 voor het door een met de gewenste massa van de stuurknuppel 1 evenredige waarde delen van het ingangssignaal, een met de uitgang van de deler 40 verbonden eerste integrator 41 en een met de uitgang van de eerste integrator verbonden tweede integrator 42, waarvan de uitgang via de versterker 38 en de potentiometer 39 met een ingang van de versterker 30 is gekoppeld.

In het onderhavige uitvoeringsvoorbeeld zijn ook de uitgang van de deler 40 en de uitgang van de integrator 41 met de ingangen van de versterker 30 gekoppeld en wel via respectievelijke potentiometers 43, 44. Het met 45 aangeduide uitgangssignaal van de versterker 38 correspondeert, zoals naar het voorgaande duidelijk zal zijn, met het verschil tussen de gewenste en de gemeten positie van de stuurknuppel 1. De signalen 46 en 47 die aan respectievelijk de potentiometer 43 en 44 worden toegevoerd doen dienst voor het stimuleren van een snelle responsie op veranderingen van het systeem.

Het koppelingsanalogon 33 is uitgevoerd als eerste combineerschakeling 48 die met zijn eerste ingang via een niet-lineaire schakeling 63 is verbonden met de uitgang van de tweede integrator 42. Het analogon 132 omvat een tweede combineerschakeling 49 waarvan de uitgang is verbonden met de ingang van de deler 40 en waarvan een eerste ingang is verbonden met de kracht-elektrisch-signaalomzetter 26 en een tweede ingang is verbonden met de uitgang van de eerste combineerschakeling 48. De uitgang van de eerste combineerschakeling 48 is via een met de later te beschrijven schakeling 51 corresponderende niet-lineaire simulatieschakeling 56 verbonden met de derde combineerschakeling 50 en, via een door het uitgangssignaal van de tweede integrator bestuurbare tweede niet-lineaire schakeling 64, met de tweede combineerschakeling 49.

De eenheid 35 omvat een derde combineerschakeling 50, waarvan de ene ingang is gekoppeld met de uitgang

van de eerste combineerschakeling 48 en de tweede ingang is verbonden met de uitgang van de computer 36, alsmede een tweede-ordeschakeling waarvan de ingang is verbonden met de uitgang van de derde combineerschakeling 50 en
5 de uitgang is verbonden met een ingang van de computer. en een tweede ingang van de eerste combineerschakeling

De genoemde tweede-ordeschakeling omvat een simulatieschakeling 51 die slechts een uitgangssignaal afgeeft indien de absolute waarde van het ingangssignaal
10 een voorafgekozen waarde overschrijdt waarbij het teken van het uitgangssignaal eenduidig samenhangt met het teken van het ingangssignaal en de voorafgekozen waarde correspondeert met een statische wrijving. De simulatieschakeling 51 is voorzien van een tegenkoppelketen, bestaande uit
15 een differentiator 52, een instelbare versterker 53 en een verschilyersterker 54. Met betrekking tot de overdrachtsfunctie van de simulatieschakeling wordt opgemerkt, dat de dode band en de helling beide afzonderlijk instelbaar zijn. Hierbij correspondeert de dode band met de statische wrijving en de helling met de reciproke van de demping.
20

De verzwakker 53 dient voor instelling van de massa K_2 van het stuurvlak. De uitgang van de simulatieschakeling 51 is verbonden met de ingang van een integrator 55, waarvan de uitgang is gekoppeld met de genoemde
25 ingang van de computer en met de genoemde tweede ingang van de eerste combineerschakeling 48.

Het uitgangssignaal van de tweede integrator 42 wordt tevens aan een verdere ingang van de computer 36 toegevoerd. Een verdere uitgang van de computer levert
30 $F_{\text{sys}t.2}$ 19, welk signaal via de ingang 61 aan de tweede combineerschakeling 49 wordt toegevoerd.

Vooruitlopend op de bespreking van fig. 7 wordt nu reeds onder meer met betrekking tot de verbinding tussen de tweede integrator 42 en de computer 36 opgemerkt, dat
35 aan de computer in het algemeen diverse "ideale", dat wil zeggen gewenste of berekende positie signalen worden toegevoerd, dus niet vanaf bijvoorbeeld de positie-op-

nemer 37, aangezien die een realistisch, niet-ideaal positie-signaal afgeeft. Ook het signaal 9 aan de uitgang van de integrator 55 is een dergelijk signaal, namelijk de "positie" van het analogon 34, 35.

5 Van een vierde combineerschakeling 65 zijn de twee ingangen verbonden met respectievelijk de uitgang van de eerste integrator 41 en de uitgang van de simulatieschakeling 51 en is de uitgang verbonden met een ingang van de eerste combineerschakeling 48. De eventueel instelbare
10 versterking van de schakeling 65 representeert de demping van de koppeling.

Aan de uitgang van de niet-lineaire schakeling 56 is een signaal 57 beschikbaar, dat correspondeert met de kracht $F_1 = F_2$. Dit signaal kan men zich vanaf de vertakking
15 58 gesplitst denken in een met F_1 corresponderend signaal 59 en een identiek met F_2 corresponderend signaal 60.

De tweede combineerschakeling 49 is in het onder-havige uitvoeringsvoorbeeld voorzien van een verdere ingang 61 waaraan door de computer 36 een met
20 $F_{\text{sys},1}$ corresponderend signaal 19 kan worden toegevoerd. Het signaal 9 aan de uitgang van de integrator 55 correspondeert met x_2 . Het signaal 13 aan de uitgang van de computer 36 correspondeert met $F_{\text{sys},2}$. Het signaal 9 correspondeert met de positie van het analogon, d.w.z. de
25 gewenste positie van de stuurknuppel.

Figuur 7 toont bij wijze van voorbeeld een cascadering van twee tweede-orde blokken, die te zamen een vierde-orde analogon van het aft-systeem 7 vormen.

Gezien de uitgebreide behandeling van het
30 lagere-orde systeem volgens fig. 6 wordt nu volstaan met een verwijzing naar het voorbeeld volgens fig. 7. Aan de hand daarvan zal het duidelijk zijn, hoe een verdere verhoging van de orde van het systeem kan worden bereikt.

Opgemerkt wordt, dat de verschillende eenheden volgens figuur 7 met dezelfde verwijzingsgetallen zijn aangeduid als in fig. 6. Bedoeld is hiermee, dat

eenheden met eenzelfde verwijzing zich elektrisch gelijk gedragen; wel kunnen verschillen in instelling bestaan, bijvoorbeeld versterkingsfactoren, dode banden, deilverhouding.

- 5 Met nadruk wordt erop gewezen, dat de vluchtnabootser volgens de uitvinding voldoet aan alle in het voorgaande weergegeven vergelijkingen, inclusief die, welke de Coulombwrijving uitdrukken. Aldus verschaft de uitvinding een volmaakt natuurgetrouwe simulatie van alle relevante
- 10 mechanische systeemeigenschappen, met inbegrip van de wrijving, en wel voor elke gewenste orde van het te simuleren systeem.

Conclusies

1. Vluchtnabootser, omvattende:

(1) tenminste één element, waarvan de stand tijdens de vlucht kan veranderen, zoals een bedieningsorgaan, bijvoorbeeld een stuurknuppel, waarmee een stuwvlak gekoppeld is;

5 (2) een met het of elk element gekoppeld, bijbehorend programmeerbaar servomiddel, omvattende:

(a) een versterker;

(b) een met de uitgang daarvan gekoppelde servomotor;

10 (c) een tussen de servomotor en het element aangebrachte kracht-elektrisch-signaalomzetter, waarvan de uitgang is gekoppeld met een eerste ingang van de versterker;

(d) een aan het element aangebrachte positie-elektrisch-signaalomzetter, waarvan de uitgang is gekoppeld met
15 een tweede ingang van de versterker; en

(e) een computer, die op grond van de vluchtomstandigheden en de relevante eigenschappen van het of elk element een bij de toestand van dat element behorende kracht berekent en een daarmee overeenkomend signaal
20 aan de versterker toevoert;

met het kenmerk, dat de computer met de versterker is gekoppeld via een de relevante mechanische eigenschappen van het betreffende element weergevend elektrisch analogon.

25 2. Vluchtnabootser volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat het elektrische analogon omvat:

(1) een deler voor het door een met de gewenste massa van het element evenredige waarde delen van het ingangssignaal;

(2) een met de uitgang van de deler verbonden eerste integrator; en

30 (3) een met de uitgang van de eerste integrator verbonden tweede integrator, waarvan de uitgang met de ingang van de versterker is gekoppeld.

35 3. Vluchtnabootser volgens conclusie 2, met het kenmerk, dat de uitgang van de deler met de versterker gekoppeld is.

8006091

4. Vluchtnabootser volgens conclusie 2, met het kenmerk, dat de uitgang van de eerste integrator met de versterker gekoppeld is.

5. Vluchtnabootser volgens één der conclusies 2-4, gekenmerkt door een verschilversterker, waarvan de ene ingang met de positie-elektrisch-signaalomzetter, de andere ingang met de uitgang van de tweede integrator en de uitgang met een ingang van de versterker is gekoppeld.

6. Vluchtnabootser volgens één der conclusies 2-5, gekenmerkt door tenminste één eenheid, die omvat:

(1) een eerste combineerschakeling, die met zijn eerste ingang is verbonden met de uitgang van de tweede integrator;

(2) een derde combineerschakeling, waarvan de ene ingang is verbonden met de uitgang van de eerste combineerschakeling en de tweede ingang is verbonden met uitgang van de computer;

(3) een tweede-ordeschakeling, waarvan de ingang is verbonden met de uitgang van de derde combineerschakeling en de uitgang is verbonden met een ingang van de computer en een tweede ingang van de eerste combineerschakeling,

alsmede een tweede combineerschakeling waarvan de uitgang is verbonden met de ingang van de deler, en een eerste ingang is verbonden met de kracht-elektrisch-signaalomzetter en een tweede ingang is verbonden met de uitgang van de eerste combineerschakeling.

7. Vluchtnabootser volgens conclusie 6, met het kenmerk, dat de uitgang van de eerste combineerschakeling is gekoppeld met de genoemde ingang van de tweede combineerschakeling via een variabel niet-lineair element met een sturingang die is gekoppeld met tenminste een van de ingangen van de eerste combineerschakeling.

8. Vluchtnabootser volgens conclusie 6 of 7, met het kenmerk, dat de uitgang van de tweede integrator is gekoppeld met de ingang van de eerste combineerschakeling via een niet-lineair element.

9. Vluchtnabootser volgens conclusie 6, 7, of 8, met het kenmerk, dat de eerste combineerschakeling een niet-lineair element omvat.

10. Vluchtnabootser volgens één der conclusies 6-9, gekenmerkt door een vierde combineerschakeling met instelbare versterkingsfactor, waarvan de ene ingang is gekoppeld met de uitgang van de eerste integrator, de tweede ingang is gekoppeld met de uitgang van de simulatieschakeling en de uitgang is gekoppeld met een ingang van de eerste combineerschakeling.

15. Vluchtnabootser volgens conclusie 6, met het kenmerk, dat de tweede-ordeschakeling een simulatieschakeling met eventueel instelbare versterkingsfactor omvat, die slechts een uitgangssignaal afgeeft, indien de absolute waarde van het ingangssignaal een voorafgekozen waarde overschrijdt, waarbij het teken van het uitgangssignaal eenduidig samenhangt met het teken van het ingangssignaal, en de voorafgekozen waarde correspondeert met een statische wrijving.

20. Vluchtnabootser volgens conclusie 11, met het kenmerk, dat de simulatieschakeling is voorzien van een tegenkoppellus, die bestaat uit een serieschakeling van een differentiator en een eventueel regelbare versterker.

25. Vluchtnabootser, volgens conclusie 11 of 12, gekenmerkt door een integrator, die met zijn ingang is gekoppeld met de uitgang van de simulatieschakeling en met zijn uitgang is gekoppeld met de genoemde ingang van de computer en de genoemde tweede ingang van de combineerschakeling.

30. Vluchtnabootser volgens één der conclusie 6-13, gekenmerkt door een cascadeschakeling van eenheden van het genoemde type, zodanig dat de orde van het systeem gelijk is aan ten hoogste tweemaal het aantal gecascadeerde eenheden.

8006091

"1/3"

FIG. 1

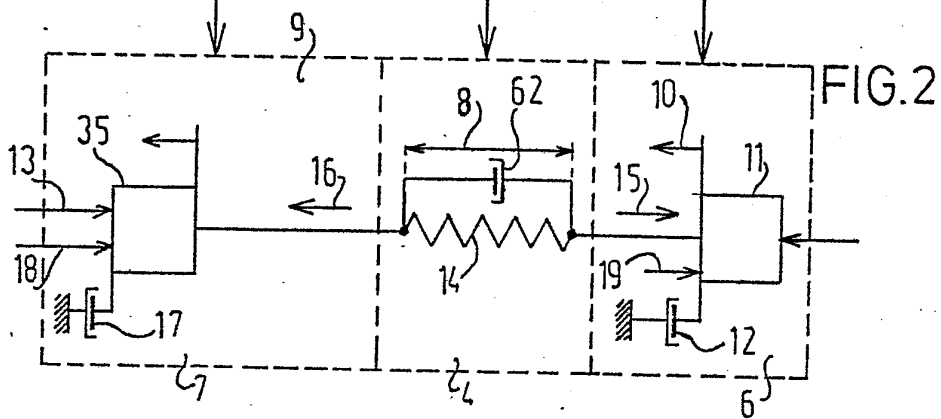
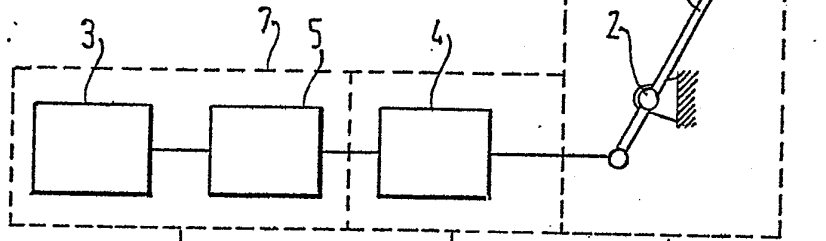


FIG. 3

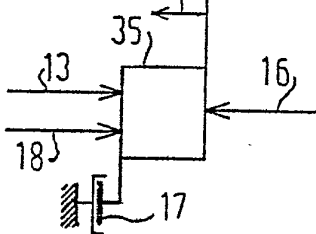
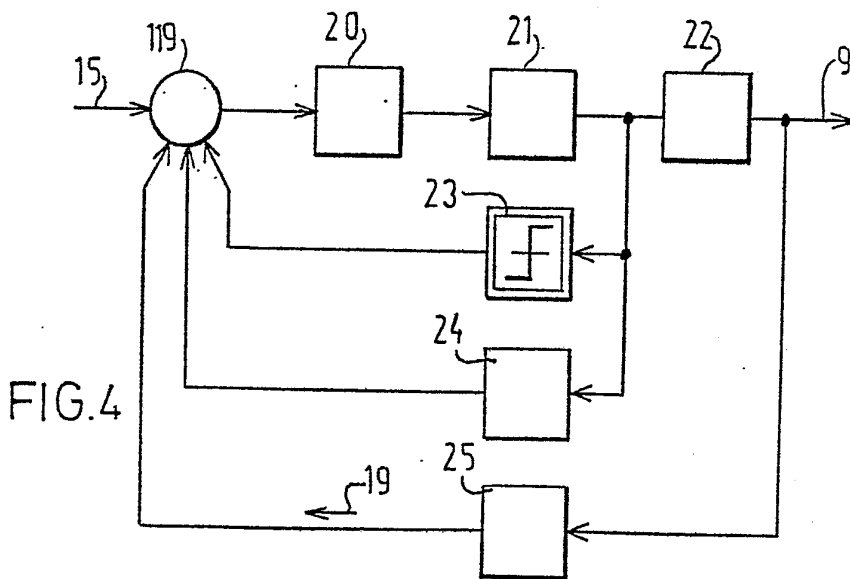
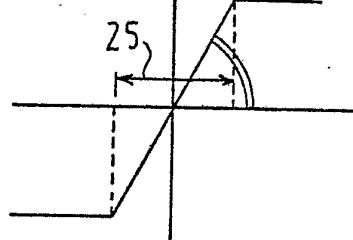
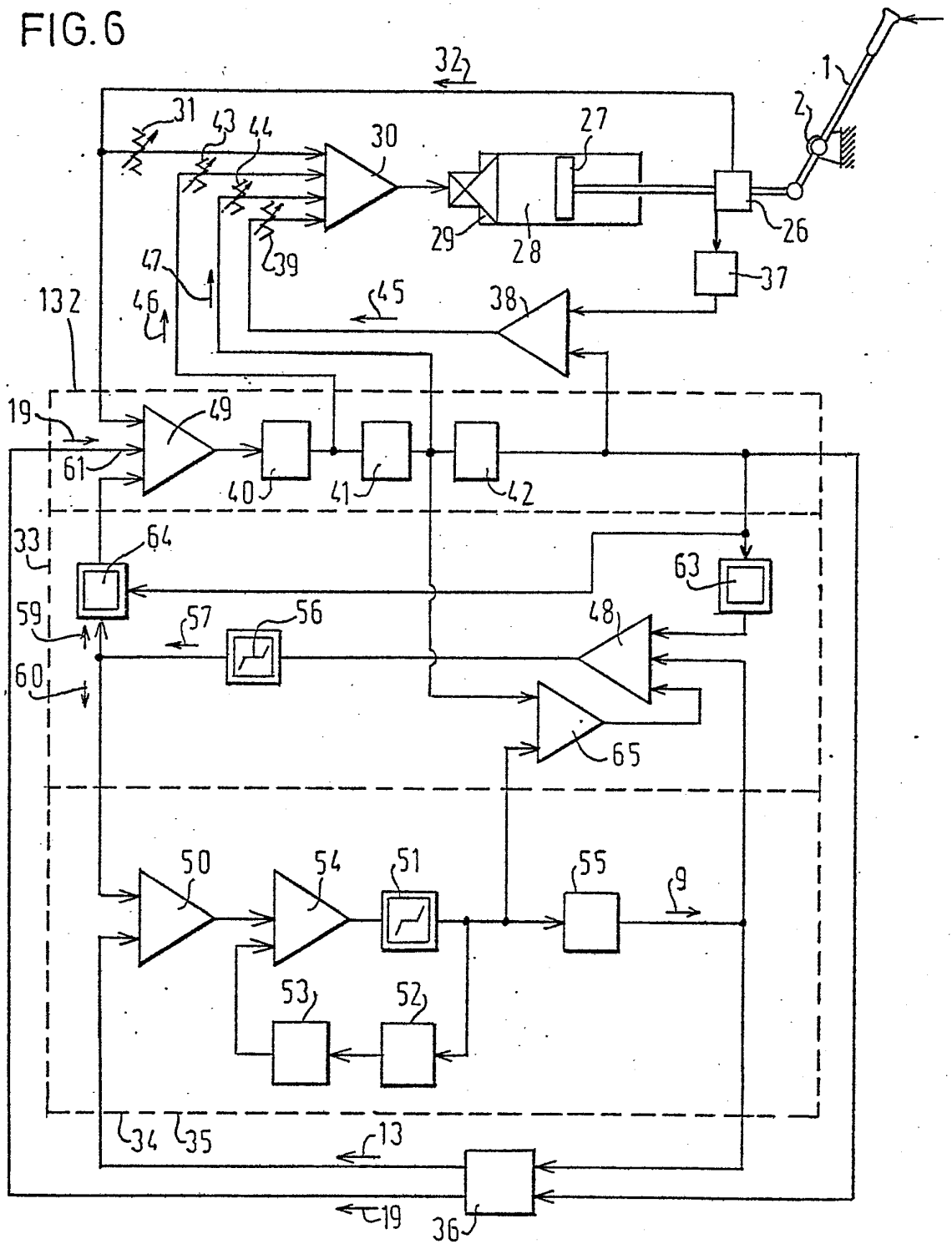


FIG. 5



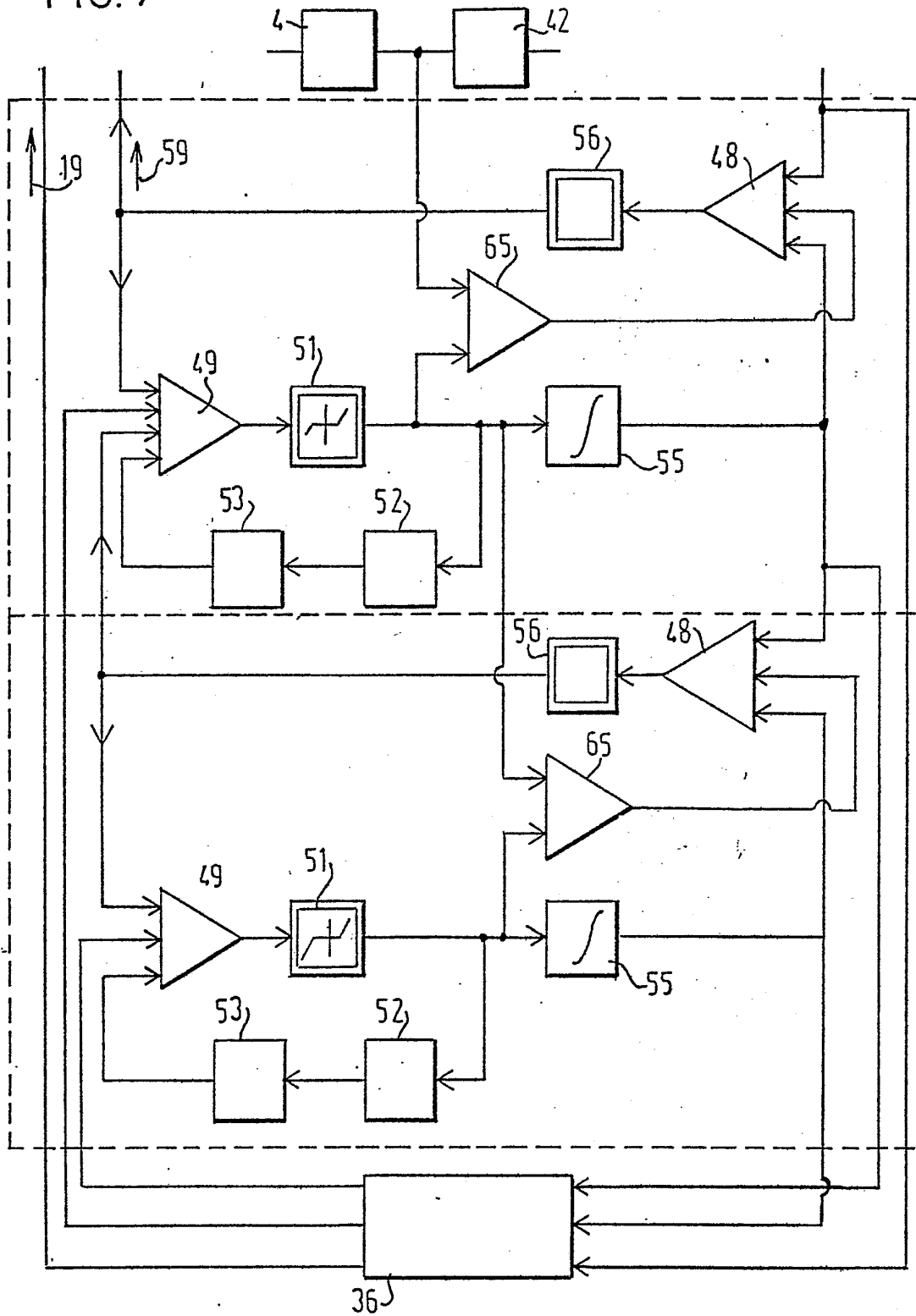
8006091

FIG. 6



"3/3"

FIG. 7



8006091