Octrooiraad

(12) A **Terinzagelegging** (11) **8502683**

Nederland (19) **NL**

(54) **Contactloze hoekopnemer.**

(51) Int.Cl⁴.: G01D 5/14.

(71) Aanvrager: Stichting Centrum voor Micro-Elektronica Twente te Enschede.

(74) Gem.: Ir. B.H.J. Schumann c.s.
Octrooibureau Arnold & Siedsma
de Ruyterlaan 2A
7511 JH Enschede.

(21) Aanvrage Nr. 8502683.

(22) Ingediend 1 oktober 1985.

(32) - -

(33) - -

(31) - -

(62) - -

(43) Ter inzage gelegd 4 mei 1987.

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

Contactloze hoekopnemer

De uitvinding betreft een hoekopnemer met tenminste één magnetisch actief element, dat is verbonden met een stuur- en signaalverwerkingseenheid, en met een daarmee samenwerkende en ten opzichte daarvan zodanig roteerbaar opgestelde magneet, dat een elektrische eigenschap van dat of elk magnetisch actief element varieert met zijn hoekstand ten opzichte van de magneet, waarbij de stuur- en signaalverwerkingseenheid is ingericht voor het meten van de waarde van een met die eigenschap samenhangende grootheid en het afgeven van een signaal dat representatief is voor die waarde en daarmee voor de genoemde relatieve hoekstand.

Een dergelijke hoekopnemer is bekend uit het Amerikaanse octrooischrift 3.777.273.

Een dergelijke bekende hoekopnemer vertoont een aantal nadelen. Hij maakt gebruik van het gewone Hall-effect, waarbij de door het Hall-element afgegeven spanning recht evenredig is met de magnetische flux. Daardoor is deze spanning afhankelijk van de sterkte van de magneet en de afstand van de magneet tot de sensor. De sterkte van magneten is in het algemeen moeilijk beheersbaar, d.w.z. dat magneten niet altijd zodanig geproduceerd kunnen worden dat hun sterkte binnen nauwe, voorafbepaalde tolerantiegrenzen ligt. De kritische afstand van de magneet tot de sensor houdt in, dat de hoekopnemer moeilijk en daardoor tegen relatief hoge kosten geproduceerd kan worden.

De modulatiediepte is temperatuurafhankelijk, zelfs bij toepassing van een brugschakeling. Daarom is een offset-compensatie of ijking noodzakelijk, tenzij een geringe nauwkeurigheid wordt geaccepteerd.

Doel van de uitvinding is het verschaffen van een hoekopnemer, die de bovengenoemde nadelen van de bekende techniek niet bezit. Beoogd wordt, de hoekopnemer zodanig

uit te voeren dat hij eenvoudig en daardoor goedkoop, en niettemin desgewenst met hoge nauwkeurigheid, kan worden vervaardigd en dat de stuur- en signaalverwerkingseenheid eenvoudig kan zijn.

Deze doelstellingen worden volgens de uitvinding in het algemeen gerealiseerd door een hoekopnemer van het in de aanhef vermelde type, die is gekenmerkt door:

tenminste één stel van twee onderling evenwijdige vlakke dunne films van zacht magnetisch materiaal, dat door de magneet in verzadiging wordt gehouden, met elk twee aan de einden van een eerste diagonaal geplaatste stroomdoorvoeraansluitingen en twee aan de einden van een loodrecht op de eerste diagonaal staande tweede diagonaal geplaatste spanningsmeetaansluitingen, welke eerste en welke tweede diagonalen hoeken van 45° met elkaar maken;

van de signaalverwerkingseenheid deel uitmakende stuurmiddelen voor het sturen van elektrische stromen door de stroomdoorvoeraansluiting van beide films;

van de signaalverwerkingseenheid deel uitmakende meetmiddelen voor het meten van de spanningen over de spanningsmeetaansluitingen van beide films; en

van de signaalverwerkingseenheid deel uitmakende signaalverwerkingsmiddelen voor het uit de beide spanningen berekenen van de genoemde hoekstand volgens de relaties:

$$V_1 = I_1 \frac{\Delta\rho_1}{2d_1} \sin 2\Theta$$

$$V_2 = I_2 \frac{\Delta\rho_2}{2d_2} \cos 2\Theta$$

waarin:

V_1 = de spanning over de eerste film
V_2 = de spanning over de tweede film
I_1 = de stroom door de eerste film
I_2 = de stroom door de tweede film
$\Delta\rho_{1,2}$ = het anisotrope magnetoweerstands-effect

d_1 = de dikte van de eerste film

d_2 = de dikte van de tweede film

Θ = de te meten relatieve hoekstand

Opgemerkt wordt dat uit het Duitse octrooischrift 29 15 461 een inrichting bekend is voor het meten van draaizin en rotatiesnelheid. Bij een dergelijke inrichting kan uitsluitend een wisselspanningscomponent worden gemeten, hetgeen veel eenvoudiger is dan een gelijkspanningscomponent bij stationaire metingen. Indien deze inrichting zou worden toegepast als hoekopnemer dan zou hij een aantal belangrijke bezwaren vertonen.

Allereerst is het door de opnemer afgegeven, voor de te meten relatieve hoekstand representatieve signaal niet recht evenredig met die hoekstand, maar varieert met de $\sin^2$ van die hoekstand.

Verder kan de modulatiediepte door de aard van de meting niet groter zijn dan in de orde van 2%. Het gevolg hiervan is, dat aan de toegevoegde elektronica extreme eisen moeten worden gesteld om een acceptabel oplossend vermogen en een acceptabele meetnauwkeurigheid te verkrijgen. In de praktijk kan de elektronica aan dergelijke eisen niet voldoen.

Ten einde de stuur- en signaalverwerkingseenheid zo eenvoudig mogelijk te kunnen uitvoeren en dimensioneringseffecten zoveel mogelijk te vermijden, kan met voordeel gebruik worden gemaakt van een variant, waarin de films identiek zijn.

Om domeinvorming en vormeffecten zoveel mogelijk te voorkomen zijn in een voorkeursuitvoeringsvorm beide films rotatiesymmetrisch. In een uitvoering waarin de amplitudes van de stromen door de stroomdoorvoeraansluitingen van beide films gelijk zijn kan de elektronische stuur- en signaalverwerkingseenheid nog eenvoudiger worden uitgevoerd, terwijl bovendien als voordeel kan gelden, dat eventuele opwarmingsverschijnselen in beide films gelijk zijn.

Het zal duidelijk zijn dat de grootste voordelen worden verkregen in het geval, waarin gebruik wordt gemaakt

van twee identieke, rotatie-symmetrische dunne films, waardoorheen gelijke stromen worden gestuurd.

Een extreem hoge nauwkeurigheid kan desgewenst worden bereikt met een uitvoering die is gekenmerkt door middelen voor het compenseren van fouthoeken die optreden door de magnetische anisotropie van de dunne films, waarbij de afstand van de magneet tot de dunne films, de sterkte van de magneet, en de vorm van de magneet en de films zodanig zijn gekozen, dat de vorm van het magnetische veld ter plaatse van de dunne films en de genoemde fouthoek elkaar althans enigszins compenseren. De met deze uitvoering verkregen nauwkeurigheid gaat niet met een sterke verhoging van de produktiekosten gepaard.

Balanceringsproblemen kunnen nagenoeg volledig worden vermeden met een uitvoering, die het kenmerk vertoont dat beide dunne films als één film zijn uitgevoerd, dat de stuurmiddelen zijn ingericht voor het telkens afwisselend door het ene stel en het andere stel stroomdoorvoeraansluitingen leiden van stroom en dat de meetmiddelen zijn ingericht voor het telkens afwisselend meten van de bijbehorende spanningen. In deze laatste uitvoering wordt het voordeel van een zeer eenvoudige elektronica enigszins teniet gedaan door de noodzaak, schakelend te sturen en te meten. Dit nadeel kan echter worden gecompenseerd door de totale afwezigheid van de noodzaak om enige correctie voor vormfactoren, temperatuurafhankelijkheden enz. toe te passen.

Op basis van de bovengenoemde mathematische relaties, waarin de planaire-Hallspanningen in verband worden gebracht met resp. de sinus en de cosinus van de dubbele waarde van de te meten relatieve hoekstand, kan worden ingezien dat de meting van de relatieve hoekstand kan worden beschouwd als het interpreteren van een Lissajous-figuur. In het bijzonder in het geval waarin de stromen door beide films gelijk zijn, het anisotrope magnetoweerstandseffect in en de dikten van beide films gelijk zijn, is de genoemde Lissajous-figuur een cirkel. De meting van de hoekstand komt dus in wezen neer op een fasemeting; immers, deze Lissajous-figuur is

fase-lineair. Zelfs bij een afwijking van een eenmaal ingestelde stroom zal de meting nog betrouwbaar kunnen worden uitgevoerd, omdat immers slechts de relatie tussen beide spanningen, in termen van een richting in een Lissajous-figuur wordt beschouwd.

De uitvinding zal nu worden toegelicht aan de hand van de tekening van enkele willekeurige uitvoeringsvoorbeelden, waartoe de uitvinding echter niet beperkt is. In de tekening tonen:

Fig. 1 een gedeeltelijk weggebroken perspectivisch aanzicht van een hoekopnemer volgens de uitvinding;

Fig. 2 een chip met twee vlakke dunne films van zacht magnetisch materiaal, zoals toegepast in de uitvoering volgens fig. 1;

Fig. 3 de chip volgens fig. 2 in een inhomogeen magneetveld ter toelichting van de fouthoekcompensatie als gevolg van magnetische anisotropie van de dunne films;

Fig. 4 een blokschema van de inrichting volgens fig. 1; en

Fig. 5 een met fig. 4 overeenkomend blokschema van een alternatief, waarbij beide dunne films als één film zijn uitgevoerd.

Fig. 1 toont een hoekopnemer 1, omvattende een huis 2 waarin een draagplaat 3 vast is bevestigd. De draagplaat 3 draagt een geïntegreerde eenheid 4 (zie ook fig. 2) bestaande uit een substraat 5 van magnetisch inert materiaal, waarop twee dunne films 6, 7 van zacht magnetisch materiaal door opdampen of een andere depositiemethode zijn gevormd.

De draagplaat 3 draagt verder een elektronische stuur- en signaalverwerkingseenheid bestaande uit geïntegreerde schakelingen 8 en 9, die door een kabel 10 met randapparatuur en een elektrische voeding kunnen worden verbonden. Het huis 2, dat door niet-getekende middelen star kan worden gekoppeld met een orgaan, inrichting of dergelijke, waarvan de hoekstand ten opzichte van een ander element, een andere inrichting of dergelijke moet worden bepaald, draagt verder een alfanumerieke presentatie-eenheid 11 met vloeibare

kristallen, waarop de te meten hoekstand rechtstreeks afleesbaar wordt gepresenteerd.

In het huis 2 is een permanente magneet 12 op een as 13 aangebracht zodanig dat hij ten opzichte van het huis roteerbaar is. De hartlijn van de as 13 strekt zich uit door het centrum van de geïntegreerde eenheid 4. De as 13 is gelagerd in een betrekkelijk dikke sluitplaat 14 van het huis 2 en geborgd door enerzijds een rondgaande schouder 15, anderzijds een borgring 16.

Voor de duidelijkheid van fig. 1 zijn verbindingsgeleiders tussen de geïntegreerde eenheid 4 enerzijds en de geïntegreerde schakelingen 8, 9 anderzijds, niet getekend.

De hoekopnemer 1 is ingericht voor het bepalen van de hoek tussen het huis 2 en de oriëntatie van de magnetisatie van de magneet 12, dus tussen het huis 1 en de as 13. Wordt derhalve het huis 2 gekoppeld met het ene element en de as 13 met het andere element, dan kan de hoekopnemer 1 de hoekstand tussen beide elementen bepalen.

Zoals reeds opgemerkt, toont fig. 2 de geïntegreerde eenheid 4. De dunne films 6 en 7 zijn voorzien van stroomdoorvoeraansluitingen 17, 18 resp. 19, 20. De contacten, resp. 17, 18 en 19, 20 sluiten diagonaal op elkaar aan. Eveneens diagonaal, maar in dwarsrichting ten opzichte van de genoemd stroomdoorvoeraansluitingen 17, 18 en 19, 20 zijn de films 6, 7 voorzien van spanningsmeetaansluitingen 21, 22, resp. 23, 24. Bij het voeren van stroom door stroomdoorvoeraansluitingen 17, 18, resp. 19, 20 kan in aanwezigheid van een magneetveld, zoals veroorzaakt door de magneet 12 de planaire-Hallspanning worden gemeten aan de spanningsmeetaansluitingen 21, 22, resp. 23, 24. Zoals fig. 2 duidelijk toont, zijn de stroomdoorvoeraansluitingen 17, 18 gelegen op een diagonaal, die een hoek van 45° maakt met de diagonaal, die de stroomdoorvoeraansluitingen 19, 20 verbindt. Mutatis mutandis geldt hetzelfde voor de spanningsmeetaansluitingen 21, 22, resp. 23, 24.

Fig. 4 toont bij wijze van voorbeeld een elektronische schakeling, waarvan de geïntegreerde eenheid 4 deel kan uit-

maken.

Een sinusgenerator 25 genereert twee 90° ten opzichte van elkaar in fase verschoven wisselstromen, resp. I sin(ω t) en I cos(ω t), aan resp. uitgangsaansluitingen 26 en 27. De aansluiting 26 is verbonden met de stroomdoorvoeraansluitingen 17, 18 van de dunne film 6, hetgeen gemakshalve met één lijn is weergegeven en de aansluiting 27 is verbonden met de stroomdoorvoeraansluitingen 19, 20 van de dunne film 7. De spanning aan de spanningsmeetaansluitingen 21, 22 van de dunne film 6 wordt toegevoerd aan de ene ingang 28 van een comparator 30, terwijl de spanning aan de spanningsmeetaansluitingen 23, 24 van de dunne film 7 wordt toegevoerd aan de andere aansluiting 29 van de comparator 30.

De sinusgenerator 25 geeft via een uitgang 31 een met de fase van het uitgangssignaal aan de aansluiting 26 evenredige spanning af, d.w.z. een telkens naar nul terugkerende, lineair veranderende spanning, een zaagtandspanning. Opgemerkt wordt, dat dit een analoge techniek betreft, terwijl begrijpelijkerwijze ook van digitaal werkende schakelingen gebruik kan worden gemaakt.

De uitgangssignalen van de films 6, 7, d.w.z. de signalen aan de ingangen 28, en 29 van de comparator 30 zijn recht evenredig met I.sin(ω t).cos(2θ), en I.cos(ωt).sin(2θ) waarin θ de hoek is tussen het huis 2 volgens fig. 1, en de as 13, waarop de magneet 12 is aangebracht.

De uitgang 31 is verbonden met de informatie-ingang 32 van een geheugen/klokeenheid 33, waarvan de klok-ingang 34 is verbonden met de uitgang 35 van de comparator 30.

De geheugen/klokeenheid 33 is verbonden met een analoge presentatie-eenheid 53.

Fig. 3 toont de geïntegreerde eenheid 4 volgens fig. 2 in een inhomogeen magneetveld, dat geschematiseerd is aangegeven met veldlijnen 37. Met verwijzing naar fig. 1 zal duidelijk zijn, dat de onderlinge positionering van de magneet 12 en de eenheid 4 zodanig is, dat de door het

midden van de eenheid 4 lopende veldlijn, die voor de duidelijkheid met 36 is aangeduid een rechte is. Naarmate de afstand in het vlak van de eenheid 4 ten opzichte van de centrale lijn 36 toeneemt, neemt ook de kromming van de veldlijnen toe.

In de in fig. 3 getoonde situatie valt de verbindingslijn tussen de middelpunten van de magnetische films 6 en 7 niet samen met de centrale veldlijn 36, maar maakt daarmee een hoek. Een pijl 38 duidt de voorkeursrichting van de dunne film 7 aan. Een pijl 39 geeft de richting van het aangelegde veld. Als gevolg van de magnetische anisotropie van de film 7, die zich kenbaar maakt als de voorkeursrichting 38, zal de magnetisatie van de film 7 niet de richting van het magnetische veld volgens de pijl 39 bezitten, maar daar van afwijken in de richting van de voorkeursrichting 38. De magnetisatie is aangeduid met een onderbroken getekende pijl 40. Duidelijk zal zijn, dat door de kromming van de veldlijnen 37 ter plaatse het magnetische veld een zekere hoek maakt met de richting van de centrale lijn 36, hetgeen, als dit tevens de magnetisatie van de film 7 zou zijn, een hoekfout en daarmee een meetfout zou introduceren. Aangezien echter de magnetisatie loopt overeenkomstig de pijl 40, treedt door de samenwerking van de magnetische anisotropie van de film 7 enerzijds en de vorm van het aangelegde magneetveld 37 een compensatie op, met andere woorden de magnetisatie 40 loopt meer evenwijdig met de veldlijn 36 dan het magneetveld 39.

Het bovenstaande beoogt het principe aan te duiden, op basis waarvan een hoekopnemer met zo gering mogelijke fouthoek kan worden gemaakt.

In het hierna nog aan de hand van fig. 5 te bespreken geval, waarin slechts van één schakelend toegepaste magnetiseerbare film gebruik wordt gemaakt, dient deze voor de foutcorrectie overeenkomstig fig. 3 ook excentrisch roteerbaar te worden opgesteld.

Zoals gezegd, is deze wijze van foutcorrectie gebaseerd op een magnetisch anisotrope film en een op basis

daarvan gekozen inhomogeen magneetveld. Een dergelijke foutcorrectie is niet nodig als de film isotroop en het veld homogeen is. Dit laatste is echter niet altijd eenvoudig te realiseren.

In fig. 3 is voor de duidelijkheid afgezien van het weergeven van elektrische aansluitingen van de films 6 en 7.

Fig. 5 toont een schakelschema overeenkomstig fig. 4. In fig. 4 zijn twee magnetische films toegepast, terwijl fig. 5 betrekking heeft op de variant, waarin beide dunne films als één film zijn uitgevoerd, waarbij schakelend resp. stroom wordt geleid door het ene stel en het andere stel stroomdoorvoeraansluitingen, terwijl tevens schakelend successievelijk de bijbehorende planaire-Hall spanningen worden afgenomen van de bijbehorende spanningmeetaansluitingen.

Een dunne film 41 is voorzien van twee paren stroomdoorvoeraansluitingen, die een onderlinge hoekstand van 45° bezitten en twee paren spanningsmeetaansluitingen, die een hoek van 90° vertonen ten opzichte van hun corresponderende stroomdoorvoeraansluiting en de dus ook een onderlinge hoekstand van 45° vertonen. Evenals in de schematische weergave van fig. 4 zijn voor de duidelijkheid in fig. 5 de paren aansluitingen slechts met één referentie weergegeven. Met de uitgangsaansluiting 26 van de sinusgenerator 25 is via een schakelaar 42 een eerste paar stroomdoorvoeraansluitingen 43 aangesloten. Een schakelaar 44 verbindt de uitgang 27 met een tweede stel stroomdoorvoeraansluitingen 45. De bijbehorende paren spanningsmeetaansluitingen van de dunne film 41 zijn aangeduid met resp. 46 en 47. Ze zijn via respectieve schakelaars 48, 49, via bemonster- en houdschakelingen, resp. 50 en 51 verbonden met de ingangen 28 en 29 van de comparator 30. Een klokeenheid 52 bestuurt de schakelaar 42, 44, 48, 49 synchroon. Hierdoor wordt successievelijk stroom geleid door de aansluitingen 43 en de gemeten spanning aan de spanningsmeetaansluitingen 46 via de schakelaar 48 doorgegeven naar de bemonster- en houdschakeling 50 en stroom

via de schakelaar 44 geleid naar de stroomdoorvoeraansluitingen 45, de bijbehorende spanning aan de aansluitingen 47 via de schakelaar 49 toegevoerd aan de bemonster- en houdschakeling 51.

Opgemerkt wordt dat de beide films van een stel ook op geringe onderlinge afstand boven elkaar kunnen worden geplaatst.

Conclusies

1. Hoekopnemer met tenminste één magnetisch actief element, dat is verbonden met een stuur- en signaalverwerkingseenheid, en met een daarmee samenwerkende en ten opzichte daarvan zodanig roteerbaar opgestelde magneet, dat een elektrische eigenschap van dat of elk magnetisch actief element varieert met zijn hoekstand ten opzichte van de magneet, waarbij de stuur- en signaalverwerkingseenheid is ingericht voor het meten van de waarde van een met die eigenschap samenhangende grootheid en het afgeven van een signaal dat representatief is voor die waarde en daarmee voor de genoemde relatieve hoekstand,

gekenmerkt door

tenminste één stel van twee onderling evenwijdige vlakke dunne films van zacht magnetisch materiaal, dat door de magneet in verzadiging wordt gehouden, met elk twee aan de einden van een eerste diagonaal geplaatste stroomdoorvoeraansluitingen en twee aan de einden van een loodrecht op de eerste diagonaal staande tweede diagonaal geplaatste spanningsmeetaansluitingen, welke eerste en welke tweede diagonalen hoeken van 45° met elkaar maken;

van de signaalverwerkingseenheid deel uitmakende stuurmiddelen voor het sturen van elektrische stromen door de stroomdoorvoeraansluiting van beide films;

van de signaalverwerkingseenheid deel uitmakende meetmiddelen voor het meten van de spanningen over de spanningsmeetaansluitingen van beide films; en

van de signaalverwerkingseenheid deel uitmakende signaalverwerkingsmiddelen voor het uit de beide spanningen berekenen van de genoemde hoekstand volgens de relaties:

$$V_1 = I_1 \frac{\Delta\rho_1}{2d_1} \sin 2\Theta$$

$$V_2 = I_2 \frac{\Delta\rho_1}{2d_2} \cos 2\Theta$$

waarin:

V_1 = de spanning over de eerste film
V_2 = de spanning over de tweede film
I_1 = de stroom door de eerste film
I_2 = de stroom door de tweede film
$\Delta\rho_{1,2}$ = het anisotrope magnetoweerstands-effect
d_1 = de dikte van de eerste film
d_2 = de dikte van de tweede film
Θ = de te meten relatieve hoekstand

2. Hoekopnemer volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat beide films identiek zijn.

3. Hoekopnemer volgens conclusie 1 of 2, met het kenmerk, dat beide films rotatie-symmetrisch zijn.

4. Hoekopnemer volgens één der voorgaande conclusies, met het kenmerk, dat de amplitudes van de stromen door beide films gelijk zijn.

5. Hoekopnemer volgens één der voorgaande conclusies, gekenmerkt door middelen voor het compenseren van fouthoeken die optreden door de magnetische anisotropie van de dunne films, waarbij de afstand van de magneet tot de dunne films, de sterkte van de magneet, en de vorm van de magneet en de films zodanig zijn gekozen, dat de vorm van het magnetische veld ter plaatse van de dunne films en de genoemde fouthoek elkaar althans enigszins compenseren.

6. Hoekopnemer volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat beide dunne films als één film zijn uitgevoerd, dat de stuurmiddelen zijn ingericht voor het telkens afwisselend door het ene stel en het andere stel stroomdoorvoeraansluitingen leiden van stroom en dat de meetmiddelen zijn ingericht voor het telkens afwisselend meten van de bijbehorende spanningen.

7. Geïntegreerde eenheid, omvattende tenminste één door een substraat gedragen vlakke dunne film van zacht magnetisch materiaal en kennelijk bestemd voor toepassing als onderdeel van een hoekopnemer volgens één der voorgaande conclusies.

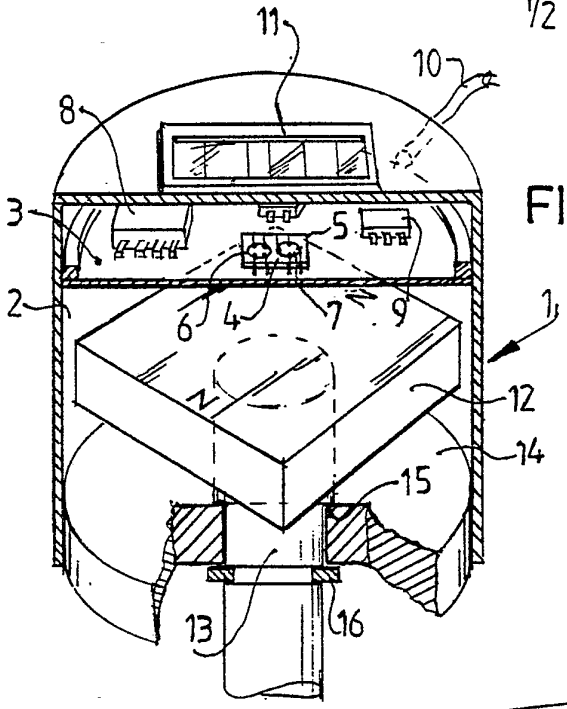


FIG.1

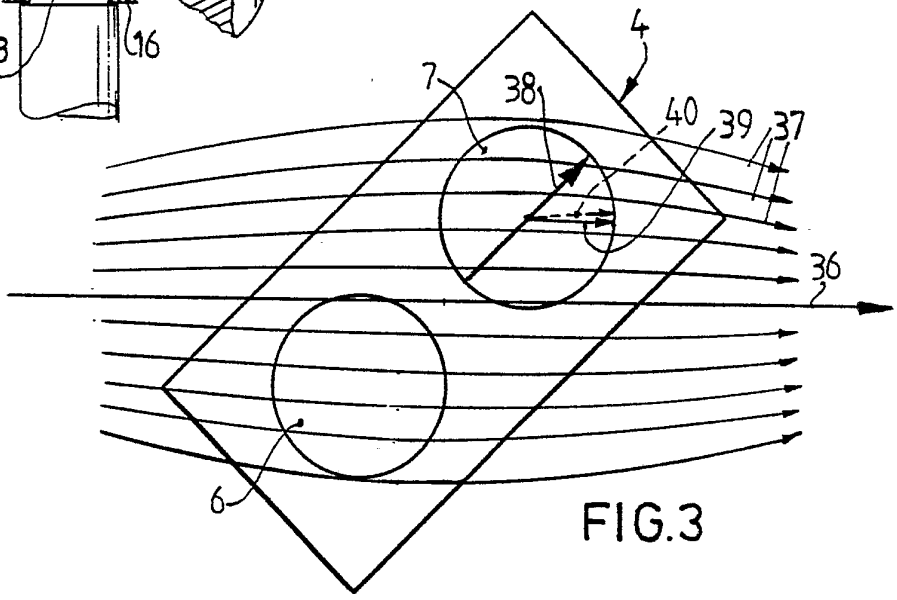


FIG.3

FIG.2

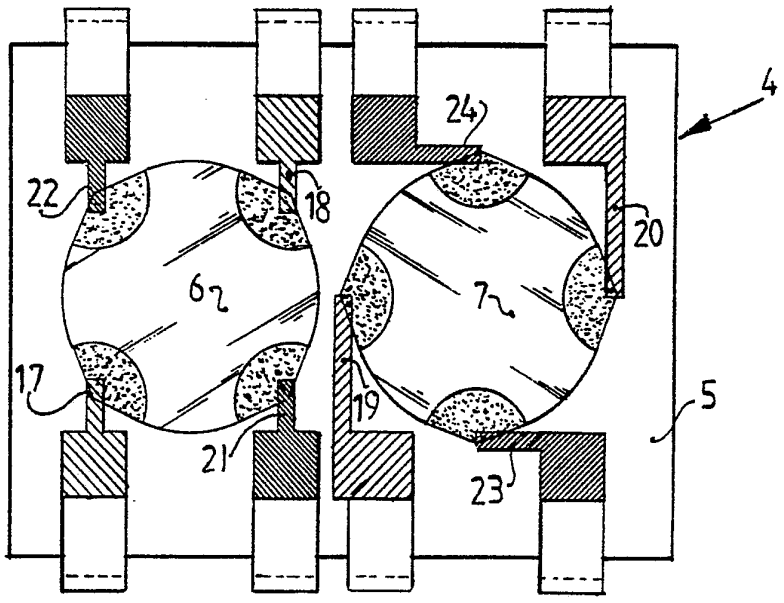
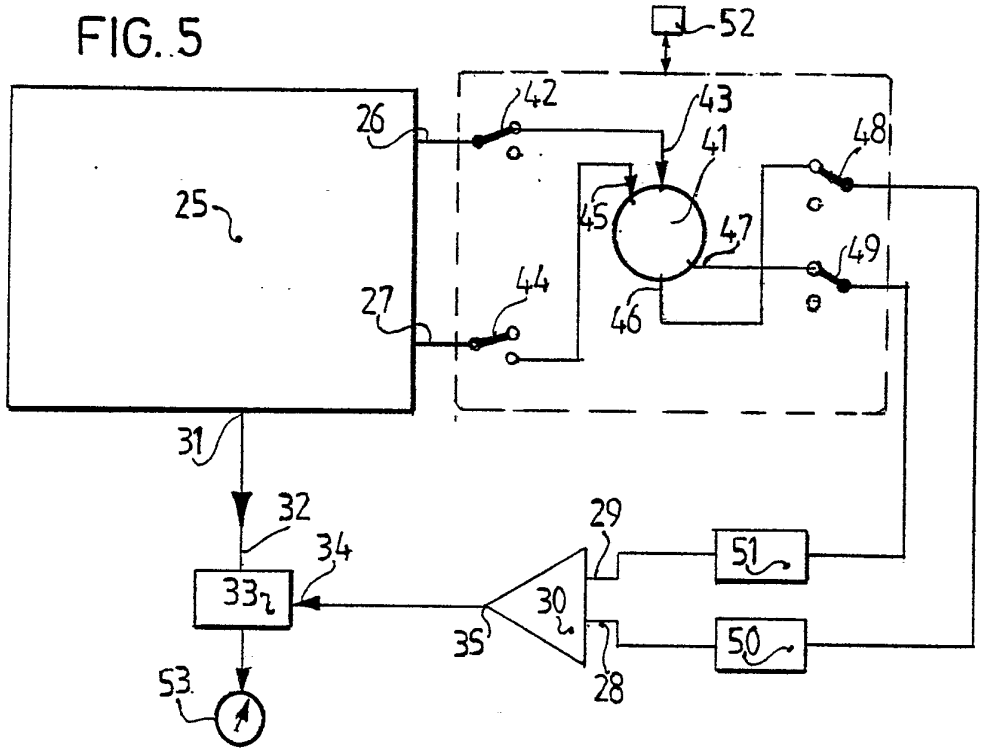


FIG. 5


52
42
43
41
48
26
25
45
47
49
44
27
46
31
32
29
34
51
33
30
35
50
28
53

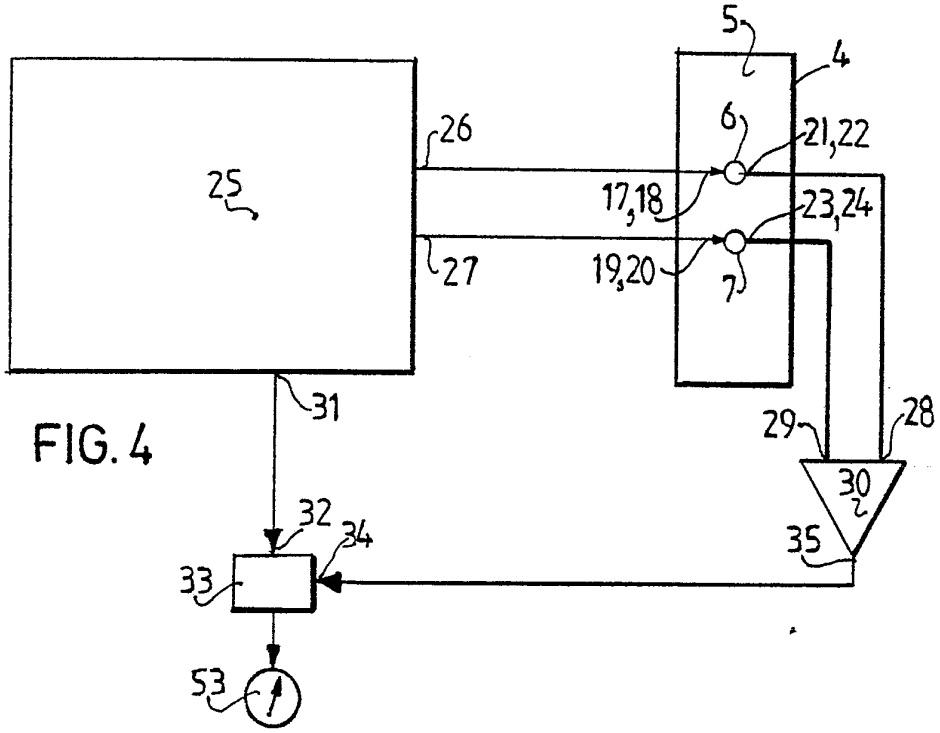

5
4
6
21,22
26
25
17,18
23,24
27
19,20
7
31
29
28
30
32
34
35
33
53

FIG. 4