

NORGE

[B] (11) UTLEGNINGSSKRIFT Nr. 130032



**STYRET
FOR DET INDUSTRIELLE
RETTSVERN**

(51) Int. Cl. G 01 v 3/14
G 01 r 33/08

(52) Kl. 42c-43
21e-33/08

(21) Patentsøknad nr. 2760/71

(22) Inngitt 20.7.1971

(23) Løpedag 20.7.1971

(41) Søknaden alment tilgjengelig fra 25.1.1972

(44) Søknaden utlagt og
utlegningsskrift utgitt 24.6.1974

(30) Prioritet begjært fra: 22.7.1970 Frankrike,
nr. 7027009

(71)(73) COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE,
29, rue de la Fédération, Paris 15^e,
Frankrike.

(72) Henri Glenat, 10, rue André Abry, F-38 Grenoble og
Antoine Salvi, 20, rue Gabriel Péri, F-38 Fontaine,
begge: Frankrike.

(74) Siv.ing. Per Onsager.

(54) Magnetometer med magnetisk kjerneresonans.

Den foreliggende oppfinnelse angår magnetometre med magnetisk kjerneresonans og spinnkobling, hvor der i forbindelse med minst én prøve av materiale med gyromagnetiske egenskaper er anordnet spoler som er forbundet med inngangen til og utgangen fra en lineær forsterker for å danne en tilbakekoblingssløyfe hvori man måler den nukleære svingefrekvens. I det følgende vil betegnelsen "hode" bli benyttet for det system som utgjøres av spolene og de dermed forbundne prøver.

For enkelhets skyld vil betegnelsen "prøve" bli benyttet til å betegne en masse av oppløsningsmiddel som inneholder atomkjerner med magnetiske momenter og kinetiske momenter forskjellige fra null (altså med veldefinert gyromagnetisk forhold) og inneholdes i en flaske samt inneholder i oppløsning en paramagnetisk substans

(f.eks. et ion eller et fritt radikal med uparede elektroner) som har minst én elektronresonans-spektrallinje som kan mettes av et elektromagnetisk felt med en gitt høyfrekvens, uansett hvilket svakt magnetfelt prøven er anbragt i.

Oppfinnelsen gjelder mer spesielt magnetometre med spinnkobling, bestemt for presisjonsmåling av svake magnetfelt som f.eks. det jordmagnetiske felt, som har en styrke av størrelsesorden 50.000 γ (altså 0,5 Oe) eller for bestemmelse av variasjoner av slike felt med meget liten amplitude, f.eks. av størrelsesorden 1/10 γ .

Søkerne har i fransk patentskrift nr. 1.447.226 beskrevet et magnetometer som omfatter to halvprøver i forbindelse med hvert sitt par av parallelle spoler samt anordninger til å eksitere to elektron-resonans-spektrallinjer for disse to halvprøver, slik at metningen av den ene av dem bevirker en økning i absorpsjonen av energien ved kjerneresonansfrekvensen for atomkjernene i oppløsningsmiddelet, mens metningen av den annen spektrallinje bevirker stimulert energiemisjon ved kjerneresonansfrekvensen for det samme oppløsningsmiddel.

Oppfinnelsen tar særlig sikte på å skaffe et magnetometer som har forbedrede egenskaper i forhold til det eldre magnetometer, særlig når det gjelder enklere utførelse, bedre signal/støyforhold og, i en spesielt gunstig utførelsesform, fravær av enhver forbudt måleakse.

Magnetometeret ifølge oppfinnelsen omfatter:

To prøver underkastet feltet som skal måles, og inneholdende de samme atomkjerner med magnetisk moment og kinetisk moment forskjellige fra null,

spoler anordnet på linje og forbundet med hver sin prøve, anordninger til å frembringe et elektromagnetisk felt med elektron-resonans-frekvensen, tilstrekkelige til å mette en spektrallinje for den ene av prøvene og bevirke økning av energiabsorpsjonen ved atomkjernenes resonansfrekvens, og å mette en spektrallinje for den annen prøve og bevirke en energiemisjon ved den nevnte resonansfrekvens for atomkjernene, en tilbakekoblingssløyfe til å vedlikeholde resonansen, omfattende en lavfrekvens-forsterker og minst to spoler som er anordnet i forbindelse med hver sin prøve og tilsluttet forsterkeren, samt anordninger til å måle resonansfrekvensen, karakterisert ved at hver av prøvene omfatter en brøkdell som er anordnet radialt i forhold til den eller de tilsvarende spoler, og en brøddel som er anordnet på siden i forhold til spolen eller spolene.

Oppfinnelsen vil bli forstått bedre ved lesning av den følgende beskrivelse av et ikke-begrensende utførelseseksempel på et magnetometer uten forbudt måleakse. Der henvises til tegningen.

Fig. 1 er et sterkt forenklet blokkskjema av magnetometeret, hvor der benyttes to forskjellige prøver og en eneste VHF-generator.

Fig. 2 viser skjematisk den relative stilling av de forskjellige komponenter av et målehode som benyttes i magnetometeret på fig. 1 og er vist i aksialt snitt.

Fig. 3 er et skjematisk perspektivriiss av høyfrekvenskretsens avstemningskondensator, sett fra den side som er markert med III - III på fig. 2.

Fig. 4 viser perspektivisk forbindelsene mellom høyfrekvensresonanshulrummet og dets koaksiale matning.

Fig. 5 og 7 er forklarende skjematiske riss, tatt i snitt aksialt gjennom hodet, hvor de soner av prøvene som deltar i frembringelsen av signalet, er skravert for tilfelle av at feltet H_0 som skal måles, er rettet henholdsvis langs aksen og loddrett på denne.

Fig. 6 og 8 er skjematiske riss, sett henholdsvis fra linjen VI - VI på fig. 5 og fra snittlinjen VIII - VIII på fig. 7.

Det magnetometer som er vist skjematisk på fig. 1, omfatter et målehode 10 plassert i et felt med styrke H_0 som skal måles, en tilbakekoblet differensialforsterker 12 bestemt til å levere et signal med den av hodet 10 påtrykte kjerneresonansfrekvens F , en oscillator 14 med meget høy frekvens f , bestemt til å eksitere elektronresonansspektrallinjer for prøvene i hodet 10, samt et måleinstrument 16 for frekvensen F .

Målehodet 10 kan betraktes som bestående av to like systemer anbragt på linje. Hvert av disse systemer setter seg sammen av en spole 18, resp. 18', viklet konsentrisk til en prøve 20, resp. 20'. For tydelighets skyld er spolene på fig. 1 vist ved siden av prøvene, men den virkelige plassering er som vist på fig. 2. På den sistnevnte figur ser man at hver prøve 20, resp. 20' er fordelt på to flasker. Systemet til venstre på fig. 2 omfatter således to konsentriske flasker 22 og 24 som tilsammen i sammenføyet form inngrenser et ringformet rum med stort sett kvadratisk tverrsnitt, hvor spolen 18 er plassert. Prøven utgjøres av:

Dels et oppløsningsmiddel som oppviser atomkjerner med magnetisk moment og kinetisk moment forskjellige fra null. Disse momenter fastlegger det gyromagnetiske forhold γ for kjernene, og disse kjerners resonansfrekvens F i et felt av styrke H_0 er gitt ved formelen

130032

$$F = \frac{\gamma}{2\pi} H_0$$

Atomkjernene er i almindelighet protoner, men man kan også benytte andre kjerner, særlig fluor- eller fosforkjerner. I det første tilfelle vil oppløsningsmiddelet i almindelighet bestå av en hydrogenert væske eller av en blanding som består av vann og en med vann blandbar hydrogenert væske som bare kan stivne ved lav temperatur. Dels et paramagnetisk stoff i stabil oppløsning (ion eller fritt radikal omfattende et uparet elektron i samvirkning med en atomkjerne av stoffet).

Som vist på fig. 1, er den ene ende av de to spoler 18 og 18' jordet. De andre ender er forbundet med inngangene til differensialforsterker 12. Denne forsterker er stort sett lineær, noe som her skal bety at et sinusformet inngangssignal svarer til et sinusformet utgangssignal, men ikke innebærer at disse signaler er i fase. Man ser at de uønskede signaler som ville kunne frembringes i de like spoler 18 og 18' av parasittiske elektromagnetiske felter og spolenes forskyvninger gjennom et magnetfelt (tilfelle av magnetometre montert på fly) blir tilført forsterkeren i felles modus. Forutsatt at avvisningsfaktoren i felles modus er tilstrekkelig, blir disse uønskede signaler således uten virkning. Mellom de ender av spolene 18 og 18' som er forbundet med inngangene til forsterkeren 12, er der i utførelsesformen på fig. 1 innkoblet en avstemningskondensator 30 som gir inngangskretsen en Q-verdi som ikke bør være for stor, så man unngår fenomener med frekvens-medslepning. I praksis vil denne koeffisient bli valgt med en verdi mellom 7 og 10.

I motsetning til de parasittiske signaler bør nyttesignallene (elektromotoriske krefter uttatt på spolene 18 og 18' og stammende fra kjerneresonansfenomener) addere seg. Dette blir bare oppnådd hvis den makroskopiske resultant av de magnetiske momenter av atomkjernesystemet i den ene av prøvene er rettet motsatt den makroskopiske resultant av de magnetiske momenter av atomkjernesystemet i den annen prøve. I den viste utførelsesform med en eneste VHF-generator må disse motsatte virkninger inntreffe som reaksjon på en eksitering ved samme frekvens for de to prøver. Til dette formål benytter man to prøver som er forskjellige, men har samme volum.

Særlig kan man

- a) enten velge en prøve hvor oppløsningsmiddelet er det samme, men hvor de paramagnetiske stoffer er forskjellige og valgt for ved hovedsakelig samme eksitasjonsfrekvens å oppvise to inverse elektronspektrallinjer. For den ene av prøvene (f.eks. 20) velges stoffet slik at metningen med det elektromagnetiske felt ved frekvens f av en elektronresonansspektrallinje ved en frekvens nær f bevirker en økning av styrken av energiabsorpsjonen ved denne spektrallinjes frekvens. For den annen prøve velges stoffet slik at den samme frekvens f eksiterer en elektronresonansspektrallinje hvis metning bevirker stimulert energiemisjon ved denne spektrallinjes frekvens.
- F.eks. kan man som første prøve benytte en oppløsning av DTBN (ditertio-butylnitroksyd) i en blanding av 50 volumprosent vann og 50 volumprosent aceton, og som annen prøve benytte en oppløsning av TANO (triacetonamin-nitroksyd) i en blanding bestående av 70% vann og 30% etylenglykol. Påtrykningen av et elektromagnetisk felt med frekvens f av størrelsesorden 68,5 MHz metter den lavere elektronresonansspektrallinje av TANO, så at dettes energiabsorpsjon øker og metter likeledes den høyere elektronresonansspektrallinje ved 69,4 MHz av DTBN, så dette emitterer energi.
- b) Eller man kan velge ett og samme frie radikal i forskjellige oppløsninger. Således kan man særlig benytte en første prøve bestående av en oppløsning med konsentrasjon $10^{-3}M$ av TANO (triacetonamin-nitroksyd) i ren DME (dimetoksyetan), og som annen prøve en oppløsning på $10^{-3}M$ av TANO i en blanding av 73% DME og 27% vann. For å gjøre resonansspektrallinjene skarpere og øke amplituden av signalet blir det anvendte TANO fordelaktig deuteriert. Den optimale frekvens av eksitasjonsfeltet blir da omtrent 62,65 MHz. Likeledes kan man benytte en første prøve bestående av en oppløsning med konsentrasjon $10^{-3}M$ av TANO i ren DME og en annen prøve bestående av en oppløsning med konsentrasjon $10^{-3}M$ av TANO i ren metanol.

Utgangssignalene fra forsterkeren 12 blir ført tilbake til spolene 18 og 18', som således spiller en dobbelt rolle (uttak av nyttige signaler og tilbakekobling). I dette øyemed blir forsterkerens utgang 32, som er tilknyttet frekvensmåleapparatet 16, tilbakekoblet til inngangene via to like motstander 34, 34' som har høy ohm-verdi i forhold til impedansen av spolene 18 og 18'. For å muliggjøre nøyaktig utbalansering av hodet 10 er utgangen forbundet med motstandene 34 og 34' via en reostat 38, hvis glidekontakt 36 er tilsluttet utgangen, mens dens ender er tilsluttet motstandene. Er inngangskretsen innstilt til resonans, skal forsterkeren 12 for å vedlikeholde en lavfrekvent svingning levere en faseforskyvning på $\pi/2$.

F. eks. kan motstandene 34 og 34' være på 100 K Ω , mens reostaten 38 er på 1 K Ω . Når det gjelder avstemningskondensatoren 30, så kan den ha en kapasitet på noen tusen picofarad. Spolene kan ha noen få tusen vindinger (f.eks. 1700 vindinger på 30/100 mm eller 2500 vindinger på 25/100 mm). Forsterkningen i forsterkeren 12 bør være høy, f.eks. 80 db.

Spektrallinjene for prøvenes elektronresonans eksiteres av en eneste oscillator 14 med meget høy frekvens, som via en koaksial kabel 26 påvirker et resonanshulrom som inneslutter de to systemer. Dette resonanshulrom vil bli beskrevet senere. Det avstemmes med en innstillbar kondensator 28 på noen hundre picofarad.

Magnetometerets prinsipielle virkemåte fremgår klart av det foregående og vil derfor bare bli kort resymert: De spektrallinjer som eksiteres i prøvene ved hjelp av oscillatoren 14, bevirker (i nærvær av et magnetfelt) at der fremkommer en makroskopisk komponent med gitt retning i prøven 20 og med motsatt retning i prøven 20'. Herav følger at de makroskopiske resultanter av de magnetiske momenter av det samlede innhold av atomkjerner i prøvene henholdsvis 20 og 20' vil være i faseopposisjon, så de av kjerneresonansen induserte elektromotoriske krefter i spolene adderer seg.

Oppbygningen av hodet 10 på fig. 2, 3 og 4 vil nå bli beskrevet mere i detalj. Hodet omfatter to systemer anbragt symmetrisk med hensyn på dets midtplan og påtredd den sentrale leder 39 i hulrummet, som er i resonans ved den meget høye frekvens som leveres av generatoren 14.

Som nevnt tidligere, omfatter hvert av disse systemer to pyrex-flasker (betegnet med 20 og 22 i venstre system) inneholdende en prøve, som her er den samme i de to flasker.

For oppnåelse av tilstrekkelig presisjon er det ikke nødvendig at flaskene er bearbeidet. Systemets spole, som er utført av emaljert sølvtråd innstøpt i araldit og uten dor, er innesluttet mellom de to flasker.

Flaskene og spolen har hensiktsmessig en slik form at den av spolen frembragte fluks blir av samme størrelsesorden i hele prøvens masse. Således fører en for svak fluks til et signal hvis styrke er lavere enn den teoretisk mulige. En for sterk fluks fører til at resonans-spektrallinjene blir bredere, og dermed til en minskning av signal/støyforholdet. Det ses således at det er ønskelig å gi fluksen rundt spolen en verdi av samme størrelsesorden nær optimum. Denne betingelse fører i regelen til valg av spoler med tilnærmelsesvis kvadratisk tverrsnitt, og av prøver likeledes med tilnærmet kvadratisk tverrsnitt og med dimensjoner av samme størrelsesorden helt rundt spolene.

Resonanshulrummet omfatter den sentrale leder 39 og en armering som man anordner for å unngå periferiske Foucault-strømmer. Armeringen utgjøres av tynne bånd (folie) eller tynne belegg av godtlede. Magnetisk metall som sølv. Det omfatter en rekke tynne langsgående bånd 40 anbragt på de sammenføyede flasker og er på begge sider av prøvene komplett med belegg på kvartsskiver. På den side hvor den koaksiale kabel 26 sitter, foreligger således forsølvde sektorer 41 (fig. 4) anbragt på en tynn kvartsskive 43 i samme antall som båndene 40, som er bøyet inn på sektorene og loddet til disse ved 42 (fig. 2). Armeringsomfletningen på koaksialkabelen 26 er ved en krans av utbøyde fliker 44 forbundet med de indre ender av sektorene 41 (fig. 2 og 4), mens innerlederen i koaksialkabelen 26 er forbundet med den sentrale leder 39.

På lignende måte er en kvartsskive 46 (fig. 2 og 3) anbragt symmetrisk til den første mot prøven 20'. Denne skive spiller rollen som kondensator 28. I dette øyemed bærer den på sin ytterflate forsølvde sektorer 48 som er fastgjort til båndet 40 og ikke når inn til det sentrale hull i skiven. På sin annen side bærer skiven 46 forsølvde sektorer 50 som har liten tykkelse og er plasert rett overfor sektorene 48 samt ved sin indre ende er forbundet med et belegg 52 for utvendig tilslutning. Endepartiet av den sentrale leder 39 er festet til dette bånd 52 (fig. 2). Justeringen av kondensatoren 28 skjer rett og slett ved at man skrapes av mer eller mindre av sølvet på skiven 46. Tilpasningen av hulrummet til koaksialkabelen skjer ved hjelp av en sløyfe 56.

Skiven 46 har en sliss 54 (fig. 3) for gjennomføring av nipler til fylling av flaskene i høyre system. En lignende sliss er utformet i skiven 43. Denne skive 43 bærer en rondell av isolasjonsmateriale (ikke vist) som ledningene fra spolene er ført ut gjennom. Disse ledninger forløper mellom flaskene og derfra langs armeringen 40 på dennes innside.

I og med at spolene 18 og 18' er anbragt i det indre av resonanshulrummet, blir der åpenbart indusert meget høyfrekvente strømmer i den. Imidlertid er disse strømmer ikke generende, for de blir lett eliminert med filtre i form av selvinduksjonsspoler 58 (fig. 1) takket være forskjellen mellom frekvens F (1000 - 2000 Hz i tilfelle av måling av jordmagnetfelt med et protonmagnetometer) og f (av størrelsesorden 60 MHz).

Hodet på fig. 2 har den gunstige egenskap ikke å ha noen forbudt måleakse, og til og med i et felt av gitt styrke å levere signaler hvis amplitude er nesten uavhengig av hodets orientering. For å forklare disse egenskaper (som forsøk har gjort det mulig å bekrefte) vil der bare bli gitt antydninger som gjør sammenhengen forståelig, da et vanntett bevis ville bli komplisert.

Sagt generelt har bare de deler av prøvene som oppfyller de nedenstående tre betingelser, noen virkning når det gjelder å frembringe et nyttig signal:

det magnetfelt som frembringes av den strøm som sirkulerer i spolene på grunn av tilbakekoblingen, må i vedkommende deler av prøven vedlikeholde en presesjon av atomkjernespinne,

det meget høyfrekvente elektromagnetiske felt skal ha tilstrekkelig amplitude til å mette spektrallinjen for prøvens elektronresonans,

den makroskopiske resultant av kjernesystemenes magnetiske momenter skal indusere en elektromagnetisk kraft i spolene.

1. Betrakter man nå fig. 7 og 8, som illustrerer det tilfelle at magnetfeltet H_0 som skal måles, står loddrett på spolenes akse, vil det ses at kraftlinjene av feltet H_0 og av vekselfeltet H_a som frembringes av strømmen i spolene, blir stort sett parallelle i sonene langs spolesidene. Under disse forhold kan spolene ikke vedlikeholde presesjonen av spinnene rundt det kontinuerlige felt H_0 som skal måles. Disse soner kommer derfor ikke til virkning, som det fremgår av fig. 7.

Derimot er feltet H_a egnet til å vedlikeholde presesjonen av spinnene i de soner som ligger radialt i forhold til spolene innen-

for og utenfor disse (skraverte soner på fig. 7). Den første betingelse er således oppfylt. Betrakter man derimot fig. 8, vil det, når det gjelder visse brøkdeler av prøven beliggende radialt i forhold til spolen, bemerkes at den ene av de to betingelser ikke er tilfredsstillt.

På den ene side er modusen for hulrummets resonans ved meget høy frekvens, i betraktning av at feltet H_0 står loddrett på aksene, slik at metningen av spektrallinjene for elektronresonans bare forekommer i to lober, som representerer en desto større brøkdel av prøven jo høyere styrken av feltet er: På fig. 8 betegner de strekpunkterte kurver 60 grensene for disse lober ved en gitt styrke av feltet.

På den annen side kan en induksjon i spolene bare forekomme når spinnene preseserer omkring en retning (kraftlinje for feltet H_0) som går gjennom aksene av en spole: Følgelig vil en brøkdel av prøven, inngrenset av de strekpunkterte linjer 62 på fig. 8, heller ikke delta i frembringelsen av signalet. Følgelig er det bare de skraverte brøkdeler på fig. 8 som kommer til virkning.

2. Tar man nå det annet ekstreme tilfelle at feltet H_0 går parallelt med aksene (fig. 5 og 6), vil alle brøkdeler av prøven i de uskraverte soner på fig. 5 ikke delta i frembringelsen av et signal: I disse brøkdeler blir spinnenes presesjonsbevegelser ikke vedlikeholdt av det av spolene forårsakede felt H_a , da dette felts kraftlinjer er parallelle eller stort sett parallelle med feltet H_0 som skal måles.

Derimot forekommer der selvsagt vedlikeholdelse av spinnenes presesjonsbevegelse i de skraverte soner på fig. 5. For at et signal skal opptre i hver spole, er det således tilstrekkelig at den makroskopiske resultant av de magnetiske momenter av atomkjernesystemet i en gitt sone på en side av spolens akse induserer strømmer i samme retning som den der skyldes den makroskopiske resultant av de magnetiske momenter av kjernesystemet i en sone diametralt overfor den første. På fig. 6 vil det ses at vekselfeltet H_a i punkter hvor kraftlinjene av feltet H_a forløper radialt, kan dekomponeres i to vektorer som roterer med en pulsasjon svarende til kjerneresonansfrekvensen. Den ene av disse vektorer har ingen virkning, da det tilsvarende felt oppfører seg som en størrelse med pulsasjonen $-2\pi f$ i forhold til et filter (nukleært filter) avstemt på pulsasjonen $+2\pi f$. Det eneste som gjenstår, er feltene H_1 som har motsatt retning (fig. 6) i motstående soner. Med andre ord blir resultantene av projeksjonene av

spinnenenes rotasjon på planet for fig. 6 for motstående soner av prøven, vektorer med motsatt retning (mens rotasjonsretningen for vektorene H_1 blir den samme). Man kan også se det slik at spinnene for hver spole oppfører seg som roterende faseforskjövne dubletter beliggende overfor spolen: De induserer dermed en resulterende strøm. Virkningen av spinn beliggende i soner med omtrent samme diameter som spolen, er selvsagt dominerende. Soner beliggende sideforskjövnet i forhold til spolen, altså med mindre eller større diameter, yder imidlertid et ikke ubetydelig bidrag.

Man må ennvidere være oppmerksom på et forhold som, skjönt det er sekundært, allikevel er meget viktig: Når orienteringen av det målte felt H_0 er som vist på fig. 5 og 6, oppviser hodet ingen gyromagnetisk effekt, d.v.s. at frekvensen av de signaler som opptrer ved spolenes klemmer, forblir lik den kjernemagnetiske resonansfrekvens $f = \gamma/2\pi H_0$, uansett hvilke dreiebevegelser som skal meddeles hodet. Ennvidere vil spolenes dreiebevegelser om sin akse ikke foranledige noen gyromagnetisk effekt, som det ellers var tilfelle med de tidligere kjente magnetiske hoder med en enkelt forbudt akse, som beskrevet i det ovennevnte franske patentskrift nr. 1.447.226. Når magnetometeret er montert på et fartøy, f.eks. et fly, hvis mest voldsomme dreie-bevegelser forekommer under slingring, fører de to ovennevnte egenskaper til at man plasserer hodets akse i slingreaksen, og det uansett inklinasjonen av det jordmagnetiske felt som skal måles, da der ikke består noen forbudt akse. Fordelen ved magnetometeret ifølge oppfinnelsen ytrer seg fremfor alt i nærheten av ekvator, hvor de jordmagnetiske feltlinjer er praktisk talt horisontale, noe som ville forby en plassering av et hode med en enkelt forbudt akse under forhold som gjør det mulig å undertrykke den gyromagnetiske effekt under slingring.

Da den gyromagnetiske effekt ikke forekommer ved noen dreining av hodet om sin akse og bare gjør seg gjeldende for den komponent av det målte felt H_0 som ikke er parallell med aksen, blir denne effekt ennvidere påtagelig redusert i forhold til forholdene ved de tidligere kjente hoder for alle orienteringer av feltet H_0 , unntatt orienteringer loddrett på aksen.

Det ses at magnetometeret ifølge oppfinnelsen oppviser de fordeler som blev omtalt ovenfor: utførelsen blir meget enkel og krever ikke bearbeidelse av flaskene, og den gyromagnetiske effekt blir avdempet. Når det gjelder det siste punkt, vil det bemerkes at man har valget mellom to egenskaper for hodet: Man kan ta sikte

på et signal hvis amplitude er praktisk talt konstant, uansett hodets orientering, noe som innebærer en regelmessig fordeling av prøvene rundt spolene, eller man kan ta sikte på en sterk avdempning av den gyromagnetiske effekt ved å minske volumet av prøver som ligger radialt i forhold til spolene. Ennvidere blir hodets fyllfaktor (den andel av hodets volum som opptas av prøvene) meget høy. Armeringen som anbringes rundt spolene, danner en skjerm som dels skjermer den ytre apparatur mot den lavfrekvente stråling fra hodet, og dels skjermer spolene mot virkningen av ytre felt.

P a t e n t k r a v :

1. Magnetometer med magnetisk kjerneresonans og spinnkobling, omfattende:
to prøver som er utsatt for feltet som skal måles, og inneholder samme atomkjerner med magnetisk moment og kinetisk moment forskjellige fra null, og to spoler anbragt på linje og anordnet i forbindelse med hver sin prøve,
anordninger til å frembringe et elektromagnetisk felt med elektronresonans-frekvensen, tilstrekkelig til å mette en spektrallinje for den ene av prøvene og bevirke økning av energiabsorpsjonen ved atomkjernenes resonansfrekvens, og å mette en sentrallinje av den annen prøve og bevirke en energiemisjon med den nevnte resonansfrekvens for atomkjernene, en tilbakekoblingssløyfe til å vedlikeholde resonansen og omfattende en lavfrekvens-forsterker og minst to spoler som er forbundet med hver sin prøve og forbundet med forsterkeren, samt en anordning til å måle resonansfrekvensen, k a r a k t e r i s e r t ved at hver av prøvene omfatter en brøkdel som er anordnet radialt i forhold til den eller de tilsvarende spoler, og en brøkdel som er anordnet på siden i forhold til den eller de nevnte spoler.
2. Magnetometer som angitt i krav 1, k a r a k t e r i s e r t ved at sidebrøkdelene adskiller de med forskjellige prøver forbundne spoler, mens de radiale brøkdeler befinner seg i det indre av spolene.
3. Magnetometer som angitt i krav 1, k a r a k t e r i s e r t ved at hver av prøvene har form av en ring med rektangulært eller kvadratisk tverrsnitt og den tilsvarende spole har slik form at dens tverrsnitt befinner seg midt i ringens.
4. Magnetometer som angitt i krav 3, k a r a k t e r i s e r t ved at hver av prøvene utgjøres av to i hinannen innpassede delflasker som mellom seg levner den nødvendige plass for den tilsvarende spole.
5. Magnetometer som angitt i et av kravene 1 - 4, k a r a k -

130032

t e r i s e r t ved at hver av spolene har stort sett kvadratisk tverrsnitt.

6. Magnetometer som angitt i et av kravene 1 - 5, k a r a k - t e r i s e r t ved at den nevnte tilbakekoblingssløyfe omfatter en differensialforsterker og en spole pr. prøve, hvorav spolene er tilsluttet en fast referansespenning og en inngang til forsterkeren forskjellig for de to spoler, slik at de i spolene induserte parasitiske spenninger opptrer med felles modus, mens forsterkerens utgang er forbundet med dens innganger via like impedanser med høy ohm-verdi i forhold til spolenes, samt en anordning til å måle frekvensen ved forsterkerens utgang, og ved at hver av spolene er innrettet både til eksitering og til registrering av signaler med lav frekvens.

7. Magnetometer som angitt i et av de foregående krav, k a - r a k t e r i s e r t ved at anordningene til å frembringe et elektromagnetisk felt ved elektronresonans-frekvensen omfatter et resonanshulrum som omgir både prøvene og spolene og er dannet av tynne langsgående bånd av godt ledende metall som sølv.

(56) Anførte publikasjoner:

Fransk patent nr. 1576365

U.S. patent nr. 3441838, 3469181, 3495163, 3501690

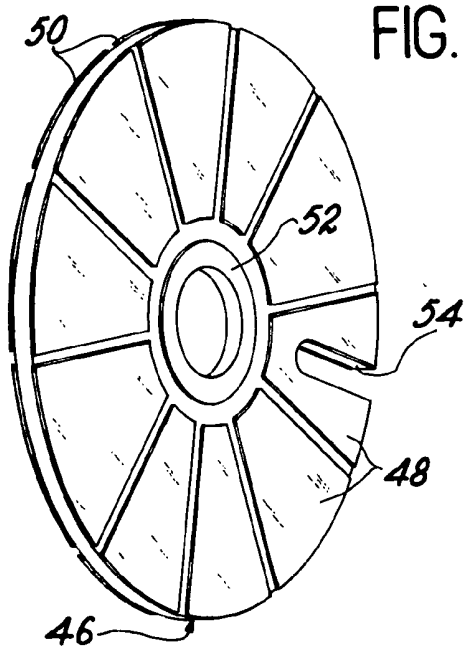


FIG. 3

130032

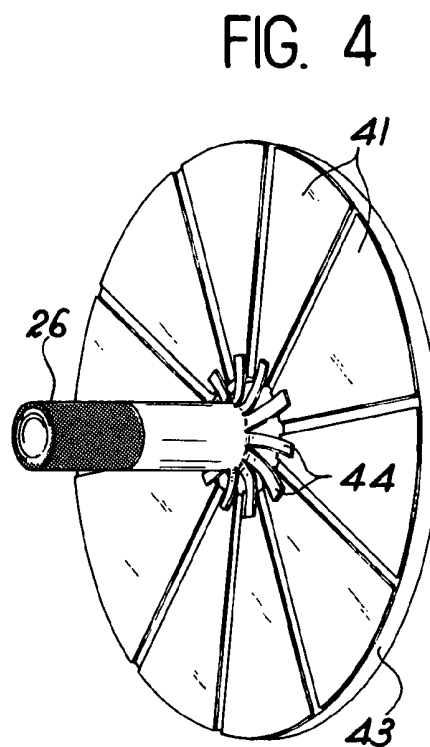


FIG. 4

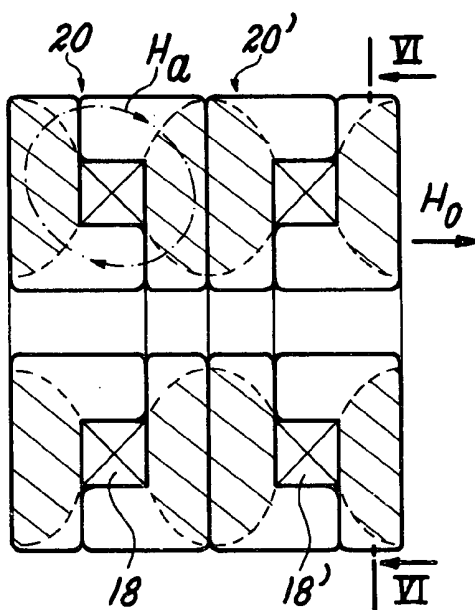


FIG. 5

130032

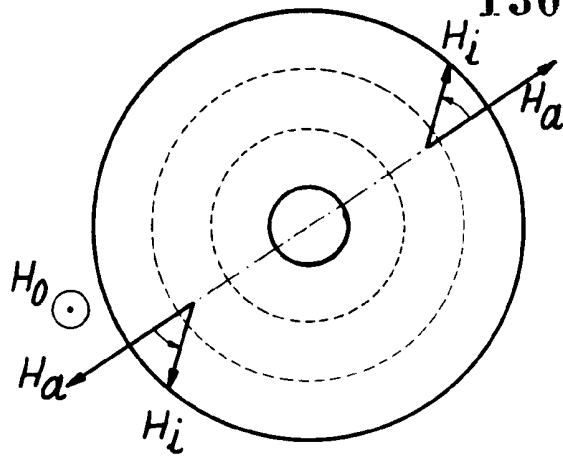


FIG. 6

FIG. 7

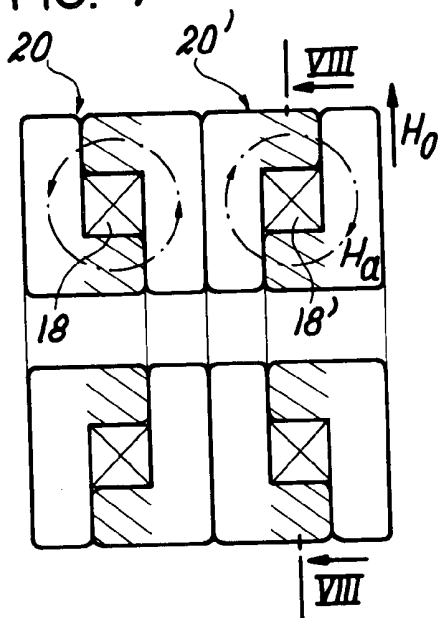


FIG. 8

