



(12) PATENT

(19) NO

(11) 337343

(13) B1

NORGE

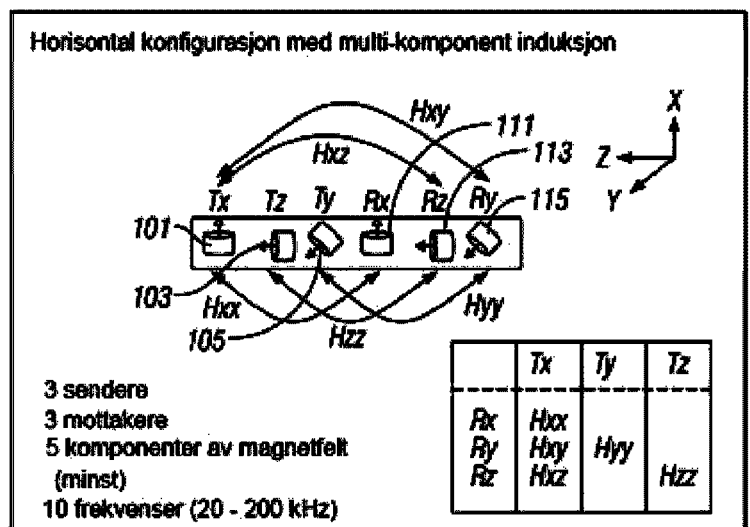
(51) Int Cl.

G01V 3/28 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20051145	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	2003.09.05 PCT/US2003/27957
(22)	Inng.dag	2005.03.03	(85)	Videreføringsdag	2005.03.03
(24)	Løpedag	2003.09.05	(30)	Prioritet	2002.09.06, US, 408615
(41)	Alm.tilgj	2005.06.03			
(45)	Meddelt	2016.03.21			
(73)	Innehaver	Baker Hughes Incorporated, P.O. Box 4740, US-TX77210-4740 HOUSTON, USA			
(72)	Oppfinner	Leonty Abraham Tabarovsky, 12126 Via Porta Rosa, US-TX77429 CYPRESS, USA Tsili Wang, 20723 Fawnbrook Court, US-TX77450 KATY, USA Borislav J Tchakarov, 8519 Westerbrook Lane, US-TX77396 HUMBLE, USA John A Signorelli, 11327 Rocky Mill Drive, US-TX77429 CYPRESS, USA Sheng Fang, 10703 Overton Circle, US-TX77073 HOUSTON, USA			
(74)	Fullmektig	Bryn Aarflot AS, Postboks 449 Sentrum, 0104 OSLO, Norge			
(54)	Benevnelse	Fremgangsmåte og apparat for retningsbestemt resistivitetsmåling under boring			
(56)	Anførte publikasjoner	US 6297639 B1 US 5530358 A US 4536714 A			
(57)	Sammendrag				

En fremgangsmåte og en anordning for måling-under-boring eller logging-underboring for bestemmelse av asimut ved tilveiebringelse av et magnetfelt i et fjerntliggende formasjonslag i nærheten av et nedihulls resistivitetsverktøy. Det er tilveiebrakt et krysskomponent-magnetfelt med hovedsakelig ortogonale sender- og mottaker-spoler. Spoleplanene er enten hovedsakelig ortogonale (koaksiale spoler) eller parallelle (tverrstilte spoler) i forhold til lengdeaksen i verktøylegemet. Spolene er plassert på verktøylegemet som har en utvendig overflate, og en flerhet av spor er skåret i den utvendige overflate av verktøylegemet og orientert hovedsakelig horisontalt i forhold til lengdeaksen i verktøylegemet for spolene, og orientert vertikalt i forhold til lengdeaksen i verktøylegemet for de koaksiale spoler. En tverrstilt og koaksial spole er plassert i sporene for sending eller mottak av et krysskomponenttverrgående magnetfelt.



Oppfinnelsen vedrører generelt feltet fremgangsmåter til brønnlogging av elektrisk resistivitet. Mer bestemt vedrører oppfinnelsen en fremgangsmåte og en anordning for tilveiebringelse av en tverrstilt spole og måling av krysskomponent-
5 magnetfelt i et nedihulls resistivitetsverktøy.

Loggeverktøy for elektromagnetisk induksjon og bølgeforplantning er i vanlig bruk for bedømmelse av elektriske egenskaper i formasjoner som omgir et borehull. Disse loggeverktøyene gir målinger av tilsynelatende resistivitet (eller konduktivitet) i formasjonen, som, når de tolkes korrekt, i rimelig grad bestemmer de petrofysiske
10 egenskaper i formasjonen og fluidene i denne.

De fysiske prinsipper for brønnlogging av resistivitet ved hjelp av elektromagnetisk induksjon er beskrevet f.eks. H.G. Doll, *Introduction to Induction Logging and Application to Logging of Wells Drilled with Oil-Based Mud*, Journal of Petroleum Technology, vol. 1, side 148, Society of Petroleum Engineers,
15 Richardson, Tex. (1949). Mange forbedringer og modifikasjoner av resistivitetsinstrumenter som anvender elektromagnetisk induksjon har blitt tenkt ut siden publikasjonen av Doll-referansen ovenfor. Eksempler på slike modifikasjoner og forbedringer kan f.eks. finnes i US-patent nr. 4,837,515, US-patent nr. 5,157,605 bevilget til *Chandler et al.*, og US-patentsøknad nr. 5,452,761 bevilget til *Beard et al.*

20 Et typisk instrument for måling av elektrisk resistivitet er et militært brønn-loggeinstrument som anvender elektromagnetisk induksjon, så som beskrevet i US-patent nr. 5,452,761, bevilget til *Beard et al.* Induksjonsloggeinstrumentet som er beskrevet i *Beard sitt patent '761* inkluderer et antall mottakerspoler som har forskjellige aksiale avstander fra en senderspole. Vekselstrøm ledes gjennom senderspolen,
25 hvilket induserer vekslende elektromagnetiske felt i jordformasjonene. Spenninger, eller målinger, induseres i mottakerspolene som et resultat av elektromagnetiske induksjonsfenomen som er relatert til de vekslende elektromagnetiske felt. En kontinuerlig registrering av spenningene danner kurver, som også benevnes induksjonslogger. Induksjonsinstrumentene som består av flere sett av mottakerspoler be-
30 nevnes multi-gruppe-induksjonsinstrumenter. Hvert sett av mottakerspoler sammen med senderen benevnes en undergruppe. En multigruppeinduksjon utgjøres følgelig av tallrike undergrupper og samler inn målinger med alle undergruppene.

Konvensjonelle induksjonsverktøy som kun omfatter koaksiale sender-mottakerspole-konfigurasjoner har ikke asimutal sensitivitet. Derfor, i en horisontal brønnboring, inneholder dataene ikke informasjon om formasjonens retningsavhengighet. Det er derfor fra disse data alene ikke mulig å skjelne om hvorvidt et lag
5 er ovenfor eller nedenfor borehullet. Det er et behov for å være i stand til å bestemme formasjonens retningsavhengighet, til bruk f.eks. ved geostyring. Denne kunnskapen om retningsavhengighet kan fremskaffes ved å bruke et delsett eller alle krysskomponentene i det nye multikomponent-induksjonsverktøyet, for å tillate bestemmelse av formasjonens retningsavhengighet.

10 Den foreliggende oppfinnelse tilveiebringer en fremgangsmåte og en anordning for måling av krysskomponentmagnetfelt i et nedihulls resistivitetsverktøy til bevegelse i en formasjons brønnboring, for måling av en egenskap av interesse i en formasjon ved brønnboringen, hvor nedihullsverktøyet har et legeme med en lengdeakse som er hovedsakelig innrettet med en lengdeakse i brønnboringen, legemet har
15 en utvendig overflate og en flerhet av spor som er skåret i den utvendige overflate av verktøylegemet, og som er orientert perpendikulært i forhold til antennespolens ledning. For eksempel, hvis en lengdeakse i verktøylegemet. En tverrstilt spole hvis spoleplan inneholder lengdeaksen i verktøylegemet, hvor flerheten av spor er anordnet, brukes som en sender eller mottaker. En antenne er plassert i sporene for
20 sending eller mottak av et tverrgående magnetfelt.

Måling-under-boring (measurement-while-drilling, MWD) av retningsresistivitet tilveiebringer informasjon om formasjonsresistivitetsens asimutale forandringer rundt måleinnretningen som er montert nær borkronen. En applikasjon av en slik måling er ved geostyring, hvor informasjonen om asimutal resistivitet hjelper til med å
25 bestemme lokaliseringen av nærliggende soner (eksempelvis vannsone eller leirskiferlag) i forhold til borkronen, med forskjellige resistiviteter. Denne informasjonen hjelper til å med å holde borkronen innenfor mållag, dvs. drivverdige hydrokarbonsoner. Kommersielt tilgjengelige elektromagnetiske MWD-innretninger (eksempelvis MPR og EWR) har blitt brukt til å tilveiebringe sanntids formasjons-
30 resistivitetsegenskaper for geostyring og formasjonsevaluering. Disse verktøyene anvender imidlertid koaksiale spolesendere og -mottakere, og mangler asimutal oppløsning. Den foreliggende oppfinnelse tilveiebringer en fremgangsmåte og en anordning for måling ved bruk av et krysskomponentmagnetfelt i et multikomponent verktøy for logging av resistivitet under boring i et hovedsakelig horisontalt borehull.

Ved å bruke data som registreres med en enkelt mottaker eller en flerhet av mottakere som er forbundet med en enkelt sender eller en flerhet av sendere med to forskjellige senderorienteringer, er det mulig å bestemme retningen til resistive lag i forhold til borehullet.

5 Oppfinnelsen forstås best ved henvisning til de følgende figurer, hvor like tall viser til like komponenter;

 fig. 1 viser en multikomponent induksjonskonfigurasjon av oppfinnelsen for horisontale brønner;

 fig. 2 viser en konfigurasjon for en applikasjon i en horisontal brønn, brukt til å
10 fremskaffe resultater;

 fig. 3 viser en konfigurasjon for en applikasjon i en horisontal brønn, brukt til å fremskaffe resultater;

 fig. 4 er en illustrasjon av et nedihullsverktøy som beveger seg i et hovedsakelig horisontalt avviksborehull i en trelagsformasjon;

15 fig. 5 er en illustrasjon av magnetfeltet, reelle innfasedeler og imaginære kvadraturdeler for ZX-senderkonfigurasjonen i trelagsformasjonen som er vist på fig. 4;

 fig. 6 er en illustrasjon av arrangementet av horisontale spor som er skåret i verktøylegemet eller vektrøret for å romme en tverrstilt spole (X-spole) og vertikale
20 spor som brukes til å romme en Z-spole;

 fig. 7 er et snittriss av verktøyet som er vist på fig. 6, med ledning og ferritt innsatt i mellomrommene mellom ledningen og bunnen av sporene;

 fig. 8 er et riss ovenfra av en generell spordesign, og viser flere ledninger som støttes av et krumt ferrittlag oppå vektrørmetallet;

25 fig. 9 er en illustrasjon av det ekvivalente spolesystem for den tverrgående sløyfe som er vist på fig. 7, hvor alle de små spoler har den samme momentretning, og deres bidrag adderes derfor til hverandre, og spolestørrelsen er gitt av mellomrommet mellom ledningen og sporets bunn på fig. 7;

 fig. 10 er en illustrasjon av mottakingen av magnetfeltet ved hjelp av en
30 tverrstilt spole; og

 fig. 11 er en illustrasjon av et arrangement av duale sendere og duale mottakere.

Fig. 1 viser konfigurasjonen av sender- og mottakerspoler i en foretrukket utførelse av 3DEXplorer™ (3DEX) induksjonsloggeinstrumentet fra Baker Hughes. Tre ortogonale sendere 101, 103 og 105 som benevnes senderne T_x , T_z og T_y er plassert i den viste rekkefølge. De tre sendere induserer magnetfelt i tre romlige

5 retninger. Indeksene (x, y, z) angir et ortogonalt system som hovedsakelig er definert av retningene til normalene for senderne. z-aksen er valgt til å være langs lengdeaksen i verktøyet, mens x-aksen og y-aksen er innbyrdes perpendikulære retninger som ligger i planet som står på tvers av aksene. Til hver sender 101, 103 og 105 korresponderer tilknyttede mottakere 111, 113 og 115, benevnt mottakere R_x , R_z og

10 R_y , som er innrettet langs det ortogonale system som er definert av sendernormalene, plassert i den rekkefølge som er vist på fig. 1. R_x , R_z og R_y er ansvarlige for å måle de korresponderende magnetfelt H_{xx} , H_{zz} og H_{yy} . Innenfor dette systemet for å navngi magnetfeltene, angir den første indeks retningen til senderen og den annen indeks angir retningen til mottakeren. I tillegg måler mottakerne R_y og R_z to

15 krysskomponenter, H_{xy} og H_{xz} , av det magnetfelt som produseres av sender T_x (101). Denne utførelse av oppfinnelsen kan opereres i enkeltfrekvensmodus eller multippelfrekvensmodus.

Fig. 1 viser en skisse over en horisontal konfigurasjon for et multikomponent-induksjonsverktøy. Orienteringen av senderne og mottakerne forblir fast i forhold til

20 verktøyet. Multikomponentverktøyet i horisontal konfigurasjon er sensitivt overfor den anisotropiske formasjon, verktøyets lokalisering så vel som rotasjonen av verktøyet rundt sin akse. Kun H_{zz} -komponenten er innsensitiv overfor verktøyets rotasjon. I horisontal konfigurasjon er gjennomsnittet $0,5 \cdot (H_{xx} + H_{yy})$ uavhengig av verktøyrotasjon. H_{zz} og $0,5 \cdot (H_{xx} + H_{yy})$ -målingene avhenger av formasjonen og verktøyets

25 lokalisering, og kan følgelig brukes til å bestemme avstanden fra lagsgrensene og for geostyring av oppfinnelsen.

Fremgangsmåten ifølge den foreliggende oppfinnelse kan brukes sammen med data som samles inn med et loggeinstrument som transporteres på en kabel, og også sammen med data som samles inn ved bruk av en anordning for måling-under-

30 boring (Measurement-While-Drilling, MWD) som transporteres på et borerør, så som en borestreng eller kveilrør. Særlig, når den brukes sammen med MWD-målingene, kan denne informasjonen om retningsavhengighet brukes til å styre retningen av boringen og opprettholdelse av posisjonen av borehullet i forhold til lag i nærheten av borehullet.

Retningsavhengig resistivitet kan måles ved bruk av krysskomponentspoler. En viktig krysskomponentkombinasjon er en koaksial (Z) sender og en ortogonal (X) mottaker. En slik kombinasjon har den evne at den kan skjelne mellom mål som er lokalisert ovenfor eller nedenfor, forutsatt at målene er innenfor undersøkelses-
 5 dybden for innretningen. Denne evnen forteller på hvilken måte borkronen nærmer seg det geologiske mål.

Utfordringen med krysskomponentmåling for MWD er å bygge en X-spole som kan overleve i den aggressive boreomgivelse. Den foreliggende oppfinnelse tilveiebringer en spordesign for bygging av en X-spole (brukt som sender eller mottaker) for
 10 å oppfylle kravet. Denne design gjør det mulig for den foreliggende oppfinnelse å sende ut/detektere tverrgående magnetfelt og beskytte X-spolens ledning mot den skade som boreoperasjonene utgjør.

For å illustrere retningsfølsomheten ved krysskomponentmåling, viser fig. 4 det magnetfelt som måles for en Z-sender 1716 og en X-mottaker 1714 i en tre-lags
 15 formasjon 1709. Verktøyet 1710 er vist idet det beveger seg i et høyavviksborehull 1730 som bores inn i formasjonen 1709. Det øvre 1712 og nedre 1720 lag er 1 ohm-m, og midtlaget 1718 hvor verktøyet 1710 befinner seg er 10 ohm-m. Senderen 1716 og mottakeren 1714 er innrettet slik at verktøyets akse er parallell med lagsgrensene 1705 og 1707. Som vist på fig. 3, observer at magnetfeltet (imaginær del) forandrer
 20 fortegn når verktøyene beveger seg fra den øvre lagsgrense 1810 til den nedre lagsgrense 1812. Denne fortegnforandringen tilveiebringer informasjon for å skjelne lag som er over verktøyet fra lag som er under verktøyet.

Retningsmåling under boring utgjør en utfordring for verktøydesign, på grunn av vanskeligheten med å plassere en tverrstilt spole. Denne oppfinnelsen tilveiebringer en fremgangsmåte for bygging av en tverrstilt spole på et vektrør. Spolen
 25 detekterer formasjonssignaler, og står samtidig imot påkjenningen fra boreoperasjonen.

En tverrstilt spole kan konseptuelt bygges ved å fordele en ledning på utsiden av vektrørets overflate, på de motsatte sider av vektrøret. Ledningen blir deretter til-
 30 koplet ved endene, fra innsiden av vektrøret. For å fange opp signaler må det være en avstand mellom ledningen og vektrørets overflate ved bunnen av sporene. På grunn av den skade som boreoperasjonene utgjør, må ledningen beskyttes av et mekanisk sterkt og likevel elektrisk ikke-ledende materiale.

Fig. 4 viser en design som oppfyller disse to krav. Analogt til de vertikale spor 1912 for å romme en koaksial (Z-) spole, er en rekke horisontale spor 1914 skåret i overflaten av vektrøret. Sporene er fordelt ut hovedsakelig langs retningen for vektrørets akse. Hull 1917 er deretter plassert under vektrørets overflate 1710, inn mellom sporene 1914 (fig. 5). En elektrisk isolert ledning 1916 er plassert gjennom hullene 1917 og sporene 1914. Inne i hvert spor 1914 er et lite mellomrom 1713 tilbake mellom ledningen 1916 og sporets bunn 1915. Ferrittmateriale 1918 kan fylles i mellomrommet, som for en Z-spoledesign. Ledningene fra de motsatte sider koples sammen i endene, for å danne en sløyfe.

En mer generell antennedesign kan bruke multiple ledninger 1916 som støttes av et lag 1918 av krumt ferrittmateriale oppå metallrørveggen 1711 (fig. 6). På grunn av sin høye konduktivitet, er et metallvekrør 1710 tilnærmet en perfekt leder for operasjonsgrenser fra noen få hundre kilohertz til noen få megahertz. Som reaksjon på et elektromagnetisk felt, vil vektrøret frembringe overflatestrømmer som demper feltet inne i vektrøret 1710. Som et resultat av dette frembringer/mottar den fysiske ledningssløyfe ingen felt unntatt i sporområdet 1914. Effekten av den fysiske ledningssløyfe kan således erstattes med små sløyfer 2210, som vist på fig. 7. Områdene med de små sløyfer er gitt av mellomrommene mellom ledningen 1916 og sporets bunn 1915. Momentene for de små sløyfer peker alle i samme retning, og responsene adderes følgelig til hverandre. Fig. 8 skisserer magnetfeltveiene 2310 gjennom sporområdet 1923. For at sløyfen skal sende ut/motta felt, kreves at sporene har åpne ender i retningen parallelt med feltveien. Fig. 9 er en illustrasjon av det ekvivalente spolesystem for den tverrgående sløyfe som er vist på fig. 7, hvor alle de små spoler har den samme momentretning, og deres bidrag adderes derfor til hverandre, og spolestørrelsen er gitt av avstanden mellom ledningen og sporets bunn på fig. 7. Fig. 10 er en illustrasjon av magnetfeltmottakingen ved hjelp av en tverrstilt spole; og fig. 11 er en illustrasjon av et arrangement av duale sendere og duale mottakere.

Selv i det enkleste tilfelle med to lag som er atskilt med en enkelt lagsgrense, kan bestemmelse av asimut for et nærliggende lag kreve betraktning av fire mulige forskjellige scenarioer: (1) verktøyet er i et resistivt lag som ligger oppå et ledende lag, (2) verktøyet er i et ledende lag som ligger oppå et resistivt lag, (3) verktøyet er i et resistivt lag som ligger under et ledende lag, og (4) verktøyet er i et ledende lag som ligger under et resistivt lag. Derfor gjøres fire uavhengige målinger for unikt å

skjelne et nærliggende lag. Dette gjøres mulig ved å måle både innfasedelene og kvadraturdelene av krysskomponentmagnetfeltet. Måling av innfasekomponenter og kvadraturkomponenter hjelper også til med å eliminere tvetydighet ved bestemmelse av hva som er den nærliggende asimut. Tabell 1 lister opp signaturen for begge deler

5 for de forskjellige scenarioer.

Verktøyposisjon	Formasjon	Innfase	Kvadratur
Verktøy i øvre lag	Ledene lag over resistivt lag	+	–
	Resistivt lag over ledende lag	–	–
Verktøy i nedre lag	Ledene lag over resistivt lag	+	+
	Resistivt lag over ledende lag	–	+

Tabell 1. Innfasesignaturene og magnetfeltsignaturene for forskjellige verktøyposisjoner og lagstrukturer.

10 Bruken av krysskomponentmagnetfeltet for bestemmelse av et nærliggende lags asimut er avhengig av at senderspolene og mottakerspolene er ortogonale i forhold til hverandre, slik at den direkte kopling mellom spolene er fraværende. I realiteten kan verktøyet imidlertid være bøyd til borchullets kroning, eller desentralisert på grunn av gravitasjon. Verktøybøying eller eksentrisitet vil ødelegge spolens

15 ortogonalitet. Med andre ord, krysspolemålingene vil inneholde det direkte koplede felt som, avhengig av hardheten av verktøyets bøying eller eksentrisitet, kan ødelegge nytten av krysskomponentfeltet for asimutal bestemmelse. For å dempe effekten av verktøybøying eller verktøyeksentrisitet, kan det brukes en annen mottaker som er plassert mellom den første (ytre) mottaker og senderen. Det tas

20 deretter gjennomsnittet av de målte innfase- og kvadraturfelt fra de indre og ytre mottakere i henhold til den følgende formel, for å tilveiebringe sluttmålingen

$$H_r = a * H_r^{\text{inn}} + H_r^{\text{ut}}$$

$$H_i = a * H_i^{\text{inn}} + H_i^{\text{ut}}$$

Hvor H_r^{inn} og H_r^{ut} er innfasemålingene for de indre henholdsvis ytre mottakere, H_i^{inn} og H_i^{ut} er de respektive kvadraturmålinger for mottakerne, og a er en koeffisient som er gitt av $a = -L_{\text{inn}}^3 / L_{\text{ut}}^3$, hvor L_{inn}^3 og L_{ut}^3 er avstandene fra de indre henholdsvis ytre mottakere til senderen.

- 5 For å foreta pålitelige målinger, er forsterkningene til de to mottakere kjent og holdes konstant. Nedihulls temperaturvariasjoner kan imidlertid forårsake at forsterkningene endres litt. En ukorrigert forsterkningsvariasjon kan ødelegge balanseringen mellom de to mottakermålinger, som uttrykt med ligningene (1) og (2). For dette formål kan det brukes en annen sender (i Z-retning), som er plassert symmetrisk i forhold til senteret og på den motsatte side av de to mottakere. Det tas deretter
- 10 gjennomsnittet av målingen fra hver individuelle sender, for å gi sluttmålingen. Den annen sender hjelper også til med å fjerne en drifteffekt for mottakerens forsterkning.

- I en annen utførelse implementeres fremgangsmåten ifølge den foreliggende oppfinnelse som et sett datamaskinutførbare instruksjoner på et datamaskinlesbart
- 15 medium, omfattende ROM, RAM, CD ROM, Flash eller et hvilket som helst annet datamaskinlesbart medium, som nå er kjent eller ukjent, som når det kjøres, forårsaker at den datamaskin implementerer fremgangsmåten ifølge den foreliggende oppfinnelse.

- Selv om den foregående redegjørelse er rettet mot de foretrukne utførelser av
- 20 oppfinnelsen, vil forskjellige modifikasjoner være åpenbare for de som har fagkunnskap innen teknikken. Det er meningen at alle variasjoner innenfor rammen av de vedføyde krav skal omfattes av den foregående redegjørelse. Eksempler på mer viktige trekk ved oppfinnelsen har blitt oppsummert nokså bredt, slik at den detaljerte beskrivelse av denne som følger kan forstås lettere, og slik at bidragene til teknikken
- 25 kan verdsettes. Det er selvsagt ytterligere trekk ved oppfinnelsen som heretter vil bli beskrevet, og som vil danne gjenstand for de vedheftede krav.

P A T E N T K R A V

1. Anordning for bruk i en brønnboring (1730) i en grunnformasjon (1709), omfattende:

5 et resistivitetsverktøy (1710) som har et legeme med en lengdeakse som er hovedsakelig innrettet med en lengdeakse i brønnboringen (1730), hvor legemet har en utvendig overflate;

k a r a k t e r i s e r t v e d:

minst ett par spor (1914) i den utvendige overflate og som er orientert hovedsakelig ortogonalt i forhold til lengdeaksen i legemet;

10 en første spoleantenne (101, 105, 111, 115) plassert nær den utvendige overflate av legemet, hvor den første spoleantenne har en akse som er hovedsakelig ortogonalt i forhold til lengdeaksen i legemet og i forhold til det minst ene par av spor (1914) og plassert i minst ett hull (1917) som krysser eller avskjærer det minst ene par av spor;

15 et antennekjerne-materiale (1918) plassert i det minst ene par av spor mellom den første spoleantennen og lengdeaksen i legemet, hvor den første antennen og antennekjerne-materialet definerer flere små antennesløyfer (2210) med akser hovedsakelig parallelle med den første spoleantennens akse.

2. Anordning som angitt i krav 1, hvor den første spoleantennen omfatter en senderantenne (101, 105).

25 3. Anordning som angitt i krav 1, hvor den første spoleantennen omfatter en mottakerantenne.

4. Anordning som angitt i krav 1, hvor det minst ene par av spor omfatter en flerhet av par spor (1914).

30

5. Anordning som angitt i krav 1, hvor en bunn i det minst ene par av spor er hovedsakelig parallell med lengdeaksen i legemet.

6. Anordning som angitt i krav 1, videre omfattende:
en flerhet av spor (1912) i den den utvendige overflate med en orientering som er hovedsakelig parallell med lengdeaksen i legemet; og
en andre spoleantenne (103, 113) plassert nær den utvendige overflate av
5 verktøylegemet, hvor den andre spoleantennen har en akse som er hovedsakelig parallelt i forhold til lengdeaksen i legemet og plassert i minst ett hull som krysser eller avskjærer det minst ene par av spor.
7. Anordning som angitt i krav 6, hvor én av den første spoleantennen (101, 105,
10 111, 115) og den andre spoleantennen (103, 113) omfatter en senderantenne, og den andre av den første spoleantennen (101, 105, 111, 115) og den andre spoleantennen (103, 113) omfatter en mottakerantenne.
8. Anordning som angitt i krav 1, hvor antennekerne-materialet omfatter en ferritt
15 (1918).
9. Anordning som angitt i krav 1, hvor den første antennen opereres ved en enkelt frekvens.
- 20 10. Anordning som angitt i krav 1, hvor den første antennen opereres ved en flerhet av frekvenser.
11. Anordning som angitt i krav 7, hvor lengdeakse i brønnboringen er hovedsakelig parallell med en grenseflate i grunnformasjonen (1705, 1707).
25
12. Anordning som angitt i krav 11, hvor et signal som er mottatt ved mottakerantennen og som resulterer fra aktivering av senderantennen, er indikativt for en avstand til grenseflaten fra brønnboringen.
- 30 13. Anordning som angitt i krav 11, hvor et signal som er mottatt ved mottakerantennen og som resulterer fra aktivering av senderantennen, er indikativt for en orientering av grenseflaten i forhold til brønnboringen.

14. Anordning som angitt i krav 11, hvor et signal som er mottatt ved aktivering av mottakerantennen og som resulterer fra aktivering av senderantennen, er indikativt for relative resistiviteter av grunnformasjoner på motsatte sider av grenseflaten.

5 15. Anordning som angitt i krav 7, videre omfattende en ytterligere mottakerantenne mellom senderantennen og mottakerantennen, og hvor et avveid gjennomsnitt av signaler mottatt av mottakerantennen og den ytterligere mottakerantennen, er indikativt for minst én av: i) en avstand til grenseflaten, ii) en orientering av grenseflaten, og iii) relative resistiviteter av grunnformasjoner på motsatte sider av grense-
10 flaten.

16. Anordning som angitt i krav 1, hvor resistivitetsverktøyet omfatter et induksjonsverktøy.

15 17. Fremgangsmåte for bestemmelse av en resistivitetsegenskap for en grunnformasjon,

hvor fremgangsmåten omfatter:

a) transportering av et resistivitetsverktøy (1710) inn i en brønnboring (1730) i grunnformasjonen (1709),

20 hvor resistivitetsverktøyet (1710) omfatter:

et legeme med en lengdeakse som er hovedsakelig innrettet med en lengdeakse i brønnboringen (1730), hvor legemet har en utvendig overflate, og er
k a r a k t e r i s e r t v e d:

minst ett par spor (1914) i den utvendige overflate og som er orientert hovedsakelig ortogonalt i forhold til lengdeaksen i legemet,
25

en første spoleantenne (101, 105, 111, 115) plassert nær den utvendige overflate av verktøylegemet, hvor den første spoleantenne har en akse som er hovedsakelig ortogonalt i forhold til lengdeaksen i legemet og i forhold til det minst ene par av spor (1914) og plassert i minst ett hull (1917) som krysser eller avskjærer det

30 minst ene par av spor, og

et antennekjerne-materiale (1918) plassert i det minst ene par av spor mellom den første spoleantennen og lengdeaksen i legemet;

b) bruk av den første antennen og antennekjerne-materialet for å definere flere små antenne-sløyfer (2210) med akser hovedsakelig parallelle med den første spole-antennens akse;

- c) bruk av resistivitetsverktøyet for å fremskaffe et krysskomponentsignal fra grunnformasjonen; og
- d) bestemmelse fra krysskomponentsignalet av resistivitetsegenskapen for grunnformasjonen.

18. Fremgangsmåte som angitt i krav 17, hvor bruk av resistivitetsverktøyet for å fremskaffe krysskomponentsignalet videre omfatter bruk av spoleantennen som en mottakerantenne.

19. Fremgangsmåte som angitt i krav 17, hvor bruk av resistivitetsverktøyet for å fremskaffe krysskomponentsignalet videre omfatter bruk av spoleantennen som en senderantenne (103, 105).

20. Fremgangsmåte som angitt i krav 17, hvor resistivitetsegenskapen er minst én av:

- i) en orientering for en lagsgrense i grunnformasjonen i forhold til brønnboringen; ii) en resistivitetskontrast for grunnformasjonen mellom en side av en lagsgrense i grunnformasjonen nær brønnboringen og en side av lagsgrensen fjerntliggende i forhold til brønnboringen.

21. Fremgangsmåte som angitt i krav 18, hvor bestemmelse av resistivitetsegenskapen for grunnformasjonen videre omfatter bruk av en ytterligere antenne som en senderantenne (101, 103, 105); og analysering av innfase- og kvadraturkomponenter til krysskomponentsignalet.

22. Fremgangsmåte som angitt i krav 18, hvor bestemmelse av resistivitetsegenskapen for grunnformasjonen videre omfatter bruk av en ytterligere antenne som en mottakerantenne (111, 113, 115); og analysering av innfase- og kvadraturkomponenter for krysskomponentsignalet.

23. Fremgangsmåte som angitt i krav 17, videre omfatter fremskaffelse av krysskomponentsignalet ved en flerhet av frekvenser.
24. Fremgangsmåte som angitt i krav 17, hvor fremskaffelse av krysskomponent-
- 5 signalet omfatter induksjon av strømmer i grunnformasjonen.

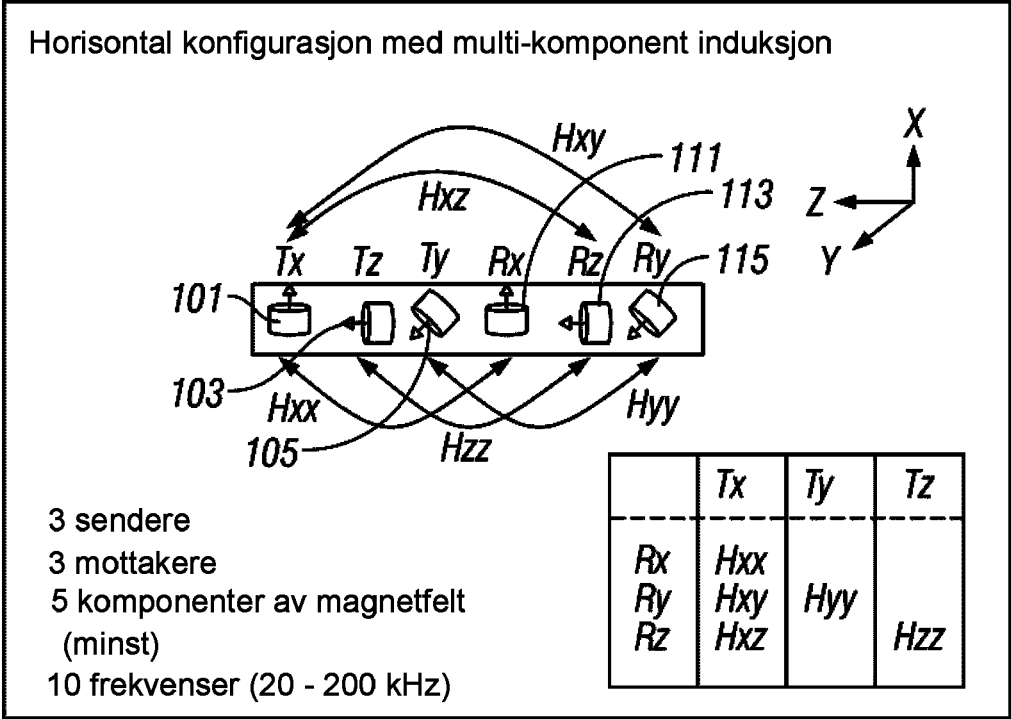


FIG. 1

2/6

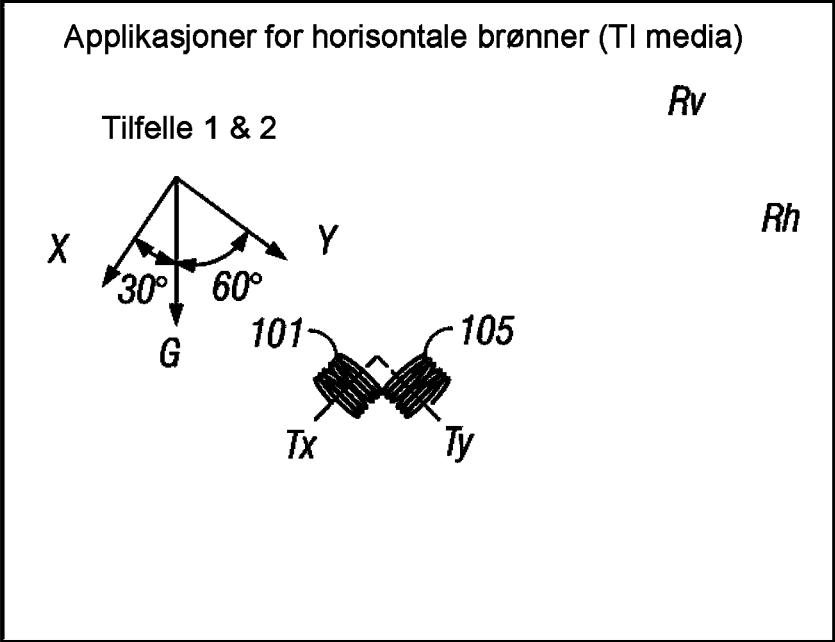


FIG. 2

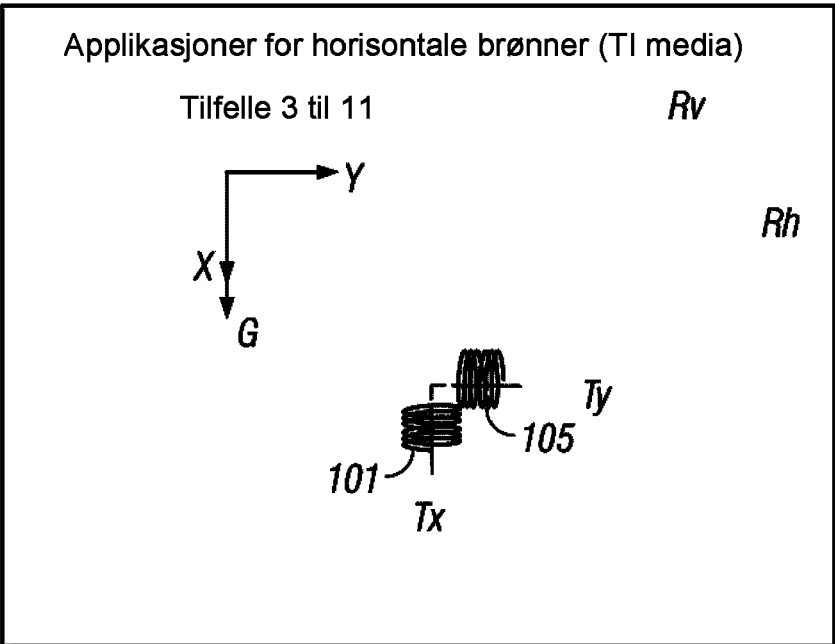


FIG. 3

3/6

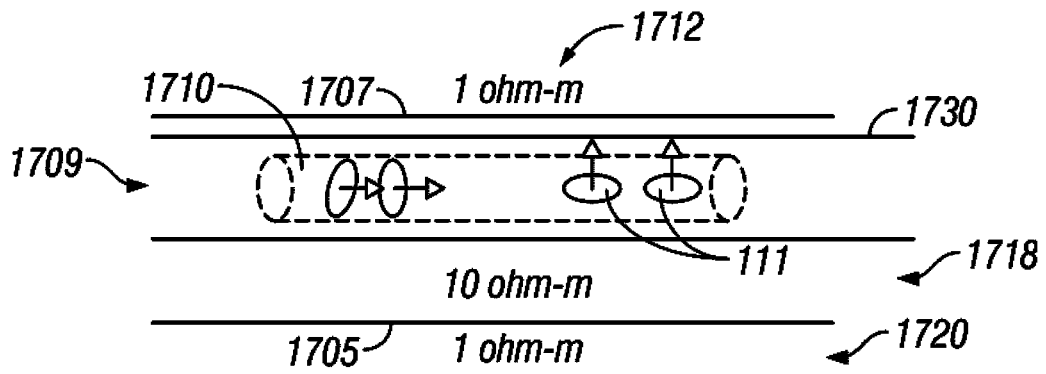


FIG. 4

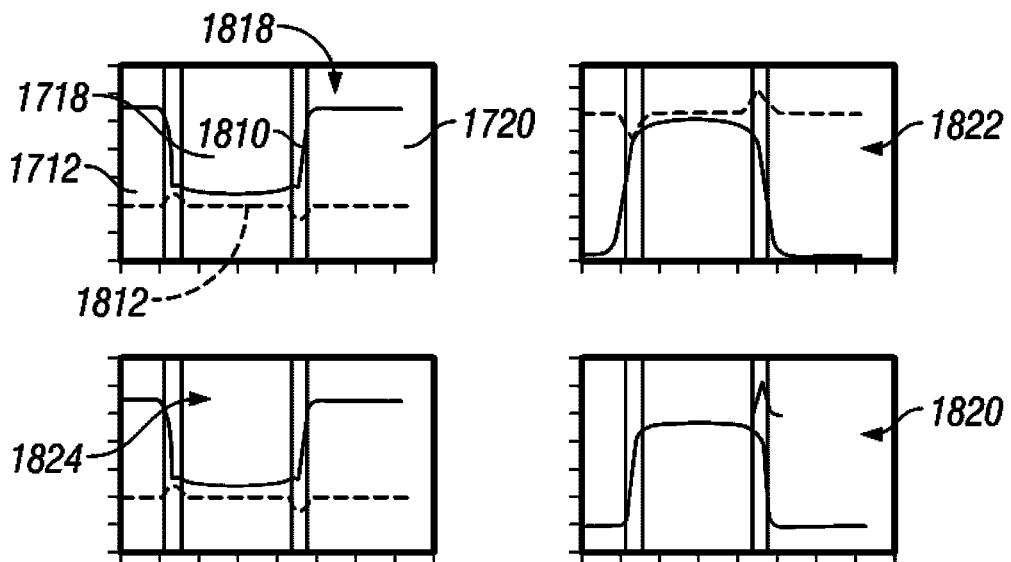


FIG. 5

4/6

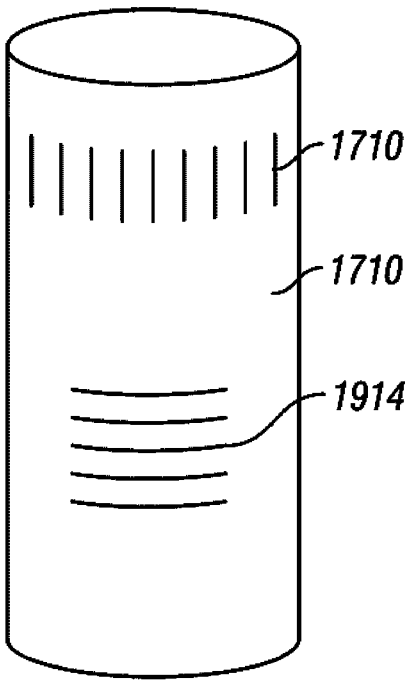


FIG. 6

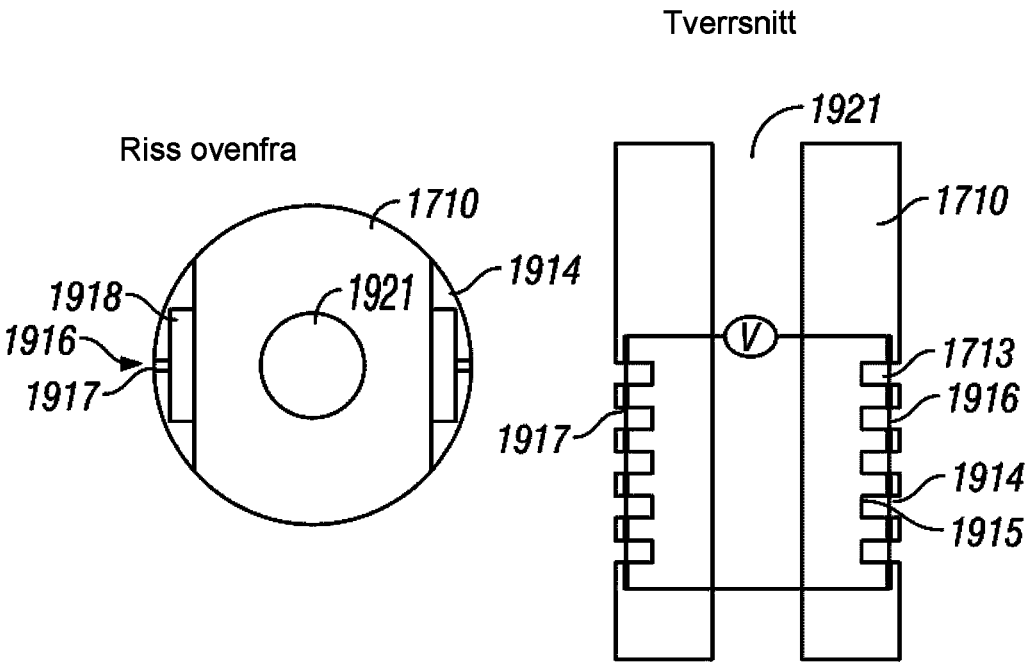


FIG. 7

5/6

Riss ovenfra

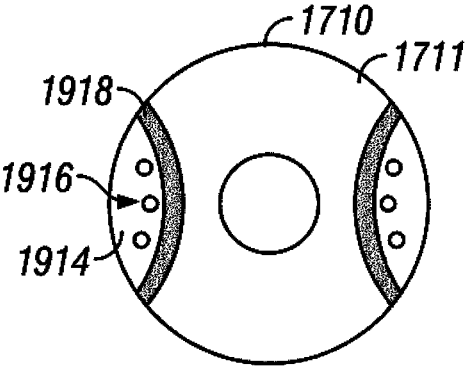


FIG. 8

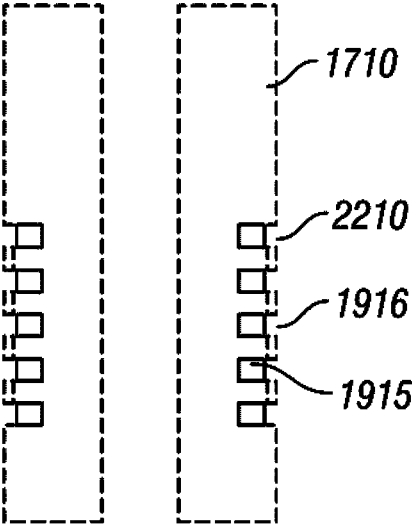


FIG. 9

6/6

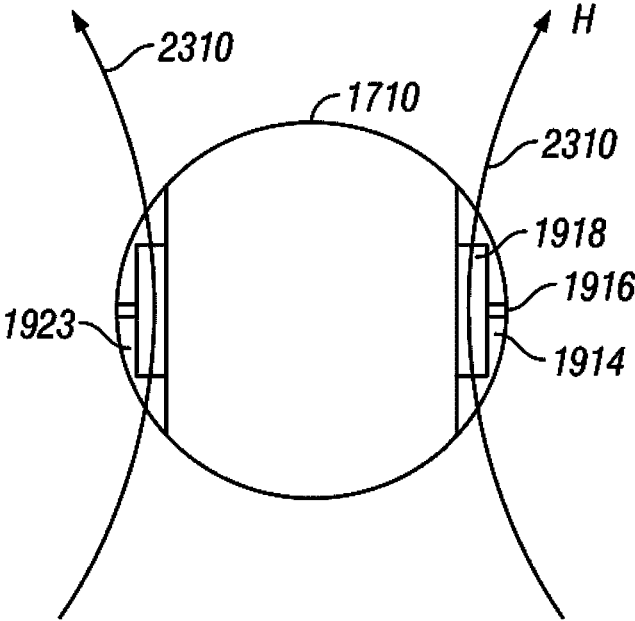


FIG. 10

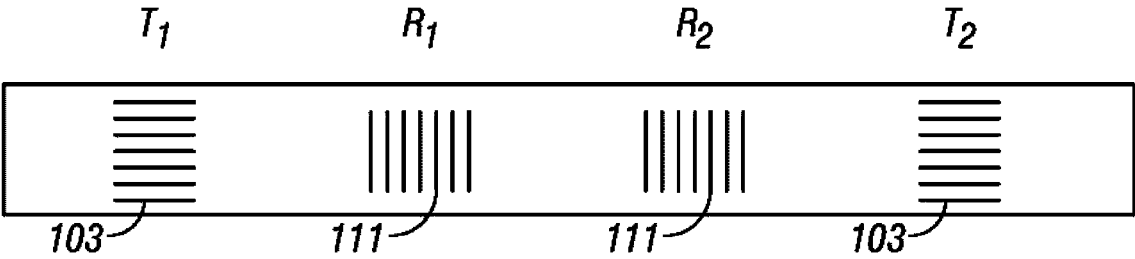


FIG. 11