(12) **PATENT**

(19) NO (11) **341001** (13) **B1**

NORGE

(51) Int Cl.
E21B 10/42 (2006.01)
E21B 47/01 (2012.01)
E21B 47/12 (2012.01)
E21B 49/00 (2006.01)
G01V 3/30 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20111418	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	2010.01.22 PCT/US2010/021715
(22)	Inng.dag	2011.10.18	(85)	Videreføringsdag	2011.10.18
(24)	Løpedag	2010.01.22	(30)	Prioritet	2010.01.22, US, PCT/US2010/021715
(41)	Alm.tilgj	2011.11.11			
(45)	Meddelt	2017.07.31			

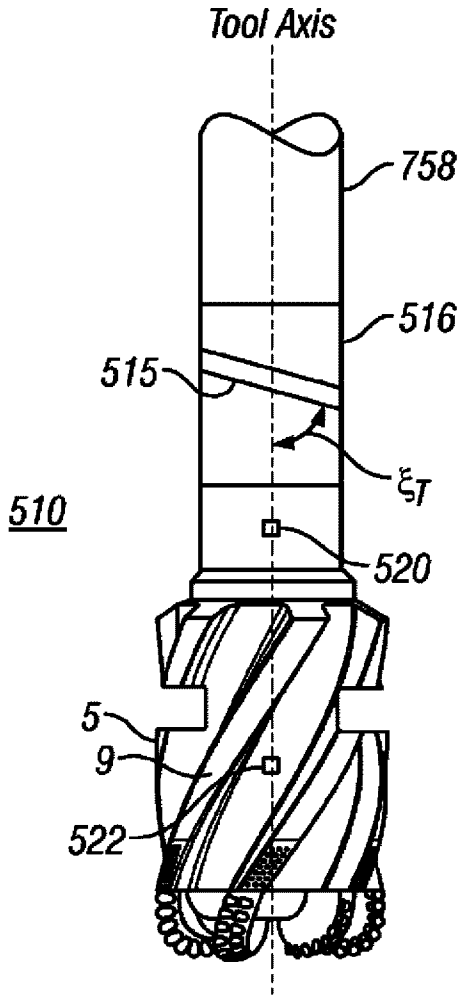
(73) Innehaver Halliburton Energy Services Inc, 10200 Bellaire Boulevard, US-TX77072 HOUSTON, USA
(72) Oppfinner Michael S Bittar, 8711 Wheatland Drive, US-TX77064 HOUSTON, USA
Vadim Minosyan, 10325 Cypresswood Dr #1935, US-TX77070 HOUSTON, USA
Gary E Weaver, 315 Laura Lane, US-TX77385 CONROE, USA
(74) Fullmektig Zacco Norway AS, Postboks 2003 Vika, 0125 OSLO, Norge

(54) Benevnelse **System, fremgangsmåte og anordning for resistivitetsmålinger**

(56) Anførte publikasjoner US 2008/0078580 A1

(57) Sammendrag

En anordning for a måle en formasjonsresistivitet innbefattende en instrumentert kronesammenstilling koblet til en bunnende av anordningen. Minst en første elektromagnetiskbølgeantenne sender et elektromagnetisk bølgesignal inn i formasjonen. Minst en andre elektromagnetiskbølgeantenne posisjonert på den instrumenterte kronesammenstilllngen og i lengderetningen romlig atskilt fra den minste ene første elektromagnetiskbølgeantennen mottar det elektromagnetiske bølgesignalet sendt gjennom formasjonen. Elektroniske kretser funksjonelt koblet til den minste ene andre elektromagnetiskbølgeantennen for å behandle det mottatte signal for å bestemme en formasjonsresistivitet.



System, fremgangsmåte og anordning for resistivitetsmålinger

Oppfinnelsens bakgrunn

For at en formasjon skal inneholde hydrokarboner og tillate hydrokarboner å strømme gjennom den må fjellet innbefattende formasjonen ha visse velkjente fysiske egenskaper. Én egenskap er at formasjonen har en viss målbar resistivitet (den inverse av ledeevnen), som kan bestemmes av egnede transduktorer i borestrengen. Analysen av data fra disse transduktorene tilveiebringer informasjon vedrørende resistiviteten til formasjonen omliggende resistivitetsverktøyet, som deretter kan brukes i kombinasjon med andre målinger for å forutsi hvorvidt formasjonen vil produsere hydrokarboner.

For boreslammet i borehullet vanligvis holdes på et høyere trykk enn formasjonen er slammet tilbøyelig til å invadere den gjennomtrengelige formasjonen omliggende borehullet og tvinger det opprinnelige formasjonsvannet til å drives bort fra borehullet. Denne utskyllingen av boreslamfiltrat inn i formasjonen danner er invadert eller utvasket sone rundt borehullet, med en overgangssone mellom de utvaskede og uforstyrrede sonene. Denne invasjonen av boreslam kan påvirke nøyaktige målinger av formasjonsresistiviteten. Invasjonsdybden av boreslammet er en faktor av formasjonsporøsiteten, det differensielle boretrykket, formasjonen gjennomtrengelighet, vanntap fra borevæsken og tid. For å redusere invasjonseffektene er det ønskelig å måle resistiviteten så nærme sjakten som mulig. For å oppdage laggrenser er det ønskelig å detektere formasjonsresistivitet foran kronen.

Kjent teknikk er beskrevet i US 2008/0078580 A1 som beskriver system og fremgangsmåte for å påvise grenser og asimut motstandslogging for en sjøbunn med et verktøy.

Kort beskrivelse av tegningene

En bedre forståelse av den foreliggende oppfinnelse kan oppnås når den følgende detaljerte beskrivelsen av eksempelvise utførelsesformer betraktes i sammenheng med de følgende tegninger, hvori:

Fig. 1 viser et skjematisk diagram over et boresystem;

Fig. 2 viser et eksempel på en utførelsesform for en instrumentert kronesammenstilling;

Fig. 3A viser et tverrsnittriss av en del av en instrumentert krone der posisjonen til ent mottaker vises;

Fig. 3B-3D viser eksempelvise orienteringer av en mottaker i en instrumentert krone;

Fig. 4 viser et annet eksempel på en kroneovergang;

Fig. 5 viser et eksempel på en instrumentert kronesammenstilling;

Fig. 6A viser et en eksempelvis geometri forbundet med en analyse av en ikke-skråstilt antenne;

Fig. 6B viser et en eksempelvis geometri forbundet med en analyse av en skråstilt antenne;

Fig. 7 viser en utførelsesform av en instrumentert kronesammenstilling, der mottakerne er posisjonert i bladene;

Fig. 8 viser et perspektivisk riss over endestykket av en instrumentert kronesammenstilling;

Fig. 9 vier et eksempel på en instrumentert kronesammenstilling innbefattede en antenne posisjonert på bærestammedelen av borekronen;

Fig. 10 viser et koordinatsystem antydende et eksempelvis koordinatsystem vedrørende resistivitetskomponenter til sedimentær oppbygning;

Fig. 11 viser et annet eksempel på en instrumentert kronesammenstilling;

Fig. 12 vider et annet eksempel på en instrumentert kronesammenstilling, innbefattende en skråstilt antenn; og

Fig. 13 viser enda et eksempel på en instrumentert kronesammenstilling innbefattende et par kryssede skråstilte mottakere.

Detaljert beskrivelse

Fig. 1 viser et skjematisk diagram over et boresystem 710 med en nedihullssammenstilling i henhold til én utførelsesform ifølge den forliggende oppfinnelse. Som vist inkluderer systemet 710 et konvensjonelt boretårn 711 oppreist på et boredekk 712 som støtter et rotasjonsbord 714 som roteres av en drivmotor (ikke vist) ved en ønsket rotasjonshastighet. En borestreng 720 som inkluderer et borerørstykke 722 som strekker seg nedover fra rotasjonsbordet 714 inn i et borehull 726. Borehullet 726 kan løpe i en tredimensjonal bane. Den tredimensjonale retningen av bunnen 751 av borehullet 726 er angitt med en retningsindikator 752. I ett eksempel er en instrumentert

borekronesammenstilling 10 festet ved nedihullsenden av borestrengen 720 og nedbryter den geologiske formasjonen 30 instrumentert borekronesammenstilling 10 roteres. Borestrengen 720 er koblet til et heiseverk 730 via drivrørsskjøt (eng: kelly joint) 721, svivel 728 og ledning 729 gjennom et system med taljer (ikke vist). Under boreoperasjoner opereres heiseverket 730 for å styre vekten på det den instrumenterte borekronesammenstillingen 10 og borestrengens 720 gjennomtregningshastighet inn i borehullet 726. Operasjonen av heiseverket 730 er velkjent i faget og beskrives således ikke i detalj her. I ett eksempel kan den instrumenterte borekronesammenstillingen roteres alene av en nedihullsmotor 790. I et annet eksempel kan den instrumenterte borekronesammenstillingen 10 roteres av den kombinerte virkningen av rotasjonsbordet 714 og nedihullsmotoren 790. Alternativt kan en toppdrevet rotasjonssammenstilling (ikke vist) brukes i stedet for rotasjonsbordet 714.

Under boreoperasjoner sirkuleres en egnet borevæske (i faget vanligvis henvist til som "slam") 731 fra en slamtank 732 under trykk gjennom borestrengen 720 av en slampumpe 734. Borevæsken 731 føres fra slampumpen 734 inn i borestrengen 720 via væskeledning 738 og drivrørsskjøt 721. Borevæsken 731 utløper ved borehullbunnen 751 gjennom en åpning i instrumentert borekronesammenstilling 10. Borevæsken strømmer opphulls gjennom ringrommet 727 mellom borestrengen 720 and borehullet 726 og utløper i slamtank 732 via returledning 735. Fortrinnsvis er et mangfold av sensorer (ikke vist) passende utplassert på overflaten i henhold til kjente fremgangsmåter i faget for å tilveiebringe informasjon om ulike boringsrelaterte parametre, slik som væskestrømhastighet, vekt på kronen, kroklast, etc.

En overflatestyringsenhet 740 kan motta signaler fra nedihullssensorer og innretninger via en sensor 743 plassert i væskeledningen 738, og behandle slike signaler i henhold til programmerte instruksjoner tilveiebrakt til overflatestyringsenhet 740. Overflatestyringsenhet 740 kan fremvise ønskede boreparametre og annen informasjon på et display/skjerm 742 som kan brukes av en operatør til å styre boreoperasjonene. Overflatestyringsenhet 740 kan inneholde en datamaskin, minne for å lagre data, en dataopptaker eller andre ytre enheter. Overflatestyringsenhet 740 kan også inkludere modeller og kan behandle data i henhold til programmerte instruksjoner, og svare på

brukerkommandoer innmatet gjennom en egnet innmatningsinnretning, slik som et tastatur (ikke vist).

I én eksempelvis utførelsesform i følge den foreliggende oppfinnelse kan en styrbar borebunnhullsammenstilling (BHA) 759 innbefatte et måling mens boring (MWD) system 758 innbefattende ulike sensorer for å tilveiebringe informasjons om formasjonen 30 og nedihullsboreparametre. BHA 759 kan være koblet mellom den instrumenterte borekronesammenstillingen 10 og borerøret 722. BHA 759 kan også innbefatte en boremotor 790.

MWD sensorer i BHA 759 kan innbefatte sensorer for å måle formasjonsresistiviteten nærmest instrumentert borekronesammenstilling 10, en gammastråleinnretning for å måle formasjonsgammastrålingsintensiteten, sensorer for å bestemme hellingen og asimut for borestrengen, og trykksensorer for å måle borevæsketrykket nedhulls. De ovenfor nevnte innretninger kan sende data til en nedihullssender 733, som igjen sender data opphulls til overflatestyringsenheten 740. I én utførelsesform kan en slampulstelemetriteknikk anvendes for å kommunisere data fra nedihullssensorer og innretninger under boreoperasjoner. En transduktor 743 plassert i slamforsyningslinjen 738 detekterer slampulsene som reagerer på data sendt ned nedihullsenderen 733. Transduktoren 743 genererer elektriske signaler som svar på boreslamtrykkvariasjonene og sender slike signaler til overflatestyringsenhet 140. Alternativt kan andre telemetriteknikker slik som elektromagnetiske og/eller akustiske teknikker eller andre egnede teknikker kjent i faget benyttes for denne oppfinnelsens formål. I én utførelsesform kan en fastkoblet borestreng brukes til å kommunisere mellom overflate og nedihullsinnretningene. I ett eksempel kan kombinasjoner av de beskrevne teknikkene benyttes. I én utførelsesform kommuniserer en overflatesendermottaker 780 med nedihullsverktøy ved å anvende en hvilken som helst av de beskrevne overføringsteknikksformene beskrevet ovenfor, for eksempel en boreslampulstelemetriteknikk. Dette kan muliggjøre toveiskommunikasjon mellom overflatestyringsenhet 740 og nedihullsverktøyene beskrevet nedenfor.

I én utførelsesform, se Fig. 2, er en instrumentert kronesammenstilling 10 festet til den nedre enden av BHA 759. Instrumentert kronesammenstilling 10 kan

innbefatte en elektromagnetisk bølge (EW) antenne 15, posisjonert i en omkretsende grop, eller fordypning, i kroneovergang 16 som er festet til krone 5. EW antennen 15 kan være klargjort til å sende og/eller motta EW signaler. Som brukt i eksemplet i Fig.2 fungerer EW antennen 15 som en sender. Den omkretsende gropen kan være lokalisert i et plan orientert omtrent 90° fra den langsgående verktøyaksen. Alternativt kan gropen 17 være lokalisert i et redusert stykke av en utstrakt målekrone. I ett eksempel innbefatter EW antennen 15 en omkretsende sløyfe med ledning som beskrevet nedenfor. EW antenne 15 kan være dekket av et ikke-ledende materiale, som kjent i faget. I én utførelsesform kan senderantennen 15 være konstruert for å operere ved med er én frekvens. Arbeidsfrekvensen kan være i området omtrent 1 kHz til omtrent 10 MHz. Bruken av slike EW resistivitetsteknikker tillater resistivitetsbestemmelse i nærværet av ledende eller ikke-ledende borevæsker, f.eks. oljebaserte eller vannbaserte slam. I utførelsen vist i Fig. 2 er spolemottakere 20 og 22 aksialt romlig adskilt som vist. I det minste én av mottakerne kan være lokalisert i passasjen mellom blader 9. Det skal forstås at i denne og etterfølgende figurer er formasjon 30 (ikke vist for klarhet) i kontakt med én eller alle bladene 9. I én utførelsesform er spolemottakerne 20 og 22 lokalisert aksialt i en linje i det vesentlige parallell med en langsgående verktøysenterlinje, også kalt en langsgående verktøyakse.

Avstanden mellom EW antennen 15 og det omtrentlige midtpunktet mellom mottaker 20 og mottaker 22 er betegnet L. I ett eksempel kan L være i størrelsesorden 1 fot. I et annet eksempel kan avstanden L være ≤ 3 fot. Fagpersonen vil forstå at undersøkelsesdybden inn i formasjonen er relatert til mellomrommet mellom den en sendende antenne og mottakerne.

Som vist i figur 2 er EW antenne 15 koblet til forsterker 26 som igjen drives av oscillator 28 under styring av prosessor 32. Prosessor 32 har grensesnitt med kommunikasjonsgrensesnittkretsen 34 og analog til digital omformer 36. Kommunikasjonsgrensesnittet 34 kan tilveiebringe et grensesnitt mot en slampulssender 733 i BHA 759.

Mottakere 20 og 22 er respektivt koblet til forsterkere 40 og 42 og mikserkretser 44 og 46. Utmatningene fra mikserkretser 44 og 46 driver respektive lavpassfiltre 50 og 52. Utmatningene fra lavpassfilterkretsene 50 og 52 er også

koblet til innmatningene av en relativfasemålingskrets 62, hvis utmatning mates inn i multiplekser 60. Amplitudemåling 54 tilveiebringer en måling av amplitudesignal mottatt av mottaker 20, mens amplitudemåling 56 måler amplituden av det innkommende signalet mottatt av mottaker 22. Tilsvarende tilveiebringer relativfasemålingskretsen 62 en angivelse av faseforskjellen mellom signaler mottatt av mottaker 20 og signalene mottatt av mottaker 22. Fagpersonen vil forstå at forholdet mellom amplitudemålingene og de relative fase målingene begge angir formasjonsresistivitet nærmest mottakerne 20 og 22 i kronesammenstilling 10. Mottakere 20 og 22 detekterer en asimutresistivitet.

I en annen utførelsesform, fortsatt med henvisning til Fig. 2, kan sendersignalet 33 mates inne i multiplekser 60 og fasekomparator 62. Forholdet mellom sendt amplitude og amplituden ved den ene eller andre mottaker 20, 22, og faseforskjellen mellom det sendte signalet og fasen ved den ene eller andre mottaker kan sammenlignes for å bestemme en formasjonsresistivitet mellom senderen og den valgte mottakeren.

Ved å kombinere resistivitetsmålingene med egnede retningsmålinger kan et bilde av borehullet dannes ved anvende et flertall lesninger etter hvert som kronen roterer rundt borehullet. Ved å plassere et flertall mottakerpar, for eksempel 6 par, rundt omkretsen av kronesammenstillingen 10 kan den radielle formasjonsresistiviteten ved kronen beregnes.

Eksempler på mottakere 20 og 22 er vist Fig. 3A-3D. Fig. 3A viser et tverrsnitt av en del av krone 5, med en mottaker 322 i et hulrom 321 i den ytre overflaten av krone 5. Som vist i Fig. 3B – 3D innbefatter mottakeren en magnetisk kjerne 301 omgitt av en trådspole 302. Mottakeren 322 kan være orientert langs ulike akser, som vist, for å måle ulike komponenter av det elektromagnetiske signalet.

Som vist i Fig. 2 og 3A, i et eksempel, er mottakerne montert i den reduserte diameteren ved bakenden av krone 5 (mottaker 20) eller i kanalene mellom de nære følerbladene 9 på krone 5. Denne posisjonen tilveiebringer beskyttelse av mottakeren fra direkte kontakt med borehullveggen 756.

Fig. 4 viser et annet eksempel på en kroneovergang 416 som har en sender 415 og mottakere 420 og 422 montert derpå. Kroneovergang 416 kan være montert

på krone 5. Senderen og mottakerne kan være tilsvarende de beskrevet ovenfor. Også vist er en elektronisk innsats 405 med elektriske kretser 430, for eksempel de beskrevet i Fig. 2, for å styre målingen av resistivitet og kommunisere resultatet til en egnet telemetriinnretning for overføring til overflaten.

I ett eksempel sendes kraft og kommunikasjonssignaler mellom elektronikk 430 og en MWD telemetrisender 733 via et enkeltkabelsystem 450 plassert i boret i BHA 759. I én utførelsesform posisjonerer en spidersammenstilling 435 kobling 436 i strømningskanalen. Enkeltkabel 440 er koblet til spidersammenstillingen 435 og en tilsvarende spidersammenstilling opphulls nærmest MWD sender 733. Alternativt kan et kablet rør bruker til å sende kraft og kommunikasjonssignaler. I ett eksempel kan kraft tilveiebringes til sensorene med nedihullsbatterier, og kjente kort-hopptelemetriteknikker kan anvendes til å sende kommunikasjonssignaler, f.eks. rundt en nedihullsmotor. I enda et eksempel kan nedihullsmotoren innbefatte en fastkablet elektrisk gjennomføring.

Elektronikk 430 kan innbefatte kretser, komponenter og prosessorer for kraftforsyning, grensesnitting, og styring av antennen og mottakerne forbundet med instrumentert kroneovergang 416. I tillegg kan elektronikk 430 innbefatte kraftomformings- og grensesnittelektronikk for å motta kraft og kommunisere over enkeltkabel 440. Elektronikk 430 kan innbefatte hybrider og/eller multichip-moduler for å minimalisere plassbehov, kraftforbruk og å forbedre pålitelighet. I ett eksempel kan elektronikk 430 innbefatte retningssensorer for å bestemme helling og asimut for den instrumenterte kronesammenstillingen. Alternativt kan slike retningssensorer være posisjonert i MWD-system 758.

Som vist i Fig. 4 kan en sender 415 være koblet til elektronikk 430 via bane 445. Tilsvarende kan mottakere 420 og 422 være koblet til elektronikk 430 via respektive baner 423 og 424. Som beskrevet ovenfor er sender 415 og mottakere 420 og 422 ved en fordypet diameter i forhold til blader 409. Det vil forstås av fagmannen at kroneovergangen 416 kan brukes i forbindelse med fastskjærerkroner og rullemeiselkroner.

I en annen utførelsesform, se Fig. 11, innbefatter en instrumentert kronesammenstilling 1200 en kronesammenstilling 1205 og en kroneovergang 1216. I det viste eksemplet innbefatter kronesammenstilling 1215 et kronehode

1206 festet til en kronebærestamme 1218. En målemansjett 1210 er montert rundt kronebærestammen 1218. kronehodet 1204 kan være festet til kronebærestammen 1218 ved å anvende egnede sveiseteknikker som beskrevet nedenfor. Målemansjett 1210 kan være festet til kronehodet 1206 og/eller kronebærestammen 1218 ved enhver av flere festeteknikker, inkluderende, men ikke begrenset til, nagling (eng: pinning), krympepasning og/eller sveising. Sendende EW antenne 1215 sender et signal som detekteres av spolemottaker 1220. Selv om kun én spolemottaker er vist her, kan ytterligere spolemottakere være aksialt og/eller rundt omkretsen romlig atskilt rundt kronesammenstillingen 1205. I tillegg, selv om spolemottaker 1210 er vist her i følerblad 1209 skal det forstås at spolemottakeren kan være lokalisert i den reduserte diameter passasjen 1211 mellom følerbladene 1209 og/eller den reduserte diameteren det ubladede bakstykket på kronebærestammen 1218. Elektronikk 1230 kan være lokalisert i en innsats 1217 som er lokalisert i et boret bakstykke av kronebærestammen 1218. Tilkobling til spolemottaker 1220 kan gjøres med en konnektor 1221. Tilkoblingen til sendende EW antenne 1215 kan gjøres via ledere (ikke vist) gjennom baner 1223 og 1222. Tilkoblinger til opphullskomponenter kan gjøres via et enkeltkabelsystem 1250 plassert i boringen av BHA 759. En spidersammenstilling 1235 posisjonerer konnektor 1236 i strømningskanalen. Enkeltkabel 1240 er koblet til spidersammenstillingen 1235 og en tilsvarende spidersammenstilling opphulls, nærmest opphullskomponenter. Operasjon av enkeltkabelsystem 1250 kan være tilsvarende operasjonen av enkeltkabelsystem 450. Alternativt kan et kablet rør benyttes til å sende kraft og kommunikasjonssignaler. I ett eksempel kan kraft tilveiebringes til sensorene med nedihullsbatterier, og kjente korthoppstelemetriteknikker kan benyttes til å sende kommunikasjonssignaler, for eksempel rundt en nedihullsmotor. I enda et ytterligere eksempel kan nedihullsmotoren innbefatte en fastkoblet elektrisk gjennomføring. Det skal forstås at ethvert at eksemplene presentert heri kan utnytte elektronikk som er lokalisert i kroneskaftet og/eller kroneovergangen.

Fig. 5 viser et annet eksempel på en instrumentert kronesammenstilling 510 innbefattende en kroneovergang 516 og en skråstilt EW antenne 515 fungerende som en sender. Sendende EW antenne 515 er skråstilt slik at planet til den skråstilte EW antennen 515 er skråstilt i en ξ_T vinkel i forhold til nedihullsverktøyets langsgående akse. Vinkelen ξ_T kan være i området 0-90°. Et

slikt system tillater bestemmelsen av den horisontale resistiviteten, den vertikale resistiviteten, og den relative formasjonsfallvinkelen. Spolemottakerne 520 og 522 er tilsvarende de beskrevet tidligere. Skråstilte antenner kan også muliggjøre en måling av resistivitet foran krone 5.

Fig. 12 viser et eksempel på en instrumentert kronesammenstilling 550 og en skråstilt EW antenne 565 romlig adskilt fra instrumentert kronesammenstilling. I det viste eksemplet kan skråstilt EW antenne 565 være romlig atskilt omtrent 25 fot fra instrumentert kronesammenstilling. I et eksempel kan skråstilt antenne 565 være plassert over en boremotor 790. Alternativt kan et vektrørstykke adskille skråstilt EW antenne 565 og instrumentert kronesammenstilling 550. Instrumentert kronesammenstilling 550 innbefatter en kroneovergang 560 som har en EW antenne 517 som kan fungere som en mottaker og/eller sender montert derpå. I et eksempel kan EW antenne 517 motta WE signaler fra skråstilt EW antenne 565. Mellomrommet mellom skråstilt antenne 565 og EW antenne 517 og skråstillingen av EW sender 515 forårsaker at det sendte signalet utbres dypere i formasjonen foran kronen, og signalet motsatt ved EW antennen 517 muliggjør målinger av formasjonsresistiviteten foran kronen. Rotasjonen av verktøyet i borehullet under målinger kan brukes til å tilveiebringe en 360° resistivitetsbilde av formasjonen foran kronen.

I et annet eksempel kan EW antenne 517 fungere som en sender for å sende elektromagnetiske bølger som mottas av spolemottakere 520 og 522 som tilveiebringer asimutresistivitet og avbilding ved kronen.

Kommunikasjon mellom EW antenne 565 og EW antenne 517 kan muliggjøres ved bruk av et enkeltkabelsystem som beskrevet tidligere med henvisning til henholdsvis Fig. 4 og Fig. 11. Alternativt kan et kablet rør brukes til sende kraft og kommunikasjonssignaler. I ett eksempel kan kraft tilveiebringes til sensorene med nedihullsbatterier, og kjente korthopptelemetriteknikker kan brukes til å sende kommunikasjonssignaler for eksempel rundt en nedihullsmotor. I enda ett eksempel kan nedihullsmotoren innbefatte en fastkablet elektrisk gjennomføring.

I et annet eksempel kan EW antenne 517 elektrisk svitsjes til å fungere som en mottaker for EW signaler sendt med skråstilt antenne 565, og som en sender for å sende EW signaler til spolemottakere 520 og 522.

Fig. 13 viser et annet eksempel på en instrumentert kronesammenstilling 570 og en romlig adskilt sendende EW antenne 585. Instrumentert kronesammenstilling 570 innbefatter to kryssede skråstilte EW mottakerantenner 571 og 572. Planet til skråstilt EW mottakerantenne 572 er skråstilt med en vinkel ξ_R fra den langsgående verktøyaksen. Planet til skråstilt EW mottakerantenne 571 er skråstilt med en vinkel $\propto$ fra planet til EW mottakerantenne 572. I ett eksempel er ξ_R omtrent 45°, og $\propto$ omtrent 90°. EW signaler sendt med sendende EW antenne 515 mottas ved begge EW mottakerantenner 571 og 572. Signalene kan behandles ved å anvende elektriske kretser tilsvarende de beskrevet med henvisning til Fig. 2 for å sammenligne forholdet mellom senderamplitude og mottatt amplitude for hver mottaker og faseforskyvningen mellom senderen og hver mottaker for å muliggjøre resistivitetsmålinger foran kronen.

I et annet eksempel kan hver EW antenne 571, 572 fungere som en sender for å sende elektromagnetiske bølger som mottas av spolemottakere 520 og 522 som tilveiebringer asimutresistivitet og avbildning ved kronen.

Kommunikasjon mellom EW antenne 585 og EW antenner 571 og 572 kan muliggjøres ved bruk av et enkeltkabelsystem som beskrevet tidligere med henvising til Fig. 4 og Fig. 11. Alternativt kan et kablet rør brukes til å sende kraft og kommunikasjonssignaler. I ett eksempel kan kraft til sensorene tilveiebringes av nedihullsbatterier, og kjente korthopptelemetriteknikker kan brukes til å sende kommunikasjonssignaler, f.eks. rundt en nedihullsmotor. I enda ett eksempel kan nedihullsmotoren innbefatte en fastkablet elektrisk gjennomføring.

I enda ett eksempel kan hver EW antenne 571, 572 elektrisk svitsjes til å fungere som en mottaker for EW signaler sendt med skråstilt EW antenne 585, og som en sender for å sende EW signaler til spolemottakere 520 og 522.

På grunn av de naturlige egenskapene til sedimentære formasjoner anvender formasjonsanalyseutøvere i faget betegnelsen "horisontal" til å angi formasjonsplanet (dvs. x-y planet i Fig. 10), og utøver anvender betegnelsen "vertikal" til å angi retningen vinkelrett på formasjonsplanet (dvs. z-retningen i Fig. 10, hvilket er retningen til sedimentær oppbygning). For enkelhets skyld å

skille mellom disse fagbetegnelsene og vanlige retninger forbundet med jordens gravitasjon, benytter Fig. 6A og 6B de følgende betegnelser: "sann vertikal" angir retningen av jordens gravitasjon; "sann horisontal" angir retningen vinkelrett på jordens gravitasjon; "formasjon vertikal" angir retningen vinkelrett på formasjonsplanet; og "formasjon horisontal" angir formasjonsplanet. I denne beskrivelsen er betegnelsene "horisontal" og "vertikal" tiltenkt å ha meninger forbundet med henholdsvis "formasjon horisontal" og "formasjon vertikal". I Fig. 6A og 6B er δ avviksvinkelen (vinkelen mellom borehull/verktøyaksen og den sanne vertikal), og ψ er leiefallvinkel (vinkelen mellom formasjonsleieplanet og den sanne horisontal).

Med henvisning til Fig. 6A kan en senderspole (antenne) med et magnetisk moment M_T anses som overlagringen av en horisontal magnetisk dipol (HMD) og en vertikal magnetisk dipol (VMD), med tilhørende respektive horisontal og vertikal komponent magnetiske momenter M_{Th} og M_{Tv}, gitt ved ligningene:

$$M_{Th} = M_T \sin\theta = I_t A_t \sin\theta \qquad [1]$$

$$M_{Tv} = M_t \cos\theta = I_t A_t \cos\theta \qquad [2]$$

der
I_t = strømmen i senderspolen,
A_t = tverrsnittarealet av senderspolen, og
θ = den relative hellingsvinkelen (vinkelen mellom verktøyaksen og formasjonsnormalen).

Det kan vises at HMD fremstiller magnetiske felt H_{hx} og H_{hz}, og VMD fremstiller magnetiske felt H_{vx} og H_{vz} som følger:

$$H_{hx} = \frac{M_T \sin\theta}{4\pi}\left(\frac{e^{ik_hL}}{L^3}\left[3\sin^2\theta - 1 + k_h^2L^2\cos^2\theta + \frac{ik_h}{\sin^2\theta}L + ik_hL - 3ik_hL\sin^2\theta\right] - \frac{ik_h}{L^2\sin^2\theta}e^{ik_hL\beta}\right) \qquad [3]$$

$$H_{hz} = M_T \sin^2\theta\cos\theta\frac{e^{ik_hL}}{4\pi L^3}[3 - k_h^2L^2 - 3ik_hL] \qquad [4]$$

$$H_{vz} = M_T cos\,\theta\frac{e^{ik_hL}}{4\pi L^3}[3\cos^2\theta - 1 + k_h^2L^2\sin^2\theta - 3ik_hL\cos^2\theta + ik_hL] \qquad [6]$$

der

$$k_h = \sqrt{\omega^2\mu(\epsilon_h - \frac{i\sigma_h}{\omega})}$$

$$k_v = \sqrt{\omega^2\mu(\epsilon_v - \frac{i\sigma_v}{\omega})}$$

$$\beta = \sqrt{\cos^2\theta + \left(\frac{k_v}{k_h}\right)^2 \cos^2\theta}$$

$\bar{\omega}$

k_h =det komplekse bølgenummeret i den horisontale retningen,

k_v =det komplekse bølgenummeret i den vertikale retningen,

$\bar{\omega}$ = vinkelfrekvensen (i radianer/sekund) for senderspolen = 2πf

f = senderspolens frekvens (i Hertz)

μ = den formasjonens magnetiske permeabilitet (anta $\mu = \mu_{luft} = 1$)

σ_h= formasjonens horisontale ledningsevne

σ_v= formasjonens vertikale ledningsevne

ϵ_h= den horisontale dielektriske konstant (antatt)

ϵ_v= den vertikale dielektriske konstant (antatt)

L = avstanden mellom senderspolen og mottakerspolen

$i = \sqrt{-1}$

Dersom en mottaker er parallell med mottakeren, for en konvensjonell konfigurasjon som vist i Fig. 6, der $\xi_T = \xi_R$ =90°, er H_z feltet i mottakersløyfen gitt av ligningen

$$H_z = (H_{hx} + H_{vx})\sin\theta + (H_{hz} + H_{vz})\cos\theta \qquad [7]$$

og den induserte spenningen i mottakersløyfen er

$$V = i\bar{\omega}A_r\mu H_z \qquad [8]$$

der Ar er tverrsnittarealet av mottakerspolen. Å sette ligninger [3], [4], [5], [6] og [7] inn i ligning [8] gir

$$V = \frac{i\bar{\omega}\mu A_r A_t I_t}{4\pi L^3}\left\{(2 - ik_hL)e^{ik_hL} - ik_hLe^{ik_hL\beta}\right\} \qquad [9]$$

Ligning [9] viser at den induserte spenningen, V, avhenger av $k_h$og β. $k_h$er igjen avhengig av σ_h; og β er avhengig av σ_v, σ_hog θ. Disse forholdene indikerer at σ_v, og θ er avhengige, og denne avhengigheten forhindrer konvergens av en samtidig løsning for σ_v, σ_hog θ som beskrevet ovenfor.

For å bryte denne avhengigheten og muliggjøre en løsning for σ_v, σ_hog θ kan en skråstille enten senderen eller mottakeren i forhold til verktøyaksen, som vist i

Fig. 6B (sender ikke skråstilt, mottaker skråstilt). For en sender/mottakerkonfigurasjon som vist i Fig. 6b hvor ξ_T=90° og ξ_R<90°, er H_z feltet i mottakersløyfen gitt ved ligningen

$$H_z = (H_{hx} + H_{vx}) \sin\theta' + (H_{vz} + H_{hz}) \cos\theta' \qquad [10]$$

Erstatning av ligninger [3], [4], [5], [6], og [10] inn i ligning [8] gir

$$V = \frac{i\bar{\omega}\mu A_T A_t I_t}{4\pi L^3}\left\{2\cos(\theta - \theta')\, e^{ik_h L}(1 - ik_h L) + \frac{ik_h L \sin\theta'}{\sin\theta}(e^{ik_h L} - e^{ik_h L\beta})\right\} \qquad [11]$$

der

$\theta' = \theta = \xi_R$-90°

ξ_R er skråstillingsvinkelen for mottakerantennen (dvs. vinkelen mellom mottakerantenneplanet og verktøyaksen)

ξ_T er skråstillingsvinkelen for senderantennen (dvs. vinkelen mellom senderantenneplanet og verktøyaksen).

Ligning [11] viser at den induserte spenningen avhenger av k_h, β, θ og θ'. Så lenge θ er forskjellig fra θ' kan θ beregnes fra tre målinger som et multippelavstands- eller multippelfrekvensresistivitetsverktøy. Ved å skråstille enten mottakeren eller senderen i en EW resistivitetssensor (dvs. ved å gjøre θ er forskjellig fra θ'), frikobles σ_v og θ, hvilket muliggjør en løsning for σ_v, σ_h og θ som beskrevet nedenfor. Selv om formuleringen ovenfor er for en ikke-skråstilt sender med en skråstilt mottaker tilsier resiprositetsteoremet at det samme resultatet også gjelder for en skråstilt sender med en ikke-skråstilt mottaker. Faktisk kan både senderen og mottakeren være skråstilt så lenge de respektive skråstillingsvinkler ikke er den samme, dvs. $\xi_T \neq \xi_R$. For det generelle tilfellet hvori både senderen og mottakeren er skråstilt på vilkårlige vinkler, respektive ξ_T og ξ_R, gjelder ligninger [1] til [11] med erstatningen av $\theta'' = \theta + \xi_T$-90°.

Fig. 7 viser enda en utførelse av en instrumentert boresammenstilling 610, der mottakere 620 og 622 er posisjonert i bladene 609a og 609b. Antenne 615 kan være ikke-skråstilt eller skråstilt. Denne konfigurasjonen kan muliggjøre forbedret nøyaktighet av resistivitetsmålingene sammenlignet med konfigurasjonen i Fig. 2 ved å redusere borevæsketykkelsen mellom mottakerne 620. 622 og formasjonen.

Kronedesign

Fig. 8 viser et perspektivisk riss over endestykket 825 av en instrumentert kronesammenstilling 810. Endestykket inkluderer skjærblad 827a og 827b på hvilke det er montert PDC kuttelementer 836. Områdene mellom nærliggende blad henvises til som skjærvæskekanaler 826 som er velkjent i faget. I denne utførelsen er mottaker 822 forsenket i skjærvæskekanal 826. Mottaker 820 er posisjonert i rennen mellom nær følerblad 809a og 809b.

I en annen utførelse, se Fig. 9, har den instrumenterte kronesammenstillingen 910 en antenne 915 posisjonert på bærestammedelen 914 av borekronen. Mottakere 922 og 920 er posisjonert på følerblad 909.

Fremstillingsaspekter

Elektromagnetiskbølgeantenne

I utførelsen vist i Fig. 2 innbefatter den instrumenterte kronesammenstillingen 10 en kroneovergang 16 som typisk fremstilles av stållegering av en nominell diameter i overensstemmelse med MWD systemet 758 til hvilket det er tilkoblet. Den omkretsende gropen eller fordypningen 17 i hvilken antenne 15 tilpasses dannes ved konvensjonelle dreiebenksoperasjoner (eng. lathe turning).

Fig. 5 viser en skråstilt akse sender antenne 515 som er festet til kroneovergang 516 også fremstilt av stållegering. I denne utførelsen må gropen antennen skal tilpasses i dannes med en annen fremstillingsprosess som krever bruken av en fresemaskin på grunn av orienteringen av senderaksen.

En annen fremgangsmåte for å feste senderantennen (15, 515) ville være å spenne den fast til den ytre overflaten av kroneovergangen (16, 516). Den kan deretter dekkes av et ikkeledende materiale som kjent i faget.

Mottakere

Igjen med henvisning til Fig. 3a, hulrommet 321 kan dannes med ulike fremgangsmåter. Når kronen 5 fremstilles av stål kan standard frese- og boringsprosesser utnyttes til å danne hulrommet. Denne fremgangsmåten vil

utnyttes både for posisjonering av hulrommet inn i et følerblad 9, skjærblad 827a,b, og renner og væskekanaler mellom ethvert blad.

Hvis kronen 5 er dannet av et matriksmateriale hvilket er vanlig i fremstillingen av PDC kroner må hulrommet 32| dannes på en annen måte. Matriksmaterialet er dannet av wolframkarbid eller annet hardt materiale infiltrert av en kobberbasert legering som ikke er "bearbeidbar". En støpeutformer kan brukes til å danne den nær nettfasong pakningsspor (eng: junk slot), dyseforskyvninger og skjærerlommer ved forberedelse av støpeformen brukt til å fremstille borekronen. Dette materialet kan være grafitt, sand, keramer eller andre materialer som etter ovnsprosessen enkelt kan fjernes fra avstøpningen. Denne teknikken kan brukes til å danne hulrommet for mottakeren. En alternativ fremgangsmåte for å danne hulrommene i matriks er nedsenket EDM. Denne støpningen kan gjøres gjennom generelt kjente teknikker for fagmannen, der en støpeform konstrueres av et egnet materiale (for eksempel sant, grafitt, keramer, etc.) for bruk i støpingen av komponenten. Formen eller undersammenstilling, eller endelig stykke, kan også dannes med en hvilket som helst av flere teknikker, inkluderende oppbygning gjennom stereolitografi. Som et annet eksempel kan "sandtrykking" benyttes, der en form av den resulterende fasong skapes, og deretter anvendes som en positiv form til å skape en reversform av sand i en egnet harpiks, som til syvende og sist forherdes i den ønskede konformitet. Den reversformen kan deretter brukes til å støpe matriksmaterialet. Et annet fremstillingsalternativ vil være å støpe hovedfasongen av stabiliseringsmansjett 1210 på en konvensjonell måte, men å deretter anvende utradisjonelle bearbeidingsteknikker for å danne de beskrevne åpninger, og potensielt andre konformiteter. Et eksempel på en slik utradisjonell bearbeidningsteknikk er elektrisk utladning bearbeidning ("EDM"), der en serie elektriske utladninger mellom en verktøyelektrode og matriksstøpningen (fungerende som en annen elektrode), typisk i omgivelsen av en mellomliggende dielektrisk væske (kjent som "synke" eller "nedsenkning" EDM), forårsaker den trinnvise fjerningen av material mellom elektrodene.

I Fig. 4 er sender 415 og mottakere 420 og 422 koblet til elektronisk innsats 405 gjennom baner 423 og 445. Når kroppsmaterialet til kroneovergang 416, eller borekrone 5, er stål kan langborboringsteknikker benyttes. Når kronekroppen

inkluderende stabilisatorstykke er dannet av matriks vil utformere igjen benyttes til å danne baner for konnektorene.

Tallrike variasjoner og modifikasjoner vil være åpenbare for fagmannen. Det er tiltenkt at de følgende krav skal tolkes til å omfavne alle slike variasjoner og modifikasjoner.

P a t e n t k r a v

1.

System for å måle en formasjonsresistivitet, **karakterisert ved** å innbefatte:
en instrumentert borekrone (10, 510, 610, 810, 910) koblet til en bunnende av en bunnhullssammenstilling (759);
minst én elektromagnetisk bølgeantenne (15) posisjonert i bunnhullssammenstillingen for å sende et elektromagnetisk bølgesignal inn i formasjonen;
minst én spolemottaker (20, 22; 520, 522; 1220) innbefattende en kabel viklet rundt en magnetkjernestav (301), den minst éne spolemottaker er posisjonert i en ytre overflate til den instrumenterte borekronen og i lengderetningen romlig atskilt fra den minst éne elektromagnetiske bølgeantennen for å motta det elektromagnetiske bølgesignalet sendt gjennom formasjonen; og
elektroniske kretser (430) funksjonelt koblet til den minst éne spolemottakeren for å behandle det mottatte signal for å bestemme en formasjonsresistivitet nærmest den instrumenterte borekronen.

2.

System ifølge krav 1, der et plan for den minst éne elektromagnetiske bølgeantennen er skråstilt i en forhåndsbestemt vinkel relativt til en langsgående akse til den instrumenterte borekronen.

3.

System ifølge krav 2, der den første forhåndsbestemte vinkelen er i området omtrent 0° til omtrent 90°.

4.

System ifølge krav 1, ytterligere innbefattende en andre skråstilt elektromagnetisk antenne og en tredje skråstilt elektromagnetisk bølgeantenne posisjonert sammen ved en samme forhåndsbestemt langsgående posisjon mellom den første elektromagnetiske antennen og den instrumenterte borekronen der et plan for den andre skråstilte elektromagnetiske bølgeantennen er skråstilt i en andre forhåndsbestemt vinkel fra den langsgående aksen til den instrumenterte borekronen og et plan for den tredje skråstilte elektromagnetiske bølgeantennen er skråstilt i en tredje

forhåndsbestemt vinkel fra planet til den andre skråstilte elektromagnetiske bølgeantennen.

5.

System ifølge krav 4, der den andre forhåndsbestemte vinkelen er i området omtrent 0° til omtrent 45° og den tredje forhåndsbestemte vinkelen er i området omtrent 0° til omtrent 90°.

6.

System ifølge krav 4, der minst en av den andre elektromagnetiske bølgeantennen og den tredje elektromagnetiske bølgeantennen innbefatter en sende-/mottakerenhet for å sende og motta en elektromagnetisk bølge.

7.

System ifølge krav 1, der den minst éne spolemottaker innbefatter minst to spolemottakere aksialt romlig atskilt på den instrumenterte borekronen.

8.

System ifølge krav 1, der den minst éne spolemottakeren innbefatter et flertall spolemottakere montert rundt omkretsen rundt den instrumenterte borekronen for å detektere en radiell formasjonsresistivitet ved den instrumenterte borekronen.

9.

System ifølge krav 1, der minst én av den minst éne spolemottakeren er posisjonert i en redusert diameterpassasje (1211) mellom to nærfølerblad (1209) festet til den instrumenterte borekronen.

10.

System ifølge krav 1, der den minst éne spolemottakeren er posisjonert i et nærfølerblad (9; 809a,b; 1209) festet til den instrumenterte borekronen.

11.

System ifølge krav 1, der den elektriske kretsen er posisjonert i minst én av borekroneskaftseksjon og en kroneovergang (16; 516; 1216) mellom den instrumenterte borekronen og bunnhullssammenstillingen.

12.

Fremgangsmåte for å bestemme en resistivitet nærmest en krone for en formasjon som omgir et borehull, **karakterisert ved** å innbefatte:

utplassere en bunnhullssammenstilling (759) med en instrumentert borekrone (10, 510, 610, 810, 910) koblet til en bunnende derav inn i et borehull omgitt av formasjonen;

arrangere minst én elektromagnetisk bølgeantenne (15) i bunnhullssammenstillingen, den minst éne elektromagnetiske bølgeantennen er romlig atskilt fra den instrumenterte borekronen;

sende minst ett første elektromagnetisk bølgesignal inn i formasjonen ved å anvende den minst éne første elektromagnetiske bølgeantennen;

detektere det elektromagnetiske bølgesignalet ved minst én spolemottaker (20, 22; 520, 522; 1220) innbefattende en kabel viklet rundt en magnetkjernestav (301) posisjonert i en ytre overflate til den instrumenterte borekronen; og

behandle de mottatte signalene fra den minst éne spolemottakeren for å bestemme en formasjonsresistivitet nærmest den instrumenterte borekronen.

13.

Fremgangsmåte ifølge krav 12 ytterligere innbefattende å skråstille et plan for den minst éne første elektromagnetiske bølgeantennen i en første forhåndsbestemt vinkel relativt til en langsgående akse til den instrumenterte borekronen.

14.

Fremgangsmåte ifølge krav 12, ytterligere innbefattende en andre skråstilt elektromagnetisk bølgeantenne og en tredje skråstilt elektromagnetisk bølgeantenne posisjonert sammen ved en samme forhåndsbestemt langsgående posisjon mellom den første elektromagnetiske antennen og den instrumenterte borekronen der den andre skråstilte elektromagnetiske bølgeantennen er skråstilt i en andre forhåndsbestemt vinkel fra den langsgående aksen til den instrumenterte borekronen og den tredje skråstilte elektromagnetiske bølgeantennen er skråstilt i en tredje forhåndsbestemt vinkel fra den andre skråstilte elektromagnetiske bølgeantennen.

15.
Fremgangsmåte ifølge krav 14 ytterligere innbefattende å sende minst ett elektromagnetisk bølgesignal inn i formasjonen ved å anvende minst én av den andre skråstilte elektromagnetiske bølgeantennen og den tredje skråstilte elektromagnetiske bølgeantennen, og motta det minst éne elektromagnetiske bølgesignalet med minst én spolemottaker (20, 22; 520, 522; 1220) arrangert på den instrumenterte borekronen.

16.
Fremgangsmåte ifølge krav 15 ytterligere innbefattende å svitsje minst én av den andre skråstilte elektromagnetiske bølgeantennen og den tredje skråstilte elektromagnetiske bølgeantennen mellom en mottaksmodus og en sendemodus.

17.
Fremgangsmåte ifølge krav 12, der behandlingen av de mottatte signalene fra den minst éne spolemottaker for å bestemme en formasjonsresistivitet nærmest den instrumenterte borekronen innbefatter å bestemme faseforskjellen til det sendte signalet og det mottatte signalet og amplitudeforholdet mellom det sendte signalet og det mottatte signalet og sette formasjonsresistiviteten i forbindelse med faseforskjellen og amplitudeforholdet.

18.
Fremgangsmåte ifølge krav 12 ytterligere innbefattende å motta det minst éne elektromagnetiske bølgesignalet ved hver av minst to rundt omkretsen romlig atskilte spolemottakere (20, 22; 520, 522; 1220), sette i sammenheng hvert av de mottatte signalene til et asimut av den instrumenterte borekronen, og danne en asimutavbildning av formasjonen nærmest den instrumenterte borekronen basert på de mottatte signalene.

19.
Instrumentert borekrone (10, 510, 610, 810, 910), **karakterisert ved** å innbefatte:
et kroneskaft med minst ett følerblad (9; 809a,b; 1209) festet dertil;

minst én elektromagnetisk bølgeantenne arrangert på den instrumenterte borekronen for å sende et elektromagnetisk bølgesignal inn i en formasjon omgiende den instrumenterte borekronen;
minst én spolemottaker (20, 22; 520, 522; 1220) innbefattende en kabel viklet rundt en magnetkjernestav, den minst éne spolemottaker er posisjonert i en ytre overflate til den instrumenterte borekronen for å motta det sendte elektromagnetiske bølgesignalet; og
elektroniske kretser (430) funksjonelt koblet til den minst éne elektromagnetiske bølgeantennen og til den minst éne spolemottakeren for å behandle det mottatte signalet for å bestemme en formasjonsresistivitet nærmest den instrumenterte borekronen.

20.
Instrumentert borekrone ifølge krav 19 ytterligere innbefattende en kroneovergang (16; 516; 1216) festet til kroneskaftet.

21.
Instrumentert borekrone ifølge krav 20, der de elektroniske kretsene er posisjonert i minst én av kroneovergangen og kroneskaftet.

22.
Instrumentert borekrone ifølge krav 19, der den minst éne spolemottakeren er posisjonert på minst én av det minst éne følerblad og en redusert diameterdel (1211) av kroneskaftet.

23.
Instrumentert borekrone ifølge krav 19, der den minst éne spolemottakeren innbefatter et flertall av spolemottakere arrangert rundt omkretsen av den instrumenterte borekronen.

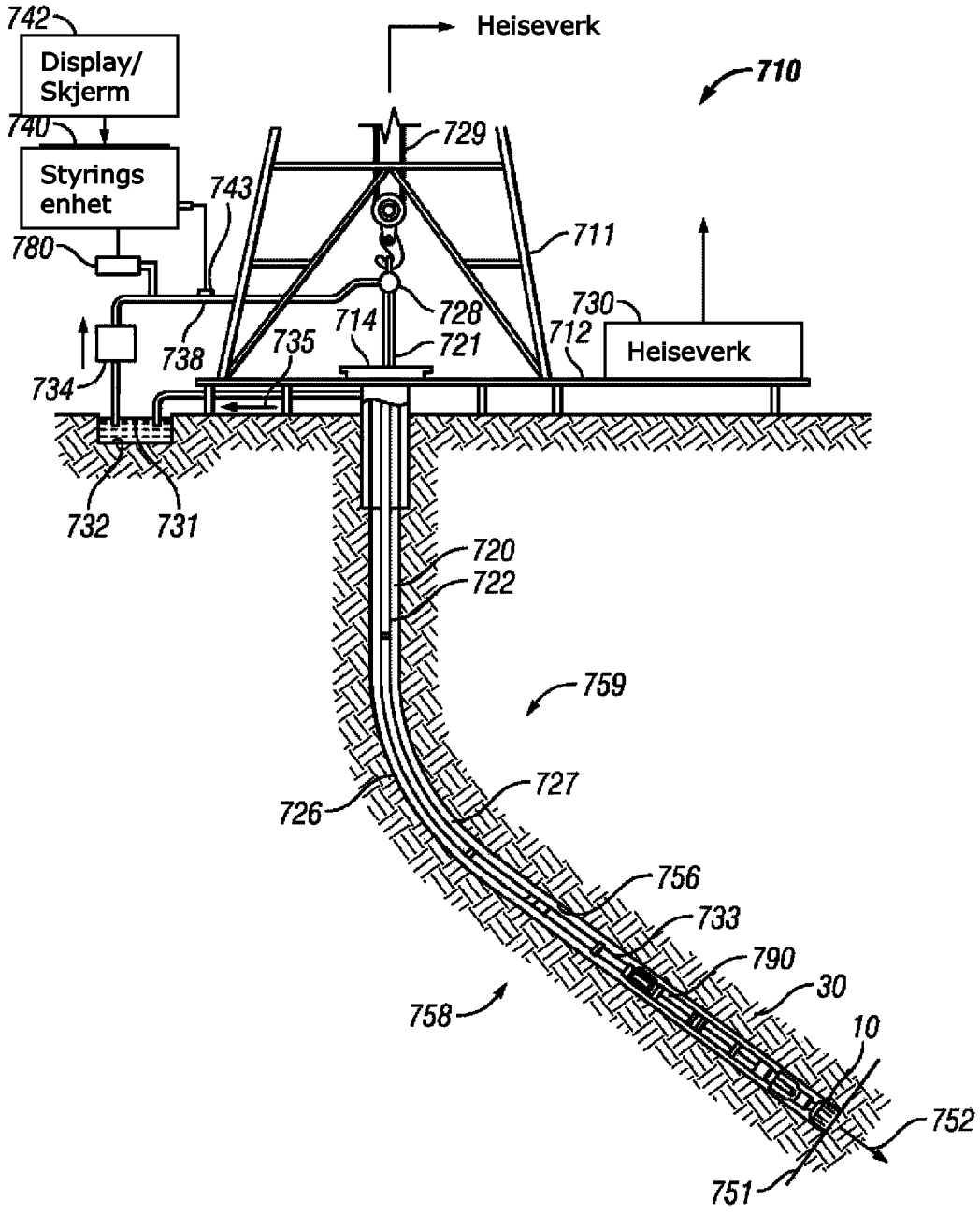

742
Display/
Skjerm
740
Styrings
enhet
780
743
Heiseverk
710
729
711
730
728
714
721
712
Heiseverk
738
735
734
732
731
720
722
759
727
726
756
733
790
30
10
752
758
751

FIG. 1

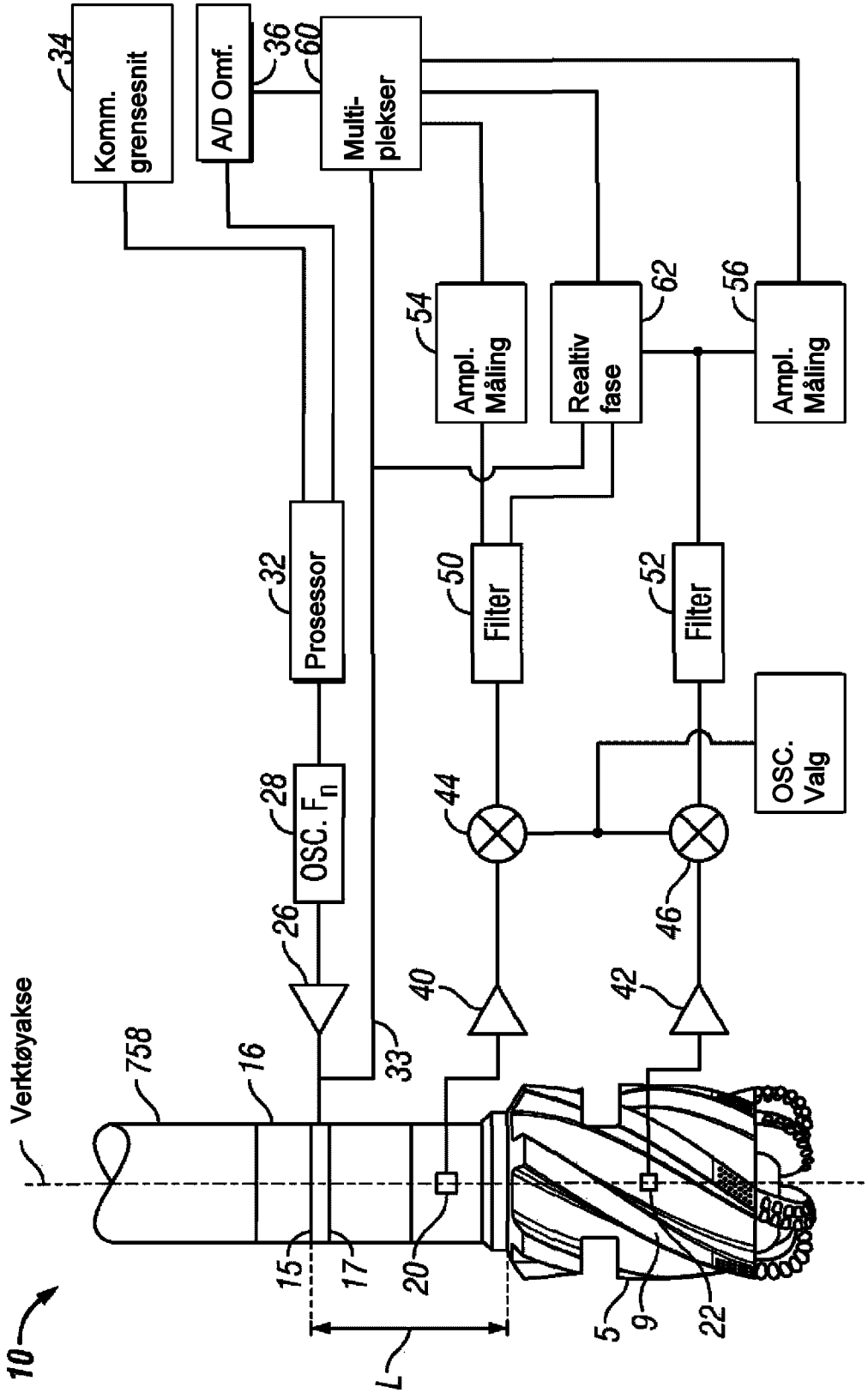

Komm. grensesnit
34
A/D Omf.
36
60
Multi-plekser
Ampl. Måling
54
Realtiv fase
62
Ampl. Måling
56
Prosessor
32
Filter
50
Filter
52
OSC. Valg
OSC. F_n
28
44
46
26
40
42
33
16
758
Verktøyakse
10
15
17
20
5
9
22
L

FIG. 2

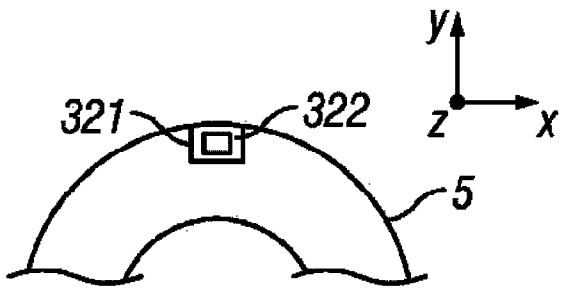


FIG. 3A

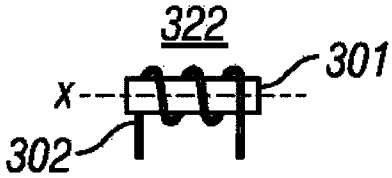


FIG. 3B



FIG. 3C



FIG. 3D

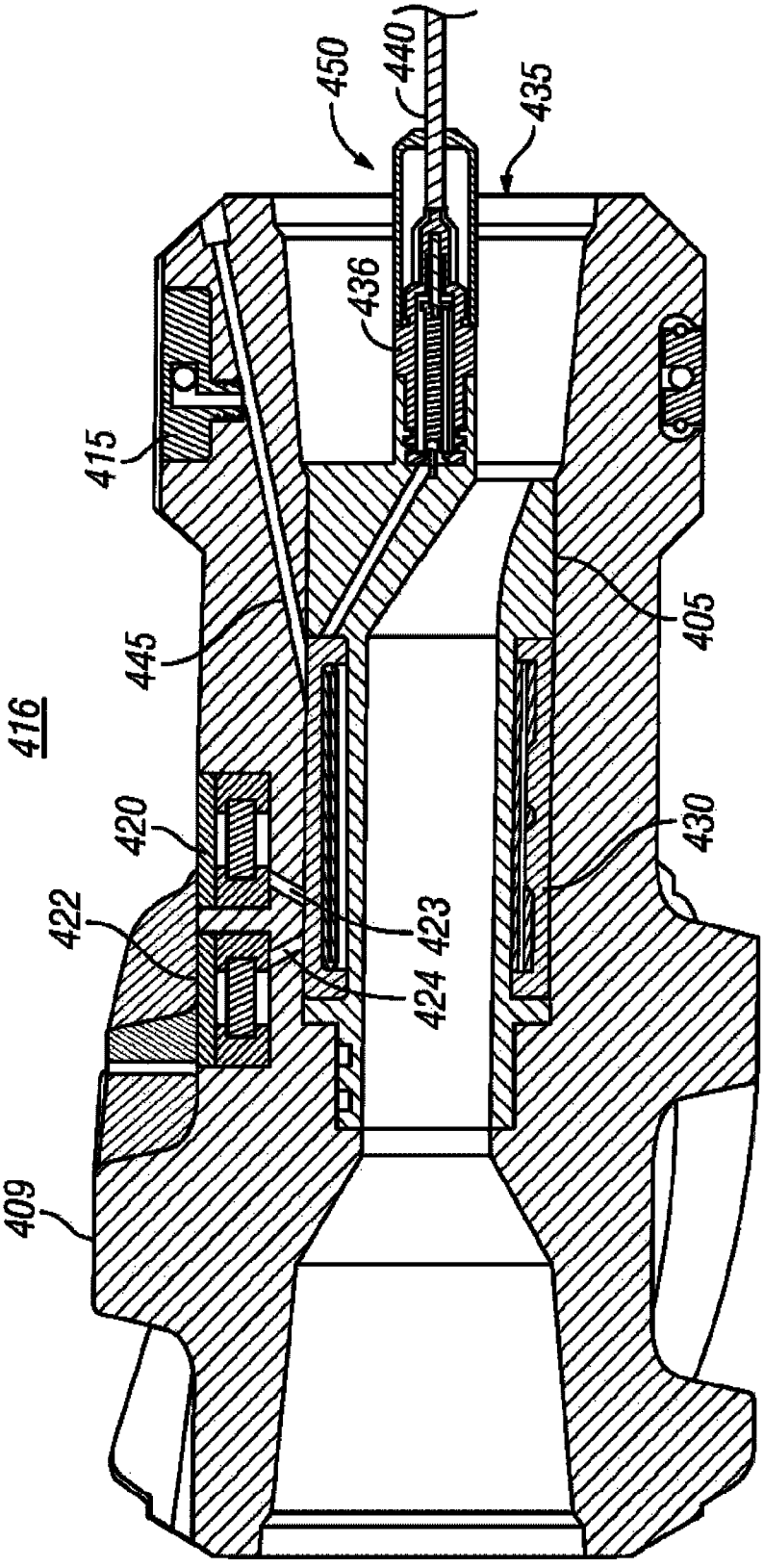


FIG. 4

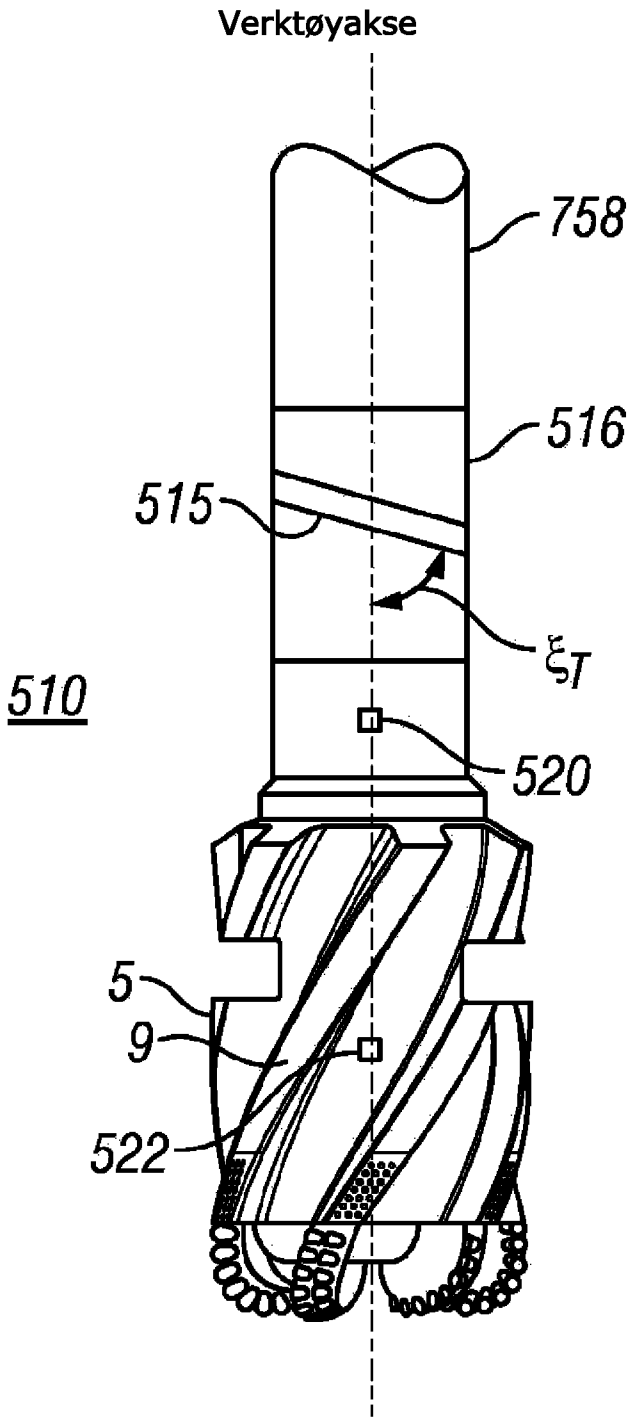


FIG. 5

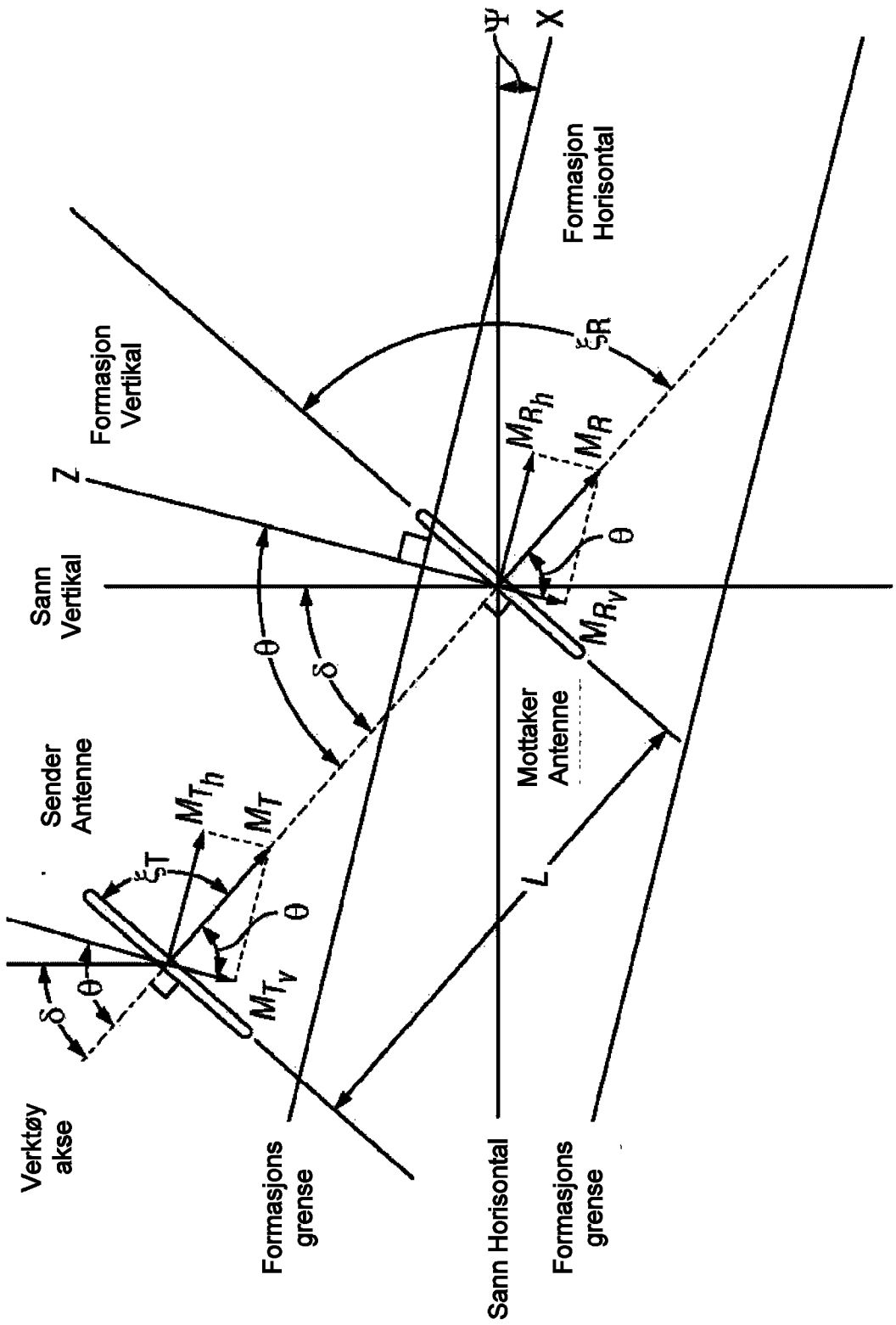

Ψ
X
Formasjon Horisontal
Formasjon Vertikal
Z
Sann Vertikal
ξR
MRh
MR
θ
MRv
δ
θ
Sender Antenne
MTh
MT
ξT
θ
MTv
δ
θ
Mottaker Antenne
L
Verktøy akse
Formasjons grense
Sann Horisontal
Formasjons grense

FIG. 6A

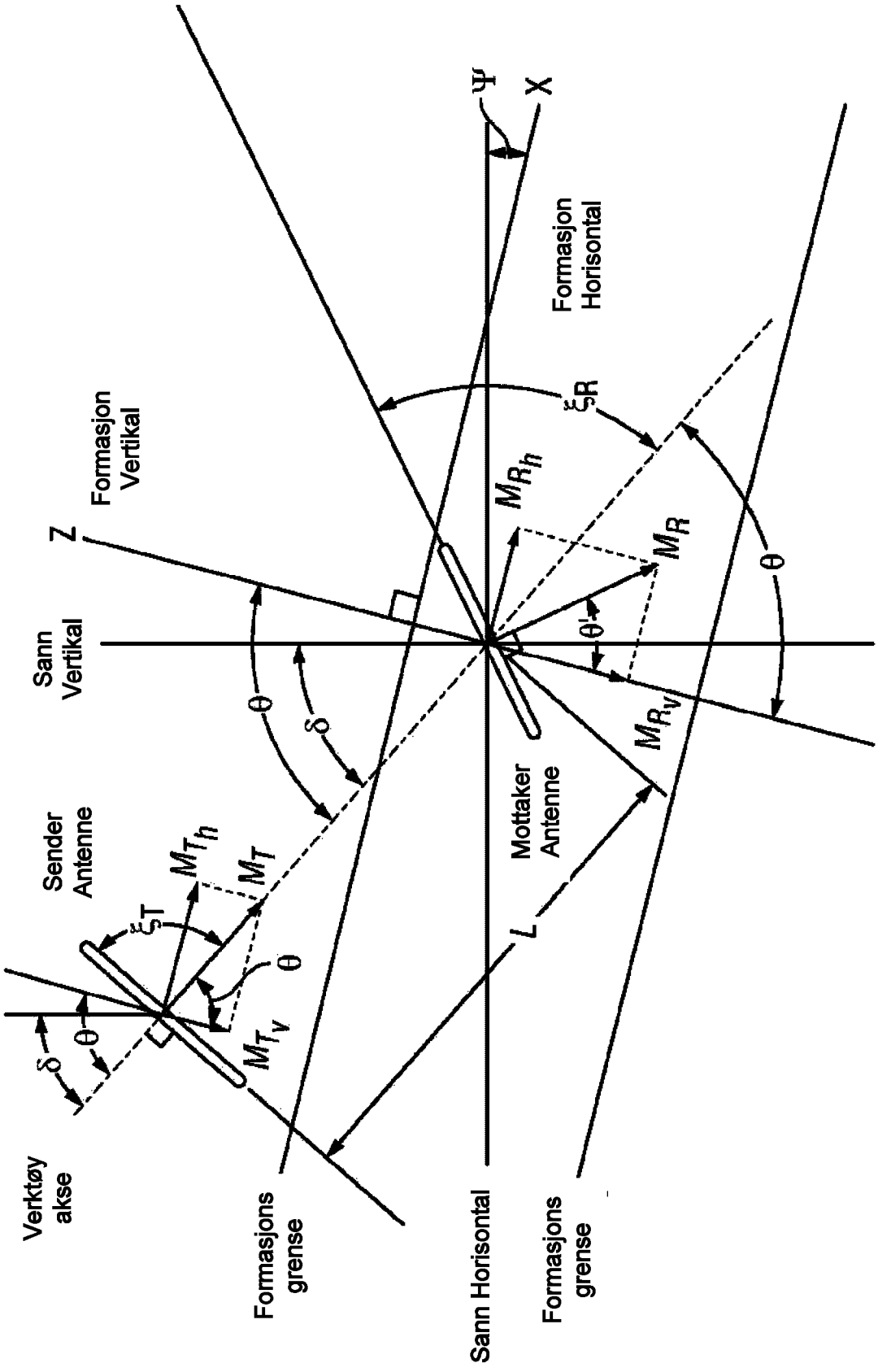

Verktøy akse
Sender Antenne
Sann Vertikal
Formasjon Vertikal
Formasjon Horisontal
Mottaker Antenne
Formasjons grense
Sann Horisontal
Formasjons grense
Z
X
Ψ
L
θ
δ
θ'
ξ_T
ξ_R
M_{T_h}
M_T
M_{T_v}
M_{R_h}
M_R
M_{R_v}

FIG. 6B

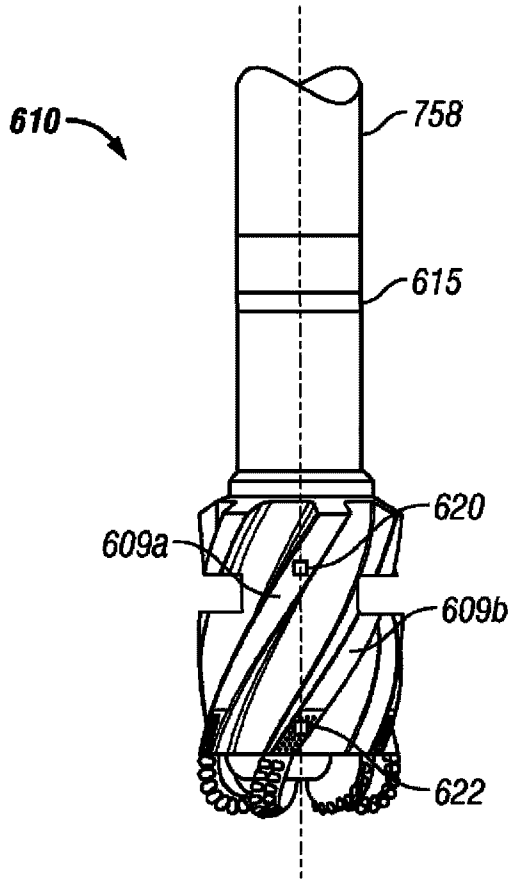

610
758
615
620
609a
609b
622

FIG. 7

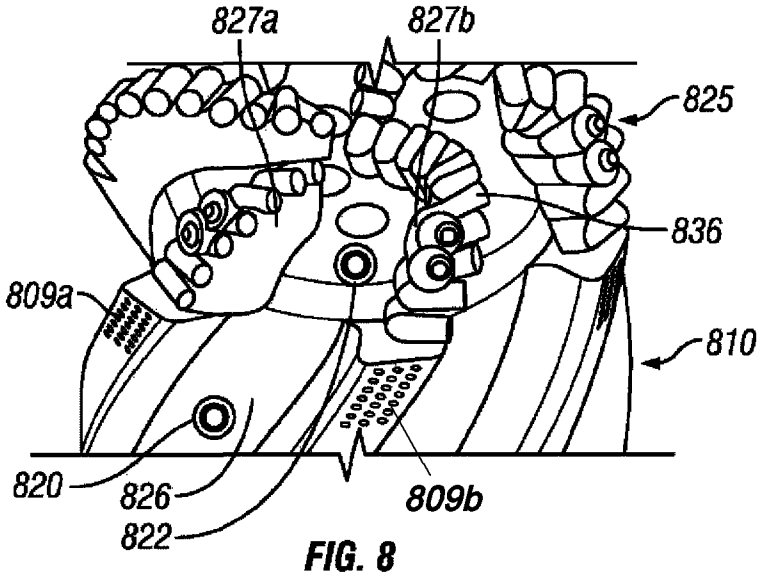

827a
827b
825
836
809a
810
820
826
822
809b

FIG. 8

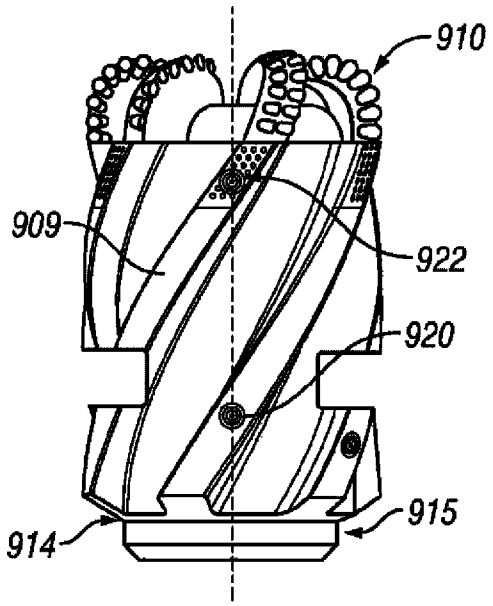


FIG. 9

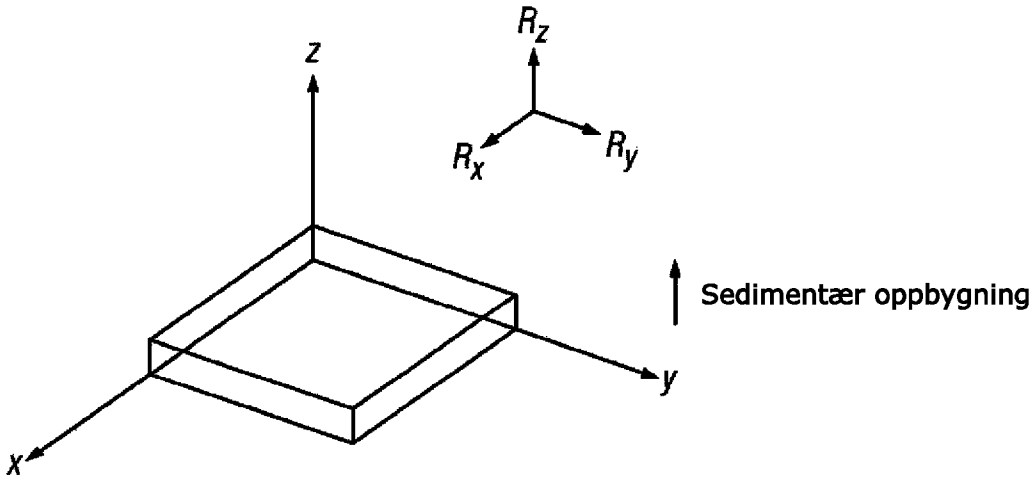


FIG. 10

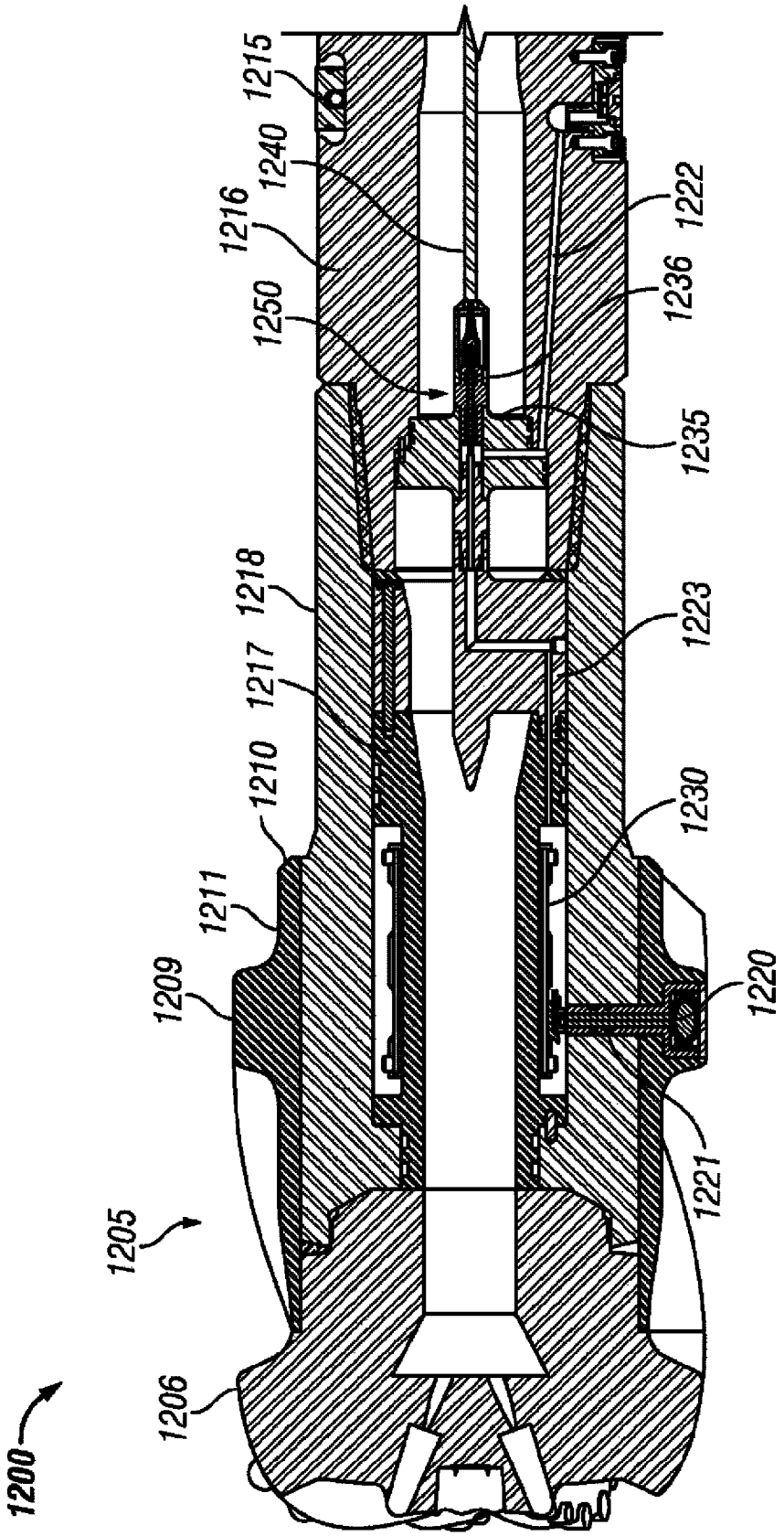

1200
1205
1206
1209
1210
1211
1215
1216
1217
1218
1220
1221
1222
1223
1230
1235
1236
1240
1250

FIG. 11

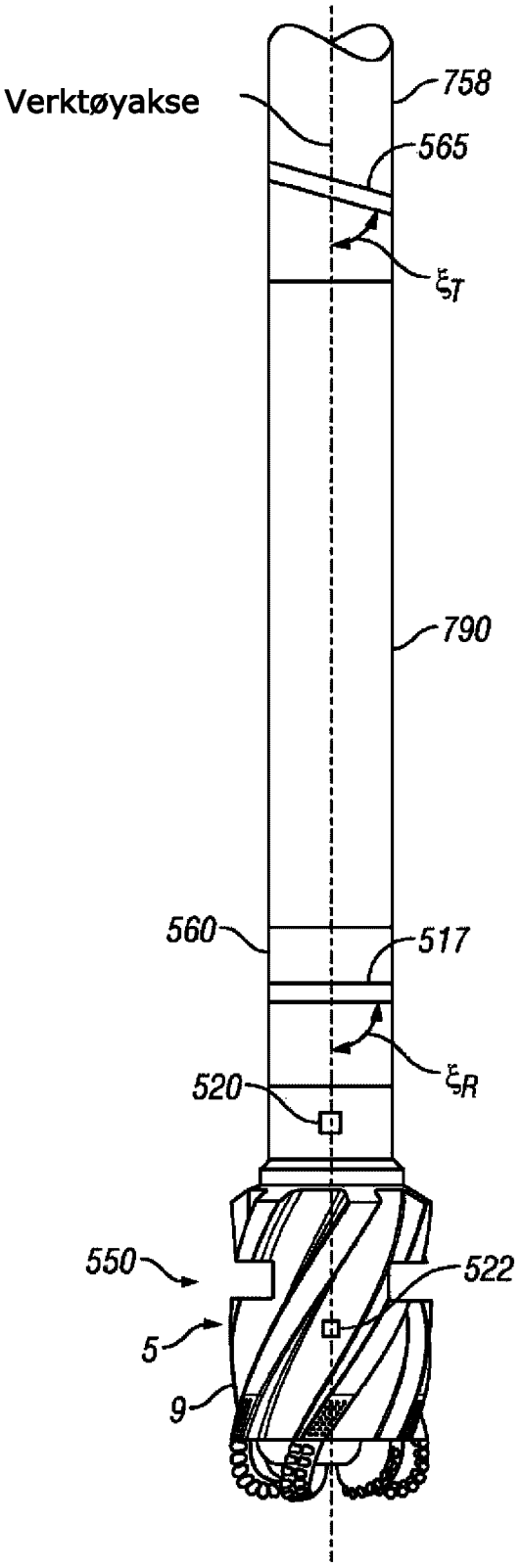

Verktøyakse
758
565
ξ_T
790
560
517
ξ_R
520
550
522
5
9

FIG. 12

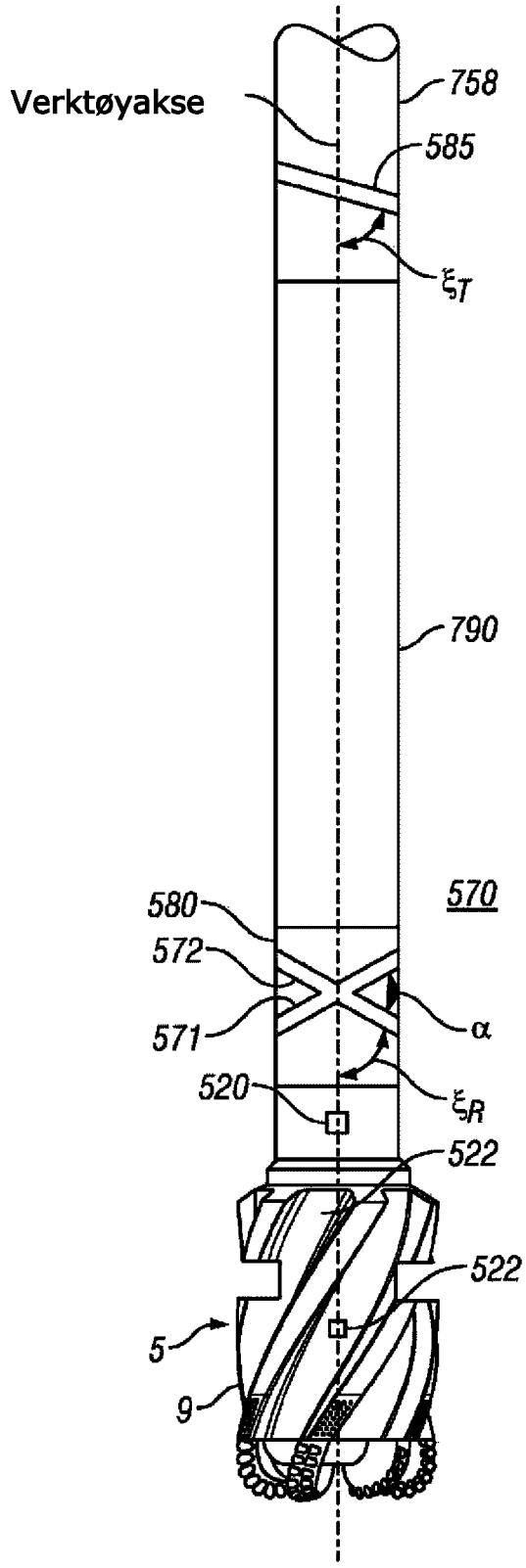

Verktøyakse
758
585
ξ_T
790
570
580
572
571
α
520
ξ_R
522
522
5
9

FIG. 13