



NORGE

(19) [NO]

STYRET FOR DET
INDUSTRIELLE RETTSVERN

[B] (12) **UTLEGNINGSSKRIFT** (11) №. 157756

(51) Int. Cl.⁴ G 01 V 3/30, E 21 B 47/12

(21) Patentsøknad nr. 833131
(22) Inngivelsesdag 01.09.83
(24) Løpedag 01.09.83
(62) Avdelt/utskilt fra søknad nr.

(71)(73) Søker/Patenthaver **SCHLUMBERGER LIMITED,**
277 Park Avenue,
New York, NY 10017, USA.

(86) Internasjonal søknad nr. -
(86) Internasjonal inngivelsesdag -
(85) Videreføringsdag -
(41) Alment tilgjengelig fra 02.04.84
(44) Utlegningsdag 01.02.88
(72) Oppfinner **BRIAN CLARK,** Ridgefield,
CT, USA.

(74) Fullmektig Bryn & Aarflot A/S, Oslo.

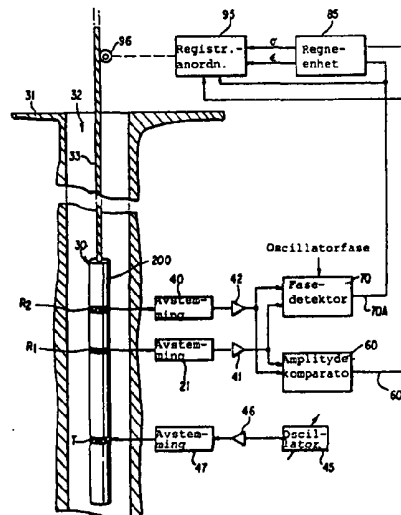
(30) Prioritet begjært 30.09.82, US, nr. 430571.

(54) Oppfinnelsens benevnelse **FREMGANGSMÅTE OG APPARAT FOR UNDER-
SØKELSE AV EGENSKAPER VED GRUNNFORMA-
SJONER SOM OMGIR ET BOREHULL.**

(57) Sammendrag

Det beskrives et apparat og en fremgangsmåte for borehulls-logging som kan brukes i forbindelse med kabel-logging og som også er egnet for anvendelse ved logging under boring. Elektromagnetisk energi som hovedsakelig har en magnetisk transversalmodus-komponent blir ledet langs en rørformet leder i et borehull, og målinger av den magnetiske transversalmodus-komponent kan brukes til å oppnå konduktiviteten og/eller dielektrisitetskonstanten for formasjoner som omgir borehullet.

(56) Anførte publikasjoner USA (US) patent nr. 2455940.



Foreliggende oppfinnelse vedrører borehull-loggeanordninger av den type hvor elektromagnetisk energi blir brukt til å måle egenskaper ved formasjoner som omgir et borehull, og mer spesielt et loggeapparat og en fremgangsmåte som kan brukes enten ved kabel-logging eller ved logging under boring.

I de senere år er det blitt foreslått loggesystemer som anvender radiofrekvent elektromagnetisk energi i området mellom omkring 10 MHz og 100 MHz for å bestemme både dielektrisitetskonstanten og konduktiviteten av formasjoner som omgir et borehull. I dette frekvensområde har både dielektrisitetskonstanten og konduktiviteten en betydelig virkning på utbredelses- eller forplantningskonstanten for elektromagnetisk energi som forplanter seg i formasjonene, slik at målinger av demping og fase kan brukes til løsning av lignings-systemer for å bestemme dielektrisitetskonstanten og/eller konduktiviteten i formasjoner som elektromagnetisk energi har passert gjennom. En anordning av denne type er dypforplantnings-anordningen ("DPT"), og en utførelsesform av denne er beskrevet i U.S. patent nr. 4.209.747. Denne anordningen omfatter en senderantenne, et par "nærmottager-antennene", og et par "fjernmottager-antennene". Hver av sender- og mottager-antennene er spoler viklet i isolerende medier som er montert på et sylindrisk metallrør som bærer ledningsføring til og/eller fra spolene. Spolene er viklet omkring rørets sentrale akse. Driften av DPT-loggeanordningen medfører kort fortalt energisering av senderen for å utsende elektromagnetisk energi ved en frekvens som er egnet for bestemmelse av både den elektriske konduktiviteten og den elektriske permittiviteten i de omgivende formasjoner. En del av den elektromagnetiske energi som har forplantet seg gjennom formasjonene, blir mottatt ved de nære og fjerne differensielle mottagerpar. Signalene som detekteres ved fjernmottagerparet blir brukt til å bestemme fasedreiningen av elektromagnetisk energi som har passert gjennom formasjonene, og de signaler som detekteres ved nærmottagerparet, blir brukt til å bestemme relativ demping av den elektromagnetiske energi. Fasedreiningen og dempingen blir så anvendt til å frembringe elektrisk permittivitet og elektrisk konduktivitet for formasjonene.

Forskjellige loggeteknikker er blitt foreslått for bruk i systemer for logging under boring. I U.S. patentene nr.

157756

2

3.305.771 og 3.408.561 er det beskrevet en brønnlogge-teknikk for å bestemme formasjons-konduktivitet (eller resistivitet) ved å anvende toroidale solenoid-antennener til å frembringe en lavfrekvent (f.eks. 500 Hertz) strøm i et ledende substrat som antennene er montert på. I en versjon av teknikken blir loggeanordningen tvunget mot borehullsveggen slik at en strøm kan flyte i anordningen mellom antennene og så gjennom formasjonene og tilbake til anordningen. I en annen versjon strekker kontaktelektroder seg utover fra anordningen og danner kontakt med borehullsveggen for å tilveiebringe strømbaner til og fra formasjonene. I en ytterligere form av denne anordning hvor logging under boring blir utført, passerer den beskrevne strømsløyfe gjennom metallsubstratet som nå utgjør en del av borestrengen, og så gjennom borekronen, formasjonene og tilbake til borestrengen. I hvert tilfelle måler mottagerantennen eller antennene den strøm-mengde som flyter i en sløyfe som innbefatter det ledende legeme eller et ledende parti av loggeanordningen og formasjonene. Loggeanordninger av den nevnte type er fordelaktige ved at de kan anvendes ved logging under boring samt ved konvensjonell kabel-logging. Behovet for å etablere en strømsløyfe som innbefatter formasjonene, f.eks. ved å etablere direkte kontakt med formasjonene, kan imidlertid være problematisk. Frekvensen av den elektriske energi som anvendes, er også nødvendigvis begrensende når det gjelder beskaffenheten av målingen og den type informasjon som kan oppnås.

Det er blant formålene med den foreliggende oppfinnelse å tilveiebringe en loggeanordning som kan anvendes som en kabelanordning eller en måleanordning for logging under boring. Det er et ytterligere formål med oppfinnelsen å tilveiebringe en anordning som muliggjør elektrøsmagnetisk logging ved frekvenser som er brukbare for måling av konduktivitet og/eller dielektrisitetetskonstant i undergrunnsformasjoner. Det er et annet formål med oppfinnelsen å tilveiebringe en loggeanordning som muliggjør drift over et område av forskjellige frekvenser for å tillate måling av egenskaper ved formasjoner ved forskjellige undersøkelsesdybder.

Disse formål oppnås ifølge oppfinnelsen ved å ta i bruk en fremgangsmåte for undersøkelse av egenskaper ved grunnformasjoner som omgir et borehull, omfattende anvendelse av et hovedsakelig rørformet elektrisk ledende legeme i borehullet, hvilken fremgangsmåte er kjennetegnet ved at det ved et sendersted på legemet

genereres elektromagnetisk energi i frekvensområdet mellom omkring 10 kHz og 100 MHz som hovedsakelig har magnetiske transversalmodus-komponenter i forhold til legemet og som ledes av dette legemet, hvorav en del av den elektromagnetiske energi går gjennom de nevnte grunnformasjoner, at de magnetiske transversalmodus-komponenter av den elektromagnetiske energi blir mottatt ved et mottagersted på legemet, og at egenskapene av de omgivende grunnformasjoner bestemmes i avhengighet av de motatte magnetiske transversalmodus-komponenter.

Et annet aspekt ved oppfinnelsen er rettet mot et apparat for undersøkelse av egenskaper ved grunnformasjoner som omgir et borehull, omfattende: en loggeanordning som kan bevegges gjennom borehullet og som omfatter et i det vesentlige rørformet elektrisk ledende hovedparti, en energiseringsanordning, en senderantenne-anordning som er montert på loggeanordningen og koblet til energiserings-anordningen for å generere elektromagnetisk energi som har hovedsakelig transversale magnetiske komponenter, og en mottagerantenne-anordning som er montert på loggeinnretningen i avstand fra senderantenne-anordningen for å motta den utsendte elektromagnetiske energi, idet mottagerantenne-anordningen er innrettet for hovedsakelig å være følsom for de transversale magnetiske komponenter i den elektromagnetiske energi. I motsetning til de typer elektromagnetiske loggeanordninger som benytter en bølge som divergerer i alle retninger fra en sender, utnytter den foreliggende oppfinnelse elektromagnetisk energi som blir ført langs borehullet. Føringen av energien tilveiebringes ved hjelp av loggeanordningens ledende legeme. I noen tilfeller kan anordningens legeme, det slamfylte borehullet og den ytre formasjon virke som en hovedsakelig sylindrisk bølgeleder-konstruksjon maken til en koaksial transmisjonslinje. Bølgeleder-modusen av laveste orden forplanter seg i enten den enkle leder eller koaksialmodellen med meget mindre dempning enn noen annen modus. Det er en aksialt symmetrisk, transversal magnetisk modus (TM_{00}), som ikke har noen nedre grensefrekvens. Når formasjonskonduktiviteten σ_t er mindre enn slamkonduktiviteten σ_m , er hastigheten og dempningen av TM_{00} -modusen meget nær hastigheten og dempningen for en plan bølgeforplantning i formasjonen. I dette tilfelle er dempningen av modusen ganske ufølsom for borehullets diameter og konduktiviteten og dielektrisitets-konstanten for slamm. Den foreliggende anordning er følgelig velegnet for måling av formasjonens konduktivitet og dielektrisitets-konstant, spesielt i tilfeller hvor det benyttes vannbasert slam.

157756

4

I en form av den foreliggende oppfinnelse er det tilveiebragt en anordning for å variere loggeapparatets operasjonsfrekvens ved å regulere operasjonsfrekvensen til energiseringsanordningen. Frekvensen kan reguleres mens anordningen er nede i hullet. En fordel ved å benytte en loggeanordning som anvender den magnetiske transversal-modus-komponenten i det elektromagnetiske signalet, er at dette modus ikke lett avskjæres eller dempes sterkt over det forholdsvis brede område av operasjonsfrekvenser. Ved å variere operasjonsfrekvensen og dermed skinndybden til den genererte elektromagnetiske energi, kan anordningens effektive undersøkelsesdybde varieres enten under en gitt loggekjøring eller mellom forskjellige loggekjøringer. Variasjon av frekvensen kan også brukes til å forandre den relative grad med hvilken den elektromagnetiske energi er følsom for konduktiviteten og dielektrisitets-konstanten til formasjonene.

Ytterligere trekk og fordeler ved oppfinnelsen vil fremgå tydeligere fra den følgende detaljerte beskrivelse som er gitt i forbindelse med de vedføyde tegninger, der:

Figur 1 er et blokkskjema over et apparat i samsvar med en utførelsesform av oppfinnelsen;

Figur 2 er et blokkskjema over en utførelsesform av amplitydekomparatoren 60 på figur 1;

Figur 3 er et blokkskjema over en utførelsesform av fase-detektoren 70 på figur 1;

Figur 4 er et flytskjema over rutinen for generering av en oppslagstabell som kan brukes for å oppnå formasjons-konduktivitet og/eller dielektrisitets-konstant;

Figur 5 er et flytskjema over rutinen for bruk av oppslags-tabellen; og

Figur 6 illustrerer et system for logging under boring som anvender oppfinnelsen.

Det vises til figur 1 hvor det er vist en utførelsesform av et apparat ifølge oppfinnelsen, og som kan brukes for utførelse av fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen til undersøkelse av undergrunnsformasjoner 31 som gjennomtrenges av et borehull 32. Borehullet 32 er fortrinnsvis fylt med et vannbasert boreslam. Borehullet kan være åpent eller foret med et ikke-ledende materiale. Undersøkelsesapparatet eller loggeanordningen 30 er opphengt i borehullet 32 i en armert kabel 33 hvis lengde hoved-

sakelig bestemmer anordningens 30 relative dybde. Kabellengden blir styrt ved hjelp av passende anordninger på overflaten, slik som en trommel- og vinsje-mekanisme (ikke vist). Den armerte kabelen 33 blir viklet opp på trommelen for å heve anordningen 30 mot overflaten etterhvert som formasjonskarakteristikker blir målt. Dybdemålinger blir tilveiebragt ved hjelp av et målehjul 96 som dreies som et resultat av kontakt med kabelen 33. Pulser som frembringes ved rotasjon av målehjulet 96, blir tilført en registrerings-anordning 95 for å tilveiebringe en registrering av de dybder ved hvilke målinger blir tatt.

Loggeanordningen 30 omfatter et rørformet elektrisk ledende bære/føringsorgan 200 som kan være utformet av et ledende metall. I organet 200 er det montert en senderantenne T, en nærmottagerantenne R_1 , og en fjernmottagerpole R_2 . I den foreliggende utførelsesform omfatter hver av antennene en toroidal solenoid som fortrinnsvis ligger i en ringformet sliss i organet 200. Antennene er elektrisk isolerte og beskyttet ved at de f.eks. er innesluttet i et isolerende dielektrisk materiale som fyller slissen. Det rørformede organet 200 bærer ledninger til og/eller fra antennene og kan også inneholde loggeanordningens elektroniske komponenter. Alternativt kan en separat modul være tilveiebragt for dette formål. Organet 200 bidrar til å forhindre interferens ved antennene fra ledningene eller komponentene inne i organet. Men dets hovedformål er her å utgjøre en føringsanordning for de magnetiske transversalmodus-komponentene i den elektromagnetiske bølge-energi.

En oscillator-enhet 45 med variabel frekvens kan ifølge den foreliggende utførelsesform arbeide i området mellom omkring 10 KHz og 100 MHz (og fortrinnsvis i området 10 MHz til 30 MHz). Utgangen fra oscillatoren er koblet til senderen T gjennom en forsterker 46 og avstemningskrets 47. Den toroidale solenoid-senderantennen T i forbindelse med føringsorganet 200 frembringer elektromagnetisk energi som hovedsakelig har magnetiske transversalmodus-komponenter. De toroidale solenoid-mottagerantennene R_1 og R_2 er hovedsakelig følsomme for de magnetiske transversalmodus-komponentene i det mottatte signal.

Utgangene fra mottagerne R_1 og R_2 blir gjennom avstemningskretsene 21 og 22 og henholdsvis forsterkerne 41 og 42 til en

amplitudekomparator 60 og en fasedetektor-krets 70. Utgangen fra fasedetektoren 70 er et signalnivå som er proporsjonalt med fasedifferansen ϕ mellom signalene som mottas ved R_1 og R_2 . Utgangen fra amplitude-komparatoren 60 er et signalnivå som er proporsjonalt med amplitudeforholdet mellom de signaler som mottas ved R_2 og R_1 .

Figur 2 viser en utførelsesform av amplitudekomparator-kretsen 60. For å forenkle amplitude-deteksjonsprosessen er utgangene fra forsterkerne 41 og 42 koblet til mikserkretsene henholdsvis 603 og 613 som som sine andre inngangssignaler mottar et signal ved en frekvens som står i et visst forhold til senderoscillator-frekvensen, typisk ved en frekvens over eller under senderfrekvensen i en avstand som tilsvarer en radiofrekvens. Blandingen eller miksingen av de to signalene frembringer i hvert tilfelle et utgangs-signal som har en amplitude og en fase som står i forhold til amplituden og fasen av det signal som detekteres ved en respektiv mottager, men ved radiofrekvensen. Utgangene fra mikserne 603 og 613 blir filtrert ved hjelp av båndpassfilteret 604 og 614 og så ved hjelp av mellomfrekvens-forsterkere 605 og 615 koblet til toppdetektorer henholdsvis 606 og 616. Toppdetektorene frembringer utgangssignaler som er representative for bølge-energiens omhyllingskurver. Utgangene fra toppdetektorene blir koblet til en forholdskrets 620 som genererer signalet på linje 60A (fig. 1) som er representativ for amplitudeforholdet til den bølgeenergi som mottas ved R_2 og R_1 .

Figur 3 viser en utførelsesform av fasekomparator-kretsen 70 på figur 1. På en måte i likhet med den på figur 2 blir utgangene fra forsterkerne 41 og 42 henholdsvis koblet til miksere 703 og 713 hvis utganger igjen tilføres henholdsvis filter 704 og forsterker 705 og filter 714 og forsterker 715. Utgangene fra forsterkerne 705 og 715 blir henholdsvis koblet til nullgjennomgangs-detektorer 706 og 716. Utgangen fra nullgjennomgangs-detektoren 706 blir koblet til setteinngangen på en bistabil vippe 720, og utgangen fra nullgjennomgangs-detektoren 716 blir koblet til tilbakestillings-inngangen på vippen 720. Nullgjennomgangs-detektorene virker slik at det genereres et utgangssignal bare for nullgjennomganger i positivt gående retning. I løpet av hver periode vil følgelig den energi som an-

kommer først ved mottager R_1 , resultere i en utgang fra nullgjennomgangsdetektoren 706, som så setter eller innstiller vippen 720. Når signalet deretter ankommer ved mottager R_2 , vil den resulterende utgang fra nullgjennomgangs-detektoren 716 tilbake stille vippen 720. Utgangen fra vippe 720 er følgelig en puls med en varighet som representerer faseforskjellen mellom de to signalene. Utgangen fra vippen 720 blir koblet til en integrator 730 hvis utgang er signalet 70A; dvs. et analogt signal som er representativt for faseforskjellen mellom de signaler som mottas ved mottagerne R_2 og R_1 . Man vil forstå at den fordelaktige støy-eliminierende teknikk som er beskrevet i U. S. patent nr. 3.849.721 om ønsket, kan anvendes med eller uten borehulls-kompenseringsteknikk. Hvis det anvendes borehullskompensering, kan en annen sender plasseres på den motsatte side av mottagerne, og mottagerparene kan anordnes for vekselvis å bytte roller etterhvert som senderne blir koblet om. Alternativt kan man, om ønsket, anvende en tidsbehandlet borehullskompenseringsteknikk.

Utgangene fra fasedetektorkretsen 70 og amplitydekomparator-kretsen 60 blir overført til overflaten over lederne 60A og 70A som passerer gjennom den armerte kabelen 33. Disse signalene kan digitaliseres før overføring til overflaten. På jordoverflaten blir signalene på lederne 53A og 53B tilført en regne-enhet 85 som beregner verdier av konduktivitet og dielektrisitetskonstant. Disse verdier blir registrert ved hjelp av registreringsanordningen 95.

For å gi en innledende forståelse av teorien bak virkemåten, betraktes en forenklet modell av et metallrør med radius a som er innstøpt i et homogent medium med konduktivitet σ , magnetisk permeabilitet μ_0 (for ikke-ledende medier) og relativ dielektrisitetskonstant ϵ' . Som kjent vil metallrøret tillate en magnetisk transversalmodus-komponent og forplante seg langs rørets retning (se f.eks. *Electromagnetic Theory*, Stratton, McGraw Hill, 1941). Hvis metallrøret har en meget høyere konduktivitet enn det homogene medium, vil som vist i Stratton, TM-hovedbølgen forplante seg i henhold til karakteristikene ved det eksterne medium.

Anta at TM-hovedmodiet er blitt eksitert, f.eks. ved hjelp av en toroidal solenoid-sender. Det signal som detekteres ved hjelp av en toroidal mottager plassert ved en posisjon Z langs

157756

8

metallrøret, vil være

$$V(z,t) = V_0 e^{i(hz - \omega t)} \quad (1)$$

hvor V_0 er en konstant som avhenger av virkningsgradene til senderen og mottageren, t er tiden, hvor ω er vinkelfrekvensen og h er forplantningskonstanten for TM-hovedmodiet. For en nærmottager plassert ved z_N og en fjernmottager plassert ved z_F , vil mottagerne måle henholdsvis spenningen V_N og V_F som følger:

$$V_N = V(z_N, t) = V_0 e^{i(hz_N - \omega t)} \quad (2)$$

$$V_F = V(z_F, t) = V_0 e^{i(hz_F - \omega t)} \quad (3)$$

(I det følgende vil uttrykket $e^{-i\omega t}$ være underforstått). Forplantningskonstanten h har reelle og imaginære deler

$$h = h' + ih'' \quad (4)$$

slik at

$$V_N = V_0 e^{i(h'z_N) - h''z_N} \quad (5)$$

$$V_F = V_0 e^{i(h'z_F) - h''z_F} \quad (6)$$

Amplitydene av signalene i nær- og fjernmottagerne er

$$|V_N| = |V_0| e^{-h''z_N} \quad (7)$$

$$|V_F| = |V_0| e^{-h''z_F} \quad (8)$$

slik at et forhold mellom amplitydene ved nær- og fjernmottagerne gir

$$\frac{|V_N|}{|V_F|} = e^{h''(z_F - z_N)} \quad (9)$$

Imaginærdelen av h (h'') er gitt ved

$$h'' = (z_F - z_N)^{-1} \ln\left(\frac{V_N}{V_F}\right) \quad (10)$$

Fasen ved nær- og fjernmottagerne er gitt ved

$$\theta_N = h' z_N \quad (11)$$

$$\theta_F = h' z_F \quad (12)$$

hvor θ_N og θ_F er i radianer. Faseforskjellen mellom nær- og fjernmottagerne er gitt ved

$$\theta_F - \theta_N = h' (z_F - z_N) \quad (13)$$

slik at realdelen av h (h') er gitt ved

$$h' = (z_F - z_N)^{-1} (\theta_F - \theta_N) \quad (14)$$

Et mål på faseforskjellen og et mål på amplitydeforholdet mellom nær- og fjernmottagerne gir således real- og imaginærdelene av h .

Hvis konduktiviteten i metallrøret er meget større enn konduktiviteten i det homogene medium, er forplantningskonstanten (se f.eks. Stratton) for TM-hovedmoduset gitt ved

$$h = \frac{\omega}{c} \sqrt{\epsilon' + i \frac{\sigma}{\epsilon_0 \omega}} = h' + ih'' \quad (15)$$

hvor c er lyshastigheten i vakuum (3×10^8 m/sek.) og ϵ_0 er permittiviteten i vakuum (8.854×10^{-12} farad/m). Algebraisk manipulering gir:

$$\epsilon' = \frac{c^2}{\omega^2} \left[(h')^2 - (h'')^2 \right] \quad (16)$$

$$\sigma = 2 \frac{c^2}{\omega} \epsilon_0 h' h'' \quad (17)$$

Følgelig kan ϵ' og σ i denne forenklete modell bestemmes fra nær- og fjernamplitydene og nær- og fjernfasene ved å bruke forholdene (10), (14), (16) og (17).

Det betraktes så en modell som omfatter et borehull. I dette tilfelle vil der fremdeles være en TM-hovedmodus, men dets forplantningskonstant vil ikke være gitt nøyaktig ved ligning (15). Ligningene som brukes for å bestemme de komplekse komponentene av h vil fremdeles være gyldige. Ligning (16) og (17) kan imidlertid medføre feil ved bestemmelse av ϵ' og σ fra h . I den foreliggende modell lar man følgelig borehullets fluidum-medium ha en radius b med relativ dielektrisitetskonstant ϵ'_b og konduktivitet σ_b . Løsningen for forplantningskonstanten h når a , b , ϵ'_b , σ_b , ϵ' og σ er gitt, er kjent (se Wait and Fuller, "Transmission Line Theory for an Insulated Linear Antenna in a Fluid or Air-Filled Borehole", Applied Physics, Volume 1, 1973). I denne publikasjonen er problemet med et isolert metallrør i et borehull i en formasjon presentert, og en fremgangsmåte for å tilveiebringe h er fremsatt. For dette formål er metallrøret uisolert. Den løsning som utledes i referansen kan derfor modifiseres for foreliggende formål hvis isolasjonsområdet blir eliminert fra analysen.

Ved å tilpasse analysen fra ovennevnte referanse, gis en fremgangsmåte for å tilveiebringe h (når a , b , ϵ'_b , σ_b , ϵ' og σ er kjent) ved å løse

$$h^2 = k^2 \left\{ \frac{\ln[\gamma^2/4(k^2-h^2)b^2] - \ln(b/a)^2}{\ln[\gamma^2/4(k^2-h^2)b^2] - k^2/k_b^2 \ln(b/a)^2} \right\} \quad (18)$$

hvor

$$k^2 = \frac{\omega^2}{c^2} (\epsilon' + i \frac{\sigma}{\epsilon_0 \omega}),$$

$$k_b^2 = \frac{\omega^2}{c^2} (\epsilon'_b + \frac{\sigma_b}{\epsilon_0 \omega}),$$

$$\gamma^2/4 = .793054 \dots\dots$$

Forskjellige teknikker som er velkjente på området, kan benyttes for å frembringe og registrere ϵ' og/eller σ ut fra de målte verdier og de fremsatte ligninger, enten på loggestedet eller på et fjerntliggende sted. F.eks. kan en liten universal-datamaskin brukes som regne-enhet 85 og en tabelloppslags-teknikk kan brukes for å frembringe verdier av ledningsevnen og den elektriske permittiviteten fra de målte verdier av demping og fase. Kortfattet er prosedyren som følger: En oppslagstabell blir

sammensatt for et spesielt sett av gitte tilstander av vinkel-frekvens ω , apparatradius a , borehullsradius b , konduktiviteten σ_b av borehulls-slammet og dielektrisitetskonstanten ϵ'_b i borehulls-slammet. Når disse er gitt kan ligning (18) brukes til å sette opp oppslagstabellen ved å velge verdipar av σ og ϵ' , og ligningene (16) og (17) kan brukes til å frembringe et par av verdier h' og h'' som tilfredsstillers ligning (18). Prosedyren blir så gjentatt ved passende inkremitter for alle par av σ og ϵ' innenfor det område som er av interesse, idet hvert korresponderende par av verdier h' , h'' lagres i tabellen. Oppslagstabellen brukes når verdier av demping og fase blir målt, og ligningene (10) og (14) blir benyttet til å frembringe verdier av h'' og h' . Man kan så gå inn i oppslagstabellen og lokalisere det nærmest korresponderende par av verdier h' , h'' , og det tilsvarende par av verdier for σ og ϵ' blir lest ut som den bestemte konduktivitet og dielektrisitetskonstant for de undersøkte formasjoner. Disse verdier kan så registreres på registreringsanordningen 95 (fig 1.).

Et forenklet flytskjema for programmering av regne-enheten 85 til å lagre tabellen over verdier er vist på figur 4. De verdier av ω , a , b , σ_b og ϵ'_b som skal brukes, blir matet inn som vist i blokk 100. Innledende verdier av ϵ' og σ blir valgt, som antydnet ved blokk 101. Disse verdier kan typisk være de lavest mulig forventede verdier av ϵ' og σ . Man går så inn i blokk 102 som representerer løsning av ligning (18), f.eks. numerisk, for h' og h'' . De løpende verdier av ϵ' og σ blir så lagret i forbindelse med de beregnede verdier av h' og h'' , som representert av blokk 103. Verdien av ϵ' blir så inkrementert som representert ved blokk 104. ϵ' blir så testet (rute 105) for å bestemme om den har nådd den maksimale verdi av ϵ' som skal brukes. Hvis ikke, går man på nytt inn i blokk 102 og nye verdier blir lagret i tabellen. Når ϵ' er blitt inkrementert over hele sitt område, vil svaret på spørsmålet i rute 105 være "ja", og man går inn i blokk 106 som representerer inkrementeringen av σ . σ blir så testet (rute 107) for å bestemme om den har nådd den maksimale verdi av σ som skal brukes. Hvis ikke, blir ϵ' igjen innført, man går igjen inn i blokk 102 og som tidligere beskrevet vil et nytt sett av verdier bli bestemt etterhvert som ϵ' blir itterert over hele sitt område for denne nye verdi av σ .

157756

12

Denne prosedyren vil fortsette inntil σ har nådd sin maksimale verdi hvorved rutinen er over og hele tabellen av verdier er blitt lagret.

Figur 5 er et forenklet flytskjema som illustrerer hvordan oppslagstabellen kan brukes. Den målte dempning og fase blir matet inn (blokk 151), og ligningene (10) og (14) blir løst (blokk 152) for å tilveiebringe verdier av henholdsvis h'' og h' . Man kan så gå inn i den tidligere lagrede oppslagstabell (blokk 153) for å frembringe den ϵ' og σ som er lagret i forbindelse med det nærmeste par h' , h'' . Verdiene av ϵ' og σ blir så lest ut (blokk 154), f.eks. for registrering, fremvisning og/eller overføring. Sett av oppslagstabeller (eller kurver som er utledet fra disse, som kan brukes på lignende måte), kan genereres for forskjellige typer av vanlige tilstander, eller kan genereres etter at tilstandene er innstilt eller målt.

Alternativer til tabelloppslags-teknikken ville være en kurvetilpasnings-teknikk eller direkte iterativ numerisk løsning av de fremsatte ligninger. En ytterligere mulig løsning er å tilveiebringe en spesiallaget analog eller digital data-maskin som frembringer utgangsfunksjoner som simulerer familier av kurver som representerer de fremsatte ligninger. Man vil også forstå at ved å bruke den beskrevne loggeanordning i et passende stort forsøks-borehull, kan lagrede verdier oppnås empirisk.

Det vises nå til figur 6 hvor det er illustrert en utførelsesform av oppfinnelsen i form av et apparat og en fremgangsmåte for logging under boring. En plattform og et boretårn 10 er anbragt over et borehull 11 som er dannet i jorden ved rotasjonsboring. En borestreng 12 er opphengt i boretårnet og omfatter en borkrone 15 ved sin nedre ende. Borestrengen 12 og boret 15 som er festet til denne, blir dreiet ved hjelp av et dreiebor 16 (energisert av ikke viste anordninger) som står i inngrep med en kelly 17 ved den øvre enden av borestrengen. Borestrengen henger ned fra en krok 18 som er festet til en løpeblokk (ikke vist). Kellyen er forbundet med kroken gjennom en rotasjons-svivel 19 som tillater dreining av borestrengen i forhold til kroken. Borevæske eller slam 26 befinner seg i en grop 27 i jorden. En pumpe 29 pumper borevæske inn i bore-

strengen via en åpning i svivelen 19 slik at væsken flyter nedover gjennom midten av borestrengen 12. Borefluidumet trer ut av borestrengen via åpninger i borkronen 15 og sirkuleres så oppover i området mellom utsiden av borestrengen og borehullets omkrets. Borefluidet fører som kjent med seg borekutt til jordoverflaten, og borefluidet returneres til gropen 27 for resirkulasjon. De små pilene på figuren illustrerer den typiske strømningsretningen av borefluidet.

Inne i borestrengen 12, fortrinnsvis nær borkronen 15, er det montert et avfølings- og overføringssystem 250. Systemet 250 omfatter et måleapparat 200A som omfatter antenner T, R₁ og R₂ og arbeider på den måte som er beskrevet i forbindelse med figur 1 eller andre utførelsesformer. En senderdel av systemet nede i borehullet omfatter en akustisk sender 56 som genererer et akustisk signal i borefluidet som er representativt for de målte tilstander nede i borehullet. En akustisk sender av egnet type som er kjent på området, benytter en anordning kjent som en "slam-sirene", som omfatter en slisset stator og en slisset rotor som roterer og gjentatte ganger avbryter strømmen av borefluidum for å tilveiebringe et ønsket akustisk bølgesignal i borefluidet. Senderen 56 blir styrt av senderstyrings-elektronikk 57 som omfatter en analog/digital-krets som omformer de signaler som er representative for tilstander nede i borehullet, til digital form. Styrings-elektronikken 57 omfatter også en modulator for fasedreinerings-nøkling (PSK) som på vanlig måte frembringer drivsignaler for tilførsel til senderen 56. Elektronikken 250 er representativ for behandlings-elektronikken, slik som den på figur 1 som brukes til å frembringe signalene på lederne 60A og 70A. Disse signalene blir koblet til senderstyrings-elektronikken 57 som tilveiebringer passende modulasjon av slamsirenen i senderen 56.

Den genererte akustiske slambølge forplanter seg oppover i fluidet gjennom midten av borestrengen med lydets hastighet i fluidet. Den akustiske bølge blir mottatt ved jordoverflaten ved hjelp av transduserne som er representert ved referansetall 31. Transduserne som f.eks. kan være piezoelektriske transduserne, omformer de mottatte akustiske signaler til elektroniske signaler. Utgangen fra transduserne 31 blir koblet til mottagersystemet 100 som virker til å demodulere de overførte

157756

14

signaler, som så blir koblet til regne-enheten 85 og registreringsanordningen 95.

Man vil forstå at alternative teknikker kan anvendes for å overføre loggeinformasjon fra anordningen 200A til jordoverflaten.

Oppfinnelsen er blitt beskrevet under henvisning til spesielt foretrukne utførelsesformer, men variasjoner innenfor oppfinnelsens ramme vil være nærliggende for fagfolk på området. Selv om det f.eks. er vist to mottagere og en enkelt mottager i de illustrerte utførelsesformer, vil man forstå at tre eller flere mottagere og/eller to eller flere sendere kan anvendes. Arbeidsfrekvensen kan også varieres, nede i hullet eller på overflaten, og før eller under en loggekjøring. Selv om toroidale solenoid-antenner blir foretrukket, kan antenner av den elektriske dipol-typen som er konstruert for å gi hovedsakelig TM-modus, alternativt anvendes.

P A T E N T K R A V

1. Fremgangsmåte for undersøkelse av egenskaper ved grunnformasjoner som omgir et borehull, omfattende anvendelse av et hovedsakelig rørformet, elektrisk ledende legeme i borehullet, k a r a k t e r i s e r t v e d at det ved et sendersted på legemet genereres elektromagnetisk energi i frekvensområdet mellom omkring 10 kHz og 100 MHz som hovedsakelig har magnetiske transversalmodus-komponenter i forhold til legemet og som ledes av dette legemet, hvorav en del av den elektromagnetiske energi går gjennom de nevnte grunnformasjoner, at de magnetiske transversalmodus-komponenter av den elektromagnetiske energi blir mottatt ved et mottagersted på legemet, og at egenskapene av de omgivende grunnformasjoner bestemmes i avhengighet av de mottatte magnetiske transversalmodus-komponenter.

2. Fremgangsmåte ifølge krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at konduktiviteten og/eller permittiviteten av de omgivende grunnformasjoner blir bestemt som en funksjon av amplityden og fasen til den mottatte energi.

3. Fremgangsmåte ifølge krav 1 eller 2, k a r a k t e r i s e r t v e d at energien mottas ved et par adskilte mottagere innenfor mottagerstedet.

4. Fremgangsmåte ifølge krav 1, 2 eller 3, k a r a k t e r i s e r t v e d at den utsendte energi gjøres variabel i frekvens.

5. Fremgangsmåte ifølge noen av de foregående krav, k a r a k t e r i s e r t v e d at frekvensen av den utsendte energi er valgt i området fra omkring 10 MHz til 30 MHz.

6. Fremgangsmåte ifølge noen av de foregående krav, k a r a k t e r i s e r t v e d at det hovedsakelig rørformede, elektrisk ledende legeme tilveiebringes som en del av boresystemets borestreng, og ved at signaler som avhenger av den mottatte energi blir overført til jordoverflaten.

157756

16

7. Apparat for undersøkelse av egenskaper ved grunnformasjoner som omgir et borehull, omfattende en loggeanordning som kan beveges gjennom borehullet og som omfatter et stort sett rørformet, elektrisk ledende legeme og en energiseringsanordning, k a r a k t e r i s e r t v e d en senderantenne-anordning som er montert på loggeanordningen og koblet til energiseringsanordningen for å generere elektromagnetisk energi i frekvensområdet mellom omkring 10 kHz og 100 MHz, hvilken elektromagnetisk energi ledes av det nevnte elektrisk ledende legeme og har i hovedsak magnetiske transversalmodus-komponenter i forhold til legemet, hvorav en del av energien går gjennom de omgivende grunnformasjoner, en mottagerantenne-anordning montert på loggeanordningen i avstand fra senderantenneanordningen, for å motta den utsendte elektromagnetiske energi, og innrettet til å ha følsomhet hovedsakelig for magnetiske transversalmodus-komponenter av elektromagnetisk energi, hvor det mottatte signal er en indikasjon på egenskaper ved grunnformasjonene.

8. Apparat ifølge krav 7, k a r a k t e r i s e r t v e d en anordning som er koblet til mottageranordningen for å bestemme konduktiviteten og/eller permittiviteten av de omgivende grunnformasjoner som en funksjon av utgangssignalet fra mottageranordningen.

9. Apparat ifølge krav 7 eller 8, k a r a k t e r i s e r t v e d at senderantenne-anordningen og mottagerantenneanordningen omfatter toroidale solenoid-antennener.

10. Apparat ifølge krav 9, k a r a k t e r i s e r t v e d at de toroidale solenoid-antennener er innlagt i hovedsakelig ringformede slisser i loggeanordningen.

11. Apparat ifølge noen av kravene 7 til 10, k a r a k t e r i s e r t v e d at mottagerantenne-anordningen omfatter et par adskilte antenner.

12. Apparat ifølge noen av kravene 7 til 11,
k a r a k t e r i s e r t v e d at energiserings-anordningen
omfatter en anordning for å variere frekvensen av energiserings-
signalet som tilføres senderantenne-anordningen.

13. Apparat ifølge noen av kravene 7 til 12,
k a r a k t e r i s e r t v e d at energiserings-anordningen
kan arbeide i frekvensområdet fra omkring 10 MHz til 30 MHz.

14. Apparat ifølge noen av kravene 7 til 13,
k a r a k t e r i s e r t v e d at det elektrisk ledende,
hovedsakelig rørformede legeme er montert nede i hullet på
borestrengen i et boresystem, og ved en anordning for å overføre
signaler som er utledet fra mottagerantenne-anordningen til
jordoverflaten.

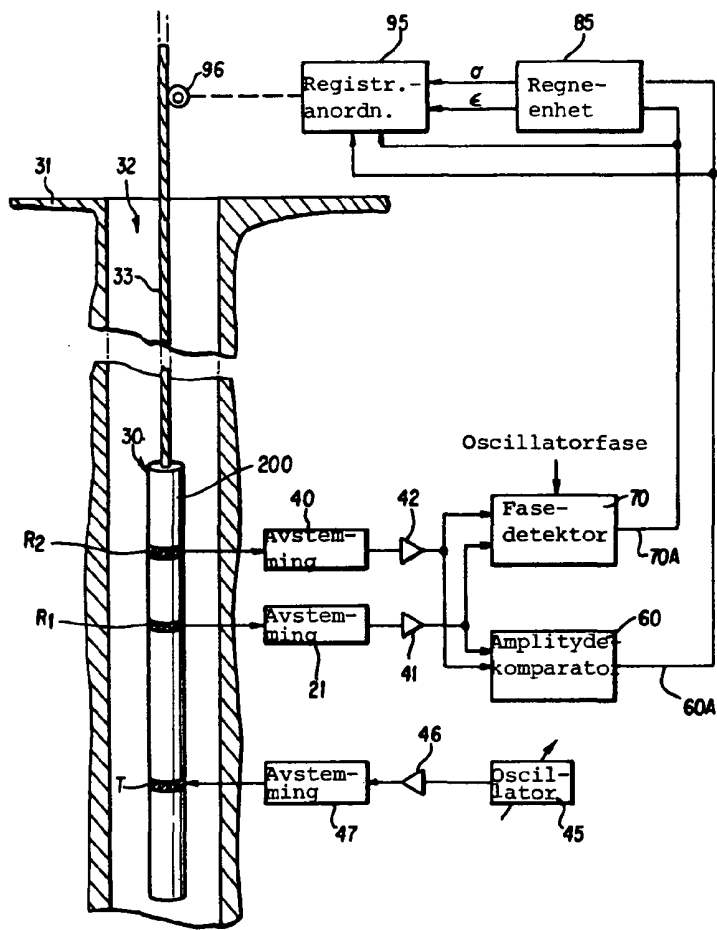
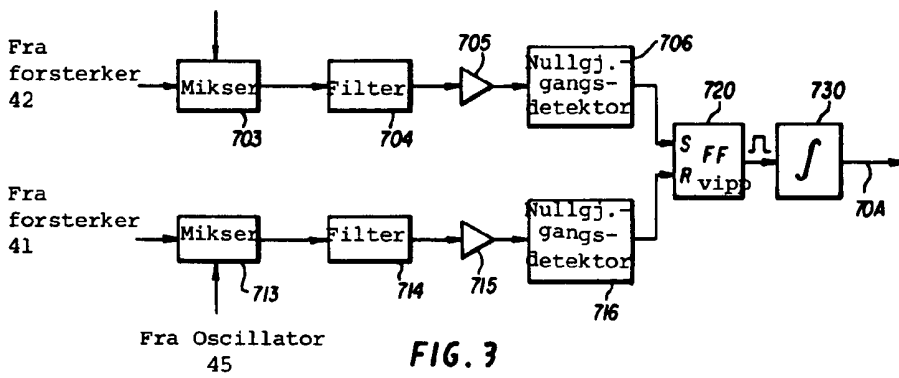
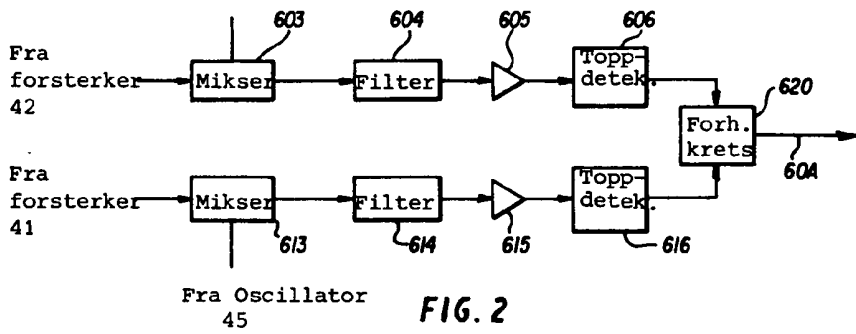


FIG. 1

215



157756

3/5

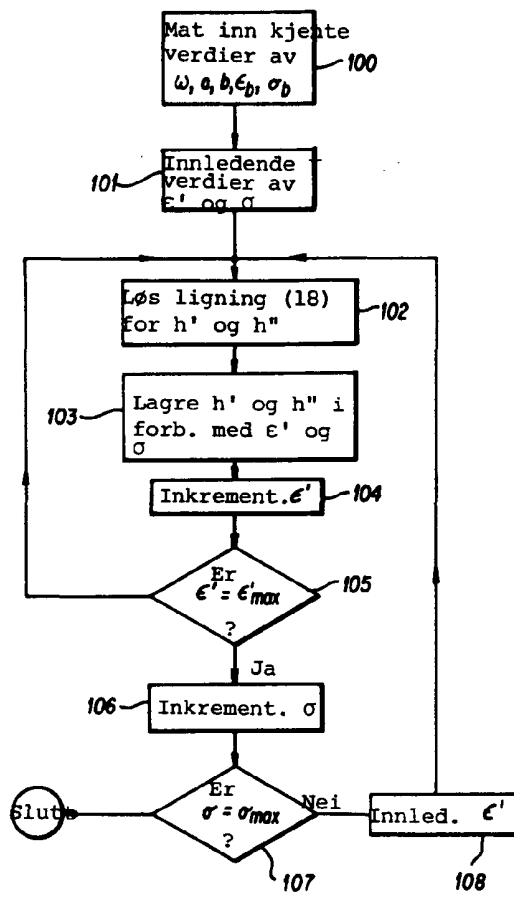


FIG. 4

4/5

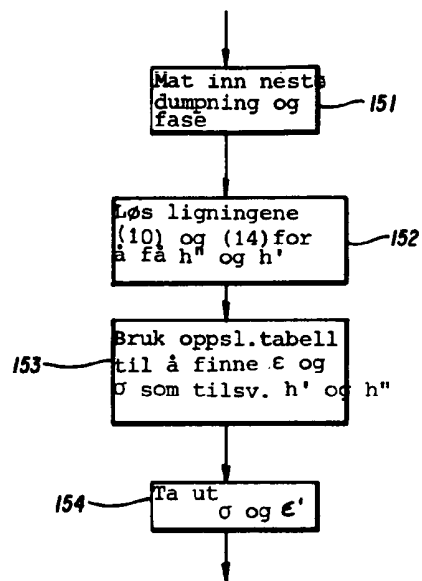


FIG. 5

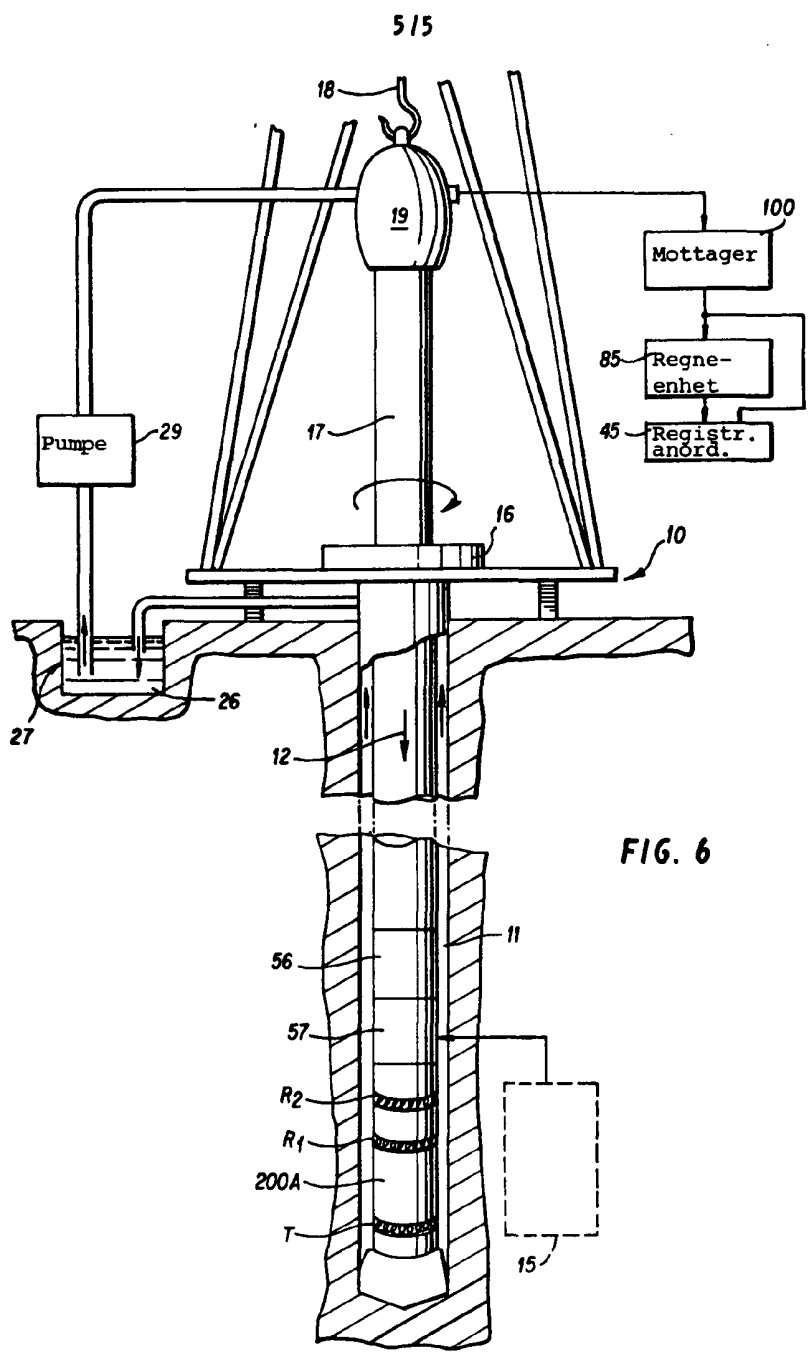


FIG. 6