



NORGE

[NO]

**STYRET
FOR DET INDUSTRIELLE
RETTSVERN**

[B] (11) UTLEGNINGSSKRIFT Nr. 147397

(51) Int. Cl.³ G 01 V 3/12

(21) Patentsøknad nr. 781256

(22) Inngitt 10.04.78

(24) Løpedag 10.04.78

(41) Alment tilgjengelig fra 19.10.78

(44) Søknaden utlagt, utlegningsskrift utgitt 20.12.82

(30) Prioritet begjært 18.04.77, USA, nr. 788393

(54) Oppfinnelsens benevnelse Fremgangsmåte og apparat for bestemmelse av bundet-vannfyllings-porøsitet i formasjoner som omgir et borehull.

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

(72) Oppfinner GEORGE R. COATES,
Houston, TX,
USA,

(74) Fullmektig Siv.ing. Rolf Larsen,
Bryn & Aarflot A/S, Oslo.

(56) Anførte publikasjoner Norsk (NO) alment tilgjengelig søknad nr. 780578
Norsk (NO) patent nr. 144233

Den foreliggende oppfinnelse vedrører undersøkelse av undergrunnsformasjoner, og mer spesielt en fremgangsmåte og et apparat for bestemmelse av bundet vann i formasjoner som omgir et borehull.

Moderne loggeteknologi i borehull er kommet til et punkt hvor et antall undergrunnsparametre, for eksempel porøsitet og litologi, ofte kan bestemmes med rimelig nøyaktighet. En pålitelig teknikk for bestemmelse av permeabiliteten til formasjoner (dvs. et mål med hvilken letthet fluidum kan strøømme gjennom et poresystem) er imidlertid ikke kjent. Motstandsgradienter er blitt brukt til å anslå størrelsesordenen av formasjoners permeabilitet, men denne teknikken er funnet nyttig bare i visse typer formasjoner. Det er blitt foreslått at et mål på mengden av "fritt fluidum" i skiferformasjoner ville være en god permeabilitetsindikator. En kjent teknikk for måling av "fritt fluidum" er det kjernemagnetiske resonansapparatet, men oppnåelige signal/støy-forhold har en tendens til å være en begrensende faktor for ytelseevnen til dette apparatet.

I US-patent 4 063 151 med samme innehaver som foreliggende patent, er det beskrevet en teknikk for bestemmelse av mengden av bundet vann i formasjoner som omgir et borehull ved å måle dielektrisitetskonstanten til formasjonene ved to forskjellige mikrobølgefrequenser. Differansen mellom målinger ved de to frekvensene blir brukt til å bestemme mengden av bundet vann i formasjonene. I et annet US-patent 4 077 003, som også har samme innehaver, blir bestemmelser av dielektriske tapsfaktorer foretatt ved to forskjellige frekvenser og brukt til å oppnå informasjon om mengden av bundet vann i formasjonene.

Det er et formål med den foreliggende oppfinnelse å bestemme vannfyllingsporøsiteten i formasjoner som omgir et borehull, uten bruk av målinger ved to frekvenser.

I forbindelse med denne oppfinnelse er det oppdaget at vannfyllingsporøsiteten (mengden av bundet vann) i formasjoner som omgir et borehull, kan bestemmes ut fra en måling av dempingen av elektromagnetisk mikrobølge-energi, ved en frekvens innenfor et forutbestemt område, som forplanter gjennom formasjonene. Spesielt over et frekvensområde fra omkring 0,9 GHz

147397

2

til omkring 1,3 GHz, og fortrinnsvis ved omkring 1,1 GHz, er vannfyllingsporøsiteten hovedsakelig proporsjonal med kvadratet av den målte dempningskonstant for den elektromagnetiske mikrobølge-energien som passerer gjennom formasjonene som undersøkes. Det nevnte forhold er funnet å gjelde hovedsakelig selv ved forekomst av en betydelig mengde ubundet ("fritt") vann, vanligvis slamfiltrat (fortrinnsvis av forholdsvis ferskt slam) som har erstattet bevegelige fluider som er vasket vekk fra den invaderte sonen i formasjonene.

Den foreliggende oppfinnelse er rettet på en fremgangsmåte og et apparat for bestemmelse av bundet-vannfyllingsporøsitet i formasjoner som omgir et borehull. Slik som uttrykket brukes her, er bundet-vannfyllingsporøsitet ment som den brøkdel av en volumenhet for formasjonen (grunnmasse pluss fluidum) som opptas av bundet vann, idet bundet vann er den del av det totale vann som er absorbert eller bundet til, eller holdes av grunnmassen. Skifer inneholder vanligvis bundet vann, og uttrykk slik som "skifervann", blir også noen ganger brukt til å betegne bundet vann. I samsvar med en utførelsesform av oppfinnelsen er det tilveiebrakt midler for utledning av en første størrelse som er et mål for dempningen av elektromagnetisk mikrobølge-energi som passerer gjennom formasjonene som undersøkes. Denne første størrelse kan for eksempel være dempningskonstanten som bestemmes for den elektromagnetiske mikrobølge-energien som forplantes gjennom formasjonene. Det er tilveiebrakt midler for frembringelse av en andre størrelse som er hovedsakelig proporsjonal med kvadratet av den første størrelsen. Den andre størrelsen indikerer formasjonenes vannfyllingsporøsitet for bundet vann.

Nærmere bestemt tar oppfinnelsen utgangspunkt i en fremgangsmåte for bestemmelse av bundet-vannfyllingsporøsitet i formasjoner som omgir et borehull, ved hvilken det utledes et første signal som er et mål på dempningen av elektromagnetisk mikrobølge-energi som er forplantet gjennom formasjonene. Det nye og særegne ved fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen består i at det frembringes et andre signal som er hovedsakelig proporsjonalt med kvadratet av det første signalet, for registrering som en indikasjon på formasjonenes bundet-vannfyllingsporøsitet. Oppfinnelsen omfatter også et apparat

som nærmere angitt i patentkravene.

Ytterligere trekk og fordeler ved oppfinnelsen vil fremgå av den følgende detaljerte beskrivelse i forbindelse med de vedføyde tegninger.

Figur 1 er et skjema, delvis i blokkform, av et apparat som omfatter en utførelsesform av oppfinnelsen.

Figur 2 illustrerer i forenklet form beskaffenheten av forplantningen til en lateral elektromagnetisk mikrobølge i formasjonene.

Figur 3 er et blokkskjema over amplitydekomparatoren på figur 1.

Figur 4 er et blokkskjema over regne-enheten på figur 1.

Betrakt en plan elektromagnetisk bølge som forplanter seg i et tapsmedium. Forplantningskonstanten, γ , for bølgen blir vanligvis representert som

$$\gamma = \omega \sqrt{\mu \epsilon} \sqrt{1 + j \frac{\sigma}{\omega \epsilon}} \quad (1)$$

hvor ω er bølgens vinkelfrekvens, μ er mediets permeabilitet, ϵ er mediets dielektrisitetskonstant og σ er mediets konduktivitet. Det er vanlig å uttrykke de reelle og imaginære delene av forplantningskonstanten som β og α respektivt, slik at

$$\gamma = \beta + j\alpha \quad (2)$$

hvor β er en fasekonstant og α er dempningskonstanten for bølgen. (Legg merke til at forplantningskonstanten blir brukt i den velkjente bølgeligningen i formen $e^{j\gamma}$, slik at den reelle delen av forplantningskonstanten blir den imaginære delen av eksponenten, og vice versa. Dette forklarer hvorfor den imaginære delen av forplantningskonstanten blir knyttet til tap.) Kvadrering av ligningene (1) og (2) og beregning av de reelle og imaginære delene gir

$$\beta^2 - \alpha^2 = \mu \epsilon \omega^2 \quad (3)$$

$$\text{og} \quad 2\alpha\beta = \mu \sigma \omega \quad (4)$$

I de ovennevnte US- patenter og i US-patent nr. 3.944.910 er det beskrevet teknikker for bestemmelse av fase- og dempningskonstantene for den elektromagnetiske mikrobølge- energien som forplanter seg gjennom undergrunnsformasjoner. Den bestemte fase- og/eller dempningsinformasjon blir så utnyttet, for eksempel ved anvendelse av ligningene (3) og (4), for å bestemme egenskapene til formasjonene, slik som deres dielektrisitetskonstant eller deres porøsitet. Som bemerket foran kan målinger foretatt ved to forskjellige frekvenser også benyttes til å bestemme mengden av bundet vann i formasjonene. I den foreliggende oppfinnelsen blir den bundne vannfyllingsporøsiteten til formasjonene, betegnet ϕ_{wb} , bestemt som hovedsakelig proporsjonal med kvadratet av den målte dempningskonstanten for den elektromagnetiske mikrobølge-energien som forplanter seg gjennom formasjonene. På lignings form uttrykkes dette ved

$$\phi_{wb} = K\alpha^2 \quad (5)$$

Indeksen for fritt fluidum (FFI) er den brøkdel av formasjonsvolum-enheten som opptas av "fritt" (ubundet) fluidum, og det er

$$FFI = \phi_t - \phi_{wb} \quad (6)$$

hvor ϕ_t er formasjonens totalporøsitet.

På figur 1 er det vist en representativ utførelsesform av et apparat i henhold til oppfinnelsen for undersøkelse av undergrunnsformasjoner 31 som gjennomtrenges av et borehull 32. Borehullet 32 er vanligvis fylt med en borevæske eller slam som inneholder findelte faste partikler i oppløsning. Undersøkelsesapparatet eller loggeinnretningen 30 henger i borehullet 32 i en armert kabel 33, hvis lengde hovedsakelig bestemmer den relative dybden til innretningen 30. Kabellengden blir bestemt av passende midler på overflaten, slik som en trommel- og vinsj-mekanisme (ikke vist).

Loggeinnretningen 30 omfatter et langstrakt sylindrisk bæreorgan 34, hvis indre del har et fluidum-tett hus som inneholder elektronikken som er nede i hullet. Montert på bæreorganet 34 er et par buede fjærer 35 og 36. Fjæren 35 er påmontert et klossorgan 37 som bl.a. inneholder en senderantenne T og vertikalt adskilte mottagerantennene R_1 og R_2 . Montert på fjæren 36 er et andre klossorgan 38 som kan være en passiv kloss som letter glatt vertikal bevegelse av innretningen 30 gjennom

borehullet. Om ønsket kan imidlertid klossen 38 inneholde elektroder eller lignende tilleggsmidler for undersøkelse av de omgivende formasjoner. Elektroniske signaler som indikerer den informasjon som er fremskaffet av loggeinnretningen, blir overført gjennom kabelen 32 til en regne-enhet 85 og en skriver 95 anordnet på jordoverflaten. De spesielle midler som er vist på figur 1 for å holde antennene i kontakt med borehullsveggen, er illustrerende, og man vil forstå at andre passende midler for dette formål, slik som hydrauliske midler, kan benyttes.

Figur 2 viser i forenklet form forplantningen av den elektromagnetiske bølgen som skal måles med apparatet på figur 1. (For en mer detaljert beskrivelse av bølgeforplantningen og ytterligere beskrivelse av loggeinnretninger av den type som benyttes her og er kjent som et elektromagnetisk forplantningsapparat eller "EPT", vises til US-patent nr. 3.944.910.) På figur 2 er klossen 37 vist anbrakt mot siden av borehullet 32, som er fylt med boreslam som nevnt ovenfor. Vanligvis er fluidumtrykket i formasjoner som gjennomtrenges av et borehull, mindre enn det hydrostatiske trykket av slamsøylen i borehullet, slik at slam og slamfiltrat flyter noe inn i formasjonene. Formasjonene har en tendens til å sile ut de små partiklene slik at det dannes en slamkake på veggene i borehullet. På figur 2 er klossen 37 i kontakt med en slamkake 40 som er vist med overdreven tykkelse for klarhetens skyld.

Senderantennen T sender ut elektromagnetisk mikrobølgeenergi i formasjonene som vist ved pilen A. En resulterende overflatebølge som forplanter seg i formasjonen, er representert ved pilen B og dens forlengelse, pilen C. Overflatebølgen kaster kontinuerlig energi tilbake til det mer tapsfylte medium (slamkaken), og de deler av energien som kastes ut ved posisjonene til mottagerne R_1 og R_2 , representeres ved pilene D og E. Hvis veilengdene som representeres ved pilene D og E antas å være i det vesentlige like, ser man at differansen i veilengde mellom energien som mottas ved R_1 (via veien A-B-D) og energien som mottas ved R_2 (via veien A-B-C-E) er den avstand som representeres ved pilen C, dvs. avstanden mellom mottagerne. Et differensielt mottagerarrangement tillater følgelig undersøkelse av den del av formasjonen som ligger omtrent overfor strekningen mellom R_1 og R_2 . Vanligvis, men ikke nødvendigvis, vil den undersøkte formasjonen være den "utvaskede" eller "invaderte" sonen som omgir slamkaken

i borehullet og inneholder fluider fra slammet som filtreres gjennom slamkaken. Innretninger av EPT-typen som anvendes her, er særlig effektive for undersøkelse av den invaderte sonen i et borehull som er boret med slam basert på relativt ferskt vann.

Det vises igjen til figur 1 hvor elektronikken i organet 34 er vist ved siden av borehullet, for å lette illustreringen. En faststoff-oscillator 45 frembringer utgangsenergi i spekterets mikrobølgeområde. Mikrobølgeområdet er her definert som området av frekvenser mellom omkring 300 MHz og 300 GHz. Oscillatoren 45 arbeider ved den passende frekvens 1,1 GHz, dvs. $1,1 \times 10^9$ perioder pr. sekund. Utgangen fra oscillatoren 45 er koblet gjennom en isolator 46 til senderantennen T. Mikrobølge-energi blir sendt inn i de omgivende formasjoner og forplanter seg gjennom formasjonene på den foran beskrevne måte. Energien som ankommer ved mottagerantennene R_1 og R_2 blir henholdsvis koblet til inngangsklemmene på blandetrinnene 47 og 48. Signalene som ankommer fra R_1 og R_2 er ute av fase med hverandre i en grad som avhenger av fasekonstanten β og har et amplitydeforhold som avhenger av dempningskonstanten α . Sekundære inngangsklemmer på blandetrinnene blir tilført mikrobølge-energi ved en frekvens som skiller seg fra senderfrekvensen med en forholdsvis lav frekvens som vanligvis ligger i radiofrekvensområdet. I den viste utførelsesform forsyner en faststoff-oscillator 49 blandetrinnene 47 og 48 med mikrobølge-energi ved en frekvens på 1,1001 GHz, eller 100 kHz over senderfrekvensen. Utgangssignalene 47A og 48A fra blandetrinnene 47 og 48 inneholder derfor differansefrekvensen på 100 kHz. I samsvar med velkjente prinsipper inneholder signalene 47A og 48A fase- og amplitydeforholdene til signalene fra R_1 og R_2 , men oppgaven med fasedeteksjon (som vanligvis utføres i denne type loggeinnretninger, men som ikke er nødvendig for den foreliggende oppfinnelse) er meget lettere ved den lavere frekvensen til de blandede signalene. For å sikre at differansefrekvensen mellom utgangene fra de to oscillatorene 45 og 49 forblir 100 kHz, blir oscillatorutgangene samlet og matet til et blandetrinn 50. Utgangen fra blandetrinnet blir mottatt av en frekvensstabiliseringskrets 51 som detekterer avvik fra standarden på 100 kHz og frembringer et korreksjonssignal 51A som styrer oscillator 49 på vanlig måte med en "faselåst sløyfe".

Signalene 47A og 48A blir vanligvis ført til en fase-deteksjonskrets (ikke nødvendig her og ikke vist) og til en amplitydekomparator 54. Utgangen fra amplitydekomparatoren 54 er et signalnivå som er proporsjonalt med dempningskonstanten α . En hensiktsmessig krets 54 for oppnåelse av et signalnivå som er proporsjonalt med α er vist på figur 3. Signalene 47A og 48A blir henholdsvis ført til logaritmiske forsterkere 55 og 56 hvis utganger blir ført til differanseforsterkeren 57. Utgangen fra differanseforsterkeren 57 er et signalnivå proporsjonalt med α . Dette kan anskueliggjøres ved å representere amplityden til bølge-energien som mottas ved R_1 som $Ae^{-\alpha z}$, hvor A er en amplitydekonstant og z er avstanden som skiller T og R_1 . Det følger at amplityden til bølge-energien som mottas ved R_2 er $Ae^{-\alpha(z+L)}$, hvor L er avstanden mellom mottagerne R_1 og R_2 . Forholdene mellom bølgeamplitydene ved de to mottagerne er derfor

$$\frac{Ae^{-\alpha(z+L)}}{Ae^{-\alpha z}} = e^{-\alpha L}$$

Logaritmen til forholdet mellom bølgeamplitydene er derfor proporsjonal med α . Man vil forstå at kretsen 54 på figur 3 utfører det samme matematiske resultat ved å ta differansen mellom logaritmene til bølgeamplitydene.

Utgangen som representerer α blir sendt til overflaten over en leder 54a som i virkeligheten passerer gjennom den armerte kabel 33. Signalet kan typisk være et likespenningsnivå som forstørres ved forsterkning før overføring til overflaten. Ved jordoverflaten blir signalet på leder 54a ført til en regne-enhet 85 som beregner den bundne vannfyllingsporøsiteten, ϕ_{wb} , for formasjonene i samsvar med forholdet (5). Et signal som er representativt for totalporøsiteten ϕ_t kan også være inngang til regne-enheten 85 som så kan bestemme indeksen for fritt fluidum (FFI) for formasjonene i samsvar med ligning (6). De beregnede størrelser blir registrert av en skriver 95 som blir konvensjonelt drevet som en funksjon av borehullsdybden ved mekanisk kobling til et roterende hjul 96. Hjulet 96 er koblet til kabelen 33 og roterer i synkronisme med denne slik at det beveges som en funksjon av borehullsdybden. Slik blir den bundne vannfyllingsporøsiteten og/eller indeksen for fritt vann i formasjonene registrert som en funksjon av borehullsdybden av skriveren 95.

Figur 4 er et blokkskjema over regne-enheten 85 som mottar signalet på leder 54a som indikerer den målte verdien av α . Signalet som er representativt for α blir koblet til en kvadreringskrets 91, hvis utgang er representativ for α^2 . Dette signal blir så ført til den ene inngangen i en multipliseringskrets 92, hvis andre inngang mottar en regulerbar inngang med en verdi betegnet K. Utgangen fra multipliseringskretsen 92 er således et signal med en verdi $K\alpha^2$ og som er representativt for den bundne vannfyllingsporøsiteten, ϕ_{wb} , for formasjonene i samsvar med ligning (5). Utgangen fra multipliseringskretsen 92 (leder 85A) blir koblet til skriveren 95 og også til den negative inngangsklemmen til en differanseforsterker 93. Den positive inngangsklemmen til forsterkeren 93 mottar et signal som er representativt for totalporøsiteten til formasjonene som undersøkes, ϕ_t . Dette siste signalet kan bestemmes for eksempel fra annen loggeinformasjon, slik som fra nøytron/tetthetsloggeinformasjon. Utgangen fra differanseforsterkeren 93 (leder 85B) som også kobles til skriver 95, er representativ for indeksen for fritt fluidum for formasjonene, i samsvar med ligning (6). Som brukt her blir den bundne vannfyllingsporøsiteten og indeksen for fritt fluidum definert uttrykt som brøkdeler av formasjonens totale volumenhet. I denne betydningen er disse uttrykkene utbyttbare med lignende uttrykk som uttrykker mengden, volumet eller brøkdelen av bundet eller fritt fluidum i formasjonene.

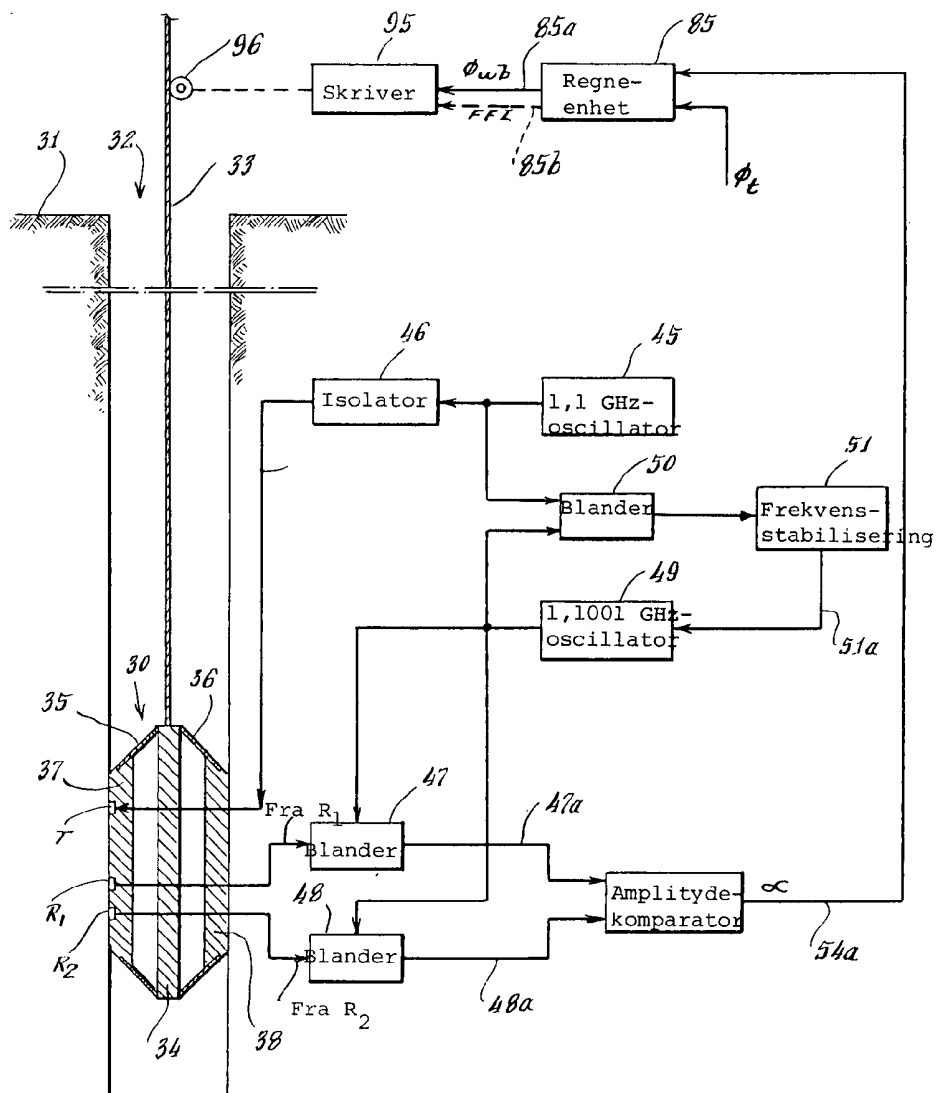
Oppfinnelsen er blitt beskrevet under henvisning til en spesiell utførelsesform, men variasjoner innenfor rammen av oppfinnelsen vil kunne foretas av fagfolk på området. Mens kretsene er blitt beskrevet for analoge signaler som representerer de ønskede størrelser, vil man for eksempel forstå at en digital universaldatamaskin lett kan programmeres til å utføre de teknikker som er beskrevet. Det skal også bemerkes at de fordelaktige prinsipper vedrørende kjente borehulls-kompensasjonsteknikker og/eller redundante behandlingskanaler, slik som beskrevet i US-patent nr. 3.849.721, kan utnyttes om ønsket i forbindelse med den foreliggende oppfinnelse. Man vil videre forstå at de målte verdier om ønsket kan korrigeres for slamkakeeffekter, spredning eller temperaturvariasjoner som kjent på området. Selv om den beskrevne utførelsesform videre beskriver forskjellige størrelser som er utledet direkte fra en loggeinnretning, kan disse størrel-

sene alternativt utledes fra lagringsmedier eller kommuniseres fra et loggested.

P a t e n t k r a v:

1. Fremgangsmåte for bestemmelse av bundet-vannfyllingsporøsitet i formasjoner som omgir et borehull, ved hvilken det utledes et første signal som er et mål på dempningen av elektromagnetisk mikrobølge-energi som er forplantet gjennom formasjonene, k a r a k t e r i s e r t v e d at det frembringes et andre signal som er hovedsakelig proporsjonalt med kvadratet av det første signalet, for registrering som en indikasjon på formasjonenes bundet-vannfyllingsporøsitet.
2. Fremgangsmåte i henhold til krav 1, hvor det utledes et tredje signal som er et mål på formasjonenes totale porøsitet, k a r a k t e r i s e r t v e d at det frembringes et fjerde signal som er en funksjon av differansen mellom det nevnte tredje signal og det nevnte andre signal, idet det fjerde signalet utgjør en indikasjon for fritt fluidum i formasjonene.
3. Fremgangsmåte i henhold til krav 1 eller 2, k a r a k t e r i s e r t v e d at den elektromagnetiske mikrobølge-energi har en frekvens på omkring 1,1 GHz.
4. Apparat for bestemmelse av den bundet-vannfyllingsporøsitet for formasjoner som omgir et borehull, omfattende midler for utledning av et første signal som er et mål på dempningen av elektromagnetisk mikrobølge-energi som forplanter seg gjennom formasjonene, k a r a k t e r i s e r t v e d midler for frembringelse av et andre signal som er hovedsakelig proporsjonalt med kvadratet av det første signal, for registrering som en indikasjon på bundet-vannfyllingsporøsiteten i formasjonene.
5. Apparat i henhold til krav 4, omfattende midler for utledning av et tredje signal som er representativt for totalporøsiteten i formasjonene, k a r a k t e r i s e r t v e d midler for frembringelse av et fjerde signal som en funksjon av differansen mellom det tredje signalet og det andre signalet, idet det fjerde signalet utgjør en indikasjon for fritt fluidum i formasjonene.
6. Apparat i henhold til krav 4 eller 5, der det første signalet står i forhold til dempningskonstanten for elektromagnetisk mikrobølge-energi som forplanter seg i formasjonene, k a r a k t e r i s e r t v e d at apparatet er innrettet til å utsende den elektromagnetiske mikrobølge-energi med en frekvens på omkring 1,1 GHz.

Fig. 1.



147397

Fig. 2.

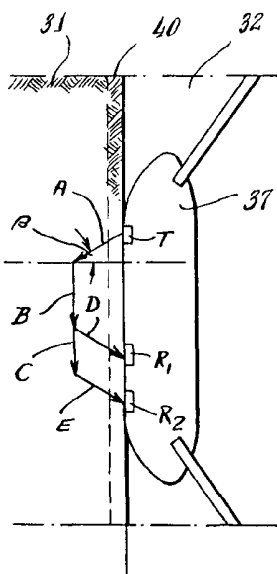


Fig. 3.

