



NORGE

(12) PATENT

(19) NO

(11) 310384

(13) B1

(51) Int Cl⁷ G 01 V 3/30

Patentstyret

(21) Søknadsnr	19982826	(86) Int. inng. dag og søknadsnummer	
(22) Inng. dag	1998.06.18	(85) Videreføringsdag	
(24) Løpedag	1998.06.18	(30) Prioritet	Ingen
(41) Alm. tilgj.	1999.12.20		
(45) Meddelt dato	2001.06.25		

(71) Patenthaver Den norske stats oljeselskap AS, 4035 Stavanger, NO
Norges Geotekniske Institutt, Postboks 3930 Ullevål Hageby, 0806 Oslo, NO

(72) Oppfinner Fan-Nian Kong, 1150 Oslo, NO
Svein Ellingsrud, 7052 Trondheim, NO
Terje Eidesmo, 7054 Ranheim, NO
Harald Westerdahl, 2072 Dal, NO

(74) Fullmektig ABC-Patent, Siviling. Rolf Chr. B. Larsen AS, 0602 Oslo

(54) Benevnelse **Fremgangsmåte for detektering av reflektorer i en produksjonsbrønn ved hjelp av en radarlignende sende- og mottakerinnretning**

(56) Anførte publikasjoner EP 656547, US 4577153, US 5363094, US 5081419, US 5389881, US 5732776, US 5335542

(57) Sammendrag

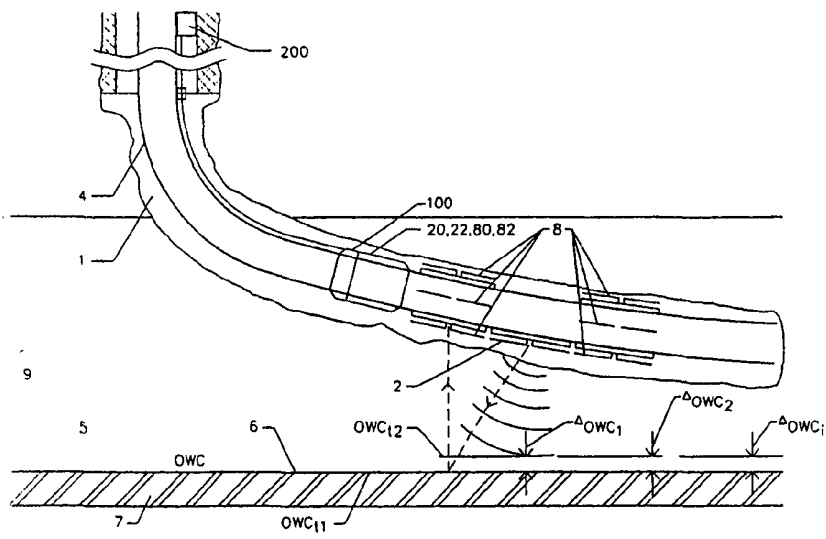
Oppfinnelsen er en fremgangsmåte for radardetektering i en brønn (1) i en geologisk formasjon (9), kjennetegnet ved at den omfatter følgende trinn:

- i) anbringelse av minst én senderantenne (2) i en fiksert posisjon og stilling i brønnen (1) i forhold til den geologiske formasjonen (9);
- ii) generering av første rekke av elektriske signaler (25) til en senderantenne (2) og utsendelse av en første serie elektromagnetiske bølger (26₁) fra senderantennen (2) ved et første tidspunkt (t₁);
- iii) mottakelse av en første serie reflekterte elektromagnetiske bølger (8₁, 8₂, ..., 8_n) ved minst én, fortrinnsvis flere mottakerantenner (8₁, 8₂, ..., 8_n), evt.

signalforsterkning og omgjøring av den første serie reflekterte elektromagnetiske bølger til registreringer (S₁);

iv) generering av en andre rekke av elektriske signaler (25) til senderantennen (2) og utsendelse av en andre serie elektromagnetiske bølger (26₂) fra senderantennen (2), fremdeles i den samme posisjon og stilling i brønnen (1), ved et senere tidspunkt (t₂), hvor tidsdifferansen t₂-t₁ typisk er flere timer, dager eller lengre tid;

v) mottakelse av en andre serie reflekterte elektromagnetiske bølger (8₁, 8₂, ..., 8_n) ved mottakerantennene (8₁, 8₂, ..., 8_n), evt. signalforsterkning og omgjøring av den andre serie reflekterte elektromagnetiske bølger til registreringer (S₂);



Innledning

Denne oppfinnelsen gjelder en fremgangsmåte for bruk av en radarlignende anordning i produksjonshull, for å detektere olje/vann-kontakten i en reservoarbergart.

5 Mer spesielt omfatter oppfinnelsen en fremgangsmåte for å benytte senderantenne for elektromagnetiske bølger som er anbragt fiksert ved et produksjonsrør inne i en geologisk formasjon, og mottakerantennen som også er anbragt fiksert ved produksjonsrøret, fortrinnsvis ved faststøping i brønnen.

10 Denne fremgangsmåten og anvendelsen av den radarlignende anordningen kan gjøre brukeren i stand til å detektere reflektorer som utgjøres av elektrisk ledende flater inne i reservoaret. En slik flate av særlig betydning er olje/vann-kontakten, hvor vannfronten i de aller fleste tilfeller

15 utgjør en relativt skarp overgang mellom oljefyllt sand med høy resistivitet, til vannfylt sand med lav resistivitet som derved utgjør en reflektor.

Teknikkens stand

Borehullsloggeverktøy som utnytter radar-prinsippet er

20 kjent fra US. pat. 4 670 717, US. pat. 4 814 768, US. pat. 4 297 699, US. pat. 4 430 653 og GB 2 030 414. Noen av disse patentene benytter fremgangsmåter der det må anslås en bølgehastighet for å kunne tolke radarsignalene.

Schlumbergers US-patent 5 530 359 "Borehole logging

25 tools and methods using reflected electromagnetic signals" beskriver et loggeverktøy med pulsede radarsignaler som sendes ut fra en senderantenne i en separat vertikal seksjon. Loggeverktøyet henger fritt i borehullet i en kabel eller i en kveilerørsstreng. Det anvendes lineære antenneelementer

30 anordnet parallellt med verktøyets langakse z. Det sendes ut elektromagnetiske pulser med en senterfrekvens på 40 MHz og en høyeste frekvenskomponent på 120 MHz. Denne pulsen stråles ut i alle retninger inn i formasjonen og reflekteres av strukturer i formasjonen tilbake til verktøyet i borehullet.

35 Transittiden for pulsen ut til strukturen og tilbake til verktøyet brukes til å bestemme avstanden mellom den reflekterende strukturen og borehullet. Retningsinformasjon fås ved at det er anordnet mottakerantennen omkring hele

verktøyets omkrets slik at man kan finne den reflekterende
strukturens retning ved å ta differanser mellom de
reflekterte signalene. Disse differansene kan beregnes ved
hjelp av elektroniske kretser, eller subtraksjon kan foretas
5 ved direkte differansekoblede mottakerantenner. En
fremgangsmåte for å beregne de reflekterte signalers
retninger er angitt. En ulempe med Schlumbergers patent
5 530 359 er at instrumentet anvender pulsede
elektromagnetiske bølger. Dette medfører en spredning av
10 frekvenskomponentene allerede i det utsendte signal, og
dermed får den utsendte signalpuls en kontinuerlig
varierende gruppehastighet. Det reflekterte signalet blir
smurt ut og man får et uklart bilde av de reflekterende
strukturer. Nære reflekterende strukturer vil også dominere
15 over fjernere reflekterende strukturer, slik at de fjernere
strukturer svært vanskelig kan detekteres dersom de nærmere
bergarter har relativt høy konduktivitet / lav resistivitet.
En annen ulempe ved Schlumbergers instrument er at det ikke
er fiksert anordnet ved den geologiske formasjonen, slik at
20 det ikke foreligger muligheter for å følge endringer i
elektriske parametre i formasjonen over en tidsperiode, for
eksempel fra en dato til en annen. Instrumentet er heller
ikke innrettet til anvendelse i produksjonsbrønner eller
injeksjonsbrønner.

25 Et annet apparat er beskrevet i US. pat. 5 552 786:
"Method and apparatus for logging underground formations
using radar", (Schlumberger). US. pat. 5 552 786 beskriver
et loggeverktøy som delvis løser problemet med den
elektromagnetiske bølgehastigheten i formasjonene som skal
30 logges. Apparatet sender en elektromagnetisk puls i nær
kontakt med borehullsveggen, inn i formasjonen og mottar
direktebølgen i en bestemt avstand langs borestrengen fra
transmitteren. Dermed beregnes bølgehastigheten for
"direktebølgen" gjennom de bergartene (som kan være invadert
35 av boreslam), og reflektorenes avstander fra
sender/mottakersystemet kan beregnes mer nøyaktig enn om man
bare hadde et estimat av bølgehastigheten.

US. pat. 4 504 833 "synthetic pulse radar system and
method" omhandler en syntetisk pulset radar som genererer en

mengde signaler av forskjellig frekvens samtidig. Responsen fra undergrunnen på disse forskjellige frekvensene simulerer deler av Fourier-spekteret som ville bli målt dersom man sendte ut en svært kort puls som ifølge den matematiske
5 bakgrunn skulle være meget bred i frekvensspekteret. Systemet er imidlertid innrettet til blant annet å kunne benyttes ombord på kjøretøy fordi det ifølge dets krav 1 skal kunne generere alle komponentsignalene samtidig.

US. pat. 4 275 787 "Method for monitoring subsurface
10 combustion and gasification processes in coal seams" beskriver en radar for detektering av en forbrenningsfront i en geologisk formasjon, for eksempel en kullholdig formasjon. Fordi resistiviteten generelt øker med temperaturen, vil en slik forbrenningsfront fremvise høy resistivitet og danne en
15 svært stor kontrast i forhold til den kullholdige formasjonen som normalt vil fremvise lav resistivitet. Dempningen overskrider 100 dB/bølgelende i forbrenningsfronten, og dempningen i "Pittsburgh coal" er 1 dB/bølgelengde, for "British coal" er dempningen 3 dB/bølgelengde. Søkeren nevner
20 at en rekkevidde for detektering av forbrenningsfronten er 100 m, en utopisk avstand når man tar i betraktning forholdene i en oljebrønn hvor dempningen av signalet er mye høyere og hvor det er en svært vanskelig oppgave å detektere reflekterende flater bare én til to meter ut i reservoaret.
25 Det sendes ut et sveipet signal som varierer kontinuerlig mellom en laveste og en høyeste frekvens. Etersom forbrenningsfronten forflytter seg vil man ved subtraksjon av de mottatte signaler kunne se en endring i differansesignalet mellom observasjonene. Imidlertid tar ikke det patentet
30 hensyn til behovet for avstemning av senderantennene når senderantennene ligger svært nær, for eksempel noen få millimeter fra en metallisk røroverflate (for eksempel foringsrør eller kompletteringsrør) og frekvensen i utsendt signalet skal endres.

35 US 4 577 153 "Continuous wave medium frequency signal transmission survey procedure for imaging structure in coal seams" beskriver instrumenter og fremgangsmåter for å detektere geologiske anomalier som opptrer i lagdelte kullformasjoner. Instrumentet omfatter en mellomfrekvens-

kontinuerlig utsendende FM-sender og tilsvarende mottaker, for anbringelse blant annet i borehull.

Undersøkellesprosedyrene er gitt for å detektere anomalier via signaldempning, bandedempning og signal-faseskift.

5 Kontinuitetsmålinger gir data for å bestemme eksistensen av anomalier. I og med at det sendes ut frekvensmodulerte signaler (FM) mellom 300 og 800 kHz hvor bæresignalet moduleres innenfor et frekvensspenn på 200 Hz, gir dette en frekvensspredning som er uønsket i forhold til utsendelse
10 detektering av reflekterte elektromagnetiske bølger i henhold til foreliggende problemstilling. US-patentet omhandler altså ikke utsendelse av kontinuerlige, koherente elektromagnetiske bølger som i foreliggende oppfinnelse, og heller ikke refleksjon, men transmisjonsmålinger der sender og mottaker
15 er anbrakt i forskjellige borehull.

Problemstilling: Forventede elektriske egenskaper på bakgrunn av logger.

Oppfinnelsen er gjort delvis på bakgrunn av de forventede problemer som kan tenkes å oppstå i forbindelse
20 med petroleumproduksjon på Trollfeltet i Nordsjøen. Det vil nedenfor bli beskrevet hvorledes resistivitetene i de angjeldende geologiske formasjoner er relativt lavere i forhold til de forhold som er beskrevet i den kjente teknikk, og hvor det derfor vil være upraktisk å foreta detektering
25 ved hjelp av elektromagnetiske bølger ved hjelp av den kjente teknikk.

Forventet resistivitet

Et kart over Trollfeltet som stort sett dekker konsesjonsblokkene 31/2, 31/3, 31/5 og 31/6 er vist i figur
30 3a. Resistivitetsdata foreligger fra fem brønner: 31/2-2 (fig. 3b), 31/2-4 (fig. 3c), 31/2-5 (fig. 3d), 31/2-6 (fig. 3e), og 31/2-7 (fig. 3f). Kurvene viser resistivitet i Ωm som en funksjon av loggedybde i hovedsakelig vertikale borehull gjennom reservoarbergarter. Olje-vannkontakten, heretter kalt "OWC" er definert i brønnene ved dybdene som er
35 markert på de respektive figurene. Fordelingene av resistivitet i forhold til dybde er markert forskjellig fra

brønn til brønn. I 31/2-2 varierer resistiviteten R mellom ca. 3 Ωm og 13 Ωm over OWC mens R i brønn 31/2-4 avtar fra 100 Ωm til 1 Ωm over OWC. I brønn 31/2-5 varierer resistiviteten mellom 40 Ωm og 80 Ωm før den begynner å avta jevnt, ca. 1 meter over OWC. Ved OWC faller resistiviteten R ca 7 Ωm . Forløpet i brønn 31/2-6 er karakterisert ved en relativt sterk "ripple" mellom 8 Ωm og 14 Ωm , selv om resistivitetsfallet er tydelig ved OWC. Brønn 31/2-7 har en lav og relativt lite varierende R i området mellom 7 meter over OWC og ned til OWC, med et maksimum på 2 Ωm og er jevnt fall til 0,4 Ωm like før OWC.

Resistivitetskurvene viser at lokale variasjoner i R kan være mye større enn det fallet i R som skjer ved OWC. Ettersom konduktiviteten i formasjonene generelt skraver seg fra saltvann i porerommene eller ledende skifre, kan lokale variasjoner skyldes varierende reservoarkvalitet i form av en kombinasjon av leirmineralinnhold og porøsitet. Parametre som lokal litologi, tekstur, facies og overtrykk vil også virke inn på resistiviteten. Resistivitetsverktøy er generelt ganske nøyaktige og gir repeterbare målinger. Generelt er oppløsningen i dybden liten, ca. 10 cm per målepunkt, og loggene glattes til en viss grad av instrumentets kontaktsammenstilling, så den lokale formasjonsresistivitet vil variere mer enn det loggene viser.

25 Forventet dielektrisitet

Det foreligger ikke dielektriske logger fra Trollfeltet. Her er det anvendt dielektriske data basert på estimat av de kjente dielektriske egenskapene i sandstein, olje og vann. Vi velger $\epsilon_{\text{rock}} = 7$. Når δ er 0,20 (20% porøsitet) er $\epsilon_{\text{ro}} = 5,82$, som viser at $\epsilon_{\text{ro}} = 6$ er et fornuftig estimat den dielektriske konstant for oljemettet sandstein.

Den relative dielektriske konstant for sjøvann, $\epsilon_{\text{water}} = 80$ (King & Smith, 1981) ved de frekvenser det er aktuelt å anvende i forbindelse med denne oppfinnelsen. Den dielektriske konstanten i vannmettet sandstein $\epsilon_{\text{rw}} = 13$. Figur 4a, b, c, d og e viser estimerte fordelinger av relative dielektriske verdier basert på vannmetningen i en 5

meters overgangssone over OWC i de samme brønnene som for figurene 3b-f. Skalaen som angir den relative dielektriske konstant går fra ca. 6 til ca. 13.

Bølgeutbredelse i en ledende overgangssone

5 Figur 5a viser en dempningskurve av elektromagnetiske bølger i frekvensområdet mellom 1MHz og 200MHz. $\epsilon_r = 6$ og resistiviteten R_{DC} varieres i trinn på 5 Ωm fra 5 Ωm til 30 Ωm . Bergartene blir mer "gjennomskinnelig" for elektromagnetisk stråling jo høyere resistiviteten er.

10 Figur 5b med samme frekvensområde viser kurver for konstant $R_{DC} = 30 \Omega m$ og hvor ϵ_r varierer fra 6, 8, 10, 12, 14 til 16. Man ser at den dielektriske konstant har mindre innvirkning på dempningen enn resistiviteten. Figurene viser at dempningen er høyere enn 10 dB/m for 30 Ωm og frekvenser høyere enn ca. 12 Mhz. Over 10 dB/m dempning gir mer enn 100 dB dempning tur/retur for en reflektor ved en avstand på 5 meter.

15 Figur 5c viser et utsnitt av frekvensområdet fra figur 5a, mellom 1 og 16 Mhz. Dempningen er fremdeles høy for resistiviteter lavere enn 10 Ωm selv i dette lave frekvensområdet. Figur 5d viser bølgenes fasehastigheter som funksjon av frekvens mellom 1 og 16 MHz. På bakgrunn av dempningen kan derfor frekvensene som anvendes i en foretrukket utførelse av oppfinnelsen ligge mellom 1 og 25 16MHz. Innenfor dette frekvensområdet varierer fasehastigheten sterkt med resistiviteten, noe som kan gi sterk dispersjon av et elektromagnetisk signal med et bredt frekvensinnhold.

Refleksjon, backscattering

30 Alle horisonter i brønnen med elektromagnetisk resistivitetskontrast vil føre til refleksjoner. Partikler med høyere ledningsevne, for eksempel metalloxyder, vil føre til spredning av de elektromagnetiske bølger. Nære horisonter vil detekteres sterkere enn fjerne horisonter dersom 35 resistivitetskontrasten er den samme, på grunn av tilnærmet sfærisk geometrisk spredning. Dette betyr at refleksene fra resistivitetskontrasten ved OWC kan maskeres bak en stor

mengde av sterke reflekser fra lokale resistivitetskontraster sandsteinen i oljesonen over OWC. For eksempel vil resistivitetskontrastene representert ved gradientene i R ved 1578 meter og ved 1580,5 meters dybde i Figur 3e gi sterke reflekser som ikke i utgangspunktet er forskjellige fra reflekser fra OWC.

Formålet med oppfinnelsen

Et formål med denne oppfinnelsen er å fremskaffe en fremgangsmåte for å måle dybden av olje/vannkontakten eller gass/vannkontakten i et petroleumsreservoar ved hjelp av elektromagnetiske bølger.

Et annet formål er å frembringe et instrument eller et system av komponenter innrettet til å registrere og kartlegge fordelingen av resistivitet i petroleumsreservoaret omkring brønnen, for å anvende disse resistivitetsmålingene ved produksjon av petroleum og for geologiske tolkninger av reservoaret.

Definisjon av oppfinnelsen; referanse til patentkravene

De ovenfor nevnte problemer kan løses ved hjelp av foreliggende oppfinnelse som er en fremgangsmåte for detektering av elektromagnetiske reflektorer dannet ved resistivitets- eller dielektriske kontraster i fluider i geologiske formasjoner omkring en produksjons- eller injeksjonsbrønn, kjennetegnet ved at den omfatter følgende trinn:

- i) fastmontert anbringelse av minst én elektrisk dipolenderantenne utenfor en brønnstreng og i fiksert posisjon og stilling i brønnen i forhold til formasjonen;
- ii) generering av en første rekke av kontinuerlige, elektriske signaler med én frekvens f til senderantennen for utsendelse av en første serie koherente kontinuerlige elektromagnetiske bølger 26_1 med frekvensen f_1 fra senderantennen ved et første tidspunkt (t_1);
- iii) mottakelse av en første serie reflekterte elektromagnetiske bølger ved frekvensen f ved minst én, fortrinnsvis flere fastmontert anbrakte elektriske dipolmottakerantenner, og omgjøring av den første serie mottatte reflekterte

elektromagnetiske bølger til analoge eller digitale registreringer (S_1);

iv) generering av en andre rekke av kontinuerlige elektriske signaler med frekvens f til senderantennen og utsendelse av en andre serie koherente kontinuerlige elektromagnetiske bølger med frekvensen f fra senderantennen, ved et senere tidspunkt (t_2), hvor tidsdifferansen t_2-t_1 typisk er flere timer, dager eller lengre tid;

v) mottakelse av en andre serie reflekterte elektromagnetiske bølger med frekvensen f ved mottakerantennene, og omgjøring av den andre serie mottatte reflekterte elektromagnetiske bølger til analoge eller digitale registreringer (S_2);

vi) dannelse av en differans $D_{t_2-t_1}$ ved subtraksjon av registreringene (S_1) fra registreringene (S_2); og

vii) tolkning av differansen $D_{t_2-t_1}$ i form av avstand og eventuelt en retning til en horisont med endring i elektriske egenskaper mellom tidspunktene (t_1) og (t_2).

Oppfinnelsen er også en anordning for detektering av elektriske reflektorer dannet ved resistivitets- eller dielektriske konstanter i fluider i geologiske formasjoner omkring en produksjons- eller injeksjonsbrønn, hvor det kjennetegnde omfatter følgende trekk:

(a) minst én elektrisk dipol-senderantenne for utsendelse av elektromagnetiske bølger, innrettet til fast montering ved en rørstreng utenfor overflaten av de eventuelle metalliske deler av rørstrengen, og hvor senderantennen er innrettet til fiksert montering i forhold til formasjonen;

(b) minst én, fortrinnsvis flere elektriske dipol-mottakerantennener for de reflekterte elektromagnetiske bølger (26), ved fortrinnsvis den samme rørstrengen utenfor overflaten av eventuelle metalliske deler av rørstrengen, hvor mottakerantennene er innrettet til fiksert montering i forhold til formasjonen; og

en elektronikksammenstilling som omfatter:

en signalgenerator innrettet til generering av kontinuerlige elektriske signaler med en valgt frekvens f til

senderantennen, innrettet til utsendelse av koherente kontinuerlige elektromagnetiske bølger fra senderantennen;

mottakerinnretninger for registrering av signaler indusert i hver av mottakerantennene,

5 signalbehandlingsinnretninger for de mottatte signaler, kommunikasjonsinnretninger for utsendelse av signaler som representerer de elektriske signaler, og for mottakelse av styresignaler.

10 Ytterligere trekk ved oppfinnelsen er gitt ved de underordnede krav.

Figurbeskrivelse

Oppfinnelsen skal i de kommende avsnitt beskrives i detalj med ikke-begrensede eksempler på foretrukne utførelser av oppfinnelsen, med henvisning til de medfølgende 15 figurtegninger av de ikke-begrensede eksempler, hvor

Figur 1 viser en del av en produksjonsbrønn med produksjonsrør i en geologisk produksjonssone for petroleumsfluider, med olje eller gass øverst i produksjonssonen og vann nederst.

20 Figur 2 viser en skjematisk skisse hvor en utførelse av oppfinnelsen er anordnet ved et produksjonsrør.

Figur 2b viser et snitt av en foretrukket utførelse av oppfinnelsen i form av en modul omfattende sender- og mottakerantennene og som kan inngå som en ordinær gjenget del 25 av kompletteringen i produksjonssonen.

Figur 2c viser i perspektivisk oppriss modulen i figur 6a, med ytre koniske gjenger i toppen og tilsvarende indre koniske gjenger i den nedre enden.

30 Figur 3a viser et kart over konsesjonsblokker på Troll-feltet i Nordsjøen, og figurene 3b,c,d,e og f viser logger over resistivitet som funksjon av dybde i fem vertikale borehull på Troll-feltet.

Figur 4a, b, c, d og e viser estimerte fordelinger av relative dielektriske verdier basert på vannmetning i en 5

meters overgangssone over OWC i de samme brønnene som figurene 3b-f. Skalaene har 13 som største verdi, som indikerer full vannmetning i en 20% porøs bergart.

5 Figur 5a viser teoretiske kurver over elektromagnetiske bølgers dempning som funksjon av frekvenser mellom 1MHz og 200MHz, for bergarter med varierende konduktivitet eller resistivitet.

10 Figur 5b viser teoretiske kurver over elektromagnetiske bølgers dempning som funksjon av frekvenser mellom 1MHz og 200MHz, for bergarter med varierende dielektrisk konstant.

 Figur 5c viser det samme som figur 5a, men innsnevret til et frekvensområde mellom 1 og 16MHz.

 Figur 5d viser teoretiske kurver over fasehastighet som funksjon av frekvenser mellom 1 og 16MHz.

15 Figur 5e viser kurver over bølgelengde som funksjon av frekvenser mellom 1 og 16 MHz for resistiviteter som varierer mellom 5 Ωm og 25 Ωm .

20 Figur 6a viser grafer over utsendte elektromagnetiske bølgers amplitude i forhold til tid fra starten av utsendelsen.

 Figur 6b viser tilsvarende grafer over mottatte elektromagnetiske signaler ved mottakerantenner. Signalene er redusert i amplitude, og faseforskjøvet i forhold til de utsendte signaler.

25 Figur 6c og 6d beskriver skjematisk en del av en fremgangsmåte ifølge en foretrukket utførelse av oppfinnelsen, hvor det dannes frekvensspektra av de registrerte signaler fra reflektorer.

30 Figur 6e beskriver skjematisk en del av en fremgangsmåte ifølge en foretrukket utførelse av oppfinnelsen, hvor det dannes en kunstig tids-avstandsmåling til en reflektor.

35 Figur 7 og Figur 8 viser anvendelse av en foretrukket utførelse av oppfinnelsen for detektering av forandring i avstanden mellom radaren og én, hhv. flere seksjoner av en olje/vann-kontakt OWC.

Figur 9 er en større perspektivskisse av en brønn med tilhørende overflateinnretning, hvor brønnen omfatter sender- og mottakerantenner i en horisontal produksjonssone med varierende avstand til olje/vannkontakten OWC.

5 Figur 10 skisserer flere anordninger ifølge oppfinnelsen i en perforert horisontal produksjonsbrønn.

Figur 10b og 10c viser skisser av en anordning og en fremgangsmåte ifølge oppfinnelsen i en alternativ anvendelse i en vertikal brønn.

10 **Detaljert beskrivelse av oppfinnelsen**

Brønnen

Figur 1 viser en produksjonsbrønn eller et borehull 1 i en geologisk formasjon, som kan befinne seg på land eller gjerne under havbunnen. Vanligvis vil det være satt ned en stålforing i flere seksjoner i det borede hullet fra 15 havbunnen og ned til toppen av den formasjon som produserer petroleumsfluider i form av olje eller naturgass. Den produserende formasjon kan være uten foringsrør, en såkalt åpen komplettering, eller ha et foringsrør i 20 komposittmateriale som er transparent for elektromagnetiske bølger. I en foretrukket utførelse av denne oppfinnelsen vil det ikke settes foringsrør i produksjonssonen, men foretas en innstøping av et produksjonsrør i brønnen 1. Den geologiske formasjonen omfatter i denne sammenheng en reservoarbergart, 25 for eksempel en porøs, permeabel sandsteinsformasjon 9. Borehullet 1 kan være mer eller mindre avviksboret og er i figuren vist som et nær horisontalt borehull 1 selv om oppfinnelsen kan anvendes i borehull med alle deviasjonsvinkler fra vertikalretningen nedover mellom 0 og 30 180 grader. Et produksjonsrør 4 er anordnet for komplettering av produksjonsbrønnen eller borehullet. Produksjonsrørets 4 diameter kan være 7" i et 8 1/2" borehull 1. Et foringsrør (ikke vist) er vanligvis anordnet utenfor produksjonsrøret 4. Foringsrøret kan være sementert og perforert, eller bestå av 35 et finmasket gitter som holder tilbake sand og slipper igjennom olje, gass og vann. En foretrukket utførelse av

oppfinnelsen vil anvendes i en tilnærmet horisontalt boret produksjonsbrønn 1 i en sandsteinsformasjon 9. En oljevannkontakt OWC utgjør grensen mellom i det vesentlige oljemettet sandstein 5 og vannmettet sandstein 7. Denne
5 oppfinnelsen kan også anvendes i en injeksjonsbrønn eller i en observasjonsbrønn.

Fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen

En foretrukket utførelse av oppfinnelsen er en fremgangsmåte for radardetektering i en brønn 1 i en
10 geologisk formasjon 9. Fremgangsmåten omfatter følgende trinn, med henvisning til figur 2 og figur 7 og 10:

i) man anbringer minst én senderantenne 2 i en fiksert posisjon og stilling i brønnen 1 i forhold til den geologiske formasjonen 9. (fikseringen kan utføres ved å anbringe
15 senderantennen 2 utenpå en rørstreng 4, for eksempel et produksjonsrør 4 eller et injeksjonsrør 4 og føre rørstrengen 4 ned i brønnen 1, og deretter støpe fast rørstrengen 4 ved ordinær injeksjon av sement i ringrommet. I en foretrukket utførelse av oppfinnelsen er senderantennen 2 anordnet på
20 moduler 8' som vist i figurene 2b og c, noe som vil bli nærmere beskrevet nedenfor.)

ii) Generering av første rekke av elektriske signaler 25 til en senderantenne 2 og utsendelse av en første serie elektromagnetiske bølger 26₁ fra senderantennen 2 ved et
25 første tidspunkt t₁. En foretrukket utførelse av senderantennen 2 er en dipolantenne som vist i figur 2 og .

iii) Mottakelse av en første serie reflekterte elektromagnetiske bølger (85₁, 85₂, ..., 85_n) ved minst én, fortrinnsvis flere mottakerantenner (8₁, 8₂, ..., 8_n), og
30 omgjøring av den første serie reflekterte elektromagnetiske bølger til registreringer S₁, hvor registreringene fortrinnsvis er digitaliserte. Mottakerantennene 8 er også i den foretrukne utførelse dipolantenner.

iv) Generering av en andre rekke av elektriske signaler 25
35 til senderantennen 2 og utsendelse av en andre serie elektromagnetiske bølger 26₂ fra senderantennen 2, fremdeles i den samme posisjon og stilling i brønnen 1, ved et senere

tidspunkt t_2 , hvor tidsdifferansen $t_2 - t_1$ typisk er flere timer, dager eller lengre tid.

- v) Mottakelse av en andre serie reflekterte elektromagnetiske bølger ($85_1, 85_2, \dots, 85_n$) ved mottakerantennene ($8_1, 8_2, \dots, 8_n$), og omgjøring av den andre serie reflekterte elektromagnetiske bølger til registreringer S_2 , hvor registreringene fortrinnsvis er digitaliserte.

I en foretrukket utførelse av oppfinnelsen omfatter fremgangsmåten ytterligere de følgende trinn:

- vi) Dannelse av en differans $D_{t_2-t_1}$ ved subtraksjon av registreringene S_1 fra registreringene S_2 . Dersom registreringene er digitale er dette en spesielt anvendelig fremgangsmåte.
- vii) Tolkning av differansen $D_{t_2-t_1}$ i form av avstand og eventuelt en retning til en horisont med endring i elektriske egenskaper mellom tidspunktene t_1 og t_2 . Retningsbestemmelse vil muliggjøres ved hjelp av detaljer ved fremgangsmåten og anordningen forklart nedenfor. Avstanden tolkes ut fra toveis gangtid (ikke differansen $D_{t_2-t_1}$) mellom senderantenne 2, antatt reflektor og mottakerantennen 8, med transitthastighet for eksempel tolket ut fra figur 5d som angir gruppehastigheter for forskjellige frekvenser. Tolkningen av differansen $D_{t_2-t_1}$ foretas ved å søke etter en resistivitetsendringer som kan representere en forflytning av en væskehorisont, for eksempel en olje/vannkontakt OWC. Resultatet av en slik bestemmelse av en forflytningsavstand av OWC er skissert i figurene 7 og 8. Det antas i oppfinnelsen at det bare vil være væsker som beveger seg i løpet av tidsrommet mellom registreringene S_1 og S_2 , men det finnes muligheter for at faste partikler også kan ha blitt fjernet, for eksempel ved produksjon av løse sandpartikler fra brønnen, eller ved avsetning av leirmineraler i porerommene i den geologiske formasjonen 9. Disse effektene vil kunne komplisere tolkningen av registreringene S_1 , men oppfinnelsen kan også anvendes til å registrere slike endringer i bergartene.

I figur 6a skisseres en foretrukket utførelse av fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen. Det foretas utsendelse av koherente kontinuerlige elektromagnetiske bølger 26_1 fra senderantennen 2. Fordelen ved dette er at man ved hvert

5 tidspunkt under utsendelsen kun sender ut én frekvens, og derved oppnår at de elektromagnetiske bølgene utbrer seg ved én hastighet. Ved ordinære radarer sendes det ut pulser som ifølge bølgeteorier, f.eks. Fourieranalyse, vil ha et uendelig antall frekvenser innenfor et bredt frekvensbånd. Jo

10 kortere puls, desto bredere frekvensbånd inneholder en puls.

En mest foretrukket utførelse av fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen er vist i figur 6a, og omfatter utsendelse av koherente kontinuerlige elektromagnetiske bølger $26_1, 26_2$ trinnvis ("steppet"), ved et antall i forskjellige frekvenser

15 f_1, f_2, \dots, f_i fra senderantennen 2. På denne måten kan man på ekte vis bygge opp et frekvensspektrum som dekker diskrete frekvenser f_1, f_2, \dots, f_i som sendes inn i de geologiske formasjonene 9. Hver av de elektromagnetiske bølgetogene 26 vil bevege seg gjennom mediet med hver sin diskrete

20 hastighet. Figur 6b viser at en del av den reflekterte energien mottas som reflekterte bølger ($85_1, 85_2, \dots, 85_n$) ved mottakerantennene ($8_1, 8_2, \dots, 8_n$), hvor de omgjøres til fortrinnsvis elektriske spenningssignaler som kan forsterkes og digitaliseres og representeres ved registreringer S. I en

25 alternativ utførelse av oppfinnelsen kan de reflekterte bølgene ($85_1, 85_2, \dots, 85_n$) omgjøres til optiske signaler på et valgt stadium, om mulig allerede i antennene.

I en foretrukket utførelse av fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen er det svært fordelaktig å utføre

30 impedansregulering av senderantennen 2 til hver av de enkelte diskrete utsendte frekvenser (f_1, f_2, \dots, f_i), for maksimal effektutsendelse til den geologiske formasjonen 9. Dette fordi senderantennens 2 Q-faktor endrer seg drastisk ved endring av frekvens når senderantennen 2 ligger bare få

35 centimeter fra den metalliske rørstrengens 4 overflate. (Dersom senderantennen 2 ikke er avstemt for maksimal utsendelse av elektromagnetisk energi til den geologiske formasjonen 9 vil store deler av energien utbre seg som en

elektromagnetisk bølge langs rørstrengen 4, omtrent som et elektrisk signal langs en koaksialkabels kjerne, hvor bergartene omkring rørstrengen opptrer som koaksialkabelens dielektrikum.) En fysisk tilpasning av dipolantennenes lengde kan skje via elektroniske svitsjer som kobler inn eller ut fjernereliggende seksjoner av antennen slik at den tilsvarer en for eksempel en kvart bølgelengde i mediet, og hvor avstemningen av antennen suppleres ved tuning av resonanskretsens kapasitans ved tilbakekobling.

En tilsvarende impedansregulering av mottakerantennene 8 må foretas til hver av de enkelte diskrete utsendte frekvenser (f_1, f_2, \dots, f_i), for maksimalt mottak av effekt fra reflekterte elektromagnetiske bølger fra den geologiske formasjonen 9. Et bilde av de nødvendige antennelengder får man ved å studere figur 5e som viser bølgelengder som funksjon av frekvens innenfor området 1 til 16 MHz.

Det foreligger alltid en viss direkte kobling av den utsendte bølgen fra senderantennen 2 til mottakerantennen 8. Kansellering av direktebølger eller direktekoblede signal mellom senderantennen 2 og mottakerantennen 8 slik at direktebølgen interfererer minimalt med de reflekterte bølger fra den geologiske formasjonen 9 bør utføres. Dette kan ifølge en utførelse av oppfinnelsen skje for eksempel ved en differensialkobling mellom mottakerantennen 8, eventuelt en forholdsvis differensialkobling mellom signalet fra mottakerantennen 8 og en relativt dempet del av spenningssignalet 25 til senderantennen 8. (I en alternativ utførelse av oppfinnelsen hvor det anvendes pulsede bølger foreligger en mulighet for kansellering av direktebølgen er å unngå å sample signalet fra mottakerantennene 8 i et kort tidsrom under og etter utsendelsen av elektromagnetiske bølger 26 fra senderantennen 2, slik at direktebølgen passerer. Teknikken med å sample i tidsvinduer kan også kompensere for uønskede signaler fra svært nære eller sterke reflektorer som skygger for fjernereliggende mer interessante reflektorer. Imidlertid medfører vindusteknikken kun fordeler under pulset signalutsendelse, hvis ulemper er forklart ovenfor.) Under utsendelse av kontinuerlige bølger av

varighet sammenlignbar med toveis gangtid til reflektoren bør det foretas en differensialkobling mellom mottakerantennene.

Det er nødvendig med en signalbehandling av de mottatte elektromagnetiske bølgene ($85_1, 85_2, \dots, 85_n$) eller registreringene S_1 eller S_2 for å detektere gradienter i de elektriske egenskaper, fortrinnsvis resistivitet, i den geologiske formasjonen 9.

I en foretrukket utførelse av oppfinnelsen foretas en signalbehandling av de mottatte elektromagnetiske bølgene ($85_1, 85_2, \dots, 85_n$) eller registreringene S_1 eller S_2 for å detektere endringer i gradientene i den elektriske egenskaper, fortrinnsvis resistivitet, i den geologiske formasjonen 9 mellom to tidspunkt t_1 og t_2 . Figur 6c, 6d og 6e viser et eksempel på slik signalbehandling av tidsrekker som representerer de reflekterte signalene ($85_1, 85_2, \dots, 85_n$) eller registreringene S_1 eller S_2 . I en utførelse av fremgangsmåten vist i figur 6c og figur 6d dannes minst ett diskret Fourier-frekvensspektrum av minst to av parametrene amplitude $A(\omega)$, fase $f(\omega)$, amplitude av realdelen $\text{Re}(\omega)$, amplitude av imaginærdelen $\text{Im}(\omega)$. ω tilsvarende de frekvenser (f_1, f_2, \dots, f_i) som ble utsendt fra senderantennen 2.

Ved utsendelse av kontinuerlig koherente elektromagnetiske bølger er det mulig å foreta en direkte trinnsvis sampling av signaler med amplitude $A(\omega)$, fase $f(\omega)$ av de elektromagnetiske bølger ($85_1, 85_2, \dots, 85_n$) fra mottakerantennene 8 i frekvensdoménet ved frekvensene (f_1, f_2, \dots, f_i). Dermed kan det foretas en forenklet registrering av de elektromagnetiske bølger ($85_1, 85_2, \dots, 85_n$) ved i det vesentlige kun å registrere amplitude og fase i det innkommende bølgetog ved hver frekvens f_1, f_2, \dots, f_i . Dette krever mindre utstyr enn for eksempel en diskret samplet digitalisering av $f_i(t)$. Dermed faller trinnet illustrert i venstre del av figur 6c og 6d, representert ved sampling av $f_1(t), f_2(t), \dots, f_i(t)$, sammen med den hurtige Fouriertransform, bort i dette forenklete tilfellet, hvor man starter direkte med måling av amplitude $A(\omega)$, fase $f(\omega)$ for hver enkelt frekvens.

signalbehandling en invers Fouriertransform $F(\omega) \rightarrow f(t)$ ved å
 invers Fouriertransformere minst to av parametrene amplitude
 $A(\omega)$, fase $f(\omega)$, amplitude av realdelen $\text{Re}(\omega)$, amplitude av
 imaginærdelen $\text{Im}(\omega)$, hvor ω omfatter i det vesentlige de
 5 frekvenser f_1, f_2, \dots, f_i som ble utsendt fra senderantennen
 2, og dannelse av en tidsrekke $f(t)$ som kan representere
 pseudo-reflekser dannet ved elektriske resistivitets-
 gradienter i den geologiske formasjonen 9.

I en foretrukket utførelse av oppfinnelsen foretas en
 10 anbringelse av en retningsfølsom antennegruppe 8' omfattende
 tre eller flere mottakerantenner 8 omkring rørstrengens 4
 akse og i det vesentlige ved den samme posisjon langs
 rørstrengen 4, i den hensikt å detektere de de
 elektromagnetiske bølger ($85_1, 85_2, \dots, 85_n$) og deres
 15 reflektorers retning i forhold til rørstrengens 4 akse.
 Ved kombinert mottagelse av signaler fra mottagerantenner 8
 anordnet ved forskjellige vinkler, kan man ved kombinasjon av
 de mottatte elektromagnetiske bølger ($85_1, 85_2, \dots, 85_n$),
 eventuelt ved direkte fysisk kobling mellom mottagerantenner
 20 8 anordnet i en retningsfølsom antennegruppe 8' beregne en
 reflektors vinkel α i forhold til rørstrengens 4 akse.

Ved en tilsvarende anbringelse av en senderantennegruppe
 2' omfattende to eller flere senderantenner 2, i dette
 tilfellet fortrinnsvis dipolformede senderantenner 2, omkring
 25 rørstrengens 4 akse og i det vesentlige ved den samme
 posisjon langs rørstrengen 4, oppnår man å sende ut
 elektromagnetiske bølger 26 med energiutbredelse hovedsakelig
 i en valgt retning i forhold til rørstrengens 4 akse. Dermed
 kan man "belyse" en valgt del av den geologiske formasjonen.
 30 I kombinasjon av anvendelsen av en retningsfølsom mottaker-
 antennegruppe 8' og en senderantennegruppe 2' kan det foretas
 en tomografisk beregning av de elektriske egenskapene i et
 plan P vinkelrett på rørstrengen 4. Dette er vist i figur 2.

Ved å kombinere signaler ($85_1, 85_2, \dots, 85_n$) fra flere
 35 mottager-antennegrupper 8' (eller eventuelt signaler
 $(85_1, 85_2, \dots, 85_n)$ mottatt etter utsendelse fra flere

senderantennegrupper 2' kan man i tillegg beregne en reflektors vinkel β normalt på planet P.

Det kan i en alternativ utførelse av oppfinnelsen foretas generering av elektriske signaler 25 for utsendelse av pulsede elektromagnetiske signaler 26 fra senderantennen 2. Dette kan medføre dispersjon og dårlig detekteringsevne.

Radaranordningen og systemet som helhet antas å ha 170 dB dynamisk range, hvor dynamisk range er definert som utsendt effekt delt med den minste registrerbare mottatte effekt. De elektromagnetiske bølgene vil dempes på grunn av utbredelsesdempning og bølgespredning og dessuten vil man ha en geometrisk spredning av effekten. Det antas at man har en signalanalysator hvor det minste detekterbare signal er -110 dBm for IF (intermediate frequency filter bandwidth) = 10 Hz og maksimal inngang uten metning er 20 dBm. Således er den dynamiske range for signalanalysatoren 130 dB for IF=10Hz. Ved å redusere IF båndbredden (og ved å anvende kontinuerlige koherente bølger) vil dynamisk range kunne økes. Prisen for denne økte dynamiske range er at tiden for signalmottak også vil øke. Imidlertid kan man ha meget god tid til signalutsendelse og mottak når man skal observere en forandring i OWC. Ved å velge IF=0,1 Hz blir det minste detekterbare signal mindre enn -130 dBm og signalanalysatorens dynamiske range blir 150 dB. Anta videre at anvendt effekt er 20 dB høyere enn den koblede effekt. Således blir utsendt effekt i systemet ifølge en utførelse av oppfinnelsen 170 dB høyere enn den minste detekterbare effekt. Utsendt sendereffekt er 10 W når antenneeffektiviteten er 1. Mindre antenneeffektivitet kan kompenseres for ved høyere sendereffekt.

Anta mottakerareal $A=1 \text{ m}^2$ (for en 1 m lang dipolantenne) og $R=20 \Omega$. Den geometriske spredning blir da ca 47 dB ved en avstand på 30 m. Hvis vi regner dynamisk range = 170 dB, geometrisk spredning ved 30 meters avstand ca 50 dB, refleksjonstap på 40 dB, gjenstår 80 dB til utbredelsestap. For en sone med resistivitet $R=500 \Omega$ er utbredelsestapet ca. 1,2 dB/m. Således kan detekteringsavstanden regnes ut som

0,5(80/1,2)>30 meter. Direktivitet i antennene vil øke detekteringsavstanden.

Anordningen ifølge oppfinnelsen

Minst én senderantenne 2 for utsendelse av
5 elektromagnetiske bølger er fiksert anordnet ved rørstrengen
4. Senderantennen 4 er innrettet for fiksert montering i
forhold til den geologiske formasjonen. En eller flere
mottakerantenner 8 for elektromagnetiske bølger, er også
anordnet ved rørstrengen 4. Mottakerantennene 8 er også
10 innrettet for fiksert montering i forhold til den geologiske
formasjonen. Hensikten med den fikserte anordningen i
produksjonssonen er at målinger kan foretas med en tids
mellomrom dersom det er vanskelig å detektere horisonter ved
hjelp av pulsede radarmålinger. Dersom OWC har forflyttet seg
15 i tiden mellom målingene kan man ved hjelp av subtraksjon av
målingene detektere denne endringen, og anslå posisjonen av
OWC.

Radaren i brønnen

Figur 2 viser en prinsippskisse av en mulig utførelse av
20 oppfinnelsen, med senderantenner 2 og mottakerantenner 8
anordnet ved et produksjonsrør 4. Dersom produksjonsrøret 4
er metallisk og elektrisk ledende, noe som er den aktuelle
situasjon, må antennene 2 og 8 anordnes i ringrommet mellom
produksjonsrøret 4 og den geologiske formasjonen 9. I en
25 foretrukket utførelse av oppfinnelsen vil antennene 2 og 8
være støpt inn i ringrommet i produksjonssonen i formasjonen
9, slik at de er absolutt fiksert i posisjon og stilling.
Denne absolutte fikseringen av posisjon og stilling medfører
måle- og analysefordeler som ikke foreligger i den kjente
30 teknikk.

Den fikserte monteringen kan utføres på flere måter:
Antennen kan være fast anordnet på utsiden av rørstrengen 4,
og støpes fast i formasjonen ved hjelp av sement. I en
foretrukket utførelse av oppfinnelsen vist i figur 2c er
35 senderantenner 2 og mottakerantenner 8 anordnet i enhetlige
rørstrengsantennemoduler 4' som kan skrues sammen og som

virker som ordinære komponenter i en rørstreng 4 i en produksjonsbrønnkomplettering.

En foretrukket utførelse ifølge denne oppfinnelsen vil anvendes i en tilnærmet horisontal brønn 1 i en geologisk formasjon 9 som vist i figur 1. Figur 2 viser en anordning for detektering av elektriske egenskaper omfattende minst én senderantenne 2 for utsendelse av elektromagnetiske bølger 26, montert ved en rørstreng 4, hvor senderantennen 2 er innrettet for fiksert montering i forhold til den geologiske formasjonen 9, minst én, fortrinnsvis flere mottakerantenner 8 for de reflekterte elektromagnetiske bølger 26, ved fortrinnsvis den samme rørstrengen 4, hvor mottakerantennene 8 er innrettet for fiksert montering i forhold til den geologiske formasjonen 9. Mottakerantennene 8 må anordnes så nær senderantennene 2 at de under de rådende omgivende resistiviteter kan motta reflekterte elektromagnetiske bølger.

En retningsfølsom antennegruppe 8' omfattende tre eller flere mottakerantenner 8 er i en foretrukket utførelse anordnet omkring rørstrengens 4 akse og i det vesentlige ved den samme posisjon langs rørstrengen 4, innrettet til å detektere de reflekterte elektromagnetiske bølgers 26 og deres reflektorers retning i forhold til rørstrengens 4 akse. Slike retningsfølsomme antennegrupper 8 er vist ved to grupper av dipolantenner 8, med en antennegruppe 8' anordnet på hver side av den viste senderantennen 2. På denne måten kan reflekterte elektromagnetiske bølger mottatt ved flere mottakerantenner 8 ved hver enkelt antennegruppe 8' kombineres for å beregne en retning α for reflektoren i planet P som ligger normalt på rørstrengens 4 akse gjennom antennegruppen 8'. Dette er skissert i figur 2. Kombinasjonen av signalene kan skje via fysisk sammenkobling av antennesignaler for å oppnå differanser, eller kombinasjoner kan foretas digitalt etter registrering av bølgene. Faseforskjeller mellom de innkommende signaler kan også utnytted for å finne vinkelen α . En vinkel β i forhold til normalplanet P kan beregnes ved å kombinere reflekterte elektromagnetiske signaler mottatt ved minst to

mottakerantenner 8 anordnet ved hver sin avstand fra senderantennen, regnet langs rørstrengen 4, og fortrinnsvis på hver sin side av senderantennen 2. Vinklene α og β bestemmer entydig en reflektors retning. En reflektors avstand kan bestemmes ved å estimere toveis gangtid for en elektromagnetisk puls. På denne måten kan en reflektors posisjon beregnes i forhold til rørstrengen 4 og dens senderantenner 2 og mottakerantenner 8.

På samme måte er det fordelaktig med en utførelse med en senderantennegruppe 2' omfattende to eller flere senderantenner 2 anordnet omkring rørstrengens 4 akse og i det vesentlige ved den samme posisjon langs rørstrengen 4, innrettet til å sende ut elektromagnetiske bølger hovedsakelig i en valgt retning i forhold til rørstrengens 4 akse.

Figur 2b viser en foretrukket utførelse av oppfinnelsen er senderantenner 2 og mottakerantenner 8 kombinert i én rørstrengsantennemodul 4' omfattende en senderantennegruppe 2' med minst to senderantenner 2 anordnet ved en første posisjon langs rørstrengsantennemodulen 4', og minst en retningsfølsom gruppe 8' med minst tre mottakerantenner 8 anordnet ved en andre posisjon langs rørstrengsantennemodulen 4'. I den mest foretrukne utførelse av rørstrengsantennemodulen 4' omfatter den en senderantennegruppe 2' med fortrinnsvis to dipol-senderantenner 2 anordnet på hver sin side av rørstrengen 4 ved en første posisjon langs rørstrengsantennemodulen 4', en første retningsfølsom gruppe 8' med fortrinnsvis fire dipol-mottakerantenner 8 anordnet med jevn vinkelavstand omkring rørstrengen 4 ved en andre posisjon langs rørstrengsantennemodulen 4', og en andre retningsfølsom gruppe 8' med fortrinnsvis fire dipol-mottakerantenner 8 anordnet på samme måte ved en tredje posisjon langs rørstrengsantennemodulen 4', fortrinnsvis på motsatt side av senderantennegruppen 2' i forhold til den første retningsfølsomme gruppe 8'.

Figur 2c viser et perspektivrikk av rørstrengsantennemodulen 8'. Det indre mål vil i den foretrukne utførelsen være 4,9" og det metalliske røret 15 vil ha en diameter på 7". Kjeramiske isolatorer 6 er anordnet utenpå den metalliske

overflaten av røret 15. De kjeramiske isolatorene 6 danner underlag for henholdsvis senderantennen 2 og mottakerantennen 8. I en foretrukket utførelse kan isolatorene være nedfelt i et sylindrerformet spor i det metalliske røret 15. Hele sideflaten av rørstrengantennemodulen 8' er dekket av en ikke-ledende kappe for å DC-isolere det elektriske utstyret fra brønnen 1 og den geologiske formasjonen 9. Sentraliseringsutstyr er også anordnet utenpå hver enkelt rørstrengantennemodul 4'. I en foretrukket utførelse er den ytre diameter for hver sentraliserer 9". Dette utelukker ikke andre mål på rørstrengantennemodulen 4'. Elektriske ledninger 7 er anordnet for energiforsyning og kommunikasjon langs rørstrengantennemodulen 8', med midler for elektrisk sammenkobling mellom to eller flere rørstrengantennemoduler 8' innbyrdes og også utstyr annetsteds, for eksempel ved overflaten.

Rørstrengantennemodulen 4' vil vanligvis utgjøre en del av en rekke like moduler 4', sammen med andre modulære deler av et produksjonsrør i en brønnkompletteringsstreng. Rørstrengantennemodulen er innrettet til å fortrinnsvis støpes fast i brønnen. Modulen 4' og de elektriske ledningene 7 må merkes, f.eks. magnetisk, slik at de ikke skytes i stykker under perforeringen av produksjonsrøret.

En elektronikksammenstilling 20 som omfatter nødvendig utstyr for å drive radaren består av en signalgenerator 22 for generering av elektriske signaler 25 til senderantennen 2, innretninger 80 for mottakelse av signaler ($85_1, 85_2, \dots, 85_n$) indusert i hver av mottakerantennene ($8_1, 8_2, \dots, 8_n$), signalbehandlingsinnretninger 82 for behandling av de mottatte signaler ($85_1, 85_2, \dots, 85_n$), og kommunikasjons- og styringsinnretninger 100 for utsendelse av signaler 105 som representerer de elektriske signaler ($85_1, 85_2, \dots, 85_n$), og for mottakelse av styresignaler 205. Styresignalene 105 og energiforsyning kan i en foretrukket utførelse skje fra en kommunikasjonsinnretning 200 ved overflaten, via de elektriske ledningene 7.

I en foretrukket utførelse av oppfinnelsen befinner elektronikksammenstillingen 20 seg i umiddelbar nærhet av antennene 2, 8. I en ytterligere foretrukket utførelse

skissert ved figur 7 omfatter rørstrengsantennemodulen 4' elektronikksammenstillingen 20, og elektronikksammenstillingen 20 omfatter (ikke vist) også en adresse-enhet 55, en akkumulator- og ladeenhet 56, et minne 54 og en
5 hvilemodus-enhet 57. Signalbehandlingsinnretningene 82 kan være innrettet til nedihulls prosessering av måledata. I den foretrukne utførelsen vil hver rørstrengsantennemodul 4' være adresserbar og selektivt aktiverbar fra kommunikasjonsinnretningen 200. Akkumulator- og ladeenheten
10 56 kan samle energi nok til at tilstrekkelig energi kan sendes ut i de geologiske formasjonene fra senderantennene 2 slik at mottakerantennene 8 kan registrere signaler fra reflektorer. På grunn av effektbegrensninger på energi- og kommunikasjonsledningene 7 anvendes hvilemodus-enheten 57 til
15 å aktivisere forskjellige adresserbare elektronikksammenstillinger 20 med tilhørende antenner 2,8 til hver sin tid, både med hensyn til lading, utsendelse og prosessering.

I en foretrukket utførelse vil signalgeneratoren 22 for
20 generering av elektriske signaler 25 til senderantennen 2 være innrettet til generering av koherente kontinuerlige elektromagnetiske bølger 26 fra senderantennen 2. Dermed kan man unngå dispersjon av utsendte elektromagnetiske signal på grunn av varierende gruppehastighet som funksjon av
25 frekvensen. I en ytterligere foretrukket utførelse er signalgeneratoren 22 er innrettet til generering av elektriske signaler 25 til senderantennen 2 for utsendelse av koherente kontinuerlige elektromagnetiske bølger ved et antall i forskjellige frekvenser f_1, f_2, \dots, f_i fra
30 senderantennen 2.

Det er nødvendig med en impedansreguleringsinnretning 23 (ikke vist) innrettet til å tilpasse senderantennens 2 impedans til hver av de enkelte diskrete utsendte frekvenser f_1, f_2, \dots, f_i . Denne impedansreguleringsinnretningen 23 kan
35 være en elektronisk svitsj i selve dipolantennene 2. Den elektroniske svitsj justerer dipolantennenes 2 fysiske lengde. Alternativt, eller som et supplement til svitsjer på antennene kan det foretas tuning av resonanskretsens kapasitans ved tilbakekobling.

På tilsvarende måte er det i den foretrukne utførelse anordnet en impedansreguleringsinnretning 83 (ikke vist) innrettet til å tilpasse mottakerantennens 8 impedans til hver av de enkelte diskrete utsendte frekvenser f_1, f_2, \dots, f_i . Således har senderantennene 2 og mottakerantennene med tilhørende impedansreguleringsinnretning 23, 83 svært lik oppbygning.

For å unngå direktekobling mellom senderantennen 2 og mottakerantennen 8 kan det anordnes kanselleringsinnretninger 28 innrettet for kansellering av direktebølger eller direktekoblede signal mellom senderantennen 2 og mottakerantennen 8. Differensialkobling mellom mottakerantennen 8, eventuelt en dempet differensialkobling mellom en del av spenningssignalet 25 til senderantennen 2 og mottakerantennen 8 er en mulig løsning for å kansellere det utsendte signal fra mottakerantennen 8, spesielt ved utsendelse av koherente kontinuerlige elektromagnetiske bølger 26. 20. Ved utsendelse av pulsede signaler kan kansellering av direktebølger eller direktekoblede signal mellom senderantennen 2 foretas ved hjelp av utsatt sampling ved mottakerantennen 8 inntil direktebølgen har passert.

Styringsinnretningen 200 kan befinne seg fortrinnsvis ved havbunnen eller jordens overflate, eller ved et hvilket som helst annet sted.

5 Signalbehandlingsinnretningene 82 for behandling av de mottatte signalene ($85_1, 85_2, \dots, 85_n$), omfatter kretser eller midler innrettet til å danne minst ett diskret Fourierfrekvensspektrum av minst to av parametrene amplitude $A(\omega)$, fase $f(\omega)$, amplitude av realdelen $\text{Re}(\omega)$, amplitude av imaginærdelen $\text{Im}(\omega)$, hvor ω omfatter i det vesentlige de
10 frekvenser (f_1, f_2, \dots, f_i) som ble utsendt fra senderantennen 2.

I en alternativ utførelse kan signalgeneratoren 22 være innrettet til generering av pulsede elektriske signaler 25 til senderantennen 2 slik som i den kjente teknikk.

15 Radaren skal anvendes til å detektere gradienten i resistivitet representert ved OWC som befinner seg under den tilnærmet horisontale brønnen. På grunn av sedimentologiske prosesser er de kjemiske og fysiske parametre (mineralsammensetning, tetthet, resistivitet, permeabilitet)
20 langs avsatte lag mer konstante enn på tvers av lagene. Derfor representerer resistivitetsloggene vist i figur 5 fra de vertikale brønnene typiske resistivitetsvariasjoner som kan eksistere mellom den horisontale brønnen og OWC under brønnen.

25 I en produserende vertikal brønn vil OWC på grunn av trykk- og strømningsforholdene kunne danne en tilnærmet vertikal konformet flate omkring produksjonsbrønnen.

Vann i slike dype formasjoner er som regel sterkere elektrisk ledende, med resistivitet under $1 \Omega\text{m}$

30 Foreliggende oppfinnelse anvendes i en foretrukket utførelse inne i oljesonen i reservoarbergarten. Resistiviteten i oljesonen kan være mellom 150 og $1000 \Omega\text{m}$. Senderantennene og mottakerantennene for radarbølger plasseres utenpå den metalliske borehullsstrengen, som i en
35 foretrukket utførelse utgjøres av et produksjonsrør, men som

i en alternativ utførelse utgjøres av et fôringsrør, vanligvis av metall. Det er også mulig å anordne sender- og mottakerantennene inne i foringsrør eller produksjonsrør dersom disse rørene er utført i ikke-ledende materialer, for eksempel komposittmaterialer.

Rørstrengen 4 kan omfatte et produksjonsrør eller et fôringsrør (eng.: "casing") eller tilsvarende. Mottakerantennene 8 og senderantennen 2 befinner seg utenfor overflaten av de metalliske deler av rørstrengen 4. Dersom rørstrengen 4 er laget av komposittmaterialer som ikke omfatter metall eller andre elektrisk ledende materialer, kan antennene 8 og 2 befinne seg inne i eller inne i veggen av rørstrengen 4.

Det er også mulig å fiksure antennene 2 og 8 på andre måter enn ved innstøping. For eksempel kan borehullsradaren med antennene 2 og 8 være tilbaketrekkelig og utstyrt med styrespor / ledefjær slik at den kan reinsettes i nøyaktig samme posisjon og stilling i produksjonssonen ved et senere tidspunkt etter den første radardetektering.

I en alternativ utførelse av oppfinnelsen anvendes den like gjerne i en vertikal brønn. I figur 10 b og 10c er det skissert hvorledes flere trykkisolerte produserende formasjoner tilnærmes av hver sin vannfront, og hvorledes de forskjellige vannfrontene monitoreres ved hjelp av oppfinnelsen.

P a t e n t k r a v

1. Fremgangsmåte for detektering av elektromagnetiske reflektorer dannet ved resistivitets- eller dielektriske kontraster i fluider i geologiske formasjoner (9) omkring en produksjons- eller injeksjonsbrønn (1)

k a r a k t e r i s e r t v e d at den omfatter følgende trinn:

- i) fastmontert anbringelse av minst én elektrisk dipol-senderantenne (2) utenfor en brønnstreng og i fiksert posisjon og stilling i brønnen (1) i forhold til formasjonen (9);
- ii) generering av en første rekke av kontinuerlige, elektriske signaler (25) med én frekvens (f) til senderantennen (2) for utsendelse av en første serie koherente kontinuerlige elektromagnetiske bølger (26_1) med frekvensen (f_1) fra senderantennen (2) ved et første tidspunkt (t_1);
- iii) mottakelse av en første serie reflekterte elektromagnetiske bølger ($85_1, 85_2, \dots, 85_n$) ved frekvensen (f) ved minst én, fortrinnsvis flere fastmontert anbrakte elektriske dipolmottakerantennene ($8_1, 8_2, \dots, 8_n$), og omgjøring av den første serie mottatte reflekterte elektromagnetiske bølger til analoge eller digitale registreringer (S_1);
- iv) generering av en andre rekke av kontinuerlige elektriske signaler (25) med frekvens (f) til senderantennen (2) og utsendelse av en andre serie koherente kontinuerlige elektromagnetiske bølger (26_2) med frekvensen (f) fra senderantennen (2), ved et senere tidspunkt (t_2), hvor tidsdifferansen $t_2 - t_1$ typisk er flere timer, dager eller lengre tid;
- v) mottakelse av en andre serie reflekterte elektromagnetiske bølger ($85_1, 85_2, \dots, 85_n$) med frekvensen (f) ved mottakerantennene ($8_1, 8_2, \dots, 8_n$), og omgjøring av den andre serie mottatte reflekterte elektromagnetiske bølger til analoge eller digitale registreringer (S_2);
- vi) dannelselse av en differans ($D_{t_2-t_1}$) ved subtraksjon av registreringene (S_1) fra registreringene (S_2); og
- vii) tolkning av differansen ($D_{t_2-t_1}$) i form av avstand og eventuelt en retning til en horisont med endring i elektriske egenskaper mellom tidspunktene (t_1) og (t_2).

2. Fremgangsmåte ifølge krav 1, karakterisert ved at tolkningen av differansen ($D_{t_2-t_1}$) foretas ved å søke etter resistivitetsendringer som kan representere en forflytning av en væskehorisont, for eksempel en olje/vannkontakt OWC, i en inklinert brønn, fortrinnsvis for å monitorere petroleums- eller gassproduserende formasjoner som tilnærmes av en varierende vannfront.

3. Fremgangsmåte ifølge krav 1, karakterisert ved at den første og den andre utsendelse av koherente kontinuerlige elektromagnetiske bølger ($26_1, 26_2$) foretas trinnsvis, ved et antall i forskjellige frekvenser (f_1, f_2, \dots, f_i) fra senderantennen (2), og at den første og den andre mottagelsen av de reflekterte elektromagnetiske bølger foretas i de suksessivt samme frekvenstrinn (f_1, f_2, \dots, f_i).

4. Fremgangsmåte ifølge krav 3, karakterisert ved impedansregulering av senderantennen (2) til hver av de enkelte diskrete utsendte frekvenser (f_1, f_2, \dots, f_i), for maksimal effektutsendelse til den geologiske formasjonen (9).

5. Fremgangsmåte ifølge krav 3 eller 4, karakterisert ved impedansregulering av mottakerantennene (8) til hver av de enkelte diskrete utsendte frekvenser (f_1, f_2, \dots, f_i), for maksimalt mottak av effekt fra reflekterte elektromagnetiske bølger fra den geologiske formasjonen (9).

6. Fremgangsmåte ifølge krav 1, karakterisert ved kansellering av direktebølger eller direktekoblede signal mellom senderantennen (2) og mottakerantennen (8) slik at direktebølgen interfererer minimalt med de reflekterte bølger fra den geologiske formasjonen (9).

7. Fremgangsmåte ifølge krav 6,
k a r a k t e r i s e r t v e d
differensialkobling mellom mottakerantennen (8), eventuelt en
forholdsvis differensialkobling mellom signalet fra
mottakerantennen (8) og en relativt dempet del av
spenningssignalet (25) til senderantennen (8).

8. Fremgangsmåte ifølge krav 1
k a r a k t e r i s e r t v e d
behandling av de mottatte elektromagnetiske bølgene
($85_1, 85_2, \dots, 85_n$) eller registreringene (S_1) eller (S_2) for å
detektere gradienter i de elektriske egenskaper, fortrinnsvis
resistivitet, i den geologiske formasjonen (9).

9. Fremgangsmåte ifølge krav 1,
k a r a k t e r i s e r t v e d
behandling av de mottatte elektromagnetiske bølgene
($85_1, 85_2, \dots, 85_n$) eller registreringene (S_1) eller (S_2) for å
detektere endringer i gradientene i den elektriske
egenskaper, fortrinnsvis resistivitet, i den geologiske
formasjonen (9) mellom to tidspunkt (t_1) og (t_2).

10. Fremgangsmåte ifølge ett av kravene krav 1-9,
k a r a k t e r i s e r t v e d
signalbehandling av tidsrekker som representerer de
reflekterte signalene ($85_1, 85_2, \dots, 85_n$) eller registreringene
(S_1) eller (S_2), for å danne minst ett diskret Fourier-
frekvensspektrum av minst to av parametrene amplitude $A(\omega)$,
fase $f(\omega)$, amplitude av realdelen $Re(\omega)$, amplitude av
imaginærdelen $Im(\omega)$, hvor ω tilsvarer de frekvenser
(f_1, f_2, \dots, f_i) som ble utsendt fra senderantennen (2).

11. Fremgangsmåte ifølge et av krav 3-5,
k a r a k t e r i s e r t v e d
direkte trinnvis sampling av signaler med amplitude $A(\omega)$,
fase $f(\omega)$ av de elektromagnetiske bølger ($85_1, 85_2, \dots, 85_n$) fra
mottakerantennene (8) i frekvensdomenet ved frekvensene f_1 ,
 f_2, \dots, f_i .

12. Fremgangsmåte ifølge ett av kravene 10 eller 11, k a r a k t e r i s e r t v e d invers Fouriertransform $F(\omega) \rightarrow f(t)$ av minst to av parametrene amplitude $A(\omega)$, fase $f(\omega)$, amplitude av realdelen $\text{Re}(\omega)$, amplitude av imaginærdelen $\text{Im}(\omega)$, hvor ω omfatter i det vesentlige de frekvenser (f_1, f_2, \dots, f_i) som ble utsendt fra senderantennen (2), og dannelse av en tidsrekke $f(t)$ i tidsdomenet som kan representere pseudo-reflekser dannet ved elektromagnetiske impedansgradienter i den geologiske formasjonen (9).

13. Fremgangsmåte ifølge krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d mottagelse fra tre eller flere mottakerantenner (8) omkring rørstrengens (4) akse anbrakt i det vesentlige ved den samme posisjon langs rørstrengen (4), som utgjør en retningsfølsom antennegruppe (8'), for å detektere retningen av de elektromagnetiske bølger ($85_1, 85_2, \dots, 85_n$) og i forhold til rørstrengens (4) akse.

14. Fremgangsmåte ifølge krav 1 eller 13, k a r a k t e r i s e r t v e d utsendelse fra to eller flere senderantenner (2) omkring rørstrengens (4) akse og i det vesentlige ved den samme posisjon langs rørstrengen (4), som utgjør en senderantennegruppe (2'), i den hensikt å sende ut elektromagnetiske bølger (26) hovedsakelig i en valgt retning i forhold til rørstrengens (4) akse.

15. Fremgangsmåte ifølge krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at den utsendte frekvensen (f) velges innenfor området 1 MHz til 16 MHz.

16. Fremgangsmåte ifølge krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at seriene av mottatte reflekterte elektromagnetiske bølger ($85_1, 85_2, \dots, 85_n$) gjøres om til digitale registreringer (S_1, S_2);

17. Fremgangsmåte ifølge krav 1,
k a r a k t e r i s e r t v e d
mottakerantennene ($8_1, 8_2, \dots, 8_n$) er anbrakt i den samme
brønnen (1) som senderantennen (2).

18. Anordning for detektering av elektriske reflektorer
dannet ved resistivitets- eller dielektriske konstanter i
fluider i geologiske formasjoner (9) omkring en produksjons-
eller injeksjonsbrønn (1),

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

(a) minst én elektrisk dipol-senderantenne (2) for utsendelse av elektromagnetiske bølger (26), fast montert ved en rørstreng (4) utenfor overflaten av de eventuelle metalliske deler av rørstrengen 4, og hvor senderantennen (2) er innrettet til fiksert montering i forhold til formasjonen (9);
(b) minst én, fortrinnsvis flere elektriske dipol-mottakerantenner (8) for de reflekterte elektromagnetiske bølger (26), ved fortrinnsvis den samme rørstrengen (4) utenfor overflaten av eventuelle metalliske deler av rørstrengen 4, , hvor mottakerantennene (8) er innrettet til fiksert montering i forhold til formasjonen (9); og

en elektronikksammenstilling (20) som omfatter:

en signalgenerator (22) innrettet til generering av kontinuerlige elektriske signaler (25) med en valgt frekvens (f) til senderantennen (2), innrettet til utsendelse av koherente kontinuerlige elektromagnetiske bølger (26) fra senderantennen (2);

mottakerinnretninger (80) for registrering av signaler ($85_1, 85_2, \dots, 85_n$) indusert i hver av mottakerantennene ($8_1, 8_2, \dots, 8_n$),

signalbehandlingsinnretninger (82) for de mottatte signaler ($85_1, 85_2, \dots, 85_n$),

kommunikasjonsinnretninger (100) for utsendelse av signaler (105) som representerer de elektriske signaler ($85_1, 85_2, \dots, 85_n$), og for mottakelse av styresignaler (205).

19. Anordning ifølge krav 18,

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

en retningsfølsom antennegruppe (8') omfattende tre eller flere mottakerantennener (8) anordnet omkring rørstrengens (4) akse og i det vesentlige ved den samme posisjon langs rørstrengen (4), innrettet til å detektere de reflekterte elektromagnetiske bølgers (26) og deres reflektorers retning i forhold til rørstrengens (4) akse.

20. Anordning ifølge krav 18 eller 19, k a r a k t e r i s e r t v e d en senderantennegruppe (2') omfattende to eller flere senderantennener (2) anordnet omkring rørstrengens (4) akse og i det vesentlige ved den samme posisjon langs rørstrengen (4), innrettet til å sende ut elektromagnetiske bølger hovedsakelig i en valgt retning i forhold til rørstrengens (4) akse.

21. Anordning ifølge krav 18, 19 eller 20, k a r a k t e r i s e r t v e d én rørstrengsantennemodul (4'), innrettet til fiksert anbringelse i en brønn (1), omfattende en senderantennegruppe (2') med minst to senderantennener (2) anordnet ved en første posisjon langs rørstrengsantennemodulen (4'), og minst en retningsfølsom gruppe (8') med minst tre mottakerantennener (8) anordnet ved en andre posisjon langs rørstrengsantennemodulen (4').

22. Anordning ifølge krav 21, k a r a k t e r i s e r t v e d at rørstrengsantennemodulen (4') omfatter en senderantennegruppe (2') med fortrinnsvis to dipol-senderantennener (2) anordnet hver på sin side av rørstrengsantennemodulen (4') ved en første posisjon langs rørstrengsantennemodulen (4'), en første retningsfølsom gruppe (8') med fortrinnsvis fire dipol-mottakerantennener (8) anordnet med jevn vinkelavstand omkring rørstrengsantennemodulen (4') ved en andre posisjon langs rørstrengsantennemodulen (4'),

en andre retningsfølsom gruppe (8') med fortrinnsvis fire dipol-mottakerantenner (8) anordnet med jevn vinkelavstand omkring rørstrengsantennemodulen (4') ved en tredje posisjon langs rørstrengsantennemodulen (4'), fortrinnsvis på motsatt side av senderantennegruppen (2') i forhold til den første retningsfølsomme gruppen (8').

23. Anordning ifølge krav 18,

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

at signalgeneratoren (22) er innrettet til generering av kontinuerlige elektriske signaler (25) til senderantennen for utsendelse av koherente kontinuerlige elektromagnetiske bølger ved et antall i forskjellige frekvenser (f_1, f_2, \dots, f_i) fra senderantennen (2).

24. Anordning ifølge krav 23,

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

en impedansreguleringsinnretning (23) innrettet til å tilpasse senderantennens (2) impedans til hver av de enkelte diskrete utsendte frekvenser (f_1, f_2, \dots, f_i), for maksimal effektutsendelse til den geologiske formasjonen (9).

25. Anordning ifølge et av de foregående krav 23 eller 24,

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

impedansreguleringsinnretninger (83) innrettet til å tilpasse mottakerantennenes ($8_1, 8_2, \dots, 8_n$) impedans til hver av de enkelte diskrete utsendte frekvenser (f_1, f_2, \dots, f_i) for maksimalt effektivt mottak av elektromagnetiske bølger ($85_1, 85_2, \dots, 85_n$).

26. Anordning ifølge krav 18,

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

kanselleringsinnretninger (28) innrettet til kansellering av direktebølger eller direktekoblede signal mellom senderantennen (2) og mottakerantennen (8).

27. Anordning ifølge krav 26,

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

differensialkobling mellom mottakerantenner (8), eventuelt differensialkobling mellom senderantennen (2) og mottakerantennen (8).

28. Anordning ifølge krav 18, karakterisert ved at elektronikksammenstillingen (20) befinner seg i umiddelbar nærhet av antennene (2, 8).

29. Anordning ifølge krav 22 eller 28, karakterisert ved rørstrengsantennemodulen (4') omfatter elektronikksammenstillingen (20).

30. Anordning ifølge krav 28 eller 29, karakterisert ved at elektronikksammenstillingen (20) ytterligere omfatter en adresse-enhet (55), en akkumulator- og ladeenhet (56), et minne (54) og en hvilemodus-enhet (57).

31. Anordning ifølge et av de foregående krav, karakterisert ved en fortrinnsvis elektrisk energiforsynings- og kommunikasjonslinje (7) anordnet mellom kommunikasjonsenheten (100) i elektronikksammenstillingen (20) og en styringsinnretning (200).

32. Anordning ifølge krav 31, karakterisert ved at styringsinnretningen (200) befinner seg ved havbunnen eller jordens overflate.

33. Anordning ifølge krav 22, karakterisert ved at signalbehandlingsinnretningene (82) for behandling av de mottatte signalene ($85_1, 85_2, \dots, 85_n$), er innrettet til å danne minst ett diskret Fourierfrekvensspektrum av minst to av parametrene amplitude $A(\omega)$, fase $f(\omega)$, amplitude av realdelen $Re(\omega)$, amplitude av imaginærdelen $Im(\omega)$, hvor ω omfatter i

det vesentlige de frekvenser (f_1, f_2, \dots, f_i) som ble utsendt fra senderantennen (2).

34. Anordning ifølge krav 26, karakterisert ved kansellering av direktebølger eller direktekoblede signal mellom senderantennen (2) ved hjelp av utsatt sampling ved mottakerantennen (8).

35. System for detektering av elektromagnetiske reflektorer dannet ved resistivitets- eller dielektriske kontraster i fluider i geologiske formasjon (9) omkring en produksjons- eller injeksjonsbrønn (1), karakterisert ved at det omfatter (k) en signalgenerator (22) for generering av kontinuerlige, koherente, elektriske signaler (25); til (l) minst én senderantenne (2) for utsendelse av kontinuerlige, koherente elektromagnetiske bølger (26) av en valgt frekvens (f), og innrettet til fast anbringelse utenfor rørstrengens (4) metalliske overflate, fiksert montert i forhold til formasjonen (9), (m) minst én, fortrinnsvis flere mottakerantenner (8) for de reflekterte elektromagnetiske bølger (26), hvor mottakerantennene er innrettet til anbringelse i samme brønn (1), utenfor rørstrengens (4) metalliske overflate, og innrettet til fast anbringelse fiksert montert i forhold til formasjonen (9), (n) mottakerinnretninger (80) for signaler ($85_1, 85_2, \dots, 85_n$) indusert i hver av mottakerantennene ($8_1, 8_2, \dots, 8_n$) som følge av gradienter i de elektriske egenskaper i både bergarter og fluider i formasjonen (9), (o) signalbehandlingsinnretninger (82) for behandling av de mottatte signaler ($85_1, 85_2, \dots, 85_n$), (p) kommunikasjonsinnretninger (100, 200) for utsendelse av signaler (105) som representerer de elektriske signaler ($85_1, 85_2, \dots, 85_n$), og for mottakelse av styresignaler (205).

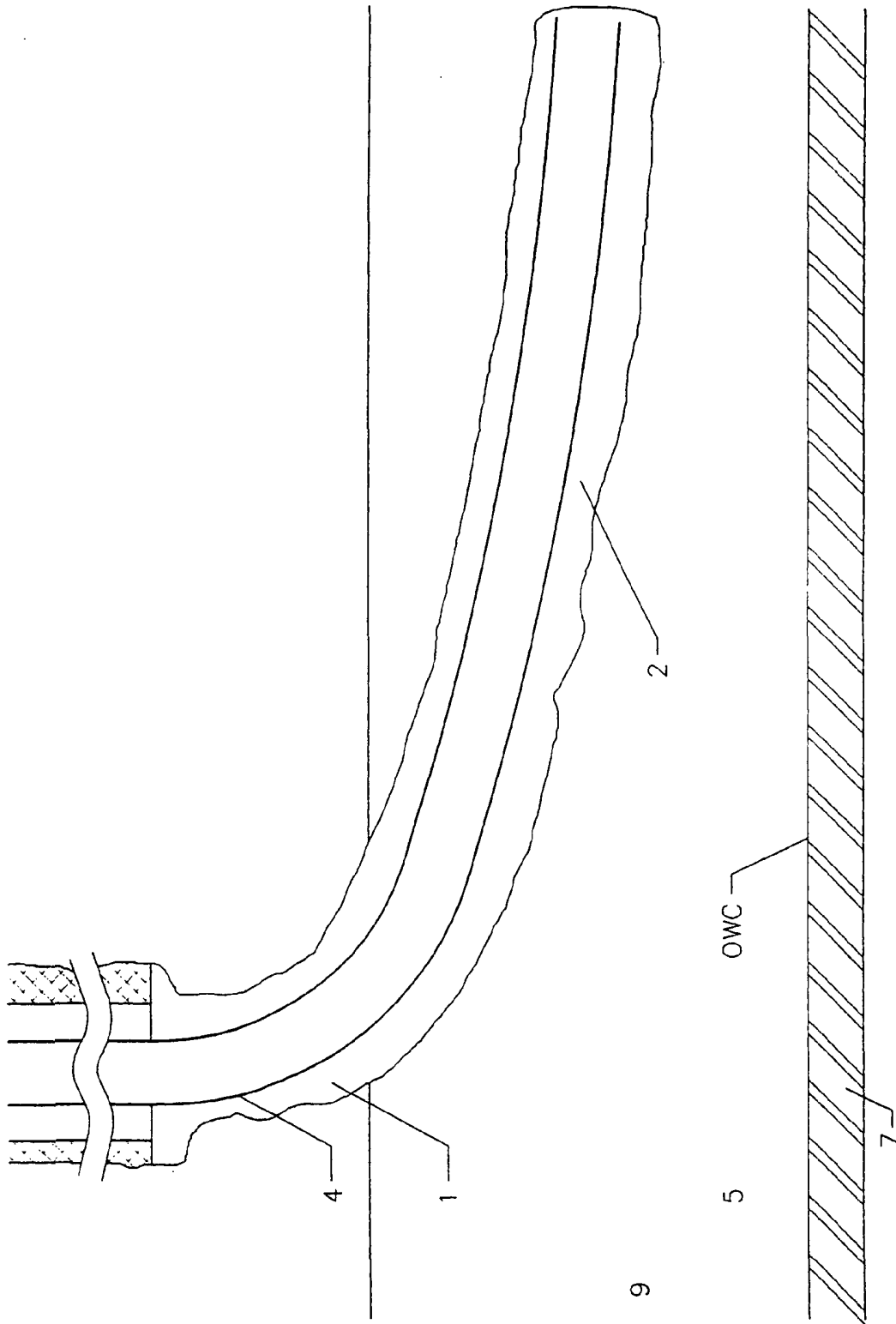


FIG. 1

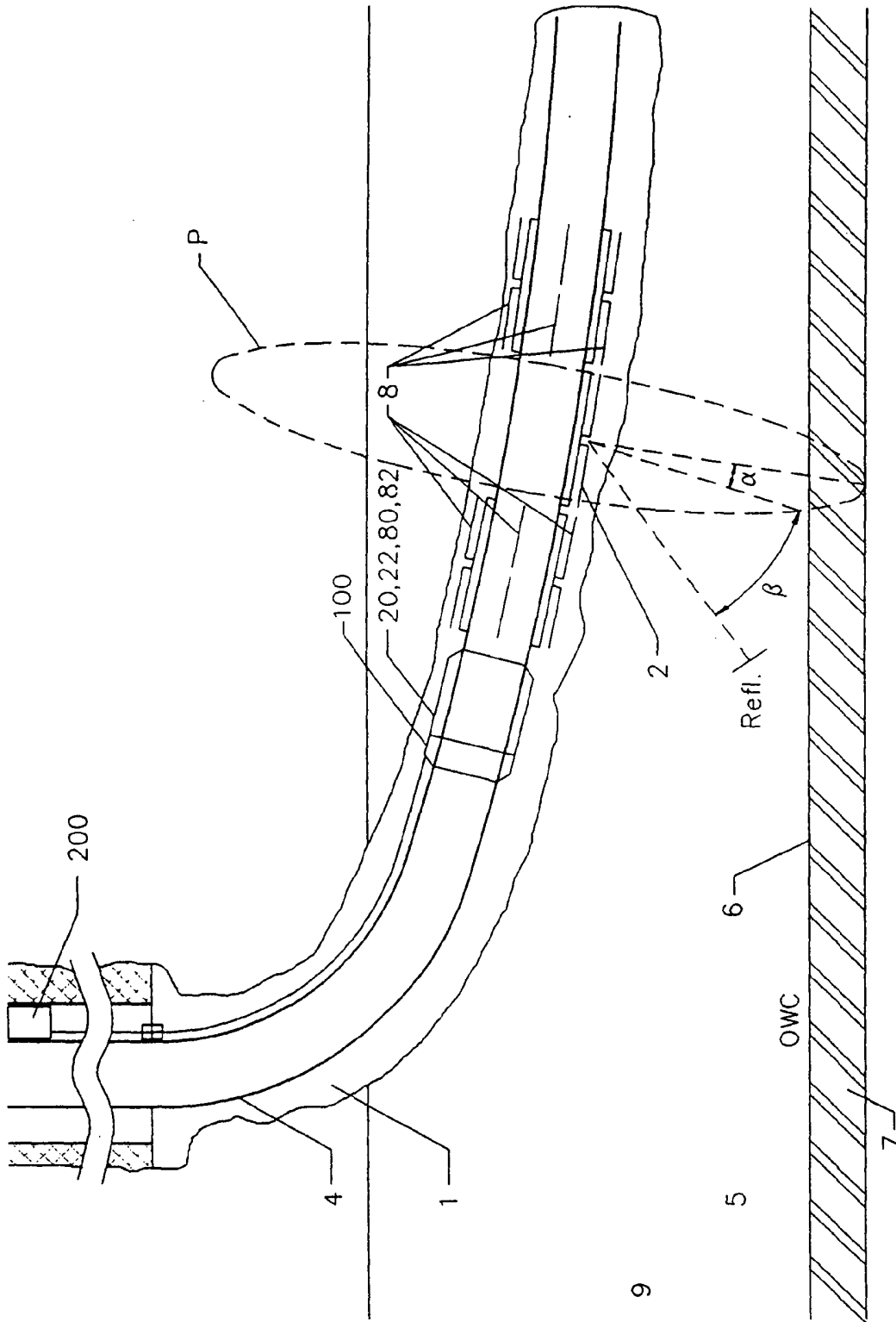
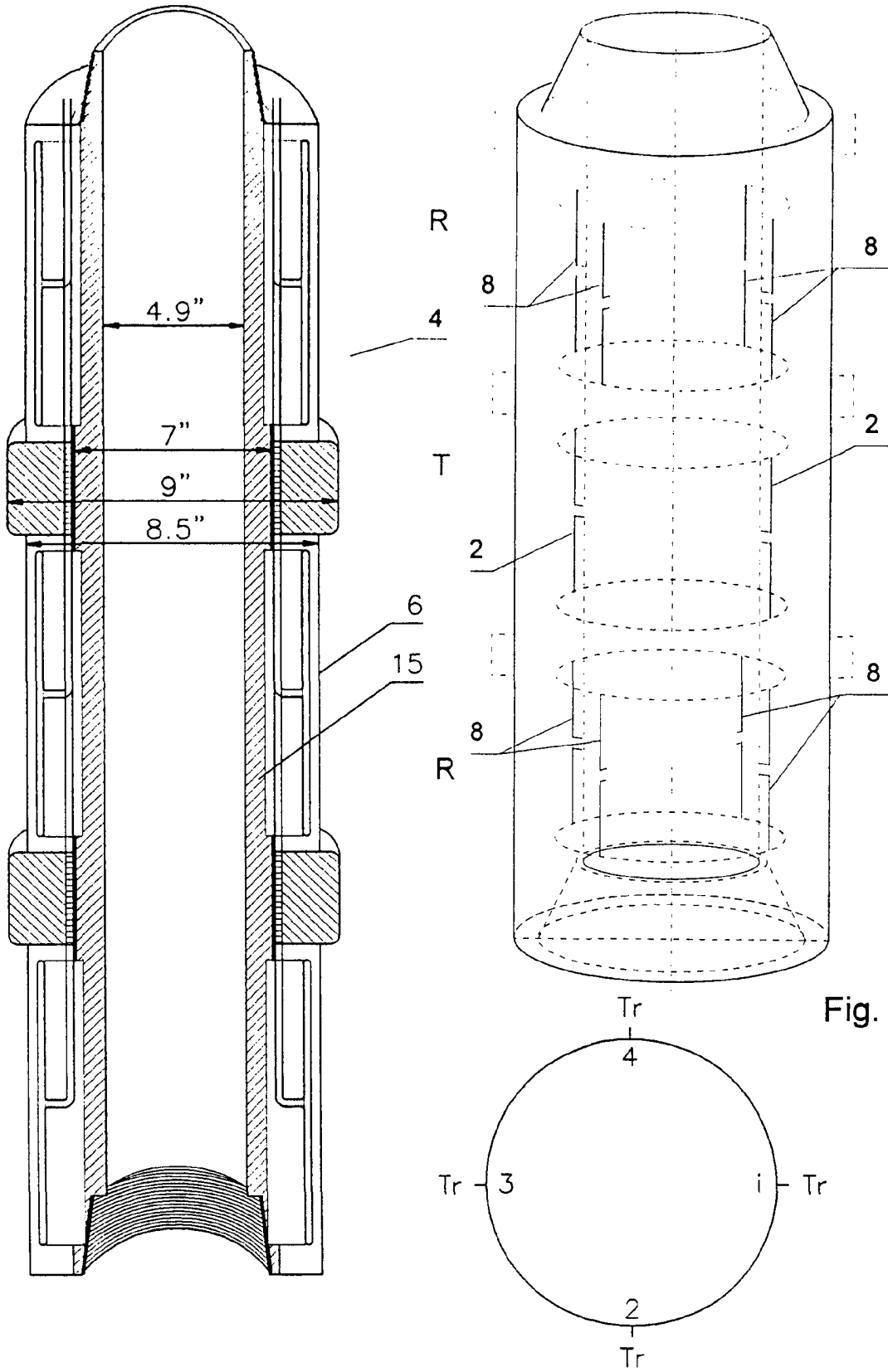


FIG. 2



R
4
T
6
15

8
8
2
2
8
8

Fig. 2c

FIG. 2b

Tr
4
Tr - 3
i - Tr
2
Tr

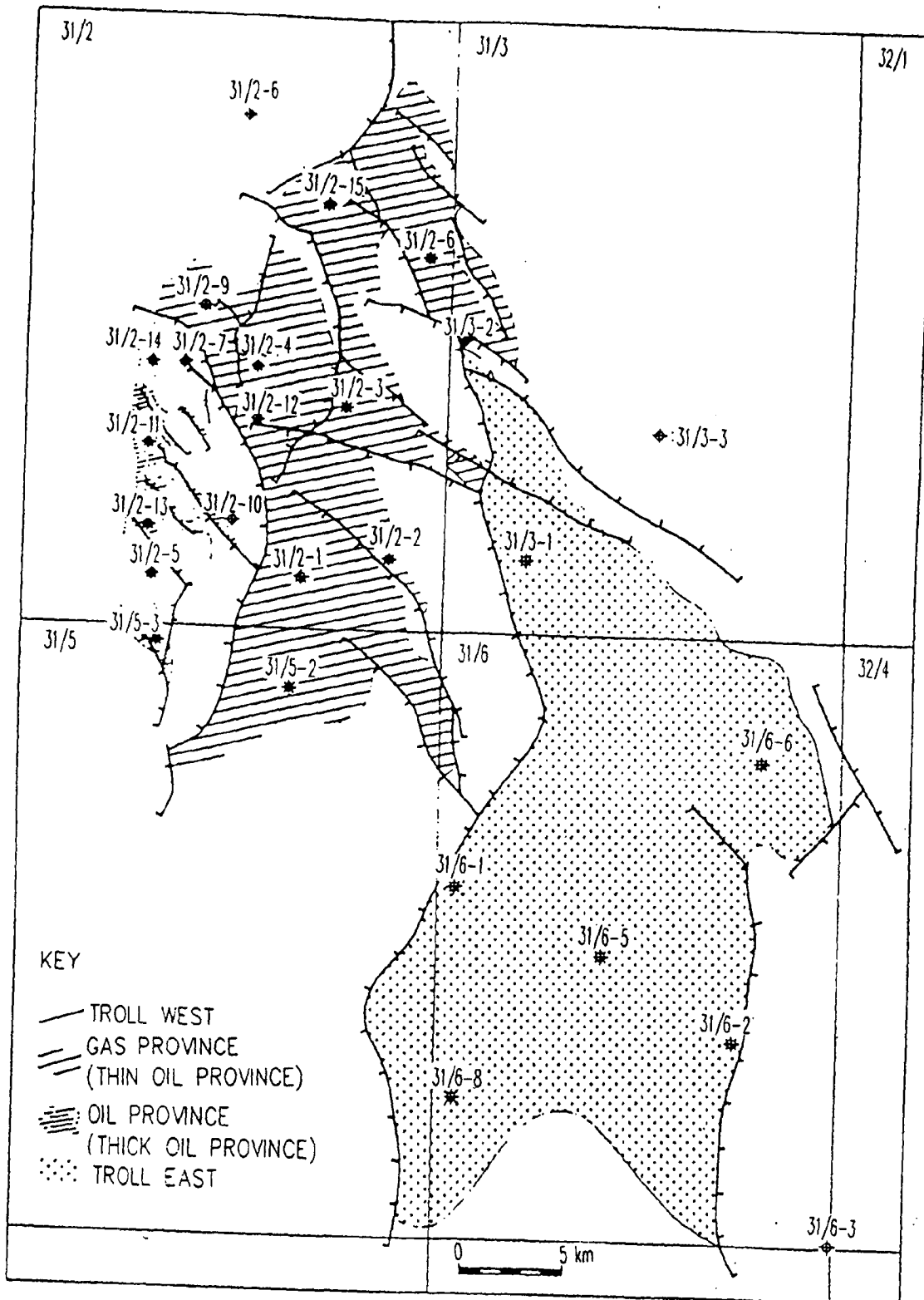


FIG. 3a

5/28

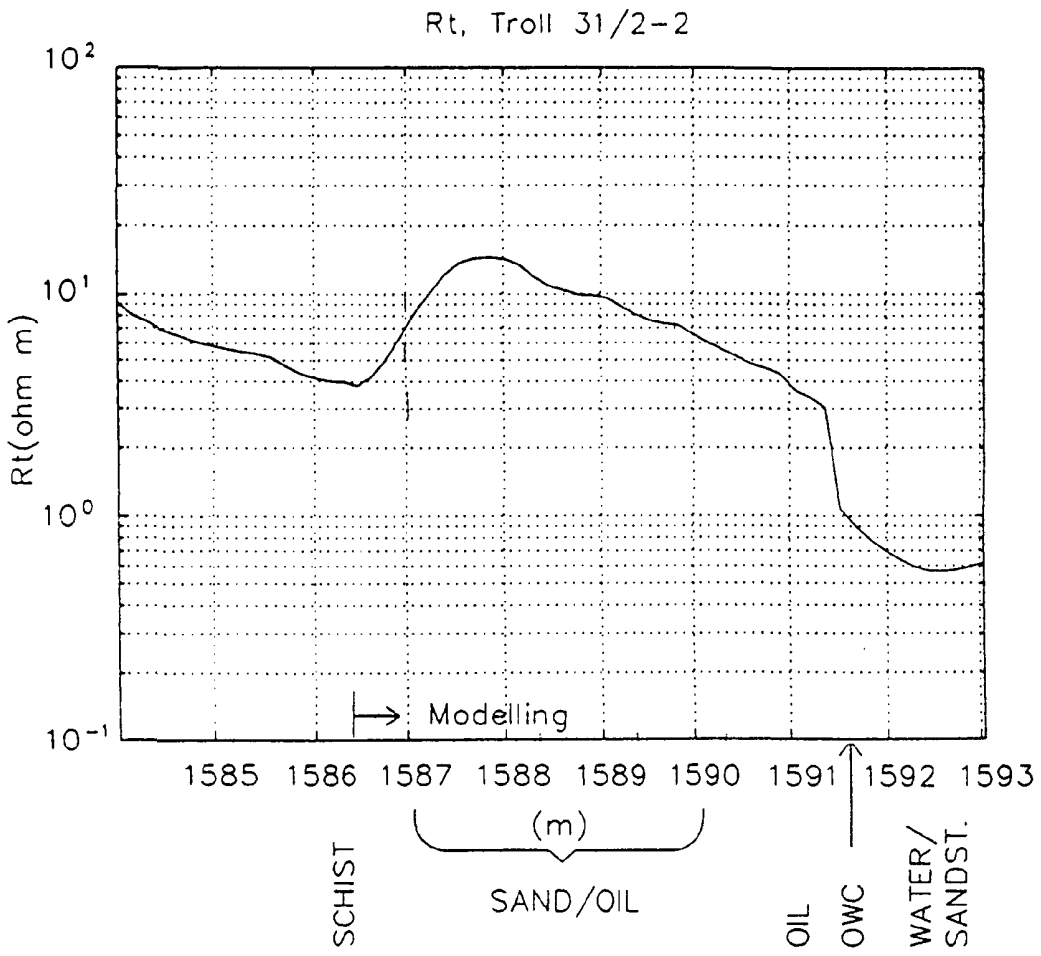


FIG. 3b

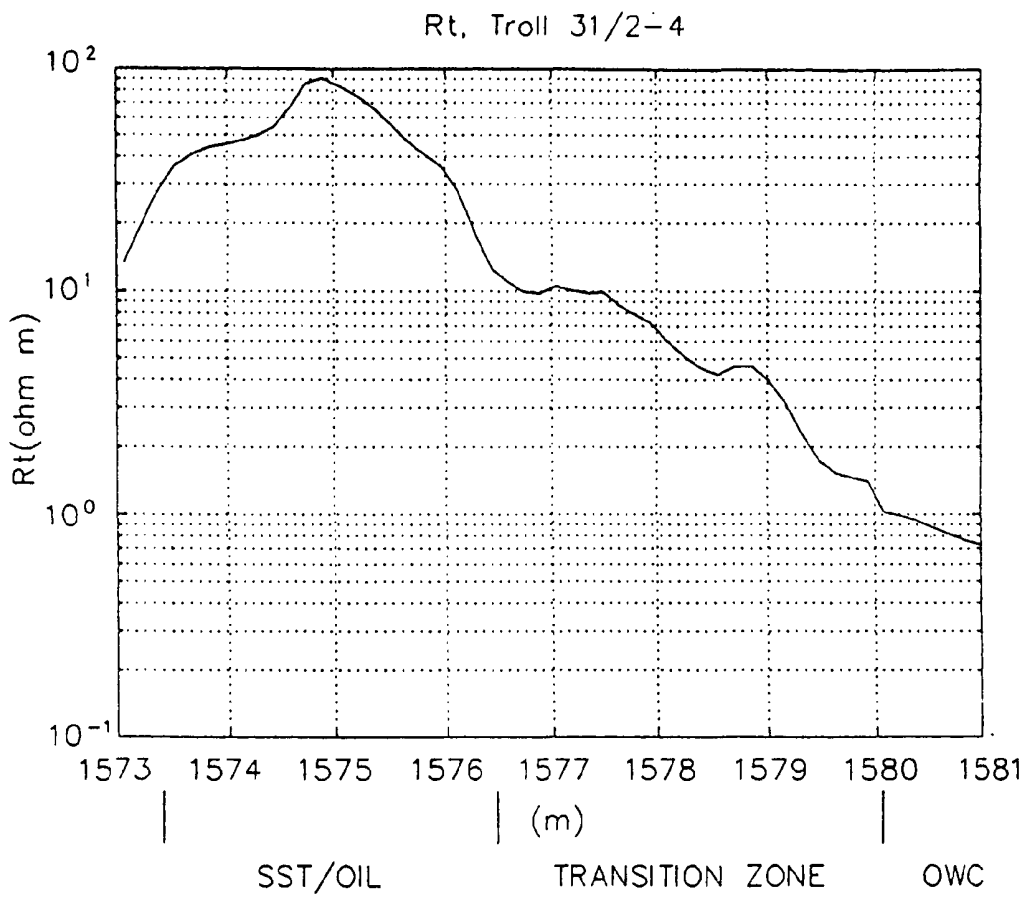


FIG. 3c

7/28

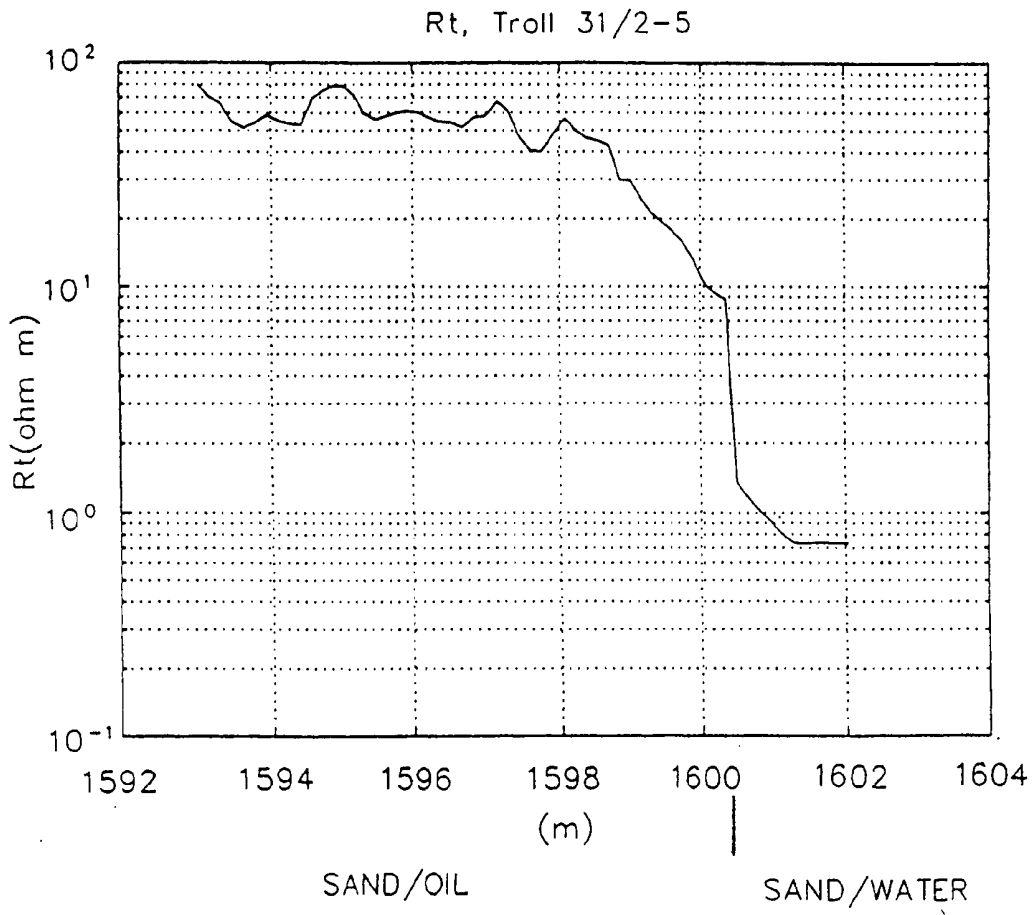


FIG. 3d

8/28

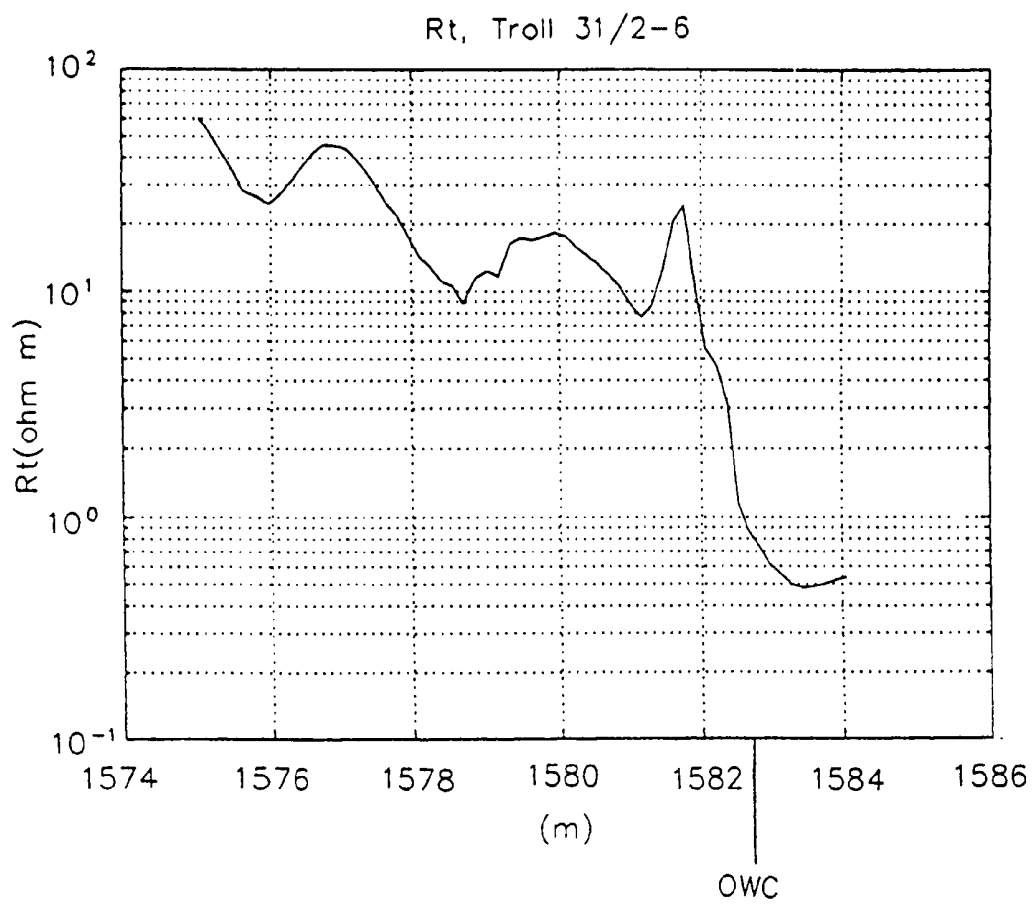


FIG. 3e

9/28

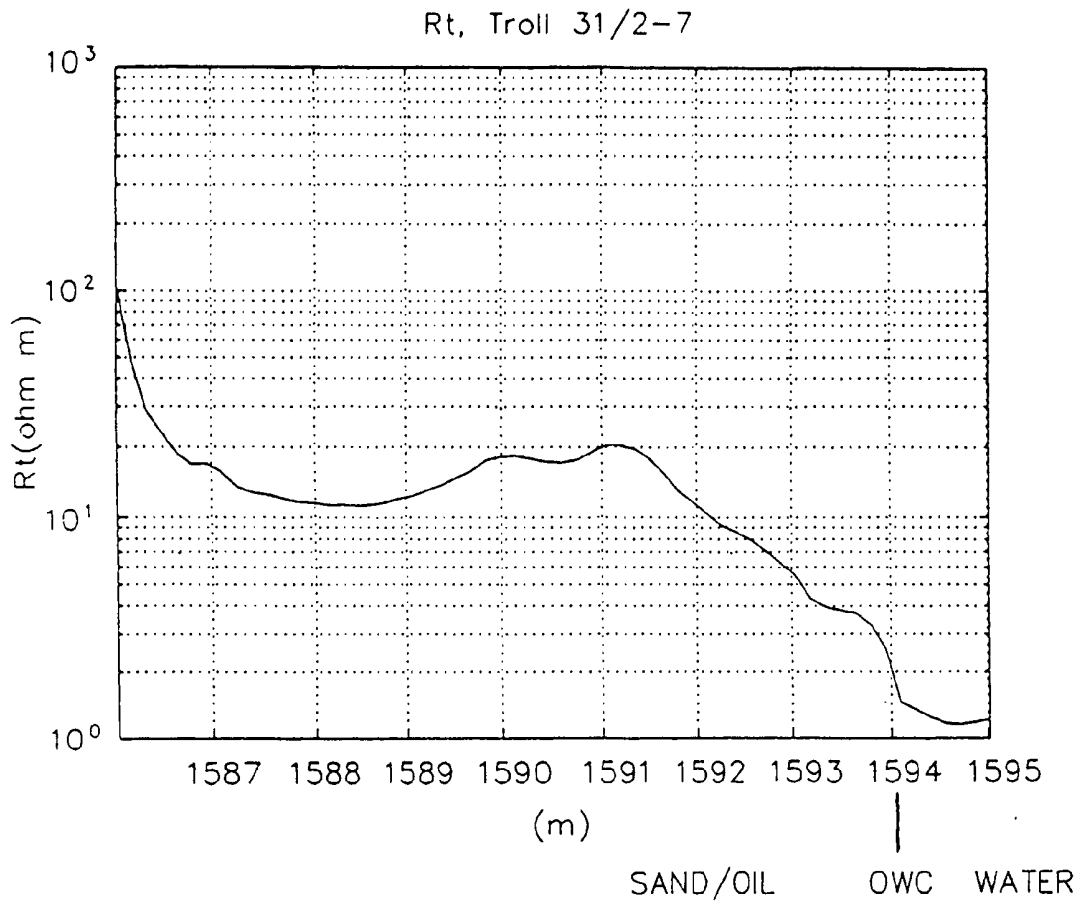


FIG. 3f

10/28

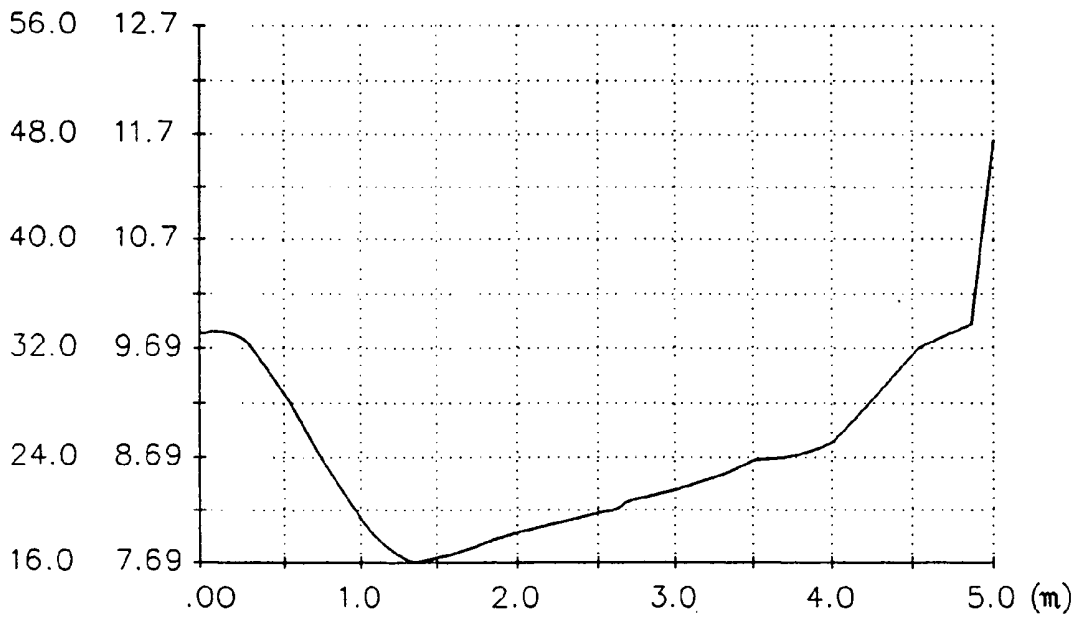


FIG. 4a

11/28

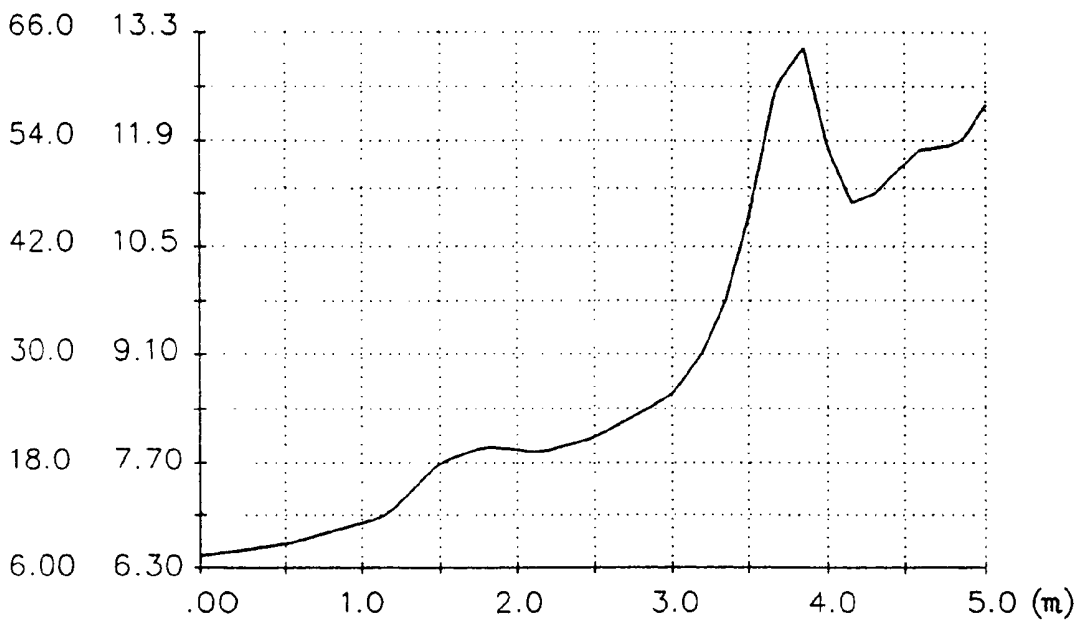


FIG. 4b

12/28

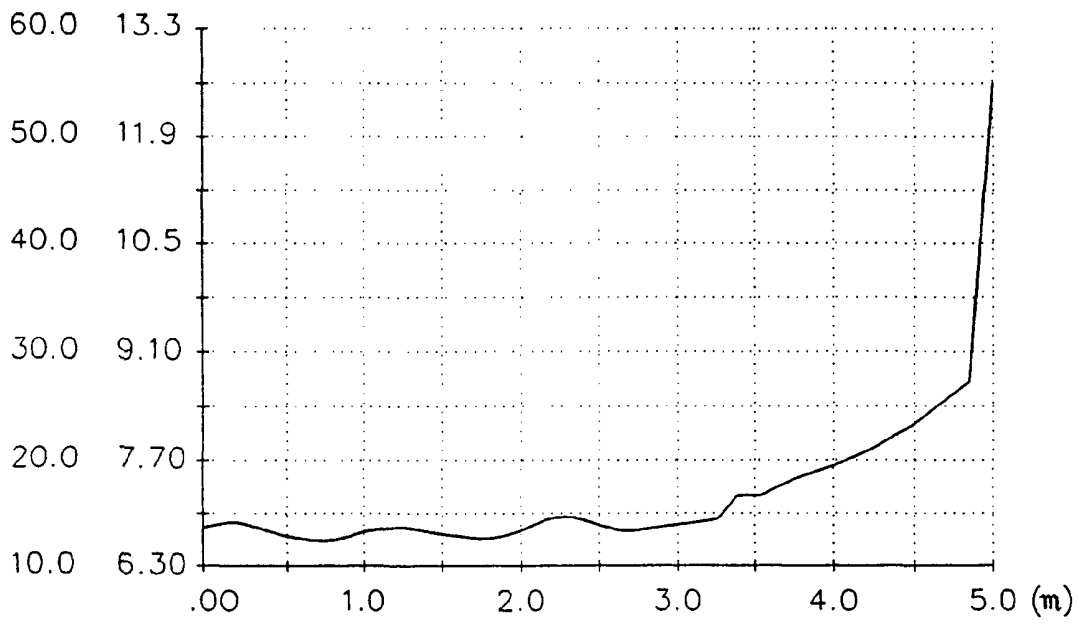


FIG. 4c

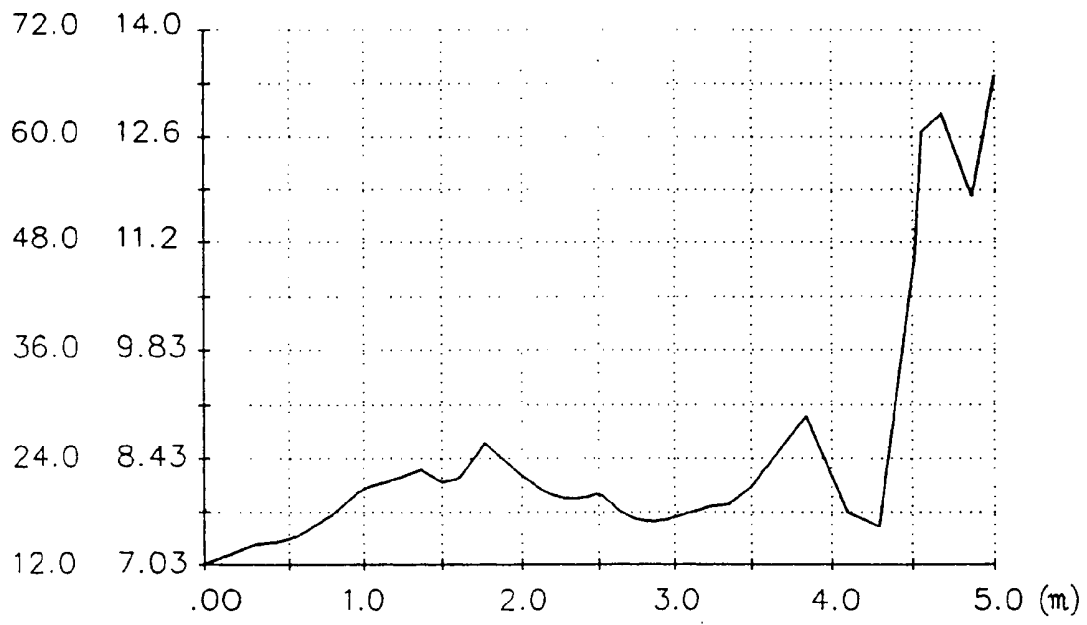


FIG. 4d

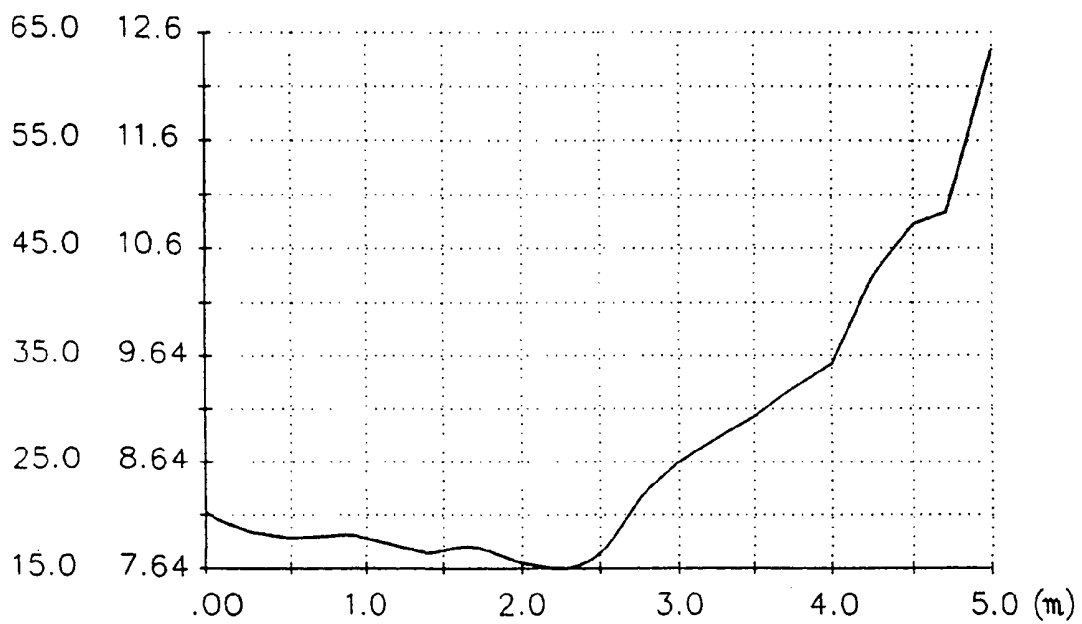


FIG. 4e

15/28

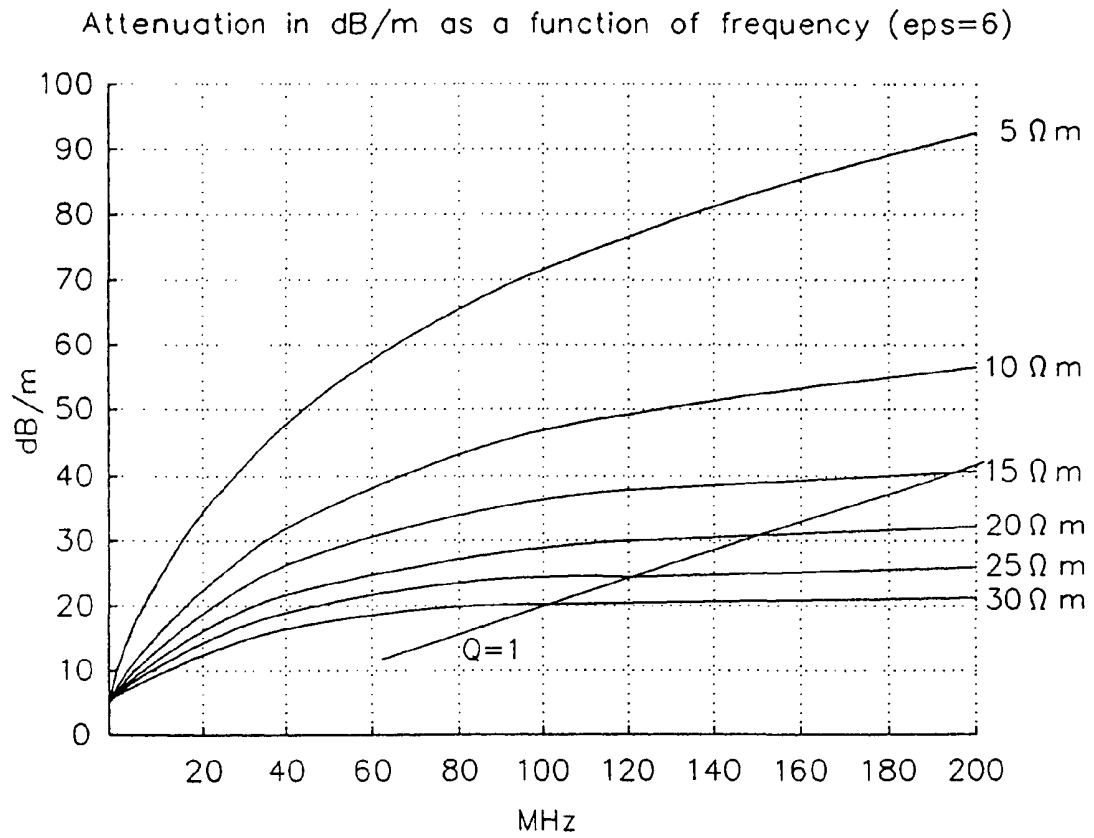


FIG. 5a

16/28

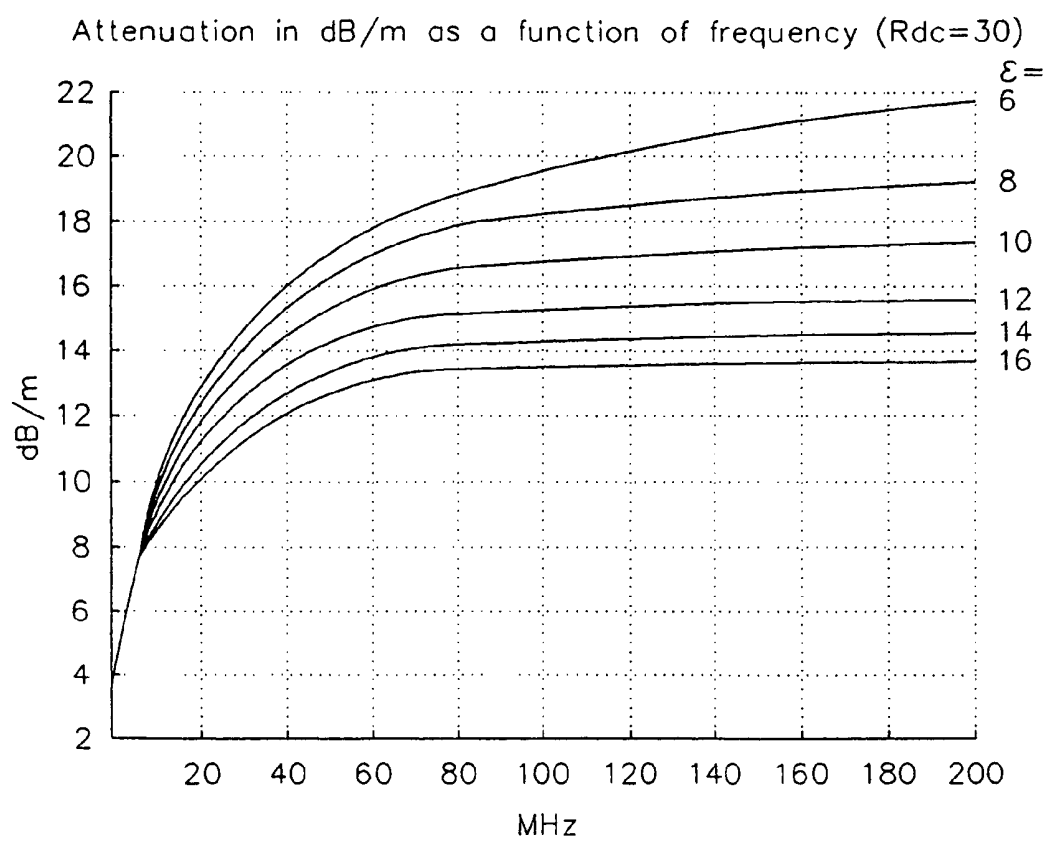


FIG. 5b

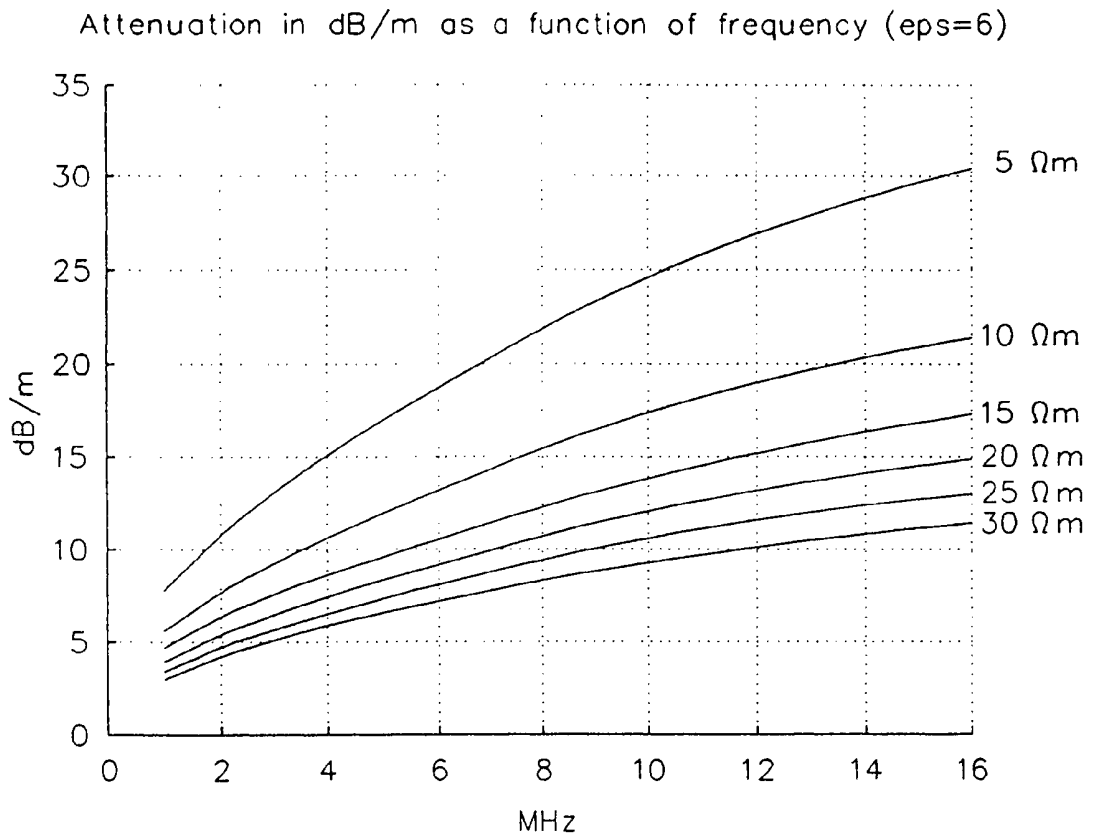


FIG. 5c

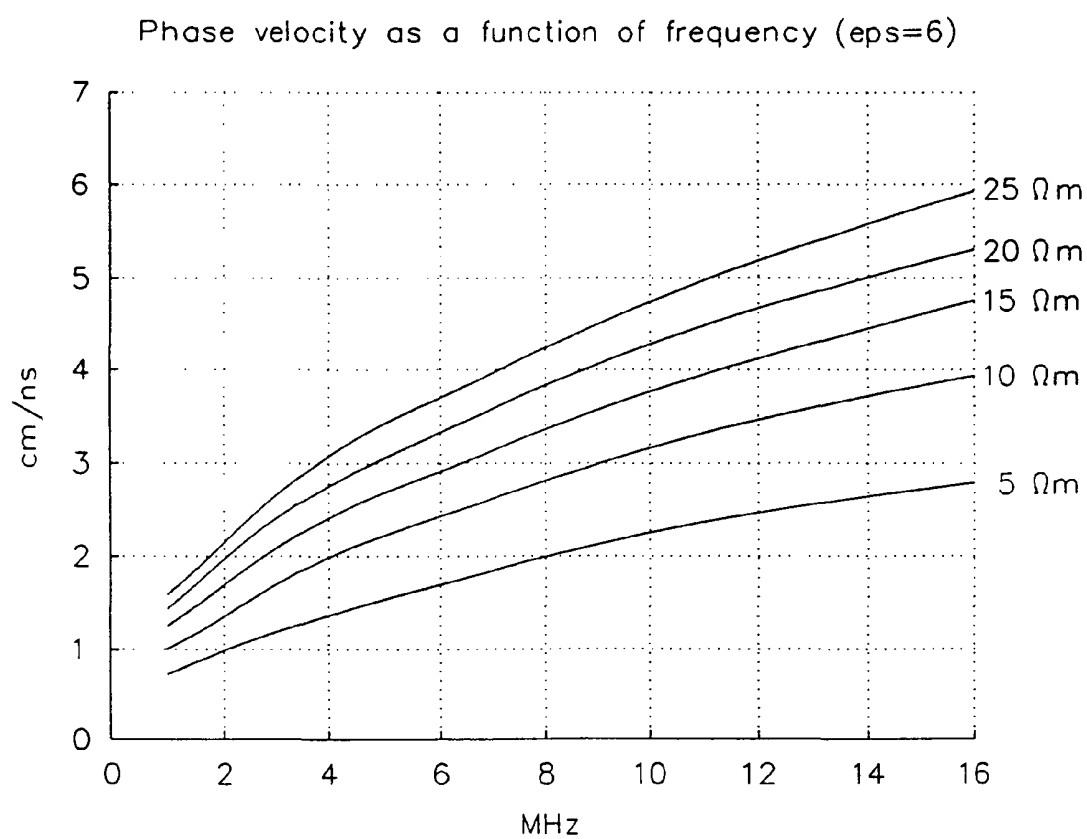


FIG. 5d

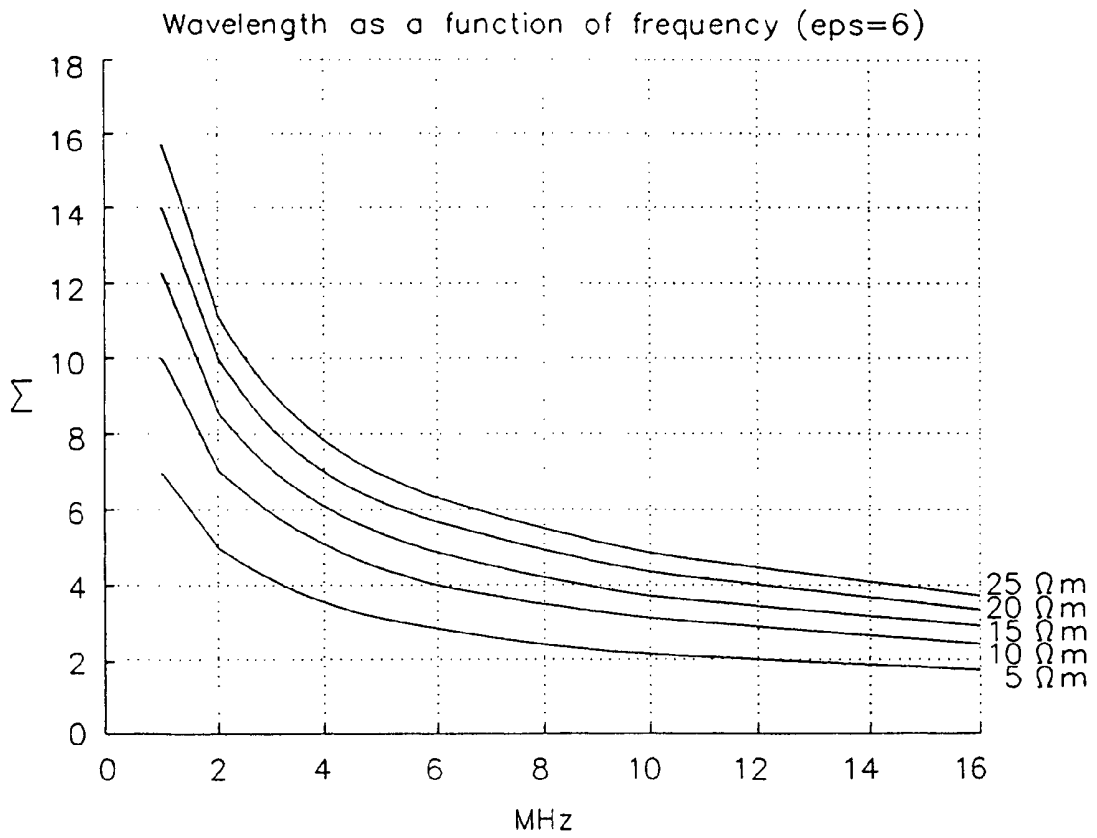


FIG. 5e

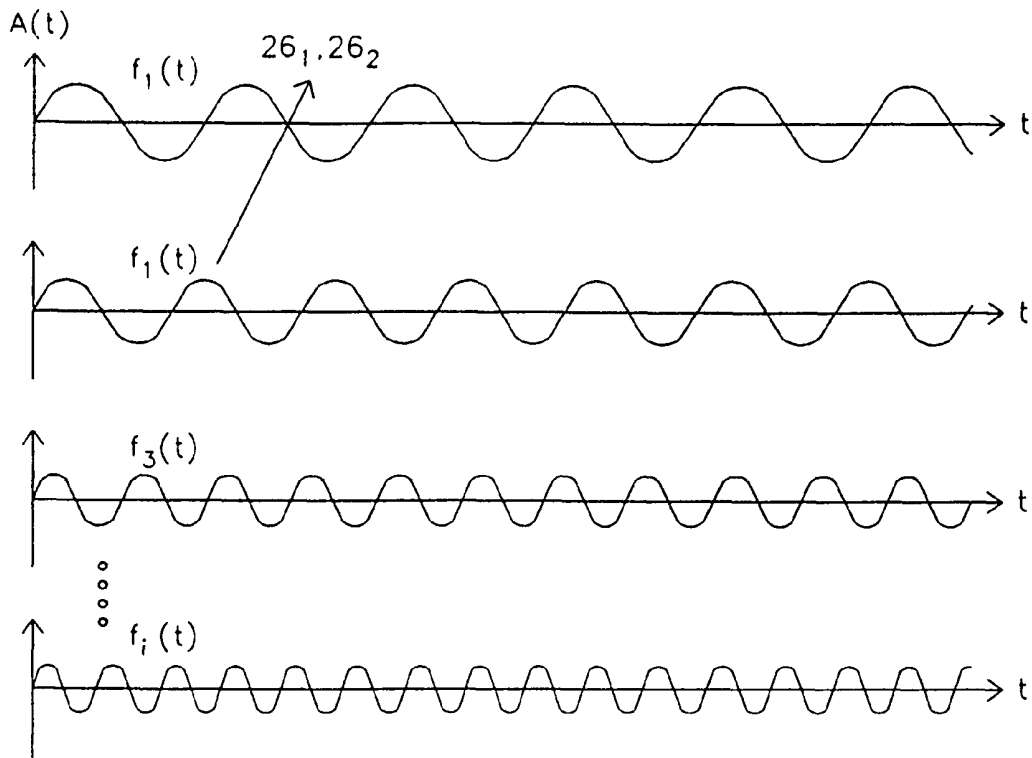


FIG. 6a

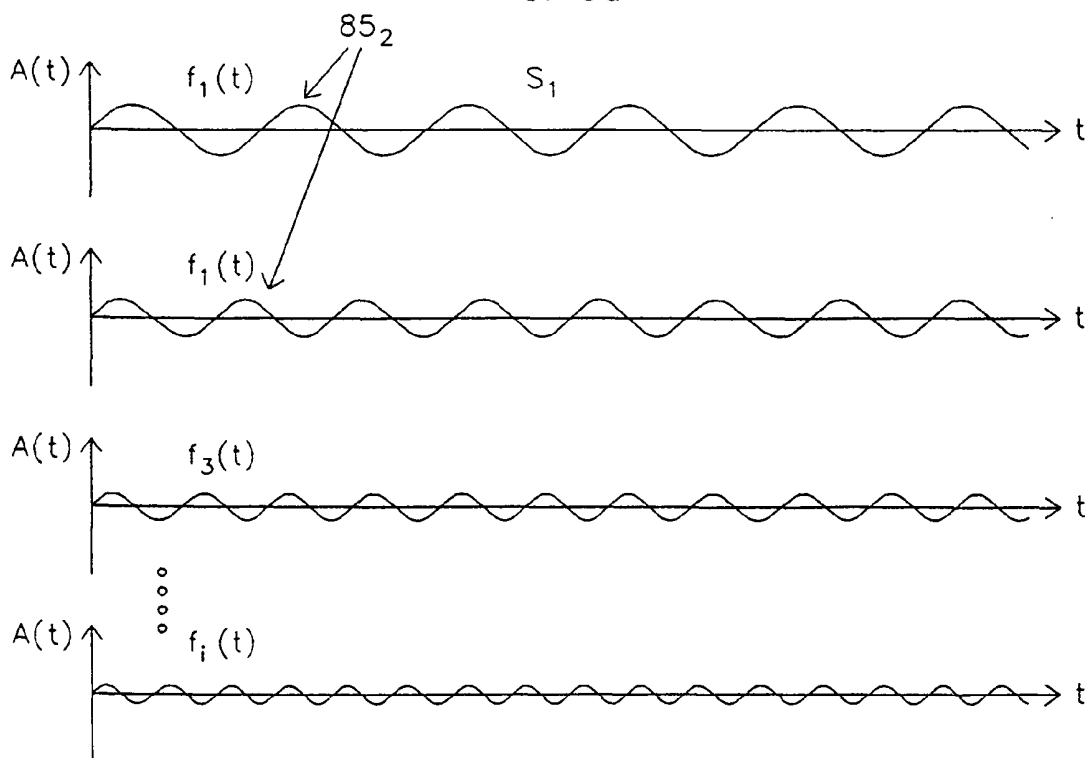


FIG. 6b

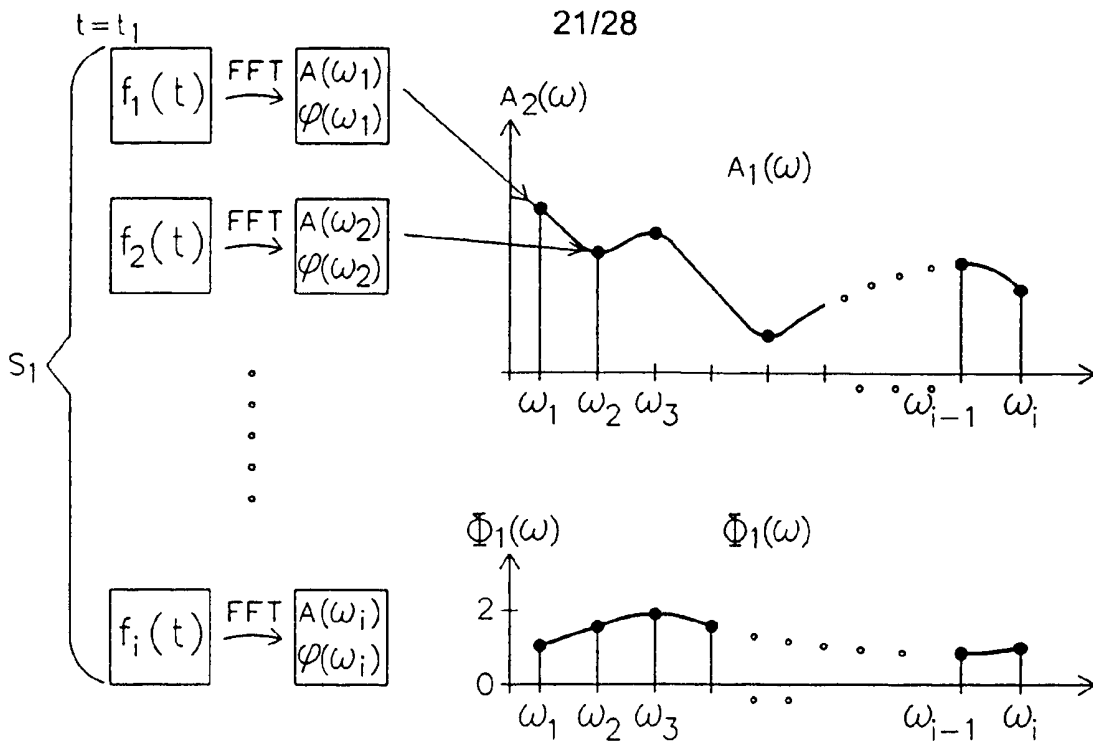


FIG. 6c

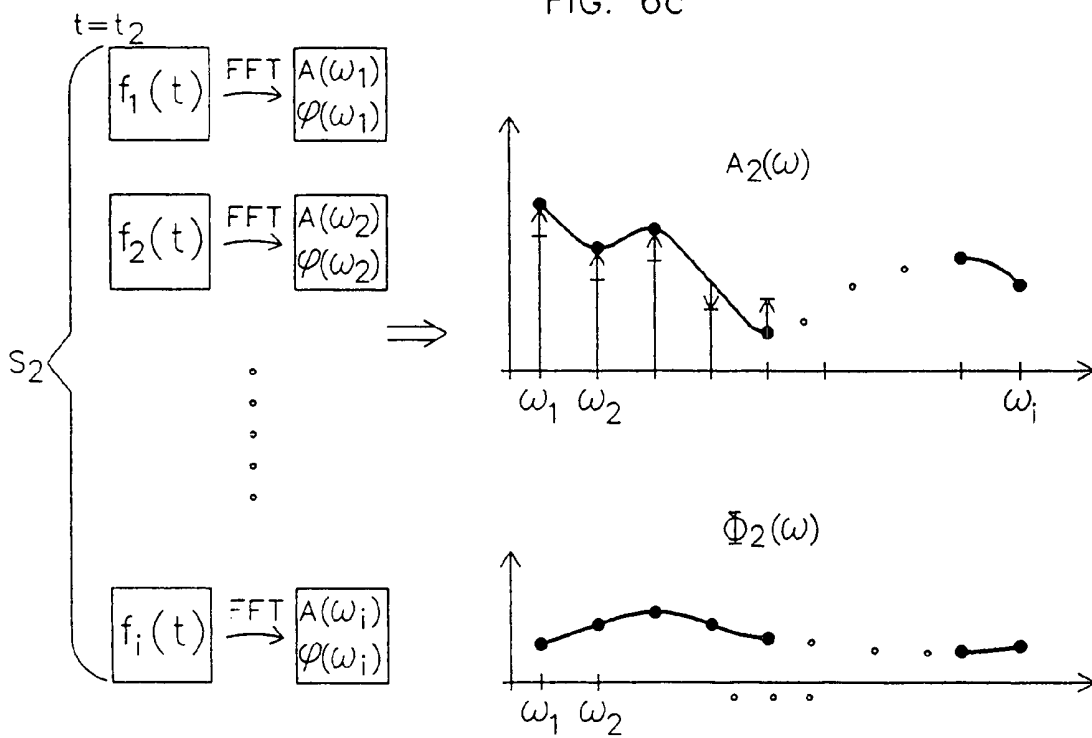


FIG. 6d

22/28

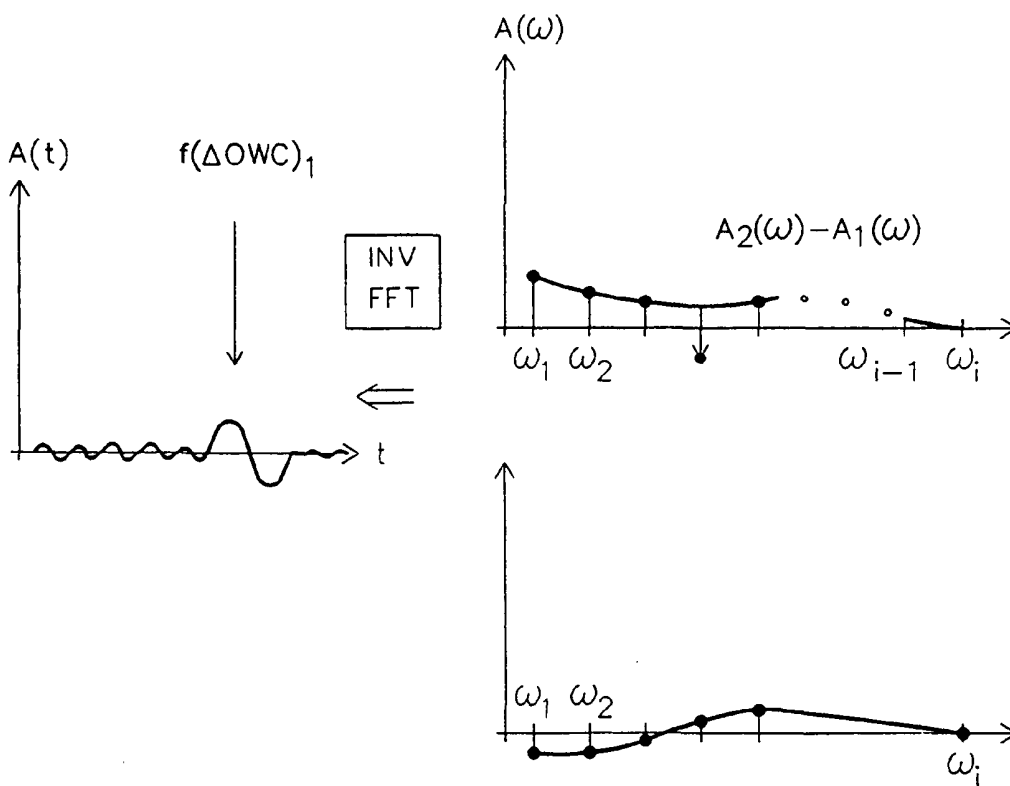


FIG. 6e

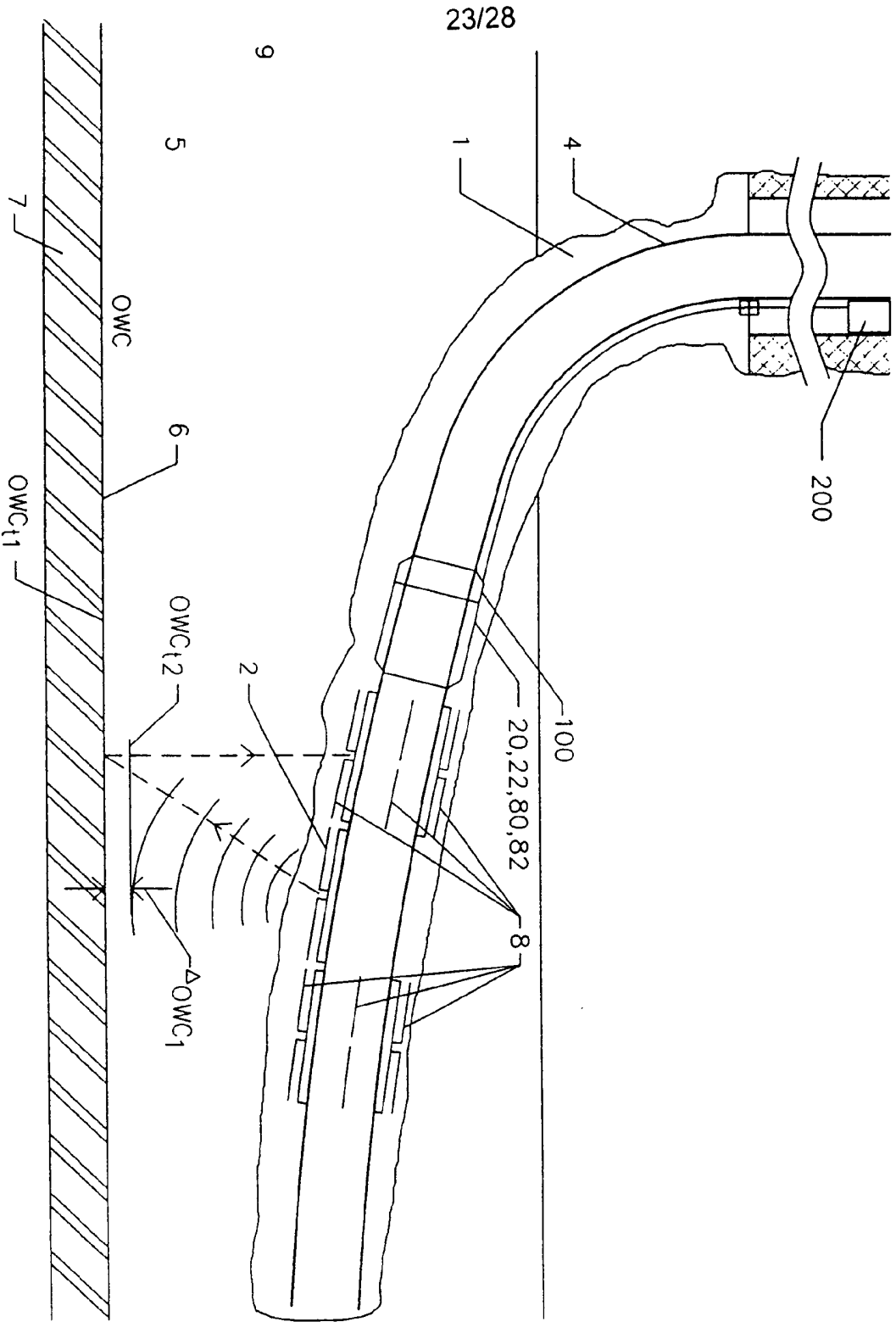


FIG. 7

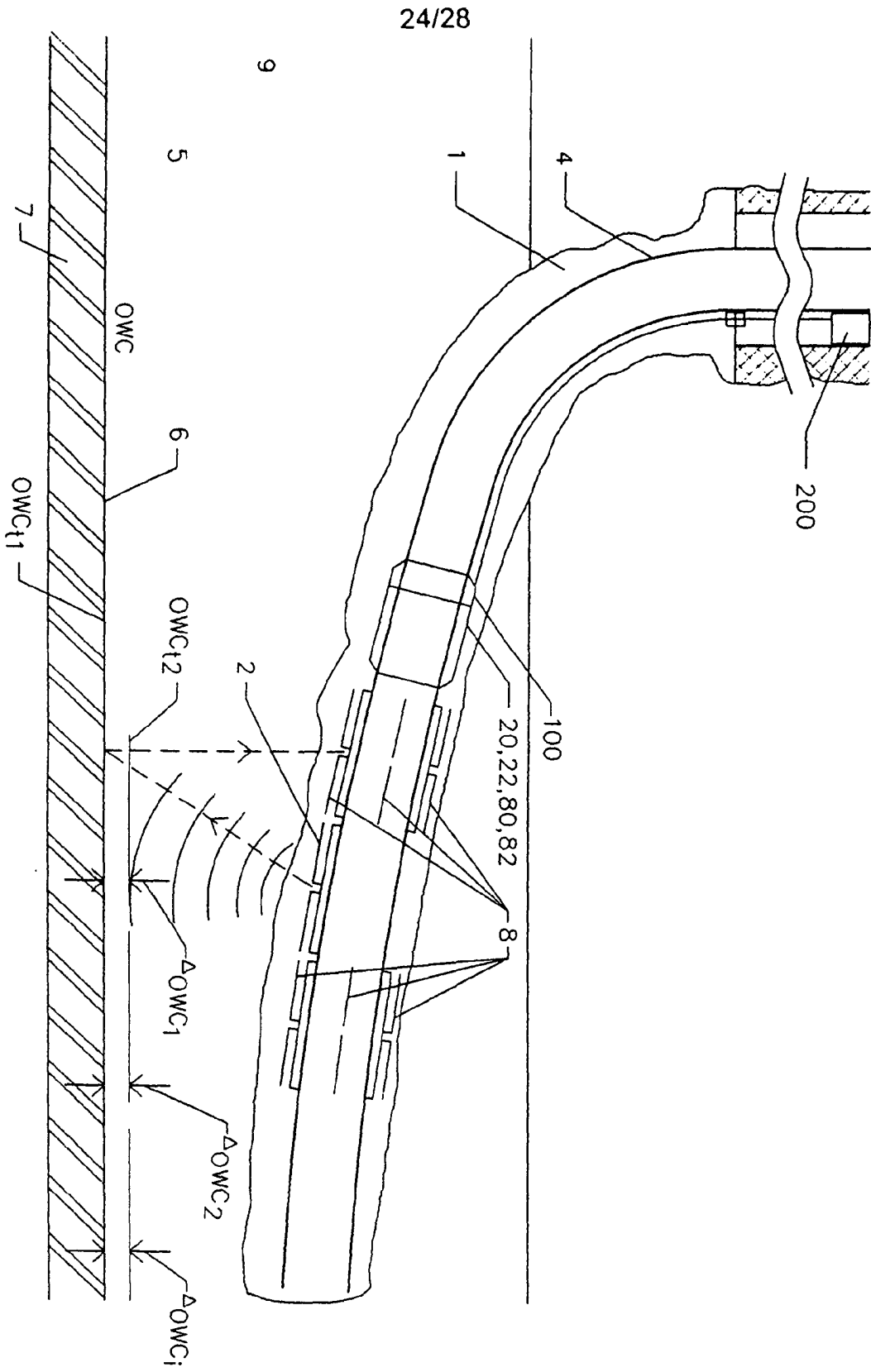


FIG. 8

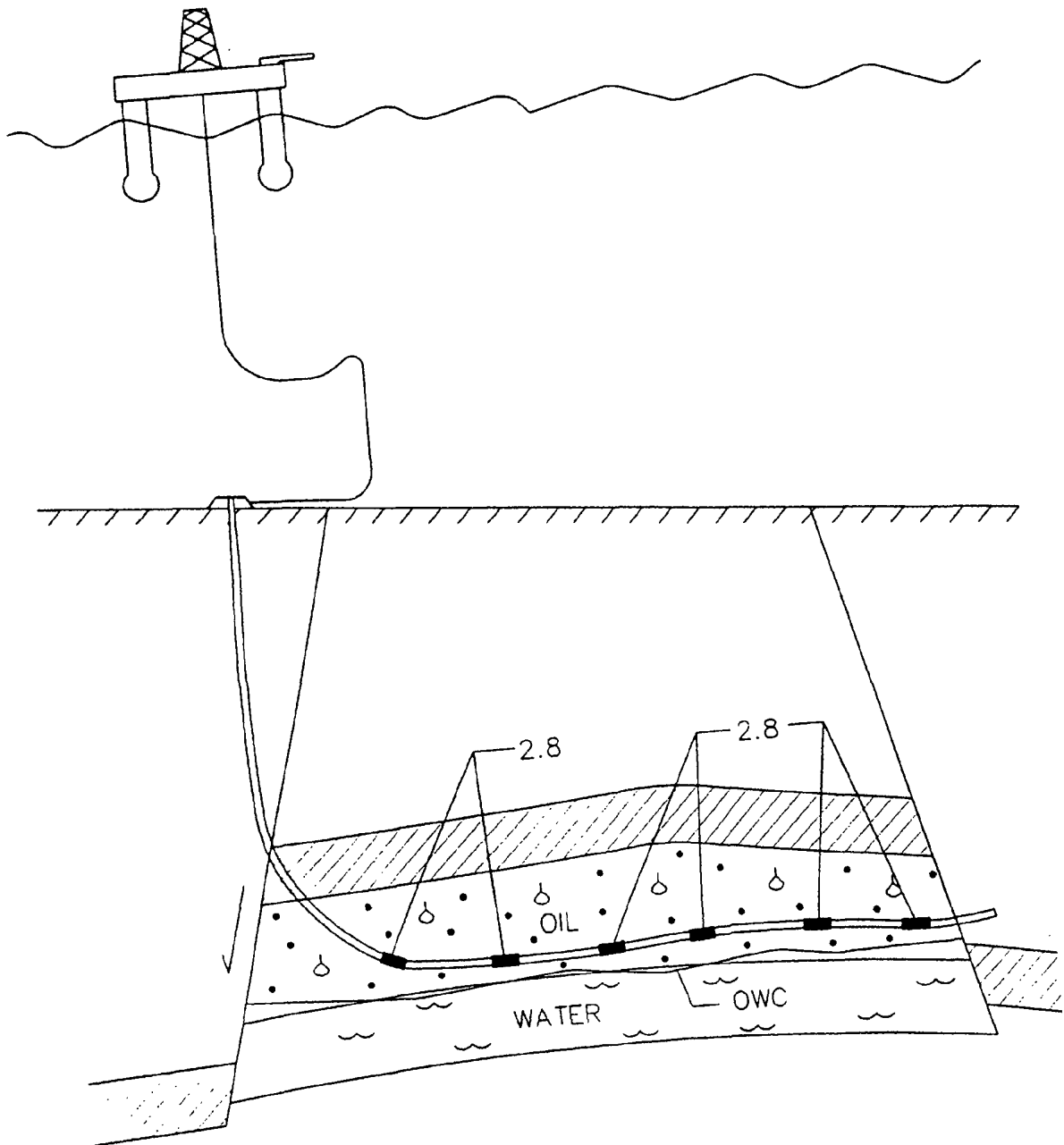


FIG. 9

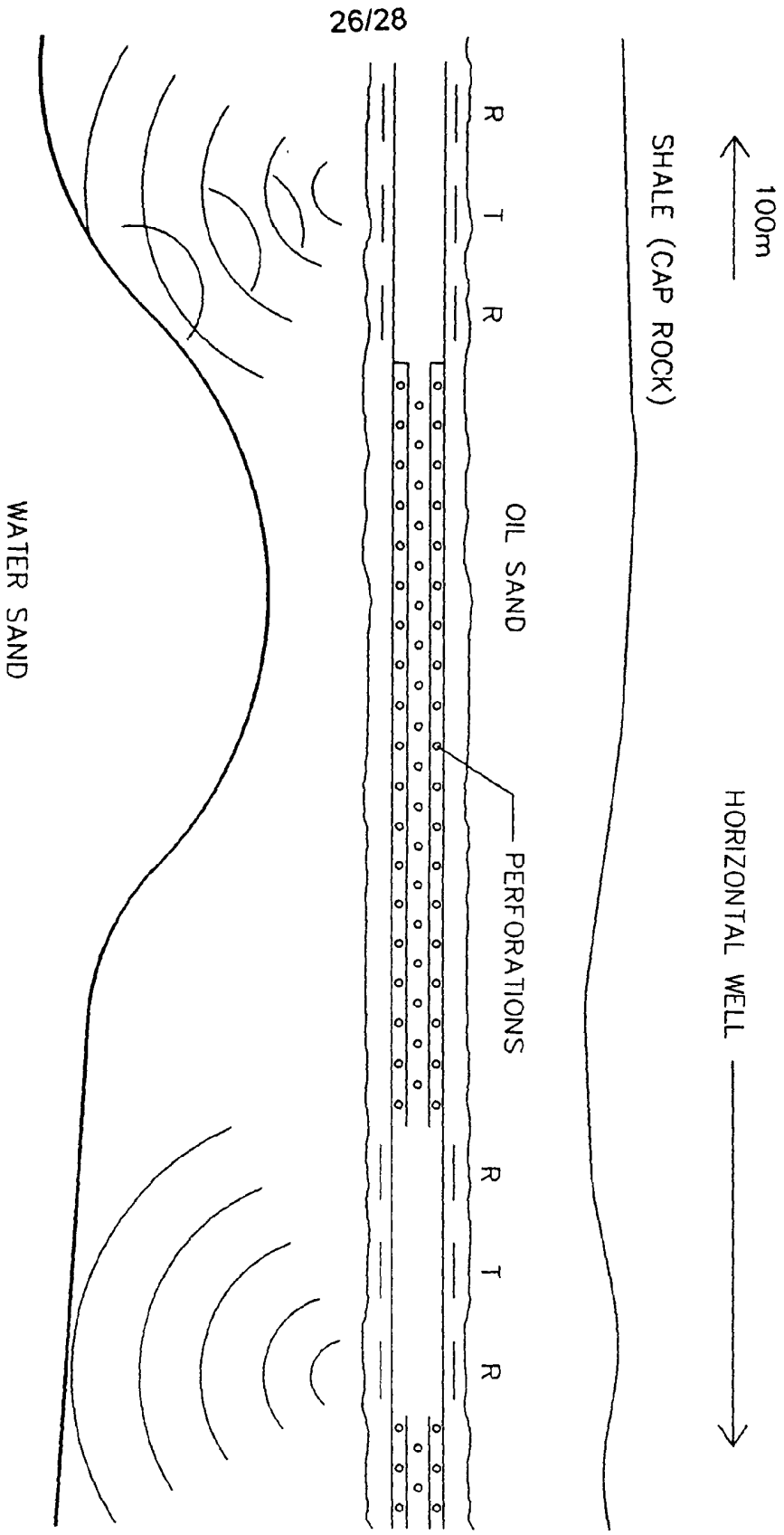
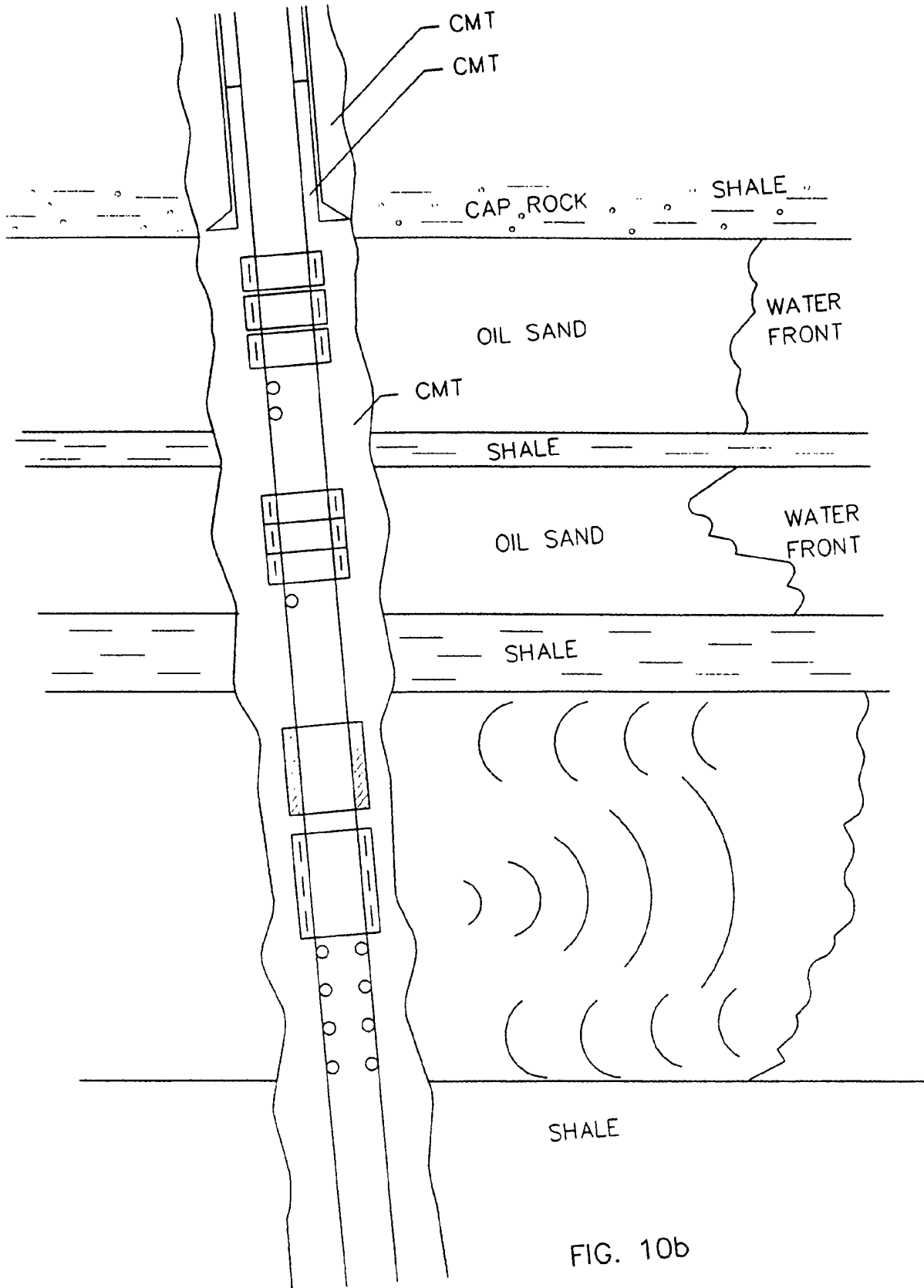


FIG. 10



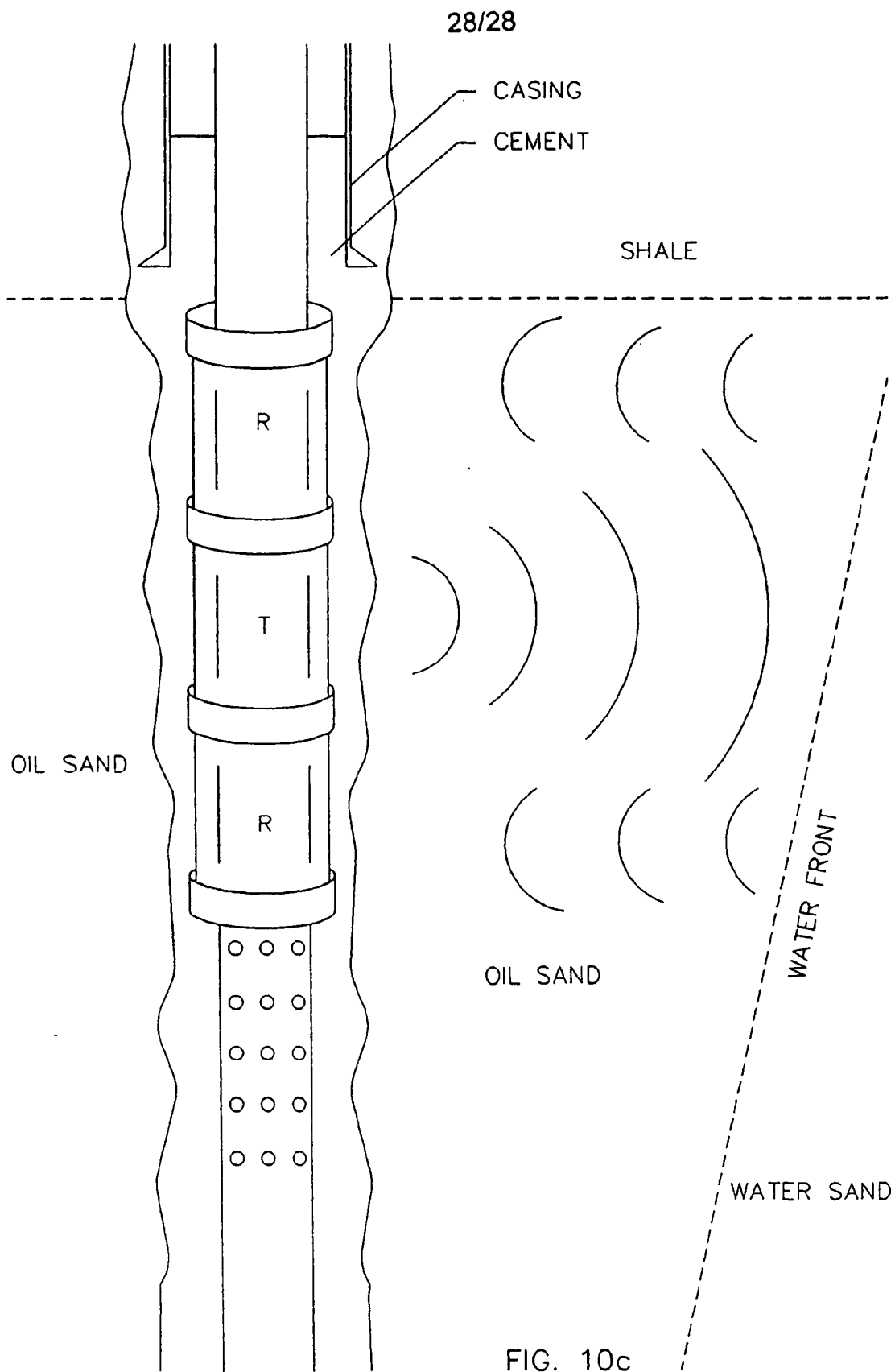


FIG. 10c