



NORGE

[NO]

**STYRET
FOR DET INDUSTRIELLE
RETTSVERN**

[B] (11) UTLEGNINGSSKRIFT Nr. 142689

(51) Int. Cl.³ G 01 V 3/12, G 01 V 3/18

(21) Patentsøknad nr. 742893
(22) Inngitt 12.08.74
(23) Løpedag 12.08.74

(41) Alment tilgjengelig fra 28.02.75
(44) Søknaden utlagt, utlegningsskrift utgitt 16.06.80

(30) Prioritet begjært 27.08.73, USA, nr. 391898, 391899, 391900

(54) Oppfinnelsens benevnelse Fremgangsmåte til å bestemme motstandsevne og dielektrisitetskonstant for materialer som omgir et borehull.

(71)(73) Søker/Patenthaver TEXACO DEVELOPMENT CORPORATION,
135 East 42nd Street,
New York, NY 10017,
USA.

(72) Oppfinner RICHARD ALLEN MEADOR, Houston, TX,
RICHARD HARRISON ARNOLD, Sugarland, TX,
HANS JUERGEN PAAP, Houston, TX,
LARRY WAYNE THOMPSON, Houston, TX,
USA.

(74) Fullmektig Bryns Patentkontor A/S, Oslo.

(56) Anførte publikasjoner USA (US) patent nr. 2139460, 2900595, 3259837,
3551797

Oppfinnelsen angår en fremgangsmåte til å bestemme motstandsevne og dielektrisitetskonstant for materialer som omgir et borehull, omfattende frembringelse av et første og andre elektromagnetisk vekselfelt i borehullet av forskjellig frekvens, detektering av spenningsamplitudene av det totale elektromagnetiske felt ved de to frekvenser på et sted i borehullet i aksial avstand fra stedet for frembringelsen av feltene, utledning fra de detekterte amplitudesignaler som representerer motstandsevnen og dielektrisitetskonstanten for materialene, gjentatt frembringelse, detektering og utledning i forskjellige dybder i borehullet, og registrering av de utledede signaler som funksjon av borehulldybden.

I mange år har det vært vanlig praksis å undersøke elektriske egenskaper i jordformasjonen i nærheten av borehull for å bestemme beliggenheten av oljeinnholdende lag. Dette er tidligere utført ved anvendelse av elektriske motstandsmålinger i borehullet ved hjelp av godt ledende borevæske og anvendelse av induksjonsmåler i borehull som er boret med boreslam på oljebasis eller borevæske med stor motstandsevne. Ved vanlig motstandsmåler anvendes en strømemitterende elektrode eller elektrodeenhet som er innrettet for å fokusere den emitterte strøm og hvor det enten anvendes likestrøm eller vekselstrøm med meget lav frekvens, f.eks. 60 Hz, som sendes inn i jordformasjonen som omgir borehullet ved hjelp av kontaktelektroder. Denne strøm går gjennom et avsnitt av jordformasjonen og detekteres på en elektrode som er anbragt i avstand fra den strømemitterende elektrode. Størrelsen av den detekterte strøm kan da gi en indikasjon på motstanden i jordformasjonen som omgir borehullet. I noen tilfeller anvendes strømelektroder i forbindelse med spenningsmålingselektrode for å bestemme motstanden i jordformasjonen.

Ved undersøkelser med elektrisk induksjon har det vært vanlig praksis å anvende en undersøkelsessonde med en sendespole, en sendespoleenhet på sonden og en mottagerspole eller mottakerspoleenhet i en avstand fra sonden. Vanligvis blir en høyfrekvent vekselstrøm sendt gjennom sendespolen (vanligvis med en frekvens på ca. 20 kHz). Det resulterende elektriske felt i jordformasjonen som omgir borehullet detekteres i den i avstand beliggende mottagerspole ved måling av de induserte strømmen eller spenninger i mottagerspolen.

Ved begge disse kjente typer for måling av motstands- evne (eller ledningsevne) utnyttes det faktum at en jordformasjon har porer som er fylt med hydrokarbonmolekyler som utøver høyere motstand enn jordformasjon med porer som er fylt enten med saltvann eller en ledende væske.

Forskjellige problemer oppstår ved anvendelse av disse kjente undersøkelser i borehull, hvor det opptrer ferskvann (praktisk talt ikke ledende hvis det inneholder mindre enn 1% natriumklorid). Slikt ferskvann som inneholder sand eller jordformasjoner har stor spesifikk motstand (liten ledningsevne) i likhet med formasjoner som inneholder hydrokarbon. I disse tilfeller er det vanskelig hvis ikke umulig på basis av motstands- eller induksjonsmåling alene å bestemme om jordformasjonene inneholder ferskvann eller hydrokarbon. Det vil derfor være meget fordelaktig å kunne tilveiebringe en fremgangsmåte til og et apparat for undersøkelse av borehull basert på en enkel måling av noen av de fysiske egenskaper ved jordformasjonene i nærheten av borehullet for å kunne skille mellom jordformasjoner som inneholder ferskvann og jordformasjoner som inneholder hydrokarbon.

Hensikten med oppfinnelsen er derfor å tilveiebringe en fremgangsmåte av den innledningsvis nevnte art som bedre enn på tidligere kjent måte muliggjør å skille jordformasjoner som omgir borehull og som inneholder ferskvann fra jordformasjoner som inneholder hydrokarboner.

Dette oppnås ifølge oppfinnelsen ved at det første elektromagnetiske felt frembringes med en høyfrekvens i området 10-20 MHz, og det andre elektromagnetiske felt frembringes med en høyfrekvens i området 20-40 MHz, idet det andre felts frekvens ikke er et helt multiplum av det første felts frekvens.

Ytterligere trekk ved oppfinnelsen vil fremgå av kravene 2-4.

Oppfinnelsen skal nedenfor forklares nærmere under henvisning til tegningene.

Fig.1 viser et blokkskjema for et apparat for høyfrekvent induksjon - dielektrisk måling ifølge oppfinnelsen.

Fig.2 viser et blokkskjema for senderen og mottakeren nede i borehullet.

Fig.3a og 3b viser koplingsskjemaer for sender og mottakerne nede i borehullet.

Fig.4 viser et teoretisk utledet diagram for amplitudevariasjon for en høyfrekvent induksjonssonde med en enkel signalkilde med en frekvens på 64 MHz beregnet på borehull med diameter fra 0 -0,35m.

Fig.5 viser et teoretisk utledet diagram for amplitudevariasjon for en høyfrekvent induksjonssonde med en enkel signalkilde med en frekvens på 130 MHz beregnet på et borehull med diameter fra 0-0,4 m.

Fig.6 viser et teoretisk utledet diagram for amplitudereaksjonen for en høyfrekvent induksjonssonde med en enkel signalkilde med en frekvens på 16 MHz og en i avstand beliggende høyfrekvent induksjonssonde med en dobbelt i innbyrdes avstand anordnet fokusert signalkilde med en frekvens på 32 MHz (i likhet med den som er vist på fig.1) hvor sonden er innleiret i et homogent materiale.

Fig.7A - 7D viser teoretisk utledede diagrammer for amplituden av høyfrekvente induksjonsmålinger fra en dobbeltfrekvenssonde (i likhet med den som er vist på fig.1) målt i borehull med en diameter på 20 cm og 30 cm fylt med friskt slam og med oljeinnholdende slam.

Målinger av induksjon og spesifikk motstand har vist seg nyttige for bestemmelse av spesifikk motstand i jordformasjoner og der- ved lokalisering av oljeinnholdende sand i nærheten av borehull. Da sand som inneholder ferskvann og sand som inneholder olje har samme store spesifikke motstand kan slike målinger ikke skille mellom olje og ferskvann som fyller porer i jordformasjoner i nærheten av borehullet. Ved hjelp av høyfrekvens er det imidlertid mulig å måle både jordformasjonens elektriske ledningsevne og induksjon for å muliggjøre skille mellom disse typer av væskeinnholdende lag. Hydrokarboner har en karakteristisk liten dielektrisitetskonstant ϵ_r som er mindre enn 5. På den annen side har ferskvann en forholdsvis stor dielektrisitetskonstant ϵ_r på ca. 80. Dielektrisitetskonstanten er definert som den natur-

lige elektriske polarisasjon av materialet. Disse størrelser er basert på dielektrisitetskonstanten i fritt rom ϵ_0 ved forholdet:

$$\epsilon = \epsilon_r / \epsilon_0 \quad (1)$$

hvor $\epsilon_0 = 8,854$ picofarad pr.m som er dielektrisitetskonstanten for det frie rom.

Fra den elektromagnetiske feltteori og særlig fra teori- en for en punktformet svingende magnetisk dipol, vil høyfrekvensfelte- ne i nærheten av et sylindrisk borehull kunne uttrykkes:

$$\left[\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\rho \frac{\partial}{\partial \rho} \right) + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} + k^2 \right] \pi_z^{(m)} = \frac{j}{\omega \mu} I^{(m)} \frac{\delta(\rho) \delta(z)}{\rho} \quad (2)$$

(Helmholtz-ligning med vanlige sylinderkoordinater ρ , ϕ og z),

hvor $\pi_z^{(m)}$ er Hertz' magnetiske vektor,

$I^{(m)}$ er størrelsen av strømmen og

$$j = \sqrt{-1}.$$

k er det komplekse bølgetall som er gitt ved:

$$k^2 = \omega^2 \mu \epsilon + j \omega \mu \sigma \quad (3)$$

Det skal bemerkes at det er tre fysiske konstanter i forbindelse med det materiale som omgir en punktformet svingende magnetisk dipol i ligningene ovenfor. Dette er den relative magnetiske permabilitet μ , dielektrisitetskonstanten ϵ og den elektriske lednings- spennende σ . For de fleste jordformasjoner ved de anvendte frekvenser (10 til 60 MHz) i forbindelse med foreliggende oppfinnelse må den relative magnetiske permabilitet μ ansees som en konstant. Variasjoner av μ i jordmaterialer som her kommer på tale ligger innenfor et område på 0,001 til 0,1%. Det er derfor bare to mediumkonstanter som viser nevneverdig variasjon fra et jordmateriale til et annet ved de nevnte frekvenser, nemlig ϵ og δ . Disse to fysiske egenskaper har en direkte virkning på enhver høyfrekvent vekselstrøm som flyter i mediet. Begge disse fysiske verdier for mediet har en virkning på amplituden og fasen av den fra senderen induserte strøm eller hvirvelstrøm i formasjonene i nærheten av borehullet.

Hvis det antas at en punktmagnetisk kilde er anordnet i et sylindrisk borehull og følger Helmholtz' ligning, er det samlede felt definert som feltet av kilden som detekteres av en mottakerspole i et vilkårlig medium. Det samlede felt kan skilles fra hverandre i et primærfelt og et sekundærfelt. Primærfeltet er definert som feltet for den kilde som detekteres av mottakerspolen i et referansemedium (som

f.eks. i vakuum eller i luft). Sekundærfeltet er definert som det felt som når det summeres vektorielt til det første felt resulterer i det samlede felt. Primærfeltet har en amplitude og en fase som er lik amplituden og fasen i det samlede felt i referansemediet. Når kilden anbringes i et medium som avviker fra referansemediet, summeres sekundærfeltet vektorielt til primærfeltet for å gi det samlede felt i det nye medium. Primærfeltet tjener som en amplitude- og fasereferanse for å bestemme sekundærfeltet.

Strømmer som flyter i mediet som omgir en svingende, punktformet magnetisk dipol kalles hvirvelstrøm. Hvirvelstrømmene frembringer sekundærfelter som i tilfelle av medium med stor ledningsevne, motvirker primær- eller referansefeltet. Når $\omega\epsilon$ (vinkelfrekvensen multiplisert med dielektrisitetskonstanten) nærmer seg størrelsen av δ (den elektriske ledningsevne) faseforskyves hvirvelstrømmene og kan i virkeligheten resultere i sekundærfelter som øker størrelsen av det samlede felt. Dette er vanligvis tilfelle ved de frekvenser som anvendes ved foreliggende oppfinnelse og som er høyfrekvenser i området 10 til 60 MHz.

Da endringer i både ϵ og δ bevirker endringer i hvirvelstrømmene ved enhver gitt frekvens, kan målingen av en enkelt amplitude ikke skille de to virkninger. Ifølge oppfinnelsen kan imidlertid målingene av amplituden av det samlede felt av to forskjellige frekvenser f_1 og f_2 kombineres for utledning av ϵ og δ samtidig.

Helmholtz-ligningen (ligning 2) er gyldig i ethvert sylindrisk lag i et lagdelt medium som omgir den punktformede magnetiske dipol i borehullet. Ved anvendelse av et regnemaskinprogram for numerisk integrering av løsningene av ligningen 2 i forskjellige sylindriske lag rundt en slik punktformet magnetisk dipol og ved anvendelse av grensetilstandene i overgangen mellom disse områder og ved kilden, kan det samlede felt i mottakerspolen i en avstand z langs borehullets aks fra den punktformede magnetiske dipol, utledes.

Ved betraktning av den numeriske løsning av Helmholtz-ligningen (ligning 2) i borehull av forskjellig diameter, kan en grafisk gjengivelse av amplituden av feltet i mottakerspolen tegnes opp som funksjon av borehullets diameter for borehull av forskjellig størrelse.

En slik grafisk fremstilling er vist på fig.4 for en enkel sendespole ved 64 MHz og en mottakerinnretning, og en dobbelt sendespole ved 32 MHz og en enkel mottakerspole. Det fremgår av fig.4 at

ved en frekvens på 64 MHz synes det å opptre en uregelmessig resonansvirkning i borehull med en radius på ca. 25 cm. Det fremgår også at amplituden for den dobbelte sendespole ved 32 MHz ikke gir denne type av resonansvirkning for vanlige borehulldimensjoner.

Den grafiske fremstilling på fig. 5 viser en normalisert samlet feltamplitude i en mottakerspole på z-aksen i et borehull som funksjon av borehullets radius for en frekvens på 130 MHz. I dette tilfelle opptre resonansvirkning ved en borehullradius på ca. 0,1 m og også ved en borehullradius på 0,25 m. Hvis måling av dielektriske verdier og ledningsevnen tilstrebes i det materiale som omgir borehullet ved så høye frekvenser som 64 MHz, fremgår det klart av de grafiske fremstillinger på fig. 4 og 5 at noe korreksjon muligvis er nødvendig for disse resonansvirkninger. På den annen side skal det tas i betraktning at for å bestemme både elektrisk ledningsevne og dielektrisitetetskonstanten for materiale som omgir borehullet, må det foretas målinger av amplituden av det mottatte signal ved minst to forskjellige frekvenser for å kunne utlede de resulterende amplitudemålinger både for dielektrisitetetskonstanten ϵ og ledningsevnen δ for jordformasjoner som omgir borehullet. For å unngå resonansvirkninger slik som vist på fig. 4 og 5, blir ifølge oppfinnelsen amplitudemålingene for de samlede feltsignaler i en mottakerspole som befinner seg i borehullet, foretatt ved frekvensene 16 og 30 MHz. Teoretiske beregninger viser at målinger som er foretatt ved slike frekvenser vil være mere nøyaktige enn målinger som oppnås ved høyere frekvenser som følge av resonansvirkninger i borehullet. Målinger utført med to frekvenser på 16 og 30 MHz vil på tilsvarende måte være mindre utsatt for feil som skyldes eksentrisitet av sonden i borehullet.

Utførelseseksemplet på et apparat ifølge oppfinnelsen på fig. 1 omfatter en sonde 11 hvis hus fortrinnsvis består av fiber-glass eller et annet ikke ledende materiale med tilstrekkelig styrke, hvilken sonde er firt ned i borehullet 13 ved hjelp av en kabel 12. Borehullet 13 er fylt med borevæske 14 og er omgitt av jordformasjon 15 hvis dielektriske egenskaper og ledningsevne skal måles. Den nedre del 16 av sonden 11 inneholder sendeutstyret for sendespolene 17, 18 og 19 som er viklet på et sentralt bæreligeme 20 av fortrinnsvis ikke ledende materiale. Sendespolen 17 arbeider ved en frekvens på 16 MHz og skal beskrives nærmere nedenfor. Sendespolene 18 og 19 som er viklet i motsatte retninger har motsatt polaritet og virker fokuserende

og arbeider med en frekvens på 30 MHz. En mottakerspole 21 er anbrakt i aksial avstand på 1 m fra midten av sendespole 17. Mottakerspolen 21 har en aksial avstand på ca. 80 cm fra midtpunktet mellom spolene 18 og 19 hvis sentre har en avstand på ca. 20 cm. Disse avstander er bare angitt som eksempler og det er klart at andre avstander kan anvendes. Aksjonsradien for apparatet påvirkes av avstanden mellom sender- og mottakerspolene. Jo lenger avstanden mellom sender- og mottakerspole er jo større blir aksjonsradien for undersøkelse av jordformasjonen fra borehullet. På den annen side er det nødvendig at avstanden mellom sender- og mottakerspole er så nær hverandre at sikker mot- taking oppnås med brukbart signalnivå fra jordformasjoner med forskjellig ledningsevne og dielektriske egenskaper. Hvis godt ledende materiale befinner seg nær borehullet vil dette dempe signalene ved de frekvenser som anvendes i praksis og det vil da være nødvendig å anvende større senderenergi når avstanden mellom sender- og mottakerspoler økes.

Et vanlig vinsj-arrangement 22 på overflaten er vist for å bevege sonden 11 gjennom borehullet under målingene. Vinsjen 22 kan være elektrisk eller mekanisk forbundet med registreringsinnretninger 24 og 25 eller 26 og 27 som registrerer signaler fra sonden 11 som funksjon av borehullets dybde. Energi for drift av mottakerutstyret 36 tilføres på ledninger i kabelen 12 fra en kraftkilde 28 på overflaten. Elektriske målesignaler som detekteres i mottakerutstyret 36 forsterkes av en forsterker 29 på overflaten og tilføres signalbehandlingsutstyret 37 eller 38.

Utgangssignalene fra mottakerutstyret 36 skal beskrives nærmere nedenfor, men kan ansees å omfatte to amplitudemålinger som overføres via kabelen 12 og skilles på overflaten ved frekvensdiskriminering. Det vil si at amplitudeinformasjonen fra den ene driftsfrekvens overføres på kabelen 12 med en første mellomfrekvens f_1 mens amplitudeinformasjon fra den andre driftsfrekvens overføres på kabelen 12 på en andre mellomfrekvens f_2 .

Signalbehandlingsinnretningen 37 inneholder en frekvensdiskriminator 30 som tilføres signalene fra kabelen 12 via forsterkeren 29. Frekvensdiskriminatorens 30 kan inneholde filtre med meget stor Q-verdi slik at den deler signalet i dets to frekvenskomponenter f_1 og f_2 . Signalet med frekvensen f_1 tilføres en amplitudedetektor 31 som er forbundet med registreringsinnretningen 24 som registrerer am-

plituden f_1 som funksjon av borehullets dybde. Den andre amplitude-detektor 32 detekterer amplitudeinformasjon ved frekvensen f_2 og tilfører dette til en andre registreringsinnretning 25 som registrerer en vendeinformasjon som funksjon av borehullets dybde.

Alternativt kan signalbehandlingsinnretningen 38 anvendes, og i det tilfelle tilføres dobbeltfrekvenssignalet en frekvensdiskriminator 33 som kan være av samme art som frekvensdiskriminatoren 30. Her blir de to forskjellige frekvenskomponenter f_1 og f_2 utledet. Disse to signalkomponenter tilføres hver sin analog-digitalomformer 34 resp. 35 som leverer amplitudeverdien av mellomfrekvenssignalet f_1 resp. f_2 i digital form. Disse digitalsignaler tilføres hver sin inngang i en regnemaskin 36 hvor informasjonene behandles i samsvar med programmet og leverer direkte verdiene for ledningsevne og dielektrisitetskonstant for de målte jordformasjoner som omgir borehullet. Digitalsignalene fra regnemaskinen 36 kan tilføres digitalregistreringsinnretninger 26 og 27 som registrerer de målte digitalverdier som funksjon av sonden 11 når denne beveges oppover gjennom borehullet. Måten å bestemme ledningsevne og dielektrisitetskonstant ved hjelp av regnemaskinen 36 skal forklares nærmere nedenfor.

Fig.2 viser koplings skjema for sonden 11. Likespenning for drift av senderutstyret leveres av et batteri 51 i forbindelse med en regulator 52. Senderen for 16 MHz omfatter en krystallstyrt oscillator 53 som arbeider på senderfrekvensen 16 MHz. Utgangssignalet fra krystalloscillatoren 53 tilføres en drivkrets 54 hvis forsterkning styres på en måte som skal forklares nærmere. Det forsterkede signal på frekvensen 16 MHz fra drivtrinnet 54 tilføres kraftforsterkeren 55 for forsterkning av energinivået til ca.1 watt. Forsterkeren 55 er transformatorokoplet ved en transformator 56 med senderspølen 17 for 16 MHz. En elektrostatisk skjerm 57 er anordnet rundt senderspølen 17. Fra transformatoren 56 tas via en vikling 58 et signal som likerettes i likeretteren 59 og det likerettede signal tilføres en styrekrets 60 for styring av forsterkningen i drivtrinnet 54. På denne måte holdes strømmen som leveres av kraftforsterkeren 55 til spølen 17 konstant.

Senderen med en frekvens på 30 MHz omfatter en krystallstyrt oscillator 61 som arbeider med en frekvens på 30 MHz og hvis utgangssignal tilføres en kraftforsterker 62 som forsterker signalet til et utgangsnivå på ca.1 watt. Utgangssignalet fra kraftforsterkeren

62 er via en transformator 63 og skjermledninger 67, 68 til dobbeltspolen 18, 19. Dobbeltspolen 18,19 er også innesluttet i en elektrostatisk skjerm 69,70. Strømmen fra kraftforsterkeren 62 overvåkes via en vikling 64 i transformatoren 63 og tilføres en likeretter 65. Utgangssignalet fra detektoren 65 tilføres en styreinnretning 66 som leverer en styrespenning til både kraftforsterkeren 62 og krystalloscillatoren 61. På denne måte blir utgangsstrømmen med en frekvens på 30 MHz holdt på et tilnærmet konstant nivå.

Mottakeren som er vist øverst på fig.2 tilføres matespenning via en regulator 71 som leverer + 15 volt likespenning for driften av mottakeren. Energien som tilføres reguleringsinnretningen 71 stammer fra overflaten og tilføres gjennom ledninger i kabelen. Mottakerspolen 21 som også er forsynt med en elektrostatisk skjerm 72 mottar samtidig signaler fra strømmen som er induert i jordformasjonene med både 16 MHz og 30 MHz. De mottatte signaler på både 16 og 30 MHz, fra mottakerspolen 21 overføres hver for seg via transformatoren 73 som har sekundærviklinger som er avstemt til 16 resp. 30 MHz. De atskilte signaler tilføres hver sin blander 74 resp. 78 hvor de blandes med blandesignaler på 16,010 MHz resp. 30,025 MHz fra en krystallstyrt oscillator 75 resp. 79. Som følge av blandingen blanderen 74 leverer denne utgangssignal med en mellomfrekvens på ca.10 kHz, og blanderen 78 leverer et utgangssignal med en mellomfrekvens på ca.25 kHz. Disse mellomfrekvenser tilføres via forsterkere 76,77 resp. 80,81 til de to innganger i den summeringsforsterker 82 som leverer summen av inngangssignalene til en ledning i kabelen 12 for overføring til overflaten. Denne signalsum inneholder amplitudeinformasjon for de mottatte signaler i spolen 21 fra strømmen som er induert i jordformasjonene med en frekvens på 16 MHz fra senderspolen 17 og med 30 MHz fra senderspolene 18 og 19.

Fig.3 viser koplings skjema for blokk skjemaet på fig.2. Fig.3b viser en temperaturkompensert reguleringsinnretning 52 for spenningen fra batteriet 51, bestående av en operasjonsforsterker 83, en transistor 84, en diode 85 og en temperaturavhengig motstand 86. Reguleringsinnretningen 52 leverer + 15 volt regulert likespenning fra batteriet på 32 volt. Den krystallstyrte oscillator 53 med en frekvens på 16 MHz omfatter en transistor 87 og et krystall 88 på 16 MHz. Utgangssignalet fra osillatoren er transformatorkoplet via en transformator 89 til en klasse C drevet drivkrets 54 som omfatter transistoren 90 og tilhørende komponenter. Det forsterkede utgangssignal fra

transistoren 90 er igjen transformatorkoplet via transformatoren 91 til et kraftforsterkertrinn som inneholder transistoren 92 med tilhørende komponenter. Forsterkertrinnet leverer et utgangssignal på ca. 1 watt. Utgangssignalet fra forsterkeren er koplet til senderspølen 17 via en bifilart viklet transformator 56. Den bifilart viklede transformator 56 er en impedanstilpassningsinnretning som tilpasser utgangen i forsterkeren med impedansen i senderspølen 17 med en impedanstilpassning på ca. 4:1. Anvendelse av transformatoren 56 muliggjør at senderspølen 17 kan arbeide i balansert tilstand uten direkte jordtilkopling. Naturligvis er den elektrostatiske skjerm 57 rundt spølen 17 jordet slik at bare det utstrålte signal fra selve spølen trer inn i jordformasjonene som omgir borehullet. Med et sentralt midtuttak på den bifilart viklede transformator 56 er koplet en transformator 58 for uttak av et styresignal. Styresignalet fra transformatoren 58 tilføres en toppdetektor som omfatter en diode 93 og en motstand 94. Styrespenningen tilføres en operasjonsforsterker 95 som også tilføres en referansespenning fra et potensiometer 96. Enhver forskjell mellom referansespenningen fra potensiometeret 96 og fra toppdetektoren forsterkes i operasjonsforsterkeren 95 og tilføres basisen i en reguleringstransistor 96 som virker som styrekretsen 60 på fig.2. Når spenningen fra batteriet 51 tilføres kollektoren i transistoren 90 via reguleringstransistoren 96, vil styresignalet som tilføres basisen i transistoren 90 styre verdien av den spenning som tilføres kollektoren i transistoren 90. På den måte vil forsterkningen i drivtrinnet som inneholder transistoren 90 og de tilhørende komponenter, holdes på et nivå som er tilstrekkelig til å gi en konstant utgangsstrøm fra kraftforsterkeren 92 som overvåkes ved hjelp av transformatoren 58.

Den krystallstyrete oscillator som omfatter transistoren 97 og krystallet 98 på 30 MHz tilsvarer oscillatoren 61 på fig.2 med en frekvens på 30 MHz. Utgangssignalet fra denne krystalloscillator er transformatorkoplet via transformatoren 99 med en kraftforsterker som omfatter transistoren 100 med tilhørende komponenter. Denne kraftforsterker tilsvarer kraftforsterkeren 62 på fig.2 og tjener til direkte forsterkning av signalet på 30 MHz fra krystalloscillatoren opp til et nivå på ca.1 watt. Utgangssignalet fra kraftforsterkeren er koplet med senderspølene 18 og 19 via en bifilart viklet transformator 63 og skjermede ledninger 67 og 68. Transformatoren 63 tjener til impedanstilpassning mellom kraftforsterkeren og senderspølene 18 og 19 med en

impedanstransformasjon på ca.4:1. Midtpunktet på transformatoren 63 er forbundet med en transformator 64 for uttak av et styresignal som tilføres en toppdetektor som omfatter en diode 101, et filternettverk 106 og en motstand 102 som svarer til kretsen 65 på fig.2. Denne like-rettete spenning som er proporsjonal med strømmen fra utgangstransistoren 100 tilføres den ene inngang i en operasjonsforsterker 103. En referansespenning fra et potensiometer 104 tilføres den andre inngang i operasjonsforsterkeren 103. Et signal som er proporsjonalt med differansen mellom referansespenningen og den likerettete styrespenning tilføres fra utgangen i operasjonsforsterkeren 103 til basisen i en reguleringstransistor 105. Når driftsspenningen for transistorene 97 og 100 tilføres via reguleringstransistoren 105 vil utgangssignalet fra operasjonsforsterkeren 103 styre nivået av disse spenninger og dermed regulere utgangen fra senderen for å regulere en konstant strøm overvåket av transformatoren 64. Også her tillater anvendelsen av den bifilart viklede transformator 63 at senderspolene 18 og 19 arbeider balansert men de elektrostatiske skjermene 69 og 70 som omgir disse spoler er naturligvis forbundet med jord.

De regulerte driftsspenninger for mottakeren leveres av reguleringskretsen 71 som omfatter transistorer 107 og 108, operasjonsforsterkere 109, 110, dioder 111, 112 og temperaturavhengige motstander 113 og 114. De temperaturavhengige motstander 113 og 114 tjener til temperaturkompensering av spenningen i samsvar med enhver temperaturpåvirkning på transistorene 107 og 108 og operasjonsforsterkerne 109 og 110. Den regulerte utgangsspenning på ± 15 volt fra reguleringsinnretningen 71 stammer fra en spenningskilde på overflaten og tilføres via ledninger i kabelen 12.

Den armerte kabel 12 er i utførelseseksemplet en triaksial kabel som utenfra og innover består av en ytre armeringsskjem, et isolasjonssjikt, skjermen i en koaksialkabel, et andre isolasjonssjikt og den sentrale leder i den koaksiale kabel som vist på fig.3A.

Signalene på 16 MHz og 30 MHz som induseres i jordformasjonene fra senderspolene mottas av mottakerspolen 21 som er omgitt av en elektrostatiske skjerm 72. Disse kombinerte signaler tilføres en filtertransformator 73 med stor Q-verdi med to sekundærviklinger som er innbefattet i avstemte kretser for 16 resp. 30 MHz. 16 MHz-signalet fra transformatoren 73 tilføres styreelektroden i en felt**effekt**transistor som tjener som blandetrinn syarende til blanderen 74 på fig.2.

Felteffekttransistoren 115 tilføres også et blandesignal på 16,010 MHz fra en krystallstyrt oscillator som omfatter transistoren 116, krystallet 117 og tilhørende komponenter. Utgangssignalet på 10 KHz fra blanderen tilføres to trinn temperaturkompenserte forsterkere bestående av operasjonsforsterkere 118 og 119 og tilhørende komponenter som omfatter temperaturavhengige motstander 120 og 121. Enhver forskyvning av driftskarakteristikken i operasjonsforsterkerne 118 og 119 kompenseres ved hjelp av motstander 120 og 121.

På samme måte blir signalkomponenten på 30 MHz tilført styreelektroden i en felteffekttransistor 122 som tjener samme funksjon som blanderen 78 på fig.2. Et blandesignal på 30,025 MHz tilføres fra en krystalloscillator som omfatter transistoren 123, krystallet 124 og tilhørende komponenter. Som følge av blandingen i felteffekttransistoren 122 leverer denne et utgangssignal på 25 KHz fra avlednings- elektroden, og dette utgangssignal tilføres to temperaturkompenserte operasjonsforsterkere 125 og 126 som er stabilisert ved hjelp av temperaturavhengige motstander 127 og 128. Utgangssignalene på 10 og 25 KHz fra operasjonsforsterkerne 119 og 126 tilføres en summeringsforsterker i form av en operasjonsforsterker 128 svarende til forsterkeren 82 på fig.2. Operasjonsforsterkeren 128 tjener til å summere de to mellomfrekvenssignaler og levere en forsterket utgangssignalsum som overføres til overflaten via den sentrale leder i den diaksiale kabel 12. På overflaten blir signalene forsterket og detektert på en av de måter som er beskrevet under henvisning til fig.1.

Den grafiske fremstilling på fig.6 viser teoretisk utledning i et apparat ifølge oppfinnelsen nedsenket i et homogent medium. De normaliserte feltamplituder for signalene som mottas av mottakerspolen som følge av det av dobbeltspolen utsendte signal på 32 MHz er tegnet opp som abscisse mens ordinaten representerer den normaliserte feltamplitude av det mottatte signal på 16 MHz. Ved normalisering skal her forstås at de mottatte signaler er normalisert til den tilsvarende verdi i luft, dvs. at amplituden av det mottatte signal med en frekvens på 30 MHz som følge av dobbeltspolene i luft deles opp i det samlede felt som er mottatt av mottakerspolen fra formasjoner som følge av det utsendte signal på 30 MHz. På samme måte er det mottatte signal på 16 MHz i mottakerspolen fra formasjonen delt med amplituden av det mottatte signal på 16 MHz i luft.

Kurvene på fig.6 er tegnet opp som funksjon av både ledningsevnen og dielektrisitetskonstanten for et homogent medium i hvilket sonden antas å være omgitt. Det skal bemerkes at av fig.6 fremgår at amplitudene av det normaliserte felt for frekvensene på både 16 og 32 MHz er funksjoner av ledningsevne og dielektrisitetskonstanten for jordformasjoner og amplituden av signalet på 16 MHz er vesentlig mere avhengig av ledningsevnen i jordformasjonsmaterialet enn signalet på 32 MHz. På samme måte er signalet på 32 MHz i et homogent medium betydelig mere påvirket av dielektrisitetskonstanten i det omgivende materiale enn det normaliserte signal for 16 MHz.

Anvendelsen av en dobbelt senderspole som vist på fig.1, 2 og 3 for 30 MHz sikrer en fokuseringsvirkning som bevirker dypere inntrengning av signalet i jordformasjonene som omgir borehullet. Det ufkuserte signal på 16 MHz vil normalt reagere på formasjonsmaterialer som befinner seg i mindre dybde fra borehullet. Da imidlertid senderspolen på 16 MHz er anbrakt lenger fra mottakerspolen enn dobbeltspolen for 30 MHz, oppnås tilnærmet samme inntrengningsdybde for begge frekvenser. Det skal imidlertid bemerkes at som følge av variasjoner i dielektrisitetskonstanten og ledningsevnen for jordformasjoner som omgir borehullet kan det hende at dette ikke alltid er tilfelle. I noen tilfeller vil signalet på 30 MHz ikke trenge så dypt inn som normalt i et dårligere ledende medium med soner med stor ledningsevne f.eks. som følge av ledende væske fra borehullet.

I ethvert tilfelle skal det påpekes at for å gjøre målinger med normalisert samlet felt ved to forskjellige frekvenser som vist på fig.1,2 og 3 og de teoretisk utledede verdier som vist på fig.6,7A og 7B kan en bestemt verdi for både ledningsevnen og dielektrisitetskonstanten for materiale som omgir borehullet utledes.

Fig.7 viser fire grafiske fremstillinger av samme art som vist på fig.6. Disse grafiske fremstillinger viser de normaliserte feltamplituder ved 32 MHz i forhold til de normaliserte feltamplituder ved 16 MHz. Fig.7 viser resultatet av målinger med apparatet som vist på fig.1-3 med teoretisk utledede verdier for både borehull på 20 cm og 30 cm inneholdende ferskt boreslam (fig.7A og fig.7B) og med oljeinneholdende boreslam (fig.7C og 7D). De grafiske fremstillinger av denne type kan innføres i tabularisk form i en hukommelse i en digitalregnemaskin som f.eks. regnemaskinen 36 på fig.1. Herav kan utledes spesifikk motstand og dielektrisitetskonstant for jordformasjoner i

nærheten av borehullet direkte fra amplitudemålingene av de normaliserte samlede feltmålinger på 16 og 30 MHz. En digitalregnemaskin 36 kan lett programmeres for å gi disse beregninger når den tilføres informasjon om borehullets diameter og dielektrisitetskonstanten for borvæske som er kjent på forhånd. Vanlig interpolering og kurveteknikk kan anvendes for dette formål. Slik programmering kan anvendes for å få grafisk informasjon med hensyn til amplitudemålingene av dielektrisitetskonstanten og ledningsevnen i jordformasjoner i form av informasjon som vist på fig.7A-7D. Alternativt kan apparatet på fig.1-3 også kalibreres i et prøveborehull med formasjoner av kjent karakter. De resulterende kalibreringskurver som svarer til fig.7A-7D, kan anvendes på lignende måte i regnemaskinen 36.

P a t e n t k r a v

1. Fremgangsmåte til å bestemme motstandsevne og dielektrisitetskonstant for materialer som omgir et borehull, omfattende frembringelse av et første og andre elektromagnetisk vekselfelt i borehullet av forskjellig frekvens, detektering av spenningsamplitudene av det totale elektromagnetiske felt ved de to frekvenser på et sted i borehullet i aksial avstand fra stedet for frembringelsen av feltene, utledning fra de detekterte amplitudesignaler som representerer motstandsevnen og dielektrisitetskonstanten for materialene, gjentatt frembringelse, detektering og utledning i forskjellige dybder i borehullet, og registrering av de utledede signaler som funksjon av borehulldybden, k a r a k t e r i s e r t v e d at det første elektromagnetiske felt frembringes med en høyfrekvens i området 10-20 MHz, og det andre elektromagnetiske felt frembringes med en høyfrekvens i området 20-40 MHz, idet det andre felts frekvens ikke er et helt multiplum av det første felts frekvens.
2. Fremgangsmåte ifølge krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at det første felts frekvens er ca. 16 MHz og det andre felts frekvens er ca. 30 MHz.
3. Fremgangsmåte ifølge krav 1 eller 2, k a r a k t e r i s e r t v e d at frembringelsen av det andre felt skjer i et plan vinkelrett på borehullets akse.
4. Fremgangsmåte ifølge et av kravene 1-3, k a r a k t e r i s e r t v e d at det første og andre felt for kalibrering, frembringes i et homogent medium, f.eks. luft, før innføring i borehullet,
at detekteringen skjer i samme medium i avstand i lengderetningen fra det sted der feltene frembringes og av spenningsamplitudene for det totale felt ved den første og andre frekvens utledes et første og andre normalisert signal som representerer amplitudene som enheter, at frembringelsen og detekteringen ved den første og andre frekvens gjentas i forskjellige dybder i borehullet og spenningsamplitudene i hver av disse dybder utledes i forhold til de normaliserte signaler, og at signalene registreres som funksjon av borehullets dybde.

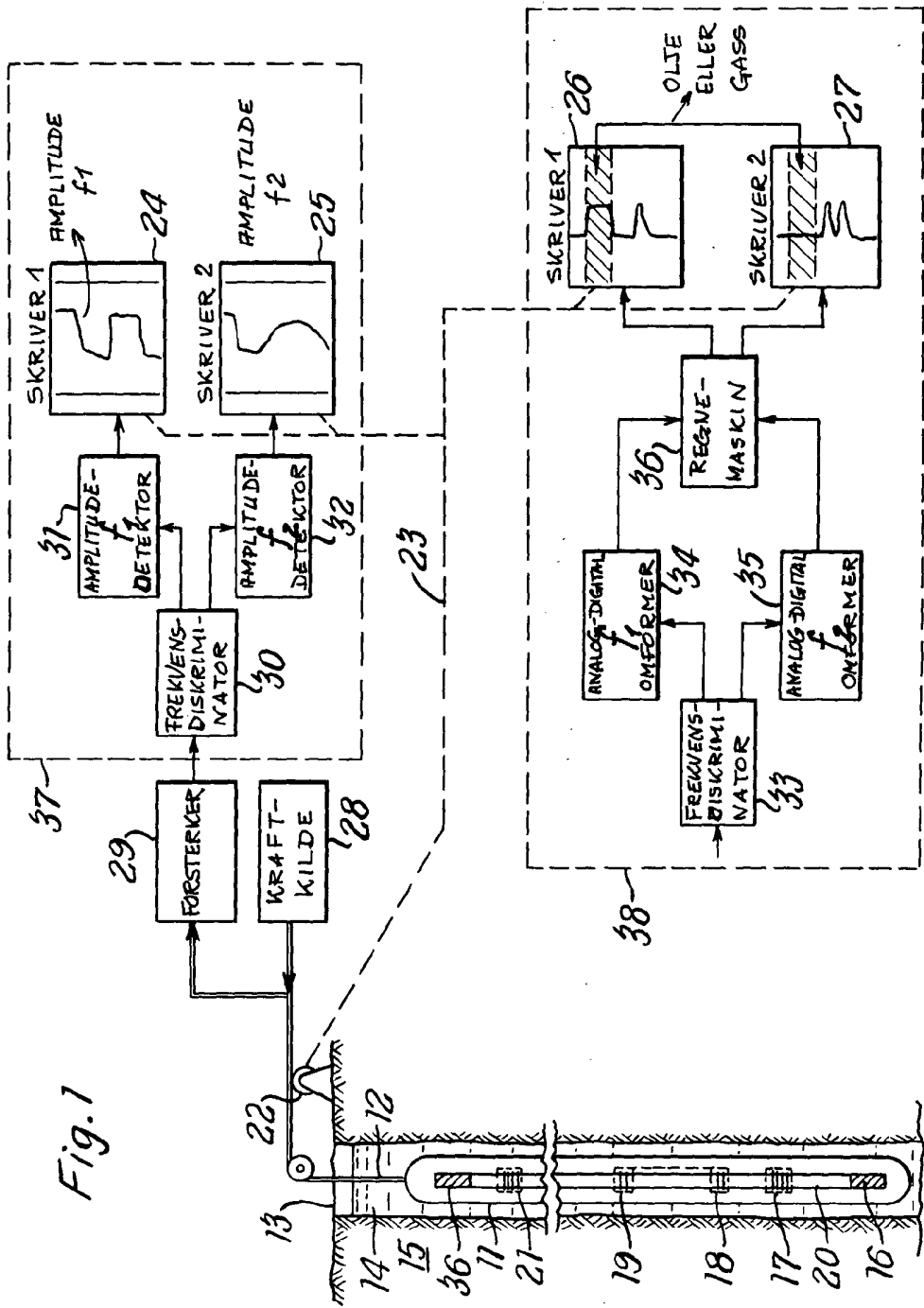


Fig. 1

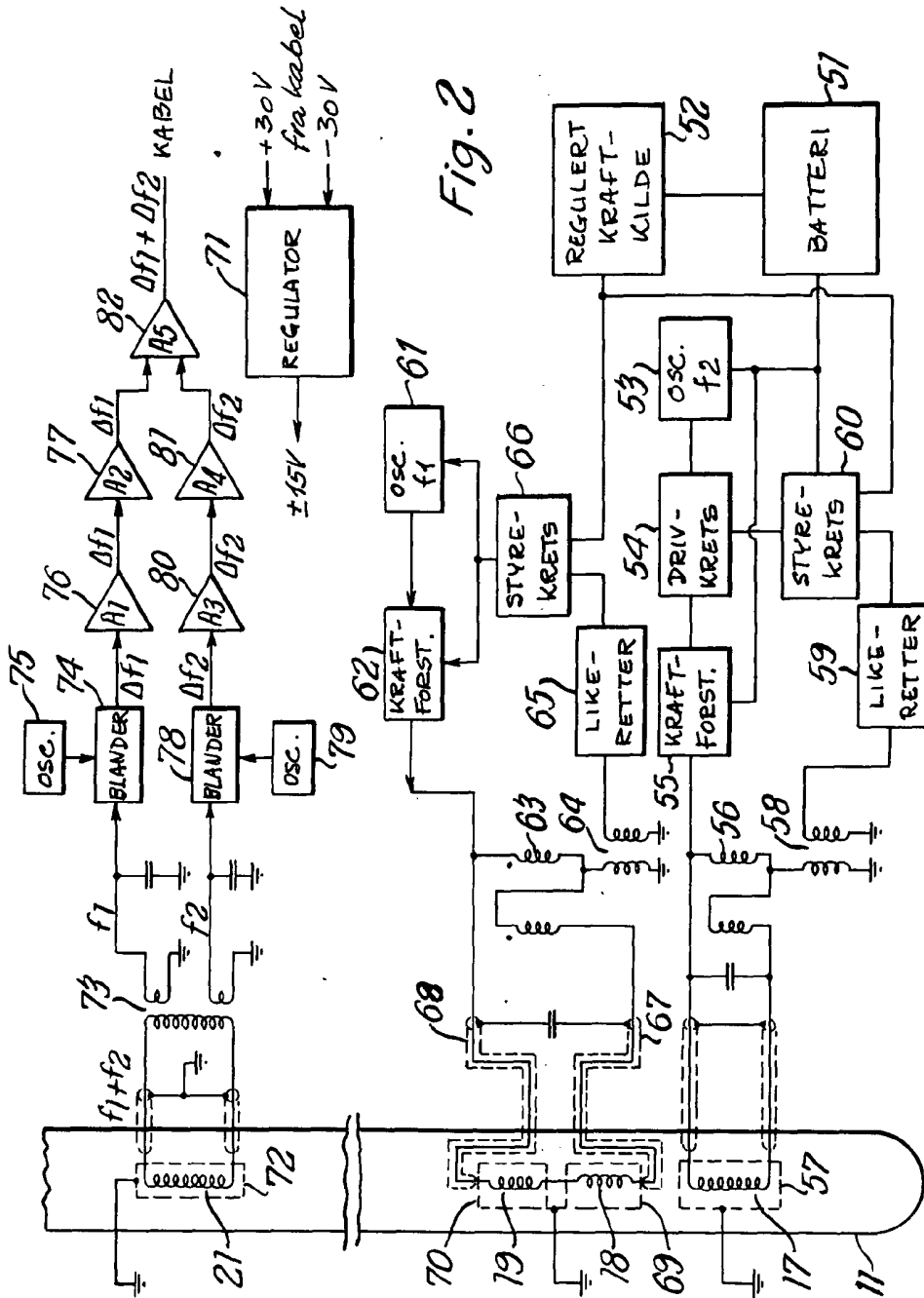


Fig. 2

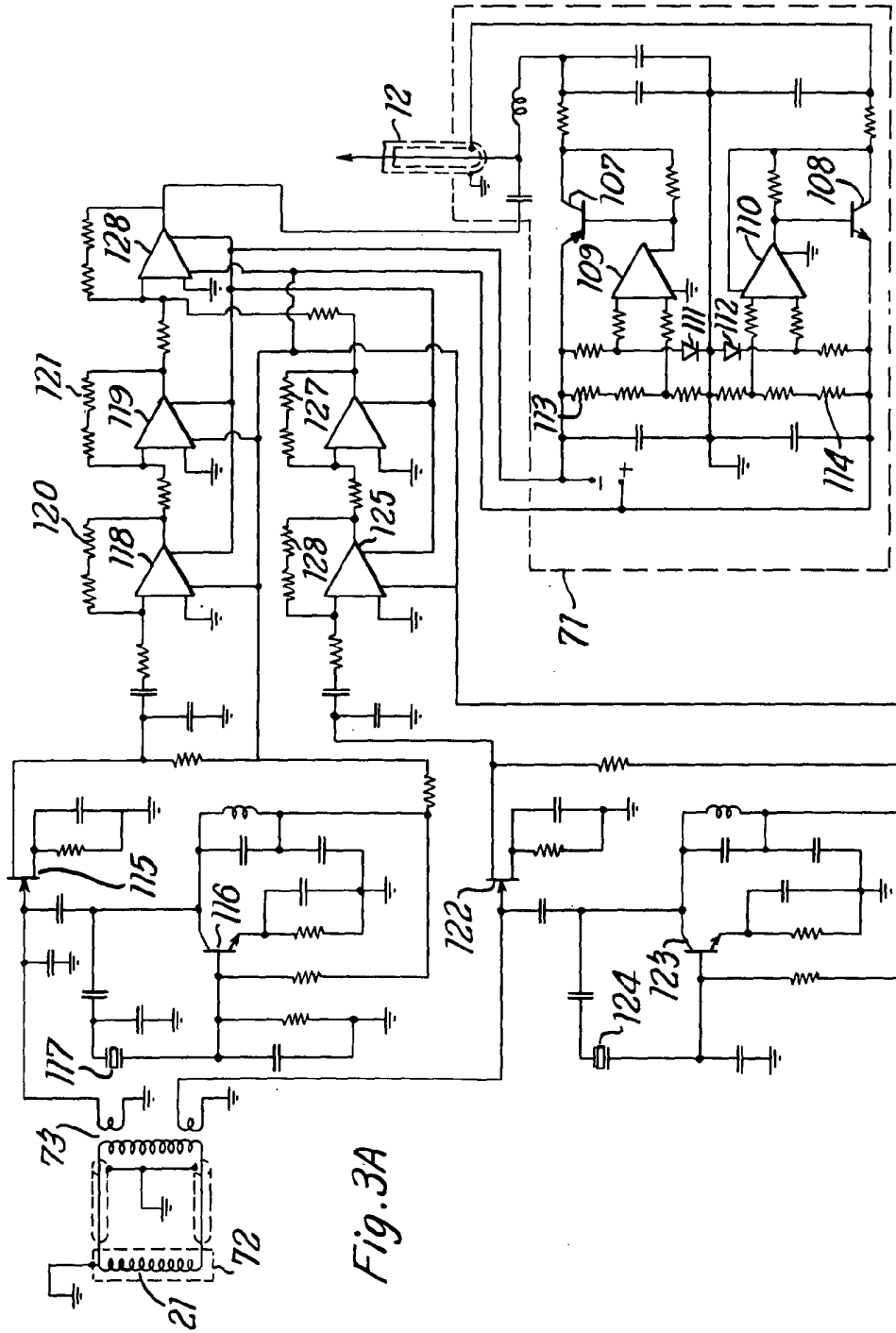


Fig. 3A

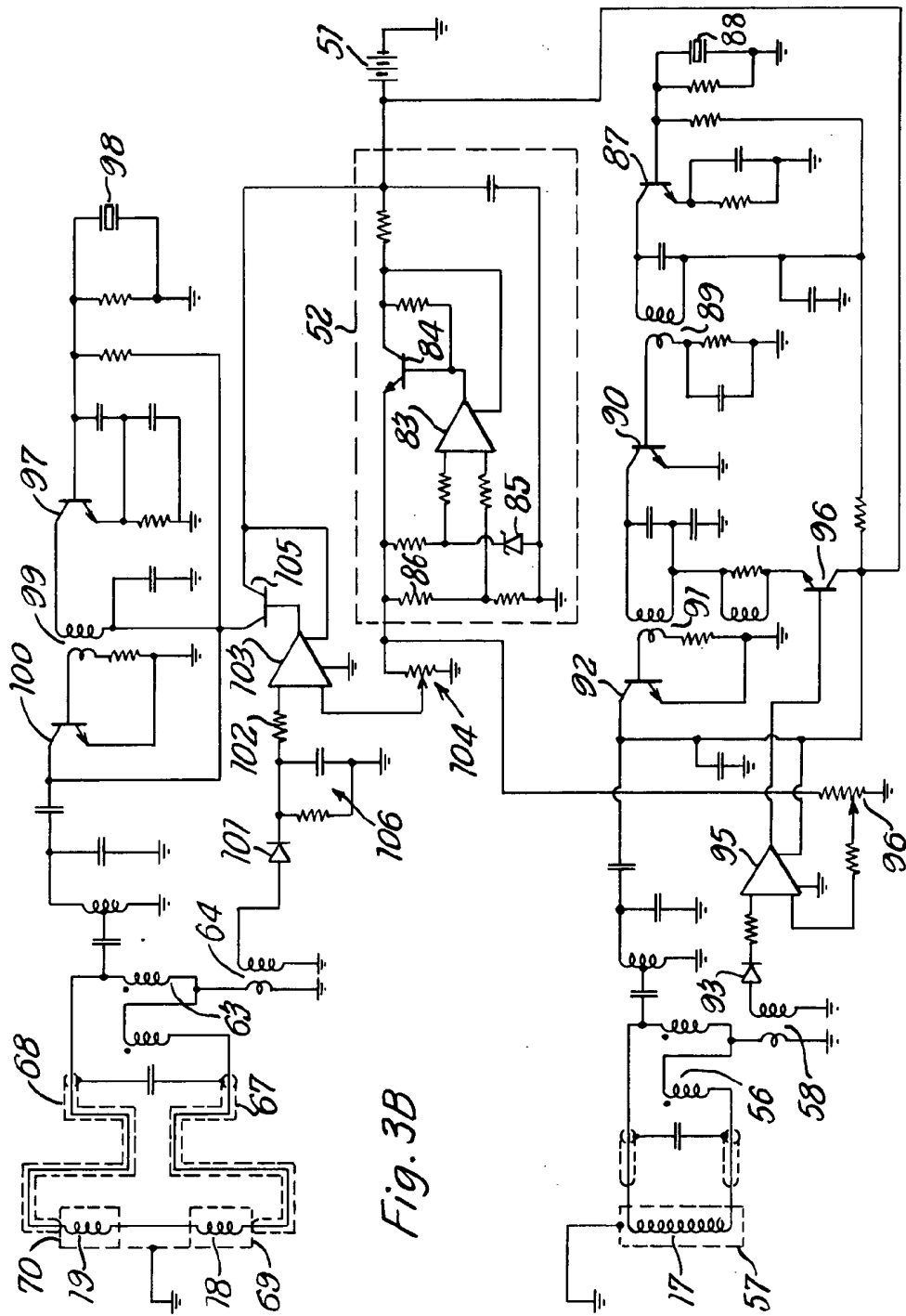


Fig. 3B

Fig. 4

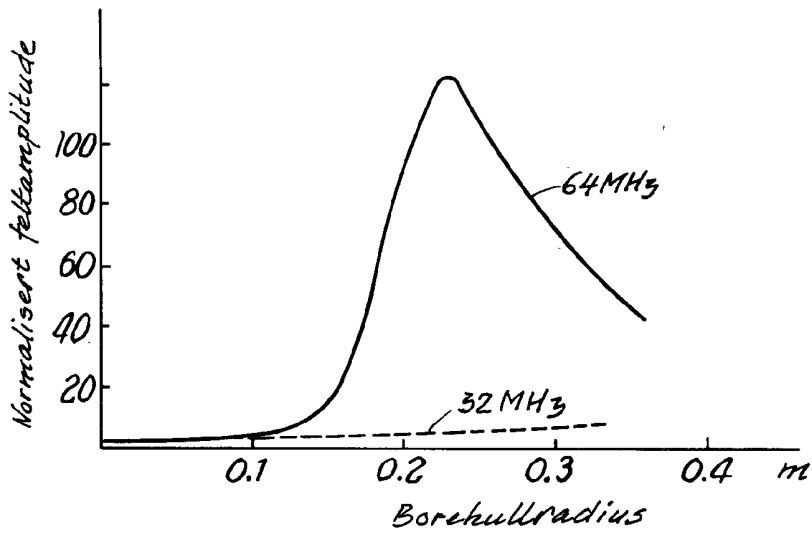


Fig. 5

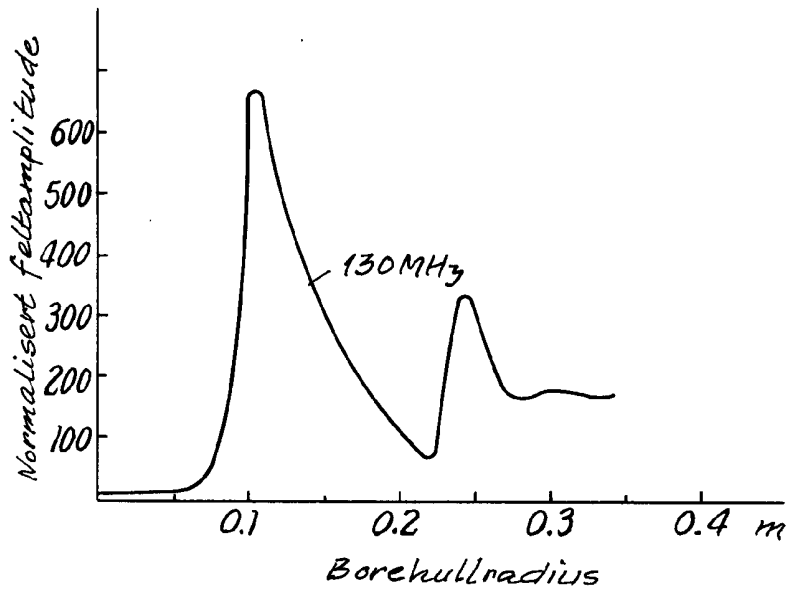


Fig. 6

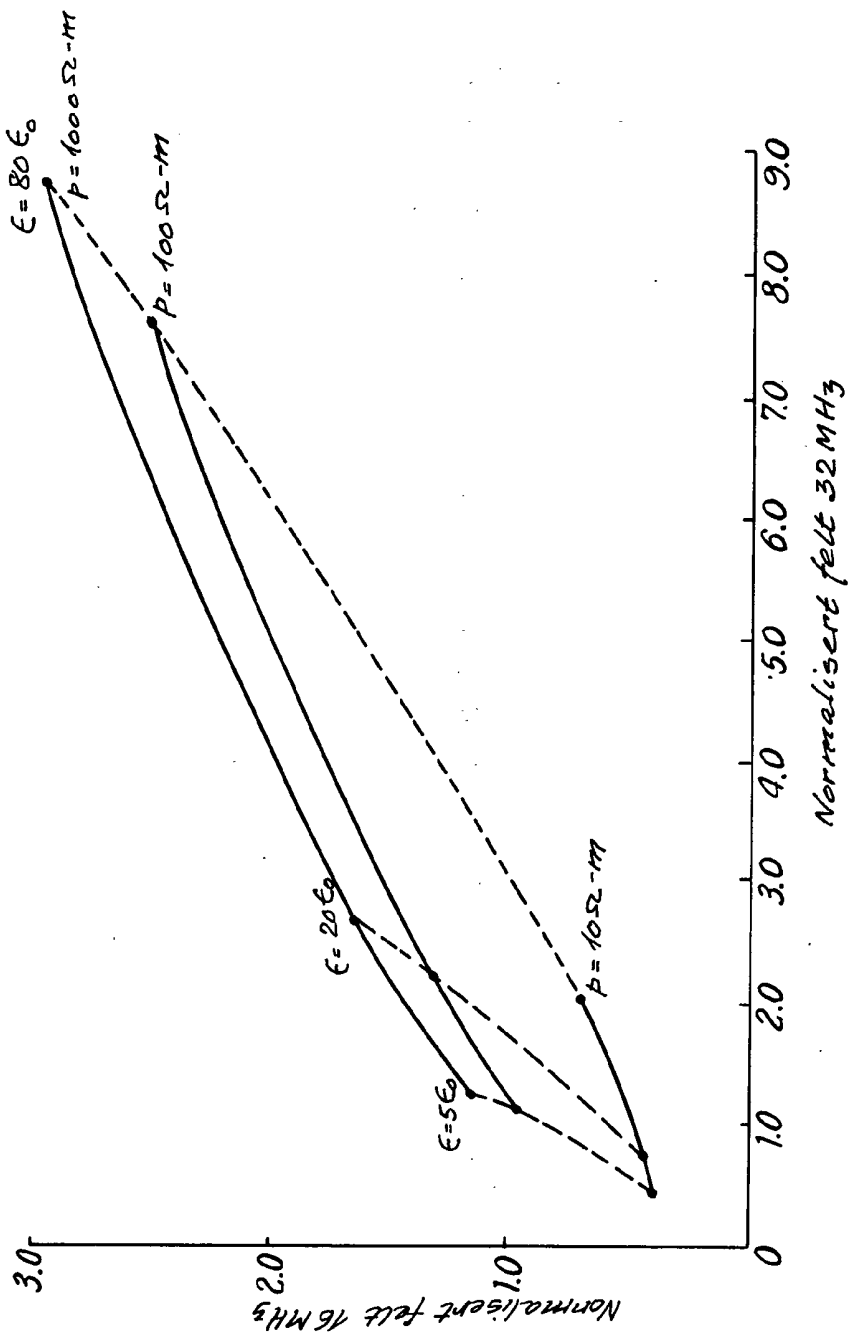


Fig. 7A

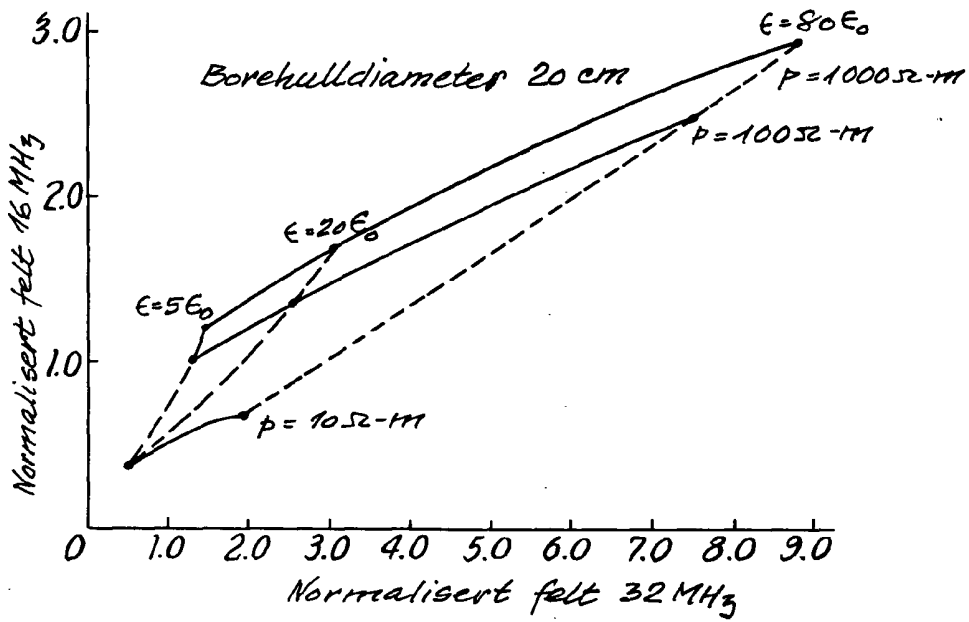


Fig. 7B

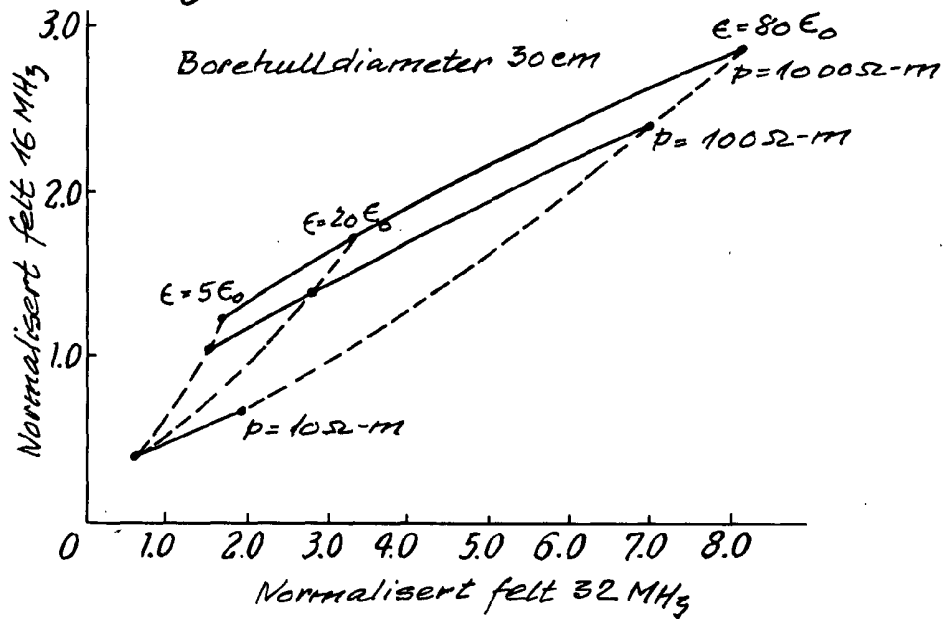


Fig. 7C

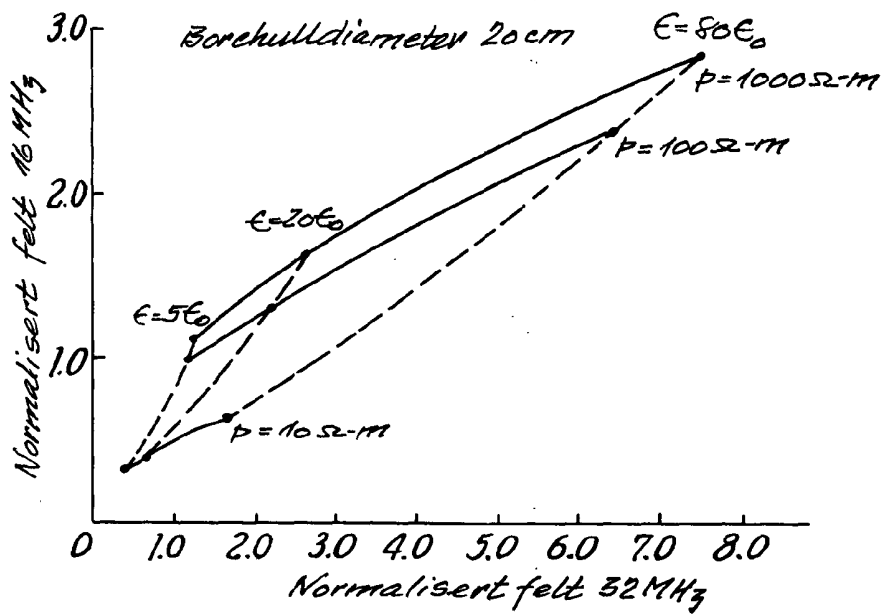


Fig. 7D

