



(12) **PATENT**

(19) NO

(11) **315955**

(13) B1

(51) Int Cl⁷

E 21 B 44/00

Patentstyret

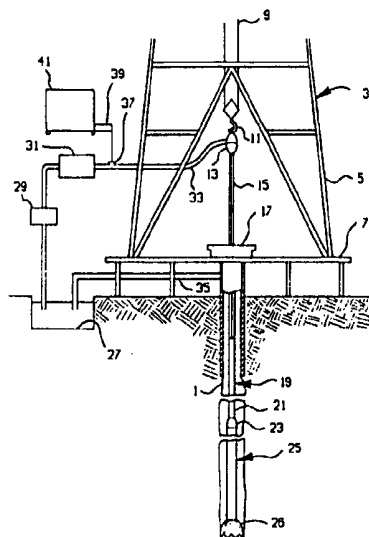
(21) Søknadsnr	19952984	(86) Int. inng. dag og søknadsnummer	
(22) Inng. dag	1995.07.27	(85) Videreføringsdag	
(24) Løpedag	1995.07.27	(30) Prioritet	1994.08.01, US, 283933
(41) Alm. tilgj.	1996.02.02		
(45) Meddelt dato	2003.11.17		
(71) Patenthaver	Baker Hughes Inc, P O Box 4740, Houston, TX 77210-4740, US		
(72) Oppfinner	Larry W Thompson, Willis, TX 77378, US		
	Macmillan M Wisler, Houston, TX 77339, US		
(74) Fullmektig	Zacco Norway AS, 0106 Oslo		

(54) Benevnelse **Anordning og fremgangsmåte for måling under boring basert på sending og mottaking av elektromagnetiske bølger**

(56) Anførte publikasjoner NO A 19952332

(57) Sammendrag

En fremgangsmåte og anordning er beskrevet for å utføre måleoperasjoner under boring i et borehull for å utspørre borehullet og den omgivende formasjon ved å anvende elektromagnetiske felt. En målesonde er tilveiebragt som innbefatter minst en av (a) et sendeelement for å generere et utspørrende, elektromagnetisk felt for passering gjennom borehullet og omgivende formasjon, og (b) et mottakselement for å motta et utspørrende, elektromagnetisk felt etter passering gjennom nevnte borehull og omgivende formasjon. Et målerør er tilveiebragt, hvilket innbefatter en sentral boring som står i forbindelse med den sentrale boring i borestrengen. Målerøret kobler i borestrengen på et valgt sted, og tillater utspørring av borehullet og den omgivende formasjon med de utspørrende, elektromagnetiske felt genereres av målesonden. Fortrinnsvis er målerøret dannet i det minste delvis av et ikke-ledende eller dårlig-ledende materiale som vil tillate innad- og utadpasseringen av elektromagnetiske felt. Målesonden er festet innenfor den sentrale boring i målerøret. Fortrinnsvis er den løsgjørbart festet deri og kan kjøres inn og ut av brønnhullet under boreoperasjoner uten vesentlig forstyrrelse av boreoperasjonene.



Den foreliggende oppfinnelse vedrører en anordning og fremgangsmåte for måling under boring basert på sending og mottaking av elektromagnetiske bølger.

5 Nærmere bestemt vedrører oppfinnelsen en anordning for måling under boring for bruk i en borestreng under boreoperasjoner for å avføle et borehull og omgivende formasjon, slik som angitt i ingressen av vedlagte krav 1.

10 Videre vedrører oppfinnelsen nærmere bestemt en fremgangsmåte for å avføle et borehull og omgivende formasjon under boreoperasjoner, slik som angitt i ingressen av vedlagte krav 37.

15 Til belysning av nærmestliggende kjente teknikk skal det vises til norsk patentsøknad 19952332 (=GB-A 2290385) som omhandler en brønnloggingsanordning som kan brukes i en borestreng for måling under boring, der anordningen har en måleseksjon med sender- og mottakerantennener for elektromagne-
20 tiske signaler som sendes gjennom omkringliggende formasjon, og hvor mottatte signaler gir informasjon om formasjonsegenskaper.

Med "avføle" forstås her og videre det engelske uttrykk
25 "interrogate".

Systemer for måling-under-boring er nå vesentlig komponenter ved kompliserte undersøkelsesoperasjoner, og anvendes for å tilveiebringe reell-tidsdata som vedrører boringsforhold,
30 samt brønnhullet og omgivende formasjoner. I særdeleshet kan resistivitetlogginger utvikles under boreoperasjoner som, i visse tilfeller, gir en fullstendig erstatning for de mer vanlige kabelbaserte elektriske logginger. Andre typer av loggingsoperasjoner gjennomføres også i systemer for måling-
35 under-boring, innbefattende nøytronporøsitetmålinger som tilveiebringer et mål for brønnhullet og formasjonsporøsiteten. Resistivitetmålingene kan anvendes for å til-

veiebringe et mål for formasjonsresistiviteten, borehullets diameter, diameteren av inntrengning av boreslam i formasjonen, og å detektere formasjongsgrenser og formasjonsendringer.

5

I tidligere kjente systemer er det vanlig å anbringe sende- og mottaksantennene for systemet som gjør bruk av måling- under-boring innenfor det tubulære legemet av et vektør eller borerørelement. Mest vanlig blir en del av vektørret eller borerørret "hals-redusert" (dvs. slepet eller kuttet til en redusert radiell dimensjon) for å tilveiebringe et relativt sikkert sted for plassering av sende- og mottaksantennene. Dette svekker selvfølgelig konstruksjonsmessig borerørret eller vektørrelementet, og gjør det mer utsatt for mekanisk svikt under boreoperasjoner. Ved de tidligere kjente anordninger anbringes antennene i eller om den utvendige overflate av borerørret eller vektørrelementet, ettersom borerørret eller vektørrelementet typisk er laget av stål. Elektromagnetisk stråling kan ikke effektivt sendes gjennom tubulære elementer av stål, ettersom stålet er et meget ledende materiale, og ettersom det elektromagnetiske felt frembringer virvelstrømmer i det ledende materialet, hvilket sprer feltet. Den nødvendige utvendige plassering av sende- og mottaksantennene utsetter antennene for ikke uvesentlige krefter som vil oppstå når borerørret eller vektørret trekker i eller på annen måte danner inngrep med borehullets vegg. I tillegg vil avkutt fra formasjonen bli sirkulert oppad gjennom ringrommet mellom borestrengen og brønnhullet. Avkuttingene som drives frem med høye hastigheter kan sette seg fast i antenneenhetene og/eller på annen måte skade antenneenhetene ved sliping. I tillegg er konstruksjonsomkostningene for et verktøy som har antenner som er del av vektørret høye, ettersom et kostbart borevektør av stål maskineres med egenskaper som muliggjør plasseringen av antennedeler og for å oppta elektronikken som står i forbindelse med antennene. Vedlikeholdskostnader er også høye for de tidligere kjente anordninger, særlig

ettersom verktøyene innbefatter et tungt vektør som ikke kan lett transporteres og ettersom verktøyet ikke kan adskilles på lett måte for utskifting eller vedlikehold.

5 Det er et formål med den foreliggende oppfinnelse å tilveiebringe en forbedret løsning for måling-under-boring, der det kan anvendes et målerør som er i det minste delvis laget av et materiale som er ikke-ledende eller dårlig-ledende, og som således tillater passeringen av elektromagnetiske felt
10 både radielt innadrettet og radielt utadrettet i forhold til målerøret.

Det er videre tilsiktet ved den foreliggende oppfinnelse å kunne anvende et transmissivt målerør som muliggjør
15 passeringen av elektromagnetiske felt gjennom det tubulære legemet, i kombinasjon med en målesonde som er anbragt innenfor den sentrale boring av målerøret, og som kan anvendes til å sende avførende elektromagnetiske signaler inn i formasjonen og motta elektromagnetisk stråling fra
20 borehullet og omgivende formasjon for å måle et eller flere borehull- eller formasjonskarakteristika.

Disse og andre formål oppnås slik det er beskrevet i sammenheng med formasjonsresistivitet måleoperasjoner.

25

Den innledningsvis nevnte anordning kjennetegnes ifølge oppfinnelsen ved de trekk som fremgår av den kjennetegnende del av vedlagte krav 1.

30 Ytterligere utførelsesformer av anordningen fremgår av de dertil underordnede krav 2-36.

Den innledningsvis nevnte fremgangsmåte kjennetegnes ifølge oppfinnelsen ved de trekk som fremgår av den kjennetegnende
35 del av vedlagte krav 37.

Ytterligere utførelsesformer av anordningen fremgår av de dertil underordnede krav 38-40.

Ytterligere siktemål, trekk og fordeler vil være åpenbare fra den skrevne etterfølgende beskrivelse, men en hovedfordel innbefatter den lette adskillelse av vektrørdelen på 5 loggingsverktøyet fra sondedelen på loggingsverktøyet. Således kan sondedelen fremstilles, testes, transporteres og repareres uavhengig av vektrøret i hvilket den befinner seg 10 under operasjoner der måling skjer under boring.

Selve oppfinnelsen, samt en foretrukket anvendelsemåte, ytterligere formål og fordeler ved denne vil imidlertid best forstås med henvisning til den etterfølgende, detaljerte 15 beskrivelse av en illustrerende utførelsesform lest i forbindelse med de vedlagte tegninger.

Fig. 1A er et forenklet riss over en borerigg, en borestreng og et brønnhull utstyrt med en anordning for å 20 utspørre borehullet i henhold til den foreliggende oppfinnelse.

Fig. 1B er et delvis langsgående snittriss av et målerør og målesonde ifølge den foreliggende oppfinnelse.

Fig. 1C er et forenklet skjematisk riss over antenneoppstillingen i målesonden ifølge fig. 1B. 25

Fig. 1D er et skjematisk riss over operasjonen for sende- og mottaksantennene.

Fig. 1E viser faseforskyvningen som detekteres av mottaksantennene.

30 Fig. 1F er et diagram som viser forholdet mellom resistivitet og den detekterte faseforskyvning.

Fig. 1G viser grafisk amplitudedempningen av det utspørrende signal.

Fig. 1H viser diagrammet over forholdet mellom resistivitet og amplitudeforhold. 35

Fig. 2A til og med 2E viser de elektroniske komponenter i loggingsanordningen ifølge den foreliggende oppfinnelse.

Fig. 3A og 3B viser en bestemt utførelsesform av den foreliggende oppfinnelse.

Fig. 4A, 4B, 4C og 4D viser en annen utførelsesform av den foreliggende oppfinnelse.

5

Med henvisning til fig. 1A vil det nå bli beskrevet et totalt samtidig borings- og loggingssystem ifølge en foretrukket utførelsesform av den foreliggende oppfinnelse som innbefatter et resistivitetsmålingssystem for elektromagnetisk bølgeforplantning (EBF) ifølge foreliggende oppfinnelse.

10

En brønn 1 bores inn i jorden under styring fra overflateutstyr som innbefatter en roterende borerigg. I henhold til en konvensjonell løsning innbefatter riggen 3 et boretårn 5, et boretårngulv 7, vinsj 9, krok 11, svivel 13, drivrørskjøt 15, rotasjonsbord 17, og borestreng 19 som innbefatter borerør 21 festet til den nedre enden av drivrørskjøten 15 og til den øvre enden av en seksjon av vektør som innbefatter et øvre vektør 23, et mellomliggende vektør eller overgang (ikke vist separat), og et nedre vektørs målerør 25 umiddelbart under den mellomliggende overgang. En borekrone 26 bæres av den nedre enden av målerøret 25.

20

Borefluid (eller "slam" slik det vanligvis benevnes) sirkuleres fra en slamdam 29' gjennom en slampumpe 29, forbi en avbølgingsmekanisme 31, gjennom en slamtilførselsledning 33 og inn i svivel 13. Boreslammet strømmer ned gjennom drivrørskjøten og en aksiell tubulær føring i borestrengen, og gjennom dyser (ikke vist) i den nedre flate av borekronen. Boreslammet strømmer tilbake opp gjennom det ringformede rom mellom den ytre overflaten av borestrengen og den indre overflaten av borehullet for å bli sirkulert til overflaten hvor det returneres til slamdammen gjennom en slamreturledning 35. En ristersikt (ikke vist) adskiller formasjonsavkutt fra boreslammet før det går tilbake til slamdammen.

30

35

Det totale system i fig. 1 anvender slampulstelemetriteknikker for å formidle data nede i fra hullet til overflaten mens boreoperasjon finner sted. For å motta data på overflaten er der en transduser 37 i slamtilførelsledningen 33. Denne

5 transduser genererer elektriske signaler som reaksjon på trykkvariasjoner i boreslammet, og disse elektriske signaler overføres ved hjelp av en overflateleder 39 til et elektronisk behandlingssystem 41 på overflaten.

10 Slik det er forklart i US-patent nr. 4216536, hvilket innbefattes her ved henvisning som om det var fullstendig referert, muliggjør pulstelemetriteknikker formidling av data til overflaten vedrørende tallrike forhold nede i hullet som avføles av brønnloggingstransdusere eller målesystemer som

15 ordinært er plassert på og innenfor vektørret nærmest borekronen. Målerøret 25 er fortrinnsvis nærmest borekronen, slik som vist i fig. 1. Slampulsene som definerer de data som forplantes til overflaten frembringes av utstyret innenfor den mellomliggende overgang. Slikt utstyr omfatter hen-

20 siktsmessig en trykkpulsgenerator som opererer under styring fra elektronikk som befinner seg i et instrumenthus for å tillate boreslam å bli ventileret gjennom en åpning som strekker seg gjennom det loggende vektørrets vegg. Hver gang trykkpulsgeneratoren bevirker slik ventilering, blir en

25 negativ trykkpuls sendt for mottagelse av overflatetransduseren 37. En alternativ, konvensjonell løsning genererer og sender positive trykkpulser.

Det sirkulerende boreslam tilveiebringer en energikilde for

30 en turbindrevet generators overgangenhet plassert i den mellomliggende overgang, og den turbindrevne generatorovergangenheten genererer elektrisk kraft for trykkpulsgeneratoren og for forskjellige kretser, innbefattene krefter som danner del av den foretrukne utførelsesform av denne

35 oppfinnelse. Som et alterantiv eller supplerende kilde for elektrisk kraft, kan batterier tilveiebringes, særlig som en reserve for den turbindrevne generatoren.

Et målesystem som innehar den foreliggende oppfinnelse innbefatter elektronikk som befinner seg i elektronikkhus som beror innenfor målesonden 27, og inneholder elementer anordnet i fordypninger eller i ned-halsede partier av det tubulære huset for målesonden 27. Visse av disse elementer på 5 målesonden 27 er angitt skjematisk i fig. 1C og innbefatter øvre sendeantenne 29, nedre sendeantenne 31, og mellomliggende mottaksantennener 33, 35 som bæres om en utvendig overflate av målesonden 27, og som anvendes for å utspørre 10 borehullet og omgivende formasjon, slik det skal omtales i nærmere detalj nedenfor. I alternative utførelsesformer kan et større eller mindre antall av sende- eller mottaksantennener bli anvendt.

Fig. 1B viser en utførelsesform av målerøret 25, hvilket innbefatter øvre, innvendig gjenget verktøyskjøt 37 og nedre, innvendig gjenget verktøyskjøt 39, hvilke er tilpasset til å koble innenfor en borestreng, med en sentral seksjon 41 som 20 er anbragt derimellom, dannet av et materiale som tillater innadrettet og utadrettet forplantning av elektromagnetiske felt, for å sette sendeantennene 29, 31 og mottaksantennene 33, 35 for målesonden 27 i stand til å kommunisere med det omgivende borehull og formasjonen. I henhold til den 25 foretrukne utførelsesform av den foreliggende oppfinnelse er den sentrale seksjon 41 dannet av et materiale som enten er "dårlig-ledende" eller "ikke-ledende". For denne beskrivelses formål er halvledere definert som materialer som har en masseresistivitetsverdi som er større enn 0,001 ohm-meter og 30 mindre enn 100 ohm-meter. For denne beskrivelses formål defineres ikke-ledende materialer som de materialer som har masseresistivitetsverdier som er større enn 100 ohm-meter. For denne beskrivelses formål er videre "gode" ledende materialer definert til å ha en resistivitet som er mindre 35 enn 0,001 ohm-meter. Den sentrale seksjon 41 trenger kun å være tilstrekkelig sterk til å tilveiebringe mekanisk styrke og transportere brønnhullfluider, men mens det også tillates

elektriske sensorer som er plassert innenfor det indre av målerøret 25 å sende og motta oscillerende, elektriske og/eller magnetiske felt som er for høye hva angår frekvens til å trenge gjennom de konvensjonelle, tidligere kjente vektrør av stål. Som angitt ovenfor reagerte de tidligere kjente vektrør av stål på elektriske og/eller magnetisk, oscillerende felt som hadde høy frekvens ved genereringen av virvelstrømmer som spredte feltet og hindret kommunikasjon innover eller utover av elektriske og/eller magnetiske oscil-
lerende felt. Fortrinnsvis kan den sentrale seksjonen 41 sammensettes av Kevlar-baserte komposittmaterialer. Et eksempel av en type av kompositttrør som i øyeblikket anvendes innenfor olje- og gassindustrien er komposittborerøret, føringsrøret, og produksjonsrøret fremstilt av Brunswick
Composites, en enhet innenfor Brunswick Technical Group, som har sin drift og tilsvarende adresse i Lincoln, Nebraska, USA, og som tilbyr for salg kompositttrør som har en styrke som er mange ganger større enn den som forefinnes i stålrør, med langt mindre vekt, og praktisk talt immunitet overfor korrosjon. En artikkel med tittel "Developments in Composite Structures for the Offshore Oil Industry", av J.G. Williams i Conoco, Inc., publisert i mai 1971 på Offshore Technology Conference, og identifisert ved OTC nr. 6579, gir en detaljert angivelse av den eksisterende bruk av komposittmaterialer innenfor fralands ("offshore") olje- og gassaktiviteter. Blant de tallrike anvendelser av komposittmaterialer som er identifisert i denne artikkel er bruken av komposittborerør som har vist sin evne til å motstå de krefter som påtreffes under boreoperasjoner. Tallrike komposittmaterialer er identifisert i denne artikkel, innbefattende kompositter basert på grafitt, Kevlar 29 og Kevlar 49.

I den foreliggende oppfinnelse, ettersom kun asinutmessig utsending av den elektromagnetiske bølge er ønskelig, trenger målerøret kun å være transmitterende for elektromagnetiske bølger som vandrer innad i forhold til målesonden eller utad

i forhold til målesonden. Målerøret trenger ikke å være transmitterende for elektromagnetiske felt langs sin sentrale, langsgående akse. I utførelsesformen ifølge fig. 1B er hele målerøret konstruert av et materiale som er transmitterende for elektromagnetiske felt. I alternative utførelsesformer, slik som de som er vist i fig. 3A, 3B, 4A, 4B, 4C og 4D, trenger imidlertid kun deler av målerøret å bli dannet av et materiale som tillater innad og utad passeringen av elektromagnetiske felt. I de bestemte utførelsesformer som er vist og beskrevet her, kan et flertall av aksielle spalter dannes i et konvensjonelt stålrør. De aksielle spalter fylles med komposittmateriale som er transmitterende for elektromagnetiske felt. Selvfølgelig bør målesonden og målerøret innrettes slik at antennen anbringes nær de aksielle spalter, og tillates enten å sende elektromagnetiske felt utad gjennom de aksielle spalter, eller å motta magnetfelt som vandrer radielt innad gjennom de aksielle spalter.

Operasjonen av målesonden 27 er vist i skjematisk og grafisk form i fig. 1D, 1E, 1F, 1G og 1H. Slik det er vist i skjematisk form i fig. 1D, er sendeantennene T_1 , T_2 adskilt på begge sider av et par av mottaksantennene R_1 , R_2 , hvilket tillater målingen av både fase og amplitude. Senderene og mottakerene er enkle antenner som består av en trådsløyfe som er innleiret i et isolerende materiale, med avstemningskondensatorer for å trimme antenneresponsen. Verktøyet kan tenkes på som et par sensorer, hvis utmatning er gjennomsnittet av to lesninger, hvilket reduserer verktøyfeil som skyldes temperatur og trykkpåvirkninger, verktøyfeilinnretting, borehullutvasking og lagskuldervirkninger (bed shoulder effects). I et vakuum fører den endelige hastighet for elektromagnetisk stråling til en liten faseforskyvning mellom de to mottakerene R_1 , R_2 , mens den økte avstand til den fjerntliggende mottaker bevirker signalstyrken til å bli svakere ved det punktet. I en mer ledende formasjon beveger strålingen seg langsommere og dempes hurtigere. Som følge derav kan enten forskjellen i fase mellom de to mottakerene,

eller forholdet mellom amplituder anvendes til å måle formasjonsresistivitet. Som vist i fig. 1D, blir to amplitude- og faselesninger laget, og så tatt gjennomsnitt av. En øvre senderlesning X_2 foretas ved å anvende øvre sendeantenne T_2 til å forplante en elektromagnetisk bølge utad gjennom målerøret 25 (som ikke er vist) og inn i formasjonen, og så tilbake gjennom målerøret 25 som skal måles av de mellomliggende mottaksantennene R_1 , R_2 . Den nedre senders lesning X_1 blir så laget ved å anvende nedre sendeantenne T_1 til å sende en elektromagnetisk bølge utad gjennom målerør 25 (ikke vist) inn i formasjonen, og så tilbake gjennom målerøret 25 til å bli målt av mellomliggende mottaksantennene R_1 , R_2 . Den kompenserte lesning er det aritmetiske gjennomsnitt av nedre senders lesning X_1 og øvre senders lesning X_2 .

I den foretrukne utførelsesform er den primære måling faseresistivitet som kan beskrives med henvisning til fig. 1E. Det er lett å se fra denne illustrasjon at desto større avstanden er mellom de to mottaksantennene R_1 , R_2 , desto større er den observerte faseforskjell mellom de mottagende antenner. Fasemålingen omformes til resistivitet, med kun små virkninger fra dielektrisitetskonstanten, etter å ha tatt gjennomsnitt av verdiene fra begge sendere. Fig. 1F er et diagram som plotter resistivitet i ohm-meter i forhold til faseforskjell i enheter av grader. En familie av kurver er vist for forskjellige relative dielektrisitetskonstanter (for de spesifikke dielektrisitetskonstantverdier lik 1, 10 og 100).

Fig. 1G viser amplitudedempningen som opptrer når den elektromagnetiske bølge forplanter seg gjennom formasjonen. En 2 MHz bølge, under nede-i-hullsforhold, forplanter seg kun noen få fot (= 30,48 cm) før signalstyrken svinner bort, slik at takten av demping eller amplitudeforhold for signalet også måles. Fig. 1G viser grafisk dempningen av signalet fra sin opprinnelige signalstyrke når det passerer gjennom målerøret 25 og den omgivende formasjon. Målinger som er

foretatt på mottagende antenner R_1 , R_2 kan anvendes til å utvikle et amplitudeforhold som er representativt for størrelsen av demping som det utspørrende signal erfarer når det beveger seg mellom mottaksantenne R_1 og mottaksantenne R_2 . I den foretrukne utførelsesform av den foreliggende oppfinnelse anvender verktøyet mikroprosessor med hukommelse for å lagre verdier av amplituden for hver sender i hukommelse, og beregner så forholdet mellom amplituder for hver sender, med å ta gjennomsnitt av verdiene for hver sender for å frembringe et kompensert forhold. Amplitudeforholdet omformes så til resistivitet. Fig. 1H er et diagram som plotter forholdet av resistivitet i enheter av ohm-meter i forhold til amplitudeforholdet, for et flertall av avvikende, relative dielektrisitetskonstanter (og særlig for de relative dielektrisitetskonstantverdier lik 1, 10 og 100).

Den følgende diskusjon viser hvorledes den doble sender, doble mottakeranordning for måling-under-boring, ifølge den foreliggende oppfinnelse, anvendes til å utlede et nøyaktig mål for amplitudedempningen og faseforskyvningen i det utspørrende elektromagnetiske signal som vandrer gjennom borehullet og omgivende formasjon.

Først, vurdere fire sender-til-mottagersignaler:

(Sender 1 [X_1] til mottager 1 [R_1]: $A_{11} e^{j\phi_{11}}$
 (Sender 1 [X_1] til mottager 2 [R_2]: $A_{12} e^{j\phi_{12}}$
 (Sender 2 [X_2] til mottager 1 [R_1]: $A_{21} e^{j\phi_{21}}$
 (Sender 2 [X_2] til mottager 2 [R_2]: $A_{22} e^{j\phi_{22}}$

De målte amplituder utgjøres av:

$$A_{mn} = X_m R_n a_{tmn} \quad (\text{likning 1.1})$$

der X_m = senderutmatningsvariasjon

R_n = mottakerfølsomhetsvariasjon

a_{tmn} = sann amplitude (sender M til mottager N)

og de målte faser utgjøres av:

der

$$\begin{aligned}\phi_{mn} &= \phi_{Xm} + \phi_{Rn} + \phi_{tmn} && (\text{likning 1.2}) \\ \phi_{Xm} &= \text{senderfase (utmatning) variasjon} \\ \phi_{Rn} &= \text{mottakerfasevariasjon} \\ \phi_{tmn} &= \text{sann fase (sender M til mottager N)}\end{aligned}$$

De foregående, generelle ligninger tilsvarer de følgende mer spesifikke ligninger:

$$\begin{aligned}A_{11} &= X_1 R_1 a_{t11} \\ A_{12} &= X_1 R_2 a_{t12} \\ A_{21} &= X_2 R_1 a_{t21} \\ A_{22} &= X_2 R_2 a_{t22} \\ \phi_{11} &= \phi_{X1} + \phi_{R1} + \phi_{t11} \\ \phi_{12} &= \phi_{X1} + \phi_{R2} + \phi_{t12} \\ \phi_{21} &= \phi_{X2} + \phi_{R1} + \phi_{t21} \\ \phi_{22} &= \phi_{X2} + \phi_{R2} + \phi_{t22}\end{aligned}$$

Tar man forholdene for de forskjellige sender-til-mottager-signaler frembringes det følgende:

For sender 1:

$$\frac{A_{12} e^{i\phi_{12}}}{A_{11} e^{i\phi_{11}}} = \frac{A_{12}}{A_{11}} e^{i(\phi_{12} - \phi_{11})}$$

og for sender 2:

$$\frac{A_{21} e^{i\phi_{21}}}{A_{22} e^{i\phi_{22}}} = \frac{A_{21}}{A_{22}} e^{i(\phi_{21} - \phi_{22})}$$

Multiplisering av disse og ved å ta kvadratroten får man:

$$\sqrt{\frac{A_{12}}{A_{11}} * e^{i(\phi_{12} - \phi_{11})} * \frac{A_{21}}{A_{22}} * e^{i(\phi_{21} - \phi_{22})}} =$$

$$\sqrt{\frac{A_{12} * A_{21}}{A_{11} * A_{22}}} e^{1/2(\phi_{12} + \phi_{21} - \phi_{11} - \phi_{22})}$$

5 Likefrem algebraisk manipulerings av ligningene 1.1 til og med 1.3 gir:

$$10 \quad \sqrt{\frac{a_{t12} * a_{t21}}{a_{t11} * a_{t22}}} * e^{1/2(\phi_{t12} + \phi_{t21} - \phi_{t11} - \phi_{t22})}$$

på grunn av at samtlige systemvariabler faller ut av målingen.

15 Derfor, ved å anvende to sendere og to mottakere, kan systematiske variabler fjernes fra både dempnings- (amplitude) og fra fasehastighets- (faseforskjell) uttrykkene.

20 I sammenheng med den foretrukne utførelsesform av foreliggende oppfinnelse, der et behandlingsmiddel for samplede data frembringer et signal som en funksjon av formasjonsresistivitet basert på fase-representerende signaler, viser den følgende analyse visse aspekter som er relevante for stabilitetsspørsmålet.

25 Vurder to på hverandre følgende sampler (stikkprøver): Sample A og sample B.

30 Under sample A blir en første sendespole energisert til å bevirke en bølge til å forplante seg gjennom formasjonen i en retning slik at bølgen passerer en første mottaksspole (R1), og senere passerer en andre mottaksspole (R2), og induserer hver mottakerspole til å frembringe et signal.

35 Under sample B blir en andre sendespole energisert til å bevirke en bølge til å forplante seg gjennom formasjonen i en retning slik at bølgen passerer en andre mottaksspole (R2),

og senere passerer den første mottaksspolen (R1), og inducerer hver mottakerspole til å frembringe et signal.

La ϕ_{MR2A} representere den målte fase av signalet frembragt av mottakerspole R2 under sample A; la ϕ_{MR1A} representere den målte fase av signalet frembragt av mottakerspole R1 under sample A; la ϕ_{MR1B} representere den målte fase av signalet frembragt av mottakerspole R1 under sample B; og la ϕ_{MR2B} representere den målte fase av signalet frembragt av mottakerspole R2 under sample B.

ϕ_{MR2A} -signalet avhenger av fasen av bølgen ved stedet for R2, og har generelt en feilkomponent som kan tilskrives forskjellige faseforskyvninger, innbefattende de som introduseres av den avstemte mottakerspolen, kabling fra mottakerspolen til mottageren, og selve mottakeren. La ϕ_{TR2A} representere den sanne fase for bølgen ved stedet for R2 under sample A, og la ϕ_{R2E} representere feilkomponenten som således introduseres.

Ligning 2.1: $\phi_{MR2A} = \phi_{TR2A} + \phi_{R2E}$.

På tilsvarende måte avhenger ϕ_{MR1A} -signalet av fasen for bølgen ved stedet for R1, og generelt har sin egen feilkomponent. La ϕ_{TR1A} representere den sanne fase for bølgen ved stedet for R1 under sample A, og la ϕ_{R1E} representere feilkomponenten som således introduseres.

Ligning 2.2: $\phi_{MR1A} = \phi_{TR1A} + \phi_{R1E}$.

Under sample A blir ϕ_{MR1A} -signalet og ϕ_{MR2A} -signalet samtidig behandlet til å frembringe et deltaA-signal som representerer forskjellen i fase mellom disse to signaler (dvs. $\phi_{MR1A} - \phi_{MR2A}$).

Ligning 2.3: $\Delta A = (\phi_{TR2A} - \phi_{TR1A}) + (\phi_{R2E} - \phi_{R1E})$

Komponenten av deltaA-signalet som representerer den sanne faseforskjell ($(\phi_{TR2A} - \phi_{TR1A})$) er en funksjon av resistivi-

teten i formasjonen i området mellom de to mottagerspolene.
La $F(\rho)$ representere denne komponent.

Ligning 2.4: $\Delta A = F(\rho) + (\Phi R2E - \Phi R1E)$.

5 På tilsvarende måte, under sample B, blir $\Phi MR2B$ -signalet og $\Phi MR1B$ samtidig behandlet til å frembringe et ΔB -signal som representerer forskjellen i fase mellom disse to signaler (dvs. $\Phi MR2B - \Phi MR1B$).

Ligning 2.5: $\Phi MR1B = \Phi TR1B + \Phi R1E$

10 Ligning 2.6: $\Phi MR2B = \Phi TR2B + \Phi R2E$

Ligning 2.7: $\Delta B = (\Phi TR1B - \Phi TR2B) + (\Phi R1E - \Phi R2E)$

Komponenten av ΔB -signalet som representerer den sanne faseforskjell ($\Phi TR1B - \Phi TR2B$) er en funksjon av resistiviteten i formasjonen i området mellom de to mottakerspolene,
15 dvs. den er lik $f(\rho)$.

Ligning 2.8: $\Delta B = f(\rho) + (\Phi R1E - \Phi R2E)$

20 ΔA -signalet registreres slik at det kan hentes og behandles med ΔB -signalet.

Ved å addere ligningene 2.7 og 2.8, følger det at:

$\Delta A + \Delta B = 2 * f(\rho) + \Phi R2E - \Phi R1E - \Phi R2E + \Phi R1E$ og

ligning 2.9: $f(\rho) = 1/2 * (\Delta A + \Delta B)$

25

Med andre ord er et beregnet signal som representerer summen av på hverandre følgende sampler en funksjon av formasjonsresistivitet, og feilkomponenter slik som $\Phi R1E$ og $\Phi R2E$ introduserer ikke feil i dette beregnede signal.

30

Fig. 2A, 2B, 2C, 2D og 2E viser elektronikken som bæres av målesonden 27 i blokkskjemaet og i elektrisk skjemaform. Som vist i fig. 2A dirigerer prosessoren 101 operasjonen av drivkretsen 105, 107 og mottakerkrets 103. Drivkrets 107 virker til å energisere selektivt sendeantenne T_2 , mens drivkrets 105 virker til selektivt å energisere sendeantenne T_1 . Mottakerkrets 103 mottar målingene av det elektromagne-

35

tiske felt foretatt av mottaksantennene R_1 , R_2 . Prosessor 101 leverer data til telemetrisystem 109, og mottar instruksjonen fra telemetrisystem 109. Telemetrisystemet tilveiebringer de elektriske kommandoer til en slampulstelemetriaktivator som står i forbindelse med en fluidsøyle i brønnhullet, og som anvendes til å påtrykke en kodet melding i fluidsøylen.

Hovedkomponentene i elektronikken som bæres av målesonden 27, som er vist i blokkskjemaform i fig. 2A, er vist i detalj i fig. 2B, 2C, 2D og 2E, der fig. 2B, 2C og 2D henholdsvis viser den doble mottaker 111, amplitude/fasedetektor 113, og lokaloscillator 115 som omfatter de vesentlige operative komponenter i mottakerkrets 103, og der fig. 2E viser drivkrets 107 i fig. 2A, som er identisk med drivkrets 105 i fig. 2A.

Først med henvisning til fig. 2B er der vist dobbel mottaker 111 i forenklet, elektrisk skjemaform. I grove trekk blir signalene fra mottaksantennene R_1 , R_2 matet til den doble mottaker 111. Signalene forsterkes i RF-forsterkere 119, 121 og heterodynbehandles med utmatningen fra den lokale oscillatoren 117 som har en frekvens lik 1,995 MHz, hvilket tilveiebringer en resulterende mellomfrekvens (IF) lik 5 KHz. Mellomfrekvensen vil beholde faseforholdet mellom de to mottakersignalene ved å anvende en felles oscillator for blandere 123, 125. Signalene føres til mellomfrekvens (IF) forsterkere 127, 129 for ytterligere forsterkning. Signalene føres så gjennom 500 Hz båndpassfiltre 131, 133 før de mates til amplitude/fasedetektor 113 i fig. 2C.

Nå nærmere bestemt mottar den doble mottaker 111 i fig. 2B 2 MHz signalet fra mottaksantennene R_1 , R_2 , hvilke er koblet til inngangen på RF-forsterkere 119, 121. Koblingskomponentene er særlig valgt for å minimalisere faseforskyvning med temperatur. RF-forsterkerene 119, 121 har en forsterkning lik 15db og utmatningen kobles til de balanserte blandere 123, 125. Utmatningen fra lokaloscillatoren injiseres til

blanderen via en effektsplitterløsning på å tilveiebringe like amplituder med null graders faseforskyvning for hver blander. Splitteren, kombinert med en 6dB demper, vil sikre det riktige nivået og også minimalisere overhøring mellom de to blanderene. En balansert blander anvendes til å minimalisere lokaloscillatorgjennommatning til utgangen. Blandetrinnet har en forsterkning lik 20dB. Blanderens utmatning føres gjennom 5 KHz lavpassfiltre 135, 137 og kobles til den ikke-inverterende inngang på IF-forsterkere 127, 129, hvilket gir en 18dB forsterkning. Utmatningen fra IF-forsterkeren 127, 129 mates gjennom 500 Hz båndpassfilteroperasjonsforsterkere 131, 133 som gir en 20dB forsterkning. Denne siste forsterkning har et 500 Hz båndpassfilter med en meget høy Q-verdi. De passive komponenter i filteret må tilpasses for å sikre minimal faseforskyvning med frekvens og temperatur. Det er viktig at begge filtre forblir tilpasset.

Amplitude/fasedetektoren 113 er vist i fig. 2C. Amplitude/fasedetektoren 113 har en separat automatisk forsterkningskrets (AGC) for hvert mottatt IF-signal, hvilken tilveiebringer konstante amplituder for fasedetektoren. AGC-kretsens styrespenning er proporsjonal med amplituden av IF-signalet som tilveiebringer et DC-signal tilsvarende det mottatte signallivå. DC-nivået anvendes av prosessoren som amplituden for det mottatte signallivå. Utmatningen fra fasedetektoren er en puls som er proporsjonal med faseforskyvningen mellom de to IF-signaler. Denne spenning integreres og forsterkes til å gi faseutmatninger lik 100° og 20°. Det resulterende signal mates til mikroprosessor kortet som initierer en målesyklus, tidsbestemmer hendelser under den syklusen, sampler data fra mottakeren, lagrer data i hukommelsen, og kommuniserer med en verktøybuss.

Kretsen for automatisk forsterkningsstyring har et dobbelt formål: å detektere amplituden av det innkommende signal fra den doble mottaker 111 i fig. 2B, og å opprettholde et

signal med konstant amplitude til fasedetektoren. Den automatiske forsterkningsstyring inneholder for hver kanal en Analog Devices lineær deler 139, 141. Utmatningen fra de lineære delere 139, 141 (V_0) er lik mellomfrekvensen IF delt med et DC-nivå (V_z). Utmatningen fra hver analoge deler 139, 141 kobles til lavpassfilter 143, 145 med en knekkfrekvens lik 7,5 KHz for å fjerne eventuell høyfrekvensstøy. Dette signal mates til en RMS-til-DC-omformer 147, 149. En feilforsterker 155, 157 sammenligner utmatningen fra omformerene 147, 149 med et referansesignal tilveiebragt av referansesignalgeneratorer 151, 153, og genererer en styrespenning avhengig av forskjellen. For å hindre en sløyfeopplåsing, blir negative verdier som er resultatet av tapet av signal diode-blokkert av dioder 159, 161 som er koblet mellom feilforsterker 155, 157 og utgangsbuffere 163, 165. Styrespenningen mates til den automatiske forsterkningsstyring for å opprettholde en konstant utmatning, og til prosessoren for amplitudeinformasjon. IF-signalene fra kretsen for automatisk forsterkningsstyring blir kapasitivt koblet til inverterende buffere 167, 169 for fasedeteksjon, for å eliminere eventuell DC-forskyvning. Fortrinnsvis blir IF₂-signalet invertert 180°. Dette tillater utmatningen fra fasedetektoren å være i området fra -180° til +180°, i stedet for å være i området fra 0° til 360°. Signalene blir så ordnet opp i med nullkrysningsdetektor 171, 173, og ført til et 4013 dobbelt vippesett som fungerer som fasedetektor 175. For å oppnå dette er tilførselsspenningvippen ikke jordet. I stedet blir en positiv spenning drevet fra en flytende tilførsel slik at hva som normalt ville bli betraktet som en lav spenning (jord) vil være en negativ spenning eller -180°. Likeledes vil et høyt nivå være en positiv spenning eller +180°. Klokkeinnmatningene anvendes slik at fasedetektoren ikke vil være følsom for syklusvariasjon i IF-firkantbølge. Fasedetektorutmatningene vil være som følger:

- (1) en firkantbølgeinnmatning fra mottager R_1 mellomfrekvens IF₁ setter stift 1 høy;

- (2) en firkantbølgeinnmatning fra mottager R2 mellomfrekvens IF setter stift 13 høy;
- (3) en høy på stift 13 tilbakestiller begge vipper, hvilket sender stift 1 til lav tilstand.

5

Dersom mottakssignalene er i fase, vil signalene til vippen ha 180° faseforskjell på grunn av inverteringen av IF₂. Dette ville resultere i at fasedetektoren har en 50% arbeidssyklus på stift 1, idet svitsjing skjer mellom negativ 4,5 volt og positiv 4,5 volt. Dette ville resultere i null volt på lavpassfilteret hos integratorforsterker 177. Når fasedifferensialet øker, så vil den positive pulsbredde også gjøre dette, hvilket bevirker en negativ spenning ut. Likeledes bevirker en negativ faseinnmatning en negativ pulsbredde som resulterer i et negativt DC-nivå fra filteret. Forsterkningen i lavpassfilteret settes slik at 100° er lik 5 volt. Dette signal anvendes av prosessoren for pluss eller minus 100° innmatningen og forsterkes også fem ganger av DC-forsterker 179, for de 20° av faseforskjell til lik en 5 volt utmatning.

20

Fig. 2D viser en lokaloscillator 115 som genererer nevnte 1,995 MHz injeksjon for mottakerblanderene i fig. 2B. Lokaloscillator 115 består av en spenningsstyrt oscillator, en faselåst sløyfe, og en sluttforsterker. En 20 kilohertz referanse tilføres for den faselåste sløyfen. En spenningsstyrt krystall (Colpitts) oscillator anvendes for å redusere frekvensfeil på grunn av vibrasjoner nede i hullet. Den spenningsstyrte oscillatoren låses til en referansefrekvens, slik at nevnte IF vil være 5 KHz. Et krystall med høyere frekvens (7,982 MHz) anvendes til å øke avstemningsområdet for kretsen. Oscillatoren avstemmes til den ønskede senterfrekvens ved hjelp av dioder VC1 og VC2 som har variabel kapasitans. Styrespenning for diodene tilføres ved hjelp av den faselåste sløyfen som følger. Utmatningen fra oscillatoren deles med 4 for å oppnå den ønskede 1,995 MHz frekvens som er koblet til stift 9 på en MC14569 programmerbar, binær

35

nedteller. For å oppnå et delingsforhold lik 199, er nevnte MC14569 kaskadekoblet med den programmerbare teller i MC14568. Den gjenværende teller i nevnte MC14568 anvendes til å dele 20 KHz referansen med 4 for å gi en 5 KHz referanse for fasedetektoren. 5 KHz-signalet ut av deleren ($1,995/399$) sammenlignes med 5 KHz-referansen av MC14568 fasedetektoren. Pulser ut av fasedetektoren på stift 13 representerer frekvensfeilen mellom den delte 1,995 MHz og 5 KHz referansen. Disse pulser integreres ved hjelp av kondensator C4 til å gi en korrigeringspenning for dioder VC1 og VC2 til å bringe oscillatoren tilbake på frekvens. 1,995 MHz signalet bufferbehandles av tre 4049 inverterere som er sammenkoblet parallelt. Et Pi-nettverk anvendes til å tilpasse utmatningen fra nevnt 4049'er til 90 ohm og demper også de harmoniske av 1,995 MHz firkantbølgen. Effektutgangen fra lokaloscilatoren er omtrentlig 10 mW eller +10dBm.

Fig. 2E viser drivkrets 107 i fig. 2A, som er identisk med drivkrets 105 i fig. 2A. Hver drivkrets er identisk, bortsett fra at hver har en forskjellig sendestyrespenning. Hver senderdrivkrets består av en spenningsstyrt krystalloscillator, en faselåst sløyfe, en sluttforsterker og en sender på/avstyring. 20 KHz referansen er tilveiebragt. For å sikre et tilfredsstillende låseområde, anvendes en 8 MHz spenningsstyrt krystalloscillator i senderene. Frekvensen justeres ved hjelp av de variable kapasitanser i VC1 og VC2. Utmatningen deles med 4 for å oppnå den ønskede 2 MHz sluttfrekvens. 2 MHz utgangssignalet kobles til den faselåste sløyfe, som i sin tur deler 2 MHz signalet med 100 for å oppnå 20 KHz referansefrekvensen for å sammenligne med 20 KHz signalet fra fasedetektoren. Pulser fra fasedetektoren representerer frekvensfeilen. En korrigeringspenning tilføres VC1 og VC2 for å bringe oscillatoren tilbake på frekvens. 2 MHz-signalet er også bundet til U2 som styrer utmatningen fra senderen. Utgangstrinnet drives inn i klasse D operasjon ved å anvende en firkantbølgeinnmatning som resulterer i høyere forsterkningsvirkningsgrad. Et lavpassfilter anvendes til å redusere

de harmoniske. Knekkfrekvensen for dette filter er 3 MHz megahertz. Effektutmatningen fra senderen er ca. 0,5 watt (27dBm).

5 Fig. 3A, 3B, 4A, 4B, 4C og 4D viser to utførelsesformer av den foreliggende oppfinnelse. Fig. 3A og 3B viser målerør 401 og målesonde 419 som er tilpasset til å bli posisjonert innenfor den sentrale boring 410 på målerør 401. Målerør 401 består i alt vesentlig av stål, slik som er tilfellet for
10 andre tidligere kjente vektør. Imidlertid innbefatter målerør 401 fire regioner som innbefatter et flertall av aksielle spalter som er anbragt omkretsmessig om målerøret 401 og som strekker seg gjennom bredden av målerør 401, men som er fylt med et dårlig-ledende eller ikke-ledende
15 materiale, slik som et Kevlar-materiale eller slik som en epoksy eller et keramisk materiale. De aksielle spalter som er fylt med ikke-ledende eller dårlig-ledende materiale muliggjør innad- og utad-passeringen av elektriske og/eller magnetiske, oscillerende felt, men som hindrer passeringen av
20 fluid gjennom målerøret 401. Slik det er vist i fig. 3A innbefatter øvre senderregion 402 de aksielle spalter som muliggjør innad- og utadpasseringen av elektriske og/eller magnetiske, oscillerende felt. Likeledes innbefatter nedre senderregion 407 de aksielle spalter som muliggjør innad- og
25 utadpasseringen av elektriske og/eller magnetiske, oscillerende felt. Mottakerregioner 403, 405 er tilveiebragt i en posisjon mellomliggende senderregionene 402, 407. Mottakerregioner 403, 405 innbefatter også de aksielle spalter fylt med dårlig-ledende eller ikke-ledende materiale, hvilket
30 muliggjør innad- eller utadpasseringen av elektriske og/eller magnetiske, oscillerende felt. Regionene som inneholder de aksielle spalter fylt med dårlig-ledende eller ikke-ledende materiale er adskilt og omgitt av faste områder 409, 411, 413, 415 og 417, som ikke tillater passeringen av elektriske
35 og/eller oscillerende felt, ettersom de består av stål som sprer det elektriske og/eller magnetiske, oscillerende felt ved dannelsen av virvelstrømmer. Målesonde 419 er anbragt

hosliggende målerør 401 i det som er vist i fig. 3A. I realitet anbringes målesonde 419 innenfor den sentrale boring (som er vist kun i fig. 3B) på målerøret 401. Målesonden 419 består av øvre senderenhet og trykkhus 421 som inneholder den øvre sendeantenne, mottakerenhet og midtre trykkhus 425 som inneholder mottaksantennene, og nedre senderenhet og trykkhus 429 som inneholder den nedre sender. Øvre skovlenhet (paddle assembly) 423 og nedre skovlenhet 427 er tilveiebragt for å sentralisere og posisjonere målesonden 413 innenfor den sentrale boring i målerøret 401. De elektriske, elektroniske og databehandlende komponenter som samvirker for å tillate mottaks- og sendeoperasjonsmåtene befinner seg innenfor trykkhusene 421, 425, 427. Øvre sender 431 er anbragt på den utvendige overflate av øvre senderenhet og trykkhus 421 og er tilpasset til å bli innrettet med senderregion 402 når målesonde 419 er plassert innenfor den sentrale boring av målerøret 401. Nedre sender 437 bæres om den utvendige del av nedre senderenhet og trykkhus 429 og er tilpasset i posisjon til å bli innrettet med senderregion 407 på målerør 401 når målesonde 419 er plassert innenfor den sentrale boring på målerør 401. Mottakerantennene 433, 435 bæres av mottakerenhet og midtre trykkhus 425 og er tilpasset i posisjon til å innrettes med mottakerregioner 403, 405 når målesonde 419 posisjoneres innenfor den sentrale boring av målerør 401. De aksielle spalter i målerør 401 som er fylt med dårlig-ledende eller ikke-ledende materiale muliggjør den sondebaserte måling av brønnparametre utenfor borestrengen som normalt ville bli hindret ved nærværet av et vektør av stål. Spaltene er konstruert slik at vektørret for målerøret 401 opprettholder sin konstruksjonsmessige integritet som er nødvendig for boreoperasjoner, og borefluider tillates ikke å strømme gjennom de aksielle spalter ettersom de ikke-ledende eller dårlig-ledende materialer er faste, fluid-ugjennomtrengelige materialer.

Fig. 3B er et delvis langsgående snittriss av målesonden 419 anbragt innenfor sentral boring 410 på målerør 401. Slik det

er vist er elektronikkhulrom 412, 414 tilveiebragt over og under antenneseksjon 416. Antenneseksjon 416 innbefatter et antennehulrom 418 som er fylt med glassfiber 420, hvilket omgir antenneledning 422. Antenneseksjon innbefatter antennehushylse 440 som innbefatter øvre leppe 424 og nedre leppe 426 som passer til spindel 428 og spindel 430 på målesonde 419. Slik det er vist strømmer slam mellom målerør 401 og målesonde 419. Elektronikk som befinner seg innenfor elektronikkhulrom 412, 428 beskyttes mot slamstrømmen.

Fig. 4A viser en alternativ utførelsesform av den foreliggende oppfinnelse som er særlig anvendbar i "slankt-hull"-applikasjoner. For denne søknads formål er "slankt-hull"-applikasjoner de som anvender rør som har en ytre diameter som er 15,24 cm eller mindre. Målesonde 503 er vist anbragt innenfor sentral boring av målerør 501. Fortrinnsvis er målerør 501 laget med en redusert, radiell diameter i området lik 7,6-10,2 cm. Målesonde 503 er tilpasset til å danne inngrep med den sentrale boring i målerør 501, i områdene av antennene, slik at antennene kan ha så stor diameter som mulig, og slik at antennene kan tjene et andre formål og plassere sonden 503 innenfor boringen 501. Målesonde 503 innbefatter en styreenhet og sendeelektronikkdelenhet 507, senderantenne 509, mottakerelektronikkdelenhet 511, mottakerantenner 513, 514, senderelektronikkhus 515, og senderantenne 517. Fig. 4B er et detaljert riss over området for sender 517. Målerør 501 er vist i fragmentært snittriss. Det er utstyrt med et flertall av aksielle spalter som er fylt med dårlig-ledende eller ikke-ledende epoksy eller Kevlar-materiale. Sender 517 bæres hosliggende de aksielle spalter 525. Fig. 4C er et tverrsnittriss sett langs snittlinje C-C i fig. 4A. Slik det er vist er det tilveiebragt et flertall av eiker 527 og aksielle spalter 529. Boreslam pumpes nedad gjennom aksielle spalter 529 i området for antennene. Denne løsning har flere vesentlige fordeler i forhold til den kjente teknikk. For det første må målesonden 503 mekanisk understøttes ved hjelp av målerør 501 som

hindrer bevegelse av målesonde 503. Derneft hindrer den nære innretting mellom målerør 501 og målesonde 503 strømmen av borefluider i området for sende- og mottaksantennene, hvorved minimaliseres muligheten for skade på antennene. For det tredje blir sende- og mottaksantennene plassert så nær som mulig de aksielle spalter i målerør 501 for å øke målevirkningsgraden og redusere kravene til effekt for loggingsverktøyet. Målerøret kan selvfølgelig konstrueres av ikke-ledende eller dårlig-ledende vektør, slik som beskrevet tidligere, i stedet for et spalteforsynt vektør.

Fig. 4D er et langsgående snittriss tatt langs snittlinjen D-D i fig. 4C. Som vist anbringes målinger på 503 innenfor sentral boring 510 av målerør 501. Elektronikkhulrommet 512, 514 er tilveiebragt for å oppbevare loggingsverktøyelektronikken. Antenneseksjon er forsynt med en C-formet hylse som er fylt med glassfiber 516, og som rommer antenneledning 518. Strømningsveier 520, 522 er tilveiebragt mellom C-formet hylse og målesondens 503 hovedlegeme. Boreslam dirigeres gjennom strømningspassasjer 520, 522 i området for antennen 518. Antennen 518 anbringes så nær som mulig målerør 501, hvilket kan lages av et dårlig-ledende materiale, eller som kan innbefatte aksielle spalter som tillater innad- og utadpasseringen av elektromagnetiske felt.

De utførelsesformer som er omtalt her har fokusert på anvendelsen av resistivitetloggingsverktøy innenfor målerør som er laget i det minste delvis av et dårlig-ledende eller ikke-ledende materiale. Imidlertid kan andre typer av måleverktøy dannes i og bæres på målesonder som er anbragt innenfor målerør som er delvis dannet av ikke-ledende eller dårlig-ledende materialer, slik at dielektriske loggingsverktøy og andre verktøy som anvender oscillerende elektriske og/eller magnetiske felt til å avføle eller detektere forhold utenfor loggingsverktøyet som er relatert til enten borehullet eller den omgivende formasjon. Et eksempel av slikt dielektrisk loggingsverktøy som kan anvendes slik det er

beskrevet i tilknytning til foreliggende oppfinnelse, fremgår av US-patent 4107598. I alternative utførelsesformer kan verktøy for resistivitet og dielektrisk logging kombineres til en enkelt sonde for å tillate flere typer av måling å
5 skje samtidig eller suksessivt. Typene av informasjon som kan utledes fra verktøy for resistivitet og dielektrisk logging kan anvendes til å definere et flertall av borehull og formasjonsforhold, innbefattende et mål for borehullets diameter, et mål av inntrengningsdiameteren for boreslam, et
10 mål for formasjonsresistiviteten, og anvendelsen av amplitudedempning og faseforskyvningsmålinger (som ser avvikende dybder i formasjonen) for lokaliseringen og deteksjonen av lag og grenseendringer. Et eksempel for anvendelsen av amplitude og fasedata for å utføre kaliberoperasjoner i et
15 brønnhull, og å detektere lag og grenseendringer er angitt i US-patent 4899112 ("Well Logging Apparatus For Determining Formation Resistivity At A Shallow Depth And A Deep Depth").

I spesielle utførelsesformer av den foreliggende oppfinnelse
20 kan målesonden utstyres med en konvensjonell fiskehals anbragt ved dens øverste parti, hvilket tillater målesonden å bli kjørt inn og ut av målerøret under boreoperasjoner ved anvendelse av en vanlig kabelbasert hentingsanordning. Typisk innbefatter hentingsanordningen en komponent som er profilert
25 til å danne inngrep med fiskehalsen på målesonden. På denne måte kan målesonden fjernes for reparasjon eller utskiftning under boreoperasjoner, uten å kreve at hele borestrengen skal trekkes ut.

P a t e n t k r a v

1.

Anordning for måling-under-boring for bruk i en borestreng
under boreoperasjoner for å avføle (interrogate) et borehull
og omgivende formasjon, omfattende:

(a) en målesonde (27) som innbefatter minst en av (i) et
sendeelement (29,31) for å generere et avfølende, elek-
tromagnetisk felt for passering gjennom borehullet og
omgivende formasjon, og (ii) et mottakselement (33,35) for å
motta et avfølende, elektromagnetisk felt etter passering
gjennom borehullet og omgivende formasjon,

(b) et målerør (25) som innbefatter en sentral boring som
står i forbindelse med en sentral boring i nevnte borestreng
for (i) kobling i nevnte borestreng for å plassere målesonden
i en bestemt posisjon, og (ii) å tillate avføling av
borehullet og omgivende formasjon med nevnte avfølende,
elektromagnetiske felt,

(c) middel for å feste målesonden på et bestemt sted innenfor
nevnte sentrale boring i målerøret, idet nevnte anordning for
måling-under-boring er betjenbar i minst én av de følgende
operasjonsmodi:

(i) en sendeoperasjonsmodus, der nevnte avfølende elek-
tromagnetiske felt genereres ved hjelp av målesonden og
utstråles utad fra målesonden og gjennom målerøret inn i
borehullet og omgivende formasjon,

(ii) en mottaks-operasjonsmodus, der nevnte avfølende
elektromagnetiske felt passerer fra borehullet og omgivende
formasjon og gjennom nevnte målerør for deteksjon ved hjelp
av det mottakende elementet,

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

(d) et henteelement som tillater minst ett av følgende:

(i) henting av nevnte målesonde fra målerøret under boreoperasjoner uten vesentlig forstyrrelse av nevnte boreoperasjoner,

(ii) plassering av målesonden i målerøret under boreoperasjoner uten vesentlig forstyrrelse av nevnte boreoperasjoner.

2.

Anordning som angitt i krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at målerøret (25) omfatter et fast, sylindrisk rør.

3.

Anordning som angitt i krav 1 eller 2, k a r a k t e r i s e r t v e d at målerøret (25) omfatter et fast, sylindrisk rør med i alt vesentlig ensartet tykkelse.

4.

Anordning som angitt i et hvilket som helst foregående krav, k a r a k t e r i s e r t v e d at målerøret (25) er dannet av et materiale som tillater i alt vesentlig uhindret plassering av elektromagnetiske felt.

5.

Anordning som angitt i et hvilket som helst foregående krav, k a r a k t e r i s e r t v e d at målerøret innbefatter et flertall av aksielle spalter (525) som tillater passeringen av nevnte avførende elektromagnetiske felt fra nevnte sentrale boring i målerøret til borehullet og omgivende formasjon.

6.

Anordning som angitt i et hvilket som helst foregående krav, k a r a k t e r i s e r t v e d at målerøret omfatter et vektrørelement som innbefatter gjengede øvre og nedre verktøyskjøtepartier for å tillate kobling i borestrengen og et sentralt rørparti som er mellomliggende mellom nevnte øvre og nedre verktøyskjøtpartier.

7.

Anordning som angitt i krav 6, k a r a k t e r i s e r t
v e d at minst nevnte rørparti er dannet av et materiale
5 som tillater den i alt vesentlig uhindrede passering av
elektromagnetiske felt.

8.

Anordning som angitt i et hvilket som helst foregående krav,
10 k a r a k t e r i s e r t v e d at anordningen er
betjenbar i en ytterligere plasseringsoperasjonsmodus, der
målesonden kjøres inn i posisjon innenfor målerøret under
boreoperasjoner.

15 9.

Anordning som angitt i et hvilket som helst foregående krav,
k a r a k t e r i s e r t v e d at anordningen er
betjenbar i en ytterligere hentingsoperasjonsmodus, der
målesonden (27) fjernes fra målerøret under boreoperasjoner.

20 10.

Anordning som angitt i et hvilket som helst foregående krav,
k a r a k t e r i s e r t v e d at målesonden dessuten
innbefatter:

25 et signalbehandlingsselement for å identifisere minst en
karakteristikk for nevnte avfølende, elektromagnetiske felt,
hvilken tilveiebringer informasjon vedrørende minst en av (a)
nevnte borehull, og (b) nevnte omgivende formasjon.

30 11.

Anordning som angitt i et hvilket som helst foregående krav,
k a r a k t e r i s e r t v e d at målesonden (27)
dessuten innbefatter en dataprosessor (101) for å behandle
data for å generere informasjon vedrørende minst en av (a)
35 nevnte borehull og (b) nevnte omgivende formasjon.

12.

Anordning som angitt i et hvilket som helst foregående krav, k a r a k t e r i s e r t v e d at nevnte sendeelement (29,31) i målesonden innbefatter et flertall av sendeantennner (T1,T2) som er adskilt ved valgte steder på en utvendig overflate av målesonden.

13.

Anordning som angitt i et hvilket som helst foregående krav, k a r a k t e r i s e r t v e d at mottakselementet (33,35) i målesonden innbefatter et flertall av mottaksantennner (R1,R2) som er adskilt ved valgte steder på en utvendig overflate av målesonden.

14.

Anordning som angitt i krav 13, k a r a k t e r i s e r t v e d at mottaksantennen er anbragt mellom øvre og nedre sendeantennner.

15.

Anordning som angitt i krav 14, k a r a k t e r i s e r t v e d at målesonden suksessivt energiserer nevnte øvre og nedre sendeantennner og kombinerer data oppnådd fra mottaksantennene for å kompensere for systemfeil.

16.

Anordning som angitt i krav 15, k a r a k t e r i s e r t v e d at nevnte kombinasjon av data skjer i en dataprosessor (101) som bæres av målesonden.

17.

Anordning som angitt i et hvilket som helst foregående krav, k a r a k t e r i s e r t v e d at målesonden kraftforsynes ved hjelp av minst en av (a) et batteri og (b) en turbin.

18.

Anordning som angitt i et hvilket som helst foregående krav, k a r a k t e r i s e r t v e d at en fluidstrømnings-
5 passasje er tilveiebragt mellom nevnte målesonde og nevnte sentrale boring i målerøret.

19.

Anordning som angitt i et hvilket som helst foregående krav, k a r a k t e r i s e r t v e d at minst en karakteristikk
10 av nevnte avfølende elektromagnetiske felt omfatter minst en av (a) amplitudedempning, (b) faseforskyvning som tilveiebringer et mål på minst en av (a) formasjonsresistivitet, (b) borehulldiameter, og (c) inntrengningsdiameter.

15

20.

Anordning som angitt i et hvilket som helst foregående krav, k a r a k t e r i s e r t v e d at nevnte avfølende, elektromagnetiske felt tilveiebringer et mål på en di-
20 elektrisk konstant for nevnte borehull og nevnte omgivende formasjon.

21.

Anordning som angitt i et hvilket som helst foregående krav, k a r a k t e r i s e r t v e d at målerøret og målesonden
25 tilveiebringer et system for måling-under-boring med kort radius.

22.

Anordning som angitt i et hvilket som helst foregående krav, k a r a k t e r i s e r t v e d at målerøret og målesonden
30 tilveiebringer et system for måling-under-boring av typen "slankt-hull".

35

23.

Anordning som angitt i et hvilket som helst foregående krav, k a r a k t e r i s e r t v e d at borestrengen innbefatter

en direktiv slampuls-telemetri underenhet for å kommunisere data opp i hullet.

24.

- 5 Anordning som angitt i et hvilket som helst foregående krav, k a r a k t e r i s e r t v e d at målesonden detekterer resistivitet ved et flertall av dybder og er anvendbar for å lokalisere formasjonsgrenser.

10 25.

Anordning som angitt i et hvilket som helst foregående krav, k a r a k t e r i s e r t v e d at målerøret omfatter et "slankt-hull" rør, og som anvendes under nevnte boreopera-sjoner for å bore et "slankt-hull" borehull.

15

26.

- Anordning som angitt i et hvilket som helst foregående krav, k a r a k t e r i s e r t v e d at fluidstrømningspassasjen befinner seg mellom målesonden og målerøret for å tillate 20 borefluider å kunne sirkuleres ved å anvende borestrengen.

27.

- Anordning som angitt i et hvilket som helst foregående krav, k a r a k t e r i s e r t v e d at målerøret innbefatter 25 øvre og nedre gjengede ender tilpasset for å danne inngrep med nevnte målerør ved en valgt posisjon innenfor bore-strengen.

28.

- 30 Anordning som angitt i et hvilket som helst foregående krav, k a r a k t e r i s e r t v e d at målerøret innbefatter et fast, i alt vesentlig sylindrisk rørparti som er mellom-liggende nevnte øvre og nedre gjenget koblinger, hvilket parti ikke innbefatter noen hals-reduerte (necked-down) 35 partier.

29.

Anordning som angitt i et hvilket som helst foregående krav, k a r a k t e r i s e r t v e d at den sentrale boring i målerøret (25) som kommuniserer med en sentral boring i borestrengen er omgitt av et turbulært legeme som er dannet i det minste delvis av felt-transmissivt materiale, og at de nevnte operasjonssendemodus blir nevnte avfølende, elektromagnetiske felt utstrålt utad gjennom nevnte turbulære legeme i nevnte målerør inn i borehullet og omgivende formasjon, og i nevnte mottaksoperasjonmodus passerer det nevnte avfølende, elektromagnetiske felt gjennom nevnte turbulære legeme i målerøret for deteksjon ved hjelp av mottakselementet.

30.

Anordning som angitt i krav 29, k a r a k t e r i s e r t v e d at det felt-transmissive materialet består av minst ett av (a) et ikke-ledende materiale som ikke leder elektriske strømmer, og (b) et dårlig-ledende materiale som er dårlig leder for elektriske strømmer.

31.

Anordning som angitt i krav 30, k a r a k t e r i s e r t v e d at nevnte dårlig-ledende materiale omfatter et materiale som har en masse-resistivitetverdi i området 0.001 Ohm-meter og mindre enn 100 Ohm-meter.

32.

Anordning som angitt i krav 30, k a r a k t e r i s e r t v e d at nevnte ikke-ledende materiale omfatter et materiale som har en masse-resistivitetverdi som er større enn 100 Ohm-meter.

33.

Anordning som angitt i et hvilket som helst av kravene 29-32,

k a r a k t e r i s e r t v e d at målesonden er innrettet til å anvende nevnte sendeelement (29,31) for å generere et avfølende, elektromagnetisk felt som passerer gjennom det turbulære legemet utad inn i borehullet og omgivende formasjon, og som passerer tilbake gjennom nevnte turbulære legeme inn i nevnte sentrale boring i det turbulære elementet for mottak ved hjelp av nevnte mottakselement (33,35).

34.

Anordning som angitt i et hvilket som helst av kravene 29-33, k a r a k t e r i s e r t v e d at nevnte sendeelement i målesonden innbefatter et flertall av sendeantennener som er adskilt ved valgte steder på nevnte utvendige overflate av målesonden, hvilke utstråler elektromagnetiske felt radielt utad gjennom nevnte turbulære legeme i målerøret, og at nevnte mottakselement innbefatter et flertall av mottaksantennener som er adskilt ved valgte steder på en utvendig overflate av målesonden, for å detektere elektromagnetiske felt som passerer radielt innad gjennom nevnte turbulære legeme i målerøret.

35.

Anordning som angitt i krav 34, k a r a k t e r i s e r t v e d at nevnte flertall av mottaksantennener er anbragt mellom en øvre sendeantenne og en nedre sendeantenne.

36.

Anordning som angitt i krav 34 eller 35, k a r a k t e r i s e r t v e d at målesonden dessuten innbefatter en mikroprosessor for å kombinere data oppnådd fra nevnte mottaksantennener for å utlede et mål på minst en av (a) amplitudedempning, (b) faseforskyvning, (c) formasjonsresistivitet, (d) borehulldiameter, (e) inntrengningsdiameter i borehullet og (f) borehulldielektrisitetetskonstanter.

37.

Fremgangsmåte for å avføle (interrogate) et borehull og omgivende formasjon under boreoperasjoner, omfattende

5 trinnene:

(a) å tilveiebringe et målerør (25) som dannes i det minste delvis av et materiale som tillater i alt vesentlig uhindret passering av elektromagnetiske felt, og som innbefatter en

10 sentral boring,

(b) å tilveiebringe en målesonde (27) som innbefatter minst ett av (a) et sendeelement (29,31) for å generere et avfølende, elektromagnetisk felt for passering gjennom borehullet og omgivende formasjon, og (b) et mottakselement (33,35) for å motta et avfølende, elektromagnetisk felt etter

15 passering gjennom borehullet og omgivende formasjon,

(c) å feste målesonden innenfor den sentrale boringen i målerøret,

(d) å koble målerøret på et valgt sted innenfor en borestreng,

(e) å anvende målesonden under boreoperasjoner for å avføle borehullet og omgivende formasjon, ved å operere i de følgende operasjonsmodi:

20

(i) en sendeoperasjonsmodus, der nevnte avfølende, elektromagnetiske felt genereres av målesonden og utstråles utad fra målesonden og gjennom nevnte målerør inn i borehullet og omgivende formasjon,

25

(ii) en mottaksoperasjonsmodus, der nevnte avfølende, elektromagnetiske felt passerer fra nevnte borehull og omgivende formasjon og gjennom målerøret for deteksjon ved hjelp av mottakselementet,

30

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

(f) å operere målesonden i det ytterligere flertallet av operasjonsmodi:

(i) en henteoperasjonsmodus, der målesonden fjernes fra målerøret under boreoperasjoner,

35

(ii) en plasseringsoperasjonsmodus, der målesonden kjøres i stilling innenfor målerøret under boreoperasjoner.

38.

Fremgangsmåte som angitt i krav 37, k a r a k t e r i s e r t
v e d at sendeelementet i målesonden (27) dannes av et
5 flertall av sendeantenner (T1,T2) som anbringes adskilt ved
valgte steder på en utvendig overflate av målesonden.

39.

Fremgangsmåte som angitt i krav 37 eller 38, k a r a k t e r -
10 i s e r t v e d at mottakselementet dannes av et flertall
av mottaksantenner (R1,R2) som anbringes adskilt ved valgte
steder på en utvendig overflate av målesonden (27).

40.

15 Fremgangsmåte som angitt i krav 37,38 eller 39, k a r a k -
t e r i s e r t v e d dessuten å tilveiebringe et data-
sendeelement for (1) å motta nevnte minst ene karakteristikk
av nevnte avfølende, elektromagnetiske felt fra signal-
behandlingselementet, og (2) å rette et datasignal fra et
20 sted i borehullet til et fjerntliggende sted, idet nevnte
datasignal som innbefatter nevnte informasjon vedrørende
minst ett av (a) nevnte borehull, og (b) nevnte omgivende
formasjon.

25

30

35

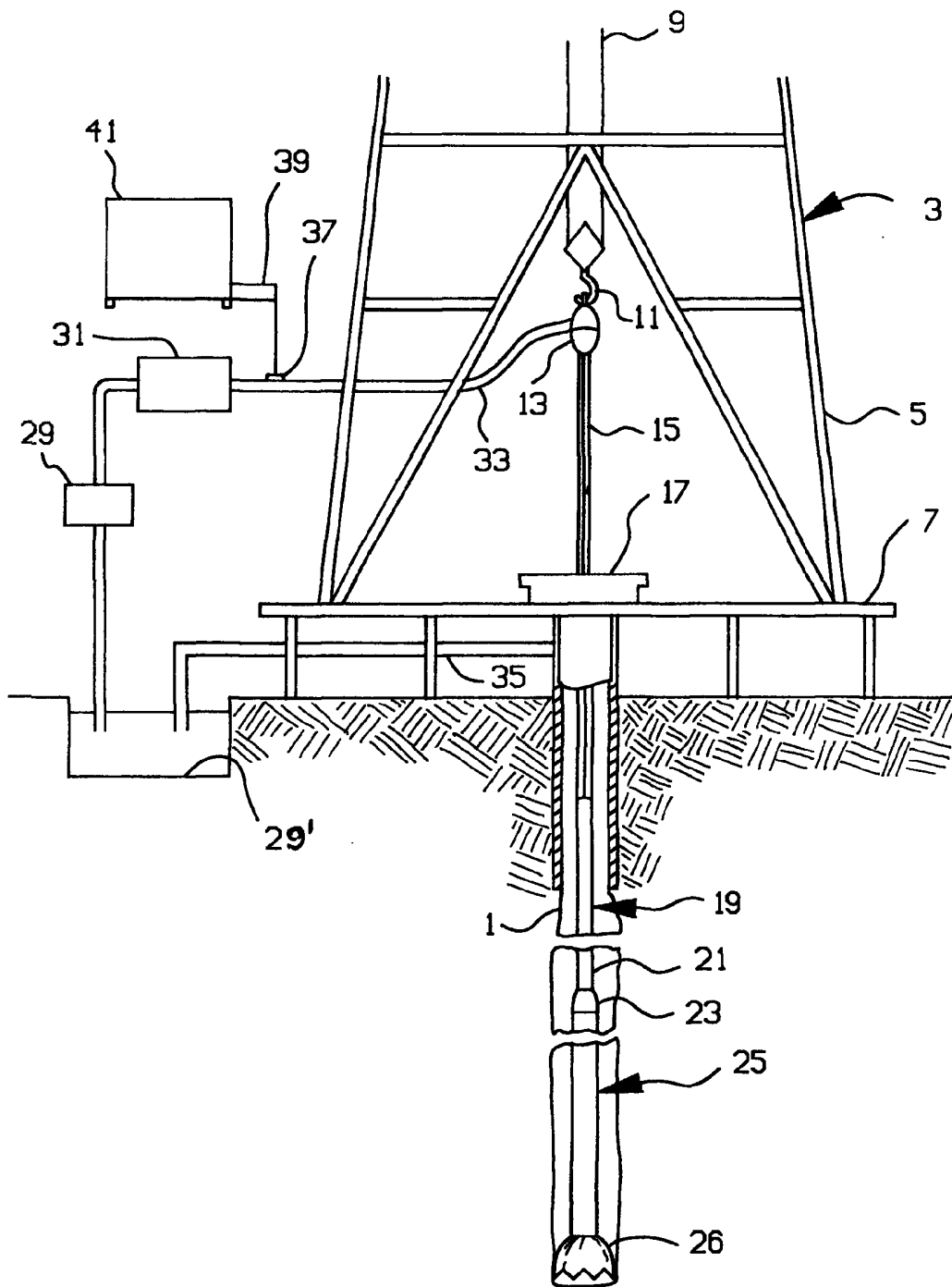


FIG. 1A

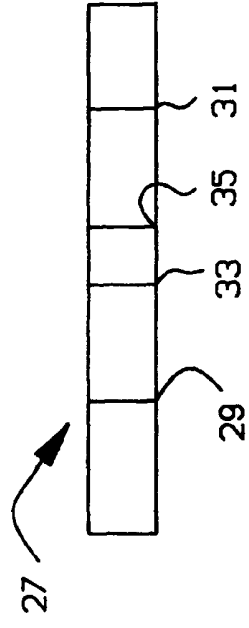


FIG. 1C

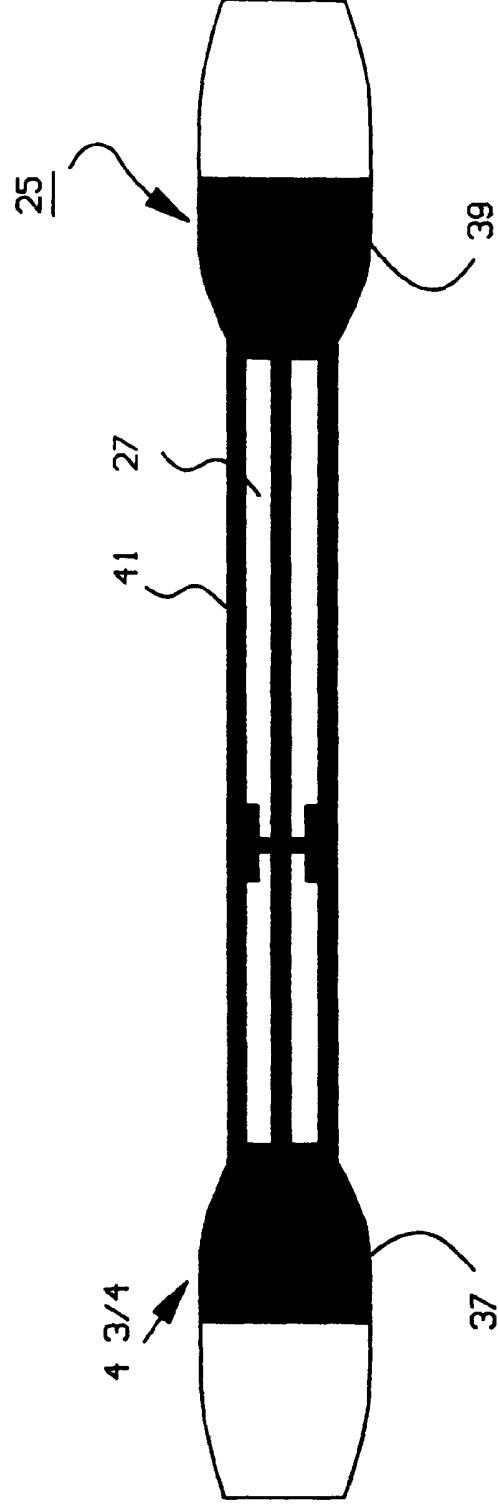


FIG. 1B

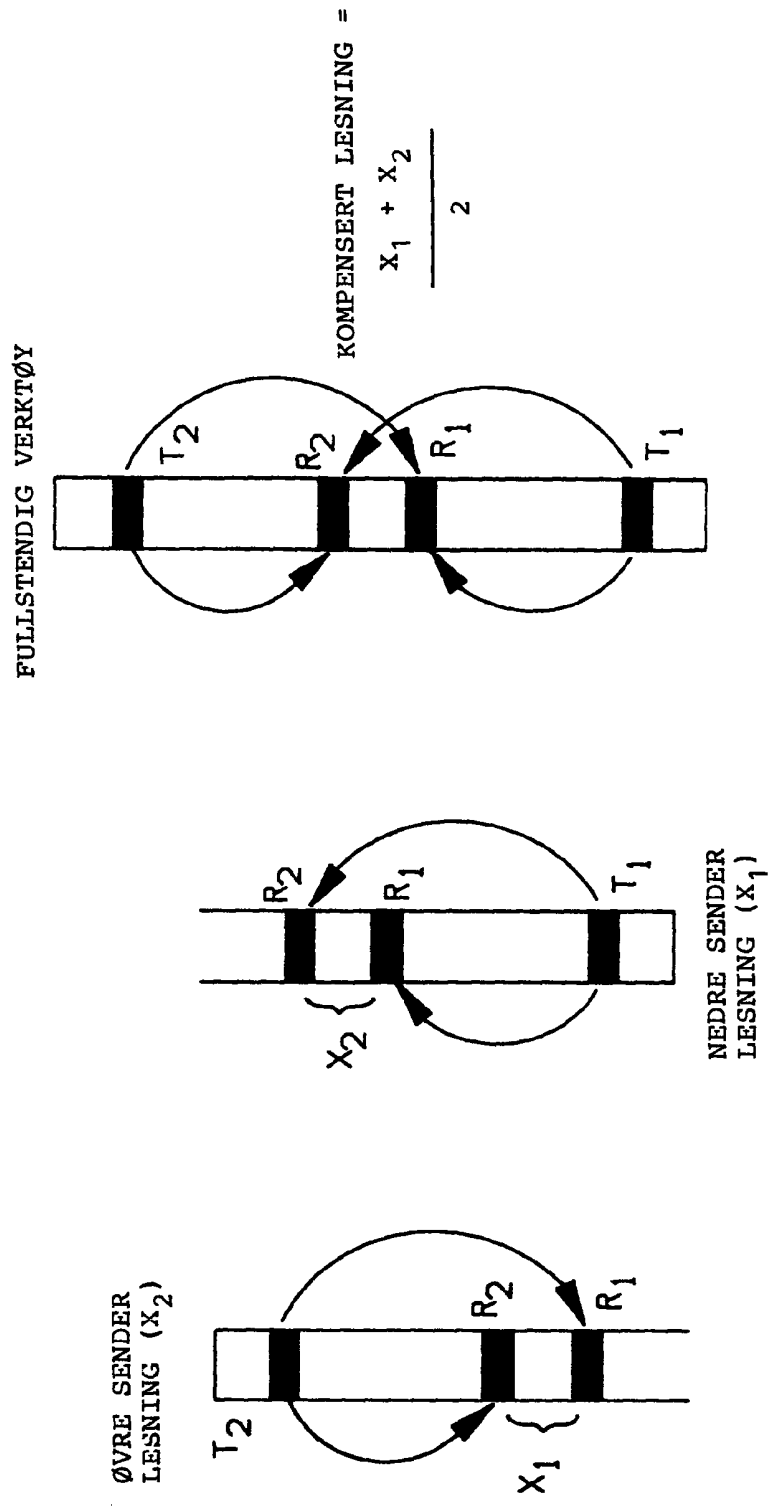


FIG. 1D

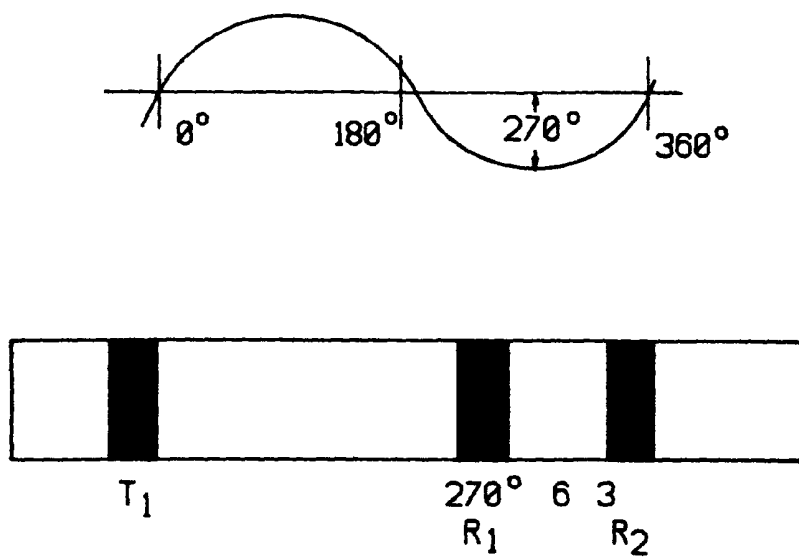


FIG. 1E

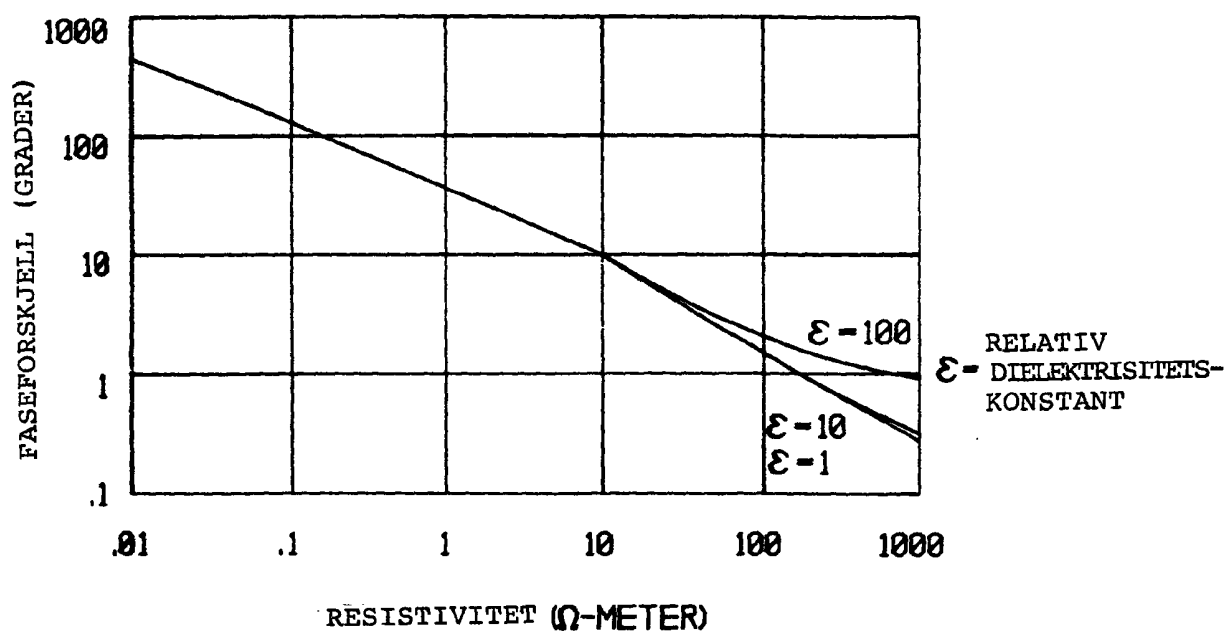


FIG. 1F

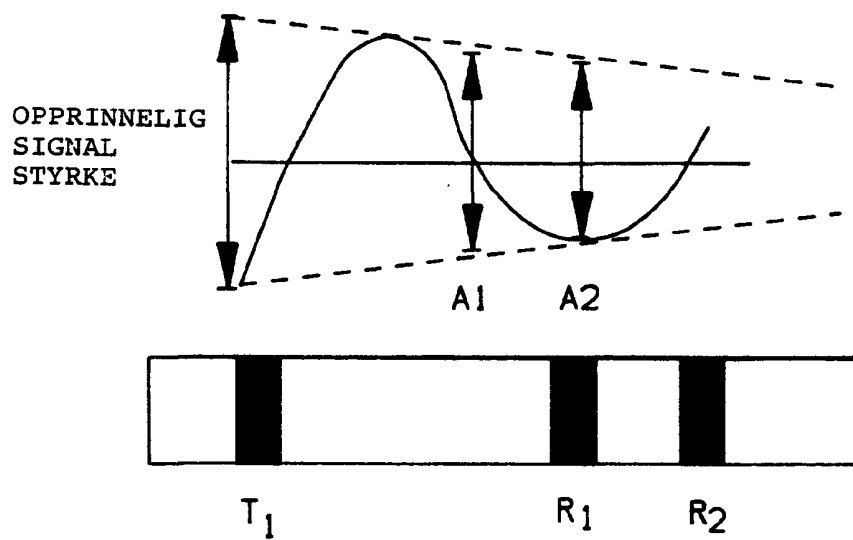


FIG. 1G

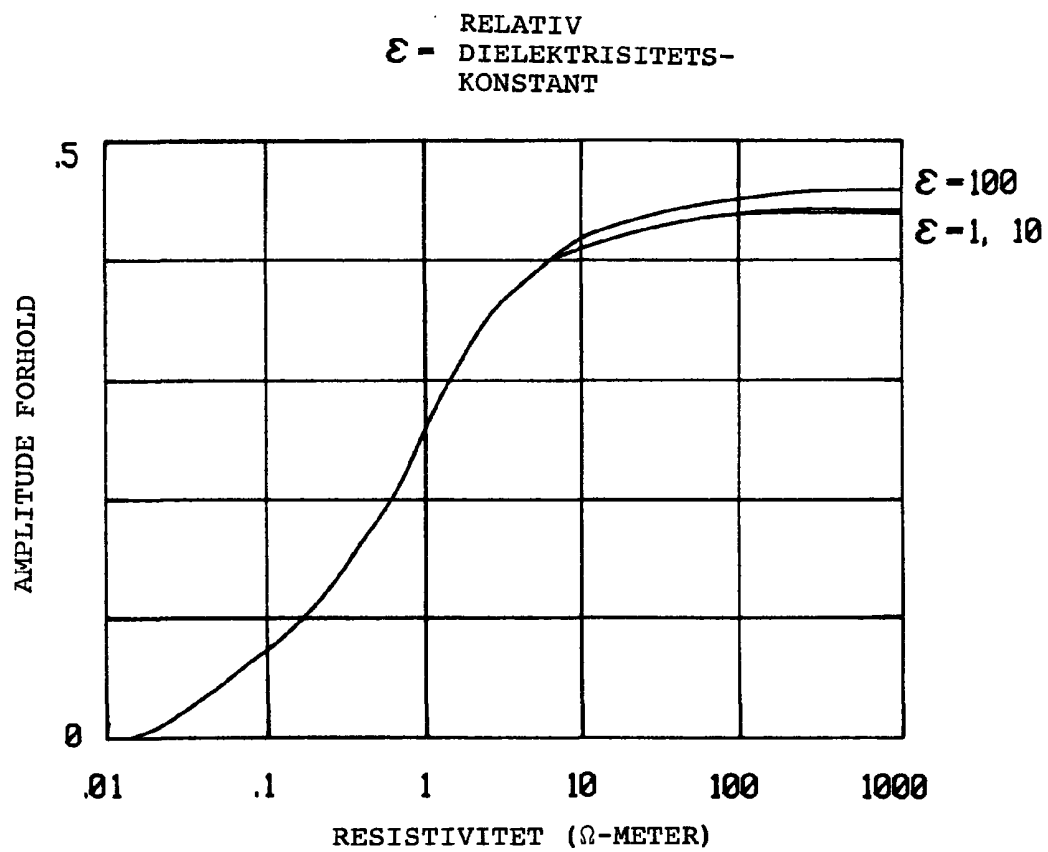


FIG. 1H

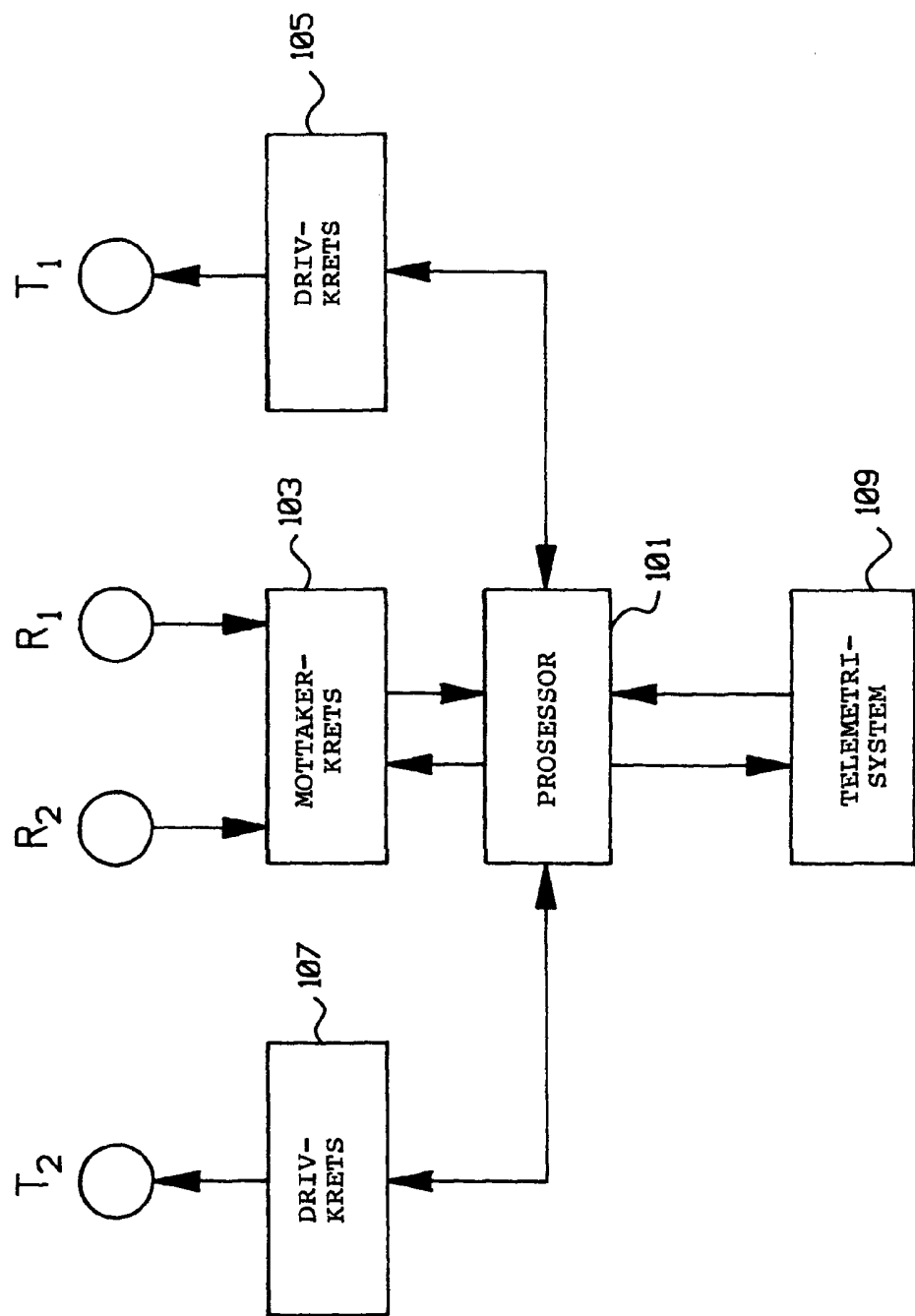


FIG. 2A

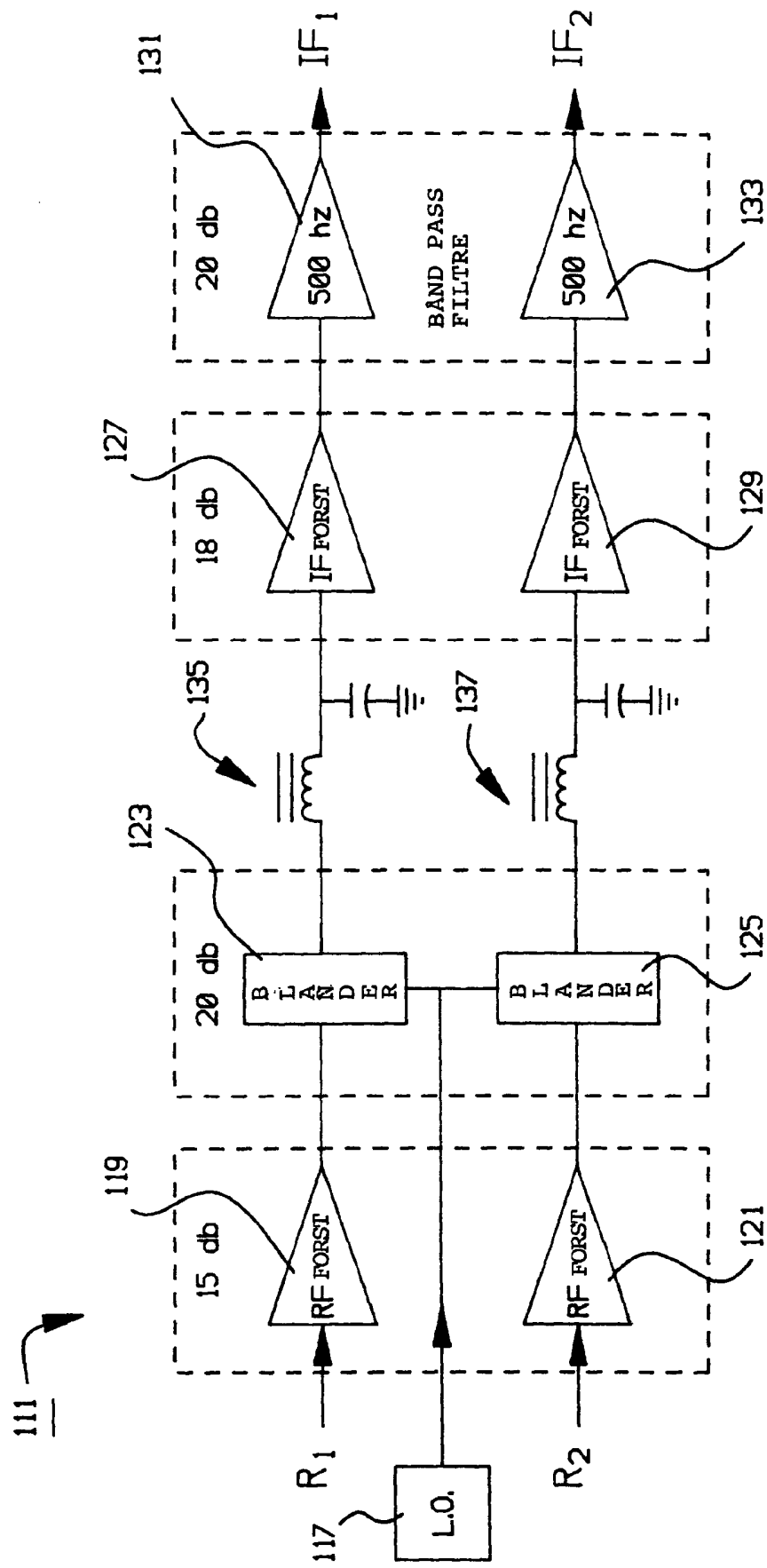


FIG. 2B

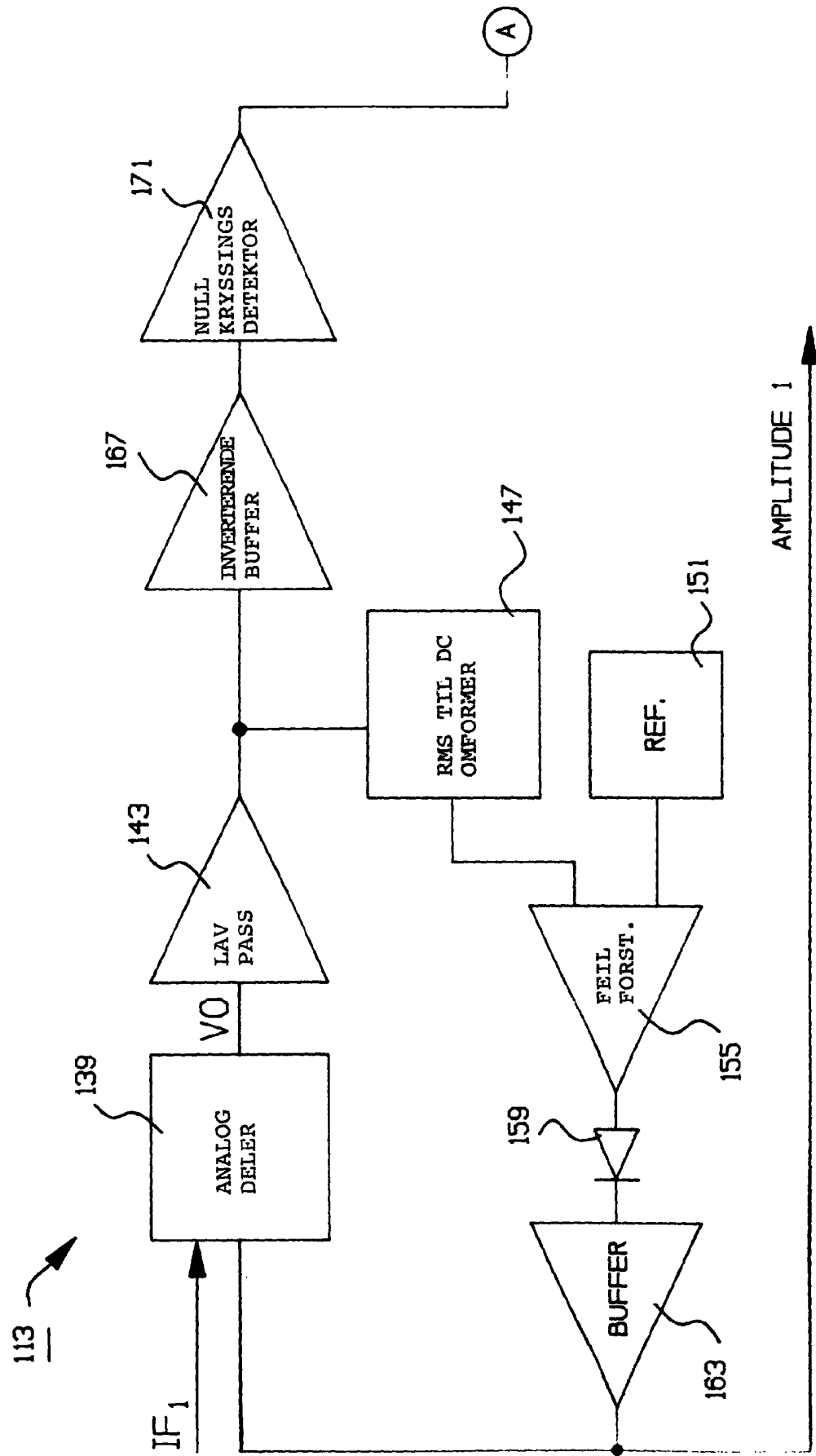


FIG. 2C

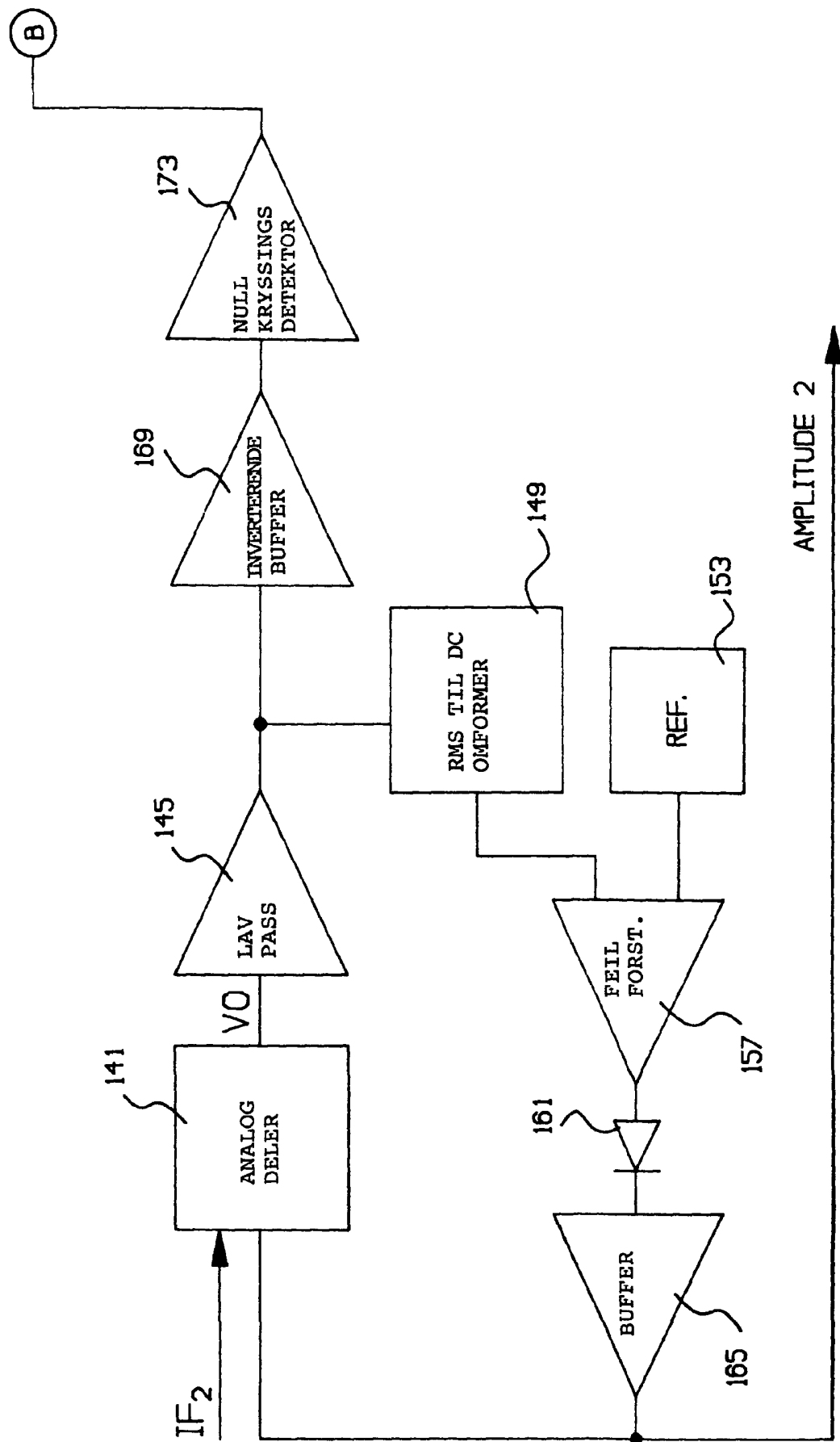


FIG. 2D

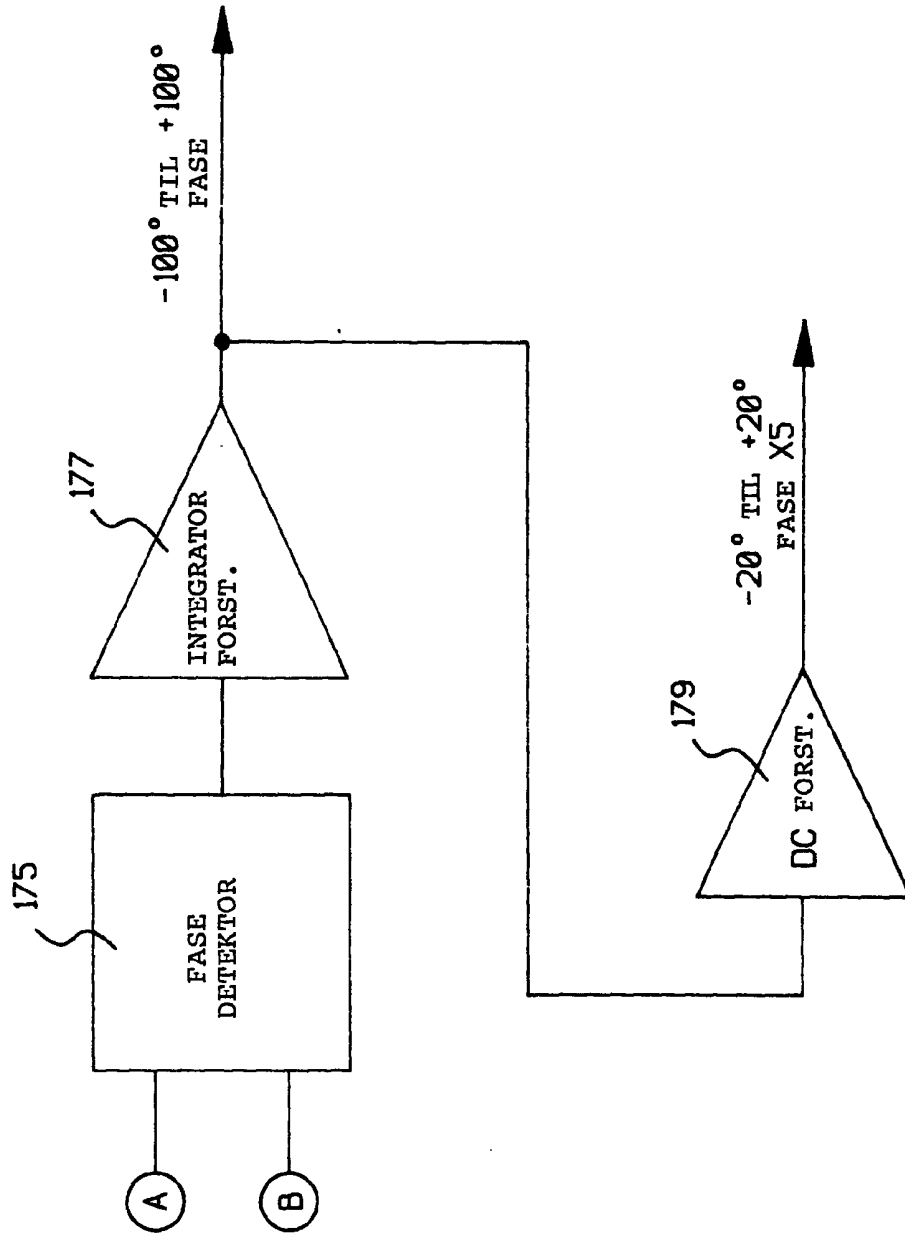


FIG. 2E

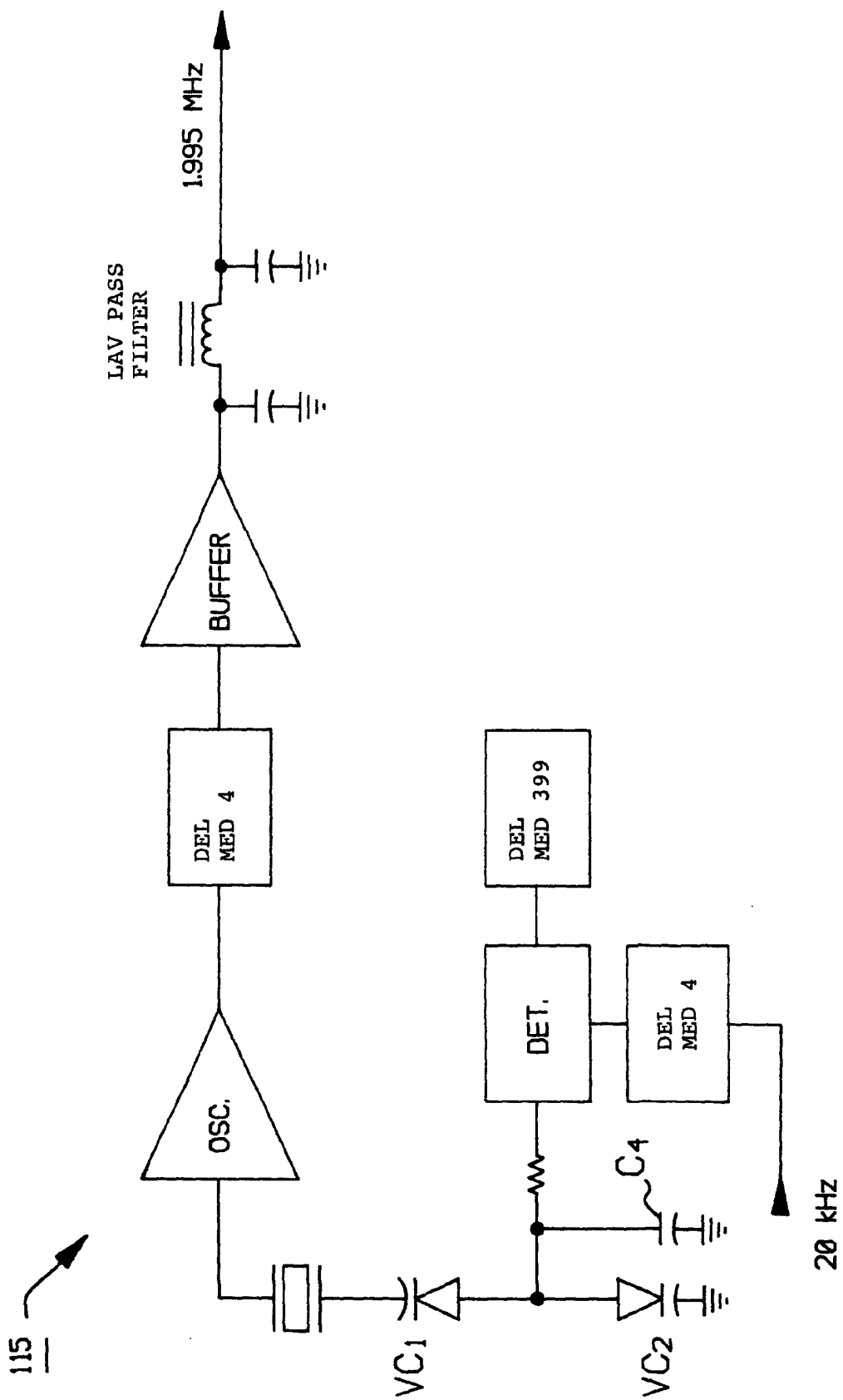


FIG. 2F

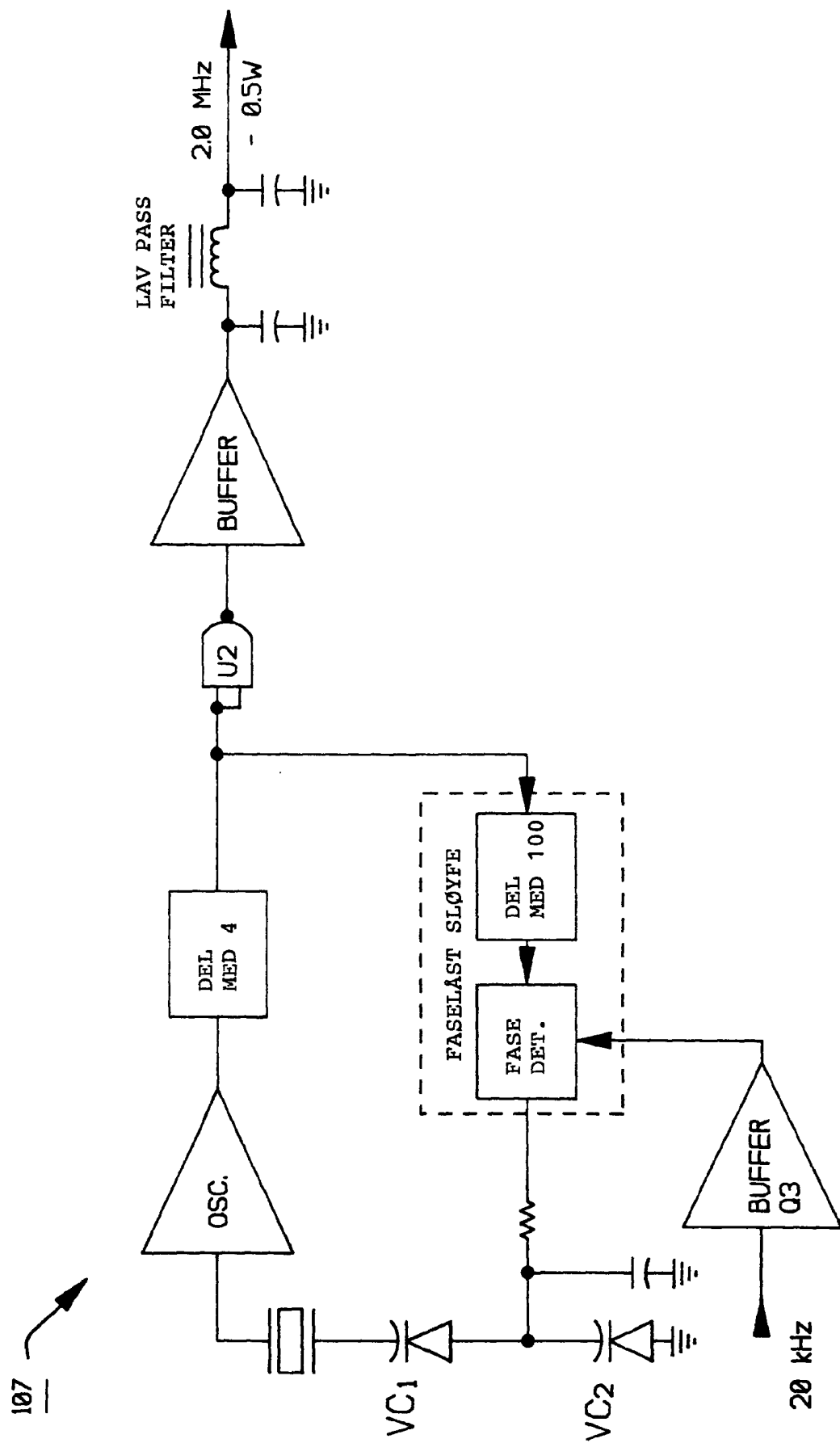


FIG. 2G

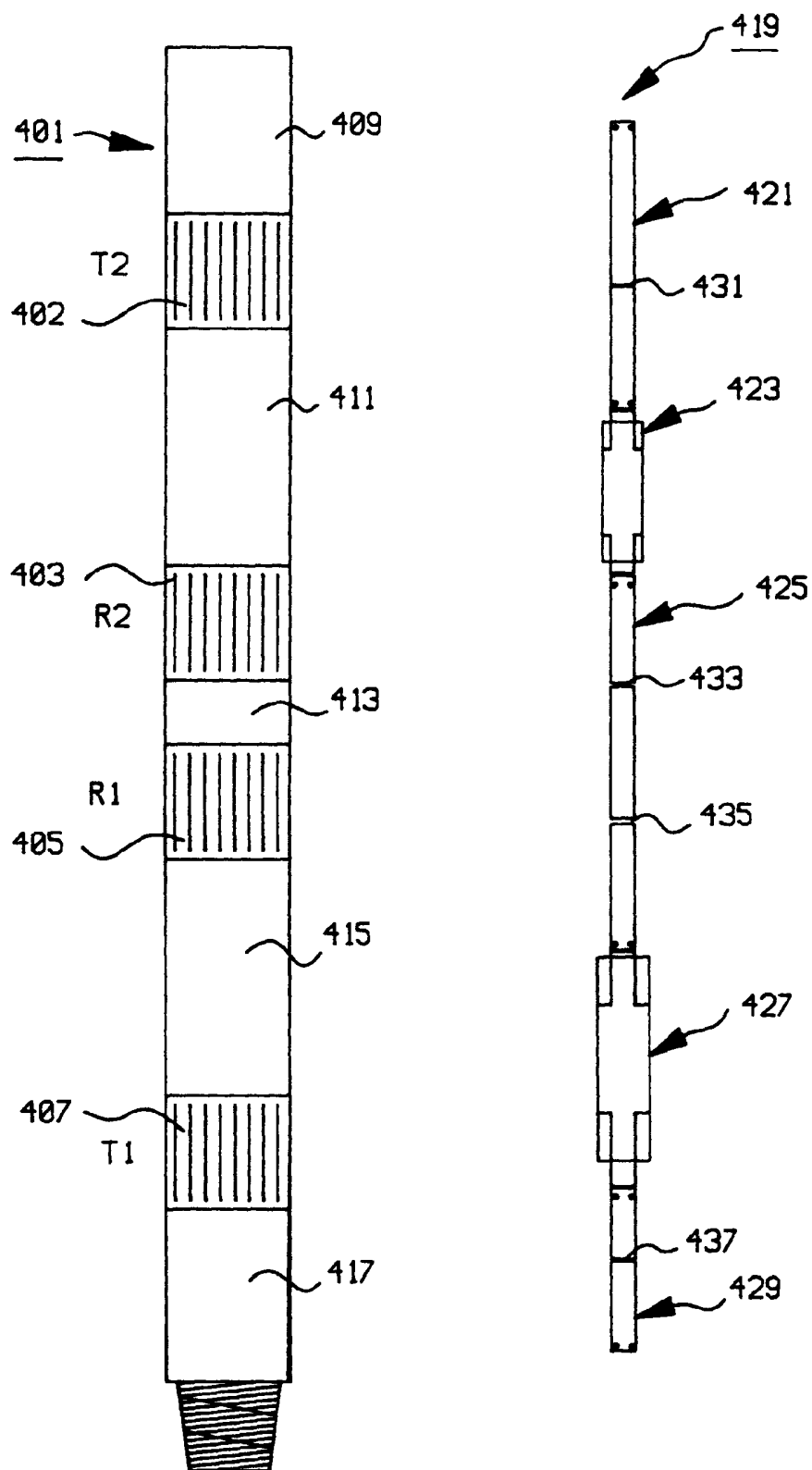


FIG. 3A

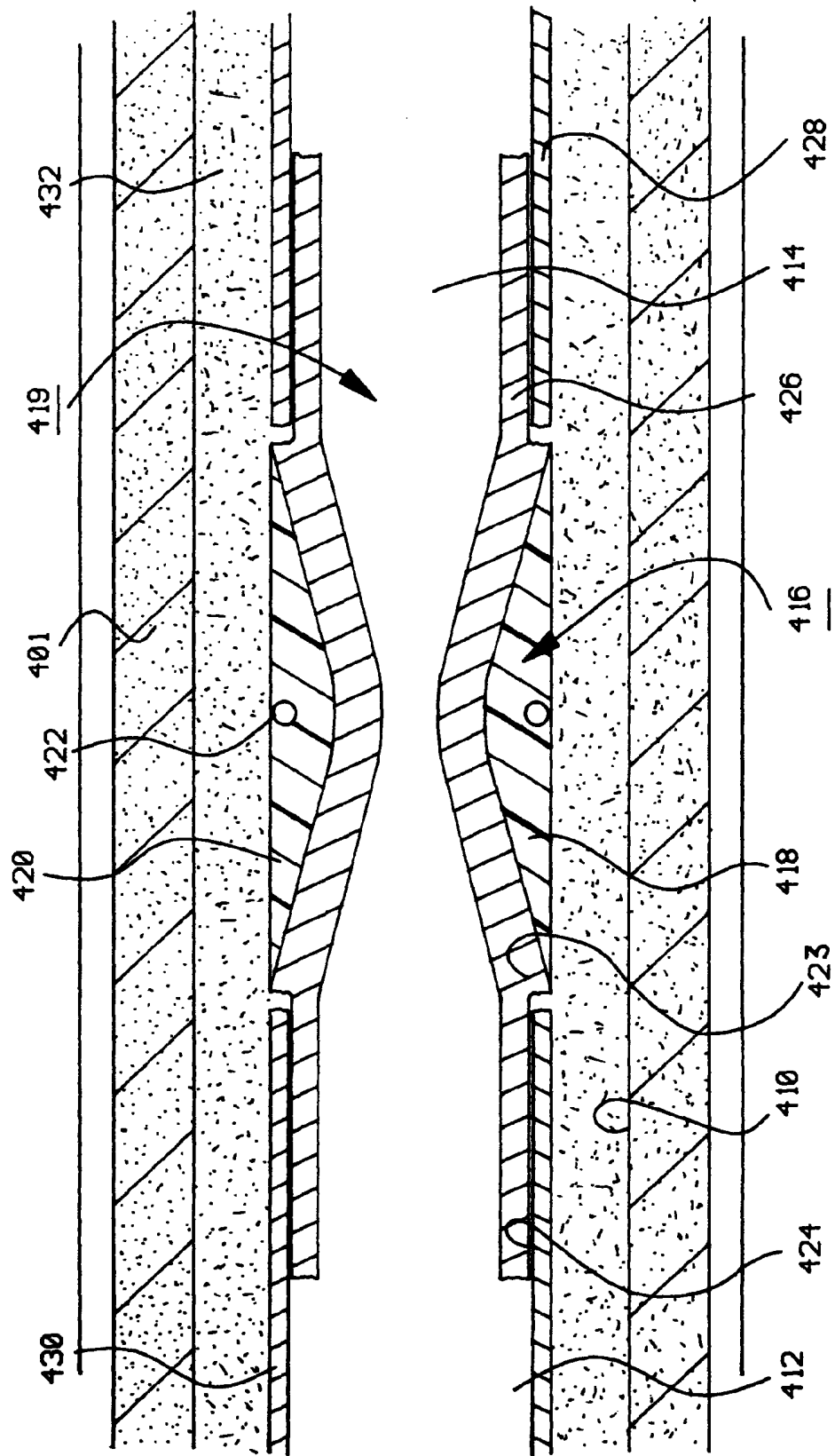
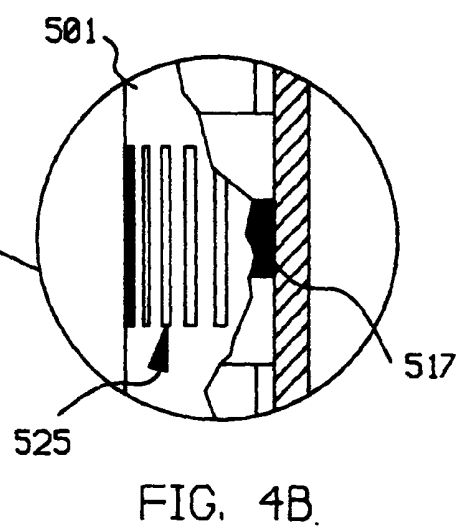
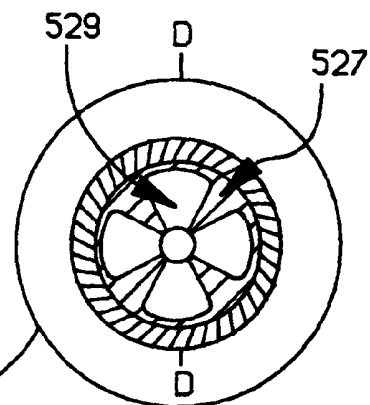
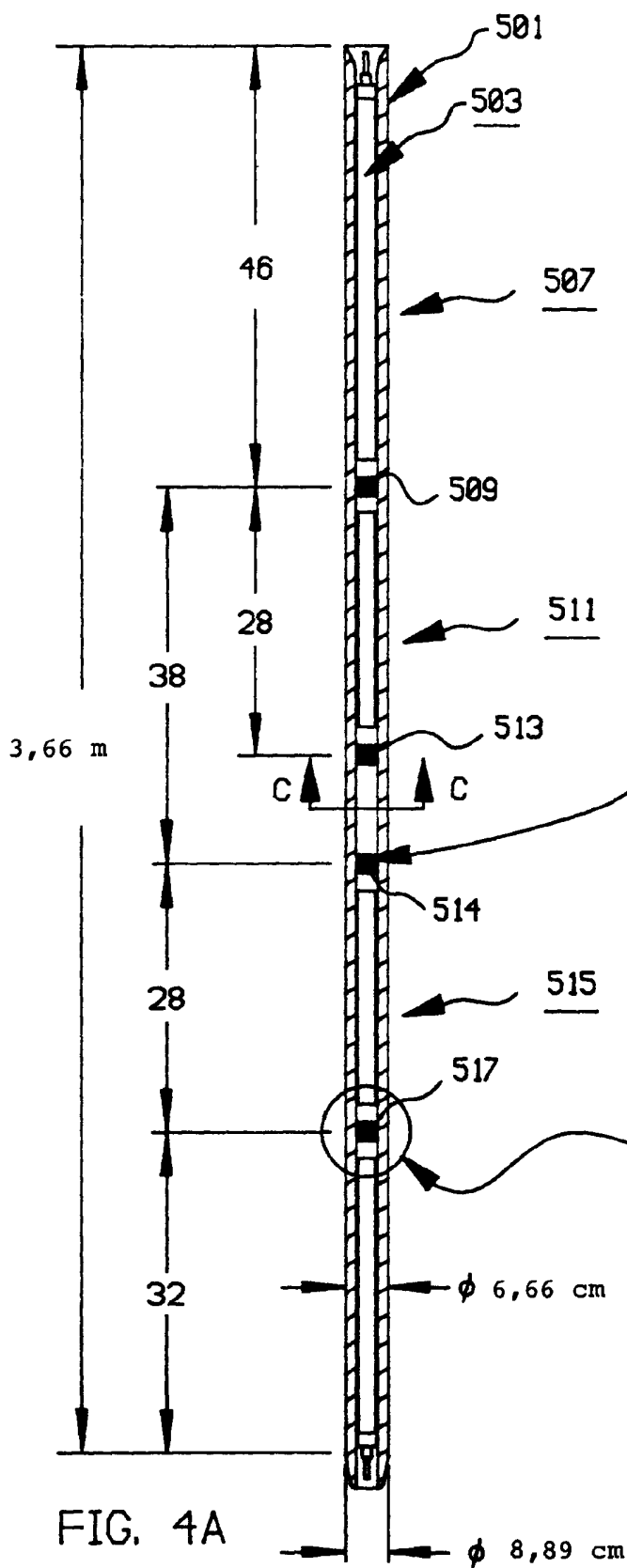


FIG. 3B



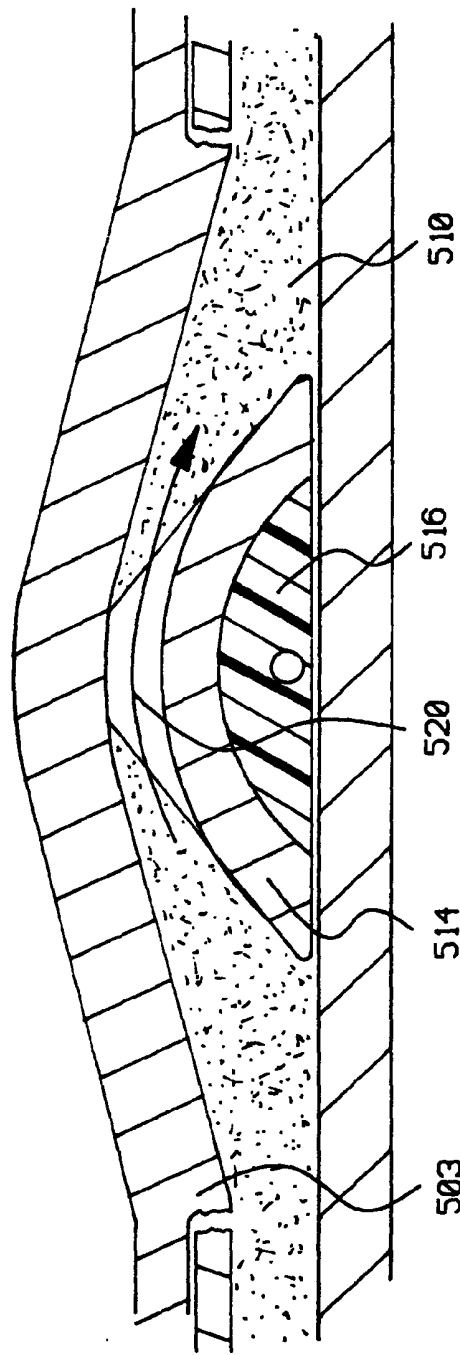
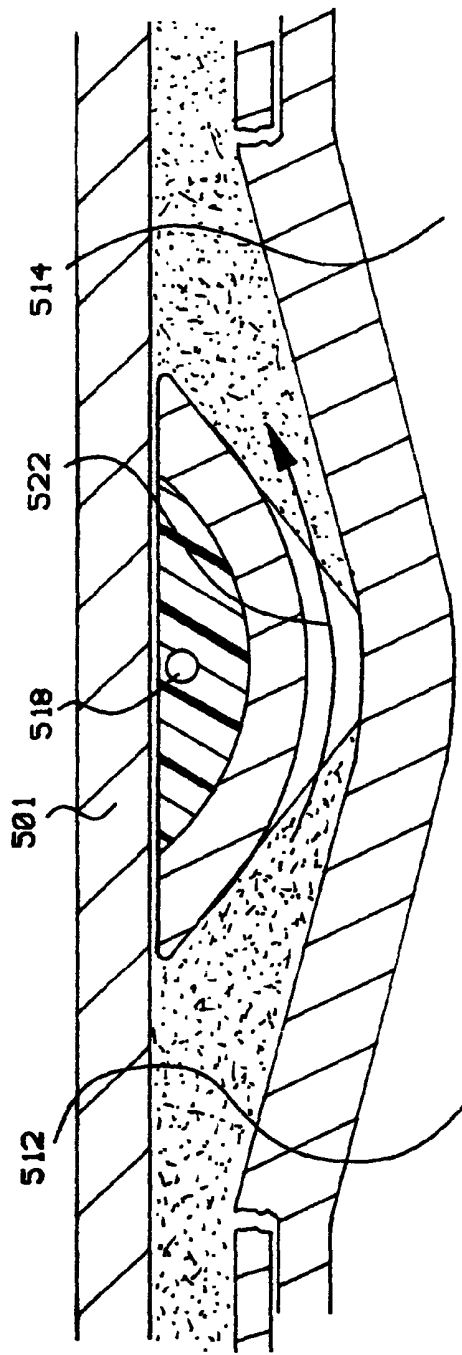


FIG. 4D