



(12) PATENT

(19) NO

(11) 329686

(13) B1

NORGE

(51) Int Cl.

G01V 3/32 (2006.01)

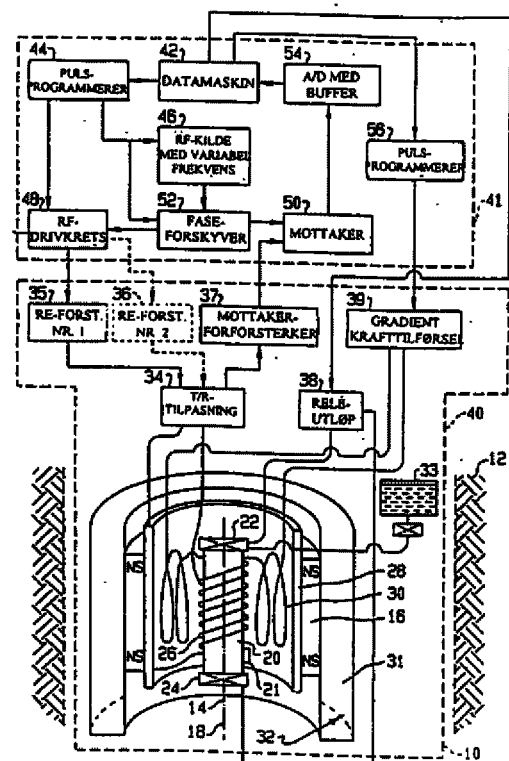
G01R 33/44 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20003266	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	1998.12.23 PCT/US1998/27419
(22)	Inng.dag	2000.06.22	(85)	Videreføringssdag	2000.06.22
(24)	Løpedag	1998.12.23	(30)	Prioritet	1997.12.23, US, 996716
(41)	Alm.tilgj	2000.08.21			
(45)	Meddelt	2010.11.29			
(73)	Innehaver	Numar Corp, 508 Lapp Road, Malvern, PA 19355, US-, USA			
(72)	Oppfinner	Manfred G Prammer, 291 Hadfield Road, Downingtown, PA 19335, US-, USA Thomas Blades, Kingwood, TX, US-, USA			
(74)	Fullmektig	Zacco Norway AS, Postboks 2003 Vika, 0125 OSLO, Norge			

(54)	Benevnelse	Anordning og fremgangsmåte ved måling med kjernemagnetisk resonans (NMR)
(56)	Anførte publikasjoner	US 4291271 A, us 2912641 a, DE 1030940 B
(57)	Sammendrag	

En fremgangsmåte og anordning er beskrevet for å anvende kjernemagnetiske resonans (NMR) teknikker for å oppnå informasjon som er relatert til fluider som er tilstede nær geologiske strukturer. En modulær NMR-tester som kan plasseres innenfor et vanlig modulært loggingsverktøy anvendes for direkte nede-i-hulls NMR-målinger av forskjellige parametre av fluidprøver av geologiske formasjoner nær veggene (12) av et borehull. Testeren har en beholder (20) laget av ikke-ledende materiale og en omgivende permanent magnet (16) som skaper et ensartet statisk magnetfelt innenfor testkammeret for beholderen (20). En RF-spole (26) som er innesluttet i beholderens (20) vegger inducerer et eksiteringsfelt med en retning som er perpendikulær på det statiske magnetfeltet. Fluider som er plassert nær borehullet (12) innføres i et testkammer (20) i testeren. NMR-signaler fra de eksiterte kjerner i fluidene detekteres for å oppnå data for beregning av et antall av viktige fluidparametre og for fortolkningen av kabel MRJL-målinger.



Den foreliggende oppfinnelse vedrører borehullmålinger og nærmere bestemt nede-i-hulls målinger av fluider ved anvendelse av kjernemagnetisk resonans.

Utførelse av målinger på fluidprøver er ønskelig i mange oljeindustriapplikasjoner. I den kjente teknikk blir slike målinger typisk foretatt ved å bringe prøver til overflaten ved å anvende avtettede beholdere og sende prøvene for laboratoriemålinger. Et antall av tekniske og praktiske begrensninger er knyttet til denne løsning.

Hovedproblemet er vanligvis at prøven eller prøvene som bringes til overflaten ikke trenger å være representative for den nede-i-hulls geologiske formasjon på grunn av det faktum at kun et begrenset prøvemateriale fra et begrenset antall av nede-i-hulls steder kan ekstraheres og bringes til overflaten. Det å bringe prøver til overflaten er således upraktisk dersom det er ønskelig å måle fluidet på et tett nett av prøvepunkter. Derfor vil nødvendigvis målingene kun gi et ufullstendig bilde av tilstandene nede i hullet.

I tillegg inneholder disse prøver ofte meget brennbare hydrokarbonblandinger under trykk. Trykkreduksjon av beholderne fører ofte til tap av gassinnholdet. Håndtering av slike testprøver kan være farlig og kostbart.

Det er derfor åpenbart at der finnes et behov for direkte nede-i-hulls fluidtesting som ville overvinne disse og andre problemer som er knyttet til tidligere kjente løsninger.

Forskjellige måter eksisterer for å utføre nede-i-hulls målinger av petrofysiske parametre i den geologiske formasjon. Kjernemagnetisk resonans (NMR) logging er blant de mest viktige fremgangsmåter som er blitt utviklet for hurtig bestemmelse av slike parametre, innbefattende formasjonsporøsitet, sammensetning av formasjonsfluid, mengden av bevegelig fluid, permeabilitet og andre. I det minste delvis skyldes dette det faktum at NMR-målinger er miljømessig sikre og er upåvirket av variasjoner i matrisemineralogien. I et typisk NMR-eksperiment blir et loggingsverktøy senket ned i et boret borehull for å måle egenskapene ved den geologiske formasjonen nær verktøyet. Verktøyet trekkes opp med en kjent hastighet og målinger tas kontinuerlig og registreres i en datamaskinhukommelse, slik at ved slutten av eksperimentet dannes det en fullstendig logg som viser egenskapene ved den geologiske formasjon langs lengden av borehullet. Alternativt kan NMR-logging foretas mens borehullet bores.

NMR-logging er basert på observasjonen at når en sammenstilling av magnetiske momenter, slik som de som for en hydrogenkjerner, utsettes for et statisk magnetisk felt,

har de tendens til å innrette seg langs retningen av det magnetiske feltet, hvilket resulterer i massemagnetisering. Takten ved hvilken likevektstilstanden etableres i slik massemagnetisering ved tilveiebringelse av et statisk magnetfelt kjennetegnes ved parameteren T_1 , kjent som rotasjon-gitterrelaksasjonstiden (spin-lattice relaxation time).

5 En annen relatert og hyppig anvendt NMR-loggingsparameter er rotasjon-rotasjon relaksasjonstidskonstanten T_2 (spin-spin relaxation time constant) (også kjent som tversgående relaksasjonstid) som er et uttrykk for relaksasjon på grunn av uhomogeniteter i det lokale magnetfelt over avfølingsvolumet for loggingsverktøyet. Begge relaksasjonstider gir indirekte informasjon om formasjonsporøsiteten,

10 sammensetningen og mengden av formasjonsfluid, og andre.

En annen måleparameter som anvendes i NMR-brønnlogging er formasjonsdiffusjon. Generelt viser diffusjon til bevegelsen av atomer i en gass- eller væsketilstand på grunn av deres termiske energi. Egen-diffusjon for et fluid er direkte relatert til fluidets

15 viskositet, hvilken er en parameter av vesentlig betydning ved borehullundersøkelser. I et ensartet magnetfelt har diffusjon liten virkning på hendøingstakten for de målte NMR-ekkoer. I et gradert magnetfelt bevirker imidlertid diffusjon atomer til å bevege seg fra sine opprinnelige posisjoner til nye, hvilket også bevirker disse atomer til å få forskjellige faseforskyvninger sammenlignet med atomer som ikke beveget seg. Dette

20 bidrar til en hurtigere relaksasjonstakt.

Det er blitt observert at mekanismene som bestemmer verdiene av T_1 , T_2 og diffusivitet avhenger av den molekylære dynamikk ved prøven som testes. I massevolumvæsker, hvilke typisk finnes i store formasjonsporer, er molekylær dynamikk en funksjon av

25 molekylær størrelse og inter-molekylær interaksjoner som er forskjellige for hvert fluid. Således har vann, gass og forskjellige typer av olje hver forskjellige T_1 , T_2 og diffusivitetsverdier. På den annen side vil molekylær dynamikk i et heterogent medium, slik som et porøst faststoff som inneholder væske i sine porer, avvike vesentlig fra dynamikken i massevæske og generelt være avhengig av interaksjonsmekanismen

30 mellom væsken og porene i det faste medium. Det vil således forstås at en riktig fortolkning av måleparametrene T_1 , T_2 og diffusiviteten kan gi verdifull informasjon relatert til typene av fluider som er involvert, strukturen i formasjonen og andre brønnloggingsparametre som er av interesse.

35 NMR-målinger av geologiske formasjoner kan anvendes ved å anvende eksempelvis det sentraliserte MRIL®-verktøyet som lages av NUMAR, et Halliburton-selskap, og sidevegg CMR-verktøyet som lages av Schlumberger. MRIL®-verktøyet er beskrevet

eksempelvis i US-patent 4.710.713 (Taicher et al.) og i forskjellige andre publikasjoner innbefattende "Spin Echo Magnetic Resonance Logging: Porosity and Free Fluid Index Determination" av Miller, Paltiel, Millen, Granot og Bouton, SPE 20561, 65th Annual Technical Conference of the SPE, New Orleans, LA, 23-26. september 1990;

5 "Improved Log Quality With a Dual-Frequency Pulsed NMR Tool", av Chandler, Brack, Miller og Prammer, SPE 28365, 69th Annual Technical Conference of the SPE, New Orleans, LA, 25-28. september 1994). Detaljer ved konstruksjonen og bruken av MRIL®-verktøy er også omtalt i US-patentene 4.717.876, 4.717.877, 4.717.878, 5.212.447, 5.280.243, 5.309.098, 5.412.320, 5.517.115 og 5.557.200, der samtlige er

10 felles eid av assignatøren vedrørende foreliggende oppfinnelse. Schlumberger CMR-verktøyet er beskrevet eksempelvis i US-patentene 5.055.787 og 5.055.788 (Kleinberg et al.) og dessuten i "Novel NMR Apparatus for Investigating an External Sample", av Kleinberg, Sezginer og Griffin, J. Magn. Reson. 97, s. 466-485, 1992. Innholdet i ovenstående patenter og publikasjoner er her uttrykkelig inntatt ved denne henvisning.

15

Kabellogging i borehull utført ved å anvende NMR-verktøyet som er beskrevet ovenfor og andre teknikker som er kjent innenfor teknologien, tilveiebringer verdifull informasjon vedrørende petrofysiske egenskaper ved formasjonen og i særdeleshet

vedrørende fluidsammensetningen i formasjonen. Ytterligere fluidparameterinformasjon

20 kan være kritisk for fortolkningen av kabel NMR-målingene. Eksempelvis er det ofte ønskelig å skille mellom vann, formasjonsolje, boreslamfiltrater og gass basert på forskjellene i T_1 , T_2 og diffusivitet. De sanne verdier for formasjonsolje og boreslamfiltrater under reservoirforhold er ofte ukjente og må tas en tilnærmet verdi av basert på laboratoriemålinger foretatt under forskjellige betingelser. For økt nøyaktighet

25 er det derfor ønskelig å utføre sann-tids nede-i-hulls NMR-bestemmelse av T_1 , T_2 og diffusivitets (spredningsevne) parametre for borehullfluider for å forbedre kvaliteten og påliteligheten av formasjonsevalueringen som oppnås ved å anvende de vanlige målinger.

30 Direkte nede-i-hulls målinger av visse fluidegenskaper er kjent innenfor teknikken. Flere kommersielt tilgjengelige verktøy kan anvendes for dette formålet. Eksempler innbefatter RDT-verktøyet som fremstilles av Halliburton, reservoirkarakteriseringsinstrumentet (RCI = Reservoir Characterization Instrument) fra Westerns Atlas, og den modulære formasjonsdynamikktester (MDT) som lages av

35 Schlumberger. Disse testverktøy har modulær konstruksjon som tillater disse å bli omkonfigurert på brønnstedet. Typisk tilveiebringer disse verktøy trykk-volummålinger, som kan anvendes for å differensiere væsker fra gasser, og også er i stand til å gi

temperaturresistivitet og andre mekaniske eller elektriske målinger. Imidlertid er ingen av disse verktøy i øyeblikket i stand til å tilveiebringe NMR-målinger, slik som hydrogentetthet, egendiffusivitet eller relaksasjonstider.

- 5 Publikasjonen US4291271 omhandler en NMR-anordning for bestemmelse av porestørrelsesfordelingen til porøst berg fra en formasjon, eller størrelsesfordelingen til porer som rommer hydrokarboner i det porøse berget, og til å skaffe informasjon om fluid i formasjonens materiale. Det blir generert et statisk magnetfelt mellom polene til en elektromagnet. En beholder med en prøve av det porøse berget er plassert i et luftgap
10 mellom elektromagnetens poler. En sekvens av tre RF-pulser påtrykkes prøven i beholderen, og mottas av en RF-spole. RF-spolen er anordnet til å motta NMR-spinnekkosignaler.

- Publikasjonen US2912641 omhandler en anordning og fremgangsmåte for nede-i-hulls
15 NMR-testing for anvendelse i borehullslogging. En forbedring innebærer styring og overvåking av en oscillator som anvendes til å levere energi for transversal magnetisering av prøven.

- Publikasjonen DE-A-1030940 angår en tester for nede-i-hulls-NMK-målinger av
20 formasjonsfluider, hvor testeren innbefatter en beholder for å holde fluider, en RF-spole og en c-formet permanentmagnet som fremstiller et i det vesentligste ensartet magnetfelt som beholderen blir utsatt for.

- Det er derfor et behov for en tester som er i stand til å utføre direkte nede-i-hulls NMR-
25 målinger som kan anvendes til å forbedre kvaliteten og påliteligheten av formasjonsevaluering oppnådd ved å anvende tidligere kjente teknikker. I tillegg finnes der et behov for å tilveiebringe en modulær NMR nede-i-hulls tester som kan anvendes som en tilføyelse til eksisterende testutstyr for derved å minimalisere kostnaden for de ekstra målinger.

- 30 Det er følgelig et formål ved den foreliggende oppfinnelsen å tilveiebringe en fremgangsmåte og anordning som anvender kjernemagnetisk resonans (NMR) teknikker for å oppnå informasjon som er relatert til fluider som er tilstede nær geologiske strukturer.

Foreliggende oppfinnelse tilveiebringer en modulær tester for å gjennomføre nede-i-hulls kjernemagnetiskresonans(NMR)- målinger av formasjonsfluider, kjennetegnet ved de trekk som fremgår av det vedfølgende selvstendige patentkrav 1.

- 5 Ytterligere fordelaktige trekk ved foreliggende oppfinnelses modulære tester fremgår av de vedfølgende patentkravene 2 til og med 14.

Foreliggende oppfinnelse tilveiebringer en anordning for å gjennomføre nede-i-hulls kjernemagnetiskresonans(NMR)-målinger av formasjonsfluider, hvilken anordning
10 inneholder en modulær tester som angitt i krav 1, og er kjennetegnet ved de trekk som fremgår av det vedfølgende patentkrav 15.

Ytterligere fordelaktige trekk ved foreliggende oppfinnelses anordning for å gjennomføre nede-i-hulls kjernemagnetiskresonans(NMR)-målinger av
15 formasjonsfluider, fremgår av de vedfølgende patentkravene 16 til og med 18.

Foreliggende oppfinnelse tilveiebringer en fremgangsmåte for å gjennomføre nede-i-hulls borehullkjernemagnetiskresonans (NMR)-målinger av formasjonsfluider, kjennetegnet ved de trekk som fremgår av det vedfølgende selvstendige patentkrav 19.

20

Ytterligere fordelaktige trekk ved foreliggende oppfinnelses fremgangsmåte for å gjennomføre nede-i-hulls borehullkjernemagnetiskresonans (NMR)-målinger av formasjonsfluider, fremgår av de vedfølgende patentkravene 20 til og med 26.

25 I særdeleshet er en modulær NMR-tester tilveiebrakt for å foreta direkte nede-i-hulls NMR-målinger av forskjellige parametre av fluidprøver fra geologiske formasjoner nær et borehulls vegger. Den modulære testeren er fortrinnsvis innbefattet som en tilføydel til en vanlig kommersiell nede-i-hulls formasjonstester.

30 Under drift blir testfluider som befinner seg nær borehullet innført i et testkammer i testeren. I en foretrukket utførelsesform omfatter testeren en beholder laget av et ikke-ledende materiale og en omgivende permanent-magnet som skaper et ensartet statisk magnetfelt innenfor testkammeret. I en foretrukket utførelsesform er en RF-spole innsluttet i beholderens vegger og anvendes til å indusere et eksiteringsfelt med en
35 retning som er perpendikulær på det statiske magnetfeltet. NMR-signalene fra de eksiterte kjerner i fluidene detekteres til å oppnå data for direkte å estimere et antall av fluidparametre eller å hjelpe til med fortolkningen av kabelbaserte MRIL-målinger.

Nærmere bestemt, i en foretrukket utførelsesform, er anordningen tilveiebrakt for å foreta nede-i-hulls NMR-målinger av fluider, omfattende: en beholder for å oppbevare fluider, minst en magnet som definerer en langsgående akse og som har i alt vesentlig ensartet magnetisering og en magnetiseringsretning langs en akse som er perpendikulær i forhold til den langsgående akse for å generere et statisk magnetfelt i beholderen, og minst en RF-spole som er virksom til å generere et RF-magnetfelt i beholderen i en retning som er i alt vesentlig perpendikulær på det statiske feltets retning for eksitering av kjerner i fluider i beholderen.

10

Anordningen kan dessuten omfatte en eller flere elektromagneter som er virksomme til å generere et magnetfelt med variabel gradient i beholderen i en retning parallell med det statiske magnetfeltet, og en mottaker for å hente inn NMR-signaler fra de eksiterte kjerner og for å tilveiebringe en utmatningsindikasjon for egenskapene ved fluidene som søkes analysert. En reservoirtank som inneholder referansefluid er også tilveiebrakt i en foretrukket utførelsesform for kalibrering av testeren.

15

I en foretrukket utførelsesform er beholderen fremstilt av glassfiber og RF-spolen er innesluttet i beholderens glassfibervegger.

20

Fremgangsmåten ifølge foreliggende oppfinnelse for å gjennomføre nede-i-hulls borehull NMR-målinger omfatter i en foretrukket utførelsesform trinnene: å motta et fluid i et testkammer i en beholder som befinner seg i borehullet, å generere et i alt vesentlig ensartet statisk magnetfelt i beholderens testkammer med en definert magnetiseringsretning, å generere et radiofrekvens (RF) magnetfelt for eksistering av kjerner i fluidet i testkammeret, idet nevnte RF-felt har en magnetisk retning som er i alt vesentlig perpendikulær i forhold til det statiske magnetfeltets retning, og å måle et sett av NMR-signaler som genereres fra eksiterte kjerner i fluidet for å bestemme egenskaper ved fluidet som testes.

25

30

I en annen foretrukket utførelsesform omfatter fremgangsmåten trinnene å generere et variabelt magnetfelt i beholderen i en retning parallell med retningen for det statiske magnetfeltet. I denne utførelsesform tilveiebringer fremgangsmåten, ifølge foreliggende oppfinnelse målinger av egenskaper ved fluidet som omfatter: (a) tettheten av de eksiterte atomære elementer, og (b) de kjernerelaksasjonstidene T_1 og T_2 for de eksiterte kjerner i testfluidet, og (c) egendiffusiviteten hos testfluidet.

35

I tillegg, i en foretrukket utførelsesform omfatter fremgangsmåten, ifølge foreliggende oppfinnelse trinnet å måle et sett av NMR-signaler for et kalibreringsfluid for å tilveiebringe et referansesett for sammenligning med NMR-signaler fra testfluider.

5 I en foretrukket utførelsesform omfatter fremgangsmåten, ifølge foreliggende oppfinnelse dessuten, forut for trinnet å tilveiebringe fluidet som skal testes, trinnet å tilveiebringe en NMR-loggmåling langs borehullet for å bestemme målsoner for ekstrahering av testfluid fra borehullet.

10 Den foreliggende oppfinnelse vil forstås og verdsettes nærmere fra den etterfølgende, detaljerte beskrivelse i forbindelse med tegningene, der:

fig. 1 er en delvis bildemessig, delvis blokkskjema-illustrasjon over en modulær fluidtestingsanordning ifølge den foreliggende oppfinnelse for å oppnå

15 kjernemagnetiske resonansmålinger av fluider nær en geologisk struktur,

fig. 2A til og med 2D viser trinnene som er involvert ved måling av fluider ved anvendelse av den modulære NMR-testeanordningen ifølge foreliggende oppfinnelse,

20 fig. 3 er en illustrasjon over utformingen av en permanent magnet som anvendes ifølge den foreliggende oppfinnelse for å generere et konstant, ensartet magnetfelt innenfor målebeholderen,

fig. 4 er en grafisk illustrasjon av en puls og ekkohentingssekvens anvendt for NMR-

25 fluidmålinger ifølge en foretrukket utførelsesform av foreliggende oppfinnelse, og

fig. 5 er en grafisk illustrasjon over en pulssekvens og en tilsvarende tidsfunksjon for det gradientfelt anvendt for diffusjonsmålinger i henhold til en foretrukket utførelsesform av den foreliggende oppfinnelse.

30

Det skal nå vises til fig. 1 som illustrerer i en skjematisk form en modulær nede-i-hulls NMR-fluidtester som er konstruert og er virksom i henhold til den foreliggende oppfinnelse. Det bør understrekes at testeren ifølge en foretrukket utførelsesform er en separat modul som er konstruert til å passe inn i en hvilken som helst av flere

35 kommersielt tilgjengelige, modulære nede-i-hulls testverktøy. Som angitt tidligere, innbefatter eksempler på slike testverktøy RDT-verktøyet som fremstilles av Halliburton, reservoirkarakteriseringsinstrumentet (RCI) fra Western Atlas, og den

modulære formasjonsdynamikktesteren (MDT) som lages av Schlumberger. Den modulære konstruksjonen av disse testverktøy tillater disse å bli omkonfigurert ved brønnstedet for å tilfredsstillere et bredt utvalg av testbehov. I henhold til den foreliggende oppfinnelse er en slik omkonfigurering å innbefatte den modulære NMR-fluidtesteren som er beskrevet her som en separat modul for å oppnå nede-i-hulls NMR-målinger av råfluider samtidig med eller i tillegg til de vanlige målinger som utføres av disse verktøy. Det bør derfor forstås at fig. 1 er kun en skjematisk illustrasjon der det for enkelthets skyld ikke er vist noe av det eksterne utstyret, innbefattende det kommersielle verktøyet.

10

Med henvisning til fig. 1, er testdelen 10 av NMR-nede-i-hulls testeren ifølge den foreliggende oppfinnelse anordnet til å bli senket ned i et borehull 12 som har en langsgående borehullakse 14 for å granske naturen og egenskaper av fluider i nærheten av borehullet 12.

15

I en foretrukket utførelsesform omfatter testdelen 10 en tubulær, permanent magnet 16 som har en langsgående akse 18. I den illustrerende utførelsesformen som er vist på fig. 1 er aksene 18 parallell eller koaksial med borehullets langsgående akse 14, men generelt er dens orientering i forhold til borehullet ikke kritisk.

20

Lengden av permanentmagneten 16 som anvendes ifølge foreliggende oppfinnelse bestemmes generelt av konstruksjonsbegrensninger. I særdeleshet påvirker denne lengde signal/støyforholdet (SNR) i de målte signaler med lengere magneter resulterende i forbedret SNR. I en særlig utførelsesform som er vist på fig. 1 blir en enkelt permanentmagnet 16 anvendt. Ifølge en alternativ utførelsesform av oppfinnelsen kan to eller flere permanentmagneter 16 stables sammen for å danne en lengere, sammensatt magnet. Disse magneter vil bli referert til samlet som permanent 16 og deres felles langsgående akse vil være identifisert som langsgående akse 18.

25

Permanentmagneten 16 virker til å frembringe et konstant, ensartet magnetfelt B_0 som er i alt vesentlig perpendikulært på den langsgående aksene 18.

30

Plassert innenfor permanentmagneten 16 i testdelen 10 er en trykkbeholder 20 som har et testkammer deri for å holde fluidprøver. Som vist på figuren, har trykkbeholderen 20 en langsgående akse som er koaksial med permanentmagnetens langsgående akse 18.

35

Trykkbeholderen 20 er fremstilt av ikke-ledende materialer, slik som keramikk, eller fortrinnsvis glassfiber. Generelt er det nødvendig at materialet som beholderen er laget av er i stand til å motstå temperatur og trykkbetingelsene som er i et typisk

borehullmiljø. Dimensjonene av beholderen er ikke kritiske og bestemmes ut fra konstruksjonsbegrensninger for loggingsverktøyet som rommer den modulære NMR-testeren ifølge foreliggende oppfinnelse. I en foretrukket utførelsesform er den innvendige diameter av beholderen 20 ca. 1 cm og testkammeret er ca. 15 cm høyt, slik at beholderen er i stand til å holde et prøvevolum som er lik ca. 10 cm³. Forskjellige holdevolumer kan anvendes dersom det er ønskelig.

Beholderen 20 er tilpasset til å motta og avgi fluider og i dette henseendet er koblet ved hjelp av innløpsventil 22 og utløpsventil 24 til eksterne trykkrør (ikke vist) som danner del av loggingsverktøyet og typisk er laget av stål. Ventiler 22 og 24 betjenes for å tillate fluidprøver å komme inn i instrumentet fra en ende, fortrinnsvis fra toppen for å anvende tyngdekraften, holde prøver for varigheten av NMR-målinger, og å uttømme prøvene fra den andre enden etter fullføring av NMR-målesyklusen.

Det eksterne utstyret som behøves for å tilføre borehullet fluider som skal testes til trykkbeholderen 20 er generelt kjent innenfor teknikken og trenger ikke å bli beskrevet i særlig detalj. I det enkleste tilfellet omfatter dette en trykksone som hydraulisk aktiveres innenfra en modul som isolerer borehulltrykket fra sonden. Sonden trenger gjennom slammet i borehullet og innføres i bergmassen på et ønsket sted i borehullets sidevegg. Generelt blir invaderende fluid i borehullet avtette, slik at fortrinnsvis kun naturlig forekommende fluid fra bergmassen pumpes inn i testeren. I henhold til en foretrukket utførelsesform av foreliggende oppfinnelse blir minst en del av dette fluid avledet gjennom ventilen 22 inn i testkammeret i den her beskrevne NMR-testeren. For en mer detaljert beskrivelse av det eksterne utstyr henvises leseren til produktliteraturen vedrørende kommersielt tilgjengelige loggingsverktøy, slik som de som fremstilles av Halliburton, Schlumberger og Western Atlas.

I alternative utførelsesformer av den foreliggende oppfinnelse (ikke vist) trenger beholderen 20 ikke å være lukket som vist på fig. 1, slik at en eller begge av ventilene 22 og 24 kan elimineres. Således er beholderen 20 i en særlig utførelsesform kun en del av en kanal i hvilken fluid som skal testes kan strømme kontinuerlig. I slikt tilfelle tas målinger på volumet av fluid som omgis av permanentmagneten ved tidspunktet for NMR-eksperimentet (testvolumet). I en alternativ utførelsesform har beholderen 20 kun en lukket ende vist på fig. 1 eksempelvis ved hjelp av ventilen 24. I dette tilfellet kan strømmen av fluidet avbrytes under målinger ved å avstenge ventilen 24, og kan gjenoppta ved å åpne ventilen på kommando fra datamaskinen. I hvert tilfelle kan tiltak gjøres for å drive ut fluider fra testvolumet ved hjelp av forskjellige midler som er

kjente innenfor teknikken. Til sist kan styring av fluidstrømmen implementeres ved å anvende det eksterne utstyret. Det bør således forstås at i sammenheng med foreliggende oppfinnelse kan beholderen 20 enten være en lukket beholder eller en kanal eller en anordning som muliggjør styrt fluidstrøm gjennom volumet som omgis av permanentmagneten.

Ifølge den foreliggende oppfinnelse omfatter testdelen 10 av testanordningen dessuten en eller flere spoleviklinger 26 som er anordnet rundt beholderen 20. Etersom det er viktig å ha spoleviklingene 26 så nær fluidprøven som mulig for NMR-målingene som utføres ved å anvende denne anordning, er viklingene 26 i en foretrukket utførelsesform innesluttet i veggene på trykkbeholderen 20. Ved drift genererer spolen 26 et magnetfelt B_1 for å eksitere kjernemagnetisk relaksasjon i testfluidet og mottar så NMR-signaler fra fluidprøvene som befinner seg innenfor beholderen 20. Magnetfeltet B_1 polariseres i en retning som er parallell med permanentmagnetens 16 langsgående akse 18, og er således perpendikulær på magnetfeltets B_0 retning. I en foretrukket utførelsesform opererer B_1 -feltet på en frekvens som kan varieres i henhold til styrken av B_0 -feltet. Slik det er kjent innenfor teknikken, er den ønskede driftsfrekvens for magnetfeltet gitt ved uttrykket $F_1 = 42.580 B_0$, der 42.580 er den gyromagnetiske forholdskonstant. I en særlig illustrerende utførelsesform der B_0 er 47 milliTesla (mT), opereres B_1 på ca. 2 MHz. Det bør bemerkes at i en foretrukket utførelsesform muliggjør tilpasnings- og avstemningskretsen for spolen 26 enkelt-avstemning, dvs. kun for hydrogenfrekvens, eller fler-avstemning for NMR-målinger av ytterligere elementer, slik som ^{13}C -isotop. Dette trekk ved foreliggende oppfinnelse er basert på det velkjente faktum at det samme magnetfelt frembringer forskjellige driftsfrekvenser for forskjellige atomære elementer.

Med henvisning til fig. 1 er returbanen for spolestrømmen tilveiebrakt gjennom en skjerm 28 av kobber som adskiller den indre, radiofrekvensseksjonen av testdelen 10 fra permanentmagneten. Følgelig vil magnetfeltlinjene for B_1 ikke trenge gjennom permanentmagneten og kan ikke eksitere magneto-akustiske oscillasjoner som er uønskede.

I den foretrukne utførelsesform som er vist på fig. 1 er en magnetfeltgradientspole eller et flertall av spoler 30 plassert mellom spoleviklingene 26 og kobberskjermen 28 for å generere en magnetfeltgradient. Gradientspolen 30 er vesentlig for å utføre hurtige, høy-SNR egen-diffusjonsmålinger. I en foretrukket utførelsesform er spolen 30 av en sadeltype med to separate sløyfer som genererer felt i x-retningen. I en foretrukket utførelsesform drives sadelspolen 30 som et Maxwell-par, slik at det gradientfeltet

forbedrer det ensartede feltet B_0 i den positive x-retning og motvirker det i den negative x-retning, hvorved skapes en styrbar feltgradient dB_0/dx .

I henhold til den foreliggende oppfinnelse befinner permanentmagneten 16,
5 trykkbeholderen 20, spoleviklingene 26 og feltgradientspolene 30 seg fortrinnsvis i et beskyttende hus eller trykktønne 31.

Spoleviklingene 26, sammen med en (T/R) tilpasningskrets 34 vist på fig. 1 definerer en sende/mottaker (T/R) krets som er nødvendig for NMR-målingene som utføres i
10 henhold til den foreliggende oppfinnelse. T/R-tilpasningskretsen 34 innbefatter typisk en resonanskondensator, en T/R-bryter og både til-sende- og til-mottakertilpasningskretser. Kretsen 34 er koblet til en første RF-effektforsterker 35 og valgfritt til en andre RF-forsterker 36 og til en mottaker/forforsterker 37. Et reléutløp 38 er forbundet med ventilene 22 og 24. En kraftforsyning 39 gir dc-strømmen som er
15 nødvendig for den magnetfeltgradientgenererende spole eller spolene 30.

Spolen 26 som er vist på fig. 1 er av en solenoidtype. I en alternativ utførelsesform av den foreliggende oppfinnelse (ikke vist) kan spolen 26 være av sadeltypen. I dette tilfellet, med henvisning til fig. 1, ville viklingene på spolen vende bort fra
20 tegningsarket for å generere et magnetfelt med passende retning.

I en annen utførelsesform av foreliggende oppfinnelse (ikke vist) anvendes to separate spoler, en som en sende- og den andre som en mottakerantenne. I et slikt tilfelle, ifølge den foreliggende oppfinnelse er en av spolene av en solenoidtype (som vist på fig. 1),
25 mens den andre er av en sadeltype og er plassert som beskrevet i foregående avsnitt. I en foretrukket utførelsesform av den foreliggende oppfinnelse anvendes spolen av solenoidtype som en mottakerantenne og er fortrinnsvis innesluttet i beholderens vegger for å øke dens følsomhet. Spolen av sadeltypen anvendes i dette tilfellet som en sender, og er plassert ytterligere vekk fra beholderen sammenlignet med mottakeren. Alternativt
30 kan spolen av sadeltype anvendes som en mottaker og solenoidspolen som en sender. En fordel med å ha to antenner i henhold til denne utførelsesform av den foreliggende oppfinnelse er at i et slikt tilfelle er der intet behov for en T/R-tilpasningskrets 34, slik at sendeantennen kan kobles direkte til RF-forsterkeren 35, mens mottakerantennen kan kobles direkte til forforsterkeren 37.

35

I henhold til den foreliggende oppfinnelse gjennomføres kalibreringen av testeanordningen ved å anvende kalibreringsfluid. Som vist i en særlig utførelsesform

på fig. 1, kan en reservoirtank 33 som holder kalibreringsfluid, slik som destillert vann, plasseres nær trykktønnen 31. I en foretrukket utførelsesform kan vannet dopes med kupri-sulfat for å redusere NMR-relaksasjonstidene til ca. 200 millisekunder ved reservoirtemperaturer. Beholderen 20 kan fylles med omtrentlig 10 cm³ fluid ad gangen fra reservoirtanken 32. Ettersom hydrogeninnholdet og egen-diffusjonskoeffisienten for destillert vann som en funksjon av temperatur er kjent, tjener målinger på vannprøven som verktøykalibreringer under faktiske temperatur- og trykkforhold. De kunstig reduserte relaksasjonstider, T₁ og T₂, tillater hurtig pulsing og derfor hurtig innhenting av NMR-signaler. Temperaturmålinger foretas i henhold til den foreliggende oppfinnelsen ved å anvende en transduser 21, som vist på fig. 1. I alternative utførelsesformer av oppfinnelsen anvendes kalibreringsfluid til å fylle beholderen 20 forut for senking av anordningen i borehullet, slik at der ikke er noe behov for en separat reservoirtank.

I en særlig utførelsesform befinner samtlige av elementene som er beskrevet ovenfor seg i et hus 40 som ved drift danner del, dvs. som en tilføyelse, av et større loggingsverktøy og føres sammen med verktøyet gjennom borehullet. I alternative utførelsesformer kan visse av elementene som er vist på fig. 1 som del av huset 40 plasseres over bakken.

20

Blokk 41 i fig. 1 viser i blokkskjemaform styrekretsen som anvendes i en foretrukket utførelsesform av den foreliggende oppfinnelse for nede-i-hulls NMR-testeren. Som vist, omfatter styrekretsen generelt en datamaskin 42 som tilveiebringer en styreutmatning til en pulsprogrammerer 44. Pulsprogrammereren 44 er ansvarlig for å generere NMR-pulssekvenser med forutbestemt frekvens, faseforskyvning og varighet. I dette henseendet styrer pulsprogrammereren 44 driften av en RF-kilde 46 som har variabel frekvens og faseforskyveren 52, samt en RF-drivkrets 48. Den pulsede RF-utmatning fra drivkretsen 48 som har den passende frekvens og faseforskyvning leveres til RF-effektforsterkeren 35 og valgfritt til RF-forsterker 36. Utmatningen fra forsterkeren 35 (og/eller 36) blir til sist ført gjennom T/R-tilpasningskrets 34 til spole 26 som genererer magnetfeltet B₁ til å eksitere kjerner i fluidet som testes.

NMR-ekkosignaler som genereres fra de eksiterte kjerner i fluidet som befinner i testkammeret oppfanges av spolen 26 og føres gjennom T/R-tilpasningskretsen 34 til mottaker-forforsterker 37. Utmatningen fra RF-mottaker-forforsterker 37 leveres til en RF-mottaker 50 som kan motta en innmatning fra faseforskyveren 52. Utmatningen fra mottakeren 50 leveres via en A/D-omformer med en buffer 54 til en datamaskin 42 for

35

ytterligere behandling og analyse av NMR-ekksignalene. Pulsprogrammereren 56 styrer gradientspolekrafttilførselen 39 som styrer strømflyten, og dermed genereringen av feltgradienter, i henhold til kommandoer fra datamaskinen 42.

5 Styrekretsene for generering av pulssekvenser som har forutbestemte parametre og for måling av NMR-ekksignaler fra testmaterialer og deres drift er generelt kjent innenfor teknikken og trenger ikke å bli beskrevet i detalj. Derfor bør det forstås at konfigurasjonen som er vist på fig. 1 er kun illustrerende og kan varieres i alternative utførelsesformer som opererer i henhold til prinsippene for foreliggende oppfinnelse.

10

Det skal nå vises til fig. 2A til og med 2D som illustrerer visse trinn som er involvert i en særlig utførelsesform for måling av fluider ved anvendelse av den modulære testerens ifølge den foreliggende oppfinnelse. Således er i fig. 2A begge ventiler åpne og vann spyles gjennom testkammeret i trykkbeholderen 20 som forberedelse for testing av fluider. Deretter blir begge ventiler avstengt og, som vist på fig. 2B, blir kalibreringsfluid, slik som destillert vann, sendt til å fylle beholderen 20 for NMR-testing og registrering. NMR-testing utføres på kalibreringsfluidet for å tilveiebringe et referansepunkt for påfølgende fluider som skal testes. Det vil forstås at referansepunktene som oppnås ved denne måling lagres i en hukommelse i datamaskinen 42. Fig. 2C illustrerer trinnet for uttømming av kalibreringsfluidet gjennom den åpne, nedre ventilen etter at kalibreringsmålingene er blitt tatt. Ved dette punkt er anordningen klar for testing av fluider innenfor borehullet. Fig. 2D representerer et prøvefluid som er tatt gjennom den åpne, øvre ventilen inn i beholderen 20 for testing.

25

Fig. 3 illustrerer oppstillingen av en permanent magnet 16 som anvendes i henhold til en foretrukket utførelsesform av den foreliggende oppfinnelse for å tilveiebringe et konstant, ensartet magnetfelt B_0 i området som testes. Det kan forstås at retningen av B_0 -feltet er i alt vesentlig perpendikulært på permanentmagnetens 16 langsgående akse 18. Fortrinnsvis er magneten 16 konstruert av Samarium-Coboltsegmenter som er konfigurert som en Halbach-magnet for å generere et konstant, ensartet felt på innsiden og lite restfelt på utsiden av testsammenstillingen. Konstruksjonen av magneten er omtalt eksempelvis i US-patent nr. 4.931.760 for bruk ved en medisinsk bildedannelse-applikasjon. Som bemerket ovenfor, er styrken av magnetfeltet B_0 ikke kritisk og kan varieres for forskjellige konstruksjoner. I en særlig illustrerende utførelsesform er B_0 ca. 35 47 mT. Et konstruksjon som anvender $B_0 = 100$ mT er også blitt utviklet. Det bør

bemerket at de magnetiske komponenter og feltstyrken som anvendes i henhold til den foreliggende oppfinnelsen ikke er begrenset til de materialer og styrker som er nevnt.

5 Fremgangsmåten ifølge den foreliggende oppfinnelse utføres typisk ved å anvende en to-passeringsteknikk. Således, i en foretrukket utførelsesform, kan den første passering gjennom borehullet utføres ved å anvende eksempelvis MRIL®-verktøyet som er beskrevet ovenfor for å oppnå en hurtig logg som gir en indikasjon over de petrofysiske egenskaper for bergmassen i nærheten av borehullet. Etter dette trinn kan den fullstendige logg over bergformasjonen langs borehullet anvendes i henhold til den foreliggende oppfinnelse for å identifisere målsoner av interesse for utførelse av direkte målinger. Målingene som foretas i den første passeringen er velkjent innenfor teknikken og trenger ikke å bli beskrevet i detalj. Leseren henledes til beskrivelsen i US-patentene nr. 4.710.713, 4.717.876, 4.717.877, 4.717.878, 5.212.447, 5.280.243, 5.309.098, 5.412.320, 5.517.115 og 5.557.200, der samtlige av disse eies felles av assignatøren for foreliggende oppfinnelse. Ytterligere informasjon er gitt i US-patentene nr. 5.055.787 og 5.055.788. Innholdet i disse patenter er her uttrykkelig innbefattet ved henvisning for alle formål.

Så snart målsonene er blitt identifisert, foretas en andre passering i henhold til en foretrukket utførelsesform av den foreliggende oppfinnelse ved å anvende en hvilken som helst av de kommersielt nede-i-hulls testene som er beskrevet ovenfor. Andre-passeringsmålinger blir typisk foretatt kun i målsonene som et kostnadsbesparende tiltak. De direkte nede-i-hulls NMR-målinger som anvender den modulære testerens ifølge den foreliggende oppfinnelse utføres dernest som beskrevet nedenfor. Til sist blir resultatene av NMR-målingene fortolket direkte, og/eller anvendt til å tilveiebringe en mer nøyaktig fortolkning av loggen som oppnås i den første passeringen.

I en alternativ utførelsesform kan tiltak iverksettes for å anvende den modulære NMR-testeren ifølge foreliggende for å utføre målinger under boring av borehullet, eller som del av den første passering som er beskrevet ovenfor.

I henhold til den foreliggende oppfinnelse anvendes nede-i-hulls NMR-testeren for å tilveiebringe målinger av en eller flere av de følgende parametre av fluidprøver: (a) hydrogentetthet, dvs. antallet av hydrogenatomer pr. volumenhet; (b) egen-diffusivitet (som er omvendt relatert til fluidviskositeten), og (c) kjernerelaksasjonstider T_1 og T_2 for forskjellige driftsfrekvenser avhengig av de atomære elementer som er av interesse. Ytterligere målinger kan foretas ved å anvende fler-avstemningsevnen hos testerens for å

estimere eksempelvis karbontetthet, hydrogen-karbonkobling og/eller oppnåelse av polarisasjonsoverføringsinformasjon og andre.

I henhold til en foretrukket utførelsesform av den foreliggende oppfinnelse er
 5 bestemmelsen av hydrogenindeksen, T_1 og T_2 -relaksasjonstidene basert på CPMG-puls-
 ekkotog som har en ekkoavstand lik ca. 0,5 millisekunder (ms) som vist på fig. 4.
 Omtrentlig 10.000 pulssignaler kan genereres og de tilsvarende ekkosignaler kan
 digitaliseres, lagres og akkumuleres i en bestemt utførelsesform. Fremgangsmåtene for
 parameterutledning ved anvendelse av slike NMR-målinger er kjente innenfor
 10 teknikken og trenger ikke å bli omtalt i detalj. I den bestemte applikasjon er det
 imidlertid nødvendig å bestemme visse driftsparametre for systemet.

Eksempelvis er ekkoinnhentingstiden i en foretrukket utførelsesform ca. 0,1 ms. Andre
 tider kan også anvendes dersom dette er ønskelig. Antar man en ekkoinnhentingstid lik
 15 0,1 ms, blir den maksimalt tolererbare feltforvrengning så bestemt ved å
 anvendebetingelsen $T_2^* \gg 0,1$ ms, der T_2^* er en tidskonstant som kjennetegner den
 tilsynelatende NMR-signalhendøing. Ved å sette en lavere grense for T_2^* lik 0,5
 millisekunder, blir r.m.s. feltforvrengninger som er ekvivalente med 2 kHz eller 0,1%
 av hoved- B_0 -feltet tillatt.

20 Det er viktig å realisere at relaksasjonstidene for massefluider kan være så høye som 10
 sek. i reservoirtilstander. For å oppnå en feil som er mindre enn ca. 1% av
 hydrogenindeksen, må målinger spres ut til ca. fem ganger relaksasjonstidene, dvs. til
 ca. 50 sek. Derfor vil det være klart upraktisk å utføre et større antall av individuelle
 25 målinger for å øke signal SNR og kun noen få målinger må være tilstrekkelig til å oppnå
 det ønskede signal SNR. I dette henseendet er det verdt å understreke at i henhold til en
 foretrukket utførelsesform av den foreliggende oppfinnelse kan nevnte SNR av de målte
 signaler varieres ganske enkelt ved å endre målevolumet av fluid i testkammeret. Som
 bemerket ovenfor, kan dette gjennomføres i testeren ifølge foreliggende oppfinnelse ved
 30 å utvide kammeret langs dets langsgående akse, og tilsvarende å øke lengden av den
 permanente magneten. Det er blitt estimert at for den illustrerende utførelsesform omtalt
 ovenfor der testkammeret inneholder 10 cm³ av fluid, er enkeltmålings SNR lik ca.
 100:1.

35 I henhold til den foreliggende oppfinnelse blir ventetiden mellom CPMG puls-
 ekkotogene bestemt både av de lengste T_1 -målingene og av kravene til T_1 -målingene. I
 en foretrukket utførelsesform kan ventetidene som anvendes av testeren være satt til

0,01, 0,03, 0,1, 0,3, 1,0, 3,0, 10,0 og 50,0 sekunder, som vist på fig. 4. Andre ventetidssekvenser kan anvendes dersom det er ønskelig.

Som det er kjent innenfor teknikken, blir hydrogenindeksen for fluidprøven bestemt ved å ekstrapolere ekkoamplitudene fra minst et fasevekslet CPMG-par til tid lik 0 ($\pi/2$ puls). Forholdet av denne amplitude sammenlignes med amplituden gitt av vannreferansen, er lik det relative hydrogeninnholdet i prøvefluidet. Det kan forstås at ved å anvende fler-avstemningsevnen hos testerene i henhold til den foreliggende oppfinnelsen kan ytterligere målinger foretas for nærværet av andre atomære elementer, slik som ^{13}C .

T_2 -relaksasjonsparameteren bestemmes i henhold til en foretrukket utførelsesform av den foreliggende oppfinnelse ved å omforme tids-områdeekkkodata til en T_2 -tidsfordeling. T_1 -relaksasjonstiden bestemmes i en foretrukket utførelsesform av den foreliggende oppfinnelse ved å observere virkningen av forskjellige ventetider på tiden som er lik 0 ($\pi/2$ puls) amplitude. Den resulterende gjenvinningskurve kan omformes til en T_1 -tidsfordeling, slik det er kjent innenfor teknikken.

I henhold til den foreliggende oppfinnelse kan nede-i-hulls NMR-testerene ytterligere anvendes for å tilveiebringe diffusivitet og viskositetsmålinger. Idet det vises til fig. 5, blir en feltgradient anvendt i en foretrukket utførelsesform til å utføre disse målinger. I særdeleshet blir feltet anvendt til å overvinne bakgrunnsfeltvariasjonene ved å anvende de følgende trinn.

Som vist på fig. 5, blir en standard CPMG-sekvens anvendt med en ekkoavstand lik ca. 0,5 millisekunder. Denne korte ekkoavstanden vil i stor grad dempe virkningene av gradientene som oppstår fra et ikke-perfekt magnetfelt B_0 . Den faktiske ekkoavstanden kan varieres innenfor visse grenser. I begynnelsen av CPMG-toget blir gradienten innkoblet med en frekvens som svarer til den valgte ekkoavstandstid for noen få sykluser. I den bestemte utførelsesform som anvender 0,5 ms ekkoavstand, anvendes en gradientfrekvens lik 1 kHz. Amplituden av gradientfeltet er relativt liten sammenlignet med det statiske feltet og i en foretrukket utførelsesform er en brøkdel av 1% til ca. noen få prosent av styrken av B_0 -feltet. Som vist på fig. 5, fase-låses gradienten slik at dens nullkryssninger sammenfaller med pulsene som anvendes. I henhold til den foreliggende oppfinnelse er denne periode fasekodingstrinnet. Dernest blir gradienten frakoblet for en utviklingstid lik ca. 10-1.000 ms. I en foretrukket utførelsesform blir ca. 100 millisekunder utviklingstid anvendt under hvilken tid hydrogenrotasjoner (spins) er

frie til å spres (diffuse) innenfor målevolumet. Etter utviklingstiden blir gradienten innkoblet igjen på den valgte frekvens, dvs. 1 kHz, men i en fase som opphever virkningen av fase-kodingstrinnet. Etter denne fase-dekodingsoperasjon, blir CPMG-ekkoer oppnådd eller innhentet på den vanlige måte.

5

Det kan forstås at i fraværet av diffusjon (spredning) (tilsvarende høy viskositet), er det endelige signal upåvirket. Under spredning blir imidlertid signaldempningen direkte relatert til takten av diffusjon under utviklingstidsintervallet. Følgelig kan målingene av nede-i-hulls NMR-testeren ifølge den foreliggende oppfinnelse anvendes til å estimere egen-diffusiviteten og således fluidets viskositet direkte.

10

I hovedsak omsetter fasekodingstrinnet som anvendes i henhold til den foreliggende oppfinnelse posisjonen av rotasjonene til et faseforhold. Fase-dekodingstrinnet foretar den samme omsetning med et negativt fortegn. Dersom det har vært en netto endring i rotasjonsposisjonen mellom kodings- og dekodningstrinnene, vil resultatet av å anvende de to trinnene være en nettoendring i faseforholdene som ville føre en reduksjon av den målte signalamplitude. Følgelig kan det forstås at forskjellen mellom målingene av formasjonsfluidet med og uten kodings/dekodingsbehandlingstrinnene kan anvendes til å kvantifisere diffusjon i fluidet.

20

I henhold til en særlig utførelsesform av den foreliggende oppfinnelse kan tidsforsinkelsen mellom fase-kodings- og fase-dekodningstrinnene varieres i en viss systematisk form, for eksempel 10, 100 og 1000 ms, og endringer i signalamplitudene som oppnås i hver måling kan anvendes til å bestemme egendiffusjonskoeffisienten for fluidet, slik det er kjent innenfor teknikken. I henhold til en annen utførelsesform av den foreliggende oppfinnelse kan en enkelt sterk puls anvendes i kodingstrinnet og en annen sterk puls med omvendt polaritet kan anvendes i dekodningstrinnet for fremgangsmåten.

25

Det vil forstås av fagfolk at nede-i-hulls NMR-testeren og parametermålingene ifølge den foreliggende oppfinnelse kan anvendes på et antall av forskjellige måter.

30

Eksempelvis, slik som anmerket ovenfor, kan målingene anvendes til å forbedre fortolkningen av tidligere gjennomførte loggmålinger av borehullet ved å levere, i alt vesentlig i sann tid, sanne verdier for formasjonsolje og boreslamfiltrater under reservoir, dvs. råbetingelser.

35

De som er familiære med operasjonen av de kommersielle testeverktøy vil dessuten forstå at målinger kan strekke seg over tid, for derved å tilveiebringe en registrering

over fluidet som passerer gjennom testeren over en forutbestemt periode. Eksempelvis, som kjent, kan prøvesondene som innføres i bergformasjonen pumpe fluid ut av bergformasjonen under perioder av ca. 5-10 minutter til 40 timer i visse tilfeller. Antar man at en enkelt NMR-måling tar ca. 1 minutt å fullføre, kan i løpet av en time testeren
5 ifølge foreliggende oppfinnelse tilveiebringe 60 uavhengige målinger som er umiddelbart tilgjengelige for operatøren. I motsetning til dette kan en enkelt tidligere kjent NMR-måling av en prøve tatt til overflaten ta dager å fullføre. Det vil forstås at for å bevare nøyaktigheten av målingen, kan testkammeret i beholderen 20 spyles mellom målinger, som vist på fig. 2A. Omkalibrering av verktøyet kan utføres i henhold til en
10 forutbestemt plan, eksempelvis hver andre time.

Selv om den foreliggende oppfinnelse er blitt beskrevet i forbindelse med foretrukne utførelsesformer, er den ikke tilsiktet å være begrenset til den spesielle form som er angitt her, men derimot er den tilsiktet å dekke slike modifikasjoner, alternativer og
15 ekvivalenter som rimelig kan innbefattes innenfor idéen og omfanget av oppfinnelsen som definert av de etterfølgende patentkrav.

P a t e n t k r a v

1.

Modulær tester for å gjennomføre nede-i-hulls kjernemagnetiskresonans(NMR)-
5 målinger av formasjonsfluider, k a r a k t e r i s e r t v e d a t
den modulære testeren innbefatter
en beholder (20) for oppbevaring av formasjonsfluider på hvilke formasjonsfluider
nede-i-hulls NMR-målinger skal utføres,
en rørformet Halbach-magnet (16) som omgir beholderen, hvilken rørformete magnet
10 utstrekker seg langs en senterakse og setter opp et hovedsakelig uniformt magnetfelt på
innsiden i en retning som er perpendikulær til senteraksen, og
en radiofrekvens(RF)-spole for å inducere et eksiteringsfelt med en retning som er i alt
vesentlig perpendikulær på det statiske feltets retningen for å eksitere kjerner i fluider
som befinner seg i beholderen, og
15 en mottakerantenne (26) for å motta NMR- signaler fra eksiterte kjerner og for å skaffe
en utgang som er indikerende for egenskapene til fluidene som søkes analysert.

2.

Modulær tester som angitt i krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d
20 dessuten å omfatte minst en elektromagnet (30) som er virksom til å generere et
magnetfelt med variabel gradient i beholderen i en retning som er parallell med det
statiske magnetfeltet.

3.

25 Modulær tester som angitt i krav 2, k a r a k t e r i s e r t v e d
at elektromagneten er plassert nær RF-spolen og at magneten omgir elektromagneten,
beholderen og RF-spolen på denne.

4.

30 Modulær tester som angitt i krav 3, k a r a k t e r i s e r t v e d
at en elektromagnetisk skjerm (28) er plassert mellom magneten og elektromagneten.

5.

Modulær tester som angitt i krav 4, k a r a k t e r i s e r t v e d
35 dessuten å innbefatte en trykktønne (31) som inneholder beholderen, magneten (16),
RF-spolen og den elektromagnetiske skjermen (28).

6.

Modulær tester som angitt i krav 4, k a r a k t e r i s e r t v e d at en returbane for spolestrømmen er tilveiebrakt gjennom den elektromagnetiske skjermen (28).

5

7.

Modulær tester som angitt i krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d dessuten å omfatte en reservoirtank (33) for oppbevaring av et referansefluid.

10

8.

Modulær tester som angitt i krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at beholderen er fremstilt av et ikke-ledende materiale.

9.

15

Modulær tester som angitt i krav 7, k a r a k t e r i s e r t v e d at beholderen er fremstilt av glassfiber.

10.

20

Modulær tester som angitt i krav 8, k a r a k t e r i s e r t v e d at spolen er innesluttet i beholderens vegger.

11.

25

Modulær tester som angitt i krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at det ensartede magnetfeltet er ca. 10-1.000 mT.

12.

Modulær tester som angitt i krav 11, k a r a k t e r i s e r t v e d at det ensartede magnetfeltet er ca. 100 mT.

30

13.

Modulær tester som angitt i krav 11, k a r a k t e r i s e r t v e d dessuten å omfatte middel for å trekke ut fluid fra formasjonen, idet nevnte middel er i fluidforbindelse med beholderen.

35

14.

Modulær tester som angitt i krav 2, k a r a k t e r i s e r t v e d at beholderen er laget av ikke-ledende materiale og at RF-spolen er innsluttet i

beholderen, elektromagneten er plassert nær RF-spolen, og magneten omgir elektromagneten, beholderen og RF-spolen derpå.

15.

5 Anordning for å gjennomføre nede-i-hulls kjernemagnetiskresonans(NMR)-målinger av formasjonsfluider, k a r a k t e r i s e r t v e d at anordningen inneholder en modulær tester som angitt i krav 1, og at magneten utstrekker seg langs en borehullakse når anordningen er innført i borehullet.

10

16.

Anordning som angitt i krav 15, k a r a k t e r i s e r t v e d at den innbefatter minst en elektromagnet som kan settes i drift til å generere et magnetfelt med variabel gradient i beholderen i en retning parallelt med det statiske magnetfeltet.

15

17.

Anordning som angitt i krav 15, k a r a k t e r i s e r t v e d at den omfatter en reservoirtank anpasset til å romme et referansefluid.

20

18.

Anordning som angitt i krav 15, k a r a k t e r i s e r t v e d at det ensartede magnetfeltet som genereres av den rørformete Halbach-magneten er mellom ca. 10 og 1.000 mT.

25

19.

Fremgangsmåte for å gjennomføre nede-i-hulls borehullkjernemagnetiskresonans (NMR)-målinger av formasjonsfluider, k a r a k t e r i s e r t v e d at fremgangsmåten innbefatter trinnene:

30

å motta et formasjonsfluid i en beholder (20) som befinner seg i borehullet, å generere et i alt vesentlig ensartet statisk magnetfelt i beholderen med en rørformet Halbach-magnet (16) som utstrekker seg langs en senterakse og som omgir beholderen, hvilket magnetfelt er perpendikulært til senteraksen, å generere et radiofrekvens(RF)-magnetfelt for eksitering av kjerner i fluidet i

35 beholderen, idet nevnte RF-felt har en magnetisk retning som er i alt vesentlig perpendikulær på det statiske magnetfeltets retning, og

å måle et sett med NMR-signaler som genereres fra eksiterte kjerner i fluidet med en mottakerantenne for å bestemme egenskaper ved fluidet, og å tilveiebringe en utgang som er indikerende for egenskapene til fluidene som søkes analysert.

5

20.

Fremgangsmåte som angitt i krav 19, k a r a k t e r i s e r t v e d at den videre innbefatter trinnet å bestemme nevnte egenskaper for fluidet, hvilke egenskaper innbefatter en eller flere av de følgende: (a) tettheten av de eksiterte, atomære elementer, og (b) kjernerelaksasjonstider T_1 og T_2 for de eksiterte kjerner i testfluidet.

10

21.

Fremgangsmåte som angitt i krav 19, k a r a k t e r i s e r t v e d dessuten å omfatte trinnet å generere et variabelt magnetfelt i beholderen i en retning som er parallell med retningen for det statiske magnetfeltet.

15

22.

Fremgangsmåte som angitt i krav 21, k a r a k t e r i s e r t v e d at den videre innbefatter trinnet å bestemme nevnte egenskaper for fluidet, hvilke egenskaper innbefatter en eller flere av de følgende: (a) tettheten av de eksiterte, atomære elementer, og (b) kjernerelaksasjonstidene T_1 og T_2 for de eksiterte kjerner i testfluidet, og (c) egen-diffusiviteten for testfluidet.

20

25 23.

Fremgangsmåte som angitt i krav 19, k a r a k t e r i s e r t v e d dessuten å omfatte trinnet å måle et sett av NMR- signaler for et kalibreringsfluid for å tilveiebringe et referansesett for sammenligning med NMR-signaler fra andre fluider.

30

24.

Fremgangsmåte som angitt i krav 19, k a r a k t e r i s e r t v e d dessuten å omfatte, forut for trinnet å motta et fluid, trinnet å tilveiebringe en NMR-loggmåling langs borehullet for å bestemme målsoner for ekstrahering av fluid fra borehullet.

35

25.

Fremgangsmåte som angitt i krav 24, k a r a k t e r i s e r t
v e d dessuten å omfatte trinnet å anvende målte parametre for fluidet i
kombinasjon med NMR-loggmålingen for å forbedre fortolkningen av NMR-
5 loggmålingen.

26.

Fremgangsmåte som angitt i krav 19, k a r a k t e r i s e r t
v e d trinnene:
10 å motta et fluid,
å generere et i alt vesentlig ensartet statisk magnetfelt,
å generere et radiofrekvens(RF)-magnetfelt, og
å måle et sett av NMR-signaler som genereres fra eksisterende kjerner som gjentas for et
forutbestemt sett av fluidprøver.

15

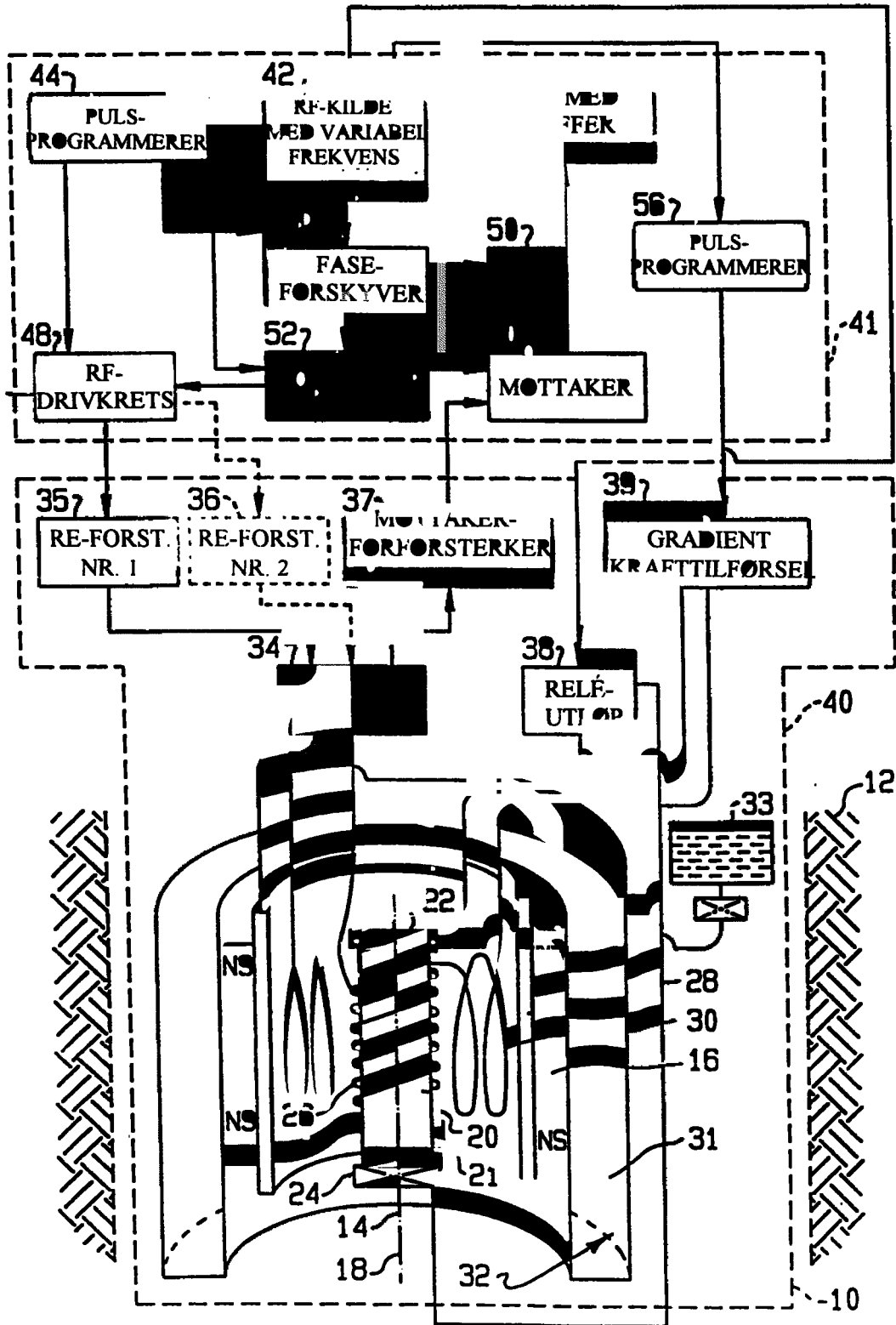


FIG. 1

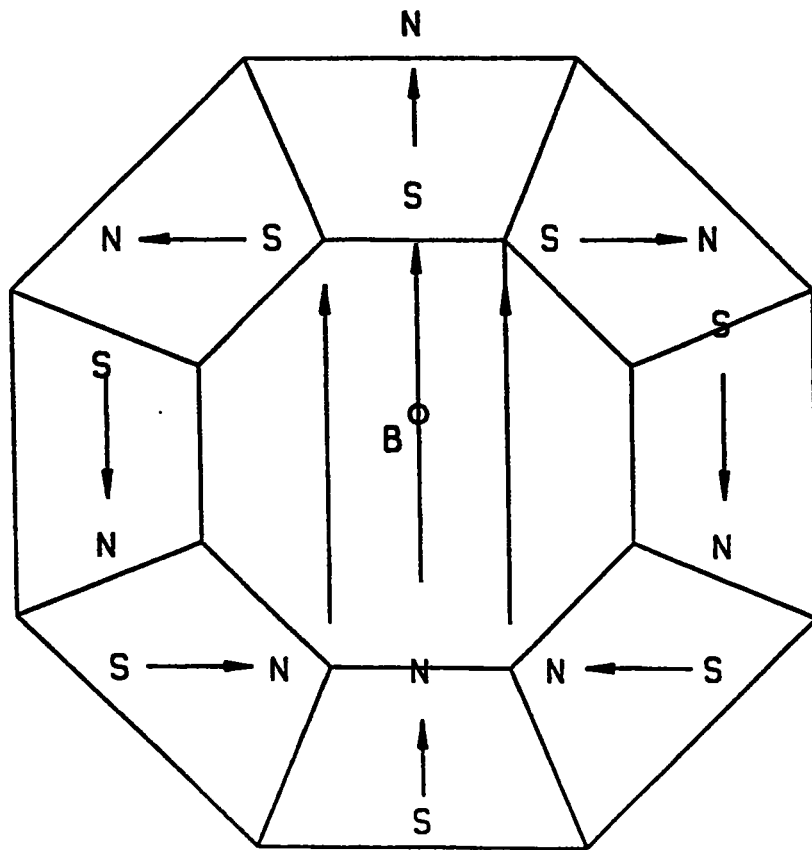
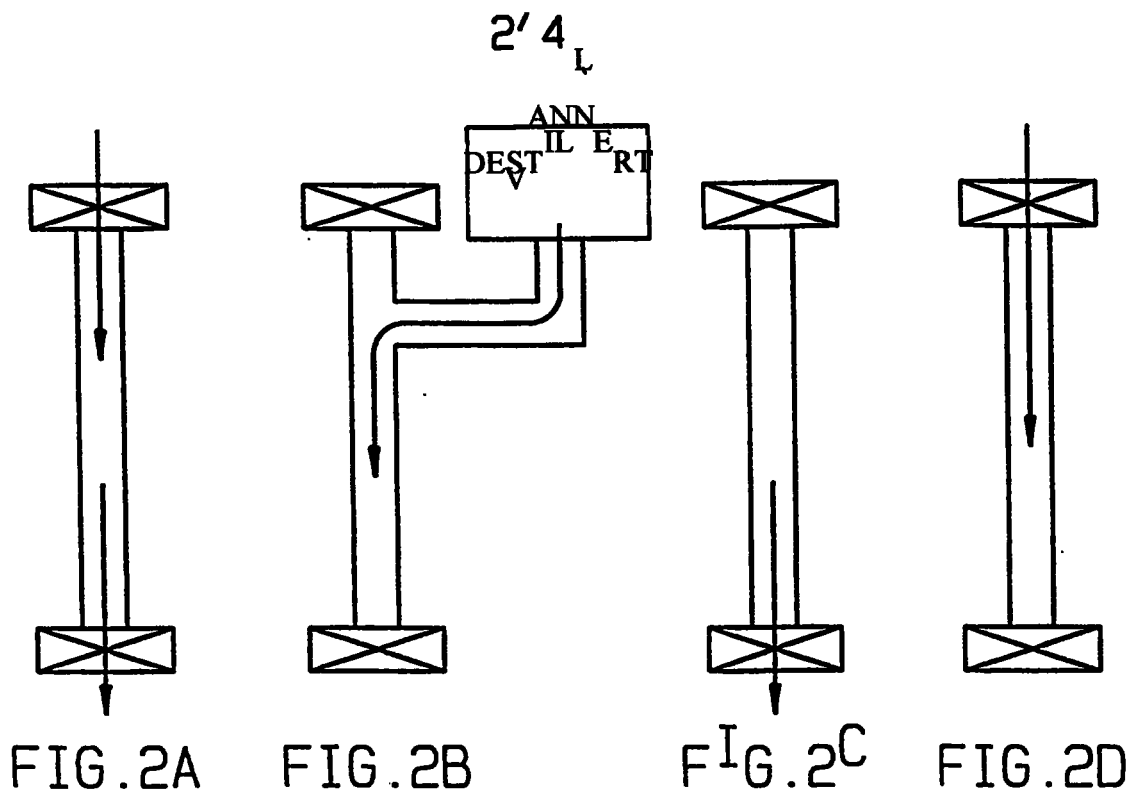


FIG. 3

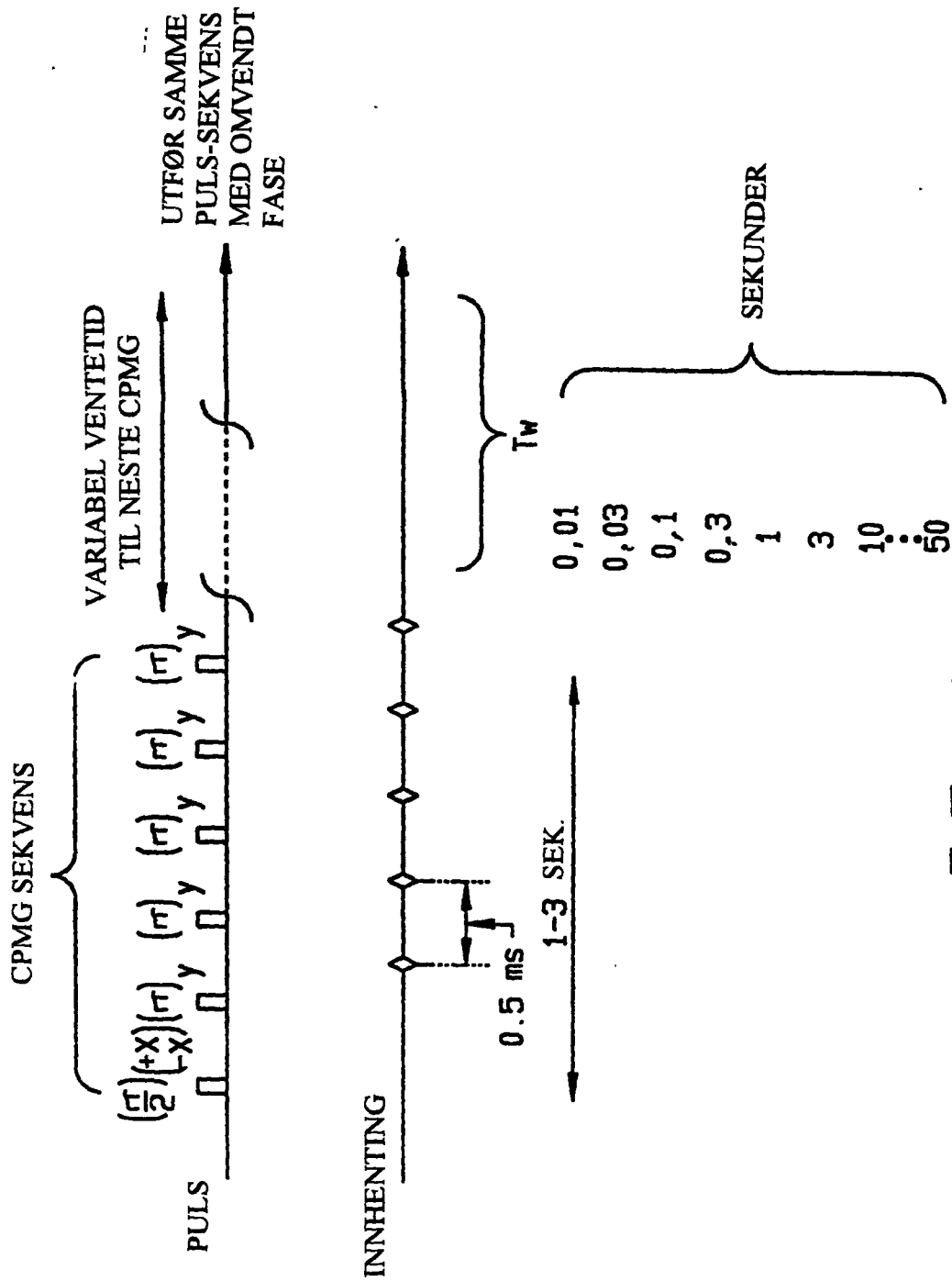


FIG. 4

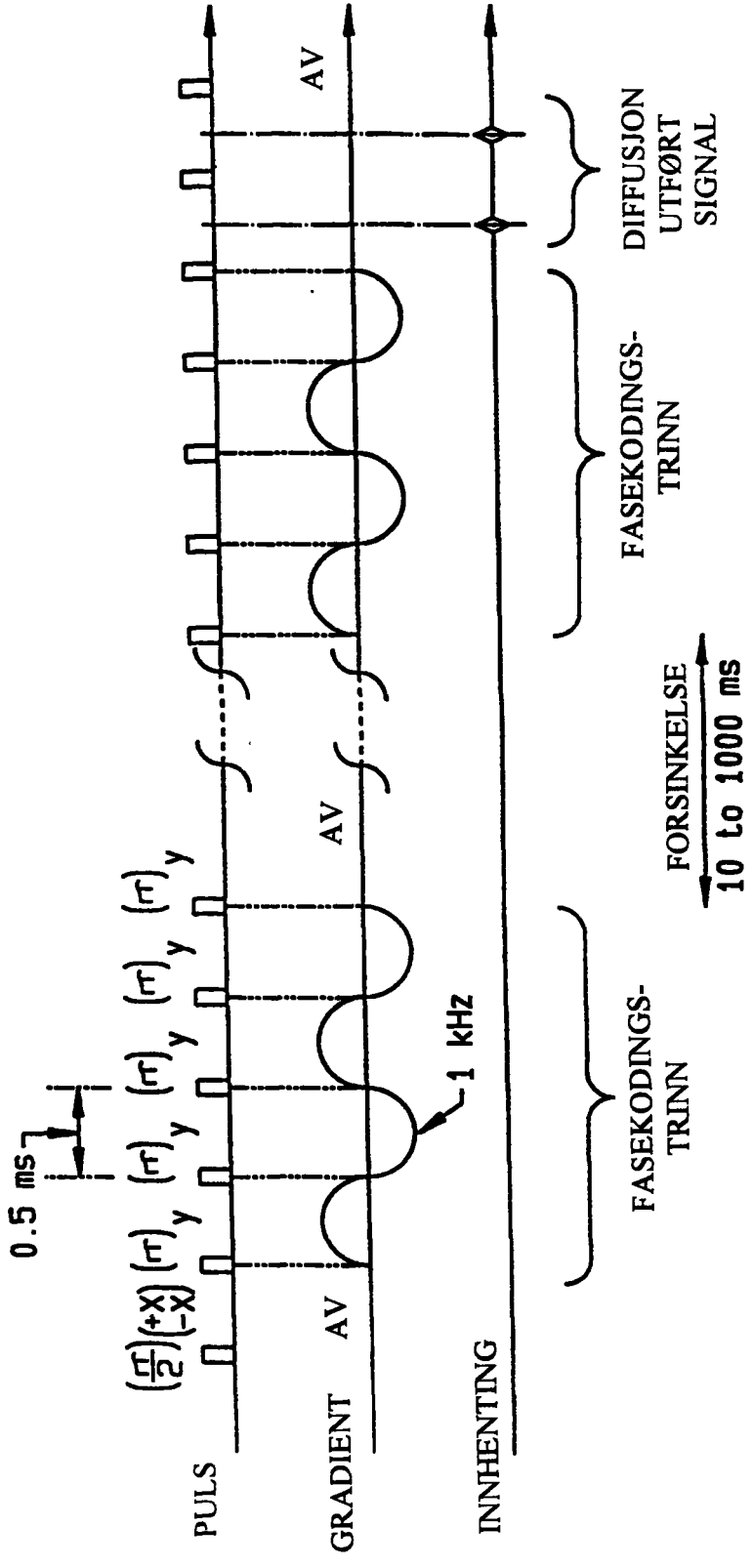


FIG 5