



(12) **PATENT**

(19) NO

(11) 324658

(13) B1

NORGE

(51) Int Cl.

*G01V 3/32 (2006.01)*

*G01V 3/38 (2006.01)*

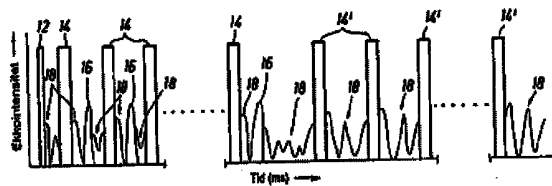
*G01R 33/44 (2006.01)*

### Patentstyret

(21)	Søknadsnr	19993044	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	
(22)	Inng.dag	1999.06.21	(85)	Videreføringdag	
(24)	Løpedag	1999.06.21	(30)	Prioritet	1998.06.22, US, 102719
(41)	Alm.tilgj	1999.12.23			
(45)	Meddelt	2007.11.26			
(73)	Innehaver	Schlumberger Technology BV, Parkstraat 83-89, 2514JG HAAG, NL			
(72)	Oppfinner	Boqin Sun, Sugar Land, TX, US Reza Taherian, Stafford, TX, US			
(74)	Fullmektig	Bryn Aarflot AS, Postboks 449 Sentrum, 0104 OSLO			

(54)	Benevnelse	<b>Fremgangsmåte for å eliminere ringing, under en kjernemagnetisk resonansmåling</b>
(56)	Anførte publikasjoner	D1 US 5023551 A1 D2 US 5585720A1
(57)	Sammendrag	

Den foreliggende oppfinnelsen angår generelt en fremgangsmåte for å eliminere ringing under måling av kjernemagnetiske resonanseegenskaper til en jordformasjon traversert av et borehull. Målingen kan utføres under boring eller ved å benytte et kabelverktøy. Under en første tidsperiode av en enkelt pulssekvens inkluderer målingen de ønskede spinn-ekkoene og de uønskede effektene, dvs. ringing, målestøy og grunnlinjeforskyvning. Under en andre tidsperiode av den enkelte pulssekvensen elimineres spinn-ekkoene men ikke de uønskede effektene. Ved å benytte signalet innsamlet under den andre tidsperioden, korrigeres signalene målt under den første tidsperioden for å eliminere ringekomponenten, målestøy og grunnlinjeforskyvning.



## Oppfinnelsens bakgrunn

Den foreliggende oppfinnelsen angår generelt en fremgangsmåte for måling av kjernemagnetiske resonanseegenskaper til en jordformasjon traversert av et borehull, og mer spesielt til en fremgangsmåte for eliminering av enhver ringing, slik som magnetoakustisk ringing, under en kjernemagnetisk resonansmåling.

Kjernemagnetiske resonansmålinger i borehull tilveiebringer forskjellige typer informasjon om et reservoar. For det første tilveiebringer målingene en indikasjon på mengden av fluid i formasjonen. For det andre presenterer målingene detaljer om fluidet enten er bundet av formasjonssteinen eller ikke bundet og fritt produserbart. Til sist kan målingene benyttes for å identifisere typen av fluid – vann, gass eller olje.

En tilnærming til ervervelse av kjernemagnetiske resonansmålinger anvender et lokalt generert statisk magnetfelt,  $B_0$ , som kan produseres av én eller flere permanentmagneter eller elektromagneter, og et oscillerende magnetfelt,  $B_1$ , som kan produseres av én eller flere RF-antenner, for å eksitere og detektere kjernemagnetisk resonans for å bestemme porøsitet, forholdet av fritt fluid og permeabiliteten til en formasjon. Se US-patent nr. 4,717,878 gitt til Taicher et al. og 5,055,787 gitt til Kleinberg et al. Kjernespinnet retter seg inn med det påførte feltet  $B_0$  med en tidskonstant  $T_1$  som genererer et kjernemagnetisk moment. Vinkelen mellom kjernemagnetiseringen og det påførte feltet kan endres ved å påføre et RF-felt,  $B_1$ , vinkelrett på det statiske feltet  $B_0$ . Frekvensen til RF-feltet er lik Larmor-frekvensen gitt ved  $\omega = \gamma B_0$  der  $\gamma$  er det gyromagnetiske forholdet. Etter anvendelse av en RF-puls begynner magnetiseringen å presessere omkring  $B_0$  og produserer et detekterbart signal i antennen. Signalet detektert av antennen inkluderer en parasittisk, falsk ringing som interfererer med målingen av spinnekkøer.

US-patentpublikasjon 5,023,551 beskriver en fremgangsmåte som omfatter bestemmelse av en kjernemagnetisk resonanseegenskap i en jordformasjon som omgir et borehull, karakterisert ved muligheten for å eliminere ringing ved å påføre et statisk magnetfelt, påføre oscillerende magnetfelt ifølge en pulsesekvens der en offset i basislinjen korrigeres og ringeeffekten minimeres ved bruk av to sekvenssykluser og filtrering.

US-patentpublikasjon 5,585,720 angår bestemmelse av en kjernemagnetisk resonanseegenskap i en jordformasjon som omgir et borehull, karakterisert ved muligheten for å korrigere for spinn-ekkoene og ringekomponentene.

Kilden til det falske signalet er elektromagnetisk generering av stående ultralydbølger i metall. Se E. Fukushima og S.B.W. Roeder, *Spurious Ringing in Pulse NMR*, 33 J. MAGN. RES. 199-223 (1979). Som forklart i artikkelen til Fukushima et al., påvirker gjensidig den induerte RF-strømmen inne i overflatedybden til metallet samvirker med gitteret i et statisk magnetfelt gjennom Lorenzkraften og den koherente ultralydbølgen forplanter seg inn i metallet og setter opp en stående bølge. En resiprok mekanisme konverterer den akustiske energien, i nærværet av det statiske feltet, til et oscillerende magnetfelt som plukkes opp av antennen som et falskt, ringende signal.

Forskjellige typer magnetoakustisk vekselvirkning kan produsere et parasittsignal i NMR-antennen. Antennevikling og andre metaldeler av NMR-loggeverktøyet kan påvirkes av det statiske magnetfeltet og RF-feltet generert av antennen. Hvis antennen er plassert inne i den sterkeste delen av magnetens felt, når RF-pulser påføres antennen, genereres akustiske bølger i antennen og antennen opprettholder en serie av dempede mekaniske oscillasjoner i en prosess kjent for de i teknikken som magnetoakustisk ringing. Denne ringingen kan induere store spenninger i antennen som legges ovenpå målingen av spenningene induert av spinn-ekkoene.

En annen kilde til magnetoakustisk interaksjon er magnetorestriktiv ringing som typisk forårsakes når ikke-ledende magnetiske materialer, slik som magnetisk ferritt, benyttes i antennen. Hvis dette magnetiske materialet er anbrakt inne i den sterke delen av RF-feltet, vil påføringen av RF-pulser generere akustiske bølger i magneten. Magneten vil oppleve en serie av dempede mekaniske oscillasjoner ved opphør av RF-pulsen. Magnetorestriktiv ringing kan også induere store spenninger i antennen som legges ovenpå målingen av spenningene induert av spinn-ekkoene.

En type NMR-brønnloggingsapparat som reduserer magnetoakustisk interaksjon er f.eks. beskrevet i US-patent nr. 5,712,566 gitt til Taicher et al. Apparatet fremlagt i '566-patentet inkluderer en permanentmagnet sammensatt av et hardt, ferritt magnetmateriale som er formet til en ringformet sylinder som har et sirkelfor-

met hull parallelt med lengdeaksen til apparatet. Én eller flere mottakerspoler er anordnet omkring den ytre overflaten av magneten. En RF-transmitterende spole er anbrakt i magnethullet der det statiske magnetfeltet er null. Vindingene til den transmitterende spolen formes omkring en myk ferrittstav. På denne måten reduseres magnetoakustisk spoleringing ved konfigurasjonen av den transmitterende spolen. Magnetorestriktiv ringing av magneten reduseres fordi den radiale avhengigheten av RF-feltstyrken er relativt liten på grunn av bruken av den longitudinale dipolantennen med ferrittstaven. Videre reduseres magnetorestriktiv ringing fordi mottakerspolen i det vesentlige fjerner kopling av mottakerspolen med parasittisk magnetfluks på grunn av den inverse effekten til magnetorestriksjon.

Apparatet fremlagt i '566-patentet har flere svakheter. Først må materialet til permanentmagnetet være elektrisk ikke-ledende slik at antennen benyttet for å generere et magnetfelt med radiofrekvens kan anbringes i hullet. For det andre, ved å plassere antennen i hullet, minskes effektiviteten til antennen på grunn av avstanden fra antennen til formasjonen. '566-patentet beskriver en alternativ utførelsesform hvor magnethullet er radiallyt forskjøvet mot den ytre overflaten til magneten. I de foretrukne og alternative utførelsesformene av '566-patentet, øker den radiale avstanden fra antennen til undersøkelsesvolumet i formasjonen ved å anbringe antennen i magnethullet. I tilfeller av vesentlig borehullsrugositet kan undersøkelsesvolumet anbringes inne i selve borehullet, heller enn helt inne i jordformasjonen.

Normalt elimineres magnetoakustisk interaksjon forårsaket av en 180° puls i en CPNG-sekvens av en fasevekslende pulssekvens. Som f.eks. beskrevet i US-patent nr. 5,596,274 gitt til Abdurrahman Sezginer og US-patent nr. 5,023,551 gitt til Kleinberg et al., anvender en pulssekvens, slik som Carr-Purcell-Meiboom-Gill (CPMG)-sekvens, først en eksitasjonspuls, en 90°-puls, som forårsaker spinnene til å starte å presessere. Etter at spinnene er tippet med 90° og begynner å faseforskyves, fasedreies bæreren til refokuseringspulsene, 180°-pulsene, relativt til bæreren til 90°-pulsene i henhold til sekvensen:

$$\text{CPMG}(\pm) = 90^\circ_{\pm x} [t_{cp} 180^\circ_y t_{cp} \pm \text{ekko}_j],$$

hvor uttrykket i parentesen gjentas for  $j = 1, 2, \dots, J$ , der  $J$  er antallet ekkoeer inn-  
samlet i en enkelt CPMG-sekvens, og  $t_{cp}$  er halvparten av ekkomellomrommet.  
 $90^\circ_{\pm x}$  betegner en RF-puls som forårsaker spinnene til å rotere med en vinkel på  
 $90^\circ$  omkring  $\pm x$ -aksene (fasevekslet). På samme måte betegner  $180^\circ_y$  en RF-puls  
5 som forårsaker en rotasjon på  $180^\circ$  omkring  $y$ -aksene. Ringingen på grunn av  
 $180^\circ$ -pulsene elimineres ved å kombinere et par fasevekslende CPMG-sekvenser,  
dvs. å subtrahere ekkoeene i CPMG (-) fra ekkoeene i den nærliggende CPMG (+).  
Generelt ignoreres ringingen på grunn av  $90^\circ$ -pulsene. I tillegg til ringing kan den  
elektroniske målekretsen introdusere en grunnlinjeforskyvning som gjør målingen  
10 av den absolutte ekkointensiteten vanskeligere. Den fasevekslede pulssekvens-  
operasjonen kansellerer også den falske grunnlinjen som kan være til stede i  
målingene.

En ulempe med den fasevekslende sekvensen er kravet om å måle to puls-  
sekvenssykluser. Målinger utført slik av et NMR-loggeverktøy er derfor utsatt for  
15 forringelse i den vertikale oppløsningen på grunn av loggehastigheten, ventetiden  
mellom hver pulssekvens og datainnsamlingstiden. I tillegg beveges loggeverk-  
tøyet langs lengdeaksen til borehullet mellom hver av målingene. Muligens måles  
ekkoene fra CPMG ( $\pm$ )-sekvensene med verktøyet vendende mot forskjellige for-  
masjoner hvor hver formasjon har en forskjellig konduktivitet. Laboratorietester  
20 viser at magnetoakustisk interaksjon påvirkes av formasjonskonduktiviteten.

Fig. 1a-1c presenterer eksperimentelle resultater av en NMR-måling hvor  
de fasevekslende pulssekvensene måles ved to forskjellige konduktiviteter. Den  
positive fasesyklusmålingen (fig. 1a) oppnås fra en  $0,25 \Omega\text{-m}$  vannprøve og den  
negative fasesyklusmålingen (fig. 1b) oppnås fra en  $0,9 \Omega\text{-m}$  vannprøve. Fig. 1a  
25 viser de positive faseekkoene, grunnlinjeforskyvning, og minimal ringing fra  $180^\circ$ -  
pulsene mens fig. 1b illustrerer de negative faseekkoene, grunnlinjeforskyvningen  
og vesentlig ringing fra  $180^\circ$ -pulsene. Når disse signalene kombineres ved å sub-  
trahere signalet oppnådd under den negative fasesyklusen fra signalet oppnådd  
under den positive fasesyklusen, oppnås resultatet avbildet i fig. 1c som viser at  
30 ringingen og grunnlinjeforskyvningen ikke er fullstendig kansellert med de fase-  
vekslende pulssekvensene.

### Sammendrag av oppfinnelsen

Ulempene ovenfor med den tidligere teknikk overvinnes ved hjelp av oppfinnelsesemnet som inneslutter en fremgangsmåte for å eliminere ringing under måling av en kjernemagnetisk resonanseegenskap til jordformasjoner som omgir et borehull. Et statisk magnetfelt pålegges et formasjonsvolum som polariserer spinnkjernen inne i formasjonsvolumet. Et oscillerende magnetfelt pålegges formasjonsvolumet i henhold til en valgt pulssekvens i flere perioder slik at et kjernemagnetisk resonanssignal genereres i formasjonsvolumet. Under en første tidsperiode av en enkelt pulssekvenssyklus påføres en første flerhet av oscillerende pulser til formasjonsvolumet og signaler generert i formasjonen måles. De målte signalene omfatter en ringekomponent og flere spinnekkoe. Deretter elimineres spinnekkoeene. Under en andre tidsperiode til den enkelte pulssekvenssyklus påføres en andre flerhet av oscillerende pulser på formasjonsvolumet og signaler generert i formasjonen måles. De målte signalene omfatter ringekomponenten og ekskluderer i det vesentlige spinnekkoeene. Signalene målt under den første tidsperioden korrigeres for å eliminere ringekomponenten.

Signalene målt under den andre tidsperioden kan videre omfatte flere stimulerte ekkoer. Under den andre tidsperioden kan spinn-ekkoene og de stimulerte ekkoene elimineres ved gjentatt å påføre en kort puls fulgt av en tidsforsinkelse for å ødelegge de stimulerte ekkoene og spinn-ekkoene. Alternativt, under den andre tidsperioden, kan en fasevekslende pulssekvens påføres for å ødelegge de stimulerte ekkoene og spinn-ekkoene.

Oppfinnelsesemnet inneslutter en fremgangsmåte for å eliminere en grunnlinjeforskyvning samtidig som en kjernemagnetisk resonanseegenskap til jordformasjoner som omgir et borehull måles. Et statisk magnetfelt påføres et formasjonsvolum som polariserer spinnkjernen inne i formasjonsvolumet. Et oscillerende magnetfelt påføres formasjonsvolumet i henhold til en valgt pulssekvens i flere sykluser slik at et kjernemagnetisk resonanssignal genereres i formasjonsvolumet. Under en første tidsperiode av en enkelt pulssekvenssyklus påføres en første flerhet oscillerende pulser på formasjonsvolumet og de genererte signalene i formasjonen måles. De målte signalene omfatter en grunnlinjekomponent og flere spinn-ekkoer. Spinn-ekkoene elimineres. Under en andre tidsperiode av den enkelte pulssekvenssyklus påføres en andre flerhet oscillerende pulser på forma-

sjonsvolumet og de genererte signalene i formasjonen måles. De målte signalene omfatter grunnlinjekomponenten og ekskluderer i det vesentlige spinn-ekkoene. Signalene målt under den første tidsperioden korrigeres for å eliminere grunnlinjekomponenten.

5

#### Kort beskrivelse av tegningene

Fordelene med den foreliggende oppfinnelsen vil bli tydelige fra den følgende beskrivelsen av de medfølgende tegningene. Det skal forstås at tegningene kun skal benyttes i illustrasjonshensikt, og ikke som en definisjon av oppfinnelsen.

10

I tegningene:

Fig. 1a-1c avbilder effekten av formasjonskonduktivitet på NMR-målingene ved anvendelse av en fasevekslende pulssekvens;

Fig. 2 illustrerer den nye pulssekvensen i henhold til en foretrukket utførelsesform av den foreliggende oppfinnelsen;

15

Fig. 3 illustrerer laboratedata oppnådd som et resultat av å anvende den nye pulssekvensen på en NMR-måling; og

Fig. 4a-4b sammenligner de RingKiller-korrigerede data med de fasevekslende pulssekvenskorrigerede data.

20

#### Detaljert beskrivelse av den foretrukkede utførelsesformen

Med henvisning til fig. 2, er en CPMG-pulsekkosekvens vist som illustrerer ringing, slik som magnetoakustisk ringing, og grunnlinjeforskyvningen som er tilstede under en kjernemagnetisk resonansmåling. Andre pulssekvenser kjent for faglærte i teknikken, slik som Carr-Purcell-sekvensen med inversjon (CPI), er innenfor betraktningen til oppfinnelsen. Se T.C. FARRAR AND E.D. BECKER, PULSE AND FOURIER TRANSFORM NMR (Academic Press, 1971). Oppfinnelsesemnet måler først den ønskede ekko-intensiteten 16 og de uønskede effektene 18, dvs. ringing, målestøy, og grunnlinjeforskyvning, under én enkelt pulssekvens. Under den enkle pulssekvensen «ødelegges» (f.eks. elimineres) spinn-ekkoene, men ikke de uønskede effektene 18, ved å benytte en teknikk heretter referert til som «RingKiller Approach». Etter ødelegging av spinn-ekkoene under den enkle pulssekvensen, måles de uønskede effektene 18 og benyttes til å korrigere de først målte spinn-ekkoene 16 og uønskede effektene 18 for å eliminere ringekompo-

30

nenten, målestøy, og grunnlinjeforskyvning i de første måledata. Foretrukket benyttes oppfinnelsesemnet til å eliminere ringing på grunn av en 180°-puls, imidlertid kan den benyttes for å eliminere ringing fra pulser av en hvilken som helst lengde og er ikke begrenset til å eliminere ringing på grunn av en 180°- eller selv en 90°-puls.

Med RingKiller Approach, utføres en CPMG-sekvens bestående av en eksitasjonspuls 12 og en sekvens med refokuserende pulser 14. Det målte signalet omfatter spinn-ekkoet 16 og de uønskede effektene 18 bestående av ringing, målestøy og grunnlinjeforskyvning. Det målte signalet kan skrives på formen:

$$S_{nk} = S_{ekko,n}(k\Delta t) + R_{180,n}(k\Delta t) + S_{støy,n}(k\Delta t) + d.c. \text{ for } 1 \leq n \leq N_1 \text{ og } 1 \leq k \leq M \quad (1)$$

og

$$S'_{nk} = R_{180,n}(k\Delta t) + S_{støy,n}(k\Delta t) + d.c. \quad \text{for } N_1 + 1 \leq n \leq N_2 \text{ og } 1 \leq k \leq M \quad (2)$$

hvor  $S_{ekko,n}(t)$  angir det  $n^{\text{te}}$  ekkosignal,  $R_{180,n}(t)$  er det tilsvarende ringesignalet,  $S_{støy}(t)$  er målestøy, d.c. er grunnlinjeforskyvningen,  $\Delta t$  er pausetiden,  $N_1$  er antallet perioder hvor ekkoet 16 er tilstede,  $N_2$  er det totale antallet perioder i eksperimentet, og  $M$  er antallet sampler pr. ekkoperiode. Ligning 1 beskriver signalet før spinn-ekkoene ødelegges mens ligning 2 representerer signalet etter ødeleggelse av spinn-ekkoene. Det gjennomsnittlige ringesignalet etter ødeleggelse av spinn-ekkoene er:

$$\bar{R}_{180,k} = \frac{1}{N_2 - N_1} \sum_{N_1+1}^{N_2} S'_{nk} \quad \text{for } 1 \leq k \leq M. \quad (3)$$

Det gjennomsnittlige ringesignalet omfatter de uønskede effektene 18 av ringing, støy og grunnlinjeforskyvning, forutsatt at verktøyelektronikken forblir stabil under målingen. Med RingKiller Approach, korrigeres de målte data,  $S_{nk}$ , for de uønskede effektene 18 i henhold til den følgende ligning:

$$S_{RK,nk} = S_{nk} - \bar{R}_{180,k} = S_{ekko,n}(k\Delta t) + S_{støy,n}(k\Delta t) \quad \text{for } 1 \leq n \leq N_1 \text{ og } 1 \leq k \leq M \quad (4)$$

Den elektroniske kretsen benyttet for å oppnå en kjernemagnetisk resonansmåling kan utsettes for temperaturustabilitet i en høytemperatur-omgivelse. Fig. 3 illustrerer effekten av temperaturustabilitet på NMR-data der den høye RF-effekten generert under sekvensen med å refokusere pulser 14 gradvis varmer opp elektronik-

5 ken for derved å endre systemresponsen. Fremdeles med referanse til eksempelet i fig. 3, amplituden til ringesignalet opplever en lineær endring under CPMG-sekvensen. I dette spesielle eksempelet gjør RingKiller Approach rede for denne lineære effekten i henhold til den følgende ligning:

$$10 \quad S_{RK,nk} = S_{-nk} - (a + bn)\bar{R}_{180,k} - (1 - a - bn)d.c. \quad \text{for } 1 \leq n \leq N_1 \text{ og } 1 \leq k \leq M \quad (5)$$

hvor  $a$  er forholdet mellom den første ringeamplituden og de gjennomsnittlige ringeamplitudene, og  $b$  er stigningen til endringen av ringeintensitet. Generelt kan andre passende former av ligning 5 benyttes for å gjøre rede for ikke-lineære

15 endringer.

I en foretrukket utførelsesform av oppfinnelsen, elimineres spinn-ekkoene under tidsperioden mellom  $N_1$  og  $N_1+1$  ved å benytte en ødeleggelsesteknikk heretter referert til som «Savnet 180°-puls»-metoden. Med referanse til fig. 2, med savnet 180°-pulsmetoden registreres ekkoer 16 og uønskede effekter 18 bestående av ringing, målestøy, og grunnlinjeforskyvning for en tidslengde  $T_{CPMG}$  hvor  $N_1$  er antallet perioder hvor ekkoene 16 er tilstede. For  $N_1+1$  tidsperioden, forsinkes refokuseringspulsen med minst  $2T_E$  (hvor  $T_E$  = ekkoavstand), fulgt av et antall  $(N_2-N_1)$  refokuserende pulser 14' separert av  $T_E$ . Forsinkelsen er ekvivalent til tap av minst én 180°-puls i den normale pulssekvensen. Som et resultat av å miste

25 minst én 180°-puls defokuserer spinnene for minst  $1,5T_E$ . Deretter settes spinnene i fokuseringsretningen kun for  $T_E$  før den neste 180°-pulsen setter spinnene i defokuseringsretningen. Spinnene har ikke en anledning til å fullstendig refokusere for derved å ødelegge ethvert senere spinn-ekko.

Refererende til fig. 3, den tapte 180° pulsødeleggelsesmetoden ble testet og målt i laboratoriet ved å benytte en vannprøve inneholdende NiCl<sub>2</sub>-løsning. På grunn av temperaturustabiliteten til den elektroniske kretsen er det korrigerede målte signalet ved benyttelse av RingKiller-tilnærmelsen:

5

$$S_{RK,nk} = S_{nk} - (a + bn)\bar{R}_{180,k} - (1 - a - bn)d.c. \quad \text{for } 0 < t < 64 \text{ ms}$$

hvor  $a=0,8$ ,  $b=0,005$ , og

$$10 \quad \bar{R}_{180,k} = \frac{1}{N_2 - N_1} \sum_{N_1+1}^{N_2} S'_{nk} \quad \text{for } 64 < t < 120 \text{ ms.}$$

Fig. 4a-4b sammenligner de RingKiller-korrigerede data med de fasevekslende pulssekvensdata under den tidlige perioden (fig. 4a) når spinn-ekkoer er til stede ( $0 < t < 4$  ms) og under en senere periode (fig. 4b) når spinn-ekkoer er til stede ( $59,5 < t < 63,5$  ms). Laboratorieresultater indikerer at ekko-formen og intensiteten oppnådd fra en enkelt pulssekvens ved å benytte RingKiller Approach er i det vesentlige den samme som de som ble oppnådd fra et par fasevekslende pulssekvenser.

Kjernemagnetiske resonansmålinger reagerer godt på den savnede 180° pulsødeleggelsesmetoden hvor sampelen har en relativt hurtig longitudinal relaksasjonstid ( $T_1$ ). For sampler som har en tregere  $T_1$ , produseres stimulerte ekkoer på grunn av inhomogeniteter i RF-magnetfeltet. De stimulerte ekkoene elimineres ved å benytte forskjellige ødeleggelsesteknikker. Under den enkelte CPMG-sekvensen elimineres de stimulerte ekkoene ved gjentatte ganger å påføre en kort puls på  $\theta$  grader fulgt av en kort tidsforsinkelse,  $t_{\text{forsinkelse}}$ . Gjentakning av denne sekvensen randomiserer spinnene og ødelegger de stimulerte ekkoene og også spinn-ekkoene.

Alternativt elimineres de stimulerte ekkoene ved å benytte en fasevekslende 180° pulssekvens. Under den enkelte CPMG-sekvens elimineres de stimulerte ekkoene ved å anvende en 180° puls i (+y)-retningen fulgt av en tidsforsinkelse,  $t_{\text{forsinkelse}}$ , og deretter anvendelse av en 180° puls i (-y)-retningen. Gjentakning

av denne sekvensen randomiserer spinnene og ødelegger de stimulerte ekkoene og også spinn-ekkoene. RingKiller Approach er ikke begrenset til forannevnte ødeleggelsesteknikker. Andre tilnærmelser som eliminerer spinn-ekkoene, men ikke de uønskede effektene er påtenkt i denne oppfinnelsen.

5 I en alternativ utførelsesform av oppfinnelsen elimineres spinn-ekkoene ved å slå av refokuseringspulsene etter en tidslengde  $T_{CPMG}$  og å utføre en grunnlinjekorreksjon (heretter kalt «grunnlinjetilnæringen»). Grunnlinjetilnæring benyttes for en svært konduktiv prøve hvor den uønskede effekten tilskrevet ringing er neglisjerbar. Se fig. 1a. Med grunnlinjetilnæringen utføres en CPMG-sekvens bestående av en eksitasjonspuls og en sekvens av refokuseringspulser. Det målte signalet omfatter spinnekket og uønskede effekter bestående av målestøy og grunnlinjeforskyvning. I grunnlinjetilnærmelsen kan det målte signalet skrives på formen:

$$15 \quad S_{nk} = S_{ekko,n}(k\Delta t) + S_{støy,n}(k\Delta t) + d.c. \quad \text{for } 1 \leq n \leq N_1 \text{ og } 1 \leq k \leq M \quad (6)$$

og

$$S'_{nk} = S_{støy,n}(k\Delta t) + d.c. \quad \text{for } N_1 + 1 \leq n \leq N_2 \text{ og } 1 \leq k \leq M \quad (7)$$

20 hvor  $S_{ekko,n}(t)$  angir det  $n^{\text{te}}$  ekkosignalet,  $S_{støy,n}(t)$  er målestøy, d.c. er grunnlinjeforskyvning,  $\Delta t$  er pausetiden,  $N_1$  er antallet perioder hvor ekkoet er tilstede,  $N_2$  er det totale antallet perioder i eksperimentet, og  $M$  er antallet sampler pr. ekkoperiode. Etter at refokuseringspulsene er slått av, er det gjennomsnittlige grunnlinjeforskyvningen:

$$25 \quad \bar{S}_{BL} = \frac{1}{N_2 - N_1} \sum_{N_1+1}^{N_2} S'_{nk} \quad \text{for } 1 \leq k \leq M. \quad (8)$$

Det gjennomsnittlige grunnlinjeforskyvningen omfatter de uønskede effektene av grunnlinjeforskyvningen, forutsatt at verktøyelektronikken forblir stabil under målingen. Med grunnlinjetilnæringen korrigeres de målte data for de uønskede effektene i henhold til følgende ligning:

$$S_{BL,nk} = S_{nk} - \bar{S}_{BL} = S_{ekko,n}(k\Delta t) + S_{støyt,n}(k\Delta t) \quad \text{for } 1 \leq n \leq N_1 \text{ og } 1 \leq k \leq M \quad (9)$$

Videre, de målte data kan korrigeres for temperaturstabilitet i den elektroniske kretsen i en høytemperatur-omgivelse.

- 5            Den foregående beskrivelsen av de foretrukkede og alternative utførelsesformene av den foreliggende oppfinnelsen har blitt presentert i illustrasjonshensikt og beskrivelse. Den har ikke til hensikt å være uttømmende eller begrense oppfinnelsen til den presise formen fremlagt. Selvsagt vil mange modifikasjoner og variasjoner være tydelige for de med kjennskap til teknikken. F.eks. kan oppfinnelse-
- 10    emnet benyttes for å eliminere ringing på grunn av pulser av en hvilken som helst lengde. Utførelsesformene ble valgt og beskrevet for å best forklare prinsippene i oppfinnelsen og dens praktiske anvendelse for derved å gjøre det mulig for andre med kjennskap til teknikken å forstå oppfinnelsen for forskjellige utførelsesformer og med forskjellige modifikasjoner som er tilpasset til den spesielle tiltenkte bru-
- 15    ken. Det er tilsiktet at omfanget av oppfinnelsen skal defineres av de medfølgende kravene og deres ekvivalenter.

## PATENTKRAV

1. Fremgangsmåte for å eliminere en uønsket signalkomponent mens det måles en kjernemagnetisk resonanseegenskap til jordformasjoner som omgir et borehull,
- 5 **karakterisert ved** trinnene:
- a) å påføre et statisk magnetfelt i et formasjonsvolum som polariserer spinnkjernen inne i formasjonsvolumet;
  - b) å påføre oscillerende magnetfelter i formasjonsvolumet ifølge en valgt pulsssekvens for flere sykluser slik at kjernemagnetiske resonanssignaler genereres i formasjonsvolumet;
  - 10 c) under en enkelt pulsssekvenssyklus omfatter trinn (b) videre trinnene:
    - i) under en første tidsperiode, å påføre en første flerhet oscillerende pulser i formasjonsvolumet og å måle de genererte signalene i formasjonen, idet de målte signalene omfatter flere spinn-ekkoer og en uønsket signalkomponent overlappet på disse, idet den uønskede signalkomponenten er en ringekomponent og/eller en grunnlinjeforskyvning;
    - 15 ii) å kansellere spinn-ekkoene;
    - 20 iii) under en andre tidsperiode, å påføre en andre flerhet av oscillerende pulser i formasjonsvolumet og å måle de genererte signalene i formasjonen, idet de målte signalene omfatter ringekomponenten og ekskluderer spinn-ekkoene; og
    - 25 iv) å korrigere signalene målt under den første tidsperioden ved hjelp av signalene i andre tidsperiode for å eliminere den uønskede signalkomponenten.
2. Fremgangsmåte ifølge krav 1,
- karakterisert ved** at det målte signal under den første og andre tidsperioden omfatter grunnlinjeforskyvningen og målestøy, og trinnet med å korrigere signalene målt under den første tidsperioden videre eliminerer grunnlinjeforskyvningen.
- 30

3. Fremgangsmåte ifølge krav 2,

**karakterisert ved** trinnet med å beregne et gjennomsnitt av signalene målt under den andre tidsperioden, og trinnet med å korrigere signalene målt under den første tidsperioden omfatter videre trinnet å kombinere det gjennomsnittlige signalet og signaler fra den første perioden for å eliminere ringing, grunnlinjeforskyvning og målestøy slik at det korrigerte signalet i det vesentlige omfatter spinn-ekkoene med minimalt tillagt støy.

4. Fremgangsmåte ifølge krav 1,

**karakterisert ved** at de målte signalene under den første tidsperioden videre omfatter en flerhet av stimulerte ekkoer og fremgangsmåten videre omfatter trinnet med å korrigere signalene som ble målt i den første tidsperioden for å fjerne de stimulerte ekkoene.

5. Fremgangsmåte ifølge krav 4,

**karakterisert ved** trinnet med å gjentatt påføre en kort puls fulgt av en tidsforsinkelse for å ødelegge de stimulerte ekkoene.

6. Fremgangsmåte ifølge krav 4,

**karakterisert ved** trinnet med å påføre en fasevekslende pulsskvens for å ødelegge de stimulerte ekkoene.

7. Fremgangsmåte ifølge krav 1,

**karakterisert ved** trinnet med å eliminere anvendelser av noen oscillerende pulser under den andre tidsperioden.

8. Fremgangsmåten ifølge krav 1,

**karakterisert ved** at de målte signalene under den første tidsperioden videre omfatter en flerhet med stimulerte ekkoer og fremgangsmåten videre omfatter trinnet med å kansellere de stimulerte ekkoene, og hvor de målte signalene under den andre tidsperioden utelukker de stimulerte ekkoene.

9. Fremgangsmåten ifølge krav 8,  
**karakterisert ved** trinnet med å gjentatt påføre en kort puls fulgt av en tidsforsinkelse for å ødelegge spinn-ekkoene og de stimulerede ekkoene.
- 5 10. Fremgangsmåten ifølge krav 8,  
**karakterisert ved** trinnet med å påføre en fasevekslende pulssekvens for å ødelegge spinn-ekkoene og de stimulerede ekkoene.
- 10 11. Anvendelsene av fremgangsmåtene ifølge 1 eller 7 under boring av et borehull med et boreverktøy.

FIG. 1a

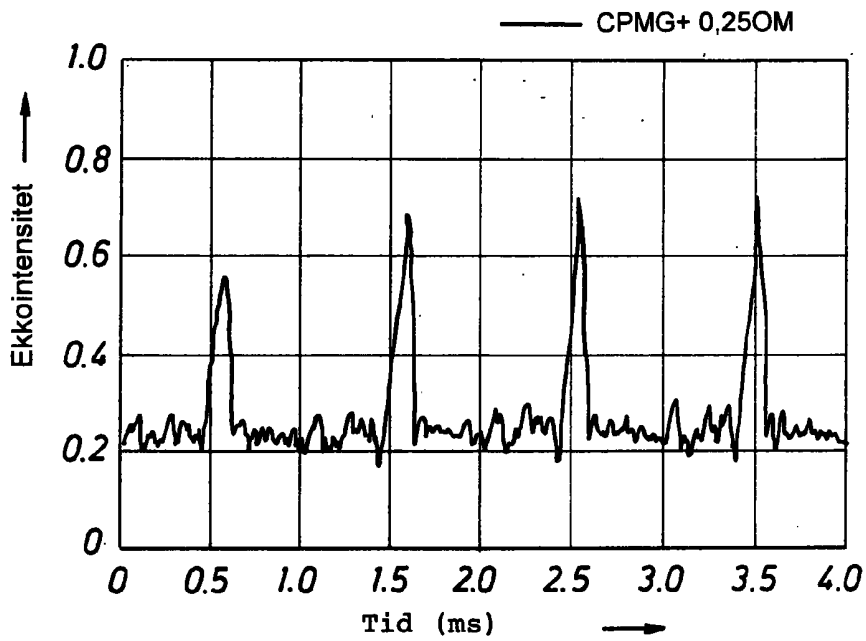
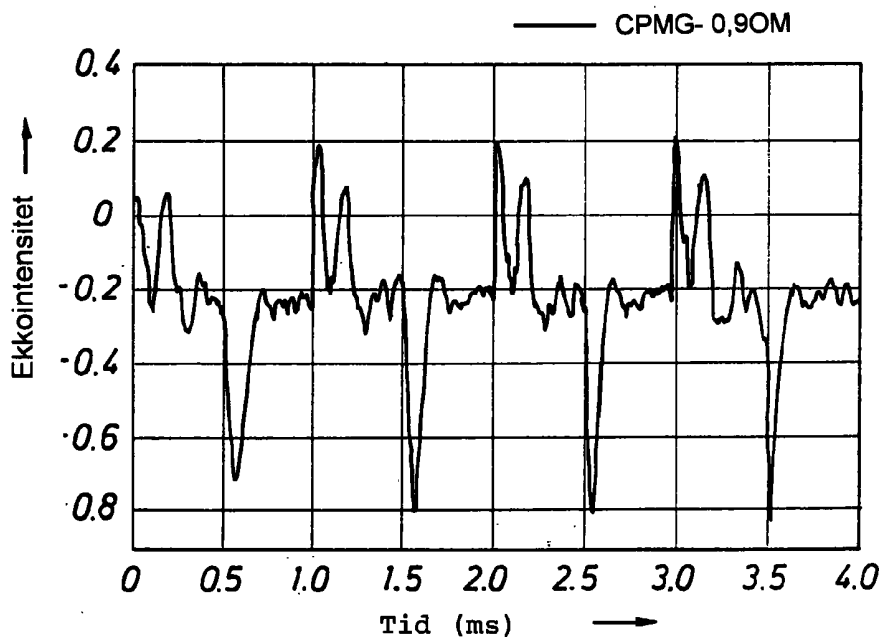
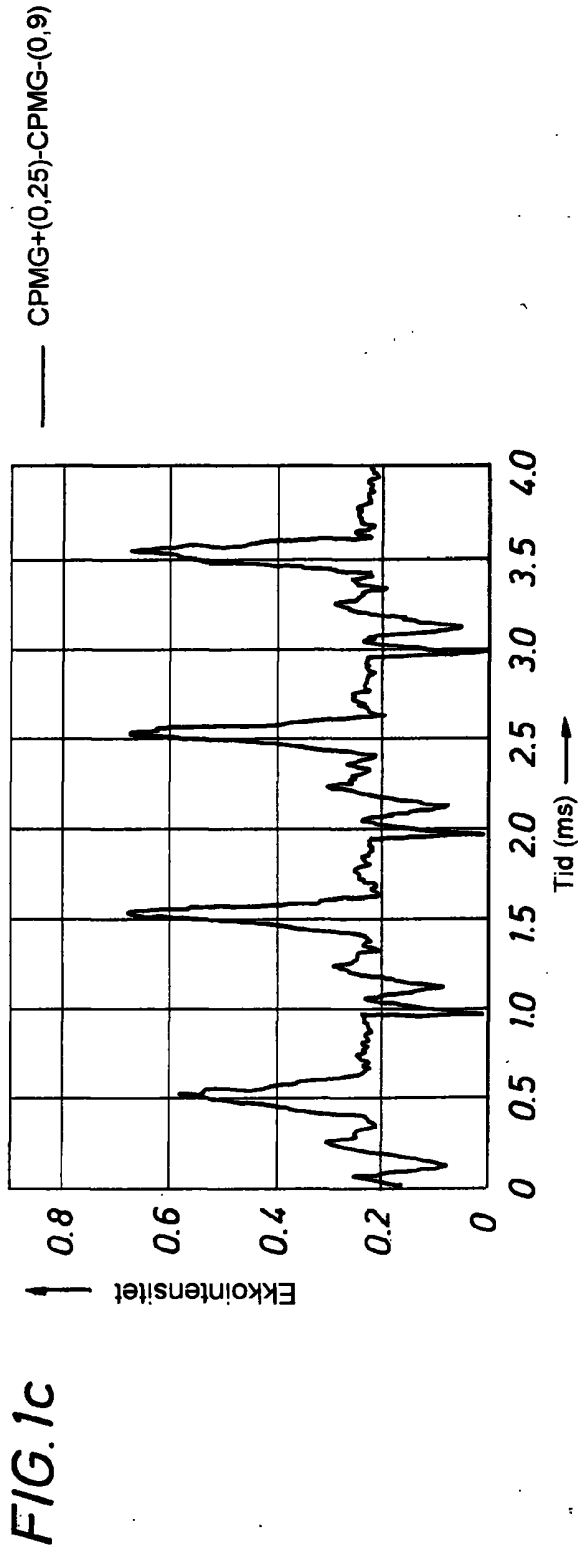


FIG. 1b





**FIG. 2**

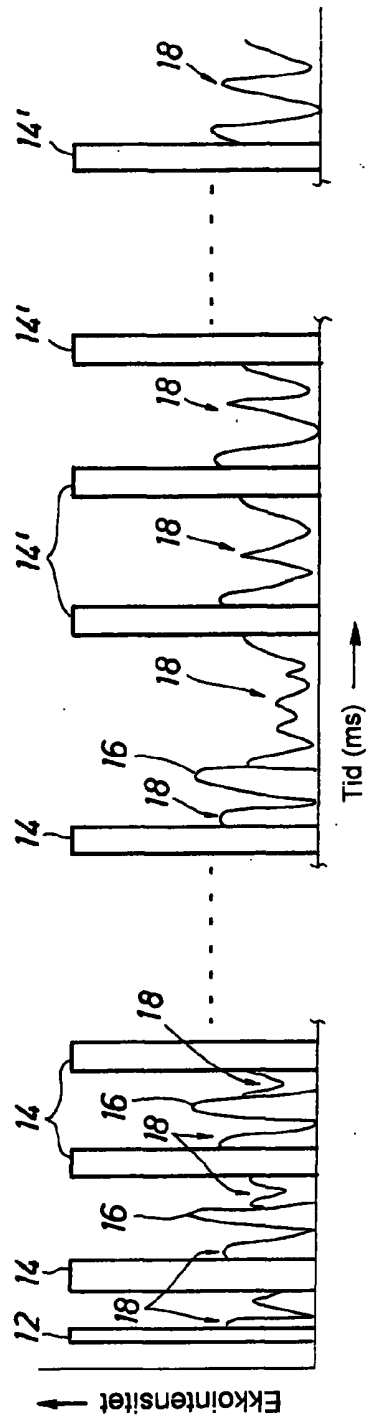


FIG. 3

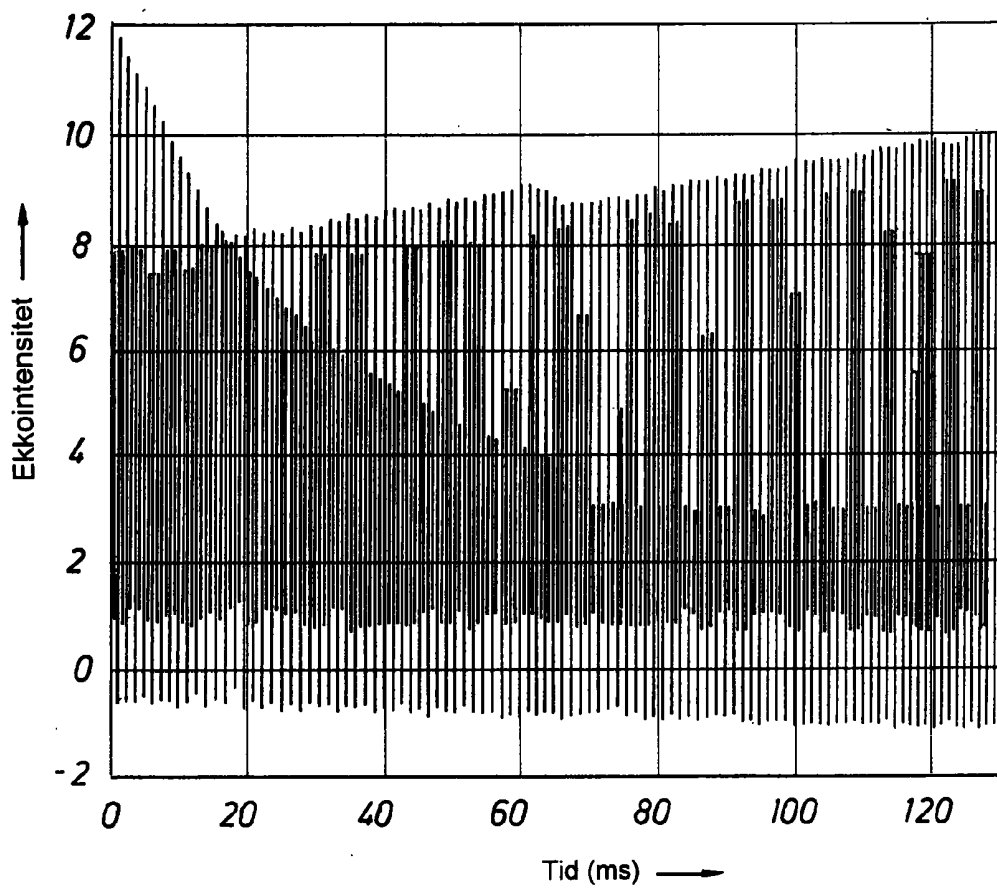


FIG. 4a

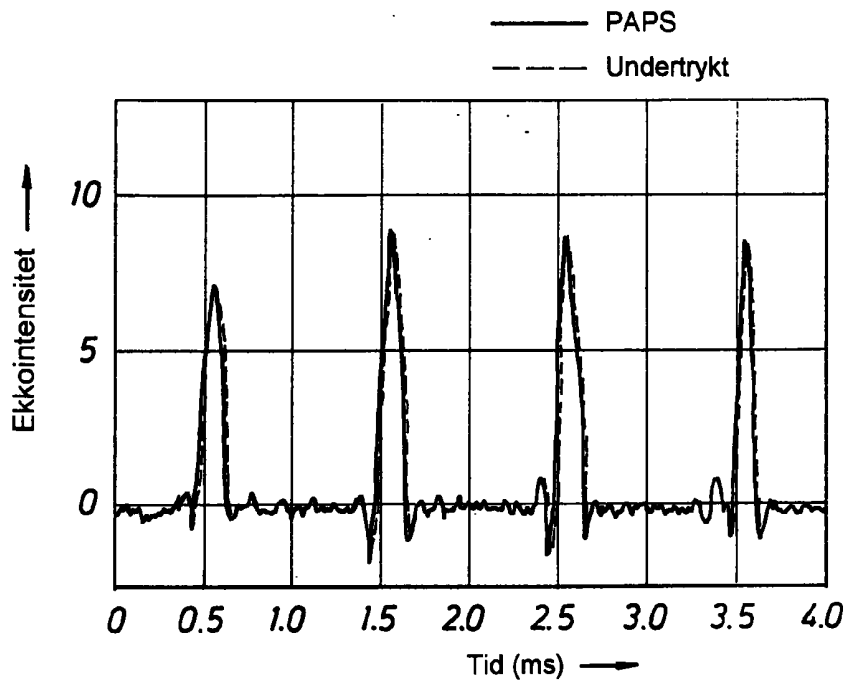


FIG. 4b

