



(12) SØKNAD

(19) NO

(21) 20131021

(13) A1

NORGE

(51) Int Cl.

G01V 3/26 (2006.01)

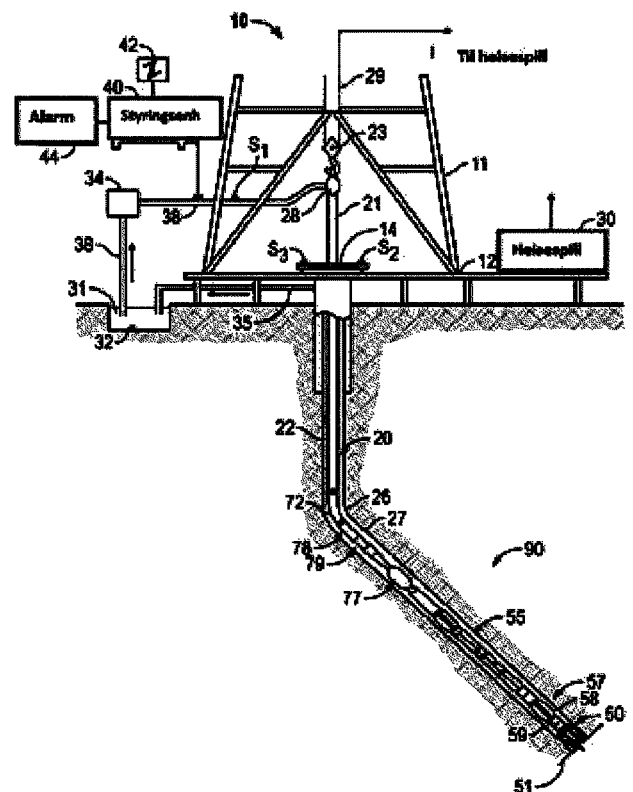
G01V 3/38 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20131021	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	2012.02.09 PCT/US2012/024463
(22)	Inng.dag	2013.07.23	(85)	Videreføringsdag	2013.07.23
(24)	Løpedag	2012.02.09	(30)	Prioritet	2011.02.10, US, 61/441,321 2012.02.08, US, 13/368,507
(41)	Alm.tilgj	2013.08.26			
(73)	Innehaver	Baker Hughes Inc, P. O. Box 4740, US-TX77210-4740 HOUSTON, USA			
(72)	Oppfinner	Gregory B Itskovich, 1015 Hathorn Way, US-TX77094 HOUSTON, USA			
(74)	Fullmektig	Bryn Aarflot AS, Postboks 449 Sentrum, 0104 OSLO, Norge			

- (54) Benevnelse **Inversjonsbasert fremgangsmåte for å korrigere gjenværende signal i transient MWD-målinger**
- (57) Sammendrag

Et apparat og en fremgangsmåte for å redusere et restsignal fra rør fra transiente signaler i et induksjonsverktøy som har et metallisk rør med en endelig konduktivitet forskjellig fra null i et borehull som gjennomskjærer en grunnformasjon. Apparatet kan innbefatte en transient elektromagnetisk (TEM) signalsender, minst én mottaker innrettet for å generere et utgangssignal som reaksjon på TEM-signalet, og minst én prosessor for å estimere en oppdatert modell med et forbedret estimat av resistivitetsegenskapen. Den oppdaterte modellen kan bli estimert basert på en differanse mellom et simulert signal fra en innledende modell og utgangssignalet. Differansen kan bli representert ved et sett av basisfunksjoner. Fremgangsmåten omfatter bruk av apparatet.



BAKGRUNN FOR OPPFINNELSEN

1. Oppfinnelsens område

[0001] I ett aspekt vedrører denne oppfinnelsen generelt fremgangsmåter og apparater for evaluering av grunnformasjon, og mer spesifikt for bestemmelse av resistivitetsegenskaper i grunnformasjonen.

2. Teknisk bakgrunn

[0002] Resistivitetsinstrumenter basert på elektromagnetisk induksjon kan bli anvendt for å bestemme den elektriske konduktiviteten i grunnformasjoner rundt et brønnhull. Et elektromagnetisk induksjonsbasert brønnloggingsinstrument kan innbefatte en senderspole og et flertall mottakerspoler anordnet i aksialt atskilte posisjoner langs instrumenthuset. En vekselstrøm kan da bli ført gjennom senderspolen. Spenninger som induseres i mottakerspolene som et resultat av magnetiske vekselfelter indusert i grunnformasjonene blir så målt. Størrelsen til bestemte fasekomponenter av de induserte mottakerspenningene er relatert til konduktiviteten i mediene som omgir instrumentet.

[0003] På en ultradyp skala kan en teknologi bli anvendt som er basert på transient feltoppførsel. Metoden med transiente elektromagnetiske felter er mye brukt i overflategeofysikk. Spenning- eller strømpulser som eksiteres i en sender utløser typisk forplantning av et elektromagnetisk signal i grunnformasjonen. Elektriske strømmer brer seg utover fra senderen og inn i den omkringliggende formasjonen. Ved forskjellige tidspunkter ankommer informasjon til målesensoren fra forskjellige undersøkelsesdyp. Spesielt, etter tilstrekkelig lang tid, er det transiente elektromagnetfeltet følsomt hovedsakelig for fjerne formasjonssoner og avhenger bare i liten grad av resistivitetsfordelingen i nærheten av senderen. Dette trekket ved transiente felter er spesielt viktig for logging som sikter mot store undersøkelsesdyp.

[0004] Ved transiente måling-under-boring-(MWD)-målinger blir de elektromagnetiske feltene som induseres i formasjonen og i borerøret målt av to induksjonsspoler. Signalene fra spolene blir kombinert på en spesiell måte for å fjerne et parasittsignal fra røret (utjevning). Ved dype transiente målinger, når målet befinner seg et titalls meter vekk fra verktøyet, er et restsignal fra røret

fortsatt tilstede i den sene tidsfasen av det utjevnete signalet og kan ha en uheldig innvirkning på tolkningsresultater dersom det ikke blir tatt hensyn til.

[0005] Det foreligger et behov for en fremgangsmåte for å redusere restsignal fra rør i informasjonen som innhentes med MWD-verktøy som har en endelig
5 konduktivitet forskjellig fra null i transiente feltundersøkelser. Foreliggende oppfinnelse dekker dette behovet.

SAMMENFATNING AV OPPFINNELSEN

[0006] I aspekter vedrører foreliggende oppfinnelse et apparat og en
10 fremgangsmåte for brønnlogging basert på elektromagnetisk induksjon for å bestemme resistiviteten i grunnformasjoner som gjennomskjæres av et brønnhull. Mer spesifikt vedrører foreliggende oppfinnelse reduksjon av et restsignal fra rør fra transiente signaler i et induksjonsverktøy som har et metallisk rør med en endelig konduktivitet forskjellig fra null.

15 [0007] Én utførelsesform i samsvar med foreliggende oppfinnelse inkluderer en fremgangsmåte for å bestemme en resistivitetsegenskap ved en grunnformasjon, fremgangsmåten omfattende å: generere et transient elektromagnetisk (TEM) signal ved anvendelse av en sender på en bærer som fraktes i et borehull; anvende minst én mottaker på bæreren for å generere et utgangssignal som
20 reaksjon eller respons på TEM-signalet, der utgangssignalet er påvirket av en endelig konduktivitet forskjellig fra null i bæreren; og anvende minst én prosessor for å: (i) frembringe et simulert signal ved anvendelse av en innledende modell, der den innledende modellen inkluderer resistivitetsegenskapen, (ii) representere en differanse mellom det simulerte signalet og utgangssignalet ved
25 et sett av basisfunksjoner, og (iii) anvende differansen for å estimere en oppdatert modell, der den oppdaterte modellen inkluderer et forbedret estimat av resistivitetsegenskapen.

[0008] En annen utførelsesform av foreliggende oppfinnelse inkluderer et apparat for å bestemme en resistivitetsegenskap ved en grunnformasjon, apparatet
30 omfattende: en bærer innrettet for å bli fraktet i et borehull; en sender anordnet på bæreren og innrettet for å generere et transient elektromagnetisk (TEM) signal; minst én mottaker anordnet på bæreren og innrettet for å generere en utmating som reaksjon eller respons på TEM-signalet; minst én prosessor; og et ikke-volatilt

datamaskinlesbart medium som inneholder instruksjoner som, når de eksekveres av den minst ene prosessoren: frembringer et simulert signal ved anvendelse av en innledende modell, der den innledende modellen inkluderer resistivitetsegenskapen, representerer en differanse mellom det simulerte signalet og utgangssignalet ved et sett av basisfunksjoner, og anvender differansen for å estimere en oppdatert modell, der den oppdaterte modellen inkluderer et forbedret estimat av resistiviteten.

[0009] En annen utførelsesform av foreliggende oppfinnelse inkluderer et ikke-volatilt datamaskinlesbart mediumprodukt som inneholder instruksjoner som, når de eksekveres, bevirker den minst ene prosessoren til å utføre en fremgangsmåte, fremgangsmåten omfattende å: frembringe et simulert signal ved anvendelse av en innledende modell, der den innledende modellen inkluderer en resistivitetsegenskap; representere en differanse mellom det simulerte signalet og et utgangssignal ved et sett av basisfunksjoner, hvor utgangssignalet er generert ved anvendelse av minst én mottaker på en bærer som reaksjon eller respons på et transient elektromagnetisk (TEM) signal generert ved anvendelse av en sender på bæreren som fraktes i et borehull, og hvor utgangssignalet er påvirket av en endelig konduktivitet forskjellig fra null i bæreren; og anvende differansen for å estimere en oppdatert modell, der den oppdaterte modellen inkluderer et forbedret estimat av resistivitetsegenskapen.

[0010] Eksempler på de viktigere trekkene ved oppfinnelsen er oppsummert nokså generelt for at den detaljerte beskrivelsen av disse som følger skal forstås bedre og for at bidragene de representerer til teknikken skal kunne sees. Oppfinnelsen innbefatter selvfølgelig ytterligere trekk som vil bli beskrevet i det følgende og som vil danne gjenstand for de vedføyde kravene.

KORT BESKRIVELSE AV TEGNINGENE

[0011] For en gjennomgående forståelse av foreliggende oppfinnelse henvises til den følgende detaljerte beskrivelsen av utførelsesformer, sett sammen med de vedlagte tegningene, der like elementer er gitt like henvisningstall og hvor:

Figur 1 viser et skjematisk riss av en borerigg med et elektrisk induksjonsverktøy ifølge én utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;

Figur 2 viser et skjematisk riss av et elektrisk induksjonsverktøy ifølge én utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;

Figur 3 viser et diagram av signal med og uten rør i en 1 ohmm homogen formasjon;

5 Figur 4 viser et diagram av signal med og uten rør i en 10 ohmm homogen formasjon;

Figur 5 viser et diagram av signal med og uten rør i en 100 ohmm homogen formasjon;

10 Figur 6 viser et diagram av signal med en restsignalapproksimasjon i en 1 ohmm homogen formasjon i samsvar med én utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;

Figur 7 viser et diagram av signal med et restsignalapproksimasjon i en 10 ohmm homogen formasjon i samsvar med én utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;

15 Figur 8 viser et diagram av signal med et restsignalapproksimasjon i en 100 ohmm homogen formasjon i samsvar med én utførelsesform av foreliggende oppfinnelse;

20 Figur 9 viser et diagram av signal med en restsignalapproksimasjon i en formasjon med en foranliggende grense mellom 50 ohmm og 1 ohmm lag i samsvar med én utførelsesform av foreliggende oppfinnelse; og

Figur 10 viser et flytdiagram av en fremgangsmåte for å redusere en feil som følge av et restsignal i samsvar med én utførelsesform av foreliggende oppfinnelse.

25 **DETALJERT BESKRIVELSE AV OPPFINNELSEN**

[0012] Foreliggende oppfinnelse vedrører apparater og fremgangsmåter for brønnlogging basert på elektromagnetisk induksjons for å bestemme resistiviteten i grunnformasjoner som gjennomskjæres av et brønnhull. Mer spesifikt vedrører foreliggende oppfinnelse reduksjon av et restsignal fra rør fra transiente signaler i
30 et induksjonsverktøy som har et metallisk rør med en endelig konduktivitet forskjellig fra null. Foreliggende oppfinnelse kan realiseres i utførelser av forskjellige former. Det er i tegningene vist og vil her bli beskrevet i detalj spesifikke utførelsesformer av foreliggende oppfinnelse, men det må forstås at

foreliggende oppfinnelse er å anse som en eksemplifisering av prinsippene ifølge foreliggende oppfinnelse og ikke er ment å begrense foreliggende oppfinnelse til det som er illustrert og beskrevet her.

5 [0013] I foreliggende oppfinnelse kan en resistivitetsegenskap inkludere, men er ikke begrenset til, én av: en resistivitet i formasjonen og en avstand til en laggrense i formasjonen. Med betegnelsen "informasjon" kan her menes én eller flere av: (i) rådata, (ii) behandlede data og (iii) signaler.

10 [0014] I ett aspekt vedrører foreliggende oppfinnelse reduksjon av en feil i et estimat av formasjonsparametere som følge av restsignaler fra en elektrisk ledende bunnhullsenhet (BHA). Én fordel med den foreslåtte teknikken kan være mer betydelig når et mål befinner seg et titalls meter vekk fra verktøyet.

[0015] Restsignalet fra en elektrisk ledende breenhet kan bli kvantifisert og korrigert ved hjelp av en algoritme som anvender lineær inversjon. Feilreduksjonsalgoritmen kan anvende forkunnskap om et "innledende gjett" (en 15 formasjonsmodell). Det innledende gjettet kan frembringes ved hjelp av ikke-lineær inversjon i tilfeller hvor målt informasjon kan være påvirket av resteffekten som følge av elektrisk ledende rør. Deretter kan den resulterende modellen bli brukt som et innledende gjett for den lineære inversjonen for å redusere en feil som følge av restfeilbidraget på grunn av det elektrisk ledende røret. I tillegg kan 20 den lineære inversjonen bli gjentatt for å oppnå en neste approksimasjon dersom en høyere grad av feilkompensasjon er ønsket. En annen fordel med algoritmen som anvender lineær inversjon kan være at algoritmen også kan bli anvendt for å redusere feil som følge av systemufullkommenheter på grunn av, men ikke begrenset til, verktøyunderlag (tool bedding) og systematisk støy fra elektronikk.

25 [0016] Restsignalet kan bli filtrert ut gjennom en inversjon. Dersom m ukjente parametere i en formasjonsmodell betegnes som M_k , vil n eksperimentelle observasjoner være O_j . Dette informasjonssettet kan anordnes som kolonne-matriser M og O:

$$M^T = (M_1, M_2, \dots, M_m),$$

(1)

$$O^T = (O_1, O_2, \dots, O_n).$$

(2)

hvor T angir transponert. Det kan antas at en kjent funksjonell relasjon, A (forovermodellering), eksisterer mellom modellene av parametre og observasjonene:

$$O_j = A_j(M_1, M_2, \dots, M_m) \quad j = 1, 2, \dots, n$$

(3)

5

[0017] Et innledende gjett M_k^a kan være nødvendig for modellparametrene:

$$M^{Ta} = (M_1^a, M_2^a, \dots, M_m^a)$$

(4)

[0018] Dersom funksjonen A_j varierer glatt, kan da en taylorrekkeutvikling dannes rundt det innledende gjettet:

10

$$O_j = A_j(M_1^a, M_2^a, \dots, M_m^a) + \sum_{k=1}^m [\partial A_j / \partial M_k]_{M_k^a} (M_k - M_k^a) + \dots$$

(5)

hvor høyereordensleddene indikert sist i likn. 5 kan bli neglisjert for å linearisere problemet.

[0019] Dersom differansen mellom observasjoner og modellberegninger, som minimeres, uttrykkes som y:

15

$$y_j = O_j - A_j(M_1^a, M_2^a, \dots, M_m^a) \quad j = 1, 2, \dots, n$$

(6)

vil da differansen mellom den innledende approksimasjonen og den neste approksimasjonen av modellparametrene være x.

$$x_k = M_k - M_k^a, \quad k = 1, 2, \dots, m$$

(7)

[0020] De første partieltderiverte definert for de innledende estimeringene M_k^a kan
 5 representeres som en matrise $\hat{A}$ av jacobi-ledd med størrelse $[m \times n]$ med
 elementer A_{jk} :

$$\hat{A} = \begin{bmatrix} \partial A_1 / \partial M_1 & \partial A_1 / \partial M_2 & \dots & \partial A_1 / \partial M_m \\ \partial A_2 / \partial M_1 & \partial A_2 / \partial M_2 & \dots & \partial A_2 / \partial M_m \\ . & . & . & . \\ \partial A_n / \partial M_1 & \partial A_n / \partial M_2 & \dots & \partial A_n / \partial M_m \end{bmatrix}$$

(8)

$$A_{jk} = \partial A_j / \partial M_k$$

(9)

[0021] Likn. 6-8 kan kombineres og uttrykkes som:

$$\vec{y} = \hat{A} \vec{x}$$

(10)

10 og løsningen av likn.10 er:

$$\vec{x} = \hat{A}^{-1} \vec{y}$$

(11)

[0022] Dersom det innledende gjettet ikke er godt nok, dvs. at differansen målt som minste kvadratfeil mellom observasjonene O og y overstiger en spesifisert terskelverdi, kan da neste approksimasjon oppnås som:

$$M_k^b = x_k + M_k^a, \quad k = 1, 2, \dots, m.$$

(12)

[0023] I noen tilfeller er ikke den funksjonelle relasjonen, A, mellom modellene av parametre og observasjonene eksakt kjent. I disse tilfellene kan A defineres ved anvendelse av:

$$O_j - P_j = A_j(M_1, M_2, \dots, M_m) \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (13)$$

- 5 hvor P_j er en vektor som kan representeres som en lineær kombinasjon av basisfunksjoner $f(t) = 1/t^{i-1/2}$, $i = 1, 2, \dots, p$ og et antall p ukjente koeffisienter $M_{m+1}, M_{m+2}, \dots, M_{m+p}$.

$$P(t_j) = \sum_{i=1}^{i=p} \frac{M_{m+i}}{t_j^{i-1/2}}, \quad i = 1, 2, \dots, p$$

(14)

- 10 [0024] Approksimasjonen i likn. 14 følger fra en analyse av løsningen for signalet målt i den sene fasen i mottakeren når både sender- og mottakerspoler er plassert på røret og den omkringliggende formasjonen er homogen.

[0025] Likn. 10 kan modifiseres til å anvende A i likn. 14 for å bestemme et uttrykk for tilfellene uttrykt med likn. 13. Følgelig har vi:

$$\vec{y} = \hat{A}_p \vec{x}_p,$$

(15)

- 15 hvor den modifiserte matrisen $\hat{A}_p$ kan representeres som:

$$\hat{A} = \begin{bmatrix} \partial A_1 / \partial M_1 & \partial A_1 / \partial M_2 & \dots & \partial A_1 / \partial M_m, & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \partial A_2 / \partial M_1 & \partial A_2 / \partial M_2 & \dots & \partial A_2 / \partial M_m, & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \partial A_{n-1} / \partial M_1 & \partial A_{n-1} / \partial M_2 & \dots & \partial A_{n-1} / \partial M_m, & 1/t_{n-1}^{1/2} & 1/t_{n-1}^{3/2} & \dots & 1/t_{n-1}^{p-1/2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \partial A_n / \partial M_1 & \partial A_n / \partial M_2 & \dots & \partial A_n / \partial M_m, & 1/t_n^{1/2} & 1/t_n^{3/2} & \dots & 1/t_n^{p-1/2} \end{bmatrix},$$

(16)

hvor den modifiserte vektoren $\vec{x}_p$ kan være definert som:

$$\vec{x}_p = \vec{x} + \vec{x}_t, \quad (17)$$

$$\vec{x} = ((M_1 - M_1^a), (M_2 - M_2^a), \dots, (M_m - M_m^a)) \quad (18)$$

$$\vec{x}_t = (M_{m+1}, M_{m+2}, \dots, M_{m+p}). \quad (19)$$

[0026] Ved å løse likn. 15 kan korreksjoner både for formasjonsparametere

$\vec{x}_k = M_k - M_k^a$ og koeffisientene $\vec{x}_t = (M_{m+1}, M_{m+2}, \dots, M_{m+p})$ oppnås.

[0027] Restsignalene, $\vec{y}$, kan estimeres ved å ta differansen mellom de to

5 signalene vist i figurene 3-5 (omtalt nedenfor) og deretter løse et minste kvadratfeilproblem med hensyn til koeffisientene

$$M_i, \quad i = 1, \dots, p$$

$$\vec{y} = \hat{T} \vec{x}_t, \quad ,$$

hvor $\vec{x}_t = (M_1, M_2, \dots, M)$ og matrisen $\hat{T}$ består av odde halve potenser av tid:

$$\hat{T} = \begin{bmatrix} 1/t_{n-l}^{1/2} & 1/t_{n-l}^{3/2} & \dots & 1/t_{n-l}^{p-1/2} \\ 1/t_{n-l+1}^{1/2} & 1/t_{n-l+1}^{3/2} & \dots & 1/t_{n-l+1}^{p-1/2} \\ . & . & . & . \\ 1/t_n^{1/2} & 1/t_n^{3/2} & \dots & 1/t_n^{p-1/2} \end{bmatrix}$$

10 Tidsintervallet kan være fra t_{n-l} til $t = t_n$ og l er antallet diskret tidspunkter hvor signalet er utført.

[0028] I alminnelighet kan et tidspunkt t_{n-l} være ukjent og kan også være gjenstand for inversjon. Dette betyr at likn. 15 kan bli løst for flere instanser, hver med en forskjellig verdi for t_{n-l} , og den instansen som gir det minste avviket er løsningen.

15 Avhengig av formasjonens resistivitet kan de typiske verdiene for t_{n-l} være i intervallet fra $0,5e-04$ til $3e-04$ sekunder. De fleste tilfeller kan løses ved å velge t_{n-l} omkring $1e-04$ sekunder. Typisk blir alle lineære inversjoner utført med det samme

innledende gjettet, og utførelse av en lineær inversjon vil kreve betydelig mindre tid sammenliknet med utførelse av en ikke-lineær inversjon. For ikke-lineære inversjoner kan det innledende gjettet bli tilveiebragt i det første trinnet når restsignalet fra røret kan forefinnes i dataene som en systematisk støy.

5 [0029] Siden denne inversjonsbaserte metoden for å redusere feil i formasjonsparametere ikke baserer seg på noen spesifikk årsak til eksistensen av det ukompenserte signalet, kan feilreduksjonen også bli anvendt for å kompensere for ufullkommenheter i transiente signaler forårsaket av verktøyunderlaget, systematisk støy fra elektronikk, osv.

10 [0030] Figur 1 viser et skjematisk diagram av et boresystem 10 med en bærer 20 som støtter en boreenhet 90 (også omtalt som en bunnhullsenhet, eller "BHA") som fraktes i et "brønnhull" eller "borehull" 26 for å bore brønnhullet. Med en "bærer" menes her en hvilken som helst anordning, anordningskomponent, kombinasjon av anordninger, medier og/eller elementer som kan bli anvendt for å

15 frakte, inneholde, støtte, eller på annen måte lette bruk av andre anordninger, anordningskomponenter, kombinasjoner av anordninger, medier og/eller elementer. Ikke-begrensede eksempler på bærere inkluderer borestrenger av kveilrørtypen, av skjøterørtypen, og en hvilken som helst kombinasjon eller andel av dette. Andre eksempler på bærere inkluderer føringsrør, kabler, kabelsonder,

20 glattvaier sonder, "drop shots", nedihull overgangsstykker, bunnhullsenheter, borestrenginnsatser, moduler, indre hus, og andeler av dette. Bunnhullsenheten 90 kan innbefatte et verktøy 100 innrettet for å utføre elektriske induksjonsmålinger. Boresystemet 10 innbefatter et tradisjonelt boretårn 11 oppstilt på et gulv 12 som støtter et rotasjonsbord 14 som blir rotert av en

25 kraftkilde, så som en elektrisk motor (ikke vist), med en ønsket rotasjonshastighet. Bæreren (vist her som en borestreng) 20 innbefatter en rørledning, så som et borerør 22 eller et kveilrør, som strekker seg nedover fra overflaten og inn i borehullet 26. Borestrengen 20 skyves innover i brønnhullet 26 når et borerør 22 blir anvendt som rørledning. For anvendelser med kveilrør, derimot, anvendes en

30 rørinjektor, så som en injektor (ikke vist), for å mate røret fra en kilde for dette, så som en trommel (ikke vist), inn i brønnhullet 26. Borkronen 50 festet til enden av borestrengen maler opp de geologiske formasjonene når den blir rotert for å bore borehullet 26. Dersom et borerør 22 blir anvendt, er borestrengen 20 koblet til et

heiseverk 30 via et rotasjonsrørledd 21, en svivel 28 og en line 29 gjennom en trinse 23. Under boreoperasjoner anvendes heiseverket 30 for å styre borkronetrykket, som er en viktig parameter som påvirker borehastigheten. Virkemåten til heiseverket er velkjent innen teknikken og er således ikke beskrevet i detalj her.

[0031] Under boreoperasjoner blir et passende borefluid 31 fra en slamtank (kilde) 32 sirkulert under trykk gjennom en kanal i borestrengen 20 av en slampumpe 34. Borefluidet går fra slampumpen 34 og inn i borestrengen 20 via en desurger (ikke vist), en fluidledning 38 og rotasjonsrørleddet 21. Borefluidet 31 føres ut i bunnen 51 av borehullet gjennom en åpning i borkronen 50. Borefluidet 31 sirkulerer oppihulls gjennom ringrommet 27 mellom borestrengen 20 og borehullet 26 og returnerer til slamtanken 32 via en returledning 35. Borefluidet tjener til å smøre borkronen 50 og til å føre borekaks eller steinfragmenter vekk fra borkronen 50. En føler S_1 , fortrinnsvis plassert i ledningen 38, gir informasjon om fluidstrømningsmengden. En overflatedreiemomentføler S_2 og en føler S_3 tilknyttet borestrengen 20 gir informasjon henholdsvis om dreiemomentet på og rotasjonshastigheten til borestrengen. I tillegg blir en føler (ikke vist) tilknyttet linen 29 anvendt for å måle kroklasten fra borestrengen 20.

[0032] I én utførelsesform av oppfinnelsen blir borkronen 50 rotert kun ved å rotere borerøret 22. I en annen utførelsesform av oppfinnelsen er en nedihullsmotor 55 (slammotor) anordnet i boreenheten 90 for å rotere borkronen 50, og borerøret 22 blir rotert vanligvis for å supplere rotasjonskraften, om nødvendig, og for å bevirke endringer i boreretningen.

[0033] I den foretrukne utførelsesformen i figur 1 er slammotoren 55 koblet til borkronen 50 via en drivaksel (ikke vist) anordnet i en lagerenhet 57. Slammotoren 55 roterer borkronen 50 når borefluidet 31 passerer gjennom slammotoren 55 under trykk. Lagerenheten 57 støtter opp for de radiale og aksiale kreftene fra borkronen 50. En stabilisator 58 koblet til lagerenheten 57 tjener som en sentreringsanordning for den nederste delen av slammotorenheten.

[0034] I én utførelsesform av oppfinnelsen er en borefølermodul 59 plassert nær borkronen 50. Borefølermodulen inneholder følere, kretser og prosesseringsprogramvare og -algoritmer i tilknytning til de dynamiske boreparametrene. Slike parametere inkluderer fortrinnsvis borkronehopping,

rykkvis gange av boreenheten, bakoverrotasjon, dreiemoment, slag, borehulls- og ringromstrykk, akselerasjonsmålinger og andre målinger av borkroneforhold. En passende telemetri- eller kommunikasjonskomponent 72, som for eksempel anvender toveistelemetri, er også tilveiebragt, som illustrert i boreenheten 90.

5 Borefølermodulen behandler følerinformasjonen og sender den til overflatestyringsenheten 40 via telemetrisystemet 72.

[0035] Kommunikasjonskomponenten 72, en kraftenhet 78 og et MWD-verktøy 79 er alle koblet etter hverandre langs borestrengen 20. Bøystykker, for eksempel, anvendes for å tilkoble MWD-verktøyet 79 i boreenheten 90. Slike komponenter og verktøy danner bunnhullsboreenheten 90 mellom borestrengen 20 og borkronen 50. Boreenheten 90 innhenter forskjellige målinger, inkludert pulsede kjernemagnetisk resonansmålinger, mens borehullet 26 blir boret.

Kommunikasjonskomponenten 72 innhenter signalene og målingene og overfører signalene, ved anvendelse av toveistelemetri, for eksempel, til behandling på overflaten. Alternativt kan signalene bli behandlet ved anvendelse av en nedihullsprosessor i boreenheten 90.

[0036] Styringsenheten eller prosessoren 40 på overflaten mottar også signaler fra andre følere og anordninger nede i hullet samt signaler fra følerne S_1 - S_3 og andre følere som anvendes i systemet 10 og behandler disse signalene i henhold til

20 programmerte instruksjoner tilveiebragt til overflatestyringsenheten 40. Overflatestyringsenheten 40 viser ønskede boreparametre og annen informasjon på en fremvisning/monitor 42 som anvendes av en operatør for å styre boreoperasjonene. Overflatestyringsenheten 40 innbefatter fortrinnsvis en datamaskin eller et mikroprosessorbasert prosesseringssystem, minne for lagring av programmer eller modeller og informasjon, en opptaker for registrering av informasjon, og annet periferisk utstyr. Styreenheten 40 er fortrinnsvis innrettet for å aktivere alarmer 44 når bestemte utrygge eller uønskede driftsforhold oppstår.

[0037] Figur 2 viser en skjematisk tegning av et verktøy 100. Verktøyet 100 kan innbefatte en sender 210 og minst to mottakerspoler 220, 230 anordnet langs borestrengen 20. Senderen 210 kan være innrettet for å sende et transient elektromagnetisk signal inn i en grunnformasjon. De minst to mottakerspolene 220, 230 kan være innrettet for å motta et transient elektromagnetisk signal fra

grunnformasjonen og omdanne det mottatte signalet til et utgangssignal. Verktøyet 100 kan inkludere følgende ikke-begrensede eksempler på parametere:

Rørradius = 7 cm

5 Rørtykkelse = 3 cm

Resistivitet til rør = $0,714 \text{ E-06 ohmm}$

Resistivitet til kobber = $1,7 \text{ E-08 ohmm}$

Kobberlengde - 0,75 m

Magnetisk permeabilitet ferritt = 100

10 Ferritlengde - 0,10 m

Ferrittykkelse - 1,5 cm

Radius for sender/mottakerspoler = 8,5 cm, senderstrøm = 1 A

Første mottakers avstand er 5 m fra senderen

Andre mottakers avstand er 7 m fra senderen

15

[0038] Figurene 3-5 viser et diagram med kurver som representerer modelleringsresultater hvor et utgangssignal (et utjevnet signal) i tilstedeværelse av homogen formasjon er sammenliknet med et éndimensjonalt signal fra grunnformasjonen i fravær av elektrisk ledende rør. Det utjevnede signalet kan

20 oppnås ved å kombinere signalene fra de to mottakerne med bruk av kjente metoder. I én utførelsesform av oppfinnelsen kan en vektet kombinasjon av de to signalene bli anvendt. I figur 3 er kurve 310 et modellert signal med elektrisk ledende rør, og kurve 320 er et modellert signal uten elektrisk ledende rør. Det

underkompenserte røret har en innvirkning på signalet som kan sees å begynne ved omtrent 2 millisekunder i en homogen formasjon med en resistivitet på 1

25 ohmm. Tilsvarende er i figur 4 kurve 410 et modellert signal med elektrisk ledende rør, og kurve 420 er et modellert signal uten elektrisk ledende rør. I en homogen formasjon med en resistivitet på omtrent 10 ohmm har det underkompenserte

røret en innvirkning på signalet som kan sees å begynne ved 0,1 millisekunder. I

30 figur 5 er kurve 510 et modellert signal med elektrisk ledende rør, og kurve 520 er et modellert signal uten elektrisk ledende rør. I en homogen formasjon med en resistivitet på omtrent 100 ohmm har det underkompenserte røret en innvirkning

på signalet som kan sees å begynne ved 0,05 millisekunder. Det ukompenserte

restsignalet kan representere en systematisk støy som påvirker tolkningsresultater dersom det ikke hensyntas.

[0039] Figur 6 viser et diagram med kurver som representerer estimer av restsignaler når antallet ledd, p , i rekken i likn. 14 varierer fra 2 til 5 i samsvar med én utførelsesform av foreliggende oppfinnelse. Kurve 610 representerer restsignalet i en 1 ohmm formasjon. Kurve 620 representerer et estimert restsignal ved anvendelse av 2 ledd. Kurve 630 representerer et estimert restsignal ved anvendelse av 3 ledd. Kurve 640 representerer et estimert restsignal ved anvendelse av 4 ledd. Kurve 650 representerer et estimert restsignal ved anvendelse av 5 ledd. Det kan sees at kurve 640 kan gi et tilfredsstillende sammenfall med kurve 610 før 3 millisekunder.

[0040] Figur 7 viser et diagram med kurver som representerer estimer av restsignaler når antallet ledd, p , i rekken i likn. 14 varierer fra 2 til 5 i samsvar med én utførelsesform av foreliggende oppfinnelse. Kurve 710 representerer restsignalet i en 10 ohmm formasjon. Kurve 720 representerer et estimert restsignal ved anvendelse av 2 ledd. Kurve 730 representerer et estimert restsignal ved anvendelse av 3 ledd. Kurve 740 representerer et estimert restsignal ved anvendelse av 4 ledd. Kurve 750 representerer et estimert restsignal ved anvendelse av 5 ledd. Det kan sees at kurve 740 kan gi et tilfredsstillende sammenfall med kurve 710 før 3 millisekunder.

[0041] Figur 8 viser et diagram med kurver som representerer estimer av restsignaler når antallet ledd, p , i rekken i likn. 14 varierer fra 2 til 5 i samsvar med én utførelsesform av foreliggende oppfinnelse. Kurve 810 representerer restsignalet i en 1 ohmm formasjon. Kurve 820 representerer et estimert restsignal ved anvendelse av 2 ledd. Kurve 830 representerer et estimert restsignal ved anvendelse av 3 ledd. Kurve 840 representerer et estimert restsignal ved anvendelse av 4 ledd. Kurve 850 representerer et estimert restsignal ved anvendelse av 5 ledd. Det kan sees at kurve 840 kan gi et tilfredsstillende sammenfall med kurve 810 før 3 millisekunder.

[0042] Figur 9 viser et diagram med kurver som representerer estimer av restsignaler når antallet ledd, p , i rekken i likn. 14 varierer fra 2 til 5 i samsvar med én utførelsesform av foreliggende oppfinnelse. Kurve 910 representerer restsignalet når verktøyet 100 er plassert i et resistivt 50 ohmm lag og et ledende

1 ohmm lag er plassert 30 meter foran verktøyet 100. Kurve 920 representerer et estimert restsignal ved anvendelse av 2 ledd. Kurve 930 representerer et estimert restsignal ved anvendelse av 3 ledd. Kurve 940 representerer et estimert restsignal ved anvendelse av 4 ledd. Kurve 950 representerer et estimert restsignal ved anvendelse av 5 ledd. Igjen kan det sees at kurve 940 kan gi et tilfredsstillende sammenfall med kurve 910 før 3 millisekunder.

[0043] Figur 10 viser et flytdiagram av en fremgangsmåte 1000 ifølge én utførelsesform av foreliggende oppfinnelse. I trinn 1010 kan et TEM-signal bli sendt inn i en grunnformasjon av en sender 210 i et borehull 26. I trinn 1020 kan minst én mottaker 220, 230 generere et utgangssignal som reaksjon eller respons på et mottatt TEM-signal. I trinn 1030 kan et simulert signal (innledende gjett) bli generert ved anvendelse av en innledende modell som inkluderer en resistivitetsegenskap. Den innledende modellen kan anvende en ikke-lineær inversjon. I trinn 1040 kan differansen mellom utgangssignalet fra trinn 1020 og det simulerte signalet i trinn 1030 bli representert som et sett av basisfunksjoner. I trinn 1050 kan modellen bli oppdatert med et forbedret estimat for resistivitetsegenskapen ved hjelp av differansen representert av basisfunksjonene. I noen utførelsesformer kan trinn 1030 bli utført før trinn 1020 eller før trinn 1010.

[0044] Selv om oppfinnelsen har blitt beskrevet under henvisning til eksempler på utførelser, vil det forstås at forskjellige endringer kan gjøres og at ekvivalenter kan bli anvendt i stedet for elementer i disse uten å fjerne seg fra oppfinnelsens ramme. Videre vil mange modifikasjoner sees for å tilpasse et gitt instrument, scenario eller materiale til idéene i oppfinnelsen uten å fjerne seg fra dennes ramme. Det er derfor ikke meningen at oppfinnelsen skal begrenses til den konkrete utførelsesformen omtalt som den forventet beste måte å realisere denne beskrivelsen, men at oppfinnelsen skal inkludere alle utførelsesformer som faller innenfor rammen til de vedføyde kravene.

[0045] Mens beskrivelsen over er rettet mot de foretrukne utførelsesformer av oppfinnelsen, vil forskjellige modifikasjoner sees av fagmannen. Det er meningen at alle variasjoner innenfor rammen til de vedføyde kravene skal omfavnes av beskrivelsen over.

P A T E N T K R A V

1. Fremgangsmåte for å bestemme en resistivitetsegenskap ved en grunn-
5 formasjon, fremgangsmåten omfattende trinnene med å:
 generere et transient elektromagnetisk (TEM) signal ved anvendelse av en
 sender på en bærer som fraktes i et borehull;
 anvende minst én mottaker på bæreren for å generere et utgangssignal
 som reaksjon eller respons på TEM-signalet, der utgangssignalet påvirkes av en
10 endelig konduktivitet forskjellig fra null i bæreren; og
 anvende minst én prosessor for å:
 (i) frembringe et simulert signal ved anvendelse av en innledende
 modell, der den innledende modellen inkluderer resistivitetsegenskapen,
 (ii) representere en differanse mellom det simulerte signalet og
15 utgangssignalet ved et sett av basisfunksjoner, og
 (iii) anvende differansen for å estimere en oppdatert modell, der den
 oppdaterte modellen inkluderer et forbedret estimat av resistivitetsegenskapen.
2. Fremgangsmåte ifølge krav 1, hvor settet av basisfunksjoner omfatter $t^{-n/2}$,
20 hvor t er en tid og n er et heltall.
3. Fremgangsmåte ifølge krav 1, videre omfattende trinnet med å anvende,
som den minst ene mottakeren, en første mottaker og en andre mottaker.
- 25 4. Fremgangsmåte ifølge krav 1, videre omfattende trinnet med å:
 estimere den innledende modellen gjennom en inversjon av utgangs-
 signalet.
5. Fremgangsmåte ifølge krav 1, videre omfattende trinnet med å:
30 estimere den oppdaterte modellen gjennom en inversjon av differansen
 mellom det simulerte signalet og utgangssignalet.

6. Fremgangsmåte ifølge krav 5, hvor inversjonen velges fra: (i) en éndimensjonal inversjon, eller (ii) en todimensjonal inversjon.

7. Apparat for bestemmelse av en resistivitetsegenskap ved en grunn-
5 formasjon, apparatet omfattende:
en bærer innrettet for å bli fraktet i et borehull;
en sender anordnet på bæreren og innrettet for å generere et transient
elektromagnetisk (TEM) signal;
minst én mottaker anordnet på bæreren og innrettet for å generere en
10 utmating som reaksjon eller respons på TEM-signalet;
minst én prosessor; og
et ikke-volatilt datamaskinlesbart medium som inneholder instruksjoner
som, når de eksekveres av den minst ene prosessoren:
frembringer et simulert signal ved anvendelse av en innledende
15 modell, der den innledende modellen inkluderer resistivitetsegenskapen,
representerer en differanse mellom det simulerte signalet og
utgangssignalet ved et sett av basisfunksjoner, og
anvender differansen for å estimere en oppdatert modell, der den
oppdaterte modellen inkluderer et forbedret estimat av resistiviteten.
20
8. Apparat ifølge krav 7, hvor settet av basisfunksjoner omfatter $t^{-n/2}$, hvor t er
en tid og n er et heltall.
9. Apparat ifølge krav 7, videre omfattende anvendelse, som den minst ene
25 mottakeren, av en første mottaker og en andre mottaker.
10. Apparat ifølge krav 7, hvor det ikke-volatile datamaskinlesbare mediet
videre omfatter instruksjoner som, når de blir eksekvert, bevirker den minst ene
prosessoren til å:
30 estimere den innledende modellen gjennom en inversjon av utgangs-
signalet.

11. Apparat ifølge krav 7, hvor det ikke-volatile datamaskinlesbare mediet videre omfatter instruksjoner som, når de blir eksekvert, bevirker den minst ene prosessoren til å:

5 estimere den oppdaterte modellen gjennom en inversjon av differansen mellom det simulerte signalet og utgangssignalet.

12. Apparat ifølge krav 11, hvor inversjonen er i minst én dimensjon.

10 13. Ikke-volatilt datamaskinlesbart mediumprodukt som inneholder instruksjoner som, når de eksekveres, bevirker minst en prosessor til å utføre en fremgangsmåte, fremgangsmåten omfattende trinnene med å:

frembringe et simulert signal ved anvendelse av en innledende modell, der den innledende modellen inkluderer en resistivitetsegenskap;

15 representere en differanse mellom det simulerte signalet og et utgangssignal ved et sett av basisfunksjoner, hvor utgangssignalet genereres ved anvendelse av minst én mottaker på en bærer som reaksjon eller respons på et transient elektromagnetisk (TEM) signal generert ved anvendelse av en sender på bæreren som fraktes i et borehull, og hvor utgangssignalet er påvirket av en endelig konduktivitet forskjellig fra null i bæreren; og

20 anvende differansen for å estimere en oppdatert modell, der den oppdaterte modellen inkluderer et forbedret estimat av resistivitetsegenskapen.

25 14. Ikke-volatilt datamaskinlesbart mediumprodukt ifølge krav 13, videre omfattende minst én av: (i) et ROM, (ii) et EPROM, (iii) et EEPROM, (iv) et flashminne, eller (v) et optisk platelager.



FIG. 1

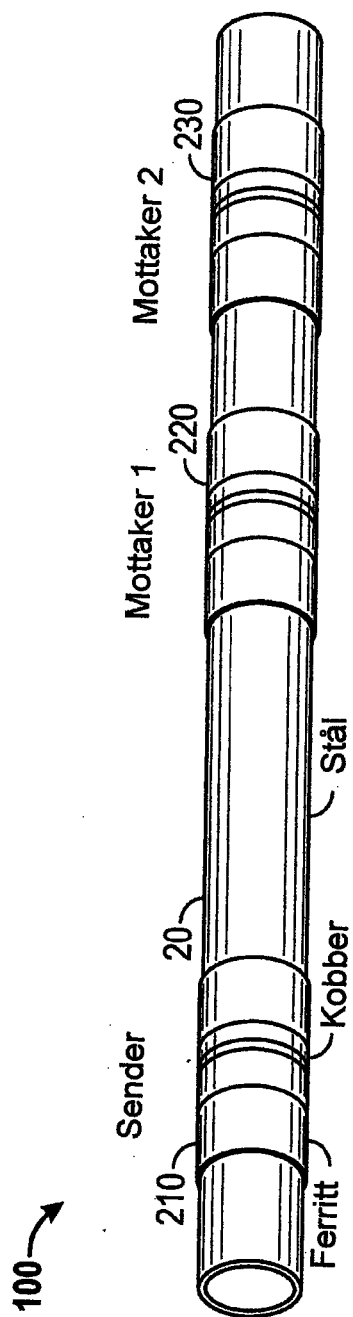


FIG. 2

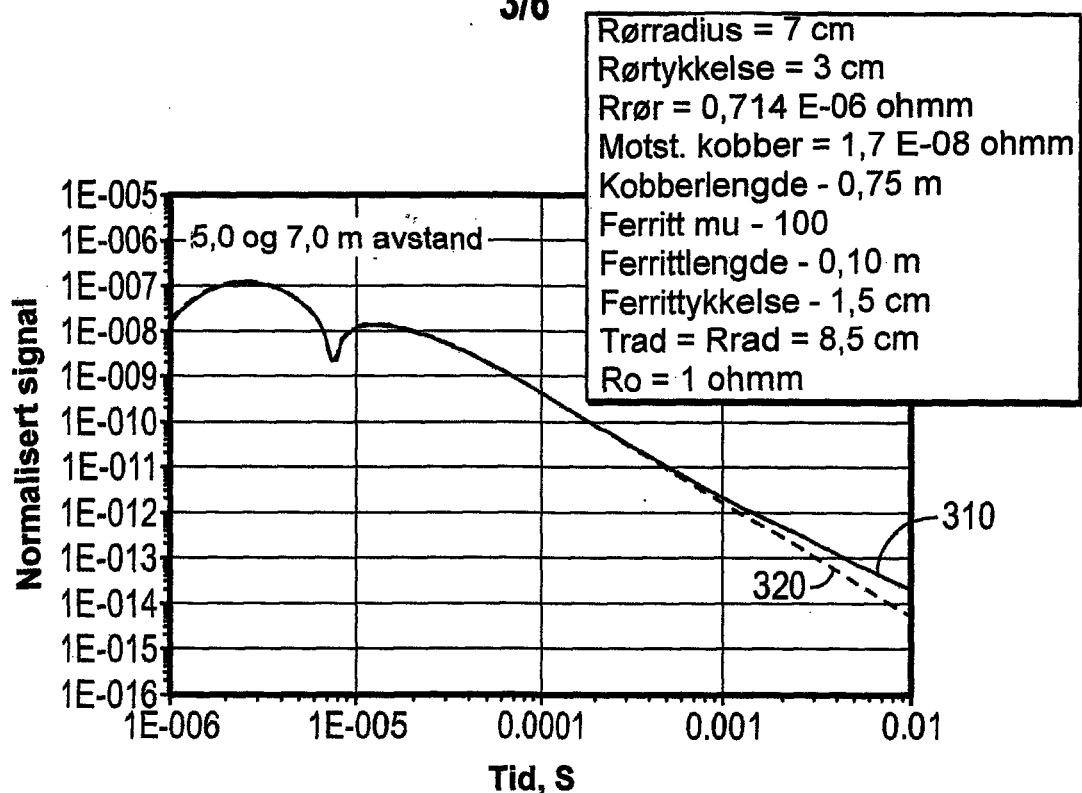


FIG. 3

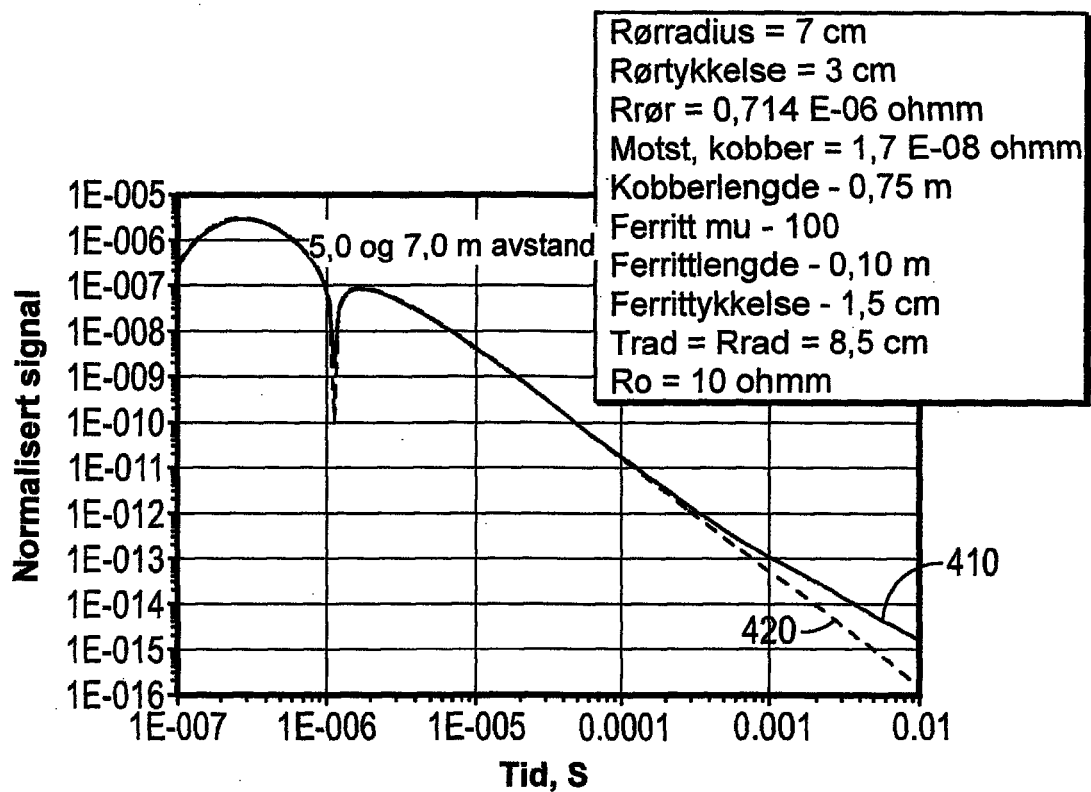
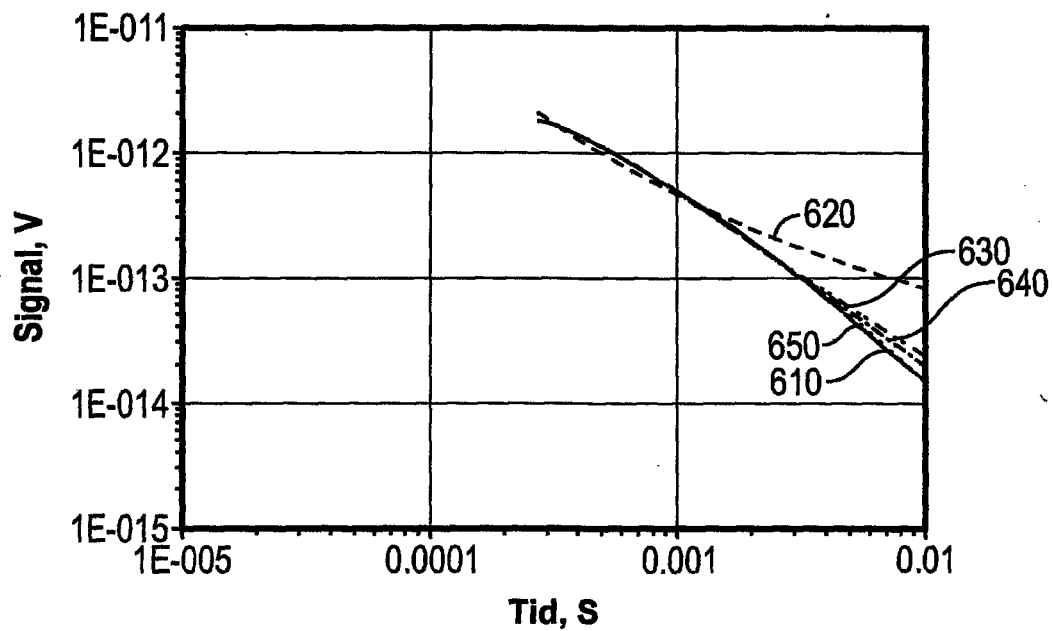
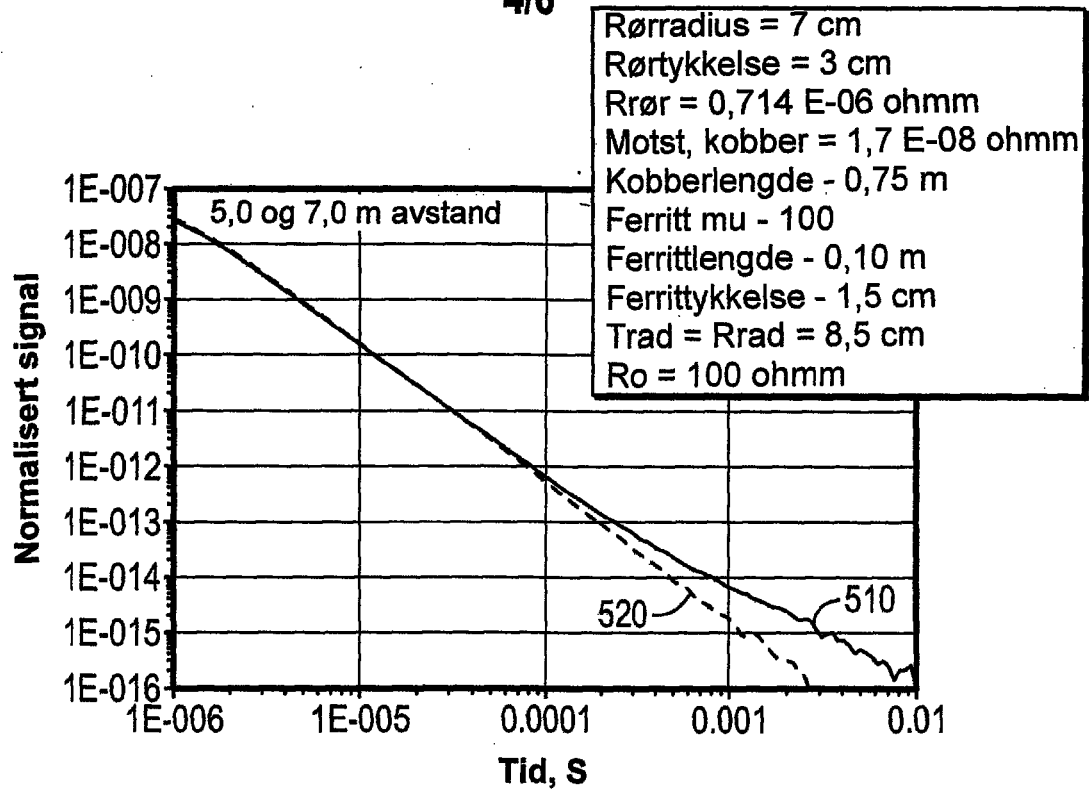


FIG. 4

4/6



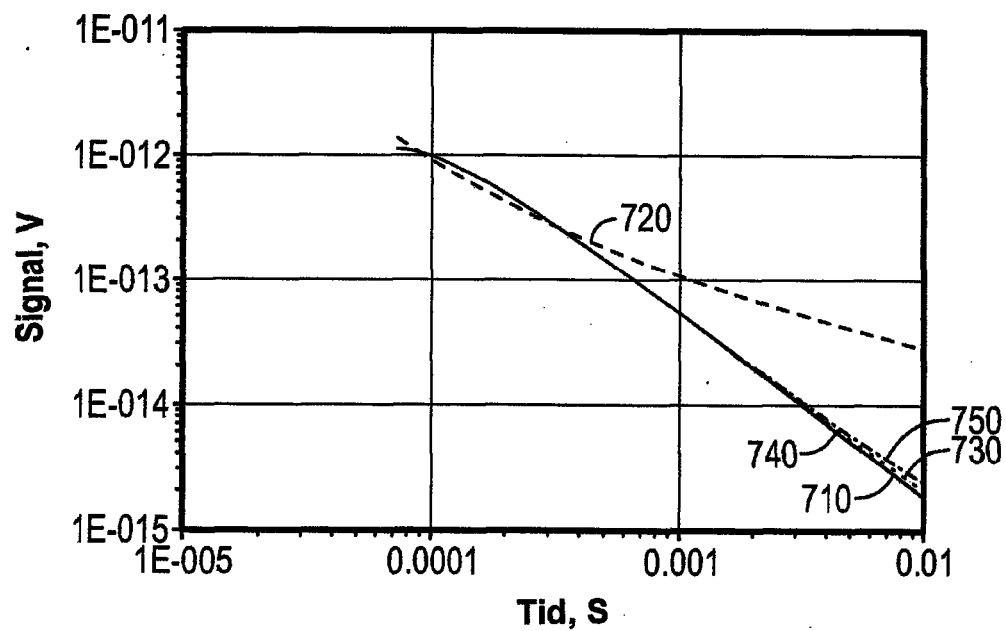


FIG. 7

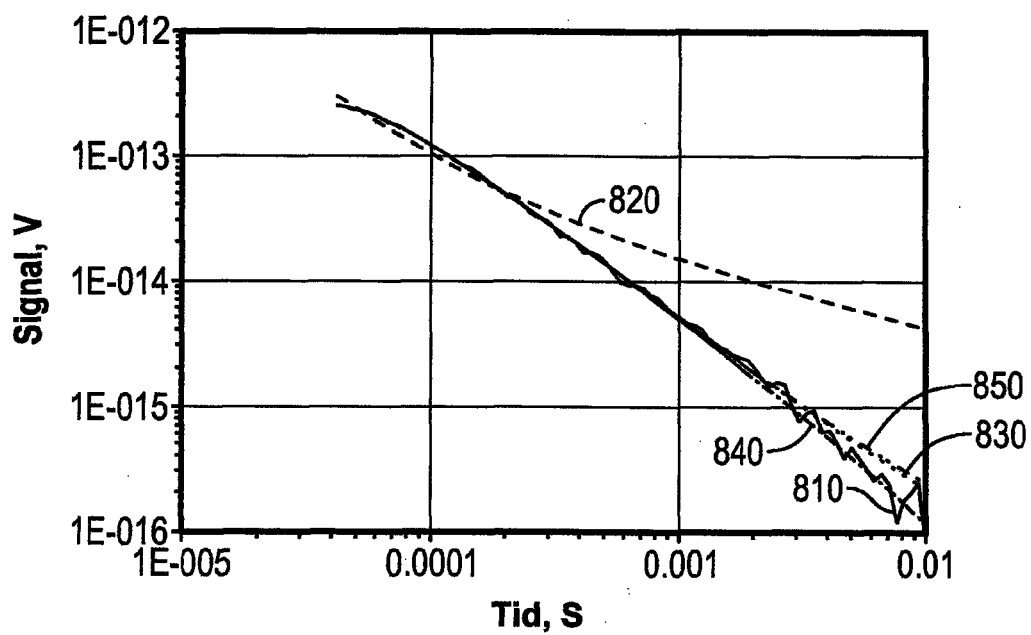


FIG. 8

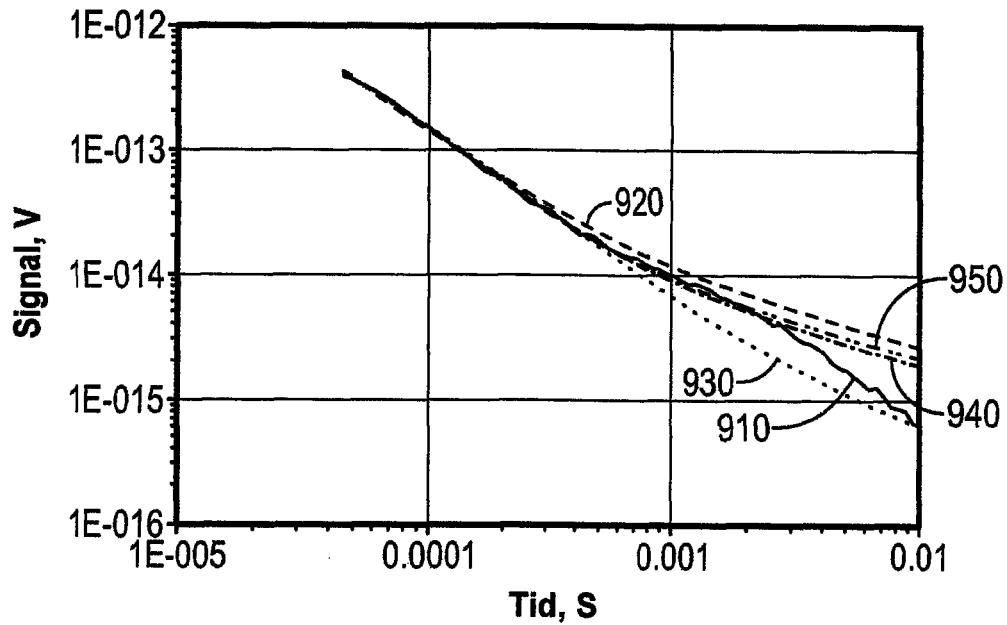


FIG. 9

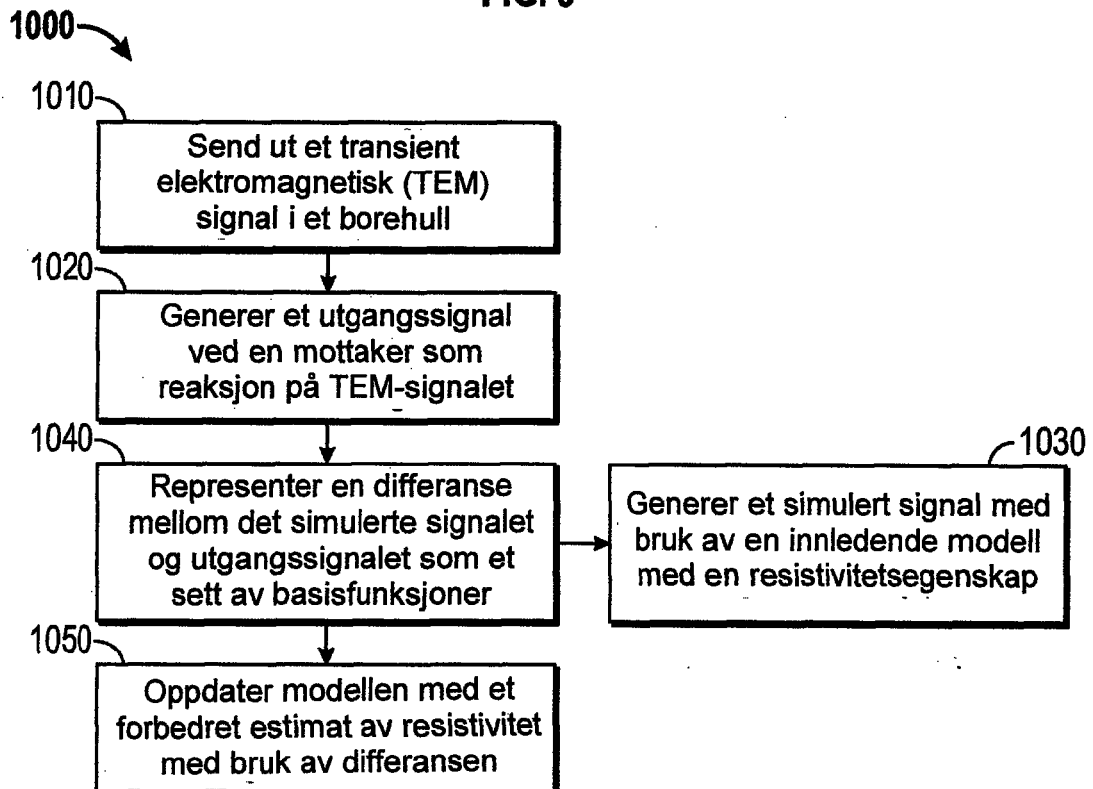


FIG. 10