



(12) PATENT

(11) 344333

(13) B1

NORGE

(19) NO

(51) Int Cl.

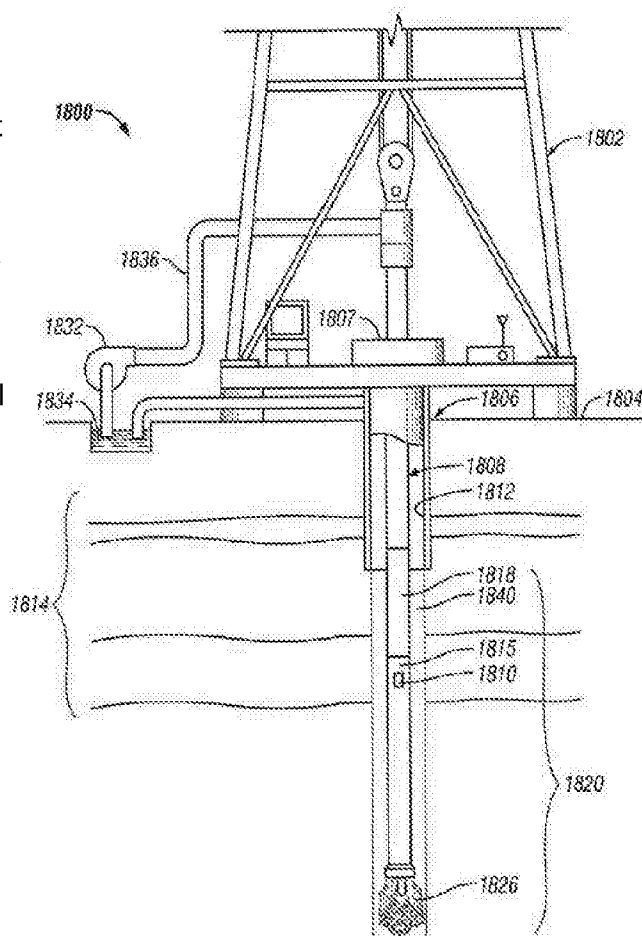
G01V 3/28 (2006.01)

E21B 47/026 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20120009	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	2010.04.15 PCT/US2010/031243
(22)	Inng.dag	2012.01.06	(85)	Videreføringsdag	2012.01.06
(24)	Løpedag	2010.04.15	(30)	Prioritet	2011.10.20, US, PCT/US2010/031243
(41)	Alm.tilgj	2012.11.13			
(45)	Meddelt	2019.11.04			
(73)	Innehaver	Halliburton Energy Services Inc, 10200 Bellaire Boulevard, TX77072 HOUSTON, USA			
(72)	Oppfinner	Michael S Bittar, 8711 Wheatland Drive, TX77264 HOUSTON, USA Hsu-Hsiang Wu, 5530 Chesapeake Place, TX77479 SUGAR LAND, USA Shanjun Li, 2811 Grants River Circle, TX77479 SUGAR LAND, USA			
(74)	Fullmektig	ZACCO NORWAY AS, Postboks 2003 Vika, 0125 OSLO, Norge			
(54)	Benevnelse	Prosessering og geostyring med et roterende brønnvektøy			
(56)	Anførte publikasjoner	WO 2008076130 A1, US 2003030439 A1, US 2005140373 A1			
(57)	Sammendrag				

Anordning og fremgangsmåte for prosessering og geostyring ved logging under boring av brønner i undergrunnen. Anordninger og fremgangsmåter kan inkludere innsamling av signaler (110) generert fra operasjon av et verktøy (1820) som roterer i et borehull av en brønn, hvor verktøyet inkluderer en mottakerantenne (1710) vippet i forhold til lengdeaksen til verktøyet og to senderantenner. De innsamlede signaler (110) kan prosesseres med hensyn til en retning i rotasjon av verktøyet (1820) for å bestemme egenskaper forbundet med en undergrunnssone og/eller å bestemme et geosignal for geostyring av en boreoperasjon.



Den foreliggende oppfinnelse vedrører generelt systemer med brønnloggingsevne.

Ved boring av brønner for olje- og gassleteboring gir forståelse av strukturen og egenskapene til den geologiske formasjonen som omkranser et borehull informasjon som hjelper til i slik leteboring. Imidlertid er miljøet i hvilket boreverktøyene opererer i vesentlige avstander under overflaten og målinger for å håndtere operasjon av slikt utstyr blir gjort på disse steder. Videre kan nyttigheten av slike målinger relateres til presisjonen eller kvaliteten hos informasjonen avledet fra slike målinger.

10

Fig. 1 viser trekk hos en fremgangsmåte for bestemmelse av egenskaper forbundet med operasjon av et verktøy i et borehull av en brønn i henhold til ulike utførelsesformer.

15

Fig. 2 viser en antennekonfigurasjon for et multikomponent elektromagnetisk loggingsverktøy i henhold til ulike utførelsesformer.

Fig. 3A-B viser to typer antennestrukturer som kan benyttes i et loggingsverktøy i henhold til ulike utførelsesformer.

20

Fig. 3C viser kvadranter for hellingsvinklene til antennestrukturer i fig. 3A-B i henhold til ulike utførelsesformer.

25

Fig. 3D-E viser multiple sett med antenner vippt i forhold til aksene til verktøy i hvilken de er konfigurert i henhold til ulike utførelsesformer.

Fig. 4 viser en konfigurasjon av verktøybingeposisjoner (eng.: tool bin positions) og korresponderende asimutvinkler i henhold til ulike utførelsesformer.

30

Fig. 5 viser et verktøy med to sendere vippt i +45 og -45 grader og sentrale mottakere vippt i en vinkel på 45 grader i forhold til en lengdeakse i henhold til ulike utførelsesformer.

35

Fig. 6 viser et flytskjemaeksempel for ytelsen til et rotasjonsloggingsverktøy i henhold til ulike utførelsesformer.

Fig. 7A-B viser inversjonsresultater ved bruk av responsene til antennekonfigurasjonen for et verktøy vist i fig. 5 for en bestemt formasjonsmodell i henhold til ulike utførelsesformer.

5 Fig. 8A-B viser inversjonsresultater ved bruk av responsene til antennekonfigurasjonen for et verktøy vist i fig. 5 for en annen formasjonsmodell i henhold til ulike utførelsesformer.

Fig. 9 viser en eksempelrespons for en kompleks spenning referert til tverrkopplingsmålingene for det øvre sender-mottakerparet i fig. 5 ved boring i en trelags isotropisk formasjon i fig. 9 i henhold til ulike utførelsesformer.

Fig. 10 viser en eksempelrespons for en kompleks spenning referert til tverrkopplingsmålingene for det nedre sender-mottakerparet i fig. 5 ved boring i en trelags isotropisk formasjon i fig. 9 i henhold til ulike utførelsesformer.

Fig. 11 viser en eksempelrespons for en kompleks spenning referert til tverrkopplingsmålingene for det øvre sender-mottakerparet i fig. 5 ved boring i en trelags anisotropisk formasjon i fig. 9 i henhold til ulike utførelsesformer.

20 Fig. 12 viser en eksempelrespons for en kompleks spenning referert til tverrkopplingsmålingene for det nedre sender-mottakerparet i fig. 5 ved boring i den trelags anisotropiske formasjonen i fig. 9 i henhold til ulike utførelsesformer.

25 Fig. 13 viser et eksempel på en geosignalfase for en trelags isotropisk formasjon i henhold til ulike utførelsesformer.

Fig. 14 viser et eksempel på en geosignaldemping for den trelags isotropiske formasjonen i fig. 13 i henhold til ulike utførelsesformer.

30 Fig. 15 viser et eksempel på en geosignalfase for en trelags anisotropisk formasjon i henhold til ulike utførelsesformer.

Fig. 16 viser et eksempel på en geosignaldemping for den trelags anisotropiske formasjonen i fig. 15 i henhold til ulike utførelsesformer.

Fig. 17 viser et blokkdiagram av trekk hos en utførelsesform av et system for å prosessere signaler fra en vippest mottaker som respons på avfiring av multiple

antenner uavhengig for direkte å bestemme en koplingsmatrise i henhold til ulike utførelsesformer.

Fig. 18 viser en utførelsesform av et system på et borested i henhold til ulike utførelsesformer.

Den følgende detaljerte beskrivelse henviser til de medfølgende tegninger som viser, som illustrasjon og ikke begrensning, ulike utførelsesformer i hvilke oppfinnelsen kan praktiseres. Disse utførelsesformer er beskrevet tilstrekkelig og detaljert til å gjøre det mulig for fagmannen innen området å praktisere disse og andre utførelsesformer. Andre utførelsesformer kan benyttes og strukturelle, logiske og elektriske endringer kan gjøres til disse utførelsesformer. De ulike utførelsesformer er ikke nødvendigvis gjensidig utelukkende siden noen utførelsesformer kan kombineres med én eller flere andre utførelsesformer for å danne nye utførelsesformer. Den følgende detaljerte beskrivelse skal derfor ikke anses som begrensende.

Fig. 1 viser trekk hos en utførelsesform av en fremgangsmåte for bestemmelse av egenskaper forbundet med operasjon av et verktøy i et borehull hos en brønn. Ved 110 blir spenningsinnholdet generert fra operasjon av et verktøy som roterer i et borehull hos en brønn samlet inn, hvor verktøyet inkluderer multiple senderantennener og en mottakerantenne vippet i forhold til lengdeaksen til verktøyet. De innsamlede spenningssignalene kan inkludere spenningssignaler mottatt ved den vippede mottakerantennen som respons på separat avfiring av senderantennene forbundet med den vippede mottakerantennen. Mottaker- og senderantennene til verktøyet kan ha ulike konfigurasjoner. For eksempel kan to senderantennener være plassert i det vesentlige på samme sted med ulike orienteringer. Disse senderantennene kan være lokalisert på verktøyet over eller under den vippede mottakerantennen i forhold til lengdeaksen til verktøyet. I ulike utførelsesformer kan den vippede mottakerantennen være plassert mellom de to senderne og hvor de to senderne har ulike orienteringer. I ulike utførelsesformer kan, i tillegg til den vippede mottakerantennen, enda en vippet mottakerantenne benyttes. De to mottakerantennene kan plasseres mellom de to senderantennene, hvor de to senderantennene har ulike orienteringer. Alternativt kan to senderantennener benyttes anordnet mellom to vippede mottakerantennener. I hver av disse konfigurasjonene kan én eller flere av senderantennene som benyttes være vippet i forhold til lengdeaksen til verktøyet.

Ved 120 blir de innsamlede spenningssignalene prosessert i forhold til en retning i rotasjonen av verktøyet for å bestemme egenskaper forbundet med en formasjon i nærheten av borehullet, hvor prosesseringen inkluderer bestemmelse av en koplingsmatrise fra de innsamlede spenningssignalene. Slike spenningssignaler kan genereres fra avfiring av én av senderne og måling av en respons ved en vippt mottaker i forhold til avfiringen og avfiring av enda en sender og måling av en respons ved en vippt mottaker i forhold til avfiringen av den andre senderen. Betegnelsen avfiring blir benyttet til å visualisere sending av et signal inn i en formasjon i nærheten av verktøyet i brønnen. Senderne blir avfyrt uavhengig av hverandre slik at en respons hos en mottaker kan korreleres til den avfyrende senderen. Denne korrelasjonen kan realiseres ved hjelp av en prosesseringsenhet som holder styr på målingsaktivitetene og deres timing. Avfiringen kan inkludere sending av pulser fra en sender slik at hver puls blir utsendt fra senderen mens de andre senderne er i en periode under hvilken ingen pulser blir utsendt. I ulike utførelsesformer kan strømmålinger benyttes til å samle inn signaler til å generere en koplingsmatrise.

Prosessering kan inkludere direkte kalkulering av koplingsspenningskomponenter for en koplingsmatrise fra de målte responser mottatt som respons på settet med senderavfiringer. Direkte kalkulering kan inkludere multipliserings- og addisjonsrelaterte operasjoner. Imidlertid kan slike direkte kalkulasjoner bli utført uten mer prosessering slik som forbundet med løsning av et sett med ligninger. Siden de målte responser er relatert til elektromagnetisk forplantning i formasjonen i nærheten av verktøyet, kan én eller flere invasjonsoperasjoner bli utført for å generere formasjonsparametre fra den bestemte koplingsmatrisen. Inversjonsoperasjoner kan inkludere en sammenligning av målinger med prediksjoner av en modell slik at en verdi eller romlig variasjon av en fysisk egenskap kan bestemmes. En konvensjonell inversjonsoperasjon kan inkludere bestemmelse av en variasjon av elektrisk ledningsevne i en formasjon i nærheten av borehullet som blir operert fra målinger av induserte elektriske og magnetiske felter.

Verktøyet med sine orienterte antenner kan være konfigurert med en implementering i borehullet av en brønn slik som et logging-under-boring-LWD-system eller som et kabelsystem. En prosesseringsenhet og/eller en styringsenhet kan være konfigurert nedhulls med målingsantennene. Alternativt kan én eller flere av en prosessingsenhet og en styreenhet være konfigurert ved overflaten av en brønn med et kommunikasjonsnettverk for å samle inn informasjon og/eller å generere styringssignaler i forhold til antennene til verktøyet. Kommunikasjonene kan

benytte ledningsbaserte eller trådløse kommunikasjonsmekanismer forbundet med kjente nedeihullskommunikasjonsteknikker.

I ulike utførelsesformer tilveiebringer anordnings- og prosesseringsplaner for
 5 elektromagnetisk logging med roterende vippet-antennesystemer med økt direkte
 prosessering som benytter de målte signaler når verktøyet roterer i et borehull.
 Slike prosesseringsplaner tillater løsningen av koblingsspenningsmatrisen.
 Prosesseringsteknikker kan være basert på et roterende LWD- eller kabelverktøy
 utstyrt med minst to vippede senderantenner og en vippet mottakerantenne. Denne
 10 konfigurasjonen sammen med prosesseringsplaner, diskutert heri, tillater kalkuler-
 ing av anisotropi, som vist med en horisontal resistivitet R_h og en vertikal resisti-
 vitet R_v , og den relative fallvinkel ved ethvert borehullsavvik fra løsningen for
 koblingsspenningsmatrisen bestemt fra de målte signaler. Den relative fallvinkel
 er en vinkel mellom et plant objekt slik som en formasjon og et horisontalt plan.

15 I ulike utførelsesformer kan anordnings- og prosesseringsplaner, som diskutert
 heri, benyttes for geostyringsoperasjoner. Geostyring er en forsettlig styring for å
 justere boreretning. Styringen kan være basert på nedeihullsloggingsmålinger for å
 øke borehullets eksponering til en hydrokarbonbærende formasjon ("payzone").
 20 Slik geostyring kan benyttes til å bibeholde et brønnhull innenfor en region som
 tilveiebringer et materiale som er en kilde av økonomisk verdi. Et geosignal er et
 signal eller en fremstilling som kan benyttes for geostyring. Geosignaler er indika-
 tive for retningen til boreverktøy nede i hullet så vel som i stand til å detektere
 grenser. Geosignalers evner er nyttige ved geostyring for å optimalisere brønn-
 25 plassering for maksimum oljeutvinning. Anordnings- og prosesseringsplaner, som
 diskutert heri, tillater generering av et geosignal. Et geosignal kan være basert på
 én eller flere egenskaper hos jordformasjoner slik som en funksjon av avstand fra
 et referansepunkt. Geosignalene definert heri har et mangfold av anvendelser.
 Geosignaler tilveiebringer også asimutorienteringsinformasjon for rotasjons-
 30 verktøy. I tillegg kan geosignalet benyttes for kalkulasjon av avstand-til-bunn-
 grenser. Prosesseringsteknikker for geosignalet kan være basert på et roterende
 LWD- eller kabelverktøy utstyrt med minst to vippede senderantenner og en
 vippet mottakerantenne. En konfigurasjon av en vippet senderantenne og en vippet
 mottakerantenne kan også implementeres for å implementere et geosignal.

35 Fig. 2 viser en utførelsesform av en antennekonfigurasjon for et multikomponent
 elektromagnetisk loggingsverktøy. Det magnetiske feltet H i mottakerspolene kan

representeres med hensyn til de magnetiske momenter \mathbf{M} ved senderne og en koplingsmatrise \mathbf{C} som:

$$\mathbf{H}=\mathbf{CM} \quad (1)$$

5 Ligning (1) kan uttrykkes som:

$$\begin{bmatrix} H_x \\ H_y \\ H_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{xx} & C_{xy} & C_{xz} \\ C_{yx} & C_{yy} & C_{yz} \\ C_{zx} & C_{zy} & C_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} \quad (2)$$

hvor M_x , M_y og M_z er de magnetiske momenter for sendersignalet utsendt av senderne T_x , T_y og T_z , respektivt. H_x , H_y og H_z er de magnetiske felter som er
 10 proporsjonale med det mottatte signalet ved mottakerantennene R_x , R_y og R_z , respektivt. For antennekonfigurasjonen i fig. 2 kan ni absolutte eller differensielle malinger oppnås når hver antenne avfyres og et signal males ved hver av de tre mottakere, respektivt. Disse ni malinger muliggjør bestemmelse av en komplett koplingsmatrise \mathbf{C} . Komponentene C_{IJ} kan defineres som $C_{IJ} = a_{IJ} \cdot V_I^J$, hvor I er
 15 indeksen til mottakeren R_x , R_y og R_z , J er indeksen til mottakeren T_x , T_y og T_z , a_{IJ} er en konstant koeffisient bestemt av verktøydesignet, og V_I^J er en kompleks verdi som representerer signalamplituden og faseforskyvningen målt av mottakeren I som respons på avfiring av senderen J . I ulike utførelsesformer kan strømmålinger benyttes for å samle inn signaler til å generere en koplingsmatrise.

20

Fig. 3A-B viser en vippet senderantenne og en vippet mottakerantenne for et måleverktøy. Slike antenner kan være utstyrt i et roterende LWD- eller kabelverktøy. Mens senderantennen avfyres, kan signalet målt ved den vippede mottakeren i fig. 3 uttrykkes med hensyn til signalspenningen V_R^T , hvor T
 25 representerer den avfyrende senderantennen og R representerer den mottakende antennen. Med både sender- og mottakerspolene orientert i den samme asimutvinkel β , blir det målte signalet ved den vippede mottakeren uttrykt som

$$V_R^T(\beta) = \begin{bmatrix} \sin \theta_t \cos \beta \\ \sin \theta_t \sin \beta \\ \cos \theta_t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_x^x & V_y^x & V_z^x \\ V_x^y & V_y^y & V_z^y \\ V_x^z & V_y^z & V_z^z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sin \theta_r \cos \beta \\ \sin \theta_r \sin \beta \\ \cos \theta_r \end{bmatrix}, \quad (3)$$

hvor θ_t er vippings- eller hellingsvinkelen til senderantennen i forhold til z-aksen
 5 (z-akse 301-A i fig. 3A og z-akse 301-B i fig. 3B) og θ_r er vippings- eller hellingsvinkelen til mottakeren i forhold til z-akseretningen. Heri spenner θ_t og θ_r bare mellom -90 grader og 90 grader vist i fig. 3A-B. Basert på ligning (3) kan det målte signalet også uttrykkes som

$$V_R^T(\beta) = C_{xx} \cos^2 \beta + C_{xy} \cos \beta \sin \beta + C_{xz} \cos \beta + C_{yx} \cos \beta \sin \beta + C_{yy} \sin^2 \beta + C_{yz} \sin \beta + C_{zx} \cos \beta + C_{zy} \sin \beta + C_{zz} \quad (4)$$

hvor

$$\begin{aligned} C_{xx} &= V_x^x \sin \theta_t \sin \theta_r ; C_{xy} = V_y^x \sin \theta_t \sin \theta_r ; C_{xz} = V_z^x \sin \theta_t \cos \theta_r \\ C_{yx} &= V_x^y \sin \theta_t \sin \theta_r ; C_{yy} = V_y^y \sin \theta_t \sin \theta_r ; C_{yz} = V_z^y \sin \theta_t \cos \theta_r . \\ C_{zx} &= V_x^z \cos \theta_t \sin \theta_r ; C_{zy} = V_y^z \cos \theta_t \sin \theta_r ; C_{zz} = V_z^z \cos \theta_t \cos \theta_r \end{aligned}$$

15 Løsning av hver komponent (V_i^J) i den koplingskomplekse spenningsmatrisen definer i ligning (3) tillater ytelse av én eller flere nøyaktig inversjonsprosesser som kan generere formasjonsegenskaper for brønnen i hvilken verktøyet opererer.

Fig. 3A-B viser to typer antennestrukturer som kan benyttes for å oppnå direkte
 20 løsninger av den koplingskomplekse spenningsmatrisen i henhold til utførelsesformer av prosesser beskrevet heri. Den første typen struktur, vist i fig. 3A, inkluderer to vippede sendere plassert på same sted med ulike orienteringer og en vippet mottaker i en avstand d fra senderne. Vippingen eller hellingen til disse antennene er i forhold til lengdeaksen 301-A. Den andre typen struktur, vist i fig.
 25 3B, har en konfigurasjon med en vippet mottaker plassert i senter av vippede sendere med ulike orienteringer. For direkte å løse den koplingskomplekse spenningsmatrisen for hver konfigurasjon i fig. 3A-B, benyttes to kriterier. Det

første kriteriet er at orienteringen til mottakerantennen ikke kan ha en hellingsvinkel lik null grader og at orienteringen til de to senderne ikke samtidig kan være null. Det andre kriteriet er at orienteringen til de to senderne er i tilstøtende kvadranter. Fig. 3C viser et eksempel på kvadranter med hensyn til vipping i forhold til z-aksen. I en utførelsesform kan hellingsvinklene begrenses i enten den første kvadranten eller den fjerde kvadranten vist i fig. 3C. Følgelig, hvis hellingsvinkelen til en sender, θ_{i1} hos T_1 , for eksempel, i fig. 3A-B er i den første kvadranten, er orienteringen til den andre senderen, θ_{i2} hos T_2 , for eksempel, i den fjerde kvadranten. For enkelhets skyld er orienteringen til én sender i forhold til den andre senderen omvendt i fig. 3A-B, med andre ord at θ_{i1} er lik $-\theta_{i2}$. Med disse parametrene for orientering av vippede mottakere og sendere og ved bruk av en hvilken som helst av strukturene vist i fig. 3A-B, kan hver komponent av den koplingskomplekse spenningsmatrisen direkte utledes fra de følgende ligninger (5a) til (5h).

15

$$V_z^z = \frac{1}{2N \cos \theta_{i1} \cos \theta_r} \left[\sum_{i=1}^N V_R^{T_1} \left(\frac{\beta_m}{2} + (i-1) \times \beta_i \right) + \sum_{i=1}^N V_R^{T_2} \left(\frac{\beta_m}{2} + (i-1) \times \beta_i \right) \right] \quad (5a)$$

$$V_x^x = \frac{\left[\cos^2 \left(\frac{\beta_m}{2} \right) - \sin^2 \left(\frac{\beta_m}{2} \right) \right]^{-1}}{2 \sin \theta_{i1} \sin \theta_r} \left\{ \frac{1}{4} \left[V_R^{T_1} \left(\frac{\beta_m}{2} \right) + V_R^{T_1} \left(\frac{\beta_m}{2} + \pi \right) + V_R^{T_1} \left(2\pi - \frac{\beta_m}{2} \right) + V_R^{T_1} \left(\pi - \frac{\beta_m}{2} \right) - V_R^{T_2} \left(\frac{\beta_m}{2} \right) - V_R^{T_2} \left(\frac{\beta_m}{2} + \pi \right) - V_R^{T_2} \left(2\pi - \frac{\beta_m}{2} \right) - V_R^{T_2} \left(\pi - \frac{\beta_m}{2} \right) \right] - \frac{\sin^2 \left(\frac{\beta_m}{2} \right)}{2} \left[V_R^{T_1} \left(\frac{\beta_m}{2} \right) + V_R^{T_1} \left(\frac{\beta_m}{2} + \pi \right) + V_R^{T_1} \left(\frac{\beta_m}{2} + \frac{\pi}{2} \right) + V_R^{T_1} \left(\frac{\beta_m}{2} + \frac{3\pi}{2} \right) - V_R^{T_2} \left(\frac{\beta_m}{2} \right) - V_R^{T_2} \left(\frac{\beta_m}{2} + \pi \right) - V_R^{T_2} \left(\frac{\beta_m}{2} + \frac{\pi}{2} \right) - V_R^{T_2} \left(\frac{\beta_m}{2} + \frac{3\pi}{2} \right) \right] \right\} \quad (5b)$$

$$V_y^y = -V_x^x + \frac{1}{2 \sin \theta_{t1} \sin \theta_r} \times \left[\frac{V_R^{T1}(\frac{\beta_m}{2}) + V_R^{T1}(\frac{\beta_m}{2} + \pi) + V_R^{T1}(\frac{\beta_m}{2} + \frac{\pi}{2}) + V_R^{T1}(\frac{\beta_m}{2} + \frac{3\pi}{2})}{2} - \frac{V_R^{T2}(\frac{\beta_m}{2}) + V_R^{T2}(\frac{\beta_m}{2} + \pi) + V_R^{T2}(\frac{\beta_m}{2} + \frac{\pi}{2}) + V_R^{T2}(\frac{\beta_m}{2} + \frac{3\pi}{2})}{2} \right] \quad (5c)$$

$$V_x^y = V_y^x = \frac{V_x^y + V_y^x}{2} = \frac{\left[V_R^{T1}(\frac{\beta_m}{2}) + V_R^{T1}(\frac{\beta_m}{2} + \pi) - V_R^{T2}(\frac{\beta_m}{2}) - V_R^{T2}(\frac{\beta_m}{2} + \pi) \right]}{-2 \sin \theta_{t1} \sin \theta_r} + 2V_x^x \cos^2(\frac{\beta_m}{2}) + 2V_y^y \sin^2(\frac{\beta_m}{2}) = \frac{-4 \cos(\frac{\beta_m}{2}) \sin(\frac{\beta_m}{2})}{-2 \sin \theta_{t1} \sin \theta_r} \quad (5d)$$

5

$$V_z^x = \frac{V_R^{T1}(\frac{\beta_m}{2}) + V_R^{T1}(2\pi - \frac{\beta_m}{2}) + V_R^{T2}(\frac{\beta_m}{2} + \pi) + V_R^{T2}(\pi - \frac{\beta_m}{2})}{4 \sin \theta_{t1} \cos \theta_r \cos(\frac{\beta_m}{2})} - \frac{V_z^z \cot \theta_{t1}}{\cos(\frac{\beta_m}{2})} \quad (5e)$$

$$V_z^y = \frac{V_R^{T1}(\frac{\beta_m}{2} + \frac{\pi}{2}) + V_R^{T1}(\frac{\pi}{2} - \frac{\beta_m}{2}) + V_R^{T2}(\frac{\beta_m}{2} + \frac{3\pi}{2}) + V_R^{T2}(\frac{3\pi}{2} - \frac{\beta_m}{2})}{4 \sin \theta_{t1} \cos \theta_r \cos(\frac{\beta_m}{2})} - \frac{V_z^z \cot \theta_{t1}}{\cos(\frac{\beta_m}{2})} \quad (5f)$$

10

$$V_x^z = \frac{V_R^{T1}(\frac{\beta_m}{2}) + V_R^{T1}(2\pi - \frac{\beta_m}{2}) + V_R^{T2}(\frac{\beta_m}{2}) + V_R^{T2}(2\pi - \frac{\beta_m}{2})}{4 \cos \theta_{t1} \sin \theta_r \cos(\frac{\beta_m}{2})} - \frac{V_z^z \cot \theta_r}{\cos(\frac{\beta_m}{2})} \quad (5g)$$

15

$$V_y^z = \frac{V_R^{T1}(\frac{\beta_m}{2} + \frac{\pi}{2}) + V_R^{T1}(\frac{\pi}{2} - \frac{\beta_m}{2}) + V_R^{T2}(\frac{\beta_m}{2} + \frac{\pi}{2}) + V_R^{T2}(\frac{\pi}{2} - \frac{\beta_m}{2})}{4 \cos \theta_{t1} \sin \theta_r \cos(\frac{\beta_m}{2})} - \frac{V_z^z \cot \theta_r}{\cos(\frac{\beta_m}{2})} \quad (5h)$$

20 hvor V_R^{T1} og V_R^{T2} er målte spenninger ved mottakeren (R) når senderen $T1$ og

senderen T_2 , respektivt, avfyres uavhengig av hverandre,

Mens verktøyet roterer, varierer verdien til $V_R^{T_1}$ eller $V_R^{T_2}$ i forhold til asimutvinkelen β definert i ligning (3). Rotasjonen av verktøyet kan deles i N segmenter, kalt binger (eng.: bins), i hvilke fullføring av de N binger er én fullstendig rotasjon av verktøyet, $N \geq 2$, hvor N er det totale antallet binger. Hver bing har en tilknyttet asimutvinkel β . Med verktøyrotasjonen delt i like mengder vinkelrotasjon, har hver bing en lik rotasjonsvinkel, β_m . Som vist i fig. 4, er β_m en jevnt oppdelt asimutvinkel gitt av $\beta_m = 2\pi/N$, hvor m betegner at asimutvinkelen som betraktes er for den m -te bingen. Ligningene 5(a)-5(h) tilveiebringer således komponentene i den koplingskomplekse spenningsmatrisen fra målte responser i en valgt bing, som korresponderer med en bestemt retning som vist i fig. 4. I ulike anvendelser kan N være lik 32. Imidlertid kan N settes til andre verdier.

I ulike utførelsesformer kan sett med sender- og mottakerantenner være anordnet i et vippt sender-mottaker (Tx-Rx)-antennesystem for å tilveiebringer responser fra prøveformasjoner i et brønnhull som skal benyttes for å tilveiebringe en koplingskompleks spenningsmatrise som kan benyttes for å bestemme egenskaper forbundet med formasjonene. Fig. 3D viser en utførelsesform av multiple sett med antenner vippt i forhold til aksene 301-D. Ett sett inkluderer to vippede sendere, T_1 og T_2 , plassert på samme sted med ulike orienteringer og en vippt mottaker, R_1 , i en avstand d_1 fra senderne T_1 og T_2 . Et annet sett inkluderer to vippede sendere, T_3 og T_4 , plassert på samme sted med ulike orienteringer og en vippt mottaker, R_2 , i en avstand d_1 fra senderne T_3 og T_4 . I denne konfigurasjonen kan to matriser for koplingskomplekse spenninger oppnås med én matrise relatert til konfigurasjonen i forhold til avstand d_1 og den andre matrisen benyttet med hensyn til strukturer med en avstand d_2 tatt i betraktning øvre sendere T_1 og T_2 med nedre mottaker R_2 og nedre sendere T_3 og T_4 med øvre mottaker R_1 .

Fig. 3E viser en utførelsesform av multiple sett med antenner vippt i forhold til aksene 301-E. Ett sett inkluderer én vippt sender, T_1 , plassert over to vippede mottakere, R_1 og R_2 , på samme sted med ulike orienteringer i en avstand d_1 fra senderen T_1 . Et annet sett inkluderer én vippt sender, T_2 , plassert under to

vippede mottakere, R_3 og R_4 , på samme sted med ulike orienteringer i en avstand d_1 fra senderen T_2 . I denne konfigurasjonen kan to matriser for koplingskomplekse spenninger oppnås med én matrise relatert til konfigurasjonen i forhold til avstand d_1 og den andre matrisen benyttet til strukturer med en avstand d_2 tatt i betraktning

5 øvre sender, T_1 , med nedre mottakere R_3 og R_4 og nedre sender T_2 med øvre mottakere R_1 og R_2 . Andre konfigurasjoner av sender- og mottakerantenner kan benyttes for å tilveiebringe responssignaler for prosessering for å bestemme egenskaper forbundet med formasjoner rundt et brønnhull i henhold til ulike utførelsesformer beskrevet heri.

10

Med orienteringene av antennene fiksert av kriteriene beskrevet ovenfor og med θ_{i1} lik $-\theta_{i2}$, kan ligningene 5(a) – 5(h) bli ytterligere forenklet ved å velge en bestemt vippings- eller hellingsvinkel. Fig. 5 viser en utførelsesform av et verktøy med to sendere vippet i +45 og -45 grader og sentrale mottakere vippet i en vinkel

15 lik 45 grader i forhold til lengdeaksen 501. Denne konfigurasjonen tilveiebringer et perpendikulært vippet sender-mottaker- (Tx-Rx)-antennesystem. I denne konfigurasjonen kan to matriser for koplingskomplekse spenninger oppnås. Som vist i fig. 5, er én spenningsmatrise relatert til konfigurasjonen av antennestrukturere med en avstand d_1 mellom en signalsenderantenne og en signalmottakerantenne, i

20 hvilke innsamlede responser inkluderer signalene til $V_{R_{up}}^{T_{up}}$ og $V_{R_{dn}}^{T_{dn}}$ med hensyn til T_{up} , R_{up} , T_{dn} og R_{dn} vist i fig. 5. Den andre spenningsmatrisen blir benyttet med hensyn til strukturene med en avstand d_2 mellom en signalsender og en signalmottaker, som involverer signaler lik $V_{R_{dn}}^{T_{up}}$ og $V_{R_{up}}^{T_{dn}}$ med hensyn til T_{up} , R_{up} , T_{dn} og R_{dn} vist i fig. 5. Da kan hver komponent hos hver koplingskomplekse spennings-

25 matrise prosesseres direkte som følger.

$$V_z^z = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_R^U \left(\frac{\beta_m}{2} + (i-1) \times \beta_i \right) + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_R^L \left(\frac{\beta_m}{2} + (i-1) \times \beta_i \right) \quad (6a)$$

$$\begin{aligned}
V_x^x = & \left\{ \frac{1}{4} \times \left[V_R^U \left(\frac{\beta_m}{2} \right) + V_R^U \left(\frac{\beta_m}{2} + \pi \right) + V_R^U \left(2\pi - \frac{\beta_m}{2} \right) + V_R^U \left(\pi - \frac{\beta_m}{2} \right) - V_R^L \left(\frac{\beta_m}{2} \right) - V_R^L \left(\frac{\beta_m}{2} + \pi \right) \right. \right. \\
& - V_R^L \left(2\pi - \frac{\beta_m}{2} \right) - V_R^L \left(\pi - \frac{\beta_m}{2} \right) \left. \right] - \frac{\sin^2 \left(\frac{\beta_m}{2} \right)}{2} \times \left[V_R^U \left(\frac{\beta_m}{2} \right) + V_R^U \left(\frac{\beta_m}{2} + \pi \right) + V_R^U \left(\frac{\beta_m}{2} + \frac{\pi}{2} \right) + V_R^U \left(\frac{\beta_m}{2} + \frac{3\pi}{2} \right) \right. \\
& \left. \left. - V_R^L \left(\frac{\beta_m}{2} \right) - V_R^L \left(\frac{\beta_m}{2} + \pi \right) - V_R^L \left(\frac{\beta_m}{2} + \frac{\pi}{2} \right) - V_R^L \left(\frac{\beta_m}{2} + \frac{3\pi}{2} \right) \right] \right\} \times \left[\sin^2 \left(\frac{\beta_m}{2} \right) - \cos^2 \left(\frac{\beta_m}{2} \right) \right]^{-1}
\end{aligned} \tag{6b}$$

$$\begin{aligned}
V_y^y = & -V_x^x - \frac{V_R^U \left(\frac{\beta_m}{2} \right) + V_R^U \left(\frac{\beta_m}{2} + \pi \right) + V_R^U \left(\frac{\beta_m}{2} + \frac{\pi}{2} \right) + V_R^U \left(\frac{\beta_m}{2} + \frac{3\pi}{2} \right)}{2} + \\
& \frac{V_R^L \left(\frac{\beta_m}{2} \right) + V_R^L \left(\frac{\beta_m}{2} + \pi \right) + V_R^L \left(\frac{\beta_m}{2} + \frac{\pi}{2} \right) + V_R^L \left(\frac{\beta_m}{2} + \frac{3\pi}{2} \right)}{2}
\end{aligned} \tag{6c}$$

$$\begin{aligned}
V_x^y = & V_y^x = \frac{V_x^y + V_y^x}{2} \\
= & \frac{\left[V_R^U \left(\frac{\beta_m}{2} \right) + V_R^U \left(\frac{\beta_m}{2} + \pi \right) - V_R^L \left(\frac{\beta_m}{2} \right) - V_R^L \left(\frac{\beta_m}{2} + \pi \right) \right] + 2V_x^x \cos^2 \left(\frac{\beta_m}{2} \right) + 2V_y^y \sin^2 \left(\frac{\beta_m}{2} \right)}{-4 \cos \left(\frac{\beta_m}{2} \right) \sin \left(\frac{\beta_m}{2} \right)}
\end{aligned} \tag{6d}$$

$$V_z^x = \frac{V_R^U \left(\frac{\beta_m}{2} \right) + V_R^U \left(2\pi - \frac{\beta_m}{2} \right) + V_R^L \left(\frac{\beta_m}{2} + \pi \right) + V_R^L \left(\pi - \frac{\beta_m}{2} \right)}{-2 \cos \left(\frac{\beta_m}{2} \right)} + \frac{V_z^z}{\cos \left(\frac{\beta_m}{2} \right)} \tag{6e}$$

10

$$V_z^y = \frac{V_R^U \left(\frac{\beta_m}{2} + \frac{\pi}{2} \right) + V_R^U \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\beta_m}{2} \right) + V_R^L \left(\frac{\beta_m}{2} + \frac{3\pi}{2} \right) + V_R^L \left(\frac{3\pi}{2} - \frac{\beta_m}{2} \right)}{-2 \cos \left(\frac{\beta_m}{2} \right)} + \frac{V_z^z}{\cos \left(\frac{\beta_m}{2} \right)} \tag{6f}$$

$$V_x^z = \frac{V_R^U \left(\frac{\beta_m}{2} \right) + V_R^U \left(2\pi - \frac{\beta_m}{2} \right) + V_R^L \left(\frac{\beta_m}{2} \right) + V_R^L \left(2\pi - \frac{\beta_m}{2} \right)}{2 \cos \left(\frac{\beta_m}{2} \right)} - \frac{V_z^z}{\cos \left(\frac{\beta_m}{2} \right)} \tag{6g}$$

15

$$V_y^z = \frac{V_R^U \left(\frac{\beta_m}{2} + \frac{\pi}{2} \right) + V_R^U \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\beta_m}{2} \right) + V_R^L \left(\frac{\beta_m}{2} + \frac{\pi}{2} \right) + V_R^L \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\beta_m}{2} \right)}{2 \cos\left(\frac{\beta_m}{2}\right)} - \frac{V_z^z}{\cos\left(\frac{\beta_m}{2}\right)} \quad (6h)$$

hvor V_R^U er en målt spenning ved mottakere (R_{up} eller R_{dn}) når den øvre senderen
 5 (T_{up}) benyttes og V_R^L er målt spenning ved mottakere (R_{up} eller R_{dn}) når den nedre
 senderen (T_{dn}) benyttes. Nomenklaturen $V_R^U ()$ betyr den målte spenning V_R^U ved
 bingen som korresponderer med asimutvinkelen vippet opp innenfor (). For
 eksempel betyr $V_R^U (\beta_m/2)$ den målte spenning V_R^U ved den valgte bing, som er
 bing 1 vist i fig. 4 hvis asimutvinkelen på høyside er definert som null, og
 10 $V_R^U (\beta_m/2 + \pi/2)$ betyr den målte spenning V_R^U ved bingen som er positive 90
 grader i rotasjon fra den valgte bingen. I tillegg betyr $V_R^U (\beta_m/2 + (i-1) \beta_i)$ den
 målte vinkel V_R^U ved bingen som er $(i-1)$ binger i rotasjon fra den valgte bingen.

I henhold til prinsippet for resiprositet skulle man forvente at én antenne kan
 15 benyttes som en sender i en implementering og som en mottaker i en annen.
 Konfigurasjonene til sender-mottakerantennesystemet beskrevet heri kan være
 utvekslbar, dvs. at sendere kan benyttes som mottakere og at mottakere kan
 benyttes som sendere.

20 Etter at koplingsspenningsmatrisen er oppnådd ved bruk av den ovenfor beskrevne
 prosessering, kan formasjonsparametre oppnås ved bruk av standard inversjons-
 teknikker, slik som en minste kvadratmetode. Et flytskjema for en utførelsesform
 av en fremgangsmåte som implementerer konfigurasjonen av vippede antenner
 som vist i fig. 5 er presentert i fig. 6. Ved 610 blir initielle øvre og nedre sendere
 25 valgt for avfyring. Ved 620 blir de valgte sendere avfyrt separat og mottaker-
 responser blir målt. Ved 630 blir de målte signaler ved mottakerne som respons på
 avfyring av de øvre og nedre sendere prosessert. Ved 640 blir verktøyposisjonen
 og –orienteringen samlet. Verktøyposisjonen er korrelert til en spesifikk bing for
 de målte signaler. Verktøyet kan inkludere en sensor eller andre mekanismer for å
 30 bestemme verktøyposisjonen og verktøyorienteringen inkludert i forhold til

asimutvinkelen. For en bølge blir ni koplingsspenningskomponenter kalkulert i henhold til ligninger 5(a)-5(h). Ved 650, fra de ni koplingsspenningskomponenter, kan inversjonsoperasjoner bli utført for å bestemme formasjonsegenskaper. Disse formasjonsegenskaper kan defineres i det vesentlige i sann tid eller som en etter-

5 behandlingsoperasjon. Ved 660, fra de ni koplingsspenningskomponenter, kan et geosignal bestemmes. Geosignalet kan benyttes i en geostyringsoperasjon i brønnen. Geosignalbestemmelsen og etterfølgende geostyring kan utføres i det

vesentlige i sann tid eller som en etterbehandlingsoperasjon. Ved 670 blir en bestemmelse gjort med hensyn til om ytterligere målinger skal gjennomføres.

10 Disse ytterligere målinger kan utføres for én eller flere andre bølger.

Flere modelleringstilfeller ble evaluert med hensyn til prosessen beskrevet ovenfor under et bredt spekter med fallvinkel-, R_h -verdier, og R_v -verdier. Fig. 7A-B viser inversjonsresultater ved bruk av responsene for antennekonfigurasjonen for et

15 verktøy vist i fig. 5 for en bestemt formasjonsmodell. Formasjonsmodellen inkluderer en horisontal resistivitet R_h lik $0,7 \Omega \cdot m$ og en vertikal resistivitet R_v lik $5,0 \Omega \cdot m$ i vilkårlig relativ fallvinkel fra 0 grader til 90. Kurve 707 i fig. 7A viser inversjonsresultatene for R_v fra verktøyet og kurve 709 viser inversjonsresultatene for R_h fra verktøyet. Fig. 7B viser fallvinkelen fra inversjonsresultatene som over-

20 ensstemmer med fallvinkelen fra modellen.

Fig. 8 viser inversjonsresultater ved bruk av responsene for antennekonfigurasjonen for et verktøy vist i fig. 5 for en annen formasjonsmodell. Denne formasjonsmodellen inkluderer en horisontal resistivitet R_h lik $2,5 \Omega \cdot m$ og en vertikal

25 resistivitet R_v lik $5,0 \Omega \cdot m$ ved vilkårlig relativ fallvinkel fra 0 grader til 90 grader. Kurve 807 i fig. 8A viser inversjonsresultater for R_v fra verktøyet og kurve 809 viser inversjonsresultatene for R_h fra verktøyet. Fig. 8B viser fallvinkelen fra inversjonsresultatene som overensstemmer med fallvinkelen fra modellen. Disse inversjonsresultatene for bølgen 1 vist i fig. 7A-B og 8A-B produserer gode

30 løsninger og samsvarer godt med modellerte data, som demonstrerer robustheten for teknikkene for de ulike utførelsesformer ved alle hullavvik.

I ulike utførelsesformer kan geosignalresponsen bestemmes ved bruk av verktøy

utstyrt med vippede sender- og vippede mottakerstrukturer som beskrevet heri. De bestemte geosignalresponser kan benyttes for geostyringsapplikasjoner. Slike geostyringsapplikasjoner kan utføres med, men er ikke begrenset til, roterende LWD-verktøy utstyrt med vippede sender- og vippede mottakerstrukturer. Geosignalresponser kan kalkuleres ved prosessering av det målte signalet ved mottakerne. For et roterende vippet sender- og vippet mottakerverktøy med asimutvinkel β , blir en kompleks spenning $V_{CZ}(\beta)$ referert til tverrkoplingsmålinger (for eksempel ZX- og XZ-målinger med z-aksen orientert som i fig. 1-5 og x-aksen vinkelrett på z-aksen som i fig. 1) definert som:

10

$$V_{CZ}(\beta) = \frac{1}{4\sqrt{2}} \left[V_R^T\left(\beta - \frac{\pi}{4}\right) - V_R^T\left(\beta + \frac{3\pi}{4}\right) + V_R^T\left(\beta + \frac{\pi}{4}\right) - V_R^T\left(\beta + \frac{5\pi}{4}\right) \right] \quad (7)$$

Fig. 9 viser en eksempelrespons på $V_{CZ}(\beta)$ for det øvre sender-mottakerparet (T_{up} og R_{up}) i fig. 5 ved boring i en trelags isotropisk formasjon. Senderen T_{up} avfyres og spenningen ved R_{up} blir målt for asimutretningen definert av bingen 1 i fig. 4. $V_{CZ}(\beta)$ har en virkelig del 917 og en imaginær del 919, hvor begge deler viser vesentlige endringer i grensene 901 og 903. Fig. 10 viser en eksempelrespons på $V_{CZ}(\beta)$ for det nedre sender-mottakerparet (T_{dn} og R_{dn}) i fig. 5 ved boring i den trelags isotropiske formasjonen. Senderen T_{dn} blir avfyrt og spenningen R_{dn} blir målt for asimutretningen definert av bingen 1 i fig. 4. $V_{CZ}(\beta)$ har en virkelig del 1017 og en imaginær del 1019, hvor begge deler viser endringer i grensene 901 og 903. Boringen for eksemplene i fig. 9 og 10 er ved en relativ fallvinkel på 85 grader. Det første laget har en resistivitet lik 1 ohm-m, det midtre laget har en resistivitet lik 10 ohm-m, og det siste laget har en resistivitet lik 1 ohm-m.

Fig. 11 viser en eksempelrespons på $V_{CZ}(\beta)$ for det øvre sender-mottakerparet (T_{up} og R_{up}) i fig. 5 ved boring i en trelags anisotropisk formasjon. Sender T_{up} blir avfyrt og spenningen ved R_{up} blir målt for asimutretningen definert av bingen 1 i fig. 4. $V_{CZ}(\beta)$ har en virkelig del 1117 og en imaginær del 1119, hvor begge deler viser vesentlige endringer ved grensene 1101 og 1103. Fig. 10 viser en eksempelrespons på $V_{CZ}(\beta)$ for det nedre sender-mottakerparet (T_{dn} og R_{dn}) i fig. 5 ved

30

boring i den trelags anisotropiske formasjonen i fig. 11. Sender T_{dn} blir avfyrt og spenningen ved R_{dn} blir målt for asimutretningen definert av bingen 1 i fig. 4.

$V_{CZ}(\beta)$ har en virkelig del 1217 og en imaginær del 1219, hvor begge deler viser endringer ved grensene 1101 og 1103. Boringen for eksemplene i fig. 11 og 12 er
 5 også ved en relativ fallvinkel på 85 grader. Det første laget i denne anisotropiske formasjonen har en horisontal resistivitet R_h lik 1 ohm-m og en vertikal resistivitet R_v lik 4 ohm-m, det midtre laget har en horisontal resistivitet R_h lik 10 ohm-m og en vertikal resistivitet R_v lik 50 ohm-m, og det siste laget har en horisontal resistivitet R_h på 1 ohm-m og en vertikal resistivitet R_v lik 4 ohm-m.

10

Fra fig. 9 til 12 kan det konkluderes at et perpendikulært vippt sender-mottaker-antennesystem er i stand til å tilveiebringe geostyringsinformasjon og detektering av grenseposisjoner. Hvis både vippesenderen og vippemottakeren er orientert i ulike tilstøtende kvadranter (vist i fig. 3C), vil de målte signaler ved mottakeren

15

være proporsjonale med subtrasjonen av koplingsspenningskomponentene V_x^z og V_z^x slik at de målte signaler bare er sensitive for grenseeffekter. Disse målte

signaler er tilgjengelige for å presentere geosignalresponser, i henhold til ulike utførelsesformer. Imidlertid, hvis vippesenderen og vippemottakeren er orientert i den samme kvadrant eller diagonale kvadranter, slik som 1^{ste}-3^{de} kvadranter eller

20

2^{de}-4^{de} kvadranter, inneholder de målte signaler effektivt delvis en summerings-effekt for koplingsspenningskomponentene V_x^z og V_z^x . Slik summeringseffekt er

følsom for sammenfildrede effekter blant anisotropi, relativ fallvinkel og grense.

Som et resultat tilveiebringer ikke de korresponderende geosignalresponser med vippesender og vippemottaker orientert i den samme kvadrant eller i diagonale

25

kvadranter responser som er så gode for geostyring som de som tilveiebringes når både vippesenderen og vippemottakeren er orientert i ulike tilstøtende kvadranter.

I ulike utførelsesformer kan et antennesystem utstyrt med den øvre senderen og de sentrale mottakere i fig. 5, i hvilke både vippesenderen og vippemottakeren er

30

orientert i ulike tilstøtende kvadranter, benyttes i geostyringsapplikasjoner. En geostyringsrespons kan oppnås som:

$$V_{Geo}(\beta) = \frac{V_R^T(\beta)}{V_R^T(\beta + \pi)}, \quad (8)$$

som er det målte signalet V_R^T i en aktuell bing, som er en bingeretning av de N bingeretninger som vist i fig. 4, divider med et målte signalet V_R^T i bingen 180 grader fra den aktuelle bingen. Geosignalresponsene kan uttrykkes med hensyn til geosignalfase ϕ_{Geo} og geosignaldemping A_{Geo} som følger:

$$\phi_{Geo}(\beta) = \text{phase}\{V_R^T(\beta)\} - \text{phase}\{V_R^T(\beta + \pi)\} \quad (9a)$$

$$A_{Geo}(\beta) = \log|V_R^T(\beta)| - \log|V_R^T(\beta + \pi)| \quad (9b)$$

10

Fig. 13 viser et eksempel på en geosignalfase for en trelags isotropisk formasjon. Geosignalfasen ϕ_{Geo} i ligning (9a) vist i fig. 13 er for en perpendikulær Tx-Rx-par i fig. 5 i retning av bingé én i fig. 4. Fig. 13 og 14 er geosignaler generert fra operasjon av verktøy i fig. 5 med en sender-til-mottakeravstand lik 32 tommer og frekvens lik 500 kHz ved en relativ fallvinkel lik 85 grader. Det første laget til denne isotropiske formasjonen har en resistivitet lik 1 ohm-m, det midtre laget har en resistivitet lik 10 ohm-m, og det siste laget har en resistivitet lik 1 ohm-m. Disse geosignaler kalkulert fra det målte spenningssignalet V_R^T viser deteksjonen av grensene 1301 og 1303 som en funksjon av dybde.

20

Fig. 15 viser et eksempel på en geosignalfase for en trelags anisotropisk formasjon. Geosignalfasen ϕ_{Geo} i ligning (9a) vist i fig. 15 er for et perpendikulært Tx-Rx-par i fig. 5 i retning av bingé én i fig. 4. Fig. 16 viser et eksempel på en geosignaldemping for den trelags anisotropiske formasjonen i fig. 15. Geosignaldempingen A_{Geo} i ligning (9b) vist i fig. 16 er for et perpendikulært Tx-Rx-par i fig. 5 i retning av bingé én i fig. 4. Fig. 15 og 16 er geosignaler generert fra operasjon av verktøy i fig. 5 også med en sender-til-mottakeravstand lik 32 tommer og frekvens lik 500 kHz ved en relativ fallvinkel lik 85 grader. Det første laget til denne anisotropiske formasjonen har en horisontal resistivitet R_h lik 1

25

ohm-m og en vertikal resistivitet R_v lik 4 ohm-m, det midtre laget har en horisontal resistivitet R_h lik 10 ohm-m og en vertikal resistivitet R_v lik 50 ohm-m, og det siste laget har en horisontal resistivitet R_h lik 1 ohm-m og en vertikal resistivitet R_v lik 4 ohm-m. Disse geosignaler kalkulert fra det målte spenningssignalet V_R^T viser deteksjonen av grensene 1501 og 1503 som en funksjon av dybde.

I ulike utførelsesformer kan andre geosignalresponsen V_{Geo}^{ZX} og V_{Geo}^{XZ} bli definert som er anvendelige for boreoperasjoner. To geosignalresponsen basert på antennestrukturen i fig. 5 er som definert som:

$$V_{Geo}^{ZX}(\beta) \equiv \frac{V_R^U(\beta) + V_R^L(\beta + \pi)}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[V_R^U\left(\frac{\beta_m}{2} + (i-1) \times \beta_i\right) + V_R^L\left(\frac{\beta_m}{2} + (i-1) \times \beta_i\right) \right]} \quad (10a)$$

$$V_{Geo}^{XZ}(\beta) \equiv \frac{V_R^U(\beta + \pi) + V_R^L(\beta + \pi)}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[V_R^U\left(\frac{\beta_m}{2} + (i-1) \times \beta_i\right) + V_R^L\left(\frac{\beta_m}{2} + (i-1) \times \beta_i\right) \right]}, \quad (10b)$$

hvor V_{Geo}^{ZX} refererer til signalene involvert med ZX-målinger og V_{Geo}^{XZ} refererer til signaler involvert med XZ-målinger. Begge geosignalene er egnet for geostyringsoperasjoner. I tillegg, for ulike antennestrukturer, kan asimutvinkelen β i telleren i ligningene (10a) og (10b) være pluss eller minus 180 grader fra den valgte bingen.

I ulike utførelsesformer benytter flere prosesseringsplaner trekkene ved roterende elektromagnetiske (EM) loggingsverktøy. En koplingsspenningsmatrise kan bli løst direkte fra prosesseringen av responser hos rotasjonsverktøyet. Videre, ved bruk av den løste koplingsspenningsmatrisen, kan formasjonsparametre kalkuleres. Disse parametre kan inkludere formasjonsanisotropi, R_h og R_v , og den relative fallvinkel ved et hvilket som helst borehullsavvik. I tillegg defineres geosignalresponsen som kan genereres fra responsene til rotasjonsverktøyet. Disse geosignaler kan benyttes for geostyring og for kalkulering av avstanden til bunngrisen (DTBB) ved bruk av standard inversjonsteknikker. Prosessering av målte spenninger som beskrevet heri tillater løsning av en koplingsspenningsmatrise fra

hvilken formasjonsparametre slik som anisotropi, R_h og R_v , og den relative fallvinkel kan utledes. Til forskjell fra konvensjonelle prosesser kan disse formasjonsparametre bestemmes ved et hvilket som helst borehullsavvik. I ulike utførelsesformer kan, for dypvannssituasjoner, prosessering av målte signaler, som

5 beskrevet heri, benyttes til å kalkulere strukturfall og anisotropi i vertikalt så velt som avvikshull, som tilveiebringer strukturfall i LWD.

Ulike komponenter hos et måleverktøy med en prosesseringsenhet som bestemmer en komplett koplingsmatrise fra direkte målinger som benytter vippede sender- og

10 mottakerantennener, som beskrevet heri eller på en lignende måte, kan realiseres i hardwareimplementeringer, softwareimplementeringer og kombinasjoner av hardware- og softwareimplementeringer. Disse implementeringene kan inkludere et maskinlesbart medium med maskinutførte instruksjoner, slik som et datamaskinlesbart medium med datamaskinutførte instruksjoner, for operasjon av

15 systemet for å samle inn spenningssignaler generert fra operasjon av et verktøy som roterer i et borehull, hvor verktøyet inkluderer multiple senderantennener og en mottaksantenne vippet i forhold til lengdeaksen til verktøyet og de innsamlede spenningssignaler blir målt ved den vippede mottakerantennen som respons på separat avfiring av de multiple senderantennener forbundet med den vippede

20 mottaksantennen, og å prosessere de innsamlede spenningssignaler i forhold til en retning i rotasjon av verktøyet for å bestemme egenskaper forbundet med en formasjon i nærheten av borehullet, inkludert å bestemme en koplingsmatrise direkte fra de innsamlede spenningssignaler. Det maskinlesbare mediet kan også lagre parametre benyttet ved utføring av instruksjonene og kan også lagre resul-

25 tater fra utføring av instruksjonene. Det maskinlesbare mediet kan inkludere instruksjoner for å generere geosignaler fra de innsamlede spenningssignaler. Det maskinlesbare mediet kan også inkludere instruksjoner for å utføre geostyring basert på geosignalene generert fra de innsamlede spenningssignalene. I ulike utførelsesformer kan strømmålinger benyttes til å innsamle signaler for å generere

30 en koplingsmatrise. Formen for maskinlesbart medium er ikke begrenset til en spesiell type maskinlesbart medium, men kan være et hvilket som helst maskinlesbart medium. For eksempel kan maskinlesbart medium inkludere et datalag-

ringsmedium som kan implementeres i et hus anordnet i en krage hos en borestreng eller i en kabelkonfigurasjon og/eller i et systemkontrollcenter.

Fig. 17 viser et blokkdiagram av trekk hos en utførelsesform av et system 1700 med en prosesseringsenhet 1705, én eller flere vippede mottakerantenner 1710, og multiple senderantenner 1715. Prosesseringsenheten 1705 er konfigurert for å prosessere signaler mottatt ved én eller flere vippede mottakerantenner 1710 som respons på avfiring av multiple senderantenner 1715 uavhengig for direkte å bestemme en koplingsmatrise i forhold til forplantning av elektromagnetiske signaler i en formasjon i nærheten av et brønnhull på grunn av avfiringen av multiple senderantenner 1715. Prosesseringsenheten 1705 kan prosessere signaler innsamlet fra én eller flere vippede mottakerantenner 1710 basert på retningen i forhold til rotasjon av verktøy på hvilket én eller flere vippede mottakerantenner 1710 og multiple senderantenner 1715 er montert. Prosesseringsenheten 1705 kan utføre prosessering identisk med eller lignende med prosesseringsplanene beskrevet i forhold til ulike utførelsesformer heri.

Systemet 1700 kan også inkludere en styring 1702, et minne 1725, en elektronikk-anordning 1735 og en kommunikasjonsenhet 1755. Styringen 1702, minnet 1725 og kommunikasjonsenheten 1755 kan være anordnet for å operere én eller flere vippede mottakerantenner 1710 og multiple senderantenner 1715 med innsamlede spenningssignaler tilveiebrakt til prosesseringsenheten 105 for bestemmelse av koplingsmatriser, formasjonsegenskaper, geosignaler og geostyringsoperasjoner. Prosesseringsenheten 105 kan være anordnet på overflaten til et brønnhull. Prosesseringsenheten 105 kan være anordnet nedeihulls. Prosesseringsenheten kan være integrert med én eller flere av styringen 1702, minnet 1725 og kommunikasjonsenheten 1755. Prosesseringsenheten 1705 kan realiseres for å inkludere prosesseringsplaner i henhold til prosesserings- og målingsverktøy beskrevet heri. Kommunikasjonsenheten 1755 kan inkludere nedeihullskommunikasjoner i en boreoperasjon. Slike nedeihullskommunikasjoner kan inkludere et telemetri-system.

Systemet 1700 kan også inkludere en buss 1707, hvor bussen 1707 tilveiebringer

elektrisk ledningsevne blant komponentene i systemet 1700. Bussen 1707 kan inkludere en adressebuss, en databuss og en styrebuss, hver uavhengig konfigurert. Bussen 1707 kan også benytte felles ledende ledninger for å tilveiebringe én eller flere av adresse, data eller styring og hvis bruk er regulert av styringen 1702.

5 Bussen 1707 kan være konfigurert slik at komponenten i systemet 1700 er distribuert. Slik distribuering kan være anordnet mellom nedehullskomponenter slik som én eller flere vippede mottakerantenner 1710 og multiple senderantenner 1715 og overflatekomponenter slik som prosesseringsenheten 1705. Alternativt kan komponentene være samlokalisert slik én eller flere krager i en borestreng

10 eller på en kabelstruktur.

I ulike utførelsesformer inkluderer periferiske innretninger 1745 displayer, ytterligere lagringsminne og/eller andre styringsinnretninger som kan operere i forbindelse med styringen 1702 og/eller minnet 1725. I en utførelsesform er styringen 1702 en prosessor. En periferisk innretning anordnet som et display kan

15 benyttes med instruksjoner lagret i minnet 1725 for å implementere et brukergrensesnitt for å håndtere operasjon av prosesseringsenheten 1705, én eller flere vippede mottakerantenner 1710, multiple senderantenner 1715 i system 1700 og/eller komponenter distribuert i system 1700.

20 Fig. 18 viser en utførelsesform av et system 1800 på et borested, hvor systemet 1800 inkluderer et måleverktøy 1810 og elektronikk for å bestemme formasjonsegenskaper i nærheten av en brønn og/eller geosignaler som kan benyttes for geostyring av en boreoperasjon. Måleverktøyet 1810 kan inkludere én eller flere

25 vippede mottakerantenner og multiple senderantenner, hvor senderantenne blir avfyrt uavhengig slik at målte signaler mottatt ved de vippede mottakerantennene blir prosessert for direkte å bestemme en koplingsmatrise i forhold til forplantning av elektromagnetiske signaler i formasjonen i nærheten av borehullet. Koplingsmatrisen kan benyttes til å bestemme formasjonsegenskaper slik som horisontalresistivitet, vertikalresistivitet og relativ fallvinkel ved ethvert borehullsavvik fra

30 løsningen av koplings spenningsmatrisen bestemt fra de målte signaler, sammen med generering av geosignaler som kan benyttes for å utføre geostyring i forhold borehullet.

System 1800 kan inkludere en borerigg 1802 anordnet i en overflate 1804 av brønnen 1806 og en streng av borerør, med andre ord en borestreng 1808, koblet sammen for å danne en borestreng som blir senket gjennom et rotasjonsbord 1807
5 inn i et brønnhull eller borehull 1812. Boreriggen 1802 kan tilveiebringe understøttelse for borestrengen 1808. Borestrengen 1808 kan operere for å penetrere rotasjonsbordet 1807 for boring av et borehull 1812 gjennom underoverflateformasjonene 1814. Borestrengen 1808 kan inkludere borerør 1818 og en bunnhullssammenstilling 1820 anordnet i den nedre delen av borerøret 1818.

10

Bullhullssammenstillingen kan inkludere et vektrør 1815, et måleverktøy 1810 festet til vektrør 1815 og en borekrone 1826. Borekronen 1826 kan operere for å skape et borehull 1812 ved å penetrere overflaten 1804 og underoverflateformasjoner 1814.

15

Under boreoperasjoner kan borestrengen 1808 bli rotert av rotasjonsbordet 1807. I tillegg til, eller alternativt, kan bunnhullssammenstillingen 1820 også bli rotert av en motor (for eksempel en slammotor) som er anordnet nedeihulls. Vektrørene 1815 kan benyttes til å tilføre vekt til borekronen 1826. Vektrørene 1815 kan også
20 avstive bunnhullssammenstillingen 1820 for å tillate bunnhullssammenstillingen 1820 og overføre den tilføyde vekten til borekronen 1826, og i sin tur å hjelpe borekronen 1826 i å penetrere overflaten 1804 og underoverflateformasjonene 1814.

25

Under boreoperasjoner kan en slampumpe 1832 pumpe borefluid (noen ganger kjent som "boreslam" for fagmannen innen området) fra en slamtank 1834 gjennom en slange 1836 inn i borerøret 1812 og ned til borekronen 1826. Borefluidet kan strømme ut fra borekronen 1826 og bli returnert til overflaten 1804 gjennom et ringformet område 1840 mellom borerøret 1818 og sidene av borehullet 1812. Borefluidet kan så bli returnert til slamtanken 1834, hvor slikt fluid
30 blir filtrert. I noen utførelsesformer kan borefluidet bli benyttet for å avkjøle borekronen 1826, så vel som å tilveiebringe smøring for borekronen 1826 under

boreoperasjoner. I tillegg kan borefluidet bli benyttet til å fjerne underoverflateformasjon-1814-borekaks dannet ved operasjon av borekronen 1826.

5 Ulike utførelsesformer av teknikker beskrevet heri prosesser målte signaler mottatt i én eller flere vippede mottakerantennener som respons på avfiring av multiple senderantennener uavhengig for å direkte bestemme en koplingsmatrise i forhold til forplantning av elektromagnetiske signaler i formasjonen i nærheten av et brønnhull grunnet avfiringen av multiple senderantennener. En prosesseringsenhet kan prosessere signaler innsamlet fra én eller flere vippede mottakerantennener
10 basert på retningen i forhold til rotasjonen av verktøyet på hvilket én eller vippede mottakerantennener og multiple senderantennener er montert. Prosesseringsenheten kan utføre prosessering identisk med eller lignende med prosesseringsplanene beskrevet i forhold til de ulike utførelsesformer heri.

15 Selv om spesifikke utførelsesformer har blitt vist og beskrevet heri, vil det forstås av fagmannen innen området at hvilket som helst arrangement som er beregnet til å oppnå det samme formål kan erstatte de spesifikt viste utførelsesformer. Ulike utførelsesformer benytter ombyttinger og/eller kombinasjoner av utførelsesformer beskrevet heri. Det skal forstås at ovennevnte beskrivelse har til hensikt å være
20 illustrativ, og ikke begrensende, og at fraseologien eller terminologien benyttet heri er for beskrivelsesformål. Kombinasjoner av de ovennevnte utførelsesformer og andre utførelsesformer vil fremgå for fagmannen innen området etter å ha studert beskrivelsen ovenfor.

P a t e n t k r a v

1.

5 Fremgangsmåte for å bestemme egenskaper ved en formasjon som omgir et borehull (1812) hvor et verktøy (1810) opererer, hvilken fremgangsmåte er k a r a k t e r i s e r t v e d å innbefatte:

Innsamle signaler (110) generert fra operasjon av verktøyet som roterer i borehullet, hvilket verktøy har en lengdeakse (501), og hvilket verktøy inkluderer to senderantennor (1715) og en mottakerantenne (1710) vippt i forhold til

10 lengdeaksen, idet de innsamlede signaler inkluderer signaler mottatt ved den vippede mottakerantennen som respons på separat avfiring av de to senderantennor forbundet med den vippede mottakerantennen;

hver av de to senderantennor er vippt i forhold til lengdeaksen slik at de to vippede senderantennor er orientert i tilstøtende kvadranter i forhold til

15 lengdeaksen; og

operasjon av en prosesseringsenhet (120) for å prosessere de innsamlede signaler i forhold til en asimutvinkel β til rotasjonen av verktøyet for å bestemme egenskaper forbundet med formasjonen, inkludert bestemmelse av en

koplingsmatrise direkte fra de innsamlede signaler og i forhold til forplantning av

20 elektromagnetiske signaler i formasjonen i nærheten av borehullet på grunn av avfiringen av de vippede senderantennor; og

bestemme et geosignal fra koplingsmatrisen, hvilket geosignal kan brukes til å styre en boreretning til et boreverktøy.

25 2.

Fremgangsmåte i henhold til krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at innsamlingen av signaler inkluderer innsamling av sendingssignaler generert fra operasjon av verktøyet med mottakerantennen vippt i forhold til lengdeaksen og de to senderantennor plassert i det vesentlige på samme sted med

30 ulike orienteringer.

3.

Fremgangsmåte i henhold til krav 1, k a r a k t e r i s e r t

v e d at innsamlingen av signaler inkluderer innsamling av spenningssignaler generert fra operasjon av verktøyet med mottakerantennen vippt i forhold til lengdeaksen slik at den vippede mottakerantennen plasseres mellom de to senderantennene og hvor de to senderantennene har ulike orienteringer.

5

4.

Fremgangsmåte i henhold til krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at innsamlingen av signaler inkluderer innsamling av spenningssignaler generert fra operasjon av verktøyet med mottakerantennen vippt i forhold til lengdeaksen og med en annen mottakerantenne vippt i forhold til lengdeaksen og med de to mottakerantenner plassert mellom de to senderantenner, idet de to senderantenner har ulike orienteringer.

10

5.

Fremgangsmåte i henhold til krav 4, k a r a k t e r i s e r t v e d at fremgangsmåten inkluderer generering av to koplingsspenningsmatriser fra mottatte spenningssignaler ved de to vippede mottakerantennene.

15

6.

Fremgangsmåte i henhold til krav 4, k a r a k t e r i s e r t v e d at, i forhold til lengdeaksen, én av de to senderantennene er vippt i 45 grader og den andre senderantennen er vippt i -45 grader og de to mottakerantennene er vippt i en vinkel på 45 grader.

20

7.

Fremgangsmåte i henhold til krav 4, k a r a k t e r i s e r t v e d at innsamlingen av signaler og operasjon av prosessorenheten inkluderer:

25

avfyring av én av de to senderantenner og måling av en respons ved den vippede mottakerantennen i forhold til avfyringen;

30

avfyring av den andre senderantennen og måling av en respons ved den andre vippede mottakerantennen i forhold til avfyringen av den andre senderantennen;

og

kalkulering av koplingsspenningskomponenter for koplingsmatrisen ved bruk av de målte responser mottatt ved de to vippede mottakerantenner i forhold til verktøyposisjonen og verktøyorienteringen; og utføring av én eller flere inversjonsoperasjoner for å generere formasjonsparametre fra koplingsmatrisen.

8.

Fremgangsmåte i henhold til krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at innsamlingen av signaler inkluderer innsamling av spenningssignaler i forhold til verktøyorientering, idet verktøyorienteringen inkluderer et antall retninger, idet det totale antallet retninger tilsvarende en fullstendig rotasjon oppdelt i N binger, idet hver bing er forbundet med en asimutvinkel β lik $2\pi/N$, der N er et heltall lik med eller større enn én.

9.

Fremgangsmåte i henhold til krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at fremgangsmåten inkluderer bestemmelse av horisontalresistivitet, vertikalresistivitet, relativ fallvinkel eller kombinasjoner derav fra koplingsmatrisen.

20

10.

Fremgangsmåte i henhold til krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at innsamlingen av signaler inkluderer innsamling av spenningssignaler generert fra operasjon av verktøyet som roterer i brønnhullet med mottaksantennen operert som en senderantenne og de to senderantennene vippet og operert som mottakerantenner.

11.

Fremgangsmåte i henhold til krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at bestemmelse av en geosignalrespons fra de innsamlede signaler inkluderer generering av geosignalresponsen som en geosignalfase og en geosignaldemping.

30

12.

Fremgangsmåte i henhold til krav 1, k a r a k t e r i s e r t
v e d at fremgangsmåten inkluderer:

- oppdeling av verktøyrotasjonen i N binger i hvilke fullføring av de N binger er i
5 én fullstendig rotasjon, $N \geq 2$;
- generering, for en bing, av geosignalfasen som differansen mellom en fase hos et
spenningssignal mottatt ved den vippede mottakerantennen som respons på
avfyring av én senderantenne for bingen og en fase for et spenningssignal mottatt
ved den vippede mottakerantennen som respons på avfyring av den ene
10 senderantennen i en annen bing som er 180 grader fra bingen; og
- generering, for bingen, av geosignaldempingen som differansen mellom logg av
spenningssignalet mottatt ved den vippede mottakerantennen som respons på
avfyringen av den ene senderantennen for bingen og logg av spenningssignalet
mottatt ved den vippede mottakerantennen som respons på avfyring av den ene
15 senderantennen ved en annen bing som er 180 grader fra bingen.

13.

Fremgangsmåte i henhold til krav 1, k a r a k t e r i s e r t
v e d at fremgangsmåten inkluderer:

- 20 oppdeling av verktøyrotasjonen i N binger i hvilke fullføring av de N binger er en
fullstendig rotasjon av verktøyet, $N \geq 2$, idet hver bing har en tilknyttet asimut-
vinkel β ;
- generering, for en bing ved asimutvinkel β , én eller begge av to geosignaler, idet
de to geosignaler er:

25

$$V_{Geo}^{ZX}(\beta) \equiv \frac{V_R^U(\beta) + V_R^L(\beta + \pi)}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[V_R^U\left(\frac{\beta_m}{2} + (i-1) \times \beta_i\right) + V_R^L\left(\frac{\beta_m}{2} + (i-1) \times \beta_i\right) \right]}$$

og

$$V_{Geo}^{XZ}(\beta) \equiv \frac{V_R^U(\beta + \pi) + V_R^L(\beta + \pi)}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[V_R^U\left(\frac{\beta_m}{2} + (i-1) \times \beta_i\right) + V_R^L\left(\frac{\beta_m}{2} + (i-1) \times \beta_i\right) \right]}$$

hvor $V_{\text{Geo}}^{\text{ZX}}(\beta)$ og $V_{\text{Geo}}^{\text{XZ}}(\beta)$ er de to geosignaler ved bingen ved asimutvinkel β ,
 $V_{\text{R}}^{\text{U}}(\beta)$ er et spenningssignal ved bingen ved asimutvinkel β mottatt ved den
 vippede mottakerantennen som respons på avfyring av én av senderantenne
 plassert over den vippede mottakerantennen, $V_{\text{R}}^{\text{L}}(\beta)$ er et spenningssignal mottatt
 5 ved den vippede mottakerantennen som respons på avfyring av den andre
 senderantennen plassert under den vippede mottakerantennen, $V_{\text{R}}^{\text{U}}(\beta+\pi)$ er et
 spenningssignal ved en annen bing 180 grader fra bingen ved asimutvinkel β
 mottatt ved den vippede mottakerantennen som respons på avfyring av én av
 senderantenne plassert over den vippede mottakerantennen, $V_{\text{R}}^{\text{L}}(\beta+\pi)$ er et
 10 spenningssignal ved den andre bingen 180 graders fra bingen ved asimutvinkel β
 mottatt ved den vippede mottakerantennen som respons på avfyring av den andre
 senderantennen plassert under den vippede mottakerantennen, og summeringen
 inkluderer et spenningssignal, for hver bing, mottatt ved den vippede
 mottakerantennen som respons på avfyring av én av senderantenne plassert over
 15 den vippede mottakerantennen og et spenningssignal, for hver bing, mottatt ved
 den vippede mottakerantennen som respons på avfyring av den andre
 senderantennen plassert under den vippede mottakerantennen.

14.

20 Maskinlesbart medium som lagrer instruksjoner, som, når utført av en maskin, får
 maskinen til å utføre operasjonene, hvilke operasjoner innbefatter:
 Innsamling av signaler (110) generert fra operasjon av et verktøy (1810) som
 roterer i et borehull (1812) til en brønn, idet verktøy har en lengdeakse (501), idet
 verktøyet inkluderer en mottakerantenne (1710) vippet i forhold til lengdeaksen
 25 og to senderantenner (1715), idet de innsamlede signaler inkluderer signaler
 mottatt ved den vippede mottakerantennen som respons på separat avfyring av de
 to senderantenner forbundet med den vippede mottakerantennen;
 hver av de to senderantenner er vippet i forhold til lengdeaksen slik at de to
 vippede senderantenner er orientert i tilstøtende kvadranter i forhold til
 30 lengdeaksen; og
 operasjon av en prosesseringsenhet (120) for å prosessere de innsamlede signaler i
 forhold til en asimutvinkel β til rotasjonen av verktøyet for å bestemme
 egenskaper forbundet med en formasjon, inkludert bestemmelse av en

koplingsmatrise fra de innsamlede signaler og i forhold til forplantning av elektromagnetiske signaler i formasjonen i nærheten av borehullet på grunn av avfiringen av de vippede senderantenner; og
bestemme et geosignal fra koplingsmatrisen, hvilket geosignal kan brukes til å
5 styre en boreretning til et boreverktøy.

15.

Maskinlesbart medium i henhold til krav 14, k a r a k t e r i -
s e r t v e d at innsamling av signaler inkluderer innsamling av
10 spenningssignaler generert fra operasjon av verktøyet med mottakerantennen
vippet i forhold til lengdeaksen og med en annen mottakerantenne vippet i forhold
til lengdeaksen, idet de to mottakerantennene er vippet i en vinkel på 45 grader
med de to mottakerantenner plassert mellom de to senderantenner, idet de to
senderantennene er vippet i 45 grader og den andre senderantennen er vippet i -45
15 grader.

16.

Maskinlesbart medium i henhold til krav 14, k a r a k t e r i -
20 s e r t v e d at instruksjonene inkluderer bestemmelse av horisontal-
resistivitet, vertikalresistivitet, relativ fallvinkel eller kombinasjoner derav fra
koplingsmatrisen.

17.

25 Maskinlesbart medium i henhold til krav 14, k a r a k t e r i -
s e r t v e d at instruksjonene inkluderer bestemmelse av en
geosignalrespons fra de innsamlede signaler og geostyring av en boreoperasjon
basert på geosignalresponsen.

30 18.

Maskinlesbart medium i henhold til krav 14, k a r a k t e r i -
s e r t v e d at instruksjonene inkluderer:
oppdeling av verktøyrotasjonen i N binger i hvilke fullføring av de N binger er én

fullstendig rotasjon av verktøyet, $N \geq 2$, idet hver bingje har en tilknyttet asimutvinkel β ; og

bestemmelse av en geosignalrespons fra de innsamlede signaler for en bingje, i hvilken geosignalrespons er generert som én eller flere av:

- 5 en geosignalfase og en geosignaldemping, geosignalfasen som differansen mellom en fase hos et spenningssignal mottatt ved den vippede mottakerantennen som respons på avfyring av én senderantenne for bingjen og en fase hos et spenningssignal mottatt ved den vippede mottakerantennen som respons på avfyring av den ene senderantennen ved en annen bingje som er 180 grader fra
- 10 bingjen og geosignaldempingen som differansen mellom logg av spenningssignalet mottatt ved den vippede mottakerantennen som respons på avfyring av den ene senderantennen for bingjen og logg av spenningssignalet mottatt ved den vippede mottakerantennen som respons på avfyring av den ene senderantennen ved en annen bingje som er 180 grader fra bingjen,

15

$$V_{Geo}^{ZX}(\beta) \equiv \frac{V_R^U(\beta) + V_R^L(\beta + \pi)}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[V_R^U\left(\frac{\beta_m}{2} + (i-1) \times \beta_i\right) + V_R^L\left(\frac{\beta_m}{2} + (i-1) \times \beta_i\right) \right]},$$

eller

$$V_{Geo}^{XZ}(\beta) \equiv \frac{V_R^U(\beta + \pi) + V_R^L(\beta + \pi)}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[V_R^U\left(\frac{\beta_m}{2} + (i-1) \times \beta_i\right) + V_R^L\left(\frac{\beta_m}{2} + (i-1) \times \beta_i\right) \right]}$$

- 20 hvor $V_{Geo}^{ZX}(\beta)$ og $V_{Geo}^{XZ}(\beta)$ er de to geosignaler ved bingjen ved asimutvinkel β , $V_R^U(\beta)$ er et spenningssignal ved bingjen ved asimutvinkel β mottatt ved den vippede mottakerantennen som respons på avfyring av én av senderne plassert over den vippede mottakerantennen, $V_R^L(\beta)$ er et spenningssignal mottatt ved den vippede mottakerantennen som respons på avfyring av den andre senderantennen
- 25 plassert under den vippede mottakerantennen, $V_R^U(\beta + \pi)$ er et spenningssignal ved en annen bingje 180 grader fra bingjen ved asimutvinkel β mottatt ved den vippede mottakerantennen som respons på avfyring av én av senderne plassert over den vippede mottakerantennen, $V_R^L(\beta + \pi)$ er et spenningssignal ved den andre bingjen 180 grader fra bingjen ved asimutvinkel β mottatt ved den vippede

mottakerantennen som respons på avfyring av den andre senderantennen plassert under den vippede mottakerantennen, og summeringen inkluderer et spenningssignal, for hver binge, mottatt ved den vippede mottakerantennen som respons på avfyring av én av senderantennne plassert over den vippede mottakerantennen og et spenningssignal, for hver binge, mottatt ved den vippede mottakerantennen som respons på avfyring av den andre senderantennen plassert under den vippede mottakerantennen.

19.

10 Anordning for å bestemme egenskaper ved en formasjon som omgir et borehull (1812), k a r a k t e r i s e r t v e d å innbefatte: et verktøy (1810) opererbart til å rotere i borehullet, hvilket verktøy har en lengdeakse (501), idet verktøyet inkluderer en mottakerantenne (1710) vippet i forhold til lengdeaksen og to senderantenner (1715), idet den vippede mottakerantennen er anordnet for å samle inn signaler (110) som respons på separat avfyring av de to senderantenner; hver av de to senderantenner er vippet i forhold til lengdeaksen slik at de to vippede senderantenner er orientert i tilstøtende kvadranter i forhold til lengdeaksen; og

20 en prosesseringsenhet for å prosessere (120) de innsamlede signaler i forhold til en asimutvinkel β til rotasjonen av verktøyet, for å bestemme en koplingsmatrise direkte fra de innsamlede signaler og i forhold til forplantning av elektromagnetiske signaler i formasjonen i nærheten av borehullet på grunn av avfyringen av de vippede senderantenner, og å bestemme et geosignal fra

25 koplingsmatrisen, hvilket geosignal kan brukes til å styre en boreretning til et boreverktøy.

20.

Anordning i henhold til krav 19, k a r a k t e r i s e r t v e d at de to senderantenner er plassert i det vesentlige på samme sted med ulike orienteringer.

21.

Anordning i henhold til krav 19, k a r a k t e r i s e r t
v e d at den vippede mottakerantennen er plassert mellom de to
senderantennene og hvor de to senderantennene har ulike orienteringer.

5

22.

Anordning i henhold til krav 19, k a r a k t e r i s e r t
v e d at verktøyet inkluderer en annen mottakerantenne vippt i forhold til
lengdeaksen og hvor de to mottakerantenner er plassert mellom de to senderan-
10 tennene, idet de to senderantennene har ulike orienteringer.

23.

Anordning i henhold til krav 22, k a r a k t e r i s e r t
v e d at prosesseringsenheten inkluderer maskinlesbare instruksjoner som kan
15 utføres av en prosessor for å generere de to koplingsspenningsmatrisene fra
mottatte spennings signaler ved de to vippede mottakerantennene.

24.

Anordning i henhold til krav 22, k a r a k t e r i s e r t
20 v e d at, med lengdeaksen, er én av de to senderantennene vippt i 45 grader
og den andre senderantennen er vippt i -45 grader og de to mottakerantennene er
vippt i en vinkel på 45 grader.

25.

25 Anordning i henhold til krav 19, k a r a k t e r i s e r t
v e d at prosesseringsenheten inkluderer maskinlesbare instruksjoner
gjennomførbare av den prosessor for å bestemme en horisontalresistivitet,
vertikalresistivitet, relativ fallvinkel eller kombinasjoner derav fra koplings-
matrisen.

30

26.

Anordning i henhold til krav 19, k a r a k t e r i s e r t
v e d at prosesseringsenheten inkluderer maskinlesbare instruksjoner som er

gjennomførbare av en prosessor for å bestemme geosignalet fra koplingsmatrisen og å justere en boreretning til et boreverktøy basert på geosignalet.

1/14

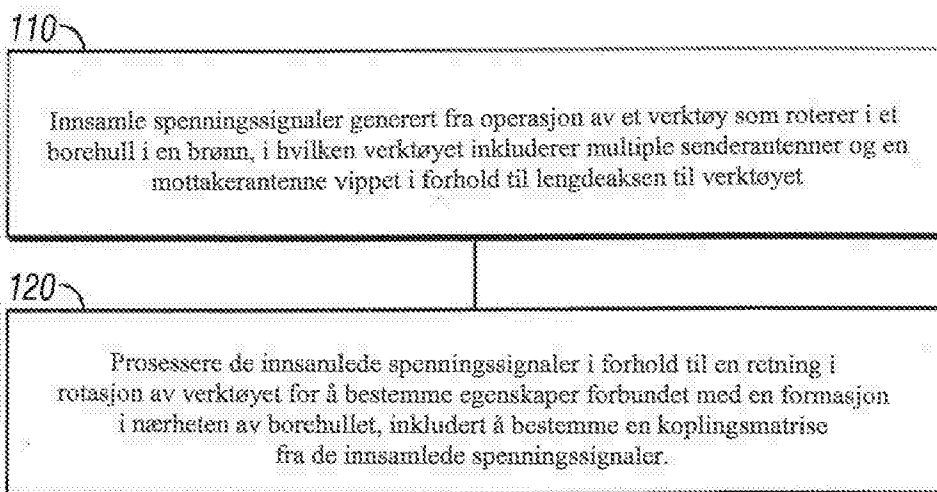


FIG. 1

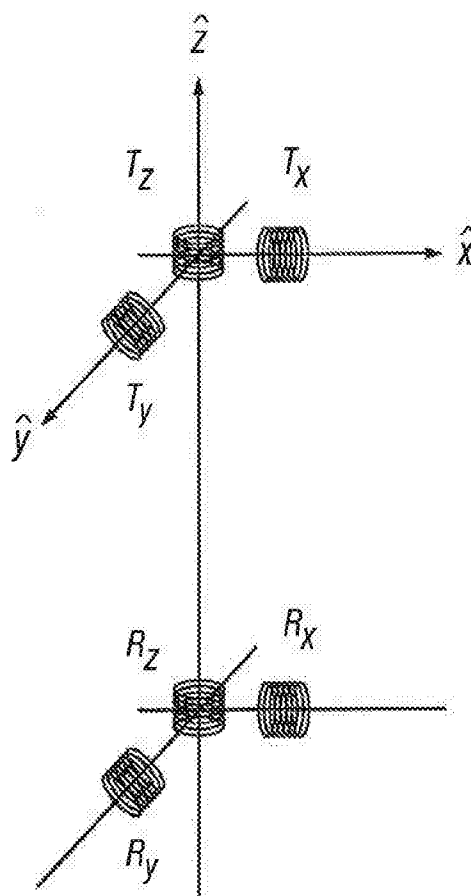


FIG. 2

2/14

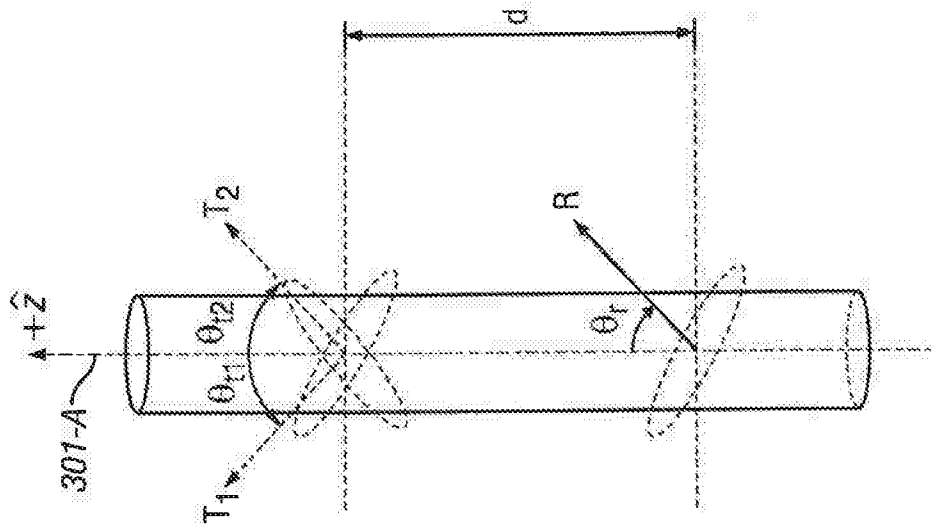


FIG. 3A

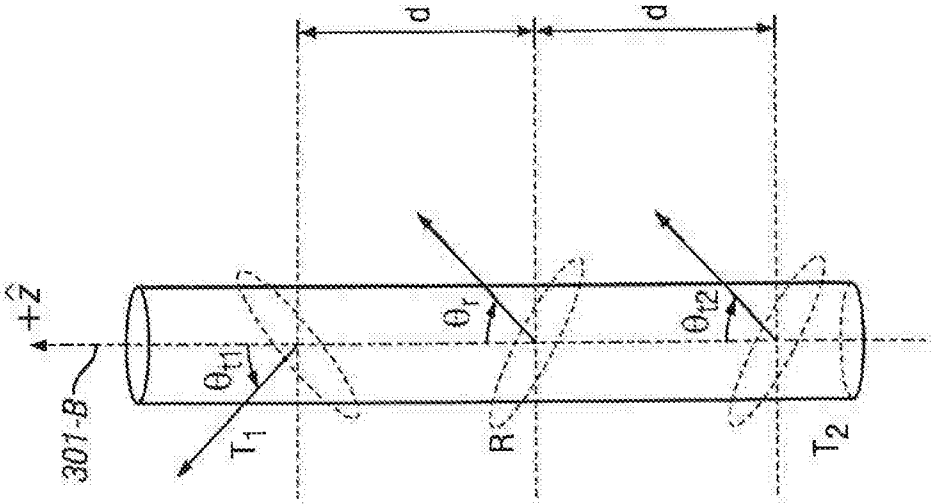


FIG. 3B

3/14

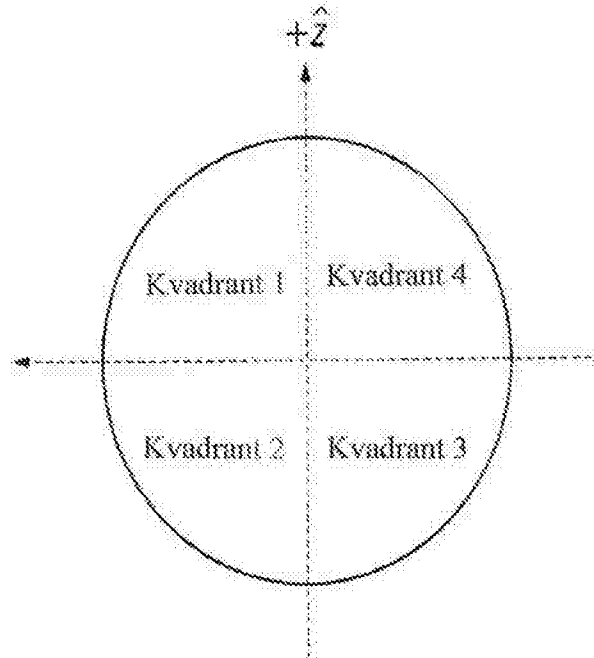


FIG. 3C

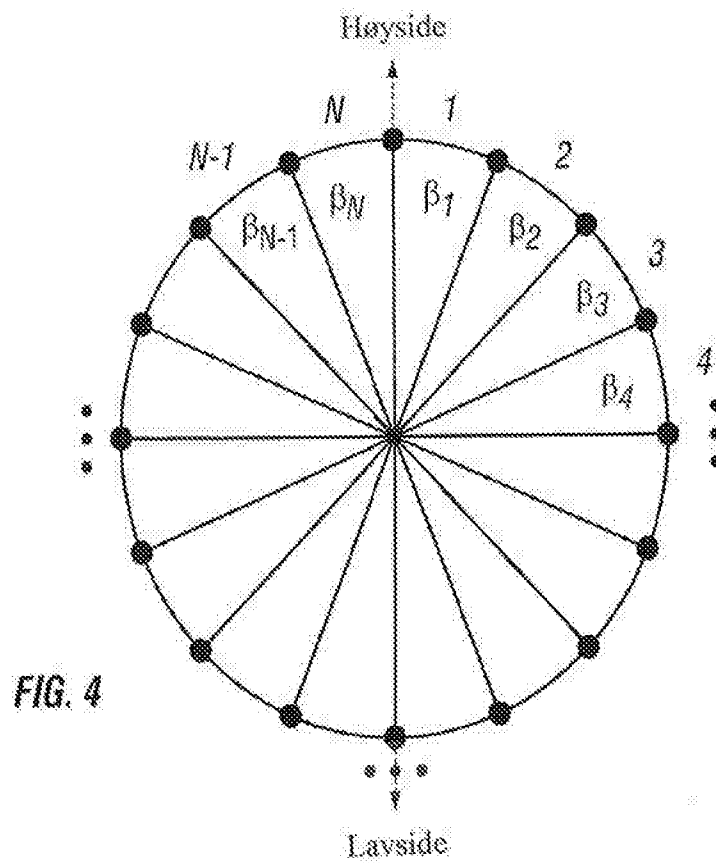


FIG. 4

4/14

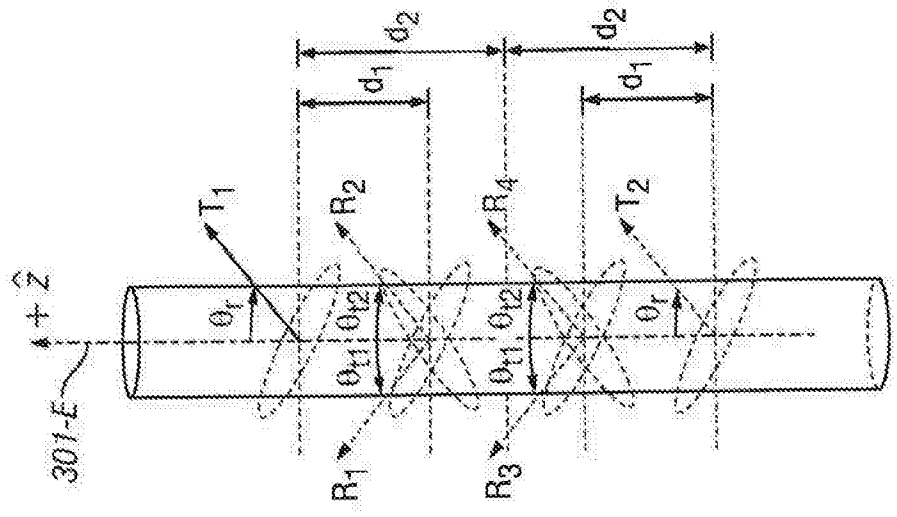


FIG. 3D

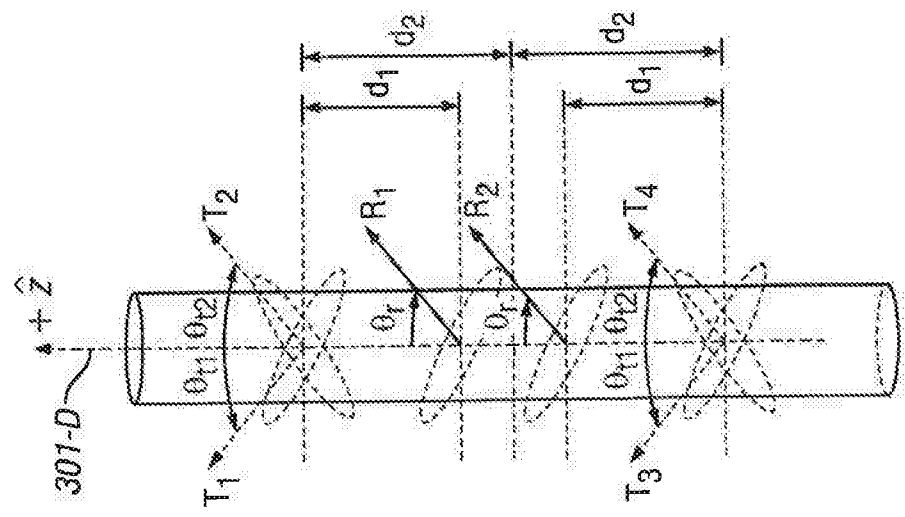


FIG. 3E

5/14

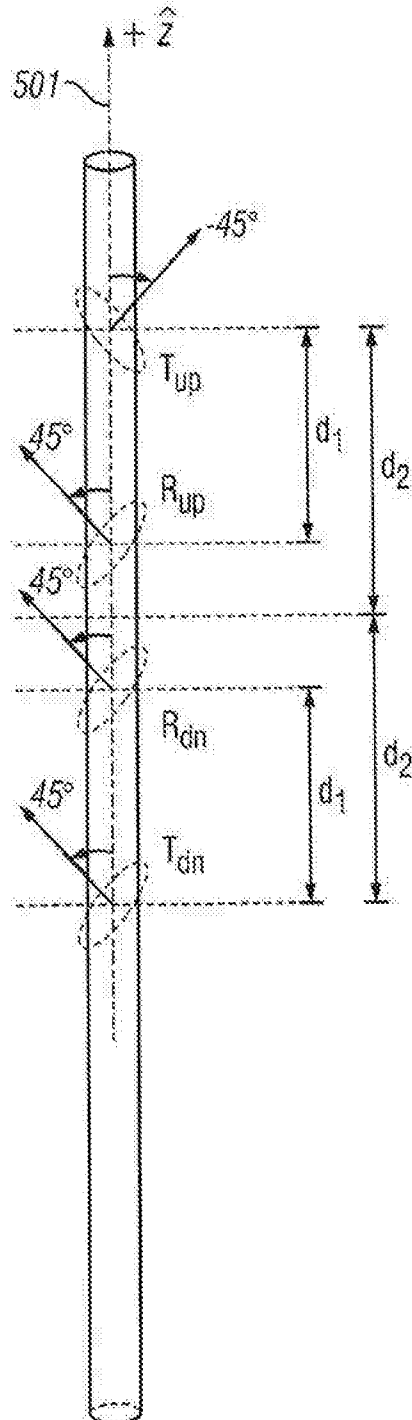


FIG. 5

6/14

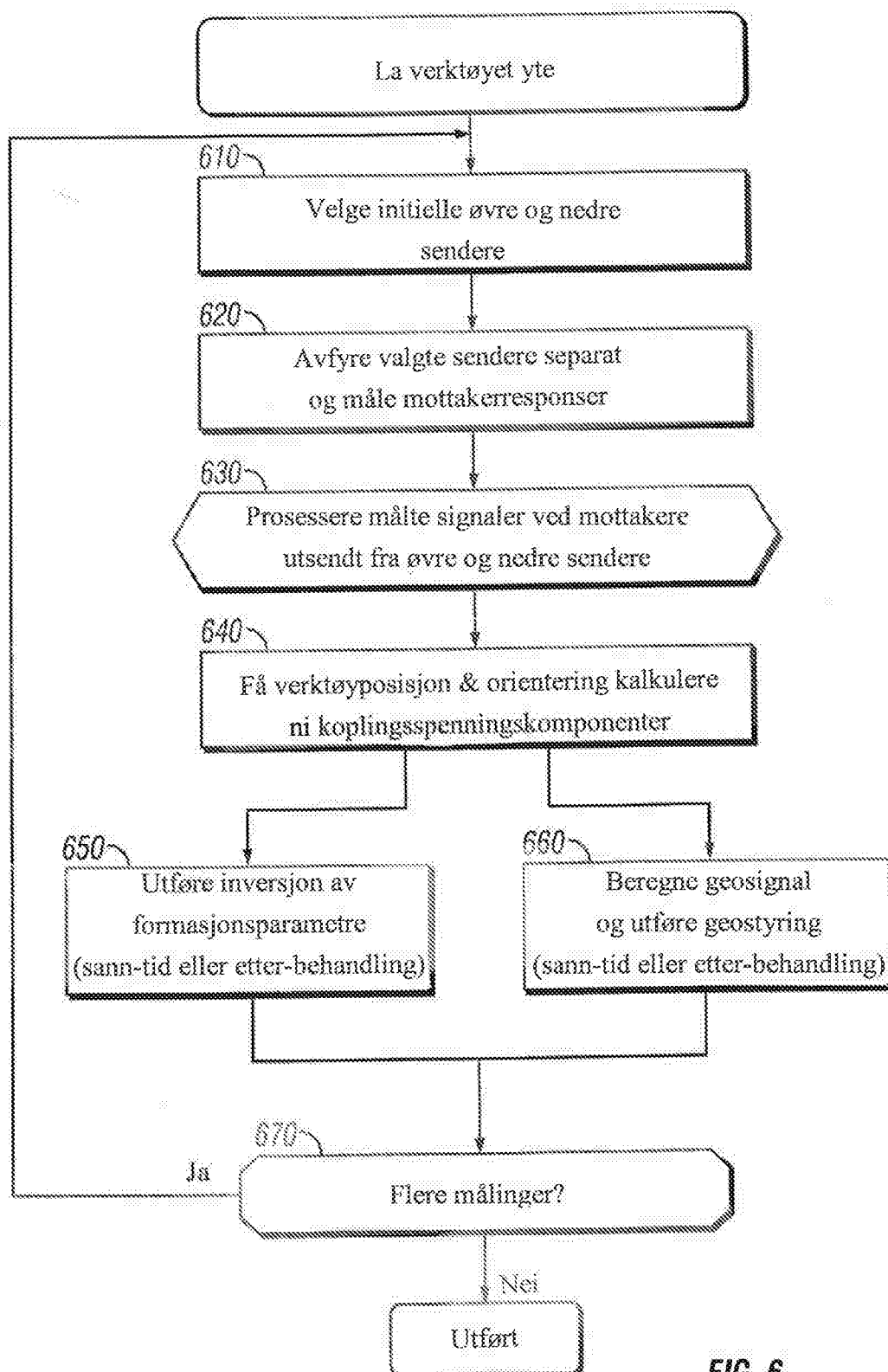


FIG. 6

7/14

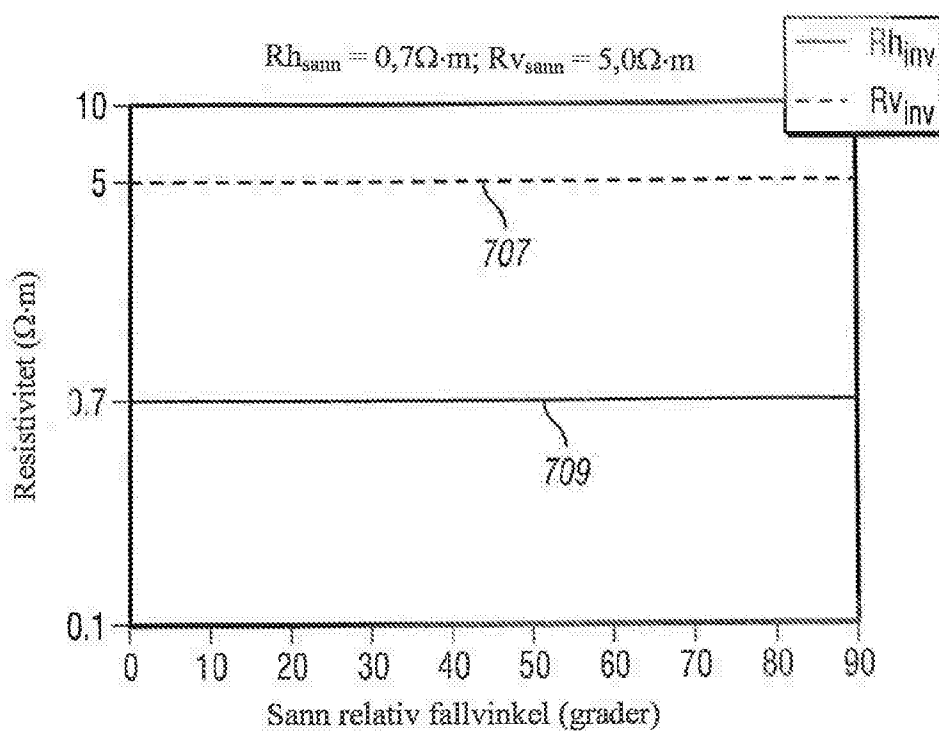


FIG. 7A

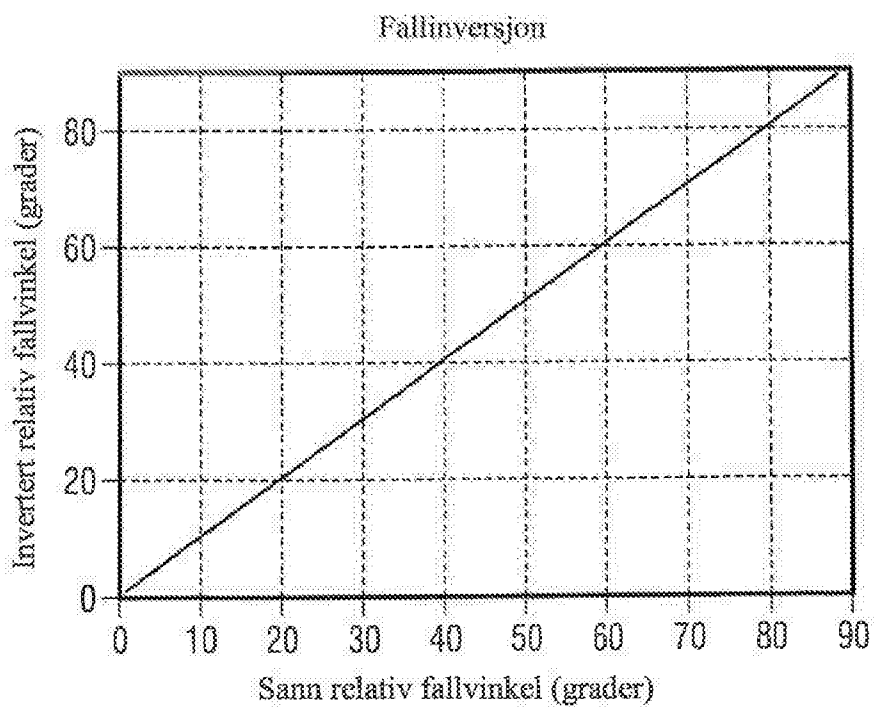


FIG. 7B

8/14

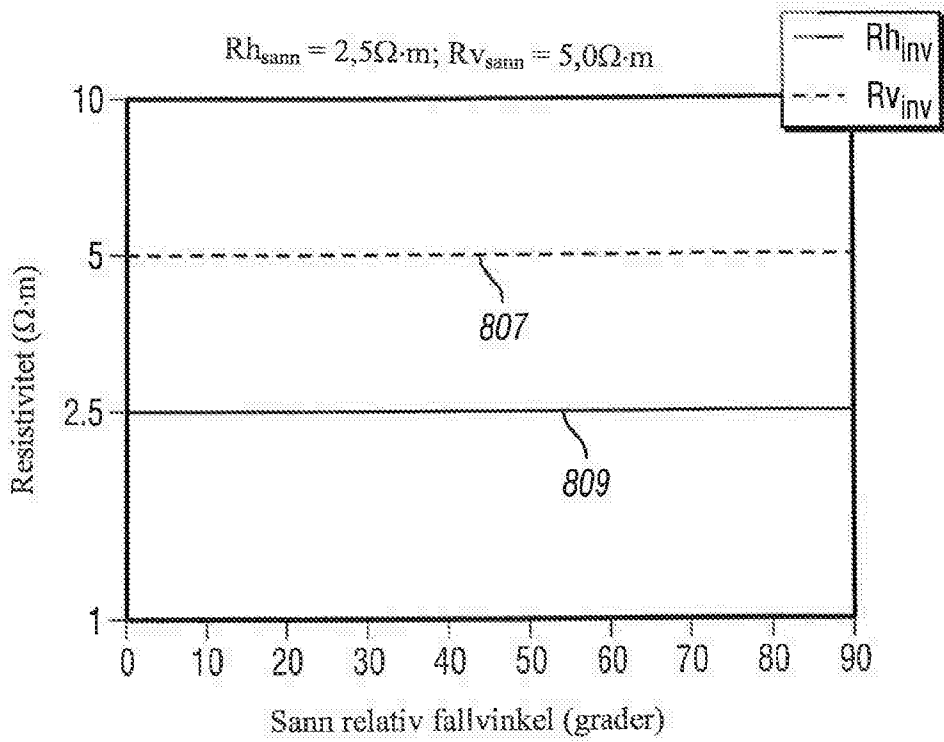


FIG. 8A

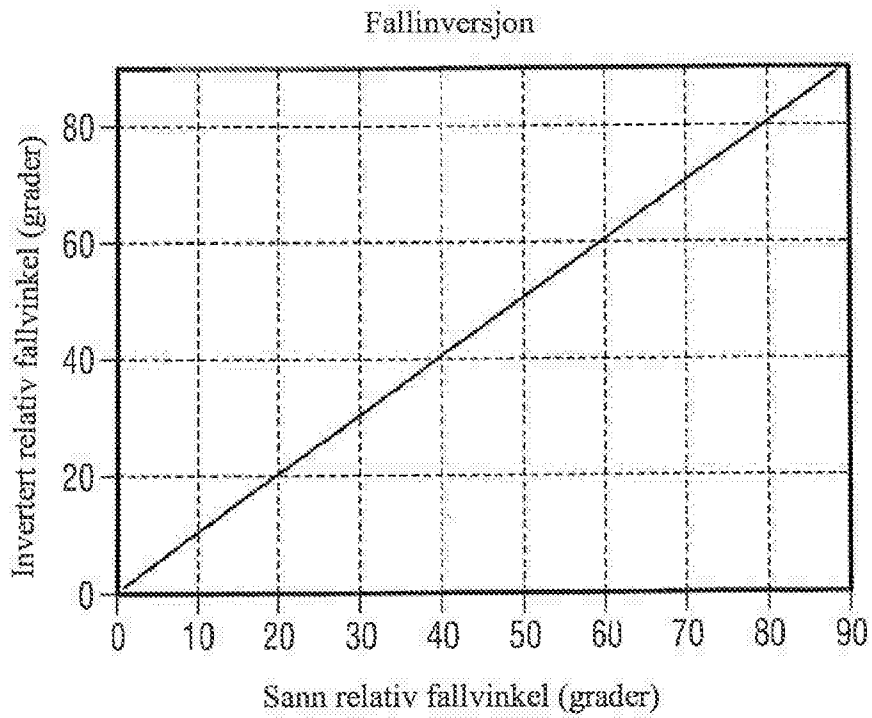


FIG. 8B

9/14

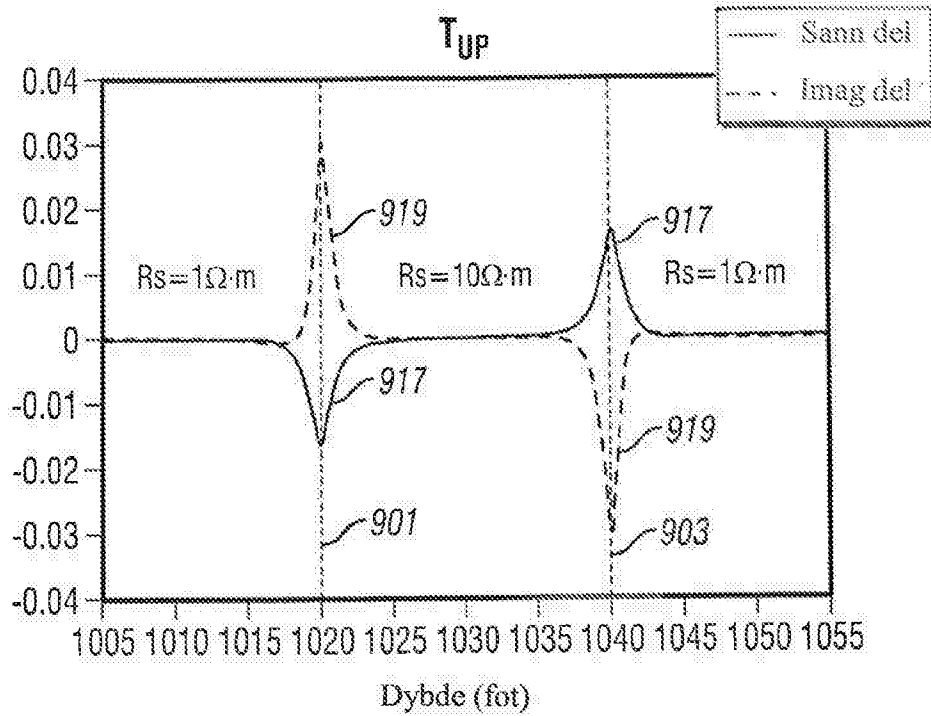


FIG. 9

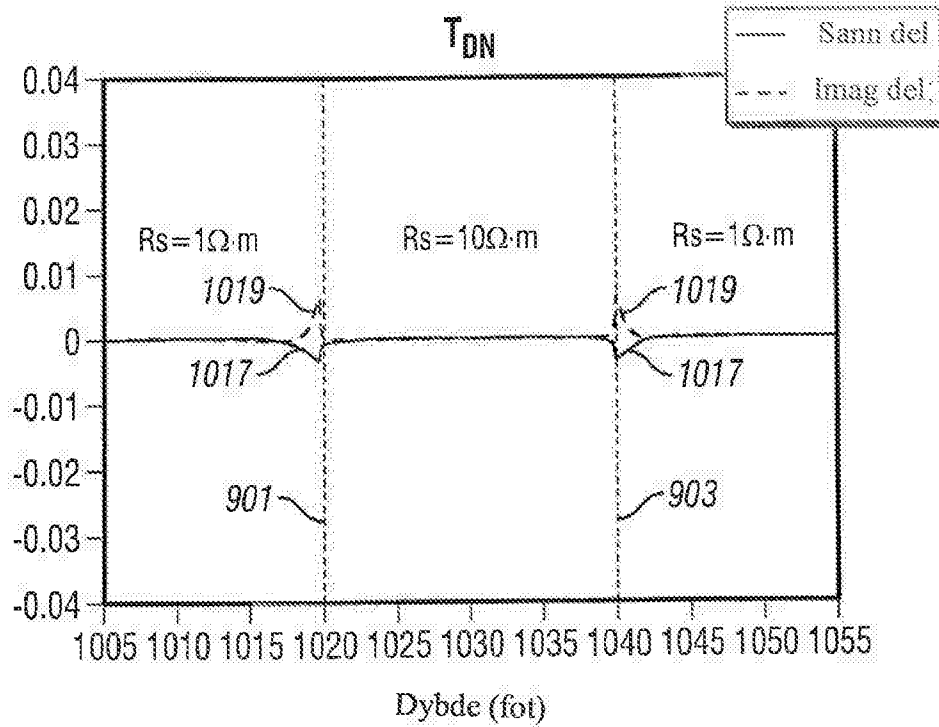


FIG. 10

10/14

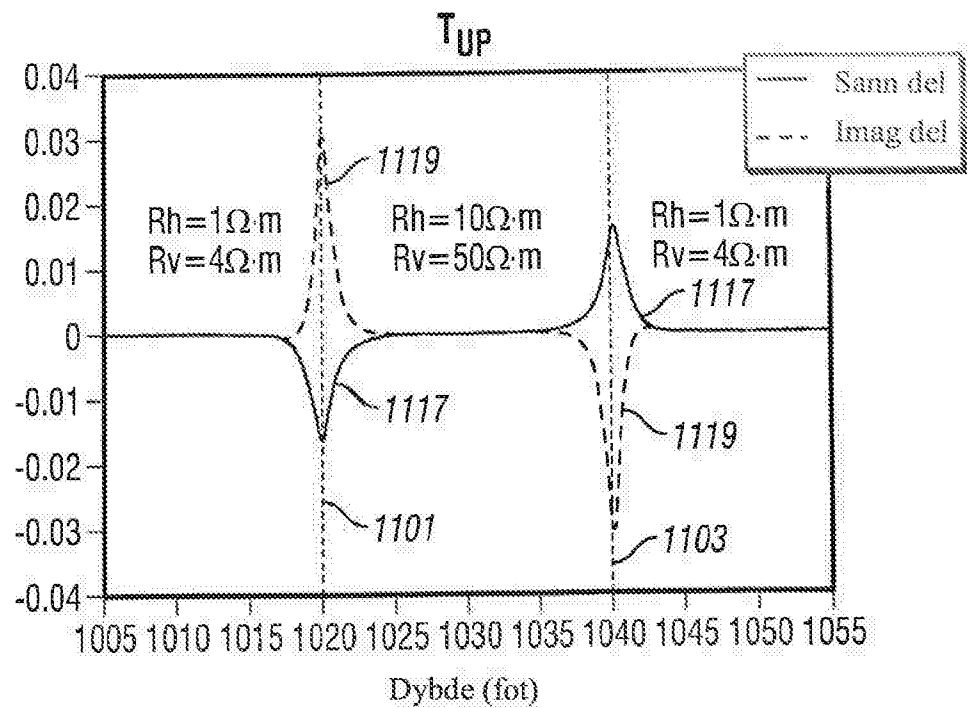


FIG. 11

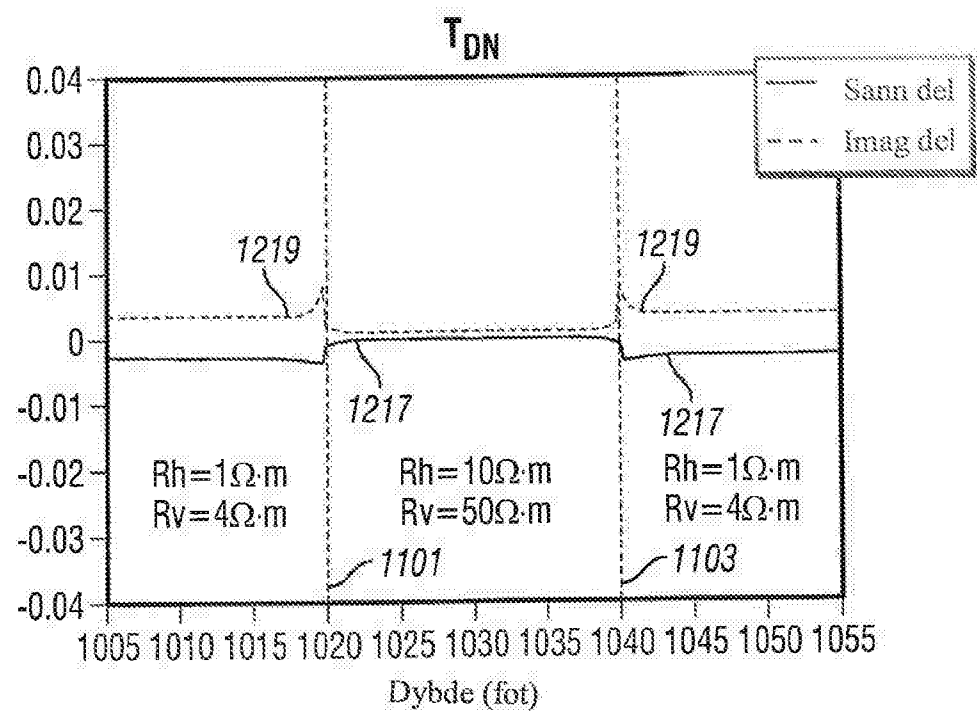


FIG. 12

11/14

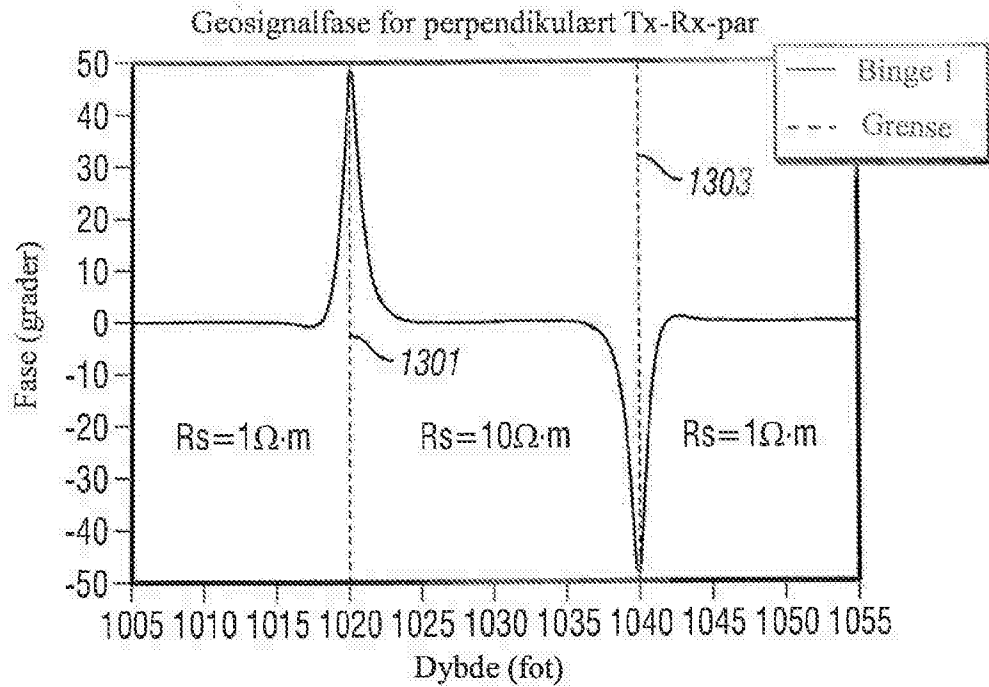


FIG. 13

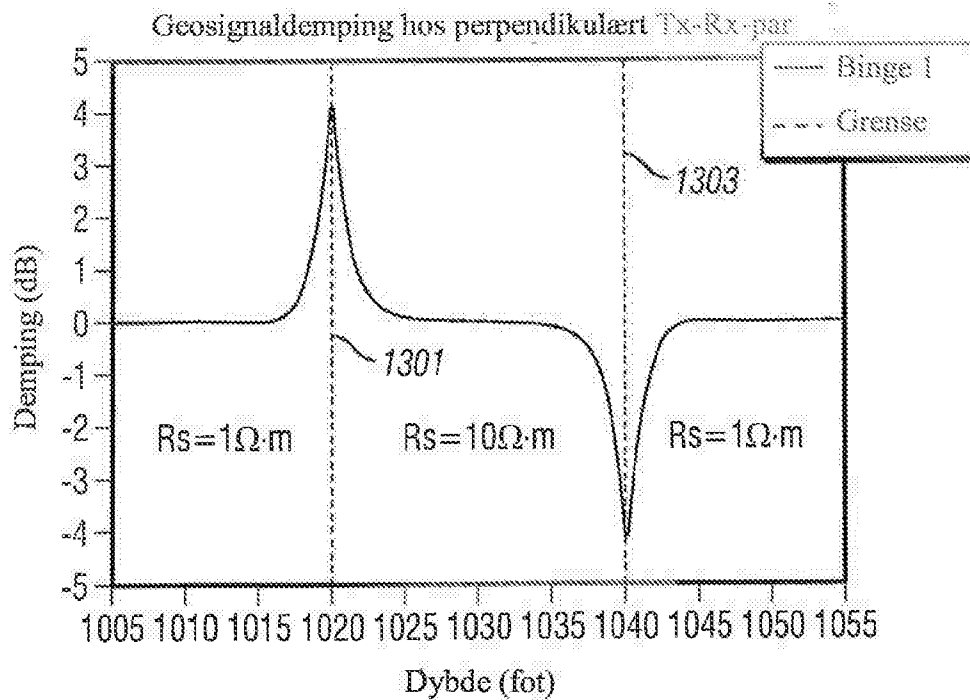


FIG. 14

12/14

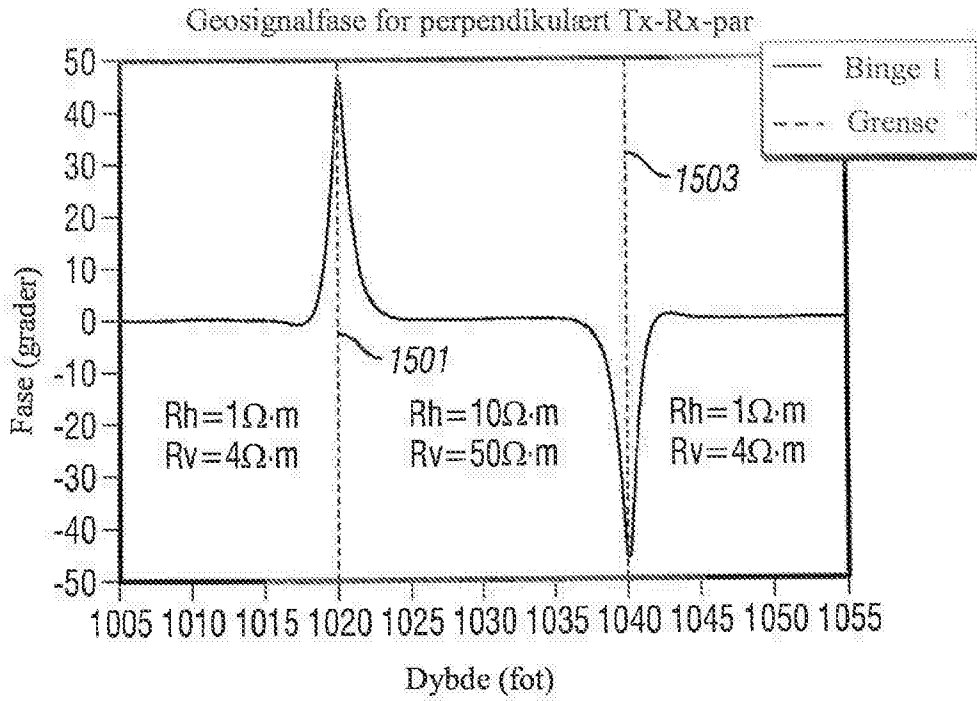


FIG. 15

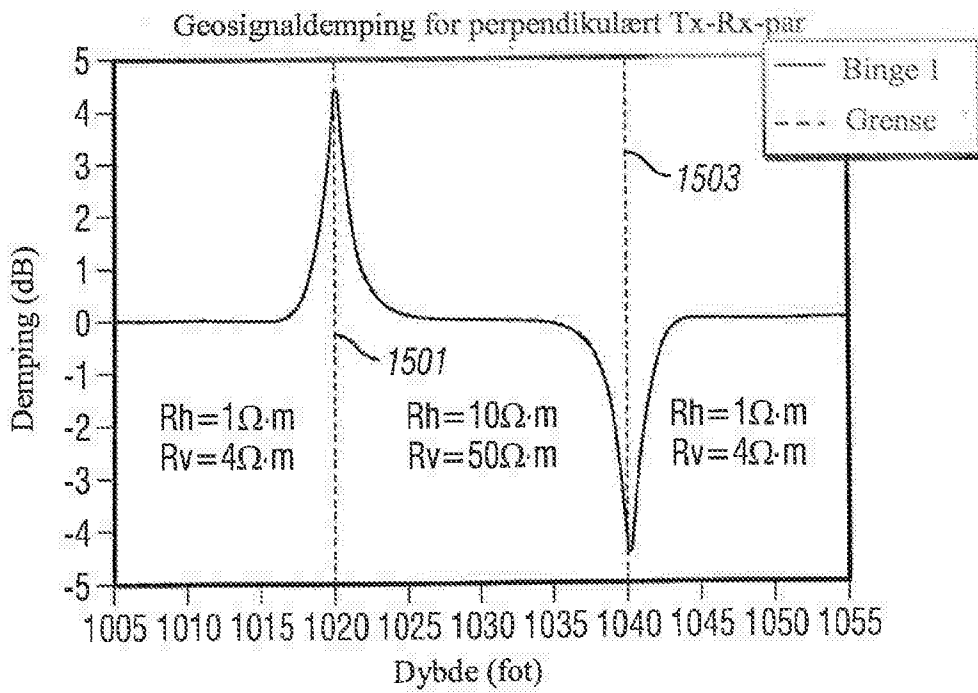


FIG. 16

13/14

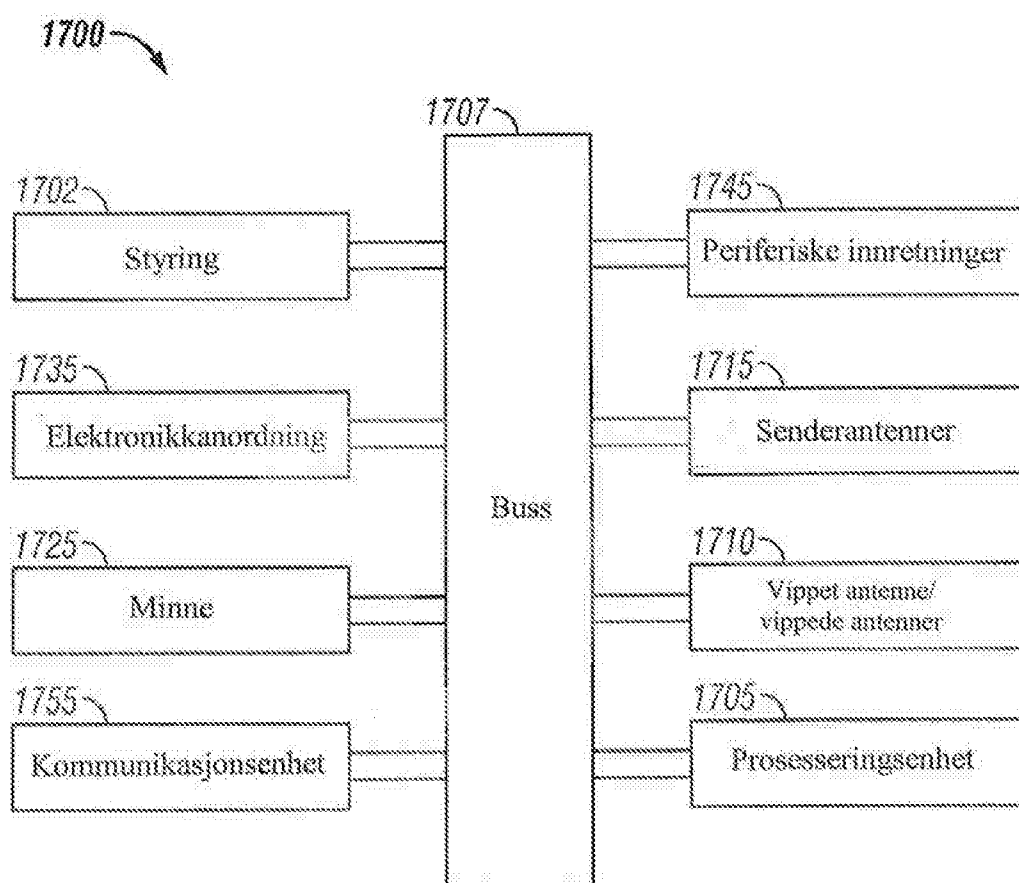


FIG. 17

14/14

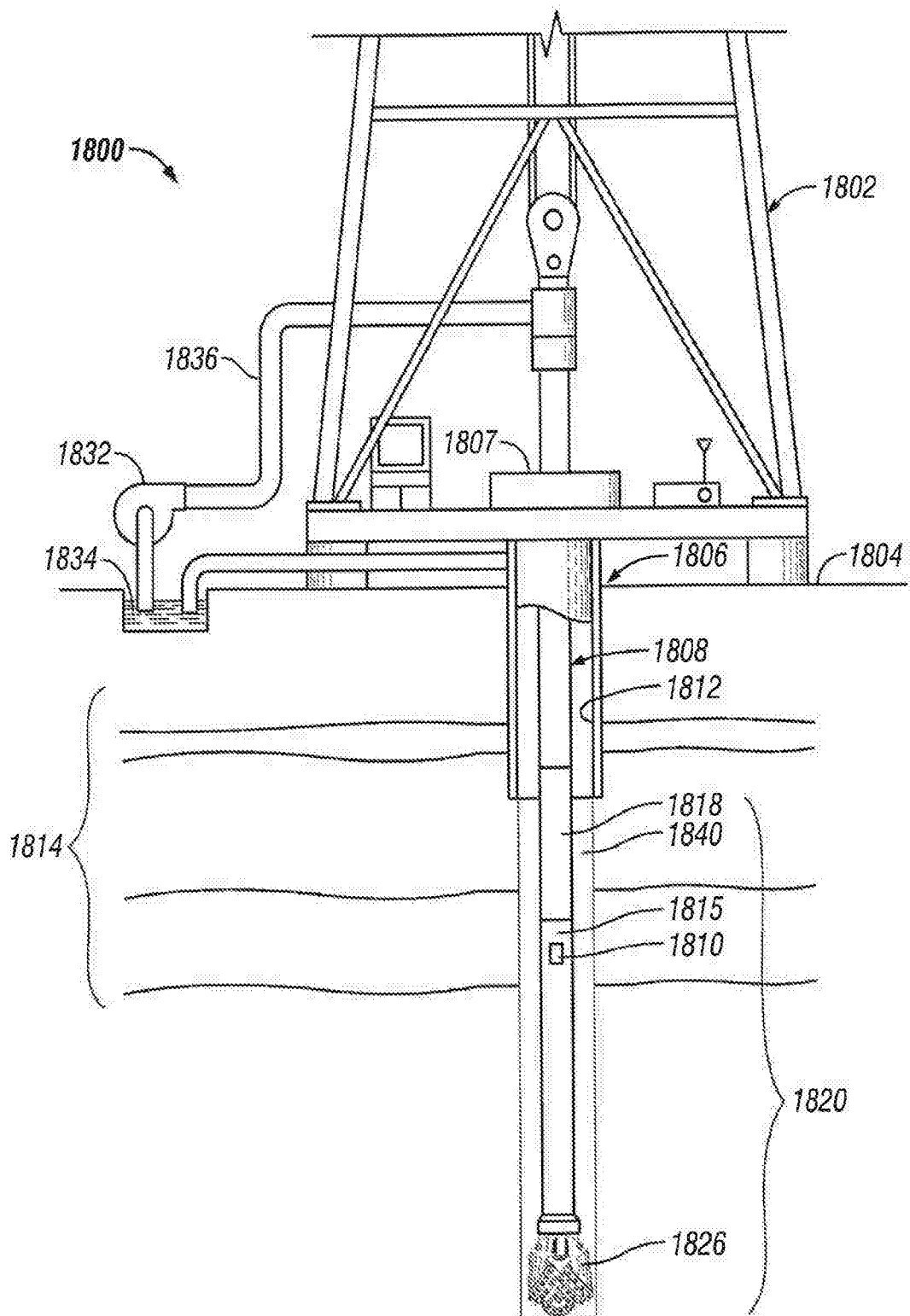


FIG. 18