



(12) PATENT

(11) 344220

(13) B1

NORGE

(19) NO

(51) Int Cl.

E21B 47/00 (2012.01)

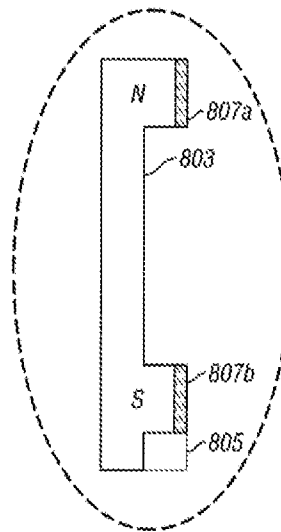
G01N 29/07 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20110034	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	2009.07.08 PCT/US2009/049923
(22)	Inng.dag	2011.01.11	(85)	Videreføringsdag	2011.01.11
(24)	Løpedag	2009.07.08	(30)	Prioritet	2008.07.08, US, 12/169,424
(41)	Alm.tilgj	2011.01.24			
(45)	Meddelt	2019.10.14			
(73)	Innehaver	Baker Hughes, a GE company, LLC, 17021 Aldine Westfield, TX77073 HOUSTON, USA			
(72)	Oppfinner	Joseph G Barolak, 34 W. Rock Wing P1, TX77381 SPRING, USA			
(74)	Fullmektig	BRYN AARFLOT AS, Stortingsgata 8, 0161 OSLO, Norge			

(54)	Benevnelse	System for å måle skjærspenning i brønnrør
(56)	Anførte publikasjoner	WO 2008/086463 A1
(57)	Sammendrag	

Et apparat for å vurdere muligheten for føringsrørsvikt i et borehull måler asimutiske endringer i en egenskap som reaksjon på asimutiske endringer i aksialspenning. Målingene kan være av lyd hastighet, magnetisk permeabilitet og Barkhausen-støy.



BAKGRUNN FOR OPPFINNELSEN

1. Oppfinnelsens område

[0001] Foreliggende oppfinnelse tilveiebringer et apparat og en fremgangsmåte for å teste den strukturelle integriteten til produksjonsrør og fôringsrør som anvendes i et borehull. Mer spesifikt omhandler foreliggende oppfinnelse et apparat og en fremgangsmåte som anvender ultrasoniske bølger for å estimere spenningen i rørsesjoner i et borehullsmiljø.

2. Beskrivelse av beslektet teknikk

[0002] Miljøforholdene som produksjonsfôringsrør og produksjonsrør som anvendes ved utvinning av hydrokarbon utsettes for kan resultere i oppbygging av spenninger i produksjonsrøret. Denne spenningen i produksjonsrøret kan være et resultat av trykk- og temperaturvariasjoner under produksjon, bevegelse av formasjonen som følge av trykkfall, "flyt" av saltformasjoner, etc. Denne spenningen kan til slutt føre til kollaps eller skjæring av fôringsrør eller produksjonsrør, noe som setter brønnen ut av drift. Kjente metoder har i alminnelighet omfattet å vente til denne spenningen har blitt så høy at det oppstår mekanisk deformasjon før spenningen kan oppdages.

[0003] Spenningsoppbygging kan også forekomme i en borestreng under boring av et borehull. Under boreoperasjoner er det ikke uvanlig at borestrengen setter seg fast. For å få løsnet det fastkilte røret er det først nødvendig å bestemme det øverste "frie" punktet av borerøret. Dette gjøres ved å måle dreiemomentet og/eller trekraften bevirket fra overflaten eller den fysiske strekken i borerøret som følge av dreiemomentet eller trekraften.

[0004] Belastning på et fôringsrør eller produksjonsrør kan være i form av en aksial last, et periferisk dreiemoment eller et bøyemoment. Selv om belastninger blir påført på boreutstyret mens det er i bruk i borehullsmiljøet, blir testing med henblikk på slitasje typisk utført oppihulls eller i et laboratorium, ofte ved å observere restspenningen på stammen fra bruken av den. Når en belastning blir påført på et materiale og deretter fjernet, forblir det i alminnelighet en restspenning i materialet. Denne restspenningen blir ofte observert ved å se etter atomiske forskyvninger på krystallnivå i materialet, og kan anvendes for å bestemme egenskaper knyttet til materialets strukturelle integritet. Forskjellige metoder har vært utviklet for å

observere restspenning i materialer, omfattende røntgendiffraksjonsmetoder, bestemmelse av magnetisk permeabilitet og ultrasonisk testing.

[0005] Endringer i ultrasonisk bølgeforplantningshastighet, sammen med energitap fra vekselvirkninger med materialers mikrostrukturer anvendes ofte for på en ikke-destruktiv måte å innhente informasjon om egenskaper ved materialet. En ultrasonisk bølge kan bli generert i en materialprøve, så som en massiv stråle, ved å skape en impuls i ett område av prøven. Etter hvert som bølgen forplanter seg gjennom prøven, vil spenninger og andre materialendringer eller ufullkommenheter påvirke bølgen. Når den påvirkede bølgen blir registrert, kan beskaffenheten til spenningene i materialet bli bestemt. Målinger av lyd hastighet og ultrasonisk bølgedempning kan bli relatert til de elastiske egenskapene, som kan bli anvend for å karakterisere strukturen til de polykrystallinske metallene.

[0006] Hastighetsmålinger er av interesse i longitudinalbølger som forplanter seg i gasser, væsker og faste stoffer. I faste stoffer er transversalbølger (skjærbølger) også av interesse. Hastigheten til en longitudinalbølge er uavhengig av en prøves geometri når dimensjonene ved rette vinkler på prøven er store sammenliknet med prøvearealet og med bølgelengden. Hastigheten til en transversalbølge påvirkes lite av prøvens fysiske dimensjoner. Relasjonen mellom spenning og hastighet er beskrevet for eksempel av Cantrell og Chern, "Relative Slope Invariance of Velocity-Stress and Strain-Stress Curves", Ultrasonics Symposium, 1981.

[0007] Måling av ultrasonisk hastighet gjøres ved å måle tiden det tar for en ultralydpuls å forplante seg fra én signalomformer til en annen (utsending-mottak-scenario) eller returnere til den samme signalomformeren (puls-ekko-scenario). En annen målemetode sammenlikner fasen til den detekterte lydbølgen med den til et referansesignal, idet små endringer i signalomformer-separasjonen sees som små faseendringer, fra hvilke lyd hastigheten kan beregnes. Disse metodene er egnet til å estimere akustisk hastighet til innenfor omtrent én hundredel. Standard praksis for å måle hastighet i materialer er beskrevet i detalj i American Society for Testing and Materials (ASTM), publikasjon E494. Måling av restspenning i sylindere har vært beskrevet for eksempel av Frankel m.fl., "Residual Stress Measurement in Circular Steel Cylinders", Ultrasonics Symposium, 1983.

[0008] Ved petroleumsleting er tid som brukes på å heve og senke en boreanordning ut av og inn i et borehull tid som i stedet kunne vært brukt til leting og, er således

dyrt. Historisk har belastning på en rørseksjon som inneholder boreutstyr som anvendes i et borehull kun vært bestemt ved å se etter faktisk fysisk bevegelse av rørseksjonen (dvs. "freepoint"-indikatorer) eller ved fysisk fordreining av rørseksjonen (dvs. inspeksjon av føringsrør). WO 2008/086463 A1 har en tidligere prioritet enn
5 prioriteten til den foreliggende patentsøknad og er publisert mellom den foreliggende søknadens prioritetsdag og internasjonale leveringsdag. Derfor er kun nyheten av den foreliggende oppfinnelse blitt vurdert i forhold til det som fremgår av ovennevnte publikasjon. WO 2008/086463 A1 beskriver et apparat for evaluering av et rør i et borehull, omfattende minst to elektromagnetiske akustiske transdusere. Transdu-
10 serne er konfigurert til å generere og motta første og andre akustiske bølger i røret. En forskjell i hastigheten til de to akustiske bølgene er indikativ for et spenningsfelt i røret. Følgelig er det ønskelig å kunne utføre spenningstesting på en boreanordning for å frembringe målinger nedihulls.

OPPSUMMERING AV OPPFINNELSEN

[0009] Hovedtrekkene ved den foreliggende oppfinnelse fremgår av de selvstendige patentkrav. Ytterligere trekk ved oppfinnelsen er angitt i de uselvstendige krav. Én utførelsesform av oppfinnelsen er et apparat for å identifisere en skjærspenning i en rørseksjon inne i et borehull. Apparatet omfatter et loggeverktøy omfattende minst én
20 signalomformer innrettet for å generere en bølge i rørseksjonen. Apparatet omfatter også flere mottakere asimutisk fordelt på loggeverktøyet. Hver av mottakerne er innrettet for å generere et signal som reaksjon på den genererte bølgen og en asimutisk spenningsfordeling i rørseksjonen. Apparatet omfatter også minst én prosessor innrettet for å bestemme fra signalet fra hver av de flere mottakerne en angivelse av den
25 asimutiske spenningsfordelingen i rørseksjonen, og estimere fra angivelsen av den asimutiske spenningsfordelingen en verdi for bøyepeningen i rørseksjonen.

[0010] En annen utførelsesform av oppfinnelsen er en fremgangsmåte for å identifisere en skjærspenning i en rørseksjon inne i et borehull. Fremgangsmåten omfatter det å anvende minst én signalomformer på et loggeverktøy for å generere en bølge i
30 rørseksjonen, og anvende hver av flere mottakere asimutisk fordelt på loggeverktøyet for å generere et signal som reaksjon på den genererte bølgen og en asimutisk spenningsfordeling i rørseksjonen. Fremgangsmåten omfatter videre det å bestemme fra signalet fra hver av de flere mottakerne en angivelse av den

asimutiske spenningsfordelingen i rørseksjonen, og estimere fra angivelsen av den asimutiske spenningsfordelingen en verdi for bøyespenningen i rørseksjonen.

[0011] En annen utførelsesform av oppfinnelsen er et datamaskinlesbart medium til bruk med et apparat for å identifisere en skjærspenning i en rørseksjon inne i et borehull. Apparatet omfatter minst én signalomformer på et loggeverktøy innrettet for å generere en bølge i rørseksjonen, og flere mottakere asimutisk fordelt på loggeverktøyet, der hver av de flere mottakerne er innrettet for å generere et signal som reaksjon på den genererte bølgen og en asimutisk spenningsfordeling i rørseksjonen. Mediet omfatter instruksjoner som setter minst én prosessor i stand til å bestemme fra signalet fra hver av de flere mottakerne en angivelse av den asimutiske spenningsfordelingen i rørseksjonen, og estimere fra angivelsen av den asimutiske spenningsfordelingen en verdi for bøyespenningen i rørseksjonen. Mediet kan omfatte et ROM, et EPROM og EEPROM, et flashminne og/eller et optisk platelager.

KORT BESKRIVELSE AV TEGNINGENE

[0012] For en detaljert forståelse av foreliggende oppfinnelse henvises til den følgende detaljerte beskrivelsen av oppfinnelsen, sett sammen med de vedføyde tegningene, der:

Figur 1 er en skjematisk illustrasjon av et kabelført loggesystem;

Figur 2A er en illustrasjon av et loggeverktøy ifølge foreliggende oppfinnelse inne i et fôret borehull med dårlig sementering;

Figur 2B viser et eksempel på sideveggpute som inneholder en oppstilling av signalomformere i stand til å utføre fremgangsmåten ifølge foreliggende oppfinnelse;

Figurene 3A-E viser forskjellige hensiktsmessige signalomformerutførelser som kan anvendes på et materiale og resultantkrefter på overflaten av materialet for å generere akustiske pulser;

Figur 4 er en skjematisk illustrasjon av to EMAT-omformere innrettet for å generere skjærbølger i to forskjellige retninger;

Figur 5 illustrerer bøyning av fôringsrør som følge av synkning av havbunnen der en plattform befinner seg;

Figurene 6A, 6B viser de forskjellen i aksialspenningene som følge av torsjon på et fôringsrør;

Figurene 7A, 7B og 7C viser en utførelsesform av oppfinnelsen der endringer av magnetisk permeabilitet kan bli målt; og

Figur 8 viser en utførelsesform av oppfinnelsen der støy som følge av Barkhausen-effekten blir anvendt.

5

DETALJERT BESKRIVELSE AV OPPFINNELSEN

[0013] Foreliggende oppfinnelse er beskrevet i forbindelse med spesifikke loggeinstrumenter som kan være en del av en streng av flere loggeinstrumenter for å gjennomføre kabelførte loggeoperasjoner. Det må forstås at valget av de konkrete instrumentene som omtales her ikke skal forstås som en begrensning, og at fremgangsmåten ifølge foreliggende oppfinnelse også vil kunne anvendes med andre loggeinstrumenter.

[0014] Figur 1 viser et loggeverktøy 10 opphengt i et borehull 12, som går gjennom jordformasjoner så som 13, etter en passende kabel 14 som er ført over en trinse 16 anordnet på boreriggen 18. I henhold til industristandarden omfatter kabelen 14 et belastningselement og syv ledere for å sende kommandoer til verktøyet og for å motta data tilbake fra verktøyet, i tillegg til kraft til verktøyet. Verktøyet 10 blir hevet og senket av et heiseverk 20. En elektronikkmodul 22, på overflaten 23, sender de nødvendige driftskommandoene nedihulls og mottar tilbake data som kan bli logget på et lagringsmedium av en hvilken som helst ønsket type for sanntids eller senere prosessering. Dataene kan bli overført i analog eller digital form. Dataprosessorer, så som en passende datamaskin 24, kan være tilveiebragt for å utføre dataanalyse i felten i sanntid, og/eller de loggede dataene kan bli sendt til et prosesseringssenter for prosessering eller eventuelt postprosessering av dataene. Systemet omfatter hittil ukjente trekk som er beskrevet nedenfor.

[0015] Figur 2A er en skjematisk perspektivskisse av et borehullsystem i henhold til foreliggende oppfinnelse. Verktøyet 10 omfatter oppstillingene 26 og er opphengt etter kabelen 14. Elektronikkmoduler 28 og 38 kan være plassert på passende steder i systemet, og ikke nødvendigvis på de angitte stedene. Komponentene kan være montert på en stamme 34 på en tradisjonell velkjent måte. I et eksempel på enhet er den utvendige diameteren til enheten omtrent 12,7 cm (5 tommer), og enheten er omtrent 4,6 meter (femten fot) lang. En orienteringsmodul 36 omfattende et magnetometer og en akselerometer eller et treghetsbasert retningsstyringssystem kan være

30

anordnet over avbildningsenhetene 26 og 32. Den øvre delen 38 av verktøyet 10 inneholder en telemetrimodul for prøvetaking, digitalisering og overføring av data-samplene fra de forskjellige komponentene oppihulls til overflateelektronikken 22 (figur 1) på en tradisjonell måte. Dersom akustiske data samles inn, blir de fortrinnsvis digitalisert, selv om dataene i en alternativ utførelse kan bli beholdt i analog form for overføring til overflaten, der de blir digitalisert på et senere tidspunkt av overflateelektronikken 22.

[0016] Figur 2B viser et eksempel på sideveggpute som inneholder signalomformere i stand til å utføre fremgangsmåten ifølge foreliggende oppfinnelse. Sideveggputen 40 omfatter én eller flere akustiske følere 45. I én utførelsesform av oppfinnelsen omfatter de akustiske følerne elektromagnetiske akustiske signalomformere (EMAT - ElectroMagnetic Acoustic Transducer) anordnet i et mønster for å innhente målinger av ultrasoniske hastigheter for det formål å bestemme en spenning i et materiale. Sideveggputen 40 er festet til stammen 34 i figur 2A ved hjelp av støtter 42.

Mønsteret av EMAT-omformere vist i figur 2B er bare ett eksempel på mange mulige mønstre som kan anvendes.

[0017] I en annen utførelsesform av oppfinnelsen kan følerne være anordnet på to eller flere vertikalt atskilte sideveggputer. En slik anordning gjør det lettere å innhente aksielle målinger som beskrevet nedenfor.

[0018] Foreliggende oppfinnelse anvender i normalt ortogonale akustiske hastighetsmålinger i stålrørseksjonene for å bestemme in-situ spenning. I én mulig utførelsesform blir hastigheten til en (akustisk) vibrasjonsbølge som forplanter seg aksielt i et føringsrør sammenliknet med hastigheten til en tilsvarende bølge som forplanter seg i ringretningen ved hovedsakelig samme punkt i føringsrøret. Forskjeller i de resulterende målte hastighetene indikerer enten dreiemoment eller aksialspenning i føringsrøret. Med en mer avansert anordning som anvender segmenterte periferi- eller aksialmålinger kan forskjeller i aksialspenning rundt føringsrørets periferi indikere bøyelaster eller ødeleggende laster som blir påført føringsrøret av formasjonen. Videre kan lokale spenningsmålinger gjort i områder med korrosjon eller mekaniske defekter i føringsrøret bli anvendt for å predikere mulige steder for brudd eller sprekker i føringsrøret. Siden egenskapene til stålet i føringsrør kan variere, er bruk av ortogonale målinger avgjørende for å skille endringer forårsaket av spenning fra miljøendringer i materialer.

[0019] Måling av akustisk gangtid kan erstattes med alternative målinger som påvirkes av føringsrørspenning. Én alternativ måling kan være magnetisk permeabilitet. Vinkelen mellom de to målingene kan være en annen enn ortogonal. En 90 graders vinkel vil imidlertid maksimere målingens følsomhet.

5 [0020] Målinger av spenning i føringsrør eller produksjonsrør nede i brønnhull har flere mulige anvendelser. Disse kan anvende deformasjon av føringsrør, "freepoint"-indikatorer og formasjonsspenninger (overført til føringsrøret). Den beskrevne fremgangsmåten tilveiebringer en mulig fremgangsmåte for å foreta en absolutt spenningsmåling i et føringsrør eller produksjonsrør.

10 [0021] Foreliggende oppfinnelse beskriver et apparat og en fremgangsmåte for å utføre akustisk testing på et føringsrør eller en rørdel. En ultrasonisk bølge kan bli generert ett sted på rørsesjonen og bølgen kan senere bli detektert på det samme eller på et annet sted på rørsesjonen. Én måte å generere ultralyd i et materiale er via en EMAT. En EMAT omfatter et magnetisk element, så som en permanent-
 15 magnet, og et sett av ledninger. Generelt blir EMAT-omformereren plassert mot materialet som skal testes slik at settet av ledninger befinner seg mellom det magnetiske elementet og materialet som skal testes. Når en ledning eller spole blir plassert nær til overflaten av et elektrisk ledende objekt og drives av en strøm ved en ønsket ultrasonisk frekvens, blir virvelstrømmer indusert i et område nær overflaten. Dersom
 20 det også eksisterer et statisk magnetfelt, vil disse strømmene utsettes for en Lorentz-kraft på formen

$$\vec{F} = \vec{J} \times \vec{B}, \quad (1)$$

der \vec{F} er volumkraft per volumenhet, \vec{J} er indusert dynamisk strømtetthet og \vec{B} er statisk magnetinduksjon. Følgelig konverterer Lorentz-kraften den elektriske energien
 25 til en mekanisk vibrasjon, som kan anvendes for å teste materialet. Alternativt kan EMAT-omformere også være basert på bruk av magnetostriktive egenskaper ved føringsrøret / produksjonsrøret.

[0022] Siden ingen koplingsanordning blir anvendt mellom EMAT-omformereren og materialet som testes, kan EMAT-omformereren operere uten kontakt ved høye
 30 temperaturer og på fjerne steder. Følgelig kan EMAT-omformere unngå feil knyttet til koblingsvariasjon i kontaktmålinger og dermed gi nøyaktige målinger av hastighet eller dempning.

[0023] Spolen og magnetstrukturen som anvendes i en EMAT kan være innrettet for å eksitere komplekse bølgemønstre og polariseringer. Figurene 3A-3F viser et antall anvendelige EMAT-utførelser omfattende en formagnetiseringsmagnet, en spole-utførelse og resulterende krefter på overflaten av det faste stoffet for å generere akustiske pulser med bruk av EMAT-omformere. Utførelsene i figurene 3A, 3B og 3C eksiterer stråles som forplanter seg normalt på overflaten av et halvrom og genererer, henholdsvis, stråler med radielle, longitudinale og transversale polarisasjoner. Utførelsene i figurene 3D og 3E anvender romlig varierende spenninger for å eksitere stråler som forplanter seg i skrå vinkler eller langs overflaten av en komponent. Disse utførelsene er vist for illustrasjonsformål, men et hvilket som helst antall variasjoner av disse utførelsene kan anvendes.

[0024] Figur 3A viser et tverrsnitt av en EMAT-utførelse med en spiralspole for å eksitere radielt polariserte skjærbølger som forplanter seg normalt på overflaten. Permanentmagneten 301 og rørseksjonen 307 er atskilt av et rom som inneholder en ledning representert ved én eller flere ledninger vist som ledningssegmenter 303 og 305. Ledningssegmentene 303 og 305 representerer atskilte grupper av ledningssegmenter som fører strøm i antiparallele retninger på måten illustrert i figur 3A, og med det eksiterer de radielle polariserte skjærbølgene som forplanter seg normalt på overflaten.

[0025] Figur 3B viser et tverrsnitt av en EMAT-utførelse med et tangentielt felt for å eksitere langsgående polariserte kompresjonsbølger som forplanter seg normalt på overflaten. Permanentmagneten 311 er plassert mot rørseksjonen for å generere et magnetfelt parallelt til overflaten. En magnet, så som magneten 311 i figur 3B, som har en hesteskoutforming kan anvendes. Ledningssegmenter 313 forsyner en strøm som går mellom de magnetiske polene vinkelrett på retningen til det lokale magnetfeltet til magneten 311. Ledningssegmenter 315 forsyner en strøm som strømmer antiparallelt på strømmen i ledningssegmentene 313 i et område på utsiden av de magnetiske polene.

[0026] Figur 3C viser et tverrsnitt av en EMAT-utførelse med et normalt felt for å eksitere plane polariserte skjærbølger som forplanter seg normalt på overflaten. Denne utførelsen omfatter et par av magneter 321 og 323 anordnet for å tilveiebringe to antiparallele magnetfelter på overflaten av rørseksjonen. Permanentmagnetene

321 og 323 er atskilt fra rørseksjonen 329 av et rom som inneholder én eller flere ledninger 325 og 327 som forsyner en antiparallell strøm.

[0027] Figur 3D viser et tverrsnitt av en EMAT-utførelse med en meanderspole for å eksitere skrått forplantende L- (lange) eller SV-bølger, Rayleigh-bølger eller ledede moder (så som Lamb-bølger) i plater. Denne utførelsen omfatter en permanentmagnet og en rørseksjon atskilt av et rom som inneholder ledningssegmenter, så som én eller flere ledninger 333 og 335, som forsyner strøm som går i sekvensielt alternerende retninger.

[0028] Figur 3E viser et tverrsnitt av en periodisk EMAT med en permanentmagnet for å eksitere streifende (grazing) eller skrått forplantende, horisontalt polariserte (SH) bølger eller ledede SH-moder i plater. Flere permanentmagneter, så som magneter 341 og 343, er anordnet for å tilveiebringe alternerende magnetiske polariteter på overflaten av rørseksjonen. Magnetanordningen og rørseksjonen er atskilt av et rom som inneholder en ledning 345 som forsyner en strøm i én enkelt retning.

[0029] For blikk og plater som utsettes for en påført spenning eller har en restspenning kan prinsipspenningene σ_a og σ_b bli avledet fra ortogonale hastighetsmålinger. Likn. (2) relaterer ultrasoniske hastigheter til prinsipspenningene som oppstår i blikk eller en plate:

$$2\rho V_{\text{avg}} [V(\theta) - V(\theta + \pi/2)] = \sigma_a - \sigma_b \quad (2)$$

I Likn. (2) er V_{avg} den gjennomsnittlige skjærbølgehastigheten og ρ er tettheten til et materiale. $V(\theta)$ og $V(\theta+\pi/2)$ er innbyrdes vinkelrette bølgehastigheter som kan bli detektert ved en signalomformer. Det vil forstås at hastighetsforskjellen $V(\theta) - V(\theta+\pi/2)$ er størst når de ultrasoniske forplantningsretningene er parallelle med prinsipspenningsaksene. Absoluttverdien til denne forskjellen, sammen med tettheten og gjennomsnittshastigheten, kan anvendes for å estimere differansen mellom prinsipspenningene.

[0030] Figur 4 viser en anordning av to EMAT-omformere 145A og 145B. Sideveggputen 40 illustrert i figur 2B er ikke vist. Når EMAT-omformerne 145A og 145B er av typen vist i figur 3E, vil de generere en horisontalt polarisert skjærbølge som forplanter seg langs verktøyaksen og periferisk om verktøyaksen, og således gi de nødvendige målinger for å løse likn. (2). Fagmannen vil vite at det med bruk av en oppstilling av signalomformere som vist i figur 2B ville være mulig å generere horisontalt polariserte skjærbølger som forplanter seg i forskjellige retninger. EMAT-

omformerne, i tillegg til å tjene som sendere, kan også tjene som mottakere, slik at det ved å ha to EMAT-omformere med samme polarisering ved forskjellige romlige posisjoner er mulig å bestemme bølgens forplantningshastighet. I tillegg, ved å ha slike signalomformere anordnet på forskjellige sideveggputer på loggeverktøyet nede i hullet er det mulig å gjøre målinger av spenningsforskjellene langs periferien rundt borehullet.

[0031] Ved å anvende signalomformere av typen vist i figur 3B vil det være mulig å gjøre målinger av kompresjonshastighet ved forskjellige asimutposisjoner langs borehullet. Variasjoner i denne hastigheten er en indikasjon på periferiske variasjoner i spenningen. Det samme gjelder ved anvendelse av signalomformere av typen vist i figur 3C. Med bruk av signalomformere av typen vist i figur 3D ville det imidlertid være mulig å generere Rayleigh-bølger på landbølger langs overflaten av rørseksjonen.

[0032] Videre vil fagmannen vite at forplantningshastigheten til en vertikalt polarisert skjærbølge kan være forskjellig fra forplantningshastigheten til den horisontalt polariserte skjærbølgen i samme retning. Denne forskjellen kan også være en indikasjon på spenningen i rørseksjonen. Slike målinger kan oppnås ved å anvende signalomformere av typen vist i figurene 3D og 3E.

[0033] I én utførelsesform blir hastigheten til en akustisk bølge som forplanter seg aksielt i føringsrøret sammenliknet med hastigheten til en tilsvarende bølge som forplanter seg i ringretningen ved hovedsakelig samme punkt i føringsrøret. Forskjeller i de målte hastighetene gir en indikasjon på dreiemoment eller aksial spenning i føringsrøret. Med en mer komplisert anordning som anvender segmenterte periferiske eller aksielle målinger gjort med sideveggpute-monterte EMAT-omformere gir forskjeller i aksialspenning rundt periferien av føringsrøret en indikasjon om at bøyelaster og ødeleggende laster blir påført på føringsrøret av formasjonen. Lokale testmålinger gjort i området ved korrosjon av eller mekaniske defekter i føringsrøret anvendes for å predikere potensielle sviktpunkter for føringsrøret. Som vil være kjent for fagmannen vil slik korrosjon eller mekaniske defekter i føringsrør føre til endringer i spenningsfeltet. Alle disse anvender målinger med ortogonal forplantningsretning eller ortogonal polarisasjon, eller begge deler. Egenskapene til føringsrørstål vil kunne variere, slik at bruk av slike målinger er viktig for å skille endringer forårsaket av spenning fra endringer forårsaket av forskjeller i stålet.

[0034] Figur 5 illustrerer en viktig anvendelse av fremgangsmåtene for å bestemme spenninger beskrevet over. Det er vist en produksjonsplattform 501 som hviler i en innledende posisjon på havbunnen 505. Havoverflaten er vist ved 503. Over tid vil produksjon av hydrokarboner fra undergrunnen normalt føre til nedsynkning av havbunnen. De nye posisjonene til havbunnen og produksjonsplattformen er angitt henholdsvis som 505' og 501'. Som et eksempel var nedsynkningen av havbunnen på Ekofisk-feltet i den norske delen av Nordsjøen 5,5 m etter 25 år med produksjon, og den fortsetter med en hastighet på 0,5 meter/år. Som følge av denne nedsynkningen kan en stor del av produksjonsfôringsrøret 511 ha blitt deformert, og den deformerte posisjonen er angitt som 511'. Den delen av fôringsrøret som er forholdsvis uberørt er angitt som 513.

[0035] Fagmannen vil vite at slike store forskyvninger av fôringsrøret skaper store spenninger og kan føre til betydelig svekkelse og mulige katastrofal svikt i fôringsrøret. Som følge av dette er det viktig å være i stand til å bestemme spenningene før de blir så store at fôringsrøret nærmer seg sin flytegrense.

[0036] Én utførelsesform av oppfinnelsen ser for seg bruk av lydhastighetsmålinger av typen omtalt over for å identifisere spenningene i fôringsrøret. Figur 6A viser et eksempel på fôringsrør 511. Effekten av nedsynkningen er at fôringsrøret utsettes for en bøye- eller skjærspenning så som 603. En slik bøyespenning kan lett innses å forekomme dersom fôringsrøret innledningsvis ikke er vertikalt, men kan også forekomme når fôringsrøret innledningsvis er vertikalt. I sistnevnte tilfelle er utbuling av fôringsrøret den dominerende deformasjonsmåten, men den lokale bøye- eller skjærspenningen er fortsatt den bestemmende faktoren for svikt av fôringsrøret.

[0037] Vist skjematisk i figur 6B er de aksielle spenningene som følge av bøyespenningen 603. I den høyre halvdel av fôringsrøret kan spenningen være en strekkspenning, mens i den venstre halvdel av fôringsrøret kan spenningen være en trykkspenning. Spenningene øker med den radielle avstanden fra midten av fôringsrøret, vist ved størrelsen til x-ene og o-ene. I en asimut som er 90° på den som er vist vil de aksielle spenningene være null. Det skal bemerkes at betegnelsene "trykkspenning" og "strekkspenning" skal forstås relativt: det som er viktig er forskjellen i aksialspenning mellom de sidene av fôringsrøret som befinner seg asimutisk 180° fra hverandre. Ved hjelp av signalomformeranordningene beskrevet over er det således mulig å estimere endringer i aksialspenningen som funksjon av

asimutvinkel og radiell avstand fra sentrum av borehullet. Disse kan anvendes sammen med kjente metoder for å predikere muligheten for svikt før deformasjonen av føringsrøret nærmer seg sviktgrensen.

[0038] En annen utførelsesform av oppfinnelsen måler endringer i magnetisk permeabilitet som en spenningsindikator. Et passende verktøy for dette formålet er illustrert i figurene 7A, 7B. Verktøyet er forsynt med en aksielt rettet magnetiserings-
5 spole 740 på et passende sted på stammen 34 og sideveggputen(e) er forsynt med én eller flere tverrstilte mottakerspoler 701a,... 701n. Med flere slike sideveggputer er det mulig å oppnå en full 360° asimutisk dekning av føringsrøret i borehullet. Magne-
10 tiseringsspolen 740 drives ved en forvalgt lav frekvens og spenningen som induseres i mottakerspolene 701a,... 701n er relatert til den magnetiske permeabiliteten til føringsrøret nær mottakerspolen. Spenningslogger for mottakerspolen blir kjørt for å skaffe en indikasjon på endringene i den magnetiske permeabiliteten til føringsrøret med asimutretning. Idéen bak dette her vært beskrevet i US-patentet 4,708,204 til
15 Stroud, og krever måling av strømmen indusert i en aksielt rettet mottakerspole i både ubelastet og belastet tilstand.

[0039] Som angitt i Stroud vil magnetisk fluks indusert i borerøret av et inngangssignal generere virvelstrømmer som igjen vil skape et elektromagnetisk felt. Dette sekundære magnetfeltet generert av virvelstrøm i føringsrøret kan bli detektert av en
20 mottakerspole. Dersom inngangssignalet og alle andre variabler holdes konstant, vil signalet på mottakerspolen variere i amplitude og fase som funksjon av rørets magnetiske permeabilitet. Som omtalt i *Stroud* vil spenningsendringer i føringsrøret resultere i endringer i magnetisk permeabilitet, som igjen påvirker strømmen som induseres i en aksielt rettet spole. I foreliggende oppfinnelse gir de tverrstilte spolene en
25 angivelse av asimutisk spenningsendringer i magnetisk permeabilitet. Et asimutplott av den magnetiske permeabiliteten kan således gi en nøyaktig bestemmelse av retningene til største og minste prinsipalspenning, og absoluttverdien til forskjellen mellom høyeste og laveste permeabilitet er en indikasjon på forskjellen mellom største og minste aksialspenning. Denne metoden krever ikke målinger gjort i en
30 ubelastet tilstand. Metoden kan således bli anvendt for å identifisere nært forstående føringsrørsvikt, som beskrevet i forbindelse med figurene 5-6B. Det ventes at utførelsesformene vist i figurene 7A, 7B vil ha en driftsfrekvens i området fra 100-500 Hz, selv om dette ikke skal forstås som en begrensning. Tilsvarende ventes utførel-

sesformen illustrert i figur 7C, som beskrevet i det følgende, å kjøre i et frekvensområde på fra 500 Hz til 5 KHz.

[0040] Figur 7C viser en anordning der både magnetiseringsspolen og mottaker-
spolen er tverrstilt. I prinsippet vil det mottatte signalet med både magnetiserings-
5 spolen og mottakerspolen tverrstilt ha et høyere signalnivå enn et der bare
mottakerne er tverrstilt (som i figur 7B). I tillegg er avstanden mellom magnetiserings-
spolene 721a.. 721n og mottakerspolene 731a... 731n mindre enn avstanden mellom
magnetiseringsspolen 740 og mottakerspolene 701a... 701n. Dette vil også gi et for-
bedret signalnivå. En mulig ulempe er behovet for å få magnetiseringsspolene 721a..
10 721n i figur 7C korrekt kalibrert.

[0041] Figurene 8A-8B viser en annen utførelsesform av oppfinnelsen. I dette tilfellet
er sideveggputen 40 med følerne forsynt med flere følere 801a,... 801n. Et aksielt
tverrsnitt av en føler er vist i figur 8B. Føleren omfatter en magnet 803, hvis poler står
i kontakt med formasjonen gjennom ferromagnetiske børster. Etter hvert som
15 verktøyet blir trukket aksielt oppover borehullet er den magnetiske flukstettheten i
fôringsrørveggen umiddelbart nedenfor børsten 807b mindre enn i området i fôrings-
røret mellom børstene 808a, 807b. Det er en betydelig endring i den magnetiske
flukstettheten rett nedenfor børsten 807b. Etter hvert som verktøyet beveges vil dette
resultere i en endring av magnetfeltretningen som gjør at magnetiske områder i
20 fôringsrøret endrer orientering. Dette resulterer i Barkhausen-støy. Barkhausen-støy
blir detektert av en induktiv eller annen type magnetfelteføler 805 anordnet i nærheten
av børsten 807b i fôringsrøret. Nivået av Barkhausen-støy blir målt som funksjon av
asimut, og asimutvariasjonen er relatert til asimutisk endring i den magnetiske
permeabiliteten og asimutisk endring i aksialspenningen i fôringsrøret. For formålet
25 med foreliggende oppfinnelse kan den bevegende permanentmagnet-anordningen
803, 807a, 807b betraktes som en sender som endrer orienteringen til magnetiske
områder i fôringsrøret, og magnetfelteføleren 805 er en mottaker som reagerer på
endringer i magnetfeltet.

[0042] I hver av utførelsesformene beskrevet i forbindelse med figurene 6-8 er det
30 med kunnskap om de elastiske egenskapene til fôringsrøret og variasjonen i akus-
tiske eller magnetiske egenskaper med spenning mulig å anvende et tabelloppslag
for å estimere bøyepeningen som fôringsrøret utsettes for, og således iverksette
passende avhjelpende tiltak for å unngå fôringsrørsvikt.

[0043] Den første utførelsesformen av oppfinnelsen beskrevet over er et konkret eksempel på bruk av EMAT-omformere som akustiske følere. Dette skal ikke forstås som en begrensning av oppfinnelsen. Fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen vil også kunne utføres med bruk av andre side-typer følere, så som piezoelektriske signal-

5 omformere og kile-signalomformere. Kile-signalomformere er omtalt for eksempel i US-patentet 4,593,568 til *Telford* m.fl.

[0044] Oppfinnelsen er beskrevet over i forbindelse med en anordning som fraktes på en kabel. Imidlertid kan fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen også bli praktisert med bruk av verktøyet fraktet på en rørseksjon, så som en borestreng eller kveilrør,

10 eller på en vaier.

[0045] Implisitt i prosesseringsmetoden ifølge foreliggende oppfinnelse er bruk av et dataprogram innlemmet på et passende maskinlesbart medium som setter prosessoren i stand til å utføre styringen og prosesseringen. Det maskinlesbare mediet kan omfatte ROM, EPROM, EAROM, flashminne og optisk platelager. Et slikt data-

15 program kan mate ut resultatene av prosesseringen, så som spenningsbegrensningene, til et passende fysisk medium. Dette kan omfatte en fremvisningsanordning og/eller en minneanordning.

P A T E N T K R A V

1. Apparat for bestemmelse av en asimutisk spenningsvariasjon i en rørseksjon (307) inne i et borehull (12), der apparatet omfatter:

5 et loggeverktøy (10) omfattende minst én sender (740, 803, 807a, 807b) innrettet for å generere en bølge i rørseksjonen (307) og til å endre orienteringen til et magnetisk område i rørseksjonen (307);

flere mottakere (701a - 701n, 805) asimutisk fordelt i loggeverktøyet (10), der hver av mottakerne er innrettet for å frembringe et signal som reaksjon på variasjoner i magnetisk permeabilitet som reagerer på endringen av orienteringen til det magnetiske området og som indikerer en asimutisk spenningsfordeling i rørseksjonen (307), hvor signalet reagerer på en strøm i en aksielt orientert sender-spole; og

10 minst én prosessor (24) innrettet for å bestemme fra signalet fra hver av de flere mottakerne en angivelse av den asimutiske spenningsfordelingen i rørseksjonen (307).

2. Apparat ifølge krav 1, der den minst ene prosessoren (24) videre er innrettet for å estimere fra angivelsen av den asimutiske spenningsfordelingen en verdi for en skjærspenning i rørseksjonen (307).

3. Apparat ifølge krav 1, der signalet reagerer på Barkhausen-støy frembrakt av endringen av orienteringen til det magnetiske området.

25 4. Apparat ifølge krav 1, der den minst ene senderen videre omfatter flere elektromagnetiske sendere anordnet på en sideveggpute som er egnet til å mates ut fra et legeme av loggeverktøyet (10).

30 5. Apparat ifølge krav 1, der den minst ene senderen og de flere mottakerne er valgt fra gruppen bestående av: (i) elektromagnetiske akustiske signalomformere, (ii) piezoelektriske signalomformere og (iii) kile-signalomformere.

6. Apparat ifølge krav 5, der de flere mottakerne er anordnet på minst én sideveggpute som er egnet til å mates ut fra et legeme av loggeverktøyet (10).

7. Apparat ifølge krav 1, der den minst ene prosessoren (24) videre er innrettet for å anvende et tabelloppslag for å estimere verdien til skjærspenningen fra angivelsen av den asimutiske spenningsfordelingen.

8. Apparat ifølge krav 1, videre omfattende en føringsanordning innrettet for å frakte loggeverktøyet (10) inn i borehullet (12), der føringsanordningen er valgt fra: (i) en kabel, (ii) en borerørseksjon, (iii) en glatt vaier og (iv) kveilrør.

9. Apparat ifølge krav 1, der rørseksjonen (307) er valgt fra gruppen bestående av: (i) produksjonsrør, (ii) føringsrør og (iii) en borerørseksjon.

10. Fremgangsmåte for å bestemme en asimutisk spenningsvariasjon i en rørseksjon (307) inne i et borehull (12), der fremgangsmåten omfatter det å:

anvende minst én sender (740, 803, 807a, 807b) på et loggeverktøy (10) for å generere en bølge i rørseksjonen (307) og for å endre orienteringen til et magnetisk område i rørseksjonen (307);

anvende hver av flere mottakere (701a - 701n, 805) asimutisk fordelt på loggeverktøyet (10) for å frembringe et signal som reaksjon på variasjoner i magnetisk permeabilitet som reagerer på endringen av orienteringen til det magnetiske området og som indikerer en asimutisk spenningsfordeling i rørseksjonen (307), hvor signalet reagerer på en strøm i en aksielt orientert sender-spole; og

bestemme, fra signalet fra hver av de flere mottakerne, en angivelse av den asimutiske spenningsfordelingen i rørseksjonen (307).

11. Fremgangsmåte ifølge krav 10, videre omfattende det å estimere fra angivelsen av den asimutiske spenningsfordelingen en verdi for en skjærspenning i rørseksjonen (307).

12. Fremgangsmåte ifølge krav 10, videre omfattende det å anvende, for hver av de flere mottakerne, en elektromagnetisk mottaker anordnet på en sideveggpute (40) som er egnet til å mates ut fra et legeme av loggeverktøyet (10), og der signalet som frembringes av hver av de flere mottakerne, indikerer en magnetisk permeabilitet for rørseksjonen (307).
5
13. Fremgangsmåte ifølge krav 10, der signalet reagerer på Barkhausen-støy frembrakt av endringen av orienteringen til det magnetiske området.
14. Fremgangsmåte ifølge krav 10, videre omfattende det å anvende, for den minst ene senderen og de flere mottakerne, minst én av: (i) en elektromagnetisk akustisk signalomformer, (ii) en piezoelektrisk signalomformer og (iii) en kile-signalomformer.
10
15. Fremgangsmåte ifølge krav 14, videre omfattende det å plassere de flere mottakerne på minst én sideveggpute som er egnet til å mates ut fra et legeme av et loggeverktøy (10).
15
16. Fremgangsmåte ifølge krav 10, videre omfattende det å anvende et tabell-oppslag for å estimere verdien til skjærspenningen fra angivelsen av den asimutiske spenningsfordelingen.
20
17. Fremgangsmåte ifølge krav 10, videre omfattende det å frakte loggeverktøyet (10) inn i borehullet (12) på én av: (i) en kabel, (ii) en borerørseksjon, (iii) en glatt vaier og (iv) kveilrør.
25
18. Fremgangsmåte ifølge krav 10, videre omfattende det å velge rørseksjonen (307) fra gruppen bestående av: (i) produksjonsrør, (ii) fôringsrør og (iii) en borerørseksjon.
30
19. Datamaskinlesbart medium til bruk med et apparat for å identifisere en torsjonsspenning i en rørseksjon (307) inne i et borehull (12), der apparatet omfatter:

minst én sender (740, 803, 807a, 807b) på et loggeverktøy (10) innrettet for å generere en bølge i rørseksjonen (307);

5 flere mottakere (701a - 701n, 805) asimutisk fordelt på loggeverktøyet (10), der hver av de flere mottakerne er innrettet for å frembringe et signal som reaksjon på den genererte bølgen og en asimutisk spenningsfordeling i rørseksjonen (307), idet signalet reagerer på en strøm i en aksielt orientert senderspole;

10 der mediet omfatter instruksjoner som setter minst én prosessor (24) i stand til å bestemme, fra signalet fra hver av de flere mottakerne, en indikasjon på den asimutiske spenningsfordelingen i rørseksjonen (307) ved å anvende et tabell-oppslag for å estimere verdien til skjærspenningen fra angivelsen av den asimutiske spenningsfordelingen.

20. Medium ifølge krav 19, videre omfattende minst én av: (i) et ROM, (ii) et EPROM, (iii) et EEPROM, (iv) et flashminne og (v) et optisk platelager.

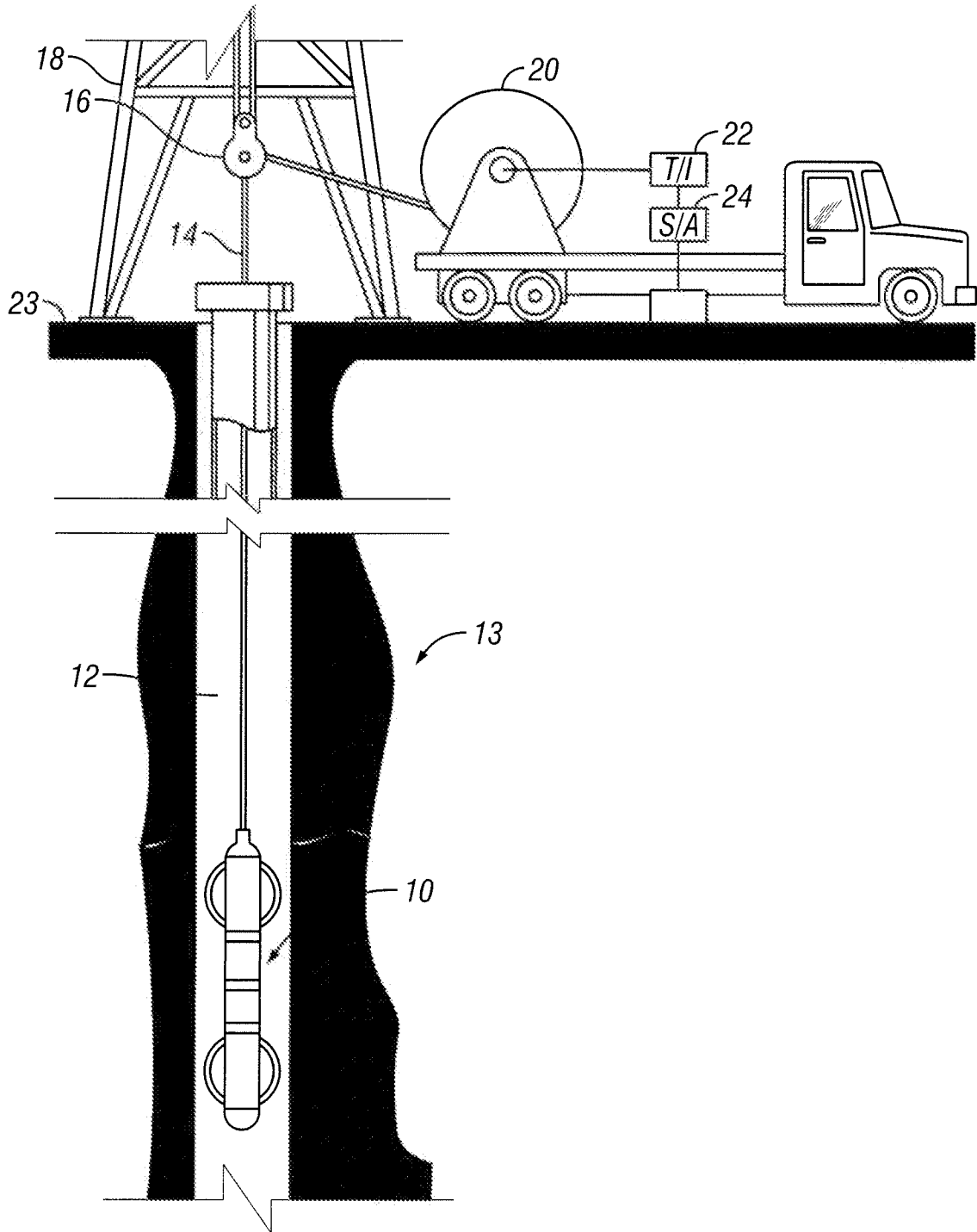
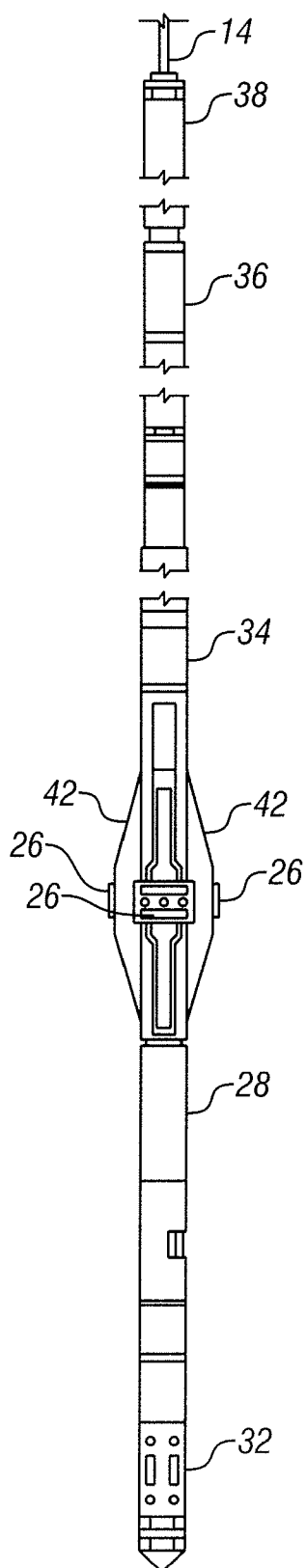
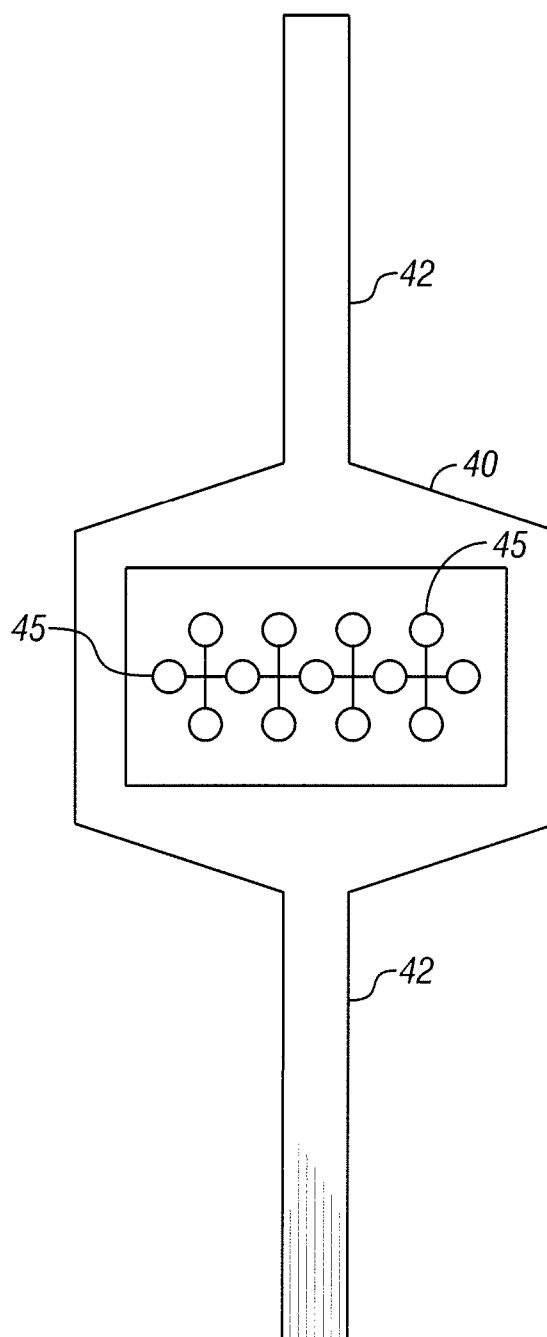


FIG. 1

**FIG. 2A****FIG. 2B**

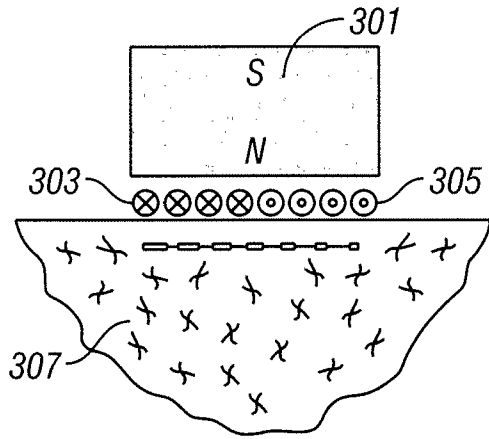


FIG. 3A

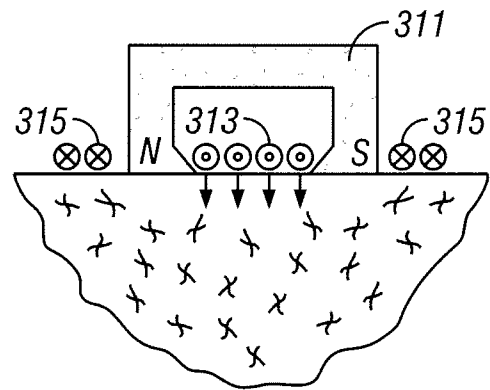


FIG. 3B

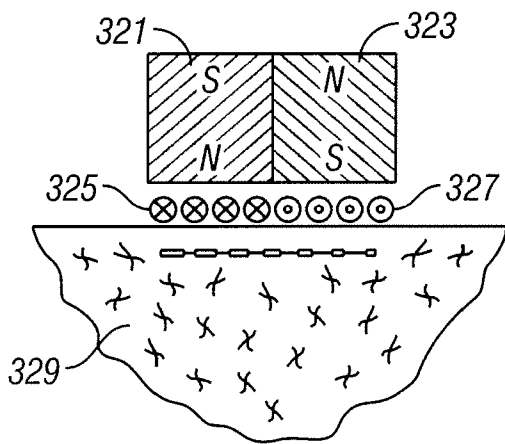


FIG. 3C

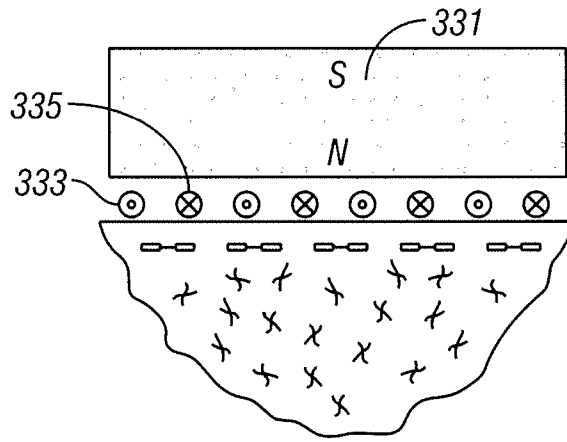


FIG. 3D

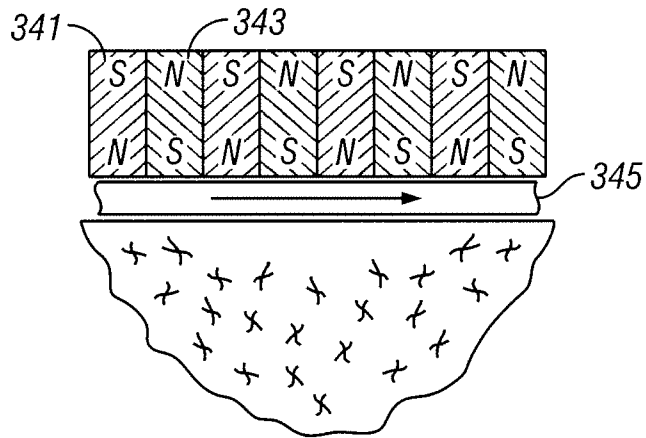


FIG. 3E

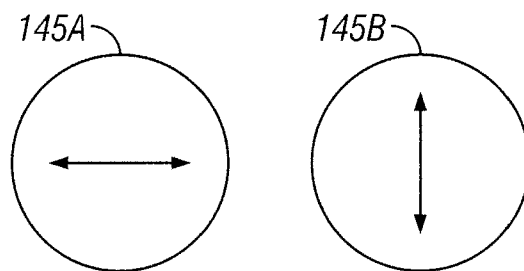
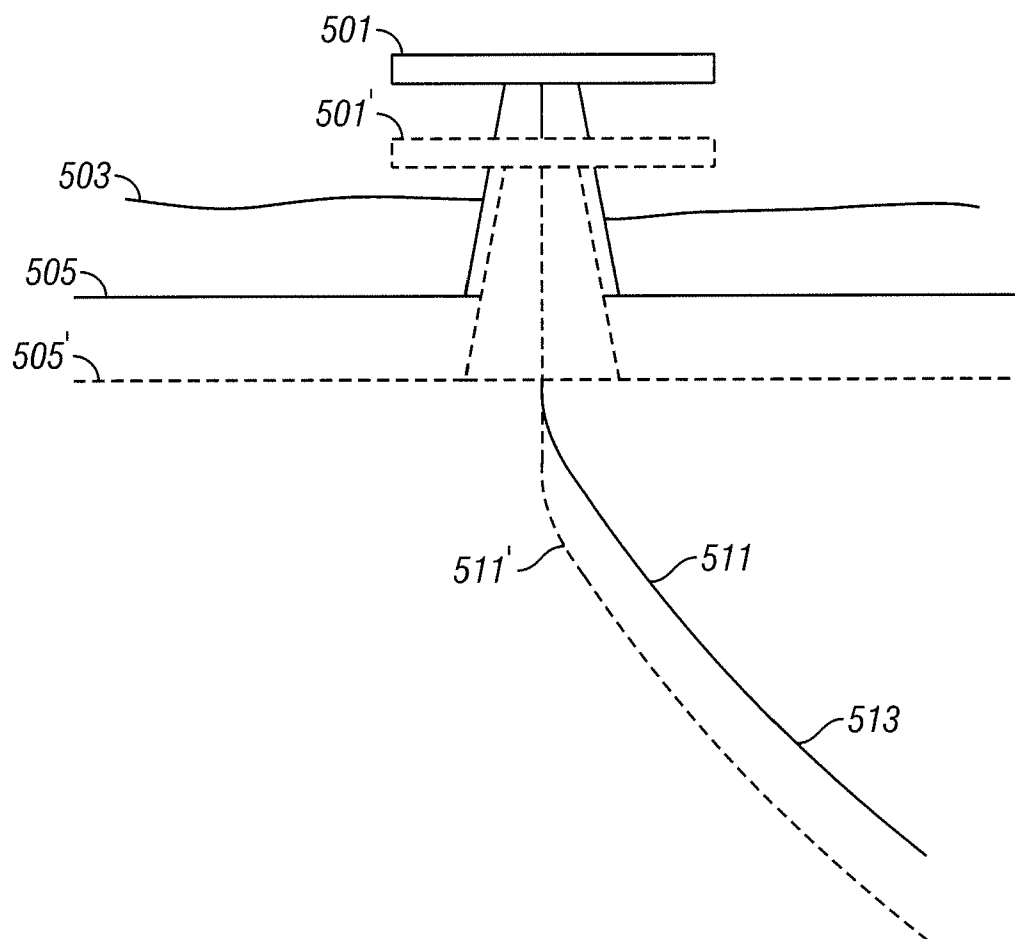
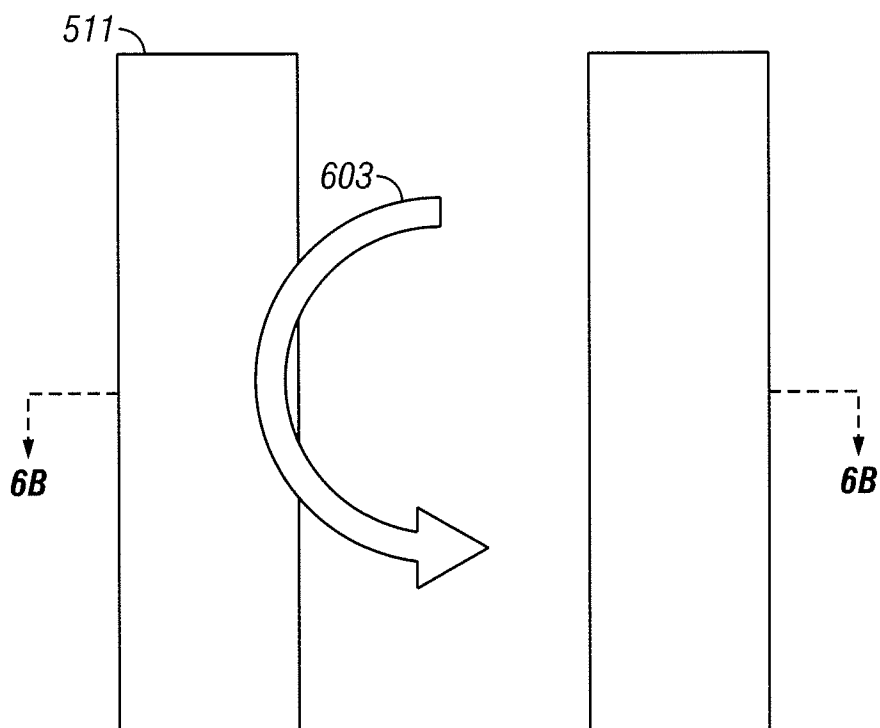
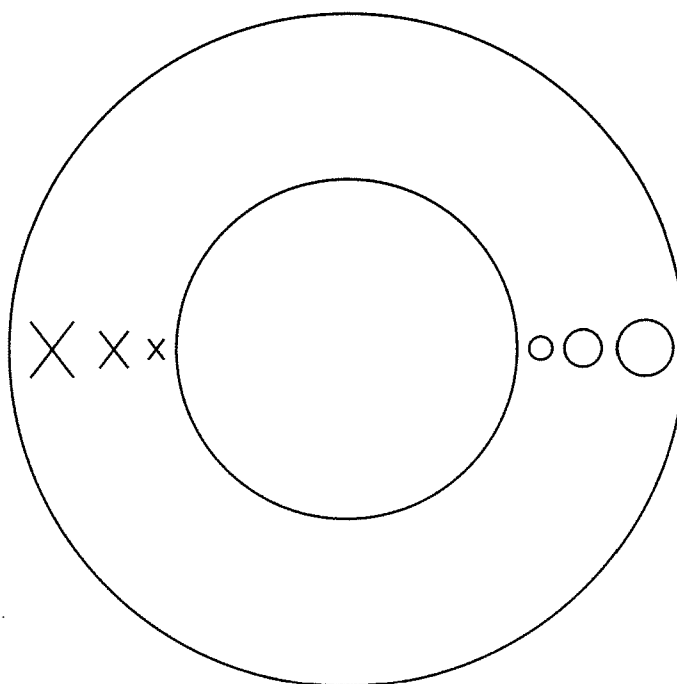


FIG. 4

**FIG. 5**

6/9

**FIG. 6A****FIG. 6B**

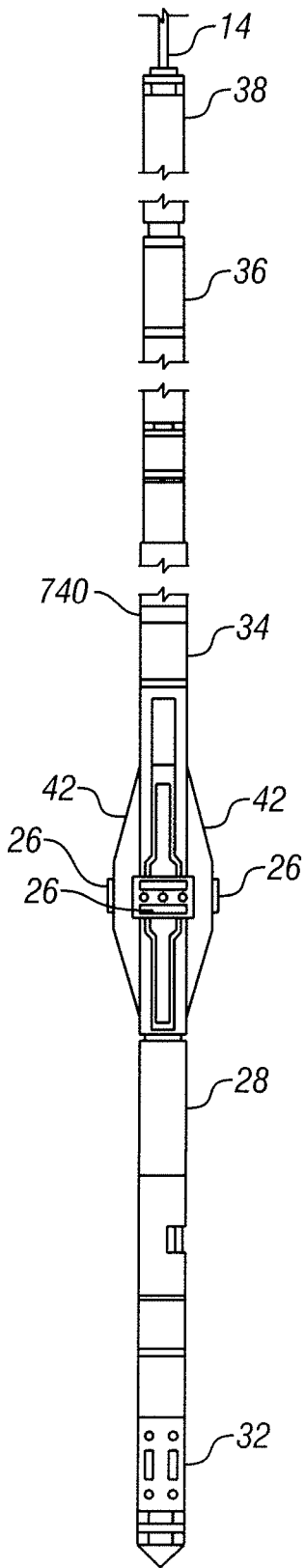


FIG. 7A

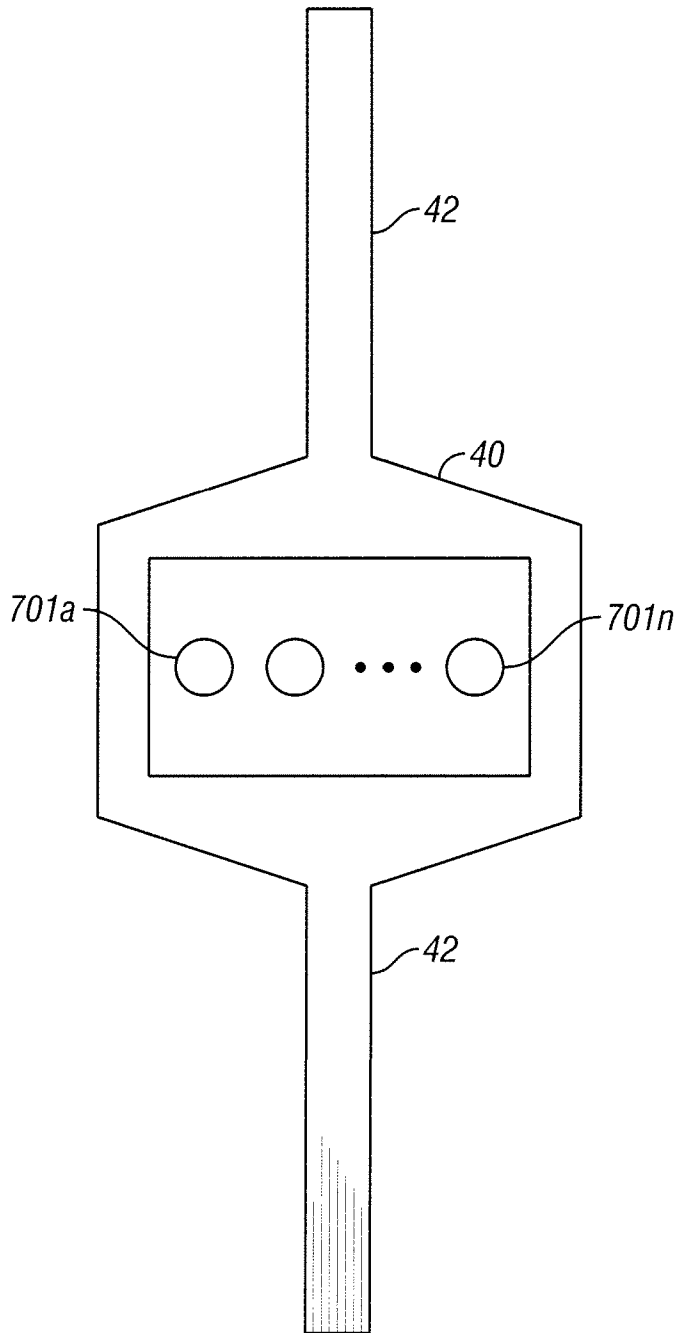
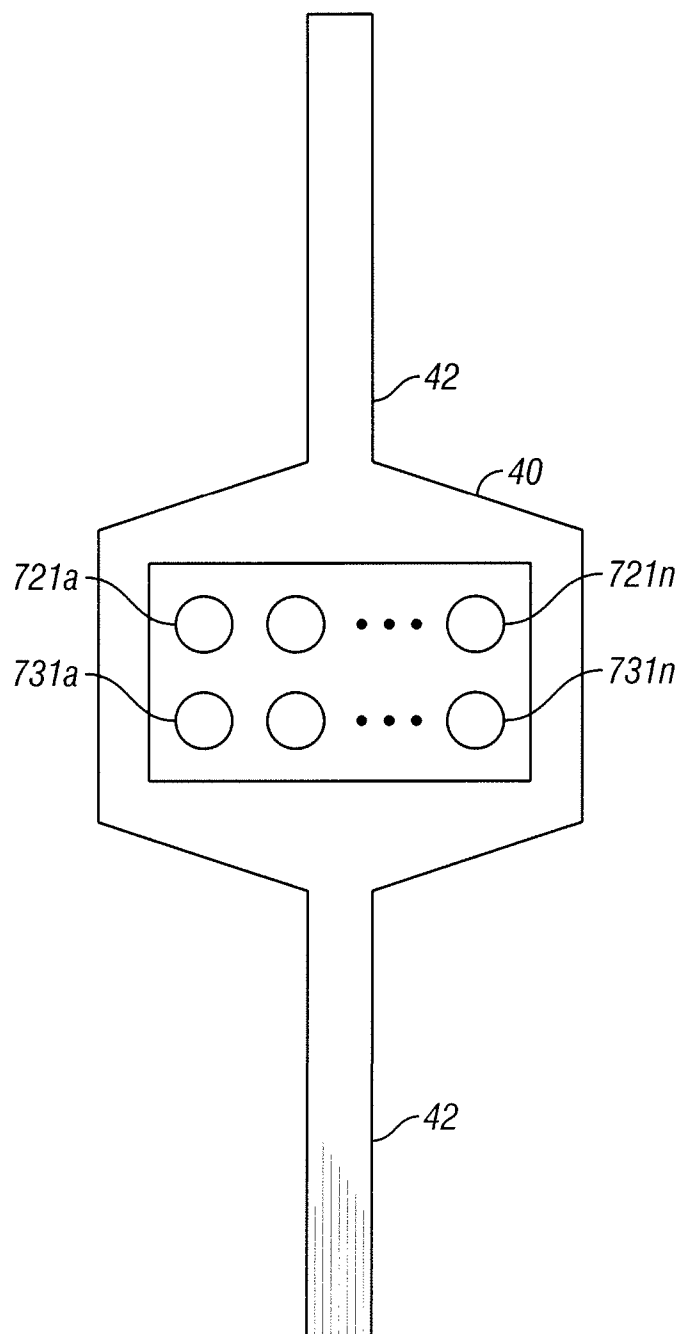


FIG. 7B

**FIG. 7C**

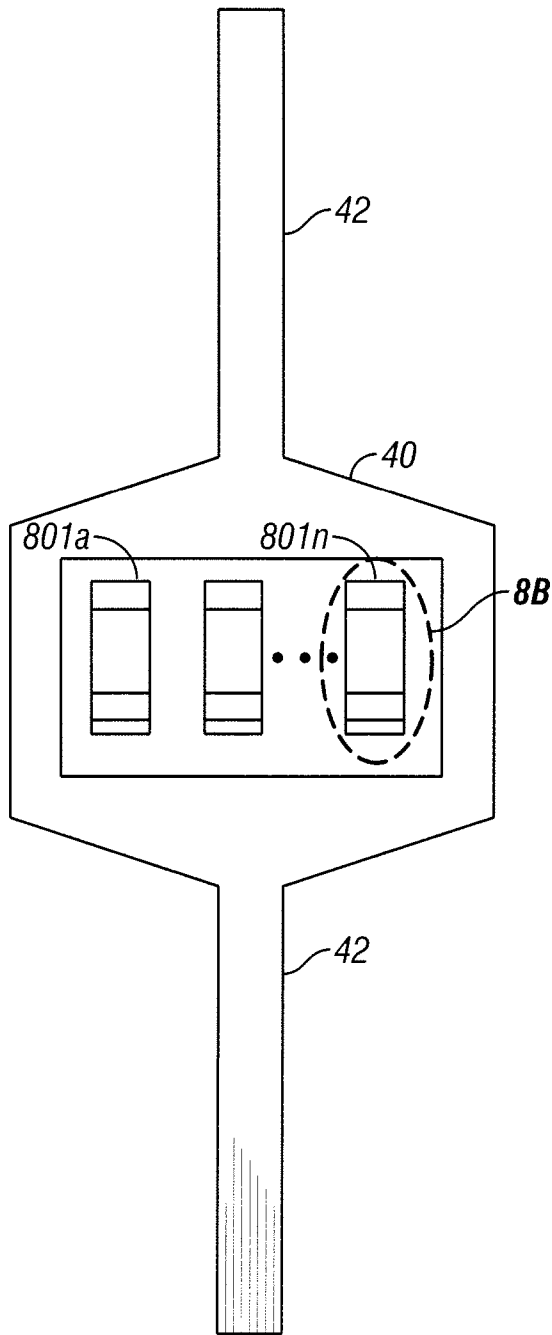


FIG. 8A

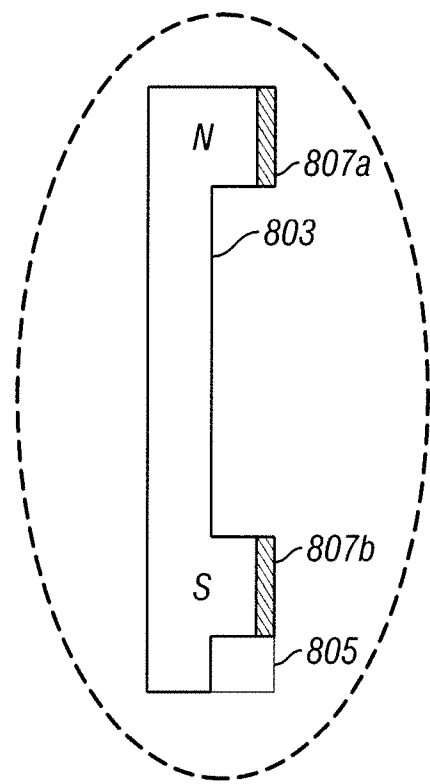


FIG. 8B