

(19)



Bureau voor de
Industriële Eigendom
Nederland

(11) 1006659

(12) C OCTROOI²⁰

(21) Aanvraag om octrooi: 1006659

(51) Int.Cl.⁶
G01V3/28

(22) Ingediend: 24.07.97

(30) Voorrang:
26.07.96 US 686848

(41) Ingeschreven:
28.01.98 I.E. 98/04

(47) Dagtekening:
03.09.99

(45) Uitgegeven:
01.11.99 I.E. 99/11

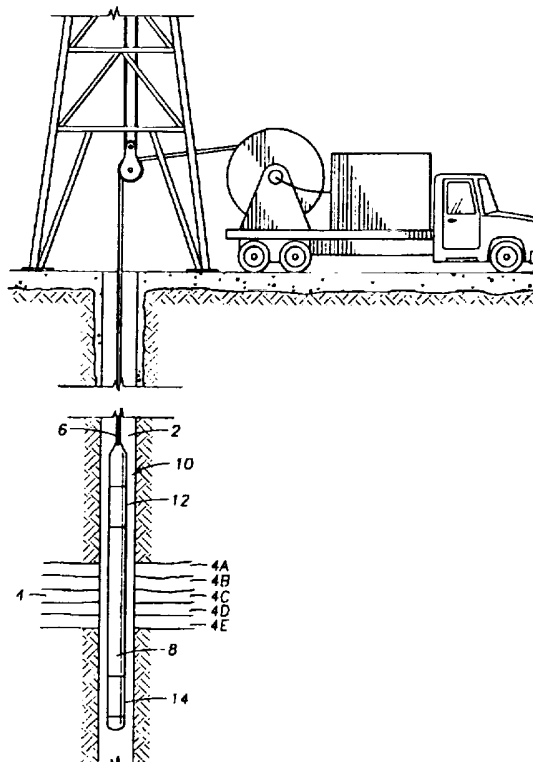
(73) Octrooihouder(s):
WESTERN ATLAS INTERNATIONAL, INC. te
Houston, Texas, Verenigde Staten van Amerika
(US).

(72) Uitvinder(s):
Stanislav Forgang te Houston, Texas (US)
Otto Nilson Fanini te Stafford, Texas (US)
Leonty Abraham Tabarovsky te Houston, Texas
(US)

(74) Gemachtigde:
Mr. Drs. S.U. Ottevangers c.s. te 2508 DH Den
Haag.

(54) Werkwijze en inrichting voor putregistratie onder gebruikmaking van dwarse elektromagnetische inductie.

(57) Een werkwijze voor het meten van de geleidbaarheid van door een putboring gepenetreerde aardformaties omvat het selectief passeren van wisselstroom door in de putboring ingebrachte zendspoelen. Elk van de zendspoelen heeft een magnetisch momentrichting die verschilt van de magnetisch momentrichting van de andere zendspoelen. De wisselstroom omvat een eerste en een tweede frequentie. De amplitude bij de eerste frequentie heeft een vooraf bepaalde relatie tot de amplitude bij de tweede frequentie. De werkwijze omvat het selectief ontvangen van spanningen die worden geïnduceerd in een ontvangstspoel met een gevoeligheidsrichting die evenwijdig is aan de as van de corresponderende zendspoel waardoor de wisselstroom wordt gepasseerd. Een verschil in magnitudes tussen een component van de ontvangen spanning bij de eerste frequentie en een component van de spanning bij de tweede frequentie wordt gemeten, en geleidbaarheid wordt berekend uit dit verschil in magnitudes van de componenten van de ontvangen spanning bij de twee frequenties.



NL C 1006659

De inhoud van dit octrooi komt overeen met de oorspronkelijk ingediende beschrijving met conclusie(s) en eventuele tekeningen.

Titel: Werkwijze en inrichting voor putregistratie onder gebruikmaking van dwarse elektromagnetische inductie.

De onderhavige uitvinding heeft in zijn algemeenheid betrekking op het gebied van putregistratie-instrumenten op basis van elektromagnetische inductieweerstand. Meer in het bijzonder heeft de uitvinding betrekking op werkwijzen en
5 apparatuur voor putregistratie ("logging") op basis van elektromagnetische inductieweerstand, waarbij magnetische dipool-elementen loodrecht op en evenwijdig aan de as van het instrument zijn opgesteld.

Putregistratie-elementen op basis van elektro-
10 magnetische inductieweerstand zijn in de techniek welbekend. Dergelijke instrumenten worden gebruikt voor het bepalen van de elektrische geleidbaarheid (en het omgekeerde daarvan, soortelijke weerstand) van aardformaties die worden gepenetreerd door een putboring. Metingen van de
15 elektrische geleidbaarheid worden gebruikt voor o.a. het afleiden van de fluïduminhoud van de aardformaties. Typisch is een lagere geleidbaarheid (hogere soortelijke weerstand) geassocieerd met aardformaties die koolwaterstoffen bevatten.

20 De fysische principes van putregistratie op basis van soortelijke elektromagnetische inductieweerstand zijn bijvoorbeeld beschreven in H.G. Doll, Introduction to Induction Logging and Application to Logging of Wells Drilled with Oil Based Mud, Journal of Petroleum
25 Technology, vol. 1, p. 148, Society of Petroleum Engineers, Richardson TX (1949). Sinds bovengenoemde publicatie zijn vele verbeteringen en modificaties ontworpen voor instrumenten voor elektromagnetische soortelijke inductieweerstand. Voorbeelden van dergelijke modificaties en
30 verbeteringen kunnen bijvoorbeeld worden gevonden in het Amerikaanse octrooischrift 4.837.517, het Amerikaanse octrooischrift 5.157.605, en het Amerikaanse octrooischrift 5.452.762.

1006659

Een beperking van de bekende putregistratie instrumenten op basis van soortelijke elektromagnetische inductieweerstand is, dat zij typisch zendspoelen en ontvangstspoelen omvatten die zodanig gewikkeld zijn, dat de magnetische momenten van deze spoelen alleen in hoofdzak evenwijdig zijn aan de as van het instrument. In de aardformaties worden wervelstromen geïnduceerd door het door de zendspoel gegenereerde magnetische veld, en bij de bekende inductie-instrumenten hebben deze wervelstromen de neiging om te vloeien in grondlussen die in hoofdzak loodrecht staan op de as van het instrument. In de ontvangstspoelen worden dan spanningen geïnduceerd die in relatie staan tot de sterkte van de wervelstromen. Bepaalde aardformaties bestaan echter uit dunne lagen van elektrisch geleidende materialen afgewisseld met dunne lagen van in hoofdzak niet-geleidend materiaal. De respons van het typische putregistratie-instrument op basis van soortelijke elektromagnetische inductieweerstand zal voornamelijk afhangen van de geleidbaarheid van de geleidende lagen wanneer de lagen in hoofdzak evenwijdig zijn aan de stromingsbaan van de wervelstromen. De in hoofdzak niet-geleidende lagen zullen slechts een klein gedeelte bijdragen aan de totale respons van het instrument, en daardoor zal hun aanwezigheid typisch worden gemaskeerd door de aanwezigheid van geleidende lagen. De niet-geleidende lagen zijn echter degene die typisch koolwaterstof bevatten, en zijn het meest interessant voor de gebruiker van het instrument. Sommige aardformaties die van commercieel belang kunnen zijn, kunnen daardoor over het hoofd worden gezien door het interpreteren van een putregistratie ("log") die gemaakt is onder gebruikmaking van de bekende putregistratie-instrumenten die gebaseerd zijn op soortelijke elektromagnetische inductieweerstand.

Eén oplossing voor de beperking van de bekende inductie-instrumenten is het opnemen van een transversale zendspoel en een transversale ontvangstspoel op het

inductie-instrument, waardoor de magnetische momenten van deze transversale spoelen in hoofdzaak loodrecht staat op de as van het instrument. Een dergelijke oplossing werd gesuggereerd in de publicatie L.A. Tabarovsky en M.I. Epov, 5 Geometric and Frequency Focusing in Exploration of Anisotropic Seams, Nauka, USSR Academy of Science, Siberian Division, Novosibirsk, pp. 67-129 (1972). Tabarovsky en Epov suggereren diverse opstellingen van transversale zendspoelen en transversale ontvangstspoelen, en presenteren 10 simulaties van de responsen van deze transversale spoelsystemen die geconfigureerd zijn op de aldaar getoonde wijze. Zij beschrijven ook een methode voor het aanzienlijk verminderen van het effect op de in transversale ontvangstspoelen geïnduceerde spanning dat veroorzaakt zal worden 15 door in de putboring vloeiende wervelstromen. De putboring is typisch gevuld met een geleidend fluïdum dat bekend staat als "boormodder". Wervelstromen die vloeien in de boormodder, kunnen de sterkte van de in de transversale ontvangstspoelen geïnduceerde spanningen aanzienlijk 20 beïnvloeden. De door Tabarovski en Epov beschreven putboringsignaal-reductiemethode kan worden beschreven als "frequentiefocussing", waarbij inductiespanningsmetingen worden gedaan bij meer dan één frequentie, en waarbij de in de transversale ontvangstspoelen geïnduceerde signalen op 25 een dusdanige manier gecombineerd worden, dat de effecten van wervelstromen die binnen bepaalde geometrieën vloeien, zoals de putboring, in hoofdzaak geëlimineerd kunnen worden uit het uiteindelijke resultaat. Tabarovski en Epov suggereren echter geen configuratie van signaal- 30 verwerkingsketens die de in hun publicatie gesuggereerde frequentiefocusseermethode zou kunnen uitvoeren.

Een mogelijke signaalverwerkingsconfiguratie die de in genoemde publicatie van Tabarovski en Epov beschreven frequentiefocusseermethode zou kunnen uitvoeren, zou zijn 35 het genereren van stromen bij twee verschillende frequenties en met exact dezelfde amplitude, en het laten passeren

van dergelijke stromen door de transversale zendspoel. De in de transversale ontvangspoel geïnduceerde signalen zouden dan gecombineerd kunnen worden in een bepaalde verhouding, zoals volgens de uitdrukking:

5

$$V = V_{R1} - \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right)^2 V_{R2} \quad (1)$$

voor het genereren van een totale inductiesignaalspanning V waarin in hoofdzaak alle effecten van de putboring zijn uitgesloten. V_{R1} en V_{R2} in vergelijking (1) representeren respectievelijk de bij de eerste frequentie ω_1 en bij de tweede frequentie ω_2 geïnduceerde spanningssignaal-
 10 amplituden van de transversale ontvangspoel. Het is echter moeilijk om de geïnduceerde spanningen V_{R1} en V_{R2}
 15 zoals beschreven in vergelijking (1), te meten met een nauwkeurigheid die hoog genoeg is om de inductiesignaalspanning V te berekenen waarbij het effect van de putboring wordt uitgesloten, omdat kleine fouten in de meting van de spanningssignaalamplitudes van de transversale ontvanger
 20 bij elke frequentie zullen resulteren in een zeer grote fout in het totale resultaat wanneer V wordt berekend volgens vergelijking (1).

De onderhavige uitvinding beoogt derhalve een werkwijze en inrichting te verschaffen voor het registreren
 25 op basis van soortelijke weerstand tegen transversale elektromagnetische inductie, die op effectieve wijze frequentiefocusering kunnen uitvoeren.

De uitvinding betreft een methode voor het meten van de geleidbaarheid van aardformaties die worden gepenetreerd
 30 door een putboring. De methode omvat het selectief laten passeren van een wisselstroom door in de putboring ingebrachte zendspoelen. Ten minste één van de zendspoelen heeft een magnetisch momentrichting die verschilt van de magnetisch momentrichting van de andere zendspoelen. De
 35 wisselstroom omvat een eerste en een tweede frequentie. De

amplitude van de wisselstroom bij de eerste frequentie heeft een vooraf bepaalde relatie tot de amplitude van de wisselstroom bij de tweede frequentie. De amplituderelatie correspondeert met de eerste en de tweede frequenties. De methode omvat het selectief ontvangen van spanningen die geïnduceerd zijn in een ontvangstspoel met een magnetisch moment langs een richting die in hoofdzaak evenwijdig is aan de magnetische momentrichting van de zendspoel waar doorheen de wisselstroom wordt gepasseerd. Een verschil in magnituden tussen een component van de ontvangen spanning bij de eerste frequentie en een component van de ontvangen spanning bij de tweede frequentie wordt gemeten, en de geleidbaarheid wordt berekend uit het verschil in magnituden.

In een voorkeursuitvoeringsvorm zijn de richtingen van de magnetische momenten van de zendspoelen en de gevoeligheidsrichtingen van corresponderende ontvangstspoelen onderling orthogonaal. De voorkeursuitvoeringsvorm omvat kruiscomponentontvangstspoelen waarvan elk een magnetische momentrichting heeft die orthogonaal staat op het magnetisch moment van de corresponderende zendspoel. In de voorkeursuitvoeringsvorm omvat de stap van het bepalen van het verschil in magnituden het extraheren van digitale monsters van de ontvangen spanning bij vooraf bepaalde tijdstippen ten opzichte van een cyclus van de wisselstroom bij de eerste frequentie.

In een specifieke uitvoeringsvorm van de uitvinding is de tweede frequentie de derde harmonische van de eerste frequentie.

Een apparaat volgens de uitvinding omvat een veelvoud van zendspoelen, waarvan er ten minste één een magnetisch moment heeft waarvan de richting verschilt van de richtingen van de magnetische momenten van de andere zendspoelen. Het apparaat omvat een veelvoud van ontvangstspoelen, waarvan elk een gevoeligheidsrichting heeft die in hoofdzaak evenwijdig is aan een corresponderende van de

zendspoelen. Het apparaat omvat een signaalgenerator voor het selectief geleiden van een wisselstroom bij een eerste en een tweede frequentie door uitgekozen zendspoelen. De signaalgenerator zorgt ervoor, dat de amplitude van de wisselstroom bij de eerste frequentie gerelateerd is aan een amplitude van de wisselstroom bij de tweede frequentie door een vooraf bepaalde relatie die correspondeert met de eerste en tweede frequenties. Het apparaat omvat middelen voor het ontvangen van spanningen die als resultaat van elektromagnetische inductie worden geïnduceerd in de ontvangstspoelen, en een orgaan voor het meten van een verschil in magnituden tussen een component van de ontvangen spanning bij de eerste frequentie en een component van de ontvangen spanning bij de tweede frequentie.

In een specifieke uitvoeringsvorm van de uitvinding omvatten de ontvangstmiddelen middelen voor het digitaliseren van de spanningen en het extraheren van digitale signaalmonsters bij vooraf bepaalde tijdstippen ten opzichte van een cyclus van de wisselstroom bij de eerste frequentie. De magnituden van de bij de vooraf bepaalde tijdstippen geëxtraheerde digitale monsters corresponderen rechtstreeks met het verschil in magnituden tussen de spanningscomponenten bij de eerste en bij de tweede frequenties.

De uitvinding zal in het hiernavolgende nader worden verduidelijkt door bespreking van een voorkeursuitvoeringsvorm onder verwijzing naar de tekening, waarin:

- fig. 1 een inductieinstrument toont dat is opgesteld in een putboring die aardformaties penetreert;
- fig. 1 toont een functioneel blokdiagram van het inductieinstrument volgens de onderhavige uitvinding;
- fig. 3A toont meer gedetailleerd het zendspoelgedeelte van de spoelhoudereenheid van het instrument;
- fig. 3B toont meer gedetailleerd het ontvangstspoelgedeelte van de spoelhoudereenheid van het instrument;

fig. 4 toont een functioneel blokdiagram van een zendbesturingseenheid en een signaalgenerator voor het instrument;

fig. 5A toont een grafiek van de samenstellende frequenties van de zendstroom;

fig. 5B toont een grafiek van de samengestelde golfvorm van de zendstroom;

fig. 6A toont een grafiek van de spanning die in de ontvangstspoel wordt geïnduceerd als resultaat van de in fig. 5B getoonde stroom wanneer deze door de zendspoel stroomt;

fig. 6B toont de componenten van de in de ontvanger geïnduceerde spanning, en hoe bij bepaalde tijdstippen gemaakte digitale monsters het verschil representeren in piekamplitude tussen de twee componenten van de geïnduceerde spanning.

Fig. 1 toont putregistratie-instrument 10, waarvan de werking is gebaseerd op soortelijke weerstand van elektromagnetische inductie, opgesteld in een door aardformaties heen geboorde putboring 2. De aardformaties zijn in hun algemeenheid aangeduid bij 4. Men kan het instrument 10 laten zakken in en uittrekken uit de putboring 2 door middel van een gewapende elektrische kabel 6 of vergelijkbare in de techniek bekende verplaatsingsmiddelen. Het instrument 10 kan worden geassembleerd uit drie subsecties: een hulpelektronica-eenheid 14 die bij een uiteinde van het instrument 10 is opgesteld; een spoelhouder eenheid 8 die bevestigd is aan de hulpelectronica-eenheid 14; en een ontvanger/signaalverwerking/telemetrie-electronica-eenheid 12 die is bevestigd aan het andere uiteinde van de spoelhouder eenheid 8, waarbij deze eenheid 12 typisch is bevestigd aan de kabel 6.

De spoelhouder eenheid 8 omvat inductiezend- en ontvangstspoelen, zoals verder zal worden uitgelegd, voor het induceren van elektromagnetische velden in de aard-

formaties 4 en voor het ontvangen van spanningssignalen die worden geïnduceerd door in de aardformaties 4 stromende wervelstromen als resultaat van de daarin geïnduceerde elektromagnetische velden.

5 De hulpelectronica-eenheid 14 kan, zoals verder zal worden uitgelegd, een signaalgenerator en vermogensversterkers omvatten om te veroorzaken dat wisselstromen met uitgekozen frequenties vloeien door de zendspoelen in de spoelhoudereenheid 8.

10 De ontvanger/signaalverwerking/telemetrie-electronica-eenheid 12 kan, zoals verder zal worden uitgelegd, ontvangstketens omvatten voor het detecteren van spanningen die geïnduceerd worden in ontvangstspoelen in de spoelhoudereenheid 8, en ketens voor het verwerken van deze
15 ontvangen spanningen tot signalen die representatief zijn voor de geleidbaarheden van diverse lagen, getoond als 4A tot en met 4F van de aardformaties 4. Voor het gemak van de systeemontwerper kan de eenheid 12 signaaltelemetrie omvatten voor het overdragen van de conductiviteit-gerelateerde
20 signalen naar het aardoppervlak langs de kabel 6 voor verdere verwerking, of als alternatief kan hij de geleidbaarheid-gerelateerde signalen opslaan in een (niet weergegeven) geschikt registratieapparaat voor verwerking nadat het instrument 10 is teruggetrokken uit de
25 putboring 2.

De elektrische configuratie van het instrument 10 kan beter worden begrepen door te verwijzen naar een in fig. 2 getoond functioneel blokdiagram van het instrument 10.

De hulpelektronica-eenheid 14 kan een zend-
30 controller 24 omvatten en een combinatie van een analoog naar digitaalomzetter/digitale verwerkingseenheid (ADC/DSP) 26, die beide bij voorkeur zijn omsloten in een thermisch isolerende fles 28. De fles 28 kan van een in de techniek bekend type zijn en wordt verschaft om een stabiele tem-
35 peratuur te handhaven, en bij gevolg een stabiele frequentie, voor de zendcontroller 24 en de ADC/DSP 26. De

zendcontroller 24 en de ADC/DSP 26 ontvangen bij voorkeur elektrisch vermogen uit een DC-DC omzetter 30. Het elektrisch vermogen wordt bij voorkeur als een gelijkstroom geleidt langs een vermogensleiding 30A, zodat, wanneer het vermogen door de houdereenheid 8 passeert op weg naar de hulpelectronica-eenheid 14, het elektrisch vermogen niet noemenswaardig de hoeveelheid van in de spoelen in de houdereenheid 8 geïnduceerde stroomspanning zal verhogen. De zendcontroller 24 kan een signaalgenerator omvatten, welke verder zal worden uitgelegd, voor het genereren van een wisselspanningssignaal bij twee verschillende frequenties. Een analoge signaaluitgang 24A van de zendcontroller 24 kan verbonden zijn met een timercontroller 22 die, op een geschikt tijdstip zoals nader zal worden uitgelegd, elk van de drie vermogensversterkers 16, 18, 20 selectief bedient. De uitgang van elk van de vermogensversterkers 16, 18, 20 is verbonden met één corresponderende zendspoelset (niet getoond in fig. 2) in de houdereenheid 8.

De ADC/DSP 26 kan verbonden zijn met een referentie-aftappunt op de uitgang van elke vermogensversterking 16, 18, 20. Een gedeelte van de door elke zendspoel (zich bevindend in de houdereenheid 8) vloeiende stroom van de vermogensversterkers 16, 18, 20 wordt geleid en verschaft een zendstroomreferentie voor de zendcontroller 24, en voor zich in de eenheid 12 bevindende ontvangstketens, zoals verder zal worden uitgelegd. De te detecteren stroom kan in de ADC/DSP 26 gedigitaliseerd worden om de zendstroomreferentie in digitale vorm te verschaffen aan de zendcontroller 24. Het gebruik van de zendstroomreferentie zal verder worden uitgelegd.

De eenheid 12 kan voorversterkers 32, 34, 36, 38, 40 omvatten, waarvan elk is verbonden met één van de ontvangstspoelsets (die verder uitgelegd zullen worden) in de spoelhoudereenheid 8. De uitgang van elke voorversterker kan verbonden zijn met een corresponderende ADC/DSP, weer-

gegeven als 54, 52, 50, 48, 46, waarbij de uitgang van elke voorversterker 32, 34, 36, 38, 40 wordt gedigitaliseerd en verwerkt tot een signaal dat correspondeert met de spanningen die worden geïnduceerd in de corresponderende

5 ontvangstspoel (niet getoond in fig. 2) waarmee elke voorversterker is verbonden. De timing van de werking voor de ADC/DSP ketens 54, 52, 50, 48, 46 kan worden verschaft door een controller 56. Bij voorkeur bedient de controller 56 de ADC/DSP ketens 54, 52, 50, 48, 46 zodanig, dat

10 digitale signaalmonsters worden gemaakt door het ADC-gedeelte van elke ADC/DSP keten op een vooraf bepaald tijdstip met betrekking tot het genereren van de door de zendspoelen vloeiende wisselstroom. Het tijdstip kan bepaald worden door een kloksignaal en synchronisatie-

15 signalen die over een stuurlijn 30B worden geleid vanaf de zendcontroller 24. De controller 56 timed de digitalisering van elke ADC/DSP keten bij voorkeur zodanig, dat de digitale monsters gesynchroniseerd zijn ten opzichte van dezelfde signaalfase in elke cyclus van de in elke

20 ontvangstspoel geïnduceerde wisselspanning. Op deze manier kunnen de signaalmonsters synchroon gestapeld worden om ruis in het uitgangssignaal van elke ADC/DSP keten te verminderen. Een methode voor het synchroon stapelen van digitale signaalmonsters om ruis te verminderen, is

25 beschreven in het Amerikaanse octrooischrift 5.452.762. De ADC/DSP ketens 54, 52, 50, 48, 46 in de eenheid 12 kunnen een vergelijkbaar ontwerp hebben als de ADC/DSP 26 in de hulpelectronica-eenheid 8, bij wijze van gemak voor de systeemontwerper.

30 De eenheid 12 kan ook een kalibratieketen 42 omvatten en een daarmee verbonden geassocieerde ADC/DSP keten 44. Een gedeelte van het wisselstroomsignaal dat gebruikt wordt om de vermogensversterkers 16, 18, 20 aan te drijven, kan naar de kalibratieketen 42 worden geleid over

35 de analoge signaallijn 30C. De analoge signaallijn 30C is bij voorkeur elektrostatisch afgeschermd om parasitaire

inductie van het wisselstroomsignaal naar de ontvangst-
spoelen in de spoelhouder eenheid 8 te verminderen. Op
commando van de controller 56 geleid de kalibratieketen 42
periodiek een monster van de wisselstroom naar elk van de
5 ontvangstvoorversterkers 32, 34, 36, 38, 40. Aangezien het
aldus naar de voorversterkers geleide wisselstroomsignaal
in elk geval in hoofdzaak identiek is, kunnen kleine
verschillen in de responskarakteristieken van elke voor-
versterker worden bepaald. Het naar de voorversterkers
10 geleide wisselstroomsignaal wordt ook gedigitaliseerd in
een afzonderlijke ADC/DSP 44 om een referentiesignaal te
genereren voor het bepalen van de responskarakteristieken
van elke voorversterker. De gedigitaliseerde uitgang van
elke voorversterker van de ADC/DSPs 46-54 wordt, samen met
15 de gedigitaliseerde referentie, geleid naar de controller,
waar de respons van elke voorversterker kan worden bepaald
als de verandering in het referentiesignaal dat correspon-
deert met elke voorversterker bij vergelijking met het
referentiesignaal. Alle noodzakelijke aanpassingen op de
20 respons van de voorversterkers 46 t/m 54 kunnen numeriek
worden uitgevoerd door het aanpassen van de acquisitie-
timing en op de digitale monsters van elke ADC/DSP
toegepaste numerieke versterkingsfactor om het gemeten
verschil in respons tussen het referentiesignaal en de
25 uitgang van elk van de voorversterkers 46-54 aan elkaar aan
te passen. Dit responskalibratiesysteem is verschaft zodat
de metingen van de in elke ontvangstspoel geïnduceerde
spanningen minder beïnvloed zullen worden door variaties in
respons van elk van de voorversterkers.

30 De controller 56 ontvangt digitale signaalmonsters
van elke daarmee verbonden ADC/DSP, en berekent de sterkte
van de in elke ontvangstspoel in de houder eenheid 8
geïnduceerde spanningen op basis van de uitgang van de
respectievelijk onderling verbonden ADC/DSPs 54 t/m 44. De
35 aldus in de controller 56 berekende grootten van de
geïnduceerde spanning kunnen geleid worden naar een

telemetrie-interface 58 voor het inbrengen in een signaal-
 telemetrieformaat dat wordt verschaft door een telemetrie-
 transceiver 60. De telemetrietransceiver 60 kan naar het
 aardoppervlak signalen zenden die corresponderen met de
 5 berekende grootten. Als alternatief kunnen in de controller
 58 berekende grootte-waarden worden opgeslagen in een (niet
 weergegeven) geschikt registratieapparaat voor verwerking
 nadat het instrument is teruggetrokken uit de putboring (2
 in fig. 1).

10 De opstelling van zendspoelen en ontvangspoelen op
 de spoelhoudereenheid 8 kan beter worden begrepen door te
 verwijzen naar de fig. 3A en 3B. Het zendspoelgedeelte van
 de spoelhoudereenheid 8 is getoond in fig. 3A. Bij TX is
 een zendspoel getoond die zodanig gewikkeld kan zijn dat
 15 zijn as, en daardoor zijn magnetisch moment, is gericht
 langs een as X1. Bij conventie zal de as X1 worden aan-
 geduid als zijnde evenwijdig aan de X-as. Spoel TX is bij
 voorkeur in hoofdzaak loodrecht op de as van het instrument
 (10 in fig. 1). Spoel TX kan elektrisch verbonden zijn met
 20 de uitgang van één van de vermogensversterkers (zoals 16 in
 fig. 2). Wanneer een wisselstroom vloeit door de zendspoel
 TX, wordt daarin een wisselend elektromagnetisch veld
 geïnduceerd, hetgeen veroorzaakt dat in "grondlussen" in de
 putboring (2 in fig. 1) en in de aardformatie (4 in fig. 1)
 25 wervelstromen gaan vloeien die in hoofdzaak coaxiaal zijn
 met de as X1 en evenwijdig zijn aan de as van de houder-
 eenheid 8 en het instrument (10 in fig. 1).

Een korte afstand langs de as van de spoelhouder-
 eenheid 8 kan een andere zendspoel TZ zijn. De spoel TZ kan
 30 zodanig gewikkeld zijn, dat zijn as Z1 in hoofdzaak even-
 wijdig is aan de as van het instrument 10 (dat bij
 conventie in het algemeen wordt aangeduid als de Z-as).
 Spoel TZ kan zijn verbonden met de uitgang van een andere
 vermogensversterker (zoals 20 in fig. 2). Een door de spoel
 35 TZ passerende wisselstroom induceert wervelstromen in de
 putboring 2 en in de aardformatie 4, welke vloeien in

grondlussen die in hoofdzaak coaxiaal zijn met de as Z1 en in hoofdzaak loodrecht staan op de as van de houder-eenheid 8.

Een korte afstand verder langs de as van de houder-eenheid 8 kan zich een wederzijds balancerende of "bucking" spoel BX bevinden, corresponderend met de volgens de X-as gerichte zendspoel TX. De wikkelas X2, en daarmee het magnetisch moment, van de spoel BX kan in hoofdzaak evenwijdig zijn aan de as X1 van de spoel TX. De spoel BX kan in serie zijn verbonden in tegengestelde polariteit met spoel TX, tussen spoel TX en vermogensversterker 16. Het "bucken" van de spoel TX veroorzaakt, dat de uitgang van een corresponderende X-as ontvangstspoel (welke verder zal worden uitgelegd) in hoofdzaak nul wordt wanneer het instrument is opgesteld in een niet-geleidend medium zoals lucht. Zoals door deskundigen zal worden begrepen, kan het gebruik van "bucking"-spoelen voor het nul maken van de corresponderende ontvangstspoeluitgang in een niet-geleidende omgeving worden uitgevoerd door ofwel dergelijke "bucking"-spoelen in serie verbonden met de corresponderende ontvangstspoel te verschaffen, of als alternatief kunnen zij in serie zijn verbonden met de zendspoel. In de onderhavige uitvoeringsvorm van de uitvinding verdient het de voorkeur om een "bucking"-spoel te verschaffen in serie met de corresponderende zendspoel om de impedantie aanpassing tussen de corresponderende ontvangstspoel en zijn geassocieerde voorversterker (zoals 44 in fig. 2) te vereenvoudigen, en daardoor de mogelijkheid van de met elke ontvangstspoel geassocieerde schakeling om signalen over een breed frequentiegebied te behandelen, te verbeteren. De reactantie van een "bucking"-spoel en de daarmee geassocieerde bedrading zou impedantie-aanpassing compliceren, en aanpassen voor signaalresponskarakteristieken voor een breedbandresponsontvangstspoel, bij serieverbinding met de ontvangstspoel, omdat deze reactie vaak vrijwel dezelfde is als de reactie van de ontvangstspoel.

1006659

Weer een andere korte afstand langs de as van de houdereenheid 8 is een Y-as zendspoel TY. De spoel TY is bij voorkeur zodanig gewikkeld, dat zijn as Y1, en daarmee zijn magnetisch moment, in hoofdzaak loodrecht staat op
 5 zowel de as van het instrument 10 als op het magnetisch moment van de spoel TX. De spoel TY kan verbonden zijn met vermogensversterker 18. Een door spoel TY vloeiende wisselstroom induceert een magnetisch veld dat veroorzaakt dat wervelstromen vloeien in de putboring 2 en de aardormatie
 10 4, in grondlussen die in hoofdzaak coaxiaal zijn met de as Y1 en evenwijdig aan de as van het instrument 10. De wisselstroomgrondlussen die corresponderen met de spoel TY, zouden ook in hoofdzaak loodrecht staan op de grondlussen die geassocieerd zijn met de spoelen TX en TZ als de
 15 spoelen TX, TY, TZ zijn opgesteld zoals hier beschreven.

Met de zendspoelen TZ en TY geassocieerde "bucking"-spoelen zijn respectievelijk bij BZ en BY getoond. De "bucking"-spoelen BZ en BY zijn elektrisch verbonden tussen hun respectieve zendspoelen TZ, TY en vermogensversterkers
 20 20, 18 in tegengestelde polariteit, evenals "bucking"-spoel BX. De "bucking"-spoel BZ is zodanig gewikkeld, dat zijn as en magnetisch moment langs Z2 zijn gericht, en BY is gewikkeld opdat zijn as en magnetisch moment gericht zijn langs Y2. Z2 is in hoofdzaak evenwijdig aan Z1, en Y2 staat
 25 in hoofdzaak loodrecht op Y1.

Een geschikte opstelling van de ontvangstspoelen voor de onderhavige uitvinding is getoond in fig. 3B. Bij het onderste uiteinde van de ontvangstspoelsectie van de spoelhoudereenheid 8 kan een X-as ontvangstspoel RX zijn.
 30 De spoel RX kan zodanig gewikkeld zijn, dat zijn gevoelige richting evenwijdig is aan de as X1 zoals voor de zendspoel TX (getoond in fig. 3A). Wisselstromen die vloeien in aardlussen welke corresponderen met de spoel TX, zullen spanningen in spoel RX induceren welke in grootte propor-
 35 tioneel zijn met de grootte van de eerder uitgelegde TX-gerelateerde wervelstromen. De wervelstromen zelf zijn

proportioneel met de elektrische geleidbaarheid in de paden van deze grondlussen.

Een korte afstand langs de as van de spoelhouder-
eenheid 8 is een Z-as ontvangstspoel RZ die zodanig
5 gewikkeld is, dat zijn gevoelige richting in hoofdzaak
evenwijdig is aan Z1, zoals voor zijn corresponderende
zender TZ. Wisselstromen die vloeien in de eerder uit-
gelegde grondlussen welke gerelateerd zijn aan spoel TZ,
zullen in spoel RZ spanningen induceren die proportioneel
10 zijn met de grootte van deze wisselstromen.

De spoelhouder eenheid 8 kan een Y-as ontvangstspoel
hebben die een gevoelige richting heeft evenwijdig aan Y1,
en getoond is bij RY. Met de spoel TY geassocieerde wervel-
stromen zullen in spoel RY spanningen van een vergelijkbaar
15 type induceren.

Als de lagen van de aardformaties (4A t/m 4F in
fig. 1) in hoofdzaak loodrecht staan op de as van de
houder eenheid 8, dan zouden door de Z-asspoelen gedane
metingen in combinatie met metingen die gedaan zijn door
20 ofwel de X- of Y-asspoelen, voldoende zijn om anisotropie
van de geleidbaarheid van de aardformaties op te lossen.
Het is echter vaak het geval, dat de lagen 4A t/m 4F niet
loodrecht staan op de as van de houder eenheid 8, ofwel
omdat de putboring 2 helt ten opzichte van verticaal, ofwel
25 omdat de lagen 4A t/m 4F niet horizontaal zijn (in deze
techniek aangeduid als "dipping beds"), of een combinatie
van deze twee factoren. Teneinde de anisotropie van de
geleidbaarheid op te lossen, omvat de spoelhouder eenheid 8
van de uitvinding daarom bij voorkeur kruislings axiale
30 ontvangstspoelen. Eén zo'n kruislings axiale ontvangstspoel
is getoond bij CXY. Spoel CXY ontvangt spanningen die
geïnduceerd worden als resultaat van wervelstroom-
magneetvelden die evenwijdig zijn aan de Y1 as (evenwijdig
aan het magnetisch moment van de in de Y-as gerichte
35 zendspoel TY). Deze wervelstromen kunnen geïnduceerd worden
als resultaat van een door zendspoel TX vloeiende stroom.

Zoals eerder uitgelegd, omvat de spoel TX een "bucking"-spoel BX om de uitgang van ontvangstspoel RX nul te maken in een niet-geleidbare omgeving. Aan de spoel CXY zich bij een andere axiale afstand bevindt dan spoel RX, zou echter
 5 het nul maken van de uitgang van spoel CXY een "bucking"-zendspoel vereisen die zich bevindt bij een andere axiale positie dan spoel BX. Voor het gemak van de systeemontwerper kan de uitgang van spoel CXY nul worden gemaakt door het opnemen van een ontvangst-"bucking"-spoel die in
 10 serie en met tegengestelde polariteit is verbonden met de spoel CXY. Deze ontvangst bucking-spoel is aangeduid bij BXY. Methoden voor het aanpassen van de axiale positie van ontvangstbuckingspoelen zoals BXY om de uitgang van de corresponderende ontvangstspoel CXY nul te maken, zijn in
 15 de techniek welbekend. De onderhavige uitvoeringsvorm van de uitvinding omvat een kruiscomponentspoel CXY in plaats van het slechts gebruiken van een ontvangstspoel RY om dezelfde reden als dat de spoel CXY een daarmee geassocieerde buckingspoel BXY omvat, namelijk dat het nul maken
 20 van de uitgang van ontvangstspoel RY voor het aanpassen van de zendspoel TX in een niet-geleidbare omgeving, het gebruik zou vereisen van een extra buckingspoel voor kruiscomponentdetectie, evenals de originele buckingspoel voor directe detectie van het signaal dat afkomstig is van
 25 zijn geassocieerde zendspoel (TY in dit geval). Voor het gemak van de systeemontwerper omvat de onderhavige uitvoeringsvorm separate kruiscomponentspoelen zoals CXY. Het zal duidelijk zijn, dat RY gebruikt zou kunnen worden voor kruiscomponentdetectie bij combinatie met een
 30 geschikte buckingspoel, en daarom dient het gebruik van deze separate kruiscomponentspoelen niet beschouwd te worden als een beperking van de uitvinding.

Een ander kruisaxiale ontvangstspoel die kan worden opgenomen in de uitvinding, is getoond bij CXZ. Spoel CXZ
 35 ontvangt spanningen die geïnduceerd zijn langs de Z-as door wervelstromen die in de aardformtie vloeien als resultaat

van een stroom die vloeit die door de in de X-as gerichte zendspoel TX (langs X1). Spoel CXZ kan een ontvangst-buckingspoel BXZ omvatten, die in functie vergelijkbaar is met buckingspoel BXY. Het aanpassen van de gecombineerde
 5 uitgang van spoelen BXZ en CXZ om nul te zijn in een niet-geleidbare omgeving, kan op een vergelijkbare manier worden uitgevoerd als die welke is gebruikt om de gecombineerde uitgang van de spoelen CXY en BXY in een niet-geleidbare omgeving nul te maken.

10 De elektrische verbindingen tussen de ontvangst-spoelen en de eenheid 12 zal beter worden begrepen door opnieuw te verwijzen naar fig. 2. De ontvangstspoel RX kan verbonden zijn met de ingang van de voorversterker 32. De ontvangers RY en RZ zijn respectievelijk verbonden met de
 15 ingangen van voorversterkers 34 en 36. De kruisaxiale ontvangstspoel CXY en de buckingspoel BXY zijn in serie verbonden met de ingang van de voorversterker 38. De kruisaxiale ontvangstspoel CXZ en de buckingspoel BXZ zijn in serie verbonden met de ingang van de voorversterker 40.
 20 Voorversterkers 32 t/m 40 zijn elk geselecteerd om een signaaluitgangsniveau te verschaffen dat compatibel is met het dynamisch bereik van het analoog naar digitaal omzettergedeelte van de met de uitgang van elke voor-versterker verbonden ADC/DSP keten. Zoals eerder uitgelegd,
 25 kan elke voorversterker 32, 34, 36, 38, 40 zijn verbonden met een geassocieerde ADC/DSP 54, 52, 50, 48, 46.

De ADC/DSPs 54, 52, 50, 48, 46 genereren elk digitale monsters van de uitgang van de daarmee verbonden voorversterker. De acquisitie van de digitale monsters
 30 wordt getimed door de controller 56. De controller 56 kan geprogrammeerd zijn om te veroorzaken, dat elke geassocieerde ADC/DSP digitale monsters genereert van de uitgang van de corresponderende voorversterker. De controller 56 bestuurt elke ADC/DSP om een veelvoud van monsters te
 35 genereren tijdens elke cyclus van de door elk van de zendspoelen vloeiende wisselstroom. Deze digitale signaal-

monsters kunnen getimed zijn om een vooraf bepaalde fase te hebben met betrekking tot de in elk van de ontvangstspoelen RX, RY, RZ, CXY, CXZ geïnduceerde wisselspanningen. De betekenis van de timing van de digitalisatie zal verder
 5 worden uitgelegd.

Nu dat de hardwareconfiguratie van het instrument 10 is uitgelegd, zullen de timing en besturing van de vermogensversterkers (16, 18, 20 in fig. 2) en de ADC/DSPs 54, 52, 50, 48, 46 in fig. 2) meer gedetailleerd worden
 10 uitgelegd. Thans verwijzend naar fig. 4, kan de zend-controller 24 een alleen uitleesbaar geheugen (ROM) 62 omvatten dat een digitale representatie bevat van de gewenste golfvorm van de stroom die door de zendspoelen (TX, TY, TZ in fig. 3A) moet worden gezonden. De digitale
 15 representatie bestaat typisch uit getallen die corresponderen met de sterkte van de gewenste golfvorm zoals bemonsterd bij op afstand van elkaar gelegen tijdintervallen. De uitgang van de ROM 62 wordt getimed door een klok 64, die deel kan uitmaken van de zendcontroller
 20 24, zodat de getallen de ROM 62 verlaten bij op afstand van elkaar gelegen tijdintervallen, en worden geleid naar een digitaal naar analoogomzetter (DAC) 66. de DAC 66 zet de sequentieel vanaf de ROM 62 geleide getallen om naar corresponderende fractionele hoeveelheden van een met de
 25 DAC 66 verbonden referentiespanningsbron $[V_{ref}]$ 70. De uitgang van de DAC 66 bestaat dan uit analoge spanningen die evenredig zijn met de vanuit de ROM 62 ingevoerde getallen. Aangezien de uitgang van de DAC 66 stapsgewijs verandert met elk nieuw vanaf de ROM 62 geleid getal, zou
 30 de DAC 66 er in grafiek uitzien als een reeks "trappen". De uitgang van de DAC 66 wordt daarom bij voorkeur geleid naar een laagdoorlaatfilter 68 om de trapachtige uitgang van de DAC 66 glad te strijken tot een continue, gladde golfvorm. De uitgang van het filter 68 kan geleid worden naar de
 35 ingang van elke vermogensversterker (16, 18, 20 in fig. 2). Het zal duidelijk zijn, dat het gebruik van het hier zo

juist beschreven digitale circuit voor het genereren van een aandrijfsignaal voor de vermogensversterkers 16, 18, 20 een zaak van gemak voor de systeemontwerper is en alleen bedoeld is om te dienen als een voorbeeld van ketens die de
5 gewenste zendstroomgolfvorm zouden kunnen genereren. Analoge signaalgeneratorketens zouden even gemakkelijk de gewenste signaalgeneratiefuncties kunnen vervullen.

Zoals eerder is uitgelegd, geleidt een referentie-aftappunt op elke vermogensversterker 16, 18, 20 een
10 gedeelte van de zendstroom naar de ADC/DSP 26 in de hulpelektronica-eenheid 14. De ADC/DSP 26 genereert digitale monsters van de zendstroom en geleidt de monsters naar de zendcontroller 28. De zendcontroller 28 kan verschillen berekenen tussen de gedigitaliseerde monsters
15 van de zendstroom en de in de ROM 62 opgeslagen getallen. Deze verschillen kunnen veranderingen in amplitude en fase van de zendstroom omvatten met betrekking tot de gewenste amplitude en fase van de zendstroom. Deze verschillen kunnen gebruikt worden om aanpassingsfactoren te genereren
20 voor de in de ROM 62 opgeslagen getallen zodat de gewenste amplitude en fase nauwkeuriger in de zendstroom gegenereerd kunnen worden. Het zal duidelijk zijn, dat in de techniek bekende analoge schakelingen gebruikt kunnen worden om de zojuist beschreven aanpassingen in de zendstroomgolfvorm
25 uit te voeren. Het gebruik van de hier beschreven digitale schakelingen voor het aanpassen van de zendstroomgolfvorm is een zaak van gemak voor de systeemontwerper en is niet bedoeld om de uitvinding te beperken. De veranderingen die berekend zijn tussen de getallen in de ROM 62 en de
30 gedigitaliseerde zendstroom, kunnen ook een aantal cycli van de klok 64 omvatten, waardoor de werkelijke fase van de zendstroom ten opzichte van de kennelijke fase van de zendstroomgolfvorm zoals gesynthetiseerd door de uit de ROM 62 komende getallen, kan worden bepaald. Hierbij wordt
35 voorzien, dat de klok 64 een voldoende hoge frequentie kan hebben waardoor dit faseverschil in een zeer hoge mate van

nauwkeurigheid kan worden bepaald. Het aantal klokcycli van faseverschil kan worden geleid naar de controller (56 in fig. 2) in de telemetrie-eenheid (12 in fig. 2) via een seriële link, in fig. 2 getoond als 30B. De klok 64 kan
 5 gebruikt worden om zowel de zendcontroller 28 als de controller 56 te bedienen, zodat het genereren van digitale signaalmonsters van de ontvangstspanningen nauwkeuriger gesynchroniseerd kan worden met de zendstroom.

Een signaalverwerkingsmethode die bekend staat als
 10 "frequencyfocussering", maakt het mogelijk om de geleidbaarheid van de aardformaties te bepalen, in het bijzonder in richtingen langs de X- en Y-assen, terwijl de effecten van in de putboring (2 in fig. 1) vloeiende wervelstromen in hoofdzaak worden uitgesloten. In een nieuw aspect van de
 15 uitvinding kan de frequentiefocussering worden uitgevoerd door de zendstroomgolfvorm sinusoiden te laten omvatten bij twee verschillende frequenties, gecombineerd in een vooraf bepaalde relatie van amplitude en fase tussen elke frequentiecomponent. De frequentie voor de zendstroom kan
 20 zich bevinden in een gebied van ongeveer 10-70 kHz voor de eerste frequentie en ongeveer 30-210 kHz voor de tweede frequentie zoals verder zal worden uitgelegd.

In de onderhavige uitvoeringsvorm van de uitvinding dient de zendstroomgolfvorm, gerepresenteerd door I_T , aan
 25 de volgende relatie te voldoen:

$$I_T = I_{T1} + I_{T2} \quad (2)$$

waarbij I_{T1} en I_{T2} respectievelijk de
 30 zendstroomgolfvormen bij de eerste frequentiecomponent ω_1 en de tweede frequentiecomponent ω_2 representeren, en waarbij de relatieve amplituden van I_{T1} en I_{T2} voldoen aan de volgende relatie:

$$I_{T1} = I_0 \sin(\omega_1 t) \quad (2)$$

$$I_{T2} = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right)^2 I_0 \sin(\omega_2 t) \quad (3)$$

5 waarbij I_0 een willekeurige referentiemagnitude
representeert, die typisch proportioneel is met het niveau
van V_{ref} (70 in fig. 4). Het is gewenst, dat ω_2 een oneven
harmonisch veelvoud van ω_1 is, en in de voorkeurs-
uitvoeringsvorm is ω_2 de derde harmonische. De zend-
10 stroomgolfvormen bij de twee frequentiecomponenten dienen
dezelfde initiële fase (nul) te hebben bij het begin van
elke cyclus van de zendstroom bij de eerste frequentie. Er
is bepaald, dat als de zendstroom de in vergelijking (3)
beschreven magnituderelatie volgt, dan kunnen de gewenste
15 signaalkarakteristieken van de in de ontvangstspoelen (RX,
RY, RZ, CXY, CXZ in fig. 3B) geïnduceerde spanningen
bepaald worden door het rechtstreeks meten van componenten
van de geïnduceerde spanningen welke een bepaalde tijd-
relatie hebben met betrekking tot de door de zendspoelen
20 (TX, TY, TZ in fig. 3A) bij de eerste frequentie vloeiende
stroom. Op deze tijdstippen zijn de componenten van de
spanningen die in de ontvangstspoelen worden geïnduceerd
door een twee frequenties bezittend magneetveld met de in
de vergelijkingen 2 en 3 beschreven frequentie-, fase- en
25 amplituderelaties, inherent in hoofdzaak ongevoelig voor
spanningen die geïnduceerd worden door in de putboring
(2 in fig. 1) vloeiende wervelstromen, en zij zijn in
hoofdzaak alleen corresponderend met de magnitude van de
alleen in de aardformaties vloeiende wervelstromen. Door
30 het selecteren van de twee frequentiecomponenten en
relatieve amplitudes voor de zendstroomgolfvorm zoals
beschreven in vergelijking (3), kan de geleidbaarheid van
de aardformatie rechtstreeks worden gerelateerd aan het
verschil tussen de componenten van de geïnduceerde
35 spanningen bij elke frequentiecomponent.

In deze uitvoeringsvorm van de uitvinding kan het verschil in de magnitudes van de componenten van de geïnduceerde spanningen bij de twee frequenties rechtstreeks worden gemeten door de controller (56 in fig. 2) te programmeren om de acquisitie van digitale signaalmonsters te timen, gerepresenteerd door t_n , om twee maal te gebeuren tijdens elke volledige cyclus van de zendspanning bij de eerste (lager) frequentie volgens de uitdrukking:

$$t_n = \frac{(n+1/2)\pi}{\omega_1} \quad (4)$$

De digitale monsters van de geïnduceerde spanningen in de ontvangstspoelen, zoals op deze tijdstippen gemaakt, zullen rechtstreeks het verschil in magnitude tussen de componenten van de geïnduceerde spanning bij elke frequentie representeren. De op deze tijdstippen gemaakte digitale signaalmonsters kunnen dan rechtstreeks worden gerelateerd aan de geleidbaarheid van de aardformaties.

De manier waarop de magnitude van deze digitale signaalmonsters rechtstreeks het verschil representeren tussen de geïnduceerde spanningsmagnitudes bij de eerste en tweede frequentiecomponenten, kan beter worden begrepen door te verwijzen naar de fig. 5A, 5B, 6A en 6B. Fig. 5A toont een grafiek van elk van de twee frequentiecomponenten van de door de zendstroom vloeiende wisselstromen. De stroomsterkte bij de eerste frequentiecomponent wordt gerepresenteerd door curve I_{T1} , en de stroomsterkte bij de tweede frequentie wordt getoond door curve I_{T2} . Zoals eerder uitgelegd, kan de tweede frequentie het derde harmonische veelvoud zijn van de eerste frequentie en een amplituderelatie hebben zoals eerder beschreven in vergelijking (2). De samengestelde stroomgolfvorm is getoond in fig. 5B als I_T . De spanning die in de ontvangstspoel wordt geïnduceerd als een resultaat van in de formatie vloeiende wervelstromen, wordt in fig. 6A getoond, waarbij

de wervelstromen worden geïnduceerd door het magnetisch veld dat wordt gegenereerd door de door de zendstroom vloeiende stroom (I_r in fig. 5B). Digitale signaalmonsters kunnen genomen worden op in fig. 6A getoonde tijdstippen.

5 Monster 1 wordt getoond als zijnde getimed te zijn bij één kwart cyclus van de eerste frequentie ($1/2 \pi/\omega_1$). Dit tijdstip correspondeert met $n = 0$ in vergelijking (4). Monster 2 is getoond als zijnde getimed bij drie kwart van de cyclus van de eerste frequentie ($3/2 \pi/\omega_1$), hetgeen

10 correspondeert met $n = 1$ in vergelijking (4). De reden dat op deze relatieve tijdstippen genomen digitale monsters het verschil in magnitudes tussen de ontvangst spanningscomponenten bij de eerste en de tweede frequenties representeren, kan beter worden begrepen door te verwijzen

15 naar fig. 6B, hetgeen de ontvangstspanning toont bij zijn individuele frequentiecomponenten: bij de eerste frequentie, getoond door curve $V_r @ \omega_1$; en bij de tweede frequentie, getoond door curve $V_r @ \omega_2$. Als de wisselstroom bij elke frequentie individueel aan de zendspoel zou worden

20 aangeboden, zou de in de ontvangstspoel geïnduceerde spanning worden getoond door de individuele componentcurven zoals in fig. 6B. Als de stroom bij de tweede frequentie de frequentierelatie en tijdrelatie met betrekking tot de stroom bij de eerste frequentie heeft, zoals hier

25 beschreven, zal de geïnduceerde spanning bij de eerste frequentie een piekwaarde bereiken bij de tijdstippen waarop de geïnduceerde spanning bij de tweede frequentie een piekwaarde met de tegengestelde polariteit zal bereiken. Aangezien de twee frequenties van stroom gesuperponeerd zijn (tegelijkertijd door de zender passeren),

30 zullen monsters van de in de ontvangstspoel geïnduceerde spanning, genomen op de in fig. 6B getoonde tijdstippen, zoals MONSTER 1 en MONSTER 2, daarom rechtstreeks het verschil representeren tussen de piekmagnitudes van de

35 geïnduceerde spanningscomponenten bij de eerste en de tweede frequentie.

Thans wordt weer verwezen naar fig. 2. Wanneer het instrument 10 voor de eerste keer wordt bekrachtigd, begint de zendcontroller 24 een volledige cyclus van de zendspanningsgolfvorm te genereren. De uitgang van de zendcontroller 24 wordt, zoals eerder uitgelegd, geleid naar de timercontroller 22. In de voorkeursuitvoeringsvorm van de uitvinding kunnen X-, Y, en Z-asmetingen sequentieel worden uitgevoerd. De zendcontroller 24 kan een besturingssignaal zenden naar de timercontroller 22 om deze de bijzondere vermogensversterker (zoals X-asversterker 16) te laten bekrachtigen, waarvan de daarmee verbonden zendspoel correspondeert met de as waarlangs de bijzondere meting moet worden verricht. Bedacht wordt, dat een voldoende nauwkeurige meting kan worden verricht door de zendcontroller door ongeveer 1000 van de zendspanningsgolfvormcycli te bedreigen bij de eerste (lagere) frequentie, hoewel dit aantal cycli niet beschouwd moet worden als een beperking voor de uitvinding. Indien bijvoorbeeld het instrument 10 relatief langzaam door de putboring 2 moet worden bewogen, kan een groter aantal cycli nuttig zijn om metingen van hogere nauwkeurigheid te verkrijgen.

Nadat de zendcontroller ongeveer 1000 cycli heeft gewerkt, kan de zendcontroller 28 de timercontroller 22 instrueren om een andere van de versterkers te bedienen, zoals Y-asversterker 18, om de wisselstroom te geleiden naar de daarmee geassocieerde zendspoel (TY in fig. 3A). Na weer ongeveer 1000 cycli kan de zendcontroller 28 de timercontroller instrueren om het proces te herhalen voor de resterende (Z-as) vermogensversterker 20, en nadat ongeveer 1000 cycli van wisselstroom door de Z-as zendspoel TZ zijn gepasseerd, kan het gehele proces worden herhaald.

Tijdens het verzenden vanuit een bijzondere zendspoel zendt de controller 56 besturingssignalen naar de ADC/DSPs 46 t/m 54 die verbonden zijn met de zendspoelen welke gedetecteerd moeten worden tijdens het bedrijf van

elke bijzondere zendspoel. Zo worden bijvoorbeeld tijdens het bedrijf van de X-as zendspoel TX de ADC/DSPs 54 (verbonden met voorversterker 32, die is verbonden met de X-as ontvangspoel RX) en 48 (die is verbonden met de voorversterker 38, die is verbonden met de kruiscomponent-ontvangspoel CXY) en 46 (verbonden met de voorversterker 40, die is verbonden met de kruiscomponentontvangspoel CXZ) geïnstrueerd om de uitgang van de geassocieerde voorversterkers te digitaliseren. De controller 56 kan de corresponderende ADC/DSPs instrueren om digitale signaalmusters te genereren bij de exacte tijdstippen zoals beschreven in vergelijking 4 met betrekking tot de zendspanning. Als alternatief kunnen de ADC/DSPs ten minste vier monsters genereren voor elke cyclus bij de tweede (hogere) frequentie. Aangezien de controller 56 en de zendcontroller 24 getimed kunnen worden door dezelfde klok (64 in fig. 4), moet het exacte tijdstip van het genereren van de digitale signaalmusters worden aangepast door de fasevertraging die wordt bepaald zoals eerder beschreven in de zendcontroller 24. De controller 56 kan het zenden van instructies voor het digitaliseren van de voorversterkeruitgang vertragen met het aantal klokcycli van fasevertraging geleid vanaf de zendcontroller 24 met betrekking tot een begin van een zendspanning-cycluscommando. Het zendcycluscommandobegin kan ook worden verzonden langs de seriële link 30B om aan de controller 56 aan te duiden, dat de zendcontroller 24 een zendspanningcyclus aan het initiëren is. De tijdens de zendspanningcyclus verkregen digitale signaalmusters kunnen synchroon worden gestapeld, zoals hier eerder beschreven, en kunnen worden opgeslagen in een (niet afzonderlijk getoonde) buffer in de controller 56 voor verzending naar het oppervlak door de telemetrie-transceiver 60, of zij kunnen worden vastgehouden voor latere verwerking. Zoals eerder beschreven, kunnen de monsters van elke ADC/DSP 54 t/m 46 worden bewerkt door een discrete Fouriertransformatie om de magnitude van de

spanningscomponenten bij elke frequentie te bepalen, of de monsters die genomen zijn bij de precieze tijdstippen zoals beschreven in vergelijking 4, kunnen gebruikt worden om het verschil in de in-fasespanningscomponenten rechtstreeks te bepalen.

5 Na het eerder beschreven aantal zendspanningcycli (dat zoals eerder uitgelegd, ongeveer 1000 kan zijn), kan de controller 56 digitalisatiecommando's verzenden naar de ADC/DSP die geassocieerd is met de ontvangstspoel die
10 spanningen zal ontvangen welke worden geïnduceerd door zijn axiaal geassocieerde zendspoel (zoals ADC/DSP 52 geassocieerd met de spoelen RY en TY). Het ontvangst- en digitalisatieproces kan dan herhaald worden voor de resterende zendspoel en axiaal geassocieerde ontvangst-
15 spoel.

Deskundigen zullen gemakkelijk verbeteringen en alternatieve uitvoeringsvormen van deze uitvinding kunnen bedenken, welke niet afwijken van het wezen van de uitvinding zoals hier beschreven. Bijgevolg dient de
20 uitvinding in omvang alleen beperkt te worden door de aangehechte claims.

CONCLUSIES

1. Apparaat voor het meten van geleidbaarheid van
aardformaties die worden gepenetreerd door een putboring,
omvattende:
 - een veelvoud van zendspoelen, waarvan er ten minste
5 één een magnetisch momentrichting heeft die verschilt van
de magnetisch momentrichtingen van de andere zendspoelen;
een veelvoud van ontvangstspoelen, die elk een
gevoeligheidsrichting hebben die in hoofdzaak evenwijdig is
aan één van genoemde magnetisch momentrichtingen van
10 genoemde zendspoelen;
een signaalgenerator voor het geleiden van wissel-
stroom bij ten minste twee frequenties door uitgekozen
zendspoelen, welke wisselstroom een eerste amplitude heeft
bij een eerste van genoemde ten minste twee frequenties,
15 welke wisselstroom een tweede amplitude heeft bij een
tweede van genoemde frequenties, welke eerste amplitude
gerelateerd is aan genoemde tweede amplitude door een
vooraf bepaalde relatie die correspondeert met genoemde
eerste en tweede frequenties;
20 middelen voor het ontvangen van in genoemde
ontvangstspoelen geïnduceerde spanningen; en
middelen voor het meten van een verschil tussen
magnitudes van genoemde in genoemde ontvangstspoelen
geïnduceerde spanningen bij genoemde eerste frequentie en
25 genoemde tweede frequentie.
2. Apparaat volgens conclusie 1, waarbij genoemde
tweede frequentie een oneven veelvoud is van genoemde
eerste frequentie.
- 30 3. Apparaat volgens conclusie 2, waarbij genoemd oneven
veelvoud drie is.

4. Apparaat volgens conclusie 2, waarbij genoemde
eerste frequentie een bereik omvat van 10 tot 70 kHz.
5. Apparaat volgens conclusie 2, waarbij genoemde
5 tweede frequentie een bereik omvat van 30 tot 210 kHz.
6. Apparaat volgens conclusie 1, verder omvattende drie
van genoemde zendspoelen, waarbij genoemde magnetisch
momentrichtingen van genoemde zendspoelen onderling
10 orthogonaal zijn.
7. Apparaat volgens conclusie 1, verder omvattende drie
van genoemde ontvangspoelen, waarbij genoemde gevoelig-
heidsrichtingen van genoemde ontvangspoelen onderling
15 orthogonaal zijn.
8. Apparaat volgens conclusie 7, verder omvattende
kruiscomponentontvangspoelen, waarvan elk een gevoelig-
heidsrichting heeft die in hoofdzaak loodrecht staat op
20 genoemde magnetisch momentrichting van één van genoemde
zendspoelen.
9. Apparaat volgens conclusie 1, waarbij genoemde
signaalgenerator een digitaal-naar-analoogomzetter omvat,
25 een alleen uitleesbaar geheugen, en een digitale signaal-
verwerker, waarbij genoemde digitale signaalverwerker
operatief is gekoppeld met een uitgangsaansluiting van
genoemde signaalgenerator, zodat vervormingen van een
uitgang van genoemde signaalgenerator ten opzichte van een
30 vooraf bepaalde golfvorm gecorrigeerd kunnen worden.
10. Apparaat volgens conclusie 1, waarbij genoemde
middelen voor het meten van genoemd verschil in magnitudes
van genoemde spanningen middelen omvatten voor het
35 digitaliseren van genoemde spanningen, waarbij genoemde
middelen voor het digitaliseren verder middelen omvatten

voor het extraheren van digitale signaalmonsters bij vooraf bepaalde tijdstippen met betrekking tot een cyclus van genoemde wisselstroom bij genoemde eerste frequentie.

- 5 11. Werkwijze voor het meten van de geleidbaarheid van door een putboring gepenetreerde aardformaties, omvattende:
het laten passeren van wisselstroom door een uit-
gekozen zendspoel van een veelvoud van zendspoelen die zijn
ingebracht in genoemde putboring, waarbij ten minste één
10 van genoemde zendspoelen een magnetisch momentrichting heeft die verschilt van de magnetisch momentrichtingen van de andere zendspoelen, waarbij genoemde wisselstroom een eerste en een tweede frequentie omvat, waarbij genoemde wisselstroom bij genoemde eerste frequentie een eerste
15 amplitude heeft, waarbij genoemde wisselstroom bij genoemde tweede frequentie een tweede amplitude heeft, waarbij genoemde eerste amplitude en genoemde tweede amplitude een vooraf bepaalde relatie ten opzichte van elkaar hebben, waarbij genoemde vooraf bepaalde relatie correspondeert met
20 genoemde eerste frequentie en genoemde tweede frequentie;
het selectief ontvangen van spanningen die worden geïnduceerd in een ontvangstspoel met een gevoeligheidsrichting die in hoofdzaak evenwijdig is aan genoemde magnetisch momentrichting van genoemde uitgekozen zendspoel;
25 het bepalen van een verschil in magnitude tussen een component van genoemde ontvangen spanningen bij genoemde eerste frequentie en een component van genoemde spanningen bij genoemde tweede frequentie; en
het berekenen van genoemde geleidbaarheid uit
30 genoemd verschil in magnitude.

12. Werkwijze volgens conclusie 11, waarbij genoemde magnetisch momentrichtingen van genoemde zendspoelen onderling orthogonaal zijn.

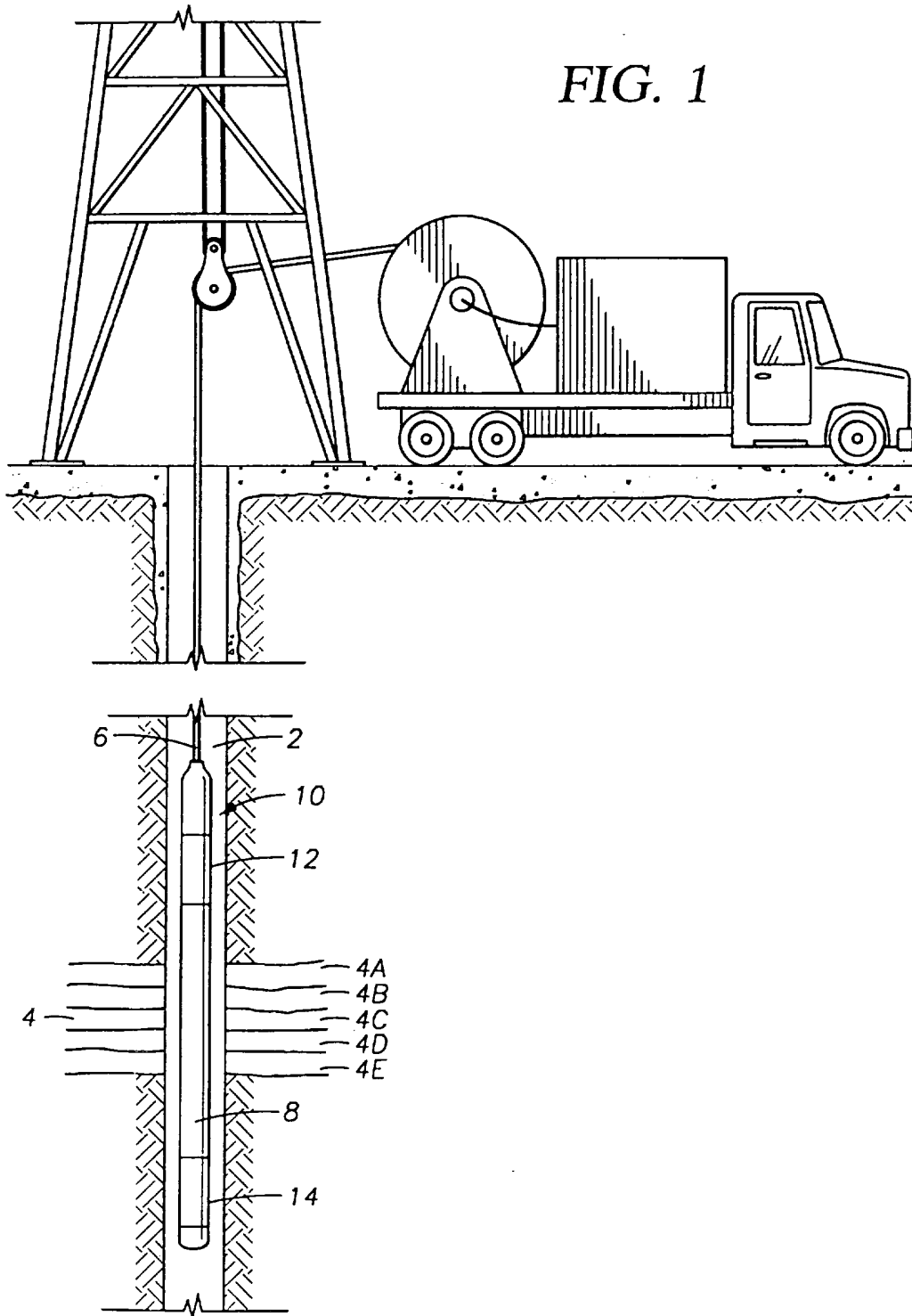
13. Werkwijze volgens conclusie 11, waarbij genoemde tweede frequentie een oneven veelvoud van genoemde eerste frequentie omvat.
- 5 14. Werkwijze volgens conclusie 13, waarbij genoemd oneven veelvoud gelijk is aan drie.
15. Werkwijze volgens conclusie 13, waarbij genoemde eerste frequentie een breik omvat van 10 tot 70 kHz.
- 10 16. Werkwijze volgens conclusie 13, waarbij genoemde tweede frequentie een bereik omvat van 30 tot 210 kHz.
- 15 17. Werkwijze volgens conclusie 11, verder omvattende het rechtstreeks detecteren van een gedeelte van genoemde wisselstroom en het aanpassen van een golfvorm van genoemde wisselstroom om te passen bij een vooraf bepaalde golfvorm.
- 20 18. Werkwijze volgens conclusie 11, waarbij genoemde stap van het bepalen van genoemd verschil in magnitude van genoemde componenten van genoemde spanning het digitaliseren omvat van genoemde spanningen en het extraheren van digitale monsters van genoemde spanningen bij vooraf bepaalde tijdstippen met betrekking tot een cyclus van
- 25 genoemde wisselstroom bij genoemde eerste frequentie.
19. Werkwijze volgens conclusie 18, waarbij genoemde digitale monsters geëxtraheerd worden volgens de formule:
- 30
$$t_n = \frac{(n+1/2)\pi}{\omega_1}$$
20. Werkwijze volgens conclusie 11, verder omvattende het selectief ontvangen van spanningen die geïnduceerd worden in ontvangspoelen met magnetisch momentrichtingen
- 35 die in hoofdzaak loodrecht staan op genoemde magnetisch momentrichting van genoemde éne uitgekozen zendspoel.

21. Werkwijze volgens conclusie 11, waarbij genoemde vooraf bepaalde relatie de navolgende uitdrukking omvat:

$$5 \quad I_{T1} = I_0 \sin(\omega_1 t)$$

$$I_{T2} = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right)^2 I_0 \sin(\omega_2 t).$$

FIG. 1



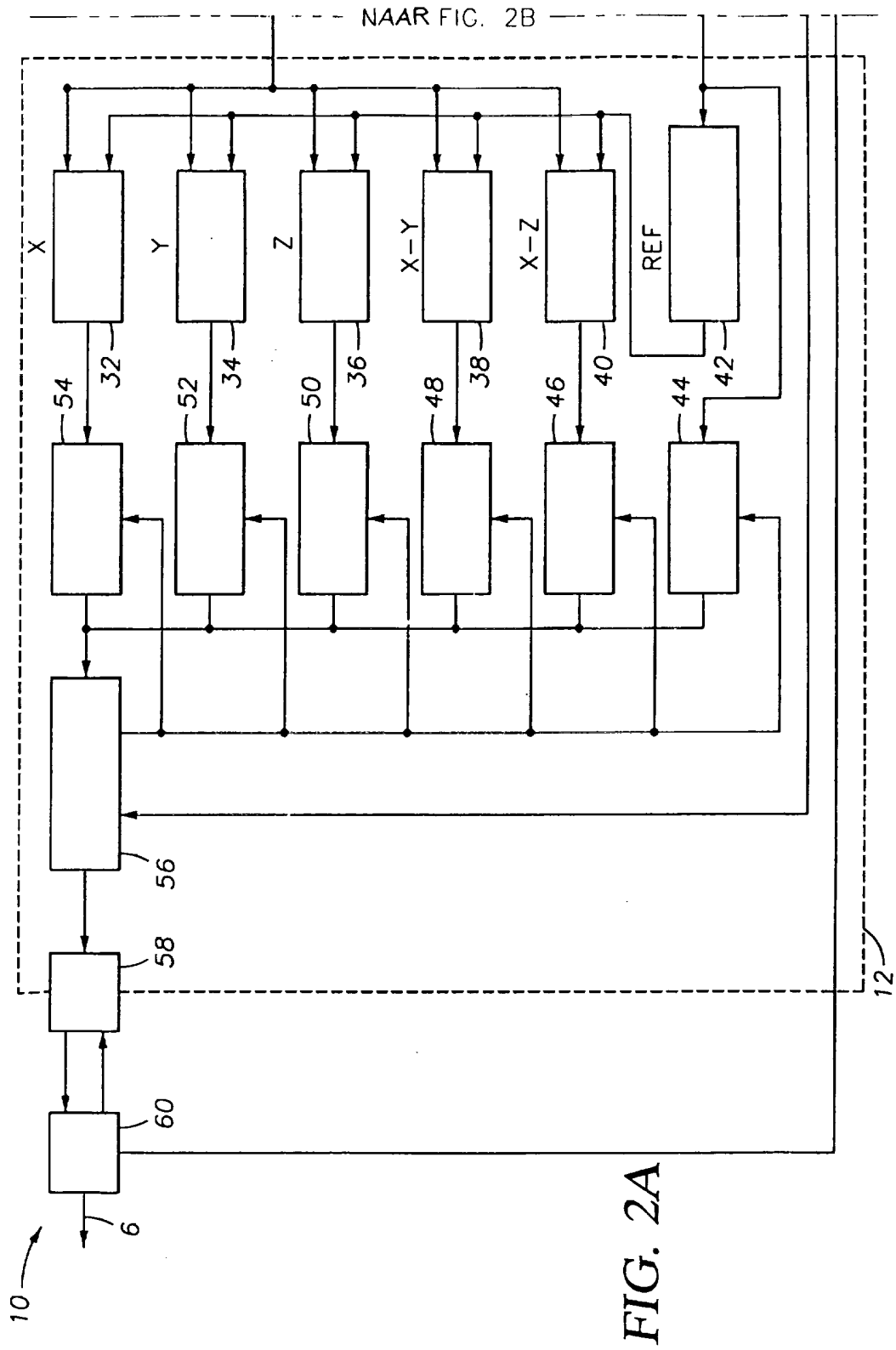
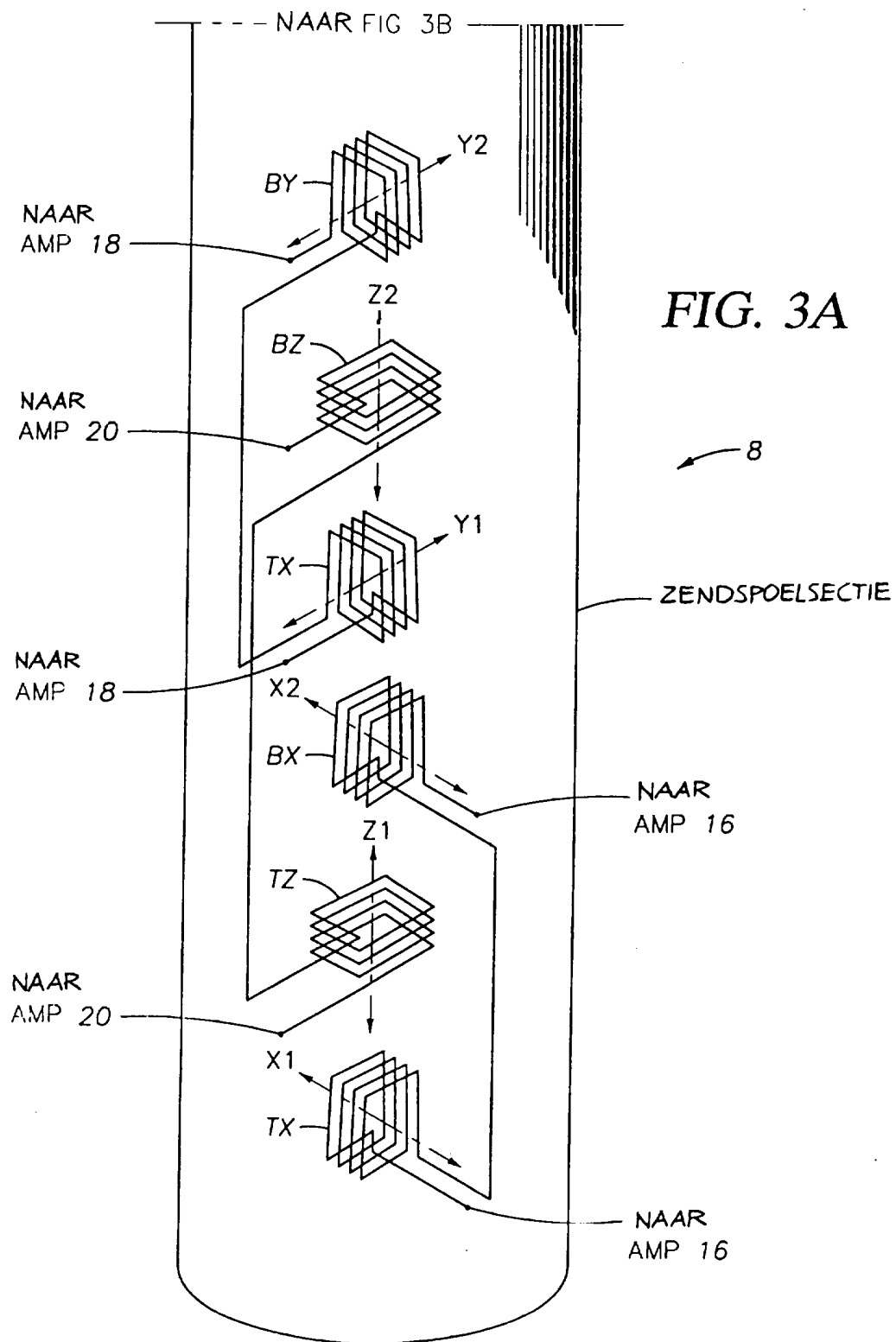
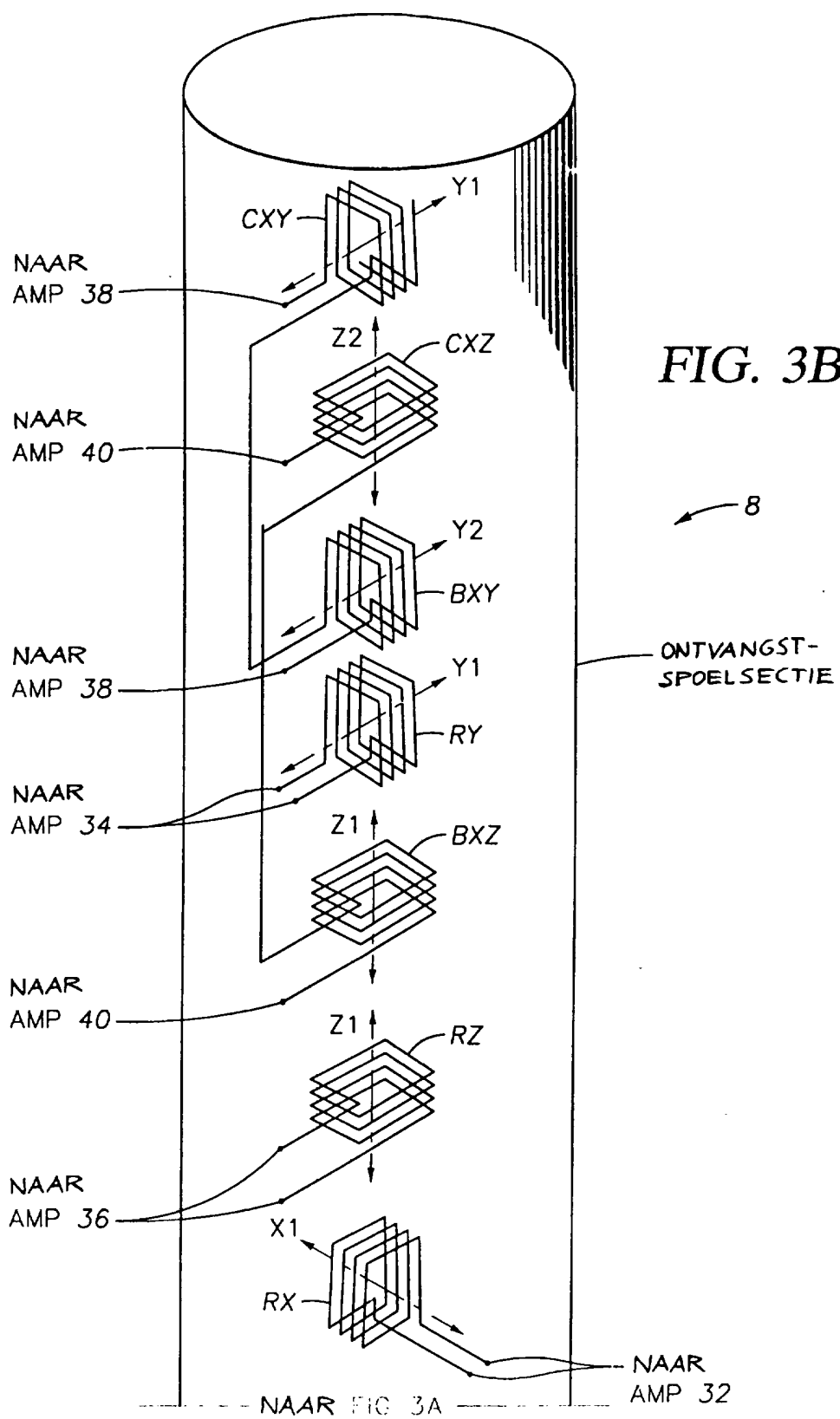


FIG. 2B





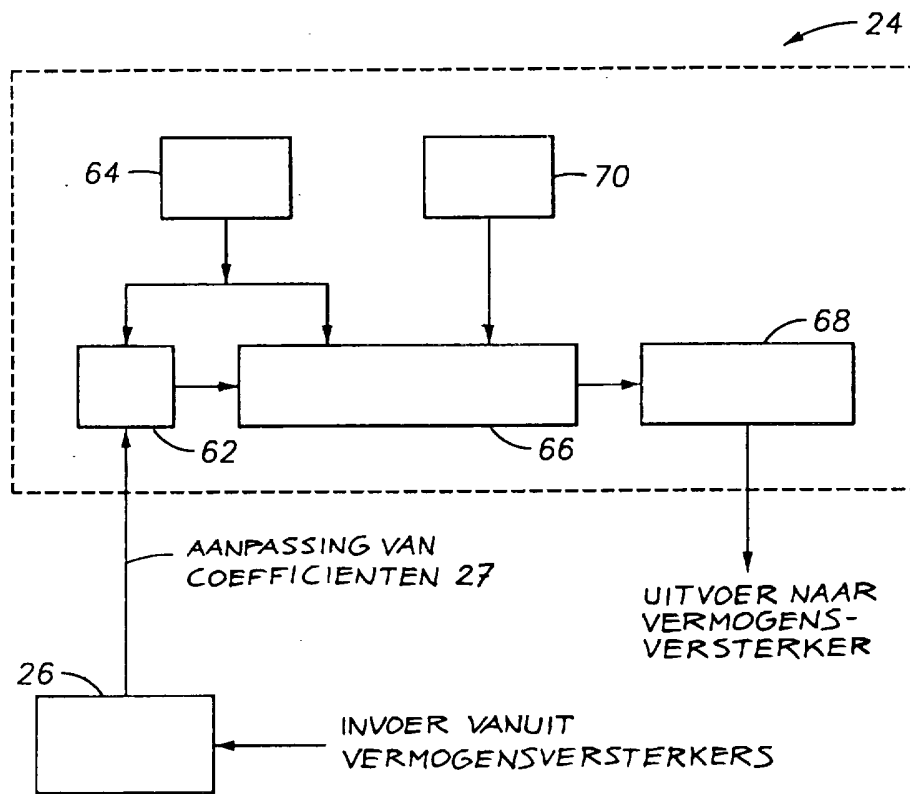
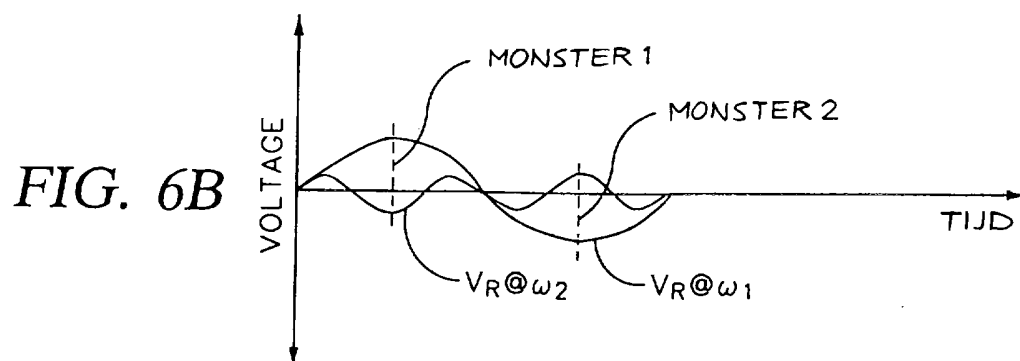
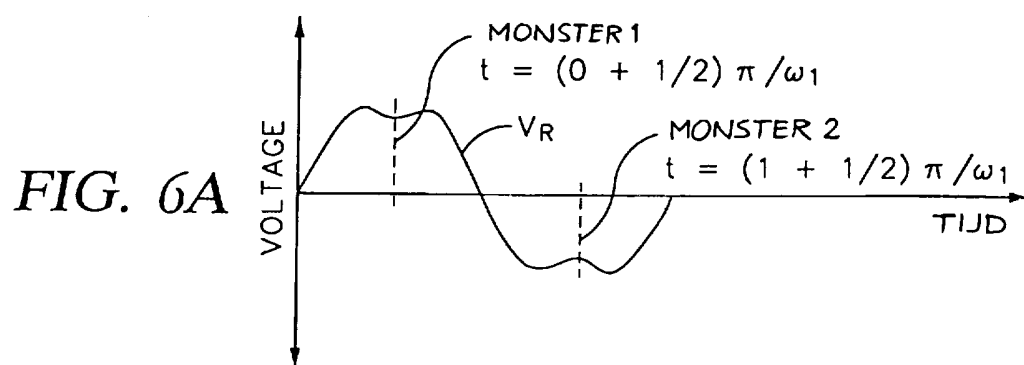
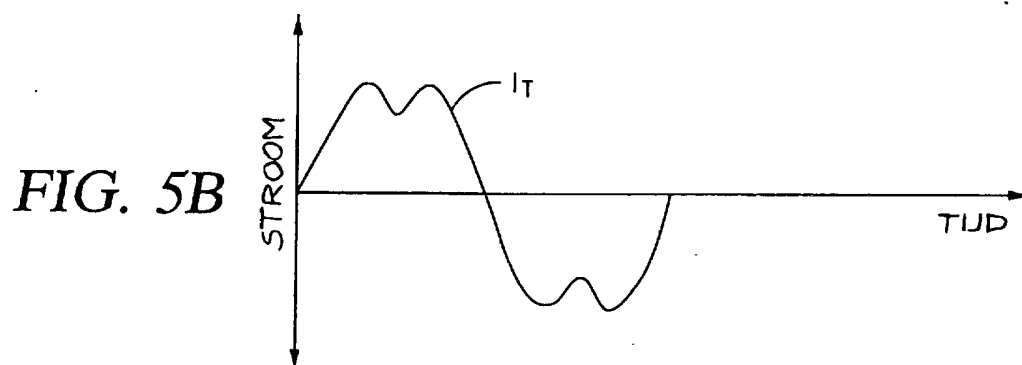
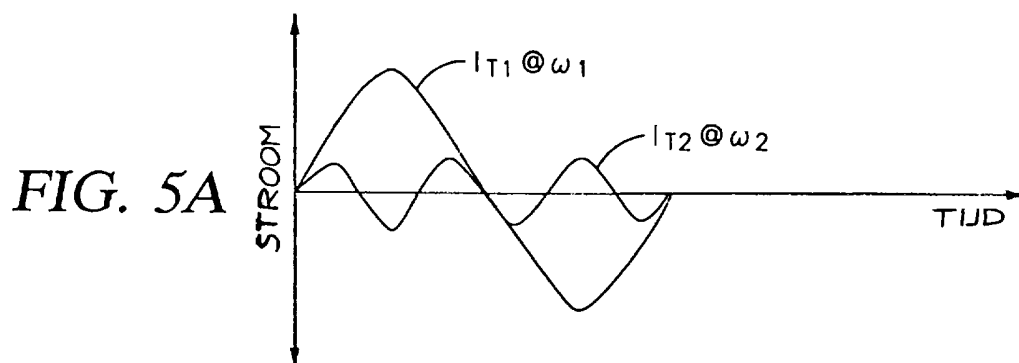


FIG. 4





RAPPORT BETREFFENDE HET ONDERZOEK NAAR DE STAND VAN DE TECHNIEK

Octrooiaanvraag Nr.:

NO 134038
NL 1006659

VAN BELANG ZIJNDE LITERATUUR			
Categorie	Vermelding van literatuur met aanduiding voor zover nodig, van speciaal van belang zijnde passages	Van belang voor conclusie(s)Nr.:	Internationale classificatie
E	WO 98 00733 A (SHELL INT RESEARCH ;SHELL CANADA LTD (CA)) 8 Januari 1998 * het gehele document *	1,6-8, 11,12,20	G01V3/28
X	US 4 972 150 A (TABBAGH ALAIN) 20 November 1990 * kolom 1, regel 48 - kolom 2, regel 10 *	1,6-8, 11,12,20	
X	US 4 302 723 A (MORAN JAMES H) 24 November 1981 * kolom 2, regel 63 - regel 65 *	1,20	
A	US 4 360 777 A (SEGESMAN FRANCIS) 23 November 1982 * kolom 4, regel 15 - regel 39 *	1,6-8, 11,12,20	
A	US 3 891 916 A (MEADOR RICHARD A ET AL) 24 Juni 1975 * kolom 2, regel 33 - regel 65 *	1,11	
A	US 4 636 731 A (SAVAGE KERRY D ET AL) 13 Januari 1987 * figuur 2 *	9,10,17, 18	Onderzochte gebieden van de techniek G01V
Indien gewijzigde conclusies zijn ingediend, heeft dit rapport betrekking op de conclusies ingediend op :			
Plaats van onderzoek 'S-GRAVENHAGE		Datum waarop het onderzoek werd voltooid 28 Mei 1999	Vooronderzoeker (EOB) Swartjes, H
CATEGORIE VAN DE VERMELENDE LITERATUUR X : op zichzelf van bijzonder belang Y : van bijzonder belang in samenhang met andere documenten van dezelfde categorie A : achtergrond van de stand van de techniek O : verwijzend naar niet op schrift gestelde van de techniek P : literatuur gepubliceerd tussen voorrangs- en indieningsdatum T : niet tijdig gepubliceerde literatuur over theorie of principe ten grondslag liggend aan de uitvinding E : andere octrooi-publicatie maar gepubliceerd op of na indieningsdatum D : in de aanvraag genoemd L : om andere redenen vermelde literatuur & : lid van dezelfde octrooifamilie, corresponderende literatuur document			

**AANHANGSEL BEHORENDE BIJ HET RAPPORT BETREFFENDE
HET ONDERZOEK NAAR DE STAND VAN DE TECHNIEK,
UITGEVOERD IN DE OCTROOIAANVRAGE NR.**

NO 134038
NL 1006659

Het aanhangsel bevat een opgave van elders gepubliceerde octrooiaanvragen of octrooien (zogenaamde leden van dezelfde octrooifamilie), die overeenkomen met octrooischriften genoemd in het rapport.
De opgave is samengesteld aan de hand van gegevens uit het computerbestand van het Europees Octrooibureau per
De juistheid en volledigheid van deze opgave wordt noch door het Europees Octrooibureau, noch door de Octrooiraad gegarandeerd ;
de gegevens worden verstrekt voor informatiedoeleinden.

28-05-1999

In het rapport genoemd octrooigeschrift	Datum van publicatie	Overeenkomend(e) geschrift(en)	Datum van publicatie
WO 9800733 A	08-01-1998	AU 3442197 A EP 0909398 A	21-01-1998 21-04-1999
US 4972150 A	20-11-1990	FR 2633971 A DE 3922822 A GB 2221309 A,B	12-01-1990 18-01-1990 31-01-1990
US 4302723 A	24-11-1981	AU 527233 B AU 5931480 A CA 1136700 A GB 2054159 A,B IE 49488 B PH 18196 A	24-02-1983 18-12-1980 30-11-1982 11-02-1981 16-10-1985 23-04-1985
US 4360777 A	23-11-1982	AU 542186 B AU 6588680 A CA 1161112 A GB 2066475 A,B IE 50703 B PH 18324 A	14-02-1985 09-07-1981 24-01-1984 08-07-1981 25-06-1986 31-05-1985
US 3891916 A	24-06-1975	AR 211513 A AU 476441 B AU 7155074 A CA 1000358 A DE 2440676 A DK 454174 A,B, FR 2242691 A GB 1460186 A NL 7410456 A	30-01-1978 23-09-1976 29-01-1976 23-11-1976 03-07-1975 21-04-1975 28-03-1975 31-12-1976 03-03-1975
US 4636731 A	13-01-1987	GEEN	