



⑫ A **Terinzagelegging** ⑪ **8602019**

Nederland

⑲ NL

⑤4 **Magnetische resonantiewerkwijze en -inrichting voor het elimineren van fasefouten in beeldelementen van een complexe afbeelding van een kernmagnetisatieverdeling.**

⑤1 Int.Cl.: G01N 24/08.

⑦1 Aanvrager: N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken te Eindhoven.

⑦4 Gem.: Ir. P.J.P.G. Simons c.s.
Internationaal Octroobureau B.V.
Prof. Holstlaan 6
5656 AA Eindhoven.

②1 Aanvraag Nr. 8602019.

②2 Ingediend 7 augustus 1986.

③2 --

③3 --

③1 --

⑥2 --

④3 Ter inzage gelegd 1 maart 1988.

De aan dit blad gehechte stukken zijn een afdruk van de oorspronkelijk ingediende beschrijving met conclusie(s) en eventuele tekening(en).

N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken te Eindhoven.

Magnetische resonantiewerkwijze en -inrichting voor het elimineren van fasefouten in beeldelementen van een complexe afbeelding van een kernmagnetisatieverdeling.

De uitvinding heeft betrekking op een werkwijze voor het bepalen van een kernmagnetisatieverdeling in een deel van een lichaam, waarbij een stationair homogeen magneetveld wordt opgewekt, waarin het deel van het lichaam zich bevindt, welke werkwijze metingen met de volgende stappen omvat:

- a) het opwekken van een hoogfrequent elektromagnetische puls voor het in een precederende beweging brengen van de locale magnetisatie in het gekozen deel waarbij een resonantiesignaal wordt opgewekt,
- b) het tijdens een meettijd bemonsteren van het door ten minste een magnetische veldgradiënt beïnvloed resonantiesignaal,
- c) het n maal herhalen met $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ van meetcycli met stappen a) en b) eventueel met een variërende waarde van de tijdtintegraal van de onder b) genoemde magnetische veldgradiënten en/of met een variërende richting van de onder b) genoemde magnetische veldgradiënten, bij welke werkwijze fasefouten in beeldelementen van een complexe afbeelding van de kernmagnetisatieverdeling worden geëlimineerd, waarna gecorrigeerde fasen de waarden 0 of π hebben.

De uitvinding heeft tevens betrekking op een inrichting voor het bepalen van een kernmagnetisatieverdeling in een deel van een lichaam welke inrichting bevat:

- a) middelen voor het opwekken van een stationair homogeen magneetveld,
- b) middelen voor het opwekken van een hoogfrequent elektromagnetische puls,
- c) middelen voor het opwekken van een magnetische veldgradiënt,
- d) bemonsteringsmiddelen voor het bemonsteren gedurende een meettijd van een, met de onder a) en b) genoemde middelen opgewekt en door ten minste een magnetische veldgradiënt beïnvloed resonantiesignaal,
- e) verwerkingsmiddelen voor het verwerken van de door de bemonsteringsmiddelen geleverde signalen, en
- f) besturingsmiddelen voor het besturen van de onder b) tot en met e)

genoemde middelen voor het opwekken, bemonsteren, en verwerken van een aantal resonantiesignalen, waarbij de besturingsmiddelen aan onder c) genoemde middelen stuursignalen toevoeren voor het instellen van eventueel de sterkte c.q. tijdsduur en/of richting van de magnetische veldgradiënt waarbij met betrekking tot de magnetische veldgradiënt telkens na elke herhaling van cycli, eventueel de integraal van de sterkte over de tijdsduur en/of richting van de magnetische veldgradiënt verschillend is.

Onder het begrip kernmagnetisatieverdeling dient zowel een kernspindichtheidsverdeling, een stroomsnelheidsverdeling, een relaxatietijd T_1 , T_2 verdeling als ook een kernspinresonantie-frequentiespectrumverdeling (N.M.R. plaatsafhankelijke spectroscopie), enzovoorts te worden verstaan.

Een dergelijke werkwijze is bekend uit het "Book of Abstracts" van de Fourth Annual Meeting, Society of Magnetic Resonance in Medicine, London 1985, bladzijde 495, waarin een door P. Margosian geschreven abstract staat van een op 22 augustus 1985 te London gepresenteerde postersessie.

Inrichtingen voor het bepalen van een kernmagnetisatieverdeling in een deel van een lichaam en de basisprincipes volgens welke deze werken zijn bijvoorbeeld bekend uit het artikel "Proton NMR Tomography" in Philips Technical Review, Volume 41, 1983/84, No. 3, bladzijden 73-78. Voor de verklaring van hun constructie en de basisprincipes van hun werking wordt hier naar dit artikel verwezen.

Bij een werkwijze beschreven in het abstract van P. Margosian wordt een zogenaamde klassieke spin-echo werkwijze uitgevoerd. Bij een dergelijke werkwijze wordt een te onderzoeken lichaam aan een sterk, stationair homogeen magneetveld B_0 onderworpen, waarvan de richting samenvalt met bijvoorbeeld de z-as van een Carthesisch (x, y, z) coördinatenstelsel. Met het stationaire magneetveld B_0 wordt een kleine polarisatie van de in het lichaam aanwezige kernspins verkregen en wordt de mogelijkheid geschapen om kernspins een precessiebeweging om de richting van het magneetveld B_0 te laten maken. Na het aanleggen van het magneetveld B_0 wordt een magnetische veldgradiënt, fungerend als selectiegradiënt, aangelegd en tegelijkertijd een 90° -radiofrequentiepuls opgewekt, die de magnetisatierichting van de in een geselecteerde plak aanwezige kernen over een hoek 90° draait. Na het beëin-

8602019

digen van de 90° -puls zullen de kernspins gaan precederen rond de veld-
richting van het magneetveld B_0 en een resonantiesignaal opwekken (FID-
signaal). Er worden na de 90° -puls tegelijkertijd veldgradiënten
 G_y , G_x en G_z aangelegd waarvan de veldrichting samenvalt met die
5 van het magneetveld B_0 en de gradiëntrichtingen in respectievelijk de
y-, x- en z-richting staan. De veldgradiënten G_x , G_y en G_z die-
nen respectievelijk ter refasering en codering van de kernspins in res-
pectievelijk de x-, y- en z-richting. Na het beëindigen van de drie
bovengenoemde veldgradiënten wordt na een 180° echopuls een veldgra-
10 diënt G_x aangezet waarbij een echo-resonantiesignaal van het oor-
spronkelijke FID-signaal wordt bemonsterd.

Ter verkrijging van een beeld van een geselecteerd deel
wordt een meetcyclus een aantal malen herhaald met telkens voor elke
cyclus een andere waarde van de tijdintegraal van de veldgradiënt G_y
15 en/of G_z . Door nu de Fouriertransformaties van de resonantiesignalen
te rangschikken naar toenemende grootte van de tijdintegraal van de veld-
gradiënt G_y enerzijds en de veldgradiënt G_z anderzijds en deze
te onderwerpen aan een Fouriertransformatie in de y-richting en daarna
in de z-richting, wordt bijvoorbeeld een spindichtheidsdistributie
20 verkregen als functie van x, y en z.

Wanneer nu de geëxciteerde magnetisaties in het geselecte-
eerde deel van het lichaam betrekking hebben op bijvoorbeeld protonen
in zowel water als vet, zullen de magnetisaties van zowel waterprotonen
als vetprotonen door de beïnvloeding van de hoogfrequent elektromag-
25 netische 90° puls, een precessiebeweging om de richting van het mag-
neetveld B_0 maken. Daar de magnetisaties van de waterprotonen ongeveer
3,5 ppm sneller precederen dan de magnetisaties van de vetprotonen, welk
verschil in precessiefrequentie ongeveer 70 Hz bedraagt bij een sterkte
van 0,50 T van het stationaire homogene magneetveld, zullen de
30 magnetisaties van de waterprotonen vrijwel direct na de hoogfrequent
elektromagnetische 90° -puls niet meer in dezelfde richting gericht
zijn als die van de vetprotonen. Een eventueel verkregen complex
beeld van het geselecteerde deel zal in zo'n geval een zogenaamd gecombi-
neerd water/vet beeld vormen. Uit onder andere "Simple Proton
35 Spectroscopic Imaging", W.Th. Dixon, Radiology 153 (1984) 189, is be-
kend dat indien een afzonderlijk water- respectievelijk vetbeeld van het
geselecteerde deel gewenst wordt, twee beelden gevormd dienen te worden,

8602019

het ene respectievelijk het andere corresponderend met een situatie in het geselecteerde deel waarin de magnetisaties van de waterprotonen gelijk gericht (en positief reëel) respectievelijk tegengesteld gericht zijn (en negatief reëel) aan die van de vetprotonen (die
5 positief reëel zijn). Door substractie c.q. optelling van deze twee beelden kan dan een afzonderlijk water- c.q. vetbeeld gevormd worden. In de praktijk echter zal in een meetcyclus moeilijk de situatie gecreëerd kunnen worden waarin de waterprotonen respectievelijk de
10 vetprotonen een fase van beide 0 rad (gelijk gericht en positief reëel) dan wel 0 rad respectievelijk $\pm \pi$ rad (tegengesteld gericht en reëel) of zelfs maar een over het beeld constante fase c respectievelijk $c \pm \pi$ met $c \in \mathbb{R}$ bezitten. Dit omdat de fasen van de respectieve protonen tevens worden beïnvloed door bijvoorbeeld
15 inhomogeniteiten van het stationaire homogene magneetveld, instabiliteiten van de magnetische veldgradiënten en wervelstromen, waardoor de beeldelementwaarden niet meer zuiver reëel zullen zijn, maar de fasen een van beeldelement tot beeldelement verschillende fasefoutcomponent zullen bevatten.

In het eerder genoemde abstract van P. Margosian wordt
20 een werkwijze voorgesteld waarmee fasefoutbijdragen van met name inhomogeniteiten van het stationaire homogene magneetveld worden geschat. P. Margosian stelt voor om een fantoomobject gevuld met alleen water te gebruiken ter bepaling van deze fasefout-bijdragen van magnetische veldinhomogeniteiten. Wanneer de fasefoutbijdragen per beeldelement
25 bekend zijn, kan tevens per beeldelement een fasecorrectie plaatsvinden waarbij gecorrigeerde fasen de waarden 0 of π hebben. Allereerst wordt een eerder hier geïntroduceerde klassieke spin-echo meting uitgevoerd waarbij de hoogfrequent electromagnetische 180° -puls op een zodanig
30 tijdstip wordt opgewekt, dat de invloeden van de inhomogeniteiten van het stationaire homogene magneetveld in het centrum van de na de 180° -puls opgewekte magnetische (meet-)veldgradiënt opgeheven worden. Dit is mogelijk wanneer de hoogfrequent electromagnetische 180° -puls
35 symmetrisch ligt ten opzichte van de hoogfrequent electromagnetische 90° -(excitatie-)puls en het centrum van deze magnetische meetveldgradiënt. Immers, dan heffen de fasefoutbijdragen van de inhomogeniteiten van het stationaire homogene magneetveld voorafgaand aan en volgend op het tijdstip van opwekking van de 180° -puls elkaar

in het centrum van de magnetische meetveldgradiënt op. Vervolgens wordt een tweede klassieke spin-echo meting uitgevoerd die identiek is aan de eerste behalve dat hier de hoogfrequent electromagnetische 180° -puls verschoven is ten opzichte van die in de eerste meting.

5 Wanneer nu de respectievelijke beelden van de eerste respectievelijk de tweede meting met elkaar per beeldelement vergeleken worden, kan per beeldelement de fasefoutbijdragen van de (magnetische veld-
)inhomogeniteiten van het stationaire homogene magneetveld bepaald worden, omdat die alleen in het beeld van de tweede meting voorkomen.

10 Een bezwaar van de bekende werkwijze is, dat geen correctie plaats vindt voor fasefoutbijdragen ten gevolge van inhomogeniteiten van het stationaire homogene magneetveld die veroorzaakt zijn door de magnetische susceptibiliteit van bijvoorbeeld een te onderzoeken patiënt. Bovendien worden de door wervelstromen teweeggebrachte inhomogeniteiten van bovengenoemd magneetveld niet juist gecorrigeerd, doordat
15 de fasefoutbijdragen van wervelstromen in onderling verschillende herhalingen van een meetcyclus, ten gevolge van verschil in sterkte van de gradiënt(en), variëren. Tevens is een bezwaar dat voordat bekend is welk deel van een lichaam geselecteerd wordt, informatie over de
20 inhomogeniteiten van het stationaire homogene magneetveld in alle mogelijk te selecteren delen bekend moet worden.

Het is het doel van de uitvinding een MRI-werkwijze en -inrichting te verschaffen waarbij een juiste correctie plaatsvindt voor alle fasefoutbijdragen inclusief die ten gevolge van wervelstromen en de
25 magnetische susceptibiliteit van bijvoorbeeld een te onderzoeken patiënt en waarbij het behandelen van een willekeurig geselecteerd deel van een lichaam eenvoudiger is.

Een werkwijze van de in de aanhef vermelde soort heeft daartoe volgens de uitvinding het kenmerk, dat bij genoemde eliminatie
30 ervan wordt uitgegaan dat de fasefout een vloeiend verloopt heeft als functie van de plaats in de complexe afbeelding. Er wordt met andere woorden van uitgegaan, dat het maximaal optredende fasefoutverschil tussen twee naastgelegen beeldelementen klein is, zodat zoals later zal blijken, een betrouwbare fasefoutcorrectie mogelijk is. Bovendien
35 beperkt zich de toepassing van de werkwijze volgens de uitvinding zich niet tot over het gehele beeld gecumuleerde fasefoutverschillen kleiner dan $\pm \pi/2$: een fasefoutcorrectie is tevens mogelijk wanneer het

8602019

maximaal optredende gecumuleerde faseverschil zelfs groter (of gelijk) is dan 2π .

Een uitvoeringsvorm van een werkwijze volgens de uitvinding heeft het kenmerk, dat eerst de gecorrigeerde fase en de corresponderende fasefout van een zeker beeldelement in de afbeelding wordt bepaald en vervolgens de gecorrigeerde fasen en de corresponderende fasefouten van overige beeldelementen in een zodanige volgorde worden bepaald, dat een volgende beeldelement een beeldelement gelegen is naast een beeldelement waarvan de gecorrigeerde fase en de corresponderende fasefout reeds bepaald is, en dat een gecorrigeerde fase 0 respectievelijk $\pm\pi$ wordt toegekend aan het volgende beeldelement indien het faseverschil tussen de fase van dit volgende beeldelement en de fasefout van het naastgelegen beeldelement waarvan de gecorrigeerde fase en de corresponderende fasefout reeds is bepaald, modulo 2π gelegen is in een interval $(-\Delta, \Delta)$ wanneer de gecorrigeerde fase van dit naastgelegen beeldelement 0 is of in een interval $(\pm\pi - \Delta; \pm\pi + \Delta)$ wanneer de gecorrigeerde fase van dit naastgelegen beeldelement $\pm\pi$ is, respectievelijk in een interval $(\pm\pi - \Delta, \pm\pi + \Delta)$ wanneer de gecorrigeerde fase van dit naastgelegen beeldelement 0 is of in een interval $(-\Delta, \Delta)$ wanneer de gecorrigeerde fase van dit naastgelegen beeldelement $\pm\pi$ is, waarbij Δ het maximaal optredende fasefoutverschil tussen de twee naastgelegen beeldelementen representeert, en waarbij de fasefout in het volgende beeldelement gedefinieerd is als zijnde gelijk aan het verschil tussen zijn ongecorrigeerde fase en zijn gecorrigeerde fase, verminderd of vermeerderd met zoveel keren 2π dat het verschil met de fasefout van het naastgelegen beeldelement waarvan de fasefout al bepaald is, minimaal is. Door op deze manier telkens bij de bepaling van de gecorrigeerde fase van een beeldelement in het beeld, een aan dit beeldelement aanliggend reeds behandeld beeldelement als referentiebeeldelement te nemen en zo het gehele beeld of gedeelten van het beeld te behandelen, kan per beeldelement elk faseverschil vallend in één van de bovengenoemde intervallen vertaald worden in een gecorrigeerde fase 0 of π .

Een verdere uitvoeringsvorm van een werkwijze volgens de uitvinding heeft het kenmerk, dat de bepaling van de gecorrigeerde fasen van de beeldelementen wordt uitgevoerd naar aflopende amplitude van de

naastgelegen beeldelementen, waarvan de gecorrigeerde fase nog niet is bepaald. Wanneer een deel van het beeld een lage signaal/ruis verhouding heeft, zou het mogelijk zijn dat een foutieve fasecorrectie in de beeldelementen van dat deel plaatsvindt. Een foutieve fase-toekenning 0 of π kan bij de behandeling van andere beeldelementen doorwerken. Door nu de bepaling van de gecorrigeerde fasen van de beeldelementen uit te voeren naar aflopende amplitude van de beeldelementen en dus eerst de behandeling uit te voeren waar de signaal/ruis verhouding het grootst is, wordt dit doorwerken van een foutieve fasecorrectie geminimaliseerd.

10 Een verdere uitvoeringsvorm van een werkwijze volgens de uitvinding heeft het kenmerk, dat de gecorrigeerde fase van het volgende beeldelement wordt bepaald door vergelijking met het gemiddelde van de reeds bepaalde fasefouten van een aantal omliggende beeldelementen, waarvan de gecorrigeerde fasen en de corresponderende fasefouten al bepaald zijn. Dit vermindert de invloed van ruis op de fasecorrectie.

Een verdere uitvoeringsvorm van een werkwijze volgens de uitvinding heeft het kenmerk, dat na de bepaling van de met fasefouten behepte complexe afbeelding en voorafgaande aan de bepaling van de gecorrigeerde fasen, de afbeelding eerst met een laagdoorlaatfilter wordt gefilterd en een tussenafbeelding met een lage resolutie wordt bepaald, vervolgens de fasefouten van de tussenafbeelding worden bepaald en als fasefouten van de ongefilterde afbeelding worden beschouwd. Voordelig hierbij is dat de tussenafbeelding een lage resolutie bezit, zodat minder beeldelementen hierin behandeld hoeven te worden hetgeen minder rekentijd kost. Bovendien is het voordelig dat een beeldelement van de tussenafbeelding in het algemeen een hogere signaal/ruis verhouding heeft dan één van de ongefilterde afbeelding.

Een verdere uitvoeringsvorm van een werkwijze volgens de uitvoering heeft het kenmerk, dat de complexe afbeelding wordt verdeeld in subgebieden van n_x maal n_y maal n_z maal beeldelementen en voor de beeldelementen in elk subgebied de fasefout modulo π wordt benaderd met $\phi_0 + x\phi_x + y\phi_y + z\phi_z + \dots$ waarin x, y, z en de positie van een beeldelement in het subgebied bepalen, ϕ_0 de gemiddelde fasefout modulo π en ϕ_x respectievelijk ϕ_y respectievelijk ϕ_z , respectievelijk de gemiddelde gradiënt van de fasefout in de richting x respectievelijk y respectievelijk z respectievelijk van de beeldelementen in de subgebieden benadert,

8602019

zodanig dat na substractie van de benadering $\phi_0 + x\phi_x + y\phi_y + z\phi_z + \dots$ van de fasen van alle beeldelementen in het subgebied, het aldus gevormde verschil in elk beeldelement zo goed mogelijk gelijk is aan $k\pi$ met k een geheel getal.

- 5 Een verdere uitvoeringsvorm van een werkwijze volgens de uitvinding heeft het kenmerk, dat ϕ_0 en/of ϕ_x en/of ϕ_y en/of ϕ_z en/of worden bepaald met de methode van de kleinste kwadraten. Wanneer de complexe waarden van de beeldelementen in het complexe vlak worden uitgezet, dan kan ϕ_0 gevonden worden uit de
- 10 hoek die de best passende rechte door deze complexe waarden, met de reële as maakt (in een situatie zonder ruis en met $\phi_x, \phi_y, \phi_z \dots$ gelijk nul zouden alle complexe waarden van de beeldelementen liggen op een rechte met een fase $\phi = \phi_0$ of een fase $\phi = \phi_0 \pm \pi$, waarbij ϕ_0 wederom de hoek weergeeft die die rechte maakt met
- 15 de reële as. ϕ_x, ϕ_y, ϕ_z en kunnen bepaald worden door de afstanden in een over ϕ_0 geroteerd assenstelsel, van de complexe waarden (opgevat als punten in het complexe vlak) van de respectievelijke beeldelementen op posities x, y, z, \dots tot de respectievelijke rechten met richtingscoëfficiënten $x\phi_x +$
- 20 $y\phi_y + z\phi_z + \dots$ te minimaliseren.

- Een verdere uitvoeringsvorm van een werkwijze volgens de uitvinding heeft het kenmerk, dat nadat in subgebieden de fasefout modulo π is bepaald, uitgaande van een zeker subgebied, achtereenvolgens voor telkens een nieuw subgebied aanliggend aan subgebieden waarvan de
- 25 fasefout reeds is bepaald, de fasefout wordt bepaald door bij de bekende fasefout modulo $\pi, k\pi$ op te tellen, met k geheel, zó dat de sprong in de fasefout op de grenzen tussen het nieuwe gebied en het gebied of de gebieden waar de fasefout reeds bepaald is, minimaal is.

- Een verdere uitvoeringsvorm van een werkwijze volgens de
- 30 uitvinding heeft het kenmerk, dat de volgorde van het doorlopen van de aanliggende subgebieden mede wordt bepaald met een correlatie-coëfficiënt die mede wordt bepaald uit de betrouwbaarheid van de benadering van de fasefout in de beide betreffende aangrenzende subgebieden alsmede uit de mate van continuïteit (modulo π) tussen de beide
- 35 fasefoutbenaderingen op de rand tussen de beide aanliggende subgebieden, waarbij steeds het subgebied met de betrouwbaarste benadering van de fasefout als volgende in het doorlopen genomen wordt.

Dit is vooral voordelig wanneer het beeld delen bezit met een lage signaal/ruis verhouding.

Een inrichting volgens de uitvinding heeft het kenmerk, dat de inrichting tevens middelen bevat voor het elimineren van

5 fasefouten in beeldelementen van een complexe afbeelding van een kernmagnetisatieverdeling waarbij eerst de gecorrigeerde fase en de corresponderende fasefout van een zeker beeldelement in de afbeelding wordt bepaald en vervolgens de gecorrigeerde fasen en de

10 corresponderende fasefouten van overige beeldelementen in een zodanige volgorde worden bepaald, dat een volgende beeldelement een beeldelement gelegen is naast een beeldelement waarvan de gecorrigeerde fase en de corresponderende fasefout reeds bepaald is, en dat een gecorrigeerde fase 0 respectievelijk $\pm \pi$ wordt toegekend aan het volgende beeldelement indien het faseverschil tussen de fase van dit volgende

15 beeldelement en de fasefout van het naastgelegen beeldelement waarvan de gecorrigeerde fase en de corresponderende fasefout reeds is bepaald, modulo 2π gelegen is in een interval $(-\Delta, \Delta)$ wanneer de gecorrigeerde fase van dit naastgelegen beeldelement 0 is of in een interval $(\pm \pi - \Delta, \pm \pi + \Delta)$ wanneer de gecorrigeerde fase van dit naastgelegen

20 beeldelement $\pm \pi$ is, respectievelijk in een interval $(\pm \pi - \Delta, \pm \pi + \Delta)$ wanneer de gecorrigeerde fase van dit naastgelegen beeldelement 0 is of in een interval $(-\Delta, \Delta)$ wanneer de gecorrigeerde fase van dit naastgelegen beeldelement $\pm \pi$ is, waarbij Δ het maximaal optredende fasefoutverschil tussen de twee naastgelegen beeldelementen represen-

25 teert, en waarbij de fasefout in het volgende beeldelement gedefinieerd is als zijnde gelijk aan het verschil tussen zijn ongecorrigeerde fase en zijn gecorrigeerde fase, verminderd of vermeerderd met zoveel keren 2π dat het verschil met de fasefout van het naastgelegen beeldelement waarvan de fasefout al bepaald is, minimaal is.

30 Een verdere inrichting volgens de uitvinding heeft het kenmerk, dat de inrichting tevens middelen bevat voor het elimineren van fasefouten in beeldelementen van een complexe afbeelding van een kernmagnetisatieverdeling, waarbij gecorrigeerde fasen de waarden 0 of π hebben en waarbij de complexe afbeelding wordt verdeeld

35 in subgebieden van n_x maal n_y maal n_z maal beeldelementen en voor de beeldelementen in elk subgebied de fasefout modulo π wordt benaderd met $\phi_0 + x\phi_x + y\phi_y + z\phi_z + \dots$ waarin x, y, z en

8602019

..... de positie van een beeldelement in het subgebied bepalen, ϕ_0
 de gemiddelde fasefout modulo π en ϕ_x respectievelijk ϕ_y
 respectievelijk ϕ_y respectievelijk ϕ_z , respectievelijk de
 gemiddelde gradiënt van de fasefout in de richting x respectievelijk y
 5 respectievelijk z respectievelijk van de beeldelementen in de
 subgebieden benadert, zodanig dat na substractie van de benadering
 $\phi_0 + x\phi_x + y\phi_y + z\phi_z + \dots$ van de fasen van alle
 beeldelementen in het subgebied, het aldus gevormde verschil in elk
 beeldelement zo goed mogelijk gelijk is aan $k\pi$ met k een geheel
 10 getal. Met bovenstaande inrichtingen volgens de uitvinding zijn
 werkwijzen uit te voeren, die de bezwaren van de bekende werkwijzen niet
 in zich hebben.

Het zij hier opgemerkt, dat de werkwijze volgens de uit-
 vinding niet alleen betrekking kan hebben op een werkwijze waarbij wa-
 15 ter/vet beelden worden gereconstrueerd, maar ook op een werkwijze waar-
 bij zogenaamde inversion recovery beelden of andere beelden waarbij de
 gezochte beeldinformatie reëel positief of negatief is en het beeld
 verstoord is met een glad verlopende fasefout, worden gereconstrueerd.

De uitvinding zal verder worden toegelicht aan de hand
 20 van in tekening weergegeven figuren, in welke tekening

figuur 1 een grafiek toont waarin de ongecorrigeerde
 fasedraaiing die geëxciteerde kernspins in een meetcyclus ondergaan,
 is uitgezet tegen hun positie in bijvoorbeeld de richting van een
 magnetische (preparatie-)veldgradiënt,

25 figuur 2 eenzelfde grafiek als die van figuur 1 toont,
 behalve dat hierin de fasedraaiing ten gevolge van bijvoorbeeld
 susceptibiliteitsinhomogeniteiten van het stationaire homogene
 magneetveld en de gecorrigeerde fasedraaiing zijn weergegeven,

 figuur 3 een complex vlak toont, waarin de complexe
 30 waarden van beeldelementen als punten in dit complexe vlak zijn
 aangebracht.

 Figuur 1 geeft een grafiek weer waarin langs de verticale
 as de ongecorrigeerde fasedraaiing $\phi_1 = \phi_{\text{ongecor.}}$ is uitgezet
 die protonen in water respectievelijk in vet in een geëxciteerd deel
 35 van een lichaam gedurende een meetcyclus ondergaan en waarin langs de
 horizontale as de positie y van deze protonen in bijvoorbeeld de
 richting van een magnetische (preparatie-)veldgradiënt, is uitgezet.

8602019

Zoals figuur 1 laat zien, krijgen bijvoorbeeld vetprotonen ter plaatse y_1 een ongecorrigeerde fasedraaiing $\Phi_{\text{ongecor}, y_1} = \pi$ rad, waterprotonen ter plaatse y_2 respectievelijk y_3 een ongecorrigeerde fasedraaiing $\Phi_{\text{ongecor}, y_2} = \delta$ rad respectievelijk $\Phi_{\text{ongecor}, y_3} = \delta'$ rad en vetprotonen ter plaatse y_4 een ongecorrigeerde fasedraaiing $\Phi_{\text{ongecor}, y_4} = \pi + \delta''$ rad. Stel nu dat de ongecorrigeerde fasedraaiing $\Phi_{\text{ongecor}, y_1} = \pi$ rad een gecorrigeerde fasedraaiing $\Phi_{\text{gecor}, y_1} = 0$ als pendant heeft, hetgeen neerkomt op een fasefout $\Phi_{\text{fout}, y_1} = \pi$ rad. De gecorrigeerde fasedraaiing voor de waterprotonen in y_2 is dan $\Phi_{\text{gecor}, y_2} = -\pi$ rad. Immers, het faseverschil tussen $\Phi_{\text{ongecor}, y_2} = \delta$ rad en $\Phi_{\text{fout}, y_1} = \pi$ rad is gelijk aan $-\pi + \delta$ rad. Daar nu dit faseverschil ligt in het fase-interval $(-\pi - \Delta; -\pi + \Delta)$ en de gecorrigeerde fasedraaiing $\Phi_{\text{gecor}, y_1} = 0$ rad, geldt $\Phi_{\text{gecor}, y_2} = -\pi$ rad. Dit betekent, dat $\Phi_{\text{fout}, y_2} = \delta + \pi$ rad. Het faseverschil tussen $\Phi_{\text{ongecor}, y_3} = \delta'$ rad en $\Phi_{\text{fout}, y_2} = \delta + \pi$ rad is gelijk aan $-\pi + \delta' - \delta$ rad. Dit faseverschil valt in het fase-interval $(-\pi - \Delta; -\pi + \Delta)$, en dus geldt voor de gecorrigeerde fasedraaiing van de waterprotonen in y_3 : $\Phi_{\text{gecor}, y_3} = -\pi$ rad. Een overeenkomstige redenering leidt tot $\Phi_{\text{gecor}, y_4} = 0$ rad, $\Phi_{\text{fout}, y_4} = \pi + \delta''$ rad.

In figuur 2 is eenzelfde grafiek als die van figuur 1 getekend, behalve dat hier $\Phi_2 = \Phi_{\text{fout}}$ en $\Phi_3 = \Phi_{\text{gecor}}$ in plaats van Φ_{ongecor} zijn weergegeven.

Figuur 3 toont een complex vlak met een horizontale reële as Re en een imaginaire as Im . Nadat een complexe tweedimensionale afbeelding is verdeeld in subgebieden van n_x maal n_y beeldelementen, waarbij x en y de positie van een beeldelement in een subgebied bepalen, worden ter benadering van de fasefout in een subgebied met $\Phi = \Phi_0 + x\Phi_x + y\Phi_y$, de complexe waarden van de beeldelementen als punten in het complexe vlak van figuur 3 weergegeven. Hierbij representeren Φ_0 de gemiddelde fasefout modulo π en Φ_x respectievelijk Φ_y de gemiddelde gradiënt van de fasefout van de beeldelementen in een subgebied in de x -richting respectievelijk de y -richting. In een ideale situatie, dat wil zeggen zonder ruis en met $x\Phi_x$ en $y\Phi_y$ verwaarloosbaar klein t.o.v.

8602019

ϕ_0 zullen de punten zich op de rechte Re' bevinden, daar de fase van een beeldelement gelijk is aan ϕ_0 of $\phi_0 \pm \pi$. In een situatie met ruis en met $x\phi_x$ en $y\phi_y$ nog steeds klein t.o.v. ϕ_0 maar niet verwaarloosbaar, distribueren de beeldwaarden van de beeldelementen 5 zich rondom de rechte Re' . De richtingscoëfficiënt en daarmee de gemiddelde fasefout ϕ_0 wordt gevonden door:

$$\sum_{i \in s} d_i^2 \quad (1)$$

10

te minimaliseren, waarin s de verzameling beeldelementen in een subgebied is en d_i de afstand van een beeldelement i tot de rechte Re' is. De gemiddelde gradiënten ϕ_x en ϕ_y worden als volgt gevonden:

15 Allereerst worden de complexe waarden van de beeldelementen berekend ten opzichte van het assenstelsel (Re', Im') , welk het over een hoek ϕ_0 geroteerde assenstelsel (Re, Im) is. Daarna worden in plaats van de best passende rechte - welke de rechte Re' is - de best passende bundel rechten bepaald volgens:

20

$$(x \tan \phi_x + y \tan \phi_y) Re' = Im' \quad (2)$$

waarbij $(x \tan \phi_x + y \tan \phi_y)$ voor elke x en y een richtingscoëfficiënt in het assenstelsel (Re', Im') van een rechte 25 uit de bundel respresenteert. Door nu de afstand van elk punt in het assenstelsel (Re', Im') tot elk van deze rechten te minimaliseren, worden $\tan \phi_x$ en $\tan \phi_y$ (en daarmee ϕ_x en ϕ_y) bepaald.

Omdat ϕ_0 modulo π bepaald is, is het mogelijk dat bij $\phi_0 + k\pi$ opgeteld of van $\phi_0 - k\pi$ afgetrokken dient te worden (met k 30 geheel). Hiervoor wordt de fase $\phi_0 + x\phi_x + y\phi_y$ aan een rand van een eerste subgebied vergeleken met de fase $\phi_0 + x\phi_x + y\phi_y$ aan een aan deze rand aanliggende rand van een tweede subgebied waarvan de fase ϕ_0 aldaar reeds bekend is. Omdat verondersteld wordt dat de fasefout glad verloopt, kunnen de fasen 35 aan weerszijden gelijk zijn dan wel een geheel aantal malen π verschillen, hetgeen dus de waarde van de aanvankelijk modulo π bepaalde ϕ_0 van het eerste subgebied vastlegt. Wanneer subgebieden een lage

signaal/ruis verhouding bezitten, kan echter dit eerder genoemde faseverschil slecht bepaald zijn. Omdat in dat geval geen betrouwbare schatting van de fase ϕ_0 gemaakt kan worden, wordt een betrouwbaarheidskriterium met behulp van een correlatie-coëfficiënt
5 gebruikt volgens:

$$| c_A \cdot c_B \cdot b_{AB} | \quad (3)$$

waarbij c_A respectievelijk c_B de interne fasecorrelatie-
10 coëfficiënt van het eerste respectievelijk het tweede subgebied weergeeft, en b_{AB} het gemiddelde van de cosinussen van de verschillen tussen de respectievelijke fasen $\phi_0 + x\phi_x + y\phi_y$ aan weerszijden van de respectieve randen is. Hierdoor kan een voorkeursvolgorde van bepaling van ϕ_0 in opeenvolgende subgebieden
15 worden gekozen.

CONCLUSIES:

1. Werkwijze voor het bepalen van een kernmagnetisatieverdeling in een deel van een lichaam, waarbij een stationair homogeen magneetveld wordt opgewekt, waarin het deel van het lichaam zich bevindt, welke werkwijze metingen met de volgende stappen omvat:
- 5 a) het opwekken van een hoogfrequent elektromagnetische puls voor het in een precederende beweging brengen van de locale magnetisatie in het gekozen deel waarbij een resonantiesignaal wordt opgewekt,
 - b) het tijdens een meettijd bemonsteren van het door ten minste een magnetische veldgradiënt beïnvloed resonantiesignaal,
 - 10 c) het n maal herhalen met $n = 0, 1, 2, 3 \dots$ van meetcycli met stappen a) en b) eventueel met een variërende waarde van de tijd-integraal van de onder b) genoemde magnetische veldgradiënten en/of met een variërende richting van de onder b) genoemde magnetische veldgradiënt, bij welke werkwijze
 - 15 fasefouten in beeldelementen van een complexe afbeelding van de kernmagnetisatieverdeling worden geëlimineerd, waarna gecorrigeerde fasen de waarden 0 of π hebben,
- met het kenmerk, dat bij genoemde eliminatie ervan wordt uitgegaan dat de fasefout een vloeiend verloop heeft als functie van de plaats in de
- 20 complexe afbeelding.

2. Werkwijze volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat eerst de gecorrigeerde fase en de corresponderende fasefout van een zeker beeldelement in de afbeelding wordt bepaald en vervolgens de gecorrigeerde fasen en de corresponderende fasefouten van overige
- 25 beeldelementen in een zodanige volgorde worden bepaald, dat een volgende beeldelement een beeldelement gelegen is naast een beeldelement waarvan de gecorrigeerde fase en de corresponderende fasefout reeds bepaald is, en dat een gecorrigeerde fase 0 respectievelijk $\pm \pi$ wordt toegekend aan het volgende beeldelement indien het faseverschil tussen de fase van
- 30 dit volgende beeldelement en de fasefout van het naastgelegen beeldelement waarvan de gecorrigeerde fase en de corresponderende fasefout reeds is bepaald, modulo 2π gelegen is in een interval $(-\Delta, \Delta)$ wanneer de gecorrigeerde fase van dit naastgelegen beeldelement 0 is c.q. in een interval $(\pm \pi - \Delta, \pm \pi + \Delta)$ wanneer de gecorrigeerde
- 35 fase van dit naastgelegen beeldelement $\pm \pi$ is, respectievelijk in een interval $(\pm \pi - \Delta, \pm \pi + \Delta)$ wanneer de gecorrigeerde fase van dit naastgelegen beeldelement 0 is c.q. in een interval $(-\Delta, \Delta)$ wanneer de

8602019

gecorrigeerde fase van dit naastgelegen beeldelement $\pm \pi$ is, waarbij Δ het maximaal optredende fasefoutverschil tussen de twee naastgelegen beeldelementen representeert, en waarbij de fasefout in het volgende beeldelement gedefinieerd is als zijnde gelijk aan het verschil tussen
 5 zijn ongecorrigeerde fase en zijn gecorrigeerde fase, verminderd c.q. vermeerderd met zoveel keren 2π dat het verschil met de fasefout van het naastgelegen beeldelement waarvan de fasefout al bepaald is, minimaal is.

3. Werkwijze volgens conclusie 2, met het kenmerk, dat de
 10 bepaling van de gecorrigeerde fasen van de beeldelementen wordt uitgevoerd naar aflopende amplitude van de naastgelegen beeldelementen, waarvan de gecorrigeerde fase nog niet is bepaald.

4. Werkwijze volgens conclusie 2 of 3, met het kenmerk, dat de gecorrigeerde fase van het volgende beeldelement wordt bepaald
 15 door vergelijking met het gemiddelde van de reeds bepaalde fasefouten van een aantal omliggende beeldelementen, waarvan de gecorrigeerde fasen en de corresponderende fasefouten al bepaald zijn.

5. Werkwijze volgens conclusie 1, 2, 3 of 4, met het kenmerk, dat na de bepaling van de met fasefouten behepte complexe afbeelding en voorafgaande aan de bepaling van de gecorrigeerde fasen, de afbeelding eerst met een laagdoorlaatfilter wordt gefilterd en een tussenafbeelding met een lage resolutie wordt bepaald, vervolgens de fasefouten van de tussenafbeelding worden bepaald en als fasefouten van de ongefilterde afbeelding worden beschouwd.
 20

6. Werkwijze volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat de complexe afbeelding wordt verdeeld in subgebieden van n_x maal n_y maal n_z maal beeldelementen en voor de beeldelementen in elk subgebied de fasefout modulo π wordt benaderd met $\phi_0 + x\phi_x + y\phi_y + z\phi_z + \dots$ waarin x, y, z en de positie van een beeldelement in
 30 het subgebied bepalen, ϕ_0 de gemiddelde fasefout modulo π en ϕ_x respectievelijk ϕ_y respectievelijk ϕ_z , respectievelijk de gemiddelde gradiënt van de fasefout in de richting x respectievelijk y respectievelijk z respectievelijk van de beeldelementen in de subgebieden benadert, zodanig dat na substractie van de benadering
 35 $\phi_0 + x\phi_x + y\phi_y + z\phi_z + \dots$ van de fasen van alle beeldelementen in het subgebied, het aldus gevormde verschil in elk beeldelement zo goed mogelijk gelijk is aan $k\pi$ met k een geheel getal.

8602019

7. Werkwijze volgens conclusie 6, met het kenmerk, dat Φ_0 en/of Φ_x en/of Φ_y en/of Φ_z en/of worden bepaald met de methode van de kleinste kwadraten.

8. Werkwijze volgens conclusie 6 of 7, met het kenmerk, dat nadat in subgebieden de fasefout modulo π is bepaald, uitgaande van een zeker subgebied, achtereenvolgens voor telkens een nieuw subgebied aanliggend aan subgebieden waarvan de fasefout reeds is bepaald, de fasefout wordt bepaald door bij de bekende fasefout modulo π , $k\pi$ op te tellen, met k geheel, zó dat de sprong in de fasefout op de grenzen tussen het nieuwe gebied en het gebied of de gebieden waar de fasefout reeds bepaald is, minimaal is.

9. Werkwijze volgens conclusie 8, met het kenmerk, dat de volgorde van het doorlopen van de aanliggende subgebieden mede wordt bepaald met een correlatie-coëfficiënt die mede wordt bepaald uit de betrouwbaarheid van de benadering van de fasefout in de beide betreffende aangrenzende subgebieden alsmede uit de mate van continuïteit (modulo π) tussen de beide fasefoutbenaderingen op de rand tussen de beide aanliggende subgebieden, waarbij steeds het subgebied met de betrouwbaarste benadering van de fasefout als volgende in het doorlopen genomen wordt.

10. Inrichting voor het bepalen van een kernmagnetisatieverdeling in een deel van een lichaam welke inrichting bevat:

- a) middelen voor het opwekken van een stationair homogeen magneetveld,
- b) middelen voor het opwekken van een hoogfrequent elektromagnetische puls,
- c) middelen voor het opwekken van een magnetische veldgradiënt,
- d) bemonsteringsmiddelen voor het bemonsteren gedurende een meettijd van een, met de onder a) en b) genoemde middelen opgewekt en door ten minste een magnetische veldgradiënt beïnvloed resonantiesignaal,
- e) verwerkingsmiddelen voor het verwerken van de door de bemonsteringsmiddelen geleverde signalen, en
- f) besturingsmiddelen voor het besturen van de onder b) tot en met e) genoemde middelen voor het opwekken, bemonsteren, en verwerken van een aantal resonantiesignalen, waarbij de besturingsmiddelen aan onder c) genoemde middelen stuursignalen toevoeren voor het instellen van eventueel de sterkte c.q. tijdsduur en/of

8602019

richting van de magnetische veldgradiënt waarbij met betrekking tot de magnetische veldgradiënt telkens na elke herhaling van cycli, eventueel de integraal van de sterkte over de tijdsduur en/of richting van de magnetische veldgradiënt verschillend is, met het kenmerk, dat de inrichting tevens middelen bevat voor het elimineren van fasefouten in beeldelementen van een complexe afbeelding van een kernmagnetisatieverdeling waarbij eerst de gecorrigeerde fase en de corresponderende fasefout van een zeker beeldelement in de afbeelding wordt bepaald en vervolgens de gecorrigeerde fasen en de corresponderende fasefouten van overige beeldelementen in een zodanige volgorde worden bepaald, dat een volgende beeldelement een beeldelement gelegen is naast een beeldelement waarvan de gecorrigeerde fase en de corresponderende fasefout reeds bepaald is, en dat een gecorrigeerde fase 0 respectievelijk $\pm \pi$ wordt toegekend aan het volgende beeldelement indien het faseverschil tussen de fase van dit volgende beeldelement en de fasefout van het naastgelegen beeldelement waarvan de gecorrigeerde fase en de corresponderende fasefout reeds is bepaald, modulo 2π gelegen is in een interval $(-\Delta, \Delta)$ wanneer de gecorrigeerde fase van dit naastgelegen beeldelement 0 is c.q. in een interval $(\pm \pi - \Delta, \pm \pi + \Delta)$ wanneer de gecorrigeerde fase van dit naastgelegen beeldelement $\pm \pi$ is, respectievelijk in een interval $(\pm \pi - \Delta, \pm \pi + \Delta)$ wanneer de gecorrigeerde fase van dit naastgelegen beeldelement 0 is of in een interval $(-\Delta, \Delta)$ wanneer de gecorrigeerde fase van dit naastgelegen beeldelement $\pm \pi$ is, waarbij Δ het maximaal optredende fasefoutverschil tussen de twee naastgelegen beeldelementen representeert, en waarbij de fasefout in het volgende beeldelement gedefinieerd is als zijnde gelijk aan het verschil tussen zijn ongecorrigeerde fase en zijn gecorrigeerde fase, verminderd of vermeerderd met zoveel keren 2π dat het verschil met de fasefout van het naastgelegen beeldelement waarvan de fasefout al bepaald is, minimaal is.

11. Inrichting voor het bepalen van een kernmagnetisatieverdeling in een deel van een lichaam welke inrichting bevat:

- a) middelen voor het opwekken van een stationair homogeen magneetveld,
- b) middelen voor het opwekken van een hoog-frequent elektromagnetische puls,
- c) middelen voor het opwekken van een magnetische veldgradiënt,
- d) bemonsteringsmiddelen voor het bemonsteren gedurende een meettijd

8602019

- van een, met de onder a) en b) genoemde middelen opgewekt en door ten minste een magnetische veldgradiënt beïnvloed resonantiesignaal,
- e) verwerkingsmiddelen voor het verwerken van de door de bemonsterings-
5 middelen geleverde signalen, en
- f) besturingsmiddelen voor het besturen van de onder b) tot en met e) genoemde middelen voor het opwekken, bemonsteren, en verwerken van een aantal resonantiesignalen, waarbij de besturingsmiddelen aan onder c) genoemde middelen stuursignalen toevoeren voor het instellen van eventueel de sterkte en/of
10 tijdsduur van de magnetische veldgradiënt waarbij met betrekking tot de magnetische veldgradiënt telkens na elke herhaling van cycli, de integraal van de sterkte over de tijdsduur van de magnetische veldgradiënt verschillend is,
- 15 met het kenmerk, dat de inrichting tevens middelen bevat voor het elimineren van fasefouten in beeldelementen van een complexe afbeelding van een kernmagnetisatieverdeling, waarbij gecorrigeerde fasen de waarden 0 of π hebben en waarbij de complexe afbeelding wordt verdeeld in subgebieden van n_x maal n_y maal
20 n_z maal beeldelementen en voor de beeldelementen in elk subgebied de fasefout modulo π wordt benaderd met $\phi_0 + x\phi_x + y\phi_y + z\phi_z + \dots$ waarin x, y, z en de positie van een beeldelement in het subgebied bepalen, ϕ_0 de gemiddelde fasefout modulo π en ϕ_x respectievelijk ϕ_y respectievelijk
25 ϕ_y respectievelijk ϕ_z , respectievelijk de gemiddelde gradiënt van de fasefout in de richting x respectievelijk y respectievelijk z respectievelijk van de beeldelementen in de subgebieden benadert, zodanig dat na substractie van de benadering $\phi_0 + x\phi_x + y\phi_y + z\phi_z + \dots$ van de fasen van alle
30 beeldelementen in het subgebied, het aldus gevormde verschil in elk beeldelement zo goed mogelijk gelijk is aan $k\pi$ met k een geheel getal.

8602019

1/1

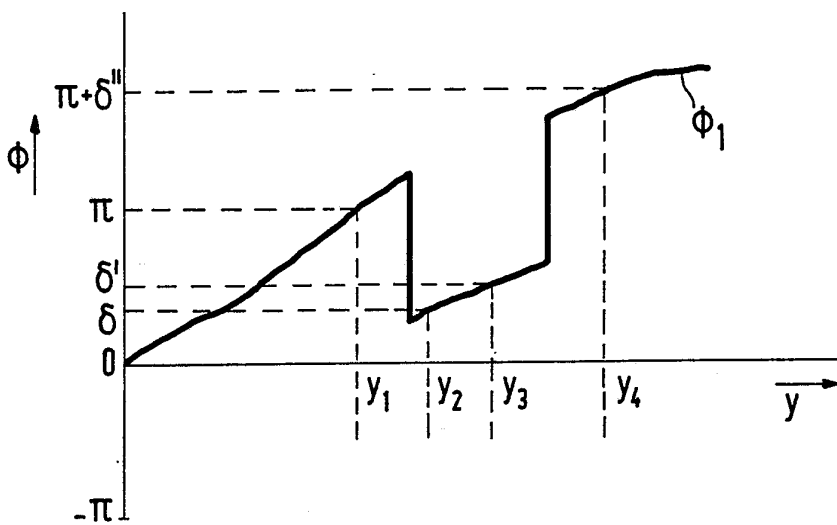


FIG. 1

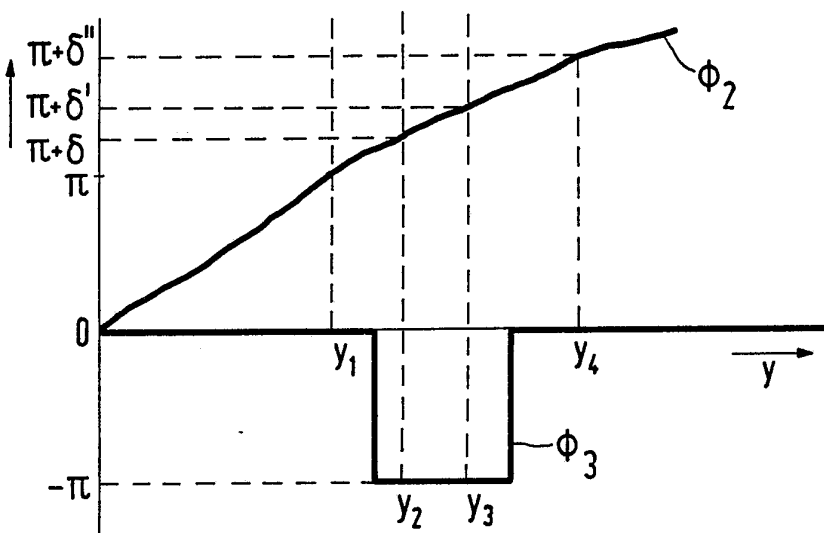


FIG. 2

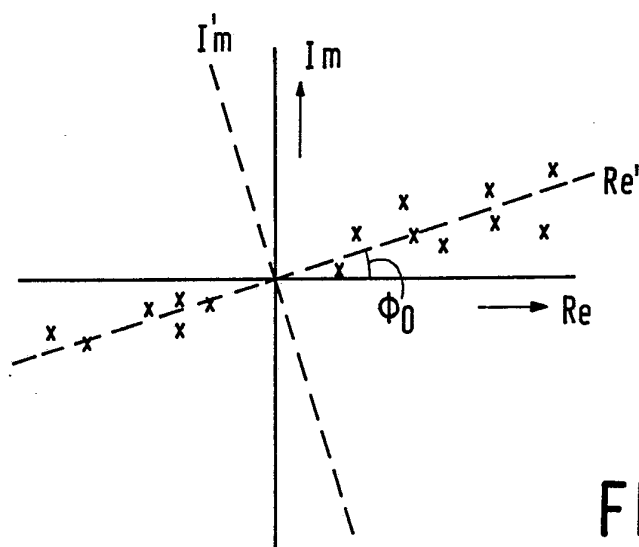


FIG. 3

8602019

PHN 11834