



⑩ A **Terinzagelegging** ⑪ **7905614**

Nederland

⑲ NL

⑤4 **Werkwijze en inrichting voor het optekenen van lijnen van nucleaire dichtheid binnen een voorwerp onder gebruikmaking van nucleaire magnetische resonantie.**

⑤1 Int.Cl.⁸: G01N24/08.

⑦1 Aanvrager: The Regents of the University of California te Berkeley, Californië, Vr.St.v.Am.

⑦4 Gem.: Ir. C.M.R. Davidson c.s.
Octrooibureau Vriesendorp & Gaade
Dr. Kuiperstraat 6
2514 BB 's-Gravenhage.

②1 Aanvraag Nr. 7905614.

②2 Ingediend 19 juli 1979.

③2 Voorrang vanaf 20 juli 1978.

③3 Land van voorrang: Ver. St. v. Am. (US).

③1 Nummer van de voorrangsaanvraag: 926571 .

②3 --

⑥1 --

⑥2 --

④3 Ter inzage gelegd 22 januari 1980.

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

The Regents of the University of California, te Berkeley, Californië,
Verenigde Staten van Amerika

Werkwijze en inrichting voor het optekenen van lijnen van nucleaire
dichtheid binnen een voorwerp onder gebruikmaking van nucleaire magne-
tische resonantie

De uitvinding heeft betrekking op een inrichting en werk-
wijze voor het vervaardigen van een doorsnedebeeld van relatieve
nucleaire dichtheden binnen een object. Meer in het bijzonder heeft zij
betrekking op toepassing van nucleaire magnetische resonantietechnieken
5 voor het in vivo in kaart brengen van lijnen van resonerende kerndicht-
heden in een mens of een ander dier.

De op het ogenblik in gebruik zijnde technieken voor het
onderzoek van een lichaam zonder dat binnen te gaan maken gebruik van
röntgenstralen (bijvoorbeeld met computers werkende tomografie) en ultra-
sonore procedures. Een andere methode, waarbij niet naar binnen behoeft
10 te worden gegaan, maakt gebruik van nucleaire magnetische resonantie
(NMR) voor het verkrijgen van een doorsnedebeeld van de kerndichtheden
binnen een lichaam. Het gemiddelde atoomnummer (Z) van kernen in tumors
heeft de neiging beduidend te verschillen van dat van normaal weefsel.
15 Waterstofkerndichtheden, die met NMR-technieken gedetecteerd worden, wor-
den op het ogenblik een sterke aanwijzing geacht op veranderingen in het
gemiddelde atoomnummer Z in weefsels, aangezien waterstof de meest aan-
wezige kern met een oneven kerngetal is, dat aanwezig is in levend weef-
sel. NMR is bijzonder geschikt voor het in kaart brengen van de relatieve
20 waterstofkerndichtheden binnen levend weefsel.

In het algemeen zijn de principes van kernen bekend. Alle
kernen met een oneven aantal protonen en neutronen (dat wil zeggen een
oneven kerngetal) gedragen zich in feite als kleine magneten. Wanneer zij
in een stationair uitwendig magnetisch veld worden gebracht, preseceert
25 de magnetische as van deze kernen (en bijgevolg de atomen) onder een hoek
met de as van het aangelegde veld en ontwikkelt een magnetisch moment op
"spin" bij de zogenaamde Larmor-frequenties. De Larmor-frequentie (F_0)

houdt verband met het magnetische veld (B_0) ter plaatse van de kern door de betrekkingvariatie $f_0 = 2 \pi \gamma B_0$; waarin γ een constante is. De magnetogerische verhoudingsconstante van een bepaald type van de kern.

5 Het is bekend, dat de richting van het netto hoekmoment of de spin van een groep kernen (en bijgevolg hun netto magnetische as) gereorienteerd kan worden ten opzichte van het uitwendige veld door elektromagnetische signalen van een frequentie, die gelijk is aan de Larmor-frequentie. Het elektromagnetische signaal zwenkt (herorienteert) de netto-spin van de (op de Larmor-frequentie) resonerende kernen in een mate, die afhangt van zijn amplitude en duur. De richting van de zwenking is een
10 functie van de fase van het elektromagnetische signaal ten opzichte van de kernprecessie om het aangelegde magnetische veld.

Wanneer wordt aangenomen dat de kernspinnen aanvankelijk geannuleerd zijn en vervolgens geherorienteerd worden dwars op de aanvankelijke richting, zal de wijziging van de orientatie van de magnetische
15 assen van de kernen een kenmerkend hoogfrequent signaal opwekken in een spoel, die met een hoogfrequent signaal-ontvanger is verbonden. Repolarisatie (weer anigleren ten opzichte van het aangelegde veld) zal daarna optreden in overeenstemming met een (longitudinale) spinroosterrelaxatietijd T_1 .

20 Wanneer een magnetische veldgradient in het voorwerp bestaat, of niet homogeniteiten binnen het aangelegde magnetische veld aanwezig zijn, zullen kernen, die dezelfde magnetogerische constante γ hebben verschillende Larmor-frequenties hebben in afhankelijkheid van hun plaats binnen het voorwerp. Een volume kernen in het voorwerp kan bijgevolg geacht worden een bereik van precessiefrequenties te hebben,
25 die gecentreerd zijn om een bepaalde Larmor-frequentie.

Bij voorkeur wordt het thans te beschrijven kernproces waargenomen vanuit een roterend referentie-assenstelsel, dat met de Larmor-frequentie roteert, zodanig dat een magnetisch kernmoment μ , dat
30 nauwkeurig met de Larmor-frequentie presensseert, stilstaand wordt waargenomen. In dit referentie-assenkruis wordt de macroscopische magnetisatie M gewoonlijk gealigneerd (tot na herorientatie) met de richting van het aangelegde magnetische veld B_0 .

Wanneer kernrealignering optreedt, beginnen de relatieve

fasen van de afzonderlijke spin (waarbij fase wordt gedefinieerd als de hoek tussen de projectie van de spin op een vlak in het roterende referentie-assenkruis en een as in dit vlak, die door de rotatie-as gaat) te divergeren, aangezien sommige kernen sneller en sommige langzamer precesseren dan de centrale Larmor-frequentie. Er heeft bijgevolg een geleidelijke "de faseren" plaats van de afzonderlijke kernspin en een daarop volgend verlies van de fasecoherentie. Aanvankelijk, na de herorientatie wordt een betrekkelijk sterke spanning in de ontvangerspoelen geïnduceerd, die geleidelijk afneemt in amplitude, dankzij de energie-uitwisseling tussen spin (spin-spinrelaxatietijd T_2) en de defasering van de spins, die beide cumulatief gekenmerkt worden door de relaxatietijd T_2^* .

Dit signaal wordt het vrije inductieverval (free induction decay FID) genoemd.

Zoals bekend is kan een "spin-echo" of een daaropvolgende weergave van de FID gegenereerd worden, door de desbetreffende spins terug te brengen tot fasecoherentie.

Indien bijvoorbeeld op een tijdstip τ nadat de kernspins geherorienteerd zijn (bijvoorbeeld 90° ten opzichte van een beginrichting) door een eerste elektromagnetische puls van geschikte frequentie, grootte en duur (in het volgende een 90° puls genoemd) wordt een verder elektromagnetisch signaal van geschikte frequentie, grootte en duur aangelegd om een zwenking over 180° van de kernspins tot stand te brengen (in het volgende een 180° puls genoemd) waardoor elke afzonderlijke spin in feite over 180° gedraaid wordt (in het roterende assekruis). Dit betekent, dat de fase die het tegengestelde is van de fase, die geaccumuleerd werd voor de 180° puls. De accumulatie van verdere fase-afwijkingen voor individuele kernspins is dezelfde als eerder en bijgevolg komen op het tijdstip 2τ (na de eerste storing) alle afzonderlijke spins in fasecoherentie (de negatieve fase heft de verdere geaccumuleerde fase op). Op deze wijze wordt een zogenaamde "spin-echo" van de FID opgewekt. De piekamplitude van de spin-echo is afhankelijk van de dwarsrelaxatietijdconstante T_2 . De spin-echo bevat in feite een spiegelbeeld en echo van de FID, gecentreerd om een tijdstip 2τ na de eerste verstoring.

Er wordt op gewezen, dat de spin-echo altijd een piekwaarde heeft in een tijdsperiode na het aanleggen van de 180° puls, die

gelijk is aan de tijdsperiode tussen het aanleggen van de beginverstoring (90° puls, die de FID onttrekt) en het aanleggen van de 180° puls. Dit verschijnsel zal in het volgende worden aangeduid als de "wet van gelijke tijden".

5 Voor een uitvoerige beschrijving van de hoofdprincipes van NMR wordt verwezen naar Farrar and Becker "Pulse and Fourier Transform NMR Introduction to Theory and Methodes", Academic Press, New York, 1971. Hoewel NMR-technieken lang zijn gebruikt bij het meten van magnetische velden en chemische analyses, is NMR slechts recentelijk toegepast op
10 medisch onderzoek. In het algemeen zijn NMR beeldvormingstechnieken gebaseerd op de veronderstelling, dat door een monster bewust aan te brengen in een van stand veranderend magnetisch veld (een veld, dat een sterkte heeft, die in overeenstemming met de positie wijzigt) waarbij de Larmor-frequenties van de kernen, die zich op een andere positie bevinden, dien-
15 overeenkomstig verschillen. Op deze wijze wordt een frequentiediscriminant verkregen tussen de spins van atomen op verschillende posities, en de spindichtheid van een eenheid of elementair volume binnen het aangestote volume van kernen wordt weergegeven door een bepaalde frequentiecomponent van de FID.

20 Beeldvormingstechnieken, waarbij NMR wordt gebruikt, vallen op kenmerkende wijze uiteen in vijf categorieën: beeldvorming uit projectie; Fourier;-afbeelding; FONAR; sensitieve puntafbeelding; en afbeelding door selectieve bestraling.

De beeldvorming op grond van projectietechnieken houdt het
25 opwekken in van een veelvoud van projecties uit vele verschillende orientaties, door bijvoorbeeld een lineaire veldgradient op te wekken binnen een voorwerp en een indimensionale projectie van kerndichtheden in de richting, die door de gradient bepaald wordt, op te tekenen. Een beeld wordt dan uit de projecties gereconstrueerd met wiskundige technieken,
30 die analoog zijn aan degene die gebruikt worden bij röntgentomografie. Een dergelijke methode is bijvoorbeeld beschreven door Lauterbur, Nature, 242 : 190, Maart 1973.

De FONAR-techniek gebruikt gevormde magnetische velden, die over het voorwerp worden aangelegd, zodanig dat slechts een kleine
35 resonantievenster binnen het monster een NMR-sigitaal opwekt. Het sensi-

atieve gebied wordt dan afgetast door het voorwerp, bijvoorbeeld door fysieke beweging. Voor een beschrijving van de FONAR-techniek wordt verwezen naar Damadian en andere "Focusing Nuclear Magnetic Resonance (FONAR)", Visualization of a Tumor in a Live Animal, Science, vol. 194, blz. 1430 tot 1432 van december 1976 en Amerikaans octrooischrift 3.789.832.

De sensitieve puntafbeeldingstechniek, eveneens bekend als spinkaartering, is een methode, waarmee het NMR-signaal uit bepaalde eenheidsvolumes opeenvolgend wordt opgetekend. Een magnetische veldgradient, die wisselt bij een van te voren bepaalde lage frequentie (van de orde van 50 Hz) wordt dan langs één as van het voorwerp opgewekt. Het NMR-signaal uit alle elementen in het voorwerp wordt op deze wijze gemoduleerd op deze frequentie van de gradientwijziging, met uitzondering van de protonen, die zich in het nulvlak van de gradient bevinden. Dergelijke wisselende gradienten kunnen met asynchrone frequenties worden aangelegd met de dwarsassen om in feite een nulpunt in het voorwerp te detecteren op het snijpunt van de gradientnulvlakken. Geschikte laagdoorlatende filtering geeft op deze wijze een aanwijzing van NMR-signaal vanuit het snijpunt van de drie nulvlakken. Aftasting van het rastertype van het voorwerp wordt verkregen door de relatieve gradienten te variëren. Een dergelijke sensitieve puntbeeldvormingstechniek is beschreven door Hinshaw, Journal of Applied Physics, vol. 47, No. 8, augustus 1976.

Een meervoudige sensitieve puntmethode, waarin gebruikt gemaakt wordt van twee orthogonale alternerende gradienten voor het definieren van een nullijn en een reeks coherente op gelijke afstand van gelegen in fase wisselende resonantiehoogfrequente keten, is toegelicht door Andrew en andere in NMR Images by Multiple Sensitive Point Method, Application to Larger Biological Systems," Phys. Med. Biol. 1977, vol. 22, No. 5, 971 - 974, 1977. Aangegeven wordt, dat discrete Fourier-transformatie van het signaal, dat tussen de hoogfrequente pulsen ontvangen wordt, gebruikt wordt voor het verkrijgen van aanwijzingen op de protonendichtheid langs de snijlijn van de twee nulvlakken van wisselende gradient.

Fourier-afbeeldingstechnieken gebruiken in het algemeen een beginhoogfrequente impuls voor het heroriënteren van de spins van de protonen van het voorwerp over 90° . Gedurende het verkregen FID-

signaal, wordt het voorwerp onderworpen aan opeenvolgende gradienten, die in snelle opeenvolging langs de drie hoofdCartesiaanse assen van het stelsel worden aangelegd. Het FID-signaal wordt steekproefsgewijze bepaald bij afwezigheid van de laatst aangelegde gradient, en een driedimensionele Fourier-transformatie wordt uitgevoerd door het ontwikkelen van een driedimensionaal beeld. Twee-dimensionale Fourier-transformatiemethoden zijn eveneens bekend. Voor een bespreking van de Fourier NMR-technieken wordt verwezen naar tumor en andere "NMR-Fourier Zeugmatography" Journal of Magnetic Resonance 18 : 69 - 83 (1957).

Beeldvorming met selectieve bestralingstechnieken houdt het gebruik in van een opeenvolging van elektromagnetische pulsen met van te voren bepaalde frequentiespectra. Een eerste magnetische gradient wordt langs een bepaalde as aangelegd en het voorwerp wordt bestraald door opeenvolging van elektromagnetische pulsen met een gecombineerd frequentiespectrum, dat een gelijke intensiteit heeft bij alle Larmor-frequenties door het voorwerp met uitzondering van een smalle band. Dientengevolge zal door de bestraling elke kern binnen het voorwerp, met uitzondering van een smal vlak, vervaardigd worden. De vervaardigde atomen zijn daardoor niet gevoelig voor verdere elektromagnetische signalen gedurende een tijdsperiode van de orde van de spinroosterrelaxatietijdconstante T_1 . De eerste magnetische gradient wordt vervangen door een gradient langs een orthogonale richting en het voorwerp wordt weer bestraald door een opeenvolging van elektromagnetische pulsen, die dit keer een bandbreedte hebben, die overeenstemt met een bepaalde elementaire band binnen het onverzadigde vlak. De tweede reeks pulsen zwenkt de spins van de atomen binnen de van te voren bepaalde band over 90° , hetgeen leidt tot het opwekken van een FID. De FID wordt dan opgetekend in aanwezigheid van een magnetische gradient in de derde orthogonale richting (langs de richting van de band) en een Fourier-transformatie wordt uitgevoerd voor het verkrijgen van de kerndichtheidsverdeling van de lijn. Voor een meer uitvoerige beschrijving van de beeldvorming door selectieve bestraling wordt beschreven naar het Amerikaanse octrooischrift 4.021.726.

Voor verdere beschrijvingen van de boven aangeduide NMR-beeldvormingstechnieken en andere technieken wordt verwezen naar de volgende artikelen: P.C. Lauterbur et al., "Magnetic Resonance Zeugmato-

- graphy" 18^{de} Amper. Conf. 1974; P. Mansfield P.K. Grannel & A.A. Maudsley, "Diffraction and Microscopy in Solids by NMR," 18^{de} Amper. Conf. 1974, pp. 531 - 432; P.C. Lauterbur, "Magnetic Resonance Zeugmatography"; P.C. Lauterbur, "Flow Measurements by NMR Zeugmatography," October 24, 1973;
- 5 P.C. Lauterbur, "Stable Isotope Distributions by NMR," Proc. First International Conf. on Stable Isotopes Conf. 730525, May 9 - 18, 1973, pp. 255 - 260; P.C. Lauterbur, "Image Formation by Induced Local Interactions: Examples Employing Nuclear Magnetic Resonance," Nature, Vol. 242, 16 maart 1973, pp. 190- 191; P.C. Lauterbur et al., "ESR Zeugmatography - Distri-
- 10 butions of Unpaired Electrons Within Objects," Gordon Conf. August 12-16, 1974; P.C. Lauterbur et al., "In Vivo Studies of Cancer by NMR Zeugmatography," "Gordon Conf. August 12-16, 1974; P.C. Lauterbur, "Reconstruction in Zeugmatography - The Spatial Resolution of Magnetic Resonance Signals", Intl. Workshop on 3-D Image Reconstruction Techniques, July 16-19, 1974;
- 15 A.N. Garroway, "Velocity Profile Measurements by NMR," 18^{de} Amper. Conf. 1974, pp. 435-436; W.S. Hinshaw, "The Applications of Time Dependent Field Gradients to NMR Spin Mapping," 18^{de} Amper. Conf. 1974, pp. 433-434, J.M.S. Hutchinson, J.R. Mallard & C.C. Goll, "In Vivo Imaging of Body Structures Using Proton Resonance," 18^{de} Amper. Conf. 1974, blz. 283 - 284;
- 20 P. Mansfield & A.A. Maudsley, "Line Scan Proton Spin Imaging in Biological Structures by NMR," Phys. in Medicine and Biology 21 No. 5 (1976), pp. 847 - 852; P.K. Grannel, "NMR Body Images," Physics Bulletin, March 1976, pp. 95 - 96; P.C. Lauterbur, D.M. Krammer, W.V. House, C. Chen, "Zeugmatographic High Resolution NMR Spectroscopy, Images of Chemical
- 25 Inhomogeneity Within Macroscopic Objects, "American Chemical Society Journal, 97 : 23, November 12, 1975; P. Mansfield & P.K. Grannel, "Diffraction and Microscopy in Solids and Liquids by NMR, " Physical Review B, Vol. 12, No. 9, November 1, 1975, pp. 3618 - 3634; P. Mansfield, A.A. Maudsley & T. Baines, "Fast Scan Proton Density Imaging by NMR,"
- 30 J. of Physics E, Vol. 9, 1976, blz. 271 - 278; P.C. Lauterbur, "Bibliography on Magnetic Resonance Zeugmatography," June 3, 1975; A.N. Garroway, P.K. Grannel & P. Mansfield, "Image Formation in NMR by a Selective Irradiative Process, " J.Phys. C: Vol. 7, 1974, pp. 457 - 462; A. Kumar, D. Welt & R. Ernst, "NMR Fourier Zeugmatography," J. Mag. Res.
- 35 18, 69 - 83 (1975); P. Mansfield & A.A. Maudsley, "Medical Imaging by NMR", British Journal of Radiology 50, 188 - 194 (1977); D.I. Hoult,

- "Zeugmatography: A criticism of the Concept of a Selective Pulse in the presence of a Field Gradient," J. Mag. Res. 26, 165 - 167 (1977); P. Mansfield & A.A. Maudsley, "Planar Spin Imaging by NMR," J. of Physics C., Vol. 9, 1976, pp. L409-L412; P. Mansfield, "Proton Spin Imaging by Nuclear Magnetic Resonance," Contemporary Physics, Vol. 17, No. 6, 1976 pp. 553 - 576; R. Damadian et al., "Field Focusing Nuclear Magnetic Resonance (FONAR): Visualization of a Tumor in a Live Animal," Science, Vol. 194, 24 december 1976, pp. 1430 - 1431, E.R. Andrew, "Zeugmatography," IVth Amer. Summer School, Sept. 1976; W.S. Hinshaw, "Image Formation by Nuclear Magnetic Resonance" The Sensitive Point Method," J. of Applied Physics, vol. 47, No. 8, August 1976; R. Damadian, M. Goldsmith & L. Minkoff, "NMR in Cancer: XVI FONAR Image of the Live Human Body," Physiol. Chem. and Phys. 9, (1977), pp. 97 - 108; G.N. Holland & P.A. Bottomley, "A Colour Display Technique for NMR Imaging," J. of Physics E: 10 (1977) pp. 714 - 716; T. Baines & P. Mansfield, "An Improved Picture Display for NMR Imaging," Journal of Physics E: Scientific Instruments 9 (1976), pp. 809 - 811; E.R. Andrew et al., "NMR Images by the Multiple Sensitive Point Method: Applications to Larger Biological Systems," Physics in Medicine and Biology 22, No. 5 971 - 974 (1977); L.Minkoff, R. Damadian, T.E. Thomas, N. Hu, M. Goldsmith, J. Koutcher & M. Stanford, "NMR in Cancer: XVII. Dewar for a 53-Inch Superconducting NMR Magnet," Physiol. Chem. and Phys. 9 (1977), pp. 101 - 109; Ros Herman, "NMR Makes Waves in Medical Equipment Companies," New Scientist, January 12, 1978; L.E. Crooks, T.P. Grover, L. Kaufman & J.R. Singer, "Tomographic Imaging with Nuclear Magnetic Resonance," Investigative Radiology, 13, 63 Jan-Feb. 1978; W.S. Hinshaw, P.A. Bottomley & G.N. Holland, "Radiographic Thin-Selection Image of the Human Wrist by Nuclear Magnetic Resonance," Nature, Vol. 270, No. 22, 29 December, 1977, pp. 722 - 723; en T.C. Farrar & E.D. Becker, "Pulse and Fourier Transform NMR - Introduction to Theory and Methods," Academic Press, 1971, New York, pp. 1 - 33.

Verder wordt verwezen naar de volgende Amerikaanse octrooi-schriften 3.975.675, 4.021.726, 4.015.196, 4.034.191, 3.789.832, 3.932.805, 3.651.396, en 3.999.118.

Er wordt op gewezen dat elke van de bovenbeschreven technieken in verschillende opzichten nadelig is. Zo vergen bijvoorbeeld

technieken, die een beeld ontwikkelen uit projecties, uitvoerige deskundige bewerking van de gegevens. De FONAR-techniek vergt kennelijk hetzij een buitengewoon complex stelsel voor het aftasten van het magnetische veld, of een middel voor het tot stand brengen van relatieve beweging tussen het veld en het voorwerp.

De driedimensionale Fourier-transformatietechnieken vergen, dat alle vlakken tegelijkertijd een aantal malen wordt afgetast teneinde voldoende gegevens te verkrijgen om de gegevens uit verschillende vlakken mathematisch te kunnen scheiden. In driedimensionale Fourier-informatietechnieken wordt de herhalingsnelheid beperkt door de spinroosterrelaxatietijd van de kernen T_1 , aangezien elke bestraling het gehele spinstelsel beïnvloedt. Verder zijn grote computergeheugens nodig.

Beeldvormingstechnieken, die selectieve bestraling gebruiken, waarin het gehele voorwerp verzadigd wordt met uitzondering van een enkel vlak zijn nadelig doordat dergelijke stelsels niet gemakkelijk aangepast kunnen worden aan snelle opeenvolgende aftastingen van een aantal vlakken. Dit wil zeggen dat voor een tweede vlak onderzocht kan worden een voldoende tijd verlopen moet zijn om het voorwerp onverzadigd te laten worden.

De onderhavige uitvinding is gericht op een techniek, waarin selectieve bestraling van het voorwerp met elektromagnetische pulsen wordt gebruikt voor het genereren van spin-echo's (in tegenstelling tot de detectie van vrije inductievalsignalen (FID)), voor het vlot verkrijgen van een snelle aftasting van een aantal vlakken.

In het algemeen is, zoals reeds is aangegeven, het verschijnsel van spin-echo's bekend. In het verleden wordt de spin-echo echter in de eerste plaats gebruikt voor meting van de dwarsrelaxatietijdconstante T_2 van een monster. Een voorbeeld van een stelsel, waarin spin-echo's gebruikt worden voor het meten van de relaxatietijd T_2 in het in kaart brengen van aardformaties, waar een boorgat doorheen gaat, is in het Amerikaanse octrooischrift 3.128.425 beschreven. Op overeenkomende wijzen beschrijft het Amerikaanse octrooischrift 3.213.355 een stelsel voor het meten van de afmetingen van een houder, waarbij spin-echo's gebruikt worden voor het bepalen van de dwarsrelaxatietijd T_2 .

Mansfield en Maudsley, "Planar Spin Imaging by NMR," J. Phys. C: Solid State Physics, Vol. 9, 1976 (eerder genoemd) schijnen

aan te geven, dat nadat een FID vervallen is, verschillende signaalherfokusseringsmaatregelen (selectieve 180° pulsen, 90° pulsen en verschillende combinaties van tijdgradientomkeringen) gebruikt kunnen worden om het signaal terug te roepen voor het minderen van het signaal. Het specifieke mechanisme van de herfokusseringsinrichtingen is evenwel niet in dit artikel beschreven. Op overeenkomende wijze schijnt het Amerikaanse octrooischrift 378.1650 een NMR-spectrometer te beschrijven, waarin FIDs en spin-echo's gecombineerd worden voor het beperken van interferentie.

Verder is in de eerder genoemde publikatie van Hoult (Journal of Magnetic Resonance, 26" 165 - 167 (1977)) aangegeven, dat de selectieve bestralingstechnieken het onnauwkeurigheidstheorema schenden, tenzij niet-lineariteiten, die in het NMR-stelsel aanwezig zijn, gebruikt worden. Hoult geeft aan, dat een rechthoekige selectieve puls een breed spectrum van frequenties bevat en dat gedurende de tijd dat de puls wordt toegepast de "geflippte spins" uit fase komen.

Hij stelt evenwel verder, dat de toestand onherstelbaar is, doordat, indien de veldgradient na de puls wordt omgekeerd, een echo-puls wordt gevormd en in het midden van de echo bij pulsen met een kleine fasehoek alle spins fasen zijn.

Hoult's publikatie houdt in, dat de vorm van het uitgekozen gebied in wezen identiek is aan de vorm van het spectrum van de selectieve bestraling. De uitvinders van de onderhavige uitvinding hebben evenwel opgemerkt, dat, aangezien de reactie van nucleaire spins op hoogfrequente magnetische velden niet lineair is, de vorm van het gekozen volume niet nauwkeurig overeenstemt met de vorm van het spectrum van het bekrachtigende hoogfrequente magnetische veld. Bijvoorbeeld zal een spectrum met een volmaakt rechthoekig blok frequenties een volume bekrachtigen, dat een frequentiebereik beslaat, dat iets ruimer is dan het blok frequenties en de randen van het bekrachtigde volume zijn eerder hellend dan vertikaal. De vorm van het bekrachtigde volume kan berekend worden onder gebruikmaking van de blokvergelijkingen, die in Farrar en Becker blz. 7 en 8 beschreven zijn met een geschikt tijdafhankelijk hoogfrequent magnetisch veld dat het beschouwde frequentiespectrum heeft. Het gebruik van de blokvergelijkingen bepaalt eveneens het faseverlies van de spins,

dat optreedt gedurende de hoogfrequente impuls. Aangetoond kan bijgevolg worden, dat Hoult-gradienomkeersuggesties zelfs werkt voor zwaaihoeken (flip angles) die niet klein zijn. Voor een zwaaihoek van 90° is de gradientomkering, die nodig is voor het bereiken van een maximaal signaal uit spins in het uitgekozen volume een omgekeerde gradient met dezelfde sterkte als de oorspronkelijke, met een duur, die ongeveer de helft van de duur van de bestraling bedraagt. De exacte duur van de omkeergradient is afhankelijk van de vorm van de hoogfrequente puls. De invoeg van deze omgekeerde gradient is het weer met elkaar koppelen van de meeste spins, die gedurende de selectieve bestraling hun fase verloren hadden. Aangezien het faseverlies gedurende de selectieve bestraling niet lineair is is het weer in fase brengen niet volmaakt, maar wel aanmerkelijk. Na de bepaling van de omgekeerde gradient beschikt men over een signaal, dat in het volgende als een FID zal worden opgevat, hoewel Hoult het een echo noemt. De andere grote zwaaihoek, die veel gebruikt zal worden is 180° . Een selectieve bestraling van deze waarde vergt geen fasecorrectie. De reden hiervan is, dat spinfaseverlies gedurende de eerste 90° van de zwaai wordt opgeheven door weer in fase brengen gedurende de tweede 90° van de zwaai.

De gradientomkering na een selectieve bestraling is één van de verschillende typen van fasecorrectie, die nodig zijn voor de werking van de lijnoptekentechnieken, die hier beschreven worden. Toepassing van een omgekeerde gradient gedurende een periode van ongeveer de helft van de duur van de selectieve bestraling zal in het volgende fasecorrectie van type I genoemd worden. In de praktijk is het oppervlak onder de correctiegradient als functie van de tijd de kritische factor. Indien de correctiegradient tweemaal zo sterk zou zijn zou hij slechts gedurende de helft van de tijd behoeven te worden aangelegd. Dit is van toepassing op alle typen van de fasecorrectie en de beschrijvingen gebruiken het voorbeeld van gelijke welke slechts terwille van de eenvoud. Een tweede type van fasecorrectie, in het volgende correctie van type II genoemd, bestaat uit onmiddellijke correctie van een gradientpuls die zojuist beeindigd is; de fasespreiding, die in delen van het voorwerp optreedt, die niet onderhevig zijn aan een selectieve bestraling gedurende het aanleggen van de gradientimpuls, wordt gecorrigeerd door het on-

middellijk toevoeren van een gelijke en tegengestelde gradient gedurende dezelfde tijdsduur als de oorspronkelijke gradientpuls. Een uitbreiding van de fasecorrectie van type II is het toestaan van een vertragingstijd, voordat de correctiegradient wordt aangelegd. Gebeurtenissen, zoals spin-echo's kunnen gedurende deze vertragingstijd worden waargenomen. Een dergelijke fasecorrectie, waarin een gradient van tegengestelde polariteit wordt aangelegd na een vertragingstijd, zal in het volgende fasecorrectie van type III genoemd worden. Een verder type van fasecorrectie (type IV) is analoog aan type III, met dit verschil dat een 180° hoogfrequente puls wordt toegevoerd aan het onderzochte volume gedurende de periode tussen het aanleggen van de oorspronkelijke en de correctiegradient; zodanig dat de polariteit van de correctiegradient altijd dezelfde zal zijn als die van de eerste gradient. De correctiegradient heeft dezelfde polariteit als de eerste gradient omdat de tussenliggende 180° hoogfrequente puls de fasen negatief maakt.

De onderhavige uitvinding is gericht op een werkwijze voor selectieve bestralingsbeeldvorming, waarbij directe analyse van de spin-echo (in tegenstelling tot analyse van de FID) zorgt voor snelle opeenvolgende aftastingen van een aantal vlakken (vlakke volumina) binnen het voorwerp. Een van te voren bepaald aantal evenwijdige vlakken wordt opeenvolgend selectief geexciteerd, zodanig dat de spins van de atomen (kernen) die zich daarin bevinden met ongeveer 90° geherorienteerd worden. Een van te voren bepaald aantal dwarsvlakken binnen het voorwerp wordt dan selectief geexciteerd voor het herorienteren van de spins van de atomen daarin over 180° . De kernen, die zich op de snijlijnen van de over 90° geherorienteerde vlakken en de over 180° geherorienteerde vlakken bevinden, wekken opeenvolgend geen echosignalen op op tijdstippen in overeenstemming met de wet van de gelijke tijden. De spin-echosignalen worden op deze wijze gedurende een opeenvolging van de desbetreffende tijdsperioden opgewekt. Door het meten van de spin-echo's in de aanwezigheid van een naar positievariabele magnetische veld langs de snijlijn, kunnen de spindichtheden van eenheidsvolumina binnen elke afzonderlijke snijlijn verkregen worden door Fourier-transformatie van de desbetreffende spin-echosignalen.

Indien stellen herhaalde uitlezingen van een bepaalde lijn

te dikwijls optreden, zullen T_1 -effecten de signaalsterkte van de eenheidsvolumina verkleinen. Op deze wijze geeft de signaalsterkte de gecombineerde invloeden van spindichtheid en T_1 aan. Volume-elementen met een grote waarde van T_1 zouden minder dan normale schijnbare spindich-

heden hebben. Volume-elementen met korte T_1 zullen zeer weinig veranderingen vertonen ten opzichte van de werkelijke spindichtheid. Dit effect maakt de constructie mogelijk van een T_1 beeld door het maken van verschillende schijnbare spindichtheidsbeelden gedurende kortere en langere tijden tussen stellen van herhaalde uitlezingen. De verkleining van de schijnbare dichtheid als functie van de tijd tussen de herhaalde uitlezingen kan gebruikt worden voor het berekenen van T_1 van elk volume-element. De waarden van T_1 van alle volume-elementen kunnen dan gebruikt worden voor het maken van een T_1 beeld van het voorwerp.

De uitvinding wordt in het volgende nader toegelicht aan de hand van de tekening, waarin:

figuren 1A - 1D zijn schematische weergaven van een voorwerp, dat onderworpen is aan een lijnaftastingsspinechoreeks volgens de uitvinding;

figuur 2 een grafiek is, dat de selectieve spinechoreeks van figuur 1 toont;

figuur 3 een schematische weergave is van de spinechoreeks van figuren 1 en 2;

figuren 4A - C weergaven zijn van een voorwerp dat onderworpen is aan een meerlijnsspinecho-aftastreeks;

figuur 5 een grafiek is, die een tweelinsspinastaftastreeks toont;

figuren 6 en 7 schematische grafieken zijn van verdere meerlijnsspinechoreeksen in overeenstemming met de uitvinding;

figuren 8, 9 en 10 schematische grafieken zijn, die de spinecho-aftastreeks volgens de uitvinding toelichten onder gebruikmaking van kopiering;

figuur 11 een blokschema is van een inrichting voor het tot stand brengen van spinecho-aftastreeksen in overeenstemming met de uitvinding;

figuur 12 een uitéén genomen weergave is van een deel van

de inrichting volgens figuur 11; en

figuur 13 een blokschema is van de demodulator en frequentiesynthetisator/fasegeneratorelementen van figuur 11.

Onder verwijzing naar figuren 1 en 2 zal een spinecho-aftastreeks volgens de uitvinding beschreven worden voor het bepalen van de normale of T_1 gemodificeerde dichtheid van kernspins (in het volgende de spindichtheid genoemd) in een eenheidsvolume 11 binnen een voorwerp 10. Geschikte apparatuur voor het opwekken van een dergelijke spinecho-aftastreeks zal in het volgende beschreven worden aan de hand van figuren 11, 12 en 13.

De eerste stap van de spinecho-aftastreeks, is, evenals in andere NMR-beeldvormingstechnieken, het bevatten van een aanvankelijke alignering van de kernspins in het voorwerp 10. Voor dit doel wordt een sterk magnetisch veld B_0 opgewekt langs bijvoorbeeld de Z-as van een normaal Cartesiaans-coördinatenstelsel, dat gecentreerd is in alignering met het voorwerp 10 (figuur 1A). Zoals eerder is aangegeven nemen de kernspins van de atomen Larmor-frequenties aan die direct evenredig zijn met het magnetische veld, dat op hen inwerkt, en vertonen zij de neiging zich met het magnetische veld B_0 te aligneren.

Vervolgens wordt een bepaald volume binnen het voorwerp 10 geexciteerd waardoor het zwenken van de spins van de atomen in het volume in een dwarsorientatie bij voorkeur van 90° . Men zal zich herinneren, dat de kernen met spins bij een bepaalde Larmor-frequentie slechts gevoelig zijn voor uitwendige elektromagnetische signalen, die in hoofdzaak de Larmor-frequentie hebben. Indien bijgevolg het voorwerp 10 onderworpen is aan een naar positie variabel magnetisch veld, zoals bijvoorbeeld een magnetische gradient langs de X-richting ($g_x = \partial B_z / \partial x$) zullen de kernen, die zich binnen de verschillende Y-Z-vlakken (vlakvolumina) bevinden, die zich op verschillende plaatsen langs de X-as bevinden, verschillende Larmor-frequenties hebben. Een enkel Y-Z-vlak kan bijgevolg aangesproken worden door het voorwerp 10 (onder aanwezigheid van het naar x-positie variabele veld) te bestralen met een elektromagnetisch signaal met een frequentiespectrum dat overeenstemt met de desbetreffende Larmor-frequentie van het vlak. In de praktijk heeft uiteraard het aangesproken volumeatoom een eindig X-afmeting, en dienovereenkomstig bevat het spins van Larmor-

frequenties over een van te voren bepaalde bandbreedte.

Op deze wijze wordt, na aanvankelijke alignering van de spins door het veld B_0 , een X-variabel magnetisch veld, op geschikte wijze een gradient g_x (figuur 2) opgewekt over het voorwerp 10, door het verkrijgen van een Larmor-frequentiediscriminant langs de X-as. In de aanwezigheid van de gradient g_x , zal een bepaald vlakvolume 12 (figuur 1B) binnen het voorwerp 10 aangesproken worden door het voorwerp 10 te bestralen met een 90° elektromagnetische puls X_1 met een frequentiespectrum, dat in hoofdzaak bestaat uit frequentiecomponenten, die met de Larmor-frequenties van de atomen, die zich binnen het vlak (vlakvolume) 12 bevinden, overeenstemmen.

De betrekking tussen de 90° puls X_1 en de gradient g_x is weergegeven in figuur 2. Er wordt op gewezen, dat figuur 2 (en figuur 5) de aanwezigheid of afwezigheid van de gradient aangeeft, in plaats van de vorm van de gradient zelf.

Ter vereenvoudiging van de onderstaande bespreking zullen de volgende conventies worden aangenomen. Het proces van het bestralen van het voorwerp met een elektromagnetisch signaal van een van te voren bepaald frequentiespectrum in aanwezigheid van een naar positie variabel veld van het bekrachtigen van een van te voren bepaald volume van kernen zal in het volgende worden aangeduid als een proces van selectieve bestraling. Op overeenkomende wijze zullen vlakke volumina, waarin kernspins geherorienteerd worden over 90° of 180° , in het volgende 90° vlakken respectievelijk 180° vlakken genoemd worden.

Zoals eerder is aangegeven zijn de kernspins binnen volume 12 na 90° tot X_1 en type een fasecorrectie g_x aanvankelijk een alignering en onder 90° ten opzichte van de oorspronkelijke orientatie zodat zij een betrekkelijk sterke spanning in een spoel induceren, die om de X-as is aangebracht. De geïnduceerde spanning vervalt evenwel met de tijd wanneer de fasen van de spins op verschillende plaatsen binnen het volume 12 spreiden. Het vrije inductievervals signaal (FID) dat door de kernen binnen het volume 12 wordt opgewekt tengevolge van de 90° puls X_1 is in figuur 2 weergegeven.

Thans wordt een fasecorrectie X_2 toegepast door de fasegradient g_{z1} . Deze gradient wordt aangelegd voor het verspreiden van de

fasen langs de z-richting, zodanig dat zij geherfokuseerd kunnen worden door g_{z2} gedurende de eerste helft van de spinecho-uitlezing. g_{z1} heeft hetzelfde oppervlak als de eerste helft van g_{z2} . Figuur 2 toont g_{z1} als niet overlappend met enige andere gradient terwille van de eenvoud van de weergave van de FID. Het is mogelijk g_{z1} te laten overlappen met $-g_x$ zonder schadelijke invloed op de spinecho en een vermindering van de tijd die nodig is voor de reeks.

De volgende stap van de spinecho-aftastingsreeks is het tot stand brengen van een 180° draaiing van kernspins binnen een volume dwars op volume 12 en het snijden van volume 12 zodanig dat een eenheids-volume 11 gemeenschappelijk is voor de beide volumina. Een Y-positievariabel magnetisch veld, geschikt een gradient $g_y = \partial B_z / \partial y$ wordt daarom door het voorwerp 10 heen opgewekt en een van te voren bepaald X-Z-vlak volume 10 (figuur 1C) wordt bekrachtigd met een 180° puls Y_1 met een frequentiespectrum, dat overeenstemt met de band van Larmor-frequenties van de kernen binnen het volume 14. Op deze wijze worden de fasen van de spins van de kernen binnen het volume 14 omgekeerd en wordt volume 14 een 180° vlak.

De invloed van de fase-omkering op de kernen, die gemeenschappelijk zijn voor de beide vlakken 12 en 14 (in het volgende een doorsnijdingsvolume 16, figuur 1D genoemd) is het weer koppelen van de spinfase. Op deze wijze wordt een spinecho (figuur 2) opgewekt door het doorsnijdingsvolume 16.

Onder verwijzing naar figuur 3 wordt opgemerkt, dat de 180° puls Y_1 in feite werkzaam is als een spiegel ten opzichte van FID 22. Wanneer de fasen beginnen te hergroeperen wordt een reflectie van het verval verkregen en een pieksignaal wordt opgewekt op een tijdstip 2τ , waarin τ gelijk is aan de tijd tussen het opheffen van de 90° puls X_1 en de 180° puls Y_1 , in overeenstemming met de wet van gelijke tijden. De fasen van de spins spreiden daarna en de spinecho verval op een wijze, die analoog is aan het verval van de FID. Zoals in het volgende zal worden uiteengezet kan de wet van gelijke tijden gebruikt worden in een meerlijnaftaststelsel voor het verkrijgen van niet interfererende spinecho's uit meervoudige lijnen. Verder verschaft, omdat de spinecho een geringere grootte heeft dan de FID, dankzij de dwarsrelaxatie (T_2) het spiegel-

effect tweemaal de steekproefperiode voor het verzamelen van gegevens.

De spinecho wordt opgetekend in aanwezigheid van een naar positie variabel magnetisch veld, waarin de intensiteit van het magnetische veld varieert als een functie van de plaats langs de zijlijn.

5 Onder verwijzing naar figuren 1 en 2 wordt erop gewezen dat de afzonderlijke spindichtheden van eenheidsvolumina binnen het doorsnijdingsvolume 16 bepaald worden door het voorwerp 10 te onderwerpen aan een naar Z-positie variabel magnetisch veld, op geschikte wijze een gradient $g_z = \partial B_z / \partial Z$ (figuur 2) gedurende de tijdperiode, waarin de spinecho 24 wordt opgewekt. Van het spinechosignaal worden steekproeven genomen in

10 een Fourier-transformatie van het uit steekproeven bestaande spinecho-signaal wordt uitgevoerd om in feite de intensiteit van de verschillende conventiecomponenten van de spinecho te meten. De spindichtheid van het bepaalde eenheidsvolume 11 wordt op deze wijze weergegeven door de intensiteit van de spinechofrequentiecomponent, die overeenstemt met de

15 desbetreffende Larmor-frequentie van het eenheidsvolume.

Indien de gradient g_z zodanig is, dat zijn bijdrage tot B_z nul is in het midden van het doorsnijdingsvolume 16, zullen eenheidsvolumina op gelijke Z-afstanden ter weerszijden van het midden Larmor-frequenties hebben met gelijke frequentie-incrementen boven en beneden

20 de centrale Larmor-frequentie. De gedemoduleerde signaalcomponenten van deze eenheidsvolumina zullen gelijke en tegengestelde frequenties hebben en kunnen bijgevolg onderscheiden worden door conventionele kwadratuurdetectietechnieken, zoals beschreven zal worden.

De spinecho-aftastreeks, die in het bovenstaande beschreven is, is in het bijzonder voordelig, doordat hij gemakkelijk geschikt is voor snelle meerlijnsaftastingen. De selectieve adressering van een reeks van desbetreffende vlakken met 90° pulsen, en het vervolgens opeenvolgend adresseren van uitgekozen dwarsvlakken met 180° pulsen, wordt een in

30 de tijdopeenvolgende reeks spinecho's uit meervoudige snijlijnen tot stand gebracht. De bovengenoemde wet van gelijke tijden verschaft een tijdsdiscriminatie tussen de desbetreffende spinecho's. Bij wijze van voorbeeld zal thans een tweelijnsreeks worden toegelicht aan de hand van de figuren 4 en 5.

35 Evenals bij de éénlijnsaftastingsreeks, wordt een eerste

vlak 12 (figuur 4A) geadresseerd door selectieve bestraling, op geschikte wijze onder gebruikmaking van een 90° puls X_1 in samenwerking met een X-gradient g_x (figuur 5). Vervolgens worden opeenvolgende selectieve bestralingsprocessen uitgevoerd om gave omkeringen in dwarsvlakken 14A en 14B (figuur 4B) te bereiken. Zoals in figuur 5 is weergegeven wordt een naar een positie variabele magnetisch veld, op geschikte wijze een gradient g_{y1} , opgewekt over het voorwerp 10 en een 180° puls Y_1 van geschikt frequentiespectrum wordt omgelegd voor het selectief exciteren van volume 14A tot 180° . Een tweede X-Z-vlak 14B wordt geexciteerd door een selectief bestralingsproces waarbij gebruik gemaakt wordt van een tweede 180° puls Y_2 en een Y-gradient g_2 in een van te voren bepaald tijdsverband met de pulsen X_1 en d_1 . X-Z-vlak 14B wordt uitgekozen op een Y-positie, die verschilt van die van het vlak 14A door op geschikte wijze het frequentiespectrum van de 180° puls Y te verschuiven over een geschikte frequentie ΔF , onder het veranderen van het hoofdmagneetveld B_0 met een bepaalde waarde (ΔB) (de verschuiving ΔB bewerkstelligt een verschuiving van de desbetreffende Larmor-frequentie over het voorwerp) of door een combinatie van beide. De ΔB methode is schematisch in figuur 5 weergegeven.

De kernen, die gemeenschappelijk zijn voor zowel het 90° vlak als het 180° vlak, dat wil zeggen de doorsnijdingsvolumina X_1 en Y_1 en X_1Y_2 (figuur 4C) wekken desbetreffende spinecho's op (eveneens aangeduid met X_1Y_1 en X_1Y_2 in figuur 5) op desbetreffende tijden in overeenstemming met de wet van gelijke tijden. Door desbetreffende spinecho's worden opgetekend in aanwezigheid van naar positie variabele magnetische velden, gradienten g_{z1} respectievelijk g_{z2} (figuur 5); om een Larmor-frequentiediscriminant te verkrijgen langs de snijlijn. Voor meer transformaties worden uitgevoerd van de opgetekende spinecho's voor het ontwikkelen van aanwijzingen op de spindichtheden of T_1 gewijzigde spindichtheden van eenheidsvolumina binnen de doorsnijdingsvolumina.

Er wordt op gewezen, dat de desbetreffende spinecho's X_1Y_1 en X_1Y_2 optreden op tijdsperioden naar puls Y_1 en naar puls Y_2 , gelijk aan de tijdsperioden tussen de pulsen Y_1 en X_1 en de pulsen Y_2 en X_1 . Op deze wijze kunnen door een geschikte onderlinge tijdsbepaling van de pulsen Y_1 Y_2 spinecho's X_1 en Y_1 en X_1Y_2 optreden binnen een gewenst tijdsinterval ertussen voor het verkrijgen van een juiste discriminatie

tussen lijnen.

De spinfasen van kernen, anders dan de desbetreffende ogenblikkelijk uitgekozen vlakken worden gespreid door blootstelling aan de desbetreffende magnetische gradienten. Storende fasespreiding door de gradienten en stoppen van het magnetische veld ΔB worden gecorrigeerd door het aanleggen van verschillende typen van fasecorrecties. Zo is bijvoorbeeld onder verwijzing naar figuur 5 gradient $-g_x$ van het fasecorrectietype 1, dat nodig is na een 90° selectieve bestraling. De gradient g_{y1} veroorzaakt een faseverspreiding in het 180° vlak 14B voorafgaande aan de puls Y_2 en de gradient g_{y2} veroorzaakt een fasespreiding in het 180° vlak 14A na puls Y_1 . Correctie dient te worden uitgevoerd voor storende fasespreiding voorafgaande aan het opwekken van een spinecho-sig-naal uit kernen binnen het desbetreffende vlak. Dienovereenkomstig wordt, voor het vermijden van fouten, die zijn toe te schrijven aan storende fasespreiding in spinecho's X_1Y_1 en negatieve gradient $-g_{y2}$ (typen II) aangelegd onmiddellijk na het beeindigen van de gradient g_{y2} . De negatieve gradient $-g_{y2}$ beïnvloedt evenwel het vlak 14B na de puls Y_2 en moet zelf gecorrigeerd worden. Correctie voor de invloed van gradienten g_{y1} en $-g_{y2}$ op vlak 14B en bijgevolg echo X_1Y_2 wordt verkregen door het aanleggen van een correctiegradient g_{y3} van type IV en een gradientcorrectie g_{y4} van type III. In de eerste helft van het uitlezen moet de gradient g_{z1} de spinfasen herfokusseren voor het opwekken van een echo. Dit maakt nodig, dat de spins gedefokussieerd worden bij het begin van de reeks. Gradient g_{z0} zorgt hiervoor. Het oppervlak van gradient g_{z0} is de helft van dat van g_{z1} , zodanig dat de herfokussering volledig is in het midden van de echo. De eerste helft van g_{z1} is in feite dezelfde correctie van type IV voor g_{z0} . g_{z0} kan tegelijkertijd worden aangelegd als $-g_x$.

De fasespreidingseffecten van de tweede helft van gradient g_{z1} op vlak 14B worden gecorrigeerd door het aanleggen van de negatieve gradient $-g_{z1}$ (een fasecorrectie van type II). De spinecho wordt gefokussieerd gedurende deze correctie en steekproeven die gedurende deze periode genomen zijn, kunnen gebruikt worden bij het middelen van signalen.

Figuur 6 toont schematisch een drielijns-spinecho-aftastreeks. Een 90° puls X_1 wordt toegevoerd op een tijdstip t_0 (in aanwezigheid van een X-gradient) en een reeks van Y-pulsen (in aanwezigheid van

Y-gradienten) bestraalt het voorwerp op tijden $\tau/2$, 2τ en $5\tau/2$.
 Dienovereenkomstig wordt een spinecho X_1Y_1 opgewekt op een tijdstip 3
 door de kernen, die gemeenschappelijk zijn voor het 90° vlak, dat behoort
 bij puls Y_1 . Op overeenkomende wijze worden spinecho's X_1Y_1 en X_1Y_3 op-
 5 gewekt door de kernen, die gemeenschappelijk zijn voor de vlakken, die
 behoren bij de pulsen X_1Y_2 en de pulsen X_1 en Y_3 op tijdstippen 4τ res-
 spectievelijk 5τ . Niet weergegeven fasecorrecties kan worden uitgevoerd
 op een wijze, die analoog is als hetgeen aan de hand van figuur 5 beschre-
 ven is. De spinecho's worden opgetekend in aanwezigheid van een Z-gradient
 10 en voor meer transformaties uitgevoerd voor het ontwikkelen van aanwij-
 zingen op de relatieve normale of T_1 gewijzigde spindichtheden.

Zoals schematisch in figuur 7 is weergegeven kan een aan-
 tal Y-vlakken opeenvolgend bekrachtigd worden in samenwerking met één of
 meer X-Z-vlakken voor het opwekken van een meerlijnsaftasting. Als voor-
 15 beeld wordt aangenomen dat de Y-Z-vlakken 12A, 12B en 12C (figuur 4A)
 bekrachtigd worden voor 90° orientaties door selectieve bestralingspro-
 cessen waaronder bestraling van het voorwerp met opeenvolgende 90° pulsen
 X_1 , X_2 en X_3 in aanwezigheid van X-gradienten. Zoals in het bovenstaande
 is aangegeven worden de vlakken langs de X-as (en de Y-as) alleen gekozen
 20 door het kiezen van geschikte frequentiespectra voor de desbetreffende
 90° pulsen, door het magnetische veld B_0 te verschuiven of door een combi-
 natie van deze beide technieken. Nadat de Y-Z-vlakken 12A, 12B en 12C
 geexciteerd zijn tot 90° worden uitgekozen X-Z-vlakken 14A en 14B ge-
 exciteerd tot 180° door een overeenkomend proces van selectieve bestraling
 25 onder gebruikmaking van 180° pulsen Y_1 en Y_2 . De doorsnijdingen van de
 desbetreffende Y-Z-vlakken en X-Z-vlakken leiden tot een aantal snijlijnen,
 zoals in figuur 4 is weergegeven, X_1Y_1 , X_2Y_1 , X_3Y_1 , X_1Y_2 , X_2Y_2 en X_3Y_2 .
 Elke dergelijke snijlijn wekt een spinechosignaal op, dat in figuur 7 is
 aangegeven met de desbetreffende bijbehorende snijlijn in overeenstemming
 30 met de bovengenoemde wet van gelijke tijden.

Door een juiste keuze van de tijdsintervallen tussen de des-
 betreffende pulsen, worden de desbetreffende spinecho's opgewekt in een
 niet interfererende opeenvolging. Wanneer bijvoorbeeld wordt aangenomen
 dat de 90° gradenpulsen X_1 , X_2 en X_3 worden opgewekt op de tijdstippen
 35 $0, \tau$ en 2τ en de 180° pulsen Y_1 en Y_2 bij $11\tau/4$ respectievelijk 3τ ,

zal de spinecho van de snijlijn X_3Y_3 worden opgewekt op het tijdstip $3\tau/2$; X_3Y_2 op het tijdstip 4τ ; X_2Y_1 op $9\tau/2$; X_2Y_2 op 5τ ; X_1Y_1 op $11\tau/2$ en X_1Y_2 op tijdstip 6τ . Correctie voor fasespreiding door toe-
 5 doen van de desbetreffende gradienten zal weer worden uitgevoerd op een wijze, die analoog is aan hetgeen aan de hand van figuur 5 beschreven is. De desbetreffende spinecho's worden dan opgetekend in aanwezigheid van een zetgradient en voor meer transformaties uitgevoerd voor het ont-
 wikkelen van aanwijzingen op de normale of T_1 gewijzigde spindichtheden van de afzonderlijke eenheidsvolumina binnen de snijlijnen. Op deze wijze
 10 kan door gebruikmaking van de spinechoreeks volgens de uitvinding een veelvoud lijnen binnen het volume 10 in een snelle opeenvolging worden afgetast met snelheden, die niet beperkt zijn door de spinroosterrelaxa-
 tietijd T_1 van het voorwerp, zoals het geval is bij aftasttechnieken, die verzadiging gebruiken.

15 In sommige gevallen is het gewenst een meervoudige aflezing te maken van de spinecho die van een bepaalde snijlijn afkomstig is ter-
 wille van signaalmiddeling. Zoals in het bovenstaande is aangegeven hebben Mansfield en Maudsley aangeduid, dat nadat de FID vervallen is verschil-
 lende signaalrefokusseringsinrichtingen gebruikt kunnen worden om het
 20 signaal terug te roepen voor signaalmiddeling. Een dergelijk proces kan gebruikt worden voor het terugroepen van het spinechosignaal. Onder
 verwijzing naar figuur 8 wordt een spinecho X_1Y_1 opgewekt door eerst selectieve bestraling van een eerste vlak (vlakvolume) met een 90° X_1 en
 vervolgens selectief bestralen van een dwarsvlak met een 180° puls Y_1 .
 25 In de veronderstelling dat het tijdsinterval tussen puls X_1 en Y_1 gelijk is aan τ_1 , wordt de spinecho X_1Y_1 opgewekt met een piek op het tijd-
 stip τ_1 na de bestraling van de 180° puls Y_1 , in overeenstemming met de wet van gelijke tijden. Indien verdere 180° puls Y_1' met een frequentie-
 spectrum, dat dat van de puls Y_1 omvat, wordt opgewekt op tijdstip 2
 30 na de piek van de spinecho X_1Y_1 , zullen de fasen van de kernspins die de spinecho X_1Y_1 opwekken, omgekeerd worden, waardoor de fasen convergeren
 om op deze wijze een kopie of replica X_1Y_1' te verkrijgen van een echo X_1Y_1 .

De wet van gelijke tijden is van toepassing op het kopierings-
 35 verschijnsel. Dienovereenkomstig treedt replica X_1Y_1' op op een tijdstip

τ 2 na het opwekken van de 180° puls Y_1' . Verder kunnen replica's worden gevormd door het aanleggen van aanvullende 180° pulsen. De totale amplituden van de signalen nemen evenwel af in overeenstemming met de dwarsrelaxatietijd T_2 . Een dergelijk verval vormt een praktische grens voor het aantal replica's, dat gemaakt kan worden.

Men zal inzien, dat indien de 180° puls Y_1' spectrale componenten bevat, die niet in puls Y_1 aanwezig zijn, in fase-omkering zal worden uitgevoerd van delen van het oorspronkelijke 90° vlak, dat niet door puls Y_1 werd beïnvloed. Bijgevolg zullen deze delen van het oorspronkelijke 90° vlak aan parasitaire spinecho P opwekken op een tijdstip $2\tau_1 + \tau_2$ na het opwekken van puls Y_1' . De parasitaire echo P kan vermeden worden door het frequentiespectrum van de 180° puls Y_1' identiek te maken aan die van de puls Y_1 .

Replica's van een aantal spinecho's kunnen verkregen worden door het aanleggen van een enkele 180° puls met een frequentiespectrum, dat de afzonderlijke frequentiespectra van de oorspronkelijke 180° pulsen omvat, bijvoorbeeld de desbetreffende 180° vlakken bedekt. Dergelijke procedure is schematisch weergegeven in figuren 9 en 10. In figuur 9 wordt een eerste vlak selectief bestraald door 90° puls X_1 , waarna de desbetreffende dwarsvlakken selectief bestraald worden in een reeks van 180° pulsen Y_1 , Y_2 respectievelijk Y_3 , die worden aangelegd op tijdstippen $3\tau/2$, 2τ en $5\tau/2$. Dienovereenkomstig worden spinecho's afkomstig van de desbetreffende snijlijnen X_1Y_1 , X_1Y_2 en X_1Y_3 opgewekt op tijdstippen 3τ , 4τ respectievelijk 5τ .

Het toevoeren van een breed spectrum 180° puls Y' op bijvoorbeeld tijdstip $11\tau/2$ zal replica's vormen van de spinecho's in omgekeerde opeenvolging. In overeenstemming met de wet van gelijke tijden, zal replica X_1Y_3' worden gevormd op een tijdstip 6τ (half τ na het aanleggen van de puls Y' , een interval dat gelijk is aan de tijd tussen het optreden van de spinecho X_1Y_3 op 5τ en puls Y'). Op overeenkomende wijze treedt replica X_1Y_2 op het tijdstip 7τ op en replica X_1Y_1' op het tijdstip 8τ .

Het toevoeren van een tweede breed spectrum 180° puls Y'' of bijvoorbeeld het tijdstip $7\tau/2$ zal verdere replica's van spinecho's vormen, deze maal in dezelfde opeenvolging als de oorspronkelijke spin-

echo's. Replica's X_1Y_1'' , X_1Y_2'' respectievelijk X_1Y_3'' treden op de tijdstippen 9τ , 10τ respectievelijk 11τ .

Er wordt evenwel op gewezen, dat de breedspectrum 180° puls Y_1 fase-omkeringen tot stand brengt in delen van het 90° vlak die niet in fase werden omgekeerd door impuls Y_1 zodat dienovereenkomstig een parasitaire spinecho P wordt gevormd. In overeenstemming met de wet van gelijke tijden wordt deze parasitaire echo opgewekt op een tijdstip 11τ . Bijgevolg maakt de parasitaire P de replica Y_3X_1' in hoofdzaak waardeloos.

De parasitaire echo kan verkleind worden door het verkleinen van delen van het 90° vlak, die niet in fase werken omgekeerd door de puls Y_1 . De invloeden van parasitaire echo's kunnen eveneens verkleind worden of over verschillende replica's verspreid door verandering van de relatieve tijdstippen van de breedspectrum 180° pulsen Y' en Y'' .

Figuur 10 toont een alternatieve spinechoaftastreeks onder gebruikmaking van kopiering. In dit geval wordt een aantal 90° vlakken gevormd door selectieve bestraling met de 90° pulsen X_1 , X_2 respectievelijk X_3 , gevolgd door een 180° puls Y_1 met een van te voren bepaalde frequentiespectrum. De verkregen snijlijnen wekken desbetreffende spinecho's X_3Y_1 en X_2Y_1 en X_1Y_1 op in overeenstemming met de wet van gelijke tijden. Vervolgens wordt kopiering uitgevoerd door selectieve bestraling onder gebruikmaking van 180° pulsen Y_1' en Y_1'' met een frequentiespectrum dat identiek is aan dat van puls Y_1 . Men zal inzien, dat aangezien het frequentiespectrum van de desbetreffende 180° pulsen identiek is, geen parasitaire echo's opgewekt worden.

In figuren 11 en 12 is geschikte apparatuur voor het uitvoeren van de spinecho-aftastreeksen volgens de uitvinding weergegeven. Figuur 11 toont de gehele apparatuur in blokschemavorm, terwijl de apparatuur, die gebruikt wordt bij het opheffen van de verschillende magnetische velden (met uitzondering van de sturingsketens) is weergegeven in uiteen genomen perspectivisch aanzicht in figuur 12.

Voorwerp 10 wordt binnen een hoogfrequent spoel 22 aangebracht in de nominale X-as van een Cartesiaans-coördinatenstelsel. De hoogfrequent spoel 22 wordt gebruikt voor het bepalen van voorwerp 10, voor het opnemen van de spinechosignalen, die door het voorwerp 10 worden

opgewekt en verder voor het ondersteunen van het voorwerp 10.

Spoel 22 is op zijn beurt aangebracht tussen de pulsschoenen 24 en 26 van de hoofdmagneet 28. De magneet 28 wordt gebruikt voor het opwekken van het hoofdmagnetische veld B_0 in de z -richting van het nominale coördinatenstelsel (dwars op de as van spoel 22). De magneet 28 bevat op geschikte wijze een conventionele ijzerkern waaromheen koperen geleiders gewikkeld zijn die samenwerken met een niet weergegeven energievoeding en op geschikte wijze met water gekoeld worden voor het handhaven van een constante temperatuur.

Velden, die naar z -richting variabel zijn, worden selectief geleverd door Z -gradientspoelen (g_z) 34 en 36. De spoelen 34 en 36 zijn aangebracht op de desbetreffende vlakken van de pulsschoenen 24 en 26 en hebben een geschikte Maxwell-spoel geometrie. Dit betekent dat de spoelen cirkelvormig zijn en concentrisch zijn met de pulsschoen waarbij de straal van de spoelen bepaald wordt in overeenstemming met de afstandtussen de spoelen. De Z -gradientspoelen 34 en 36 zijn elektrisch in serie verbonden, zodat de magnetische velden, die door hen opgewekt worden, tegengesteld zijn en elkaar in de oorsprong van het coördinatenstelsel opheffen.

Magnetische velden met een X -gradient zijn selectief aangebracht door X -gradient (g_x) spoelen 38 en 40. De spoelen 38 en 40 zijn opgeschikte wijze van rechthoekige configuratie en aangebracht op de pulsschoenen 24 respectievelijk 26, teneinde oneindige geleiders na te bootsen, die in de X -richting lopen. De spoelen 38 en 40 zijn elektrisch verbonden voor het opwekken van tegengestelde magnetische velden, die eveneens elkaar opheffen in de oorsprong van het coördinatenstelsel.

Magnetische velden die naar Y -positie variabel zijn, worden selectief opgewekt door Y -gradient (g_y) spoelen 42 en 44. De spoelen 42 en 44 zijn op geschikte wijze van dezelfde vorm en oppervlak als de X -gradientspoelen 38 en 40, maar zijn de pulsschoenen 24 en 26 aangebracht op een wijze, dat zij oneindige geleiders nabootsen, die in de Y -richting lopen. De spoelen 42 en 44 zijn eveneens elektrisch verbonden voor het opwekken van tegengestelde zijden, die elkaar opheffen in de oorsprong van het coördinatenstelsel.

Van de plaats afhankelijke veranderingen in het hoofdveld

B_0 kunnen tot stand gebracht worden, indien dit gewenst is, door ΔB spoelen 32A en 32B, die zijn aangebracht om de buitenzijde van de puls-schoenen 22 en 24 en elektrisch in serie verbonden zijn op zodanige wijze dat zij een aanvullend magnetisch veld geven ten opzichte van elkaar.

5 Voor een verdere beschrijving van geschikte spoelen voor het opwekken van magnetische gradienten wordt verwezen naar het eerder genoemde Amerikaanse octrooischrift 4.015.196.

De hoogfrequent spoel 22 is elektrisch verbonden via een geschikt impedantie-aanpassingsnetwerk 50 met één klem van een richtings-
10 netwerk of circulator (magische T netwerk) 52. Het impedantie-aanpassingsnetwerk 50 bevat op geschikte wijze een paar variabele condensatoren voor het afstemmen van de hoogfrequent spoel 22. Variabele condensatoren zijn op geschikte wijze van een niet magnetisch materiaal zoals koper of
messing en bevinden zich bij voorkeur zo dicht mogelijk bij de hoogfrequent spoel 22.
15

Het magische T-netwerk 52 koppelt de hoogfrequent spoel 22 (op een exclusieve wijze) met de zender 54 en een voorversterker 56. Zoals in de techniek bekend is, is een magisch T-netwerk 52 werkzaam voor het verbinden van de zender 54 met de spoel gedurende die tijden, waarin de
20 zender 54 uitzendt, en verbindt hij de spoel 22 met de voorversterker 56 gedurende de perioden, waarin de zender 54 niet uitzendt.

De voorversterker 56 is op geschikte wijze van conventioneel type, en heeft een hoge versterking en een grote bandbreedte. Het is gewenst de voorversterker uit te schakelen gedurende zend- of tussenperioden
25 voor het verkrijgen van een grotere isolatie van de zender 54. Dienovereenkomstig kan een gesleutelde voorversterker worden gebruikt. De uitgangssignalen van de voorversterker 56 worden via de diodedetector 62 en het laagdoorlatende filter 64, indien dit gewenst is, toegevoerd voor bewaking gedurende het afstemmen van het stelsel, en worden via een
30 buffer 58 aan een demodulator 60 toegevoerd.

De demodulator 60 is op geschikte wijze een kwadratuur-demodulator, zodat niet alleen frequentieverschuiving (vanaf de centrale frequentie, zoals nog wordt uiteengezet, en amplitude-informatie wordt verkregen, maar het teken van de frequentieverschuiving kan eveneens bepaald
35 worden om de desbetreffende frequentiecomponenten te relateren aan plaat-

sen in voorwerp 10 aan tegenover elkaar liggende zijden van de oorsprong. Verder vermijdt het gebruik van een kwadratuurdemodulator al zijn fouten door ketenvertragingen. De demodulator 60 is gevoelig voor signalen, die een aanduiding zijn van het uitgezonden signaal (evenals het ontvangen signaal) en wekt in fase (I) en kwadratuur (Q) uitgangssignalen op, waar-
 5 bij het Q-uitgangssignaal onder 90° staat ten opzichte van het I-uitgangssignaal. De I- en Q-uitgangssignalen bevatten componenten, die een aanduiding zijn van de som en het verschil van de ontvangen signaalfrequentie en de uitgezonden signaalfrequentie. Het spinechosignaal (verminderd met de draagfrequentie) wordt herwonnen door het ontwikkelen van de vier-
 10 kantswortel van de som van het kwadraat van de I- en Q-signalen. Een meer gedetailleerde beschrijving van een geschikte demodulator 60 zal in het volgende aan de hand van figuur 13 gegeven worden.

De I- en Q-demodulatoruitgangssignalen worden via desbe-
 15 treffende laagdoorlatende filters 68 toegevoerd aan een tweekanaalsanaloog-digitaalomzetter (A/D) 70. De analoog-digitaalomzetter 70 is op zijn beurt via een tussenorgaan 72 voor directe geheugentoegang (DMA) verbonden met een geschikte computer 96.

De zender 54 is op geschikte wijze een versterker van de
 20 A-klasse met een bandbreedte, die voldoende is voor het omvatten van een gewenste bandbreedte van Larmor-frequenties en wordt doorsignalen vanuit een modulator 74 aangedreven. De modulator 74 bevat op geschikte wijze een gebalanceerde menger (met filters) en is gevoelig voor een pulsformbesturingssignaal vanuit een geschikte microcomputerbesturing 76 (zoals nog
 25 beschreven wordt) en een signaal op een gewenste Larmor-draaggolf (midden) frequentie.

De Larmor-draaggolffrequentie wordt op geschikte wijze ontwikkeld uit het uitgangssignaal van een kristaloscillator 78 door een frequentiesynthetisator/fasegenerator 80 in fasegrendeling met kristal 78
 30 en geschikte banddoorlaatfilter en niveau-instelketens 84. Banddoorlaatfilter 84 is werkzaam voor het ontwikkelen van een sinusgolf met een van te voren bepaalde constante-omhullende vanuit de uitgang van de frequentiesynthetisator 80. Een meer gedetailleerde beschrijving van een geschikte frequentie-synthetisator/fasegenerator 80 zal in het volgende aan de hand
 35 van figuur 13 gegeven worden. Het opwekken van het Larmor-centrale fre-

quentiesignaal wordt uitgevoerd in reactie op stuursignalen vanuit de microcomputerbesturingsinrichting 76.

De microcomputerbesturingsinrichting 76 bestuurt in wezen de reeks van gebeurtenissen binnen het NMR-stelsel: het aansluiten van een computer 96 aan het stelsel, het weergeven van gegevens zoals met een elektronenstraalbuisaansluiting 100, het opwekken van veldgradienten, en de tijdsbepaling, amplitude, frequentie en fase van uitgezonden elektromagnetische signalen. De microcomputerbesturingsinrichting 76 is op geschikte wijze gebaseerd op een microcomputer zoals een LSI-11. Een microcomputer zoals de LSI-11 kan gewijzigd worden voor een snellere werking (bijvoorbeeld ten aanzien van het aanzetten en uitschakelen van het dragersignaal, de keuze van de gradientrichting en de keuze van de fase) door toevoeging van speciale daarvoor ontworpen materieel uitgevoerde tussenschakelingsketens. Verwezen wordt naar "An NMR Sequencer for Imaging" door J. Hoenninger en L. Crooks, dat nog moet uitkomen.

Bij het tot stand brengen van het opwekken van de magnetische veldgradienten, wekt de microcomputerbesturingsinrichting 76 desbetreffende stuursignalen op, die een aanduiding zijn van de gewenste gradientwaarden en de desbetreffende gradientrichtingen. Een analoogbesturingssignaal, dat een aanduiding vormt van bepaalde waarden van ΔB en/of Δf wordt, indien niet gewenst is, opgewekt. De gradientwaardebesturingsignalen en/of het ΔB signaal worden toegevoerd aan conventionele spannings-stroomomzetters en versterkers 90, die op hun beurt de gradient-signalen toevoeren aan de desbetreffende (g_z) spoelen 34, 36; (g_x) spoelen 38, 40; en (g_y) spoelen 42 en 44 en de ΔB signalen toevoert aan de spoelen 32A en 32B. De microcomputerbesturingsinrichting 76 levert stuursignalen die een weergave zijn van de gewenste hoogfrequente pulsvorm voor de modulator 74 en stelt bijgevolg de amplitude en duur van de elektromagnetische signalen in en dienovereenkomstig de spinherorientatie (zwenk) hoek, bijvoorbeeld 90° , 180° , die door het signaal tot stand gebracht wordt. De gewenste elektromagnetische pulsvorm en amplitudeschaalfactor wordt in een geheugen gehouden en selectief gebruikt voor het ontwikkelen van de stuursignalen.

Bij het selectieve bestralingsproces is het gewenst, dat de elektromagnetische pulsen een frequentiespectrum met smalle band heb-

ben. Dienovereenkomstig wordt een pulsform van het type $(\sin t)/t$ gebruikt (die een nagenoeg rechthoekig frequentiespectrum geeft). Een pulsform volgens Gauss (die een frequentiespectrum van Gauss geeft) is eveneens in beschouwing genomen.

5 De microcomputerbesturingsinrichting 76 omvat op geschikte wijze eveneens voorzieningen voor het besturen van de steekproefname door de analoog-digitaalomzetter 70 en voor het besturen van de uitzending van gegevens vanuit een DMA-tussenorgaan 72 naar de computer 96. In reactie op signalen vanuit de microcomputerbesturingsinrichting 76 neemt de ana-
10 loog-digitaalomzetter 70 een van te voren bepaald aantal steekproeven van de gedemoduleerde signalen en zendt de gegevens naar de hoofdcomputer 96 (geheugen 98) via DMA 72. Wanneer een groep steekproeven door de hoofdcomputer 96 ontvangen is, worden zij opgeslagen op een geschikte plaats in geheugen 98. De programmering van de microcomputerbesturingsinrichting
15 76 en de hoofdcomputer 96 zijn zodanig geordineerd, dat de vanuit DMA 72 ontvangen gegevens op de juiste wijze geïnterpreteerd kunnen worden ten aanzien van hun opeenvolging. Vervolgens wordt een Fourier-transformatie van de gegevens uitgevoerd en de Fourier-transformatie van de desbetreffende lijnastastingen worden weergegeven op de elektronenstraalbuis-weer-
20 geefinrichting 101. Indien dit gewenst is kan erin worden voorzien dat besturingsservomechanismen aanwezig zijn voor het positioneren van het monster (voorwerp 10) ten opzichte van de verschillende spoelen.

Aan de hand van figuur 13 zal een gedetailleerder beschrijving van een geschikte kwadratuurdemodulator 60 en een geschikte frequentie-
25 synthetisator/fasegenerator 80 gegeven worden. Voor het miniseren van lekwerken de frequentiesynthetisator/fasegenerator 80 en de demodulator 60 op geschikte wijze in de eerste plaats met tussenfrequenties, die verschillen van de frequentie die in feite wordt uitgezonden door de zender 54 en ontvangen door de voorversterker 56. In dit opzicht wordt verwezen
30 naar het Amerikaanse octrooischrift 3.651.396. Dienovereenkomstig levert de kristaloscillator 78 een rechthoekig uitgangssignaal van een van te voren bepaalde frequentie (10 MHz) aan de frequentiesynthetisator/fasegenerator 80. Aannemende dat de gewenste Larmor-frequentie van de orde van 15 MHz is, wordt het 10 MHz oscillatorsignaal op geschikte wijze toege-
35 voerd aan een frequentiedeler 102 (+ 5) voor het ontwikkelen van een sig-

naal van 2 MHz. Het signaal van 2 MHz wordt op geschikte wijze toegevoerd aan een programmeerbare frequentiesynthetisator 104 naar een fasegrendellus 106. De programmeerbare frequentiesynthetisator 104 is gevoelig voor stuursignalen, die een aanduiding inhouden van de gewenste frequentie-uitgang en afkomstig zijn van de microcomputerbesturingsinrichting 76. Het uitgangssignaal van de frequentiesynthetisator 104 wordt via een poort 108 onder besturing van de microcomputerbesturingsinrichting 76, en laagdoorlatend filter 110 aan een conventionele gebalanceerde menger 112.

De fasegrendellus 106 bevat op geschikte wijze een door middel van spanning bestuurd oscillator, die werkt om een van te voren bepaalde middenfrequentie, zoals 52 MHz en door middel van fasegrendeling gekoppeld is met het 2 MHz signaal. Het uitgangssignaal van 52 MHz van de fasegrendellus 106 wordt op geschikte wijze toegevoerd aan een conventionele vierfasegenerator 116, die signalen levert op de tussenfrequentie van 13 MHz met relatieve fases van 0° , 90° , 180° en 270° . De uitgangssignalen van de fasegenerator 116 worden aan een geschikte kiespoortketen 118 toegevoerd, die reageert op stuursignalen vanuit de microcomputerbesturingsinrichting 76. Het uitgekozen tussenfrequente signaal wordt via een laagdoorlatend filter 120 aan de menger 112 toegevoerd voor het ontwikkelen van een verschilsignaalcomponent op de gewenste Larmor-draagfrequentie.

Aangenomen wordt dat de gewenste frequentie 15 Hz is, in welk geval de programmeerbare frequentiesynthetisator 104 wordt ingesteld door de microcomputerbesturingsinrichting 76 voor het leveren van een signaal van 28 MHz, waardoor de verschilcomponent, die door de modulator 112 opgewekt wordt ($28 \text{ MHz} - 13 \text{ MHz}$) op de gewenste frequentie van 15 MHz is. De verschilcomponent wordt geextraheerd met een banddoorlaatfilter en niveau-instelketen 84 voor het leveren van een sinusgolf met een constante omhulling op de gewenste Larmor-draagfrequentie.

De uitgang van de programmeerbare frequentiesynthetisator 104 wordt eveneens toegevoerd aan een bufferverster 122 in de demodulator 60. Het gebufferde signaal wordt via een poort 124 (onder bestuur van de microcomputerbesturingsinrichting 76) toegevoerd aan een gebalanceerde menger 126. De menger 126 is eveneens gevoelig voor de ontvangen signalen zoals die versterkt zijn door de voorversterker 56 en de buffer 58. In

het voorbeeld, waarin de uitgezonden draagfrequentie 15 MHz is, en de synthetisatoruitgang 28 MHz, zal de verschilcomponent van het uitgangssignaal van de menger 126 op de tussenfrequentie van 13 MHz liggen. Dit verschilcomponent wordt geextraheerd uit het uitgangssignaal van de menger door
 5 een laagdoorlatend filter 128 en het aan een geschikte tussenfrequentieversterker 130 toegevoerd, die is afgestemd op 13 MHz. De uitgangssignalen van de tussenfrequentieversterker 130 worden toegevoerd aan de desbetreffende gebalanceerde mengers 132 en 134. De mengers 132 en 134 zijn gevoelig voor de tussensignalen met een fase van 0° en 90° , afkomstig van de fasegenerator 116 in de frequentiesynthetisator/fasegenerator 80. Op deze
 10 wijze leveren de mengers 132 respectievelijk 134 in fase en kwadratuur-audiofrequente signalen, die een aanduiding zijn van de desbetreffende magnetisatiecomponenten van het spinechsignaal.

Zoals in het bovenstaande is aangegeven worden de I- en
 15 Q-uitgangssignalen gefilterd en aan steekproefname onderworpen, en vervolgens opgeslagen in het geheugen 98 van computer 96. De computer 96 berekent in feite de vectorsom van de I- en Q-componenten en voert een Fourier-transformatie uit op de vectorsom voor het ontwikkelen van aanduidingen van de betekenisvolle amplitude van de desbetreffende frequentiecomponenten van de spinechsignalen.
 20

Men zal inzien, dat aangezien de demodulator 60 en de frequentiesynthetisator/fasegenerator 80 in de eerste plaats op tussenfrequenties werken, die van de Larmor-draagfrequentie verschillen, lek vanuit de zender naar de demodulator 60 in hoofdzaak voorkomen wordt.

Bij wijze van voorbeeld zal de werking van de inrichting van figuren 11, 12 en 13 gedurende een enkele lijnaftasting beschreven worden. De bepaalde gewenste reeksen van selectieve bestralingen worden ingevoerd (of opgeroepen uit een geheugen) en de reeks wordt ingeleid na een gereed signaal vanuit de hoofdcomputer 96 aan de microcomputerbesturingsinrichting 76. De hoofdmagneet 28 wordt bekrachtigd om de nucleaire spins in aanvankelijke alignering te brengen.
 25
 30

De microcomputerbesturingsinrichting 76 berekent of het uit het geheugen of een naslagtabel de pulsformamplituden en duur op, die nodig zijn voor het tot stand brengen van spoelzwenkingen over 90° en 180° ,
 35 de gewenste tijdsintervallen tussen pulsen en de gewenste waarden van de

gradienten.

Geschikte stuursignalen worden opgewekt door het selectief bestralen van een fasevolume (Y-Z-vlak, 12, figuur 10) met een 90° puls. Een geschikt signaal wordt toegevoerd aan de g_x -spoelen 38 en 40 voor
 5 het ontwikkelen van een X-gradient over het voorwerp 10. Een hoogfrequent pulsvormsignaal van geschikte amplitude en duur voor het tot stand brengen van de gewenste rotatiehoek (bijvoorbeeld 90°) wordt opgewekt en aan de modulator 74 toegevoerd.

Tegelijkertijd worden geschikte stuursignalen toegevoerd
 10 aan de frequentiesynthetisator/fasegenerator 80 voor het tot stand brengen van het opwekken van een draagsignaal op de Larmor-frequentie, die bij vlak 12 hoort. De programmeerbare frequentiesynthetisator 104 (figuur 13) wordt voorzien van een geschikte frequentiecode vanuit de microcomputerbesturingsinrichting 76 en de modus waarin het signaal opgewekt wordt is
 15 ingeleid.

Terwille van signaalmiddeling is het soms gewenst selectief de spinnen over de gekozen hoek (90° , 180°) te zwenken in verschillende richtingen (bijvoorbeeld draaien van de spins naar de Y of -Y-assen of de X of -X-assen). Dienovereenkomstig wekt de microcomputerbesturings-
 20 inrichting 76 eveneens een geschikt stuursignaal op voor de kiespoort 118 van de frequentiesynthetisator/fasegenerator 80 (figuur 13) voor het doorlaten van het in geschikte fase gebrachte tussenfrequente signaal naar de menger 112, zodat het draaggolfsignaal een zodanige fase heeft, dat de uitgezonden elektromagnetische puls draaiing in de gewenste richting
 25 tot stand brengt. De poort 108 (figuur 13) wordt dan gesloten voor het toevoeren van het draaggolffrequente signaal aan de modulator 74.

De modulator 74 voert op deze wijze een gevormde hoogfrequente puls op de gewenste Larmor-frequentie (en met de gewenste fase) toe aan de zender 54. De zender 54 wekt dienovereenkomstig een signaal op
 30 via het T-netwerk 52, hoogfrequenteschakelaar 53 en het weerstandsaanpassingsnetwerk 50 voor de hoogfrequente spoel 22 om daardoor het voorwerp 10 te bestralen. Op deze wijze wordt het Y-Z-vlak 12 in voorwerp 10 geëxciteerd op 90° door een proces van selectieve bestraling.

De microcomputerbesturingsinrichting 76 wekt dan geschikte
 35 gradientbesturingssignalen van tegengestelde polariteit op gedurende een

van te voren bepaalde periode, voor het opwekken van een negatieve gradient voor fasecorrectie en verwijdert dan het gradientbesturingssignaal uit de g_x -spoelen 30, 40, waardoor de X-gradient wordt afgezet.

5 Een geschikt signaal wordt toegevoerd aan de g_z -spoelen 34 en 36 voor het ontwikkelen van een Z-gradient over het voorwerp 10. Na een van te voren bepaalde tijd worden deze signalen verwijderd, waardoor de Z-gradient wordt afgezet. De tijdbepaling van deze gebeurtenissen kan zodanig gewijzigd worden, dat de Z-gradient wordt toegevoerd gedurende een tijd, die overlapt met de tijd, gedurende welke de X-gradient die voor
10 de fasecorrectie wordt gebruikt, wordt toegevoerd.

Geschikte stuursignalen worden dan opgewekt voor het tot stand brengen van selectieve bestraling van X-Z-vlak 14 (figuur 1C) met een 180° puls. Een hoogfrequent pulsvormsignaal van een amplitude en duur, die overeenstemmen met een rotatiehoek van 180° wordt aan de modulator
15 74 toegevoerd en geschikte stuursignalen voor de frequentiesynthetisator 104 en de fasekiezer 116 worden opgewekt voor het instellen van de frequentie en de fase van het draagsignaal. De poort 108 wordt geopend en het gemoduleerde signaal (180° puls) naar de spoel gezonden voor het tot stand brengen van de selectieve bestraling van vlak 14. Tegelijkertijd
20 wordt een geschikt signaal toegevoerd aan de g_y -spoelen 42 en 44 voor het ontwikkelen van een Y-gradient over het voorwerp 10. Nadat de geschikte tijdsduur verlopen is worden de zender en gradient afgezet via de poort 103 en de gradient naar de uitgang van de microcomputerbesturingsinrichting 76.

25 Na een tijdsduur die in overeenstemming is met de wet van gelijke tijden, wekt de snijlijn 16 (figuur 1D) van de dwarsvlakken (12 en 14) een spinecho op. Op een tijdstip dat juist voor de verwachte opwekking van de spinecho ligt, worden geschikte stuursignalen gebruikt voor het toevoeren van een gradientwaardesignaal aan de g_z -spoelen 34 en 36
30 om op deze wijze een Z-gradient over het voorwerp 10 te ontwikkelen. De poort 124 wordt geopend voor het in feite aanzetten van de demodulator.

De spinechosignalen worden in de spoel 22 gevoerd en dan via T-netwerk 52 naar de voorversterker 56 en vervolgens via buffer 58 naar de kwadratuurdemodulator 60. De kwadratuurdemodulator 60 wekt in
35 samenwerking met het laagdoorlatende filter 68 een audiosignaal op, dat

selectief aan steekproeven onderworpen wordt met een van te voren bepaalde steekproeffrequentie door de analoog-digitaalomzetter 70 in reactie op stuursignalen vanuit de microcomputerbesturingsinrichting 76. De gedigitaliseerde steekproeven worden dan aan het geheugen 98 toegevoerd via de tussenschakelinrichting 72 en computer 96.

De reeks wordt een van te voren bepaald aantal malen herhaald en een geschikte signaalmiddeling wordt door de computer 96 uitgevoerd. Fourier-transformaties worden dan door de computer 96 uitgevoerd en de resultaten weergegeven op de elektronenstraalbuisweergeefinrichting 101.

Wanneer een meerlijnsaftasting uitgevoerd moet worden wordt opeenvolgende selectieve bestralingen van evenwijdige vlakken uitgevoerd door hetzij verandering van de draagfrequentie door de programmeerbare frequentiesynthetisator 104 op geschikte wijze te voorzien van de Larmor-frequentie $+\Delta f$ en of geschikte wijzigingen aan te brengen. Het magnetische hoofdveld door het aanleggen van geschikte ΔB signalen aan de ΔB spoelen 32A en 32B.

Men zal inzien, dat de in het bovenstaande beschreven apparatuur slechts ter toelichting dient van de verschillende typen van apparatuur, die in de praktijk gebruikt kunnen worden bij spinecho-aftastreeksen volgens de uitvinding. Men zal inzien, dat andere apparatuur eveneens gebruikt kan worden. Zo wordt op het ogenblik bijvoorbeeld gemeend, dat de inrichting, die beschreven is in het Amerikaanse octrooischrift 4.021.726 kan worden aangepast aan een spinecho-aftastreeks. Verder wordt erop gewezen dat, hoewel de verschillende geleiders, die zijn weergegeven voor het verbinden van elementen in figuren 11, 12 en 13 en zijn weergegeven als enkele lijnen, zij niet in beperkende zin mogen worden opgevat en meervoudige verbindingen kunnen omvatten, zoals in de techniek bekend is.

Het zal duidelijk zijn, dat de bovenstaande beschrijving toelichtende uitvoeringsvormen van de uitvinding betreft en dat de uitvinding niet tot de specifieke weergegeven uitvoeringen beperkt is. Wijzigingen kunnen in de reeks of inrichtingen van pulsen of in het ontwerp of de opstelling van elementen worden aangebracht zonder buiten het kader van de uitvinding te treden.

C o n c l u s i e s

1. Werkwijze voor het bepalen van de relatieve dichtheden van kernen binnen een voorwerp, welke kernen kernspin hebben op Larmor-frequenties in overeenstemming met de intensiteit van een erop inwerkend magneetveld, met het kenmerk, dat op selectieve wijze het opwekken van spinechsignalen door kernen tot stand wordt gebracht, die zich binnen een van te voren bepaald volume van het voorwerp bevinden en dat de intensiteit van de spinechsignalen gedetecteerd wordt voor het verkrijgen van een maat voor de relatieve normale of door de in gewijzigde dichtheid van kernen in het genoemde van te voren bepaalde volume.

2. Werkwijze volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat het selectief tot stand brengen van het opheffen van spinechsignalen door kernen die zich binnen een van te voren bepaald volume bevinden, de volgende stappen omvat:

het selectief bekrachtigen van een eerst vlak volume, dat het genoemde van te voren bepaalde volume omvat, voor het zwenken van de kernspins van de kernen in dit eerste vlakke volume over bij benadering 90° ; en

het selectief bekrachtigen van een tweede vlak volume dwars op het eerste vlakke volume, op een van te voren bepaald tijdsinterval daarna welk tweede volume het van te voren bepaalde volume bevat bij de doorsnijding van de eerste en tweede vlakke volumina, waarvoor het zwenken van de kernspins van kernen in het genoemde tweede vlakke volume over bij benadering 180° , waardoor de kernen binnen de genoemde doorsnijding spinechsignalen opwekken op tijdstippen in overeenstemming met het genoemde van te voren bepaalde tijdsinterval.

3. Werkwijze volgens conclusie 1 of 2, met het kenmerk, dat de detectiestap omvat:

het ontvangen van de spinechsignalen;

het opwekken van een magnetisch veld over het van te voren bepaalde volume met een intensiteit, die varieert als functie van de plaats, gedurende de ontvangst van de spinechsignalen; en

het ontwikkelen van aanduidingen die een weergave zijn van de relatieve intensiteit van verschillende frequentiecomponenten, die in de spinechsignalen aanwezig zijn.

4. Inrichting voor het leveren van aanduidingen van de normale of T_1 gewijzigde nucleaire dichtheid van de kernen binnen een voorwerp, welke kernen kernspins op Larmor-frequenties hebben in overeenstemming met de intensiteit van het magnetische veld dat erop inwerkt, welke

inrichting wordt gekenmerkt door:

middelen voor het aanvankelijk aligneren van de kernspins van de kernen;

middelen voor het opeenvolgend selectief exciteren van de kernen, die zich in een van te voren bepaald aantal evenwijdige in het algemeen vlakke volumina bevinden binnen het voorwerp voor het herorienteren van de kernspins van de kernen in de genoemde eerste in het algemeen vlakke volumina over een eerste van te voren bepaalde hoek;

middelen voor het opeenvolgend selectief exciteren van de kernen, die zich in een van te voren bepaald aantal tweede in het algemeen vlakke volumina dwars op de genoemde eerste in het algemeen vlakke volumina bevinden en de eerste in het algemeen vlakke volumina snijden binnen het genoemde voorwerp, voor het herorienteren van de nucleaire spins van de kernen in de genoemde tweede in het algemeen vlakke volumina over een tweede van te voren bepaalde hoek, zodanig dat de kernspins van de kernen, die zich in de desbetreffende doorsnijdingen van de eerste en tweede volumina bevinden, gedurende desbetreffende daaropvolgende tijdsperioden desbetreffende spinechsignalen opheffen; en

middelen voor het ontvangen van de desbetreffende spinechsignalen en het daaruit bepalen van de normale of T_1 -gewijzigde dichtheid van de kernen, die zich in de genoemde doorsnijdingen bevinden.

5. Inrichting volgens conclusie 4, met het kenmerk, dat de middelen voor het ontvangen van de desbetreffende spinechsignalen en het daaruit bepalen van de normale of T_1 gewijzigde dichtheid van kernen in de desbetreffende doorsnijdingen omvatten:

middelen voor het gedurende de desbetreffende opeenvolgende tijdsperioden opheffen van naar plaatsvariabele magnetische velden, waarin de sterkte van het naar plaatsvarierende veld varieert met de plaats in de desbetreffende doorsnijdingen en

middelen voor het ontwikkelen van de Fouriertransformatie van de genoemde spinechsignalen.

6. Werkwijze voor het bepalen van de normale of T_1 gewijzigde dichtheden binnen een voorwerp van kernen met kernspins op Larmor-frequenties in overeenstemming met de intensiteit van het magnetische veld dat op hen inwerkt, welke werkwijze gekenmerkt wordt door de stappen

5 van het opwekken van een reeks van naar plaats variabele velden voor het opeenvolgend variëren van de intensiteit van de magnetische velden binnen het voorwerp als een functie van de plaats in de desbetreffende dwars-richtingen, het bepalen van het voorwerp met een reeks signalen met desbetreffende van te voren bepaalde frequentiespectra in de aanwezigheid van

10 de bijbehorende van de genoemde naar stand variabele velden voor het selectief heroriënteren van de kernspins van kernen met Larmor-frequenties binnen de genoemde desbetreffende frequentiespectra en het detecteren van signalen, die door de kernen worden opgewekt, waarbij de werkwijze de volgende stappen bevat:

15 het opwekken van een verdere reeks van naar plaats variabele magnetische velden, waarbij elk opeenvolgend veld wordt opgewekt na een overeenkomende van de eerstgenoemde naar plaats variabele magnetische velden, en in werking daarop voor het variëren van de intensiteit van het magnetische veld binnen het voorwerp in een geschikte richting

20 ten opzichte van de richting van het genoemde eerste naar plaats variabele veld voor het corrigeren van storende fasespreiding binnen het voorwerp, die is toe te schrijven aan het bijbehorende eerstgenoemde veld.

7. Werkwijze voor het bepalen van de relatieve normale of T_1 gewijzigde dichtheden van kernen binnen een voorwerp, welke kernen

25 kernspins hebben op Larmor-frequenties in overeenstemming met de intensiteit van het magnetische veld, dat op hen inwerkt, welke werkwijze wordt gekenmerkt door:

30 a) het aanbrengen van het voorwerp in een sterk eerste magneetveld voor het waligneren van de kernspins van de kernen in overeenstemming met een eerste van te voren bepaalde richting;

b) het opwekken gedurende een eerste van te voren bepaalde tijdsperiode van een eerste naar plaats variabel magnetisch veld voor het variëren van de intensiteit van het magnetische veld binnen het voorwerp in overeenstemming met de plaats langs een tweede van te voren bepaalde

35 richting, zodanig dat de Larmor-frequenties van de kernen variëren als functie

van hun relatieve plaats langs de genoemde tweede van te voren bepaalde richting;

5 c) het bestralen van het voorwerp gedurende de genoemde eerste van te voren bepaalde perioden met een signaal dat een frequentie-spectrum heeft, dat in wezen bestaat uit componenten, die overeenstemmen met een van te voren bepaalde band van nucleaire Larmor-frequenties voor het selectief exciteren van kernen met Larmor-frequenties binnen de van te voren bepaalde band, zodanig dat de kernspins van kernen, die zich in een eerste van te voren bepaald vlak in het voorwerp bevinden, geherorienteerd worden over een eerste van te voren bepaalde hoek ten opzichte van hun orientatie;

15 d) het opwekken gedurende desbetreffende tweede van te voren bepaalde tijdsperioden na de eerste tijdsperiode van een tweede naar plaats variabel magnetisch veld voor het variëren van het magnetische veld binnen het voorwerp in overeenstemming met de plaats langs een derde van te voren bepaalde richting, zodanig dat de Larmor-frequenties van kernen binnen het voorwerp variëren als een functie van de relatieve plaats van de kernen langs de gemiddelde derde van te voren bepaalde richting, welke derde van te voren bepaalde richting dwars staat op de genoemde tweede van te voren bepaalde richting;

20 e) het bestralen van het voorwerp gedurende de genoemde tweede van te voren bepaalde tijdsperioden met signalen die desbetreffende frequentiespectra hebben, die in hoofdzaak bestaan uit componenten, die overeenstemmen met van te voren bepaalde banden van Larmor-frequenties, zodanig dat de kernspins van kernen, die zich in de desbetreffende verdere vlakken bevinden, geherorienteerd worden over een tweede van te voren bepaalde hoek ten opzichte van een eerdere orientatie, welke verdere vlakken elkaar niet snijden en elk het eerste vlak binnen het voorwerp snijden langs desbetreffende unieke snijlijnen, en het daarna gedurende desbetreffende derde tijdsperioden opwekken van spinechosignalen;

30 f) het opwekken gedurende de desbetreffende derde tijdsperioden van verdere naar plaats variabele magnetische velden voor het variëren van de dichtheid van het magneetveld binnen het voorwerp in overeenstemming met de plaats langs de genoemde snijlijnen zodanig dat de Larmor-frequenties van de kernen, die zich langs de snijlijnen bevinden,

veranderen als functie van de relatieve plaats langs de genoemde snijlijnen; en

g) het detecteren van de spinechoscignalen en het bepalen van de relatieve dichtheid van de frequentiecomponenten daarvan, waarbij elke spinechoscignaal frequentiecomponent een aanduiding vormt van de normale of T_1 gewijzigde spindichtheid van kernen, die zich op een bijbehorende plaats langs de genoemde snijlijnen bevinden.

8. Werkwijze voor het bepalen van de relatieve normale of T_1 gewijzigde dichtheden van kernen binnen een voorwerp, welke kernen kernspins hebben op Larmor-frequenties in overeenstemming met de dichtheid van het magneetveld dat op hen inwerkt, welke werkwijze gekenmerkt wordt door de volgende stappen:

a) het aanbrengen van het voorwerp in een sterk eerste magneetveld en het aligneren van de kernspins van de kernen in overeenstemming met een van te voren bepaalde richting;

b) het opwekken gedurende een eerste van te voren bepaalde tijdsperiode van een eerste naar plaats variabel magnetisch veld voor het variëren van de sterkte van het magneetveld binnen het voorwerp in overeenstemming met de plaats langs een tweede van te voren bepaalde richting, zodanig dat de Larmor-frequenties van de genoemde kernen variëren als functie van de relatieve plaats langs de genoemde tweede van te voren bepaalde richting;

c) het bestralen van het voorwerp gedurende de genoemde eerste van te voren bepaalde periode met een signaal, dat een frequentiespectrum heeft, dat in wezen bestaat uit componenten die overeenstemmen met een van te voren bepaalde band van nucleaire Larmor-frequenties voor het selectief exciteren van kernen met Larmor-frequenties binnen de van te voren genoemde bepaalde band, zodanig dat de nucleaire spins van kernen die zich in een eerste van te voren bepaald vlak in het voorwerp bevinden, geherorienteerd worden over een eerste van te voren bepaalde hoek ten opzichte van een orientatie;

d) het opwekken gedurende desbetreffende opeenvolgende tweede van te voren bepaalde tijdsperiodes na de eerste tijdsperiode van een tweede naar plaats variabel magnetisch veld voor het variëren van het magnetische veld binnen het voorwerp in overeenstemming met een plaats

langs een derde van te voren bepaalde richting, zodanig dat de Larmor-frequenties van kernen binnen het voorwerp variëren als functie van de relatieve plaats van de kernen langs de genoemde derde van te voren bepaalde richting, welke derde van te voren bepaalde richting dwars staat op de tweede van te voren bepaalde richting;

e) het bestralen van het voorwerp gedurende de desbetreffende opeenvolgende tweede van te voren bepaalde tijdsperioden met signalen, die een frequentiespectrum hebben, dat in hoofdzaak bestaat bij frequentiecomponenten, die overeenstemmen met een van te voren bepaalde band van Larmor-frequenties, voor het herorienteren van de kernspins van kernen met Larmor-frequenties binnen de genoemde van te voren bepaalde band van Larmor-frequenties over een tweede van te voren bepaalde hoek ten opzichte van de voorafgaande orientaties daarvan;

f) het cumulatief veranderen van de sterkte van het eerste magnetische veld over een van te voren bepaalde waarde gedurende elke tweede van te voren bepaalde tijdsperiode voor het veranderen van bepaalde kernen met Larmor-frequenties binnen de van te voren genoemde bepaalde band van Larmor-frequenties gedurende elke tweede van te voren bepaalde tijdsperiode, zodanig dat kernspins binnen desbetreffende verdere vlakken binnen het voorwerp geherorienteerd worden over de genoemde tweede van te voren bepaalde hoek, welke verdere desbetreffende vlakken de eerste vlakken snijden langs desbetreffende unieke snijlijnen, waarbij de kernen, die zich langs de snijlijnen bevinden daarna gedurende desbetreffende volgende derde tijdsperioden spinechsignalen opwekken;

g) het opwekken gedurende de desbetreffende derde tijdsperioden van verdere naar plaats variabele magnetische velden voor het variëren van de sterkte van het magnetische veld binnen het voorwerp in overeenstemming met de plaats langs de genoemde snijlijnen, zodanig dat de Larmor-frequenties van de kernen, die zich langs de genoemde snijlijnen bevinden, variëren als functie van de relatieve plaats langs de genoemde snijlijnen; en

h) het detecteren van de spinechsignalen en het bepalen van de relatieve sterkte van de frequentiecomponenten daarvan, waarbij elke van de spinechsignaalfrequentiecomponenten een aanduiding vormt van de normale of T_1 gewijzigde dichtheid van de kernen, die zich op een bij-

behorende plaats langs de snijlijn, die de spinecho opwekt, bevinden.

9. Werkwijze volgens conclusie 7, gekenmerkt door de volgende stappen:

5 het opwekken gedurende desbetreffende vierde tijdsperioden
volgende op de derde tijdsperioden van een vierde naar plaats variabel
magnetisch veld voor het variëren van de sterkte van dit magneetveld
binnen het voorwerp in overeenstemming met de plaats langs de genoemde
derde van te voren bepaalde richting;

10 het bestralen van het voorwerp gedurende tenminste een deel
van de vierde van te voren bepaalde tijdsperiode met een derde signaal
met een frequentiespectrum, dat alle frequenties van de bestralingen van
de tweede tijdsperioden omvat voor het tot stand brengen van daaropvol-
gende opwekking gedurende desbetreffende vijfde van te voren bepaalde
tijdsperioden van replicasignalen van de genoemde spinechosignalen;

15 het opwekken gedurende de vijfde van te voren bepaalde
tijdsperioden van een vierde naar plaats variabel magnetisch veld voor
het variëren van de intensiteit van het magnetische veld binnen het ge-
noemde voorwerp in overeenstemming met de plaats langs de genoemde snij-
lijn;

20 het detecteren van de replica's; en

 het verwerken van de spinechosignalen en de replica's in
combinatie voor het ontwikkelen van een werksignaal, dat een aanduiding
vormt van de genoemde dichtheid van kernen.

25 10. Inrichting voor het verschaffen van aanduidingen van
de relatieve nucleaire dichtheden van eenheidsvolumina binnen een voorwerp,
welke kernen kernspins hebben op Larmor-frequenties in overeenstemming
met de sterkte van het magneetveld, dat op hen inwerkt, gekenmerkt door:

30 middelen die reageren op stuursignalen, die eraan worden
aangelegd voor het opwekken van een sterk eerste magnetische veld over
het genoemde voorwerp dat de nucleaire spins van de genoemde kernen alig-
neert in overeenstemming met een eerste van te voren bepaalde richting;

35 eerste middelen voor het gedurende een eerste van te voren
bepaalde tijdsperiode genereren van een eerste naar plaats variabel magne-
tisch veld, dat de sterkte van het magneetveld binnen het voorwerp varieert
in overeenstemming met de plaats langs een tweede van te voren bepaalde

richting, zodanig dat de Larmor-frequenties van de kernspins variëren als functie van de relatieve plaatsen van de kernen langs een tweede van te voren bepaalde richting;

5 tweede middelen voor het bestralen van het voorwerp gedurende de eerste van te voren bepaalde periode met een signaal, dat een frequentiespectrum heeft, dat in hoofdzaak bestaat uit componenten, die overeenstemmen met een van te voren bepaalde band van Larmor-frequenties voor het selectief exciteren van kernen met Larmor-frequenties binnen de
10 genoemde van te voren bepaalde band, zodanig dat de kernspins van kernen, die zich in een eerste van te voren bepaald vlak in het voorwerp bevinden, geherorienteerd worden over een eerste van te voren bepaalde hoek ten opzichte van hun orientatie;

derde middelen voor het opwekken gedurende desbetreffende volgende tweede van te voren bepaalde tijdsperioden na de eerste tijds-
15 periode, van een tweede naar plaats variabel magnetisch veld, dat het magnetische veld binnen het voorwerp varieert in overeenstemming met de plaats langs een derde van te voren bepaalde richting, zodanig dat de Larmor-frequenties van kernen binnen het voorwerp variëren als een functie van de relatieve plaats van de kernen langs de genoemde derde van te
20 voren bepaalde richting, welke derde van te voren bepaalde richting dwars staat op de tweede van te voren bepaalde richting;

vierde middelen voor het bestralen van het voorwerp gedurende de desbetreffende opeenvolgende tweede van te voren bepaalde tijdsperioden met signalen met een frequentiespectrum, dat in hoofdzaak bestaat uit
25 frequentiecomponenten, die overeenstemmen met een van te voren bepaalde band van Larmor-frequenties, voor het herorienteren van de kernspins van kernen met Larmor-frequenties binnen de genoemde van te voren bepaalde band van Larmor-frequenties over een tweede van te voren bepaalde hoek ten opzichte van hun voorafgaande orientatie;

30 vijfde middelen voor het opwekken van stuursignalen voor de eerste middelen voor het selectief variëren van de sterkte van het genoemde eerste magnetische veld met desbetreffende van te voren bepaalde hoeveelheden gedurende elke tweede van te voren bepaalde tijdsperiode voor het veranderen van de desbetreffende kernen met Larmor-frequenties binnen
35 de van te voren bepaalde band van Larmor-frequenties gedurende elke twee-

de van te voren bepaalde tijdsperiode, zodanig dat desbetreffende verdere vlakken binnen het voorwerp geherorienteerd worden over de genoemde tweede van te voren bepaalde hoek, welke verdere desbetreffende het eerste vlak snijden langs desbetreffende unieke snijlijnen, waarbij de kernen, die zich langs de snijlijnen bevinden, gedurende desbetreffende daaropvolgende derde tijdsperiodes spinechoscinalen opwekken;

zesde middelen voor het opwekken gedurende de desbetreffende derde tijdsperiodes van verdere naar plaats variabele magnetische velden, die de sterkte van het magneetveld binnen het voorwerp variëren in afhankelijkheid van de plaats langs de snijlijnen, zodanig, dat de Larmor-frequenties van de kernen, die zich langs de snijlijnen bevinden, varieert als een functie van de relatieve plaats langs de genoemde snijlijn;

zevende middelen voor het detecteren van de spinechoscinalen en het bepalen van de relatieve sterkte van de frequentiecomponenten daarvan, waarbij elke van de spinechoscinaalfrequentiecomponenten een aanduiding vormt op de dichtheid van atomen, die zich op een bijbehorende plaats langs de genoemde snijlijn bevinden waarlangs de spinecho wordt opgewekt; en

achtste middelen, die met de eerste, derde en vijfde middelen samenwerken voor het selectief variëren van de sterkte van het magnetische veld binnen het voorwerp in overeenstemming met de plaats langs de tweede en derde richtingen en langs de genoemde snijlijnen gedurende de verschillende van te voren bepaalde tijdsperiodes voor het tot stand brengen van correctie van storende spinfasespreiding.

11. Inrichting voor het bepalen van de relatieve kern-dichtheden van eenheidsvolumina binnen een voorwerp, welke kernen kernspins hebben van een Larmor-frequentie in overeenstemming met de sterkte van een op hen inwerkend magneetveld, welke kernen slechts reageren op signalen op hun Larmor-frequentie, waarbij het voorwerp denkbeeldig is aangebracht in een nominaal Cartesiaans-coördinatenstelsel met orthogonale X, Y en Z-richtingen gekenmerkt door: eerste middelen die reageren op stuursignalen, die er aan worden aangelegd voor het beheersbaar opwekken van een magneetveld dat onafhankelijk van de plaats is langs het voorwerp langs de genoemde Z-richting;

7905614

tweede middelen, die reageren op stuursignalen, die eraan worden aangelegd voor het beheersbaar opwekken van desbetreffende naar plaats variabele magnetische velden over het voorwerp, waardoor de sterkte van het magnetische veld in de Z-richting over het voorwerp varieert als een functie van de X, Y respectievelijk Z-plaats voor het dienovereen-

komstig variëren van de Larmor-frequenties van kernspins in het voorwerp als een functie van de X, Y en Z-plaatsen;

derde middelen, die reageren op stuursignalen die eraan worden aangelegd voor het opwekken van een draagsignaal op een van te voren bepaalde draagfrequentie;

vierde middelen, die reageren op stuursignalen, die eraan worden aangelegd, voor het beheersbaar opwekken van een modulatiesignaal van een uitgekozen van te voren bepaalde golfvorm, amplitude en duur;

vijfde middelen, die reageren op het modulatiesignaal en het draagsignaal voor het moduleren van het draagsignaal met het modulatiesignaal en het bestralen van het voorwerp met het gemoduleerde signaal;

zesde middelen voor het opwekken van een eerste stel besturingssignalen voor de tweede, derde en vierde middelen voor het gedurende een van te voren bepaald aantal opeenvolgende eerste tijdsperioden tot stand brengen van het opwekken van een naar de X-plaats variabel veld en het bestralen van het voorwerp met desbetreffende eerste signalen van een eerste van te voren bepaalde amplitude en duur en van desbetreffende van te voren bepaalde frequentiespectra, die overeenstemmen met de desbetreffende bereiken van Larmor-frequenties, zodanig dat kernspins binnen de desbetreffende Y-Z-vlakken in het voorwerp over bij benadering 90° geher-oriënteerd worden;

voor het opwekken van een tweede stel besturingssignalen voor de tweede, derde en vierde middelen voor het tot stand brengen gedurende een van te voren bepaald aantal opeenvolgende tweede perioden na de eerste tijdsperiode van het opwekken van een naar Y-plaats variabel magnetisch veld en het bestralen van het voorwerp met desbetreffende tweede signalen van een tweede van te voren bepaalde amplitude en duur en van bijbehorende frequentiespectra, die overeenstemmen met bepaalde bereiken van Larmor-frequenties, zodanig dat kernspins binnen de desbetreffende X-Z-vlakken geheroriënteerd worden over bij benadering 180° , welke X-Z-

vlakken de Y-Z-vlakken snijden langs desbetreffende unieke snijlijnen binnen het voorwerp op welke snijlijnen daarna spinechoscinalen opgewekt worden; en

5 voor het opwekken van een derde stel stuursignalen voor de genoemde tweede middelen voor het tot stand brengen van het opwekken van de betreffende Z-gradienten op tijdstippen in overeenstemming met de tijdsintervallen tussen de bestralingen van het voorwerp met de desbetreffende eerste en tweede signalen, zodanig dat de spinechoscinalen worden opgewekt in aanwezigheid van de genoemde Z-gradienten;

10 zevende middelen voor het ontvangen van de spinechoscinalen en het opwekken van signalen die daar een aanduiding van vormen;

kwadratuurdemodulatormiddelen, die reageren op de signalen die een aanduiding vormen van de spinechoscinalen en desbetreffende in fase en kwadratuursignalen, die een aanduiding vormen van het Gauss-signaal, 15 voor het opwekken van desbetreffende uitgangssignalen, die een aanduiding vormen van de frequentie en faseverschillen tussen de spinechoscinalen en het in fase-signaal en de genoemde spinechoscinalen en het genoemde kwadratuursignaal;

20 middelen voor het berekenen van de vectorsommen van genoemde kwadratuursignaal;

middelen voor het berekenen van de vectorsommen van de desbetreffende kwadratuurdemodulatoruitgangssignalen;

25 middelen voor het berekenen van de Fourier-transformaties van de vectorsommen voor het ontwikkelen van aanduidingen van de frequentiecomponenten; en

30 achtste middelen voor het toevoeren van stuursignalen aan de tweede middelen voor het aanleggen van naar plaats variabele magnetische velden over het voorwerp gedurende verschillende van te voren bepaalde tijdsperioden voor het tot stand brengen van correctie van storende spinfasespreiding.

12. Werkwijze en inrichting, in hoofdzaak als beschreven, en/of getekend.

7905614

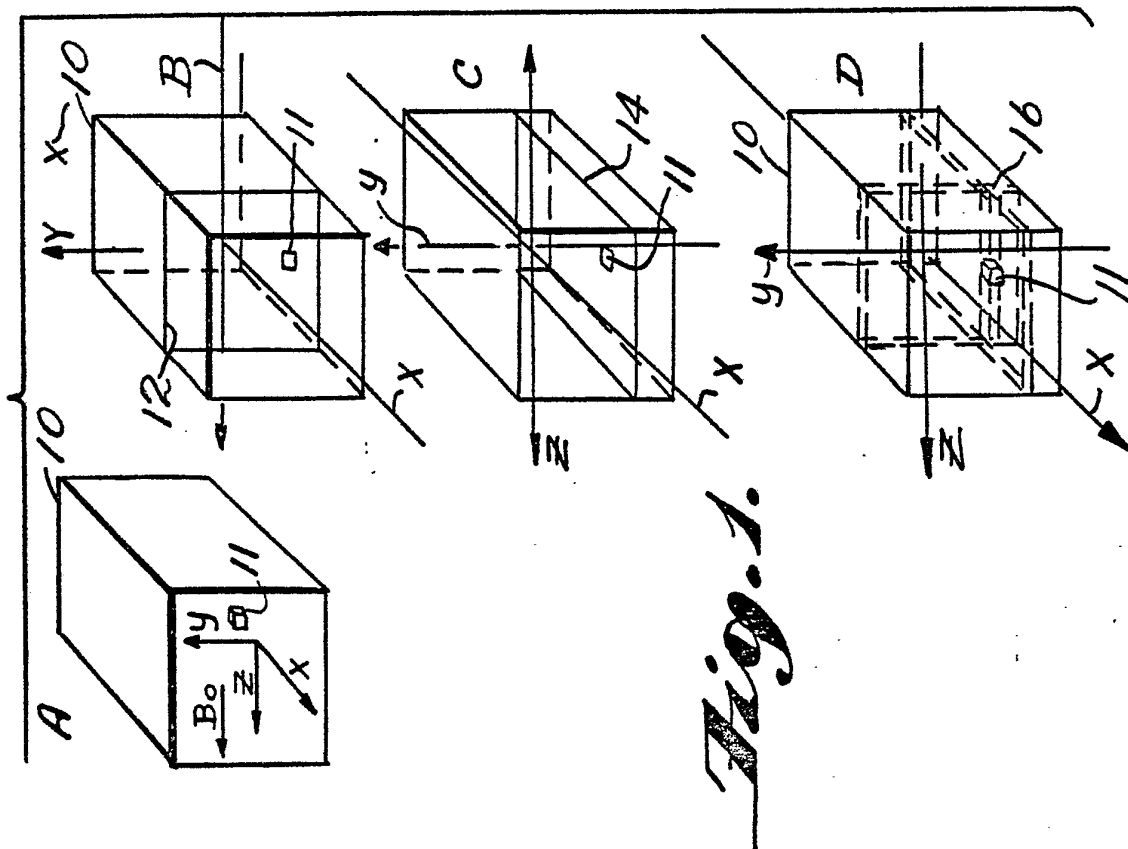
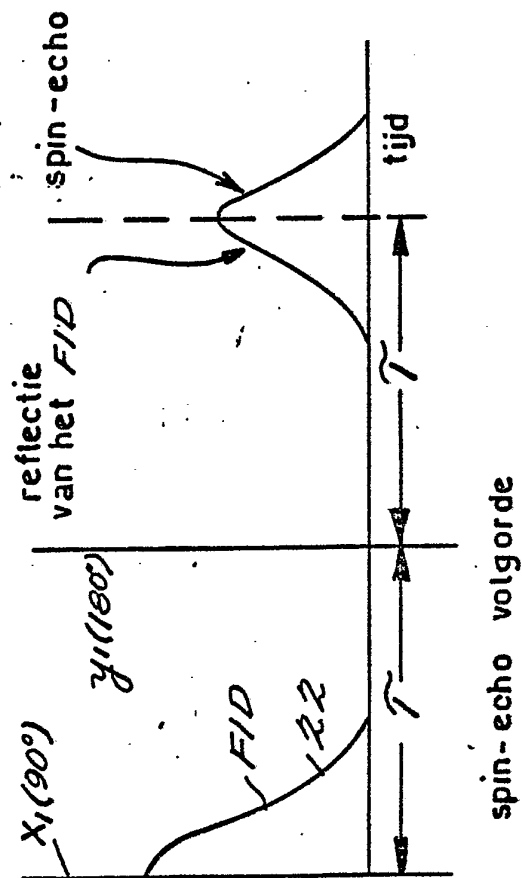


Fig. 3.



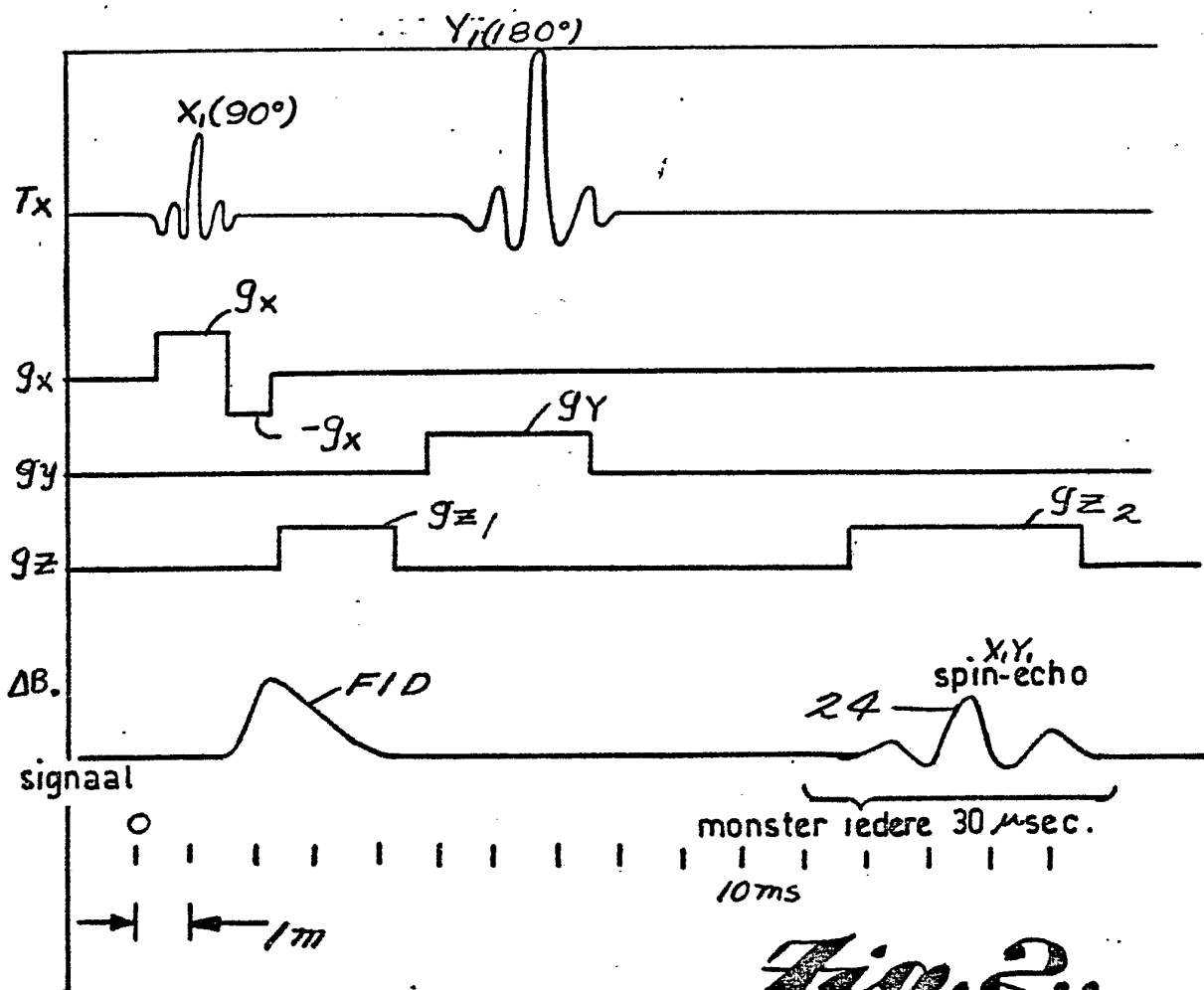
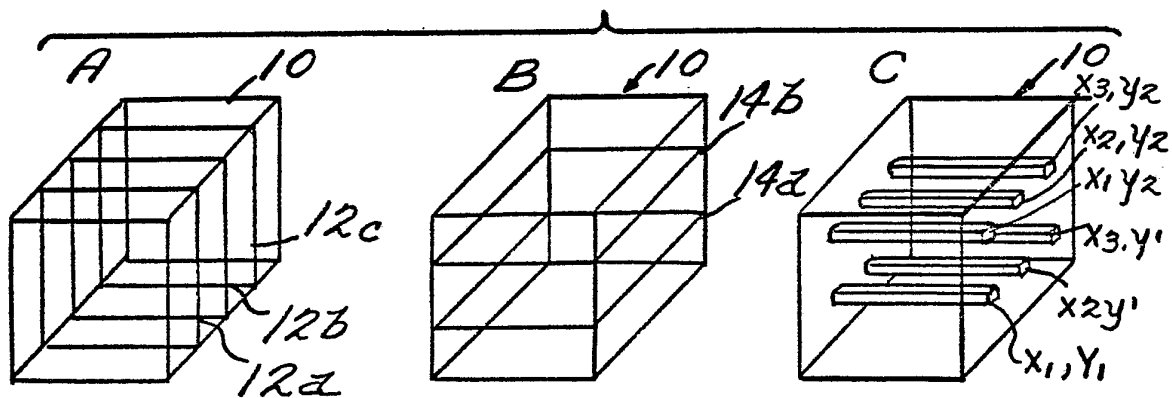


Fig. 2.

Fig. 4.



7905614

7905614

Fig. 5.

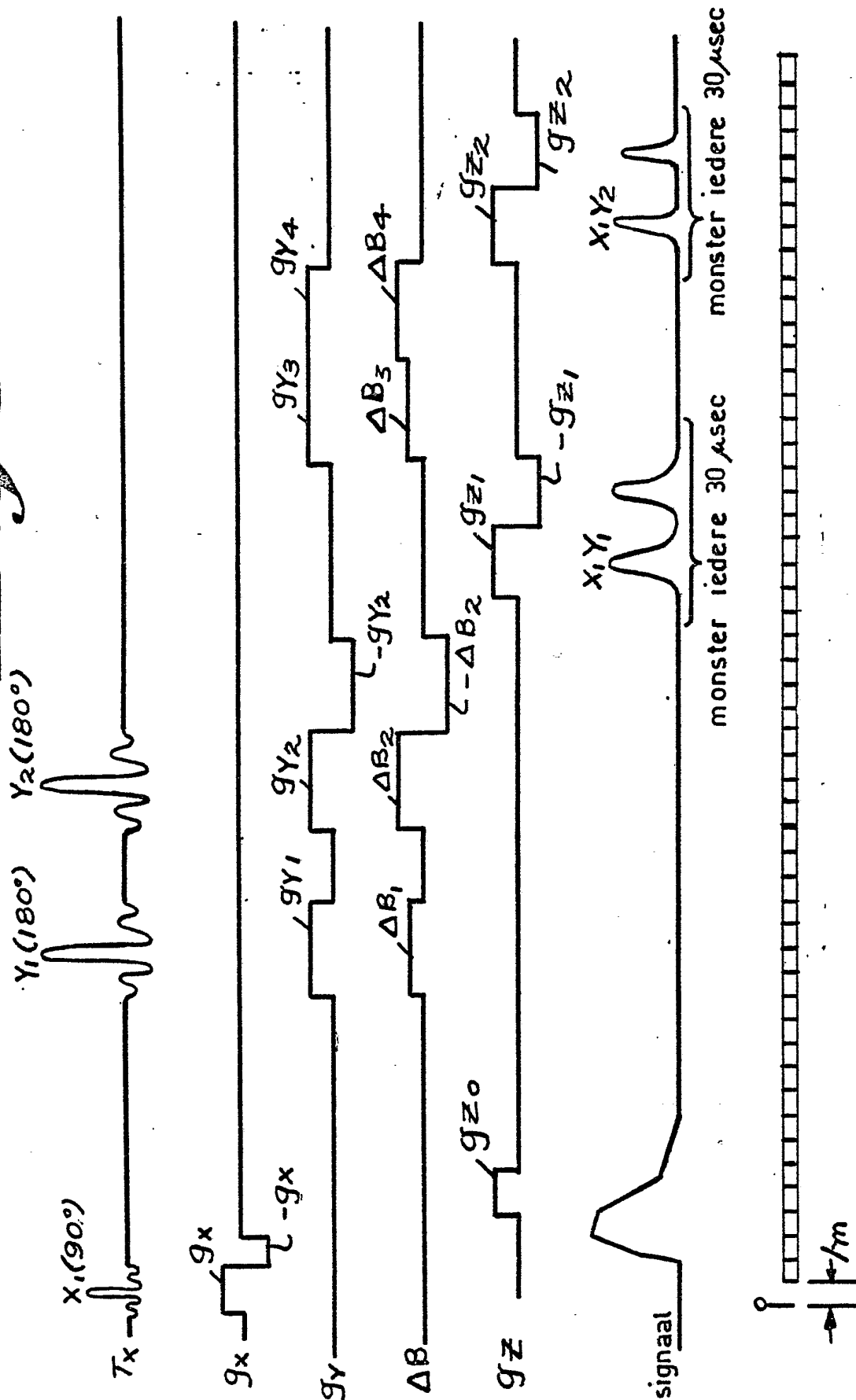


Fig. 6.

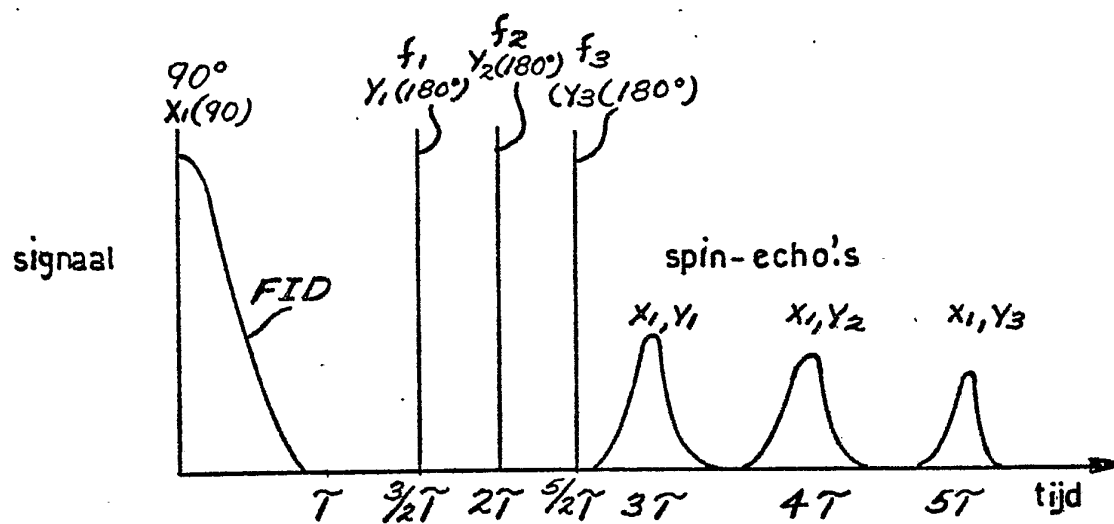
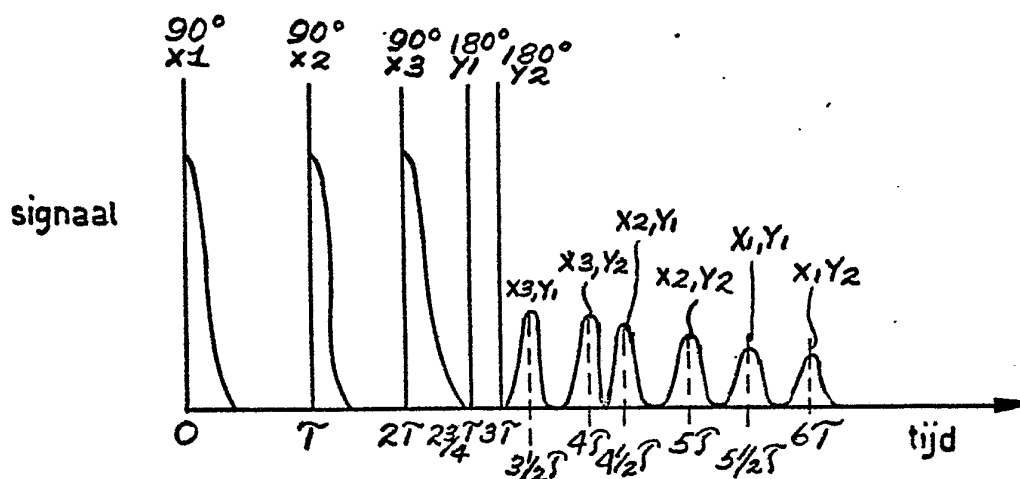
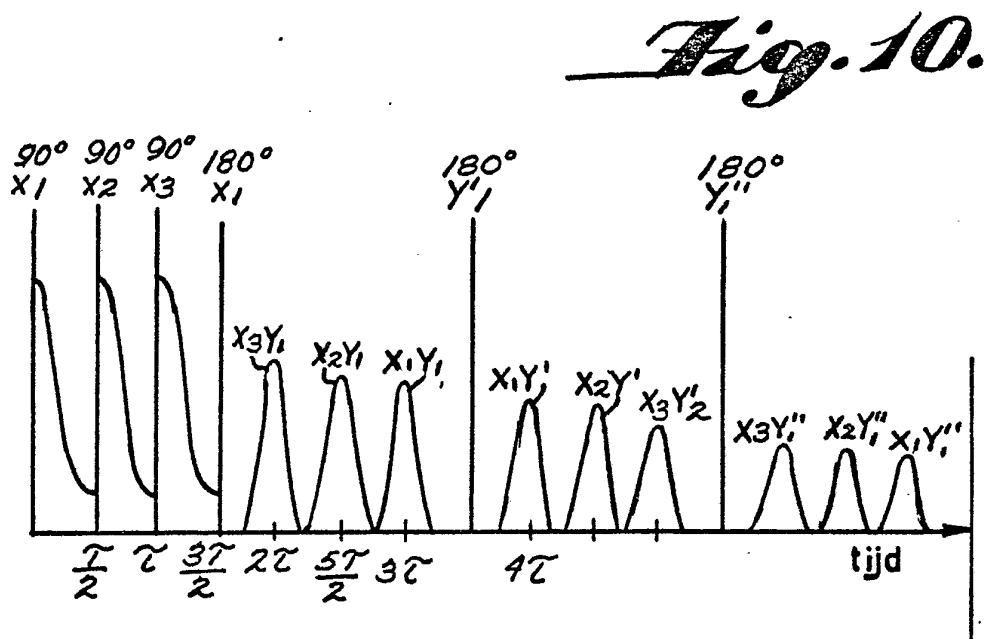
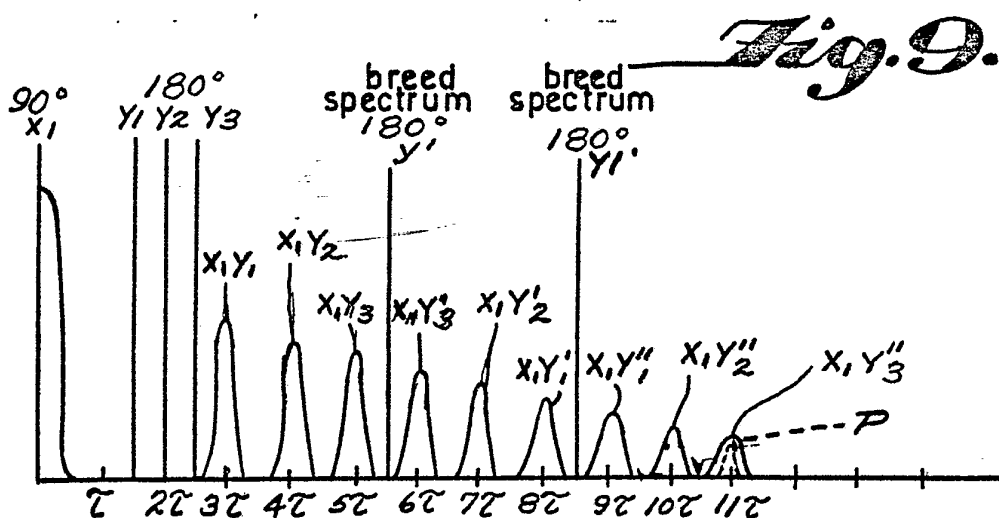
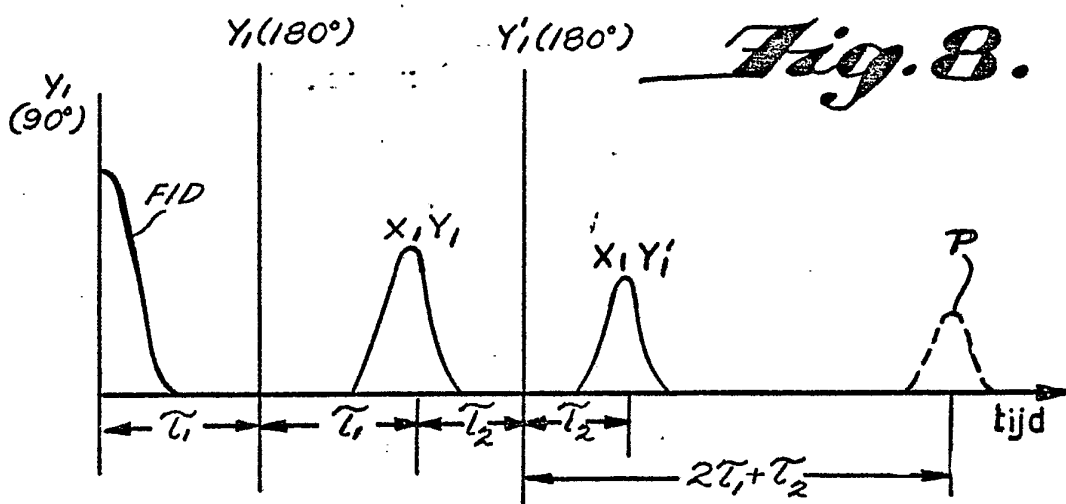


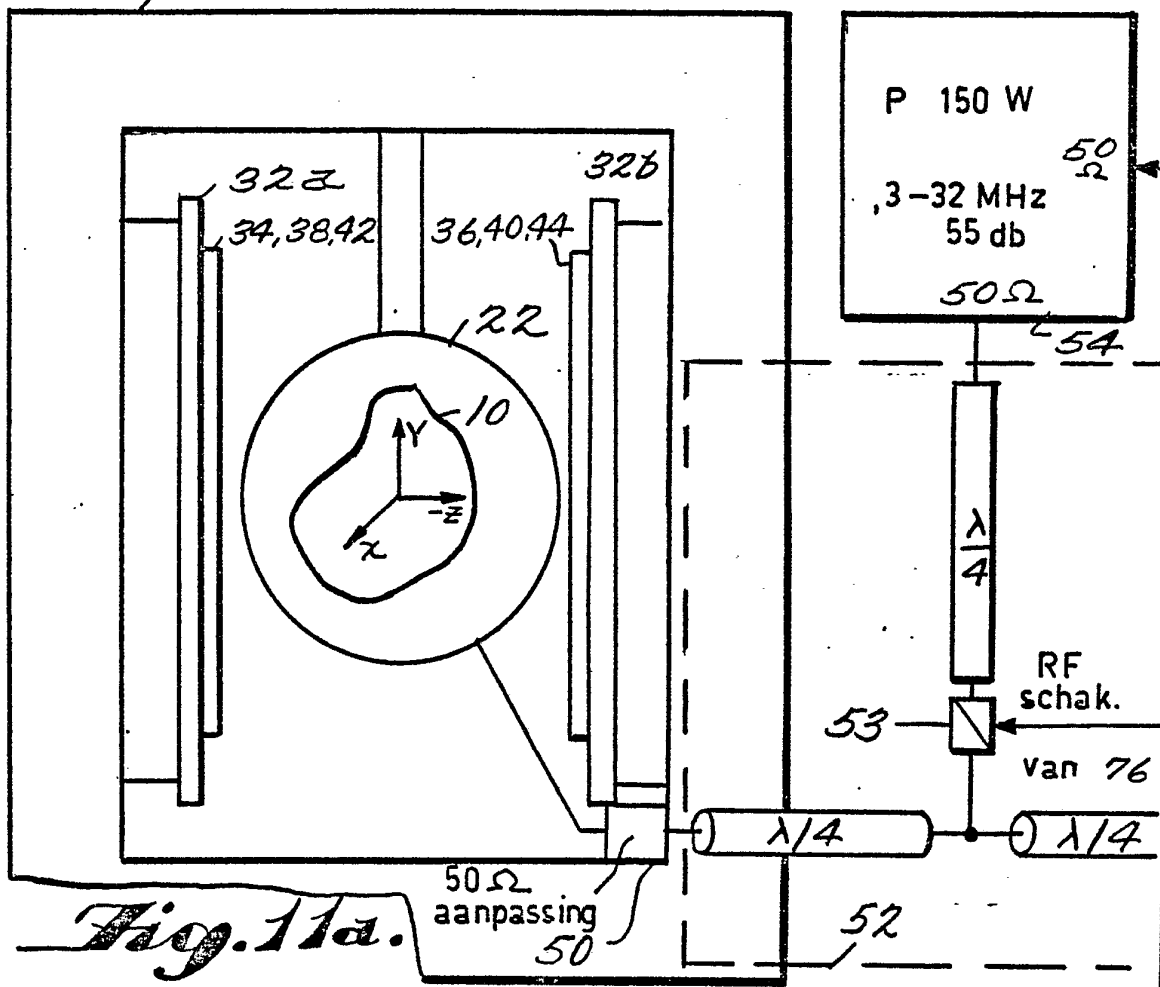
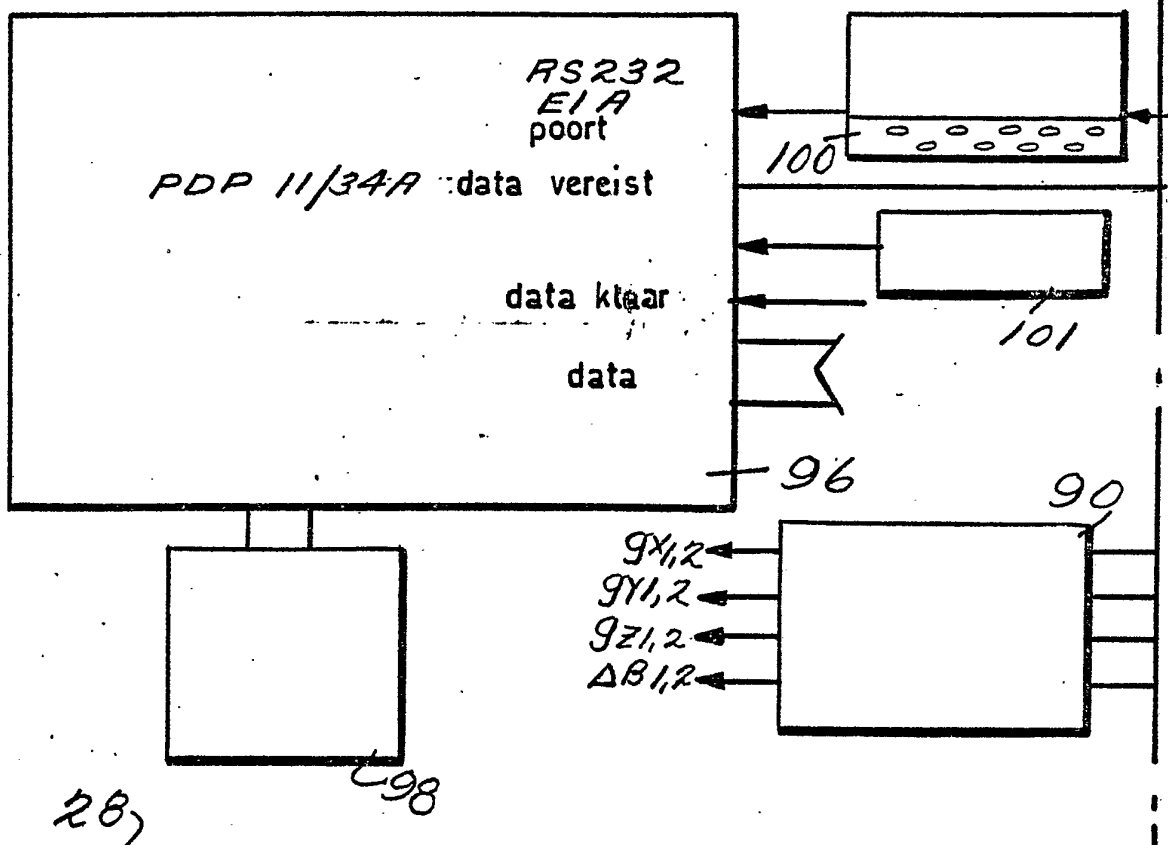
Fig. 7.



7905614

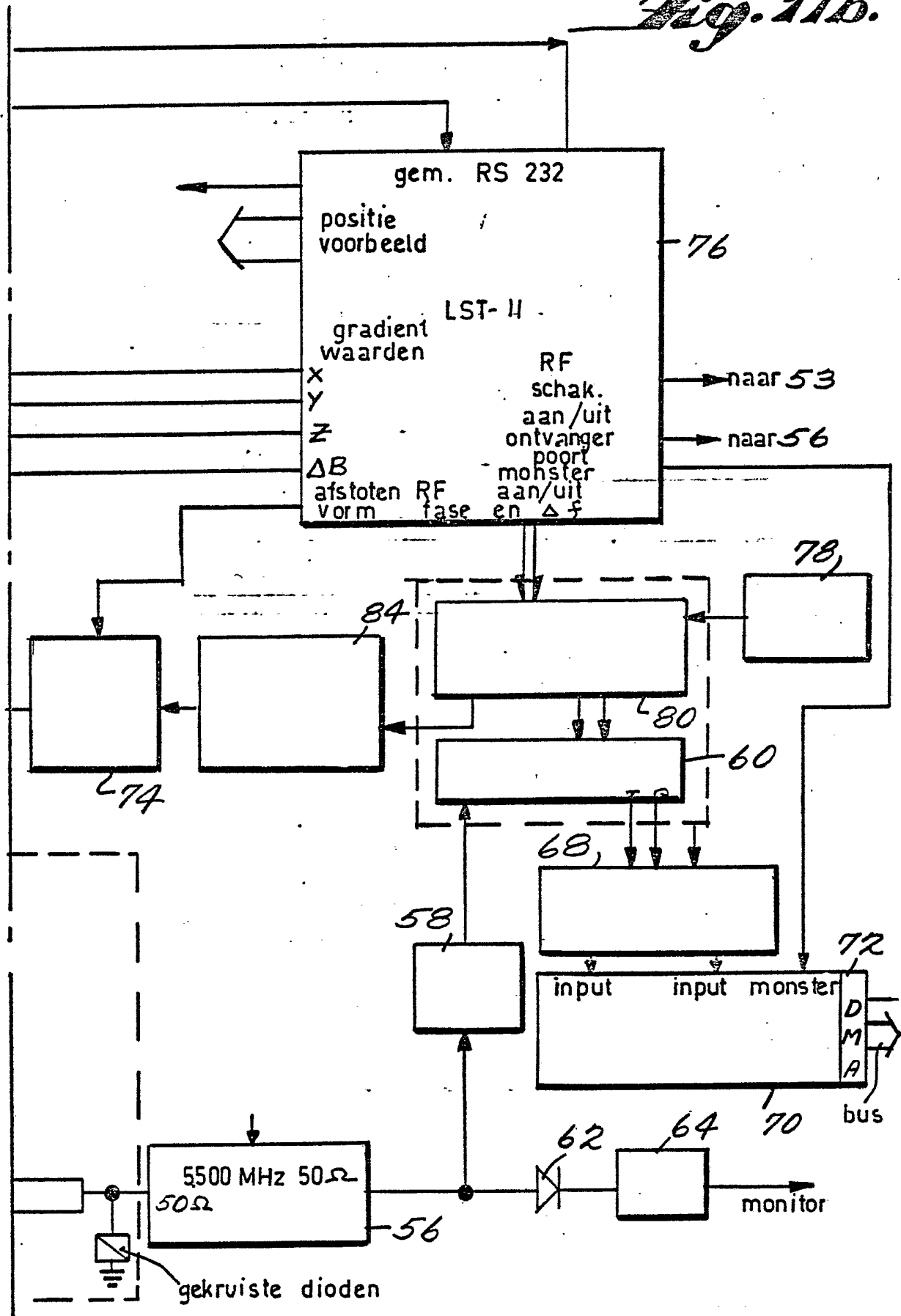


7905614



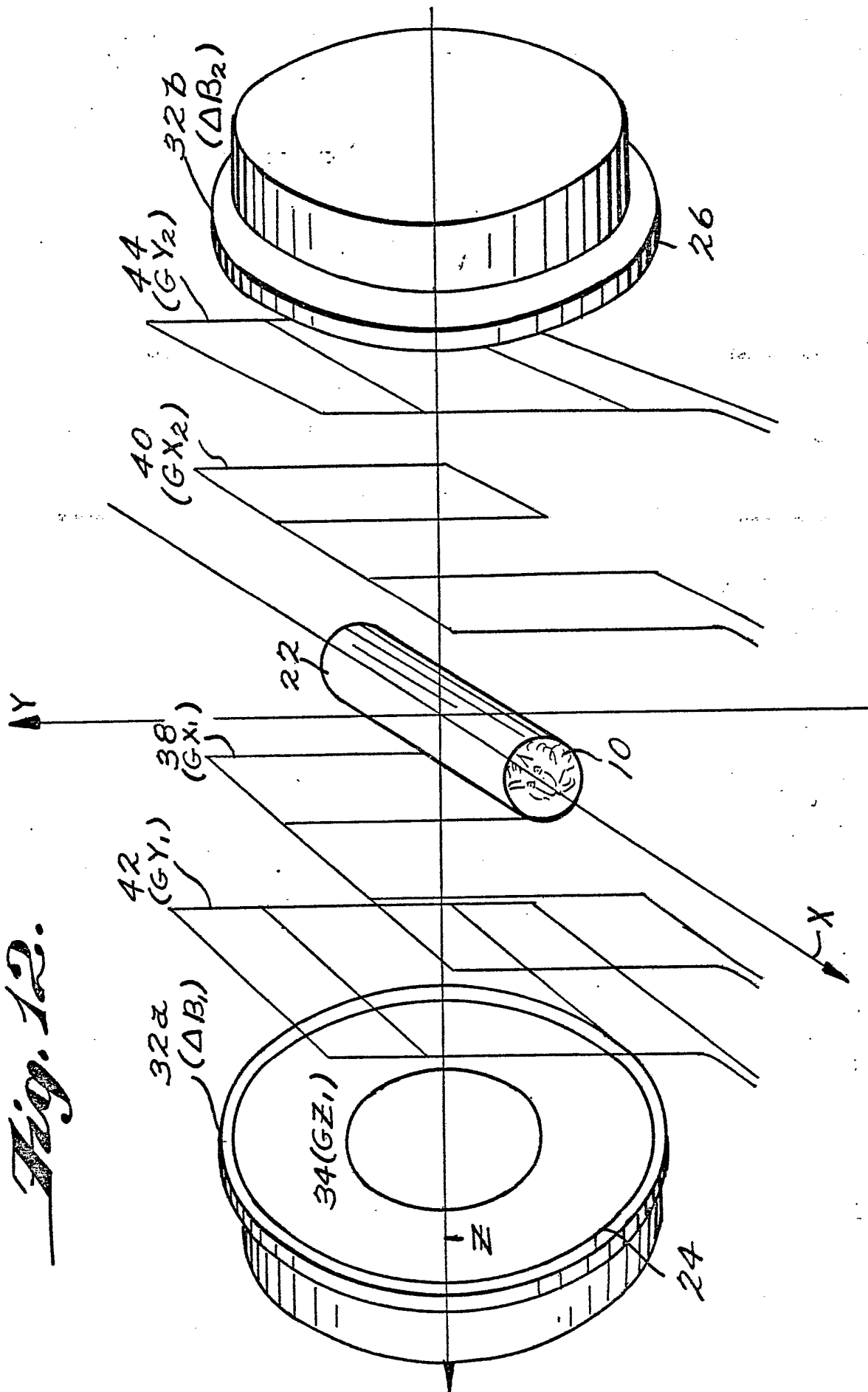
7905614

Fig. 11b.

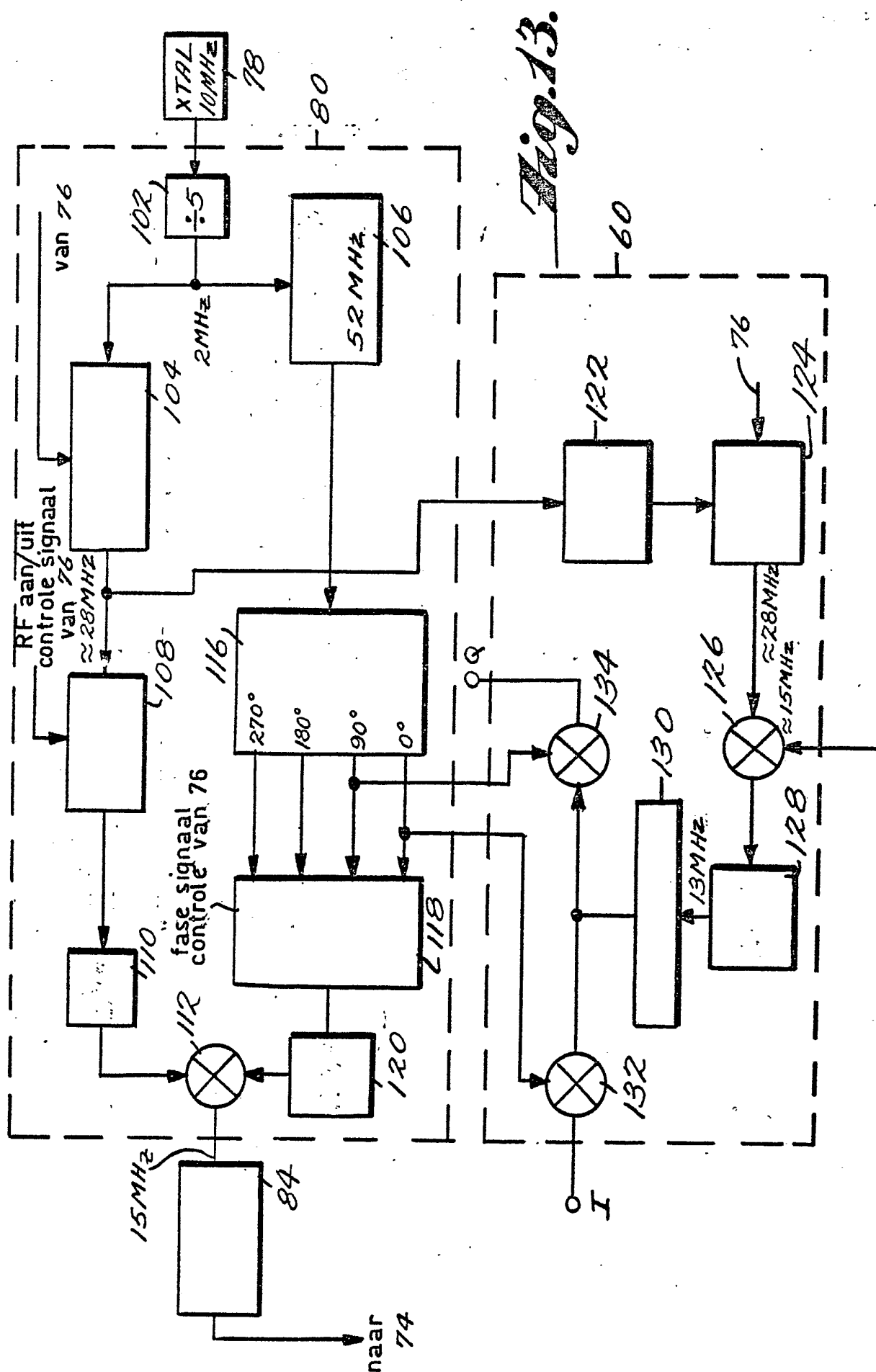


7905614

Fig. 12.



7905614



7905614