
Octroiraad



⑫ A **Terinzagelegging** ⑪ **8802732**

Nederland

⑲ NL

- ⑤4 **Magnetische resonantiewerkwijze en -inrichting.**
- ⑤1 Int.Cl⁵.: G01N 24/08.
- ⑦1 Aanvrager: N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken te Eindhoven.
- ⑦4 Gem.: Ir. P.J.P.G. Simons c.s.
Internationaal Octrooibureau B.V.
Prof. Holstlaan 6
5656 AA Eindhoven.

-
- ②1 Aanvraag Nr. 8802732.
- ②2 Ingediend 8 november 1988.
- ③2 --
- ③3 --
- ③1 --
- ⑥2 --

-
- ④3 Ter inzage gelegd 1 juni 1990.

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

N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken te Eindhoven
"Magnetische resonantiewerkwijze en -inrichting".

De uitvinding heeft betrekking op een magnetische resonantiewerkwijze waarin een object dat zich in een stationair homogeen magnetisch veld bevindt wordt aangestraald met hoogfrequent elektromagnetische pulsen ter verkrijging van magnetische resonantiesignalen, die worden ontvangen en gedemoduleerd met
5 ontvangstmiddelen, waarna de gedemoduleerde resonantiesignalen worden bemonsterd ter verkrijging van bemonsteringswaarden, en uit de bemonsteringswaarden een kernmagnetisatieverdeling wordt bepaald.

De uitvinding heeft tevens betrekking op een magnetische resonantieinrichting bevattende middelen voor het opwekken van een
10 stationair homogeen magnetisch veld, zendmiddelen voor het zenden van hoogfrequent elektromagnetische pulsen naar een object, ontvangstmiddelen voor het ontvangen en demoduleren van magnetische resonantiesignalen van het object, bemonsteringsmiddelen voor het
15 genereren van bemonsteringswaarden uit de gedemoduleerde resonantiesignalen en verwerkingsmiddelen die zijn voorzien van geprogrammeerde rekenmiddelen voor het bepalen van een kernmagnetisatieverdeling uit de bemonsteringswaarden.

Een dergelijke werkwijze en inrichting zijn bekend uit de
20 Europese octrooiaanvraag Nr. 0.165.057. Hoewel de ontvangstmiddelen reeds in hoge mate een lineaire overdrachtsfunctie zullen vertonen teneinde de resonantiesignalen niet te veel te vervormen - er is bijvoorbeeld een lineariteitsafwijking van 1 % - zal, vooral bij spectroscopie, resterende niet-lineariteit een rol spelen. In
25 (volumeselectieve) protonspectroscopie, waarin bijvoorbeeld resonantiesignalen worden gemeten van in relatief grote hoeveelheden in het object aanwezig water en vet, zullen in het spectrum zogenaamde satellietpieken voorkomen ten gevolge van niet-lineaire vervorming in de ontvangstmiddelen, zich uitende in oneven orde
30 intermodulatievervorming. De satellietsignalen zijn in het spectrum zichtbaar als pieken aan weerszijde van het in gegeven voorbeeld genoemde water en vet. Komen in het spectrum metabolieten - componenten

. 8802732

in een in vivo object waaruit informatie over de metabolische toestand van het object is te destilleren - voor die geheel of gedeeltelijk samenvallen met de satelliet signalen, dan zullen de metaboliëten, die ten opzichte van de satelliet signalen relatief zwak kunnen zijn, door de satelliet signalen overschaduwd worden. Bij oneven orde intermodulatievervorming zal een vergroting van niet-lineariteit met een faktor x een versterking van de satelliet signalen met een faktor x^{n-1} te zien geven, waarbij n de orde van de intermodulatievervorming is en x een getal >0 . In het algemeen zal het dynamisch bereik van een NMR-ontvanger ten gevolge van aanwezige niet-lineariteiten zo'n 40 tot 50 dB bedragen, terwijl metaboliëten ten opzichte van sterke signalen zoals water en vet tot zo'n 110 dB zwakker zijn. Een groot dynamisch bereik van de ontvangstmiddelen is derhalve gewenst.

Het is onder meer het doel van de uitvinding te voorzien in een magnetische resonantiewerkwijze en -inrichting waarmee spectra met een groot dynamisch bereik kunnen worden gegenereerd en weergegeven.

Een magnetische werkwijze volgens de uitvinding is er daartoe gekenmerkt, dat niet-lineaire vervorming van de resonantiesignalen ten gevolge van vervorming door de ontvangstmiddelen, die op zichzelf een nagenoeg lineaire overdrachtsfunctie vertonen, wordt gecompenseerd door de bemonsterde resonantiesignalen te vervormen met behulp van een tegenvervormingsfunctie die tegenvervormend werkt aan de niet-lineaire vervorming. Hierdoor wordt maskering van metaboliëten door satelliet signalen sterk tegengegaan. Door de compensatie na signaalbemonstering uit te voeren worden ook niet-lineariteiten in de bemonsteringsmiddelen meegenomen. De uitvinding is onder meer gebaseerd op de gedachte om storende intermodulatieprodukten, die in een spectrum metaboliëten kunnen overschaduwten of die in een beeld artefacten kunnen veroorzaken, te compenseren met compenserende "extra" intermodulatieprodukten.

Opgemerkt wordt dat op zichzelf wel niet-lineariteitscompensatie bekend is uit de Europese octrooiaanvraag Nr. 0.272.161. Daarin wordt voor een laagfrequent vierpool met een niet-lineair element zoals een fotodiode een niet-lineariteitscorrectie uitgevoerd door voor of achter de vierpool een vermenigvuldiger met instelbare versterking te schakelen, waarbij de versterking wordt ingesteld op basis van een PROM met een de niet-lineariteit

. 8802732

compenserende functie. De momentele signaalsterkte van de vierpool wordt daarbij met een A/D-omzetter omgezet in een PROM-adres en de versterking van de vermenigvuldiger wordt op basis van de PROM-inhoud op het betreffende adres ingesteld. Deze correctie houdt geen rekening met
5 niet-lineariteiten die door de A/D-omzetter en de vermenigvuldiger worden geïntroduceerd. Verder is deze compensatie vanwege de benodigde A/D-omzetting niet geschikt voor hoogfrequent vierpolen.

Verder wordt opgemerkt dat voor niet-lineariteitscompensatie van een hoogfrequentversterker uit de Europese
10 octrooiaanvraag Nr. 0.121.446 een compenserende analoge schakeling bekend is die vóór de hoogfrequent versterker geschakeld is. Tussen het te versterken signaal en de versterker is een amplitudemodulator geschakeld die het te versterken signaal in amplitude moduleert door middel van een stuursignaal dat is afgeleid van het te versterken
15 signaal en het teruggekoppelde uitgangssignaal van de hoogfrequent versterker. De analoge compensatie beoogt oneven intermodulatievervorming te verkleinen. De analoge schakeling is gecompliceerd en er worden hoge eisen aan de hardware van de analoge schakeling gesteld. Verder zal door de extra toegevoegde hardware onder
20 meer de signaalruisverhouding slechter worden.

Verder wordt opgemerkt, dat in het abstract "Quantization Noise Reduction by Nonlinear Amplitude Compression", K. Kose et al, Book of Abstracts, SMRM 1988, August 20-26 te San Francisco, blz. 961, na een aangebrachte sterke niet-lineaire vervorming waarmee
25 NMR resonantiesignalen worden vervormd, een niet-lineaire tegenvervorming wordt uitgevoerd op de bemonsterde resonantiesignalen. De sterke vervorming, in het artikel wordt de vierkantswortel van de amplitude van het resonantiesignaal genomen, en de er op volgende tegenvervorming heeft tot doel quantiseringsruisproblemen tegen te
30 gaan. A priori zal de aangebrachte vervorming bekend zijn, evenals de er op volgende tegenvervorming, bijvoorbeeld vierkantswortelvervorming en kwadratische tegenvervorming. Deze wijze van vervorming en tegenvervorming is bekend als compressie en expansie, en is niet geschikt om relatief geringe niet-lineaire vervormingen van de
35 ontvangstmiddelen 3 te compenseren.

Een uitvoeringsvorm van een magnetische resonantiewerkwijze volgens de uitvinding is erdoor gekenmerkt, dat de

. 8802732

tegenvervormingsfunctie is bepaald uit een aantal responsies van de ontvangstmiddelen op ingangssignalen met een voorafbepaalde frequentie, onder variatie van de amplitude. Is de vervorming van de ontvangstmiddelen in een bepaalde mate geïdentificeerd dan kan hiermee
5 de tegenvervormingsfunctie worden bepaald. De ingangssignalen kunnen met een signaalgenerator worden opgewekt die is afgestemd op een voorafbepaalde frequentie en waarvan de amplitude wordt gevarieerd. De voorafbepaalde frequentie is bijvoorbeeld de protonfrequentie en er wordt aangenomen dat spreiding over het frequentiewerkgebied klein is
10 cq. verwaarloosbaar is.

Een verdere uitvoeringsvorm van een magnetische resonantiewerkwijze volgens de uitvinding is erdoor gekenmerkt, dat de amplitude zodanig wordt gevarieerd dat een bereik van bemonsteringen wordt doorlopen met een voorafbepaalde discretiseringsstap en dat de
15 tegenvervormingsfunctie in "look-up" tabelvorm uit de bemonsteringen wordt bepaald. Hierdoor kunnen resonantiesignalen verkregen van het object snel en accuraat worden gecompenseerd met betrekking tot lineaire vervorming door de ontvangstmiddelen. Ook niet-lineariteit in de A/D-omzetter wordt hierin meegenomen. De "look-up" tabel kan worden
20 opgebouwd als gemeten signaalamplituden behorend bij een discretisatiestap, dat wil zeggen dat dan bij elke discretisatiestap de vervorming bekend is. Bij het meten van resonantiesignalen kan dan het gedigitaliseerde resonantiesignaal als ingang van de tabel dienen om de bijbehorende amplitude op te zoeken en zodoende de vervorming te
25 compenseren.

Een uitvoeringsvorm van een magnetische resonantiewerkwijze volgens de uitvinding is erdoor gekenmerkt, dat de amplitude zodanig wordt gevarieerd dat een bereik van bemonsteringen wordt doorlopen voor een voorafbepaald aantal discretisatiestappen en
30 uit de bemonsteringen een vervormingspolynoom van de ontvangstmiddelen wordt bepaald. Hierdoor wordt de vervorming grover geïdentificeerd. Met bijvoorbeeld een bekende polynoomfitprocedure kan door de geïdentificeerde punten van de overdrachtsfunctie een vervormingspolynoom gefit worden.

35 Een uitvoeringsvorm van een magnetische resonantiewerkwijze volgens de uitvinding is erdoor gekenmerkt, dat een vervormingspolynoom van de ontvangstmiddelen wordt bepaald uit

. 8802732

ongewenste pieken in een spectrum van het bemonsterde resonantiesignaal door aan de ontvangstmiddelen ten minste een combinatie van een eerste signaal met een eerste frequentie en een tweede signaal met een tweede frequentie toe te voeren. Zonder niet-lineaire vervorming (met ideale
5 ontvangstmiddelen) zou een spectrum dat wordt bepaald uit het resonantiesignaal dat wordt opgewekt met het eerste en tweede signaal twee resonantiepieken vertonen. Het resonantiesignaal ondergaat echter niet-lineaire vervorming van de ontvangstmiddelen waardoor satellietpieken ontstaan. Boven een ruisniveau worden de satellietpieken
10 in het spectrum opgezocht. Op grond van analyse van de satellietpieken wordt het vervormingspolynoom bepaald.

Een verdere uitvoeringsvorm van een magnetische resonantiewerkwijze volgens de uitvinding is erdoor gekenmerkt, dat de tegenvervormingsfunctie in "look-up" tabelvorm uit het
15 vervormingspolynoom is bepaald. Er wordt uit het gevonden vervormingspolynoom een "look-up" tabel geconstrueerd, zodanig dat bij elke discretisatiestap een waarde van het vervormingspolynoom wordt bepaald.

Een verdere uitvoeringsvorm van een magnetische
20 resonantiewerkwijze volgens de uitvinding is erdoor gekenmerkt, dat de tegenvervormingsfunctie als tegenvervormingspolynoom uit het vervormingspolynoom is bepaald. De coëfficiënten van het tegenvervormingspolynoom worden zodanig gekozen dat een zo groot mogelijke dynamiek wordt bereikt. De coëfficiënten van het
25 tegenvervormingspolynoom kunnen worden opgeslagen in geheugenmiddelen van de magnetische resonantieinrichting zodat gemeten resonantiesignalen door het tegenvervormingspolynoom kunnen worden tegenvervormd.

De uitvinding zal verder worden toegelicht aan de hand van een tekening, waarin
30 fig. 1A een schematische weergave is van een NMR inrichting volgens de uitvinding, met een eerste uitvoeringsvorm van zendmiddelen en ontvangstmiddelen,
fig. 1B een tweede uitvoeringsvorm van zendmiddelen en ontvangstmiddelen geschikt voor gebruik in de NMR inrichting toont,
35 fig. 2 schematisch de ontvangstmiddelen toont, gesplitst in een hoogfrequent deel en een hoogfrequent/laagfrequent deel,
fig. 3A een NMR spectrum toont van een object dat een

eerste en een tweede type kernspinresonantie gevoelige stof bevat, in welk spectrum resonantiepieken ten gevolge van derde orde intermodulatieprodukten voorkomen, en

fig. 3B een fantoom laat zien, dat het eerste en het
5 tweede type stof bevat.

In fig. 1A is schematisch een NMR inrichting 1 volgens de uitvinding weergegeven, met een eerste uitvoeringsvorm van zendmiddelen 2 en ontvangstmiddelen 3 voor het respectievelijk zenden van
10 hoogfrequent elektromagnetische pulsen via een zend/ontvangstspoel 4 naar een object 5 en ontvangen van magnetische resonantiesignalen, die met de hoogfrequent elektromagnetische pulsen in het object 5 worden opgewekt, dat zich in een stationair homogeen magnetisch veld bevindt. De inrichting 1 bevat middelen 6 voor het opwekken van het stationair homogeen magnetisch veld. De middelen 6 bevatten magneetspoelen 7, en in
15 het geval van weerstandsmagneten of supergeleidende magneten, een gelijkspanningsvoeding 8. Is de inrichting 1 in bedrijf en is het object binnen de magneetspoelen 7 geplaatst dan zal in evenwichtstoestand een geringe overmaat aan kernspins (van kernen met een magnetisch moment) met het stationair homogeen veld zijn meegericht. Macroscopisch is dit
20 op te vatten als een magnetisatie M , een evenwichtsmagnetisatie. De inrichting 1 bevat verder verwerkingsmiddelen 9, die zijn gekoppeld met de zendmiddelen 2 en de ontvangstmiddelen 3, een met de verwerkingsmiddelen 9 en de zendmiddelen 2 gekoppelde procescomputer 10, en weergeefmiddelen 11 voor het weergeven van een
25 kernmagnetisatieverdeling die met geprogrammeerde middelen 12 wordt bepaald uit met de ontvangstmiddelen 3 ontvangen en gedemoduleerde resonantiesignalen, na signaalbemonstering daarvan. Meer gedetailleerd bevatten de zendmiddelen 2 een hoogfrequent oscillator 13 voor het opwekken van een draaggolfsignaal, een modulator 14 voor het in
30 amplitude en/of fase of frequentie moduleren van het draaggolfsignaal, een vermogensversterker 15 en een richtingskoppeling 16, die met de zend-/ontvangstspoel 4 gekoppeld is. De zend-/ontvangstspoel 4 kan een spoel zijn die het gehele object 5 bevat, of een spoel die een gedeelte van het object 5 omvat of een oppervlaktespoel. De hoogfrequentoscillator 13
35 is gekoppeld met de verwerkingsmiddelen 9 en de modulator 14 met de procescomputer 10. Worden onder besturing van de geprogrammeerde middelen 12 via de zendmiddelen 2 excitatiepulsen op het object 5

. 8802732

aangestraald met een frequentieinhoud die ligt rond de magnetische resonantiefrequentie van bijvoorbeeld protonen dan zullen magnetische resonantiesignalen ontstaan waaruit met de geprogrammeerde middelen 12 door middel van Fouriertransformatie een protonspectrum kan worden

5 bepaald. De ontvangstmiddelen 3 voor het ontvangen van de resonantiesignalen bevatten de richtingskoppeling 16 en een ontvangsten demodulatieeenheid 17. De eenheid 17 is bijvoorbeeld een dubbele fasegevoelige detektor, waarvan de uitgangssignalen met een eerste en een tweede A/D-omzetter 18 en 19 bemonsterd worden. De eerste en tweede

10 A/D-omzetter 18 en 19 zijn gekoppeld met de verwerkingsmiddelen 9. Als er een aparte zend- en ontvangspoel is dan ontbreekt de richtingskoppeling 16. De inrichting 1 bevat verder middelen 20 voor het opwekken van op het stationair homogeen magnetisch veld gesuperponeerde magnetische veldgradiënten. De middelen 20 bevatten

15 gradiëntmagneetspoelen 21, 22 en 23 voor het respectievelijk opwekken van een magnetische veldgradiënt G_x , G_y en G_z en een door de procescomputer 10 aanstuurbare voeding 24 voor het voeden van de gradiëntmagneetspoelen 21, 22 en 23, die afzonderlijk aanstuurbaar zijn. Bij de getoonde uitvoeringsvorm is de ruimtelijke opstelling van

20 de gradiëntmagneetspoelen zodanig dat de veldrichting van de magnetische veldgradiënten G_x , G_y en G_z samenvalt met de richting van het stationair homogeen magnetisch veld en dat de gradiëntrichtingen loodrecht op elkaar staan, in fig. 1A aangegeven met drie loodrecht op elkaar staande assen x , y en z . Worden puls- en

25 gradiëntsequenties aangelegd aan het object 5 dan kunnen de resonantiesignalen gebruikt worden voor beeldvorming ("imaging"), plaatsafhankelijke spectroscopie ("volumeselective spectroscopy") of spectroscopische beeldvorming ("spectroscopic imaging"). Worden geen magnetische veldgradiënten aangelegd dan worden resonantiesignalen van

30 kernspins uit het gehele object verkregen. Deze modi zijn op zichzelf bekend. Voor een meer algemene beschrijving van een NMR-inrichting en een algemene beschrijving van de principes van NMR wordt verwezen naar het handboek, "Practical NMR Imaging" van M.A. Foster en J.M.S. Hutchinson, 1987 IRL Press. Op blz. 18-22 van genoemd handboek wordt een

35 puls- en gradiëntsequentie voor "imaging" getoond, op blz. 28-38 een NMR-inrichting, en op blz. 242 een puls- en gradiëntsequentie voor "spectroscopic imaging". Voor "volumeselective spectroscopy" wordt

. 8802732

bijvoorbeeld verwezen naar het artikel "¹H MR Spatially Resolved Spectroscopy of Human Tissues In Situ" (SPARS), P.R. Luyten and J.A. den Hollander, Magnetic Resonance Imaging, Vol. 4, pp. 237-239, 1986.

In fig. 1B wordt een tweede uitvoeringsvorm van
5 zendmiddelen en ontvangstmiddelen getoond, geschikt voor gebruik in de NMR-inrichting 1, zoals beschreven in een "abstract", "A novel, simple and high performance MRI/MRS transmit/receive system", A.F. Mehlkopf and J.H. den Boef, in het Book of Abstracts, Volume 2, SMRM 1988, August 20-26 te San Francisco, op blz. 857 daarvan. Bij de beschrijving hiervan
10 zal voor met fig. 1A overeenkomstige blokken een overeenkomstige nummering worden aangehouden. De zendmiddelen 2 bevatten de hoogfrequentoscillator 13, de vermogensversterker 15 en de richtingskoppeling 16, zoals in de eerste uitvoeringsvorm, en verder een digitale synthesizer 24 en een enkelzijbandmodulator 25. De
15 ontvangstmiddelen 3 bevatten de hoogfrequentoscillator 13 en de richtingskoppeling 16, zoals in de eerste uitvoeringsvorm, en verder een hoogfrequentvoorversterker 26, een zogenaamde "Image Reject Mixer" 27, een laagfrequent versterker 28, een laagdoorlaatfilter 29. In het vervolg zullen zend- en ontvangstmiddelen volgens de eerste
20 uitvoeringsvorm met conventionele zend/ontvanger en volgens de tweede uitvoeringsvorm met STRIP zend/ontvanger ("Simple Transmitter Receiver with Increased Performance") worden aangeduid. Kenmerkend voor de STRIP zend/ontvanger is dat het gedemoduleerde resonantiesignaal eenzijdig een frequentieband op een bepaalde frequentieafstand van 0 Hz inneemt
25 (bijvoorbeeld een frequentieafstand van enkele kHz). Buiten voordelen als ongevoeligheid voor gelijkspanningsdrift is voor verdere signaalverwerking geen kwadratuurdetektie nodig zoals bij de conventionele zend/ontvanger. De werking is als volgt. De enkelzijbandmodulator 25 moduleert de frequentie van de (fasecontinue)
30 digitale synthesizer 24 met de frequentie van de hoogfrequentoscillator 13, er wordt een excitatiepuls gevormd. Via de vermogensversterker 15 wordt de versterkte puls toegevoerd aan de zendspoel 4 waardoor in het object 5 een magnetisch resonantiesignaal wordt opgewekt. Het resonantiesignaal wordt door de hoogfrequentvoorversterker 26 versterkt,
35 waarna frequentieconversie plaatsvindt naar een laagfrequentband door de "Image Reject Mixer" 27. De "Image Reject Mixer" 27 zorgt ervoor dat ruis aan de andere kant van 0 Hz verwaarloosbaar is. Het gedemoduleerde

8802732

resonantiesignaal wordt dan versterkt door de laagfrequentversterker 28, gefilterd door het laagdoorlaatfilter 29 en toegevoerd aan de A/D-omzetter 18. Opgemerkt wordt dat "Image Reject Mixers" op zichzelf algemeen bekend zijn.

5 In fig. 2 worden schematisch ontvangstmiddelen 3 getoond volgens de eerste of tweede uitvoeringsvorm, gesplitst in een hoogfrequent deel 30 en een hoogfrequent/laagfrequent deel 31 (bijvoorbeeld hoogfrequent voorversterker respectievelijk demodulator). De delen 30 en 31 zullen beide niet-lineaire vervorming vertonen. In het
10 hoogfrequent deel 30 zal in het algemeen geen last ondervonden worden van harmonische vervorming. Zo zal bij een 1,5 T systeem waarbij de protonfrequentie ca. 64 MHz is de derde orde harmonische 192 MHz bedragen en derhalve praktisch buiten de ontvangstband van het hoogfrequent/laagfrequent deel 31 vallen. Echter kunnen ten gevolge van
15 intermodulatieprodukten ongewenste signalen binnen de frequentieband van het magnetisch resonantiesignaal terecht komen. Een ingangssignaal $V_i(t)$ zal door de ontvangstmiddelen 3 tot een vervormd uitgangssignaal $V_o(t)$ vervormd worden.

$$V_o(t) = A_0 + A_1.V_i(t) + A_2.V_i(t)^2 + \dots + A_n.V_i(t)^n,$$

20 met coëfficiënten A_0, A_1, \dots, A_n , en n een geheel getal.

Bevat bijvoorbeeld het signaal $V_i(t)$ de frequenties ω_1 en ω_2 als gewenste frequenties (bijvoorbeeld uit een water/vet fantoom als object 5), dan komen in het signaal $V_o(t)$ harmonischen en intermodulatieprodukten voor. De intermodulatieprodukten zijn, voor de
25 derde orde, $2\omega_1 - \omega_2$ en $2\omega_2 - \omega_1$. Bij een chemische verschuiving van 3,2 ppm zoals tussen water en vet zullen deze 3^e orde intermodulatieprodukten in een water/vet spectrum terecht komen. Hogere orden dan de 3^e orde zullen in het algemeen geen significante bijdrage leveren. De relatieve sterkte van 3^e orde intermodulatieprodukten in het spectrum is
30 afhankelijk van de signaalsterkte van $V_i(t)$, een toename van het ingangssignaal $V_i(t)$ geeft een kwadratische toename van de 3^e orde intermodulatievervormingspieken in het spectrum. In het hoogfrequent/laagfrequent deel 31 kunnen in tegenstelling tot het hoogfrequent deel 30, ook even orden ongewenste intermodulatieprodukten
35 in de gewenste frequentieband opleveren. Aan de laagfrequent kant van het hoogfrequent/laagfrequent deel 31 kan ook harmonische vervorming een rol spelen. Ongewenste pieken in het spectrum kunnen metaboliëten

overschaduwten. Bij "imaging" kunnen beeldartefacten optreden. Afhankelijk van het toegepaste type zend/ontvanger zal last ondervonden worden van de verschillende genoemde vervormingen. Alle genoemde vervormingen zullen optreden bij een conventionele ontvanger. Bij een

5 STRIP ontvanger zal in een protonspectrum in het algemeen slechts last ondervonden worden van 3^e orde intermodulatieprodukten, aangezien de andere vervormingen niet binnen het gedeelte van de laagfrequentband waar zich het NMR resonantiesignaal bevindt terecht zullen komen. In een

10 uitvoeringsvorm volgens de uitvinding wordt uitgangssignaal $V_o(t)$ na bemonstering nogmaals vervormd met een tegenvervormingspolynoom door de geprogrammeerde rekenmiddelen 12, zodanig dat een praktisch onvervormd signaal wordt verkregen, waaruit met Fouriertransformatie een althans nagenoeg onvervormd spectrum kan worden bepaald. In het volgende zal de

15 uitvoeringsvorm nader worden toegelicht, waarbij eenvoudigheidshalve wordt aangenomen dat alleen vervorming van de 3^e orde significant is, zodat

$$V_o(t) = A_0 + A_1.V_i(t) + A_3.V_i(t)^3 \quad (1)$$

m^e orde tegenvervorming geeft het signaal

$$V_c(t) = B_0 + B_1.V_o(t) + B_3.V_o(t)^3 + \dots + B_m.V_o(t)^m \quad (2)$$

20 waarin $V_c(t)$ het gecompenseerde signaal is en $B_0, B_1, B_3, \dots, B_m$ nader te bepalen coëfficiënten zijn, met m oneven. De coëfficiënten $B_0, B_1, B_3, \dots, B_m$ worden zodanig bepaald dat een optimaal dynamisch bereik wordt verkregen, waardoor ook relatief zwakke metabolieten in een spectrum te onderscheiden zijn. In het algemeen zal m groter zijn dan de

25 orde n van de significante vervorming om voldoende lineairiteit te verkrijgen. Heeft een conventionele ontvanger bijvoorbeeld een dynamisch bereik van 40 tot 50 dB dan zal volgens de uitvinding een vergroting van het dynamisch bereik met meer dan 20 dB verkregen worden. Het is gewenst om een zodanige $V_c(t)$ te verkrijgen dat geldt $V_c(t) = c.V_i(t)$, waarin c

30 een konstante is. Substitutie van betrekking (1) in betrekking (2) geeft

$$V_c(t) = B_0 + B_1.\{A_0 + A_1.V_i(t) + A_3.V_i(t)^3\} + B_3.\{A_0 + A_1.V_i(t) + A_3.V_i(t)^3\}^3 + \dots + B_m.\{A_0 + A_1.V_i(t) + A_3.V_i(t)^3\}^m \quad (3)$$

Bij goede benadering is voor $m=3$ voldaan aan de betrekking

35 $V_c(t) = c.V_i(t)$ als bijvoorbeeld gekozen wordt $B_0 + B_1.A_0 + A_0^3.B_3 = 0$ en $B_1.A_3 = -B_3.(A_1^3 + 3.A_0^2.A_3)$. Wordt dan $B_1 = A_1 = 1$ gekozen, dan is eenvoudig na te gaan dat $B_0 = -A_0 + A_3.A_0^2/(1 + 3.A_0^2.A_3)$ en

. 8802732

$B_3 = -A_3 / (1 + 3.A_0^2.A_3)$. De coëfficiënten A_0 , A_1 en A_3 die de overdracht van de ontvangstmiddelen 3 vertolken worden bijvoorbeeld aan de hand van intermodulatieprodukten in een a priori bekend spectrum, zoals van een fantoom, bepaald, of met een polynoomanalyse van een
5 gemeten overdrachtsfunctie van de ontvangstmiddelen 3. In het geval van een STRIP ontvanger zal er in het algemeen aan voldaan zijn dat alleen oneven orde intermodulatieproducten significant zijn. Bij een conventionele ontvanger kan ook even orde vervorming een rol spelen. Dan wordt op soortgelijke wijze als beschreven in bovenstaande een polynoom
10 bepaald dat ook even orde termen bevat.

In fig. 3A wordt een NMR spectrum s getoond van een object dat een eerste en een tweede type kernspinresonantie gevoelige stof bevat, in welk spectrum resonantiepieken ten gevolge van derde orde intermodulatievervorming voorkomen. Het spectrum s is ontstaan door
15 Fouriertransformatie van een resonantiesignaal dat met de zendmiddelen 2 is opgewekt in een water/vet fantoom p , dat wordt getoond in fig. 3B, welk resonantiesignaal is vervormd door de ontvangstmiddelen 3 van bijvoorbeeld een STRIP zend/ontvanger. Het spectrum s toont een waterpiek w op de frequentie ω_1 en een vetpiek op de frequentie ω_2 . Het
20 fantoom is zo gedimensioneerd dat de water- en vetpiek ongeveer even sterk zijn. In fig. 3B is een doosvormig fantoom getoond dat 50% met water w en 50% met vet v is gevuld. Het spectrum s is weergegeven in ppm. De zogenaamde chemische verschuiving tussen water w en vet v bedraagt ca. 3,2 ppm. Dat wil zeggen, bij een 1,5 T systeem, waarin de
25 protonfrequentie ca. 64 MHz bedraagt is de verschuiving tussen water en vet ca. 200 Hz. De chemische verschuiving ontstaat door verschillende afscherming van protonen in water en vet door elektronen. In het spectrum s zijn de satellietsignalen s_1 en s_2 te zien, ten gevolge van
3^e orde intermodulatievervorming. De satellietsignalen s_1 en s_2 liggen
30 in het gegeven voorbeeld aan weerszijden van water en vet op 3,2 ppm afstand. Is het van belang zijnde spectrum bijvoorbeeld 10 ppm breed dan vallen de intermodulatieprodukten hierbinnen. Bij de STRIP zend/ontvanger zal geen last ondervonden worden van harmonische
vervorming, bij de conventionele ontvanger wel. Aangezien het fantoom
35 slechts stoffen met een eerste en een tweede type kernspinresonantie gevoelige stof (water en vet) bevat zal een onvervormd spectrum alleen een water- en vetpiek vertonen. Het zij opgemerkt dat het op zichzelf

. 8802732

geen bezwaar is dat zich in het fantoom nog andere kernspinresonantie gevoelige stoffen bevinden zolang dat in het spectrum geen aanleiding geeft tot overschaduwning van gewenste pieken en van de daarbij behorende satellietpieken, die zijn ontstaan ten gevolge van niet-lineaire

5 vervorming. In het spectrum s worden de pieken s_1 en s_2 opgezocht, boven een ruisniveau r . De vervorming door de ontvangstmiddelen 3 is uit de satellietpieken te destilleren doordat a priori alleen een water- en een vetpiek zouden mogen voorkomen. Het fantoom levert een signaal $V_i(t) = A \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) + B \cdot \cos(\omega_2 \cdot t)$, waarin A en B nader te bepalen zijn uit het

10 spectrum s . Er vanuit gaande dat vervorming tot de derde orde significant is, wordt $V_o(t) = A_0 + A_1 \cdot V_i(t) + A_2 \cdot V_i(t)^2 + A_3 \cdot V_i(t)^3$. Uitgaande van bijvoorbeeld een STRIP ontvanger zijn hierin A_0 en A_2 niet van belang, zodat A_1 en A_3 nader te bepalen zijn uit het spectrum s . Invulling van $V_i(t)$ in $V_o(t)$ en samenneming van termen met

15 respectieve frequenties ω_1 , ω_2 , $2\omega_1 - \omega_2$ en $2\omega_2 - \omega_1$ geeft coëfficiënten uitgedrukt in A , B , A_1 en A_3 . De coëfficiënten komen overeen met respectieve oppervlakten onder de gemeten pieken s_1 , v , w en s_2 in het spectrum s . Door oplossing van de gevonden vergelijkingen worden de coëfficiënten A_0 , A_1 en A_3 bepaald. Bij een conventionele ontvanger

20 komt ook een gelijkspanningscomponent voor die met de waterpiek kan samenvallen. De gelijkspanningscomponent is via een op zich zelf bekende wijze te elimineren voordat de coëfficiënten A_0 , A_1 en A_3 worden bepaald. Zo kan de gelijkspanningscomponent worden geëlimineerd door van twee metingen met tegengestelde fase de resonantiesignalen van

25 elkaar af te trekken. Zijn de coëfficiënten A_0 , A_1 en A_3 ($n=3$) van het vervormingspolynoom bepaald dan worden de coëfficiënten B_0 , B_1 , B_3 , ..., B_m van het tegenvervormingspolynoom op de beschreven wijze bepaald. De coëfficiënten B_0 , B_1 , B_3 , ..., B_m worden opgeslagen in geheugenmiddelen 32 van de NMR-inrichting 1, waardoor elk gemeten NMR

30 resonantiesignaal tegenvervormd kan worden met het tegenvervormingspolynoom. Op andere wijze worden de coëfficiënten A_0 , A_1 en A_3 van het vervormingspolynoom van de ontvangstmiddelen 3 bepaald door de responsie van de ontvangstmiddelen te meten met behulp van een signaalgenerator 33 voor een aantal amplituden van het

35 ingangssignaal $V_i(t)$ en uit de gemeten data met een polynoomfitprocedure de coëfficiënten A_0 , A_1 en A_3 te bepalen. Er kan een gebruikelijke fitprocedure zoals een kleinste kwadratenfitprocedure worden toegepast.

. 8802732

Uit het vervormingspolynoom kan met de geprogrammeerde rekenmiddelen 12 de tegenvervormingsfunctie worden bepaald, zodanig dat voor elke A/D-omzetterstap (bijvoorbeeld van een 16 bit A/D) een tegenvervormingswaarde beschikbaar is. De tegenvervormingswaarden worden dan in een zogenaamde "look-up" tabel in de geheugenmiddelen 32 opgeslagen. Ook kan de "look-up" tabel als een "dedicated storage" worden uitgevoerd, dat met de A/D-omzetter 18 gekoppeld is, zodat het bemonsterde signaal reeds is gecompenseerd voordat het wordt toegevoerd aan de verwerkingsmiddelen 9. Het bemonsterde signaal bepaalt een adres van het "dedicated storage" en de inhoud van het "dedicated storage" is het gecompenseerde bemonsterde signaal. Elk gemeten NMR resonantiesignaal kan dan tegenvervormd worden met een bij het gemeten NMR resonantiesignaal behorende tegenvervormingswaarde uit de "look-up" tabel, in plaats van met het tegenvervormingspolynoom. Ook kan voor alle voorkomende A/D-stappen met behulp van de signaalgenerator de responsie worden bepaald door variatie van de amplitude van de signaalgenerator, die bijvoorbeeld is afgestemd op de protonfrequentie, waardoor met de geprogrammeerde middelen de tegenvervormingsfunctie kan worden bepaald. Dan kan de "look-up" tabel volledig worden gevuld en zijn geen polynomen nodig. Het zij opgemerkt dat de werkwijzen met de "look-up" tabel de voorkeur verdienen met de huidige stand van de techniek met betrekking tot de snelheid van de geprogrammeerde middelen 12. Met het beschikbaar komen van steeds snellere signaalprocessors kan de werkwijze waarin gebruik gemaakt wordt van het tegenvervormingspolynoom aantrekkelijk worden.

Conclusies :

1. Magnetische resonantiewerkwijze waarin een object dat zich in een stationair homogeen magnetisch veld bevindt wordt aangestraald met hoogfrequent elektromagnetische pulsen ter verkrijging van magnetische resonantiesignalen, die worden ontvangen en
5 gedemoduleerd met ontvangstmiddelen, waarna de gedemoduleerde resonantiesignalen worden bemonsterd ter verkrijging van bemonsteringswaarden, en uit de bemonsteringswaarden een kernmagnetisatieverdeling wordt bepaald, met het kenmerk, dat niet-
10 lineaire vervorming van de resonantiesignalen ten gevolge van vervorming door de ontvangstmiddelen, die op zichzelf een nagenoeg lineaire overdrachtsfunctie vertonen, wordt gecompenseerd door de bemonsterde resonantiesignalen te vervormen met behulp van een tegenvervormingsfunctie die tegenvervormend werkt aan de niet-lineaire
vervorming.
- 15 2. Magnetische resonantiewerkwijze volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat de tegenvervormingsfunctie is bepaald uit een aantal responsies van de ontvangstmiddelen op ingangssignalen met een voorafbepaalde frequentie, onder variatie van de amplitude.
3. Magnetische resonantiewerkwijze volgens conclusie 2, met
20 het kenmerk, dat de amplitude zodanig wordt gevarieerd dat een bereik van bemonsteringen wordt doorlopen met een voorafbepaalde discretiseringsstap en dat de tegenvervormingsfunctie in "look-up" tabelvorm uit de bemonsteringen wordt bepaald.
4. Magnetische resonantiewerkwijze volgens conclusie 2, met
25 het kenmerk, dat de amplitude zodanig wordt gevarieerd dat een bereik van bemonsteringen wordt doorlopen voor een voorafbepaald aantal discretisatiestappen en uit de bemonsteringen een vervormingspolynoom van de ontvangstmiddelen wordt bepaald.
5. Magnetische resonantiewerkwijze volgens conclusie 1, met
30 het kenmerk, dat een vervormingspolynoom van de ontvangstmiddelen wordt bepaald uit ongewenste pieken in een spectrum van het bemonsterde resonantiesignaal door aan de ontvangstmiddelen ten minste een combinatie van een eerste signaal met een eerste frequentie en een tweede signaal met een tweede frequentie toe te voeren.
- 35 6. Magnetische resonantiewerkwijze volgens conclusie 5, met het kenmerk, dat het eerste en tweede signaal worden gegenereerd door met zendmiddelen een fantoom te exciteren dat een eerste en een tweede

. 8802732

type kernspinresonantie gevoelige stof bevat.

7. Magnetische resonantiewerkwijze volgens conclusie 6, met het kenmerk, dat het eerste type stof water is en het tweede type stof vet.

5 8. Magnetische resonantiewerkwijze volgens conclusie 5, met het kenmerk, dat het eerste en tweede signaal worden opgewekt met signaalgeneratoren.

9. Magnetische resonantiewerkwijze volgens conclusie 4, 5, 6, 7 of 8, met het kenmerk, dat de tegenvervormingsfunctie in "look-up"
10 tabelvorm uit het vervormingspolynoom is bepaald.

10. Magnetische resonantiewerkwijze volgens conclusie 4, 5, 6, 7 of 8, met het kenmerk, dat de tegenvervormingsfunctie als tegenvervormingspolynoom uit het vervormingspolynoom is bepaald.

11. Magnetische resonantieinrichting bevattende middelen voor
15 het opwekken van een stationair homogeen magnetisch veld, zendmiddelen voor het zenden van hoogfrequent elektromagnetische pulsen naar een object, ontvangstmiddelen voor het ontvangen en demoduleren van magnetische resonantiesignalen van het object, bemonsteringsmiddelen voor het genereren van bemonsteringswaarden uit de gedemoduleerde
20 resonantiesignalen en verwerkingsmiddelen die zijn voorzien van geprogrammeerde rekenmiddelen voor het bepalen van een kernmagnetisatieverdeling uit de bemonsteringswaarden, met het kenmerk, dat de geprogrammeerde middelen er verder voor zijn ingericht om niet-lineaire vervorming van de resonantiesignalen ten gevolge van vervorming
25 door de ontvangstmiddelen, die op zichzelf een nagenoeg lineaire overdrachtsfunctie vertonen, te compenseren door de bemonsterde resonantiesignalen te vervormen met behulp van een tegenvervormingsfunctie, die tegenvervormend werkt aan de niet-lineaire vervorming.

. 8802732

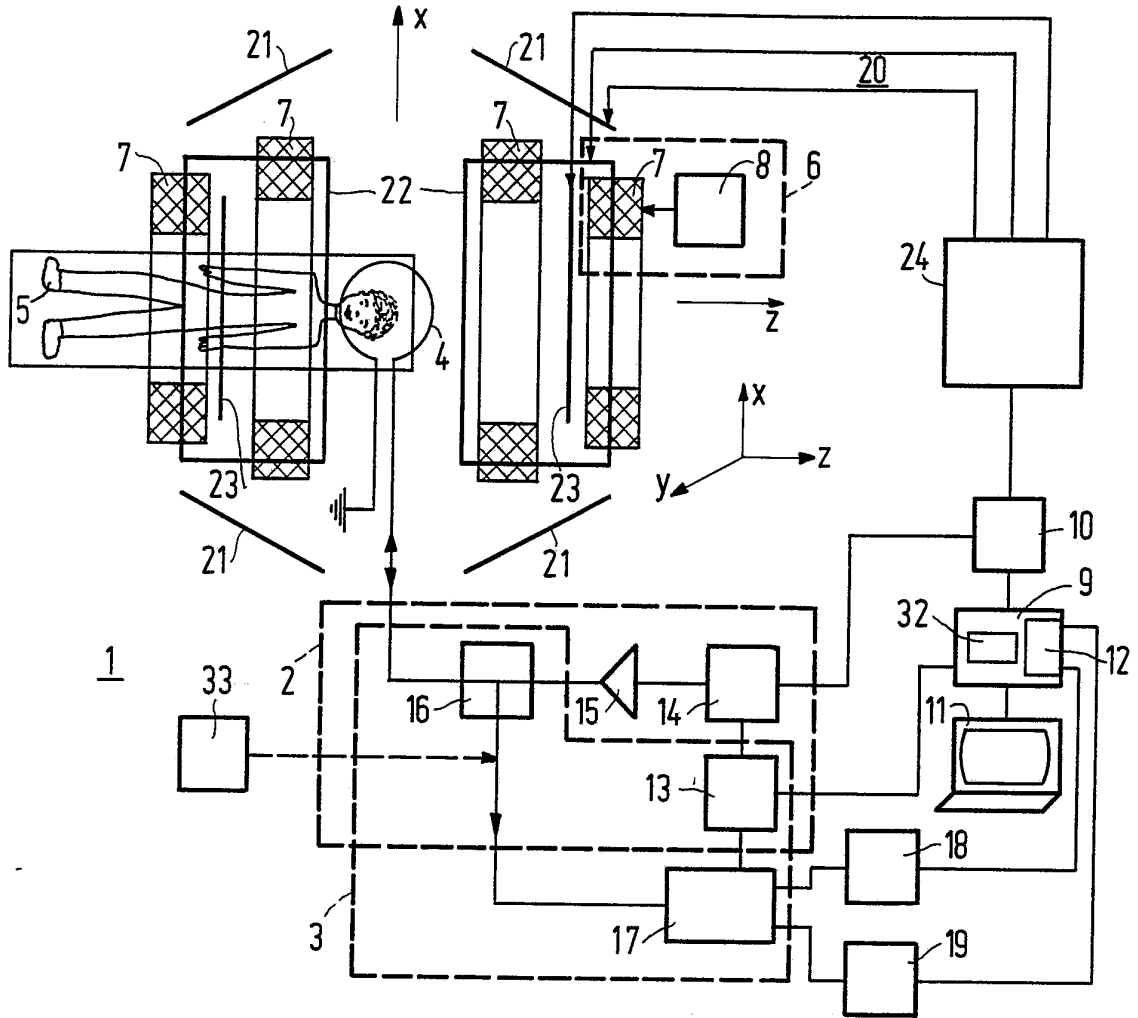


FIG. 1A

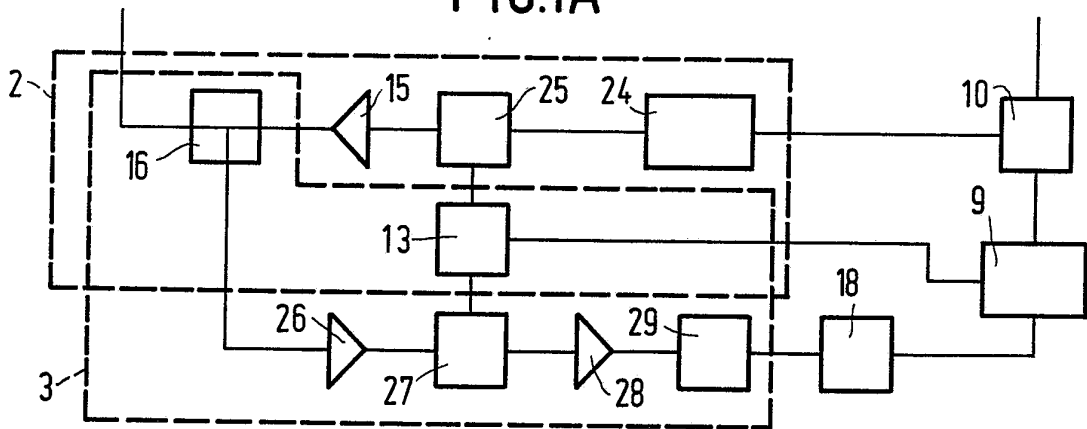


FIG. 1B

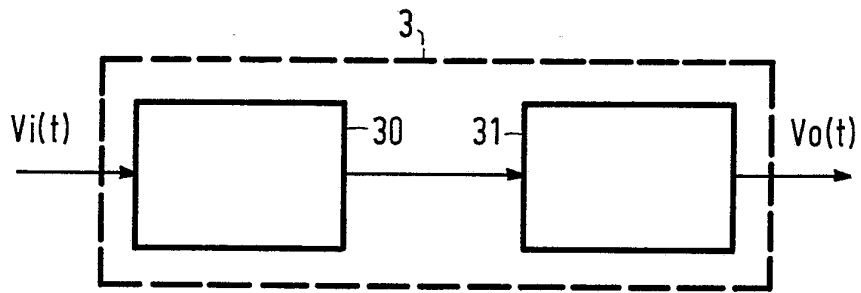


FIG.2

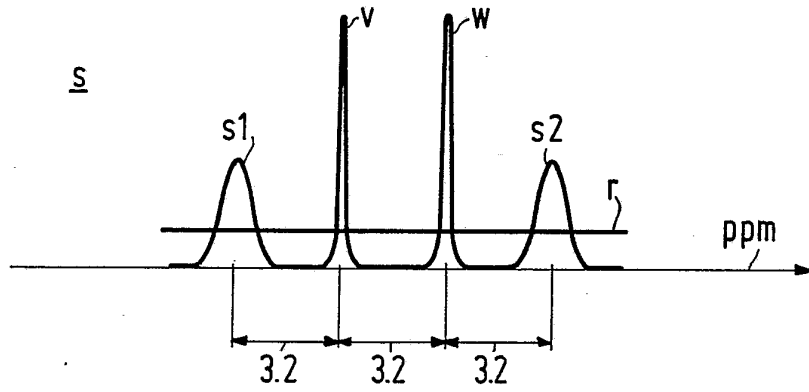


FIG.3A

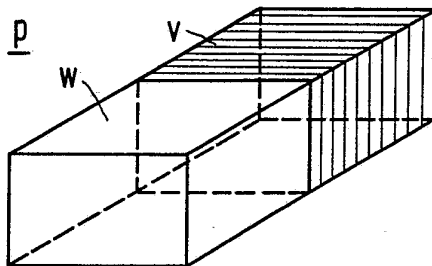


FIG.3B