(19) SUOMI - FINLAND
(FI)

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS
PATENT- OCH REGISTERSTYRELSEN
FINNISH PATENT AND REGISTRATION OFFICE

(10) **FI 882859 A7**

(12) **JULKISEKSI TULLUT PATENTTIHAKEMUS**
PATENTANSÖKAN SOM BLIVIT OFFENTLIG
PATENT APPLICATION MADE AVAILABLE TO THE PUBLIC

(21) Patenttihakemus - Patentansökan - Patent application 882859

(51) Kansainvälinen patenttiluokitus - Internationell patentklassifikation - International patent classification
G01N 24/08
G01R 33/34

(22) Tekemispäivä - Ingivningsdag - Filing date **15.06.1988**

(23) Saapumispäivä - Ankomstdag - Reception date **15.06.1988**

(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig - Available to the public **01.02.1989**

(43) Julkaisupäivä - Publiceringsdag - Publication date **12.06.2019**

(32) (33) (31) Etuoikeus - Prioritet - Priority

31.07.1987 US 080038

(71) Hakija - Sökande - Applicant

1 • **General Electric Company,** One River Road, Schenectady, NY 12345, AMERIKAN YHDYSVALLAT, (US)

(72) Keksijä - Uppfinnare - Inventor

1 • **Rezvani, Behrooz,** TOWN UNKNOWN, AMERIKAN YHDYSVALLAT, (US)

(74) Asiamies - Ombud - Agent

Kolster Oy Ab, Salmisaarenaukio 1, 00180 Helsinki

(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning - Title of the invention
Kaksitaajuinen NMR-pintakäämi
NMR-ytspole med två frekvenser

Kaksitaajuinen NMR-pintakäämi

Keksinnön ala on ydinmagneettiseen resonanssiin perustuvat kuvausmenetelmät ja -järjestelmät. Tarkemmin, keksintö liittyy paikalliskäämiin, jota voidaan käyttää antamaan paikallisesti RF-virityspulssi ja paikallisesti vastaanottamaan NMR-keilausjärjestelmässä tuotettuja NMR-signaaleja.

Ydin, jolla on magneettinen momentti, pyrkii magneettikentässä olleessaan asettumaan magneettikentän suuntaisesti. Näin tehdessään ydin kuitenkin presessoi tämän suunnan ympäri ominaisella kulmataajuudella (Larmor-taajuus), joka riippuu magneettikentän voimakkuudesta ja ytimen määrätyistä ominaisuuksista (ytimen gyromagneettinen suhde q). Ytimiä, joilla tämä ilmiö esiintyy, kutsutaan tässä nimellä "spin".

Kun aineeseen, kuten ihmiskudos, kohdistetaan tasainen magneettikenttä (polarisoiva kenttä Bz), kudoksessa olevien spinien magneettiset momentit pyrkivät asettautumaan polarisoivan kentän suuntaisiksi, mutta presessoivat suunnan ympäri satunnaisessa järjestyksessä ominaisella Larmor-taajuudella. Polarisoivan kentän suuntaan syntyy netto magneettinen momentti Mz, mutta kohtisuorassa, eli poikittaisessa tasossa (x-y -taso) satunnaisissa suunnissa olevat magneettiset komponentit kumoavat toisensa. Jos kuitenkin aine, eli kudos, altistetaan magneettikentälle (RF-virityskenttä B1), joka on x-y--tasossa ja joka on lähellä Larmor-taajuutta, suunnattu nettomomentti Mz voidaan kiertää, eli "kiepauttaa", x-y--tasoon, jolloin saadaan netto magneettinen momentti M1, joka pyörii x-y -tasossa Larmor-taajuudella. Määrä, jolla magneettinen momentti Mz kääntyy ja näin ollen poikittaisen magneettisen nettomomentin suuruus riippuu ensisijaisesti tuodun RF-virityskentän B1 kestosta ja suuruudesta.

Tämän ilmiön käytännön arvo on signaalissa, jonka virittyneet spinit lähettävät, kun RF-virityssignaali B1 päättyy. Yksinkertaisissa järjestelmissä virittyneet spinit aiheuttavat oskilloivan siniaaltosignaalin vastaanottokäämissä. Tämän signaalin taajuus on Larmor-taajuus ja sen alkuamplitudin Ao määrää poikittaisen magneettisen momentin M1 suuruus. Emissiosignaalin amplitudi A pienenee eksponentiaalisesti ajan t myötä:

$$A = Ao \exp(t/T*2)$$

Vaimenemisvakio 1/T*2 riippuu magneettikentän homogeenisuudesta ja T2:sta, jota kutsutaan "spin-spin-relaksaatio"-vakioksi eli "poikittaisrelaksaatio"-vakioksi. Vakio T2 on kääntäen verrannollinen eksponetiaalitaajuuteen, jolla spinien suunnattu presessio joutuu pois vaiheesta RF-virityssignaalin B1 poistamisen jälkeen täysin homogeenisessa kentässä.

Toinen tärkeä tekijä, joka vaikuttaa NMR-signaalin amplitudiin A, on spinhilarelaksaatioprosessi, jota luonnehtii aikavakio T1. Tätä kutsutaan myös pitkittäiseksi relaksaatioprosessiksi, koska se kuvaa netto magneettisen momentin M paluuta tasapainotilaansa magneettiselle polarisaatioakselille (z). Aikavakio T1 on pitempi kuin T2, paljon pitempi useimmissa lääketieteellisesti kiinnostavissa aineissa.

Esillä olevan keksinnön erityisen oleellisia NMR-mittauksia kutsutaan "pulssi NMR-mittauksiksi". Tällaiset NMR-mittaukset jaetaan viritysjaksoon ja signaaliemissiojaksoon. Tällaisia mittauksia suoritetaan sykslisesti niin, että NMR-mittaus toistetaan monta kertaa eri datan keräämiseksi kullakin kierroksella tai saman mittauksen tekemiseksi kohteen eri paikoissa. Tunnetaan suuri määrä erilaisia valmistelevia viritystekniikoita, joihin kuuluu yhden tai useamman suuruudeltaan ja kestoltaan vaih-

televan RF-virityspulssin (B1) antaminen. Tällaisilla RF-virityspulsseilla voi olla kapea taajuusspektri (valikoiva virityspulssi), tai niillä voi olla leveä taajuusspektri (ei-valikoiva virityspulssi), joka tuottaa poikittaisen magnetoitumisen M1 laajalla resonanssitaajuusalueella. Aikaisemmat menetelmät ovat pullollaan viritystekniikoita, jotka on suunniteltu käyttämään hyödyksi tiettyjä NMR-ilmiöitä ja joiden avulla voitetaan tietyt ongelmat NMR-mittausprosessissa.

Käytettäessä NMR:ää tuottamaan kuvia, käytetään tekniikkaa, jolla saadaan NMR-signaaleja kohteen tietyistä alueista. Tyypillisesti kuvattava alue (kiinnostava alue) altistetaan sarjalle NMR-mittaussyklejä, jotka vaihtelevat nimenomaisen käytössä olevan lakalisaatiomenetelmän mukaan. Vastaanotetut NMR-signaalit digitoidaan ja prosessoidaan kuvan rekonstruoimiseksi käyttämällä yhtä hyvin tunnetuista rekonstruktiotekniikoista. Tällaisen keilauksen suorittamiseksi on tietenkin välttämätöntä saada ulos NMR-signaaleja kohteen määrätyistä alueista. Tämä suoritetaan käyttämällä magneettikenttiä (Gz, Gy ja Gz), joilla on sama suunta kuin polarisoivalla kentällä Bo, mutta joilla on gradientti vastaavia x-, y- ja z-akseleita pitkin. Ohjaamalla näiden gradienttien voimakkuutta kunkin NMR-syklin aikana, spinvirityksen paikkajakaumaa voidaan hallita ja NMR-signaalien paikka tunnistaa.

NMR:stä on nopeasti kehittynyt kuvaustapa, jota käytetään antamaan tomografisia, projektio- ja volumetrisiä kuvia elävien ihmiskohteitten anatomisista piirteistä. Tällaiset kuvat esittävät ydinspinjakaumaa (tyypillisesti veteen ja rasvaan liittyvien protonien), jota modifioivat kudosten määrätyt NMR-ominaisuudet, kuten spinhila- (T1) ja spin-spin-(T2) relaksaatioaikavakiot. Niillä on lääketieteellistä diagnostista arvoa, koska ne esittävät anatomian ja mahdollistavat kudosten karakterisoinnin.

NMR-keilaimet, jotka toteuttavat näitä NMR-teknii-

koita, ovat kooltaan erilaisia. Pieniä erikoisrakenteisia laitteita käytetään laboratorioeläinten tutkimiseen tai antamaan kuvia ihmiskehon tietyistä osista. Toisaalta "koko kehon" -NMR-keilaimet ovat riittävän isoja vastaanottamaan koko ihmiskehon ja tuottamaan kuvan sen mistä osasta tahansa.

On monia tekniikoita, joilla RF-virityskenttä (B1) tuotetaan ja NMR-signaali vastaanotetaan. Yksinkertaisin ja useimmiten käytetty rakenne on yksi käämi ja siihen liittyvä virityskondensaattori, joka sekä tuottaa virityssignaalin sekä vastaanottaa saatavan NMR-signaalin. Tätä resonanssipiiriä kytketään elektronisesti virityspiirin ja vastaanotinpiirin välillä kunkin mittaussyklin aikana. Tällaisia rakenteita käytetään melko yleisesti sekä pienissä NMR-keilaimissa että koko kehon NMR-keilaimissa.

On myös melko tavallista käyttää erillisiä virityskäämejä ja vastaanotinkäämejä. Siinä missä tällaiset NMR-keilaimet edellyttävät ylimääräisiä laitteita, päästään eroon yhden käämin käytön aiheuttamista elektronisen kytkennän hankaluuksista ja voidaan käyttää erikoisrakenteisia käämejä viritys- ja vastaanotintoimintoihin. Esimerkiksi koko kehon NMR-keilaimissa on toivottavaa tuottaa ympyräpolarisoitunut virityskenttä (B1) käyttämällä ortogonaalisesti sijaitsevia käämejä ja joita ohjaa erilliset virityssignaalit, jotka ovat 90°-vaihesiirrossa toisiinsa nähden. Tällainen virityskenttä ei ole mahdollinen yhtä käämiä käytettäessä.

On erittäin vaikeaa rakentaa suuri käämi, jolla on sekä tasainen että suuri herkkyys koko kehon NMR-keilaimessa tuotetulle NMR-signaalille. Tämän vuoksi toinen tavallisesti käytetty tekniikka on "pinta"-käämien käyttö joko synnyttämään RF-virityssignaali (B1), vastaanottamaan saatu NMR, tai sekä synnyttämään ja vastaanottamaan. Tällaiset pintakäämit ovat verrattain pieniä ja ne on

rakennettu tuottamaan haluttu kenttä tai vastaanottamaan NMR-signaali potilaan lokalisoidusta osasta. Esimerkiksi eri pintakäämejä voidaan käyttää pään ja niskan, jalkojen ja käsivarsien tai eri sisäelinten kuvaukseen. Kun pintakäämiä käytetään lähettimenä, sen tulee tuottaa tasainen, homogeeninen RF-virityskenttä koko kiinnostuksen kohteena olevalla alueella, ja kun pintakäämiä käytetään vastaanottimena, sillä tulisi olla verrattain tasainen herkkyys spin tuottamille NMR-signaaleille koko kiinnostuksen kohteena olevalla alueella.

Pintakäämirakenne, joka täyttää nämä vaatimukset, on kuvattu rinnakkaisessa US-patenttihakemuksessa 548 745, November 4, 1983, "Radio Frequency Coil For NMR". Tämä pintakäämi on tunnettu erillään olevien silmukkaelimien parista, jotka elimet on kytketty yhteen sarjalla johtavia segmenttejä, jotka sisältävät reaktiivisia komponentteja. Tämän "sylinterimäinen häkki"-pintakäämin resonanssitaajuuden määrää silmukkaelinten ja johtavien segmenttien geometria sekä reaktiivisten komponenttien koko. Lintuhäkkipintakäämi on näin ollen rakennettu toimimaan yhdellä RF-taajuudella, joka vastaa tutkittavan tai kuvattavan nimenomaisen spinin Larmor-taajuutta.

Vaikka vedessä ja rasvassa olevat vety-ytimet tuottavatkin voimakkaimmat NMR-signaalit, myös muut ytimet, kuten 19F, 13C ja 31P tuottavat hyödyllisiä signaaleja taajuuksilla, jotka poikkeavat melkoisesti vedyn taajuudesta. Fosforiytimien tuottamien NMR-signaalien analyysi voi olla erityisen paljastavaa, koska fosfori on mukana monissa metabolisissa prosesseissa ja sitä voidaan käyttää solunsisäisen pH:n tarkkailuun. Koska vetyatomeista tuleva NMR-signaali on paljon voimakkaampi, on se hallitseva spinresonanssi tuotettaessa kuvia tai paikallistettaessa potilaan aluetta, jossa NMR-signaaleja tuotetaan. Ideaalitilanteessa vetypulssisekvenssit ovat limittäin muiden ydinten, kuten 13P, spektroskooppisten pulssisek-

venssien kanssa ja vedyn NMR-signaaleja käytetään paikallistamaan alue, josta spektroskooppiset NMR-signaalit tulevat. Tällaiset limitetyt pulssisekvenssit edellyttävät RF-virityspulssien tuottamista kahdella eri taajuudella sekä NMR-signaalien vastaanottamista kahdella eri taajuudella.

Esillä oleva keksintö liittyy kahden taajuuden pintakäämiin NMR-spektroskopiasovelluksiin. Tarkemmin, esillä olevaan keksintöön kuuluu kaksi lieriöhäkkipintakäämiä, jotka ympäröivät kiinnostuksen kohteena olevaa aluetta ja jotka on rakennettu resonoimaan kahdella eri taajuudella. Näitä kahta lieriöhäkkipintakäämiä kierretään keskeisakseliensa ympäri niin, että kentät, joita ne tuottavat ja vastaanottavat ovat oleellisesti ortogonaaliset.

Keksinnön yleinen päämäärä on NMR-spektroskopiaan tarkoitettu pintakäämi, joka tuottaa tasaiset, homogeeniset RF-virityskentät kiinnostuksen kohteena olevalle alueelle kahdella Larmor-taajuudella ja joka vastaanottaa näin saatavat kaksi erillistä NMR-signaalia. Molemmat lieriöhäkkipintakäämit on muodostettu samalle pyöreälle lieriömäiselle tukielimelle ja ne ovat toistensa lomassa tuottaakseen RF-virityskenttänsä samalla kohdealueella. Kumpikin lieriöhäkkipintakäämi viritetään eri Larmor-taajuudelle niin, että toinen virittää ja vastaanottaa NMR-signaaleja yhdestä ydinlaadusta ja toinen virittää ja vastaanottaa NMR-signaaleja toisesta ydinlaadusta.

Keksinnön toinen päämäärä on minimoida kahden lieriöhäkkipintakäämin keskeiskytkentä. Tämä suoritetaan kahdella tavalla. Ensiksikin, kahta käämiä kierretään keskeisakselinsa ympäri niin, että niiden tuottamat kentät ovat oleellisesti ortogonaalisia toisiinsa nähden kohdealueella. Toiseksi, lieriöhäkkipintakäämi, joka viritetään alemmalle Larmor-taajuudelle, resonoi korkeimmassa mahdollisessa moodissaan, ja lieriöhäkkipintakäämi, joka

viritetään korkeampaan Larmor-taajuuteen, resonoi alhaisimmassa mahdollisessa moodissaan. Tämä varmistaa, että kahden käämin välistä keskeiskytkentää ei tapahdu toisella resonanssimooditaajuudella.

Edellä mainitut ja muut keksinnön päämäärät ja edut ilmenevät seuraavasta kuvauksesta. Kuvauksessa viitataan oheisiin piirroksiin, jotka muodostavat osan kuvauksesta ja joissa on havainnollistaen esitetty keksinnön ensisijainen toteutus. Tällainen toteutus ei välttämättä edusta koko keksinnön alaa ja sen vuoksi viitataan vaatimuksiin keksinnön alan tulkitsemiseksi.

Kuvio 1 on kaavamainen esitys yhdestä lieriöhäkkipintakäämistä, joka on tyypiltään esillä olevassa keksinnössä käytetyn kaltainen;

kuviot 2A ja 2B ovat sähköisiä kaavioita kuvion 1 käämistä;

kuviot 3A-3C ovat graafisia esityksiä kuvion 1 käämin toiminnasta;

kuvio 4 on kaavamainen esitys esillä olevan keksinön pintakäämin ensisijaisesta toteutuksesta;

kuvio 5 on kuva keksinnön ensisijaisesta toteutuksesta ja esittää sen rakenteen muodostuvan kahdesta erillisestä joustavasta painetusta piirilevystä, jotka on asetettu tukielimelle;

kuvio 6 on tasokuva yhdestä joustavasta painetusta piirilevystä, jota käytetään keksinnön ensisijaisessa toteutuksessa; ja

kuviot 7A ja 7B ovat graafisia esityksiä keksinnön ensisijaisen toteutuksen lieriöhäkkipintakäämien resonanssitaajuuksista.

Keksinnön ensisijainen toteutus muodostuu kahdesta erillisestä lieriöhäkkipintakäämistä, jotka ovat tyypiltään edellämainitun rinnakkaisen patenttihakemuksen 548 745 kaltaisia. Tällaisten pintakäämien rakenne ja toiminta kuvataan nyt lyhyesti, mutta tarkempaa kuvausta var-

ten viitataan rinnakkaiseen patenttihakemukseen 548 745.

Tarkastellaan erityisesti kuviota 1, jossa lieriöhäkkipintakäämi muodostuu joukosta johtavia pystysuoria segmenttejä 21, jotka sijaitsevat tasavälein ja joita yhdistävät ylempi ja alempi ympyrämäinen johtava silmukka 25 ja 26. On huomattava, että silmukoiden ei tarvitse välttämättä olla tarkalleen ympyrämäisiä, vaan ne voivat olla ellipsoideja tai jotain muuta yleistä geometristä muotoa, jossa on aukko tutkittavaa kohdetta varten. Lieriömäisen käämin sisällä olevaa aluetta kutsutaan tässä "kohdealueeksi". Kukin pystysuora johtava segmentti sisältää ainakin yhden reaktiivisen elimen 23. Tämän rakenteen lukuisat virtatiet on merkitty nuolilla.

Homogeenisen RF-virityskentän (B1) tuottamiseksi vaaditaan joukko johtavia segmenttejä 21. Nämä on jaettu johtavien silmukoiden 25 ja 26 ympärysmitat matkalle niin, että virtajakauma johtavissa segmenteissä 21 on suurinpiirtein sinimuotoinen. On rakennettu käämejä, joissa on 4, 8, 10, 16 ja 32 johtavaa segmenttiä 21. On huomattava, että johtavien segmenttien 21 ei tarvitse olla tasavälein. Segmenttien lukumäärän lisääntyessä saatava magneettikenttä syntyy monien virtateitten vaikutuksesta, jolloin yhden johtimen vaikutus vähenee. Johtimien lukumäärää ei voida kasvattaa kuitenkaan rajattomasti, koska tarvitaan avoimia tiloja vierekkäisten johtavien elinten 21 välissä mahdollistamaan kulkutie magneettivuolle. Saatavaa NMR-pintakäämiä voidaan ajatella onteloresonaattorina, joka on tehty avoimesta sylinteristä, jolla on värähtelevä magneettikenttä sylinterin keskiakselia vastaan poikittaisesti kun käämiä viritetään sinimuotoisella jännite- tai virtalähteellä. Tällä rakenteella on useita mahdollisia resonanssimoodeja, kuten myöhemmin tarkemmin kuvataan.

Kuvion 1 käämin keskitetyistä elimistä muodostettu ekvivalenttipiiri on esitetty kuviossa 2A. Tämä ekviva-

lenttipiiri on symmetrinen tikapuuverkko, joka muodostuu kuviossa 2B esitetystä piiriyksiköstä 30. Kukin piiriyksikkö 30 muodostuu induktiivisista päätyelimistä 31 ja 32, joita yhdistää induktiivisista ja kapasitiivisista elimistä 33 ja 34 muodostuva sarjapiiri. Kaksi "A":lla (kuvio 2B) merkittyä pistettä liitetään yhteen, jolloin saadaan käämin ylempi johtava silmukka 26, ja "B":llä merkityt pisteet yhdistetään, jolloin saadaan alempi johtava silmukka 25. Induktiiviset elimet 31 ja 32 edustavat induktanssia, joka liittyy kuhunkin silmukkasegmenttiin 24 pitkin ylempää ja alempaa johtavaa silmukkaa 26 ja 25. Nämä induktiiviset elimet ovat keskenään induktiivisesti kytkeytyneet. Samoin johtaviin segmentteihin 21 liittyvät induktiiviset elimet 33 ovat kaikki keskenään induktiivisesti kytkeytyneet.

Tarkastellaan kuviota 2B, jännite pisteiden E ja F välillä on vaihesiirrossa pisteiden C ja D välissä olevaan jännitteeseen nähden. Taajuudella, jolla kaikkien yksiköitten 30 kumulatiivinen vaihesiirto on 2π radiaania, tai sen monikerta, pintakäämillä on seisovan aallon resonanssi. Tässä resonanssissa, jota kutsutaan pääresonanssiksi, kussakin johtavassa segmentissä 21 olevan virran on todettu olevan suurinpiirtein verrannollinen suureeseen sinR, missä R (kuvio 1) on johtavan segmentin 21 napakulma mitattuna esimerkiksi Y-akselista. Tällainen sinimuotoinen virtajakauma tuottaa yhä homogeenisemman poikittaisen kentän kun johtavien segmenttien 21 lukumäärää lisätään.

Kuvion 2A keskitetyistä elimistä muodostetun ekvivalenttipiirin käämikonfiguraatiolla voi myös olla korkeampia resonansseja, jotka tuottavat korkeamman asteen poikittaiskenttäjakaumia. Korkeampien resonanssien taajuuksia viritetään käyttämällä sopivia korkeamman taajuuden virityslähteitä. Näitä resonansseja kutsutaan toissijaisiksi resonansseiksi. Esimerkiksi, kun verkon ympäri

kumulatiivinen vaihesiirto on 4π radiaania, johtavissa segmenteissä 21 olevat virrat ovat jakautuneet tekijän sin2R mukaan. Tällä resonanssilla RF-virityskentän X- ja Y-komponenteilla on suurinpiirtein lineaarinen gradientti X- j Y-akseleita pitkin nollakohtien ollessa pintakäämin keskellä.

Jos pintakäämiä ohjataan tuomalla tehoa RF-vahvistimesta (ei kuviossa) yhdestä pisteestä, kuten kuvion 1 liittimien 27 ja 28 välistä, nuolien osoittaessa virtojen suunnan. Näiden virtojen sinimuotoista luonnetta tarkastellaan nyt yksityiskohtaisemmin. Tarkastellaan kuviota 3A, jossa on esitetty kuvion 1 käämi ylhäältä päin. Käämi herätetään pisteissä 27 ja 28, jotka ovat segmentissä, jolle on mielivaltaisesti annettu paikka 0°. Tällä tavoin herätetyssä käämissä suureeseen cosR verrannollinen maksimivirta kulkee paikassa R=0° olevassa segmentissä suuntaan, joka on ulos paperin tasosta, kuten ympyröidyllä piste esittää. Pienemmät virrat (verrannolliset cosR:ään, missä R=45° ja 315°) kulkevat samaan suuntaan segmenteissä, jotka ovat kohdassa R=0° olevan segmentin vieressä. Vastaavan suuruiset virrat kulkevat vastakkaiseen suuntaan (paperiin, kuten ympyröity risti osoittaa) segmenteissä, jotka sijaitsevat kohdissa R=180°, 135° ja 225°. Virran voimakkuus johtavissa segmenteissä on esitetty graafisesti kuviossa 3B, jossa vaaka-akselilla on paikkakulma R ja pystyakselilla virran voimakkuus. Paperista poispäin kulkevat virrat (45°, 0°, 315°) ovat mielivaltaisesti merkitty arvoltaan positiivisiksi ja paperiin kulkevat virrat (135°, 180°, 225°) ovat negatiivisia. Pääresonanssimoodissa kohdissa R=90° ja R=270° olevat segmentit eivät kuljeta lainkaan virtaa ja käytännössä ne voidaan poistaa tai korvata oikosuluilla.

Virran suunta ylemmässä johtavassa silmukassa 26 (kuvio 3A) on esitetty nuolilla 50, joiden keskinäiset koot ilmaisevat likimääräisiä suuruuksia. Tarkemmin sil-

mukkavirtajakauma on esitetty graafisesti kuviossa 3C, jossa on esitetty kulmapaikka ja virran suuruus vastaavasti vaaka- ja pystyakselilla, ja jossa myötäpäiväiselle virran suunnalle on mielivaltaisesti annettu positiivinen arvo. Silmukkavirrat ovat jakautuneet askelmaisesti. Näin ollen välillä 45°-90° ja 315°- olevat virrat ovat suurempia kuin väleillä 0°-45° ja 0°-315° olevat, koska ensiksi mainittuihin sisältyvät kohdissa 45° ja 315° olevien segmenttien antamat virrat.

On useita tapoja, joilla NMR-pintakäämi voidaan toteuttaa in vivo - tutkimuksia varten. Ensisijaisessa toteutuksessa johtavat elimet (esim. 21, 25 ja 26 kuviossa 1) valmistetaan leveistä arkeista johtavaa foliota, jotta minimoitaisiin niiden itseinduktanssi. Ylemmän ja alemman johtavan silmukan 25 ja 26 välisen etäisyyden tulisi olla yksi tai enemmän kertaa käämin halkaisija ja silmukoissa 25 ja 26 olevien virtojen aiheuttamien kentän epähomogeenisuuden pienentämiseksi.

Jos käämin halutaan resonoivan yhdellä ennalta määrätyllä taajuudella, on mahdollista rakentaa kuvion 1 kaltainen käämi käyttämällä ainoastaan kiinteitä kondensaattoreita. On kuitenkin käytännöllisempää ottaa mukaan joitain säädettäviä elimiä resonanssitaajuuden hienovirittämiseksi. Minimivaatimus viritykselle on sijoittaa säädettävä virityskondensaattori kumpaankin kahdesta johtavasta elimestä 21. Pienet kapasitanssissa esiintyvät häiriöt näissä pisteissä eivät suuresti häiritse kentän homogeenisuutta. Kun halutaan resonanssitaajuuden suurempaa säätöä, on parasta virittää kaikki kondensaattorit samanaikaisesti tai muuttaa käämikokoonpanon efektiivistä induktanssia. Induktanssiin saadaan pientä vaihtelua vaihtelemalla johtavien folioelimien leveyttä. Suurempiin induktanssimuutoksiin päästään vaihtelemalla kahden johtavan silmukan 25 ja 26 välimatkaa.

Esillä oleva keksintö käyttää kahta kuviossa 1

esitetyn tyyppistä lieriöhäkkipintakäämiä. Kaksi tällaista pintakäämiä 40 ja 41 on esitetty kaavamaisesti kuviossa 4, jossa toinen on esitetty kiinteillä viivoilla ja toinen katkoviivoilla. Käämit 40 ja 41 on sähköisesti eristetty toisistaan vaikka ne täyttävätkin saman tilan ja ympäröivät samaa ympyräsylinterimäistä kohdealuetta 42 ja samaa keskiakselia 43. Kuten kuviossa 5 on esitetty, käämit 40 ja 41 on valmistettu etsaamallla kaksi yhdeltä puolelta kuparipäällysteistä joustavaa teflonhartsista olevaa painettua piirilevyä 44 ja 45. Nämä kaksi etsattua piirilevyä 44 ja 45 kiinnitetään sitten putkimaiseen tukielimeen 46, joka on akryyliä ja jonka halkaisija on 7 tuumaa. Näin ollen kumpikin piirilevy 44 ja 45 ympäröi tukielimen yhtä puoliskoa ja muodostaa 180° käämin sähköisestä rakenteesta.

Tarkastellaan erityisesti kuviota 6, jossa on esitetty johtava kuvio, joka muodostaa käämit 40 ja 41 piirilevyllä 44 ja 45. Lieriöhäkkipinakäämi 41 viritetään resonoimaan taajuudella 63.86 MHz, joka on vedyn Larmor-taajuus NMR-keilaimessa, jossa pintakäämiä käytetään. Käämiin 41 kuuluu erillään olevien päätysegmenttien 50 ja 51 pari, joka kiertyy sylinterimäisen tukielimen 46 ympäri ja viisi samansuuntaista johtavaa segmenttiä 52-56, jotka yhdistävät päätysegmenttejä 50 ja 51 ja jotka kulkevat tukielimen 46 pituussuunnassa. Kuhunkin johtavaan segmenttiin 52-56 kuuluu neljä sarjaan kytkettyä kondensaattoria, joilla on nimellisarvot 51pf, 160pf, 150pf ja 250pf. Johtava segmentti 54 on hieman erilainen kuin muut, koska sitä käytetään kytkemään signaali käämiin ja käämistä 41 koaksiaalikaapelin 61 kautta. Tämä johtava segmentti 54 ei ole suoraan kytketty päätysegmentteihin 50 ja 51 vaan on sen sijaan kytketty 120pf:n kondensaattorien 62 kautta päätysegmenttiin 51 ja 180pf:n kondensaattorien 63 kautta toiseen päätysegmenttiin 50. 30pf:n kondensaattori 64 ylittää päätysegmentissä 50 ole-

van katkoksen ja signaali tuodaan ja ilmaistaan katkoksen yli.

Lieriöhäkkipintakäämi 40 on viritetty resonoimaan taajuudella 25.86 MHz, joka on 31-fosforin Larmor-taajuus. Käämiin 40 kuuluu erillään olevien segmenttien 70 ja 71 pari, joka kiertyy sylinterimäisen tukielimen 46 ympärille. Päätysegmentit 70 ja 71 ovat kytketty yhteen viidellä rinnakkaisella johtavalla segmentillä 72-76, jotka kulkevat sylinterimäisen tukielimen 46 pituussuunnassa. Johtavan segmentin 76 yläosa kytkeytyy päätysegmenttin 71 200 pf:n kondensaattoriparin 70 kautta ja segmentin 70 alapäähän 400pf:n kondensaattoriparin 79 kautta. 30pf:n kondensaattori 80 on kytketty alemmassa päätysegmentissä 70 olevan raon yli ja kaapeliin 77 menevä signaali synnytetään raon yli.

Käämin 40 päätysegmentit 70 ja 71 ylittävät käämin 41 johtavat segmentit 52, 53, 55 ja 56. Käämit 40 ja 41 ovat sähköisesti eristetty toisistaan ja neljässä ylityskohdassa johtavasta foliosta tehty yhdysjohto ylittää johtavat segmentit 52 ja 56 ja on eristetty segmenteistä piendielektrisellä, suuren läpilyöntijännitteen materiaalilla, kuten 3M-yhtiön tavaramerkillä "Kapton" myymä materiaali. Lopuissa neljässä ylityskohdassa ovat 400pf:n kondensaattorit 98, jotka myöskin ovat eristetty johtavista segmenteistä 53 ja 55.

Kuvion 6 käämikuviot yhdistetään toisesa painetussa piirilevyssä olevien samanlaisten käämikuvioiden kanssa, jolloin muodostuu kaksi häkkikäämiä 40 ja 41 sylinterimäisen tukielimen 46 ympärille. Koaksiaalikaapeliliitäntöjä ei tehdä toiselle painetulle piirilevylle, mutta muutoin levy on samanlainen. Käämirakenteen 41 kahden osan välillä ei tarvita liitäntöjä, mutta kummallakin painetulla piirilevyllä 44 ja 45 olevat käämirakenteet 40 juotetaan yhteen pisteissä 90-93, jolloin sähköinen kytkentä saadaan valmiiksi. Vaikka käämit 40 ja 41 ovatkin erilai-

sia kooltaan ja ulkonäöltään, periaatteessa ne toimivat samalla tavoin mutta eri taajuuksilla.

On huomattava, että käämit 40 ja 41 on muodostettu niin, että niitä on kierretty 90 astetta toisiinsa nähden. Tämä näkyy selvimmin 90 asteen etäisyydestä pisteiden välillä, joihin koaksiaalikaapelit 61 ja 71 kytkeytyvät. Tämä takaa, että kummankin käämin 40 ja 41 resonanssitaajuudella niiden magneettikentät kohdealueella 42 ovat ortogonaaliset toisiinsa nähden. Tämä pienentää käämien 40 ja 41 välistä ristikytkentää.

Kuten edellä on mainittu, lieriöhäkkipintakäämillä on useita eri moodeja, jossa se voi resonoida. Näin ollen, vaikka ensisijaisen toteutuksen pintakäämit 40 ja 41 ovatkin suunniteltu resonoimaan taajuuksilla 25.86 MHz ja 63.86 MHz, ne voivat itseasiassa resonoida myös muilla taajuuksilla. Esillä olevan keksinnön opetus on, että lieriöhäkkipintakäämit tulee suunnitella siten, että niiden välillä ei ole kytkentää sen vuoksi, että yhden käämin joku resonanssitaajuus on oleellisesti sama kuin toisen käämin joku resonanssitaajuus.

Lieriöhäkkipintakäämin 40 vaste taajuuden funktiona on esitetty kuviossa 7A. Haluttu resonanssipiikki 100 on taajuudella 25.86 MHz ja kaksi muuta resonanssitaajuutta on merkitty piikeillä 101 ja 102. Resonanssia ei esiinny halutun resonanssipiikin 100 yläpuolella ja pintakäämiä 40 kutsutaan tässä ylipäästölieriöhäkkipintakäämiksi, koska sen korkein resonanssitaajuus on viritetty halutulle resonanssitaajuudelle.

Toisaalta, lieriöhäkkipintakäämin 41 vaste taajuuden funktiona on esitetty kuviossa 7B. Haluttu resonanssipiikki 103 taajuudella 63.87 MHz on alhaisin taajuus, jolla resonanssia voi esiintyä. Muut piikit, kuten piikki 104, esiintyvät korkeammilla taajuuksilla, ja lieriöhäkkipintakäämiä 41 kutsutaan tässä alipäästölieriöhäkkipintakäämiksi. Näin ollen on ilmeistä, että käyttämällä ali-

päästöpintakäämiä resonoimaan alemmalla kahdesta Larmor-taajuudesta ja ylipäästöpintakäämiä resonoimaan korkeammalla Larmor-taajuuudella, lieriöhäkkipintakäämien muut resonanssit eivät voi yhtyä ja aiheuttaa käämien välistä kytkentää.

Patenttivaatimukset

1. Kaksitaajuinen NMR-radiotaajuuskäämi, t u n n e t t u

ensimmäisestä lieriöhäkkikäämistä, joka muodostuu johtavien silmukkaelimien muodostamasta ensimmäisestä parista, kun silmukkaelimet on sijoitettu erilleen keskiakselia pitkin, ja joukosta ensimmäisiä johtavia segmenttejä, jotka sähköisesti yhdistävät ensimmäisiä johtavia silmukkaelimiä kohdissa, jotka sijaitsevat erillään pitkin kummankin ensimmäisen johtavan silmukkaelimen kehää, kun ensimmäisiin johtaviin segmentteihin kuuluu reaktiivisia elimiä, joilla on arvot, jotka saavat ensimmäisen lieriöhäkkikäämin resonoimaan alemmalla RF-taajuudella; ja

toisesta lieriöhäkkikäämistä, joka muodostuu johtavien silmukkaelinten muodostamasta toisesta parista, kun silmukkaelimet on sijoitettu erilleen keskiakselia pitkin, ja joukosta toisia johtavia segmenttejä, jotka sähköisesti yhdistävät toisia johtavia silmukkaelimiä kohdissa, jotka sijaitsevat erillään pitkin kummankin toisen johtavan silmukkaelimen kehää, kun toisiin johtaviin segmentteihin kuuluu reaktiivisia elimiä, joilla on arvot, jotka saavat toisen lieriöhäkkikäämin resonoimaan ylemmällä RF-taajuudella.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen NMR-radiotaajuuskäämi, t u n n e t t u siitä, että ensimmäinen ja toinen lieriöhäkkikäämi ympäröivät keskiakselin suuntaista yhteistä kohdealuetta.

3. Patenttivaatimuksen 2 mukainen NMR-radiotaajuuskäämi, t u n n e t t u siitä, että ensimmäinen ja toinen lieriöhäkkikäämi sijaitsevat toisiinsa nähden keskiakselin ympärillä niin, että niiden kohdealueella tuottamat magneettikentät ovat ortogonaalisia toisiinsa nähden.

4. Patenttivaatimuksen 2 tai 3 mukainen NMR-radiotaajuuskäämi, t u n n e t t u siitä, että ensimmäinen lieriöhäkkikäämi on ylipäästölieriöhäkkikäämi ja toinen lieriöhäkkikäämi on alipäästölieriöhäkkikäämi.

5. Patenttivaatimuksen 1 mukainen NMR-radiotaajuuskäämi, t u n n e t t u siitä, että alempi RF-taajuus on fosforin Larmor-taajuus ja ylempi RF-taajuus on vedyn Larmor-taajuus.

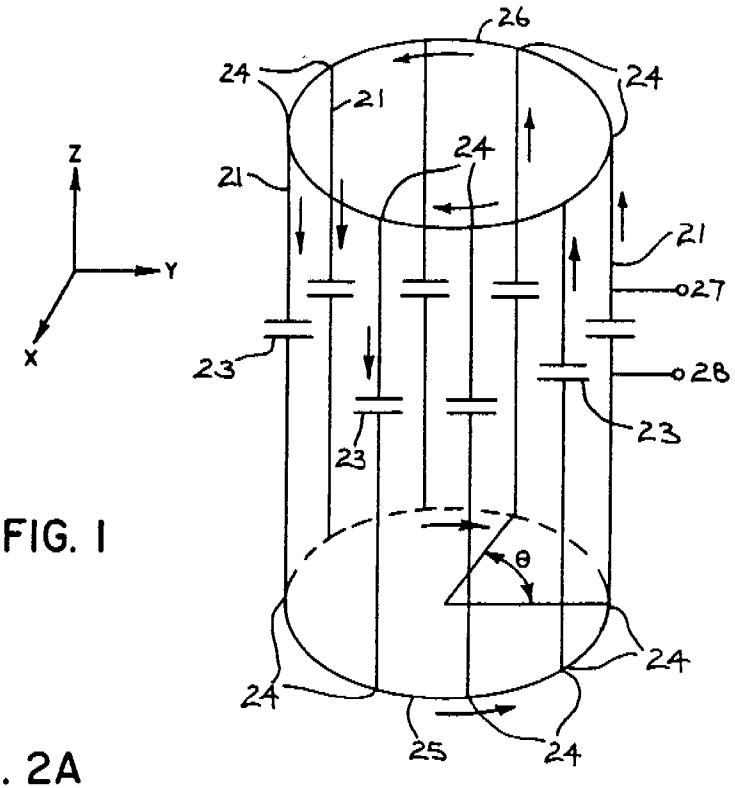
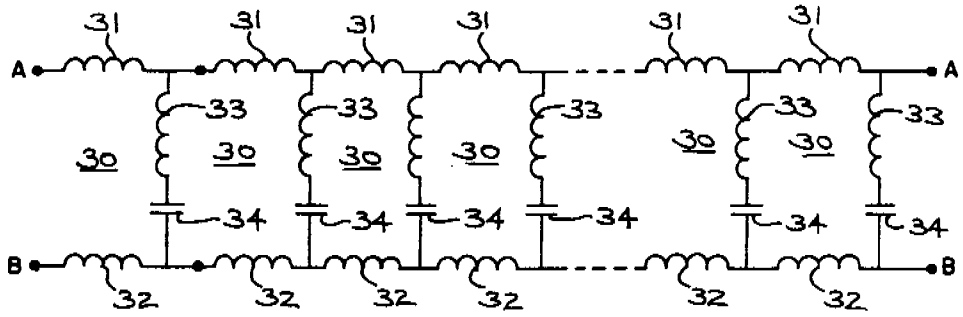


FIG. 1

FIG. 2A



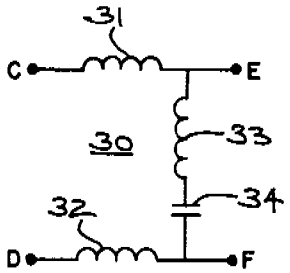


FIG. 2B

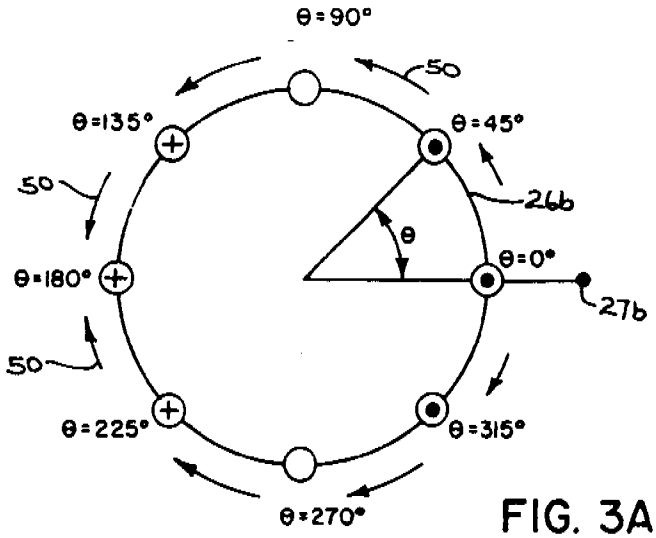


FIG. 3A

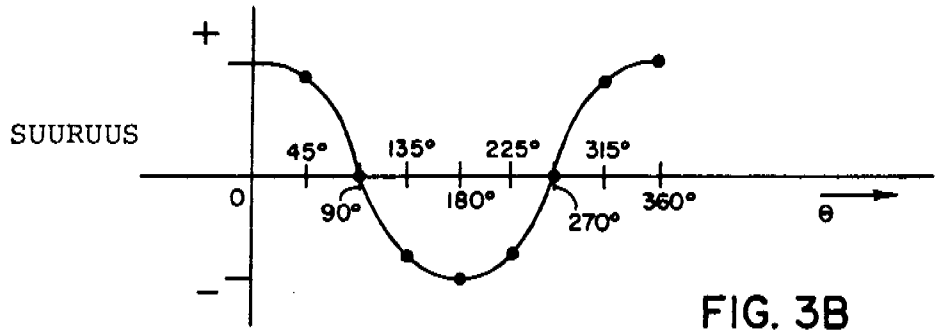


FIG. 3B

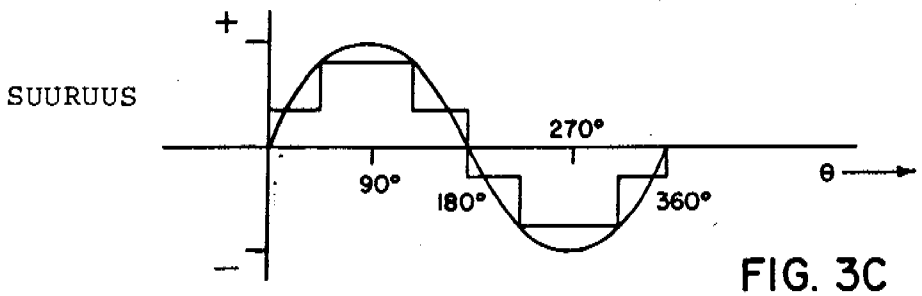


FIG. 3C

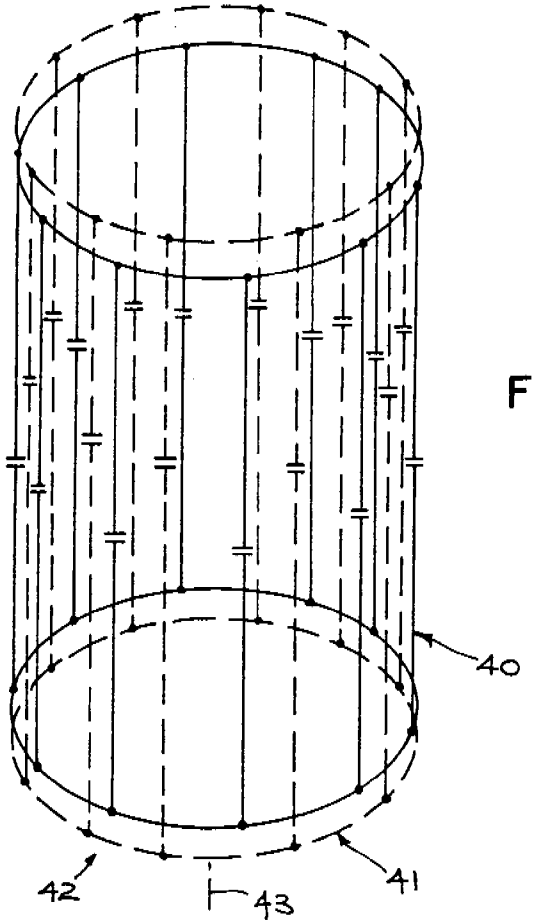


FIG. 4

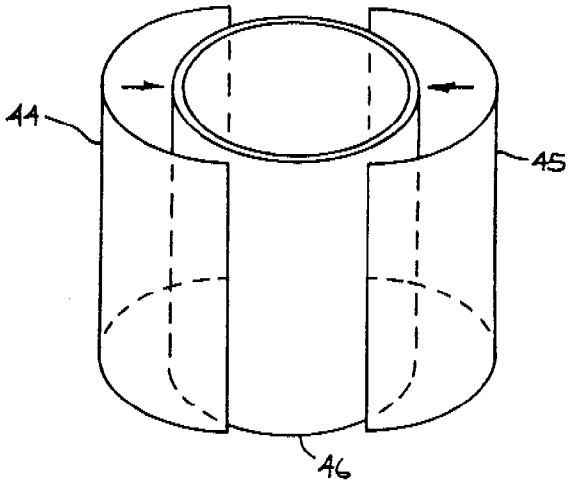


FIG. 5

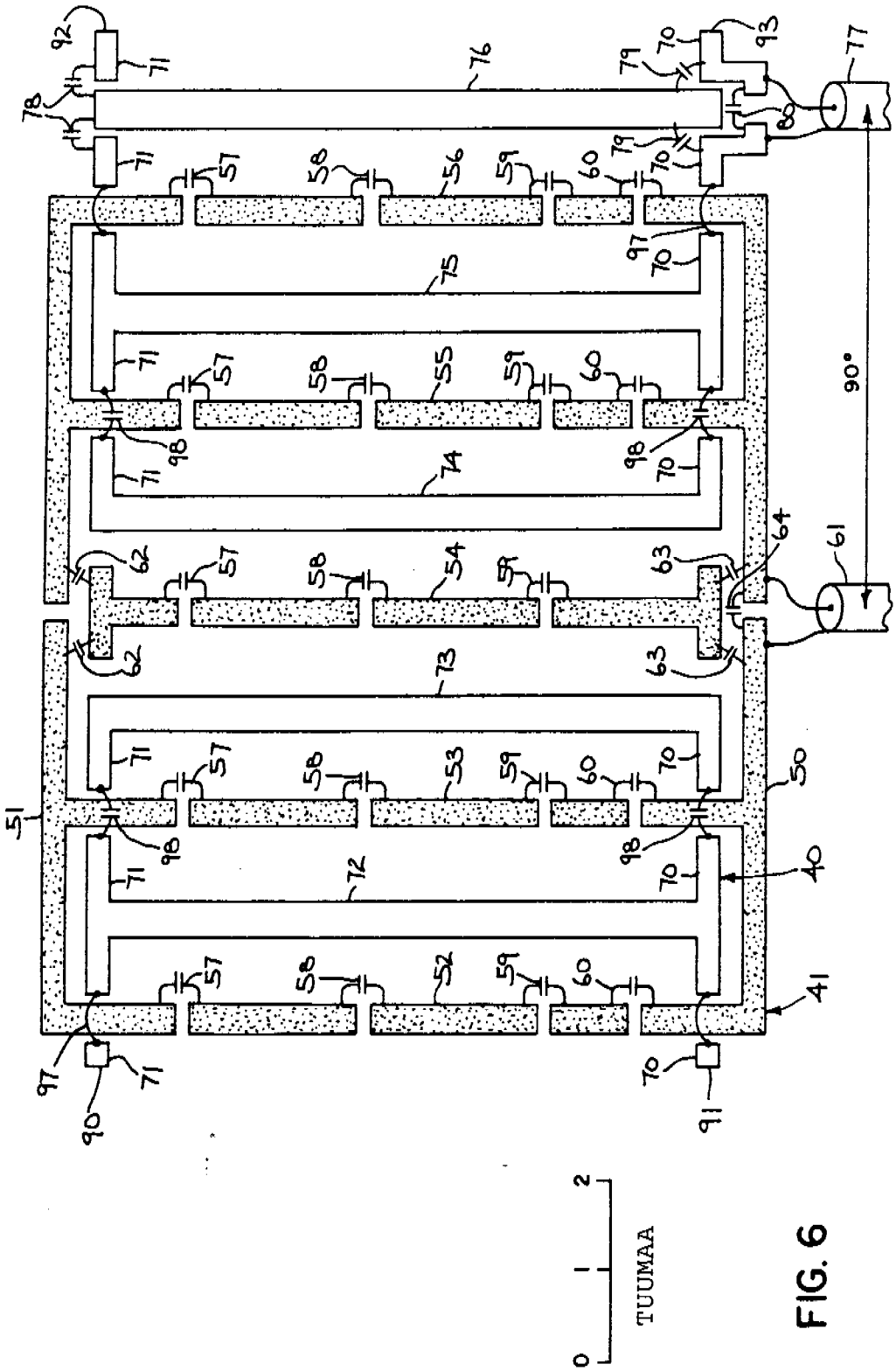


FIG. 6

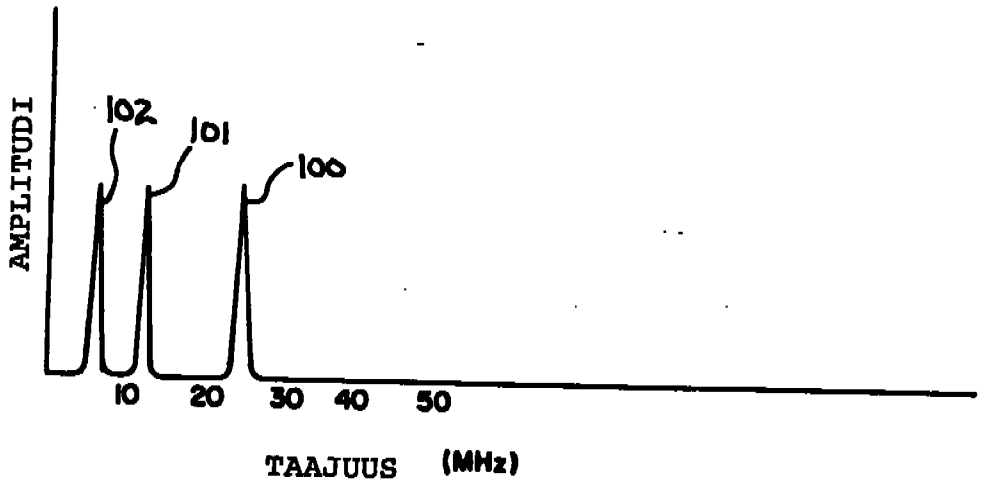

AMPLITUDI
102
101
100
10
20
30
40
50
TAAJUUS (MHz)

FIG. 7A

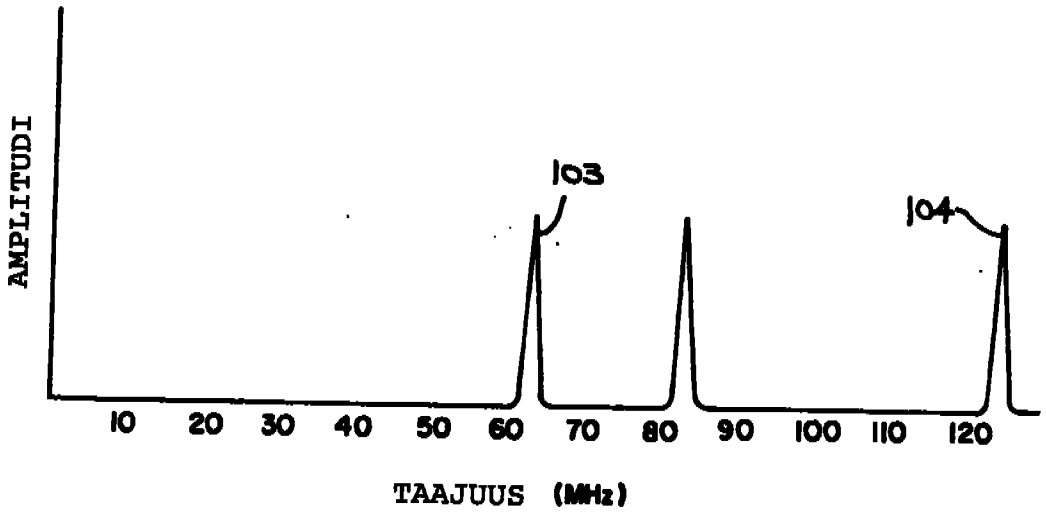

AMPLITUDI
103
104
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
TAAJUUS (MHz)

FIG. 7B

PATENTTI-JA REKISTERIHALLITUS
PATENTTIOSASTO

TUTKIMUSRAPORTTI

PATENTTIHAK.NRO	LUOKKA	TUTKIJA	TUTKIMUSTUL. SAATU
882859	G01N 24/08	JTH	EP: x, US: x

TUTKITUT LUOKAT	TUTKITUT MAAT FI SE NO DK CH DE WO EP GB US	TUTK. KESK. *)
G01N 24/08	x x x x x x x x	
G01N 24/06	x x x x x x x x	
G01R 33/34	x x x x x x x x	

PATENTTIVIRASTOJEN JULKAISUT	LUOKKA	HUOM!
1) EP-A2-177'855	G01N 24/06	
2) EP-A-151'745	H01F 7/20	
3) EP-A1-166'953	G01N 24/04	
4)		
5)		
6)		
7)		
8)		
9)		

*) TUTKIMUS KESKEYTETTY ESTEEN LÖYTYMISEN TAKIA

KÄÄNNÄ!

PATENTTIVIRASTOJEN JULKAISUT	LUOKKA	HUOM!
10)		
11)		
12)		
13)		
14)		
15)		
16)		
17)		
18)		
19)		

MUITA JULKAISUJA / ON-LINE TUTKIMUS, JOS TEHTY (TIETOKANTA, HAKUSANAT YM.)

HELSINKI 13.8.-92
PÄIVÄYS

ALLEKIRJOITUS