



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2013 226 170.5**  
(22) Anmeldetag: **17.12.2013**  
(43) Offenlegungstag: **18.06.2015**

(51) Int Cl.: **G01R 33/32 (2006.01)**  
**G01R 33/565 (2006.01)**  
**A61B 5/055 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**Siemens Aktiengesellschaft, 80333 München, DE**

(72) Erfinder:  
**Nistler, Jürgen, 91056 Erlangen, DE; Eberler,  
Ludwig, 92318 Neumarkt, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

**DE 102 54 660 B4**  
**DE 10 2008 063 630 A1**  
**DE 10 2011 084 072 A1**  
**US 2008 / 0 258 728 A1**

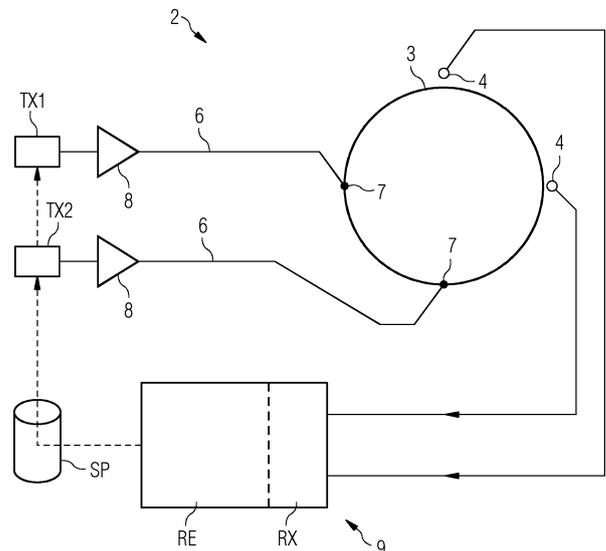
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur räumlichen Homogenisierung der Feldstärke von Hochfrequenzpulsen einer Sendeantenne eines Magnetresonanztomographiegerätes**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur räumlichen Homogenisierung der Feldstärke von Spannungen ( $U_{tx-ist}$ ) von Hochfrequenzpulsen einer Anzahl von HF-Sendern (TX1, TX2), welche bei einer Magnetresonanz-Messung eines zu untersuchenden Objektes von einer Sendeantenne (3) einer Magnetresonanz-Messeinrichtung (1, 2) ausgesendet werden, wobei a) die durch das elektromagnetische Feld der Antenne (3) induzierten gemessenen komplexen Spannungen ( $U_{pu-ist}$ ) einer Mehrzahl von Feldsonden (4), die in der Nähe der Antenne (3) angeordnet sind, jeweils passend phasenverschoben überlagert werden und über eine komplexe Übertragungsfunktion (M) für die Ermittlung der neuen gewünschten homogenisierten Spannungen ( $U_{tx-soll}$ ) der Hochfrequenzpulse der Antenne (3) herangezogen wird, und/oder

b) Ausgangssignale mindestens zweier Richtkoppler (5) auf den HF-Speiseleitungen (6) der Antenne (3) jeweils passend phasenverschoben überlagert werden und damit komplexe Impedanzen ( $Z_{-ist}$ ) bzw. Streuparameter einer komplexen Streumatrix (S1) der Antenne (3) ermittelt werden, die für die Ermittlung der neuen gewünschten homogenisierten Spannungen ( $U_{tx-soll}$ ) der Hochfrequenzpulse der Antenne (3) herangezogen werden.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur räumlichen Homogenisierung der Feldstärke von Hochfrequenzpulsen einer Sendeantenne eines Magnetresonanztomographiegerätes (MRT).

**[0002]** Weiterhin betrifft die Erfindung ein Magnetresonanztomographiegerät (MRT) mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur räumlichen Homogenisierung der Feldstärke von Hochfrequenzpulsen einer Sendeantenne.

**[0003]** Bei MRT-Systemen mit höheren Grundfeldstärken  $B_0 \geq 3$  Tesla ist die unerwünschte Inhomogenität des B1-HF-Feldes ein bekanntes Problem, welche durch die Wechselwirkung des menschlichen Gewebes mit den HF-Sendefeldern der Sendeantennen bewirkt wird, wodurch eine räumliche Variation der Feldverteilung entsteht. Darunter fallen auch Phänomene wie z.B. die „dielektrische Resonanz“, die zu Feldanhebungen im Untersuchungsobjekt führen können.

**[0004]** Die räumliche Variation der HF-Felder führt bei MRT-Bildgebungssequenzen zu unterschiedlichen Flipwinkeln bei der Anregung und damit zu einer Signal- und Kontrastvariation in den aufgenommenen Bildern.

**[0005]** Selbst bei nominal gleichen Anregungen (z.B. dem unten erläuterten CP-Mode) ergeben sich immer wieder unterschiedliche Feldverteilungen in den Patienten. Eine wichtige Ursache hierzu ist neben der Wechselwirkung des Patienten mit den Feldern, auch die Wechselwirkung bzw. Rückwirkung des Patienten mit der Antenne, die sich durch geänderte Eingangsimpedanzen und Verkopplungen der Antennen bemerkbar macht. Sind z.B. die Eingangsimpedanzen der Antenne bei Belastung mit dem Patienten unterschiedlich, so wird ein von außen angelegtes Signal gleicher Amplitude zu Feldern unterschiedlicher Amplitude führen.

**[0006]** Damit können sich neben den Feldverzerrungen auch Auswirkungen auf die Verteilung der spezifischen Absorptionsrate elektromagnetischer Energie in Gewebe (SAR) ergeben, falls die Anregung nicht mehr der gewünschten Anregung, d.h. der komplexen HF-Spannungen der an die Sendeantenne (n) abgegebenen HF-Anregungspulssequenzen, entspricht.

**[0007]** Der Grad der Rückwirkung des Patienten auf die Antenne hängt von Patientengröße, Gewicht, Gewebezusammensetzung (Anteil Muskel oder Fett) und der Patientenposition relativ zur Antenne ab.

**[0008]** Beispielsweise ist die Standard-Anregung die zirkularpolarisierte Anregung (CP-Mode), die bei einem 2-Kanal-System dadurch definiert ist, dass die Amplitude der beiden Sendekanäle gleichen Betrag und 90°-Phasendifferenz hat. Auf der Sendeantenne heißt das, dass sich am Umfang gleiche Ströme auf den Stäben einstellen. In Realität werden durch die Rückwirkungen auf die Eingangs-Impedanzen Variationen in den Stabströmen beobachtet, die einen Faktor 2 zwischen maximalem und minimalem Strom zeigen. Damit unterscheidet sich die einstellende Feldverteilung deutlich vom gewünschten CP-Mode.

**[0009]** Eine bekannte Lösung dieses Problems nach dem Stand der Technik liegt in der Verwendung von Mehrkanal-Sendesystemen. Dabei stehen mehrere (mindestens zwei) Sendekanäle mit unterschiedlichen Feldverteilungen zur Verfügung. Diese Sendekanäle können dann so überlagert werden, dass die Feldinhomogenität reduziert wird. Dazu sind sogenannten „PreScan“-Messungen vor der eigentlichen Untersuchung des Patienten nötig, mit denen die Feldverteilung in Anwesenheit des Patienten zuerst als sogenannte „B1-Map“ (B1-HF-Feldverteilungskarte) gemessen wird. Mit den so gewonnenen Feldverteilungen werden dann Ansteuerparameter für die Sendekanäle bestimmt, wodurch z.B. die Feldhomogenität verbessert wird. Für eine echte Kompensation der Feldinhomogenitäten sind jedoch zwei Kanäle nicht immer ausreichend.

**[0010]** Die DE 10254660 B4 offenbart ein Verfahren und eine Vorrichtung zur zeitlichen Korrektur der Feldstärke von Hochfrequenzpulsen, welche bei einer Magnetresonanz-Messung von einer zirkular polarisierenden Birdcage-Antenne einer Magnetresonanz-Messeinrichtung ausgesendet werden, wobei der in der Antenne beim Aussenden der Hochfrequenzpulse fließende Strom mit Hilfe eines Rückführungssignals durch Variation einer in die Antenne eingespeisten Leistung auf einen vorgegebenen Sollwert geregelt wird. Zur Bildung des Rückführungssignals werden Ausgangssignale zweier in der Nähe der Antenne zueinander im Winkel angeordneten Feldsonden oder alternativ Ausgangssignale zweier Richtkoppler auf den Speiseleitungen der Antenne passend phasenverschoben überlagert. Nachteil ist hier, dass eine sehr aufwändige Regelungsschaltung nötig ist, welche ständig während der Untersuchung des Objektes bzw. des Patienten den Antennenstrom und damit die Feldstärke auf einen konstanten Wert regelt, was zu hohen Entwicklungs-, Herstellungs-, Wartungs-, Reparatur- und Betriebskosten führt und die Untersuchungszeit sowie die Belastung für einen Patienten verlängert.

**[0011]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur räumlichen Homogenisierung der Feldstärke von Hochfrequenzpulsen einer Sendeantenne eines MRT derart wei-

ter zu bilden, dass eine Prescan-Messung vor der eigentlichen Untersuchung des Objektes (z.B. Patienten) sehr einfach, schnell und mit hoher Qualität der räumlichen Homogenisierung erfolgen kann.

**[0012]** Zur Lösung der gestellten Aufgabe dienen die Merkmale der unabhängigen Patentansprüche.

**[0013]** Für Mehrkanalsysteme gilt:

Die Rückwirkung des Patienten auf die Eingangsimpedanz und Verkopplung der Antennen bzw. deren Teilsysteme wird gemessen und bei der Ansteuerung, d.h. Anregung (komplexe HF-Spannungspulssequenzen) berücksichtigt.

**[0014]** Diese Maßnahme zielt darauf ab, die Rückwirkung des Patienten auf die Antenne zu kompensieren und damit durch eine berechnete Anregung der Antennen mit möglichst hoher Genauigkeit/Toleranz bzw. geringer Abweichung die gewünschte Feldverteilung zu erreichen.

**[0015]** Die Erfindung beansprucht ein Verfahren zur räumlichen Homogenisierung der Feldstärke von Spannungen von Hochfrequenzpulsen einer Anzahl (mindestens ein HF-Sender) oder Mehrzahl (mindestens zwei HF-Sender) von HF-Sendern, welche bei einer Magnetresonanz-Messung eines zu untersuchenden Objektes (z.B. Patienten) von einer Sendeanenne (die ggfs. zusätzlich auch als Empfangsantenne betreibbar ist), insbesondere einer zirkular oder elliptisch polarisierenden Antenne, insbesondere Birdcage-Antenne, einer Magnetresonanz-Messeinrichtung ausgesendet werden, wobei vorab in einer Testmessung Test-Hochfrequenzpulse ausgesendet werden und wobei

a) die durch das elektromagnetische Feld der Antenne bei der Testmessung induzierten gemessenen komplexen Spannungen einer Mehrzahl von Feldsonden, die in der Nähe der Antenne um einen festgelegten Winkel, insbesondere  $90^\circ$ , versetzt zueinander angeordnet sind, jeweils passend zu dem festgelegten Winkel phasenverschoben überlagert werden und auf Basis eines Verhältnisses der gemessenen komplexen Spannungen der Feldsonden zu den komplexen Spannungen der Test-Hochfrequenzpulse eine komplexe Übertragungsfunktion, d.h. das Verhältnis der gemessenen komplexen Spannungen der Feldsonden zu den komplexen Spannungen der Hochfrequenzpulse, ermittelt wird, welche für die Ermittlung der neuen gewünschten homogenisierten Spannungen der Hochfrequenzpulse der Antenne bei einer späteren Messung herangezogen wird, und/oder

b) Ausgangssignale einer Mehrzahl von Richtkopplern auf den HF-Speiseleitungen der Antenne bei der Testmessung jeweils passend phasenverschoben überlagert werden und damit komplexe Eingangsimpedanzen bzw. Streuparameter einer

komplexen Streumatrix der Antenne ermittelt werden, die für die Ermittlung der neuen gewünschten homogenisierten Spannungen der Hochfrequenzpulse der Antenne bei einer späteren Messung herangezogen werden.

**[0016]** Vorteile des Verfahrens sind:

Die notwendigen Test-Messgrößen können sehr schnell bestimmt werden oder liegen zum Teil auch bei heutigen MRT-Systemen schon im Rahmen der gesetzlich geforderten SAR-Überwachung (spezifische Absorptionsrate in biologischem Gewebe) z.B. als Messwerte in W/kg Körpergewicht vor.

**[0017]** Die Kompensation berücksichtigt Betrag und Phasen der Eingangsimpedanzen, damit eingeschlossen sind auch Frequenzverschiebungen.

**[0018]** Die erzielten Feldverteilungen sind reproduzierbar. Einflüsse der Antennenabstimmung und des Patienten werden reduziert.

**[0019]** Es sind keine langwierigen B1-Map-Messungen nötig, was zu Problemen von zusätzlichen Messzeiten, Ungenauigkeiten und Artefakten wegen B0-Magnetfeld oder Patientenatem führen würde.

**[0020]** Die SAR-Werte und lokale SAR-Werte entsprechen eher den Erwartungen. Die Belastung von Bauteilen, z.B. für Lokalspulen, ist damit besser vorhersehbar und definierter. Die Gefahr von Überlastungen der Körper- und Lokalspulen ist damit reduziert.

**[0021]** Mit dieser Methode erreicht man insgesamt sehr schnell eine Anregung, die auf unterschiedlichen Systemen gleiche Anregungsmuster ergeben.

**[0022]** Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur räumlichen Homogenisierung der Feldstärke von Spannungen von Hochfrequenzpulsen einer Anzahl (mindestens ein HF-Sender) oder Mehrzahl (mindestens zwei HF-Sender) von HF-Sendern in einer Magnetresonanz-Messeinrichtung benötigt eine Testsignal-Messeinrichtung mit einer Mehrzahl von Feldsonden, die in der Nähe der Antenne versetzt um den gleichen Winkelbetrag insbesondere  $90^\circ$  zueinander angeordnet sind, sowie eine Rechneinrichtung, welche so aufgebaut ist, dass die durch das elektromagnetische Feld der Antenne induzierten gemessenen komplexen Spannungen  $U_{pu}$  ist einer Mehrzahl von Feldsonden, die in der Nähe der Antenne angeordnet sind, jeweils passend phasenverschoben überlagert werden und über eine komplexe Übertragungsfunktion (d.h. ein Verhältnis der gemessenen komplexen Spannungen  $U_{pu}$  ist der Feldsonden zu den komplexen Spannungen  $U_{tx}$  ist der Hochfrequenzpulse) für die Ermittlung der neuen gewünschten homogenisierten Spannungen  $U_{tx}$  soll der Hochfrequenzpulse der Antenne herangezogen wird. Al-

ternativ oder zusätzlich kann die Vorrichtung zur räumlichen Homogenisierung der Feldstärke auch eine Testsignal-Messeinrichtung mit einer Mehrzahl von Richtkopplern auf den HF-Speiseleitungen der Antenne aufweisen. In diesem Fall benötigt sie eine Recheneinheit welche so aufgebaut ist, dass Ausgangssignale einer Mehrzahl von Richtkopplern auf den HF-Speiseleitungen der Antenne jeweils passend phasenverschoben überlagert werden und damit komplexe Impedanzen bzw. Streuparameter einer komplexen Streumatrix der Antenne ermittelt werden, die für die Ermittlung der neuen gewünschten homogenisierten Spannungen  $U_{tx-soll}$  der Hochfrequenzpulse der Antenne herangezogen werden.

**[0023]** Ein erfindungsgemäßes Magnetresonanztomographiegerät benötigt neben den üblichen bekannten Komponenten wie z.B. einem Grundmagnetfeldsystem, einem Gradientensystem, sowie einem Hochfrequenz-Sendesystem und -Empfangssystem zum Aussenden der Hochfrequenzpulse und Akquisition der Rohdaten mit geeigneten Antennen, eine zuvor beschriebene Vorrichtung zur räumlichen Homogenisierung der Feldstärke der Spannungen der ausgesendeten Hochfrequenzpulse.

**[0024]** Die abhängigen Ansprüche und die weitere Beschreibung enthalten besonders vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung, wobei insbesondere die Ansprüche einer Kategorie auch analog den Ansprüchen einer der anderen Kategorien weitergebildet sein können und auch Merkmale von verschiedenen Ausführungsbeispielen untereinander kombiniert werden können, um neue Varianten der Erfindung zu bilden.

**[0025]** Eine bevorzugte Ausführungsform bei der Messeinrichtung mit den Feldsonden weist auf, dass in der gewünschten Messposition jedes zu untersuchenden Objektes die komplexe Übertragungsfunktion  $M$  in Form einer  $N \times N$ -Matrix bestimmt wird, wobei  $N$  die Anzahl der Kanäle der Speisekontakte der HF-Sender an der Antenne ist, und danach die gewünschte Anregung berechnet wird, die sich aus

$$U_{tx-soll} = \text{inv}(M) \cdot U_{pu-soll}$$

ergibt, mit

U <sub>tx-ist</sub> :	Istwert der Spannungen der HF-Sender,
U <sub>tx-soll</sub> :	Sollwert der Spannungen der HF-Sender,
U <sub>pu-ist</sub> :	Istwert der Spannungen der Feldspulen,
U <sub>pu-soll</sub> :	Sollwert der Spannungen der Feldspulen,
M:	Übertragungsfunktion als Matrix,
inv(M):	inverse Matrix der Übertragungsfunktion $M$ .

**[0026]** Eine bevorzugte Ausführungsform bei der Messeinrichtung mit den Richtkopplern weist auf, dass sich komplexe Streuparameter einer komplexen Streumatrix der komplexen Impedanzen der Antenne auf eine Mess- oder Kalibrierebene beziehen, die z.B. am Ausgang der Verstärker der HF-Sender liegen.

**[0027]** Weiterhin werden bei dieser Ausführungsform der Messeinrichtung mit den Richtkopplern für die gewünschte Messposition jedes zu untersuchenden Objekts folgende bevorzugte Schritte durchlaufen:

- a) die komplexe Streumatrix  $S_1$  in Form einer  $N \times N$ -Matrix wird bestimmt, wobei  $N$  die Anzahl der Kanäle der Speisekontakte der Speiseleitungen der HF-Sender an der Antenne sind,
- b) die Streumatrix  $S_1$  wird in die Referenzebene der Speisekontakte der HF-Sender an der Antenne transformiert, was zu einer transformierten Streumatrix  $S$  führt,
- c) die gewünschte Anregung  $U_{tx-soll}$  der HF-Spannungspulse der HF-Sender wird festgelegt, z.B. auf Basis eines Modes (CP, EP, etc...) der Antenne,
- d) die notwendigen transformierten Spannungen  $U_{tx-trans}$  werden berechnet, um die gewünschte Anregung  $U_{tx-soll}$  zu berechnen, mittels der Formel

$$U_{tx-trans} = \text{inv}(E + S) \cdot U_{tx-soll}, \text{ mit Einheitsmatrix } E$$

- e) die Spannungen  $U_{tx-trans}$  werden aus Referenzebene zurück in die Mess- und Kalibrierebene transformiert und damit die Anregungsspannung der HF-Sender berechnet.

**[0028]** Die zuvor erwähnten Schritte a), b) und d) für die Messeinrichtung mit den Richtkopplern werden in der Regel in dieser Reihenfolge abgearbeitet, wohingegen der Schritt c) auch zeitlich weit oder unmittelbar vor Schritt a) oder b) erfolgen kann.

**[0029]** Weiterhin können bei der Ausführungsform der Messeinrichtung mit den Richtkopplern die Längen der Speiseleitungen von den HF-Sendern zur Antenne als zusätzliche komplexe Impedanzen der Antenne mit berücksichtigt werden. Dies ist insbesondere bei sehr langen und/oder stark dämpfenden Speiseleitungen erwünscht.

**[0030]** Insbesondere werden in beiden Ausführungsformen, mit den Feldsonden und auch mit den Richtkopplern, die Hochfrequenzpulse über Speisekontakte an der Antenne, die je um den gleichen Winkelbetrag, insbesondere  $90^\circ$ , zueinander versetzt angeordnet sind, von den HF-Sendern auf die Antenne übertragen. Es können aber auch andere Winkel als  $90^\circ$  verwendet werden, so z.B.  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ , etc. in Abhängigkeit der Anzahl der Kanäle der HF-Sender, wobei der  $360^\circ$ -Winkel der Endringe der Birdcage-

Antenne dann bevorzugt in gleiche Winkelbereiche unterteilt wird, so dass alle Speisekontakte etwa einen gleichen Winkelabstand zu benachbarten Speisekontakten einnehmen.

**[0031]** Bei der Ausführungsform mit den Feldsonden, die in der Nähe innerhalb oder außerhalb der Umriss der Antenne angeordnet sind, ist vorteilhaft, dass diese Feldsonden auf der den Speisekontakten der Speiseleitungen der HF-Sender gegenüber liegenden Seite, also zu diesen je um  $180^\circ$  versetzt, angeordnet sind. Es sind aber auch andere relative Anordnungen zwischen den Speisekontakten der HF-Sender und den jeweils zugehörigen Feldsonden möglich, z.B. auch eine  $30^\circ$ -,  $45^\circ$ - oder  $90^\circ$ -Versetzung.

**[0032]** Während der Testmessung sind immer einem einzigen HF-Sender alle Feldsonden zugeordnet, wobei dann die übrigen HF-Sender keine HF-Signale aussenden. So werden zeitlich kurz aufeinander folgend dann alle Kanäle einzeln durchgemessen und dem HF-Empfänger sowie der Recheneinheit zugeführt, für die phasengleiche Überlagerung und die weitere Berechnung der Übertragungsfunktion.

**[0033]** Insbesondere liegen für beide Ausführungsformen, mit den Feldsonden und auch mit den Richtkopplern, die Toleranzen der Ist-HF-Spannungspulse zu den Soll-HF-Spannungspulsen am Ende der Kalibrierung bzw. der Testmessung unter 10%, insbesondere unter 5%, bevorzugt unter 1%.

**[0034]** Zusätzlich zur oben erläuterten optimierten Ansteuerung gemäß der Erfindung können die induzierten Spannungen der Feldsonden und/oder die Eingangsimpedanzen der Richtkoppler in einem geschlossenen Regelkreis auf einen HF-Empfänger zurückgeführt werden und die gewünschten Spannungspulse der HF-Sender in einer Recheneinheit ermittelt und auf die HF-Sender gegeben werden.

**[0035]** Die Regelgröße des Regelkreises ist dabei der Istwert der Feldstärke, die Führungsgröße des Regelkreises der Sollwert der Feldstärke bzw. die gemessenen Spannungen der Feldsonden bzw. die komplexen Eingangsimpedanzen der Antenne, sowie die Stellgröße des Regelkreises die Spannungspulse der HF-Sender.

**[0036]** Beide Ausführungsformen mit den Feldsonden oder den Richtkopplern können einen Regelkreis aufweisen. Auch können die beiden Ausführungsformen mit den Feldsonden oder den Richtkopplern beliebig miteinander kombiniert werden und entweder keinen, einen, zwei oder auch mehrere Regelkreise aufweisen.

**[0037]** Die Regelung kann zusätzlich angewandt werden, um die räumlich homogene Feldverteilung auch über die Zeit hinweg konstant zu halten.

**[0038]** Die gewonnenen Informationen können auch dazu genutzt werden, um die Überlagerungen der Signale im Empfangsfall der Körperspule zu verbessern.

**[0039]** Die Erfindung wird im Folgenden unter Hinweis auf die beigefügten Figuren anhand von Ausführungsbeispielen noch einmal näher erläutert. Dabei sind in den verschiedenen Figuren gleiche Komponenten mit identischen Bezugsziffern versehen. Die Figuren sind in der Regel nicht maßstäblich. Es zeigen:

**[0040]** Fig. 1 die erfindungsgemäße Vorrichtung in einer ersten Ausführungsform mit Richtkopplern als reine Messschaltung ohne Regelkreis,

**[0041]** Fig. 2 die erfindungsgemäße Vorrichtung in einer zweiten Ausführungsform mit Feldsonden als Mess- und Regelkreis.

**[0042]** Fig. 1 zeigt eine erste Ausführungsform für ein 2-Kanal-System, bei der die Mess- und Kalibrierenebene MKE und die „Rechenebene“, d.h. Referenzebene REE, nicht zusammenfallen:

Die HF-Sendekette besteht aus zwei Kanälen mit je einem Signalerzeuger TX1, TX2, je einem HF-Verstärker **8**, je einem Richtkoppler **5** sowie je einem HF-Speisekabel **6**, die an der gemeinsamen Antenne **3** signalleitend festgelegt sind.

**[0043]** Die Richtkoppler **5** dienen zur Messung der Impedanzen  $Z$ , wobei wie in der HF-Technik üblich, in der Regel mit den komplexwertigen Streuparametern gearbeitet wird. Die gemessenen Streuparameter beziehen sich auf eine Kalibrierenebene MKE, die im Beispiel am Ausgang oder Nahe dem Verstärker **8** liegt.

**[0044]** Zwischen dem Verstärker **8** und der Antenne **3** liegt noch ein HF-Speisekabel **6**, dessen elektrische Lage bekannt sein muss.

**[0045]** Bei der Einstellung ist das Vorgehen wie folgt: Für jeden Patienten muss in der gewünschten Messposition die komplexe Streumatrix  $S_1$  bestimmt werden. Für  $N$ -Kanäle ist das eine  $N \times N$ -Matrix.

**[0046]** Die Streumatrix  $S_1$  wird in die Ebene REE der Antenne **3** (Speisepunkte **7**) transformiert, wobei das Ergebnis die Streumatrix  $S$  ist. Dabei können nicht nur HF-Speisekabel **6**, sondern auch evtl. vorhandene Anpass-Schaltungen (nicht gezeigt) berücksichtigt werden.

**[0047]** Lege die gewünschte Anregung Utx-soll fest, z.B. für den CP-Mode:

$$U_{tx-soll} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \cdot e^{j \cdot 90^\circ} \end{bmatrix}$$

**[0048]** Berechne die notwendigen Spannungen  $U_{tx-trans}$ , um den gewünschten Mode anzuregen:

$$U_{tx-trans} = \text{inv}(E + S) \cdot U_{tx-soll},$$

wobei  $E$  die sogenannte „Einheitsmatrix“ ist.

**[0049]** Transformiere die Spannungen  $U_{tx-trans}$  zurück aus der Referenzebene REE in die Mess- und Kalibrierebene MKE und führe damit die Messung aus.

**[0050]** Fig. 2 zeigt eine weitere Ausführungsform für ein 2-Kanal-System, bei der an Stelle der Richtkoppler **5** jetzt Pickup-Sonden **4** zum Messen der HF-Felder nahe der Antenne **3** innerhalb und/oder außerhalb der Endringe verwendet werden:

Die HF-Sendekette besteht wiederum aus zwei Kanälen mit je einem Signalerzeuger TX1, TX2, je einem HF-Verstärker **8**, je einem HF-Speisekabel **6**, die an der gemeinsamen Antenne **3** signalleitend festgelegt sind sowie je einer Pickup-Sonde **4** in der Nähe außerhalb der Antenne **3**, die je einem der Kanäle TX1, TX2 zugeordnet sind.

**[0051]** Die Pickup-Sonden **4** sind in einem Winkel von  $90^\circ$  zueinander an der Antenne **3** angebracht, typischer Weise in der Nähe der Endringe der Antenne **3** und auf der der Kontakte **7** gegenüberliegenden Seite, also zu diesen je um  $180^\circ$  versetzt. Die Pickup-Sonden **4** dienen zur Messung einer Übertragungsfunktion  $M$  zwischen der beauftragten Spannung  $U_{tx}$  und den von der Antenne **3** erzeugten Feldern.

**[0052]** Bei der Einstellung ist das Vorgehen wie folgt: Für jeden Patienten muss in der gewünschten Messposition die komplexe „Übertragungsfunktion“  $M$  bestimmt werden. Für  $N$ -Kanäle ist das eine  $N \times N$ -Matrix.

**[0053]** Zwischen den Auftragsspannungen  $U_{tx}$  und den an den Pickup-Sonden  $U_{pu}$  gemessenen Spannungen gilt dann folgende Beziehung:

$$U_{pu} = M \cdot U_{tx}$$

**[0054]** Wie oben: lege die gewünschte Anregung  $U_{tx-soll}$  fest. Die notwendige Anregung ergibt sich dann einfach:

$$U_{tx} = \text{inv}(M) \cdot U_{tx-soll}$$

**[0055]** In der zweiten Ausführungsform nach Fig. 2 werden die Messwerte, d.h. die induzierten Spannungen  $U_{pu}$  der Feldsonden **4** auf die HF-Empfänger RX zurückgeführt. In der Recheneinheit RE werden

dann die gewünschten Spannungspulse  $U_{tx-soll}$  der HF-Sender TX1, TX2 ermittelt und auf die HF-Sender TX1, TX2 gegeben.

**[0056]** Optional können zusätzlich die Messwerte, d.h. die induzierten Spannungen  $U_{pu}$  der Feldsonden **4** in einem geschlossenen Regelkreis **9** auf die HF-Empfänger RX zurückgeführt werden.

**[0057]** Die Regelgröße stellen dabei den Istwert, die Führungsgröße den Sollwert der Feldstärke bzw. die gemessenen Spannungen der Feldsonden  $U_{pu-ist}$  und die Stellgröße die Spannungspulse  $U_{tx-soll}$  der HF-Sender TX1, TX2 dar.

**[0058]** Die Messeinrichtungen **1, 2** beider Ausführungsformen nach den Fig. 1 und Fig. 2 beinhalten je zwei Kanäle mit je einem HF-Sender TX1, TX2, je einem zugehörigen HF-Verstärker, je einer HF-Speiseleitung **6**, je einem HF-Speisekontakt **7**, sowie mindestens einer beiden Kanälen zugeordneten Sendeantenne **3**. Die Sendeantenne **3** ist in den Figuren nur schematisch als Kreisring dargestellt, ist aber in Realität als Ganzkörper und/oder Lokalspule in Form einer kreiszylindrischen oder allgemein zylindrischen Birdcage-Antenne **3** (eine Art Vogelkäfigstruktur) mit zwei beabstandeten Endringen und einer dazwischen liegenden Vielzahl von Längsstreben ausgeführt. Sowohl die Endringe als auch die Längsstreben können durch elektrische Bauelemente wie z.B. elektrische Kondensatoren unterbrochen sein.

**[0059]** Weiterhin weist die erste Ausführungsform der Fig. 1 zwei Feldsonden **4** auf, wohingegen die zweite Ausführungsform der Fig. 2 stattdessen zwei Richtkoppler **5**, sowie einen Regelkreis **9** aufweist.

**[0060]** Die Spannungspulse  $U_{tx-ist}$  der beiden HF-Sender TX1, TX2 vor der Kalibrierung werden über die Verstärker **8** und die Speiseleitungen **6** und die Speisekontakte **7** auf die Sendeantenne (hier Birdcage-Antenne) **3** gegeben. Hierdurch werden in den in der Umgebung (innerhalb und/oder außerhalb) der Antenne **3** angeordneten Feldspulen **4** induzierte Spannungen  $U_{pu}$  gemessen.

**[0061]** Diese Messwerte, d.h. die induzierten Spannungen  $U_{pu}$ , der Feldsonden **4** werden in einem geschlossenen Regelkreis auf einen HF-Empfänger RX zurückgeführt und die gewünschten Spannungspulse  $U_{tx-soll}$  der HF-Sender TX1, TX2 werden in einer Recheneinheit RE ermittelt und auf die HF-Sender TX1, TX2 gegeben.

**[0062]** Es wird an dieser Stelle noch einmal darauf hingewiesen, dass es sich bei dem konkret in den Figuren dargestellten Aufbau lediglich um ein Ausführungsbeispiel handelt und dass das Grundprinzip der erfindungsgemäß ausgestalteten Antennenanordnung auch variiert werden kann, ohne den Be-

reich der Erfindung zu verlassen, soweit er durch die Ansprüche vorgegeben ist. Insbesondere können die oben beschriebene Vorgehensweisen auch kombiniert werden, wenn die Vorrichtung z.B. sowohl Richtkoppler in den Zuleitungen als auch Pick-Up-Sonden aufweist.

**[0063]** Weiterhin wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass auch wenn in den Beispielen eine Antenne mit zwei HF-Sender (d.h. zwei Eingangskanälen) dargestellt ist, die Erfindung mit einer beliebigen Anzahl von HF-Sendern pro Antenne genutzt werden kann, ja sogar auch nur mit einem HF-Sender (d.h. einem Eingangskanal).

**[0064]** Es wird der Vollständigkeit halber auch darauf hingewiesen, dass die Verwendung der unbestimmten Artikel „ein“ bzw. „eine“ nicht ausschließt, dass die betreffenden Merkmale auch mehrfach vorhanden sein können. Ebenso schließt der Begriff „Einheit“ nicht aus, dass diese aus mehreren Komponenten bestehen, die gegebenenfalls auch räumlich verteilt sein können.

#### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	Messeinrichtung mit Richtkopplern
<b>2</b>	Messeinrichtung mit Feldspulen
<b>3</b>	Birdcage-Sende-Antenne
<b>4</b>	Feldsonden
<b>5</b>	Richtkoppler
<b>6</b>	HF-Speiseleitungen
<b>7</b>	HF-Speisekontakte
<b>8</b>	HF-Verstärker
<b>9</b>	Regelkreis
<b>TX1, TX2</b>	HF-Sender des Kanals <b>1</b> und <b>2</b>
<b>RX</b>	HF-Empfänger
<b>RE</b>	Recheneinheit
<b>SP</b>	Datenspeicher
<b>MKE</b>	Mess- und Kalibrier-Ebene an den Richtkopplern
<b>REE</b>	Referenzebene an der Antenne

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 10254660 B4 [0010]

## Patentansprüche

1. Verfahren zur räumlichen Homogenisierung der Feldstärke von Spannungen (Utx-ist) von Hochfrequenzpulsen einer Anzahl von HF-Sendern (TX1, TX2), welche bei einer Magnetresonanz-Messung eines zu untersuchenden Objektes von einer Sendeantenne (3) einer Magnetresonanz-Messeinrichtung (1, 2) ausgesendet werden, wobei vorab in einer Testmessung Test-Hochfrequenzpulse ausgesendet werden und wobei

a) die durch das elektromagnetische Feld der Antenne (3) bei der Testmessung induzierten gemessenen komplexen Spannungen (Upu-ist) einer Mehrzahl von Feldsonden (4), die in der Nähe der Antenne (3) um einen festgelegten Winkel versetzt zueinander angeordnet sind, jeweils passend zu dem festgelegten Winkel phasenverschoben überlagert werden und auf Basis eines Verhältnisses der gemessenen komplexen Spannungen (Upu-ist) der Feldsonden (4) zu den komplexen Spannungen (Utx-ist) der Test-Hochfrequenzpulse eine komplexe Übertragungsfunktion (M) ermittelt wird, welche für die Ermittlung der neuen gewünschten homogenisierten Spannungen (Utx-soll) der Hochfrequenzpulse der Antenne (3) bei einer späteren Messung herangezogen wird, und/oder

b) Ausgangssignale einer Mehrzahl von Richtkopplern (5) auf den HF-Speiseleitungen (6) der Antenne (3) bei der Testmessung jeweils passend phasenverschoben überlagert werden und damit komplexe Impedanzen (Z-ist) bzw. Streuparameter einer komplexen Streumatrix (S1) der Antenne (3) ermittelt werden, die für die Ermittlung der neuen gewünschten homogenisierten Spannungen (Utx-soll) der Hochfrequenzpulse der Antenne (3) bei einer späteren Messung herangezogen werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei bei der Messeinrichtung (2) mit den Feldsonden (4) in der gewünschten Messposition jedes zu untersuchenden Objektes die komplexe Übertragungsfunktion (M) in Form einer N×N-Matrix bestimmt wird, wobei N die Anzahl der Kanäle der Speisekontakte (7) der Anzahl der HF-Sender (TX1, TX2) an der Antenne (3) ist, und danach die gewünschte Anregung (Utx-soll) berechnet wird, die sich aus der Formel

$$U_{tx-soll} = \text{inv}(M) \cdot U_{pu-soll}$$

ergibt.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei bei der Messeinrichtung (1) mit den Richtkopplern (5) sich die komplexen Streuparameter der komplexen Streumatrix (S1) bzw. die komplexen Impedanzen (Z-ist) der Antenne (3) auf eine Mess- oder Kalibrierebene (MKE) beziehen, die nahe am Ausgang der Verstärker (8) der Anzahl der HF-Sender (TX1, TX2) liegen.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei für die gewünschte Messposition jedes zu untersuchenden Objekts, folgende Schritte durchlaufen werden:

a) die komplexe Streumatrix (S1) in Form einer N×N-Matrix wird bestimmt, wobei N die Anzahl der Kanäle der Speisekontakte (7) der Speiseleitungen (6) der Anzahl der HF-Sender (TX1, TX2) an der Antenne (3) sind,

b) die Streumatrix (S1) wird in die Referenzebene (REE) der Speisekontakte (7) der Anzahl der HF-Sender (TX1, TX2) an der Antenne (3) transformiert, was zu einer transformierten Streumatrix (S) führt,

c) die gewünschte Anregung (Utx-soll) der HF-Spannungspulse der Anzahl der HF-Sender (TX1, TX2) wird festgelegt, z.B. auf Basis eines Modes (CP, EP, etc...) der Antenne (3),

d) die notwendigen transformierten Spannungen (Utx-trans) werden berechnet, um die gewünschte Anregung (Utx-soll) zu berechnen, mittels der Formel

$$U_{tx-trans} = \text{inv}(E + S) \cdot U_{tx-soll}, \text{ mit Einheitsmatrix } E$$

e) die Spannungen (Utx-trans) werden aus Referenzebene (REE) zurück in die Mess- und Kalibrierebene (MKE) transformiert und damit die Anregungsspannung (Utx-soll) der Anzahl der HF-Sender (TX1, TX2) berechnet.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 3 oder 4, wobei bei den Richtkopplern (5) die Längen der Speiseleitungen (6) von der Anzahl der HF-Sender (TX1, TX2) zur Antenne (3) als zusätzliche komplexe Impedanzen (Z-ist) der Antenne (3) mit berücksichtigt werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Hochfrequenzpulse über Speisekontakte (7) an der Antenne (3), die je um den gleichen Winkelbetrag zueinander versetzt angeordnet sind, von der Anzahl der HF-Sender (TX1, TX2) auf die Antenne (3) übertragen werden.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 2 oder 6, wobei die Feldsonden (4) in der Nähe von Endringen der Antenne (3) und/oder auf der den Speisekontakten (7) der Speiseleitungen (6) gegenüber liegenden Seite, also zu diesen je um 180° versetzt, die induzierten Spannungen (Upu-ist) messen.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die mit den Feldsonden (4) gemessenen induzierten Spannungen (Upu-ist) und/oder die die Eingangsimpedanzen (Z) der Richtkoppler (5) in einem geschlossenen Regelkreis (9) auf einen HF-Empfänger (RX) zurückgeführt werden und die gewünschten Spannungspulse (Utx-soll) der Anzahl der HF-Sender (TX1, TX2) in einer Recheneinheit (RE) ermittelt und auf die Anzahl der HF-Sender (TX1, TX2) gegeben werden.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei eine Regelgröße des Regelkreises (9) der Istwert der Feldstärke ist, eine Führungsgröße des Regelkreises der Sollwert der Feldstärke bzw. die gemessenen Spannungen der Feldsonden (Upu-ist) bzw. die komplexen Eingangsimpedanzen (Z) der Antenne (3) sind, sowie die Stellgröße des Regelkreises die Spannungspulse (Utx-soll) der Anzahl der HF-Sender (TX1, TX2) sind.

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, wobei die Toleranzen der Ist-HF-Spannungspulse (Utx-ist) zu den Soll-HF-Spannungspulsen (Utx-soll) am Ende der Kalibrierung bzw. der Testmessung unter 10%, insbesondere unter 5%, bevorzugt unter 1% liegen.

11. Vorrichtung zur räumlichen Homogenisierung der Feldstärke von Spannungen (Utx-ist) von Hochfrequenzpulsen einer Anzahl von HF-Sendern (TX1, TX2) in einer Magnetresonanz-Messeinrichtung (1, 2)

a) mit

- einer Testsignal-Messeinrichtung umfassend eine Mehrzahl von Feldsonden (4), die in der Nähe der Antenne (3) angeordnet sind,
- einer Rechneinrichtung (RE) welche so aufgebaut ist, dass

die durch das elektromagnetische Feld der Antenne (3) induzierten gemessenen komplexen Spannungen (Upu-ist) einer Mehrzahl von Feldsonden (4), die in der Nähe der Antenne (3) angeordnet sind, jeweils passend phasenverschoben überlagert werden und über eine komplexe Übertragungsfunktion (M) für die Ermittlung der neuen gewünschten homogenisierten Spannungen (Utx-soll) der Hochfrequenzpulse der Antenne (3) herangezogen werden, und/oder

b) mit

- einer Testsignal-Messeinrichtung umfassend einer Mehrzahl von Richtkopplern (5) auf den HF-Speiseleitungen (6) der Antenne (3)
- und einer Recheneinheit (RE) welche so aufgebaut ist, dass Ausgangssignale einer Mehrzahl von Richtkopplern (5) auf den HF-Speiseleitungen (6) der Antenne (3) jeweils passend phasenverschoben überlagert werden und damit die komplexen Eingangsimpedanzen (Z-ist) der Antenne (3) ermittelt werden, die für die Ermittlung der neuen gewünschten homogenisierten Spannungen (Utx-soll) der Hochfrequenzpulse der Antenne (3) herangezogen werden.

12. Magnetresonanztomographiegerät (MRT) mit einer Vorrichtung nach Anspruch 11.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

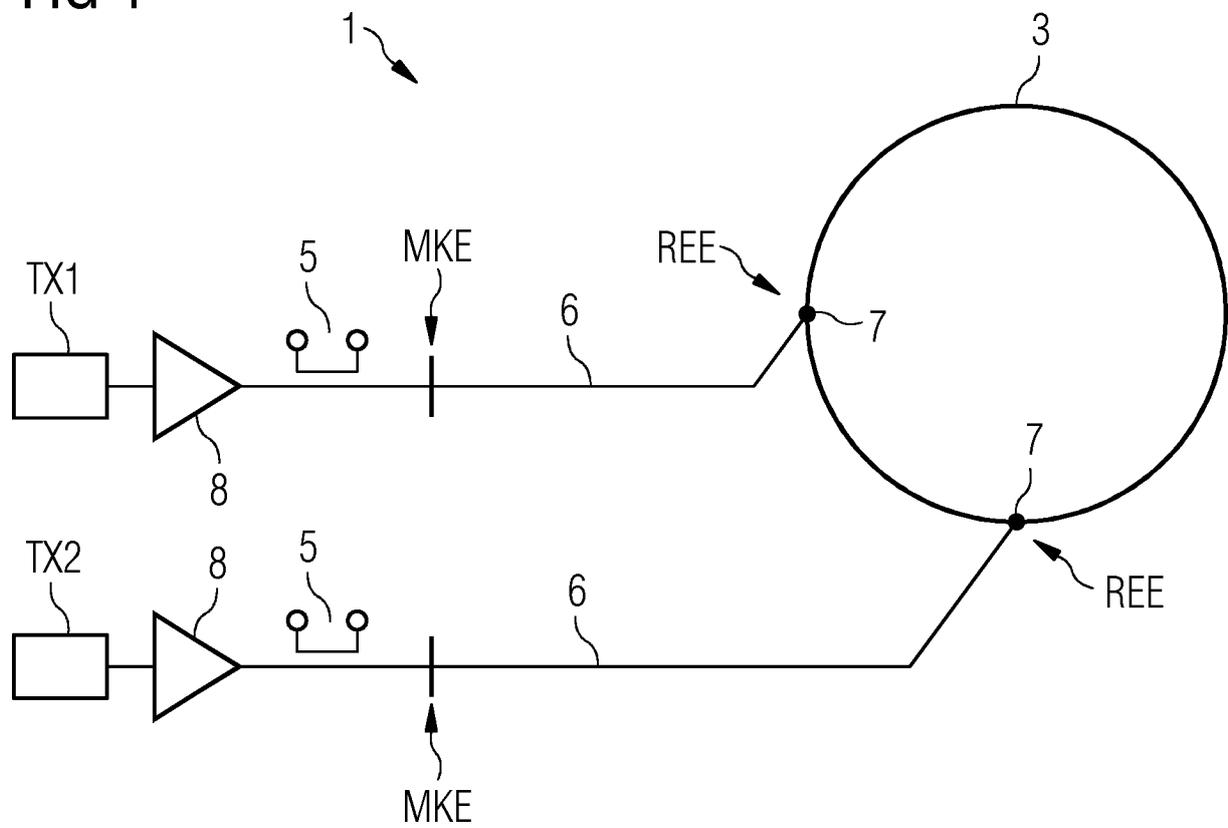


FIG 2

