



(10) **DE 10 2013 206 570 B3** 2014.05.22

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2013 206 570.1**

(22) Anmeldetag: **12.04.2013**

(43) Offenlegungstag: –

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **22.05.2014**

(51) Int Cl.: **G01R 33/32 (2006.01)**

G01R 33/3415 (2006.01)

A61B 5/055 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Siemens Aktiengesellschaft, 80333, München, DE

(72) Erfinder:
Adolf, Holger, 90513, Zirndorf, DE; Benner, Thomas, 91052, Erlangen, DE; Fautz, Hans-Peter, 91301, Forchheim, DE; Fontius, Jörg Ulrich, 91077, Neunkirchen, DE; Gumbrecht, Rene, 91074, Herzogenaurach, DE

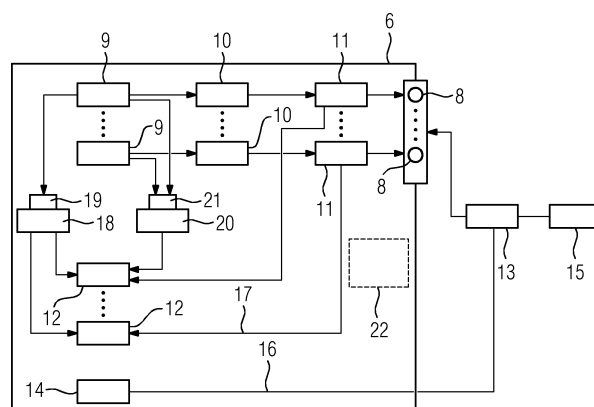
(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE 10 2010 029 463 A1

US 2012 / 0 153 951 A1

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Betrieb einer zur unabhängigen Ansteuerung mehrerer Spulenelemente ausgebildeten Sendeeinrichtung einer Magnetresonanzeinrichtung und Sendeeinrichtung**

(57) Zusammenfassung: Verfahren zum Betrieb einer zur unabhängigen Ansteuerung mehrerer Spulenelemente (4) einer Hochfrequenzspule (3) über unterschiedliche Sendepfade ausgebildeten Sendeeinrichtung (6) einer Magnetresonanzeinrichtung (1), wobei zur Ansteuerung der Spulenelemente (4) mit unterschiedlichen Phasen Phasendifferenzen in einer Referenzebene (7), insbesondere an Steckplätzen (8) für die Spulenelemente (4), berücksichtigt werden, wobei in einer einmalig durchzuführenden ersten Kalibrationsmessung für jeden Sendepfad durch eine in der Sendeeinrichtung (6) beabstandet von der Referenzebene (7) fest installierte, interne Messeinrichtung eine erste Phase eines ausgesendeten Hochfrequenzsignals und durch eine zweite, zur Kalibrationsmessung an der Referenzebene (7), insbesondere dem Steckplatz (8), anzuschließende externe Messeinrichtung eine zweite Phase des ausgesendeten Hochfrequenzsignals gemessen wird, wobei wenigstens eine der ersten und zweiten Phasen bei der phasengenauen Ansteuerung der Spulenelemente (4) und/oder zur Korrektur weiterer Messungen mit der internen Messeinrichtung berücksichtigt werden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer zur unabhängigen Ansteuerung mehrerer Spulenelemente einer Hochfrequenzspule über unterschiedliche Sendepfade ausgebildeten Sendeeinrichtung einer Magnetresonanzeinrichtung, wobei zur Ansteuerung der Spulenelemente mit unterschiedlichen Phasen Phasendifferenzen in einer Referenzebene, insbesondere an Steckplätzen für die Spulenelemente, berücksichtigt werden. Daneben betrifft die Erfindung eine Sendeeinrichtung für eine Magnetresonanzeinrichtung.

[0002] In der Magnetresonanzbildgebung wurde vorgeschlagen, Sendespulen, also Hochfrequenzspulen, so auszugestalten, dass sie unterschiedliche Spulenelemente umfassen, die unabhängig voneinander ansteuerbar sind. Ist bekannt, welche Magnetfelder durch welches Spulenelement erzeugt werden, können so unterschiedliche Anregungsmuster im Bildgebungsbereich erzeugt werden, beispielsweise volumenselektive Anregungen und dergleichen. Zu diesem Zweck und auch, um beispielsweise durch Reflektionen entstandene hellere bzw. dunklere Stellen in Bildern und dergleichen auszugleichen, kann vorgesehen sein, definierte Phasendifferenzen zwischen den einzelnen durch Sendepfade definierten Kanälen zu erzeugen, um Interferenzen zu realisieren.

[0003] Um solche Mehrkanal-Hochfrequenz-Sendesysteme zu realisieren, ist eine entsprechende Sendeeinrichtung vorgeschlagen worden, die die unabhängige Ansteuerung der Spulenelemente erlaubt. Das gesamte Mehrkanal-Hochfrequenz-Sendesystem wird dabei häufig als pTX- oder Tx-Array-System bezeichnet, wobei „pTX“ für „parallel transmit“, mithin paralleles Senden, steht. Insgesamt kann dann die Verteilung des B1-Feldes, das zur Anregung der Kernspins innerhalb eines aufzunehmenden Objekts benötigt wird, sowie des elektrischen Feldes, das für die SAR-Belastung des Objekts entscheidend ist, durch Veränderung der Phasendifferenzen sowie Amplitudenverhältnisse zwischen den einzelnen Kanälen bzw. Sendephasen gesteuert werden.

[0004] Zur klaren Definition der Phasendifferenzen ist eine Referenzstelle für alle Sendepfade erforderlich, mithin insgesamt eine Referenzebene, die im Fall einer Magnetresonanzeinrichtung allgemein durch die Steckplätze für die einzelnen Spulenelemente gegeben ist. Dabei sei an dieser Stelle angemerkt, dass unterschiedliche Kabellängen zu den Spulenelementen und unterschiedliche Eigenschaften der Spulenelemente anderweitig berücksichtigt werden können, nachdem Hersteller solcher Hochfrequenzspulen und Spulenelemente grundsätzlich ein Modell der Spulenelemente mitliefern, welches bei der Ansteuerung berücksichtigt wird.

[0005] Sendeeinrichtungen für Mehrkanal-Hochfrequenz-Sendesysteme weisen dabei üblicherweise zunächst in jedem Sendepfad einen Modulator auf, der die gewünschten Hochfrequenzsignale als Kleinsignal erzeugt, dem jeweils ein Hochfrequenzverstärker nachgeschaltet ist, der das Hochfrequenzsignal auf die gewünschte Amplitude verstärkt. Das so verstärkte Signal wird zum Steckplatz der Spule weitergeleitet. Für die korrekte Ansteuerung, insbesondere im Rahmen der Magnetresonanzbildgebung, ist es nun äußerst relevant, dass die korrekten Eingangsphasendifferenzen bereits an den Modulatoren eingestellt werden, um die korrekten gewünschten Zielphasendifferenzen in der Referenzebene zu erhalten; zudem muss eine verlässliche Überprüfung durch Messung möglich sein, ob die korrekten Phasendifferenzen vorliegen. Dabei existieren jedoch einige Probleme.

[0006] Es bestehen folgende Wünsche an Hochfrequenz-Mehrkanal-Sendesysteme, die insbesondere bei der Anwendung auf Patienten in der Magnetresonanztomographie zur Erhöhung der Sicherheit wünschenswert sind:

1) Die Ansteuerung der einzelnen Sendepfade muss so erfolgen, dass in der Referenzebene des Sendepfades eine definierte Phasendifferenz zwischen den Kanälen besteht. Nur durch eine solche phasengenaue Ansteuerung ist es möglich, mittels eines Sendearrays, also einer Hochfrequenzspule mit unabhängig ansteuerbaren Spulenelementen, vorbestimmte Interferenzmuster zu erzeugen. Dabei besteht zunächst das Problem, dass die verschiedenen Modulatoren der einzelnen Sendepfade nicht zwangsläufig phasengleiche Hochfrequenzsignale erzeugen. Weiterhin kann das Problem auftreten, dass sich die Phasendifferenzen zwischen den Modulatoren bei einem Systemneustart ändern, wobei eine Synchronisierung der Modulatoren zwar möglich, technisch jedoch äußerst aufwendig ist. Weitere Phasenverschiebungen zwischen den Sendepfaden, bezogen auf die Referenzebene, können durch unterschiedliche Kabellängen oder Kabeleigenschaften sowie durch Variationen der Hochfrequenzverstärkereinrichtungen entstehen.

2) Die gesendeten Hochfrequenzsignale (Pulse) für jeden Sendepfad sollen phasengau in Bezug auf die Referenzebene des Sendepfades detektiert werden. Dies ist beispielsweise im Hinblick auf die Echtzeit-Überwachung der gesendeten Pulse wünschenswert, um im Fall einer Fehlfunktion einer Komponente des Sendesystems eine Abschaltung durchführen zu können, die beispielsweise einen zu hohen lokalen oder globalen SAR-Eintrag in den Patienten verhindert und dergleichen.

[0007] Auch hierbei sind verschiedene Probleme bekannt. Die Hochfrequenzdetektoren, also die Mess-

einrichtungen, die beispielsweise Richtkoppler (directional couplers – DICOs) umfassen können, können nicht unmittelbar in der Referenzebene angeordnet werden, für die die Phasen gemessen werden sollen. Dies ist insbesondere im Hinblick auf die Magnetresonanztomographie ein Problem, nachdem die Richtkoppler nicht in den Steckplatz für die Spule integriert werden können, sondern meist außerhalb der Patientenaufnahme einer Magnetresonanztomographie anzuordnen sind, wo ein sehr langes Kabel zwischen dem Steckplatz und dem Richtkoppler vorliegt. Zudem ist meist noch ein Kabel zwischen dem Richtkoppler und einem Empfänger, der meist einen Demodulator und einen Analog-Digital-Konverter (ADC) aufweist, vorgesehen. Es ergibt sich, dass neben einem schlecht kalibrierten Richtkoppler auch die Kabel zwischen dem Richtkoppler und dem Empfänger sowie der Empfänger selbst von Sendepfad zu Sendepfad unterschiedliche Phasenverschiebungen bewirken können. Schließlich kann es beim Neustarten der Empfänger analog zu den Modulatoren zu Phasensprüngen kommen, das bedeutet, die detektierte Phasendifferenz zwischen zwei beliebigen Sendepfaden ändert sich bei gleichem Eingangssignal. Auch hier ist es denkbar, eine Synchronisierung der Empfänger (Receiver) zu erzwingen, was jedoch wiederum einen hohen konstruktiven und preislichen Aufwand mit sich bringt.

3) Schließlich ist es wünschenswert, Defekte, beispielsweise Kabelbrüche, in dem Sendepfad einzelner Kanäle zu detektieren, insbesondere im Abschnitt zwischen einer Messeinrichtung und dem Spulenelement selbst. Denn bei Hochfrequenz-Mehrkanal-Sendesystemen kann der Ausfall eines Spulenelements bzw. Kanals zu relevanten Feldveränderungen führen. Kritisch ist dabei der Kabelbereich zwischen den Messeinrichtungen (Hochfrequenz-Detektoren) und dem Spulenelement, da ein Bruch an dieser Stelle nicht unmittelbar zu einem Signalabfall an der Messeinrichtung, welche wiederum insbesondere einen Richtkoppler umfassen kann, führt.

[0008] US 2012/0 153 951 A1 offenbart ein Verfahren zur Optimierung einer Mehrkanalspule. Es soll eine direkte Minimierung der reflektierten Leistung bei der Resonanzfrequenz erfolgen. Dazu werden Messeinrichtungen für die reflektierte Leistung zwischen der Leistungssignalquelle jeder Spule und dem Spuleneingang angeordnet. Die reflektierten Leistungen werden sequentiell optimiert.

[0009] DE 10 2010 029 463 A1 betrifft ein Überwachungsverfahren zu einer Überwachung und/oder einen Schutz von Bauteilen, insbesondere einer Hochfrequenzantenne einer Magnetresonanztomographie.

[0010] Dabei werden eine erste und eine zweite Überwachungsgrößen gemessen, die eine Signalamplitude und eine Signaldifferenz zwischen

zwei Signalen sein können. Eine Referenzgröße für die Überwachungsgrößen kann bei einer Kalibrierung ermittelt werden, um beispielsweise einen wirksamen Spannungsabfall und/oder eine wirksame Sendeleitung aufgrund eines Untersuchungsgegenstands zu ermitteln.

[0011] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Betrieb einer Sendeeinrichtung und eine Sendeeinrichtung anzugeben, die auf einfache Weise ein phasengenaues Senden und eine Überprüfung der Phasendifferenzen ermöglichen.

[0012] Zur Lösung dieser Aufgabe ist bei einem Verfahren der eingangs genannten Art erfindungsgemäß vorgesehen, dass in einer einmalig durchzuführenden ersten Kalibrationsmessung für jeden Sendepfad durch eine in der Sendeeinrichtung beabstandet von der Referenzebene fest installierte, interne Messeinrichtung eine erste Phase eines ausgesendeten Hochfrequenzsignals und durch eine zweite, zur Kalibrationsmessung an der Referenzebene, insbesondere dem Steckplatz, anzuschließende externe Messeinrichtung eine zweite Phase des ausgesendeten Hochfrequenzsignals gemessen wird, wobei wenigstens eine der ersten und zweiten Phasen bei der phasengenaue Ansteuerung der Spulenelemente und/oder zur Korrektur weiterer Messungen mit der internen Messeinrichtung berücksichtigt wird, indem für jeden Sendepfad ein Korrekturwert aus der Differenz der ersten Phase und der zweiten Phase ermittelt und von folgenden Messungen mit der internen Messeinrichtung abgezogen wird, um die aktuelle Phase an der Referenzebene zu ermitteln, und/oder die zweite Phase von einer Zielphase zur Ermittlung einer Ansteuerphase abgezogen wird, mit der ein Hochfrequenzsignal erzeugt wird, um die Zielphase an der Referenzebene zu erhalten.

[0013] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wurde erkannt, dass zwar nicht dann, wenn sich die Sendeeinrichtung in ihrem üblichen Betrieb befindet, eine Messeinrichtung in der Referenzebene, also insbesondere dem Steckplatz für die Spulenelemente, platziert werden kann, jedoch während einer Kalibrationsmessung für die Sendeeinrichtung, bei der eine zusätzliche, einem eigenen, festen Empfänger (Receiver) zugeordnete externe Messeinrichtung verwendet wird, das Anordnen einer Messeinrichtung in der Referenzebene durchaus möglich ist. Nachdem sich diese unabhängig davon, an welchen Sendepfad, mithin welchen Steckplatz, sie angeschlossen wird, gleich verhält, bietet sie eine unveränderliche Referenz, gegen die alle Sendepfade abgeglichen werden können. Mithin ist der Messablauf der ersten Kalibrationsmessung erfindungsgemäß derart, dass zunächst die externe Messeinrichtung an einen Sendepfad, für den gemessen werden soll, angeschlossen wird. Danach wird ein insbesondere vorbestimm-

tes Hochfrequenzsignal (Testpuls) in dem Sendepfad erzeugt und es wird eine Phasenmessung sowohl durch die interne Messeinrichtung als auch durch die externe Messeinrichtung vorgenommen, mithin die erste Phase und die zweite Phase gemessen. Die erste und die zweite Phase für den Sendepfad werden gespeichert und es wird der nächste Sendepfad vermessen, bis Tupel für jeden Sendepfad vorliegen. Die Differenz aus der ersten und der zweiten Phase gibt an, wie die an der internen Messeinrichtung gemessene Phase von der Phase an der Referenzebene allgemein abweicht, bildet also Kabellängen und dergleichen ab.

[0014] Daher kann in konkreter Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung vorgesehen sein, dass für jeden Sendepfad ein Korrekturwert aus der Differenz der ersten Phase und der zweiten Phase ermittelt und von folgenden Messungen (respektive den aufgenommenen Messwerten) mit der internen Messeinrichtung abgezogen wird, um die aktuelle Phase an der Referenzebene zu ermitteln. Auf diese Weise wird es also ermöglicht, die Phase in der Referenzebene zu bestimmen und somit immer die korrekten Phasendifferenzen in der Referenzebene zu ermitteln.

[0015] Ferner jedoch bietet die externe Messeinrichtung, die für jeden Kanal (Sendepfad) dieselbe ist, die Möglichkeit, die Phasen in der Referenzebene anzugleichen, nachdem in jedem Sendepfad das Hochfrequenzsignal mit derselben Ansteuerphase erzeugt wird und mithin die zweiten Phasen die Unterschiede angeben, die sich in der Referenzebene aufgrund der Unterschiede in den Sendepfaden entwickeln.

[0016] Mithin kann in vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung konkret vorgesehen sein, dass die zweite Phase von einer Zielphase zur Ermittlung einer Ansteuerphase abgezogen wird, mit der ein Hochfrequenzsignal erzeugt wird, um die Zielphase an der Referenzebene zu erhalten. Das bedeutet also, sind Zielphasen in der Referenzebene bekannt, um bestimmte Interferenzen zu erhalten, gibt die zweite Phase an, wie der Modulator angesteuert werden muss, um die entsprechenden Zielphasen zu erhalten. Dabei sei an dieser Stelle nochmals angemerkt, dass es letztlich in der Referenzebene auch um Phasendifferenzen geht, nachdem eine klare „Nullphase“ nicht allgemein definiert ist. Mithin werden Zielphasen meist letztlich im Hinblick auf einen Referenz-Sendepfad bestimmt, beispielsweise den ersten Sendepfad. Nichtsdestotrotz ergibt sich unter Berücksichtigung der zweiten Phasen dann immer die gewünschte Phasendifferenz in der Referenzebene.

[0017] Dabei sei an dieser Stelle noch angemerkt, dass zumindest dann, wenn keine aufwendige Elektronik vorgesehen ist, um die Modulatoren bzw. Empfänger der internen Messeinrichtungen zu synchroni-

sieren, während der Vermessung der gesamten Sendepfade ein Systemneustart der Sendeeinrichtung ausgeschlossen werden sollte, um Phasensprünge der Modulatoren und Empfänger zu vermeiden, worauf im Folgenden noch näher eingegangen werden wird.

[0018] Bis auf den Anschluss der externen Messeinrichtung können sämtliche Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens selbstverständlich automatisch durchgeführt werden. Beispielsweise kann ein Benutzer durch die erste Kalibrierungsmessung geführt werden, indem ihm mitgeteilt wird, an welchen Steckplatz die externe Messeinrichtung anzuschließen ist, wobei der Benutzer nach Anschluss der externen Messeinrichtung dies bestätigen kann. Dann werden automatisch die Messungen vorgenommen und in der Folge eine neue Anweisung für den nächsten Sendepfad ausgegeben. Des Weiteren sei darauf hingewiesen, dass zweckmäßigerweise der externen Messeinrichtung eine Scheinlast (dummy load) nachgeschaltet werden kann, beispielsweise ein 50 Ω -Abschluss, der ein ideales Spulenelement simuliert und reflektierte Anteile des Hochfrequenzsignals, das zur Kalibrierung verwendet wird, vermeiden kann.

[0019] Insgesamt schlägt die Erfindung mithin ein Kalibrierungs-, Überwachungs- und Ansteuerverfahren vor, mit dessen Hilfe das phasengenaue Senden und Detektieren von Hochfrequenzpulsen/Hochfrequenzsignalen in einem Mehrkanal-Hochfrequenz-Sendesystem ermöglicht wird. Dies hat besondere Bedeutung für die Steuerung von Hochfrequenz-Mehrkanal-Sendesystemen in Magnetresonanzeinrichtungen sowie die Überwachung der im Patienten erzeugten lokalen SAR. Das beschriebene Vorgehen ist unabhängig von der verwendeten Hochfrequenzspule bzw. den verwendeten Spulenelementen. Es lässt sich für eine beliebige Anzahl an Sendepfaden realisieren. Zudem ist es einfach und kostengünstig zu realisieren.

[0020] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung kann vorgesehen sein, dass als die interne und die externe Messeinrichtung jeweils ein mit einem Analog-Digital-Wandler aufweisenden Empfänger verbundener Richtkoppler verwendet wird. Zusätzlich zu dem Analog-Digital-Wandler kann der Empfänger auch einen Demodulator empfangen. Die über den Empfänger aufgenommenen Messwerte, konkret die Phasen, werden dann als digitale Signale an eine Steuereinrichtung der Sendeeinrichtung weitergeleitet, die diese entsprechend, wie beschrieben, auswertet und weiterverwendet. Derartige Messeinrichtungen für Phasen (und gegebenenfalls zusätzlich Amplituden) von Hochfrequenzsignalen sind im Stand der Technik bereits weithin bekannt und müssen hier nicht näher dargelegt werden.

[0021] In einer zweckmäßigen Ausgestaltung der Erfindung kann der externe Messeinrichtung zugehörige, insbesondere in der Sendeeinrichtung fest verbaute Empfänger ausschließlich für die externe Messeinrichtung genutzt werden. Damit die externe Messeinrichtung möglichst unabhängig und für jeden Sendekanal gleich ist, wird für die externe Messeinrichtung ein spezieller, dieser fest zugeordneter Empfänger verwendet, der auch in der Sendeeinrichtung fest verbaut sein kann, so dass die Messergebnisse unmittelbar an eine Steuereinrichtung der Sendeeinrichtung weitergeleitet werden können und manuell anzuschließende Anteile reduziert werden können.

[0022] Während in einer Variante der Erfindung die Empfänger der internen Messeinrichtungen nur diesen fest zugehörig sein können, ist es auch möglich, dass die Empfänger für die internen Messeinrichtungen auch zum Empfang von Magnetresonanzsignalen mit der Hochfrequenzspule verwendet werden. Dann ist, wie im Stand der Technik grundsätzlich bekannt, zu jedem Sendepfad auch ein Empfangspfad realisiert, wobei zwischen Senden und Empfangen über ein Schaltmittel umgeschaltet werden kann. Gesendete Signale durchlaufen dann wie üblich den Richtkoppler, bei Empfang durchlaufen Empfangssignale eine Schaltmatrix und werden zu den Empfängern weitergeleitet.

[0023] Eine besonders bevorzugte Ausführungsform des Verfahrens sieht vor, dass im Rahmen der ersten Kalibrationsmessung, insbesondere bei angeschlossener Hochfrequenzspule, ein klar definiertes Testsignal auf jedem Sendepfad ausgesandt und für jedes Testsignal die Amplitude und die Phase des vorlaufenden und des rücklaufenden Testsignals mittels der internen Messeinrichtung vermessen und als Überprüfungswerte abgespeichert werden, wobei zu wenigstens einem späteren Zeitpunkt in einer Überprüfungsmessung bei gleicher Konfiguration, insbesondere also wiederum bei angeschlossener Hochfrequenzspule, für jeden Sendepfad erneut das Testsignal ausgesendet wird und für jedes Testsignal die Amplitude und die Phase des vorlaufenden und des rücklaufenden Testsignals mittels der internen Messeinrichtung vermessen werden, wobei bei einer Abweichung von den Überprüfungswerten für einen Sendepfad ein Kabelfehler festgestellt und ausgegeben wird. Auf diese Weise ist es mit dem erfindungsgemäßen Verfahren auch möglich, beispielsweise Kabelbrüche zwischen den internen Messeinrichtungen und den Spulenelementen zu erkennen, weshalb im Rahmen der ersten Kalibrationsmessung zusätzlich eine Referenzmessung durchgeführt wird. Dabei wird auf jedem Kanal, also jedem Sendepfad, der Reihe nach ein vordefiniertes Testsignal gesendet. Die Phase und die Amplitude der vorlaufenden und der rücklaufenden Welle des Sendepfads werden detektiert und gespeichert (Hierzu können an jeden Richtkoppler einer internen Messeinrichtung

zwei Empfänger angeschlossen sein, so dass die vorlaufende und die rücklaufende Welle detektiert werden können). Die so beschriebene Referenzmessung kann mit angeschlossener Hochfrequenzspule, jedoch auch mit offenem Sendekabelabschluss erfolgen. Als Reaktion auf einen Trigger, beispielsweise einen Neustart der Sendeeinrichtung, kann vollautomatisch eine Überprüfungsmessung durchgeführt werden, wozu, analog zur Referenzmessung im Rahmen der ersten Kalibrationsmessung, das vordefinierte Testsignal der Reihe nach über alle Sendepfade ausgegeben wird. Es wird erneut die Amplitude und die Phase gemessen, wobei sich gezeigt hat, dass insbesondere die Phase dabei sehr empfindlich auf Kabellängenänderungen durch Brüche und dergleichen reagiert. Ist der Sendepfad zwischen der internen Messeinrichtung, insbesondere einem Richtkoppler, und dem Spulenelement beschädigt, ändern sich Amplitude und Phase der rücklaufenden Welle, ist ein Kabel zwischen einer Verstärkungseinrichtung und dem Richtkoppler beschädigt, ändern sich sogar die Amplitude und die Phase der vorlaufenden Welle. Mithin kann durch einen Vergleich von Phase und/oder Amplitude mit den in der Referenzmessung aufgenommenen Überprüfungswerten festgestellt werden, ob und wo ein Kabelfehler vorliegt. Wichtig ist dabei, dass die Messanordnung identisch zur Referenzmessung ist, mithin wiederum dieselbe Hochfrequenzspule angeschlossen sein kann oder wiederum offene Kabelenden (ungesteckte Spule) vorliegen. Es sei darauf hingewiesen, dass, was die automatische Triggerung der Überprüfungsmessung (Vergleichsmessung) angeht, selbstverständlich auch detektiert werden kann, ob und welche Spule an die Sendeeinrichtung angeschlossen ist, was im Stand der Technik weithin bekannt ist. Wird mit offenen Enden der Sendepfade gearbeitet, kann es zweckmäßig sein, unmittelbar nach Start der Sendeeinrichtung, vor Anschluss von Hochfrequenzspulen, die Überprüfungsmessung durchzuführen. Es sei zum einen noch darauf hingewiesen, dass selbstverständlich bei diesen Messungen von Phase und Amplitude bereits die Korrekturen aufgrund der ersten und der zweiten Phase angewandt wurden, wie oben beschrieben. Ferner sei darauf hingewiesen, dass dann, wenn bei angeschlossener Hochfrequenzspule gearbeitet wird, die Spulenlast identisch zur Referenzmessung sein muss, was bei Magnetresonanzeinrichtungen durch eine unbeladene Spule sichergestellt werden kann.

[0024] Wie bereits erwähnt wurde, kann es beim Neustart der Sendeeinrichtung zu unterschiedlichen Phasen der Modulatoren und Empfänger der internen Messeinrichtungen kommen. Dem kann durch eine äußerst komplexe und schwer zu realisierende Synchronisationseinrichtung entgegengewirkt werden, wobei bei Vorsehen einer solchen die Ergebnisse der ersten Kalibrationsmessung ständig unverändert weiterverwendet werden können. Dies ist je-

doch weniger bevorzugt, nachdem hierfür ein großer Aufwand erforderlich ist. Weiterhin ist es weniger erwünscht, die erste Kalibrationsmessung nach jedem Neustart der Sendeeinrichtung erneut durchführen zu müssen, da dies jedes Mal das Anschließen der externen Messeinrichtung für jeden Sendepfad bedingen würde.

[0025] Zur Lösung dieser Problematiken schlägt eine äußerst vorteilhafte Weiterbildung der vorliegenden Erfindung vor, dass zur Erzeugung von Signalen auf den Sendepfaden jeweils ein Modulator verwendet wird und die internen Messeinrichtungen jeweils einen oder den Empfänger aufweisen, wobei während der ersten Kalibrationsmessung

- a) die Phasen aller Empfänger mit der Phase eines vorbestimmten Referenzmodulators der Modulatoren verglichen werden und die Abweichungen als Empfängerreferenzphasen abgespeichert werden und/oder
- b) die Phasen aller Modulatoren mit der Phase eines vorbestimmten Referenzempfängers verglichen werden und die Abweichungen als Modulatorreferenzphasen abgespeichert werden,

wobei während einer zweiten, auf einen Neustart der Sendeeinrichtung folgenden Kalibrationsmessung

- a) die Phasen aller Empfänger mit der Phase des vorbestimmten Referenzmodulators der Modulatoren verglichen werden und die Abweichungen als aktuelle Empfängerphasen abgespeichert werden und/oder
- b) die Phasen aller Modulatoren mit der Phase des vorbestimmten Referenzempfängers verglichen werden und die Abweichungen als aktuelle Modulatorphasen abgespeichert werden,

und wobei nach jeder zweiten Kalibrationsmessung bei der phasengenauen Ansteuerung und/oder Korrektur für jeden Sendepfad auch wenigstens eine der Differenzen zwischen der aktuellen Empfängerphase und der Empfängerreferenzphase und zwischen der aktuellen Modulatorphase und der Modulatorreferenzphase berücksichtigt wird, indem zu dem als Differenz der ersten Phase und der zweiten Phase bestimmten Korrekturwert die Differenz der aktuellen Empfängerphase und der Empfängerreferenzphase addiert wird und/oder von der Zielphase zur Ermittlung der Ansteuerphase auch die Differenz der aktuellen Modulatorphase und der Modulatorreferenzphase abgezogen wird.

[0026] Auf diese Weise erlaubt es die vorliegende Erfindung, durch eine automatisch mit jedem Neustart der Sendeeinrichtung stattfindende zweite Kalibrationsmessung auch Phasensprünge von Modulatoren oder Empfängern (Receivern) beim Neustart der Sendeeinrichtung zu berücksichtigen, wenn während der ersten Kalibrationsmessung Referenzwerte aufgenommen wurden, mithin bekannt ist, für welche

relativen Phasen der Modulatoren und/oder Empfänger die erste und die zweite Phase aufgenommen wurden. Somit wird dann ermöglicht, die Korrektur- bzw. Ansteuervorgänge geeignet unter Kenntnis einer gegebenenfalls aufgetretenen weiteren Verschiebung zu modifizieren, ohne dass eine äußerst aufwendige Synchronisationseinrichtung benötigt würde. Dabei wird vorgeschlagen, um Phasendifferenzen bei den Modulatoren festzustellen, jeweils einen festen Empfänger als Vergleich heranzuziehen, und um Phasenunterschiede bei den Empfängern festzustellen, jeweils einen festen Modulator zum Vergleich zu verwenden. Somit ist eine feste Referenz gegeben, die einen Vergleich der Modulatorreferenzphase und der aktuellen Modulatorphase bzw. der Empfängerreferenzphase und der aktuellen Empfängerphase erlaubt. Letztlich werden also nach jedem Neustart der Sendeeinrichtung die Schritte a) und b) der ersten Kalibrationsmessung, die auch als eine einmalig durchzuführende „tune-up“-Messung bezeichnet werden kann, zu wiederholen, um so die aktuellen Phasen zu bestimmen.

[0027] Dabei ist es, wie bereits dargelegt wurde, zweckmäßig, wenn die zweite Kalibrationsmessung automatisch bei jedem Neustart der Sendeeinrichtung ausgeführt wird, wobei darauf hingewiesen wird, dass für die entsprechenden „Messpfade“ innerhalb der Sendeeinrichtung selbstverständlich geeignete Schaltmittel vorgesehen sein können, die von einer Steuereinrichtung der Sendeeinrichtung auch automatisch angesteuert werden können, um die Messung zu ermöglichen.

[0028] Zweckmäßig ist es, wenn zur Ermittlung der Empfängerreferenzphasen und der aktuellen Empfängerphasen ein Vergleichssignal des bestimmten Referenzmodulators mittels eines Splitters auf die Empfänger verteilt wird. Analog ist es zweckmäßig, wenn zur Ermittlung der Modulatorreferenzphasen und der aktuellen Modulatorphasen das Vergleichssignal der Modulatoren über einen Kombiner an den bestimmten Referenzempfänger weitergeleitet wird. In den entsprechenden Pfaden sind dann, wie bereits angedeutet wurde, zusätzlich geeignete Schaltmittel vorgesehen, um die zweite Kalibrationsmessung ohne manuelle Interaktion automatisiert durchführen zu können.

[0029] Neben dem Verfahren betrifft die vorliegende Erfindung auch eine Sendeeinrichtung für eine Magnetresonanzeleinrichtung, ausgebildet zur unabhängigen Ansteuerung mehrerer Spulenelemente einer Hochfrequenzspule, wozu die Sendeeinrichtung mehrere Sendepfade umfasst, die jeweils einen Modulator, eine Verstärkereinrichtung, eine der Verstärkereinrichtung nachgeschaltete interne Messeinrichtung zur Messung einer ersten Phase eines ausgesendeten Hochfrequenzsignals und einen als Referenzebene betrachteten Steckplatz für ein Spulenele-

ment der Referenzspule umfassen, aufweisend eine externe, an einem Steckplatz anschließbare Messeinrichtung zur Messung einer zweiten Phase eines ausgesendeten Hochfrequenzsignals und eine zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ausgebildete Steuereinrichtung. Sämtliche Ausführungen bezüglich des erfindungsgemäßen Verfahrens lassen sich analog auf die erfindungsgemäße Sendeeinrichtung übertragen, so dass auch mit dieser die beschriebenen Vorteile erhalten werden können. Insbesondere lassen sich die beschriebenen konstruktiven Ausgestaltungen, beispielsweise die Verwendung eines Combiners und/oder eines Splitters, auf die erfindungsgemäße Sendeeinrichtung problemlos übertragen. Die Sendeeinrichtung kann Teil einer Magnetresonanzeinrichtung sein, die ein Hochfrequenz-Mehrkanal-Sendesystem mit einer mehrere unabhängig ansteuerbare Spulenelemente umfassenden Hochfrequenzspule aufweist. Die Steuereinrichtung kann für die erste Kalibrationsmessung ausgebildet sein, einen Benutzer durch die erste Kalibrationsmessung zu führen, was von diesem vorzunehmende Handlungen, beispielsweise das Anschließen/Umstecken der externen Messeinrichtung, angeht, wozu beispielsweise geeignete Ausgabemittel vorgesehen sein können bzw. geeignete Schalter, die ein Benutzer nach Anschluss der externen Messeinrichtung betätigen kann und dergleichen. Alle Messschritte des Verfahrens und auch die gegebenenfalls durchzuführende zweite Kalibrationsmessung werden automatisch getriggert und gestartet sowie durchgeführt.

[0030] Es sei an dieser Stelle noch angemerkt, dass es bezüglich der Detektion von Kabelbrüchen oder sonstigen Kabelbeschädigungen auch denkbar ist, sogar zwei Instanzen der Referenzmessung und der Überprüfungsmessung durchzuführen, nämlich einmal mit Last und einmal ohne eine Last, so dass zwei Vergleichsmöglichkeiten vorliegen.

[0031] Weitere Vorteile und Einzelheiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus den im Folgenden beschriebenen Ausführungsbeispielen sowie anhand der Zeichnung. Dabei zeigen:

[0032] Fig. 1 eine prinzipielle Skizze einer Magnetresonanzeinrichtung mit einer erfindungsgemäßen Sendeeinrichtung, und

[0033] Fig. 2 eine erfindungsgemäße Sendeeinrichtung.

[0034] Fig. 1 zeigt eine Prinzipskizze einer Magnetresonanzeinrichtung 1, welche, wie hier der Übersicht halber nicht näher dargestellt, im Stand der Technik übliche Komponenten umfasst, beispielsweise eine Hauptmagneteinheit mit einem supraleitenden Hauptmagneten, die eine Patientenaufnahme definiert, in die eine Patientenliege einfahrbar ist. Die

Patientenaufnahme umgebend ist ferner üblicherweise eine Gradientenspulenordnung vorgesehen.

[0035] Hochfrequenzsignale zur Anregung der Kernspins werden bei der Magnetresonanzeinrichtung 1 durch ein Hochfrequenz-Mehrkanal-Sendesystem 2 generiert, welches eine Hochfrequenz-Spule 3, beispielsweise eine Körperspule, umfasst, die aus einer Mehrzahl von unabhängig ansteuerbaren Spulenelementen 4 besteht. Auf diese Weise ist es möglich, unter Kenntnis der von den einzelnen Spulenelementen 4 erzeugten Magnetfelder, die häufig als sogenannte B1-Maps gemessen werden und hinterlegt sind, beliebige Anregungen herzustellen, was auch bedeuten kann, dass die Spulenelemente 4 mit unterschiedlichen Phasen angesteuert werden, so dass sich eine Phasendifferenz bildet, die beispielsweise in bestimmten Bereichen zur gewollten Interferenz führt. Nachdem das Phasenverhalten der Spulenelemente 4 und ihrer Kabel 5 bereits grundsätzlich bekannt ist und im Rahmen eines Modells üblicherweise vom Hersteller der Spulenelemente 4 mitgeliefert wird, ist dies für die Sendeeinrichtung 6, die die über die Spulenelemente 4 auszusendenden Hochfrequenzsignale zur Verfügung stellt, nicht zwangsläufig der Fall. Um eine phasengenaue Ansteuerung und eine Überprüfung der richtigen Phasendifferenzen zu erlauben, müssen die Phasendifferenzen an einer Referenzebene 7, die hier durch die Steckplätze 8 der Sendeeinrichtung 6 definiert ist, bekannt sein. Mit der Kalibrierung der Sendeeinrichtung 6 bezüglich möglicher Phasenunterschiede beim Senden und bei der Überprüfungsmessung gesendeter Hochfrequenzsignale sowie dem Nutzen der Kalibrierungsinformation beim üblichen Betrieb der Sendeeinrichtung 6 beschäftigt sich die vorliegende Erfindung.

[0036] Hierzu sei zunächst die Struktur der Sendeeinrichtung 6 im Hinblick auf Fig. 2 näher dargelegt. Bei Fig. 2 handelt es sich um eine Prinzipskizze, die die grundsätzlichen Wirkungszusammenhänge verschiedener Komponenten zeigt, jedoch nicht einen exakten Schaltplan wiedergibt, dessen konkrete Realisierung dem Fachmann jedoch problemlos möglich ist.

[0037] Für jeden Kanal, also jedes Spulenelement 4, ist in der Sendeeinrichtung 6, wie grundsätzlich bekannt, ein Sendepfad vorgesehen, in dem zunächst das Hochfrequenz-Signal als Kleinsignal durch einen Modulator 9 erzeugt wird. Das Kleinsignal wird an eine Hochfrequenz-Verstärkereinrichtung 10 weitergeleitet und dort auf die gewünschte Amplitude verstärkt. Danach kann das so verstärkte Hochfrequenzsignal an den Steckplatz 8 weitergeleitet werden. Vorliegend sind nicht für jede der allgemein n Sendepfade die Komponenten gezeigt, sondern der Übersichtlichkeit halber nur für den ersten Sendepfad, $i = 1$, und den letzten Sendepfad, $i = n$, wobei die

sonstigen Komponenten durch entsprechende Fortsetzungspunkte angezeigt sind.

[0038] Aufgrund der räumlichen und elektromagnetischen Feldverhältnisse ist es bei einer Magnetresonanzeinrichtung **1** im Allgemeinen nicht möglich, eine interne Messeinrichtung, die Phase und Amplitude des Hochfrequenzsignals aufnimmt, unmittelbar am Steckplatz **8**, also der Referenzebene **7**, anzuordnen. Mithin liegt eine gegebenenfalls von Sendekanal zu Sendekanal unterschiedliche Kabellänge zwischen einer internen Messeinrichtung und dem Steckplatz **8** vor, zudem bestehen ggf. Unterschiede zwischen den internen Messeinrichtungen selber. Vorliegend sind die der Verstärkereinrichtung **10** nachgeschalteten internen Messeinrichtungen durch jeweils einen Richtkoppler **11** und einen Empfänger **12** realisiert, wobei der Empfänger **12** einen Demodulator und einen Analog-Digital-Wandler enthält.

[0039] Gesteuert wird der Betrieb der Sendeeinrichtung **6** über eine Steuereinrichtung **22**, die auch das erfindungsgemäße Verfahren durchführt.

[0040] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist ein Betrieb der Sendeeinrichtung **6** möglich, der ein phasengenaues Senden und Detektieren von Hochfrequenzpulsen (Hochfrequenzsignalen) in einer Hochfrequenzspule **3** mit n Spulenelementen **4** erlaubt, wozu eine Reihe von Kalibrationsmessungen durchgeführt wird. Diese sind zu unterscheiden in eine nur einmalig durchzuführende erste Kalibrationsmessung (tune up) und zweite Kalibrationsmessungen, die nach jedem Neustart der Sendeeinrichtung **6** durchzuführen sind, welche insgesamt im Folgenden näher dargelegt werden sollen.

[0041] Beim Erstanschluss der Sendeeinrichtung **6**, nach der Verkabelung zwischen den Komponenten der Sendeeinrichtung **6**, werden die folgenden Messungen einmalig durchgeführt. Dabei ist vorab anzumerken, dass bis zum Abschluss der Messungen kein System-Neustart der Sendeeinrichtung **6** durchgeführt wird, um Phasensprünge der Modulatoren **9** und der Empfänger **12** zu vermeiden.

[0042] Für eine erste Teilmessung der ersten Kalibrationsmessung, die zu Beginn durchgeführt wird, wird eine externe Messeinrichtung verwendet, die wiederum einen Richtkoppler **13** und einen Empfänger **14** aufweist, der in diesem Fall fest in der Sendeeinrichtung **6** verbaut ist. Der Anteil mit dem Richtkoppler **13** kann unmittelbar in den Steckplätzen **8** angeschlossen werden, so dass die Phase tatsächlich in der Referenzebene **7** vermessen werden kann. Dabei wird ein $50\ \Omega$ -Abschluss **15** („dummy load“) verwendet, welcher eine ideale Spule definiert. Über die externe Messeinrichtung ist es möglich, nachdem sie nacheinander an allen Steckplätzen **8** angeschlossen werden kann, die Phasen für alle Sendepfade an der

Referenzebene **7** zu vermessen. Da die Messungen stets mit der gleichen externen Messeinrichtung erfolgen, sind die Phasen vergleichbar, wobei selbstverständlich für jede Messung die Modulatoren **9** mit derselben Phase, also einem vorbestimmten Hochfrequenzsignal (Testpuls), angesteuert werden.

[0043] Der Messablauf ist folgendermaßen: der externe Richtkoppler wird an den Steckplatz **8** des i -ten Sendepfades angeschlossen. Dann wird ein vorbestimmtes Hochfrequenzsignal gesendet und die Phase α_i am externen Richtkoppler **13** über den Empfänger **14** gemessen, mithin über den Signalpfad **16**. Die Phase α_i soll im Folgenden als zweite Phase bezeichnet werden. Die zweiten Phasen α_i werden gespeichert und können im Folgenden verwendet werden, um eine korrigierte Ansteuerphase $\varphi_{c,i}$ zu berechnen, mit der der i -te Modulator **9** angesteuert werden muss, um in der Referenzebene **7** die Zielphase $\varphi_{z,i}$ zu erhalten, welche sich aus gewünschten Phasendifferenzen ergibt. Das bedeutet, wenn die Zielphasen $\varphi_{t,i}$ bekannt sind, kann die Steuereinrichtung **22** zunächst, solange also noch kein Systemneustart durchgeführt wurde, was im Folgenden diskutiert werden wird, die Ansteuerphase für jeden Sendepfad i berechnen zu

$$\varphi_{c,i} = \varphi_{t,i} - \alpha_i$$

[0044] In der ersten Teilmessung wird für das vorbestimmte Hochfrequenzsignal, das auch als Testpuls bezeichnet werden kann, jedoch auch eine erste Phase β_i am internen Richtkoppler **11** der internen Messeinrichtung gemessen. Die erste und die zweite Phase werden für alle n Sendekanäle gemessen. Dabei kann eine Unterstützung des Benutzers durch Ansteuerung eines Ausgabemittels durch die Steuereinrichtung **22** realisiert werden, welche beispielsweise Anweisung geben kann, die externe Messeinrichtung, also den Richtkoppler **13**, an einen bestimmten Steckplatz anzuschließen und danach ein Bedienelement zu betätigen, um die Bereitschaft zur Messung anzuzeigen.

[0045] Sind die erste und die zweite Phase bekannt, lassen sich auch weitere Messungen an den Richtkopplern **10** (zumindest bis zu einem Systemneustart) so umrechnen, dass die Phase an der Referenzebene **7** erhalten wird. Bezeichnet man mit $\psi_{m,i}$ die am i -ten Richtkoppler **11** gemessene Phase, muss wie folgt durch die Steuereinrichtung **22** korrigiert werden, um die Phase $\psi_{s,i}$ am zugehörigen Steckplatz **8** zu erhalten:

$$\psi_{s,i} = \alpha_i - (\beta_i - \psi_{m,i}) = \psi_{m,i} - (\beta_i - \alpha_i)$$

[0046] Der Wert $(\beta_i - \alpha_i)$ ist mithin ein Korrekturwert, der ebenso in der Steuereinrichtung **22** abgespeichert wird.

[0047] Das erfindungsgemäße Betriebsverfahren berücksichtigt jedoch auch weitere Effekte, nämlich zum einen die Tatsache, dass die Phasenverhältnisse zwischen unterschiedlichen Modulatoren **9** und unterschiedlichen Empfängern **12** nach einem Neustart der Sendeeinrichtung **6** nicht mehr dieselben wie bei der ersten Kalibrationsmessung sein müssen, zum anderen aber auch die Möglichkeit von Kabelbrüchen, so dass weitere Teilmessungen im Rahmen der ersten Kalibrationsmessung vorgenommen werden. Nachdem mithin die erste Phase β_i über den Signalpfad **17** und die zweite Phase α_i über den Signalpfad **16** vermessen wurden, wird die externe Messeinrichtung wieder von den Spulensteckplätzen **8** entfernt und es werden als zweite Teilmessung die Phasen aller Empfänger **12** mit einem einheitlichen Referenzsignal aus stets dem gleichen Modulator **9** verglichen, wobei die Abweichungen als Empfängerreferenzphasen γ_i abgespeichert werden. Hierzu weist die Sendeeinrichtung **6** einen Splitter **18** auf, der über ein entsprechendes Schaltmittel **19** zum Zweck der zweiten Teilmessung durch die Steuereinrichtung **22** zugeschaltet werden kann. Der Splitter **18** verteilt das Signal des festen, vorbestimmten Referenzmodulators **9** an die Empfänger **12**, so dass die Bestimmung der γ_i stattfinden kann. Die Empfängerreferenzphasen γ_i werden abgespeichert.

[0048] In einer dritten Teilmessung werden nun die Phasen aller Modulatoren **9** mit der Phase eines festen, vorbestimmten Referenzempfängers **12** verglichen, wobei die Abweichungen als Modulatorreferenzphasen δ_i abgespeichert werden. Hierfür wird ein Combiner **20**, dem ebenso ein entsprechendes, durch die Steuereinrichtung **22** ansteuerbares Schaltmittel **21** zugeordnet ist, verwendet. Die tatsächliche Messung findet dann im Referenzempfänger **12** statt. Die abgespeicherten Werte γ_i und δ_i werden später nach einem Neustart der Sendeeinrichtung **6** und der zweiten Kalibrationsmessung verwendet, um Phasensprünge der einzelnen Modulatoren **9** bzw. Empfänger **12** feststellen zu können.

[0049] Schließlich findet noch eine vierte Teilmessung statt, die mit der internen Messeinrichtung, also an den Richtkopplern **11**, vorgenommen wird. Dabei wird der oben dargelegte Korrekturwert $(\beta_i - \alpha_i)$ bereits verwendet. Um später Kabelbrüche oder sonstige Kabelbeschädigungen feststellen zu können, wird ein klar definiertes Testsignal auf jedem Sendepfad ausgesandt, wobei jedoch auch eine klar definierte Belastungssituation nach dem Steckplatz **8** gegeben ist, sei es ein offenes Ende oder die bereits angeschlossenen Spulenelemente **4** der Hochfrequenzspule **3**. Für dieses Testsignal werden die Amplitude und die Phase des vorlaufenden und des rücklaufenden Testsignals mittels der internen Messeinrichtung gemessen, wobei entsprechend die Empfänger **12** Einrichtungen für die hinlaufende und die rücklaufende Welle symbolisieren. Für jeden Sendepfad

werden die Amplituden und Phasen des hinlaufenden und des rücklaufenden Testsignals als Überprüfungswerte abgespeichert.

[0050] Damit ist die erste Kalibrationsmessung beim Tune-Up abgeschlossen und der Betrieb der Sendeeinrichtung **6** kann aufgenommen werden, wobei nach den beiden obigen Formeln Ansteuerphasen und korrigierte, sich auf die Referenzebene **7** beziehende Messwerte erhalten werden.

[0051] Eine zweite Kalibrationsmessung erfolgt nach dem Neustart der Sendeeinrichtung **6**. Denn nach einem Neustart können sich die Phasen δ_i der Modulatoren **9** und die Phasen γ_i der Empfänger **12** ändern. Mithin werden in der zweiten Kalibrationsmessung nun automatisch, also ohne dass ein Eingriff von Bedienpersonal erforderlich ist, die zweite und die dritte Teilmessung der ersten Kalibrationsmessung wiederholt, so dass sich Werte δ_i^* und γ_i^* ergeben. Die automatisierte Durchführung der Messungen ergibt sich durch die Verwendung der ansteuerbaren bzw. programmierbaren Schaltmittel **19**, **21**. Im Übrigen kann solch ein Schaltmittel selbstverständlich auch für den Signalpfad **17** vorgesehen sein.

[0052] Sind die aktuellen Empfängerphasen γ_i^* und die aktuellen Modulatorphasen δ_i^* erst bekannt, lassen sich auch die gegebenenfalls vorliegenden Phasensprünge an den Modulatoren **9** und den Empfängern **12** berücksichtigen und es ergibt sich für die korrekte Ansteuerphase $\varphi_{c,i}$:

$$\varphi_{c,i} = \varphi_{t,i} - \alpha_i - (\delta_i^* - \delta_i).$$

[0053] Entsprechend aktualisiert sich die Formel, mit der die Phasen in der Referenzebene **7** aus den Phasen an den Richtkopplern **11** ermittelt werden können, zu:

$$\Psi_{s,i} = \psi_{m,i} - (\beta_i - \alpha_i) - (\gamma_i^* - \gamma_i).$$

[0054] Zusätzlich wird nach einem Neustart der Sendeeinrichtung **6** das System **2** auf gebrochene Sendekabel untersucht, wobei unter Herstellung derselben Umstände wie bei der vierten Teilmessung der ersten Kalibrationsmessung, also analog zur Tune-Up-Messung, das klar definierte Testsignal in einer Überprüfungsmessung der Reihe nach auf allen Sendepfaden gesendet. Erneut werden die Phasen und Amplituden des vorlaufenden und des rücklaufenden Testsignals nach Anwendung der Korrekturen für alle Sendepfade gemessen und mit den Überprüfungswerten verglichen. Liegt ein Kabelbruch oder eine Kabelbeschädigung zwischen der Verstärkereinrichtung **10** und dem Richtkoppler **11** vor, ändern sich die Amplitude und die Phase der vorlaufenden Welle, liegt ein Kabelbruch oder eine Kabelbeschädigung zwischen dem Richtkoppler **11** und dem Spulensteck-

platz **8** bei offenem Ende bzw. dem Spulenelement **4** bei angeschlossener Hochfrequenzspule **3** vor, ändern sich die Amplitude und die Phase der rücklaufenden Welle, wobei insgesamt anzumerken ist, dass Kabellängenänderungen besonders deutlich an der Phase erkennbar sind. Wird ein Fehler festgestellt, wird der Betrieb der Sendeeinrichtung **6** und mithin des gesamten Hochfrequenz-Mehrkanal-Sendesystems **2** unterbrochen.

[0055] Es sei darauf hingewiesen, dass die Tatsache, ob eine und/oder welche Hochfrequenzspule **3** an den Steckplätzen angeschlossen ist, über im Stand der Technik grundsätzliche bekannte Detektionsvorrichtungen können leicht festgestellt werden kann. Es ist im Übrigen auch denkbar, die sich auf die Überprüfungswerte beziehenden Teilmessungen der beiden Kalibrationsmessungen mehrfach für unterschiedliche Belastungs- bzw. Anschlusszustände durchzuführen. So kann beispielsweise unterschieden werden, ob ein Problem im Kabel vom Steckplatz zum Spulenelement **4** oder innerhalb der Sendeeinrichtung **6** vorliegt.

[0056] Obwohl die Erfindung im Detail durch das bevorzugte Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

Bezugszeichenliste

1	Magnetresonanzeinrichtung
2	Hochfrequenz-Mehrkanal-Sendesystem
3	Hochfrequenz-Spule
4	Spulenelement
5	Kabel
6	Sendeeinrichtung
7	Referenzebene
8	Steckplatz
9	Modulator
10	Verstärkereinrichtung
11	Richtkoppler
12	Empfänger
13	Richtkoppler
14	Empfänger
15	Abschluss
16	Signalpfad
17	Signalpfad
18	Splitter
19	Schaltmittel
20	Combiner
21	Schaltmittel
22	Steuereinrichtung

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer zur unabhängigen Ansteuerung mehrerer Spulenelemente (**4**) einer Hochfrequenzspule (**3**) über unterschiedliche Sendepfade ausgebildeten Sendeeinrichtung (**6**) einer Magnetresonanzeinrichtung (**1**), wobei zur Ansteuerung der Spulenelemente (**4**) mit unterschiedlichen Phasen Phasendifferenzen in einer Referenzebene (**7**) berücksichtigt werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass in einer einmalig durchzuführenden ersten Kalibrationsmessung für jeden Sendepfad durch eine in der Sendeeinrichtung (**6**) beabstandet von der Referenzebene (**7**) fest installierte, interne Messeinrichtung eine erste Phase eines ausgesendeten Hochfrequenzsignals und durch eine zweite, zur Kalibrationsmessung an der Referenzebene (**7**) anzuschließende externe Messeinrichtung eine zweite Phase des ausgesendeten Hochfrequenzsignals gemessen wird, wobei wenigstens eine der ersten und zweiten Phasen bei der phasengenauen Ansteuerung der Spulenelemente (**4**) und/oder zur Korrektur weiterer Messungen mit der internen Messeinrichtung berücksichtigt werden, indem für jeden Sendepfad ein Korrekturwert aus der Differenz der ersten Phase und der zweiten Phase ermittelt und von folgenden Messungen mit der internen Messeinrichtung abgezogen wird, um die aktuelle Phase an der Referenzebene (**7**) zu ermitteln, und/oder die zweite Phase von einer Zielphase zur Ermittlung einer Ansteuerphase abgezogen wird, mit der ein Hochfrequenzsignal erzeugt wird, um die Zielphase an der Referenzebene (**7**) zu erhalten.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass als die interne und die externe Messeinrichtung jeweils ein mit einem Analog-Digital-Wandler aufweisenden Empfänger (**12**, **14**) verbundener Richtkoppler (**11**, **13**) verwendet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der der externen Messeinrichtung zugehörige, insbesondere in der Sendeeinrichtung (**6**) fest verbaute Empfänger (**14**) ausschließlich für die externe Messeinrichtung genutzt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Empfänger (**12**) für die internen Messeinrichtungen auch zum Empfang von Magnetresonanzsignalen mit der Hochfrequenzspule (**3**) verwendet werden.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Rahmen der ersten Kalibrationsmessung, insbesondere bei angeschlossener Hochfrequenzspule (**3**), ein klar definiertes Testsignal auf jedem Sendepfad ausgesandt und für jedes Testsignal die Amplitude und die Phase des vorlaufenden und des rücklaufenden Testsignals mittels der internen Messeinrichtung vermes-

sen und als Überprüfungswerte abgespeichert werden, wobei zu wenigstens einem späteren Zeitpunkt in einer Überprüfungsmessung bei gleicher Konfiguration, insbesondere also wiederum bei angeschlossener Hochfrequenzspule (3), für jeden Sendepfad erneut das Testsignal ausgesendet wird und für jedes Testsignal die Amplitude und die Phase des vorlaufenden und des rücklaufenden Testsignals mittels der internen Messeinrichtung vermessen werden, wobei bei einer Abweichung von den Überprüfungswerten für einen Sendepfad ein Kabelfehler festgestellt und ausgegeben wird.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Erzeugung von Signalen auf den Sendepfaden jeweils ein Modulator (9) verwendet wird und die internen Messeinrichtungen jeweils einen oder den Empfänger (12) aufweisen, wobei während der ersten Kalibrationsmessung

a) die Phasen aller Empfänger (12) mit der Phase eines vorbestimmten Referenzmodulators (9) der Modulatoren (9) verglichen werden und die Abweichungen als Empfängerreferenzphasen abgespeichert werden und/oder

b) die Phasen aller Modulatoren (9) mit der Phase eines vorbestimmten Referenzempfängers (12) der Empfänger (12) verglichen werden und die Abweichungen als Modulatorreferenzphasen abgespeichert werden,

wobei während einer zweiten, auf einen Neustart der Sendeeinrichtung (6) folgenden Kalibrationsmessung

a) die Phasen aller Empfänger (12) mit der Phase des vorbestimmten Referenzmodulators (9) verglichen werden und die Abweichungen als aktuelle Empfängerphasen abgespeichert werden und/oder

b) die Phasen aller Modulatoren (9) mit der Phase des vorbestimmten Referenzempfängers (12) verglichen werden und die Abweichungen als aktuelle Modulatorphasen abgespeichert werden,

und wobei nach jeder zweiten Kalibrationsmessung bei der phasengenauen Ansteuerung und/oder Korrektur für jeden Sendepfad auch wenigstens eine der Differenzen zwischen der aktuellen Empfängerphase und der Empfängerreferenzphase und zwischen der aktuellen Modulatorphase und der Modulatorreferenzphase berücksichtigt wird, indem zu dem als Differenz der ersten Phase und der zweiten Phase bestimmten Korrekturwert die Differenz der aktuellen Empfängerphase und der Empfängerreferenzphase addiert wird und/oder nach jeder zweiten Kalibrationsmessung von der Zielphase zur Ermittlung der Ansteuerphase auch die Differenz der aktuellen Modulatorphase und der Modulatorreferenzphase abgezogen wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zweite Kalibrationsmessung auto-

matisch bei jedem Neustart der Sendeeinrichtung (6) ausgeführt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Ermittlung der Empfängerreferenzphasen und der aktuellen Empfängerphasen ein Vergleichssignal des bestimmten Referenzmodulators (9) mittels eines Splitters (18) auf die Empfänger (12) verteilt wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Ermittlung der Modulatorreferenzphasen und der aktuellen Modulatorphasen das Vergleichssignal der Modulatoren (9) über einen Combiner (20) an den bestimmten Referenzempfänger (12) weitergeleitet wird.

10. Sendeeinrichtung (6) für eine Magnetresonanzeinrichtung (1), ausgebildet zur unabhängigen Ansteuerung mehrerer Spulenelemente (4) einer Hochfrequenzspule (3), wozu die Sendeeinrichtung (6) mehrere Sendepfade umfasst, die jeweils einen Modulator (9), eine Verstärkereinrichtung (10), eine der Verstärkereinrichtung (10) nachgeschaltete interne Messeinrichtung zur Messung einer ersten Phase eines ausgesendeten Hochfrequenzsignals und einen als Referenzebene (7) betrachteten Steckplatz (8) für ein Spulenelement (4) der Hochfrequenzspule (3) umfasst, aufweisend eine externe, an einem Steckplatz (8) anschließbare Messeinrichtung zur Messung einer zweiten Phase eines ausgesendeten Hochfrequenzsignals und eine zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche ausgebildete Steuereinrichtung (22).

Es folgt eine Seite Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

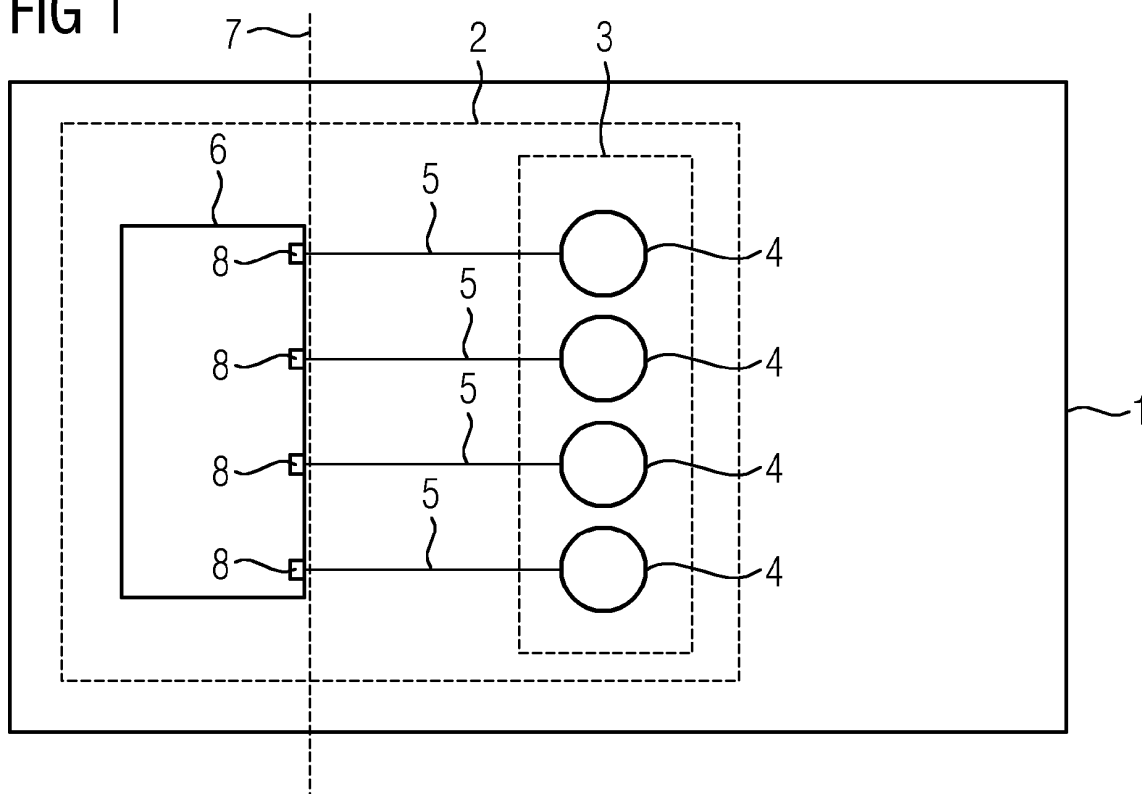


FIG 2

