



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 027 026 A1** 2004.12.23

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 027 026.0**

(22) Anmeldetag: **02.06.2004**

(43) Offenlegungstag: **23.12.2004**

(51) Int Cl.7: **G01R 33/34**

G01R 33/36, A61B 5/055

(30) Unionspriorität:

10/456816 06.06.2003 US

(74) Vertreter:

Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen

(71) Anmelder:

General Electric Co., Schenectady, N.Y., US

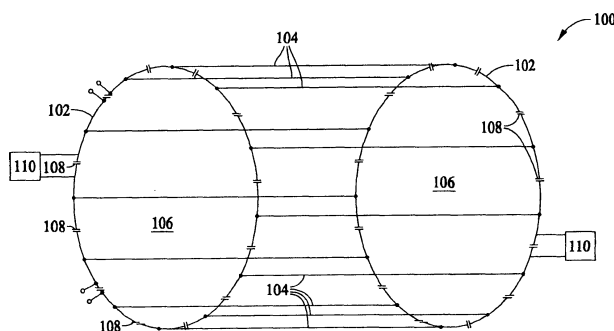
(72) Erfinder:

**Nabetani, Akira, Hino, Tokio/Tokyo, JP; Watkins,
Ronald Dean, Niskayuna, N.Y., US**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung für magnetresonanzbildgebende Systeme sehr hoher Feldstärke**

(57) Zusammenfassung: Eine Hochfrequenz(HF)-Spulenanordnung (100) zur Bildgabe eines Subjektvolumens unter Verwendung eines Magnetresonanzbildgebung(MRI)-Systems (10) hoher Feldstärke, die bei im Wesentlichen hohen Frequenzen betrieben werden kann, verfügt über eine Anzahl Leiter (104), die zylindrisch angeordnet und rings um ein Patiententunnel (106) des MRI-Systems vorgesehen sind, über eine Anzahl kapazitiver Elemente (108), die zwischen den jeweiligen Enden der Leiter und diese miteinander verbindend angeordnet sind, wobei die mehreren Leitern und die mehreren kapazitiven Elemente eine Hochpass-Birdcage-Konfiguration bilden und über eine Anzahl dynamischer Trennschalter (110), wobei jeder dynamische Trennschalter unter Ausbildung eines Parallelresonanzkreises parallel zu einem zugeordneten kapazitiven Element liegend elektrisch angekoppelt ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein magnetresonanzbildgebendes System (MRI). Mehr im Einzelnen betrifft die Erfindung Hochfrequenz(HF)-Spulen, die bei MRI-Systemen zum Senden und/oder Empfangen von HF-Signalen verwendet werden.

[0002] MRI-Scanner, die auf verschiedenen Gebieten, wie dem der medizinischen Diagnose, eingesetzt werden, benutzen typischerweise einen Computer, um basierend auf der Wirkung eines Magneten, einer Gradientenspulenordnung und wenigstens einer Hochfrequenzspule Bilder zu erzeugen. Der Magnet erzeugt ein gleichmäßiges magnetisches Hauptfeld, das Kerne (Nuklei) wie Wasserstoffatomkerne auf eine Hochfrequenzanregung ansprechen lässt. Die Gradientenspulenordnung drückt dem magnetischen Hauptfeld eine Folge von Pulsen örtlicher Magnetfelder auf, um jedem Punkt in dem bildgebenden Volumen eine örtliche Identität zu geben, die dem speziellen Satz von Magnetfeldern während der bildgebenden Pulssequenz entspricht. Die Hochfrequenzspule(n) erzeugt einen Anregungsfrequenzimpuls, der zeitweilig eine oszillierende Quermagnetisierung erzeugt, die von der Hochfrequenzspule erfasst und von dem Computer zur Erzeugung des Bildes verwendet wird.

[0003] Allgemein gilt, dass eine sehr hohe magnetische Feldstärke dadurch gekennzeichnet ist, dass sie größer als zwei Tesla (2T) ist. Eine höhere magnetische Feldstärke stellt besondere Anforderungen an die HF-Spule, wie etwa Abgleich von Induktivität und Kapazität bei verhältnismäßig höheren Frequenzen, d.h. höher als 64 Megahertz (MHz). Bei sehr hohen magnetischen Feldern und damit sehr hohen Larmorfrequenzen weisen gebräuchliche Käfigspulen (birdcage coils) mit mäßig schmalen Kupferstreifen als Sprossen eine verhältnismäßig hohe Induktivität auf, die sehr niedrige Kapazitätswerte erfordert, um die Spule in den Resonanzzustand zu bringen. Dies ist aus mehreren Gründen problematisch. Zunächst geben hohe Ströme durch kleinstwertige Kondensatoren ein sehr hohes Spannungspotential an diesen, das zu einem örtlichen elektrischen Streufeld führen kann, welches HF-Energie in Gestalt von Wärme in ein bildgebendes Subjekt einbringt.

[0004] Im Zusammenhang mit der MRI gibt es zwei Arten elektrischer Felder. Die erste rührt von dem zeitlich veränderlichen magnetischen B1-Feld her, das in dem bildgebenden Subjekt auftritt und die zweite rührt von elektrischen Ladungen auf den Kondensatoren des HF-Spulenbaus her. Wenn ein NMR-System in einem verhältnismäßig hohen Frequenzbereich, bspw. oberhalb von 100 MHz arbeitet, kann ein beträchtlicher Strahlungsverlust auftreten. Dieser erhöhte Strahlungsverlust in den Hochfrequenzbereichen führt zu einer Zunahme der HF-Energie, die zur Erzeugung der Anregung verwendet werden muss und einer sich daraus ergebenden Abnahme des Signal/Rauschabstands (SNR, Signal-to-Noise) der empfangenen Signale.

Kurze Beschreibung der Erfindung

[0005] Unter einem Aspekt wird eine Hochfrequenz(HF)-Spulenordnung zur Bildgebung eines Subjektvolumens bei Verwendung von Magnetresonanzbildgebungssystemen (MRI) sehr hoher Feldstärke geschaffen, die bei beträchtlich hohen Frequenzen betrieben werden kann. Das MRI-System beinhaltet eine Anzahl von Leitern, die zylindrisch angeordnet und rings um ein Patiententunnel des MRI-Systems angeordnet sind, eine Anzahl von kapazitiven Elementen, die zwischen den jeweiligen Enden der Leiter und diese miteinander verbindend angeordnet sind, wobei die mehreren Leitern und die mehreren kapazitiven Elemente eine Hochpass-Birdcage-Konfiguration bilden und eine Anzahl dynamischer Sperrtrennschalter, wobei jeder dynamische Trennschalter zur Ausbildung eines Parallelresonanzkreises parallel zu einem jeweiligen kapazitiven Element liegend elektrisch angekoppelt ist.

[0006] Unter einem anderen Aspekt wird ein magnetresonanzbildgebendes System (MRI) geschaffen. Das MRI-System beinhaltet eine Hochfrequenz(HF)-Spulenordnung zur Bildgabe eines Subjektvolumens unter Verwendung von beträchtlich hohen Frequenzen. Die HF-Spule beinhaltet eine Anzahl Leiter, die zylindrisch angeordnet und rings um ein Patiententunnel des MRI-Systems vorgesehen sind, eine Anzahl kapazitiver Elemente, die zwischen den jeweiligen Enden der Leiter, diese miteinander verbindend angeordnet sind, wobei die mehreren Leiter und die mehreren kapazitiven Elemente eine Hochpass-Birdcage-Konfiguration ausbilden und eine Anzahl dynamischer Sperrschalter, wobei jeder dynamische Sperrschalter unter Ausbildung eines Parallelresonanzkreises parallel zu einem jeweiligen kapazitiven Element liegend elektrisch angekoppelt ist.

[0007] Unter einem weiteren Aspekt wird ein TEM-Resonator geschaffen. Der TEM-Resonator beinhaltet eine Anzahl von Leitern die zylindrisch angeordnet und rings um ein Patiententunnel vorgesehen sind, eine Anzahl kapazitiver Elemente, die zwischen den jeweiligen Enden der Leiter, diese miteinander verbindend angeordnet sind, wobei die mehreren Leiter und die mehreren kapazitiven Elemente eine TEM-Resonator-Konfiguration

bilden und eine Anzahl dynamischer Sperrschalter, wobei jeder dynamische Sperrschalter unter Ausbildung eines Parallelresonanzkreises parallel zu einem jeweiligen kapazitiven Element liegend elektrisch angekoppelt ist.

[0008] Unter einem noch anderen Aspekt wird ein Verfahren zum Betrieb einer Hochfrequenzspule in einem Magnetresonanzbildgebungssystem (MRI) mit sehr hoher Feldstärke, das mit verhältnismäßig hohen Frequenzen arbeitet, geschaffen. Das Verfahren beinhaltet die zylindrische Anordnung einer Anzahl Leiter rings um ein Patiententunnel des MRI-Systems, das Einfügen einer Anzahl kapazitiver Elemente zwischen den jeweiligen Enden der Leiter, wobei die mehreren Leiter und die mehreren kapazitiven Elemente eine Hochpass-Birdcage-Konfiguration bilden, das Anfügen von mehreren dynamischen Sperrschaltern parallel zu einem jeweiligen kapazitiven Element zur Ausbildung eines Parallelresonanzkreises, wobei jeder dynamische Sperrschalter eine Diode enthält und das Anlegen einer Schaltvorspannung an ein zweites Ende des dynamischen Sperrschalters, wobei die Schaltvorspannung so konfiguriert ist, dass sie die Diode jeweils in Durchlass- und in Sperrrichtung vorspannen kann.

Kurze Beschreibung der Zeichnung

[0009] Fig. 1 ist ein schematisches Blockdiagramm eines Magnetresonanzbildgebungssystems (MRI),

[0010] Fig. 2 ist eine beispielhafte Hochfrequenz (HF)-Spule, die bei dem in Fig. 1 dargestellten MRI-System verwendet werden kann,

[0011] Fig. 3 ist ein erster beispielhafter dynamischer Sperrschalter, der bei der in Fig. 2 dargestellten HF-Spule verwendet werden kann,

[0012] Fig. 4 ist ein Teil des in Fig. 3 dargestellten dynamischen Sperrschalters,

[0013] Fig. 5A ist ein beispielhaftes, vereinfachtes, elektrisches Schaltschema des in Fig. 3 dargestellten Schalters,

[0014] Fig. 5B ist ein beispielhaftes, vereinfachtes elektrisches Schaltschema des in Fig. 3 dargestellten Schalters,

[0015] Fig. 6 ist ein betriebsmäßig äquivalentes Schema des in Fig. 3 dargestellten Schalters,

[0016] Fig. 7 ist ein betriebsmäßig äquivalentes Schema des in Fig. 3 dargestellten Schalters,

[0017] Fig. 8 ist der in Fig. 3 dargestellte dynamische Sperrschalter mit einem offenen Ende,

[0018] Fig. 9 ist eine graphische Darstellung der elektrischen Kennlinie des in Fig. 8 dargestellten Schalters,

[0019] Fig. 10 ist der in Fig. 3 dargestellte dynamische Sperrschalter mit einem kurzgeschlossenen Ende,

[0020] Fig. 11 ist eine graphische Darstellung der elektrischen Kennlinie des in Fig. 10 dargestellten Schalters,

[0021] Fig. 12 ist ein zweiter beispielhafter dynamischer Sperrschalter, der bei der in Fig. 2 dargestellten HF-Spule verwendet werden kann,

[0022] Fig. 13 ist ein Teil des in Fig. 12 dargestellten dynamischen Sperrschalters,

[0023] Fig. 14 ist ein Teil des in Fig. 12 dargestellten dynamischen Sperrschalters,

[0024] Fig. 15A ist ein beispielhaftes vereinfachtes elektrisches Schema des in Fig. 12 dargestellten Schalters,

[0025] Fig. 15B ist ein beispielhaftes vereinfachtes elektrisches Schema des in Fig. 12 dargestellten Schalters,

[0026] Fig. 16 ist ein betriebsmäßig äquivalentes Schema des in Fig. 12 dargestellten Schalters,

[0027] Fig. 17 ist ein betriebsmäßig äquivalentes Schema des in Fig. 12 dargestellten Schalters,

[0028] Fig. 18 ist eine beispielhafte Birdcage-Spule mit wenigstens einem dynamischen Sperrschalter, wie er in den Fig. 3 und 12 dargestellt ist,

[0029] Fig. 19 ist eine Schnittdarstellung der Birdcage-Spule mit wenigstens einem dynamischen Sperrschalter nach Fig. 18,

[0030] Fig. 20 ist ein beispielhafter TEM-Resonator mit wenigstens einem dynamischen Sperrschalter, wie er in den Fig. 3, 12 dargestellt ist.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

[0031] So wie hier verwendet, ist ein Element oder Schritt, das bzw. der im Singular angegeben ist und dem das Wort "ein" oder "eine" vorangeht so zu verstehen, dass damit nicht mehrere solche Elemente oder Schritte ausgeschlossen sind, es sei denn, dass diese Ausschließung explizit angegeben sei. Außerdem ist die Bezugnahme auf "eine Ausführungsform" der vorliegenden Erfindung nicht so zu verstehen, dass damit das Vorhandensein weiterer Ausführungsformen ausgeschlossen wäre, die die aufgeführten Merkmale ebenfalls enthalten.

[0032] Fig. 1 ist ein Blockschaltbild einer Ausführungsform eines Magnetresonanzbildgebungssystems (MRI) 10, bei dem die hier beschriebenen Systeme und Verfahren implementiert sind. Das MRI 10 beinhaltet eine Bedienerkonsole 12, die eine Tastatur und ein Steuerpanel 14 sowie einen Bildschirm 16 aufweist. Die Bedienerkonsole 12 kommuniziert über ein Link 18 mit einem getrennten Computersystem 20, wodurch ein Bediener in die Lage versetzt wird, die Erzeugung und die Darstellung von Bildern auf dem Bildschirm 16 zu steuern. Das Computersystem 20 enthält eine Anzahl Module 22, die über eine rückwärtige Verdrahtungsebene (back plane) miteinander kommunizieren. Bei der beispielhaften Ausführungsform gehören zu den Modulen 22 ein Bildverarbeitungsmodul 24, ein CPU-Modul 26 und ein Speichermodul 28, das hier auch als Bildpufferspeicher zum speichern von Bilddatenfeldern bezeichnet wird. Das Computersystem 20 ist mit einem Diskspeicher 30 und einem Bandlaufwerk 32 verlinkt, um die Speicherung von Bilddaten und Programmen zu erleichtern. Das Computersystem 20 kommuniziert über ein serielles Hochgeschwindigkeitslink 36 mit einer getrennten Systemsteuerung 34.

[0033] Die Systemsteuerung 34 beinhaltet eine Anzahl Module 38, die unter Verwendung einer (nicht dargestellten) rückwärtigen Verdrahtungsebene (back plane) elektrisch miteinander gekoppelt sind. Bei der beispielhaften Ausführungsform gehören zu den Modulen 38 ein CPU-Modul 40 und ein Pulsgeneratormodul 42, das unter Verwendung eines seriellen Links 44 mit der Bedienerkonsole 12 elektrisch gekoppelt ist. Das Link 44 erlaubt die Übermittlung und den Empfang von Befehlen zwischen der Bedienerkonsole 12 und der Systemsteuerung 34, wodurch der Bediener in die Lage versetzt wird, eine Scannsequenz einzugeben, die das MRI-System 10 ausführen soll. Das Impulseneratormodul 42 steuert die Systemkomponenten derart an, dass diese die jeweils gewünschte Scannsequenz ausführen und erzeugt Daten, die für die zeitliche Aufeinanderfolge (timing), Stärke und Gestalt der zu erzeugenden HF-Impulse und für das Timing und die Dauer eines Datenakquisitionsfensters kennzeichnend sind. Das Impulseneratormodul 42 ist an ein Gradientenverstärkersystem 46 elektrisch angekoppelt und liefert dem Gradientenverstärkersystem 46 ein Signal das für das Timing und die Gestalt der während des Scans zu erzeugenden Gradientenimpulse kennzeichnend ist. Das Impulseneratormodul 42 ist außerdem so konfiguriert, dass es von einer physiologischen Akquisitionssteuereinrichtung 48 Patientendaten empfängt. Bei der beispielhaften Ausführungsform ist die physiologische Akquisitionssteuereinrichtung 48 so ausgelegt, dass sie von einer Anzahl Sensoren Eingangsdaten empfängt, die für den physiologischen Zustand eines Patienten kennzeichnend sind, wie etwa, aber ohne darauf beschränkt zu sein, EKG-Daten von an dem Patienten angelegten Elektroden. Das Impulseneratormodul 42 ist mit einer Scan-Raum-Interface-Schaltung 50 elektrisch gekoppelt, die so aufgebaut ist, dass sie von verschiedene Sensoren Signale empfängt, die für den Patientenzustand und das Magnetsystem kennzeichnend sind. Die Scan-Raum-Interface-Schaltung 50 ist außerdem so ausgelegt, dass sie Befehlssignale übermittelt, etwa – ohne darauf beschränkt zu sein – ein Befehlssignal für ein Patientenpositioniersystem 52, um den Patienten in die jeweils gewünschte Lage zu bewegen. Die von dem Impulseneratormodul 42 erzeugten Gradientenwellenformen werden dem Gradientenverstärkersystem 46 eingegeben, das einen G_x Verstärker 54, einen G_y Verstärker 56 und einen G_z -Verstärker 58 aufweist. Die Verstärker 54, 56, 58 erregen jeweils eine entsprechende Gradientenspule der Gradientenspulenanordnung 60, um eine Anzahl magnetischer Feldgradienten zu erzeugen, die für die Positionskodierung akquirierter Signale verwendet werden. Bei der beispielhaften Ausführungsform beinhaltet die Gradientenspulenanordnung 60 eine Magnetanordnung 62, die einen Polarisierungs-

magnet **64** und eine Ganzkörper HF-Spule **66** aufweist.

[0034] Bei Benutzung erzeugt ein in der Systemsteuerung **34** angeordnetes Transceiver-Modul **70** eine Anzahl elektrischer Impulse, die durch einen HF-Verstärker **72** verstärkt werden, der unter Verwendung eines Sende-/Empfangsschalters **74** an die HF-Spule **66** elektrisch angekoppelt ist. Die sich ergebenden, von den angeregten Kernen (Nuklei) in dem Patienten abgestrahlten Signale werden von der HF-Spule **66** erfasst und über den Sende-/Empfangsschalter **74** einem Vorverstärker **76** zugeführt. Die verstärkten NMR(Nukleare Magnetresonanz-)Signale werden sodann in einer Empfängerstufe des Transceivers **70** demoduliert, gefiltert und digitalisiert. Der Sende-/Empfangsschalter **74** ist durch ein Signal von dem Impulsmodul **42** so gesteuert, dass er während des Sendemodus den HF-Verstärker **72** mit der Spule **66** verbindet und während des Empfangsmodus den Vorverstärker **76** an diese anschließt. Der Sende-/Empfangsschalter **74** setzt außerdem eine getrennte HF-Spule (z.B. eine Oberflächenspule) in den Stand, entweder im Sende- oder im Empfangsmodus verwendet zu werden.

[0035] Die von der HF-Spule **66** empfangenen NMR-Signale werden von dem Transceiver-Modul **70** digitalisiert und einem Speichermodul **78** in der Systemsteuerung **34** übermittelt. Beim Abschluss des Scans ist in dem Speichermodul **78** ein Feld von K-Raum-Rohdaten akquiriert. Die K-Raum-Rohdaten werden in getrennte K-Raum-Datenfelder für jedes zu rekonstruierendes Herzphasenbild umsortiert, und jedes dieser K-Raum-Datenfelder wird einem Array im Prozessor **80** eingegeben, der so ausgelegt ist, dass er die Daten in ein Array von Bilddatenfouriertransformiert. Diese Bilddaten werden sodann über das serielle Link **36** dem Computersystem **20** übermittelt, wo sie in dem Discspeicher **30** gespeichert werden. In Abhängigkeit von von der Bedienerkonsole **12** erhaltenen Befehlen können diese Bilddaten auf dem Bandlaufwerk **32** archiviert werden oder sie können durch den Bildprozessor **24** weiter verarbeitet und der Bedienerkonsole **12** zugeführt und sodann auf dem Bildschirm **16** dargestellt werden.

[0036] Fig. 2 ist eine schematische Darstellung einer beispielhaften HF-Spule **100**, die bei dem in Fig. 1 veranschaulichten MRI-System **10** verwendet werden kann. Die HF-Spule **100** enthält zwei leitende Stirn- oder Endschleifen **102** oder -ringe und eine Anzahl Leiter **104**, die an die Stirnschleifen **102** angekoppelt und die im Wesentlichen zylindrisch ringsum eine Mittelachse oder ein Patiententunnel **106** derart angeordnet sind, dass sie einen gemeinhin als "Birdcage" (Vogelkäfig) bezeichneten Spulenaufbau bilden. Die Endschleifen **102** und die Leiter **104** definieren eine im Wesentlichen zylindrisches bildgebendes Volumen in dem ein zu untersuchendes Subjekt einem von der HF-Spule **100** erzeugten HF-Feld ausgesetzt ist. Die HF-Spule **100** enthält auch eine Anzahl Kondensatoren **108**, wie etwa – ohne darauf beschränkt zu sein – Stirnringkondensatoren niedriger Induktivität, die an die Leiter **104** seriell angekoppelt und so konfiguriert sind, dass sie an jedem Ende des jeweiligen Leiters **104** elektrische Leiter **104** elektrisch miteinander verbinden. Das MRI-System **10** beinhaltet auch wenigstens einen dynamischen Trennschalter **110**, der mit der HF-Spule **100** elektrisch gekoppelt ist.

[0037] Fig. 3. zeigt einen beispielhaften dynamischen Trennschalter **120**, der bei der (in Fig. 2 dargestellten) HF-Spule **100** oder der (in Fig. 10 dargestellten) HF-Spule **66** verwendet werden kann.

[0038] Fig. 4 zeigt einen Teil des in Fig. 3 veranschaulichten Schalters **120**. Bei einer Ausführungsform ist der Schalter **120** unter Verwendung eines halbsteifen Koaxialkabels **122** hergestellt. Bei einer anderen Ausführungsform ist der Schalter **120** unter Verwendung von konzentrierten Einzelelementen hergestellt, wie dies in Fig. 5A veranschaulicht ist. Das Koaxialkabel **122** enthält einen Mittelleiter **124**, der aus einem metallischen Material hergestellt ist, ein den Mittelleiter **124** umgebendes mittleres Teil **126** und einen aus einem metallischen Material hergestellten Außenleiter **128**, der das mittlere Teil **126** umschließt. Bei einer anderen Ausführungsform kann der Schalter **120** unter Verwendung von Einzelelementen aufgebaut sein. Bei einer weiteren Ausführungsform ist der Schalter **120** unter Verwendung von konzentrierten Einzelelementen aufgebaut, wie dies in Fig. 5A dargestellt ist. Bei der beispielhaften Ausführungsform ist das mittlere Teil **126** ein Isolator, der aus einem Material wie, – ohne darauf beschränkt zu sein – Polytetraäthylen (PTFE), d.h. Teflon, hergestellt ist. Bei einer anderen beispielhaften Ausführungsform ist das mittlere Teil **126** aus irgend einem geeigneten Material hergestellt, das niedrige Verlustwerte aufweist, so dass der Signalverlust in der HF-Spule **100** vermindert wird.

[0039] Der Schalter **120** verfügt über eine Öffnung **130**, die eine Länge **132** aufweist und sich von der Außenfläche **134** des Außenleiters zu der Außenfläche **136** des Innenleiters erstreckt. Mehr im Einzelnen betrachtet, ist ein Teil des mittleren Teils **126** entfernt, so dass der Innenleiter **124** freigelegt ist. Eine Diode **138** ist in die Öffnung **130** eingesetzt und mit dem Innenleiter **124** und dem Außenleiter **128** elektrisch gekoppelt. Der Schalter **120** weist eine erste Länge **140**, die sich von einem ersten Ende **142** des Schalters **120** zu einem zweiten

Ende **144** des Schalters **120** erstreckt und eine zweite Länge **146** auf, die sich von dem ersten Ende **142** bis zu einem ersten Ende **148** der Öffnung erstreckt. Die Diode **138** ist elektrisch so angekoppelt, dass, wenn die Diode **138** in Durchlassrichtung vorgespannt ist, Strom von dem Außenleiter **128** zu dem Innenleiter **124** fließt. Alternativ fließt, wenn die Diode in Sperrrichtung vorgespannt ist, kein Strom zwischen dem Innenleiter **124** und dem Außenleiter **128**.

[0040] Fig. 5A ist ein vereinfachtes elektrisches Schaltschema des in Fig. 3 dargestellten dynamischen Trennschalters **120**.

[0041] Fig. 5B ist ein anderes, vereinfachtes elektrisches Schaltschema des in Fig. 3 dargestellten dynamischen Trennschalters **120**, bei dem anstelle des Koaxialkabels einzelne konzentrierte Schaltelemente verwendet sind.

[0042] Fig. 6 ist eine schematische Darstellung einer betriebsmäßig äquivalenten Schaltung (Ersatzschaltung), die die Diode **138** in einem in Durchlassrichtung vorgespannten Zustand wiedergibt. Fig. 7 ist eine schematische Darstellung einer betriebsmäßig äquivalenten Schaltung, die die Diode **138** in einem in Sperrrichtung vorgespannten Zustand darstellt.

[0043] Im Betrieb ist der Schalter **120** parallel zu wenigstens einem Stirnringkondensator **108** elektrisch dadurch angekoppelt, dass der Innenleiter **124** an eine erste Seite **150** des Kondensators **108** und in der Außenleiter **128** an eine zweite Seite **152** des Kondensators **108** angeschlossen ist. Ein Teil des Außenleiters ist entfernt, um eine Öffnung **130** auszubilden. Die Diode **138** ist dann zwischen dem Innenleiter **124** und dem Außenleiter **128** elektrisch eingekoppelt. Wie in Fig. 6 dargestellt, sind, wenn die Diode **138** in der Durchlassrichtung vorgespannt ist, der Schalter **120** und der Kondensator **108** äquivalent dem Kondensator **108**. Wie Fig. 7 veranschaulicht, kann, wenn die Diode **138** in Sperrrichtung vorgespannt ist, der Schalter **120** als ein zu dem Kondensator **108** parallel liegender Induktor (Drossel- oder induktives Bauelement) **154** betrachtet werden. Die Länge **146** ist demgemäß so gewählt, dass die Länge **146** näherungsweise äquivalent einer viertel Wellenlänge ($\lambda/4$) der Arbeitsfrequenz der HF-Spule **100** ist. Die Länge **146** wird in der Weise gewählt, dass der Schalter **120** als Induktor **154** nachgebildet oder betrachtet wird. Die Größe des Induktors **154** ist so gewählt, dass, wenn der Induktor **154**, d.h. der Schalter **120**, parallel zu dem Kondensator **108** liegend elektrisch angekoppelt ist, die Kombination des Kondensators **108** und des Induktors **154** einen Resonanzkreis bilden. Genau betrachtet macht die Eigenfrequenz ω_0 der Schaltung den Imaginärteil der komplexen Impedanz gleich Null.

[0044] Wenn ω_0 als eine Betriebskreisfrequenz der HF-Spule **100** definiert ist, kann der Induktor **154** definiert werden entsprechend:

$$\omega_0 = 2\pi f = \frac{1}{\sqrt{CL}}$$

wobei C der Kondensator **108** und L der Induktor **154** ist.

[0045] Wenn beispielsweise f gleich 298 MHz festgelegt ist, kann die Länge **140** zwischen etwa einer viertel Wellenlänge und etwa einer halben Wellenlänge der Betriebskreisfrequenz der HF-Spule **100** gewählt werden.

[0046] Fig. 8 veranschaulicht den dynamischen Trennschalter **120** mit einem offenen Ende. Fig. 9 zeigt die elektrische Kennlinie des in Fig. 8 dargestellten Schalters **120**. Fig. 10 stellt einen dynamischen Trennschalter **120** mit einem kurzgeschlossenen Ende dar. Fig. 11 zeigt die elektrische Kennlinie des in Fig. 10 dargestellten Schalters **120**. Beim Betrieb ist der dynamische Trennschalter **120**, wenn die Diode **138** in Durchlassrichtung vorgespannt ist, gedanklich äquivalent einem offenen Schaltkreis bei einer vorbestimmten Betriebsfrequenz, d.h., wie in Fig. 11 dargestellt, einer unendlich großen Impedanz, so dass Strom durch den Kondensator **108** fließt und damit das Wirksamwerden der HF-Spule **100** ermöglicht. Um die HF-Spule **100** unwirksam zu machen, wird die Diode **138** in Sperrrichtung vorgespannt. Wenn die Diode **138** in Sperrrichtung vorgespannt ist, wirken der Kondensator **108** und der dynamische Trennschalter **120** als Parallelresonanzkreis in der Nähe der Betriebsfrequenz der HF-Spule **100**, wie dies in den Fig. 9, 10 veranschaulicht ist. Die Impedanz des Parallelresonanzkreises ist so hoch, dass der Stromfluss durch den Kondensator **108** unterbrochen wird, womit die HF-Spule **100** abgeschaltet wird. Bei dieser beispielhaften Ausführungsform sind eine Anzahl dynamischer Trennschalter **120** an die HF-Spule **100** elektrisch angekoppelt, um die HF-Spule **100** außer Betrieb zu setzen, wenn die dynamischen Trennschalter **120** in Sperrrichtung vorgespannt werden. An die dynamische Trennschaltung **120** ist eine Schaltvorspannung **156** über einen Induktor (induktives Bauelement) **158** angelegt, wobei ein Induktor **160** als Tiefpassfilter wirkt. Im Betrieb beinhalten die Induktoren **158**, **160** eine Induktanz etwa von – ohne darauf beschränkt zu sein – mehr als 500 nH bei 298 MHz, die in der Lage ist, den HF-Signalweg

bei der Betriebsfrequenz der HF-Spule **100** zu sperren.

[0047] Fig. 12 zeigt einen anderen beispielhaften dynamischen Trennschalter **220**, der bei der (in Fig. 1 dargestellten) HF-Spule **66** oder der (in Fig. 2 dargestellten) HF-Spule **100** verwendet werden kann. Fig. 13 stellt einen Teil des in Fig. 12 veranschaulichten Schalters **220** dar. Fig. 14 zeigt einen anderen Teil des in Fig. 12 dargestellten Schalters **220**. Der Schalter **220** ist unter Verwendung eines halbsteifen Koaxialkabels **222** hergestellt, das einen aus einem metallischen Material erzeugten Mittelleiter **224**, ein den Mittelleiter **224** umschließendes mittleres Teil **226** und einen das mittlere Teil **226** umschließenden Außenleiter **228** aufweist, der aus einem metallischen Material hergestellt ist. Bei der beispielhaften Ausführungsform ist das mittlere Teil **224** ein Isolator, der aus einem Material wie etwa Polytetrafluoräthylen (PTFE), d. h. Teflon hergestellt ist, ohne darauf beschränkt zu sein. Bei einer beispielhaften Ausführungsform ist das mittlere Teil **226** aus irgendeinem beliebigen geeigneten Material hergestellt, das eine niedrige Verlustkennlinie aufweist, so dass der Signalverlust in der HF-Spule **100** vermindert wird.

[0048] Der Schalter **220** weist eine Öffnung **230** auf, die eine Weite **232** hat und erstreckt sich von der Außenfläche **234** des Außenleiters zu der Außenfläche **236** des Innenleiters. Genauer betrachtet, ist ein Teil des mittleren Teils **226** entfernt, so dass der Innenleiter **224** freigelegt ist. Eine Diode **238** ist in die Öffnung **230** eingesetzt und dann sowohl mit dem Innenleiter **224** als auch dem Außenleiter **228** elektrisch gekoppelt. Der Schalter **220** weist eine erste Länge **240**, die sich von einem ersten Ende **242** des Schalters **220** zu einem zweiten Ende **244** des Schalters **220** und ein zweite Länge **246** auf, die sich von dem ersten Ende **242** zu dem ersten Öffnungsrand erstreckt. Die Diode **238** ist elektrisch derart angekoppelt, dass, wenn die Diode **238** in Durchlassrichtung vorgespannt ist, Strom von dem Außenleiter **228** zu dem Innenleiter **224** fließt. Alternativ gilt, dass, wenn die Diode **238** in Sperrrichtung vorgespannt ist, kein Strom zwischen dem Innenleiter **224** und dem Außenleiter **228** fließt.

[0049] Fig. 15A ist ein vereinfachtes elektrisches Schaltschema des in Fig. 12 dargestellten dynamischen Trennschalters **220**. Fig. 15B ist ein anderes vereinfachtes elektrisches Schaltschema des in Fig. 12 dargestellten dynamischen Trennschalters **220**, wobei anstelle des Koaxialkabels konzentrierte Schaltelemente verwendet sind. Fig. 16 ist eine schematische Darstellung einer betriebsmäßig äquivalenten Schaltung, in der die Diode **238** in einem in Durchlassrichtung vorgespannten Zustand abgebildet ist. Fig. 17 ist eine schematische Darstellung einer betriebsmäßig äquivalenten Schaltung, in der die Diode **238** in einem in Sperrrichtung vorgespannten Zustand veranschaulicht ist.

[0050] Im Betrieb ist wenigstens ein Ende des Schalters **220** parallel zu wenigstens einem Stirnringkondensator **208** elektrisch in der Weise angekoppelt, dass der Innenleiter **224** an eine erste Seite **250** des Kondensators **208** und der Außenleiter **228** an eine zweite Seite **252** des Kondensators **208** angeschlossen ist. Ein Teil des Außenleiters ist entfernt, um die Öffnung **230** auszubilden. Die Diode **238** ist sodann zwischen dem Innenleiter **224** und dem Außenleiter **228** elektrisch angekoppelt. Wie in Fig. 16 dargestellt, sind, wenn die Diode **238** in Sperrrichtung vorgespannt ist, der Schalter **220** und der Kondensator **208** äquivalent zu dem Kondensator **208**. Wie aus Fig. 17 zu entnehmen, kann, wenn die Diode **238** in Durchlassrichtung vorgespannt ist, der Schalter **220** als ein zu dem Kondensator **208** parallel liegender Induktor **254** betrachtet werden. Demgemäß ist die Gesamtlänge von dem ersten Ende **242** zu dem zweiten Ende **244** näherungsweise äquivalent einer viertel Wellenlänge in der Nähe der Arbeitsfrequenz der HF-Spule **100**. Ein Kondensator **209** ist an das zweite Ende **244** zwischen dem Innenleiter **224** und dem Außenleiter **222** elektrisch so angekoppelt, dass die Impedanz zwischen dem Innenleiter **224** und dem Außenleiter **222** verhältnismäßig klein ist, d.h. weniger als etwa 0,6 Ohm bei der Arbeitsfrequenz der HF-Spule **100**, so dass der Schalter einem kurzgeschlossenen Koaxialkabel nahe kommt. Bei der beispielhaften Ausführungsform hat der Schalter **220** eine Kapazität, die größer als etwa 1000 Picofarad (pF) ist, wenn die HF-Spule **100** bei etwa 100 MHz arbeitet. Der Kondensator **209** ermöglicht die Unterbrechung eines Gleichstromweges zwischen dem Innenleiter **224** und dem Außenleiter **228**, so dass eine Gleichschaltspannung über den Induktor **260** und den Induktor **261** auf die Diode **238** einwirkt. Eine Länge **240** bzw. **246** ist variabel so gewählt, dass der Induktor **254** mit dem Kondensator **208** einen Parallelresonanzkreis bildet, wenn die Diode **238** in Durchlassrichtung vorgespannt ist, d.h. es ergibt sich ein idealer Kurzschluss.

[0051] Wenn ω_0 als Betriebskreisfrequenz der HF-Spule **100** definiert ist, kann der Induktor **254** entsprechend der Formel definiert werden:

$$\omega_0 = 2\pi f = \frac{1}{\sqrt{CL}}$$

wobei C der Kondensator **208** und L der Induktor **254** ist.

[0052] Wenn z.B. f gleich 298 MHz festgelegt ist, kann die Länge **240** zwischen etwa einer viertel Wellenlänge und etwa einer halben Wellenlänge der Betriebskreisfrequenz der HF-Spule **100** gewählt werden.

[0053] Im Betrieb ist, wenn die Diode **238** in Sperrrichtung vorgespannt ist, der dynamische Trennschalter **220** gedanklich einem offenen Schaltkreis äquivalent, d.h. einer unendlichen Impedanz, wie dies in **Fig. 16** dargestellt ist, so dass Strom durch den Kondensator **208** fließt und damit das Wirksamwerden der HF-Spule **100** ermöglicht. Um die HF-Spule **100** unwirksam zu machen, wird die Diode **238** in Durchlassrichtung vorgespannt. Wenn die Diode **238** in Durchlassrichtung vorgespannt ist, wirken der Kondensator **208** und der dynamische Trennschalter **220** als Parallelresonanzkreis in der Nähe der Betriebsfrequenz der HF-Spule **100**. Die Impedanz des Parallelresonanzkreises ist so hoch, dass der Stromfluss durch den Kondensator **208** unterbrochen wird, womit die HF-Spule **100** abgespaltet wird. Bei dieser beispielhaften Ausführungsform sind eine Anzahl dynamischer Trennschalter **220** an die HF-Spule **100** elektrisch angekoppelt, um die HF-Spule **100** außer Betrieb zu setzen, wenn die dynamischen Trennschalter **220** in Durchlassrichtung vorgespannt werden. An die dynamische Trennschaltung **220** ist eine Schaltvorspannung **256** über einen Induktor **260** und einen Induktor **261** angelegt. Im Betrieb beinhalten die Induktoren **260**, **261** eine Induktanz etwa von – ohne darauf beschränkt zu sein – von mehr als 500 nH bei 298 MHz, die in der Lage ist, den HF-Signalweg bei der Betriebsfrequenz der HF-Spule **100** zu sperren.

[0054] **Fig. 18** veranschaulicht wenigstens einen dynamischen Trennschalter **120** oder dynamischen Trennschalter **220**, der in der Birdcage-Spule **300** implementiert ist, welche etwa 16 Elemente **302** aufweist. **Fig. 19** zeigt eine Querschnittsdarstellung in der in **Fig. 18** angegebenen Ebene ABCD. Bei der beispielhaften Ausführungsform ist der dynamische Trennschalter, wie im Vorstehenden beschrieben, parallel zu wenigstens einem Stirnringkondensator der Birdcage-Spule **100** elektrisch angekoppelt. Eine (nicht dargestellte) äußere Abschirmung des Koaxialkabels des dynamischen Trennschalters **120** oder **122** ist an das Element **302** zwischen dem Stirnring **304** und dem Stirnring **306** an einem mittleren Punkt **308** elektrisch angekoppelt, der etwa auf halbem Weg zwischen dem Stirnring **304** und dem Stirnring **306** liegt und in dem das elektrische Potential idealerweise auf dem Erdungspunkt liegt, d.h. einer virtuellen Masse. Das Koaxialkabel des dynamischen Trennschalters **120** oder **122** ist um näherungsweise 90° zu einer HF-Abschirmung **310** hin abgelenkt und aus die HF-Abschirmung **310** durch die HF-Abschirmung **310** hindurch herausgeführt. Das Koaxialkabel des dynamischen Trennschalters **120** oder **220** ist sodann wiederum um 90° zu der HF-Abschirmung **310** hin abgelenkt und an die HF-Abschirmung **310** elektrisch angeschlossen. Bei der beispielhaften Ausführungsform kann der dynamische Trennschalter **120** oder **220** an die Abschirmung **310** ohne irgendeine Beeinflussung der elektrischen Eigenschaften der Birdcage-Spule **300** elektrisch angekoppelt sein. Die Verdrahtung der Schaltvorspannung für den dynamischen Trennschalter **120** oder **220** kann ohne spezielle Rücksicht auf eine etwaige Verschlechterung der elektrischen Eigenschaften der Birdcage-Spule **300** ausgeführt werden, weil das gegenüberliegende Ende des Koaxialkabels außerhalb der HF-Abschirmung **310** liegt.

[0055] Bei der beispielhaften Ausführungsform ist die dynamische Trennschaltung unter Verwendung eines Koaxialkabels hergestellt, was es schwierig macht, einen Kondensator mit großen Kapazitätswerten in die Schaltung des dynamischen Trennschalters **120** oder **220** zur Hochpassfilterung bei Gleichspannungstrennung einzusetzen. Eine Anzahl dynamischer Trennschalter sind an dem Birdcage **300**, basierend auf einer vorhergehenden elektrischen Analyse der Birdcage-Spule **300**, installiert. So sind z.B. bei der exemplarischen Ausführungsform 16 dynamische Trennschalter bei einer 32 Elemente aufweisenden Birdcage-Spule verwendet, die bei etwa 7T arbeitet.

[0056] **Fig. 20** veranschaulicht einen TEM-Resonator **400**, der eine Anzahl dynamischer Trennschalter **402**, etwa nach Art der Schalter **120** oder Schalter **220** aufweist. Jeder dynamische Trennschalter **402** weist ein erstes Ende **404** auf, das um einen Stirnringkondensator **406** herum elektrisch angekoppelt ist. Da der dynamische Trennschalter **402** nach dem Anschluss seines ersten Endes **404** bereits außerhalb einer HF-Abschirmung **408** liegt, kann eine Außenabschirmung des Koaxialkabels des dynamischen Trennschalters **402** an irgendeiner Stelle an die HF-Abschirmung **408** elektrisch angeschlossen werden.

[0057] Bei einer Ausführungsform weist der Schalter **402** bei Verwendung für eine 7T-Protonenbildgabe eine Länge von etwa 250 mm für einen Schalter **120** und von etwa 160 mm für einen Schalter **220** auf. Bei einer 3T-Protonenbildgabe ist die Länge des Schalters **120** bzw. **220** etwa 2,3 mal größer als bei Verwendung für eine 7T-Protonenbildgabe, d.h. etwa 575 mm für den Schalter **120** und etwa 370 mm für den Schalter **220**.

[0058] Die hier beschriebenen dynamischen Trennschalter können für Hochfrequenzanwendungen eingesetzt werden und ermöglichen die Verwendung einer lediglich zum Empfang dienenden Spule einschließlich einer Phased-Array-Spule. Deshalb erlauben sie eine höhere SNR-Bildgabe in einem System hoher Frequenz.

Dynamische Trennschalterschaltungen und deren Implementierungsverfahren in HF-Volumenspulen, wie Bird-cage-Spulen oder in einen TEM-Resonator für ein MRI-System hoher Feldstärke erlauben es, die Volumenspule zwischen einem wirksamen und einem unwirksamen Modus hin und her zu schalten. Die Erfindung macht eine lediglich zum Empfang dienende Spule für ein MRI-System hoher Feldstärke möglich. Der Strahlungsverlust durch das Anfügen dieser Art von Schalter-Schaltung an die HF-Spule, der bei den höheren Frequenzen typischerweise schwerwiegender ist, wird durch die Erfindung verringert, weil sie als Konstruktionsgrundlage ein halbsteifes Koaxialkabel (Verteilungsstromkreis) benutzt. Die Erfindung ist typischerweise auf eine etwa viertel Wellenlänge eines halbsteifen Koaxialkabels bei etwa der jeweils gewünschten Frequenz ausgelegt. Die Länge dieser Schalter-Schaltung ist bei einer HF-Spule hoher Feldstärke, wie einer 3T-Protonenkörperspule oder einer 7T-Protonenkopfspule, etc. von Bedeutung. Die Erfindung ist bei einem stärkeren Feld dadurch einsetzbar, indem zusätzlich eine oder mehrere halbe Wellenlängen hinzugefügt werden. Die Erfindung kann auch bei schwächeren Feldern verwendet werden, indem sie zickzackförmig in die HF-Spule implementiert wird.

[0059] Wenngleich die Erfindung anhand verschiedener spezieller Ausführungsformen beschrieben wurde, so versteht sich für den Fachmann doch, dass die Erfindung mit Abwandlungen im Rahmen des Schutzbereichs der Patentansprüche ausgeführt werden kann.

Teilleiste

10	Magentresonanzbildgebungssystem (MRI)
12	Bedienerkonsole
14	Steuerpanel
16	Bildschirm
18	Link
20	Computersystem
22	Module
24	Bildprozessormodul
26	CPU-Modul
28	Speichermodul
30	Diskspeicher
32	Bandlaufwerk
34	Systemsteuerung
36	Serieller Link
38	Module
40	CPU-Modul
42	Impulsgeneratormodul
44	Serieller Link
46	Gradientenverstärker
48	Physiologische Akquisitionssteuereinrichtung
50	Scan-Raum-Interface-Schaltung
52	Patientenlagerungssystem
54	Gradientenverstärker
56	Gradientenverstärker
58	Gradientenverstärker
60	Gradientenspulenordnung
62	Magnetanordnung
64	Polarisierungsmagnet
66	HF-Spule

70	Transceivermodul
72	HF-Verstärker
74	Sende-/Empfangsschalter
76	Vorverstärker
78	Speichermodul
80	Array Prozessor
100	HF-Spule
102	Endringleitungen
104	Leiter
106	Patiententunnel
108	Kondensatoren
110	dynamischer Trennschalter
120	dynamischer Trennschalter
122	Koaxialkabel
124	Mittelleiter
126	mittleres Teil
128	Außenleiter
130	Öffnung
132	Öffnungsweite
134	Außenfläche des Außenleiters
136	Außenfläche des Innenleiters
138	Diode
140	Erste Länge
142	Erstes Ende
144	Zweites Ende
146	Zweite Länge
148	Erstes Öffnungsende
150	Erste Seite
152	Zweite Seite
154	Induktor

156	Schaltvorspannung
158	Induktor
160	Induktor
208	Kondensator
209	Kondensator
220	Dynamischer Trennschalter
222	Koaxialkabel
224	Mittelleiter
226	Mittleres Teil
228	Außenleiter
230	Öffnung
232	Öffnungsweite
234	Außenfläche des Außenleiter
236	Außenfläche des Innenleiters
238	Diode
240	Erste Länge
242	Erstes Ende
244	Zweites Ende
246	Zweite Länge
248	Erstes Ende der Öffnung
250	Erste Seite
252	Zweite Seite
254	Induktor
256	Schaltvorspannung
258	Induktor
260	Induktor
300	Birdcage-Spule
302	Elemente
304	Stirnring
306	Stirnring

308	Mittlerer Punkt
310	HF-Abschirmung
400	TEM Resonator
402	Trennschalter
404	Erstes Ende
406	Stirnringkondensator
408	HF-Abschirmung

Patentansprüche

1. Hochfrequenz(HF)-Spulenanordnung (**100**) zur Bildgabe eines Subjektvolumens unter Verwendung eines Magnetresonanzbildgebungs(MRI)-Systems (**10**) hoher Feldstärke, die bei im Wesentlichen hohen Frequenzen betreibbar ist, wobei das System aufweist:

- eine Anzahl Leiter (**104**), die zylindrisch angeordnet und rings um ein Patiententunnel (**106**) des MRI-Systems vorgesehen sind;
- mehrere kapazitive Elemente (**108**), die zwischen jeweiligen Enden der Leiter diese miteinander verbindend angeordnet sind, wobei die mehreren Leiter und die mehreren kapazitiven Elemente eine Hochpass-Birdcage-Konfiguration ausbilden; und
- eine Anzahl dynamischer Trennschalter (**110**), von denen jeder dynamische Trennschalter unter Ausbildung eines Parallelresonanzkreises parallel zu einem jeweiligen kapazitiven Element elektrisch angekoppelt ist.

2. HF-Spule (**100**) nach Anspruch 1, bei der die dynamischen Trennschalter (**110**) so ausgelegt sind, dass sie die HF-Spule (**100**) wirksam machen, wenn die dynamischen Trennschalter in Durchlassrichtung vorgespannt sind und dass sie die HF-Spule unwirksam machen, wenn die dynamischen Trennschalter in Sperrrichtung vorgespannt sind.

3. HF-Spule (**100**) nach Anspruch 1, bei der die dynamischen Trennschalter (**110**) so ausgelegt sind, dass sie die HF-Spule wirksam machen, wenn die dynamischen Trennschalter in Sperrrichtung vorgespannt sind und die HF-Spule unwirksam machen, wenn die dynamischen Trennschalter in Durchlassrichtung vorgespannt sind.

4. HF-Spule (**100**) nach Anspruch 1, bei der die kapazitiven Elemente (**108**) Stirnringkondensatoren geringer Induktanz und die dynamischen Trennschalter (**110**) ein halbsteifes Koaxialkabel (**122**) aufweisen.

5. HF-Spule (**100**) nach Anspruch 4, bei der das Koaxialkabel (**122**) aufweist:

- einen Innenleiter (**124**), der an eine erste Seite (**150**) des kapazitiven Elements (**108**) elektrisch angekoppelt ist;
- ein mittleres Isolierteil (**126**), das einen Teil des Innenleiters umschließt;
- einen Außenleiter (**128**), der an eine zweite Seite (**152**) des kapazitiven Elements elektrisch angekoppelt ist, wobei der Außenleiter einen Teil des mittleren Isolierteils umschließt.

6. HF-Spule (**100**) nach Anspruch 5, bei der das Koaxialkabel (**122**) aufweist:

- eine Öffnung (**130**), die sich zwischen einer Außenfläche (**134**) des Außenleiters (**128**) und der Außenfläche (**136**) des Innenleiters (**124**) erstreckt; und
- eine Diode (**138**), die in der Öffnung angeordnet und mit dem Innenleiter und dem Außenleiter elektrisch gekoppelt ist.

7. HF-Spule (**100**) nach Anspruch 6, die außerdem eine Schaltvorspannung (**156**) aufweist, die an ein zweites Ende (**144**) des dynamischen Trennschalters (**110**) elektrisch angekoppelt ist, wobei die Schaltvorspannung dazu ausgelegt ist, die Diode (**138**) in Durchlass- und in Sperrrichtung vorzuspannen.

8. HF-Spule (**100**) nach Anspruch 1, bei der der dynamische Trennschalter (**110**) eine Länge (**140**) aufweist, die so gewählt ist, dass diese Länge näherungsweise einer viertel Wellenlänge einer Arbeitsfrequenz der HF-Spule äquivalent ist.

9. HF-Spule **100** nach Anspruch 1, bei der das MRI-System (**10**) sehr hoher Feldstärke ein magnetisches Feld erzeugt, das stärker ist als etwa 3 Tesla (3T).

10. HF-Spule (**100**) nach Anspruch 1, bei der die im Wesentlichen hohen Frequenzen in einem Bereich zwischen etwa 64 MHz bis etwa 500 MHz liegen.

Es folgen 16 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

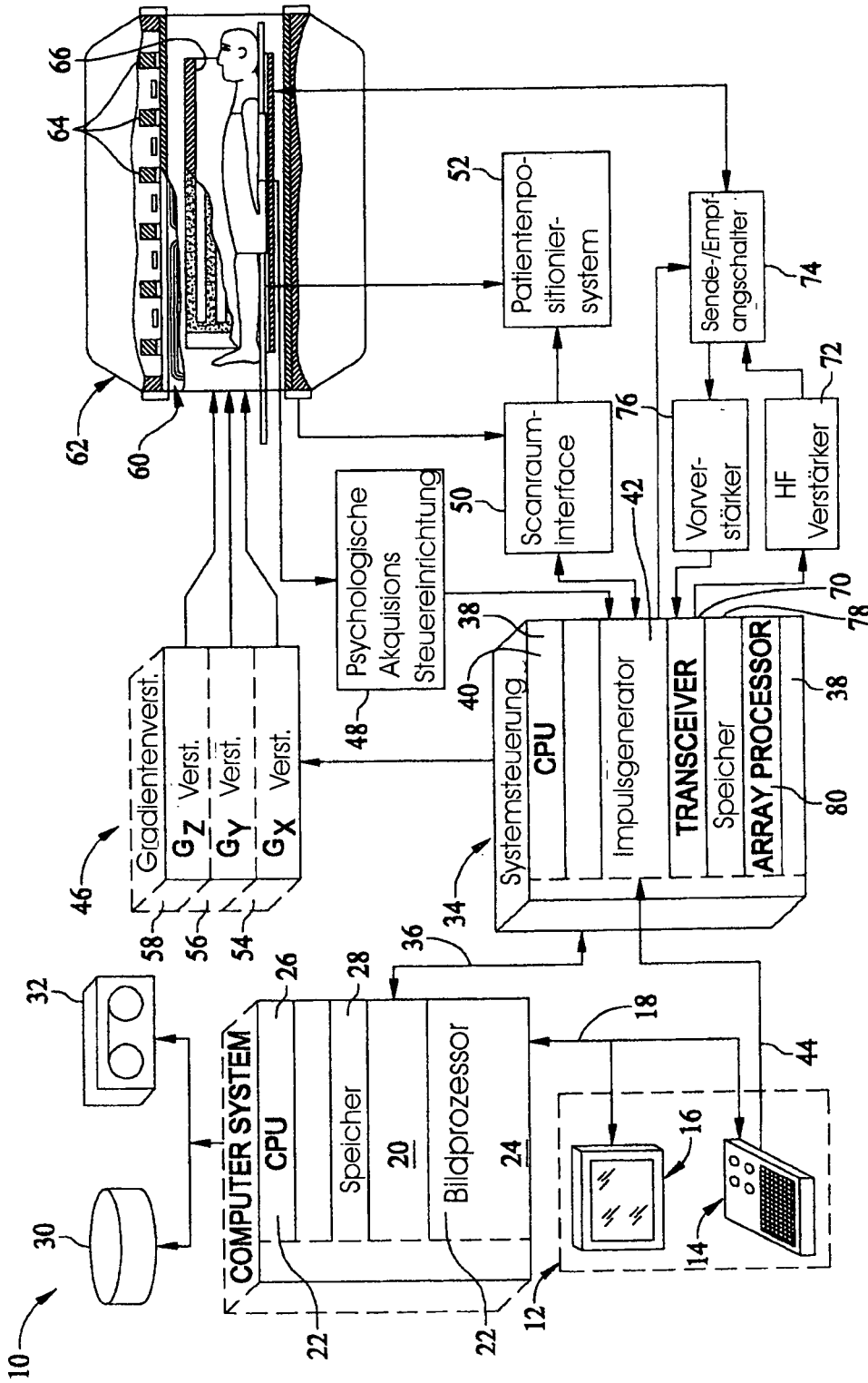


FIG. 1

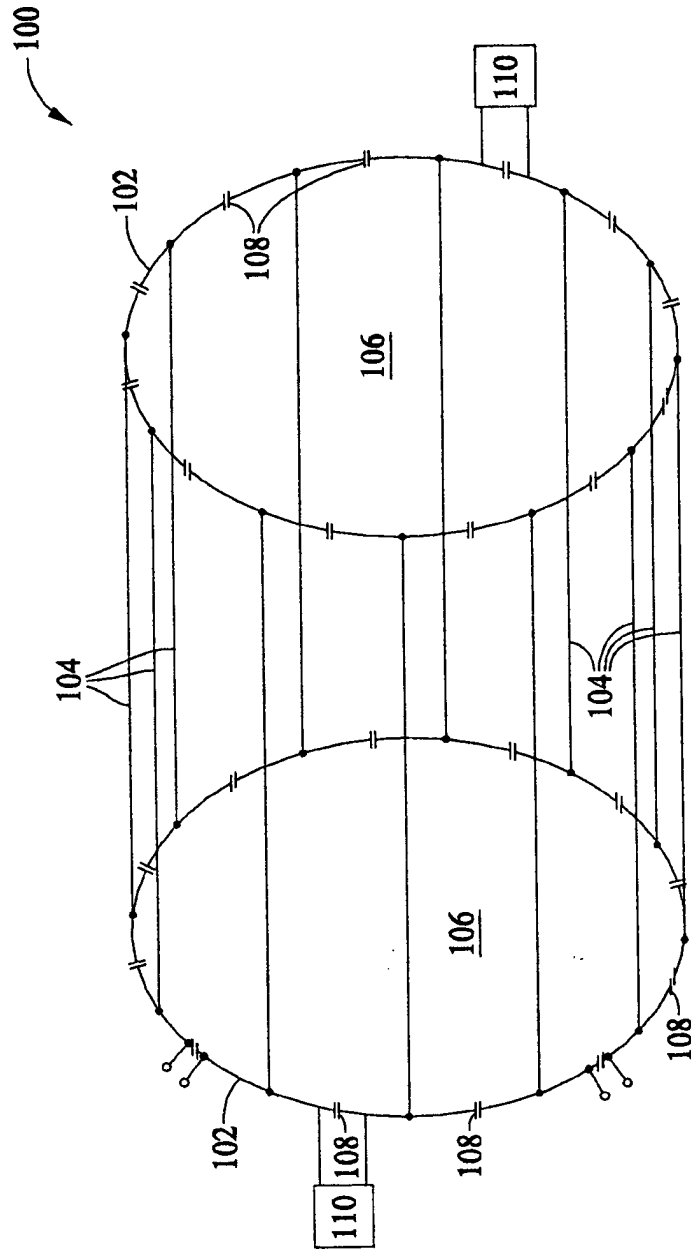


FIG. 2

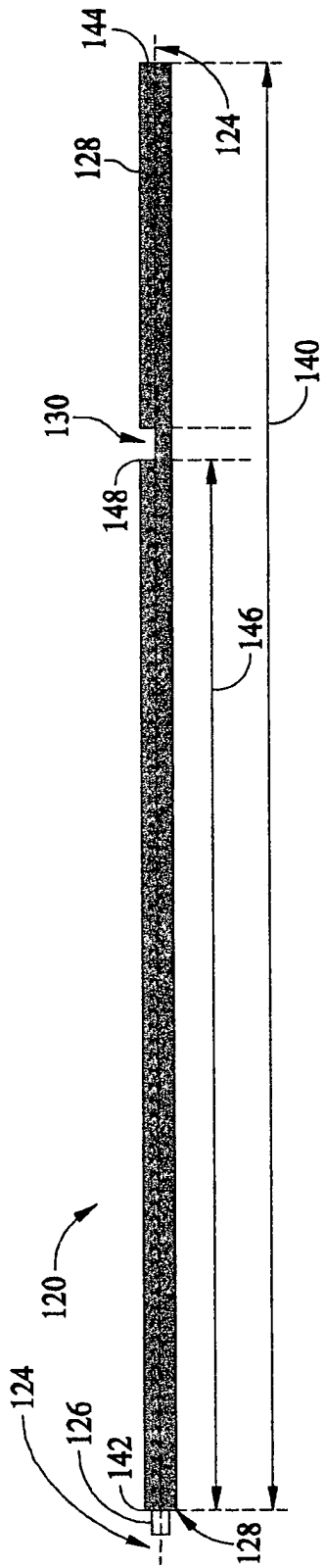


FIG. 3

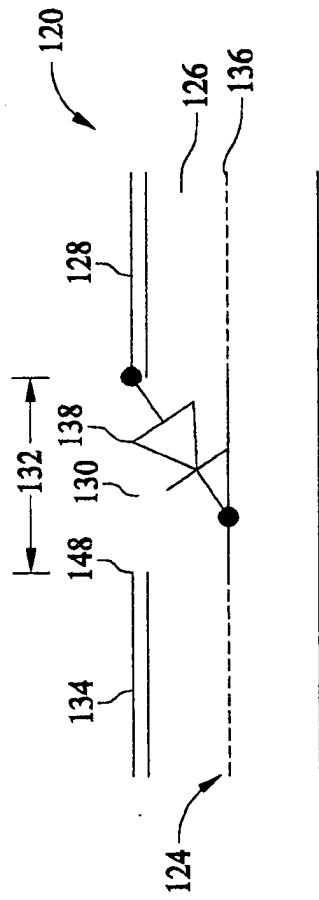


FIG. 4

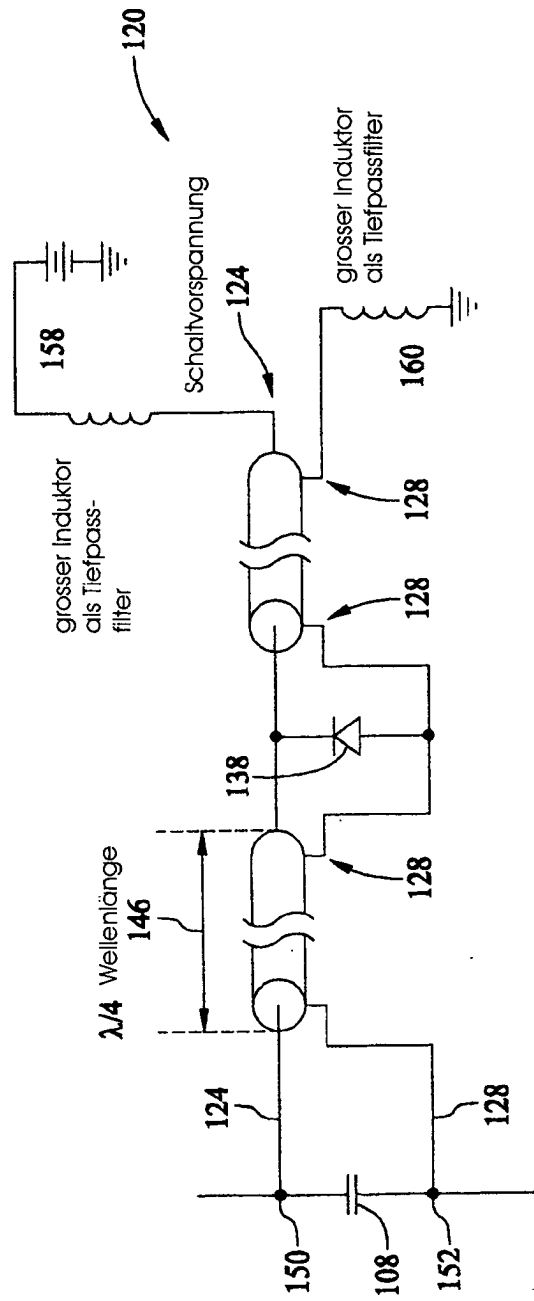


FIG. 5A

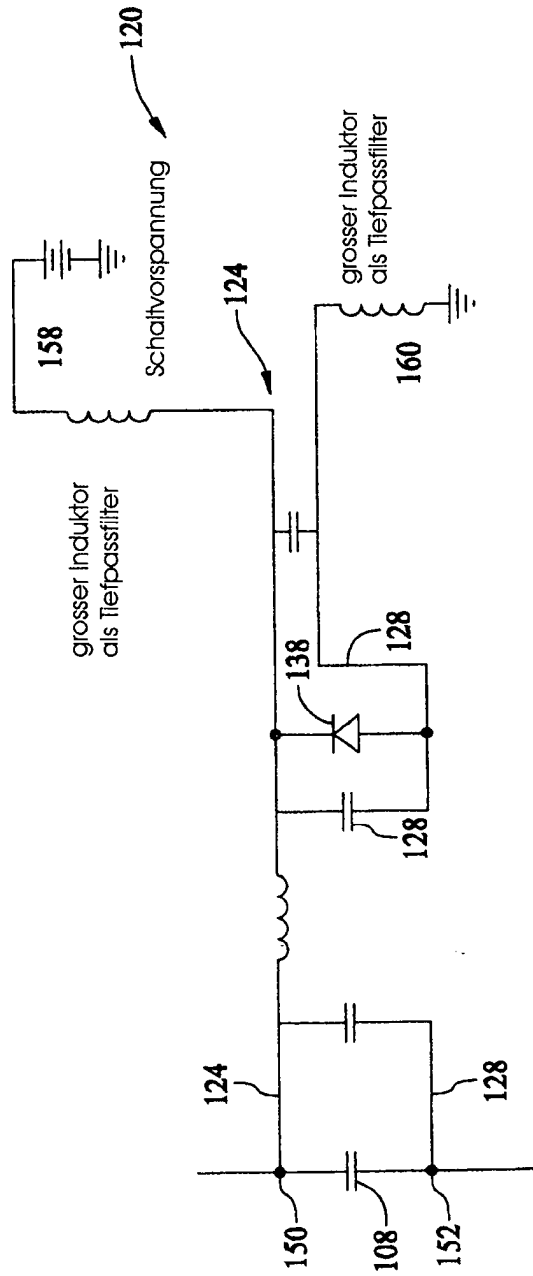


FIG. 5B

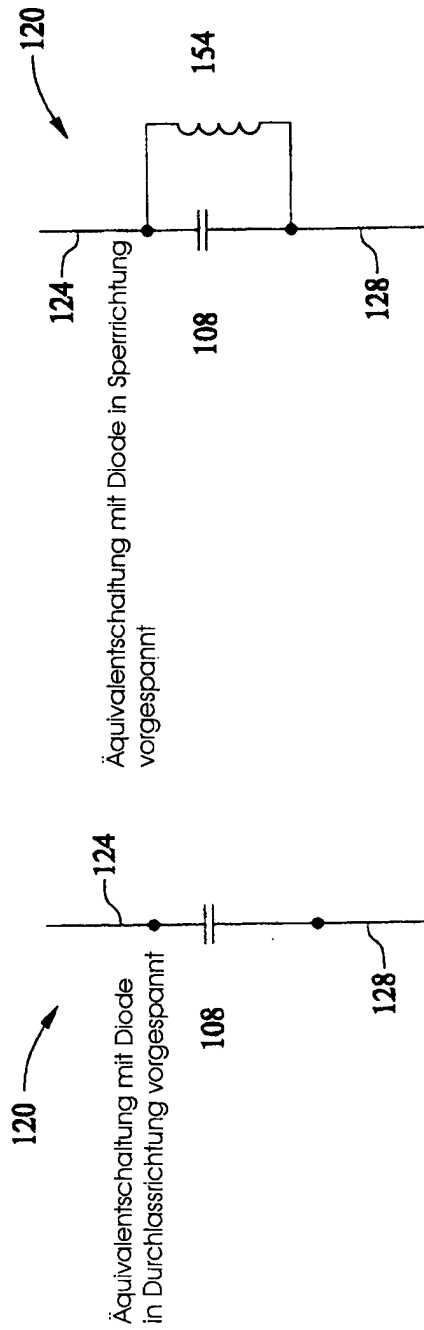
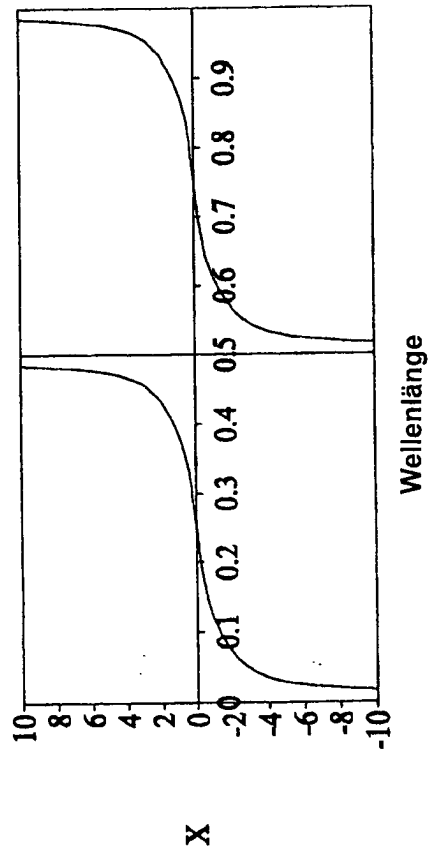


FIG. 6

FIG. 7



FIG. 8

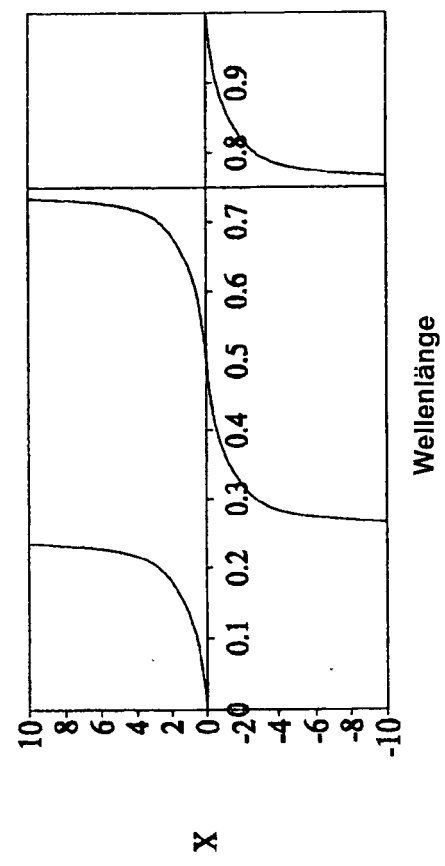


Elektrische Kennlinie eines Koaxialkabels
mit offenem Ende

FIG. 9



FIG. 10



Elektrische Kennlinie eines Koaxialkabels mit kurzgeschlossenem Ende

FIG. 11

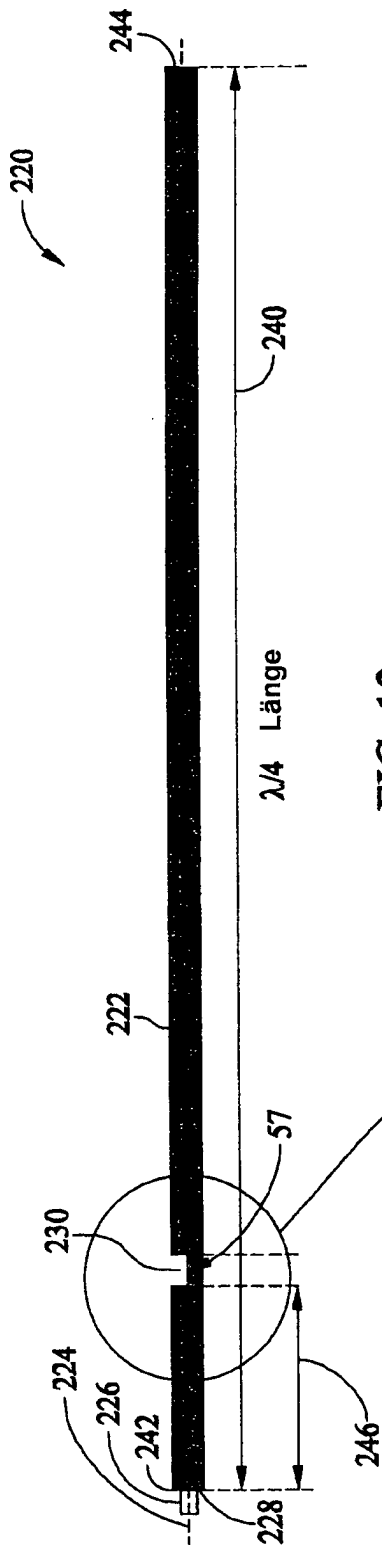


FIG. 12

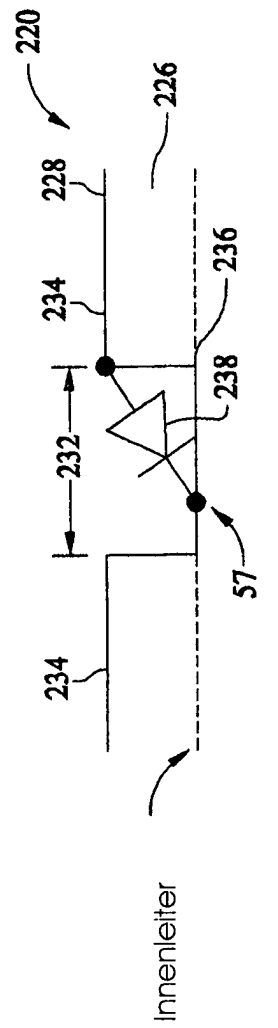


FIG. 13

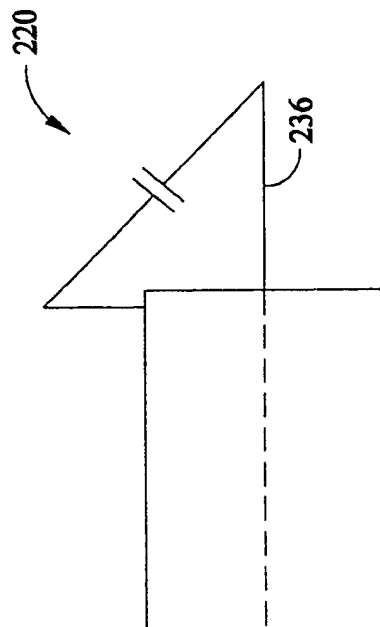


FIG. 14

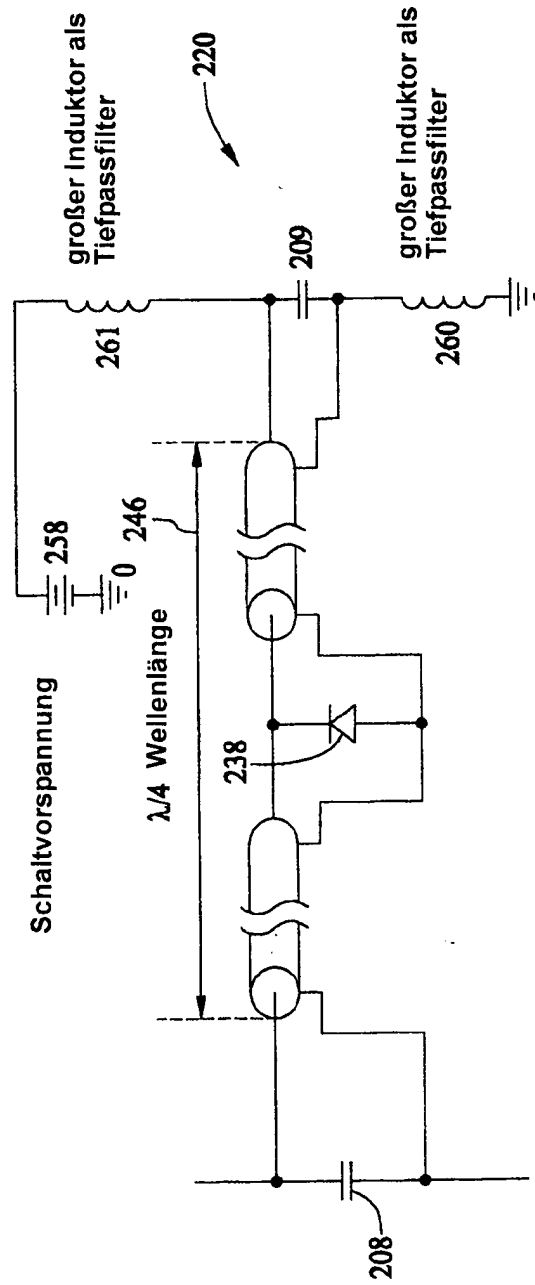


FIG. 15A

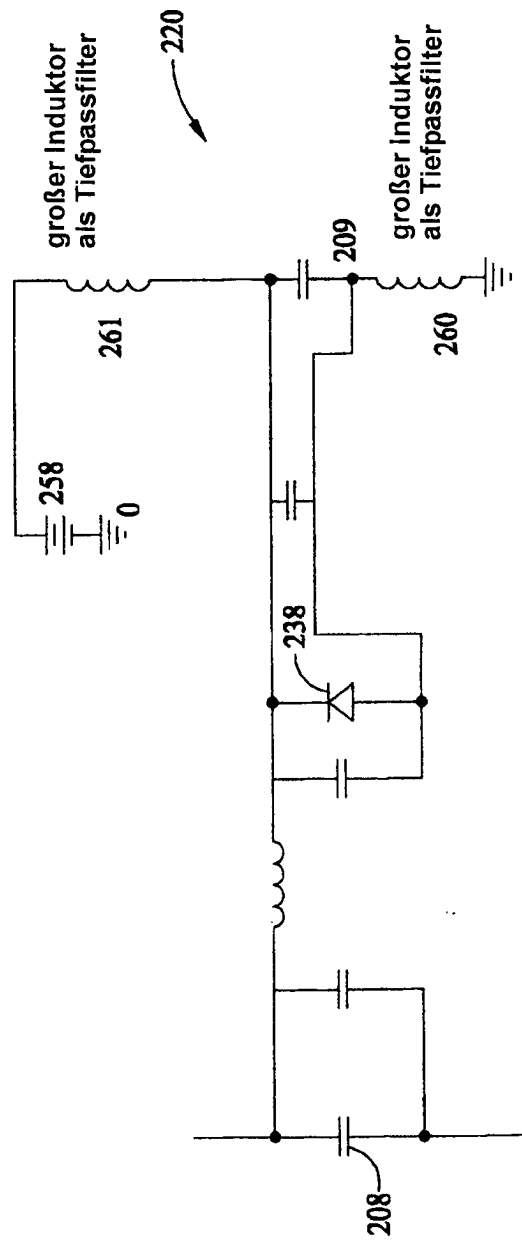


FIG. 15B

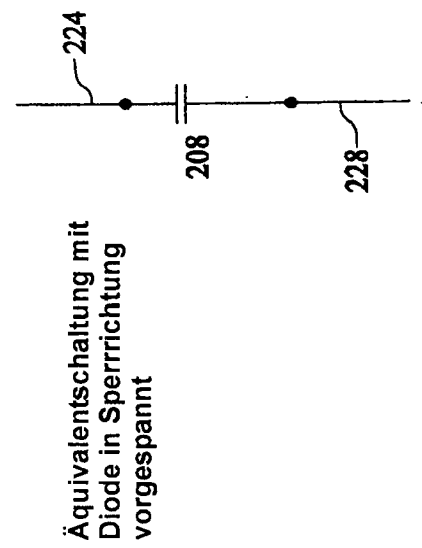


FIG. 16

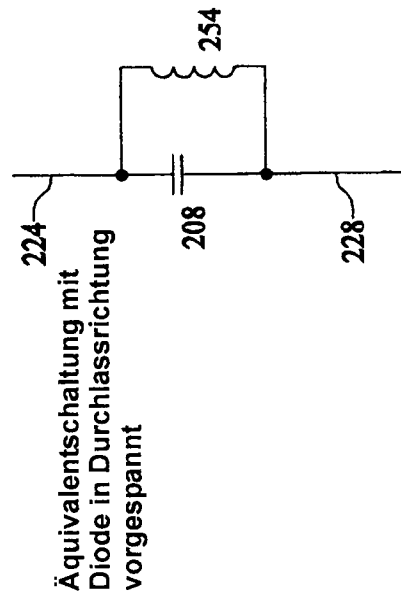
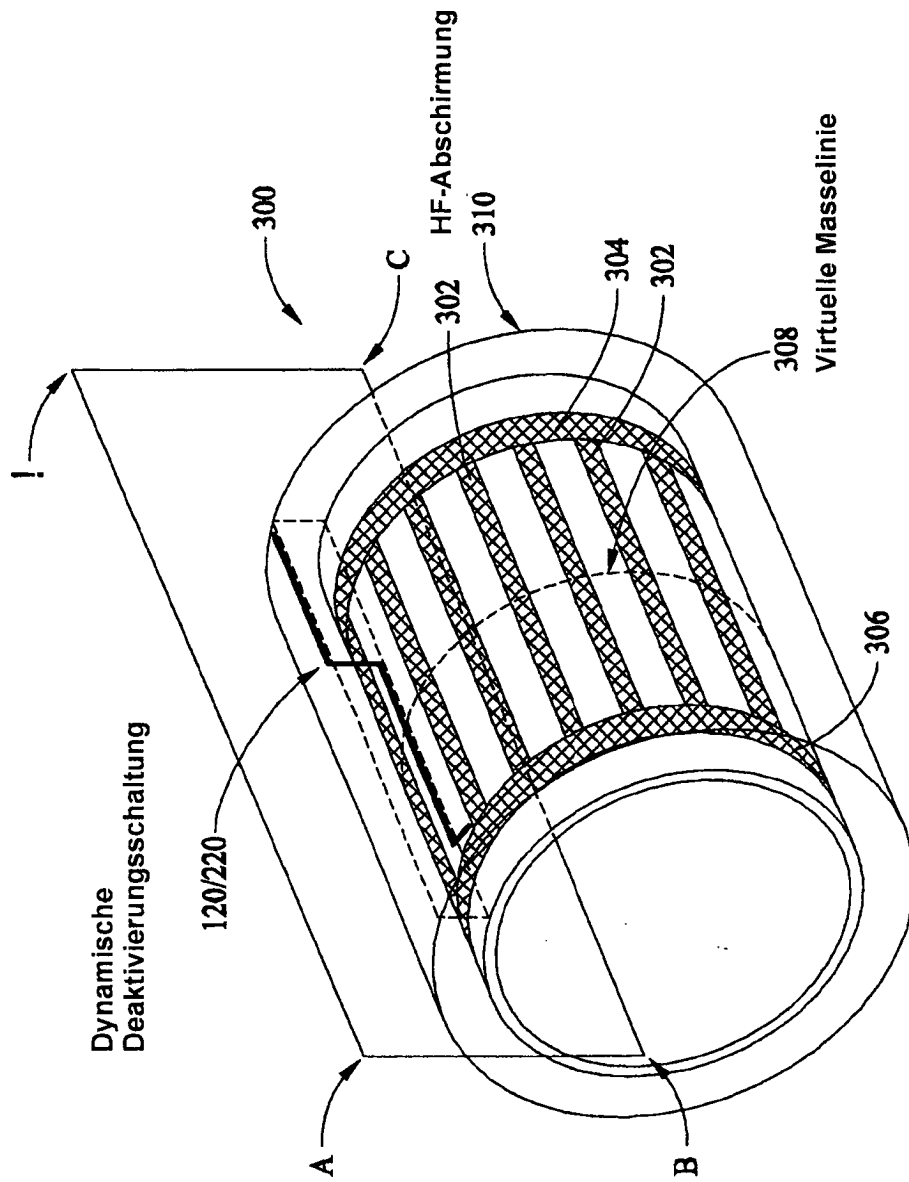
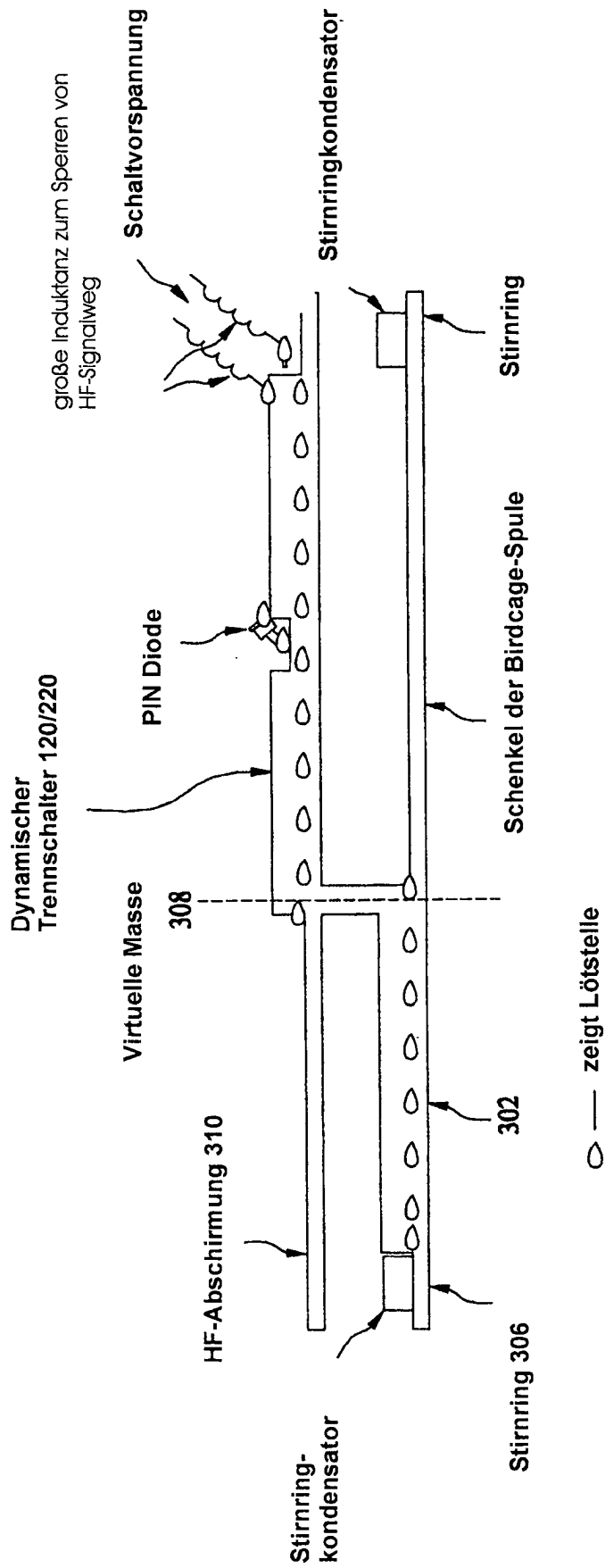


FIG. 17



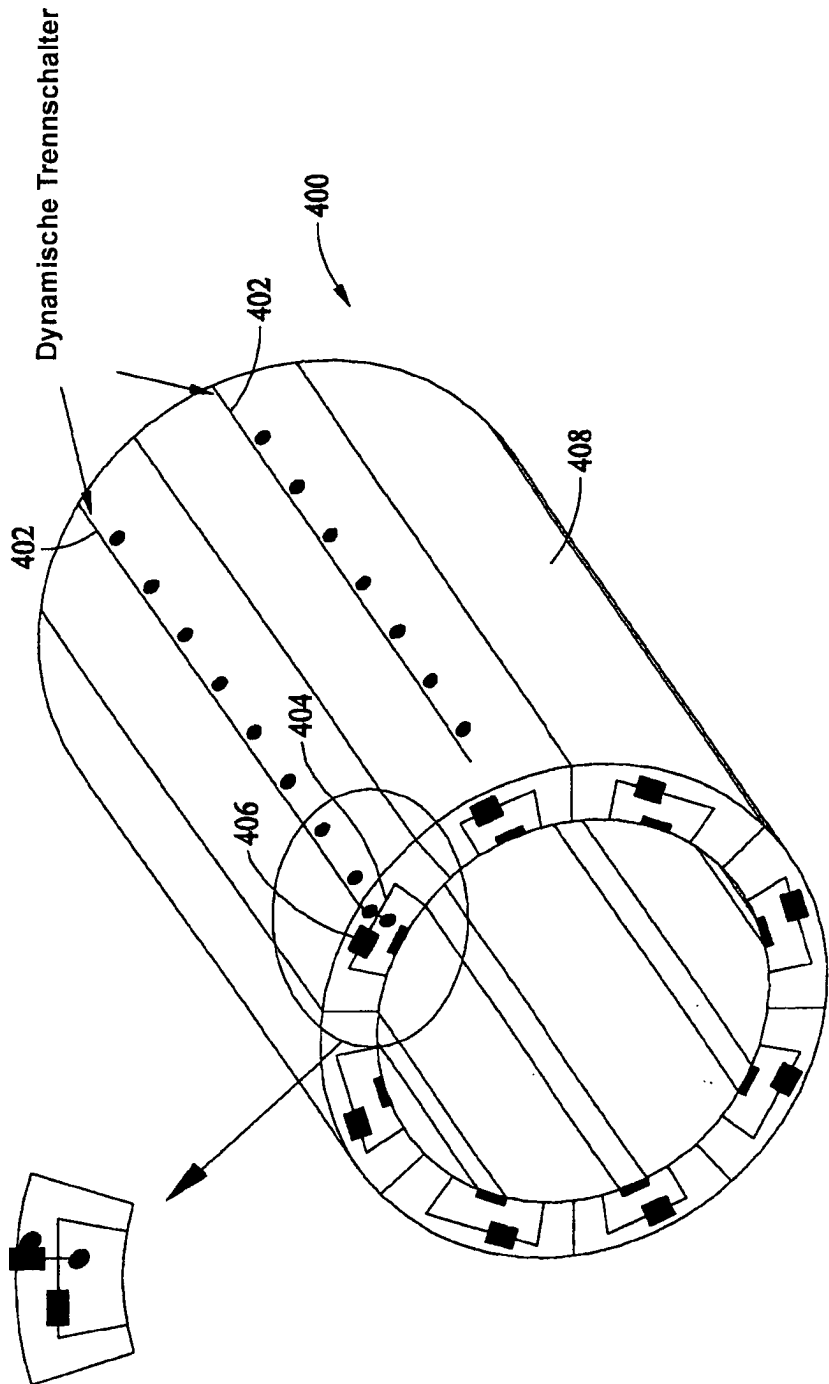
Methoden zum Anbringen dynamischer Trennschalter bei einer Hochpass-Bridge-Spule mit 16 Leitern

FIG. 18



Methoden zur Implementierung dynamischer Trennschalter in eine Birdcage-Spule

FIG. 19



- Zeigt Lötstelle
- Methoden zum Implementieren von dynamischen Trennschaltern in einem TEM Resonator

FIG. 20