



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2022 208 982.0**
(22) Anmeldetag: **30.08.2022**
(43) Offenlegungstag: **29.02.2024**

(51) Int Cl.: **G01R 33/421** (2006.01)

G01R 33/42 (2006.01)
G01R 33/28 (2006.01)
G01R 33/3815 (2006.01)
G01R 33/385 (2006.01)
G01R 33/38 (2006.01)
A61B 5/055 (2006.01)
G01R 33/025 (2006.01)

(71) Anmelder:
Siemens Healthcare GmbH, München, DE

(72) Erfinder:
**Dietz, Peter, 90762 Fürth, DE; Krug, Andreas,
90762 Fürth, DE; Mallett, Michael, Faringdon, GB**

(56) Ermittelte Stand der Technik:

CN	1 14 487 958	A
JP	2000- 232 967	A

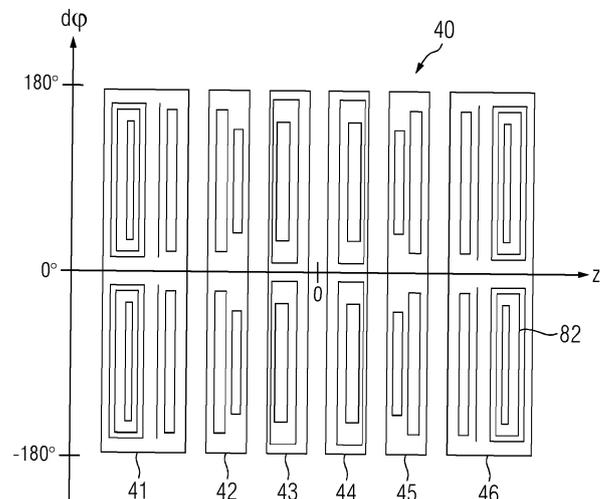
„Questions and Answers in MRI“, Allen D. Elster: „Superconducting Magnets“, URL: <https://mriquestions.com/superconductive-design.html> [recherchiert und aufgerufen am 16.05.2023]

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Magneteneinheit zur Verwendung in einem Magnetresonanzgerät in Kombination mit einer Gradientenspuleinheit frei von aktiver Schirmung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Magneteneinheit ausgebildet zur Verwendung in einem Magnetresonanzgerät umfassend einen hohlzylindrischen Vakuumbehälter umgebend einen zylindrischen Patientenaufnahmebereich entlang einer Zylinderachse in Längsrichtung, eine supraleitende Spuleneinheit ausgebildet zur Erzeugung eines statischen Hauptmagnetfeldes und angeordnet innerhalb des hohlzylindrischen Vakuumbehälters, und eine passive Abschirmeinheit umfassend zumindest eine hohlzylindrisch geformte Ringstruktur aus massivem leitfähigem Material umgebend die Zylinderachse geeignet zur Ausbildung von zumindest einem Wirbelstrom durch magnetische Induktion, wobei die Ringstruktur eine Textur ausgebildet zur Kontrolle des Wirbelstromes aufweist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Magneteinheit zur Verwendung in einem Magnetresonanzgerät sowie ein Magnetresonanzgerät umfassend eine solche Magneteinheit.

[0002] In einem Magnetresonanzgerät wird üblicherweise der zu untersuchende Körper eines Untersuchungsobjektes, insbesondere eines Patienten, mit Hilfe eines Hauptmagneten, insbesondere einer Magneteinheit, einem relativ hohen Hauptmagnetfeld, beispielsweise von 0,55 oder 1,5 oder 3 oder 7 Tesla, ausgesetzt. Zusätzlich werden mit Hilfe einer Gradientenspuleneinheit Gradientenpulse ausgespielt. Über eine Hochfrequenzantenneneinheit werden dann mittels geeigneter Antenneneinrichtungen hochfrequente Hochfrequenz-Pulse, beispielsweise Anregungspulse, ausgesendet, was dazu führt, dass die Kernspins bestimmter, durch diese Hochfrequenz-Pulse resonant angeregter Atome um einen definierten Flipwinkel gegenüber den Magnetfeldlinien des Hauptmagnetfelds verkippt werden. Bei der Relaxation der Kernspins werden Hochfrequenz-Signale, so genannte Magnetresonanz-Signale, abgestrahlt, die mittels geeigneter Hochfrequenzantennen empfangen und dann weiterverarbeitet werden. Aus den so akquirierten Rohdaten können schließlich die gewünschten Bilddaten rekonstruiert werden.

[0003] Eine Gradientenspuleneinheit umfasst herkömmlich drei Primärspulen und drei dazu korrespondierende Sekundärspulen. Die drei Primärspulen werden typischerweise von einer Primärspuleneinheit umfasst. Die drei Sekundärspulen werden typischerweise von einer Sekundärspuleneinheit umfasst. Eine Primärspule ist typischerweise zur Erzeugung eines Magnetfeldgradienten in eine Raumrichtung ausgelegt. Ein Magnetfeldgradient ist typischerweise ein Magnetfeld erster Ordnung und/oder linearer Ordnung, insbesondere ein Magnetfeld, dessen Amplitude entlang einer Raumrichtung linear ansteigt. Bei der Ansteuerung einer Primärspule werden Streufelder außerhalb der Gradientenspuleneinheit erzeugt, welche mit den die Gradientenspuleneinheit umgebenden leitfähigen Strukturen interagieren, wobei Wirbelströme entstehen. Diese Wirbelströme erzeugen ihrerseits Ohm'sche Wärme, welche ein Quenchen einer von der Magneteinheit umfassten supraleitenden Spuleneinheit bewirken kann. Zusätzlich erzeugen die Wirbelströme ihrerseits ein Magnetfeld, ein sogenanntes Wirbelfeld, welches die Qualität von Bilddaten negativ beeinflussen kann.

[0004] Herkömmlich werden die Streufelder und Wirbelströme durch Sekundärspulen unterdrückt, wobei jeweils einer Primärspule eine korrespondierende Sekundärspule zugeordnet ist. Erzeugt die Pri-

märspule ein Streufeld, so ist die der Primärspule korrespondierende Sekundärspule dazu ausgebildet, ein dem Streufeld entgegengerichtetes Magnetfeld zu erzeugen, welches insbesondere außerhalb des Patientenaufnahmebereiches wirkt. Hierfür weist die Sekundärspule herkömmlich eine zur ersten Primärspule ähnliche Leiterstruktur auf, welche analog zur Primärspule mit invertiertem Vorzeichen wie die Primärspule angesteuert wird und dadurch überwiegend ein Magnetfeld erster Ordnung erzeugt, welches dem von der Primärspule erzeugten Magnetfeldgradienten entgegengerichtet ist. Außerhalb des Patientenaufnahmebereiches überlagern sich die von der Primärspule und der Sekundärspule erzeugten Magnetfelder typischerweise destruktiv. Herkömmlich umfasst eine Gradientenspuleneinheit typischerweise eine Sekundärspuleneinheit umfassend drei Sekundärspulen, wobei jeweils einer Primärspule eine Sekundärspule zugeordnet ist. Die Primärspulen und die Sekundärspulen werden herkömmlich mit elektrischen Strömen gesteuert, deren Amplituden bis zu 1 kA erreichen und die häufigen und raschen Wechseln der Stromrichtung mit Anstiegs- und Abfallraten von mehreren 100 kA/s unterliegen. Die treibende Spannung für den Spulenstrom beträgt bis zu mehrere kV.

[0005] Die Sekundärspulen benötigen dabei Raum, sodass eine Gradientenspuleneinheit mit Sekundärspulen einen geringeren Innendurchmesser aufweist als eine Gradientenspuleneinheit ohne Sekundärspulen, wodurch der Patientenaufnahmebereich enger wird. Zusätzlich benötigt die aktive Schirmung, also die Ansteuerung der Sekundärspuleneinheit, viel Energie, welche in Form von Strom und Spannung durch eine Gradientenverstärkereinheit bereitgestellt werden muss. Gradientenspuleneinheiten ohne Sekundärspulen sind folglich hinsichtlich der Größe des Patientenaufnahmebereiches und des Energieverbrauches vorteilhaft, sofern die Wirbelströme betreffend die Magneteinheit und/oder supraleitende Spuleneinheit und/oder dadurch entstehende und im Patientenaufnahmebereich wirkende Wirbelfelder kompensiert werden können.

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine robuste Magneteinheit mit besonders guter intrinsischer Schirmung gegen von der Gradientenspuleneinheit erzeugte Streufelder und/oder Wirbelströme anzugeben. Die Aufgabe wird durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

[0007] Die erfindungsgemäße Magneteinheit, welche zur Verwendung in einem Magnetresonanzgerät ausgebildet ist, umfasst einen hohlzylindrischen Vakuumbehälter umgebend einen zylindrischen Patientenaufnahmebereich entlang einer Zylinderachse in Längsrichtung. Die Magneteinheit umfasst

eine supraleitende Spuleneinheit, welche zur Erzeugung eines statischen Hauptmagnetfeldes ausgebildet und innerhalb des hohlzylindrischen Vakuumbehälters angeordnet ist. Zusätzlich umfasst die Magneteinheit eine passive Abschirmeinheit umfassend zumindest eine hohlzylindrisch geformte Ringstruktur aus massivem leitfähigem Material, welche die Zylinderachse insbesondere entlang einer Umfangsrichtung umgibt und/oder umschließt und zur Ausbildung von einem Wirbelstrom durch magnetische Induktion geeignet ist. Die zumindest eine Ringstruktur weist eine Textur ausgebildet zur Kontrolle des Wirbelstromes auf.

[0008] Die passive Abschirmeinheit ist typischerweise zwischen Patientenaufnahmebereich und supraleitender Spuleneinheit angeordnet. Die supraleitende Spuleneinheit ist typischerweise innerhalb des hohlzylindrischen Vakuumbehälters angeordnet, innerhalb welchen eine Temperatur von weniger als 100 K vorherrscht. Insbesondere der Bereich, in welchem die supraleitende Spuleneinheit angeordnet ist, weist typischerweise eine Temperatur von höchstens 10 K auf. Die Zylinderachse des hohlzylindrischen Vakuumbehälters entspricht typischerweise der Zylinderachse des zylindrischen Patientenaufnahmebereichs und/oder der Magneteinheit und/oder der passiven Abschirmeinheit und/oder der supraleitenden Spuleneinheit. Die Magneteinheit kann zudem eine thermische Abschirmeinheit umfassen. Die passive Abschirmeinheit kann innerhalb des hohlzylindrischen Vakuumbehälters angeordnet sein. Die passive Abschirmeinheit kann außerhalb des hohlzylindrischen Vakuumbehälters angeordnet sein. Die Ringstruktur weist typischerweise eine elektrische Leitfähigkeit von zumindest 2×10^7 S/m auf. Die Ringstruktur ist typischerweise aus elektrisch leitfähigem Material geformt.

[0009] Die passive Abschirmeinheit ist typischerweise derart ausgestaltet, dass ein bei Ansteuerung der Gradientenspuleinheit, welche insbesondere keine Sekundärspuleinheit umfasst, entstehendes Streufeld auf der Ringstruktur einen Wirbelstrom induziert. Der Wirbelstrom, insbesondere dessen Amplitude und/oder Richtung, wird typischerweise durch die geometrische Anordnung, die Position, die Form, die Oberfläche und/oder die Leitfähigkeit der Ringstruktur beeinflusst. Es wurde erkannt, dass zusätzlich die Oberflächenstruktur der Ringstruktur, im Folgenden als Textur bezeichnet, einen Einfluss auf die Ausbildung des Wirbelstromes und/oder dessen Zeitkonstante hat. Insbesondere kann die Ringstruktur eine definierte Oberflächenstruktur, also eine definierte Textur, aufweisen, welche dazu ausgebildet ist, eine Amplitude und/oder eine Richtung des Wirbelstromes zu beeinflussen. Die Textur ist typischerweise eine Änderung der Oberfläche der Ringstruktur in radialer Richtung. Mittels Textur kann demnach im Betrieb einer Gradienten-

spuleinheit entstehende Wirbelströme passiv kontrolliert werden.

[0010] Der Wirbelstrom erzeugt seinerseits ein Wirbelfeld, welches sich dem Streufeld überlagert und/oder dieses insbesondere im Bereich der supraleitenden Spuleneinheit und/oder im Untersuchungsbereich minimiert und/oder eliminiert, was insbesondere zu einer Abschirmung der supraleitenden Spuleneinheit vom Streufeld führen kann. Die passive Abschirmeinheit, und insbesondere die Ringstruktur, bildet demnach typischerweise eine Barriere zwischen der Gradientenspuleinheit und der supraleitenden Spuleneinheit. Insbesondere ist die passive Abschirmeinheit, und insbesondere die zumindest eine Ringstruktur, vorzugsweise derart ausgestaltet, dass die supraleitende Spuleneinheit vor dem Streufeld abgeschirmt wird. Die zumindest eine Ringstruktur kann auch derart ausgestaltet sein, dass sich auf der Ringstruktur Wirbelströme derart ausbilden, dass die durch diese Wirbelströme entstehenden Wirbelfelder den auf anderen leitfähigen Strukturen entstehenden Wirbelfeldern entgegengerichtet sind und diese zumindest teilweise kompensieren. Insbesondere kann durch eine derartige Kompensation das Streufeld vor dem Erreichen der supraleitenden Spuleneinheit effizient kompensiert werden.

[0011] Es wurde erkannt, dass das Streufeld Wirbelströme auf weiteren von der Magneteinheit umfassten leitfähigen Oberflächen, sogenannten Wirbelstromflächen, erzeugt, welche ihrerseits Wirbelfelder erzeugen. Typischerweise ist die Ringstruktur und/oder die Textur derart gewählt, dass das durch den Wirbelstrom auf der Ringstruktur erzeugte Wirbelfeld und die auf den anderen Wirbelstromflächen induzierten Wirbelfelder überlagert betrachtet und dem Streufeld gemeinsam entgegengerichtet wirken. Ebenso wurde erkannt, dass für eine derartige Funktionsweise ein ähnlicher zeitlicher Verlauf, insbesondere zeitlicher Abfall der Wirbelströme auf allen Wirbelstromflächen inklusive der Ringstrukturen, insbesondere eine ähnliche Zeitkonstante, erforderlich ist. Die Zeitkonstante eines Wirbelstromes ist typischerweise abhängig von der Leitfähigkeit der Wirbelstromfläche, beeinflusst durch Temperatur und Material, einem effektiven Leiterquerschnitt und/oder einer Pfadlänge des Wirbelstromes. Die Textur kann den Pfad des Wirbelstromes und damit die Pfadlänge beeinflussen, wodurch die Zeitkonstante kontrollierbar ist.

[0012] Die Ringstruktur kann aufgrund der Textur demnach deutlich spezifischer wirken und ihre Funktion, die Bereitstellung einer Fläche zur Ausbildung von Wirbelströmen zum Schutz der supraleitenden Spuleinheit, ist nicht mehr lediglich durch ihre physikalischen Eigenschaften, Form und/oder Position bestimmt. Die Wahl der Textur ermöglicht zudem

eine Anpassung und/oder Änderung einer Zeitkonstante des sich auf der Ringstruktur ausbildenden Wirbelstromes. Folglich ermöglicht eine Ringstruktur aufweisend eine definierte Textur eine besonders präzise Steuerung eines sich auf der Ringstruktur ausbildenden Wirbelstromes. Hierdurch kann die supraleitende Spuleneinheit besonders gut gegen von der Gradientenspuleinheit erzeugte Streufelder und/oder Wirbelströme abgeschirmt werden.

[0013] Zudem kann durch eine Änderung der geometrischen Anordnung und eine Änderung der Textur der zumindest einen Ringstruktur, welche vorzugsweise flexibel vorgenommen werden kann, das Maß der Abschirmung individuell bestimmt und/oder angepasst werden. Ebenso wird die Entstehung eines Wirbelfeldes reduziert, was eine Qualität von mit dem Magnetresonanzgerät aufzunehmenden Bilddaten positiv beeinflusst. Die erfindungsgemäße Magneteinheit weist demnach mit der passiven Abschirmeinheit eine intrinsische Schirmung gegen von der Gradientenspuleinheit erzeugte Streufelder und/oder Wirbelströme auf.

[0014] Eine Ausführungsform der Magneteinheit sieht vor, dass die Textur als physische Sperre ausgebildet ist und dazu ausgebildet ist, eine Ausbreitung des Wirbelstromes über die physische Sperre hinweg zu reduzieren und/oder zu verhindern. Die physische Sperre kann als morphologische Diskontinuität ausgebildet sein. Die physische Sperre verläuft typischerweise überwiegend in Umfangsrichtung und/oder mit in Umfangsrichtung veränderlicher Längsposition. Die physische Sperre kann beispielsweise als Lamelle und/oder Beschichtung und/oder Erhebung und/oder Einkerbung und/oder Füllung ausgebildet sein. Ist die physische Sperre als Füllung ausgebildet, so umfasst diese typischerweise ein Füllmaterial, das sich vom massiven leitfähigen Material der Ringstruktur unterscheidet, insbesondere in der elektrischen Leitfähigkeit. Derartige physische Sperren können einen elektrischen Strom, insbesondere einen Wirbelstrom, besonders effizient beeinflussen und lenken. Zudem sind Ringstrukturen mit derartigen Texturen in Form physischer Sperren besonders einfach, kostengünstig und präzise zu fertigen, wodurch die passive Abschirmeinheit besonders genau wirken kann.

[0015] Die physische Sperre kann, insbesondere in radiale Richtung, auf der dem Patientenaufnahmebereich zugewandten Seite der Ringstruktur angeordnet sein. Der Wirbelstrom bildet sich typischerweise hauptsächlich an der dem Patientenaufnahmebereich zugewandten Seite der Ringstruktur aus, wobei die Eindringtiefe durch verschiedene physikalische Faktoren bestimmt wird. Folglich ist auf der dem Patientenaufnahmebereich zugewandten Seite der Ringstruktur eine verstärkte Ausbildung eines Wirbelstromes zu erwarten, wes-

halb die physische Sperre bei dieser Anordnung eine Amplitude eines Wirbelstromes besonders stark reduzieren kann.

[0016] Die physische Sperre kann, insbesondere in radiale Richtung, auf der dem Patientenaufnahmebereich abgewandten Seite der Ringstruktur angeordnet sein. In diesem Bereich ist eine verringerte Ausbildung eines Wirbelstromes zu erwarten, weshalb die physische Sperre bei dieser Anordnung eine Amplitude eines Wirbelstromes besonders detailliert reduzieren kann.

[0017] Die physische Sperre kann auf der dem Patientenaufnahmebereich abgewandten Seite und auf der dem Patientenaufnahmebereich zugewandten Seite der Ringstruktur angeordnet sein. Dies ermöglicht eine besonders umfassende und detaillierte Kontrolle eines Wirbelstromes und damit besonders präzise Abschirmung der supraleitenden Spuleneinheit vor Wirbelströmen.

[0018] Eine Ausführungsform der Magneteinheit sieht vor, dass die physische Sperre als Einkerbung in die zumindest eine Ringstruktur und/oder als Einkerbung der zumindest einen Ringstruktur ausgebildet ist. Die Einkerbung ist typischerweise als länglicher Schlitz und/oder Einschnitt, insbesondere in radiale Richtung, ausgebildet. Eine Einkerbung kann typischerweise mittels Fräse in Metall erzeugt werden und ist demnach besonders präzise, kostengünstig und individuell zu fertigen.

[0019] Eine Ausführungsform der Magneteinheit sieht vor, dass eine Tiefe der Einkerbung, insbesondere in radialer Richtung, in die zumindest eine Ringstruktur entlang der physischen Sperre variiert und/oder die Einkerbung die Ringstruktur in radialer Richtung zumindest teilweise vollständig durchdringt und/oder zumindest teilweise zu höchstens 95% durchdringt.

[0020] Sofern in einem Bereich der Ringstruktur die Tiefe der Einkerbung in radialer Richtung der Dicke, also der radialen Breite, der Ringstruktur entspricht, weist die Ringstruktur in diesem Bereich eine Öffnung in radiale Richtung auf und/oder die Einkerbung durchdringt die Ringstruktur in radialer Richtung in diesem Bereich vollständig. Diese Öffnung ist typischerweise nicht leitfähig und verhindert eine Ausbreitung eines Wirbelstromes über eine derartig ausgestaltete physische Sperre.

[0021] Durchdringt die Einkerbung die Ringstruktur in radialer Richtung zu höchstens 95%, bevorzugt zu höchstens 90%, besonders bevorzugt zu höchstens 80%, so ist die Ringstruktur im Bereich der physischen Sperre weiterhin stabil bei gleichzeitig effizienter Kontrolle eines Wirbelstromes.

[0022] Die Tiefe der Einkerbung kann insbesondere entlang der physischen Sperre variieren, sodass die Ringstruktur entlang der physischen Sperre eine sich verändernde Dicke aufweist. Dies ermöglicht einen weiteren Freiheitsgrad bei einer Bestimmung der Textur beispielsweise im Rahmen eines Optimierungsverfahrens berücksichtigend die Gradientenspuleneinheit und die supraleitende Spuleneinheit und/oder eine besonders präzise Kontrolle von sich ausbildenden Wirbelströmen.

[0023] Eine Ausführungsform der Magneteinheit sieht vor, dass die physische Sperre in einer ersten Form ausgebildet ist, gemäß welcher ersten Form die physische Sperre an zumindest einer Längsposition zumindest teilweise radial umlaufend ausgestaltet ist. Insbesondere kann die physische Sperre gemäß der ersten Form einen zumindest teilweise geradlinigen Verlauf in Umfangsrichtung an zumindest einer Längsposition umfassen. Die physische Sperre in erster Form ist vorzugsweise als Einkerbung ausgebildet. Die physische Sperre in erster Form umgibt die Ringstruktur in Umfangsrichtung vorzugsweise vollständig. Die physische Sperre in erster Form weist vorzugsweise einen überwiegend geradlinigen Verlauf in Umfangsrichtung, insbesondere überwiegend senkrecht zur Längsrichtung, auf. Die physische Sperre in erster Form ist vorzugsweise derart ausgestaltet, dass sie aufsummiert über die Umfangsrichtung hinweg weniger als 10 cm, bevorzugt weniger als 5 cm, besonders bevorzugt weniger als 2 cm, in Längsrichtung verläuft. Eine derart ausgestaltete physische Sperre in erster Form kontrolliert den Wirbelstrom typischerweise bevorzugt durch Lenkung in Umfangsrichtung. Es ist denkbar, dass die physische Sperre in erster Form zumindest teilweise an der dem Patientenaufnahmebereich zugewandten Seite und an der dem Patientenaufnahmebereich abgewandten Seite angeordnet ist.

[0024] Insbesondere bei der Erzeugung von Magnetfeldgradienten in Längsrichtung, also in z-Richtung, entstehende Streufelder induzieren auf der Ringstruktur einen Wirbelstrom, dessen Zeitkonstante mittels physischer Sperre in erster Form besonders gut kontrollierbar ist. Abhängig von der Position in Längsrichtung der physischen Sperre in erster Form können insbesondere auch verschiedene Ordnungen des Wirbelstromes separat kontrolliert werden. Hierdurch kann die supraleitende Spuleneinheit besonders gut vor Wirbelströmen geschützt werden.

[0025] Eine Ausführungsform der Magneteinheit sieht vor, dass die erste Form der physischen Sperre zumindest drei in Längsrichtung voneinander beabstandete, zumindest teilweise geradlinige Verläufe in Umfangsrichtung der zumindest einen Ringstruktur umfasst, welche zueinander einen unregelmäßigen Abstand in Längsrichtung aufweisen und/oder in

unregelmäßigen Abständen entlang der Zylinderachse in Längsrichtung angeordnet sind. Diese Ausführungsform ermöglicht eine besonders effiziente und individualisierte Kontrolle von Wirbelströmen verschiedener Ordnungen, wodurch eine besonders effiziente Abschirmung möglich ist.

[0026] Eine Ausführungsform der Magneteinheit sieht vor, dass die physische Sperre in einer zweiten Form derart ausgebildet ist, dass diese innerhalb einer Hälfte der zumindest einen Ringstruktur zumindest einer geschlossenen Kurve auf einer Mantelfläche folgt. Eine Hälfte der Ringstruktur ist dabei typischerweise definiert durch eine halbe Umfangsrichtung und eine Länge der Ringstruktur in Längsrichtung, insbesondere die gesamte Länge der einzelnen Ringstruktur in Längsrichtung. Die Länge der Ringstruktur entspricht typischerweise der räumlichen Ausdehnung der Ringstruktur, insbesondere der einzelnen Ringstruktur, in Längsrichtung. Eine halbe Umfangsrichtung entspricht typischerweise einem halben Kreis, beispielsweise definiert durch $d\phi = [0^\circ; 180^\circ]$. Die physische Sperre in der zweiten Form bildet vorzugsweise innerhalb beider Hälften einer Ringstruktur jeweils zumindest eine geschlossene Kurve auf einer Mantelfläche. Die physische Sperre in der zweiten Form ist vorzugsweise symmetrisch, insbesondere zur Zylinderachse. Insbesondere können die beiden Hälften einer Ringstruktur aufweisend eine physische Sperre in der zweiten Form zueinander symmetrisch sein.

[0027] Bei abgerollter Darstellung der geschlossenen Kurve in Umfangsrichtung kann die geschlossene Kurve zumindest teilweise als Rechteck und/oder Ellipse und/oder Kreis geformt sein, wobei sie insbesondere einen Fixpunkt ringförmig umgeben können. Die physische Sperre in zweiter Form kann auch zwei oder mehreren geschlossenen Kurven auf einer Mantelfläche folgen, wobei die zwei oder mehreren geschlossenen Kurven einen Fixpunkt oder mehrere Fixpunkte mit unterschiedlichem Radius und/oder Abstand umgeben können. Es ist denkbar, dass die physische Sperre in zweiter Form zumindest teilweise an der dem Patientenaufnahmebereich zugewandten Seite und an der dem Patientenaufnahmebereich abgewandten Seite angeordnet ist.

[0028] Insbesondere bei der Erzeugung von Magnetfeldgradienten senkrecht zur Längsrichtung, also in x-Richtung und/oder in y-Richtung, entstehende Streufelder induzieren auf der Ringstruktur einen Wirbelstrom, dessen Zeitkonstante mittels physischer Sperre in zweiter Form besonders gut kontrollierbar ist. Abhängig von der Position und/oder Größe der geschlossenen Kurven der physischen Sperre in zweiter Form können insbesondere auch verschiedene Ordnungen des Wirbelstromes separat kontrolliert werden.

liert werden. Hierdurch kann das Streufeld besonders präzise kompensiert werden.

[0029] Eine Ausführungsform der Magneteinheit sieht vor, dass die Textur eine physische Sperre in erster Form und eine physische Sperre in zweiter Form aufweist. Vorzugsweise weist eine Ringstruktur eine derartige Textur auf. Die physische Sperre in erster Form und die physische Sperre in zweiter Form können an der gleichen radialen Seite der Ringstruktur, insbesondere an der dem Patientenaufnahmebereich zugewandten oder abgewandten Seite, angeordnet sein. Die physische Sperre in erster Form und die physische Sperre in zweiter Form können an verschiedenen radialen Seiten der Ringstruktur angeordnet sein, wobei beispielsweise die physische Sperre in erster Form an der dem Patientenaufnahmebereich zugewandten Seite und die physische Sperre in zweiter Form an der dem Patientenaufnahmebereich abgewandten Seite, angeordnet ist. Diese Ausführungsform ermöglicht, dass mit nur einer Ringstruktur Wirbelströme induziert durch einen Magnetfeldgradienten in Längsrichtung und durch einen Magnetfeldgradienten in x-Richtung kontrolliert werden können.

[0030] Eine Ausführungsform der Magneteinheit sieht vor, dass die Anzahl der zumindest einen Ringstruktur zumindest zwei ist und die Magneteinheit eine Ringstruktureinheit umfassend die zumindest zwei Ringstrukturen umfasst. Die zumindest zwei Ringstrukturen weisen jeweils einen unterschiedlichen Durchmesser, also insbesondere radialen Abstand von der Zylinderachse, auf, und sind konzentrisch, insbesondere coaxial, um die Zylinderachse angeordnet. In Längsrichtung überlappen sich die zumindest zwei Ringstrukturen zumindest teilweise. Vorzugsweise sind alle Ringstrukturen der passiven Abschirmereinheit als Teil von Ringstruktureinheiten ausgebildet, wobei jede Ringstruktureinheit zwei oder drei Ringstrukturen mit verschiedenem radialem Abstand zur Zylinderachse, also verschiedenem Durchmesser, umfasst. Eine Ringstruktureinheit umfasst gemäß dieser Ausführungsform zumindest zwei Lagen, bevorzugt drei Lagen, in Form von Ringstrukturen. Die Anzahl der zumindest einen Ringstruktur beträgt typischerweise zumindest zweimal, vorzugsweise dreimal, die Anzahl der von der supraleitenden Spuleneinheit umfassten Magnetspulen. Zumindest zwei, vorzugsweise drei Ringstrukturen davon können jeweils zu einer Ringstruktureinheit zusammengefasst werden, welche Ringstruktureinheit sich in Längsrichtung vorzugsweise mit einer von der supraleitenden Spuleneinheit umfassten Magnetspule zumindest teilweise überlappt.

[0031] Eine Ringstruktureinheit ist typischerweise dazu ausgebildet, diese Magnetspule vor durch eine Gradientenspuleneinheit induzierte Streufelder

abzuschirmen. Die einer Ringstruktureinheit zugeordneten Ringstrukturen weisen typischerweise die gleiche Position und/oder räumliche Ausdehnung in Längsrichtung auf. Die einer Ringstruktureinheit zugeordneten Ringstrukturen sind typischerweise in radialer Richtung zueinander benachbart und/oder bilden Lagen. Benachbarte Ringstrukturen einer Ringstruktureinheit können voneinander elektrisch isoliert sein. Benachbarte Ringstrukturen einer Ringstruktureinheit können durch einen Schlitz voneinander beabstandet sein. Die einer Ringstruktureinheit zugeordneten Ringstrukturen weisen typischerweise voneinander verschiedene Texturen auf. Die voneinander verschiedenen Texturen sind typischerweise dazu ausgebildet, Wirbelströme erzeugt durch verschiedene Gradientenspulen der Gradientenspuleneinheit zu kontrollieren, insbesondere deren Zeitkonstante. Diese Ausführungsform ermöglicht eine besonders präzise und spezifische Kontrolle der durch die verschiedenen Gradientenspulen der Gradientenspuleneinheit erzeugten Wirbelfelder.

[0032] Eine Ausführungsform der Magneteinheit sieht vor, dass eine erste Ringstruktur der Ringstruktureinheit eine physische Sperre in erster Form aufweist und eine zweite Ringstruktur der Ringstruktureinheit eine physische Sperre in zweiter Form aufweist. Die erste Ringstruktur ist demnach besonders gut dazu ausgebildet, einen Wirbelstrom zu kontrollieren, welcher Wirbelstrom durch eine Gradientenspule erzeugend einen Magnetfeldgradienten in Längsrichtung, also z-Richtung, induziert wird. Die zweite Ringstruktur ist demnach besonders gut dazu ausgebildet, einen Wirbelstrom zu kontrollieren, welcher Wirbelstrom durch eine Gradientenspule erzeugend einen Magnetfeldgradienten in x-Richtung, induziert wird. Die zweite Ringstruktur kann auch eine weitere physische Sperre in zweiter Form umfassen, welche in Umfangsrichtung im Vergleich zur physischen Sperre zweiter Form um 90° gedreht ist, und dazu ausgebildet, einen Wirbelstrom zu kontrollieren, welcher Wirbelstrom durch eine Gradientenspule erzeugend einen Magnetfeldgradienten in y-Richtung, induziert wird. Die Ringstruktureinheit kann alternativ und/oder zusätzlich eine dritte Ringstruktur aufweisend eine physische Sperre in zweiter Form umfassen, welche in Umfangsrichtung im Vergleich zur physischen Sperre der zweiten Ringstruktur um 90° gedreht ist, und dazu ausgebildet, einen Wirbelstrom zu kontrollieren, welcher Wirbelstrom durch eine Gradientenspule erzeugend einen Magnetfeldgradienten in y-Richtung, induziert wird. Diese Ausführungsform ermöglicht eine besonders präzise und spezifische Kontrolle der durch die verschiedenen Gradientenspulen der Gradientenspuleneinheit erzeugten Wirbelfelder und damit einen besonders guten Schutz der supraleitenden Spuleneinheit.

[0033] Eine Ausführungsform der Magneteinheit sieht vor, dass die physische Sperre unstetig ausgebildet ist. Gemäß dieser Ausführungsform verläuft die physische Sperre entlang einer Linie und/oder Kurve diskontinuierlich und/oder diskret. Insbesondere kann die physische Sperre entlang einer Linie und/oder Kurve Unterbrechungen aufweisen, über welche Unterbrechungen hinweg sich ein Wirbelstrom ausbreiten kann. Insbesondere kann ein Wirbelstrom durch eine physische Sperre gemäß dieser Ausführungsform besonders gut kontrolliert und geleitet werden. Diese Ausführungsform ermöglicht eine individuelle Kontrolle und Anpassung des Wirbelstromes.

[0034] Eine Ausführungsform der Magneteinheit sieht vor, dass die Textur dazu ausgebildet ist, einen Richtungsvektor des Wirbelstromes zu verändern. Die Textur kann dazu ausgebildet sein, eine Amplitude eines Wirbelstromes zu reduzieren. Insbesondere bei Ausbildung der Textur als physische Sperre kann der Wirbelstrom zumindest teilweise an der physischen Sperre reflektiert werden, wodurch zumindest ein Richtungsvektor des Wirbelstromes umgelenkt wird. Dies ermöglicht eine effiziente Kontrolle der sich auf der Ringstruktur ausbildenden Wirbelströme.

[0035] Eine Ausführungsform der Magneteinheit sieht vor, dass der Wirbelstrom elektrische Ströme verschiedener Ordnungen umfasst und einem elektrischen Strom jeder Ordnung jeweils eine Amplitude und eine Zeitkonstante zuzuordnen ist. Zudem ist die zumindest eine Ringstruktur hinsichtlich Material, Geometrie, Position und/oder Textur derart ausgestaltet, dass ein Varianzkoeffizient der mit den Amplituden gewichteten Zeitkonstanten der elektrischen Ströme aller Ordnungen höchstens 5% beträgt und/oder minimiert wird.

[0036] Die Ordnung eines elektrischen Stromes, welcher elektrische Strom insbesondere Teil des Wirbelstromes ist, ist durch die Ordnung des von dem elektrischen Strom erzeugten Magnetfeldes bestimmt. Eine Ordnung eines Magnetfeldes entspricht typischerweise den Entwicklungsordnungen nach Sphärischen Harmonischen des Magnetfeldes, also den Kugelfunktionsentwicklungstermen, wie es für Gradientenspuleneinheiten üblich ist und beispielsweise in „Möglichkeiten und Grenzen von schaltbaren Gradientenfeldspulen für die bildgebende NMR“, Dissertation von Ralph Kimmlingen, Würzburg 2002, offenbart ist. Ein Magnetfeld erster Ordnung ist demnach ein Magnetfeld linearer Ordnung und entspricht einem Magnetfeldgradient. Ein Magnetfeld höherer Ordnung weist typischerweise zumindest die zweite Ordnung auf. Ein vom Wirbelstrom umfasster elektrischer Strom dritter Ordnung erzeugt typischerweise ein Magnetfeld dritter Ord-

nung, beispielsweise ein Magnetfeld der Ordnung A [3,1].

[0037] Es wurde erkannt, dass Zeitkonstanten von elektrischen Strömen verschiedener Ordnungen auf der Ringstruktur vergleichbare Zeitkonstanten aufweisen. Zudem wurde erkannt, dass ein Wirbelstrom auch während des Abklingens im Rahmen der Zeitkonstante seinen Pfad beibehält. Bei Verwendung einer Gradientenspuleneinheit frei von einer Sekundärspuleneinheit entstehen typischerweise auf anderen Wirbelstromflächen ebenso Wirbelströme verschiedener Ordnungen deren Zeitkonstanten verschieden sein können. Die Textur kann derart gewählt werden, dass die Zeitkonstanten der elektrischen Ströme verschiedener Ordnungen unterschiedlich beeinflusst werden können. Dies ist insbesondere möglich, da elektrische Ströme verschiedener Ordnungen typischerweise verschiedenen Pfaden folgen. Insbesondere können Zeitkonstanten bestimmter elektrischer Ströme höherer Ordnung durch physische Sperrern parallel zur Stromrichtung verkürzt werden.

[0038] Die Amplitude des elektrischen Stromes einer Ordnung entspricht typischerweise einer mittleren Amplitude und/oder Stärke. Die Wichtung der Zeitkonstanten mit den Amplituden der elektrischen Ströme aller Ordnungen zur Bildung des Varianzkoeffizienten sieht typischerweise vor, dass die Zeitkonstante jedes elektrischen Stromes einer Ordnung mit der relativen Amplitude dieses elektrischen Stromes im Vergleich zu den elektrischen Strömen der anderen Ordnungen multipliziert und/oder gewichtet wird. Der Varianzkoeffizient ist typischerweise definiert durch den Quotienten aus Standardabweichung der mit den Amplituden gewichteten Zeitkonstanten und deren Mittelwert. Der Varianzkoeffizient ist vorzugsweise geringer als 5%, besonders bevorzugt geringer als 3% und/oder wird im Rahmen der Wahl der Textur minimiert.

[0039] Diese Ausführungsform ermöglicht, dass sich die Zeitkonstanten von elektrischen Strömen verschiedener Ordnungen induziert auf der Ringstruktur möglichst geringfügig unterscheiden. Die durch den Wirbelstrom induzierten Wirbelfelder verschiedener Ordnungen weisen demnach ein sehr ähnliches zeitliches Verhalten auf und können somit ein Streufeld besonders gleichmäßig kompensieren, was insbesondere bei Verwendung einer Gradientenspuleneinheit frei von einer Sekundärspuleneinheit vorteilhaft ist.

[0040] Beim Design der Ringstruktur werden somit typischerweise die Parameter derart optimiert, dass unter Berücksichtigung weiterer Wirbelstromflächen das Streufeld im Bereich der supraleitenden Spuleneinheit weitgehend eliminiert und Wirbelfelder höherer Ordnung insbesondere im Untersuchungsbereich

weitgehend unterdrückt werden, insbesondere unter Berücksichtigung des Zeitverlaufes der Wirbelströme und Wirbelfelder. Die Parameter umfassend dabei vorzugsweise die Textur, das Material, die Form, die Leitfähigkeit, die Position, und/oder die geometrische Anordnung, jeweils der Ringstruktur und/oder weiterer Wirbelstromflächen.

[0041] Eine Ausführungsform der Magneteinheit sieht vor, dass der Vakuumbehälter zur Ausbildung von zumindest einem weiteren Wirbelstrom durch magnetische Induktion geeignet ist und dem weiteren Wirbelstrom zumindest eine Amplitude und eine Zeitkonstante zuzuordnen ist. Die Ringstruktur ist hinsichtlich Material, Geometrie, Position und/oder Textur derart ausgebildet, dass ein Varianzkoeffizient der mit den Amplituden gewichteten Zeitkonstanten der elektrischen Ströme aller Ordnungen und des weiteren Wirbelstromes höchstens 5% beträgt und/oder minimiert wird.

[0042] Die Wichtung der Zeitkonstanten mit den Amplituden der elektrischen Ströme aller Ordnungen zur Bildung des Varianzkoeffizienten sieht typischerweise vor, dass die Zeitkonstante jedes elektrischen Stromes einer Ordnung mit der relativen Amplitude dieses elektrischen Stromes im Vergleich zu den elektrischen Strömen der anderen Ordnungen multipliziert und/oder gewichtet wird, wobei gemäß dieser Ausführungsform der weitere Wirbelstrom als elektrischer Strom einer oder verschiedener Ordnungen zu verstehen ist. Der Varianzkoeffizient ist typischerweise definiert durch den Quotienten aus Standardabweichung der mit den Amplituden gewichteten Zeitkonstanten und deren Mittelwert. Der Varianzkoeffizient ist vorzugsweise geringer als 5%, besonders bevorzugt geringer als 3% und/oder wird im Rahmen der Wahl der Textur minimiert.

[0043] Insbesondere durch Wahl der Textur gemäß zumindest einer dargelegten Ausführungsform ermöglicht eine individuelle Anpassung der Ringstruktur an von der Gradientenspuleinheit zu erwartende Streufelder treffend auf den Vakuumbehälter und die Ringstruktur. Der Vakuumbehälter umfasst typischerweise elektrisch leitfähiges Material. Insbesondere die zumindest eine Ringstruktur und der Vakuumbehälter sind die Flächen, auf welchen, insbesondere aufgrund der hohen Leitfähigkeit und/oder großen räumlichen Ausdehnung, die größten Wirbelfelder, insbesondere verschiedener Ordnungen, zu erwarten sind. Der Vakuumbehälter weist im Vergleich zu anderen von der Magneteinheit umfassten leitfähigen Flächen typischerweise eine große oder die größte Oberfläche auf, welche als Wirbelfläche wirken kann. Die Zeitkonstante von Wirbelströmen steigt typischerweise mit der Größe der Wirbelstromfläche und/oder deren Leitfähigkeit. Die Ringstruktur erfordert demnach typischerweise ein

Material höherer Leitfähigkeit als das Material des Vakuumbehälters.

[0044] Die Ringstruktur und die Textur sind dazu ausgebildet, das vom Vakuumbehälter ausgehende Wirbelfeld aufgrund des Streufeldes zumindest teilweise zu kompensieren und die supraleitende Spuleinheit abzuschirmen. Bei entsprechender Wahl der Textur ist auch der auf der Ringstruktur entstehende Wirbelstrom, insbesondere hinsichtlich Zeitkonstante, an den auf dem Vakuumbehälter entstehenden Wirbelstrom anpassbar. Diese Ausführungsform ermöglicht demnach ein besonders gleichmäßiges Verhalten der dominanten Wirbelströme auf der Magneteinheit und damit eine besonders gute Kontrolle der Wirbelströme.

[0045] Eine Ausführungsform der Magneteinheit sieht vor, dass die Magneteinheit zusätzlich eine Temperierungseinheit umfasst, welche an der Ringstruktur angeordnet ist und eine Sensoreinheit und ein Heizelement umfasst. Die Temperierungseinheit kann weitere Sensoreinheiten und/oder Heizelemente umfassen, welche an anderen von der passiven Abschirmeinheit umfassten Ringstrukturen angeordnet sind. Die Temperierungseinheit ist zu einer aktiven Kontrolle einer Temperatur der Ringstruktur und/oder der Textur ausgebildet. Insbesondere ist die Sensoreinheit dazu ausgebildet, eine Temperatur der Ringstruktur zu erfassen. Die Temperierungseinheit kann eine Kontrolleinheit umfassen, welche Kontrolleinheit dazu ausgebildet ist, abhängig von der erfassten Temperatur und einer Information umfassend eine optimale Temperatur der Ringstruktur und/oder eine Abhängigkeit des Wirbelstromes, insbesondere umfassend eine Abhängigkeit einer Zeitkonstante des Wirbelstromes, von der Temperatur, das Heizelement anzusteuern. Die Temperierungseinheit kann insbesondere dazu ausgebildet sein, einen Zielwert für eine Temperatur der Ringstruktur einzustellen und/oder eine Temperatur der Ringstruktur konstant und/oder innerhalb eines definierten Wertebereiches zu halten. Diese Ausführungsform ermöglicht eine besonders praktikable Kontrolle des sich auf der Ringstruktur ausbildenden Wirbelstromes und/oder dessen Zeitkonstante und damit einen guten Schutz der supraleitenden Spuleinheit vor den Wirbelströmen.

[0046] Eine Ausführungsform der Magneteinheit sieht vor, dass die Magneteinheit eine Temperatursensoreinheit umfasst, welche an der Ringstruktur angeordnet ist. Diese Ausführungsform der Magneteinheit ist vorzugsweise frei von einem Heizelement, insbesondere frei von einem an der Ringstruktur angeordneten Heizelement. Die Temperatursensoreinheit ist vorzugsweise mit einer Steuerungseinheit eines Magnetresonanzgerätes verbunden. Die Temperatursensoreinheit ist vorzugsweise dazu ausge-

bildet, eine Temperatur der Ringstruktur zu erfassen. Es wurde erkannt, dass ein sich auf der Ringstruktur ausbildender Wirbelstrom und insbesondere dessen Zeitkonstante von der Temperatur der Ringstruktur abhängig ist. Die Steuerungseinheit ist vorzugsweise dazu ausgebildet, abhängig von einer Temperatur der Ringstruktur eine Ansteuerung einer Gradientenspuleneinheit anzupassen, sodass ein durch die Erzeugung eines Magnetfeldgradienten entstehendes Streufeld an ein auf der Ringstruktur durch das Streufeld erzeugte Wirbelfeld anpassbar ist. Diese Ausführungsform ermöglicht eine besonders umfassende Ansteuerung eines Magnetresonanzgerätes umfassend eine kontrollierte Erzeugung eines zu einem Wirbelfeld passenden Streufeldes im Rahmen einer Ansteuerung von einer Gradientenspuleneinheit.

[0047] Eine Ausführungsform der Magneteinheit sieht vor, dass die Anzahl der zumindest einen Ringstruktur zumindest zwei ist, die supraleitende Spuleneinheit zumindest zwei Magnetspulen umfasst, eine erste Magnetspule der zumindest zwei Magnetspulen und eine erste Ringstruktur der zumindest zwei Ringstrukturen an einer ersten Position in Längsrichtung, und eine zweite Magnetspule der zumindest zwei Magnetspulen und eine zweite Ringstruktur der zumindest zwei Ringstrukturen an einer zweiten Position in Längsrichtung angeordnet sind. Insbesondere sind die zwei Ringstrukturen in Längsrichtung sequentiell angeordnet, insbesondere entsprechend den Längspositionen der zumindest zwei Magnetspulen. Die erste Ringstruktur ist typischerweise dazu ausgebildet, die erste Magnetspule gegen von der Gradientenspuleneinheit erzeugte Streufelder abzuschirmen. Hierfür weist die erste Ringstruktur in Längsrichtung vorzugsweise eine mindestens so große räumliche Ausdehnung auf wie die erste Magnetspule. Die erste Ringstruktur und die erste Magnetspule sind in Längsrichtung typischerweise zumindest teilweise überlappend angeordnet. Die zweite Ringstruktur ist typischerweise dazu ausgebildet, die zweite Magnetspule gegen von der Gradientenspuleneinheit erzeugte Streufelder abzuschirmen. Hierfür weist die zweite Ringstruktur in Längsrichtung vorzugsweise eine mindestens so große räumliche Ausdehnung auf wie die zweite Magnetspule. Die zweite Ringstruktur und die zweite Magnetspule sind in Längsrichtung typischerweise zumindest teilweise überlappend angeordnet. Insbesondere kann die erste Ringstruktur als Teil einer Ringstruktureinheit ausgebildet sein, welche an der ersten Position in Längsrichtung angeordnet ist. Die zweite Ringstruktur kann als Teil einer anderen Ringstruktureinheit ausgebildet sein, welche an der zweiten Position in Längsrichtung angeordnet ist. Diese Ausführungsform ermöglicht einen besonders guten Schutz der zumindest zwei Magnetspulen vor Streufeldern und/oder Wirbelströmen.

[0048] Des Weiteren geht die Erfindung aus von einem Magnetresonanzgerät umfassend eine erfindungsgemäße Magneteinheit und eine hohlzylinderförmige Gradientenspuleneinheit frei von aktiver Schirmung, wobei die Gradientenspuleneinheit innerhalb der Magneteinheit angeordnet ist und den Patientenaufnahmebereich umgibt. Die Gradientenspuleneinheit umfasst vorzugsweise zumindest eine Primärspule, ausgebildet zur Erzeugung eines Magnetfeldgradienten in eine Raumrichtung.

[0049] Die Vorteile des erfindungsgemäßen Magnetresonanzgerätes entsprechen im Wesentlichen den Vorteilen der erfindungsgemäßen Magneteinheit, welche vorab im Detail ausgeführt sind. Hierbei erwähnte Merkmale, Vorteile oder alternative Ausführungsformen können ebenso auch auf die anderen beanspruchten Gegenstände übertragen werden und umgekehrt.

[0050] Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus den im Folgenden beschriebenen Ausführungsbeispielen sowie anhand der Zeichnungen.

[0051] Es zeigen:

Fig. 1 ein Magnetresonanzgerät umfassend eine erste Ausführungsform einer Magneteinheit in einer schematischen Darstellung,

Fig. 2 ein Magnetresonanzgerät umfassend eine zweite Ausführungsform einer Magneteinheit in einer schematischen Darstellung,

Fig. 3 ein Magnetresonanzgerät umfassend eine dritte Ausführungsform einer Magneteinheit in einer schematischen Darstellung,

Fig. 4 eine Ringstruktur einer passiven Abschirmeinheit einer vierten Ausführungsform einer Magneteinheit in einer ersten Ansicht,

Fig. 5 eine Ringstruktur einer passiven Abschirmeinheit einer fünften Ausführungsform einer Magneteinheit in einer zweiten Ansicht,

Fig. 6 eine passive Abschirmeinheit einer sechsten Ausführungsform einer Magneteinheit in einer dritten Ansicht,

Fig. 7 eine passive Abschirmeinheit einer siebten Ausführungsform einer Magneteinheit in einer dritten Ansicht,

Fig. 8 eine passive Abschirmeinheit einer achten Ausführungsform einer Magneteinheit in einer dritten Ansicht,

Fig. 9 eine passive Abschirmeinheit einer neunten Ausführungsform einer Magneteinheit in einer dritten Ansicht, und

Fig. 10 eine zehnte Ausführungsform einer Magneteinheit in einer vierten Ansicht.

[0052] Fig. 1 zeigt ein Magnetresonanzgerät 11 umfassend eine Detektoreinheit umfassend eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Magneteinheit 13, eine Gradientenspuleinheit 19 und eine Hochfrequenzantenneneinheit 20 in einer schematischen Darstellung. Die Detektoreinheit ist typischerweise hohlzylinderförmig ausgestaltet. Zudem weist das Magnetresonanzgerät 11 einen zylinderförmigen Patientenaufnahmebereich 14 auf, wobei der Patientenaufnahmebereich 14 in einer Umfangsrichtung $d\phi$ der Detektoreinheit von der Detektoreinheit zylinderförmig umschlossen ist. Ein Patient kann mittels einer Patientenlagerungsvorrichtung in den Patientenaufnahmebereich 14 geschoben werden. Die Zylinderachse z des Patientenaufnahmebereichs 14 in Längsrichtung entspricht der Zylinderachse z der Detektoreinheit, insbesondere auch der Zylinderachse z der Magneteinheit 13, der Gradientenspuleinheit 19 und der Hochfrequenzantenneneinheit 20 in Längsrichtung.

[0053] Die Magneteinheit 13 umfasst einen hohlzylindrischen Vakuumbehälter 17 umgebend den zylindrischen Patientenaufnahmebereich 14. Innerhalb des hohlzylindrischen Vakuumbehälters 17 ist eine supraleitende Spuleinheit 30 angeordnet, welche zu einem Erzeugen eines starken und insbesondere konstanten und statischen Hauptmagnetfelds 18 ausgebildet ist. Zudem umfasst die Magneteinheit 13 eine passive Abschirmeinheit 40 umfassend zumindest eine, vorzugsweise mehrere hohlzylindrisch geformte Ringstrukturen 41, 42, 43, 44, 45, 46. Die supraleitende Spuleinheit 30 umfasst im dargestellten Fall sechs Magnetspulen 31, 32, 33, 34, 35, 36 die in Längsrichtung an den gleichen Positionen angeordnet sind wie die Ringstrukturen 41, 42, 43, 44, 45, 46. Jeweils eine Ringstruktur der Ringstrukturen 41, 42, 43, 44, 45, 46 überlappt sich demnach in Längsrichtung zumindest teilweise mit einer Magnetspule der sechs Magnetspulen 31, 32, 33, 34, 35, 36. Die passive Abschirmeinheit 40 ist im dargestellten Fall innerhalb des hohlzylindrischen Vakuumbehälters 17 angeordnet. Die Ringstrukturen 41, 42, 43, 44, 45, 46 sind aus massivem leitfähigem Material gebildet und geeignet zur Ausbildung von zumindest einem Wirbelstrom durch magnetische Induktion, wobei zumindest eine Ringstruktur 41, 42, 43, 44, 45, 46 eine in Fig. 1 bis 3 nicht näher dargestellte Textur ausgebildet zur Kontrolle des Wirbelstromes aufweist. Beispiele für Texturen sind insbesondere in Fig. 4 bis 9 dargestellt.

[0054] Magnetische Induktion bewirkt typischerweise eine Ausbildung zumindest eines weiteren Wirbelstromes auf dem Vakuumbehälter 17, wobei die Ringstrukturen 41, 42, 43, 44, 45, 46 hinsichtlich Material, Geometrie, Position und/oder Textur derart ausgebildet sind, dass sich eine Zeitkonstante des Wirbelstromes und des weiteren Wirbelstromes um höchstens 5% unterscheidet und/oder dass ein

Varianzkoeffizient der mit den Amplituden gewichteten Zeitkonstanten der elektrischen Ströme aller Ordnungen und des weiteren Wirbelstromes höchstens 5% beträgt und/oder minimiert wird.

[0055] Die Gradientenspuleinheit 19 umfasst zumindest eine Primärspule ausgebildet zur Erzeugung eines Magnetfeldgradienten zur Verwendung für eine Ortskodierung während einer Bildgebung und ist frei von einer aktiven Schirmung, insbesondere frei von einer Sekundärspule, insbesondere frei von einer aktiv angesteuerten Sekundärspule. Die Gradientenspuleinheit 19 ist hohlzylinderförmig ausgestaltet und zwischen Magneteinheit 13 und Patientenaufnahmebereich 14 angeordnet. Die Gradientenspuleinheit 19 wird mittels einer Gradientensteereinheit 28 angesteuert.

[0056] Des Weiteren weist das Magnetresonanzgerät 11 eine Hochfrequenzantenneneinheit 20, welche im gezeigten Fall als fest in das Magnetresonanzgerät 11 integrierte Körperspule ausgebildet ist, und eine Hochfrequenzantennensteuereinheit 29 zu einer Anregung einer Polarisation, die sich in dem von der Magneteinheit 13 erzeugten Hauptmagnetfeld 18 einstellt, auf. Die Hochfrequenzantenneneinheit 20 wird von der Hochfrequenzantennensteuereinheit 29 angesteuert und strahlt hochfrequente Hochfrequenz-Pulse in einen Untersuchungsraum, der im Wesentlichen von dem Patientenaufnahmebereich 14 gebildet ist, ein.

[0057] Zu einer Steuerung der Magneteinheit 13, der Gradientensteereinheit 28 und der Hochfrequenzantennensteuereinheit 29 weist das Magnetresonanzgerät 11 eine Steuerungseinheit 24 auf. Die Steuerungseinheit 24 steuert zentral das Magnetresonanzgerät 11, wie beispielsweise das Durchführen von MR-Steuerungssequenzen. Zudem umfasst die Steuerungseinheit 24 eine nicht näher dargestellte Rekonstruktionseinheit zu einer Rekonstruktion von medizinischen Bilddaten, die während der Magnetresonanzuntersuchung erfasst werden. Das Magnetresonanzgerät 11 weist eine Anzeigeeinheit 25 auf. Steuerinformationen wie beispielsweise Steuerungsparameter, sowie rekonstruierte Bilddaten können auf der Anzeigeeinheit 25, beispielsweise auf zumindest einem Monitor, für einen Benutzer angezeigt werden. Zudem weist das Magnetresonanzgerät 11 eine Eingabeeinheit 26 auf, mittels derer Informationen und/oder Steuerungsparameter während eines Messvorgangs von einem Benutzer eingegeben werden können. Die Steuerungseinheit 24 kann die Gradientensteereinheit 28 und/oder Hochfrequenzantennensteuereinheit 29 und/oder die Anzeigeeinheit 25 und/oder die Eingabeeinheit 26 umfassen.

[0058] Das dargestellte Magnetresonanzgerät 11 kann selbstverständlich weitere Komponenten umfassen, die Magnetresonanzgeräte 11 gewöhnlich

aufweisen. Eine allgemeine Funktionsweise eines Magnetresonanzgeräts 11 ist zudem dem Fachmann bekannt, so dass auf eine detaillierte Beschreibung der weiteren Komponenten verzichtet wird.

[0059] Fig. 2 zeigt ein Magnetresonanzgerät 11 umfassend eine zweite Ausführungsform einer Magneteinheit 13 in einer schematischen Darstellung. Diese zweite Ausführungsform unterscheidet sich von der in **Fig. 1** dargestellten ersten Ausführungsform darin, dass die Magneteinheit 13 zusätzlich eine Temperierungseinheit 60 umfasst. Die Temperierungseinheit 60 umfasst zumindest eine Sensoreinheit 61 und ein Heizelement 62, welches an zumindest einer Ringstruktur 41 angeordnet ist. Die Sensoreinheit 61 ist typischerweise zum Erfassen der Temperatur der Ringstruktur 41 ausgebildet und das Heizelement 62 ist typischerweise dazu ausgebildet, eine Temperatur der Ringstruktur 41 in Abhängigkeit der erfassten Temperatur zu verändern und somit eine Temperatur der Ringstruktur 41 und/oder der Textur aktiv zu kontrollieren. Hierzu ist die Temperierungseinheit 60 vorzugsweise mit der Steuerungseinheit 24 verbunden, welche dazu ausgebildet ist, die Temperierungseinheit 60 und/oder das Heizelement 62 aktiv zu kontrollieren, insbesondere auch unter Berücksichtigung weiterer Ansteuerungsparameter, insbesondere einer auszuspielenden MR-Steuerungssequenz.

[0060] Fig. 3 zeigt ein Magnetresonanzgerät umfassend eine dritte Ausführungsform einer Magneteinheit in einer schematischen Darstellung. Diese dritte Ausführungsform unterscheidet sich von der in **Fig. 1** dargestellten ersten Ausführungsform darin, dass die passive Abschirmeinheit 40 Ringstrukturen 41a, 41b, 41c mit jeweils unterschiedlichem radialem Abstand zur Zylinderachse z, also unterschiedlichem Durchmesser, umfasst, die sich in Längsrichtung zumindest teilweise überlappen und gemeinsam eine Ringstruktureinheit 71 bilden. Die Ringstrukturen 41a, 41b, 41c weisen dabei vorzugsweise jeweils physische Sperren in unterschiedlicher Form auf.

[0061] Fig. 4 zeigt eine Ringstruktur 41 einer passiven Abschirmeinheit 40 einer vierten Ausführungsform einer Magneteinheit 13 in einer ersten Ansicht. Hierbei ist die Textur als physische Sperre ausgebildet ist kann eine Ausbreitung des Wirbelstromes über die physische Sperre hinweg reduzieren und/oder verhindern. Hierzu ist physische Sperre als Einkerbung 51 in die Ringstruktur 41 ausgebildet, wodurch die Ringstruktur 41 an zumindest einer Position in Längsrichtung eine Verjüngung des massiven leitfähigen Materials in radiale Richtung r aufweist. Eine derartige Einkerbung 51 ist dazu ausgebildet, einen Richtungsvektor des Wirbelstromes zu verändern. Die Einkerbung 51 ist im dargestellten Fall als Aussparung der Ringstruktur 41 auf der dem Patientenaufnahmebereich 14 zugewandten radia-

len Seite der Ringstruktur 41 dargestellt. Die Einkerbung 51 kann auch als Aussparung der Ringstruktur 41 auf der dem Patientenaufnahmebereich 14 abgewandten radialen Seite der Ringstruktur 41 ausgebildet sein. Die Ringstruktur 41 kann auch eine Textur in Form von Einkerbungen 51 ausgebildet als Aussparungen auf der dem Patientenaufnahmebereich 14 abgewandten und zugewandten radialen Seite der Ringstruktur 41 ausgebildet sein. Die mit A gekennzeichnete Linie stellt eine mögliche Längsposition der in **Fig. 5** dargestellten zweiten Ansicht einer fünften Ausführungsform einer Magneteinheit 13 dar.

[0062] Fig. 5 zeigt eine Ringstruktur 41 einer passiven Abschirmeinheit 40 einer fünften Ausführungsform einer Magneteinheit 13 in einer zweiten Ansicht. Die Tiefe der Einkerbung 51 in die Ringstruktur 41, insbesondere die Verjüngung des massiven leitfähigen Materials in radiale Richtung r, variiert hierbei entlang der physischen Sperre in Umfangsrichtung $d\phi$. An der Position $d\phi = 175^\circ$ durchdringt die Einkerbung 51 die Ringstruktur 41 in radialer Richtung r vollständig. Ebenso ist eine konstant tiefe Einkerbung 51 entlang der physischen Sperre in Umfangsrichtung $d\phi$ denkbar. Die Einkerbung 51 kann derart ausgestaltet sein, dass das massive leitfähige Material in radiale Richtung r um höchstens 95%, bevorzugt um höchstens 90%, besonders bevorzugt um höchstens 80%, verjüngt ist.

[0063] Fig. 6 zeigt eine passive Abschirmeinheit 40 einer sechsten Ausführungsform einer Magneteinheit 13 in einer dritten Ansicht. Die passive Abschirmeinheit 40 umfasst im dargestellten Fall sechs Ringstrukturen 41, 42, 43, 44, 45, 46, welche in Umfangsrichtung $d\phi$ abgerollt dargestellt sind.

[0064] Die sechs Ringstrukturen 41, 42, 43, 44, 45, 46 weisen jeweils Texturen auf, die sich zumindest teilweise voneinander unterscheiden. Die Texturen sind als physische Sperren in einer ersten Form 81 ausgebildet ist, welche einen zumindest teilweise geradlinigen Verlauf in Umfangsrichtung $d\phi$ aufweisen. Die physischen Sperren in Umfangsrichtung $d\phi$ verlaufen gemäß der ersten Form 81 vorzugsweise senkrecht zur Längsachse und/oder erstrecken sich über den gesamten Umfang der Ringstruktur 41, 42, 43, 44, 45, 46 in Umfangsrichtung $d\phi$, insbesondere von -180° bis $+180^\circ$. Zumindest eine, vorzugsweise jede, Ringstruktur der Ringstrukturen 41, 42, 43, 44, 45, 46 umfasst gemäß einer Ausführungsform der ersten Form 81 der physischen Sperre zumindest drei physische Sperren in Umfangsrichtung $d\phi$, welche in Längsrichtung zumindest teilweise asymmetrisch auf der Ringstruktur 41, 42, 43, 44, 45, 46 positioniert sind und zueinander einen unregelmäßigen Abstand aufweisen.

[0065] Fig. 7 zeigt eine passive Abschirmeinheit 40 einer siebten Ausführungsform einer Magneteinheit

13 in einer dritten Ansicht. Die siebte Ausführungsform sieht vor, dass jede Ringstruktur 41, 42, 43, 44, 45, 46 in Umfangsrichtung $d\phi$ in zwei Hälften gliederbar ist, welche Hälften sich in der Kreiskoordinate in Umfangsrichtung $d\phi$ unterscheiden, also beispielsweise durch $[-180^\circ; 0]$ und $[0; 180^\circ]$ gekennzeichnet sind. Die physische Sperre ist gemäß dieser Ausführungsform in einer zweiten Form 82 derart ausgebildet, dass diese innerhalb jeder Hälfte zumindest einer geschlossenen Kurve auf einer Mantelfläche folgt, was in **Fig. 7** aufgrund der abgerollten Ansicht der Umfangsrichtung vereinfacht als Rechteck dargestellt ist. Die abgerollte Darstellung der geschlossenen Kurve kann vorzugsweise eine Ellipse und/oder einen Kreis umfassen.

[0066] **Fig. 8** zeigt eine passive Abschirmeinheit einer achten Ausführungsform einer Magneteinheit in einer dritten Ansicht, wobei die physische Sperre Unstetigkeiten 83 aufweist. Die physische Sperre kann einer Linie folgend Unstetigkeiten 83, also Unterbrechungen, aufweisen und/oder diskontinuierlich ausgebildet sein. Insbesondere kann bei Ausbildung der physischen Sperre als erste Form mit Unstetigkeiten 83 folgend einer Geraden in Umfangsrichtung $d\phi$ beispielsweise als gestrichelte Linie ausgebildet sein. Bei Ausbildung der physischen Sperre als zweite Form mit Unstetigkeiten 83 kann die physische Sperre folgend einer geschlossenen Kurve auf einer Mantelfläche als gestrichelte geschlossene Kurve ausgebildet sein.

[0067] **Fig. 9** zeigt eine passive Abschirmeinheit 40 einer neunten Ausführungsform einer Magneteinheit in einer dritten Ansicht, wobei die Textur einer Ringstruktur 41, 42, 43, 44, 45, 46 jeweils eine physische Sperre in erster Form 81 und eine physische Sperre in zweiter Form 82 aufweist.

[0068] **Fig. 10** zeigt eine zehnte Ausführungsform einer Magneteinheit 13 in einer vierten Ansicht, wobei die Magneteinheit 13 zumindest an einer Position in Längsrichtung drei Ringstrukturen 41a, 41b, 41c mit unterschiedlichem radialem Abstand r zur Zylinderachse z aufweist, welche zusammen eine Ringstruktureinheit 71 bilden. Die drei Ringstrukturen 41a, 41b, 41c sind dabei konzentrisch angeordnet. Eine erste Ringstruktur 41a der drei Ringstrukturen 41a, 41b, 41c weist vorzugsweise eine physische Sperre in erster Form 81, wie in **Fig. 6** für Ringstruktur 41 dargestellt, auf. Eine zweite Ringstruktur 41b der drei Ringstrukturen 41a, 41b, 41c weist vorzugsweise eine physische Sperre in zweiter Form 82 auf, wobei diese im Vergleich zur in **Fig. 7** für Ringstruktur 41 dargestellten zweiten Form in Umfangsrichtung $d\phi$ um 90° gedreht ausgebildet ist. Die Anordnung der drei Ringstrukturen 41a,

41b, 41c kann sich von der in **Fig. 10** dargestellten Reihenfolge unterscheiden. Der radiale Abstand zwischen den benachbarten Ringstrukturen 41a, 41b, 41c ist typischerweise geringer als in **Fig. 10** dargestellt.

[0069] Obwohl die Erfindung im Detail durch die bevorzugten Ausführungsbeispiele 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.

Patentansprüche

1. Magneteinheit, ausgebildet zur Verwendung in einem Magnetresonanzgerät, umfassend einen hohlzylindrischen Vakuumbehälter umgebend einen zylindrischen Patientenaufnahmebereich entlang einer Zylinderachse in Längsrichtung, eine supraleitende Spuleneinheit, ausgebildet zur Erzeugung eines statischen Hauptmagnetfeldes und angeordnet innerhalb des hohlzylindrischen Vakuumbehälters, und eine passive Abschirmeinheit, umfassend zumindest eine hohlzylindrisch geformte Ringstruktur aus massivem leitfähigem Material umschließend die Zylinderachse geeignet zur Ausbildung von einem Wirbelstrom durch magnetische Induktion, wobei die zumindest eine Ringstruktur eine Textur ausgebildet zur Kontrolle des Wirbelstromes aufweist.
2. Magneteinheit nach Anspruch 1, wobei die Textur als physische Sperre ausgebildet ist und dazu ausgebildet ist eine Ausbreitung des Wirbelstromes über die physische Sperre hinweg zu reduzieren und/oder zu verhindern.
3. Magneteinheit nach Anspruch 2, wobei die physische Sperre als Einkerbung in die zumindest eine Ringstruktur ausgebildet ist.
4. Magneteinheit nach Anspruch 3, wobei eine Tiefe der Einkerbung in die zumindest eine Ringstruktur entlang der physischen Sperre variiert und/oder die Einkerbung die zumindest eine Ringstruktur in radialer Richtung zumindest teilweise vollständig durchdringt und/oder zumindest teilweise zu höchstens 95% durchdringt.
5. Magneteinheit nach einem der Ansprüche 2 bis 4, wobei die physische Sperre in einer ersten Form ausgebildet ist, gemäß welcher ersten Form die physische Sperre an zumindest einer Längsposition zumindest teilweise radial umlaufend ausgestaltet ist und/oder zumindest teilweise einen geradlinigen Verlauf in Umfangsrichtung aufweist.

6. Magneteinheit nach Anspruch 5, wobei die erste Form der physischen Sperre zumindest drei voneinander beabstandete, zumindest teilweise geradlinige Verläufe in Umfangsrichtung der zumindest einen Ringstruktur umfasst, welche in unregelmäßigen Abständen entlang der Zylinderachse in Längsrichtung angeordnet sind.

7. Magneteinheit nach einem der Ansprüche 2 bis 6, wobei die physische Sperre in einer zweiten Form derart ausgebildet ist, dass diese innerhalb einer Hälfte der zumindest einen Ringstruktur, definiert durch eine halbe Umfangsrichtung und sich erstreckend über eine Länge der Ringstruktur in Längsrichtung, zumindest einer geschlossenen Kurve auf einer Mantelfläche folgt.

8. Magneteinheit nach einem der Ansprüche 5 bis 6 und nach Anspruch 7, wobei die Textur eine physische Sperre in erster Form und eine physische Sperre in zweiter Form aufweist.

9. Magneteinheit nach einem der vorangehenden Ansprüche, umfassend eine Ringstruktureinheit mit zumindest zwei Ringstrukturen, wobei die zumindest zwei Ringstrukturen jeweils einen unterschiedlichen Durchmesser aufweisen, konzentrisch um die Zylinderachse angeordnet sind und sich in Längsrichtung zumindest teilweise überlappen.

10. Magneteinheit nach einem der Ansprüche 5 bis 6 und nach Ansprüchen 7 und 9, wobei eine erste Ringstruktur der Ringstruktureinheit eine physische Sperre in erster Form aufweist und eine zweite Ringstruktur der Ringstruktureinheit eine physische Sperre in zweiter Form aufweist.

11. Magneteinheit nach einem der Ansprüche 2 bis 10, wobei die physische Sperre un stetig ausgebildet ist.

12. Magneteinheit nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der Wirbelstrom elektrische Ströme verschiedener Ordnungen umfasst, einem elektrischen Strom jeder Ordnung jeweils eine Amplitude und eine Zeitkonstante zuzuordnen ist, und die zumindest eine Ringstruktur hinsichtlich Material, Geometrie, Position und/oder Textur derart ausgebildet ist, dass ein Varianzkoeffizient der mit den Amplituden gewichteten Zeitkonstanten der elektrischen Ströme aller Ordnungen höchstens 5% beträgt und/oder minimiert wird.

13. Magneteinheit nach Anspruch 12, wobei der Vakuumbehälter zur Ausbildung von zumindest einem weiteren Wirbelstrom durch magnetische Induktion geeignet ist, dem weiteren Wirbelstrom zumindest eine Amplitude und eine Zeitkonstante zuzuordnen ist, und die zumindest eine Ringstruktur hinsichtlich Material, Geometrie, Posi-

tion und/oder Textur derart ausgebildet ist, dass ein Varianzkoeffizient der mit den Amplituden gewichteten Zeitkonstanten der elektrischen Ströme aller Ordnungen und des weiteren Wirbelstromes höchstens 5% beträgt und/oder minimiert wird.

14. Magneteinheit nach einem der vorangehenden Ansprüche, zusätzlich umfassend eine Temperierungseinheit angeordnet an der zumindest einen Ringstruktur und umfassend eine Sensoreinheit und ein Heizelement, ausgebildet zu einer aktiven Kontrolle einer Temperatur der zumindest einen Ringstruktur und/oder der Textur.

15. Magneteinheit nach einem der vorangehenden Ansprüche, umfassend zumindest zwei Ringstrukturen, wobei die supraleitende Spuleneinheit zumindest zwei Magnetspulen umfasst, und wobei eine erste Magnetspule der zumindest zwei Magnetspulen und eine erste Ringstruktur der zumindest zwei Ringstrukturen an einer ersten Position in Längsrichtung, und eine zweite Magnetspule der zumindest zwei Magnetspulen und eine zweite Ringstruktur der zumindest zwei Ringstrukturen an einer zweiten Position in Längsrichtung angeordnet sind.

16. Magnetresonanzgerät umfassend eine Magneteinheit nach einem der vorangehenden Ansprüche und eine hohlzylinderförmige Gradientenspuleneinheit frei von aktiver Schirmung, wobei die Gradientenspuleneinheit innerhalb der Magneteinheit angeordnet ist und den Patientenaufnahmebereich umgibt.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

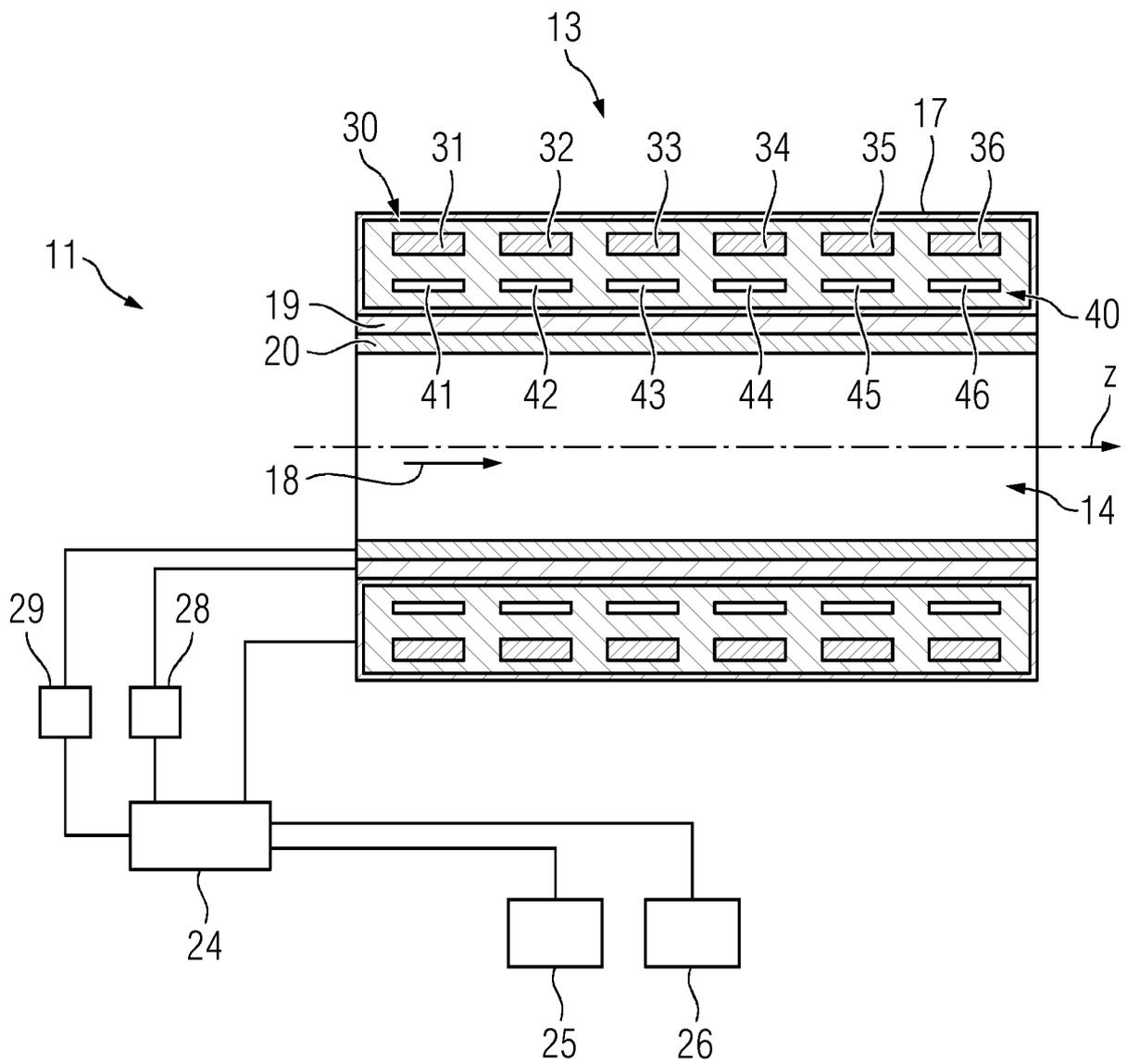


FIG 2

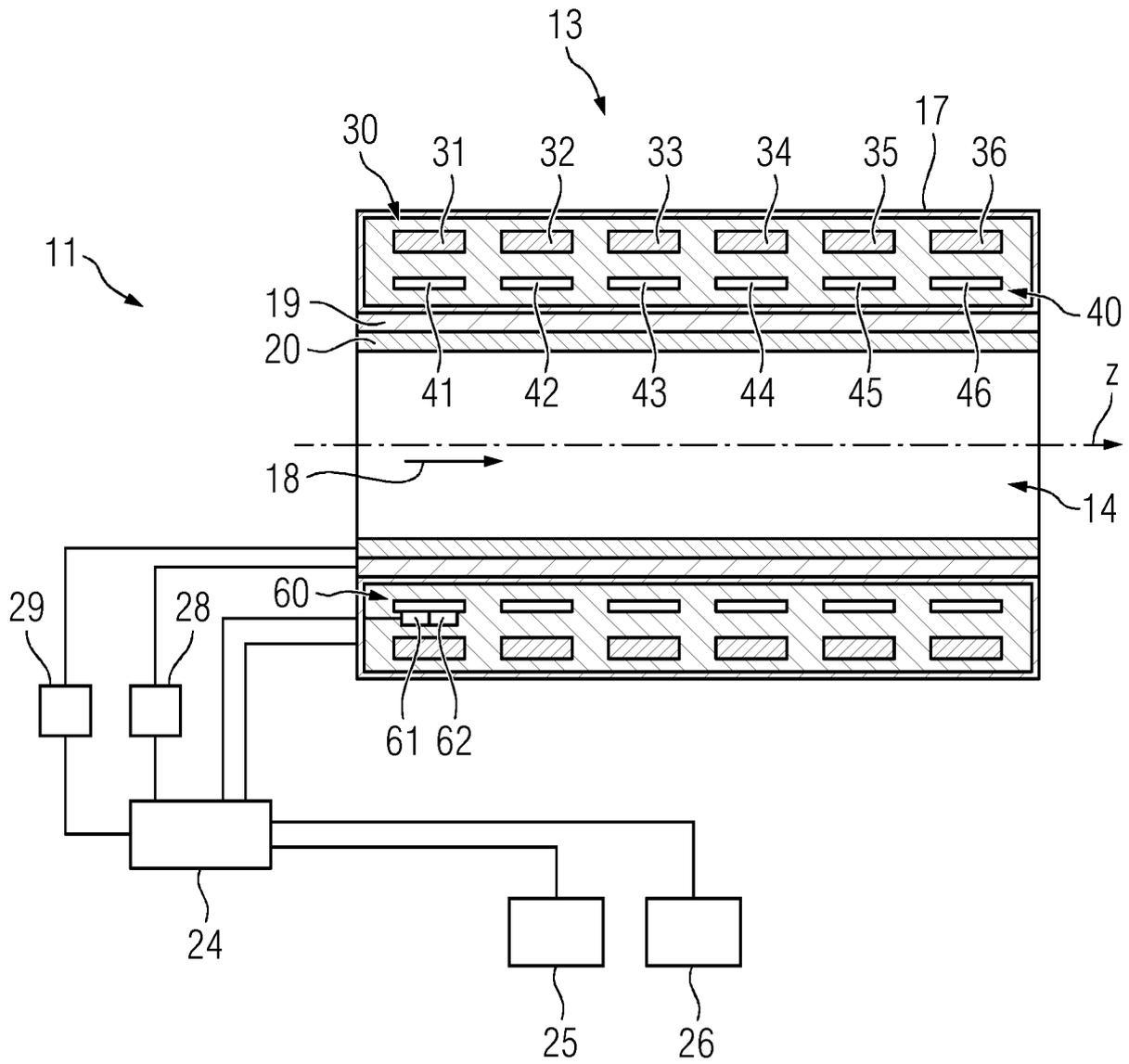


FIG 3

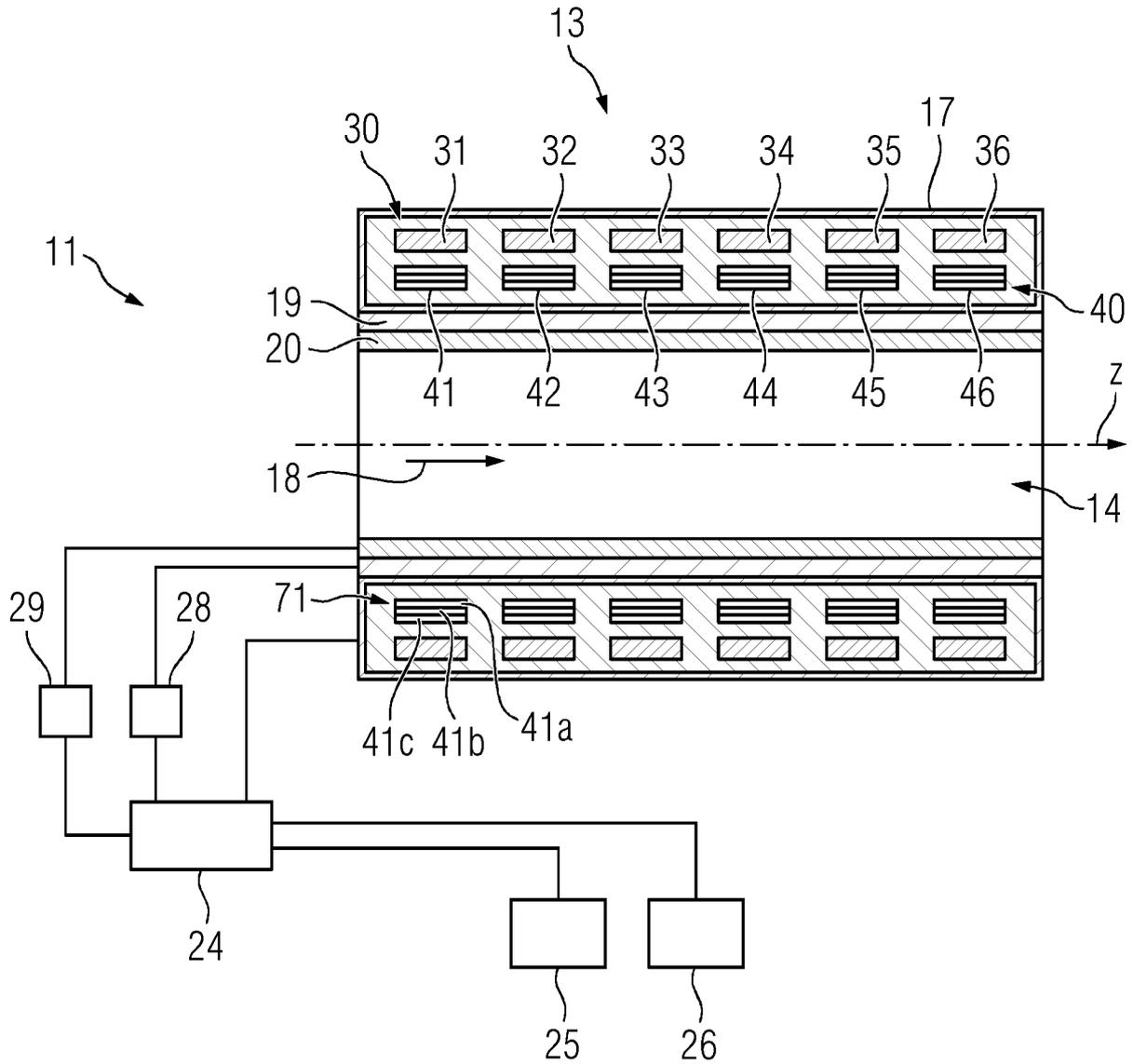


FIG 4

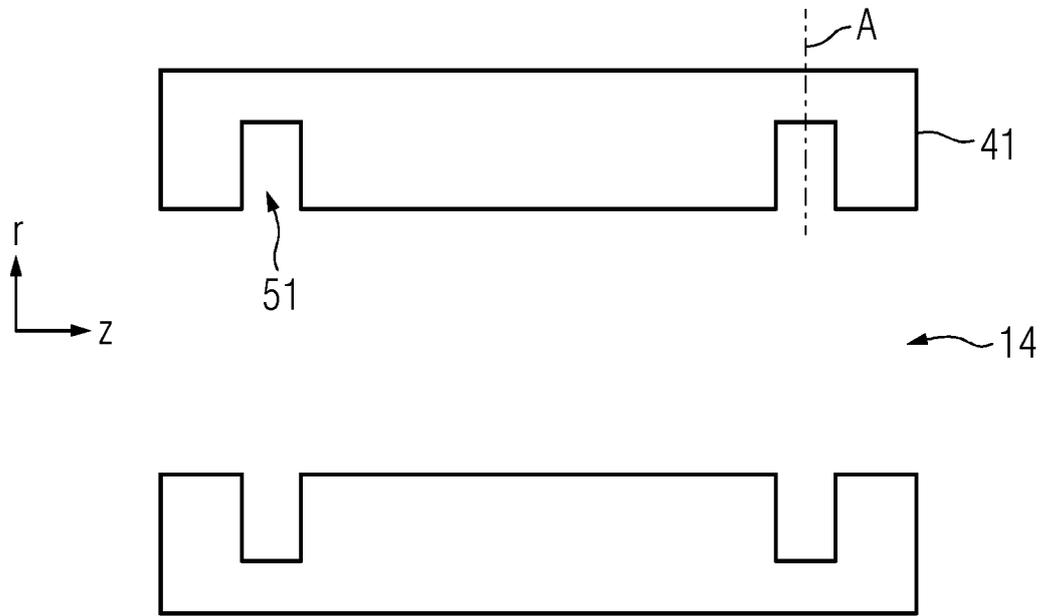


FIG 5

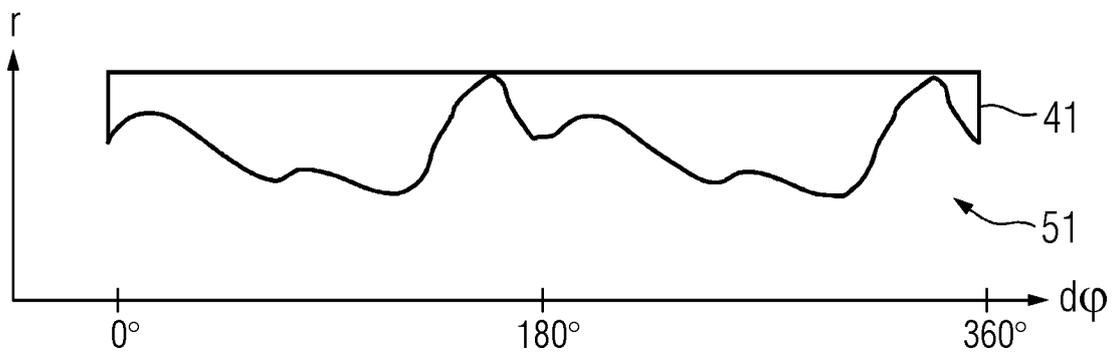


FIG 6

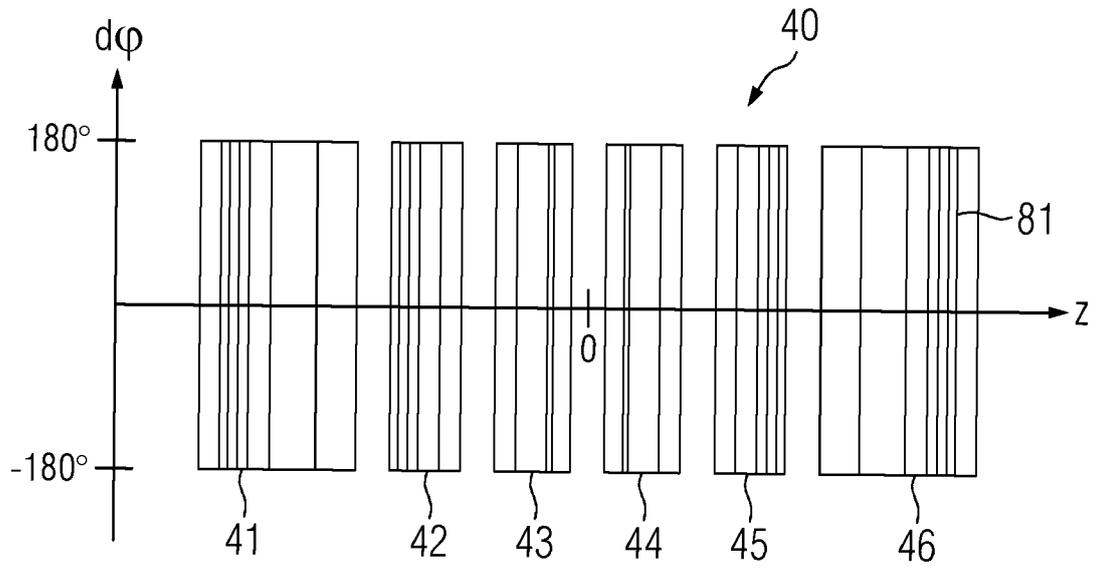


FIG 7

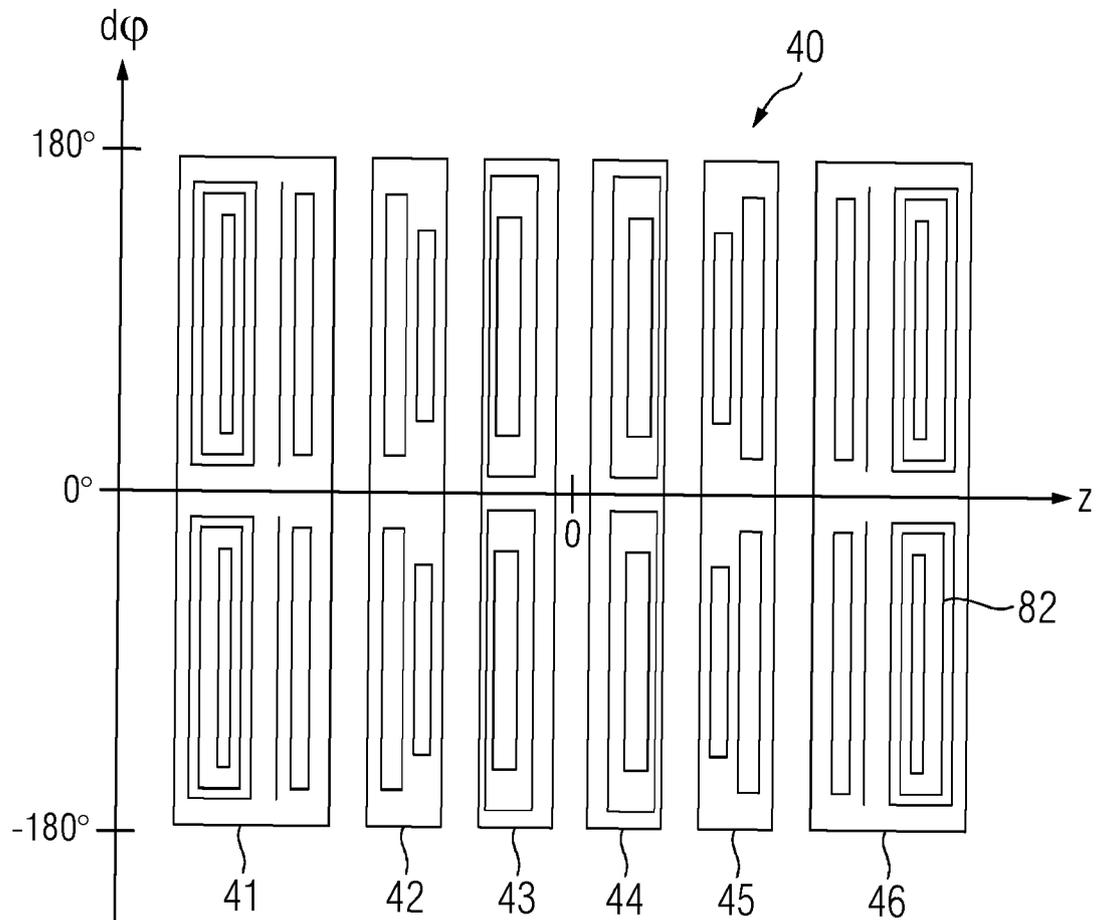


FIG 8

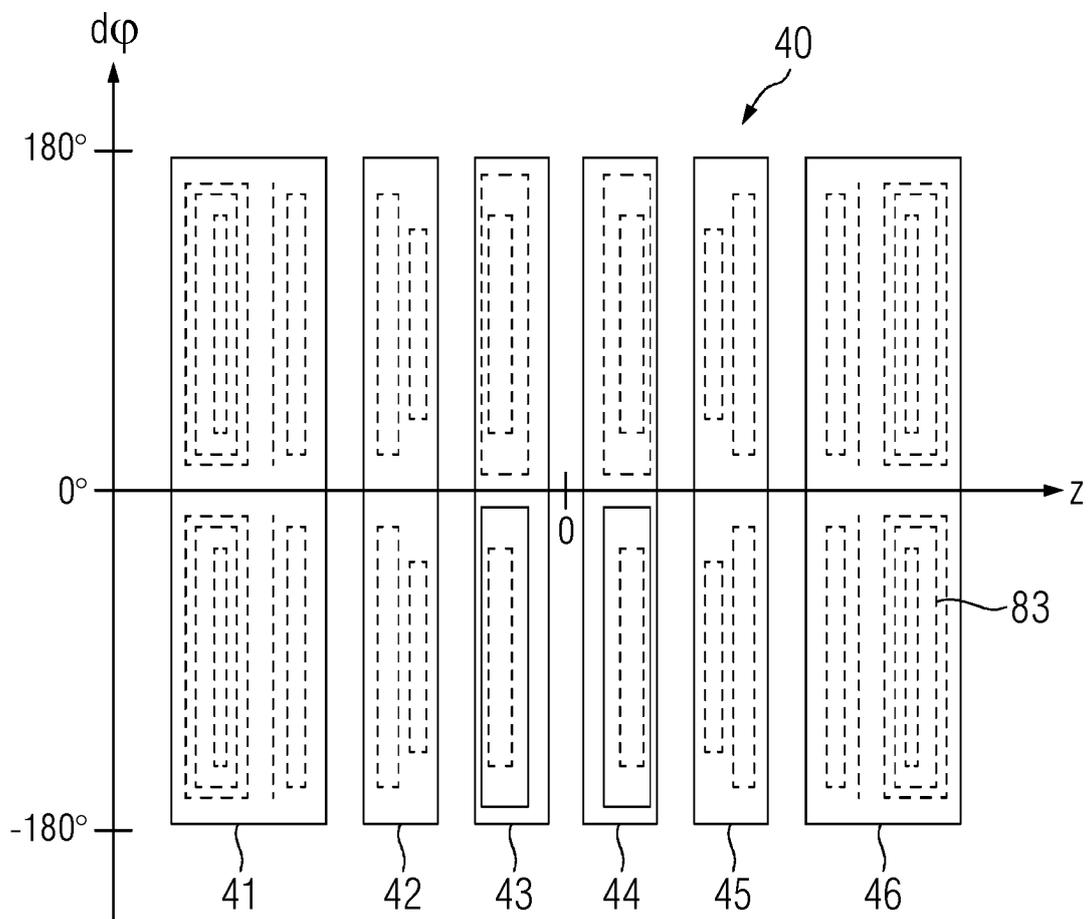


FIG 9

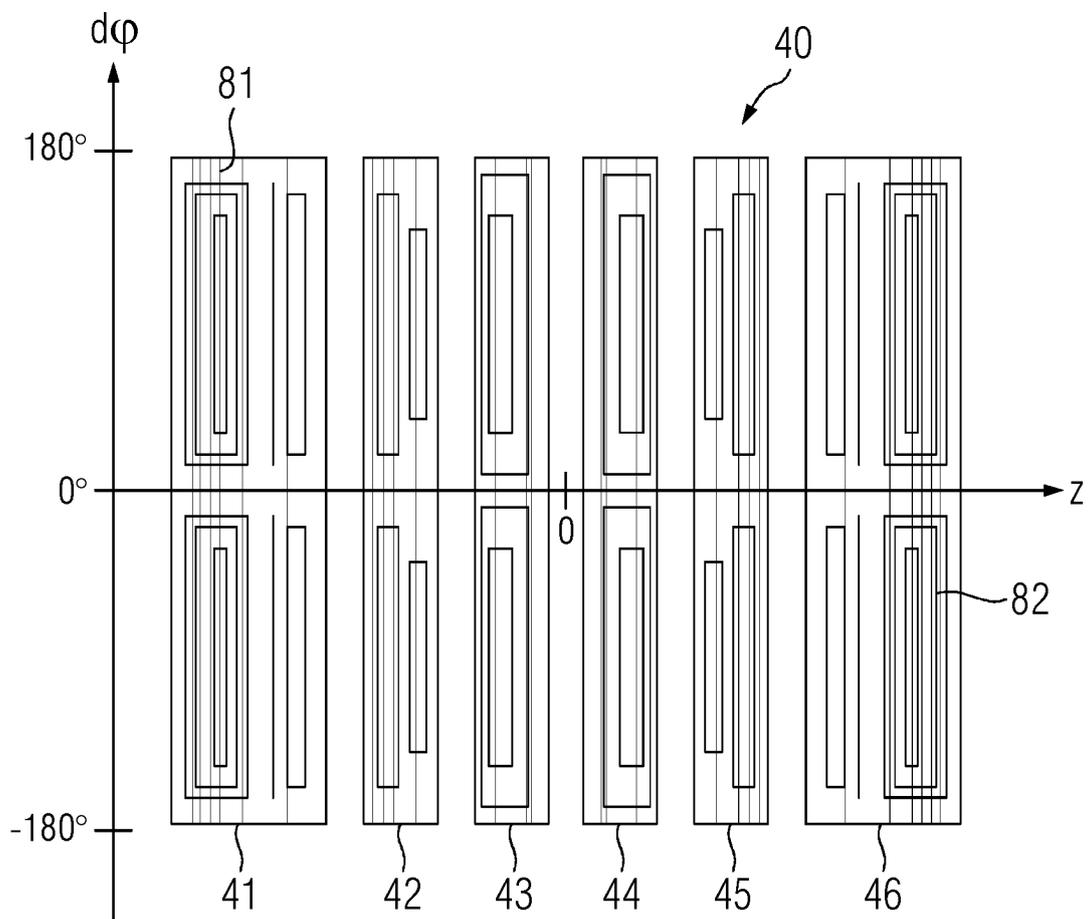


FIG 10

