



(10) **DE 10 2016 113 839 A1** 2018.02.01

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 113 839.8**

(22) Anmeldetag: **27.07.2016**

(43) Offenlegungstag: **01.02.2018**

(51) Int Cl.: **H01F 38/14** (2006.01)

H01F 21/00 (2006.01)

H01F 29/00 (2006.01)

G08C 17/04 (2006.01)

(71) Anmelder:
Eder, Stephan, 80689 München, DE

(74) Vertreter:
**Manitz Finsterwald Patentanwälte PartmbB, 80336
München, DE**

(72) Erfinder:
gleich Anmelder

(56) Ermittelter Stand der Technik:

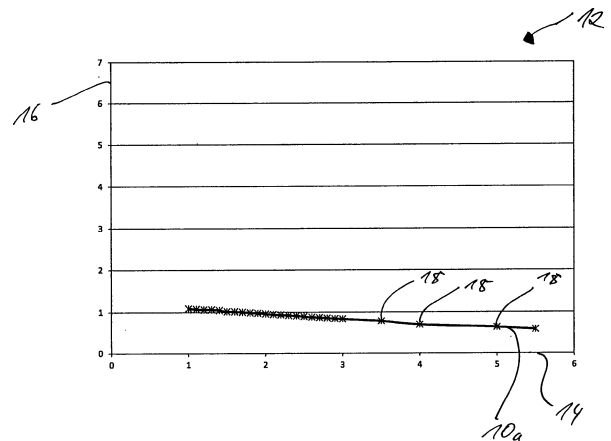
US	7 573 432	B1
US	2012 / 0 062 214	A1
US	2016 / 0 036 244	A1
US	4 816 766	A

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Spulenanordnung**

(57) Zusammenfassung: Eine Spulenanordnung zur Erzeugung oder zur Aufnahme von Magnetwechselfeldern umfasst wenigstens eine Primärspule mit zumindest einer Windung und wenigstens eine zur selektiven Beeinflussung des Resonanzverhaltens der Spulenanordnung vorgesehene Sekundärspule mit zumindest einer Windung, wobei die Primärspule einen Hauptleiter und einen den Hauptleiter zumindest abschnittsweise umgebenden Abschirmleiter aufweist. Der Abschirmleiter ist mit dem Hauptleiter elektrisch leitend verbunden und weist zumindest einen Abschnitt auf, der elektrisch unterbrochen ist.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Erzeugung oder zur Aufnahme von Magnetwechselfeldern. Solche Vorrichtungen sind grundsätzlich bekannt und umfassen jeweils eine elektrische Spule, die zur Erzeugung eines Magnetwechselfelds mittels einer Wechselspannung bestrahlt wird. Die Spule kann aber auch zur Aufnahme eines Magnetwechselfelds dienen, indem die Spannung, welche in der Spule aufgrund des die Spule durchflutenden Magnetwechselfelds induziert wird, an den Anschlüssen der Spule abgegriffen wird.

[0002] Vorrichtungen der oben genannten Art, die auch als Magnetantennen bezeichnet werden können, werden z.B. zur elektrischen Leistungsübertragung verwendet, insbesondere zur drahtlosen elektrischen Versorgung von batterie- oder akkubetriebenen elektrischen Verbrauchern. Weitere Anwendungen liegen in der Kommunikationstechnik (Übertragung von Kommunikationssignalen) und der Messtechnik (z.B. Magnetfeldsonden).

[0003] Ein Problem der genannten Vorrichtungen besteht in den im Betrieb auftretenden elektromagnetischen Verlusten, die z.B. die Effizienz einer elektrischen Leistungsübertragung negativ beeinflussen können. Mit anderen Worten ist der jeweilige Wirkungsgrad der Vorrichtungen nicht zufriedenstellend. Aus diesem Grund wird mittels geeigneter elektronischer Schaltungen versucht, das Resonanzverhalten einer jeweiligen Vorrichtung derart zu beeinflussen, dass der Wirkungsgrad der Vorrichtung zumindest im Betriebspunkt (z.B. bei einer bestimmten Wechselspannungsfrequenz) erhöht ist. Im Idealfall stimmt die Frequenz, bei der eine sogenannte Resonanzüberhöhung der Vorrichtung ihren Maximalwert annimmt, mit der Wechselspannungsfrequenz überein, bei der die Vorrichtung betrieben werden soll.

[0004] Eine elektronische Schaltung zur Erzeugung einer gewünschten Resonanzüberhöhung umfasst beispielsweise einen Drehkondensator, der mit einer zum Erzeugen oder zum Aufnehmen von Magnetwechselfeldern vorgesehenen Spule gekoppelt wird. Des Weiteren können zusätzliche Kondensatoren und Induktivitäten eingesetzt werden, um eine bestimmte Resonanzüberhöhung zu erzwingen. Die Kosten für eine solche elektronische "Resonanzoptimierungsschaltung" sowie der Aufwand zur Kalibrierung dieser Schaltung stellen jedoch einen erheblichen Nachteil dar, sodass Bedarf an einer einfacheren und kostengünstigeren Lösung zur Resonanzoptimierung besteht.

[0005] Erfindungsgemäß wird eine Spulenordnung vorgeschlagen, die wenigstens eine Primärspule mit zumindest einer Windung und wenigstens eine zur selektiven Beeinflussung des Resonanzver-

haltens der Spulenordnung vorgesehene Sekundärspule mit zumindest einer Windung umfasst. Die Primärspule weist einen Hauptleiter und einen den Hauptleiter zumindest abschnittsweise umgebenden Abschirmleiter auf, wobei der Abschirmleiter mit dem Hauptleiter elektrisch leitend verbunden ist und zumindest einen Abschnitt aufweist, der elektrisch unterbrochen ist.

[0006] Die Primärspule kann auch als Nutzpule bezeichnet werden, wobei die Sekundärspule als Hilfspule fungiert, um das Resonanzverhalten der gesamten Spulenordnung, insbesondere der Primärspule, selektiv zu beeinflussen. Als "selektive Beeinflussung" wird in diesem Zusammenhang eine gezielte Veränderung hin zu einem gewünschten Zustand verstanden. Hierunter fällt auch eine Optimierung anhand vorgegebener Kriterien, z.B. eine Resonanzüberhöhung in einem bestimmten Frequenzbereich oder eine einzuhaltende Maximalimpedanz. Anders ausgedrückt kann die selektive Beeinflussung auf eine Verbesserung der Güte der Primärspule bzw. des sogenannten Q- oder Gütefaktors ausgelegt sein. Mit der erfindungsgemäßen Spulenordnung ist es z.B. möglich, den Gütefaktor von einem üblichen Wert von $Q = 0,5$ auf Werte im Bereich von $Q = 5$ zu verbessern.

[0007] Sowohl die Primärspule als auch die Sekundärspule können jeweils als eine einfache – ein- oder mehrwindige – Leiterschleife ("Ringantenne") ausgebildet sein, wobei der Leiter z.B. kreisförmig auf sich selbst zurückgebogen ist. Vorzugsweise ist die Primärspule zumindest abschnittsweise elektrisch isoliert, wodurch unerwünschte elektrische Kontaktierungen der Primärspule unterbunden werden.

[0008] Die erfindungsgemäße Spulenordnung vereint mehrere Vorteile. Einerseits kommt die Spulenordnung ohne eine aufwändige Resonanzoptimierungsschaltung aus. Zur Beeinflussung des Resonanzverhaltens werden, insbesondere ausschließlich, eine oder mehrere Sekundärspulen verwendet. Diese Lösung hat sich als überraschend effektiv herausgestellt und besitzt den Vorzug niedriger Kosten bzw. einer leichten Umsetzbarkeit. Ferner kann die, insbesondere induktive, Impedanz der Primärspule niedriger sein als bei konventioneller Beeinflussung des Resonanzverhaltens mittels separater elektronischer Schaltung. In letzterem Fall muss die Schwingung in der Spule entgegen des geringen Wirkungsgrads der Spule (hohe Dämpfung) gewissermaßen erzwungen werden. Bei der erfindungsgemäßen Spulenordnung wird der Wirkungsgrad hingegen unmittelbar erhöht, indem die Dämpfung der Schwingung selbst verringert wird. Die Leistungsverluste können so erheblich gesenkt werden. Insbesondere werden in Abwärme umgesetzte Verluste gesenkt, sodass sich die erfindungsgemäße Spulena-

nordnung im Betrieb weniger stark aufheizt als konventionell resonanzoptimierte Spulen.

[0009] Andererseits zeichnet sich die erfinderische Lösung durch eine geschickte Konfiguration eines Haupt- und Abschirmleiters aus. Der Abschirmleiter besitzt insbesondere die Aufgabe, das von dem Hauptleiter ausgehende elektromagnetische Feld von der elektrischen Feldkomponente zu befreien, sodass jenseits des Abschirmleiters möglichst ein reines Magnetwechselfeld verbleibt, welches das Nutzfeld darstellt. Gleichzeitig kann der Abschirmleiter ab dem Punkt, wo der Hauptleiter mit dem Abschirmleiter verbunden ist, als elektrischer Anschluss der Primärspule fungieren. Beispielsweise kann zur Erzeugung eines Magnetwechselfelds eine elektrische Wechselspannung zwischen dem Hauptleiter und dem Abschirmleiter angelegt werden. Der elektrisch unterbrochene Abschnitt des Abschirmleiters ist vorzugsweise so positioniert, dass der Abschirmleiter in der Spule keinen elektrisch kurzgeschlossenen Ring bildet, um unerwünschte Kurzschlussströme zu vermeiden. Auch die Sekundärspule ist vorzugsweise so ausgestaltet, dass Kurzschlussströme in der Sekundärspule vermieden werden. Zu diesem Zweck können die Anschlüsse der Sekundärspule offen sein. Vorzugsweise wird die Spulenordnung bei entsprechend hohen Wechselspannungs- bzw. Magnetwechselfeldfrequenzen betrieben, sodass der sogenannte Skineneffekt im Abschirmleiter zur Unterdrückung des elektrischen Feldes zum Tragen kommt, z.B. bei Frequenzen von 1 MHz und mehr. Die erfindungsgemäßen Vorteile lassen sich in geeigneten Konfigurationen auch bereits bei geringeren Frequenzen erzielen.

[0010] Wie oben erwähnt ist die Sekundärspule dafür vorgesehen, das Resonanzverhalten der Spulenordnung selektiv zu beeinflussen. Die Art und der Grad der Beeinflussung kann abhängig sein von zumindest einem der folgenden Parameter: Anzahl der Windungen der Primärspule und/oder der wenigstens einen Sekundärspule, Durchmesser der Primärspule und/oder der wenigstens einen Sekundärspule, Position der wenigstens einen Sekundärspule relativ zu der Primärspule (z.B. Abstand zwischen Sekundärspule und Primärspule), Ausrichtung der wenigstens einen Sekundärspule relativ zu der Primärspule (z.B. koaxial (parallel), schräg), Anzahl von Sekundärspulen. Es versteht sich, dass diese Parameter wahlweise unabhängig voneinander variiert werden können, um das Resonanzverhalten in einer gewünschten Weise auszubilden. Voraussetzung ist lediglich, dass die Sekundärspule so ausgebildet und in räumlicher Nähe zu der Primärspule angeordnet ist, dass sie – zumindest in einem gewünschten Betriebspunkt, z.B. einer bestimmten Wechselspannungsfrequenz – mit der Primärspule zusammenwirken kann.

[0011] Als weitere Parameter, welche sich auf das Resonanzverhalten auswirken, sind die Beschaffenheit und die Konfiguration des Hauptleiters und des Abschirmleiters zu nennen. Einerseits spielen der jeweilige Durchmesser des Haupt- und Abschirmleiters eine große Rolle. Andererseits sind der Abstand zwischen dem Haupt- und dem Abschirmleiter sowie die Fläche des Abschirmleiters von Bedeutung. Es versteht sich, dass auch vorhandenes Isolationsmaterial, insbesondere dessen relative Permittivität relevant ist. Als besonders relevant hat sich insbesondere das Isolationsmaterial herausgestellt, welches sich zwischen dem Hauptleiter und dem Abschirmleiter erstreckt, da hierdurch die Kapazität zwischen den beiden Leitern und somit das Resonanzverhalten der gesamten Spulenordnung wesentlich beeinflusst werden kann.

[0012] Zur selektiven Beeinflussung des Resonanzverhaltens kann die Primärspule wahlweise auf unterschiedliche Weise ausgebildet sein. Detaillierte Beispiele hierzu – insbesondere im Hinblick auf die Verbindung zwischen dem Haupt- und dem Abschirmleiter sowie auf den elektrisch unterbrochenen Abschnitt des Abschirmleiters – werden weiter unten angegeben.

[0013] Wie bereits erwähnt, kann die Spulenordnung sowohl mehrere Primärspulen als auch mehrere Sekundärspulen umfassen, wobei diese unabhängig voneinander unterschiedlich ausgestaltet und angeordnet sein können. Insbesondere müssen sämtliche Spulen der Spulenordnung nicht notwendigerweise symmetrisch angeordnet werden. Sofern mehrere Primärspulen vorgesehen sind, so können diese parallel oder seriell geschaltet sein, d.h. elektrisch miteinander verbunden sein. Somit kann z.B. für alle Primärspulen ein gemeinsamer Spannungsabgriff vorgesehen sein oder es kann eine Wechselspannung über einen gemeinsamen elektrischen Anschluss an alle Primärspulen angelegt werden.

[0014] Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in der Beschreibung, den Unteransprüchen sowie den Zeichnungen angegeben.

[0015] Gemäß einer Ausführungsform weist die wenigstens eine Sekundärspule einen Hauptleiter und einen den Hauptleiter zumindest abschnittsweise umgebenden Abschirmleiter auf. Abweichend zu der Primärspule kann der Abschirmleiter der Sekundärspule von dem Hauptleiter elektrisch isoliert und/oder unterbrechungsfrei ausgebildet sein. Dies muss aber nicht unbedingt so sein.

[0016] Grundsätzlich können die Primärspule und die Sekundärspule ähnlich oder sogar identisch aufgebaut sein. Zu beachten ist jedoch, dass die Sekundärspule vorzugsweise als rein passives Bauelement, d.h. ohne Speisespannung oder Spannungs-

abgriff, betrieben wird. Entsprechend kann die Sekundärspule z.B. ohne elektrische Anschlüsse ausgebildet werden. Es versteht sich, dass die Primärspule und die Sekundärspule nicht elektrisch miteinander verbunden sein sollen. Erfindungsgemäß wird zwischen den beiden Spulen bzw. Spulengruppen lediglich ein im Wesentlichen magnetfeldbasiertes induktives Zusammenwirken angestrebt.

[0017] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform sind die Primärspule und/oder die Sekundärspule zumindest abschnittsweise als Koaxialkabel ausgebildet, d.h. der Hauptleiter (Seele) ist koaxial in dem Abschirmleiter angeordnet, welcher hohlzylindrisch ausgebildet ist. Zwischen dem Hauptleiter und dem Abschirmleiter kann elektrisches Isolationsmaterial vorgesehen sein. Zusätzlich kann der Abschirmleiter von Isolationsmaterial umgeben sein. Grundsätzlich kann das für die Primär- und/oder Sekundärspule vorgesehene Koaxialkabel als handelsübliches Koaxialkabel ausgebildet sein, welches praktisch unbeschränkt und kostengünstig auf dem Markt erhältlich ist. Handelsübliche Koaxialkabel sind in der Regel flexibel, sodass hieraus eine Spule besonders einfach hergestellt und im Zuge einer späteren Montage leicht an die Maße eines Gehäuses angepasst werden kann. Grundsätzlich kommen aber auch weniger flexible oder sogar starre Koaxialkabel bzw. Koaxialleiter in Betracht. Es muss sich jedenfalls nicht zwingend um ein handelsübliches Koaxialkabel bekannter Bauart handeln. Denkbar sind auch koaxialkabelähnliche Leiter, die z.B. einen isolierten Leiter mit nachträglich umwickelter Abschirmung umfassen.

[0018] Nach einer weiteren Ausführungsform ist die wenigstens eine Sekundärspule koaxial zu der Primärspule angeordnet. Die Bauform der Spulenordnung kann hierdurch vergleichsweise kompakt ausgebildet sein. Insbesondere kann die wenigstens eine Sekundärspule – direkt oder indirekt – an der Primärspule befestigt sein. Die Sekundärspule kann beispielsweise mit bekannten Kabelbindern direkt an der Primärspule befestigt sein, wobei aufgrund einer zumindest den Abschirmleiter der Primärspule umgebenden Isolierung ein elektrischer Kontakt zwischen der Primärspule und der Sekundärspule ausgeschlossen werden kann. Eine indirekte Befestigung kann z.B. durch einen gemeinsamen Rahmen realisiert werden, an dem sowohl die Primärspule als auch die Sekundärspule – insbesondere in einem wohldefinierten Abstand zueinander – befestigt sind. Die Anordnung der Spulen zueinander kann somit einfach und kostengünstig realisiert werden.

[0019] Eine besonders kompakte Bauform kann erzielt werden, wenn der Durchmesser der Sekundärspule zumindest im Wesentlichen gleich dem Durchmesser der Primärspule ist. Der Grad der Beeinflussung des Resonanzverhaltens durch die Sekundärspule kann hierdurch ebenfalls verbessert werden.

[0020] Die Erfindung bezieht sich ferner auf ein System mit wenigstens einer ersten Spulenordnung zum Erzeugen von Magnetwechselfeldern und wenigstens einer zweiten Spulenordnung zum Aufnehmen von Magnetwechselfeldern, wobei die erste und/oder die zweite Spulenordnung nach zumindest einer der vorstehend beschriebenen Ausführungsformen ausgebildet sind. Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform des Systems sind das Resonanzverhalten der ersten Spulenordnung und das Resonanzverhalten der zweiten Spulenordnung aneinander angepasst, wobei auch eine wechselseitige Beeinflussung der beiden Spulenordnungen berücksichtigt werden kann. Vorzugsweise sind die jeweiligen Resonanzverhalten im Wesentlichen gleich, sodass die beiden Spulenordnungen resonant induktiv gekoppelt werden können und sich für das System ein besonders hoher Gesamtwirkungsgrad ergibt.

[0021] Zur Verbesserung des magnetischen Flusses zwischen der ersten und zweiten Spulenordnung können auch mehrere erste und/oder zweite Spulenordnungen vorgesehen werden, die jeweils unterschiedlich ausgebildet sein können und nicht notwendigerweise symmetrisch angeordnet sein müssen. Durch Verwendung mehrerer erster und/oder zweiter Spulenordnungen kann der Gesamtwirkungsgrad nochmals erhöht werden, wobei sich die einzelnen Magnetwechselfelder zu einem überwiegend die Spulenordnungen durchflutenden Nutzfeld überlagern können. Vorzugsweise werden die ersten und zweiten Spulenordnungen derart relativ zueinander angeordnet, dass sich die "Magnetfeldlinien" zumindest überwiegend gleichsinnig durch alle Spulenordnungen erstrecken, d.h. nicht gegeneinander orientiert sind. Es versteht sich, dass die Spulenordnungen vorzugsweise synchron betrieben werden, d.h. dass insbesondere die Primärspulen gleichzeitig bestromt werden bzw. eine induzierte Spannung zum selben Zeitpunkt an allen Primärspulen abgegriffen wird.

[0022] Weiterer Gegenstand der Erfindung ist die Verwendung einer Spulenordnung nach zumindest einer der oben beschriebenen Ausführungsformen zur drahtlosen Versorgung eines elektrischen Energiespeichers, insbesondere einer mobilen elektrischen oder elektronischen Vorrichtung, mit elektrischer Energie. Mit anderen Worten kann die Spulenordnung zum induktiven Laden von mobilen elektrischen oder elektronischen Verbrauchern verwendet werden, insbesondere von rein elektrischen oder hybriden Kraftfahrzeugen oder mobilen Kommunikationseinrichtungen, z.B. Smartphones oder Tablets.

[0023] Die Erfindung umfasst ferner die Verwendung eines Systems der oben beschriebenen Art, wobei die Primärspule der ersten Spulenordnung mit einem elektrischen Versorgungsnetz gekoppelt ist und die

Primärspule der zweiten Spulenordnung mit einem elektrischen Energiespeicher, insbesondere einer mobilen elektrischen oder elektronischen Vorrichtung, gekoppelt ist. Mit anderen Worten kann die genannte Anwendung zum induktiven Laden auch mit dem erfindungsgemäßen System erfolgen. Es versteht sich, dass die Kopplung der ersten Spulenordnung mit dem elektrischen Versorgungsnetz nicht so ausgestaltet sein muss, dass eine elektrisch leitende Verbindung zwischen der ersten Spulenordnung und dem Versorgungsnetz besteht. Anstelle einer solchen Verbindung kann auch eine induktive Kopplung vorgesehen werden. Selbiges trifft auf die Kopplung zwischen der zweiten Spulenordnung und dem elektrischen Energiespeicher (z.B. Batterie oder Akku) zu.

[0024] Vorteilhafte Anwendungsfälle für eine erfindungsgemäße Spulenordnung bzw. ein erfindungsgemäßes System liegen auch in der elektrischen Anbindung von abgeschlossenen Systemen, die nicht drahtgebunden, z.B. mittels eines elektrischen Steckers, versorgt werden können oder sollen. Allgemein betrifft dies "abdichtende Systeme", die in einem Gehäuse einen speziell angepassten Druck aufweisen oder ein z.B. flüssiges Medium beinhalten oder fernhalten sollen (z.B. wasserdichte Mobiltelefone oder Kameras). Auch die Energieversorgung von elektrischen Implantaten, welche im Körper eines Menschen oder Tiers eingepflanzt werden, ist mit Hilfe der Erfindung drahtlos zu bewerkstelligen.

[0025] Die Erfindung wird nachfolgend lediglich beispielhaft anhand der Zeichnungen erläutert, in denen **Fig. 1 bis Fig. 7** jeweils ein Koordinatensystem zeigen, in dem wenigstens eine experimentell ermittelte Kurve der magnetischen Induktion über die Frequenz angegeben ist, im Folgenden auch – im Hinblick auf die Ermittlung des Resonanzverhaltens – auch Resonanzspektrum genannt. In **Fig. 8** sind verschiedene Ausführungsformen der Primärspule gezeigt. Im Einzelnen zeigt:

[0026] **Fig. 1** ein Resonanzspektrum einer einwindigen Primärspule ohne Sekundärspule;

[0027] **Fig. 2** das Resonanzspektrum der **Fig. 1** sowie Resonanzspektren verschiedener erfindungsgemäßer Spulenordnungen mit jeweils einer Primärspule mit einer Windung und mit verschiedenen Sekundärspulen;

[0028] **Fig. 3** Resonanzspektren verschiedener erfindungsgemäßer Spulenordnungen mit jeweils einer Primärspule mit zwei Windungen und mit verschiedenen Sekundärspulen;

[0029] **Fig. 4** weitere Resonanzspektren verschiedener erfindungsgemäßer Spulenordnungen mit

jeweils einer Primärspule mit zwei Windungen und mit verschiedenen Sekundärspulen;

[0030] **Fig. 5** Resonanzspektren verschiedener erfindungsgemäßer Spulenordnungen mit jeweils einer Primärspule mit drei Windungen und mit verschiedenen Sekundärspulen;

[0031] **Fig. 6** Resonanzspektren verschiedener erfindungsgemäßer Spulenordnungen mit jeweils einer Primärspule mit vier Windungen und mit verschiedenen Sekundärspulen;

[0032] **Fig. 7** Resonanzspektren verschiedener erfindungsgemäßer Spulenordnungen mit jeweils einer Primärspule mit fünf Windungen und mit verschiedenen Sekundärspulen;

[0033] **Fig. 8a** eine Perspektivansicht eines Koaxialkabels;

[0034] **Fig. 8b bis Fig. 8f** Querschnittsansichten verschiedener Varianten einer RF-Koax-B- Feld-Spule;

[0035] **Fig. 9a bis Fig. 9d** Systeme in schematischer Darstellung mit jeweils wenigstens einer ersten und wenigstens einer zweiten Spulenordnung.

[0036] Im Folgenden können gleiche oder gleichartige Teile mit denselben Bezugszeichen gekennzeichnet sein.

[0037] **Fig. 1** zeigt ein Resonanzspektrum **10a** einer Primärspule mit einer Windung ($n = 1$, Spule nicht gezeigt). Das Resonanzspektrum **10a** ist in einem Koordinatensystem **12** eingetragen, das auf der x-Achse **14** die Dimension "Wechselspannungsfrequenz" und auf der y-Achse **16** die Dimension "magnetischer Induktionsfaktor" vorsieht. Die x-Achse **14** umfasst einen Bereich von 0 bis 6 MHz. Der bezüglich der y-Achse **16** angegebene magnetische Induktionsfaktor ist das Verhältnis von induzierter zu eingespeister Spannung. Die eingespeiste Spannung ist diejenige Wechselspannung, die zur Erzeugung des Magnetwechselfeldes an die Primärspule angelegt wird. Die induzierte Spannung ist diejenige Spannung, die von dem erzeugten Magnetwechselfeld z.B. in einer Magnetfeldmesssonde (in einem definiertem Abstand von der Primärspule) hervorgerufen wird. Der magnetische Induktionsfaktor gibt also letztlich an, wie effizient die Speisespannung in ein induktiv gemessenes Magnetfeld (B-Feld) umgesetzt wird. Der magnetische Induktionsfaktor wird im Folgenden auch als Wirkungsgrad bezeichnet.

[0038] Das Resonanzspektrum **10a** umfasst mehrere diskrete Messpunkte **18**, wobei das Resonanzspektrum **10a** zwischen den einzelnen Messpunkten **18** interpoliert ist. Wie in **Fig. 1** gut zu erkennen ist, weist das Resonanzspektrum **10a** keine Re-

sonanzüberhöhung auf, d.h. das Resonanzspektrum **10a** ist im Meßbereich im Wesentlichen flach, so dass der Wirkungsgrad im Wesentlichen unabhängig von der Frequenz gleich niedrig ist. Zur Beeinflussung des Resonanzverhaltens der Primärspule, d.h. zur Veränderung des Resonanzspektrums **10a**, kann nun wenigstens eine Sekundärspule (nicht gezeigt) in das Nahfeld der Primärspule gebracht werden, sodass sich eine erfindungsgemäße Spulenanordnung (nicht gezeigt) ergibt. Entsprechend resultierende Resonanzspektren **10b** bis **10f** sind in **Fig. 2** gezeigt, wobei das Resonanzspektrum **10a** der **Fig. 1** zur Erleichterung eines Vergleichs der Spektren **10a** bis **10f** ebenfalls in **Fig. 2** eingetragen ist.

[0039] Das Resonanzspektrum **10b** ergibt sich für den Fall einer Sekundärspule mit zwei Windungen ($m = 2$), wobei eine leichte Resonanzüberhöhung im Bereich um 4,2 MHz erzielt wird. Die Resonanzspektren **10c** bis **10e** ergeben sich für die Fälle einer Sekundärspule mit drei ($m = 3$; **10c**), vier ($m = 4$; **10d**) und fünf ($m = 5$; **10e**) Windungen. Wie zu erkennen ist, werden mit zunehmender Windungszahl m der Sekundärspule Resonanzüberhöhungen mit höheren Maxima erzielt, wobei sich der Bereich der Resonanzüberhöhung bei abnehmender Bandbreite zu niedrigeren Frequenzen hin verschiebt.

[0040] Das Resonanzspektrum **10f** ergibt sich für den Fall von zwei Sekundärspulen mit jeweils zwei Windungen ($2 \times m = 2$). Wie zu erkennen ist, unterscheidet sich das Resonanzspektrum **10f** von dem Resonanzspektrum **10d** (eine Sekundärspule mit vier Windungen ($m = 4$)). So liegt der Bereich der Resonanzüberhöhung bei der konkret verwendeten Spulenanordnung bei dem Resonanzspektrum **10f** im Vergleich zum Resonanzspektrum **10d** bei ungefähr der doppelten Frequenz, wobei das Maximum in etwa halbiert ist. Ferner ist die Bandbreite etwa verdoppelt. Bei anderen Spulenanordnungen können sich andere Überhöhungen oder Verschiebungen ergeben.

[0041] In **Fig. 3** sind Resonanzspektren **20a** bis **20f** für den Fall einer Primärspule mit zwei Windungen ($n = 2$) angegeben. Das Resonanzspektrum **20a** unterscheidet sich von den Resonanzspektren **20b** bis **20f** dadurch, dass sich bei der Ermittlung des Resonanzspektrums **20a** keine Sekundärspule im Nahfeld der Primärspule befunden hat. Die Resonanzspektren **20b** bis **20f** sind demgegenüber ermittelt worden mit einer Anordnung einer Sekundärspule mit einer ($m = 1$; **20b**), zwei ($m = 2$; **20c**), drei ($m = 3$; **20d**), vier ($m = 4$; **20e**) und fünf ($m = 5$; **20f**) Windungen im Nahfeld der Primärspule ($n = 2$). Auffällig ist, dass das Resonanzspektrum **20a** für den Fall einer $m = 1$ Sekundärspule (vgl. **20b**) nahezu unverändert ist. Erst bei Verwendung einer $m = 2$ Sekundärspule (**20c**) zeigt sich eine leichte Resonanzüberhöhung bei etwa 5 MHz. Mit zunehmender Windungszahl m der Sekundärspule verschiebt sich der Bereich der Reso-

nanzüberhöhung zu niedrigeren Frequenzen wobei sich das jeweilige Maximum erhöht und die Bandbreite abnimmt.

[0042] In **Fig. 4** ist das Resonanzspektrum **20d** von **Fig. 3** ($n = 2$ Primärspule und $m = 3$ Sekundärspule) nochmals gezeigt. Im Vergleich hierzu sind Resonanzspektren **20d'** und **20d''** angegeben, die ebenfalls für den Fall einer $n = 2$ Primärspule und einer $m = 3$ Sekundärspule ermittelt worden sind, jedoch in unterschiedlich dichter Packung. Zur Ermittlung des Resonanzspektrums **20d** sind die Primär- und Sekundärspule lediglich lose aneinander gelegt worden (wie auch bei den übrigen Resonanzspektren **10a-f**, **20a-c** und **20e-f**). Zur Ermittlung des Resonanzspektrums **20d'** wurden die Primär- und Sekundärspule in einen gemeinsamen Schlauch mit einem Schlauchdurchmesser von etwa 5 cm gepackt. Das Resonanzspektrum **20d''** wurde für eine Anordnung ermittelt, bei der die Primär- und Sekundärspule mittels Kabelbindern fest zusammengezurrut sind. Wie zu erkennen ist, nimmt die Ausprägung der Resonanzüberhöhung bei den Resonanzspektren **20d'** und **20d''** im Vergleich zu dem Resonanzspektrum **20d** ab.

[0043] In **Fig. 5** sind Resonanzspektren **30a** bis **30e** für Anordnungen mit einer $n = 3$ Primärspule angegeben. Das Resonanzspektrum **30a** unterscheidet sich von den Resonanzspektren **30b** bis **30e** dadurch, dass sich bei der Ermittlung des Resonanzspektrums **30a** keine Sekundärspule im Nahfeld der Primärspule befunden hat. Die Resonanzspektren **30b** bis **30e** sind demgegenüber ermittelt worden mit einer Sekundärspule mit einer ($m = 1$; **30b**), zwei ($m = 2$; **30c**), vier ($m = 4$; **30d**) und fünf ($m = 5$; **30e**) Windungen im Nahfeld der Primärspule mit drei Windungen. Ähnlich wie bei den Resonanzspektren **20a** bis **20f** von **Fig. 3** ist das Resonanzspektrum **30a** erst ab einer Sekundärspule mit $m > 1$ merklich verändert (vgl. Resonanzspektren **30a**, **30b** mit **30c**).

[0044] In **Fig. 6** sind Resonanzspektren **40a** bis **40e** für Anordnungen mit einer $n = 4$ Primärspule angegeben, wobei das Resonanzspektrum **40a** ohne Sekundärspule ermittelt worden ist. Bei der Messung der Resonanzspektren **40b** bis **40e** befand sich eine Sekundärspule mit einer ($m = 1$; **40b**), zwei ($m = 2$; **40c**), drei ($m = 3$; **40d**) und fünf ($m = 5$; **40e**) Windungen im Nahfeld der Primärspule mit $n = 4$.

[0045] **Fig. 7** zeigt Resonanzspektren **50a** bis **50e** für den Fall einer Primärspule mit fünf Windungen ($n = 5$), wobei das Resonanzspektrum **50a** ohne Sekundärspule ermittelt worden ist. Bei Ermittlung der Resonanzspektren **50b** bis **50e** befand sich eine Sekundärspule mit einer ($m = 1$; **50b**), zwei ($m = 2$; **50c**), drei ($m = 3$; **50d**) und vier ($m = 4$; **50e**) Windungen im Nahfeld der Primärspule mit $n = 5$.

[0046] In **Fig. 8b** bis **Fig. 8f** sind verschiedene Varianten von "RF-Koax-B-Feld-Spulen" **22** in einer jeweiligen Längsschnittansicht gezeigt. Jede der gezeigten RF-Koax-B-Feld-Spulen **22** kann als Primärspule einer erfindungsgemäßen Spulenanordnung (nicht gezeigt) fungieren. Eine jeweilige RF-Koax-B-Feld-Spule **22** ist aus einem Koaxialkabel **24** gefertigt, wovon ein Abschnitt in **Fig. 8a** perspektivisch gezeigt ist. Das Koaxialkabel **24** umfasst einen Hauptleiter **26** und einen hohlzylindrischen Abschirmleiter **28**, wobei sich zwischen dem Hauptleiter **26** und dem Abschirmleiter **28** elektrisches Isolationsmaterial **32** erstreckt. Der Abschirmleiter **28** kann ferner von einem elektrisch isolierenden Mantel (nicht gezeigt), z.B. Kunststoff, umgeben sein. Es versteht sich, dass der Abschirmleiter **28** vorzugsweise umfänglich, d.h. um den Hauptleiter **26** herum, geschlossen ist.

[0047] Bei der RF-Koax-B-Feld-Spule **22** der **Fig. 8b** ist der Hauptleiter **26** nach einer Windung mit dem Abschirmleiter **28** elektrisch verbunden. Der Abschirmleiter **28** weist zwei Abschnitte **34** und **34'** auf, die elektrisch unterbrochen sind. Bei der RF-Koax-B-Feld-Spule **22** der **Fig. 8c** ist der Hauptleiter **26** nach einer halben Windung mit dem Abschirmleiter **28** elektrisch verbunden. Der Abschirmleiter **28** weist wiederum einen Abschnitt **34** auf, der elektrisch unterbrochen ist. Im Gegensatz zu dem Fall von **Fig. 8b** ist der linke Schenkel des Abschirmleiters **28** (halbe Windung) mit dem rechten Schenkel des Abschirmleiters **28** elektrisch verbunden. Dahingegen ist der Hauptleiter **26** im linken Schenkel weder mit dem Abschirmleiter **28** noch mit Hauptleiter **26** in dem rechten Schenkel verbunden.

[0048] Bei der RF-Koax-B-Feld-Spule **22** der **Fig. 8d** ist der Hauptleiter **26** wieder nach einer Windung mit dem Abschirmleiter **28** elektrisch verbunden (wie in **Fig. 8b**). Der Abschirmleiter **28** weist nach einer halben Windung einen Abschnitt **34** auf, der elektrisch unterbrochen ist. Ferner **8b** ist der linke Schenkel des Abschirmleiters **28** (halbe Windung) mit dem rechten Schenkel des Abschirmleiters **28** elektrisch verbunden (wie in **Fig. 8c**).

[0049] Bei der RF-Koax-B-Feld-Spule **22** der **Fig. 8e** ist der Hauptleiter **26** nach einer Windung mit dem Abschirmleiter **28** elektrisch verbunden (wie in **Fig. 8b**). Der Abschirmleiter **28** weist nach einer Windung einen elektrisch unterbrochenen Abschnitt **34'** auf. Verglichen mit der in **Fig. 8b** gezeigten Ausführungsform fehlt hier also der Abschnitt **34**.

[0050] Die RF-Koax-B-Feld-Spule **22** der **Fig. 8f** entspricht der RF-Koax-B-Feld-Spule **22** der **Fig. 8d**, wobei der Hauptleiter **26** zusätzlich nach einer halben Windung mit dem Abschirmleiter **28** elektrisch verbunden ist.

[0051] Der jeweilige elektrisch unterbrochene Abschnitt **34**, **34'** muss nicht zwingend an der in dem jeweiligen Ausführungsbeispiel gezeigten Position angeordnet sein. Insbesondere muss der Abschnitt **34** z.B. von **Fig. 8b** nicht nach einer halben Windung positioniert sein.

[0052] Es versteht sich, dass die erläuterten RF-Koax-B-Feld-Spulen **22** lediglich beispielhaft im Hinblick auf ihren grundsätzlichen Aufbau gezeigt sind. Selbstverständlich kann die Windungszahl bei ansonsten gleichbleibendem Aufbau erhöht werden. Sämtliche in den Figuren gezeigten Resonanzspektren **10**, **20**, **30**, **40**, **50** sind mit einer jeweiligen Primärspule des Typs der RF-Koax-B-Feld-Spule **22** von **Fig. 8d** ermittelt worden (mit unterschiedlicher Windungszahl und einem Spulendurchmesser von 60 cm, Sekundärspule mit Ausnahme der Spektren **20d'**, **20d''** lose an Primärspule gelegt).

[0053] Die Ermittlung eines jeweiligen Resonanzspektrums **10**, **20**, **30**, **40**, **50** kann eine Mittelung einzelner Messinstanzen (einzelne Messung eines Resonanzspektrums) umfassen. Somit besitzen die in den Figuren gezeigten Resonanzspektren experimentellen Charakter, d.h. die konkrete Ausbildung des Resonanzspektrums kann im Einzelfall, je nach Messbedingungen, von den gezeigten Verläufen abweichen. Wie dem Fachmann jedoch gegenwärtig ist, belegen die gezeigten Resonanzspektren den erfindungsgemäßen Effekt, nämlich das Resonanzverhalten einer Spulenanordnung durch wenigstens eine Sekundärspule selektiv zu beeinflussen.

[0054] In **Fig. 9a** bis **Fig. 9d** sind verschiedene Systeme **35** jeweils mit wenigstens einer ersten Spulenanordnung **36a** zum Erzeugen von Magnetwechselfeldern und mit wenigstens einer zweiten Spulenanordnung **38a** zum Aufnehmen von Magnetwechselfeldern dargestellt. Rein beispielhaft umfassen die Spulenanordnungen **36a**, **38a** jeweils eine Primärspule P und zwei Sekundärspulen S. Die in **Fig. 9a** dargestellte Anordnung "SSP" (von oben gesehen) kann sowohl bei der ersten als auch der zweiten Spulenanordnung **36a**, **38a** abweichend sein, also "SPS" oder "PSS". Dies gilt in analoger Form auch für die Ausführungsformen der **Fig. 9b** bis **Fig. 9d**.

[0055] Grundsätzlich gilt, dass jede Spulenanordnung **36a–36e**, **38a–38d** individuell angepasst werden kann (z.B. hinsichtlich der Anzahl und Ausgestaltung der Spulen P, S und deren relative Anordnung), um die Eigenschaften des jeweiligen Systems **35** zu optimieren.

[0056] In **Fig. 9a** sind die Spulenanordnungen **36a**, **38a** koaxial zueinander angeordnet, wobei ein großer Teil des sich durch die Spulenanordnungen **36a**, **38a** erstreckenden Magnetwechselfeldes außerhalb

der Spulenordnungen **36a**, **38a** verläuft, was durch Magnetfeldlinien **40** rein schematisch angedeutet ist.

[0057] Das System **35** der **Fig. 9b** entspricht dem System **35** der **Fig. 9a**, wobei zusätzlich eine weitere erste Spulenordnung **36b** und eine weitere zweite Spulenordnung **38b** vorgesehen sind, die jeweils (z.B. parallel oder seriell mit der benachbarten Spulenordnung **36a**, **38a** geschaltet) synchron betrieben werden können. Das System **35** der **Fig. 9a** ist somit gewissermaßen verdoppelt, wobei die Spulenordnungen **36a**, **36b** und **38a**, **38b** jeweils um 180° gedreht sein können, sodass sich das gemeinsame Magnetfeld gleichsinnig durch alle Spulenordnungen erstreckt (siehe mit Pfeilen versehene Magnetfeldlinien **40** in **Fig. 9b**). Somit kann eine vorteilhafte, die Systemeffizienz fördernde Erhöhung des magnetischen Flusses erzielt werden. Dies ist auch erkennbar an der veränderten Form des Magnetwechselfeldes (vgl. schematische Magnetfeldlinien **40**), das sich im Vergleich zu dem System **35** der **Fig. 9a** überwiegend parallel zur "Übertragungsrichtung" (quer zu der Hilfslinie A) erstreckt.

[0058] Es versteht sich, dass die ersten und zweiten Spulenordnungen **36a**, **36b** und **38a**, **38b** in **Fig. 9b** zur Erzielung des gleichsinnigen Magnetfeldes nicht notwendigerweise jeweils um 180° gedreht sein müssen. Alternativ kann auch die Bestromungsrichtung der Primärspulen P geändert werden. Die Anordnung der Primärspulen P und Sekundärspulen S also auch spiegelsymmetrisch sein.

[0059] Der Anteil des Magnetwechselfeldes, der sich durch die Spulenordnungen **36**, **38** erstreckt und somit effektiv nutzbar ist, kann weiter erhöht werden, indem das System **35** um weitere Spulenordnungen **36c**, **38c** ergänzt wird. In **Fig. 9c** sind in einem Winkel von 90° relativ zu den Spulenordnungen **36a**, **36b**, **38a**, **38b** eine weitere erste Spulenordnung **36c** und eine weitere zweite Spulenordnung **38c** angeordnet, die jeweils parallel geschaltet sein können. Ein Vorteil dieser Variante besteht darin, dass sich die Spulenordnungen **36a** bis **36c** bzw. **38a** bis **38c** bei einem Winkel von 90° zueinander bezüglich ihres Resonanzverhaltens allenfalls geringfügig gegenseitig beeinflussen. In **Fig. 9d** ist gezeigt, dass der erkennbare Effekt eines "zusammengezogenen Magnetfeldes" weiter verstärkt werden kann, indem das System **35** um zusätzliche erste und zweite Spulenordnungen **36d**, **36e** und **38d**, **38e** ergänzt wird, die – rein beispielhaft – jeweils in einem Winkel von 45° relativ zu den anderen ersten und zweiten Spulenordnungen **36a** bis **36c** und **38a** bis **38c** angeordnet sind.

Bezugszeichenliste

10a–f , 20a–f , 30a–f , 40a–e , 50a–e	Resonanzspektrum
12	Koordinatensystem
14	x-Achse
16	y-Achse
18	Messpunkt
22	RF-Koax-B-Feld-Spule
24	Koaxialkabel
26	Hauptleiter
28	Abschirmleiter
32	Isolationsmaterial
34 , 34'	Abschnitt
35	System
36a–e	erste Spulenordnung
38a–e	zweite Spulenordnung
40	Magnetfeldlinie
A	Hilfslinie
P	Primärspule
S	Sekundärspule

Patentansprüche

1. Spulenordnung zur Erzeugung oder zur Aufnahme von Magnetwechselfeldern, umfassend: wenigstens eine Primärspule (P) mit zumindest einer Windung und wenigstens eine zur selektiven Beeinflussung des Resonanzverhaltens der Spulenordnung vorgesehene Sekundärspule (S) mit zumindest einer Windung, wobei die Primärspule (P) einen Hauptleiter (**26**) und einen den Hauptleiter (**26**) zumindest abschnittsweise umgebenden Abschirmleiter (**28**) aufweist, wobei der Abschirmleiter (**28**) mit dem Hauptleiter (**26**) elektrisch leitend verbunden ist und zumindest einen Abschnitt (**34**, **34'**) aufweist, der elektrisch unterbrochen ist.
2. Spulenordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die wenigstens eine Sekundärspule (S) einen Hauptleiter (**26**) und einen den Hauptleiter (**26**) zumindest abschnittsweise umgebenden Abschirmleiter (**28**) aufweist, insbesondere wobei der Abschirmleiter (**28**) nicht elektrisch leitend mit dem Hauptleiter (**26**) verbunden ist und/oder keine elektrische Unterbrechung aufweist.
3. Spulenordnung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Primärspule (P) und/oder die Sekundärspule (S) zumindest abschnittsweise als Koaxialkabel (**24**) ausgebildet sind.
4. Spulenordnung nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die wenigstens eine Sekundärspule (S) koaxial zu der Primärspule (P) angeordnet ist.

5. Spulenanordnung nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die wenigstens eine Sekundärspule (S) – direkt oder indirekt – an der Primärspule (P) befestigt ist.

6. Spulenanordnung nach zumindest einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Durchmesser der Sekundärspule (S) zumindest im Wesentlichen gleich dem Durchmesser der Primärspule (P) ist.

7. System (35) mit wenigstens einer ersten Spulenanordnung (36) zum Erzeugen von Magnetwechselfeldern und mit wenigstens einer zweiten Spulenanordnung (38) zum Aufnehmen von Magnetwechselfeldern, wobei die erste und/oder die zweite Spulenanordnung (36, 38) nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche ausgebildet sind.

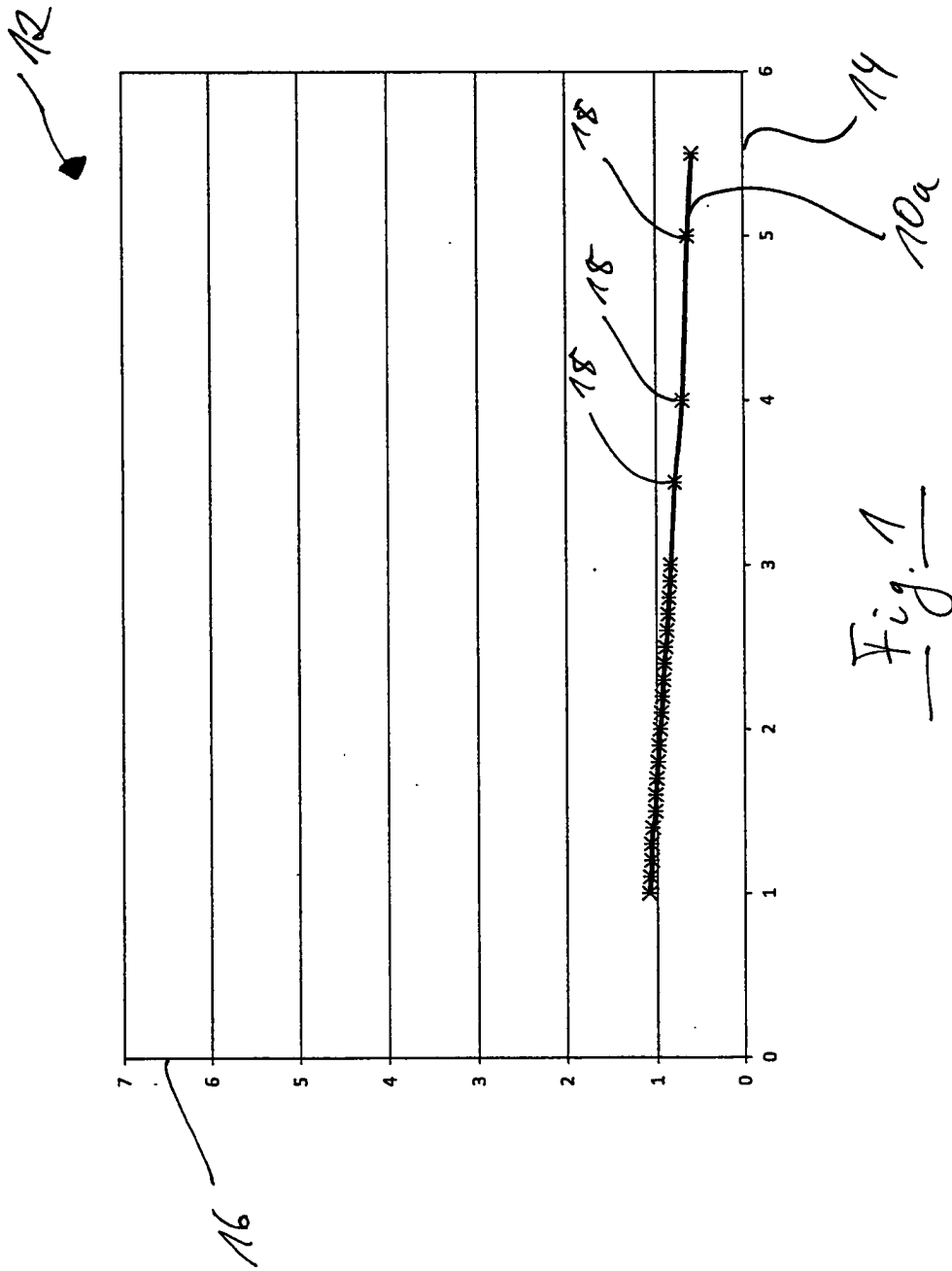
8. System (35) nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Resonanzverhalten der ersten Spulenanordnung (36) und das Resonanzverhalten der zweiten Spulenanordnung (38) aneinander angepasst sind.

9. Verwendung einer Spulenanordnung (36, 38) nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 6 zur drahtlosen Versorgung eines elektrischen Energiespeichers, insbesondere einer mobilen elektrischen oder elektronischen Vorrichtung, mit elektrischer Energie.

10. Verwendung eines Systems (35) nach Anspruch 7 oder 8, wobei die Primärspule (P) der ersten Spulenanordnung (36) mit einem elektrischen Versorgungsnetz gekoppelt ist und die Primärspule (P) der zweiten Spulenanordnung (38) mit einem elektrischen Energiespeicher, insbesondere einer mobilen elektrischen oder elektronischen Vorrichtung, gekoppelt ist.

Es folgen 9 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



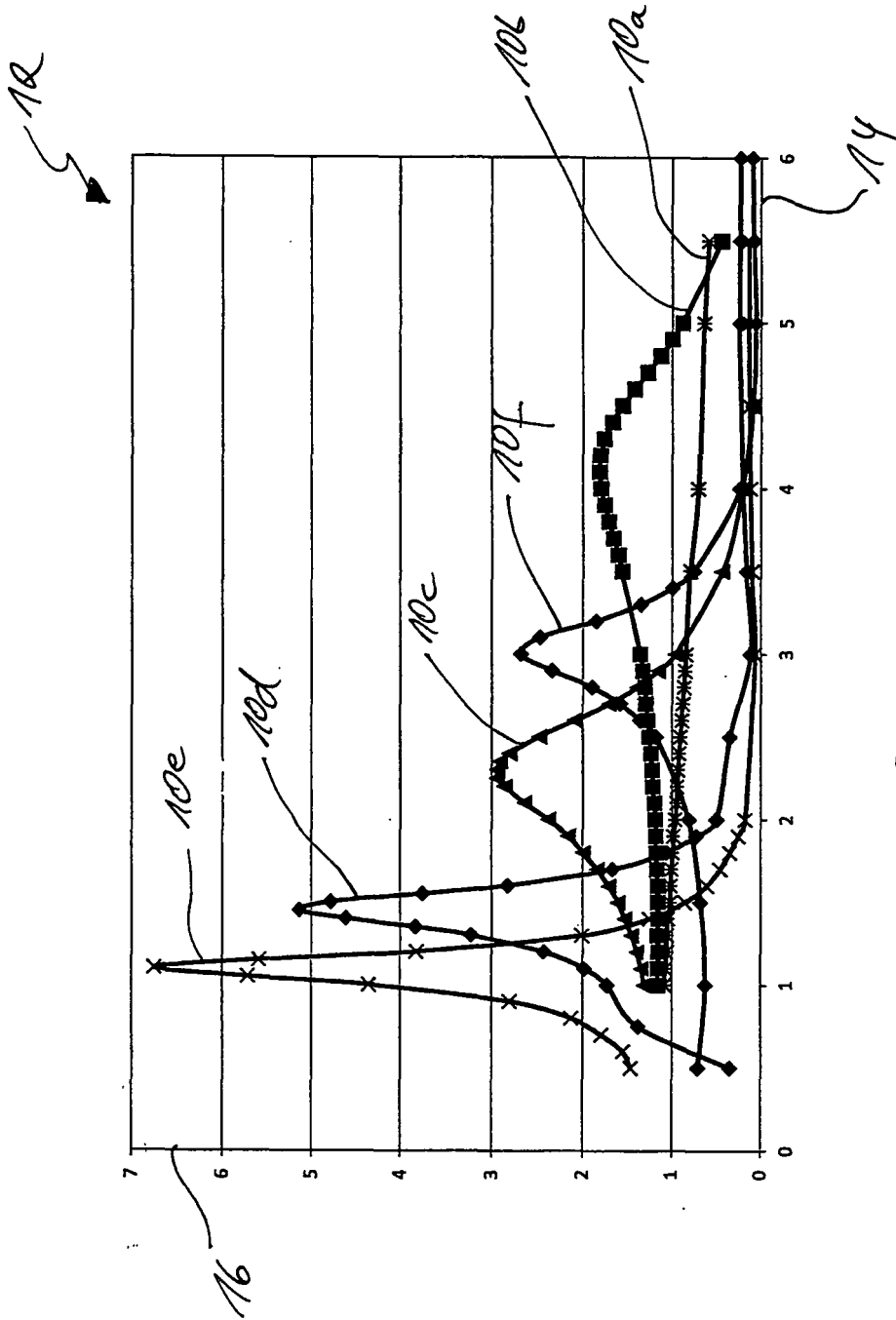
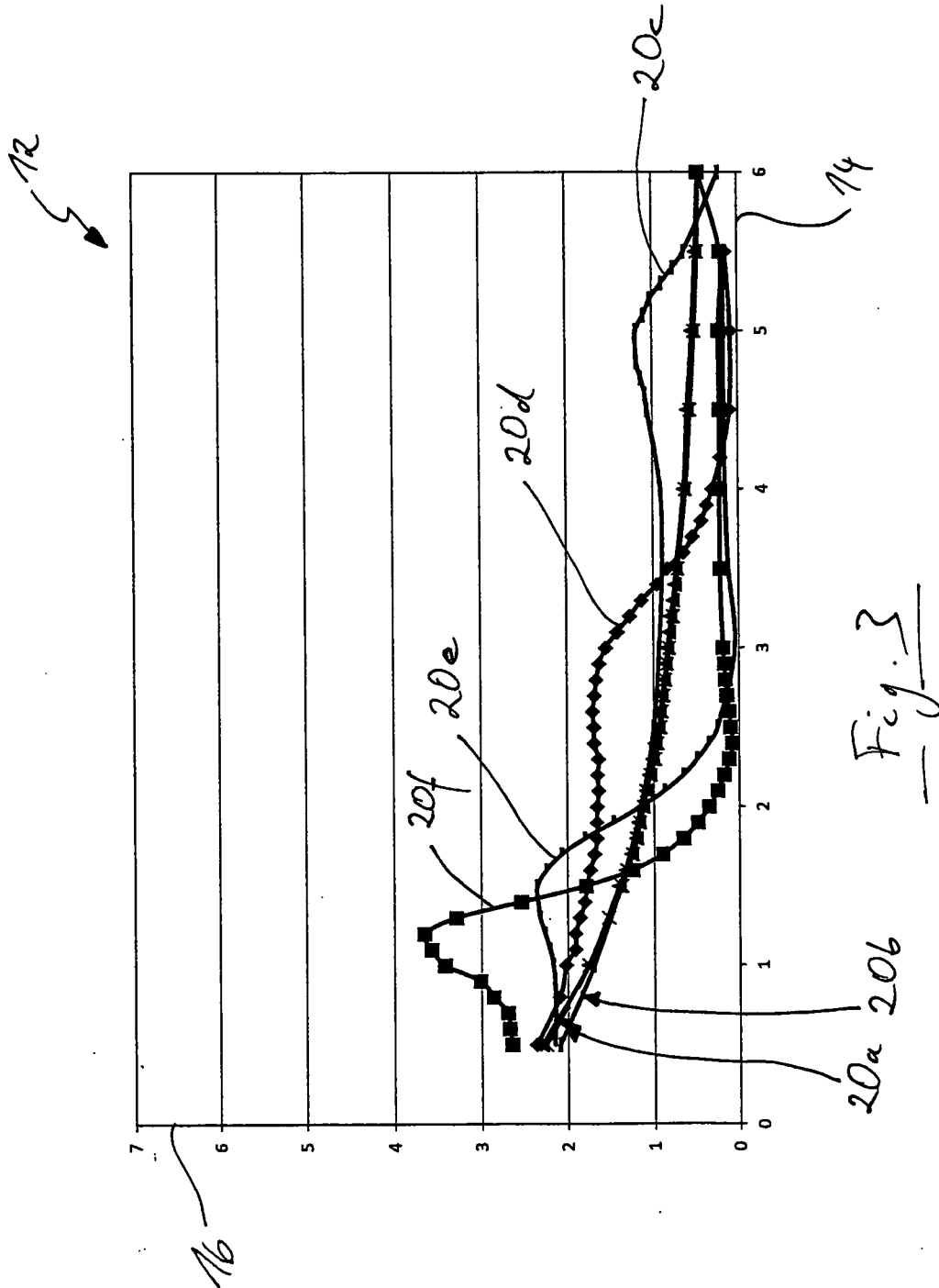
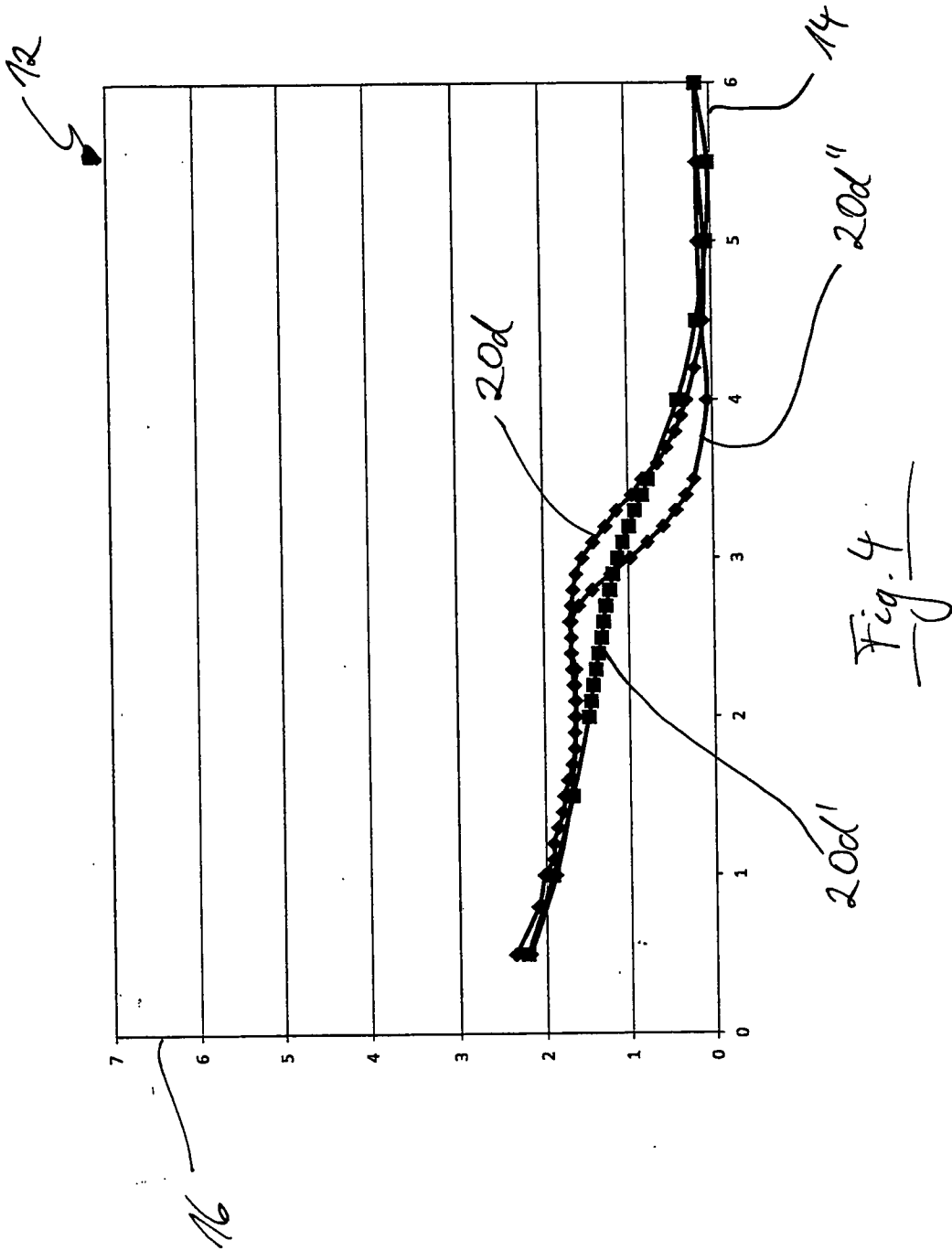
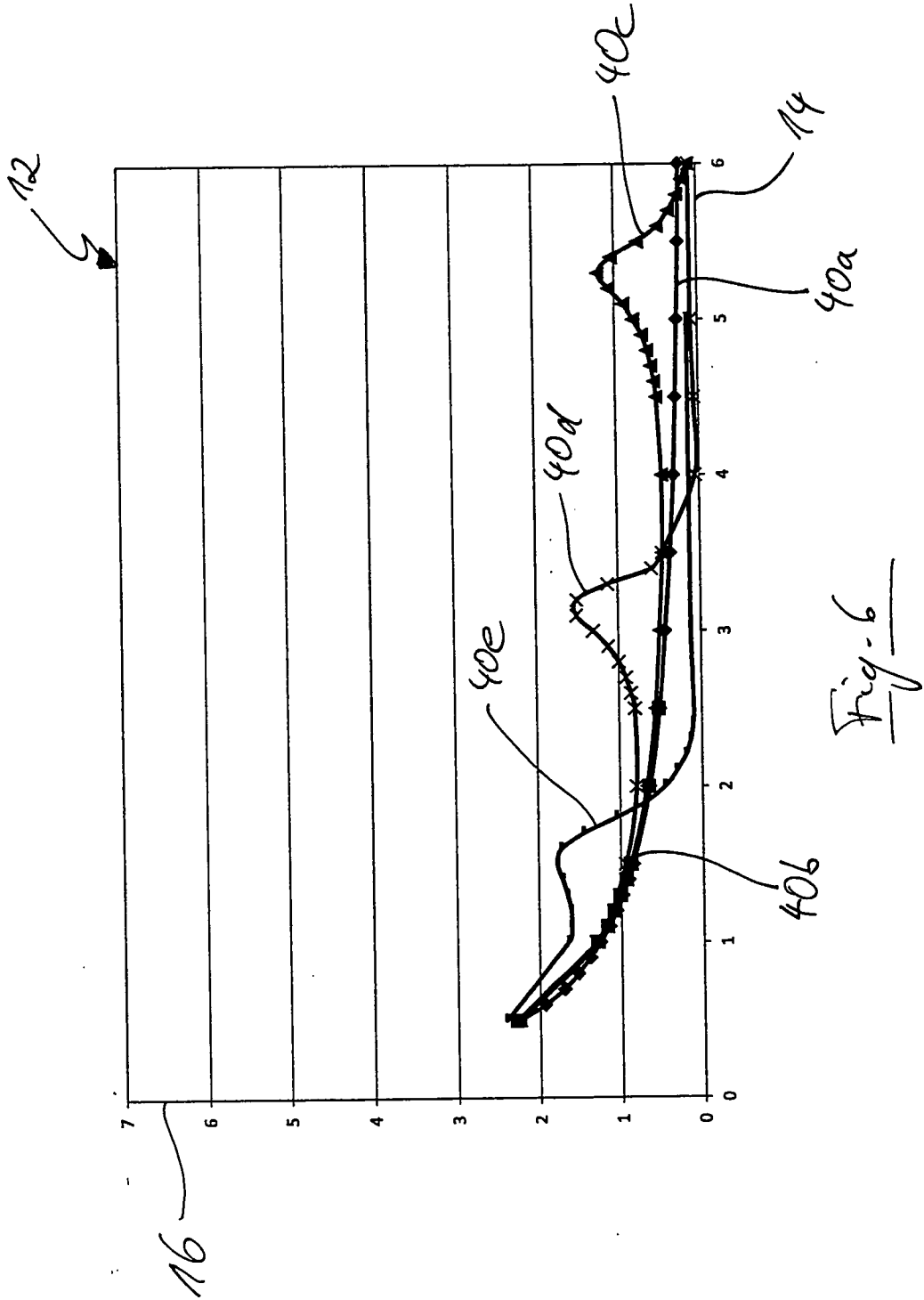


Fig. 2







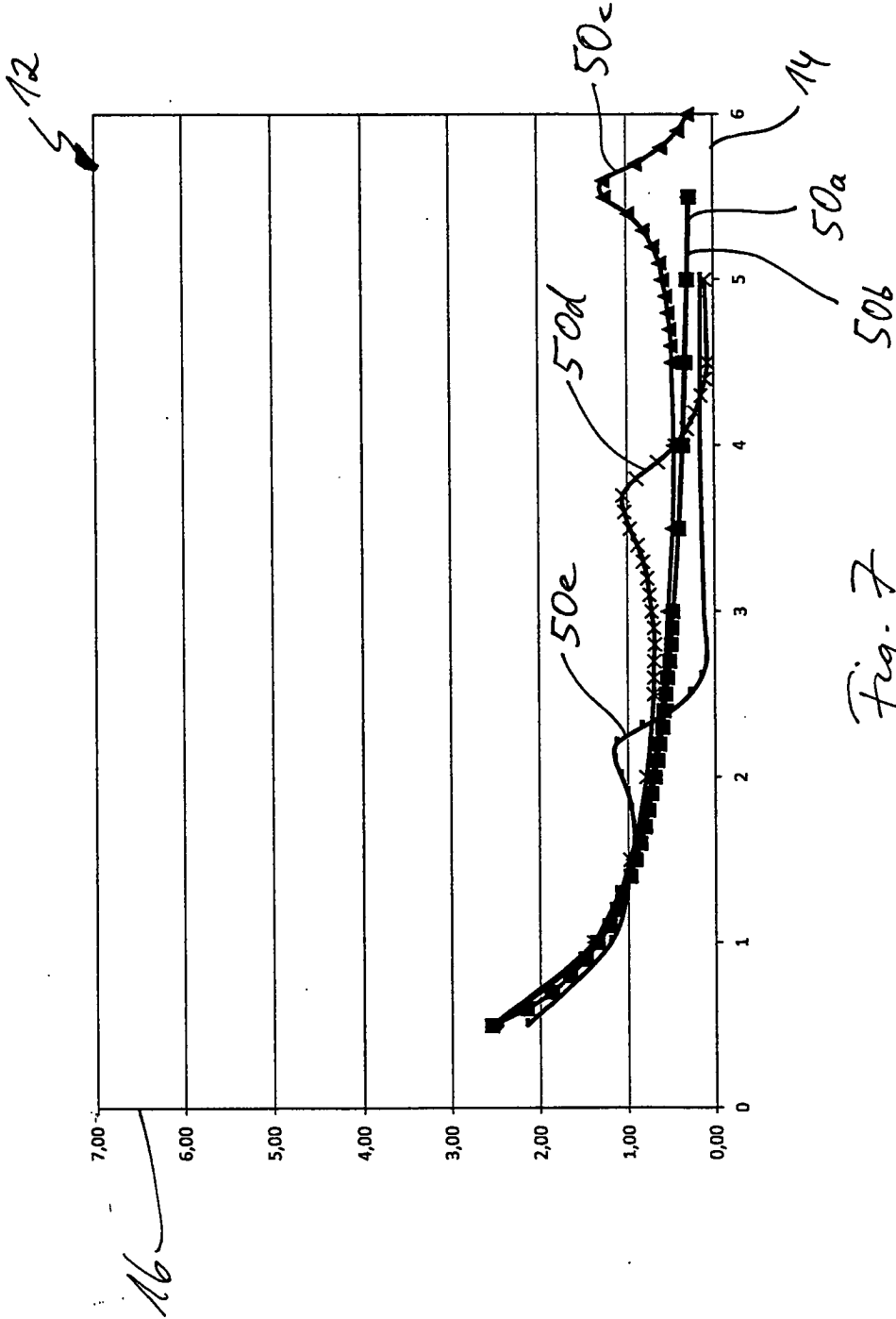


Fig. 7

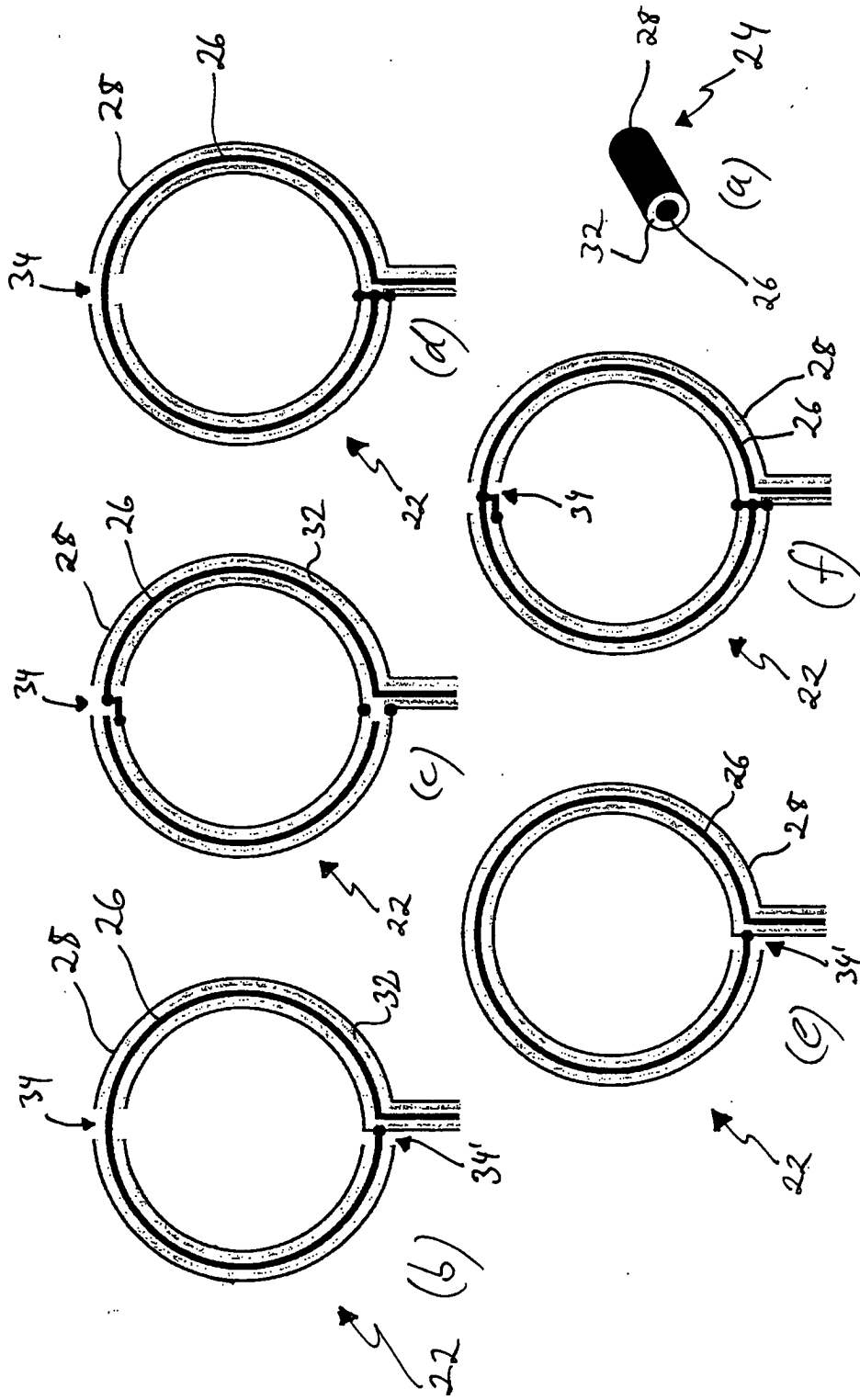


Fig. 8

