



(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 025 941.6**  
(22) Anmeldetag: **02.06.2006**  
(43) Offenlegungstag: **13.12.2007**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **02.09.2010**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G01R 33/36** (2006.01)  
**G01R 33/3415** (2006.01)  
**A61B 5/055** (2006.01)

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

(73) Patentinhaber:  
**Siemens AG, 80333 München, DE**

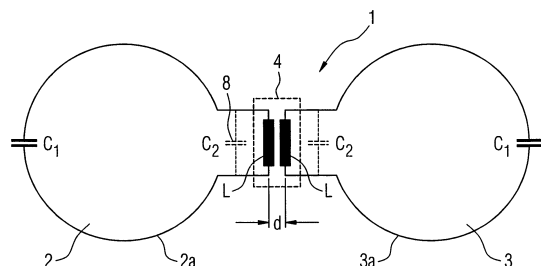
(72) Erfinder:  
**Greim, Helmut, 91325 Adelsdorf, DE; Matschl,  
Volker, Dr., 96047 Bamberg, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

<b>DE</b>	<b>103 08 961</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>102 26 511</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>43 33 182</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>2001/00 33 165</b>	<b>A1</b>
<b>US</b>	<b>47 42 304</b>	
<b>JP</b>	<b>06-2 42 202</b>	<b>A</b>

(54) Bezeichnung: **Doppelresonanzspulenordnung für ein Magnetresonanzgerät**

(57) Hauptanspruch: Doppelresonanzspulenordnung für ein Magnetresonanzgerät mit wenigstens zwei Spulen (2, 3, 10, 14, 15, 16), jeweils umfassend einen Spulenleiter (2a, 3a, 15a), in den wenigstens eine erste Kapazität ( $C_1$ ,  $C_3$ ) sowie wenigstens eine mit einer weiteren zweiten Kapazität ( $C_2$ ) einen Schwingkreis bildende Induktivität ( $L$ ) eingeschaltet sind, dadurch gekennzeichnet, dass die voneinander beabstandeten Induktivitäten ( $L$ ) zweier benachbart angeordneter Spulen (2, 3, 10, 14, 15, 16) einen Transformator (4, 12, 17) bilden, wobei die Kapazitäten ( $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ), die Induktivität ( $L$ ) und der Abstand ( $d$ ) der Induktivitäten ( $L$ ) derart dimensioniert sind, dass jede Spule (2, 3, 10, 14, 15, 16) doppelresonant ist und wenigstens zwei Spulen (2, 3, 10, 14, 15, 16) durch den Transformator (4, 12, 17) untereinander entkoppelt sind.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Doppelresonanzspulenordnung für ein Magnetresonanzgerät mit wenigstens zwei Spulen, jeweils umfassend einen Spulenleiter, in den wenigstens eine erste Kapazität sowie wenigstens eine mit einer weiteren zweiten Kapazität einen Schwingkreis bildende Induktivität eingeschaltet sind.

**[0002]** Sollen in der Magnetresonanz, beispielsweise zu Zwecken der Spektroskopie oder der Bildaufnahme, andere Kerne als Wasserstoff angeregt werden und deren Signale empfangen werden, so ist es von Vorteil, wenn eine Detektionsspulenordnung sowohl für Wasserstoffkerne als auch für die andere Kernsorte (im Folgenden X-Kerne genannt) empfindlich ist. Dann ist es beispielsweise möglich, zunächst ein Wasserstoff-Übersichtsbild zur Lokalisierung aufzunehmen und sodann beispielsweise X-Kern-Spektroskopie oder X-Kern-Bildaufnahmen zu betreiben. Solche Spulenordnungen mit zwei diskreten Resonanzfrequenzen nennt man doppelresonant.

**[0003]** Um eine doppelresonante Spule zu erhalten, ist es bekannt, eine Induktivität mit einer dazu parallelen zweiten Kapazität in den Spulenleiter einzuschalten. Dadurch wird ein Schwingkreis erzeugt, der zusätzlich zu dem aus dem Spulenleiter selbst und der ersten Kapazität gebildeten Schwingkreis wirkt.

**[0004]** Üblicherweise werden mehrere Spulen in einer Spulenordnung verwendet. Damit diese sich nicht gegenseitig beeinflussen, sind Entkopplungstechniken bekannt, um diese Spulen voneinander zu entkoppeln. Zunächst ist bekannt, Spulen geometrisch zu entkoppeln. Dazu wird ein bestimmter Überlapp zwischen benachbarten Spulen erzeugt, der so bemessen ist, dass der durch den Überlappbereich hindurchtretende magnetische Fluss gerade den in den anderen Bereichen von den jeweils anderen Spulen erzeugten magnetischen Fluss aufhebt. Zudem ist auch die galvanische Entkopplung bekannt. Dabei werden galvanische Bauelemente, beispielsweise induktive Bauelemente, zwischen den Spulen verwendet. Die galvanische Entkopplung funktioniert jedoch nachteilhafterweise nur sehr schmalbandig, die Entkopplung kann also nur für eine Frequenz realisiert werden. Zudem ist ein komplizierter Abgleichvorgang zur letztendlichen Entkopplung notwendig. Schließlich ist die Entkopplung durch Transformatoren bekannt. Durch Transformatoren können Spulen ohne galvanische Verbindung entkoppelt werden.

**[0005]** Eine Vielzahl von Entkopplungsmöglichkeiten wird beispielsweise durch die DE 102 26 511 A1 offenbart. Neben Hochfrequenzkabeln insbesondere mit Impedanztransformationsschaltungen ist dort auch die Entkopplung mittels eines Transformators gezeigt.

**[0006]** Setzt man die Entkopplung über Transformatoren bei doppelresonanten Spulenordnungen ein, so werden zur Erzeugung der Doppelresonanz als auch zum Entkoppeln zusätzliche Bauteile benötigt. Darunter leidet jedoch die Güte der Spule. Über das Leerlauf-Lastgüte-Verhältnis ergibt sich eine unmittelbare Auswirkung auf das Signal/Rausch-Verhältnis der Spule.

**[0007]** Eine doppelresonante Antennenanordnung für ein Magnetresonanzgerät beschreibt die DE 43 33 182 A1. Darin ist eine Bird-cage-Spule beschrieben, bei der zur magnetischen Entkopplung von Teilantennen ein Variometer vorgeschlagen ist.

**[0008]** Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Doppelresonanzspulenordnung anzugeben, die bei entkoppelten Spulen eine höhere Spulengüte aufweist.

**[0009]** Zur Lösung dieser Aufgabe ist bei einer Doppelresonanzspulenordnung der eingangs genannten Art erfindungsgemäß vorgesehen, dass die voneinander beabstandeten Induktivitäten zweier benachbart angeordneter Spulen einen Transformator bilden, wobei die Kapazitäten, die Induktivität und der Abstand der Induktivitäten derart dimensioniert sind, dass jede Spule doppelresonant ist und wenigstens zwei Spulen durch den Transformator untereinander entkoppelt sind.

**[0010]** Erfindungsgemäß ist also vorgesehen, dass die zur Erzeugung der Doppelresonanz verwendeten Induktivitäten gleichzeitig einen Transformator bilden, der die Spulen voneinander entkoppeln kann. Es wird demnach ein Bauteil für zwei verschiedene Zwecke verwendet, sodass insgesamt weniger Bauteile benötigt werden. Dadurch wird vorteilhafterweise der Platzbedarf reduziert und es treten geringere Kosten auf. Zudem sind weniger Fehlerquellen gegeben.

**[0011]** Durch die Reduzierung verwendeter Bauteile wird zusätzlich erreicht, dass die Güte der einzelnen Spulen höher ist, das heißt, es wird ein höheres Signal/Rausch-Verhältnis erreicht. Mit der erfindungsgemäßen Spulenordnung ist es sogar möglich, bei Wasserstoff-Bildaufnahmen dasselbe Signal/Rausch-Verhältnis zu erreichen, wie es bei einer reinen einfachresonanten Wasserstoff-Spulenordnung möglich wäre. Die verwendete Entkopplung über Transformatoren hat zudem den Vorteil, dass weder eine galvanische Verbindung noch an den entsprechend entkoppelten Stellen ein Überlapp erforderlich ist, sodass doppelresonante Spulen auch in Bereichen eingesetzt werden können, bei denen ein Überlapp (geometrische Entkopplung) aus konstruktionsbedingten Gründen nicht möglich ist. Ein Beispiel hierfür ist eine Kopfspulenordnung. Kopfspulenordnungen weisen meist wenigstens zwei von-

einander getrennte Gehäuseteile auf, zwischen denen leitende Verbindungen nur schwer zu realisieren sind.

**[0012]** Erfindungsgemäß werden die Kapazitäten, die Induktivität und der Abstand derart dimensioniert, dass jede Spule doppelresonant ist und wenigstens zwei Spulen durch den Transformator untereinander entkoppelt sind. Hierzu ist eine Abstimmung der verschiedenen Bauteile aufeinander nötig. Es sei angemerkt, dass sich durch die Hinzunahme der Induktivität, die meistens durch eine Spule realisiert wird, bei einer allein stehenden Spule andere Resonanzfrequenzen ergeben als im erfindungsgemäßen Fall, in dem zwei Induktivitäten zu einem Transformator kombiniert werden. Hier ist dann eine andere Anpassung erforderlich, um die gewünschten Resonanzfrequenzen zu erzielen.

**[0013]** Für die Zusammensetzung der zweiten Kapazität gibt es verschiedene Möglichkeiten. Zum einen kann die zweite Kapazität die Eigenkapazität der Induktivität sein. Es wird dann kein weiteres Bauteil, beispielsweise ein weiterer Kondensator, benötigt, sondern es wird die Eigenkapazität der ohnehin eingeschalteten Induktivität verwendet. Jede Induktivität wirkt durch ihre Eigenkapazität selber als ein Schwingkreis. Hier wird folglich ein weiteres Bauteil eingespart.

**[0014]** Alternativ ist es jedoch auch möglich, dass sich die zweite Kapazität aus der Eigenkapazität der Induktivität und wenigstens einer zu der Induktivität parallel geschalteten Kapazität zusammensetzt. Zur weiteren Anpassung der zweiten Kapazität ist hier noch ein zusätzliches Bauteil zwischengeschaltet, was eine genauere Dimensionierung der zweiten Kapazität ermöglicht.

**[0015]** Um bei symmetrischen Anordnungen eine verbesserte Symmetrie auch der Verschaltung zu erreichen und somit eine leichtere Abstimmung zu ermöglichen, kann vorgesehen sein, dass jeweils die ersten Kapazitäten und/oder die zweiten Kapazitäten gleich dimensioniert sind.

**[0016]** Mit besonderem Vorteil können der Abstand und/oder die Induktivität und/oder die Kapazitäten veränderbar sein. Dann ist es möglich, auch nach Beendigung der Herstellung der Doppelresonanzspulenordnung eine Feinabstimmung vorzunehmen und/oder auch andere Resonanzfrequenzen der Doppelresonanz einzustellen.

**[0017]** Umfasst die Doppelresonanzspulenordnung mehr als zwei Spulen, so kann die verwendete Entkopplung durch Transformatoren mit anderen Entkopplungsarten kombiniert werden. So kann die Entkopplung beispielsweise teilweise durch geometrische Entkopplung und teilweise durch Entkopplung

über Transformatoren realisiert werden. Dies lässt sich insbesondere dann vorteilhaft anwenden, wenn wenigstens vier matrixartig angeordnete Spulen vorgesehen sind. Dann können horizontal und vertikal benachbarte Spulen durch einen Überlapp und diagonal benachbarte Spulen durch einen Transformator entkoppelt sein.

**[0018]** Allgemein ist es auch möglich, dass, wenn eine Spule über Transformatoren mit mehreren Spulen entkoppelt werden soll, mehrere Induktivitäten mit zweiten Kapazitäten in einen einzigen Spulenleiter einzuschalten. Dies ist beispielsweise notwendig, wenn drei benachbarte Spulen voneinander entkoppelt werden sollen. Die mittlere der drei Spulen besitzt dann zwei eingeschaltete Induktivitäten in ihrem Spulenleiter, während in den Spulenleiter der äußeren Spulen nur eine Induktivität eingeschaltet ist.

**[0019]** Weitere Vorteile und Einzelheiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus den im Folgenden beschriebenen Ausführungsbeispielen sowie anhand der Zeichnungen. Dabei zeigen:

**[0020]** [Fig. 1](#) das Schaltbild einer Doppelresonanzspulenordnung gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel;

**[0021]** [Fig. 2](#) ein stark vereinfachtes Ersatzschaltbild der Trafoentkopplung aus [Fig. 1](#);

**[0022]** [Fig. 3](#) das Schaltbild einer Doppelresonanzspulenordnung gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel;

**[0023]** [Fig. 4](#) das stark vereinfachte Schaltbild einer Doppelresonanzspulenordnung gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel; und

**[0024]** [Fig. 5](#) das Schaltbild einer Doppelresonanzspulenordnung gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel.

**[0025]** [Fig. 1](#) zeigt das Schaltbild einer Doppelresonanzspulenordnung **1**, die hier zwei Spulen **2** und **3** umfasst. In jeden der Spulenleiter **2a**, **3a** ist jeweils eine erste Kapazität  $C_1$  eingeschaltet. Zudem ist jeweils in den Spulenleiter **2a** und **3a** auch eine Induktivität  $L$  eingeschaltet. Die beiden Induktivitäten  $L$  bilden miteinander einen Transformator **4**. Sie sind dabei um einen Abstand  $d$  beabstandet. Über den Transformator **4** werden die Spulen **2** und **3** voneinander entkoppelt.

**[0026]** Zudem umfasst jede der Induktivitäten  $L$  eine Eigenkapazität **8**, die hier gestrichelt angedeutet ist. Diese bildet die zweite Kapazität  $C_2$ , die gemeinsam mit der Induktivität  $L$  einen Schwingkreis bildet.

**[0027]** Die Kapazitäten  $C_1$ ,  $C_2$ , die Induktivität  $L$  und

der Abstand  $d$  sind dabei so dimensioniert, dass jede Spule **2**, **3** mit denselben Frequenzen doppelresonant ist und die Spulen **2**, **3** durch den Transformator **4** untereinander entkoppelt sind.

**[0028]** Das Prinzip der Entkopplung über einen Transformator ist dem Prinzipersatzschaltbild in **Fig. 2** genauer zu entnehmen. Senden oder empfangen die Spulen **2**, **3**, so fließt in den Spulenleitern **2a**, **3a** ein Strom  $I_2$  bzw.  $I_3$ . Am Signalabgriffspunkt werden eine Spannung  $U_2$  und eine Spannung  $U_3$  abgegriffen. Die beiden Spulen **2**, **3** als solche bilden miteinander prinzipiell einen Transformator **5**, das heißt, der Strom  $I_2$  induziert in der Spule **3** eine Spannung, die hier mit  $U_{23}$  bezeichnet ist. Dasselbe gilt natürlich für den Strom  $I_3$ , der in der Spule **2** eine Spannung  $U_{32}$  induziert. In der Doppelresonanzspulenordnung **1** ist jedoch auch der Transformator **4** umfasst. In diesem wird durch die jeweiligen Ströme ebenfalls eine Spannung  $U_{\text{Trafo},2}$  bzw.  $U_{\text{Trafo},3}$  erzeugt. Damit die Spulen **2**, **3** entkoppelt sind, muss die Bedingung  $U_{23} + U_{\text{Trafo},3} = 0$  bzw.  $U_{32} + U_{\text{Trafo},2} = 0$  erfüllt sein. Diese Bedingung ist frequenzunabhängig.

**[0029]** Die Kapazitäten  $C_1$  und  $C_2$ , die Induktivitäten  $L$  und der Abstand  $d$  sind nun so ausgelegt, dass diese Bedingung erfüllt ist und gleichzeitig beide Spulen doppelresonant sind.

**[0030]** **Fig. 3** zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel einer Doppelresonanzspulenordnung **6**. In die Spulenleiter **2a**, **3a** der Spulen **2**, **3** ist hier im Gegensatz zum ersten Ausführungsbeispiel neben der ersten Kapazität  $C_1$  noch eine weitere Kapazität **7** eingeschaltet, die parallel zu der Induktivität  $L$  liegt. Die zweite Kapazität  $C_2$  wird hier aus der Kapazität **7** und der Eigenkapazität **8** der Induktivität  $L$  gebildet. Wiederum sind die Kapazitäten  $C_1$ ,  $C_2$ , die Induktivitäten  $L$  und der Abstand  $d$  so dimensioniert, dass beide Spulen **2**, **3** doppelresonant sind und voneinander entkoppelt sind.

**[0031]** **Fig. 4** zeigt das vereinfachte Schaltbild einer Doppelresonanzspulenordnung **9** mit vier matrixartig angeordneten Spulen **10**. Dabei sind jeweils vertikal oder horizontal benachbarte Spulen geometrisch durch einen Überlapp **11** entkoppelt. Diagonal benachbarte Spulen sind jeweils über einen oben beschriebenen Transformator **12** entkoppelt, der hier aus Übersichtsgründen nur im Prinzip dargestellt ist. Jeder Transformator **12** wird dabei wiederum aus Induktivitäten  $L$  gebildet, die sowohl Teil des Transformators **12** sind als auch zur Entkopplung der diagonal benachbarten Spulen **10** voneinander dienen. Dementsprechend sind auch hier die Kapazitäten, die Induktivitäten und die Abstände zwischen den Induktivitäten so bemessen, dass alle Spulen **10** voneinander entkoppelt sind und alle Spulen **10** bei denselben zwei Frequenzen doppelresonant sind.

**[0032]** **Fig. 5** zeigt schließlich ein viertes Ausführungsbeispiel einer Doppelresonanzspulenordnung **13**, die in diesem Fall drei Spulen **14**, **15** und **16** umfasst. Damit alle Spulen über einen Transformator **17** aus zwei Induktivitäten  $L$  mit Eigenkapazität  $C_2$  entkoppelt werden können, sind in den Spulenleiter **15a** der mittleren Spule **15** zwei Induktivitäten  $L$  eingeschaltet. Zudem sind in dem mittleren Spulenleiter zwei Kapazitäten  $C_3$  eingeschaltet, die unterschiedlich von den in den äußeren Spulenleitern **14**, **16** eingeschalteten Kapazitäten  $C_1$  sind. Die Kapazitäten  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ , die Induktivitäten  $L$  und die Abstände  $d$  sind auch in diesem Ausführungsbeispiel so dimensioniert, dass jede Spule **14**, **15**, **16** bei denselben Frequenzen doppelresonant ist und die Spulen **14**, **15**, **16** durch die Transformatoren **17** untereinander entkoppelt sind.

**[0033]** In allen gezeigten Ausführungsbeispielen ist es möglich, veränderbare Kapazitäten und/oder veränderbare Induktivitäten (Variometer) zu verwenden. Zudem ist es möglich, dass der Abstand zwischen den Induktivitäten im Transformator veränderbar ist. Dann ist sowohl eine Feineinstellung der Doppelresonanz bzw. Entkopplung als auch eine Einstellung auf beispielsweise andere Frequenzen möglich.

### Patentansprüche

1. Doppelresonanzspulenordnung für ein Magnetresonanzgerät mit wenigstens zwei Spulen (**2**, **3**, **10**, **14**, **15**, **16**), jeweils umfassend einen Spulenleiter (**2a**, **3a**, **15a**), in den wenigstens eine erste Kapazität ( $C_1$ ,  $C_3$ ) sowie wenigstens eine mit einer weiteren zweiten Kapazität ( $C_2$ ) einen Schwingkreis bildende Induktivität ( $L$ ) eingeschaltet sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass die voneinander beabstandeten Induktivitäten ( $L$ ) zweier benachbart angeordneter Spulen (**2**, **3**, **10**, **14**, **15**, **16**) einen Transformator (**4**, **12**, **17**) bilden, wobei die Kapazitäten ( $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ), die Induktivität ( $L$ ) und der Abstand ( $d$ ) der Induktivitäten ( $L$ ) derart dimensioniert sind, dass jede Spule (**2**, **3**, **10**, **14**, **15**, **16**) doppelresonant ist und wenigstens zwei Spulen (**2**, **3**, **10**, **14**, **15**, **16**) durch den Transformator (**4**, **12**, **17**) untereinander entkoppelt sind.

2. Doppelresonanzspulenordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Kapazität ( $C_2$ ) die Eigenkapazität (**8**) der Induktivität ( $L$ ) ist.

3. Doppelresonanzspulenordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sich die zweite Kapazität ( $C_2$ ) aus der Eigenkapazität (**8**) der Induktivität ( $L$ ) und wenigstens einer zu der Induktivität ( $L$ ) parallel geschalteten Kapazität (**7**) zusammensetzt.

4. Doppelresonanzspulenordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekenn-

zeichnet, dass die zweiten Kapazitäten ( $C_2$ ) gleich dimensioniert sind.

5. Doppelresonanzspulenordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die ersten Kapazitäten ( $C_1$ ,  $C_3$ ) gleich dimensioniert sind.

6. Doppelresonanzspulenordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand ( $d$ ) und/oder die Induktivität ( $L$ ) und/oder die Kapazitäten ( $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ) veränderbar sind.

7. Doppelresonanzspulenordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens vier matrixartig angeordnete Spulen (**10**) vorgesehen sind, wobei horizontal und vertikal benachbarte Spulen (**10**) durch einen Überlapp (**11**) entkoppelt sind und diagonal benachbarte Spulen (**10**) durch einen Transformator (**12**) entkoppelt sind.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

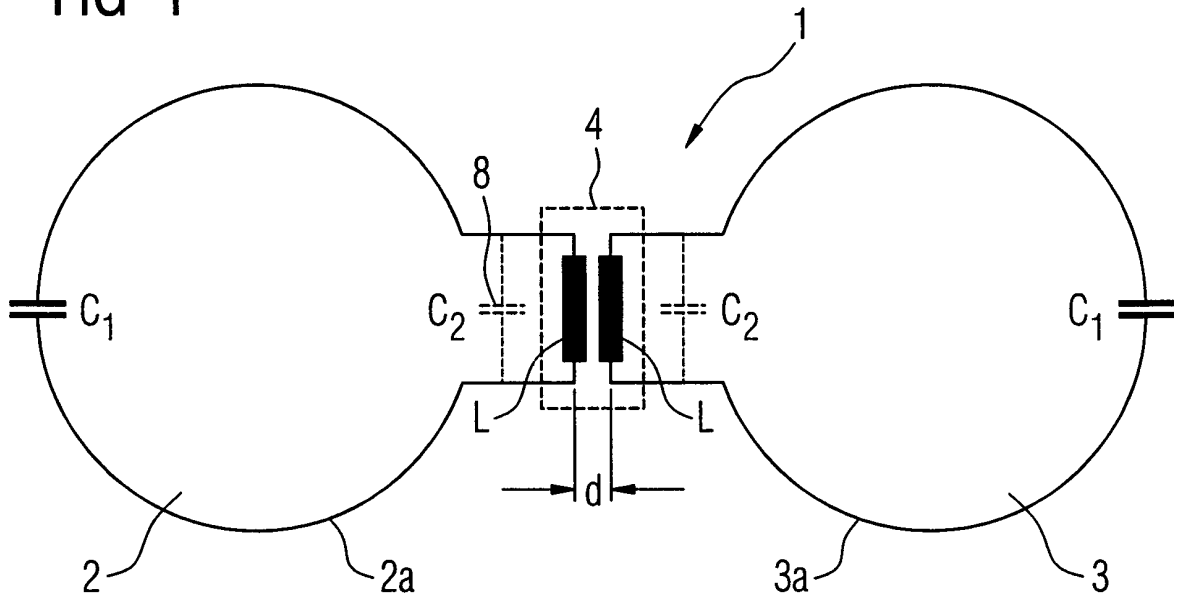
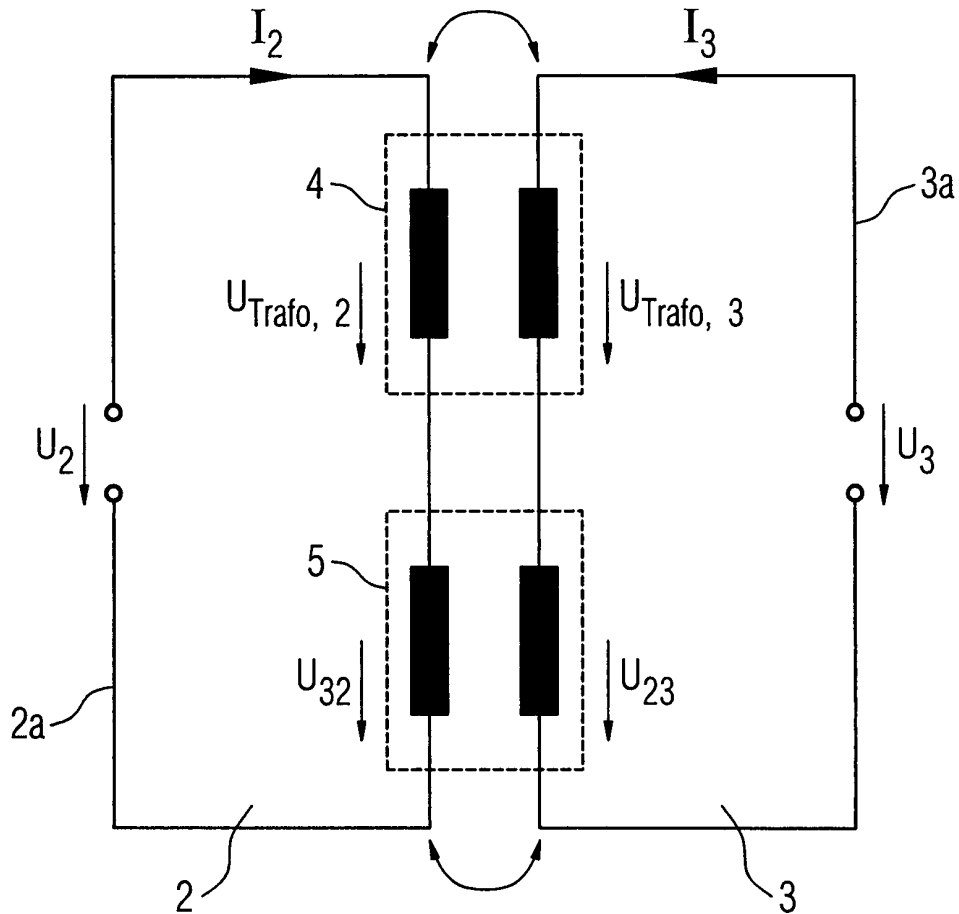


FIG 2



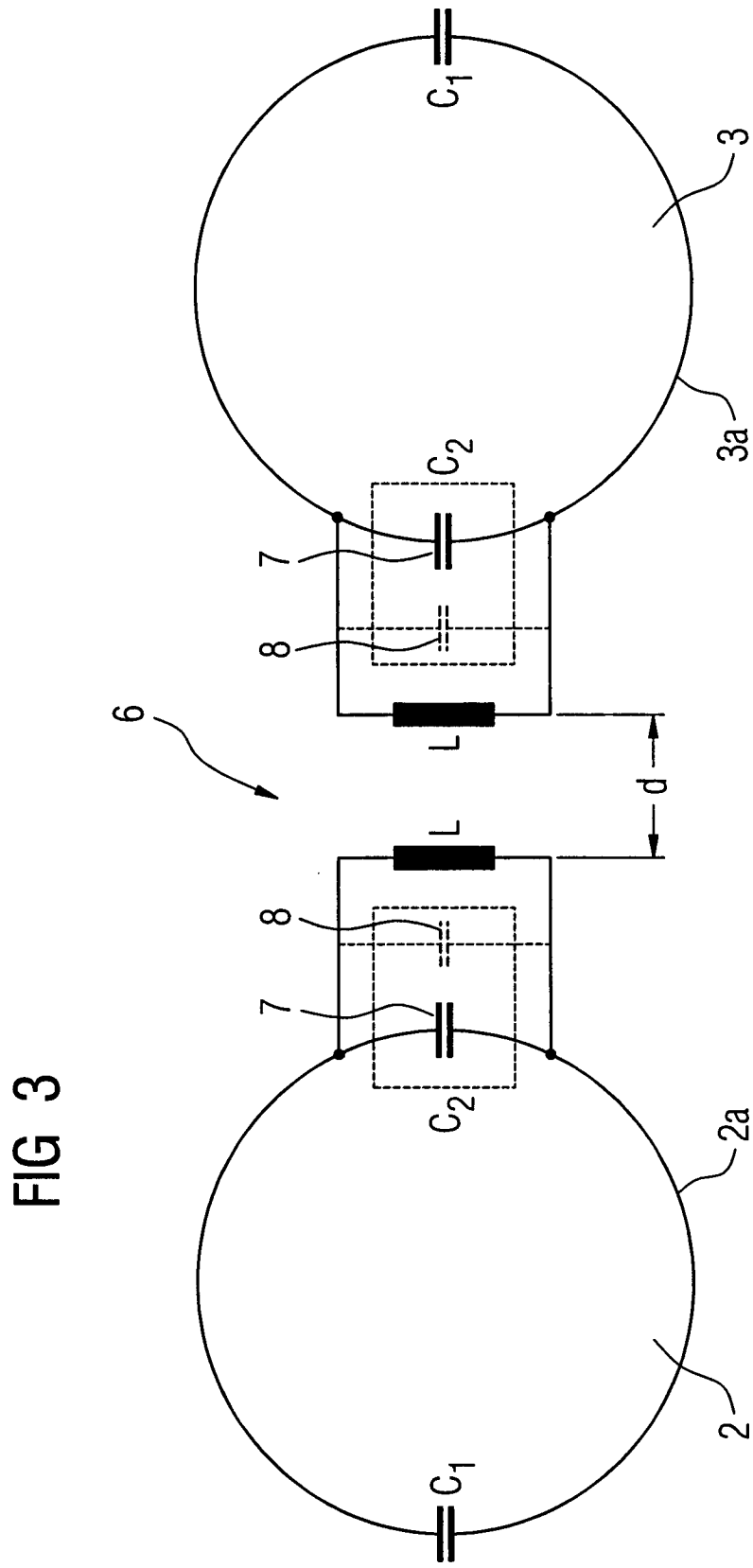


FIG 3

FIG 4

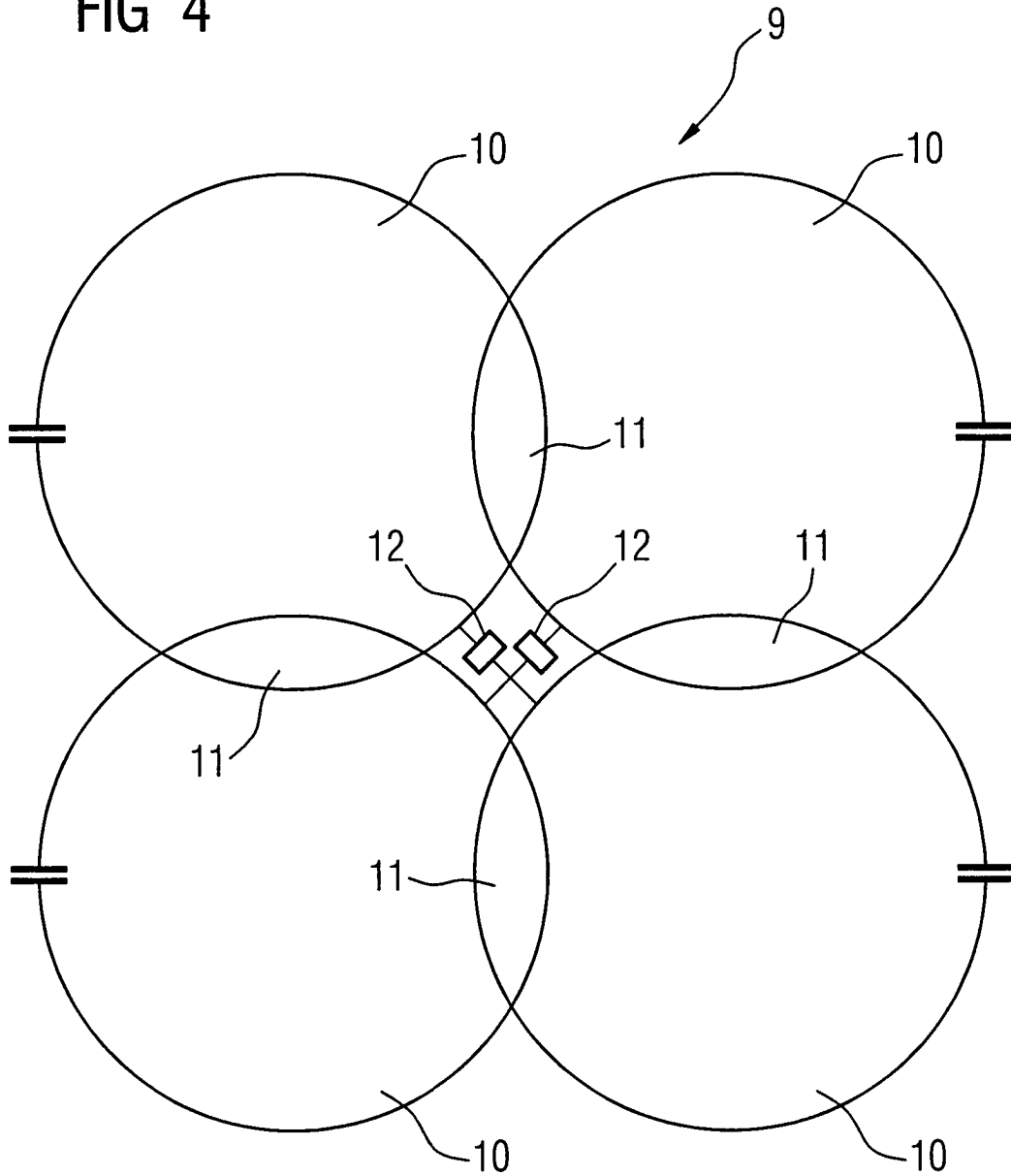




FIG 5

