



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 720 497 B1

(51) Int. Cl.: H01J 49/02 (2006.01)  
H01J 49/42 (2006.01)

**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**

Schweizerisch-lichtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: 001226/2023

(22) Anmeldedatum: 07.11.2023

(24) Patent erteilt: 30.08.2024

(45) Patentschrift veröffentlicht: 30.08.2024

(73) Inhaber:  
Bruker Switzerland AG, Industriestrasse 26  
8117 Fällanden (CH)

(72) Erfinder:  
Bernhard Bereiter, 8627 Grüningen (CH)  
Urs Steiner, 5000 Aarau (CH)

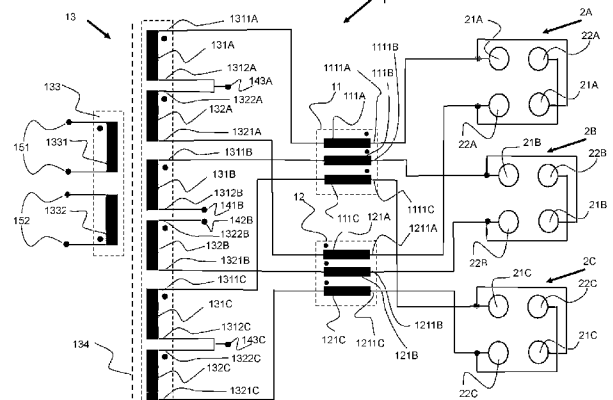
(74) Vertreter:  
RENTSCH PARTNER AG, Kirchenweg 8 Postfach  
8034 Zürich (CH)

(54) **Elektronische Multipol-Treibervorrichtung und Verfahren zum parallelen Treiben mehrerer ionenoptischer Multipole**

(57) Die Erfindung betrifft eine elektronische Multipol-Treibervorrichtung (1) zur Verwendung in einem Massenspektrometer, die über einen RF-Generator mehrere ionenoptische Multipole mit unterschiedlichen DC-Offsets parallel antreibt. Die elektronische Multipol-Treibervorrichtung (1) umfasst eine [+RF]-Resonanzspule (11) mit einer [+RF]-Resonanzwicklung und eine [-RF]-Resonanzspule (12) mit einer [-RF]-Resonanzwicklung. Die [+RF]-Resonanzwicklung enthält für jeden Multipol eine jeweilige [+RF]-Resonanzteilwicklung (111A, 111B, 111C) und die [-RF]-Resonanzwicklung enthält für jeden Multipol eine jeweilige [-RF]-Resonanzteilwicklung (121A, 121B, 121C). Die [+RF]-Resonanzteilwicklungen (111A; 111B, 111C) sind gegenseitig galvanisch isoliert und kapazitiv eng gekoppelt, und die [-RF]-Resonanzteilwicklungen (121A; 121B, 121C) sind gegenseitig galvanisch isoliert und kapazitiv eng gekoppelt. Die elektronische Multipol-Treibervorrichtung (1) enthält ausserdem einen Impedanztransformator (13). Der Impedanztransformator (13) umfasst einen Transformator Kern, eine Impedanztransformator-Primärwicklungsanordnung (133) und für jeden Multipol ein jeweiliges Impedanztransformator-Sekundärwicklungspaar mit einer jeweiligen Impedanztransformator-[+RF]-Sekundärwicklung (131A, 131B; 131C). Die [+] -Stäbe jedes Multipols können über eine serielle Anordnung der jeweiligen Impedanztransformator-[+RF]-Sekundärwicklung (131A, 131B, 131C) und der jeweiligen [+RF]-Resonanzteilwicklung (111A, 111B, 111C) mit einem je-

weils zugeordneten DC-Offset-Ausgang verbunden werden. Die [-]-Stäbe jedes Multipols können über eine serielle Anordnung der jeweiligen Sekundärwicklung des Impedanztransformators [-RF] (132A, 132B, 132C) und der jeweiligen [-RF]-Resonanzteilwicklung (121A, 121B, 121C) mit einem jeweils zugeordneten DC-Offset-Ausgang verbunden werden.

Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum parallelen Treiben mehrerer ionenoptischer Multipole.



## Beschreibung

### TECHNISCHES GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine elektronische Multipol-Treibervorrichtung zum parallelen Treiben einer Anzahl von ionenoptischen Multipolen, insbesondere zur Verwendung in Massenspektrometern, sowie Verfahren zum parallelen Treiben einer Anzahl von Multipolen.

### HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0002] Die Verwendung von ionenoptischen Multipolen ist im Bereich der Massenspektroskopie weithin bekannt. Solche ionenoptischen Multipole werden z.B. als Massenfilter mit optional zugeordnetem Prefilter und Postfilter verwendet. Ähnliche Multipole werden z. B. in Kollisionszellen zur Aufnahme der Ionen und als gebogene Quadrupole zur Führung der Ionen auf einer gekrümmten Bahn verwendet. Typischerweise, aber nicht notwendigerweise, sind die Multipole Quadrupole.

[0003] Je nach Verwendung werden die Multipole auf unterschiedliche Weise getrieben und kontrolliert. Beispielsweise werden die Stäbe eines Massenfilter-Quadrupols getrieben, indem an jedes Stabpaar von zwei diametral gegenüberliegenden Stäben eine RF -Treiberspannung im kV-Bereich angelegt wird und die RF-Phasen der beiden Stabpaare um 180 Grad gegeneinander verschoben werden. Zusätzlich zu den RF-Treiberspannungen werden den Stabpaaren auch entgegengesetzte Potentiale im Bereich eines kV-Bruchteils mit einem gemeinsamen Offset geringer Spannung zugeführt. Ein zugeordnetes Prefilter und ein zugeordnetes Postfilter werden mit demselben RF-Signal angesteuert. Die Stabpaare eines Prefilters oder Postfilters haben jedoch jeweils einen separaten DC-Offset geringer Spannung. Solche Prefilter und Postfilter sind Beispiele für Ionenleiter.

[0004] Die Anforderungen an die allgemeine Signalqualität und insbesondere an die Stabilität der RF- und DC-Offsetspannungen sind sehr hoch, da sie die Leistung des Massenspektrometers bezüglich der Massenauflösung direkt beeinflussen. Ausserdem ist es wichtig, dass alle Multipole mit exakt der gleichen Frequenz und RF-Phase angesteuert werden. Im Allgemeinen müssen die Werte für die RF-Antriebsspannung und die DC-Spannungen mit einer Präzision im niedrigen PPM-Bereich (Parts Per Million) eingestellt und aufrechterhalten werden. Auch die relative Positionierung der Stäbe zueinander erfordert sehr enge Toleranzen im Mikrometerbereich über die gesamte Länge der Multipole. Dies gilt sowohl für Vorrichtungen nach dem Stand der Technik als auch nach der vorliegenden Erfindung.

[0005] Um ein Massenscanning oder eine Massenumschaltung bzw. einen Massensprung für verschiedene Ionenmassen zu ermöglichen, ist ein schnelles Umschalten zwischen verschiedenen Niveaus von RF- und DC-Spannungen bei gleichbleibender Präzision erforderlich.

### ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0006] Der typische Stand der Technik für einen Massenfilter-Quadrupol mit zugeordnetem Pre- und Postfilter besteht darin, die Stäbe des Massenfilter-Quadrupols mit einer geregelten RF-Antriebsspannung zu betreiben und die RF über ein RC-Netzwerk in den Vor- und Postfilter-Quadrupol einzukoppeln. Die Komponenten des RC-Netzwerks sind in einem Vakuumkammeraum angeordnet.

[0007] Solche RC-Netzwerke begrenzen jedoch die Zeit für das Umschalten der DC Offset Spannung auf Werte im Millisekundenbereich, während kürzere Zeiten im Mikrosekundenbereich wünschenswert wären, um ein schnelles und effizientes Scannen für verschiedene Massen zu ermöglichen. Ausserdem ist die von den Komponenten des RC-Netzwerks erzeugte Wärme für die mechanische Ausrichtung der Stäbe aufgrund der Wärmeausdehnung kritisch.

[0008] Es ist ein übergeordnetes Ziel der vorliegenden Erfindung, den Stand der Technik hinsichtlich der Ansteuerung von ionenoptischen Multipolen, insbesondere Quadrupolen, im Rahmen von Massenspektrometern zu verbessern. In vorteilhafter Weise wird die Situation hinsichtlich eines oder mehrerer der vorgenannten Probleme verbessert oder gelöst.

[0009] In einem Aspekt betrifft die vorliegende Erfindung eine elektronische Multipol-Treibervorrichtung zur Verwendung in einem Massenspektrometer. Wie weiter unten ausführlicher erläutert, wird die im Folgenden zunächst beschriebene Art von elektronischer Multipol-Treibervorrichtung auch als Impedanztransformator-Offsetvorrichtung bezeichnet, im Gegensatz zu einer weiter unten erörterten Resonanzspulen-Offsetvorrichtung.

[0010] Die elektronische Multipol-Treibervorrichtung ist so ausgelegt, dass sie mehrere ionenoptische Multipole über einen gemeinsamen bzw. geteilten RF-Generator und mit unterschiedlichen DC-Offsets ansteuert. Die Anzahl der Multipole beträgt im Allgemeinen mindestens zwei und kann in besonderen Ausführungsformen insbesondere zwei oder drei betragen. Insbesondere kann einer der Multipole ein Massenfilter-Multipol sein, und zwei weitere Multipole können Ionenleiter-Multipole sein, beispielsweise ein Prefilter-Multipol und ein Postfilter-Multipol, oder es können zwei Multipole vorhanden sein, die jeweils Ionenleiter-Multipole sind. Die Multipole können in jedem Fall Quadrupole sein. Andere Anzahlen und Anordnungen von Multipolen sind ebenfalls möglich.

[0011] Jeder Multipol umfasst einen Satz leitender [+] -Stäbe, die mit einem [+] -Stabanschluss verbunden sind, und einen entsprechenden Satz leitender [-] -Stäbe, die mit einem [-] -Stabanschluss verbunden sind. Der Begriff „verbunden“ bezieht sich in diesem Dokument im Allgemeinen auf eine leitende bzw. verdrahtete elektrische Verbindung.

**[0012]** Die leitenden Stäbe eines Multipols haben, wie in der Technik bekannt, einen jeweils identischen kreisförmigen oder nicht kreisförmigen, z. B. hyperbolischen, Querschnitt. Die leitenden Stäbe eines jeden Multipols sind symmetrisch um eine Symmetrielinie angeordnet. Die leitenden Stäbe sind so verdrahtet, dass bei einer fortlaufenden Nummerierung der Stäbe in Umfangsrichtung alle Stäbe mit einer geraden Stabnummer untereinander und mit dem [+] -Stabanschluss verbunden sind. Alle Stäbe mit einer ungeraden Stabnummer sind untereinander und mit dem [-] -Stabanschluss verbunden. Es gibt also zwei Gruppen von Stäben, nämlich Plus-Stäbe [+] und eine gleiche Anzahl von Minus-Stäben [-]. Jede Gruppe besteht aus mindestens zwei Stäben. Über den [+] -Stabanschluss und den [-] -Stabanschluss sind die Stäbe mit der elektronischen Multipol-Treibervorrichtung verbunden. Über den [+] -Stabanschluss wird ein [+RF]-Treiberstrom und über den [-] -Stabanschluss ein um 180 Grad phasenverschobener [-RF]-Treiberstrom bereitgestellt. Die Anzahl der Stäbe hängt von der Anwendung ab und beträgt typischerweise 4 bis 10.

**[0013]** Im speziellen Fall eines Quadrupols bedeutet dies, dass es zwei Stabpaare gibt, nämlich ein [+] -Stabpaar und ein [-] -Stabpaar. Die beiden Stäbe eines jeden Stabpaares sind bezüglich der Symmetrielinie jeweils in einer Ebene quer zur Symmetrielinie diametral gegenüberliegend angeordnet.

**[0014]** Ein typisches Beispiel für einen ionenoptischen Multipol ist ein Quadrupol mit vier leitenden Stäben, die jeweils parallel zueinander parallel zu einer geraden oder gebogenen Symmetrieachse als Symmetrielinie verlaufen. In einer Ebene quer zur Symmetrieachse können die leitenden Stäbe in den Ecken eines Quadrats angeordnet sein, wobei zwei diametral gegenüberliegende leitende Stäbe das [+] -Stabpaar und das andere Paar diametral gegenüberliegender Stäbe das [-] -Stabpaar bilden. Die leitenden Stäbe können für die Verwendung als Massenfiter eine Länge im Bereich von z. B. 100 mm bis 200 mm haben oder deutlich kürzer sein, z. B. für die Verwendung als Prefilter oder Postfilter. Bei einem anderen Quadrupol-Design sind die leitenden Stäbe um eine gebogene Symmetrielinie herum angeordnet, um die Ionen entlang einer gebogenen Bahn zu führen. Andere Arten von ionenoptischen Multipolen sind ebenfalls möglich.

**[0015]** Eine elektronische Multipol-Treibervorrichtung gemäss der vorliegenden Erfindung umfasst eine [+RF]-Resonanzspule mit einer [+RF]-Resonanzwicklung und eine [-RF]-Resonanzspule mit einer [-RF]-Resonanzwicklung. Im Betrieb wird der [+RF]-Treiberstrom für jeden der Multipole von der [+RF]-Resonanzspule und der [-RF]-Treiberstrom für jeden der Multipole von der [-RF]-Resonanzspule bereitgestellt. In einer typischen Ausgestaltung haben die Wicklungen der [+RF]-Resonanzspule und der [-RF]-Resonanzspule jeweils eine Induktivität in einem Bereich von 300µH ... 400µH (Mikro-Henry).

**[0016]** Die [+RF]-Resonanzspule und die [-RF]-Resonanzspule sind gemeinsam von einem leitenden Spulengehäuse bezüglich ihres Umfangs umschlossen. Über das Spulengehäuse werden die [+RF]-Resonanzspule und die [-RF]-Resonanzspule induktiv gekoppelt. Durch diese Massnahme wird insbesondere der Q-Faktor (Qualitätsfaktor) erhöht. Die Resonanzspulen werden vorteilhaft ausserhalb des Vakuums, aber möglichst nahe an der Vakuumkammer, in der die Multipole angeordnet sind, angeordnet. Die Vakuumkammer bzw. deren Gehäuse und das Spulengehäuse sind in der Regel nebeneinander angeordnet und leitend verbunden. Typischerweise liegen das Gehäuse der Vakuumkammer und das leitende Spulengehäuse auf einem gemeinsamen Bezugspotential, insbesondere Masse-Potential GND.

**[0017]** Die [+RF]-Resonanzwicklung umfasst für jeden Multipol eine jeweilige [+RF]-Resonanzteilwicklung. Die [-RF]-Resonanzwicklung umfasst für jeden Multipol eine jeweilige [-RF]-Resonanzteilwicklung. Die [+RF]-Resonanzteilwicklungen sind gegenseitig galvanisch isoliert und kapazitiv eng gekoppelt. Ebenso sind die [-RF]-Resonanzteilwicklungen gegenseitig galvanisch isoliert und kapazitiv eng gekoppelt. Für jeden Multipol ist eine separate [+RF]-Resonanzteilwicklung und [-RF]-Resonanzteilwicklung vorgesehen.

**[0018]** Jede [+RF]-Resonanzteilwicklung einer elektronischen Multipol-Treibervorrichtung gemäss der vorliegenden Erfindung hat einen jeweiligen [+] -Stabverbindungsanschluss, der zum leitenden Verbinden mit dem [+] -Stabanschluss des jeweiligen zugeordneten Multipols ausgelegt ist, und jede [-RF]-Resonanzteilwicklung hat einen jeweiligen [-] -Stabverbindungsanschluss, der zum leitenden Verbinden mit dem [-] -Stabanschluss des jeweiligen zugeordneten Multipols ausgelegt ist. Für jede [+RF]-Resonanzteilwicklung der [+RF]-Resonanzspule wird der Anschluss, der dem jeweiligen [+] -Stabverbindungsanschluss gegenüberliegt, als jeweiliger Impedanztransformator-[+RF]-Sekundärwicklungsanschluss bezeichnet. In ähnlicher Weise wird für jede Resonanzteilwicklung der [-RF]-Resonanzspule der Anschluss, der dem jeweiligen [-] -Stabverbindungsanschluss gegenüberliegt, als Impedanztransformator-[-RF]-Sekundärwicklungsanschluss bezeichnet. Für jeden Multipol sind in der Regel ein separater [+] -Stabverbindungsanschluss und ein separater [-] -Stabverbindungsanschluss vorgesehen.

**[0019]** Durch die hier beschriebene Anordnung einer [+RF]-Resonanzspule mit einer [+RF]-Resonanzwicklung, die für jeden Multipol eine eigene [+RF]-Resonanzteilwicklung aufweist, und einer [-RF]-Resonanzspule mit einer [-RF]-Resonanzwicklung, die für jeden Multipol eine eigene [-RF]-Resonanzteilwicklung aufweist, werden für jeden Multipol eigene RF-Treiberströme bereitgestellt. Dank der engen kapazitiven Kopplung der Teilwicklungen und der induktiven Kopplung über das Spulengehäuse sind die RF-Ströme für jeden Multipol im Allgemeinen identisch und haben insbesondere eine gemeinsame Phase.

**[0020]** In einer Ausführungsform sind die [+RF]-Resonanzspule und die [-RF]-Resonanzspule baugleich. Ferner sind alle Resonanzteilwicklungen, d.h. alle [+RF]-Resonanzteilwicklungen und alle [-RF]-Resonanzteilwicklungen in einer Ausführungsform baugleich. Besonders wichtig ist, dass die Induktivität aller [+RF]-Resonanzteilwicklungen und [-RF]-Reso-

nanzteilwicklungen identisch ist. In einer Ausführungsform sind die [+RF]-Resonanzspule und die [-RF]-Resonanzspule jeweils Luftspulen.

**[0021]** In einer Ausführungsform sind die [+RF]-Resonanzspule und die [-RF]-Resonanzspule nebeneinander angeordnet und erstrecken sich parallel. Die Resonanzspulen sind in der Regel vergleichsweise gross und sperrig, was eine platzsparende Anordnung, wie sie allgemein gewünscht wird, erschwert. Eine solche nebeneinander liegende Anordnung ist vergleichsweise kompakt und insbesondere kurz und ermöglicht eine gute gegenseitige Kopplung über das erwähnte Spulengehäuse. In einer vorteilhaften Ausgestaltung erstrecken sich die Resonanzspulen und das sie umgebende Spulengehäuse zwischen zwei parallelen Leiterplatten (PCBs). In einer anderen Anordnung sind sowohl die [+RF]-Resonanzspule als auch die [-RF]-Resonanzspule koaxial hintereinander auf denselben Spulenkörper gewickelt.

**[0022]** In einer Ausführungsform sind die [+RF]-Resonanzwicklung und die [-RF]-Resonanzwicklung jeweils aus Litzen hergestellt, wobei die Litzen jeweils eine Vielzahl von gegenseitig isolierten Litzendrähten umfassen. Die [+RF]-Resonanzteilwicklungen werden jeweils durch einen Teil der die [+RF]-Resonanzwicklung bildenden Litzendrähte gebildet und die [-RF]-Resonanzteilwicklungen werden jeweils durch einen Teil der die [-RF]-Resonanzwicklung bildenden Litzendrähte gebildet. Durch diesen Aufbau werden gleiche Induktivitäten und eine enge kapazitive Kopplung zwischen den [+RF]-Resonanzteilwicklungen bzw. den [-RF]-Resonanzteilwicklungen wirksam sichergestellt. Die Anzahl der Drahtlitzen in der [+RF]-Resonanzwicklung und der [-RF]-Resonanzwicklung kann z.B. jeweils in einem Bereich von 100 bis 200, z.B. 150, liegen. Es können aber auch andere Werte verwendet werden.

**[0023]** Eine elektronische Multipol-Treibervorrichtung der hier beschriebenen Bauart umfasst ausserdem einen Impedanztransformator. Der Impedanztransformator umfasst einen Impedanztransformator-Primärwicklungsanordnung und für jeden Multipol ein jeweiliges Impedanztransformator-Sekundärwicklungspaar. Jedes Impedanztransformator-Sekundärwicklungspaar umfasst eine jeweilige Impedanztransformator-[+RF]-Sekundärwicklung und eine jeweilige Impedanztransformator-[-RF]-Sekundärwicklung. Für jeden Multipol ist in der Regel eine eigene Impedanztransformator-[+RF]-Sekundärwicklung und eine Impedanztransformator-[-RF]-Sekundärwicklung vorgesehen.

**[0024]** Die Wicklungen des Impedanztransformators, d. h. die Impedanztransformator-Primärwicklungsanordnung, Impedanztransformator-[+RF]-Sekundärwicklungen und die Impedanztransformator-[-RF]-Sekundärwicklungen sind gegenseitig induktiv über den Transformator Kern gekoppelt. In einer Ausführungsform ist der Impedanztransformator ein Ringkerntransformator. Der Transformator Kern kann insbesondere gesintert sein. Alle Impedanztransformator-[+RF]-Sekundärwicklungen und Impedanztransformator-[-RF]-Sekundärwicklungen sind baugleich. Der Impedanztransformator dient der Anpassung zwischen der Impedanz des gemeinsamen Resonanzkreises (siehe unten) und der Ausgangsimpedanz des RF-Generators.

**[0025]** Jede Impedanztransformator-[+RF]-Sekundärwicklung hat im Allgemeinen einen jeweiligen [+RF]-Resonanzteilwicklungsanschluss und einen jeweiligen [+RF]-DC-Offset-Versorgungsanschluss, der dem jeweiligen [+RF]-Resonanzteilwicklungsanschluss gegenüberliegt. In ähnlicher Weise hat jede Impedanztransformator-[-RF]-Sekundärwicklung im Allgemeinen einen jeweiligen [-RF]-Resonanzteilwicklungsschluss und einen jeweiligen [-RF]-DC-Offset-Versorgungsanschluss, der dem jeweiligen [-RF]-Resonanzteilwicklung-Anschluss gegenüberliegt.

**[0026]** Im Allgemeinen sind alle Impedanztransformator-Sekundärwicklungen, insbesondere jeweils die Impedanztransformator-[+RF]-Sekundärwicklung und die Impedanztransformator-[-RF]-Sekundärwicklung jedes Impedanztransformator-Sekundärwicklungspaares auf dem Transformator Kern mit der gleichen Wicklungsrichtung angeordnet. Ferner sind für jedes Impedanztransformator-Sekundärwicklungspaar die jeweilige [+RF]-DC-Offset-Versorgungsanschluss und die jeweilige [-RF]-DC-Offset-Versorgungsanschluss benachbarte bzw. innere Anschlüsse des Impedanztransformator-Sekundärwicklungspaares, während der [+RF]-Resonanzteilwicklung-Anschluss und der [-RF]-Resonanzteilwicklung-Anschluss äussere Anschlüsse sind.

**[0027]** Eine elektronische Multipol-Treibervorrichtung gemäss der vorliegenden Erfindung umfasst ferner einen RF-Generator, der mit der Impedanztransformator-Primärwicklungsanordnung verbunden ist. Der RF-Generator ist ein gemeinsam genutzter RF-Generator, der von den Multipolen gemeinsam genutzt wird und jedem der Multipole über die weiteren Komponenten der elektronischen Multipol-Treibervorrichtung, wie oben und weiter unten erläutert, einen jeweiligen RF-Strom bereitstellt.

**[0028]** Im Betrieb des RF-Generators fliesst für jedes Impedanztransformator-Sekundärwicklungspaar ein jeweiliger RF-Treiberstrom zwischen dem [+RF]-Resonanzteilwicklung-Anschluss der jeweiligen Impedanztransformator-[+RF]-Sekundärwicklung und dem [-RF]-Resonanzteilwicklung-Anschluss der jeweiligen Impedanztransformator-[-RF]-Sekundärwicklung.

**[0029]** Der RF-Generator ist so ausgelegt, dass er mit einer typischerweise festen Frequenz arbeitet, die in einem typischen Bereich von 0,5MHz bis 5MHz, z.B. 1,1MHz, liegen kann, je nach Multipol-Design. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass diese spezifischen Werte keine Einschränkung darstellen. Die Amplitude der Ausgangsspannung des RF-Generators ist im Allgemeinen variabel und wird unter Verwendung einer RF-Detektorschaltung, die die tatsächliche RF-Amplitude am Multipol misst, und einer entsprechenden Rückkopplungsregelschleife geregelt. Ausserdem ist der Ausgangsstrom des RF-Generators in der Regel sinusförmig. Im Betrieb treibt der RF-Generator einen RF-Strom durch die eine oder mehrere Primärwicklungen des Impedanztransformators.

**[0030]** Eine elektronische Multipol-Treibervorrichtung gemäss der vorliegenden Erfindung umfasst ferner eine DC-Offset-Versorgungsvorrichtung. Die DC-Offset-Versorgungsvorrichtung ist so ausgelegt, dass sie ein jeweiliges [+RF]-DC-Offset-Potential für die [+] -Stäbe jedes Multipols und ein jeweiliges [-RF]-DC-Offset-Potential für die [-] -Stäbe jedes Multipols bereitstellt. Bei einem Massenfilter-Quadrupol liegt der DC-Offset typischerweise bei etwa 1 kV, z. B. +/-1,3 kV, bei Ionenleiter-Quadrupolen typischerweise in einem Bereich von 0 bis +/- 250 V. Die Vorrichtung zur Versorgung des DC-Offsets verfügt über eine Reihe von DC-Offset-Ausgängen zur Bereitstellung der erwähnten DC-Offset-Potentiale.

**[0031]** Bei einer elektronischen Multipol-Treibervorrichtung gemäss der vorliegenden Erfindung ist jeder [+] -Stabverbindungsanschluss über eine serielle Anordnung der jeweiligen Impedanztransformator-[+RF]-Sekundärwicklung und der jeweiligen [+RF]-Resonanzteilwicklung mit einem jeweiligen zugehörigen DC-Offset-Ausgang verbunden. In ähnlicher Weise ist jeder [-] -Stabverbindungsanschluss über eine serielle Anordnung der jeweiligen Impedanztransformator-[-RF]-Sekundärwicklung und der jeweiligen Resonanzteilwicklung[-RF] mit einem jeweiligen zugehörigen DC-Offset-Ausgang verbunden.

**[0032]** Für jeden Multipol kann diese serielle Anordnung dadurch erreicht werden, dass der [+RF]-Resonanzteilwicklung-Anschluss der jeweils zugeordneten Impedanztransformator-[+RF]-Sekundärwicklung mit dem Impedanztransformator-[+RF]-Sekundärwicklungsanschluss der jeweiligen zugehörigen [+RF]-Resonanzteilwicklung verbunden wird. In ähnlicher Weise kann für jeden Multipol der [-RF]-Resonanzteilwicklung-Anschluss der jeweiligen zugehörigen Impedanztransformator-[-RF]-Sekundärwicklung mit dem Impedanztransformator-[-RF]-Sekundärwicklungsanschluss der jeweiligen zugehörigen [-RF]-Resonanzteilwicklung verbunden werden.

**[0033]** Die DC-Offset-Ausgänge sind jeweils RF-mässig mit einem Bezugspotential, insbesondere einem Masse-Potential (GND) verbunden. Zu diesem Zweck kann für DC-Offset-Ausgänge ein jeweiliger Kondensator vorgesehen werden.

**[0034]** In einer Betriebskonfiguration, in der die Multipole mit der elektronischen Multipol-Treibervorrichtung verbunden sind, bilden die Resonanzspulen, d. h. die [+RF]-Resonanzspule und die [-RF]-Resonanzspule, zusammen mit der Induktivität der Impedanztransformator-Sekundärwicklungen, d. h. der Impedanztransformator-[+RF]-Sekundärwicklungen und der Impedanztransformator-[-RF]-Sekundärwicklungen, die Induktivität eines gemeinsamen Resonanzkreises. Die Multipole bilden die Kapazität des gemeinsamen Resonanzkreises. RF-mässig wird der gemeinsame Resonanzkreis durch den RF-Generator angesteuert. In der Praxis sind die Resonanzwicklungen von grösserer Bedeutung, da sie in der Regel jeweils eine im Vergleich zu den Sekundärwicklungen des Impedanztransformators grosse Induktivität aufweisen. Die Induktivität des gemeinsamen Resonanzkreises ist näherungsweise durch die Resonanzspulen gegeben.

**[0035]** Durch die Spulen- und Wicklungsanordnung einer elektronischen Multipol-Treibervorrichtung gemäss der vorliegenden Erfindung arbeiten die eng kapazitiv gekoppelten [+RF]-Resonanzteilwicklungen bzw. [-RF]-Resonanzteilwicklungen RF-mässig jeweils als eine einzige Wicklung, deren effektiver Drahtquerschnitt den kombinierten Querschnitten aller [+RF]-Resonanzteilwicklungen bzw. [-RF]-Resonanzteilwicklungen entspricht.

**[0036]** Die elektronische Multipol-Treibervorrichtung gemäss der vorliegenden Erfindung arbeitet im Betrieb wie folgt: In einer Betriebskonfiguration ist für jeden Multipol ein leitender Pfad von der DC-Offset-Versorgungsvorrichtung über die jeweilige zugeordnete Impedanztransformator-[+RF]-Sekundärwicklung und [+RF]-Resonanzteilwicklung zu den [+] -Stäben des Multipols vorhanden. Ebenso ist für jeden Multipol ein separater leitender Pfad von der DC-Offset-Versorgungsvorrichtung über die jeweils zugeordnete Impedanztransformator-[-RF]-Sekundärwicklung und [-RF]-Resonanzteilwicklung zu den [-] -Stäben des Multipols vorhanden. Auf diese Weise können je nach Bedarf unterschiedliche Offset-Potentiale bereitgestellt werden.

**[0037]** Auf die hier beschriebene Weise können die DC-Offset-Potentiale ohne die aus dem Stand der Technik bekannte Kopplung über ein RC-Glied an den Multipolen wie erforderlich bereitgestellt werden. Über die leitenden Pfade von den DC-Offset-Ausgängen zu den Multipolen bzw. deren leitenden Stäben folgen die DC-Offset-Potentiale an den Stäben den von der DC-Offset-Versorgungsvorrichtung bereitgestellten DC-Offset-Potentialen im Wesentlichen verzögerungsfrei und mit einer Zeitkonstante im Mikrosekundenbereich, wodurch ein schnelles Umschalten zwischen verschiedenen DC-Offset-Potentialen sowohl in Aufwärts- als auch in Abwärtsrichtung ermöglicht wird. Ausserdem entfällt die Notwendigkeit, wärmeableitende Komponenten in der Vakuumkammer anzuordnen, in der die Multipole angeordnet sind.

**[0038]** Darüber hinaus kann eine elektronische Multipol-Treibervorrichtung gemäss der vorliegenden Erfindung so gestaltet werden, dass sie hohe RF-Leistungsanforderungen erfüllt. Insbesondere stellt die oben beschriebene Anordnung sicher, dass die Treiberströme für alle Multipole notwendigerweise die gleiche Frequenz haben und phasengleich sind, was eine hohe Amplitude ermöglicht. Der oben beschriebene gemeinsame Resonanzkreis hat im Allgemeinen einen Q-Faktor von >100.

**[0039]** Bei einem typischen Design von 1,1 MHz haben die Wicklungen der [+RF]-Resonanzspule und der [-RF]-Resonanzspule jeweils etwa 270µH, die zusammen mit den etwa 32pF, die von einem typischen Quadrupol als ionenoptischem Multipol erzeugt werden, schwingen.

**[0040]** Für die Primärwicklungsanordnung des Impedanztransformators können in Abhängigkeit von der geforderten Leistung und der Konstruktion des RF-Generators verschiedene Ausführungen verwendet werden. In einer Ausführung umfasst die Primärwicklungsanordnung eine einzelne Impedanztransformator-Primärwicklung, die mit dem Ausgang des RF-Generators verbunden ist, welcher einen einzelnen, typischerweise sinusförmigen RF-Treiberstrom bereitstellt. In einer

anderen Ausführung stellt der RF-Generator separat einen [+RF]-Treiberhalbwellen-Ausgangsstrom und einen [-RF]-Treiberhalbwellen-Ausgangsstrom mit 180 Grad Phasenverschiebung bereit. Der [+RF]-Treiberhalbwellen-Ausgangsstrom und der [-RF]-Treiberhalbwellen-Ausgangsstrom werden dann durch zwei entsprechende Primärwicklungen des Impedanztransformators magnetisch überlagert, und zwar durch eine [+RF-Treiber]-Primärwicklung des Impedanztransformators und eine [-RF-Treiber] Sekundärwicklung des Impedanztransformators, um im Transformator Kern einen vollsinusförmigen Magnetfluss bereitzustellen. Die Primärwicklungen des Impedanztransformators sind über den Transformator Kern induktiv miteinander und mit den Sekundärwicklungen des Impedanztransformators gekoppelt.

**[0041]** In einer Variante treibt der RF-Generator mindestens zwei Sätze von [+RF Treiber]-Primärwicklungen des Impedanztransformators und zwei Sätze von [-RF Treiber]-Primärwicklungen des Impedanztransformators.

**[0042]** In einer vorteilhaften Ausgestaltung werden ein oder mehrere RF-Treiberresonanzkondensatoren parallel zu Wicklungen der Impedanztransformator-Primärwicklungsanordnung bereitgestellt, z.B. jeweils die Impedanztransformator-[+RF-Treiber]-Primärwicklung und die Impedanztransformator-[-RF-Treiber]-Primärwicklung wie erwähnt. Auf diese Weise bilden ein RF-Treiber-Resonanzkondensator und eine Primärwicklung jeweils einen Parallelresonanzkreis. Die Resonanzfrequenz entspricht vorteilhaft der Frequenz des RF-Generators.

**[0043]** In einer Ausführungsform ist mindestens ein Multipol ein Ionenleiter-Multipol. Für jeden Ionenleiter-Multipol sind der jeweilige [+RF]-DC-Offset-Versorgungsanschluss und der jeweilige [-RF]-DC-Offset-Versorgungsanschluss gemeinsam mit einem jeweiligen zugeordneten Ionenleiter-DC-Offset-Ausgang der DC-Offset-Versorgungsvorrichtung verbunden. Im Betrieb wird ein jeweiliges gemeinsames DC-Offset-Potential des Ionenleiters am [+RF]-DC-Offset-Versorgungsanschluss und dem [-RF]-DC-Offset-Versorgungsanschluss bereitgestellt. Zwischen verschiedenen Ionenleiter-Multipolen ist das jeweilige gemeinsame DC-Offset-Potential im Allgemeinen nicht identisch, sondern individuell, insbesondere unabhängig, einstellbar. Typische Ionenleiter-Multipole sind ein Prefilter bzw. Postfilter eines Quadrupol-Massenanalysators in einem Massenspektrometer. Eine Kollisionszelle kann z. B. einen geraden Ionenleiter-Quadrupol mit einem vorausgehenden gekrümmten Ionenleiter-Quadrupol umfassen. Da das gleiche DC-Offset-Potential sowohl an dem [+RF]-DC-Offset-Versorgungsanschluss als auch an dem [-RF]-DC-Offset-Versorgungsanschluss bereitgestellt wird, müssen die Impedanztransformator-[+RF]-Sekundärwicklung und die Impedanztransformator-[-RF]-Sekundärwicklung nicht als getrennte Wicklungen ausgeführt werden, sondern können auch als eine einzige Wicklung mit einem Mittelabgriff ausgeführt werden, der sowohl als [+RF]-DC-Offset-Versorgungsanschluss als auch als [-RF]-DC-Offset-Versorgungsanschluss dient.

**[0044]** In einer Ausführungsform ist mindestens ein Multipol ein Massenfilter-Multipol. Für jeden Massenfilter-Multipol ist der jeweilige [+RF]-DC-Offset-Versorgungsanschluss mit einem jeweiligen zugeordneten Massenfilter-[+RF]-DC-Offset-Ausgang der DC-Offset-Versorgungsvorrichtung verbunden und der jeweilige [-RF]-DC-Offset-Versorgungsanschluss ist separat mit einem jeweiligen zugeordneten Massenfilter-[-RF]-DC-Offset-Ausgang der DC-Offset-Versorgungsvorrichtung verbunden. Im Betrieb wird ein jeweiliges Massenfilter-[+RF]-DC-Offset-Potential an dem [+RF]-DC-Offset-Versorgungsanschluss und ein jeweiliges Massenfilter-[-RF]-DC-Offset-Potential an dem [-RF]-DC-Offset-Versorgungsanschluss bereitgestellt.

**[0045]** In einer Ausgestaltung ist die DC-Offset-Versorgungsvorrichtung zum Verändern, insbesondere Umschalten, der DC-Offset-Potentiale ausgelegt. Da erfindungsgemäss kein RC-Glied zur Kopplung der DC-Offset-Potentiale beliebiger Multipole benötigt wird, ist ein präzises Umschalten von niedrigeren zu höheren und insbesondere von höheren zu niedrigeren DC-Offset-Potentialen präzise und schnell möglich, und zwar in einer Zeit von deutlich unter 1ms, was im Vergleich zum Stand der Technik vergleichsweise schneller ist. Vorteilhafter Weise werden die DC-Offset-Potentiale jeweils computergeneriert.

**[0046]** Bei der oben beschriebenen Konstruktion einer elektronischen Multipol-Treibervorrichtung werden die DC-Offsets über die Sekundärwicklungen eines Impedanztransformators bereitgestellt. Eine solche Konstruktion wird auch als Impedanztransformator-Offset-Vorrichtung bezeichnet. Bei einer anderen, im Folgenden beschriebenen Konstruktion werden die DC-Offsets direkt an den Resonanzspulen bzw. deren Teilwicklungen bereitgestellt. Eine solche Konstruktion wird als Resonanzspulen-Offset-Vorrichtung bezeichnet. Abgesehen von einer Reihe von Unterschieden, die im Folgenden erörtert werden, kann eine Resonanzspulen-Offset-Vorrichtung im Wesentlichen wie eine Impedanztransformator-Offset-Vorrichtung aufgebaut sein. Dies bezieht sich auch auf besondere Ausführungsformen und Ausgestaltungen, wie oben und/oder weiter unten beschrieben. Die folgenden allgemeinen Hinweise auf eine elektronische Multipol-Treibervorrichtung gelten generell für jede dieser Vorrichtungen. Aus analytischer Sicht sind eine Impedanztransformator-Offset-Vorrichtung und eine Resonanzspulen-Offset-Vorrichtung hinsichtlich ihrer Eigenschaften im Grunde identisch. Aus praktischer Sicht ist die Impedanztransformator-Offset-Vorrichtung jedoch im Allgemeinen vorteilhafter, insbesondere im Hinblick auf den Formfaktor. Ausserdem bietet sie zusätzliche Parameter und Freiheitsgrade für die Abstimmung des Resonanzkreises und die Symmetrieanpassung nach Bedarf.

**[0047]** Der Aufbau einer Resonanzspulen-Offset-Vorrichtung als elektronische Multipol-Treibervorrichtung zur Verwendung in einem Massenspektrometer ist wie folgt. Die elektronische Multipol-Treibervorrichtung ist so ausgelegt, dass sie mehrere ionenoptische Multipole, wobei die ionenoptischen Multipole insbesondere Quadrupole sind, über einen RF-Generator und mit unterschiedlichen DC-Offsets treibt. Wie oben beschrieben, umfasst jeder Multipol einen Satz leitender [+] -Stäbe, die mit einem [+] -Stabanschluss verbunden sind, und einen entsprechenden Satz leitender [-] -Stäbe, die mit einem [-] -Stabanschluss verbunden sind.

**[0048]** Die elektronische Multipol-Treibervorrichtung umfasst eine [+RF]-Resonanzspule mit einer [+RF]-Resonanzwicklung und eine [-RF]-Resonanzspule mit einer [-RF]-Resonanzwicklung. Bei dieser Bauart sind die [+RF]-Resonanzwicklung und die [-RF]-Resonanzwicklung koaxial um einen RF-Resonanzspulenkörper angeordnet und in der Regel von einem leitenden Spulengehäuse bezüglich ihres Umfangs umschlossen. Die [+RF]-Resonanzwicklung und die [-RF]-Resonanzwicklung bilden zusammen mit dem Resonanzspulenkörper eine RF-Resonanzspulenanordnung.

**[0049]** Die [+RF]-Resonanzwicklung umfasst für jeden Multipol eine jeweilige [+RF]-Resonanzteilwicklung und die [-RF]-Resonanzwicklung umfasst für jeden Multipol eine jeweilige [-RF]-Resonanzteilwicklung. Die [+RF]-Resonanzteilwicklungen sind gegenseitig galvanisch isoliert und kapazitiv eng gekoppelt. Ebenso sind die [-RF]-Resonanzteilwicklungen gegenseitig galvanisch isoliert und kapazitiv eng gekoppelt.

**[0050]** Jede [+RF]-Resonanzteilwicklung hat einen jeweiligen [+] -Stabverbindungsanschluss, der so ausgelegt ist, dass er leitend mit dem [+] -Stabanschluss des jeweiligen zugeordneten Multipols verbunden werden kann. In ähnlicher Weise hat jede [-RF]-Resonanzteilwicklung einen jeweiligen [-] -Stabverbindungsanschluss, der so ausgelegt ist, dass er leitend mit dem [-] -Stabanschluss des jeweiligen zugeordneten Multipols verbunden werden kann. Für jede [+RF]-Resonanzteilwicklung wird der dem [+] -Stabverbindungsanschluss gegenüberliegenden Anschluss als [+RF]-DC-Offset-Versorgungsanschluss bezeichnet. Entsprechend wird für jede [-RF]-Resonanzteilwicklung der Anschluss, die dem [-] -Stabverbindungsanschluss gegenüberliegt, als [-RF]-DC-Offset-Versorgungsanschluss bezeichnet.

**[0051]** Die Resonanzspulen-Offset-Vorrichtung umfasst ausserdem einen RF-Generator. Der RF-Generator ist induktiv mit der [+RF]-Resonanzspule und der [-RF]-Resonanzspule gekoppelt. Zu diesem Zweck kann eine Erregerwicklungsanordnung mit z. B. einer einzigen Erregerwicklung bereitgestellt werden. Die Erregerwicklungsanordnung kann direkt oder gegebenenfalls über einen Impedanztransformator mit dem RF-Generator verbunden sein.

**[0052]** Die Resonanzspulen-Offset-Vorrichtung umfasst ausserdem eine DC-Offset-Versorgungsvorrichtung. Die DC-Offset-Versorgungsvorrichtung ist dazu ausgelegt, um jeweiliges [+RF]-DC-Offset-Potential für die [+] -Stäbe jedes Multipols und ein jeweiliges [-RF]-DC-Offset-Potential für die [-] -Stäbe jedes Multipols bereitzustellen. Zu diesem Zweck verfügt die DC-Offset-Versorgungsvorrichtung über mehrere DC-Offset-Ausgänge.

**[0053]** Jeder [+] -Stabverbindungsanschluss ist über die jeweilige [+RF]-Resonanzteilwicklung mit einem zugehörigen DC-Offset-Ausgang verbunden. Ebenso ist jeder [-] -Stabverbindungsanschluss über die jeweilige [-RF]-Resonanzteilwicklung mit einem zugehörigen DC-Offset-Ausgang verbunden. Die DC-Offset-Ausgänge sind jeweils RF-mässig mit einem Bezugspotential, insbesondere einem Masse-Potential (GND), verbunden.

**[0054]** Auf dem RF-Resonanzspulenkörper können die [+RF]-Resonanzwicklung und die [-RF]-Resonanzwicklung hintereinander entlang der Länge des RF-Resonanzspulenkörpers angeordnet sein. Die Erregerwicklungsanordnung, beispielsweise eine einzelne Erregerwicklung wie erwähnt, kann koaxial mit und zwischen der [+RF]-Resonanzwicklung und der [-RF]-Resonanzwicklung angeordnet sein, vorzugsweise symmetrisch. Über die koaxiale Anordnung und das Spulengehäuse sind die [+RF]-Resonanzwicklung und die [-RF]-Resonanzwicklung, jeweils mit ihren jeweiligen Teilwicklungen, sowie die Erregerwicklungsanordnung induktiv dicht gekoppelt.

**[0055]** Der Betrieb der Resonanzspulen-Offset-Vorrichtung ähnelt im Allgemeinen dem der Vorrichtung mit Impedanztransformator, wie zuvor beschrieben. In einer Betriebskonfiguration, in der die Multipole mit der elektronischen Multipol-Treibervorrichtung verbunden sind, bilden die Resonanzspulen, d. h. die [+RF]-Resonanzspule und die [-RF]-Resonanzspule, die Induktivität eines gemeinsamen Resonanzkreises. Die Multipole bilden die Kapazität des gemeinsamen Resonanzkreises. RF-mässig wird der gemeinsame Resonanzkreis durch den RF-Generator getrieben.

**[0056]** Wie bei der Vorrichtung mit getrennte Resonanzspulen ist für jeden Multipol ein leitender Pfad von der DC-Offset-Versorgungsvorrichtung über die jeweilige [+RF]-Resonanzteilwicklung zu den [+] -Stäben des Multipols vorhanden. Ebenso ist für jeden Multipol ein separater leitender Pfad von der DC-Offset-Versorgungsvorrichtung über die jeweilige [-RF]-Resonanzteilwicklung zu den [-] -Stäben des Multipols vorhanden. Bei dieser Konstruktion ist die DC-Offset-Versorgungsvorrichtung bzw. deren DC-Offset-Ausgänge direkt mit den [+RF]-Resonanzteilwicklungen und [-RF]-Resonanzteilwicklungen verbunden und nicht wie bei der Impedanztransformator-Offset-Vorrichtung über die Sekundärwicklungen des Impedanztransformators.

**[0057]** Hinsichtlich der meisten Gesichtspunkte kann eine Resonanzspulen-Offset-Vorrichtung auf die gleiche Weise ausgebildet sein wie eine Impedanztransformator-Offset-Vorrichtung. Dies gilt insbesondere für die Konstruktion der [+RF]-Resonanzwicklung und der [-RF]-Resonanzwicklung, der Vorrichtung für die DC-Offsetversorgung und des RF-Generators.

**[0058]** Weiter betrifft die vorliegende Offenbarung ein als solches nicht beanspruchtes Massenspektrometer. Das Massenspektrometer umfasst mindestens eine ionenoptische Anordnung. Die ionenoptische Anordnung umfasst eine Vakuumkammer. Die Vakuumkammer ist zum Aufrechterhalten eines Vakuums, insbesondere eines Ultrahochvakuums, in einem Vakuumkammerraum ausgelegt. Die ionenoptische Anordnung umfasst ferner eine Anzahl von ionenoptischen Multipolen, wobei jeder Multipol einen Satz von leitenden Stäben umfasst. Die ionenoptische Anordnung umfasst ferner eine elektronische Multipol-Treibervorrichtung gemäss der vorliegenden Offenbarung.

**[0059]** Die Multipole des Massenspektrometers sind jeweils innerhalb des Vakuumkammerraums, wie oben beschrieben, angeordnet und die elektronische Multipol-Treibervorrichtung ist ausserhalb des Vakuumkammerraums, im Allgemeinen unter Umgebungsdruck, angeordnet. Jeder Multipol ist über eine jeweilige Vakuumdurchführung mit den Multipol-Verbindungsanschlüssen des jeweils zugeordneten Resonanzwicklungs-paares verbunden, wobei sich die Vakuumdurchführung durch eine Vakuumkammerwand hindurch erstreckt. Die Anordnung der leitenden Stäbe in einer [+] -Gruppe mit [+] -Stäben und einer [-] -Gruppe mit [-] -Stäben für jeden Multipol erfolgt wie oben beschrieben.

**[0060]** Mehrere Vakuumdurchführungen können zu einer mehrpoligen Durchführungsanordnung kombiniert werden. Elektrisch sind die einzelnen Vakuumdurchführungen jedoch getrennt und jede Vakuumdurchführung stellt eine separate galvanische Verbindung zwischen der Umgebungsdruckseite und der Vakuumseite bereit.

**[0061]** In einer Ausgestaltung sind innerhalb des Vakuumkammerraums keine oder im Wesentlichen keine Komponenten angeordnet, die im Betrieb Wärme abgeben. In einer Ausführung nach dem Stand der Technik sind solche wärmeabgebenden Komponenten die Komponenten des RC-Netzwerks für die DC-Offset-Kopplung. Wie bereits erwähnt, ist ein solches RC-Netzwerk für eine Ausgestaltung mit einer erfindungsgemässen elektronischen Multipol-Treibervorrichtung nicht erforderlich.

**[0062]** In einer Ausgestaltung umfasst die Anzahl der Multipole einen Massenfilter-Quadrupol, einen dem Massenfilter-Quadrupol zugeordneten Prefilter-Quadrupol und einen dem Massenfilter-Quadrupol zugeordneten Postfilter-Quadrupol, wobei der Prefilter-Quadrupol und der Postfilter-Quadrupol jeweils Ionenleiter-Multipole sind und der Massenfilter-Quadrupol ein Massenfilter-Multipol ist. Der Massenfilter-Quadrupol bildet zusammen mit dem Prefilter-Quadrupol und dem Postfilter-Quadrupol einen Massenanalysator, wobei die Anordnung von Prefilter-Quadrupol, Massenfilter-Quadrupol und Postfilter-Quadrupol in der Technik allgemein bekannt ist.

**[0063]** In einem anderen Design umfasst das Massenspektrometer eine ionenoptische Anordnung mit einer Kollisionszelle und einem zugehörigen gebogenen Ionenleiter. Bei dem gebogenen Ionenleiter und der Kollisionszelle kann es sich jeweils um Ionenleiter-Multipole handeln.

**[0064]** In einem anderen Design umfasst das Massenspektrometer zwei ionenoptische Anordnungen, von denen eine einen Massenanalysator und eine Kollisionszelle mit einem zugeordneten gebogenen Ionenleiter umfasst.

**[0065]** In einem weiteren Aspekt betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum parallelen Treiben einer Anzahl von ionenoptischen Multipolen, insbesondere von ionenoptischen Multipolen eines Massenspektrometers. Bei den ionenoptischen Multipolen kann es sich insbesondere um Quadrupole handeln. Das Verfahren umfasst die Ansteuerung der Multipole über einen RF-Generator und mit unterschiedlichen DC-Offsets. Jeder Multipol umfasst einen Satz von leitenden [+] -Stäben und einen entsprechenden Satz von leitenden [-] -Stäben.

**[0066]** Das Verfahren umfasst das Bereitstellen eines jeweiligen DC-Offset-Potentials für jeden Satz von leitenden [+] -Stäben und leitenden [-] -Stäben über einen jeweils separaten leitenden Pfad. Die DC-Offset-Potentiale sind im Allgemeinen für alle Multipole unterschiedlich und können darüber hinaus für die [+] -Stäbe und die [-] -Stäbe eines Multipols unterschiedlich sein.

**[0067]** Das Verfahren umfasst ferner das Bereitstellen eines jeweiligen [+RF]-Treiberstroms für alle Sätze von leitenden [+] -Stäben und eines jeweiligen [-RF]-Treiberstroms für alle Sätze von leitenden [-] -Stäben. Die [+RF]-Treiberströme sind jeweils phasengleich und die [-RF]-Treiberströme sind jeweils phasengleich, und die [+RF] Treiberströme sind gegenüber den [-RF]-Treiberströmen um 180° phasenverschoben.

**[0068]** Nach dem Verfahren sind eine [+RF]-Resonanzwicklung und eine [-RF]-Resonanzwicklung vorgesehen. Die [+RF]-Resonanzwicklung umfasst für jeden Multipol eine jeweilige [+RF]-Resonanzteilwicklung und die [-RF]-Resonanzwicklung umfasst für jeden Multipol eine jeweilige [-RF]-Resonanzteilwicklung. Die [+RF]-Resonanzteilwicklungen sind jeweils gegenseitig galvanisch isoliert und kapazitiv eng gekoppelt. Ebenso sind die [-RF]-Resonanzteilwicklungen jeweils gegenseitig galvanisch isoliert und kapazitiv eng gekoppelt.

**[0069]** Ein RF-Generator ist induktiv mit den [+RF]-Resonanzteilwicklungen und den [-RF]-Resonanzteilwicklungen gekoppelt. Die Multipole bilden in Kombination die Kapazität eines gemeinsamen Resonanzkreises, und die [+RF]-Resonanzwicklung und die [-RF]-Resonanzwicklung bilden in Kombination zumindest teilweise die Induktivität des gemeinsamen Resonanzkreises.

**[0070]** Das Verfahren kann zum Beispiel unter Verwendung einer elektronischen Multipol-Treibervorrichtung gemäss der vorliegenden Erfindung durchgeführt werden. Bei der elektronischen Multipol-Treibervorrichtung, die eine Resonanzspulen-Offset-Vorrichtung ist, bilden die [+RF]-Resonanzwicklung und die [-RF]-Resonanzwicklung die Induktivität des gemeinsamen Resonanzkreises. Bei der elektronischen Multipol-Treibervorrichtung, bei der es sich um eine Impedanztransformator-Offset-Vorrichtung handelt, wird die Induktivität des gemeinsamen Resonanzkreises durch die [+RF]-Resonanzwicklung und die [-RF]-Resonanzwicklung in Kombination mit den Sekundärwicklungen des Impedanztransformators gebildet, wie zuvor beschrieben.

## KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0071] Die hier beschriebene Erfindung wird aus der nachstehenden detaillierten Beschreibung und den beigefügten Zeichnungen, die nicht als Einschränkung der in den beigefügten Ansprüchen beschriebenen Erfindung anzusehen sind, besser verstanden. Die Zeichnungen zeigen:

- Fig. 1 ein Schaltbild der Hauptelemente einer elektronischen Multipol-Treibervorrichtung gemäss der vorliegenden Erfindung zusammen mit den damit verbundenen ionenoptischen Multipolen;
- Fig. 2 ein Schaltbild der Hauptelemente einer weiteren Ausgestaltung einer elektronischen Multipol-Treibervorrichtung zusammen mit den damit verbundenen ionenoptischen Multipolen;
- Fig. 3 ein Blockdiagramm eines RF-Generators einer elektronischen Multipol-Treibervorrichtung gemäss der vorliegenden Erfindung;
- Fig. 4 ein Blockdiagramm einer DC-Offset-Versorgungsvorrichtung einer elektronischen Multipol-Treibervorrichtung gemäss der vorliegenden Erfindung;
- Fig. 5 Resonanzspulen einer elektronischen Multipol-Treibervorrichtung gemäss Fig. 1 in einer perspektivischen Ansicht;
- Fig. 6 Resonanzspulen und Impedanztransformator einer elektronischen Multipol-Treibervorrichtung gemäss Fig. 1 in einer weiteren perspektivischen Ansicht;
- Fig. 7 eine Vakuumdurchführungseinheit, die zusammen mit einer erfindungsgemässen elektronischen Multipol-Treibervorrichtung verwendet werden kann, in einer perspektivischen Ansicht;
- Fig. 8 Teil eines Massenspektrometers in einer perspektivischen Ansicht.

## BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSFORMEN UND AUSGESTALTUNGEN

[0072] Im Folgenden wird im Detail auf bestimmte Ausführungsformen und Ausgestaltungen-Bezug genommen, von denen Beispiele in den beigefügten Zeichnungen dargestellt sind, in denen einige, aber nicht alle Merkmale gezeigt werden. Tatsächlich können die hier offengelegten Ausführungsformen in vielen verschiedenen Formen ausgeführt werden und sollten nicht so ausgelegt werden, dass sie auf die hier dargelegten Ausführungsformen beschränkt sind; vielmehr werden diese Ausführungsformen bereitgestellt, damit diese Offenlegung die geltenden rechtlichen Anforderungen erfüllt. Wann immer möglich, werden gleiche Referenznummern verwendet, um auf gleiche Komponenten oder Teile zu verweisen.

[0073] Im Folgenden wird zunächst auf **Figur 1** Bezug genommen, die ein Schaltbild einer ersten Ausführungsform einer elektronischen Multipol-Treibervorrichtung gemäss der vorliegenden Erfindung zusammen mit den damit verbundenen ionenoptischen Multipolen zeigt. In dem gezeigten Beispiel sind drei ionenoptische Multipole vorhanden, nämlich ein Massenfilter-Quadrupol 2B und ein ihm zugeordnetes Prefilter-Quadrupol 2A und ein Postfilter-Quadrupol 2C in einer Anordnung, wie sie allgemein aus der Technik bekannt ist. Die elektronische Multipol-Treibervorrichtung 1 ist in der gezeigten Ausführungsform eine Impedanztransformator-Offset-Vorrichtung.

[0074] Die elektronische Multipol-Treibervorrichtung 1 verfügt über einen Impedanztransformator 13, der beispielhaft als Ringkerntransformator mit einem ringförmigen Transformator Kern 134 ausgeführt sein kann. Der Impedanztransformator 13 weist eine Impedanztransformator-Primärwicklungsanordnung 133 mit beispielhaft zwei primären RF-Erregerwicklungen auf, nämlich einer Impedanztransformator-[+RF-Treiber]-Primärwicklung 1331 und einer Impedanztransformator-[-RF-Treiber]-Primärwicklung 1332, die jeweils mit dem RF-Generator wirkverbunden, insbesondere leitend verbunden sind. Insbesondere sind die Anschlüsse der Impedanztransformator-[+RF-Treiber]-Primärwicklung 1331 mit einem [+RF-Treiber]-Stromgeneratortausgang 151 und die Anschlüsse der Impedanztransformator-[-RF-Treiber]-Primärwicklung 1332 mit einem [-RF-Treiber]-Stromgeneratortausgang 152 des RF-Generators verbunden. Im Betrieb stellt der RF-Generator am [+RF-Treiber]-Stromgeneratortausgang 151 und am [-RF-Treiber]-Stromgeneratortausgang 152 sinusförmige RF-Ausgangsströme bereit, die die gleiche Amplitude und Frequenz haben, aber um 180 Grad zueinander phasenverschoben sind. Die Impedanztransformator-Primärwicklungen 1331, 1332 sind baugleich ausgeführt und weisen insbesondere eine jeweils identische Windungszahl auf. Wie weiter unten erläutert, haben sie in dieser Ausführung jeweils einen entgegengesetzten Wicklungssinn.

[0075] Es ist zu beachten, dass auch andere Anordnungen verwendet werden können. Beispielsweise kann die Impedanztransformator-Primärwicklungsanordnung 133 eine einzige Impedanztransformator-RF-Erregerwicklung aufweisen. In einer weiteren Variante können zwei oder mehr separate Impedanztransformator-[+RF-Treiber]-Primärwicklungen und Impedanztransformator-[-RF-Treiber]-Primärwicklungen vorgesehen werden, die parallel betrieben werden.

[0076] Der Impedanztransformator 13 umfasst ferner eine Impedanztransformator-Sekundärwicklungsanordnung mit in dieser Ausführung drei Impedanztransformator-[+RF]-Sekundärwicklungen 131A, 131B, 131C und drei Impedanztransformator-[-RF]-Sekundärwicklungen 132A, 132B; 132C. Die Impedanztransformator-[+RF]-Sekundärwicklung 131A

und die Impedanztransformator-[-RF]-Sekundärwicklung 132A bilden zusammen ein Impedanztransformator-Sekundärwicklungspaar, das dem Prefilter-Quadrupol 2A zugeordnet ist. In ähnlicher Weise bilden die Impedanztransformator-[+RF]-Sekundärwicklung 131B und die Impedanztransformator-[-RF]-Sekundärwicklung 132B zusammen ein Impedanztransformator-Sekundärwicklungspaar, das dem Massenfilter-Quadrupol 2B zugeordnet ist. Die Impedanztransformator-[+RF]-Sekundärwicklung 131C und die Impedanztransformator-[-RF]-Sekundärwicklung 132C bilden zusammen ein Impedanztransformator-Sekundärwicklungspaar, das dem Postfilter-Quadrupol 2C zugeordnet ist.

**[0077]** Ferner umfasst die elektronische Multipol-Treibervorrichtung 1 eine [+RF]-Resonanzspule 11 und eine davon strukturell separate [-RF]-Resonanzspule 12. Die [+RF]-Resonanzspule 11 hat drei [+RF]-Resonanzteilwicklungen 111A, 111B, 111C, und die [-RF]-Resonanzspule hat drei [-RF]-Resonanzteilwicklungen 121A, 121B, 121C. Die [+RF]-Resonanzteilwicklung 111A und die [-RF]-Resonanzteilwicklung 121A bilden zusammen ein RF-Resonanzwicklungspaar, das dem Quadrupol 2A zugeordnet ist. Die [+RF]-Resonanzteilwicklung 111B und die [-RF]-Resonanzteilwicklung 121B bilden zusammen ein RF-Resonanzwicklungspaar, das dem Massenfilter-Quadrupol 2B zugeordnet ist. Die [+RF]-Resonanzteilwicklung 111C und die [-RF]-Resonanzteilwicklung 121C bilden zusammen ein RF-Resonanzwicklungspaar, das dem Postfilterquadrupol 2C zugeordnet ist. Die [+RF]-Resonanzwicklung mit den [+RF]-Resonanzteilwicklungen 111A, 111B, 111C und die [-RF]-Resonanzwicklung mit den [-RF]-Resonanzteilwicklungen 121A, 121B, 121C sind jeweils aus Drahtlitzen hergestellt, wie oben in der allgemeinen Beschreibung beschrieben, um eine enge kapazitive Kopplung zu gewährleisten. Zwischen der Wicklung der [+RF]-Resonanzspule 11 und der Wicklung der [-RF]-Resonanzspule 12 ist jedoch keine solche kapazitive Kopplung vorhanden.

**[0078]** Ein jeweiliger [+] -Stabverbindungsanschluss 1111A, 1111B, 1111 C jeder [-RF]-Resonanzteilwicklung 111A, 111B, 111C ist leitend mit den jeweils zwei [-]-Stäben 21A, 21B, 21C des jeweils zugeordneten Quadrupols 2A, 2B, 2C verbunden. Gleiches gilt in analoger Weise für die [-] -Stabverbindungsanschlüsse 1211A, 1211B, 1211C der [-RF]-Resonanzteilwicklung 121A, 121B, 121C und die jeweils zwei [-]-Stäben 22A, 22B, 22C des jeweils zugeordneten Quadrupols 2A, 2B, 2C. Es wird darauf hingewiesen, dass die leitende Verbindung zwischen RF-Resonanzwicklungen und Quadrupol-Stäben im Allgemeinen über eine jeweilige Vakuumdurchführung erfolgt (in **Figur 1** nicht dargestellt, siehe **Figuren 7, 8**).

**[0079]** Die Stabverbindungsanschlüsse der RF-Resonanzteilwicklungen sind jeweils auf der gleichen Seite, bzw. die Wicklungsrichtung ist bei allen [+RF]-Resonanzteilwicklungen 111A, 111B, 111C bzw. allen [-RF]-Resonanzteilwicklungen 121A, 121B, 121C jeweils identisch.

**[0080]** Der andere Wicklungsanschluss jeder [+RF]-Resonanzteilwicklung 111A, 111B, 111C ist ein jeweiliger Impedanztransformator-[+RF]-Sekundärwicklungsanschluss (nicht referenziert) und ist jeweils leitend mit einem jeweiligen [+RF]-Resonanzteilwicklungsanschluss 1311A, 1311B, 1311C der jeweiligen zugehörigen Impedanztransformator-[+RF]-Sekundärwicklung 131A, 131B, 131C verbunden. Der andere Wicklungsanschluss jeder [-RF]-Resonanzteilwicklung 121A, 121B, 121C ist ein jeweiliger Impedanztransformator-[-RF]-Sekundärwicklungsanschluss (nicht referenziert) und ist jeweils leitend mit einer jeweiligen [-RF]-Resonanzteilwicklungsanschluss 1321A, 1321B, 1321C der jeweiligen zugehörigen Impedanztransformator-[-RF]-Sekundärwicklung 132A, 132B, 132C verbunden. Jede [+RF]-Resonanzteilwicklung bzw. [-RF]-Resonanzteilwicklung ist demnach mit der jeweils zugeordneten Impedanztransformator-[+RF]-Sekundärwicklung bzw. Impedanztransformator-[-RF]-Sekundärwicklung in Reihe geschaltet.

**[0081]** Entlang eines Umfangs des ringförmigen Transformator-kerns 134 (entsprechend der Richtung des magnetischen Flusses) sind die [+RF]-Resonanzteilwicklungsanschlüsse und die [-RF]-Resonanzteilwicklungsanschlüsse jeder Sekundärwicklung (131A, 132A), (131B, 132B), (131C, 132C) des Impedanztransformators gegenüberliegende Wicklungsanschlüsse.

**[0082]** Die Anschlüsse 1312A, 1312B, 1312C der Impedanztransformator-[+RF]-Sekundärwicklungen 131A, 131B, 131C sowie die Anschlüsse 1321A, 1321B, 1321C der Impedanztransformator-[-RF]-Sekundärwicklungen 132A, 132B, 132C, d.h. die Anschlüsse, die keine Resonanzteilwicklungsanschlüsse sind, dienen als DC-Offset-Versorgungsanschlüsse.

**[0083]** Für jedes Impedanztransformator-Sekundärwicklungspaar (131A, 132A), (131B, 132B), (131C, 132C) sind die DC-Offset-Versorgungsanschlüsse die Anschlüsse der jeweiligen Impedanztransformator-[+RF]-Sekundärwicklung und der jeweiligen Impedanztransformator-[-RF]-Sekundärwicklung, die entlang des Transformator-kerns bzw. der Richtung des magnetischen Flusses nebeneinander liegen. Die DC-Offset-Versorgungsanschlüsse 1312A, 1312B, 1312C sind jeweils eine [+RF]-DC-Offset-Versorgungsanschlüsse und die DC-Offset-Versorgungsanschlüsse 1322A, 1322B, 1322C sind jeweils eine [-RF]-DC-Offset-Versorgungsanschlüsse.

**[0084]** Aus **Figur 1** ist ersichtlich, dass von jedem [+RF]-DC-Offsets-Versorgungsanschluss ein leitender Pfad über die jeweilige Impedanztransformator-[+RF]-Sekundärwicklung und [+RF]-Resonanzteilwicklung zu den [+] -Stäben des jeweiligen zugeordneten Multipols besteht. Ebenso besteht von jedem [-RF]-DC-Offset-Versorgungsanschluss ein leitender Pfad über die jeweilige Impedanztransformator-[-RF]-Sekundärwicklung und die [-RF]-Resonanzteilwicklung zu den [-] -Stäben des jeweiligen zugeordneten Multipols. Folglich liegt an den jeweiligen Stäben wie erwähnt auch ein DC-Offset-Potential vor. Auf diese Weise können DC-Offset-Potentiale an mehreren Multipolen generell unabhängig voneinander und ohne RC-Netzwerk bereitgestellt werden.

**[0085]** Beim Massenfilter-Quadrupol 2B liegen seine [+] -Stäbe 21 B auf einem anderen Potential als seine [-] -Stäbe 22B, wie allgemein bekannt. Daher ist der zugeordnete [+RF]-DC-Offset-Versorgungsanschluss 1312B mit einem

Massenfilter-[+RF]-DC-Offset-Ausgang 141B einer DC-Offset-Versorgungsvorrichtung verbunden und der [-RF]-DC-Offset-Versorgungsanschluss 1322B ist separat mit einem Massenfilter-[-RF]-DC-Offset-Ausgang 142B der DC-Offset-Versorgungsvorrichtung 14 verbunden (siehe **Figur 4**). Die DC-Offset-Versorgungsvorrichtung 14 stellt an jedem der Massenfilter-DC-Offset-Ausgänge 141B, 142B ein jeweiliges DC-Offset-Potential bereit, das im Allgemeinen symmetrisch zu einem gemeinsamen Bezugspotential bzw. Erdpotential ist.

**[0086]** Der Prefilter-Quadrupol 2A und der Postfilter-Quadrupol 2C sind jeweils ein Ionenleiter-Multipol. Folglich werden die [+] -Stäbe 21A auf demselben DC-Offset-Potential gehalten wie die [-] -Stäbe 22A, und die [+] -Stäbe 21C werden auf demselben DC-Offset-Potential gehalten wie die [-] -Stäbe 22C. Daher sind der [+RF]-DC-Offset-Versorgungsanschluss 1312A und der [-RF]-DC-Offset-Versorgungsanschluss 1322A gemeinsam mit einem zugeordneten Ionenleiter-DC-Offset-Ausgang 143A der DC-Offset-Versorgungsvorrichtung 14 verbunden. In ähnlicher Weise sind der [+RF]-DC-Offset-Versorgungsanschluss 1312C und der [-RF]-DC-Offset-Versorgungsanschluss 1322C zusammen mit einem zugeordneten Ionenleiter-DC-Offset-Ausgang 143C der DC-Offset-Versorgungsvorrichtung 14 verbunden.

**[0087]** Es wird darauf hingewiesen, dass bei Ionenleiter-Multipolen die Wicklungen des jeweiligen Impedanztransformator-Sekundärwicklungspaares, d.h. in **Figur 1** die Impedanztransformator-[+RF]-Sekundärwicklung 131A und die Impedanztransformator-[-RF]-Sekundärwicklung 132A sowie die Impedanztransformator-[+RF]-Sekundärwicklung 131C und die [-RF]-Sekundärwicklung 132C, jeweils auch integral als gemeinsame Impedanztransformator-Sekundärwicklung mit Mittelanzapfung zur Bereitstellung des jeweiligen gemeinsamen DC-Offset-Potentials realisiert werden können.

**[0088]** Im Folgenden wird zusätzlich auf **Figur 2** Bezug genommen, die ein Schaltbild einer alternativen Ausgestaltung einer elektronischen Multipol-Treibervorrichtung zusammen mit daran verbundenen ionenoptischen Multipolen, ähnlich wie in **Figur 1**, zeigt. Bei der elektronischen Multipol-Treibervorrichtung 1' in **Figur 2** handelt es sich um eine Resonanzspulen-Offset-Vorrichtung. Da die Resonanzspulen-Offset-Vorrichtung 1' in einer Reihe von Gesichtspunkten der Multipol-Treibervorrichtung der **Figur 1** entspricht, konzentriert sich die folgende Beschreibung hauptsächlich auf die Unterschiede.

**[0089]** In der **Figur 2** sind die [+RF]-Resonanzteilwicklungen 111A, 111B, 111C und die [-RF]-Resonanzteilwicklungen 121A, 121B, 121C jeweils um eine gemeinsame RF-Resonanzspulenkörper gewickelt und bilden so eine RF-Resonanzspulenordnung 11-12. Die [+RF]-Resonanzteilwicklungen 111A, 111B, 111C sind untereinander kapazitiv gekoppelt und aus Drahtlitzten hergestellt, wie oben beschrieben. Dasselbe gilt in analoger Weise für die [-RF]-Resonanzteilwicklungen 121A, 121B, 121C.

**[0090]** Bezogen auf eine Längsmittlinie des RF-Resonanzspulenkörpers erstrecken sich die [+RF]-Resonanzteilwicklungen 111A, 111B, 111C vorteilhaft zu einer Seite und die [-RF]-Resonanzteilwicklungen 121A, 121B, 121C zu der anderen Seite.

**[0091]** In der Ausführung der **Figur 2** werden daher die DC-Offset-Potentiale jeweils an den inneren Wicklungsanschlüssen als DC-Offset-Versorgungsanschlüsse (in **Figur 2** nicht referenziert) der [+RF]-Resonanzteilwicklungen 111A, 111B, 111C bzw. [-RF]-Resonanzteilwicklungen 121A, 121B, 121C bereitgestellt.

**[0092]** Für die RF-Anregung ist eine Erregerwicklung 131a vorgesehen, die koaxial zu der [+RF]-Resonanzwicklung und der [-RF]-Resonanzwicklung angeordnet ist. Die Erregerwicklung 131a ist vorteilhaft mittig zur Längserstreckung der RF-Resonanzspulenordnung 11-12 angeordnet und weist typischerweise nur eine geringe Anzahl von Windungen auf. Die Erregerwicklung 131a ist mit einem RF-Generator verbunden (in **Figur 2** nicht dargestellt).

**[0093]** **Figur 3** zeigt schematisch einen beispielhaften Aufbau eines RF-Generators 15. Der RF-Generator 15 ist in diesem Beispiel so ausgelegt, dass er zwei getrennte sinusförmige RF-Treibersignale mit identischer Frequenz und Amplitude, aber mit einer Phasenverschiebung von 180 Grad zueinander erzeugt. An den [+RF-Treiber]-Stromgeneratorausgängen 151 und [-RF-Treiber]-Stromgeneratorausgängen 152 wird jeweils nur die positive Halbwelle bereitgestellt, während die jeweils negative Halbwelle unterdrückt wird (siehe Diagramme an der rechten Seite von **Figur 3**). Weiterhin haben in der gezeigten Ausführung die Impedanztransformator-[+RF-Treiber]-Primärwicklung 1331 und Impedanztransformator-[-RF-Treiber]-Primärwicklung 1332 einen zueinander entgegengesetzten Wicklungssinn. Der resultierende magnetische Fluss im Transformator Kern 134 ist dementsprechend vollsinusförmig mit positiven und negativen Halbwellen. Es können auch andere Anordnungen verwendet werden.

**[0094]** Ferner ist zwischen den [+RF-Treiber]-Stromgeneratorausgängen 151 und den [-RF-Treiber]-Stromgeneratorausgängen 152 jeweils ein RF-Treiber-Resonanzkondensator C' bereitgestellt, so dass jeder [+RF-Treiber]-Resonanzkondensator C' zusammen mit der entsprechenden [+RF-Treiber]-Primärwicklung 1331 bzw. [-RF-Treiber]-Primärwicklung 1332 einen jeweiligen Parallelschwingkreis bildet.

**[0095]** Der RF-Generator ist so konzipiert, dass er RF-Ausgangssignale mit hoher Stabilität bereitstellt, im Allgemeinen im niedrigen PPM (Parts Per Million)-Bereich.

**[0096]** **Figur 4** zeigt schematisch einen beispielhaften Aufbau einer DC-Offset-Versorgungsvorrichtung 14. Wie oben erläutert, ist die DC-Offset-Versorgungsvorrichtung so ausgelegt, dass sie ein jeweiliges und individuell einstellbares gemeinsames DC-Offset-Potential an jedem der DC-Offset-Ausgänge 143A, 143C des Ionenleiters bereitstellt. Ferner ist die DC-Offset-Versorgungsvorrichtung 14 so ausgelegt, dass sie ein DC-Offset-Potential des Massenfilters [+RF] am DC-Offset-Ausgang 141B und ein DC-Offset-Potential des Massenfilters [-RF] am Ausgang 142B bereitstellt, die in Bezug auf das Erdpotential GND als Bezugspotential symmetrisch sind.

[0097] Ferner ist jeder der Ionenleiter-DC-Offset-Ausgänge 143A, 143C sowie der Massenfilter-[+RF]-DC-Offset-Ausgang 141B und der Massenfilter-[-RF]-DC-Offset-Ausgang 142B des Massenfilters RF-mässig über einen jeweiligen RF-Erdverbindungskondensator C mit dem Masse-Potential GND verbunden.

[0098] **Figur 5** zeigt eine beispielhafte Anordnung der [+RF]-Resonanzspule 11 und der [-RF]-Resonanzspule 12 einer elektronischen Multipol-Treibervorrichtung 1 gemäss **Figur 1**. Die [+RF]-Resonanzspule 11 und die [-RF]-Resonanzspule 12 sind nebeneinander angeordnet und zwischen zwei parallelen Leiterplatten 3a, 3b angeordnet. Es ist zu beachten, dass von der [+RF]-Resonanzspulenkörper 112 und der [-RF]-Resonanzspulenkörper 122 nur ein jeweiliger Endabschnitt neben der Leiterplatte 3a sichtbar ist.

[0099] In der gezeigten Ausführung sind auf der Leiterplatte 3b ein [+RF]-Vakuumdurchführungsstecker 161 und ein [-RF]-Vakuumdurchführungsstecker 162 angeordnet. Die [+] -Stabverbindungsanschlüsse 1111A, 1111B, 1111C der [+RF]-Resonanzspule 11 sind jeweils mit einem zugeordneten Pol des [+RF] Vakuumdurchführungssteckers 161 verbunden und die [-] -Stabverbindungsanschlüsse der [-RF]-Resonanzspule 12 sind jeweils mit einem zugeordneten Pol des [-RF] Vakuumdurchführungssteckers 162 verbunden. In einer Betriebskonfiguration sind die Pole der Vakuumdurchführungsstecker 161, 162 jeweils mit einer Vakuumdurchführung verbunden (siehe auch **Figur 7**).

[0100] Ferner weisen die Leiterplatten 3a, 3b jeweils eine Anzahl durchgehender Leiterplattenausschnitte 31 im Bereich der +RF-Resonanzspule 11 und [-RF]-Resonanzspule 12 auf, um einen Kühlluftstrom in Längsrichtung durch die +RF-Resonanzspule 11 bzw. [-RF]-Resonanzspule 12 zu ermöglichen.

[0101] **Figur 6** zeigt die Leiterplatten 3a, 3b mit der [+RF]-Resonanzspule 11, der [-RF]-Resonanzspule 12 und dem auf der Leiterplatte 3a den Resonanzspulen 11, 12 abgewandt angeordneten Ringkerntransformator 13 mit Transformator kern 134. Der Impedanztransformator 13 ist vorteilhaft symmetrisch zwischen den Resonanzspulen 11, 12 angeordnet.

[0102] **Figur 7** zeigt eine beispielhafte Vakuumdurchführungseinheit 4 zum elektrischen Verbinden der Multipole, insbesondere der Quadrupole 2A, 2B, 2C mit der elektronischen Multipol-Treibervorrichtung 1. Die Vakuumdurchführungseinheit 4 umfasst eine Leiterplatte 3c, die auf einer Seite eine [+RF] Vakuumdurchführungsbuchse 161' aufweist, die in montiertem Zustand mit dem [+RF]-Vakuumdurchführungsstecker 161 gefügt ist, und eine [-RF] Vakuumdurchführungsbuchse 162', die im montierten Zustand mit dem [-RF]-Vakuumdurchführungsstecker 162 gefügt ist. Es wird darauf hingewiesen, dass Stecker und Buchsen natürlich auch vertauscht oder eine andere Art von Verbinderanordnung verwendet werden könnte.

[0103] Auf der anderen Seite weist die Leiterplatte 3c eine [+] -Stab-Vakuumdurchführungsanordnung 411 und eine [-] -Stab-Vakuumdurchführungsanordnung 412 auf, die typischerweise baugleich sind. Über die [+] -Stab-Vakuumdurchführungsanordnung 411 sind die [+] -Stäbe 21A, 21B, 21C leitend angeschlossen, und über die [-] -Stab-Vakuumdurchführungsanordnung sind die [-] -Stäbe 22A, 22B, 22C leitend angeschlossen.

[0104] Jede Vakuumdurchführungsanordnung 411, 412 umfasst einen Satz von leitenden Vakuumdurchführungen 412 (nicht einzeln referenziert). Bei dem beispielhaften Aufbau mit einem Prefilter-Quadrupol 2A, einem Massenfilter-Quadrupol 2B und einem Postfilter-Quadrupol 2C umfasst jede der Vakuumdurchführungsanordnungen 411, 412 dementsprechend drei separate Vakuumdurchführungen 42. Jede Vakuumdurchführung ist auf der einen Seite über die Leiterplatte 3c mit der jeweiligen Vakuumdurchführungsbuchse 161' bzw. 162' und auf der anderen Seite mit den [+] -Stäben bzw. [-] -Stäben eines Multipols verbunden.

[0105] Jede Vakuumdurchführungsanordnung 411, 412 umfasst ferner einen jeweiligen Vakuumdurchführungsanordnungskörper, der z.B. aus Epoxid hergestellt sein kann und sich durch den die Vakuumdurchführungen 42 erstreckt, und ferner eine Dichtungsanordnung mit beispielhaft zwei Dichtungen 43, die als O-Ringe ausgeführt sind.

[0106] **Figur 8** zeigt einen Teil eines beispielhaften Massenspektrometers in einer Detailansicht. Das Massenspektrometer umfasst eine Vakuumkammer 5 mit einem Vakuumkammerraum 51, in welchem im Betrieb ein Ultrahochvakuum aufrechterhalten wird. Innerhalb des Vakuumkammerraums ist eine Anordnung ionenoptischer Multipole, insbesondere ein Massenanalysator mit Massenfilter-Quadrupol 2B, Prefilter-Quadrupol 2A und Postfilter-Quadrupol 2C, angeordnet, wie sie im Allgemeinen aus der Technik bekannt ist.

[0107] Die Vakuumdurchführungsanordnungen 411, 412 sind in den jeweiligen Wandöffnungen der Vakuumkammer 5 angeordnet. Die [+RF]-Resonanzspule 11 und die [-RF]-Resonanzspule 12 (beide in **Figur 8** als solche nicht sichtbar) sind, wie bereits erläutert, in leitenden Spulengehäusen 17 angeordnet.

[0108] Ferner ist ein RF-Detektor 153 innerhalb des Vakuumkammerraums angeordnet und über eine RF-Detektor-Vakuumdurchführungsanordnung 153a elektrisch angeschlossen. Der RF-Detektor 153 bildet einen funktionalen Teil des RF-Generators 15 und stellt ein Rückkopplungssignal zur Regelung des RF-Generators 15 bereit. Eine solche Rückkopplung ist erforderlich, um, wie bereits erwähnt, eine Genauigkeit im ppm-Bereich zu erreichen.

[0109] Die in der Beschreibung verwendeten Begriffe sind eher beschreibend als einschränkend zu verstehen, und es versteht sich, dass verschiedene Änderungen vorgenommen werden können, ohne vom Geist und Umfang der Erfindung abzuweichen.

**BEZUGSZEICHEN**

**[0110]**

1	separate Resonanzspulen Multipol-Treibervorrichtung
1'	Resonanzspulen Offset-Vorrichtung
11	[+RF]-Resonanzspule
111A, 111B, 111C	[+RF]-Resonanzteilwicklung
1111A, 1111B, 1111C	[+]-Stabverbindungsanschlüsse
112	[+RF]-Resonanzspulenkörper
12	[-RF]-Resonanzspule
121A, 121B, 121C	[-RF]-Resonanzteilwicklung
1211A, 1211B, 1211C	[-]-Stabverbindungsanschlüsse
122	[-RF]-Resonanzspulenkörper
11-12	RF-Resonanzspulen-Anordnung
13	Impedanztransformator
131A, 131B, 131C	Impedanztransformator-[-+RF]-Sekundärwicklungen
1311A, 1311B, 1311C	[+RF]-Resonanzteilwicklunganschluss
1312A, 1312B, 1312C	[+RF]-DC-Offset Versorgungsanschluss
132A, 132B, 132C	Impedanztransformator-[-RF]-Sekundärwicklungen
1321A, 1321B, 1321C	[-RF]-Resonanzteilwicklunganschluss
1322A, 1322B, 1322C	[-RF]-DC-Offset Versorgungsanschluss
133, 133'	Impedanztransformator Primärwicklungsanordnung
133a	Erregerwicklung
1331	Impedanztransformator-[-+RF-Treiber]-Primärwicklung
1332	Impedanztransformator-[-RF Treiber]-Primärwicklung
134	Transformatorkern
14	DC-Offset Versorgungsvorrichtung
141B	Massenfilter-[+RF]-DC-Offset-Ausgang
142B	Massenfilter-[-RF]-DC-Offset-Ausgang
143A, 143C	Ionenleiter-DC-Offset Ausgänge
15	RF-Generator
151	[+RF-Treiber]-Stromgeneratorausgänge
152	[-RF-Treiber]-Stromgeneratorausgänge
153	RF-Detektor
153	RF-Detektor-Vakuumdurchführung
161	[+RF] Vakuumdurchführungsstecker
162	[-RF] Vakuumdurchführungsstecker
161'	[+RF] Vakuumdurchführungsbuchse
162'	[-RF] Vakuumdurchführungsbuchse
17	Spulengehäuse
2A, 2B, 2C	Quadrupole (2A: Prefilter-Quadrupol; 2B: Massenfilter-Quadrupol; 2C: Postfilter-Quadrupol)
21A, 21B, 21C	[+]-Stäbe von Quadrupolen 2A, 2B, 2C
22A, 22B, 22C	[-]-Stäbe von Quadrupolen 2A, 2B, 2C
3a, 3b, 3c Gedruckte	Leiterplatte (PCBs)
31	Leiterplatten-Ausschnitt
4	Vakuum-Durchführungseinheit
411	[+]-Stab-Vakuumdurchführungsanordnung
412	[-]-Stab-Vakuumdurchführungsanordnung
42	Vakuumdurchführung
43	Dichtung (O-Ring)
5	Vakuumkammer
51	Vakuumkammerraum
C	RF-Erdverbindungskondensator
C'	RF-Treiber-Resonanzkondensator
GND	Masse-(Potential)

**Patentansprüche**

1. Elektronische Multipol-Treibervorrichtung (1) zur Verwendung in einem Massenspektrometer, wobei die elektronische Multipol-Treibervorrichtung (1) zum parallelen Treiben einer Anzahl von ionenoptischen Multipolen mit unterschiedlichen DC-Offsets ausgelegt ist, wobei die ionenoptischen Multipole insbesondere Quadrupole sind, wobei jeder Multipol einen Satz von leitenden [+]-Stäben, die mit einem [+]-Stabanschluss verbunden sind, und einen entsprechen-

den Satz von leitenden [-]-Stäben, die mit einem [-]-Stabanschluss verbunden sind, umfasst, wobei die elektronische Multipol-Treibervorrichtung (1) umfasst:

– eine [+RF]-Resonanzspule (11) mit einer [+RF]-Resonanzwicklung und eine [-RF]-Resonanzspule (12) mit einer [-RF]-Resonanzwicklung, wobei die [+RF]-Resonanzspule (11) und die [-RF]-Resonanzspule (12) gemeinsam von einem leitenden Spulengehäuse (17) bezüglich ihres Umfangs umschlossen sind,

wobei die [+RF]-Resonanzwicklung für jeden Multipol eine jeweilige [+RF]-Resonanzteilwicklung (111A, 111B, 111C) umfasst und die [-RF]-Resonanzwicklung für jeden Multipol eine jeweilige [-RF]-Resonanzteilwicklung (121A, 121B, 121C) umfasst,

wobei die [+RF]-Resonanzteilwicklungen (111A; 111B, 111C) gegenseitig galvanisch isoliert und kapazitiv eng gekoppelt sind, und die [-RF]-Resonanzteilwicklungen (121A; 121B, 121C) gegenseitig galvanisch isoliert und kapazitiv eng gekoppelt sind,

wobei jede [+RF]-Resonanzteilwicklung (111A, 111B, 111C) einen jeweiligen [+] -Stabverbindungsanschluss (1111A, 1111B, 1111C) aufweist, der zum leitenden Verbinden mit dem [+] -Stabanschluss des jeweiligen zugeordneten Multipols ausgelegt ist, und jede [-RF]-Resonanzteilwicklung (121A, 121B, 121C) einen jeweiligen [-] -Stabverbindungsanschluss (1211A, 1211B, 1211C) aufweist, der zum leitenden Verbinden mit dem [-] -Stabanschluss des jeweiligen zugeordneten Multipols ausgelegt ist,

– einen Impedanztransformator (13), wobei der Impedanztransformator (13) einen Transformator Kern (134), eine Impedanztransformator-Primärwicklungsanordnung (133) und für jeden Multipol ein jeweiliges Impedanztransformator-Sekundärwicklungspaar mit einer jeweiligen Impedanztransformator-[+RF]-Sekundärwicklung (131A, 131B; 131C) und einer jeweiligen Impedanztransformator[-RF]-Sekundärwicklung (132A, 132B, 132C) umfasst, wobei die Wicklungen des Impedanztransformators gegenseitig induktiv über den Transformator Kern (134) gekoppelt sind,

– einen RF-Generator (15), der mit der Impedanztransformator-Primärwicklungsanordnung (133) verbunden ist,

– eine DC-Offset-Versorgungsvorrichtung (14), wobei die DC-Offset-Versorgungsvorrichtung (14) zum Bereitstellen eines jeweiligen [+RF]-DC-Offset-Potentials für die [+] -Stäbe jedes Multipols und eines jeweiligen [-RF]-DC-Offset-Potentials für die [-] -Stäbe jedes Multipols ausgelegt ist, wobei die DC-Offset-Versorgungsvorrichtung (14) eine Anzahl von DC-Offset-Ausgängen (141B, 142B, 143A, 143C) aufweist,

– wobei jeder [+] -Stabverbindungsanschluss (1111A, 1111B, 1111C) über eine serielle Anordnung der jeweiligen Impedanztransformator-[+RF]-Sekundärwicklung (131A, 131B, 131C) und der jeweiligen [+RF]-Resonanzteilwicklung (111A, 111B, 111C) mit einem jeweils zugeordneten DC-Offset-Ausgang (141B, 143A, 143C) verbunden ist,

– wobei jeder [-] -Stabverbindungsanschluss (1211A, 1211B, 1211C) über eine serielle Anordnung der jeweiligen Impedanztransformator[-RF]-Sekundärwicklung (132A, 132B, 132C) und der jeweiligen [-RF]-Resonanzteilwicklung (121A, 121B, 121C) mit einem jeweils zugeordneten DC-Offset-Ausgang (142B, 143A, 143C) verbunden ist,

– wobei die DC-Offset-Ausgänge (141B, 142B, 143A, 143C) jeweils RF-mässig mit einem Bezugspotential, insbesondere einem Masse-Potential (GND), verbunden sind.

2. Elektronische Multipol-Treibervorrichtung (1) nach Anspruch 1, wobei der Impedanztransformator (13) ein Ringkerntransformator ist.
3. Elektronische Multipol-Treibervorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die [+RF]-Resonanzspule (11) und die [-RF]-Resonanzspule (12) nebeneinander angeordnet sind und sich parallel zueinander erstrecken.
4. Elektronische Multipol-Treibervorrichtung (1), nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die [+RF]-Resonanzspule (11) und die [-RF]-Resonanzspule (12) baugleich sind.
5. Elektronische Multipol-Treibervorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die [+RF]-Resonanzspule (11) und die [-RF]-Resonanzspule (12) jeweils Luftspulen sind.
6. Elektronische Multipol-Treibervorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei alle [+RF]-Resonanzteilwicklungen (111A, 111B, 111C) und alle [-RF]-Resonanzteilwicklungen (121A, 121B, 121C) baugleich sind.
7. Elektronische Multipol-Treibervorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die [+RF]-Resonanzwicklung und die [-RF]-Resonanzwicklung jeweils aus Litzen hergestellt sind, wobei die Litzen jeweils eine Vielzahl von gegenseitig isolierten Litzendrähten umfassen, wobei die [+RF]-Resonanzteilwicklungen (111A, 111B, 111C) jeweils durch einen Teil der die [+RF]-Resonanzwicklung bildenden Litzendrähte und die [-RF]-Resonanzteilwicklungen (121A, 121B, 121C) jeweils durch einen Teil der die [-RF]-Resonanzwicklung bildenden Litzendrähte gebildet sind.
8. Elektronische Multipol-Treibervorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die elektronische Multipol-Treibervorrichtung (1) zum Treiben von mindestens einem Ionenleiter-Multipol ausgelegt ist, wobei mindestens einer der DC-Offset-Ausgänge (141B, 142B, 143A, 143C) ein Ionenleiter-DC-Offset-Ausgang (143A, 143C) ist, wobei für jeden Ionenleiter-Multipol ein jeweiliger [+RF]-DC-Offset-Versorgungsanschluss (1312A, 1312C) und ein jeweiliger [-RF]-DC-Offset-Versorgungsanschluss (1322A, 1322C) gemeinsam mit einem jeweiligen zugeordneten Ionenleiter-DC-Offset-Ausgang (143A, 143C) der DC-Offset-Versorgungsvorrichtung (14) verbunden sind, so dass im Betrieb ein jeweiliges gemeinsames DC-Offset-Potential des Ionenleiters an dem [+RF]-DC-Offset-Versorgungsanschluss (1312A, 1312C) und dem [-RF]-DC-Offset-Versorgungsanschluss (1322A, 1322C) bereitgestellt wird.
9. Elektronische Multipol-Treibervorrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die elektronische Multipol-Treibervorrichtung (1) zum Treiben von mindestens einem Massenfilter-Multipol ausgelegt ist, wobei mindes-

tens einer der DC-Offset-Ausgänge (141B, 142B, 143A, 143C) ein Massenfiter-[+RF]-DC-Offset-Ausgang (141B) und mindestens einer der DC-Offset-Ausgänge (141B, 142B, 143A, 143C) ein Massenfiter-[-RF]-DC-Offset-Ausgang (142B) ist, wobei für jeden Massenfiter-Multipol ein jeweiliger [+RF]-DC-Offset-Versorgungsanschluss (1312B) mit einem jeweiligen zugeordneten Massenfiter-[+RF]-DC-Offset-Ausgang (141B) der DC-Offset-Versorgungsvorrichtung (14) verbunden ist und ein jeweilige [-RF]-DC-Offset-Versorgungsanschluss (1322B) separat mit einem jeweiligen zugeordneten Massenfiter-[-RF]-DC-Offset-Ausgang (142B) der DC-Offset-Versorgungsvorrichtung (14) verbunden ist, so dass im Betrieb ein jeweiliges Massenfiter-[+RF]-DC-Offset-Potential an dem [+RF]-DC-Offset-Versorgungsanschluss (1312B) bereitgestellt wird und ein jeweiliges Massenfiter-[-RF]-DC-Offset-Potential an dem [-RF]-DC-Offset-Versorgungsanschluss (1322B) bereitgestellt wird.

10. Verfahren zum parallelen Treiben mehrerer ionenoptischer Multipole, insbesondere ionenoptischer Multipole eines Massenspektrometers mittels einer elektronischen Multipol-Treibervorrichtung (1) gemäss einem der Ansprüche 1-9 mit unterschiedlichen DC-Offsets, wobei die ionenoptischen Multipole insbesondere Quadrupole sind, wobei jeder Multipol einen Satz von leitenden [+] -Stäben und einen entsprechenden Satz von leitenden [-] -Stäben umfasst, wobei das Verfahren umfasst:
- Bereitstellen eines jeweiligen DC-Offset-Potentials für jeden Satz von leitenden [+] -Stäben und leitenden [-] -Stäben über einen jeweils separaten leitenden Pfad,
  - Bereitstellen eines jeweiligen [+RF]-Treiberstroms für alle Sätze leitender [+] -Stäbe und eines jeweiligen [-RF]-Treiberstroms für alle Sätze leitender [-] -Stäbe, wobei die [+RF]-Treiberströme jeweils phasengleich und die [-RF]-Treiberströme jeweils phasengleich sind, und die [+RF]-Treiberströme gegenüber den [-RF]-Treiberströmen um 180 Grad phasenverschoben sind,
- wobei eine [+RF]-Resonanzwicklung und eine [-RF]-Resonanzwicklung vorgesehen sind, wobei die [+RF]-Resonanzwicklung für jeden Multipol eine jeweilige [+RF]-Resonanzwicklung (111A, 111B, 111C) umfasst und die [-RF]-Resonanzwicklung für jeden Multipol eine jeweilige [-RF]-Resonanzwicklung (121A, 121B, 121C) umfasst, wobei die [+RF]-Resonanzwicklungen (111A, 111B, 111C) jeweils gegenseitig galvanisch isoliert und kapazitiv eng gekoppelt sind, und wobei die [-RF]-Resonanzwicklungen (121A, 121B, 121C) jeweils gegenseitig galvanisch isoliert und kapazitiv eng gekoppelt sind,
- wobei ein RF-Generator (15) induktiv mit den [+RF]-Resonanzwicklungen (111A, 111B, 111C) und [-RF]-Resonanzwicklungen (121A, 121B, 121C) gekoppelt ist,
- wobei die Multipole in Kombination die Kapazität eines gemeinsamen Resonanzkreises bilden und die [+RF]-Resonanzwicklung und die [-RF]-Resonanzwicklung in Kombination zumindest teilweise die Induktivität des gemeinsamen Resonanzkreises bilden.

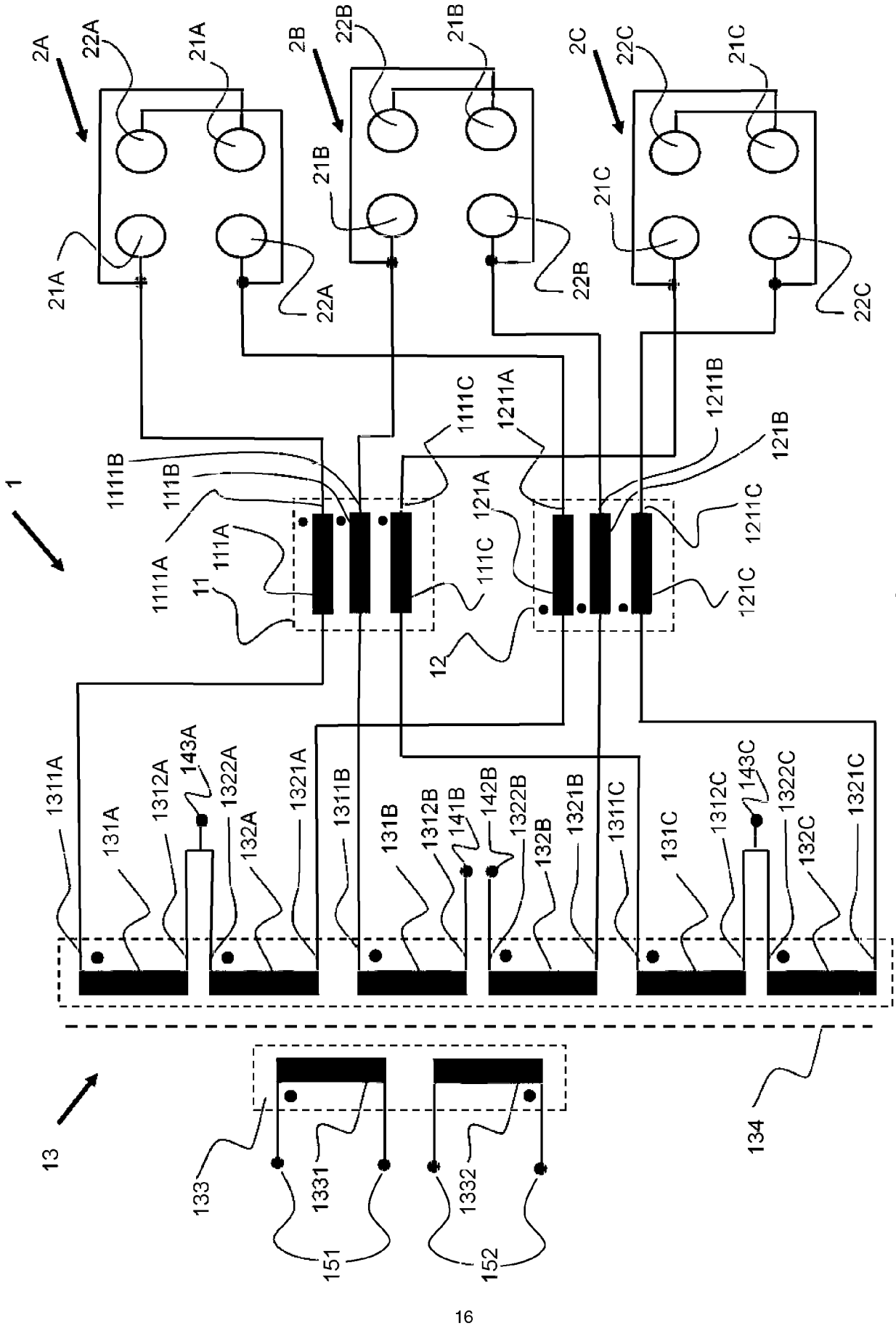


Figure 1

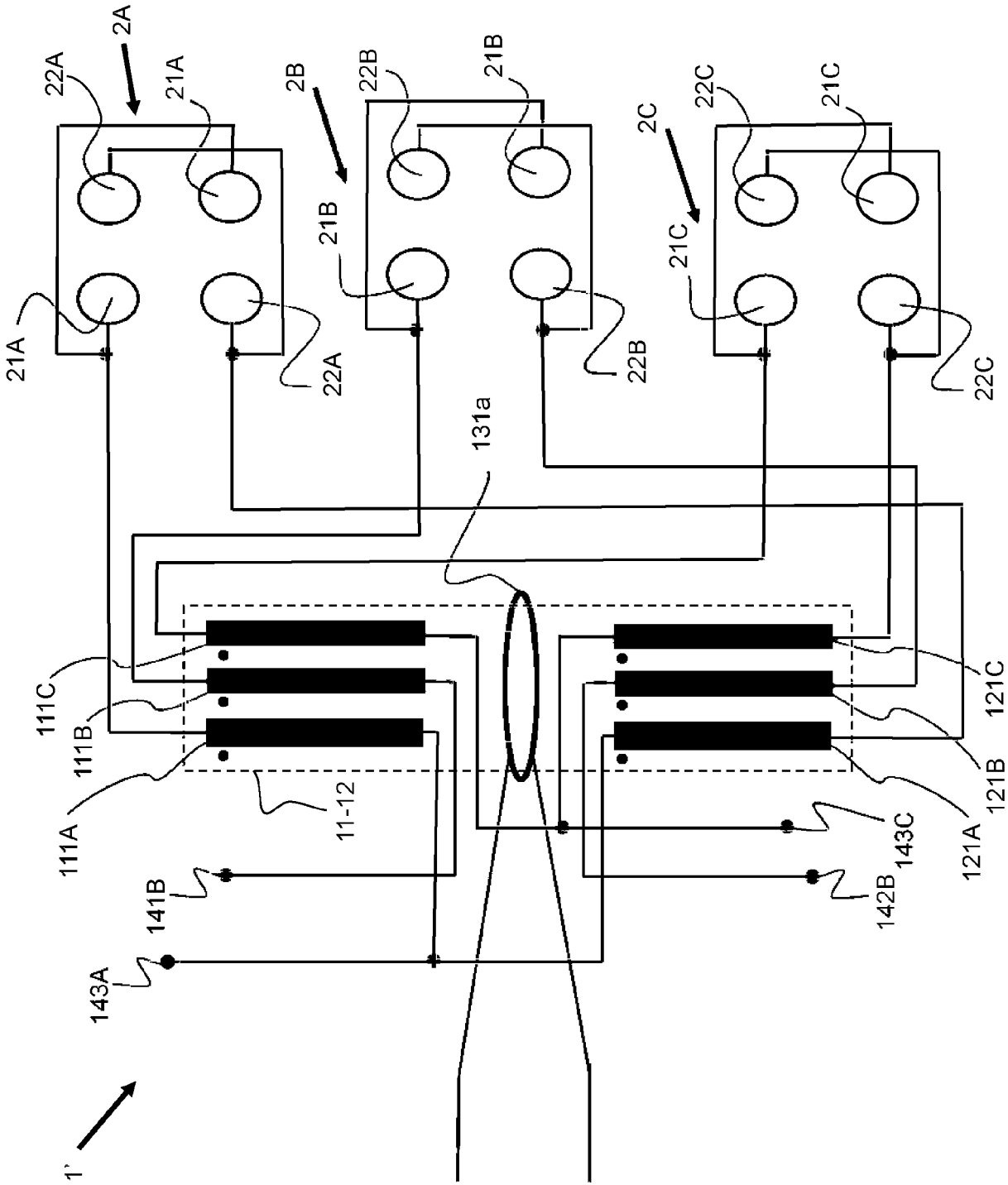


Figure 2

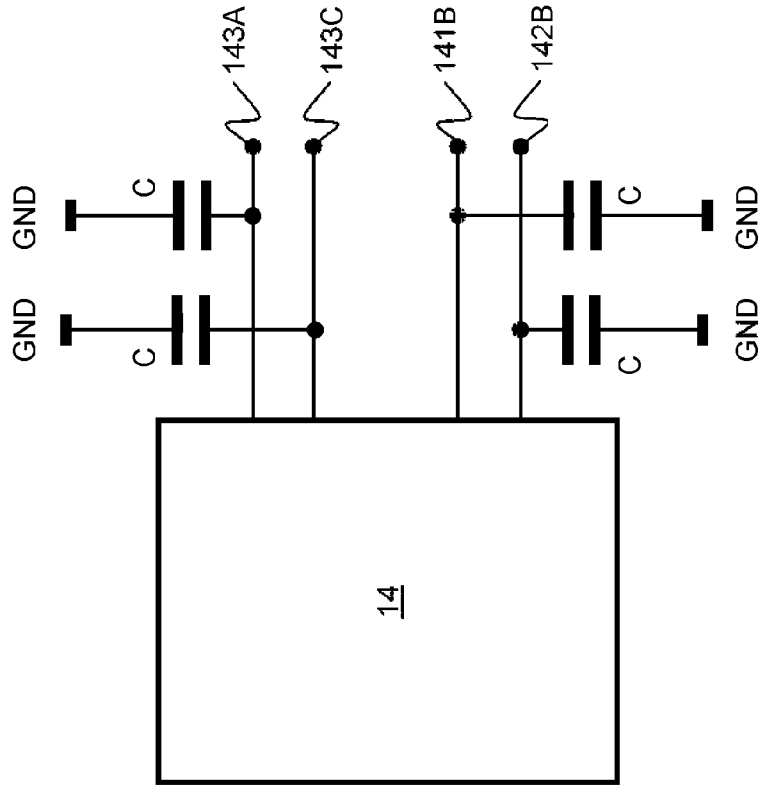


Figure 4

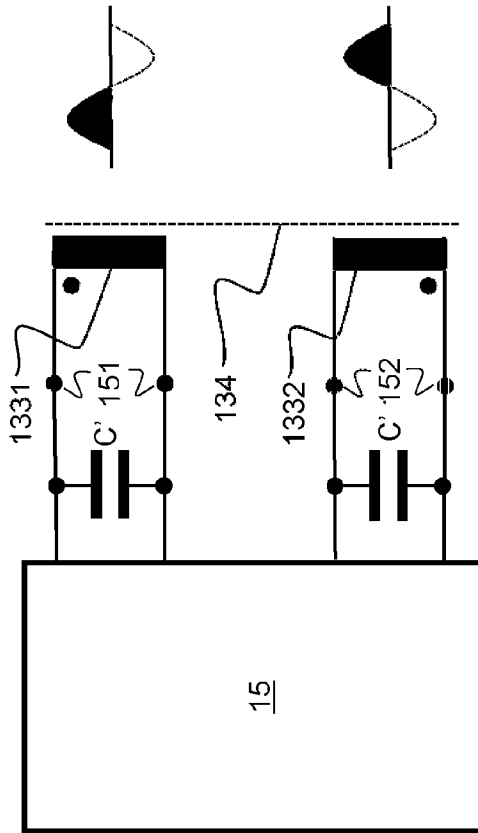


Figure 3

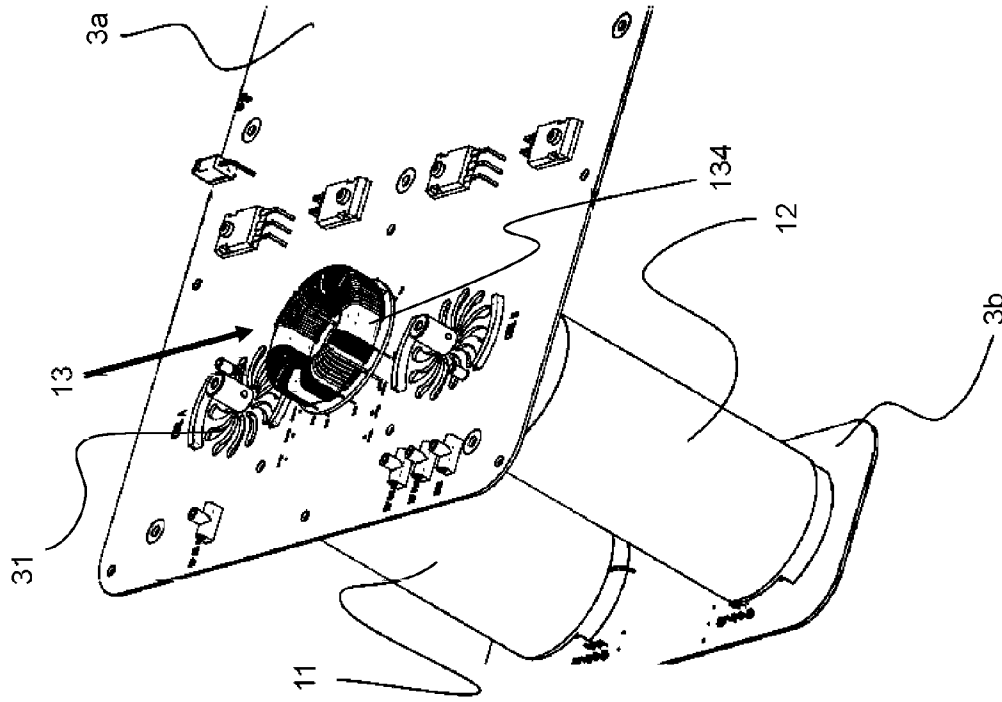


Figure 6

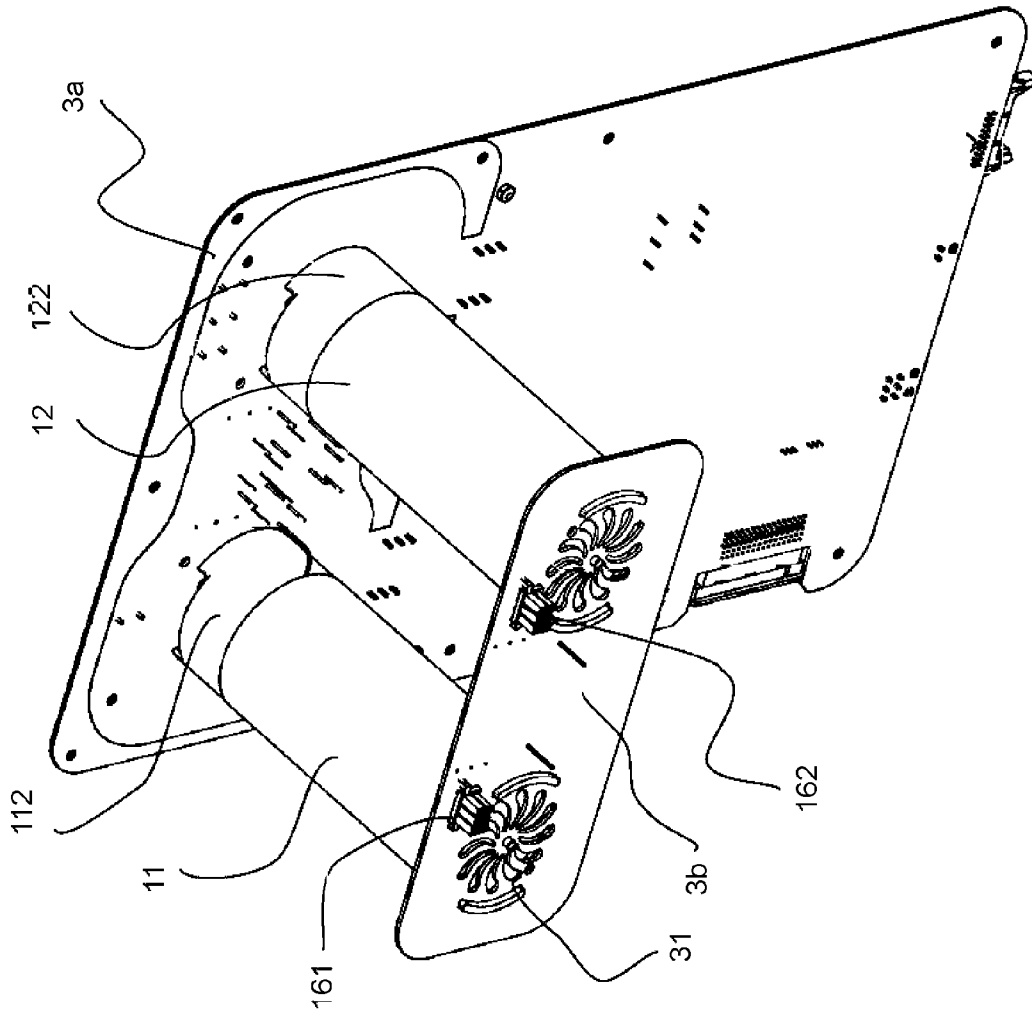


Figure 5

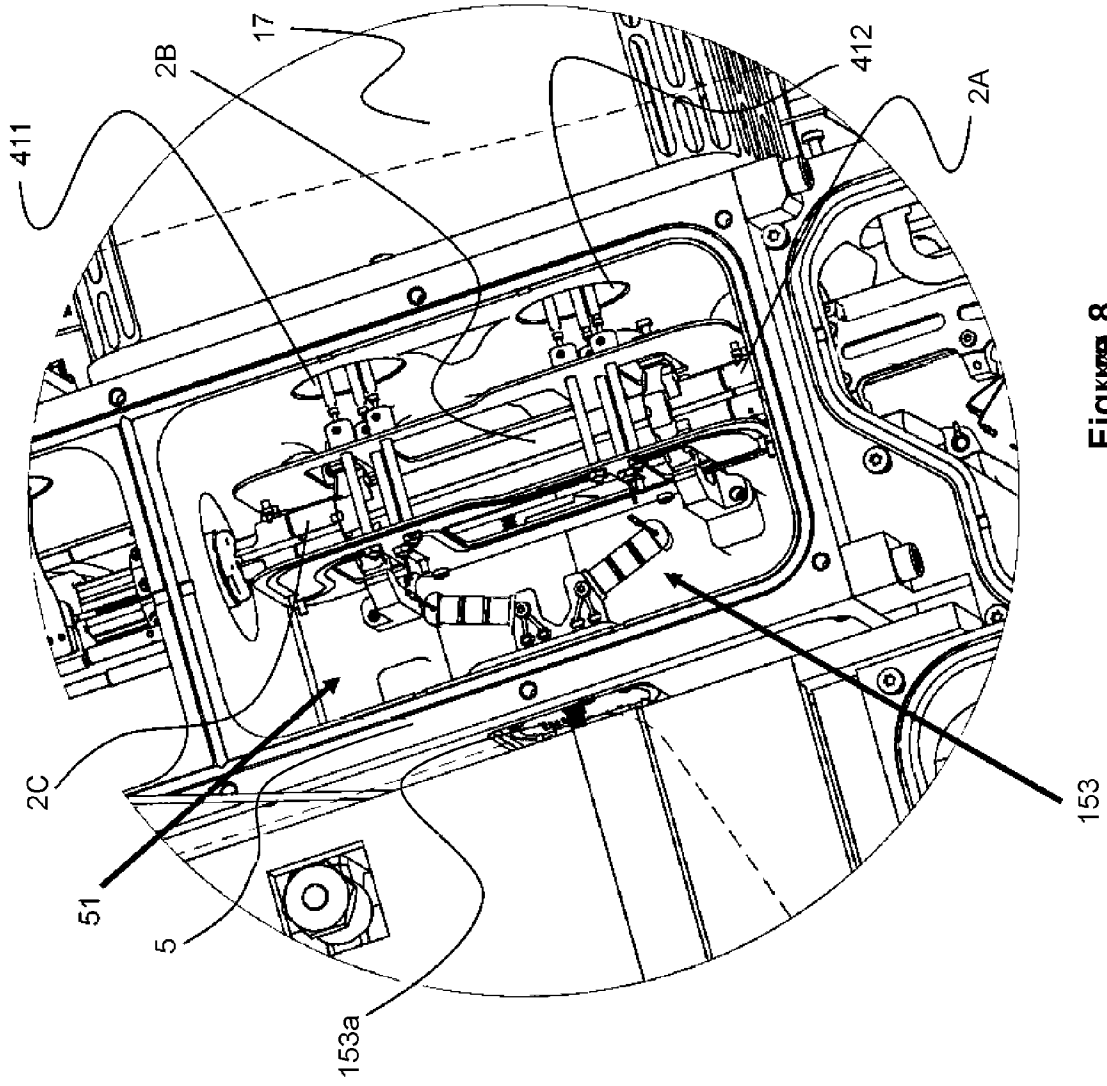


Figure 8

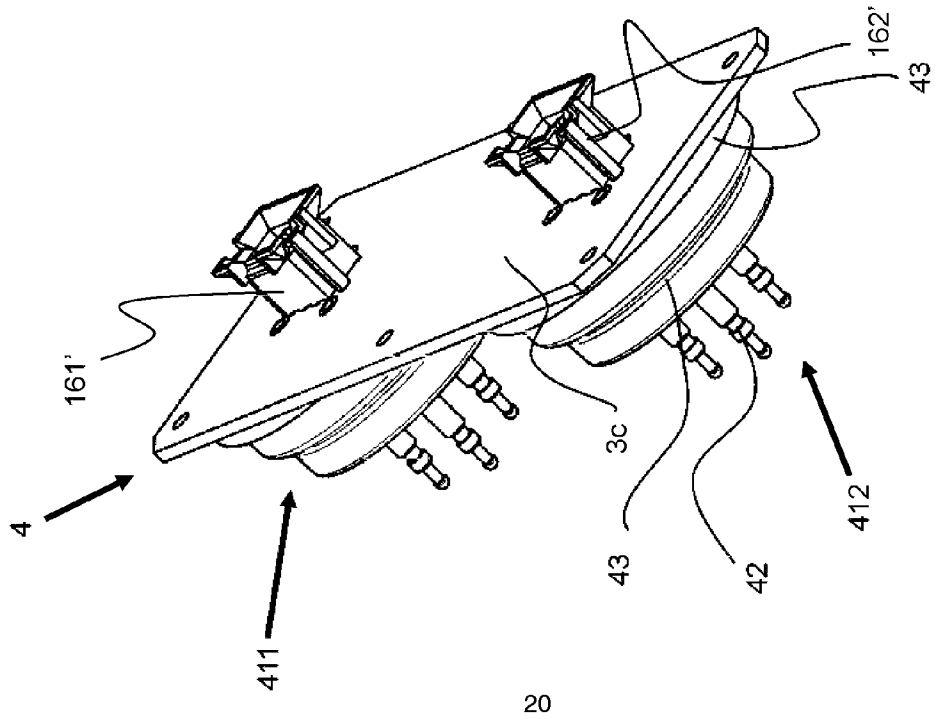


Figure 7