

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103166330 A

(43) 申请公布日 2013.06.19

(21) 申请号 201310070998.8

H01F 27/30(2006.01)

(22) 申请日 2013.03.06

(71) 申请人 苏州大学

地址 215123 江苏省苏州市苏州工业园区仁  
爱路 199 号

(72) 发明人 李晓旭

(74) 专利代理机构 苏州创元专利商标事务所有  
限公司 32103

代理人 陶海锋

(51) Int. Cl.

H02J 17/00(2006.01)

H01J 49/02(2006.01)

H01F 29/12(2006.01)

H01F 27/28(2006.01)

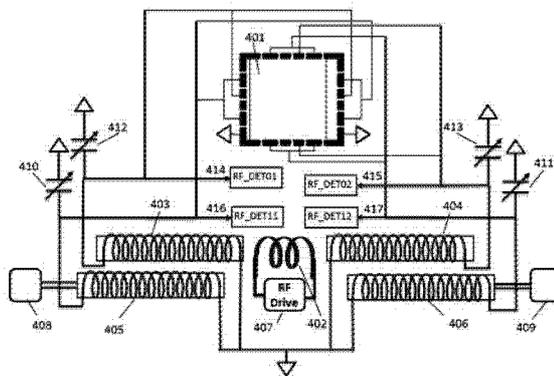
权利要求书1页 说明书6页 附图8页

(54) 发明名称

一种产生多极场的可调式射频电源

(57) 摘要

本发明公开了一种产生多极场的可调式射频电源,所述射频电源包括一个初级线圈和至少两对与初级线圈相耦合的次级线圈,其特征在于:每对次级线圈包括分列于初级线圈两侧的两个独立的线圈绕组,每对次级线圈有两个高压输出端和两个低压输出端;至少一对次级线圈的输出信号电压幅度与其他次级线圈的输出信号电压幅度不相同;次级线圈之间相互独立,至少一对次级线圈与初级线圈之间的相对位置可调节。本发明通过设置独立的至少两组次级线圈对,可以产生多极场射频,以驱动离散型离子阱质量分析器,可以使离散电极型离子阱质量分析器内部的电场达到最优,进而实现最佳的分析性能。



1. 一种产生多极场的可调式射频电源,所述射频电源包括一个初级线圈和至少两对与初级线圈相耦合的次级线圈,其特征在于:

每对次级线圈包括分列于初级线圈两侧的两个独立的线圈绕组,每对次级线圈有两个高压输出端和两个低压输出端;

至少一对次级线圈的输出信号电压幅度与其他次级线圈的输出信号电压幅度不相同;

次级线圈之间相互独立,至少一对次级线圈与初级线圈之间的相对位置可调节。

2. 根据权利要求1所述产生多极场的可调式射频电源,其特征在于:所述次级线圈的每个线圈绕组的高压端至少与一个电极连接。

3. 根据权利要求1所述产生多极场的可调式射频电源,其特征在于:设有两对所述次级线圈,分别为第一次级线圈对和第二次级线圈对。

4. 根据权利要求3所述产生多极场的可调式射频电源,其特征在于:所述第一次级线圈对与所述初级线圈的相对位置固定,所述第二次级线圈对上安装有位置调节装置,用于调节第二次级线圈与初级线圈之间的相对距离。

5. 根据权利要求1所述产生多极场的可调式射频电源,其特征在于:所述次级线圈的每个线圈绕组的高压端至少与一个可调电容器连接。

6. 根据权利要求1所述产生多极场的可调式射频电源,其特征在于:所述次级线圈的每个线圈绕组的高压端至少与一个射频信号幅度检测电路连接。

7. 根据权利要求1所述产生多极场的可调式射频电源,其特征在于:设有三对或三对以上次级线圈。

8. 根据权利要求7所述产生多极场的可调式射频电源,其特征在于:所述次级线圈中的至少一对次级线圈上安装有位置调节装置,用于调节该次级线圈与初级线圈之间的相对距离。

## 一种产生多极场的可调式射频电源

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种射频电源,具体涉及一种用于产生四极场的可调式射频电源。

### 背景技术

[0002] 四极质谱仪是一种化学分析仪器,由于它具有定性能力强、定量准确性高、灵敏度高、检测限低等优点,因此被广泛地应用于食品安全、生命科学、医学制药、环境监测和公共安全等领域。四极质谱仪可分为两大类,分别为四级杆质谱仪和离子阱质谱仪。在上述两类四极质谱仪中,离子阱质谱仪具备特有的多级质谱分析能力,从而具有更强的物质结构分析能力和定性能力,因此,离子阱质谱仪越来越广泛地被应用于蛋白组学、基因组学等对物质结构定性要求较高的领域。

[0003] 常见的线性离子阱和三维离子阱都采用双曲面结构,因此机械加工难度大,造价昂贵,增加了离子阱质谱仪的制造成本,不利于离子阱质谱仪的进一步推广。近年来,简化结构的离子阱质量分析器成为质谱领域的热门研究方向。中国发明专利 CN 1585081A 中公开了一种新型的由平板离散电极构成的离子阱质量分析器,其结构如图 1 所示。与由四个平板电极构成的矩形离子阱不同,该离散电极离子阱质量分析器由四组电极 (10X, 11X, 12X, 13X) 构成,每组电极包括多个离散的平板电极 (如,第一组电极 10X 由离散电极 101, 102, 103, 104 和 105 构成),在这些离散的平板电极上施加不同的电压,可以在离子阱的内部得到近似于双曲线性离子阱的四极场。该离散电极离子阱质量分析器的另一个特点是,通过改变施加在各个离散电极上的电压,可以改变离子阱内部的电场分布,优化离子阱的分析性能,进一步,这种优化可以在离子阱质谱仪的工作过程中实时进行,以满足不同的分析需求。

[0004] 离散电极离子阱质量分析器的工作方式如图 2 所示,其离散电极被分为四组,分别施加四组不同的射频电压,包括  $V_{0+}$ ,  $V_{1+}$ ,  $V_{0-}$  和  $V_{1-}$ ,它们所代表的射频电压波形分别如图 2 中 202, 203, 204 和 205 所示。其中  $V_{0+}$  和  $V_{0-}$  的信号幅度相同,相位相差  $180^\circ$ ,  $V_{1+}$  和  $V_{1-}$  的信号幅度相同,相位相差  $180^\circ$ 。 $V_{0+}$  ( $V_{0-}$ ) 和  $V_{1+}$  ( $V_{1-}$ ) 的相位相同,幅度不同,  $V_{1+}$  ( $V_{1-}$ ) 的信号幅度一般为  $V_{0+}$  ( $V_{0-}$ ) 的信号幅度的 30%–90% 之间。

[0005] 然而,目前常用的射频电源的共同特点是,即使存在多个高压输出端,其输出的射频电压的幅度相同,因此,这些射频电源都无法驱动上述离散电极离子阱质量分析器。

[0006] 目前用于驱动离散电极离子阱质量分析器的一种方法是采用电阻和电容组成的阻容分压网络对射频电压信号进行分压,如图 3 所示。该方法可得到离散电极离子阱所需要的射频电压信号,因此可以驱动离散电极离子阱进行正常的质量分析。但是,使用阻容分压网络的方法存在以下的缺点:

(1) 阻容分压网络的阻抗较高,且该分压网络位于射频电源的高压输出端,经典的升压线圈型射频电源无法驱动高负载的分压网络,因此,该方法中只能使用高速开关构成的数字射频电源 302 和 303;

(2) 数字射频电源由于高速开关过程中能耗较大,因此其整体功耗高于升压线圈型射

频电源,另外,数字射频电源的控制电路设计控制较复杂,因此设计难度较大;

(3) 阻容分压网络存在寄生电感和寄生电容,而且与射频电源输出端的阻抗匹配难度较大,因此经过分压网络后的射频电压信号往往会产生不同程度的畸变,影响离子阱内部的电场,进而影响离子阱质谱仪的最终分析性能;

(4) 经过阻容分压网络后的射频电压信号测量难度较大,如果增加射频检测电路则会影响信号的阻抗匹配,因此,要想把精确控制输出信号的幅度控制到最优条件的难度很大,这使离散电极型离子阱质量分析器内部的电场无法达到最优,进而无法实现最佳的分析性能。

## 发明内容

[0007] 本发明的发明目的是提供一种产生多极场的射频电源,使其可用于驱动离散型离子阱质量分析器,并克服传统射频电源的缺陷以及阻容分压网络方法的不足,使离散型离子阱质量分析器达到最佳分析性能。

[0008] 为实现上述发明目的,本发明采用的技术方案是:一种产生多极场的可调式射频电源,所述射频电源包括一个初级线圈和至少两对与初级线圈相耦合的次级线圈,

每对次级线圈包括分列于初级线圈两侧的两个独立的线圈绕组,每对次级线圈有两个高压输出端和两个低压输出端;

至少一对次级线圈的输出信号电压幅度与其他次级线圈的输出信号电压幅度不相同;

次级线圈之间相互独立,至少一对次级线圈与初级线圈之间的相对位置可调节。

[0009] 上述技术方案中,可以通过调节次级线圈与初级线圈之间的相对位置改变次级线圈高压输出端的输出信号电压幅度

上述技术方案中,所述次级线圈的每个线圈绕组的高压端至少与一个电极连接。

[0010] 优选的技术方案,设有两对所述次级线圈,分别为第一次级线圈对和第二次级线圈对。

[0011] 所述第一次级线圈对与所述初级线圈的相对位置固定,所述第二次级线圈对上安装有位置调节装置,用于调节第二次级线圈与初级线圈之间的相对距离。

[0012] 所述位置调节装置可以是高精度的步进电机,也可以是精密手动调节装置。

[0013] 上述技术方案中,次级线圈和初级线圈之间可采用不同的排列方式,包括但不限于平行、同轴和垂直。

[0014] 上述技术方案中,所述次级线圈的每个线圈绕组的高压端至少与一个可调电容器连接。

[0015] 或者,所述次级线圈的每个线圈绕组的高压端至少与一个射频信号幅度检测电路连接。用于实时检测次级线圈高压端的输出电压,以达到精确调节射频输出电压的目的。

[0016] 进一步的技术方案,设有三对或三对以上次级线圈。所述次级线圈中的至少一对次级线圈上安装有位置调节装置,用于调节该次级线圈与初级线圈之间的相对距离。

[0017] 由于上述技术方案运用,本发明与现有技术相比具有下列优点:

1. 本发明通过设置独立的至少两组次级线圈对,可以产生多极场射频,以驱动离散型离子阱质量分析器。

[0018] 2. 本发明克服了现有技术中阻容分压网络式射频电源的缺陷,电源输出调节方便,可以使离散电极型离子阱质量分析器内部的电场达到最优,进而实现最佳的分析性能。

#### 附图说明

[0019] 图 1 为离散电极型离子阱质量分析器的结构示意图。

[0020] 图 2 为离散电极型离子阱质量分析器的工作方式及其对射频电压信号的要求示意图。

[0021] 图 3 为现有技术中驱动离散电极型离子阱质量分析器的方法。

[0022] 图 4 为本发明实施例 1 中可调式射频电源的结构及其驱动离散电极型离子阱质量分析器的方法示意图。

[0023] 图 5 为本发明实施例 2 中可调式射频电源的结构及其驱动离散电极型离子阱质量分析器的方法示意图。

[0024] 图 6 为本发明实施例 3 中可调式射频电源的结构及其驱动离散电极型离子阱质量分析器的方法示意图。

[0025] 图 7 为本发明实施例 4 中可调式射频电源的结构及其驱动离散电极型离子阱质量分析器的方法示意图。

[0026] 图 8 为实施例 4 中每一组电极中包含 7 个离散电极的离散电极型离子阱质量分析器的结构示意图。

#### 具体实施方式

[0027] 下面结合附图和实施例,对本发明做进一步详细说明。

[0028] 实施例 1

一种可调式射频电源,其结构如图 4 所示。其中 402 为射频电源的初级线圈,407 为驱动该初级线圈的功率放大电路和相应的控制电路系统。该射频电源中包含 2 对次级线圈,其中第一次级线圈由 403 和 404 两个分列于初级线圈两侧的线圈绕组构成,第二次级线圈由 405 和 406 两个分列于初级线圈两侧的线圈绕组构成,每一个线圈绕组都有一个低压端和一个高压端。408 和 409 为两个位置调节装置,其中 408 固定在线圈绕组 405 上,用于调节线圈绕组 405 的位置,409 固定在线圈绕组 406 上,用于调节线圈绕组 406 的位置。位置调节装置 408 和 409 可以是精密步进电机,通过自动控制方式调节次级线圈的位置。位置调节装置 408 和 409 也可以是手动调节装置。

[0029] 初级线圈和次级线圈的排列方式如图 4 所示,其中初级线圈 402 与第一次级线圈同轴排列,且第一次级线圈的两个线圈绕组 403 和 404 对称地排列在初级线圈 402 的两侧,第二次级线圈与第一次级线圈平行,且第二次级线圈的两个线圈绕组 405 和 406 也对称地排列在初级线圈两侧,但是线圈绕组 405 和 406 与初级线圈 402 不具有同轴关系。

[0030] 由于初级线圈 402 与次级线圈绕组 403、404、405、406 之间相耦合,即存在互感,且次级线圈绕组的线圈匝数远大于初级线圈,因此在初级线圈出现的电压较低的交流信号可被次级线圈放大至电压较高的射频信号,并且从线圈绕组的高压端输出。由于第一次级线圈和第二次级线圈与初级线圈之间的距离不同,它们之间的互感也不相同,因此,第一次级线圈和第二次级线圈的高压端输出的射频信号电压也不相同。第一次级线圈和第二次级线

圈的其他参数可根据实际需要设置,如线圈绕组的直径、线圈匝数、线圈的品质因数(Q值)、线圈长度等,适当设置这些参数可以为第一次级线圈和第二次级线圈的输出射频电压提供一个理想的初始值。这些参数一旦确定,在工作过程中是固定的,无法进行实时调整,在实际工作过程中可以进行调整是次级线圈的位置,通过调整次级线圈的位置该表输出射频信号的幅度,使得第一次级线圈和第二次级线圈的输出射频信号的幅度不相同,而是呈一定的比例关系。若该射频电源用于如图4中所示的离散电极型离子阱质量分析器401中,第二次级线圈的输出射频信号幅度一般为第一次级线圈输出射频信号幅度的30%-90%之间。

[0031] 图4中,离散电极型离子阱质量分析器401的离散电极按照电气信号连接共分为5组,其中1组接地,另外4组分别与射频电源的高压端连接,即线圈绕组403-406的高压端都分别与离散型离子阱质量分析器401的一组电极相连接。在离散电极和射频信号的共同作用下,离散型离子阱质量分析器401中产生所质量分析所需要的电场成分,包括四极场、六极场、八极场和十二极场等。改变第一次级线圈和第二次级线圈输出射频信号电压的比例可优化离散型离子阱质量分析器内部的电场成分,使离散型离子阱质量分析器内部电场成分达到最优,从而实现最佳的分析性能,这可以通过位置调节装置408和409来实现。

[0032] 410、411、412、413为可调电容器,分别连接在次级线圈绕组的高压输出端,用于次级线圈的调谐,使次级线圈工作在谐振状态,从而在最小的功耗下得到最大的输出幅度。当第二次级线圈的位置调整后,第一次级线圈和第二次级线圈与初级线圈的互感都会发生改变,从而影响次级线圈回路的谐振状态,因此,次级线圈位置调整,需要调节可调电容器410、411、412和413,使次级线圈重新达到谐振状态。

[0033] 414、415、416和417为射频信号幅度检测电路,分别与次级线圈绕组的高压端相连接,其功能是将射频信号的幅度按照一定的比例转化为低压直流信号。通过射频信号幅度检测电路可实时地检测射频电源输出射频信号的幅度,可作为对射频电源第二次级线圈的位置进行调节时的依据,因此,本发明中的射频电源可实现精确调节第一次级线圈和第二次级线圈输出射频信号电压的比例。

#### [0034] 实施例2

如图5所示的可调式射频电源,主要由一个初级线圈502和两对次级线圈构成,其中第一次级线圈由两个线圈绕组504和505构成,第二次级线圈有两个线圈绕组506和507构成。508和509为两个位置调节装置,分别固定在第二次级线圈的两个线圈绕组506和507上,用于调节第二次级线圈和初级线圈之间的距离,从而改变次级线圈高压端的输出信号幅度。503为驱动初级线圈502的功率放大电路和控制电路。510、511、512和513为可调电容器,分别连接在。514、515、516和517为射频信号幅度检测电路,用于将射频电源输出的高压射频信号转化为低压的直流信号。501为离散电极型离子阱质量分析器。

[0035] 本实施例中射频电源的工作原理和方式、次级线圈的位置调节方式、次级线圈的调谐方法和离散电极型离子阱质量分析器的工作方式等都与实施例1类似,这里不再赘述。但是,本实施例与实施例1主要存在如下两个方面的不同之处:

1. 与实施例1中初级线圈和次级线圈的相对位置排列方式不同。实施1中,初级线圈402与第一次级线圈绕组403和404的相位位置为同轴关系,而初级线圈402与第二次级线圈绕组405和406的相对位置为平行但不同轴的关系。在本实施例中,初级线圈502与第一次级线圈和第二次级线圈的相对位置均为同轴关系,且第二次级线圈的线圈绕组直径小

于第一次级线圈,因此第二次级线圈可部分插入第一次级线圈中。

[0036] 2. 与实施例 1 相比,本实施例中增加了共振激发信号发生器 518 和共振激发耦合线圈 519。通过上述共振激发信号和耦合线圈,可将共振激发信号耦合至射频信号上,经过叠加后加载到离散型离子阱质量分析器的对应电极上。在质量分析过程中,共振激发信号在离子阱质量分析器内部形成偶极场,对存储在离子阱质量分析器内部的离子按照质荷比顺序进行共振激发,可大幅提高离子阱质量分析的质量分辨率和检测灵敏度等分析性能。

[0037] 实施例 3

如图 6 所示的可调式射频电源,主要由一个初级线圈 602 和两对次级线圈构成,其中第一次级线圈由两个线圈绕组 604 和 605 构成,第二次级线圈有两个线圈绕组 606 和 607 构成。608 和 609 为两个位置调节装置,分别固定在第二次级线圈的两个线圈绕组 606 和 607 上,用于调节第二次级线圈和初级线圈之间的距离,从而改变次级线圈高压端的输出信号幅度。603 为驱动初级线圈 602 的功率放大电路和控制电路。610、611、612 和 613 为可调电容器,分别连接在。614、615、616 和 617 为射频信号幅度检测电路,用于将射频电源输出的高压射频信号转化为低压的直流信号。601 为离散电极型离子阱质量分析器。

[0038] 本实施例中射频电源的工作原理和方式、次级线圈的位置调节方式、次级线圈的调谐方法和离散电极型离子阱质量分析器的工作方式等都与实施例 2 类似。但是,本实施例与实施例 2 主要存在如下的不同之处:

本实施例中初级线圈和次级线圈的相对位置排列方式与实施例 2 中不同。在实例 2 中,第一次级线圈(503 和 504)和第二次级线圈(505 和 506)与初级线圈 502 的相对位置为同轴关系,而在本实施例中,第一次级线圈(603 和 604)和第二次级线圈(605 和 606)与初级线圈 602 的相对位置为垂直关系。

[0039] 实施例 4

如图 7 所示的可调式射频电源,主要由一个初级线圈 701 和三对次级线圈构成。其中第一次级线圈由两个线圈绕组 703 和 704 构成,第二次级线圈由两个线圈绕组 705 和 706 构成,第三次级线圈由两个线圈绕组 707 和 708 构成。709、710、711 和 712 为位置调节装置,用于调节次级线圈绕组的位置,其中 709 和 710 分别固定在第二次级线圈的两个线圈绕组 705 和 706 上,711 和 712 分别固定在第三次级线圈 707 和 708 上。702 为驱动初级线圈的功率放大电路和控制电路。初级线圈 701 和第一次级线圈的位置固定且两者同轴,第二次级线圈和第三次级线圈平行地放置于第一次级线圈的旁侧。

[0040] 721、722、723、724、725 和 726 为可调电容器,分别与次级线圈绕组 703、704、705、706、707 和 708 连接,用于次级线圈回路的调谐。715、716、717、718、719 和 720 为射频信号幅度检测电路,其功能是把次级线圈输出的高压射频信号按照一定的比例转化为低压的直流信号,以实现射频输出信号幅度的实时检测。

[0041] 三对次级线圈共有六个高压端,分别为 V0+、V0-、V1+、V1-、V2+ 和 V2-。V0+ 和 V0- 为第一次级线圈的高压端输出的射频信号,它们的信号幅度相同,相位相差 180°;V1+ 和 V1- 为第二次级线圈的高压端输出的射频信号,它们的信号幅度相同,相位相差 180°;V2+ 和 V2- 为第三次级线圈的高压端输出的射频信号,它们的信号幅度相同,相位相差 180°。由于上述三对次级线圈与初级线圈 701 之间距离不同,则它们之间互感也不相同,因此各对次级线圈输出的射频信号的幅度不同,而是相互呈一定的比例关系。通过适当设置

次级线圈绕组的直径、线圈匝数、线圈的品质因数(Q值)、线圈长度等参数,可使次级线圈输出信号幅度的比例关系调节到合适的初始状态。实际工作时,通过位置调节装置 709、710、711 和 712 调节第二次级线圈和第三次级线圈的位置,从而改变它们输出射频信号的幅度,最终改变第一次级线圈、第二次级线圈和第三次级线圈输出射频信号幅度的比例关系。一般情况下, $V_{1+}$  ( $V_{1-}$ ) 的信号幅度为  $V_{0+}$  ( $V_{0-}$ ) 的信号幅度的 30%–90% 之间, $V_{2+}$  ( $V_{2-}$ ) 的信号幅度为  $V_{1+}$  ( $V_{1-}$ ) 的信号幅度的 30%–90% 之间。

[0042] 本射频电源可用于驱动如图 8 中所示的离散电极型离子阱质量分析器 801,所述离散电极型离子阱质量分析器按照结构区分包括 4 组离散电极,每组离散电极共包括 7 个离散电极。这些离散电极按照电气连接可分为 7 组,其中一组接地,另外 6 组分别与射频电源的高压端连接,驱动这 6 组电极的射频信号分别为  $V_{0+}$ 、 $V_{0-}$ 、 $V_{1+}$ 、 $V_{1-}$ 、 $V_{2+}$  和  $V_{2-}$ 。通过调节第二次级线圈和第三次级线圈的位置,从而改变三对次级线圈输出射频信号幅度的比例,最终达到优化离散电极型离子阱质量分析器内部电场,提高其分析性能的目的。

[0043] 上述实施方式不应理解为对本发明保护范围的限制,本专利的核心在于:一种可调式射频电源,主要由一个初级线圈和至少两对次级线圈构成,所述的次级线圈中的至少一对次级线圈与初级线圈之间的相对距离可调节,以改变次级线圈输出射频信号的幅度,进而改变不同对次级线圈之间输出射频信号幅度的比例关系。在不脱离本发明精神的情况下,对本发明做出的任何形式的改变均应落入本发明的保护范围之内。

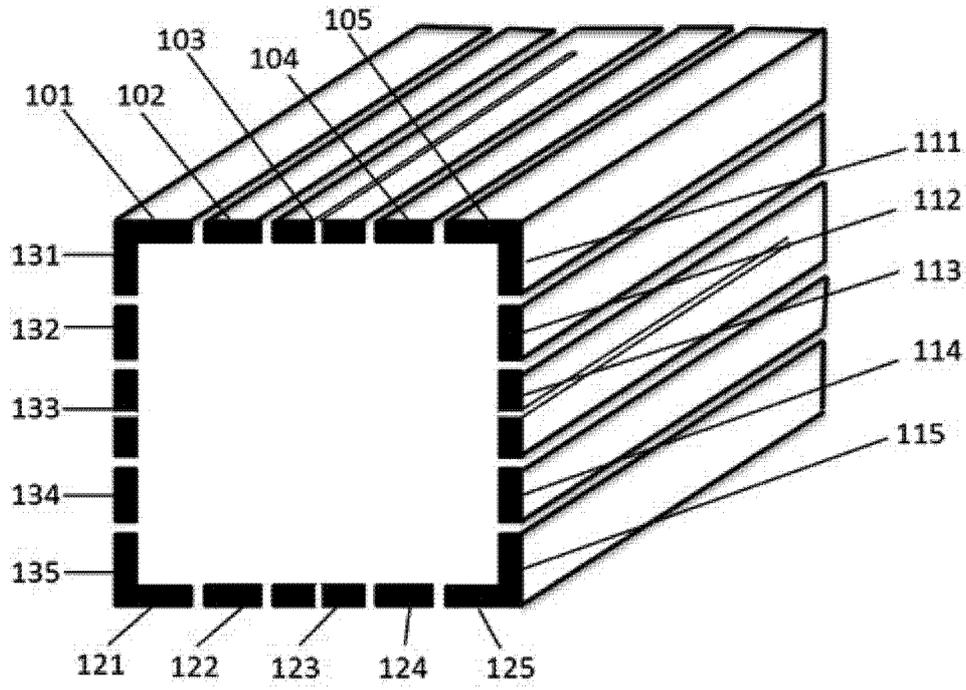


图 1

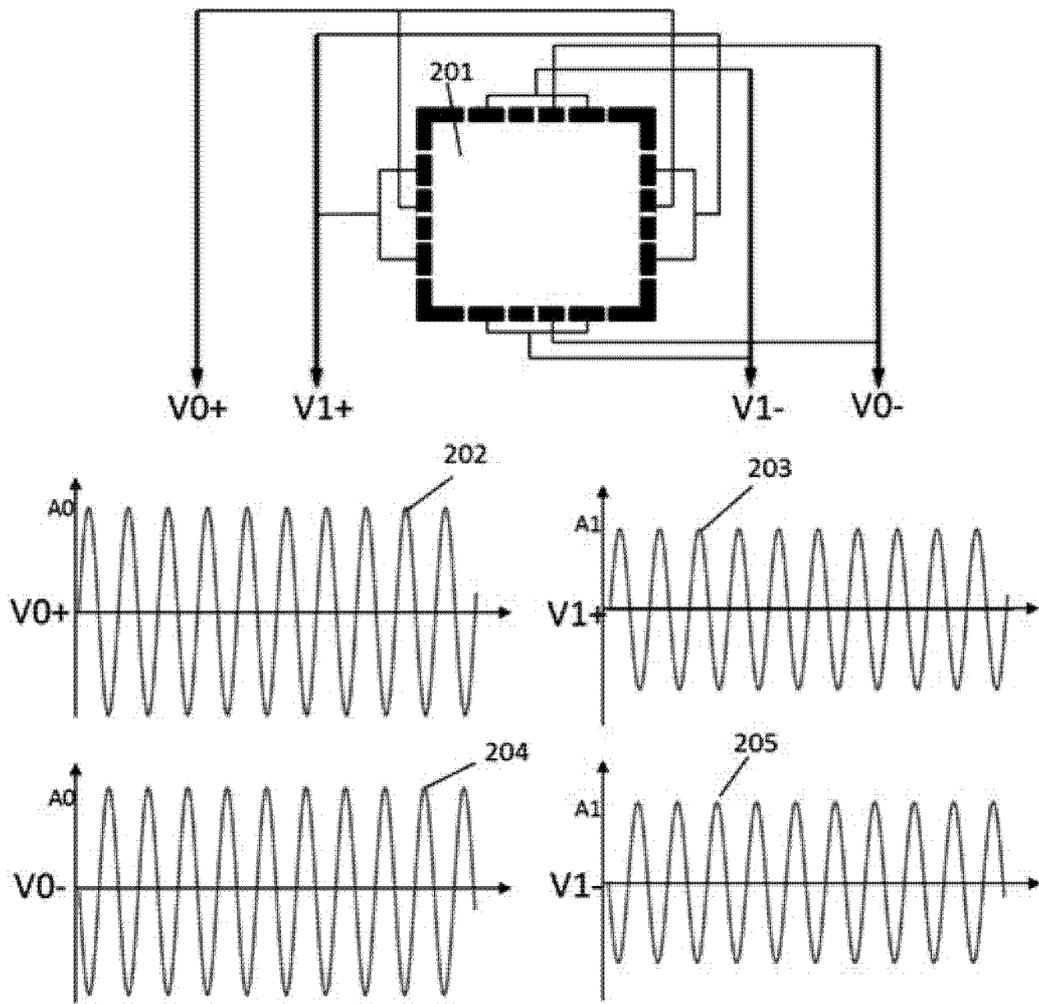


图 2

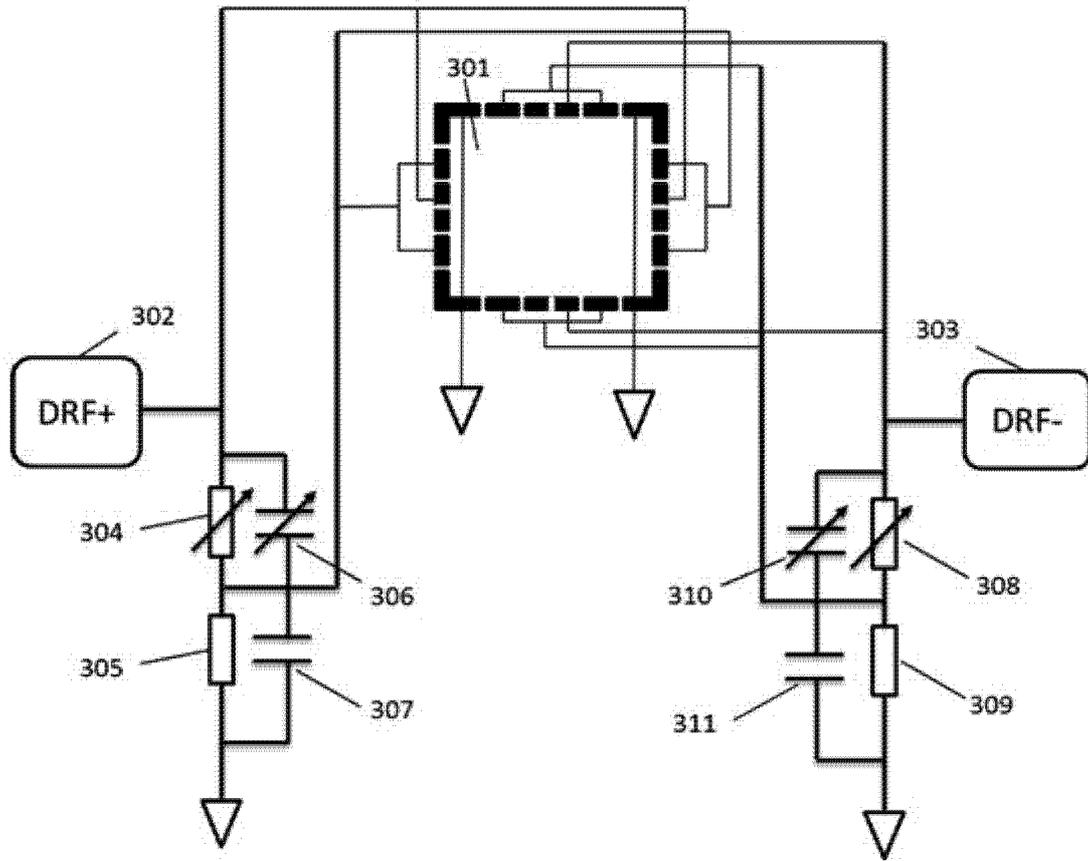


图 3

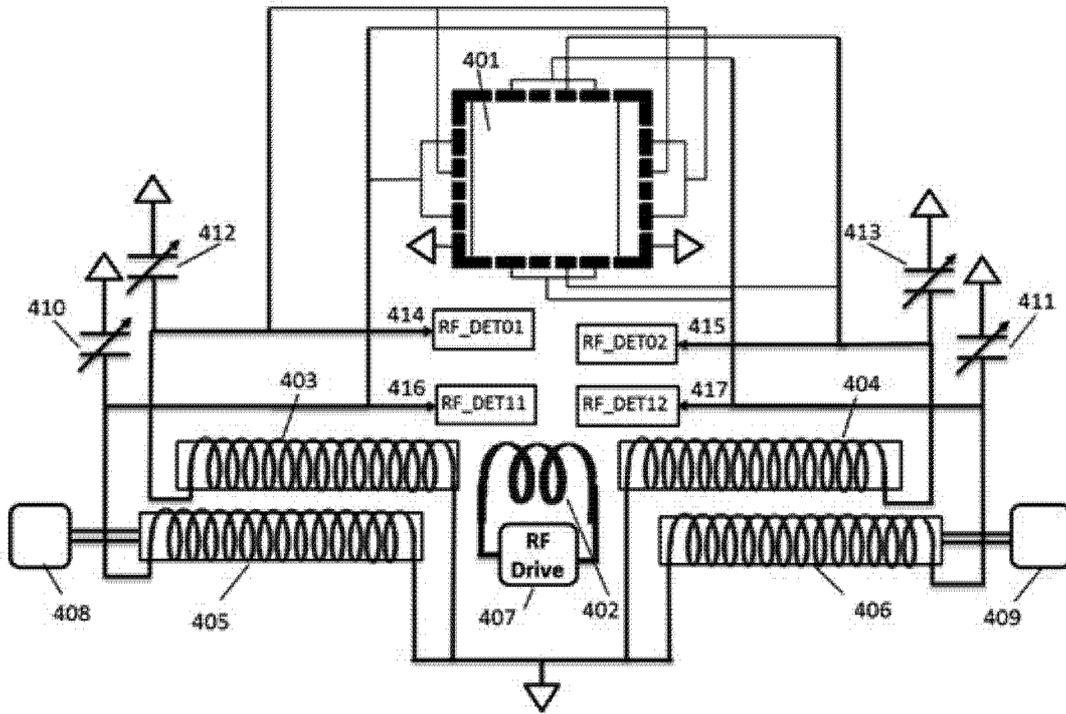


图 4

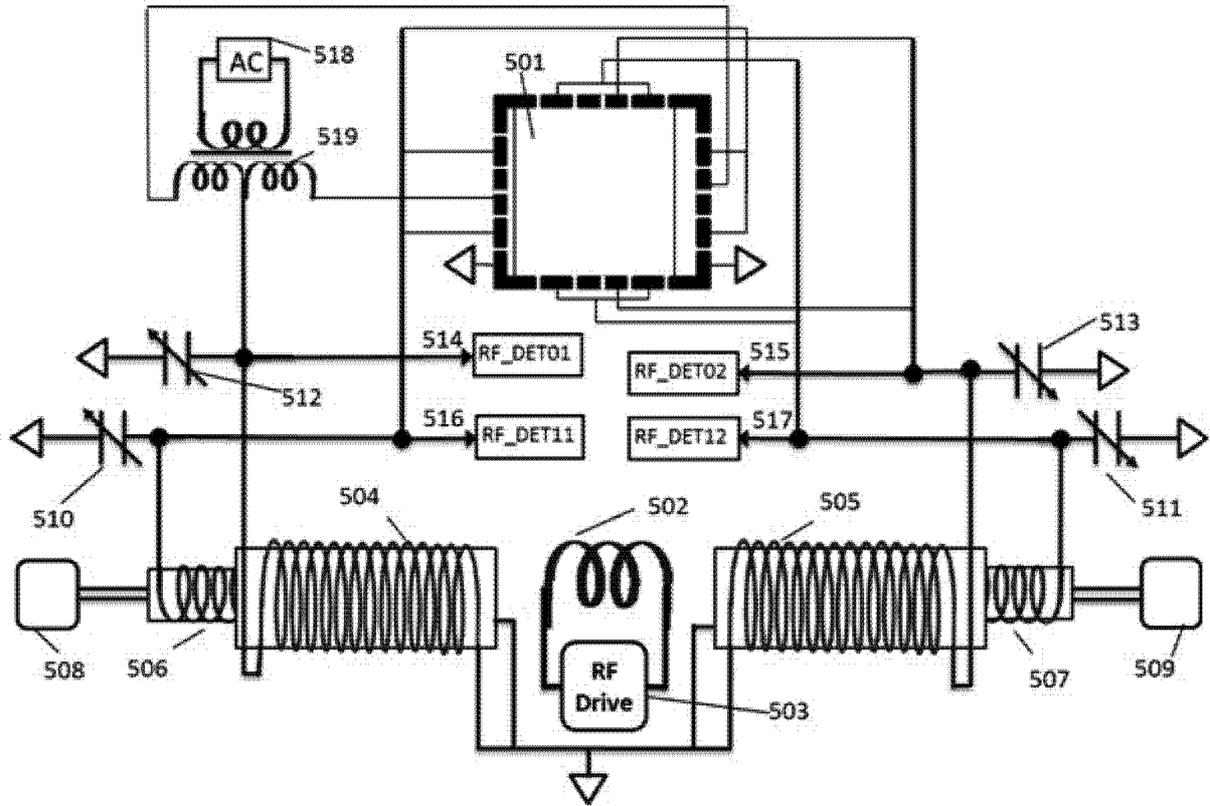


图 5

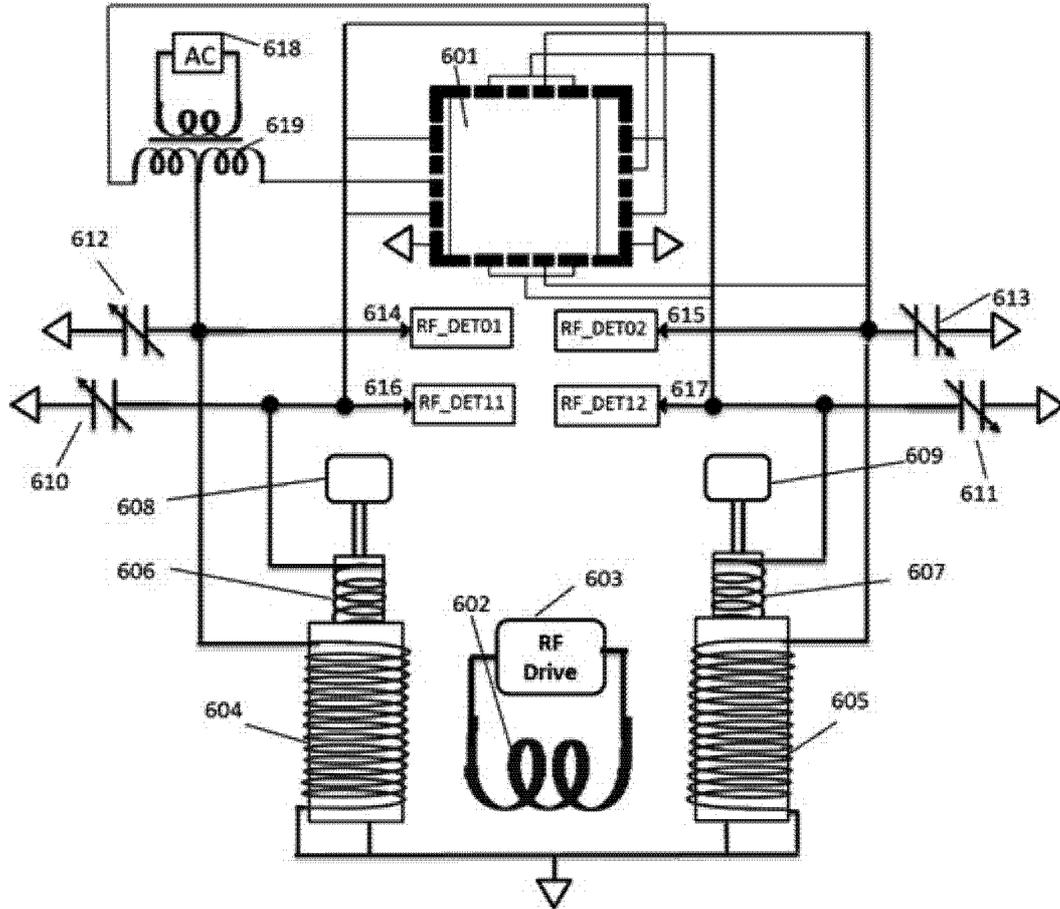


图 6

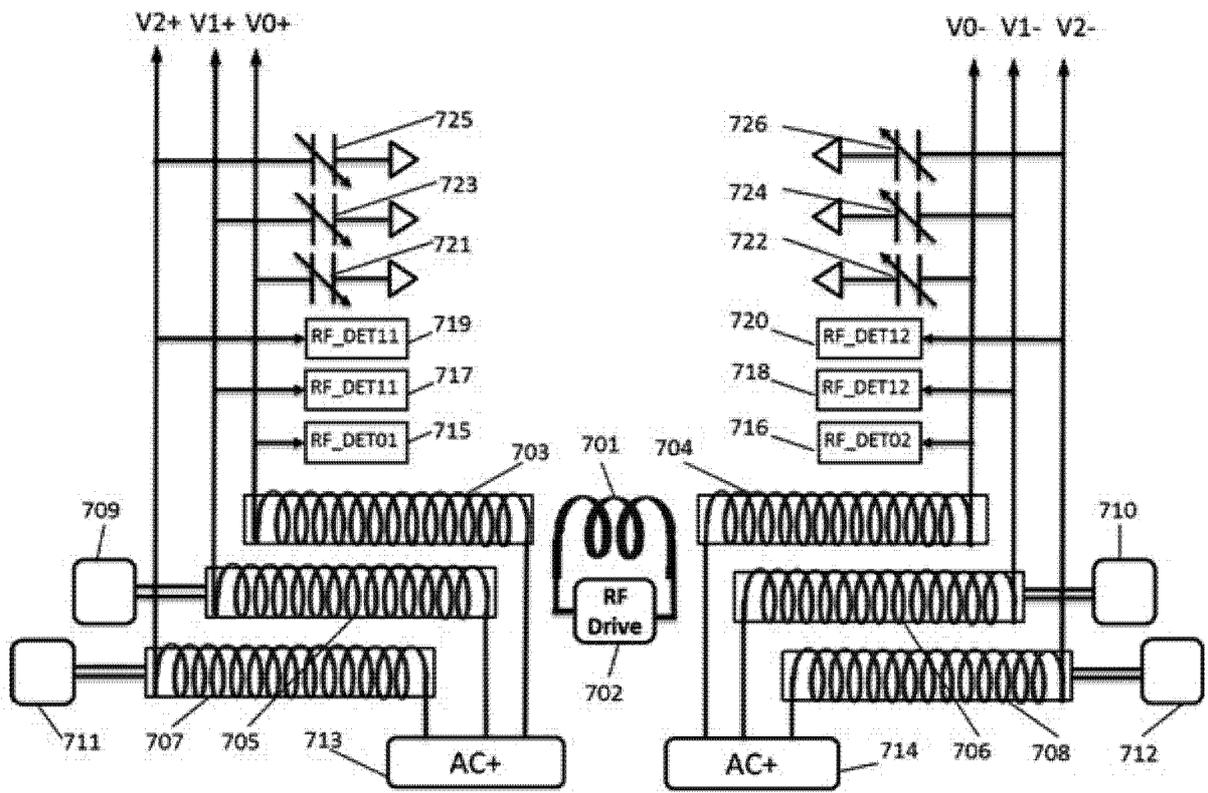


图 7

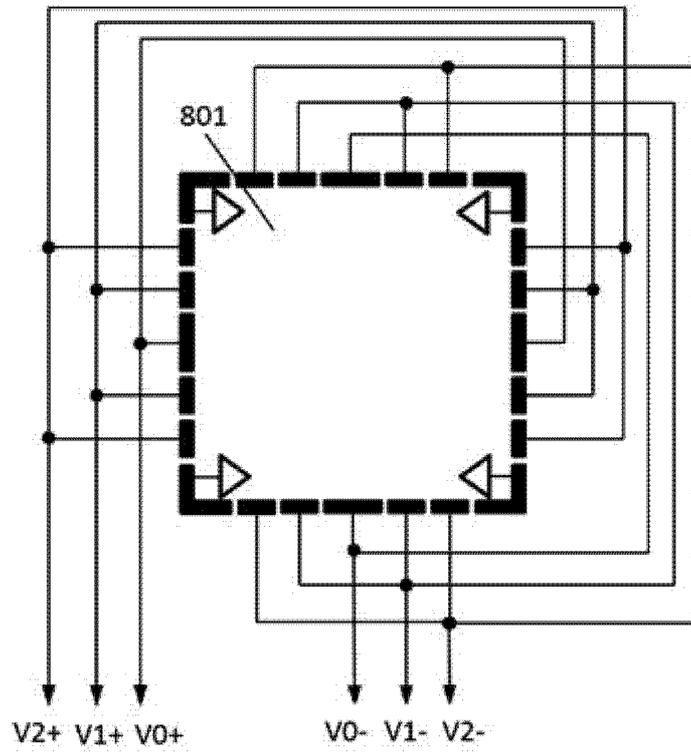


图 8