

1. 一种用于磁共振MR成像系统(110)的TEM射频天线装置(140, 240, 340), 所述磁共振成像系统(110)具有检查空间(116), 所述检查空间(116)具有基本上静态的主磁场, 所述静态的主磁场限定利用柱面坐标系描述的所述检查空间(116)的轴向方向(138, 238, 338),

所述TEM射频天线装置(140, 240, 340)包括由导电材料制成的多个横档(144, 244, 344),

所述多个横档(144, 244, 344)中的每个横档(144, 244, 344)具有至少一个轴向部件(146, 246, 346), 在运行状态中所述轴向部件(146, 246, 346)基本上被平行于所述轴向方向(138, 238, 338)布置,

所述多个横档(144, 244, 344)的所述轴向部件(146, 246, 346)被沿方位角方向(134, 234, 334)以绕中心轴线(142, 242, 342)基本上等间隔的关系布置,

所述每个横档(144, 244, 344)的所述至少一个轴向部件(146, 246, 346)具有两个端部区域(148, 248, 348, 150, 250, 350),

其中, 对于相对于所述方位角方向(134, 234, 334)相邻布置的所述多个横档(144, 244, 344)的至少两个横档(144', 144'', 244', 244'', 344', 344'')来说, 每个横档(144', 144'', 244', 244'', 344', 344'')包括相对于所述轴向部件(146, 246, 346)的至少一个横向部件(152, 154, 252, 254, 352, 354), 所述至少一个横向部件(152, 154, 252, 254, 352, 354)只电连接于那个横档(144', 144'', 244', 244'', 344', 344'')的所述轴向部件(146, 246, 346)的所述端部区域(148, 150, 248, 250, 348, 350)之一,

且其中在运行状态中, 相邻的所述横档(144', 144'', 244', 244'', 344', 344'')的所述至少一个横向部件(152, 154, 252, 254, 352, 354)基本上被布置成使得在所述两个横档(144', 144'', 244', 244'', 344', 344'')的每一所述横向部件(152, 154, 252, 254, 352, 354)上存在至少具有基本上相同方位角坐标的至少一个位置, 由此使所述横向部件中流动的电流所产生的磁场有效地加起来。

2. 根据权利要求1所述的TEM射频天线装置(140, 240, 340), 其特征在于, 所述TEM射频天线装置(140, 240, 340)用于在第一次操作时向所述检查空间(116)施加射频场, 以实现原子核的共振激励, 和用于在不同于所述第一次操作的另一次操作时接收由所述原子核发射的磁共振射频能量。

3. 根据权利要求1或2所述的TEM射频天线装置(140, 240, 340), 其特征在于, 所述TEM射频天线装置(140, 240, 340)被用于作为横向电磁模式TEM谐振器型体线圈来运行。

4. 根据权利要求1或2所述的TEM射频天线装置(140, 240, 340), 其特征在于, 相邻布置的所述横档(144', 144'', 244', 244'', 344', 344'')中每个的所述横向部件(152, 154, 252, 254, 352, 354)基本上被布置成使得具有基本上相同方位角坐标的所述两个横档(144', 144'', 244', 244'', 344', 344'')的所述横向部件(152, 154, 252, 254, 352, 354)的所述至少一个位置也具有相对于所述TEM射频天线装置(140, 240, 340)的中心轴线(142, 242, 342)基本上相同的径向坐标。

5. 根据权利要求1或2所述的TEM射频天线装置(140, 240, 340), 其特征在于, 相邻布置的所述横档(144', 144'', 244', 244'', 344', 344'')中的每个的所述横向部件(152, 154, 252, 254, 352, 354)基本上被布置成使得具有基本上相同方位角坐标的所述两个横档(144', 144'', 244', 244'', 344', 344'')的所述横向部件(152, 154, 252, 254, 352, 354)的所述至少一

个位置也具有基本上相同的轴向坐标。

6. 根据权利要求1或2所述的TEM射频天线装置(140, 240, 340), 其特征在于, 相对于所述方位角方向(134, 234, 334)相邻布置的所述多个横档(144, 244, 344)中的横档(144, 244, 344)的至少一个横向部件(152, 154, 252, 254, 352, 354)的中心线在空间中是直线。

7. 根据权利要求1或2所述的TEM射频天线装置(140, 240, 340), 其特征在于, 相对于所述方位角方向(134, 234, 334)相邻布置的所述多个横档(144, 244, 344)的至少一个横档(144, 244, 344)的所述中心线包括至少两个基本上直的区段(158, 258', 258", 358', 358") , 其中所述两个直的区段(158, 258', 258", 358', 358")被布置成形成钝角(162, 262)。

8. 根据权利要求1或2所述的TEM射频天线装置(140, 240, 340), 其特征在于, 所述横向部件(152, 154, 252, 254, 352, 354)中的至少一个的所述中心线的形状为曲线, 所述曲线在除了所述曲线端点以外的所有位置都是可微分的。

9. 根据权利要求8所述的TEM射频天线装置(140, 240, 340), 其特征在于, 所述曲线基本上是圆弧的一部分。

10. 一种磁共振MR成像系统(110), 包括:

用于将关注对象(120)置于其中的检查空间(116);

用于在所述检查空间(116)中产生基本上静态的磁场的主磁体(114), 其中, 所述基本上静态的磁场被平行于所述检查空间(116)的中心轴线(118)指向; 和

至少一个如权利要求1至9中任一所述的TEM射频天线装置(140, 240, 340)。

用于磁共振成像系统的TEM谐振器型射频天线装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于给磁共振(MR)成像系统的检查空间施加射频场的射频(RF)天线装置,和使用至少一个这种射频天线装置的磁共振成像系统。

背景技术

[0002] 在磁共振(MR)成像领域中,鸟笼型线圈被用作射频天线,特别是在例如3特斯拉那样的高磁场强度中被用作体线圈,这是因为鸟笼型线圈与横向电磁模式(TEM)型谐振器相比具有优越的功率效率。这主要是由于环电流,该环电流将射频(RF)场限制在线圈周围的较小区域内,而在TEM型谐振器的情况下射频场轴向地延伸到线圈之外很远。作为改进的尝试,已经提出了包括U形谐振器元件的线圈(Leussler等:用于高场强MRI的带有Z方向截断灵敏度分布的U形梯状TEM-线圈结构,ISMRM 20 (2012),2805)。这些所谓的UTEM(U形TEM型)线圈通过其横向导体元件来模拟鸟笼型线圈的环的功能,因此也能够限制线圈外的射频场。

[0003] 希望能够采用一种用于磁共振成像的TEM型谐振器,其中该谐振器具有限定的射频接地,该射频接地可有利地被用于失谐电路、馈送电缆和用于射频安全目的的射频拾取线圈,该TEM型谐振器也具有受限的射频场。

发明内容

[0004] 因此,本发明的目的之一是提供一种改进地减少线圈外射频场的TEM型射频天线。

[0005] 在本发明的一个方面中,该目的是通过这样一种射频(RF)天线装置来实现的,即,该射频(RF)天线装置用于具有检查空间的磁共振(MR)成像系统,该检查空间具有基本上静态的主磁场,该主磁场限定该检查空间的轴向方向,该TEM射频天线装置包括:

[0006] 由导电材料制成的多个横档,该多个横档中的每个横档具有至少一个轴向部件,在运行状态中该轴向部件基本上平行于轴向方向布置,其中该多个横档中的轴向部件沿方位角方向以绕中心轴线基本上等间隔的关系布置,且每个横档的该至少一个轴向部件具有两个端部区域,且对于相对于方位角方向相邻布置的多个横档中的至少两个横档来说,每个横档包括至少一个横向部件,该至少一个横向部件只电连接于那个横档的轴向部件的端部区域之一,在运行状态中,相邻横档的该至少一个横向部件基本上被布置成使得在两个横档的每个横向部件上存在至少具有基本上相同的方位角坐标的至少一个位置。

[0007] 如本领域技术人员所熟知,MR成像系统检查空间内的位置通常最好是使用柱面坐标来描述,这是由于绕主磁场的轴向方向的旋转对称,其中柱面坐标系的z轴通常对准该轴向方向。在运行状态中,TEM射频天线装置的中心轴线与z轴一致。

[0008] 本申请中使用的短语“方位角地”,应当特别理解为是沿绕柱面坐标系的z轴的方位角方向排布。

[0009] 本申请中使用的短语“端部区域”,应特别理解为起始于横档的端部并延至横档长度的三分之一、优选至四分之一、更优选至五分之一的区域。

[0010] 本申请中使用的短语“横向部件”，应特别理解为相对于轴向部件排布，以形成不同于直角的夹角的边的部件，其中该夹角与直角相差小于或大于60°，优选小于45°，以及更优选小于30°。

[0011] 于是，该TEM射频天线装置可被以具有类似于鸟笼型线圈的环电流的电流分布的横向电磁模式(TEM)驱动，其中在相邻横档的横向部件之间没有任何直接电连接，但具有限制TEM射频天线装置的射频场的效果。短语“直接电连接”应特别理解为是横向部件之间的电连接，该电连接不包括区别于两个横向部件的附加连接部分。

[0012] 作为有利的副作用，相邻横档之间的电磁耦合增强，导致TEM射频天线装置的大部分共振模式的分裂增加(即，两个连续共振频率的频率之差随着耦合增强而变大)，这有利于双通道或正交模式的操作。

[0013] 在本发明的另一个方面中，该TEM射频天线装置用于在第一次操作时向检查空间施加射频场，以实现原子核的共振激励，和用于在不同于第一次操作的另一次操作时接收由原子核发射的磁共振射频能量。由此，可以实现一种具有改进的功率灵敏度和信噪比的发射/接收射频天线。

[0014] 优选地，该TEM射频天线装置被用于作为横向电磁模式(TEM)谐振器型体线圈来运行，使得视场可以从置于TEM射频天线装置内的人体的任何部位选择。

[0015] 在优选实施例中，相邻布置的横档中每个横档的横向部件基本上被布置成使得具有基本上相同方位角坐标的两个横档的所述横向部件的所述至少一个位置也具有相对于TEM射频天线装置的中心轴线基本上相同的径向坐标。由此，横档可以在径向方向上占用较少空间的方式布置，这在筒状检查空间中是非常宝贵的。

[0016] 在另一优选实施例中，相邻布置的横档中的每个横档的横向部件基本上被布置成使得具有基本上相同方位角坐标的两个横档的所述横向部件的所述至少一个位置也具有基本上相同的轴向坐标。因此，横档可以在轴向方向上占用较少空间的方式布置，使TEM射频天线装置的轴向长度保持较短。

[0017] 优选地，相对于方位角方向相邻布置的多个横档中的横档的至少一个横向部件的中心线在空间中是直线。本申请使用的短语“中心线”应特别理解为在垂直于延伸方向的平面内代表横向部件的潜在截面的几何中心的许多点。空间中的直线可以包括径向分量以及轴向分量(即沿z方向)。于是，可通过建设性地非常容易的方式来模拟鸟笼型线圈的环中的电流分布。

[0018] 相对于方位角方向相邻布置的多个横档中的至少一个横档的中心线可包括至少两个基本上直的区段，其中两个直的区段被布置成形成钝角。由空间中两条直线形成的角可以通过建立表示两条直线的方向的空间中两个正规化向量的点积来确定。由此，可以实现相邻布置的横档之间较大的重叠，从而导致产生能改进对TEM射频天线装置的射频场的限制的更大模拟电流，和更强的横档电磁耦合。

[0019] 如果至少一个横向部件的中心线的形状为曲线，那么就可以实现对鸟笼型线圈中环电流的改进模拟。当曲线在除了该曲线端点之外的所有位置都可微分时尤其如此。该曲线可以包括为补偿目的的拐点。

[0020] 在另一优选实施例中，该曲线基本上是圆弧的一部分。结果，横档中的电流对射频场的贡献可接近于鸟笼型线圈中环形区段的电流。在相邻布置的横档中的这种电流叠加可

以导致产生对鸟笼型线圈中的环电流的优异模拟。

[0021] 本发明的另一目的是提供一种磁共振MR成像系统,该成像系统包括用于放置关注对象的检查空间、在检查空间中产生基本上静态的磁场的主磁体、和TEM射频天线装置的公开实施例中的至少之一或其组合,其中基本上静态的磁场被平行于检查空间的中心轴线指向。

附图说明

[0022] 通过参照下文描述的实施例,本发明的这些和其它方面将变得明显并得到阐明。然而,这样的实施例不必代表本发明的全部范围,因此参引权利要求,以解释本发明的范围。

[0023] 在附图中:

[0024] 图1是根据本发明的包括射频(RF)天线装置的磁共振成像系统的实施例一部分的示意图,

[0025] 图2是根据图1实施例的TEM射频天线装置的立体图,

[0026] 图3是根据本发明的TEM射频天线装置的替代实施例的立体图,

[0027] 图4是根据本发明的TEM射频天线装置的另一替代实施例的立体图,

[0028] 图5示出了和常规射频天线装置相比根据本发明的各种TEM射频天线装置的模拟射频场分布,和

[0029] 图6示出了和常规射频天线装置相比根据本发明的TEM射频天线装置的共振频谱。

具体实施方式

[0030] 本说明书包含本发明的几个实施例。各实施例参照特定附图或一组附图进行描述,并且由特定实施例的前缀号码来标识。在所有实施例中功能相同或基本相同的特征是通过由相关实施例的前缀号码及随后的该特征的号码组成的附图标记来标识的。如果实施例的特征没有在相应的附图描述中描述,或者在附图描述中提及的附图标记未在附图本身中示出,则应参考在先实施例的描述。

[0031] 图1示出了包括磁共振扫描器112的磁共振(MR)成像系统110的实施例一部分的示意图。磁共振成像系统110包括用于产生基本上静态的磁场的主磁体114。主磁体114具有中心孔,该中心孔为将被置于其中的关注对象120(通常为患者)提供了围绕中心轴线118的检查空间116。为清楚起见,在图1中已经省略了用于支撑患者的惯用工作台。基本上静态的磁场限定检查空间116的轴向方向138,该轴向方向138平行于中心轴线118对准。原则上,本发明也适用于提供了带有静态磁场的检查区域的任何其它类型的MR成像系统。此外,MR成像系统110包括用于产生叠加于静态磁场的梯度磁场的磁场梯度线圈系统122。如本领域公知的,磁场梯度线圈系统122被同心地设置在主磁体114的孔内。

[0032] 此外,MR成像系统110包括射频(RF)天线装置140,该射频(RF)天线装置140被设计为整个的体线圈,该体线圈用于在射频发射阶段向检查空间116施加射频磁场,以激发关注对象120的原子核。TEM射频天线装置140也被用于在射频接收阶段接收来自被激发的原子核的MR信号。在MR成像系统110的运行状态,射频发射阶段和射频接收阶段以连续的方式发生。MR成像系统110包括用于控制MR扫描器112的功能的MR成像系统控制单元126。

[0033] TEM射频天线装置140具有中心轴线142(图2),并且在运行状态时,TEM射频天线装置140被同心地置于主磁体114的孔中,使得射频天线装置140的中心轴线142与MR成像系统110的中心轴线118重合。如本领域熟知的,在磁场梯度线圈系统122和TEM射频天线装置140之间同心地设有圆柱形金属射频屏124。

[0034] 射频发射单元130被用于在射频发射阶段经由射频开关单元132向TEM射频天线装置140馈送MR射频的射频功率。在射频接收阶段,射频开关单元132将来自TEM射频天线装置140的MR信号导入到居于MR成像系统控制单元126中的MR图像重建单元128。这种技术是本领域技术人员公知的,因此在本文中不需要作进一步的详细描述。

[0035] 图2是根据图1实施例的TEM射频天线装置140的立体图。TEM射频天线装置140包括由比如铜的导电材料制成的多个二十横档144。多个横档中的每个横档144都包括一个轴向部件146,在运行状态时该轴向部件基本上平行于轴向方向138布置且沿该轴向方向138延伸。

[0036] 横档144在图2中以线状方式示出。横档144也可以具有垂直于中心轴线142的方向的更宽延展。在这种情况下,图1所示的线应被理解为表示横档144的中心线。

[0037] 多个二十横档144的轴向部件146沿方位角方向134以绕TEM射频天线装置140的中心轴线142基本上等间隔的关系布置。

[0038] 每个横档144的轴向部件146都具有两个端部区域148、150。每个横档144包括两个横向部件152、154。两个横向部件152、154中的每一个仅电连接于那个横档144的轴向部件146的端部区域148、150中的一个。在每一个横档144的每一端部区域148、150处,横向部件152、154和轴向部件146形成与直角相差小于15°的夹角的两条边。

[0039] 如图2所示,对于相对方位角方向134相邻布置的多个二十横档144的每两个横档144'、144"来说,在运行状态中,相邻横档144'、144"的横向部件152、154基本上被布置成使得存在着横向部件152、154的一部分156,以及尤其是在两个横档144'、144"的每一横向部件152、154上的至少一个位置,该部分156和该至少一个位置至少具有相同方位角坐标。为了说明的目的,更加定性地描述相邻布置的两个横档144'、144"之间的相对构造的另一种方式是在轴向方向138和/或径向方向136上看时,它们是“部分重叠”的。

[0040] 在图2的TEM射频天线装置140的实施例中,相邻横档144'、144"的横向部件152、154基本上这样布置,即除了横向部件152、154的现有部分156具有相同方位角坐标以外,该部分156还具有相同的径向坐标,当TEM射频天线装置140被安装和处于运行状态时,该径向坐标描述了在径向方向136上一位置到检查空间116的中心轴线118的距离。

[0041] 多个二十横档144的横档144的横向部件152、154中的每一个具有中心线,该中心线包括三个直的区段158,该三个直的区段158在空间中是直线,且被布置在与假想圆柱体的侧表面164相切的平面内,该假想圆柱体的圆柱体轴线与TEM射频天线装置140的中心轴线142一致,且该假想圆柱体的半径与横档144的径向坐标相同。每个横向部件152、154的彼此直接电连接的两个直的区段158被布置成形成钝角162。在相对于横档144的轴向部件146的远端160处,每个横向部件152、154经由电容器(未示出)连接至射频屏124。

[0042] 图2的TEM射频天线装置140被用来作为横向电磁模式(TEM)谐振器型体线圈来工作。电容器可以被设置在所有横档144处,以便将TEM射频天线装置140调谐至所希望的共振,以及实现电场的预期分布。TEM射频天线装置140的射频馈送可以通过相对于射频屏124

的电容方式来实现,也可以是电感方式。这些技术和实施例与本领域技术人员从标准TEM谐振器型线圈已知的类似。

[0043] 横档144的横向部件152、154中流动的电流所产生的磁场有效地加起来,以模拟鸟笼型体线圈的环电流产生的磁场,这样导致TEM射频天线装置140外面的射频场减弱,如将在后面描述的。

[0044] 图3是根据本发明的TEM射频天线装置240的替代实施例的立体图,包括多个二十横档244。这里,方位角上相邻的横档244'、244"的横向部件252、254基本上被布置成这样,即,除了横向部件252、254的现有部分256具有相同方位角坐标外,该部分256还具有相同的轴向坐标,该轴向坐标描述了沿TEM射频天线装置240的中心轴线242的位置。

[0045] 多个二十横档244的横档244的横向部件252、254中的每一个具有中心线,该中心线包括两个直的区段258'、258",该两个直的区段在空间中是直线,且被布置在与TEM射频天线装置240的中心轴线242垂直的平面内。每个彼此直接电连接的横向部件252、254的两个直的区段258'、258"被布置成形成钝角262。在相对于它们电连接的横档244的轴向部件246的远端260处,每个横向部件252、254经电容器(未示出)连接至射频屏224。由图2可以显见,相邻横档244'、244"之间的电磁耦合可能比常规的TEM型谐振器要大。这有利于促进TEM射频天线装置240的共振模式频率的分裂。

[0046] 这种TEM射频天线装置240的横档244的横向部件252、254看起来好像第一直的区段258'以第一角度绕轴向部件246倾斜,且好像第二直的区段258"以第二角度绕第一直的区段258'和第二直的区段258"之间的铰接连接倾斜。从这个外观上,以及从横档244的U形形状上,根据本发明的TEM射频天线装置40可以被称作是一种倾斜的(tilted)U形(U-shaped)TEM(tUTEM)型谐振器设计。

[0047] 图4是根据本发明的TEM射频天线装置340的另一替代实施例的立体图,其中多个横档344的横档344的横向部件352、354的两个直的区段358'、358"被布置成这样,即,对于相对于方位角方向334相邻布置的多个二十横档344的每两个横档344'、344"来说,在运行状态中,相邻横档344'、344"的横向部件352、354被布置成存在着横向部件352、354的部分356,该部分356仅具有相同的方位角坐标和不同的轴向及径向坐标。

[0048] 在根据本发明的TEM射频天线装置的另一实施例中,TEM射频天线装置的横档可具有横向部件,其中该横向部件具有中心线,该中心线的形状为曲线,且在除了该曲线端点以外的所有位置都是可微分的,尤其是类似圆弧的一部分的形状。每个横向部件可位于假想圆柱体的侧表面内,该假想圆柱体具有与TEM射频天线装置的中心轴线一致的中心轴线。这样的TEM射频天线装置的优点在于有特别平滑的射频场分布。

[0049] 图5示出了与常规射频天线装置相比根据本发明的各种TEM射频天线装置的模拟射频场分布。纵坐标上示出的是沿无负荷时TEM射频天线装置140、240、340(空载的TEM射频天线装置140、240、340)的中心轴线142、242、342的射频磁场H1+的幅度。在图例中,参数“环百分比”表示上述方位角的“重叠”,即,一个横档144'、244'、344'的横向部件152、154、252、254、352、354沿方位角上相邻布置的横档144"、244"、344"的方向伸出多远,100%表示一个横档144'、244'、344'的横向部件152、154、252、254、352、354一直延伸到相邻的横档144"、244"、344",因此,在两个相邻横档144'、244'、344'、144"、244"、344"的每个横向部件152、154、252、254、352、354上仅存在至少具有相同方位角坐标的一个位置。对于常规的TEM型谐

振器体线圈,这个参数等于0%,而对于[1]所建议的U形谐振器元件,该参数限制为100%。从减小TEM射频天线装置140、240、340外面的射频场强度来看,如图5所示参数为150%和200%的情形,根据本发明的TEM射频天线装置140、240、340的优点是显然的。

[0050] 图6示出了根据本发明的TEM射频天线装置140、240、340的横档144、244、344之间的更强电磁耦合的有益副作用。图6的右手侧示出了根据本发明的TEM射频天线装置140、240、340的共振模式频率 f_{res} ,其中射频天线装置140、240、340包括带有横向部件152、154、252、254、352、354的横档144、244、344,横向部件152、154、252、254、352、354延伸到第二个下一相邻横档144、244、344(即环参数等于200%),与之相比的是示于图6的左手侧的常规TEM型谐振器的共振模式频谱。两个TEM射频天线装置都被调谐到128MHz的共振频率,该共振频率作为连接横档至射频屏124的电容的函数,其中在该横档中放置4个每个30pF的固定电容器。如图所示,强耦合引起大多数其他未使用和不希望的共振模式频率 f_{res} 远离预期的共振频率128MHz而显著偏移。

[0051] 尽管在附图和前面的描述中详细示出和描述了本发明,但这样的图示说明和描述应当被认为是说明性或示例性的,而非限制性的;本发明不限于已公开的实施例。本领域技术人员通过研究附图、公开内容和所附的权利要求,在实践所要求保护的发明的过程中,能够理解和实现对公开实施例的其他变型。在权利要求中,词语“包括”不排除其他元件或步骤,以及不定冠词“一”或“一个”不排除复数个。尽管某些措施在彼此区别的从属权利要求中描述,但并不表示这些元件不能结合使用。在权利要求中的任何附图标记都不应被解释为限制范围。

[0052] 附图标记列表

| | | |
|--------|-------------|---------------|
| [0053] | 110 | 磁共振成像系统 |
| [0054] | 112 | 磁共振扫描器 |
| [0055] | 114 | 主磁体 |
| [0056] | 116 | 检查空间 |
| [0057] | 118 | 中心轴线 |
| [0058] | 120 | 关注对象 |
| [0059] | 122 | 磁场梯度线圈系统 |
| [0060] | 124 | 射频屏 |
| [0061] | 126 | 磁共振成像系统控制单元 |
| [0062] | 128 | 磁共振图像重建单元 |
| [0063] | 130 | 射频发射单元 |
| [0064] | 132 | 射频开关单元 |
| [0065] | 134,234,334 | 方位角方向 |
| [0066] | 136,236,336 | 径向方向 |
| [0067] | 138,238,338 | 轴向方向 |
| [0068] | 140,240,340 | 射频天线装置 |
| [0069] | 142,242,342 | TEM射频天线装置中心轴线 |
| [0070] | 144,244,344 | 横档 |
| [0071] | 146,246,346 | 轴向部件 |

| | | |
|--------|--------------|----------|
| [0072] | 148,248,348 | 端部区域 |
| [0073] | 150,250,350 | 端部区域 |
| [0074] | 152,252,352 | 横向部件 |
| [0075] | 154,254,354 | 横向部件 |
| [0076] | 156,256,356 | 横向部件的一部分 |
| [0077] | 158,258' , | 直的区段 |
| [0078] | 258" ,358' , | |
| [0079] | 358" | |
| [0080] | 160,260 | 远端 |
| [0081] | 162,262 | 钝角 |
| [0082] | 164,264 | 圆柱体侧表面 |
| [0083] | H1+ | 射频磁场幅度 |
| [0084] | f_{res} | 共振模式频率 |

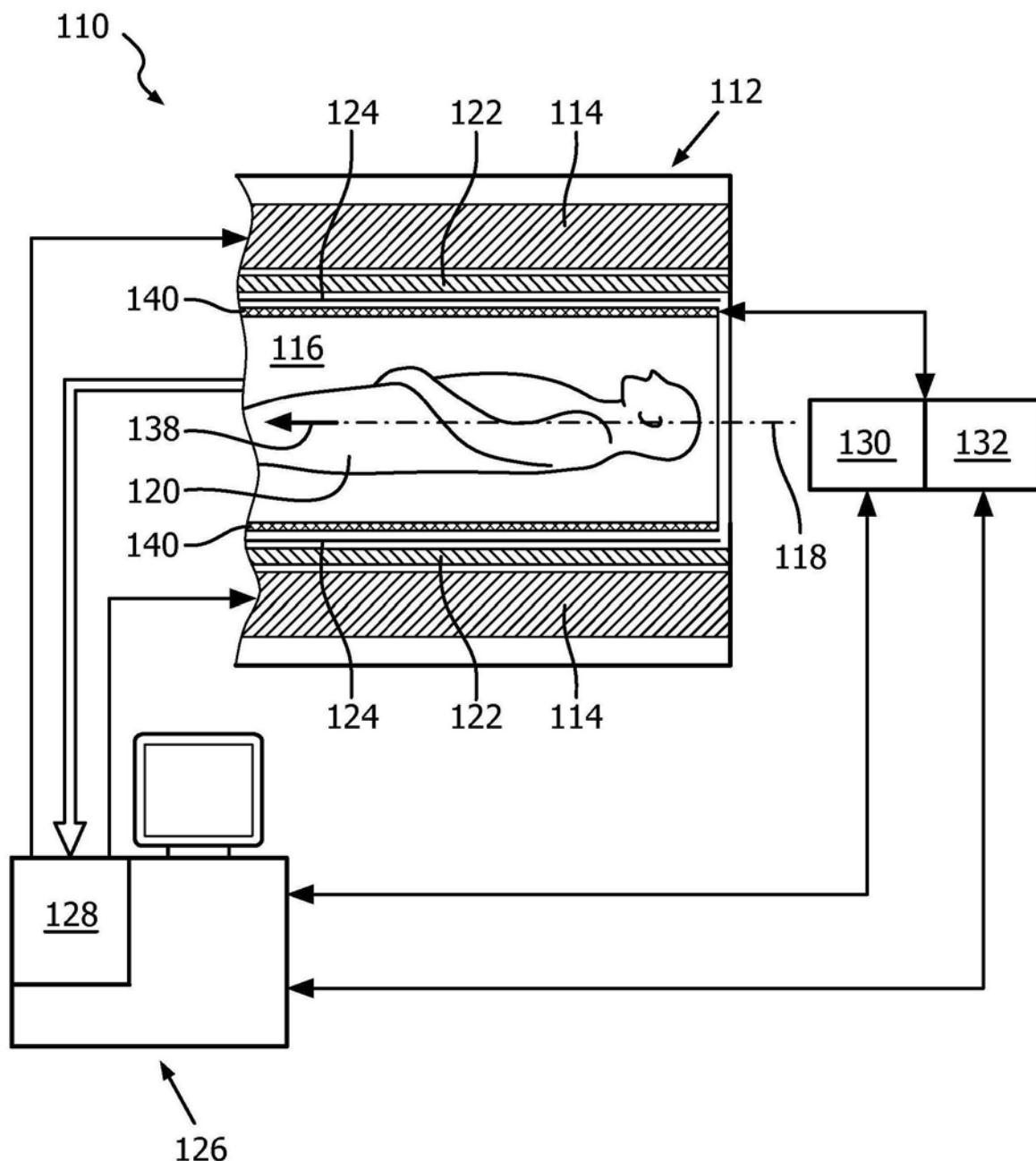


图1

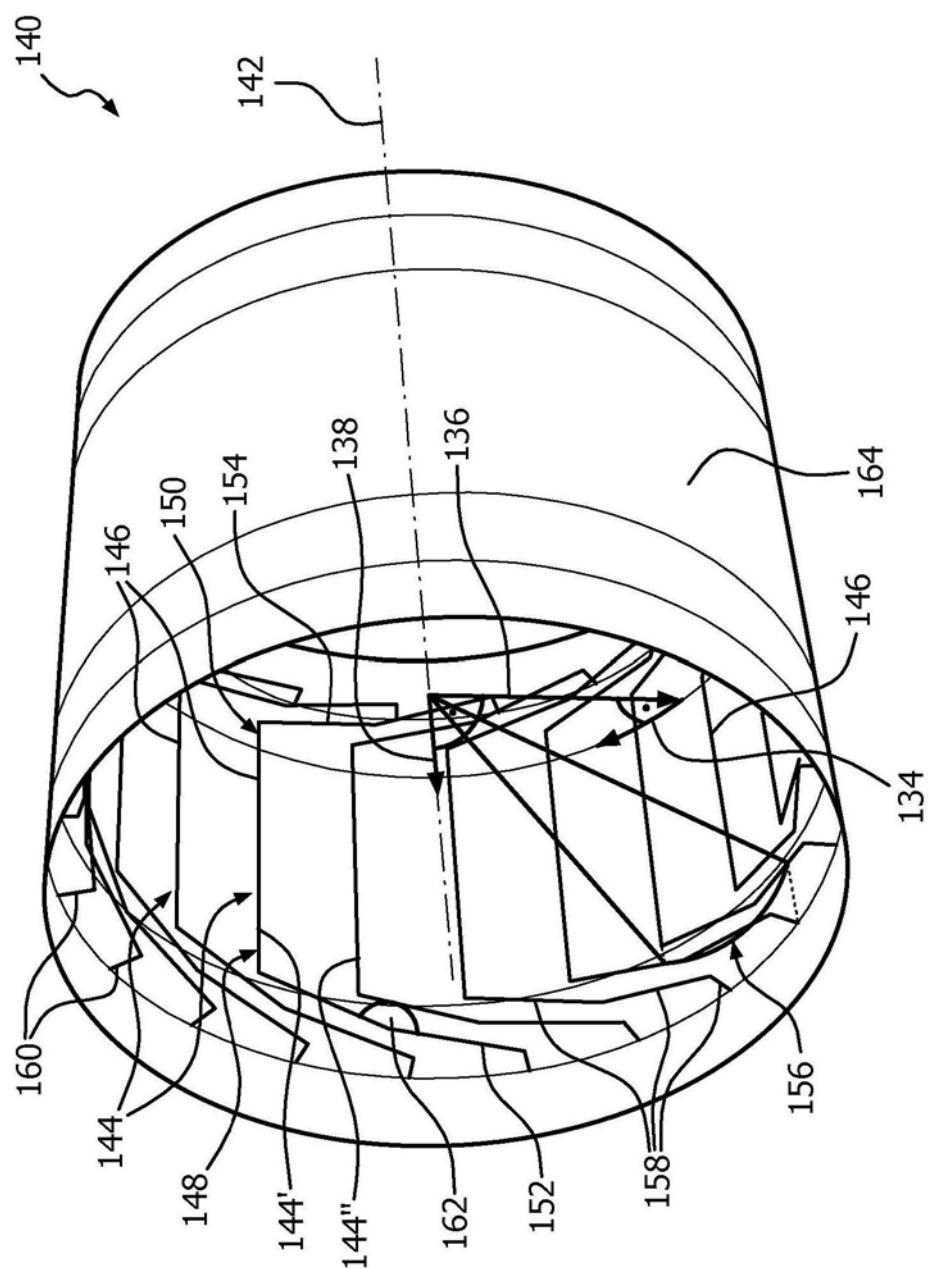


图2

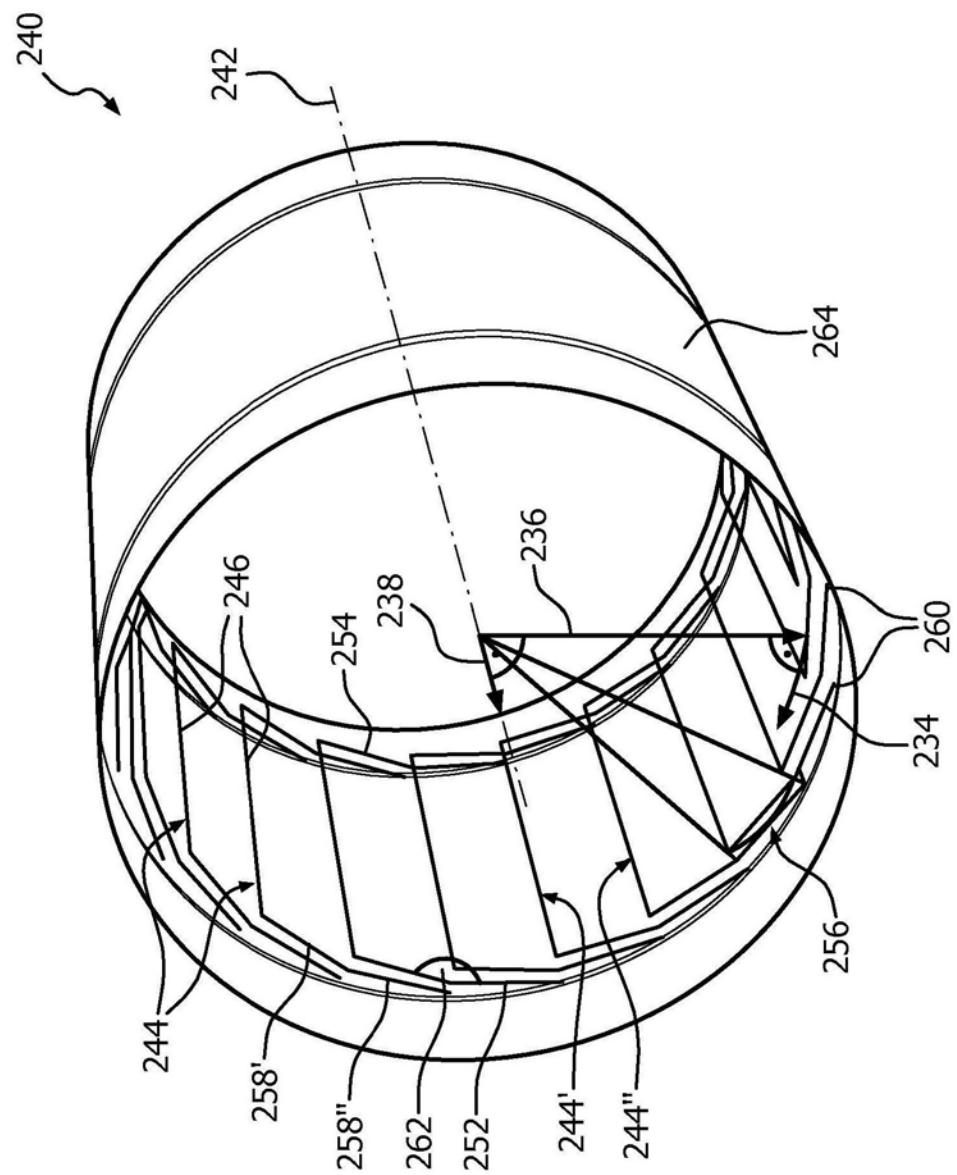


图3

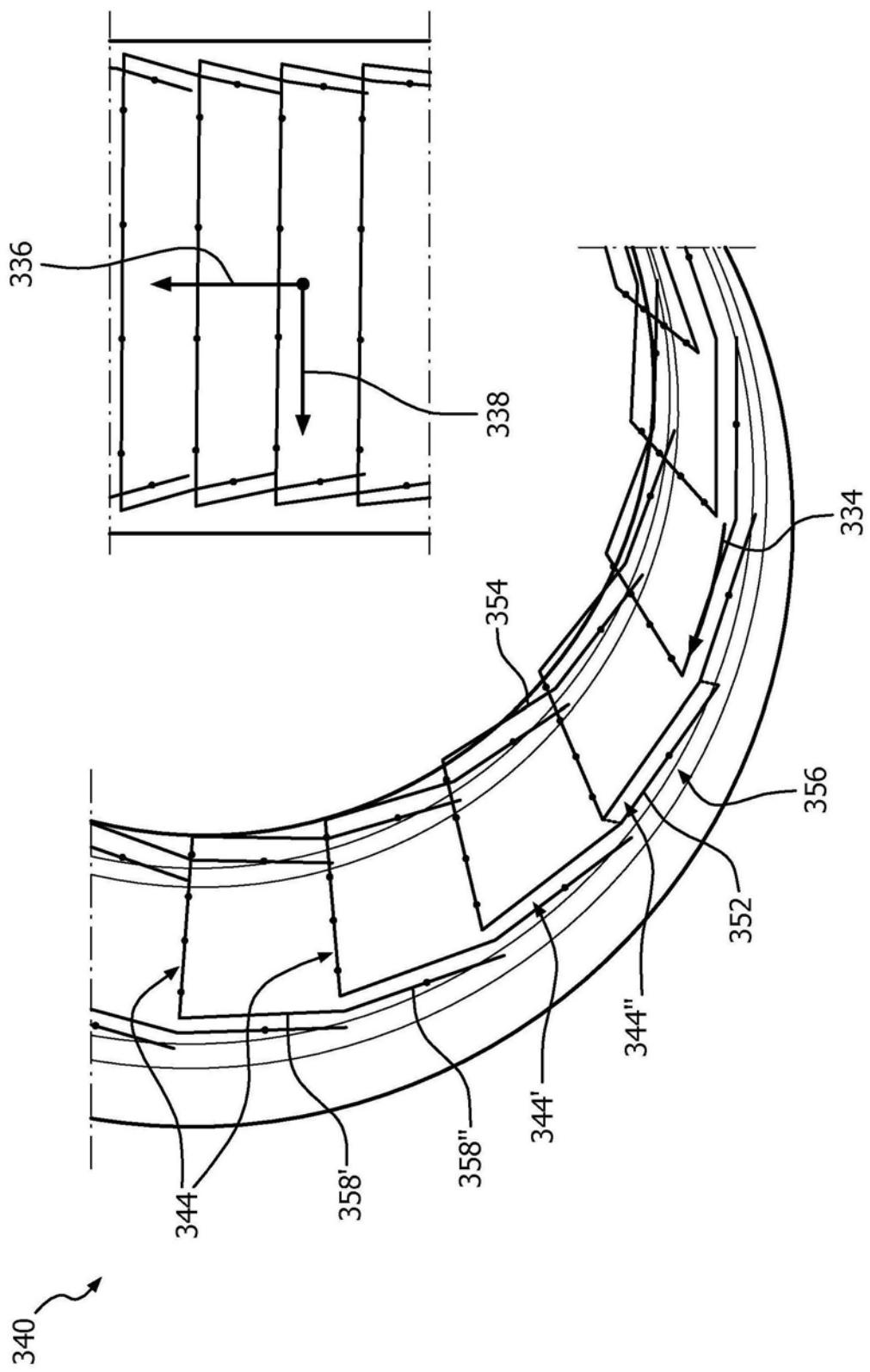


图4

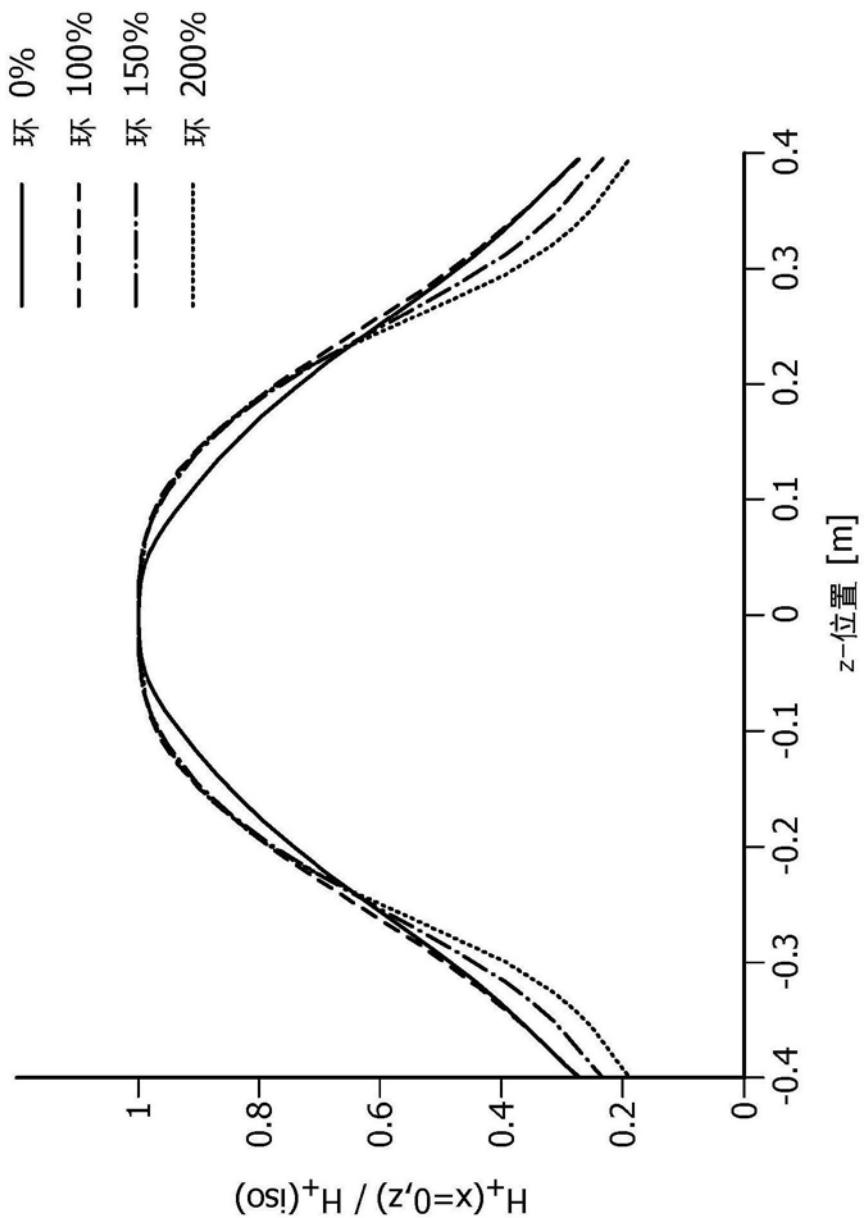


图5

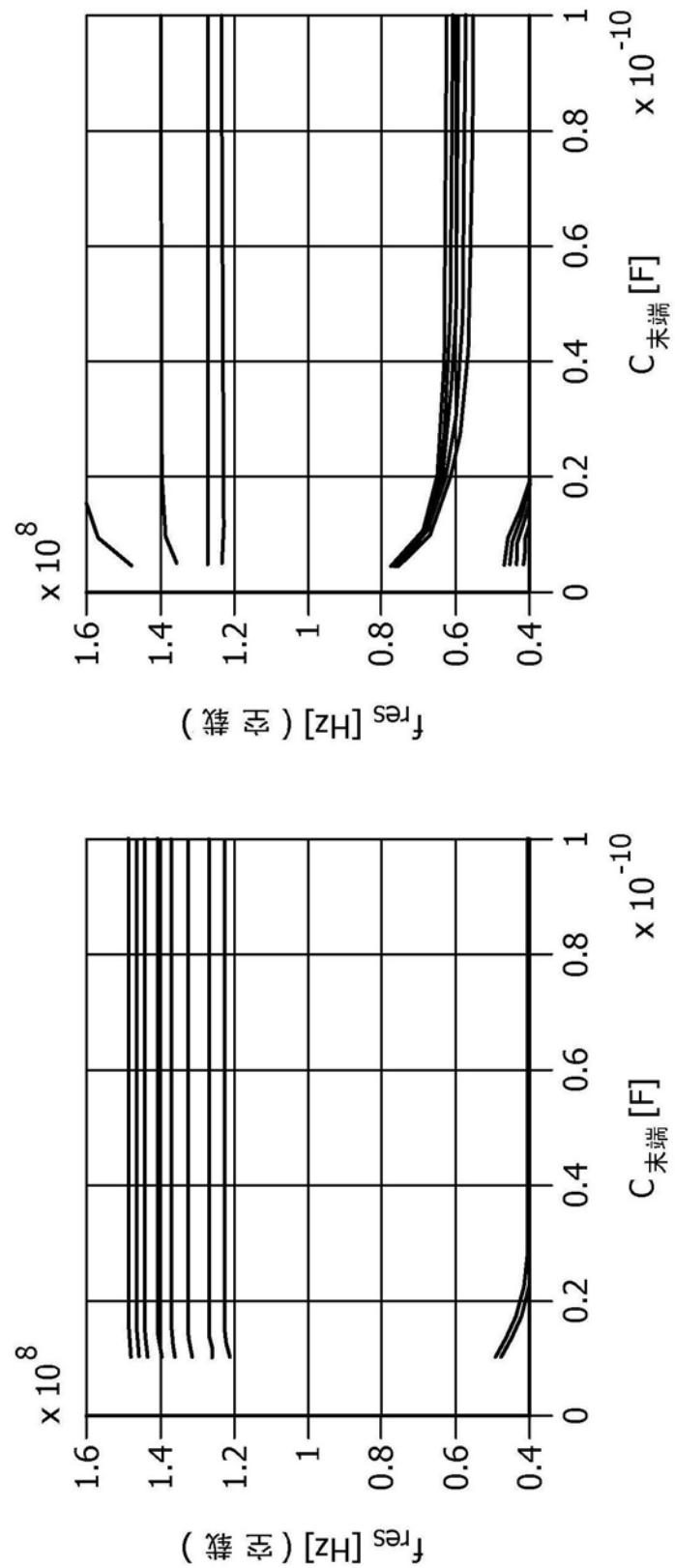


图6