



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101896830 A

(43) 申请公布日 2010. 11. 24

(21) 申请号 200880120114. 2

G01R 33/345 (2006. 01)

(22) 申请日 2008. 12. 12

G01R 33/36 (2006. 01)

(30) 优先权数据

G01R 33/422 (2006. 01)

61/013, 333 2007. 12. 13 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010. 06. 10

(86) PCT申请的申请数据

PCT/IB2008/055235 2008. 12. 12

(87) PCT申请的公布数据

W02009/074966 EN 2009. 06. 18

(71) 申请人 皇家飞利浦电子股份有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

(72) 发明人 Z·翟 M·莫里希 G·德梅斯泰

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 王英 刘炳胜

(51) Int. Cl.

G01R 33/34 (2006. 01)

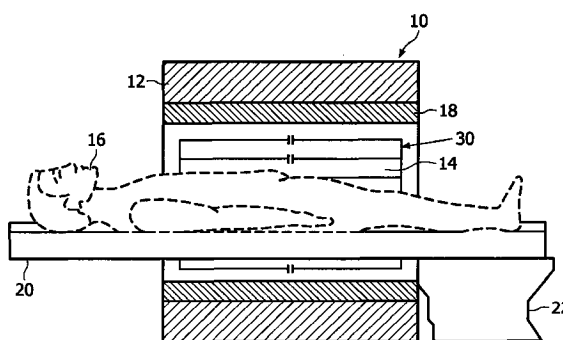
权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 3 页

(54) 发明名称

适于提供端环模式的双调谐体积线圈

(57) 摘要

一种磁共振线圈包括布置用于限定圆柱体的平行细长传导元件 (32) 和端环 (34, 35), 所述端环设置于平行细长传导元件的相对端并与平行细长传导元件横向取向。端环配置用于支持在一磁场强度下的正弦 ^1H 或其他第一核素磁共振。端环和平行细长传导元件配置用于协同地支持在同一磁场强度下的第二核素鸟笼磁共振, 第二核素与 ^1H 或其他第一核素不同。



1. 一种磁共振线圈,包括:
平行细长传导元件 (32),其布置用于限定圆柱体;以及
端环 (34、35),所述端环设置于所述平行细长传导元件的相对端并与所述平行细长传导元件横向取向;
所述端环配置用于支持在一磁场强度下的正弦 ^1H 磁共振;以及
所述线圈还配置用于支持在同一所述磁场强度下的第二核素磁共振,所述第二核素与 ^1H 不同。
2. 根据权利要求 1 所述的磁共振线圈,其中,所述端环 (34、35) 和所述平行细长传导元件 (32) 协同以支持所述第二核素磁共振,作为在所述磁场强度下的鸟笼第二核素磁共振。
3. 根据权利要求 1 所述的磁共振线圈,其中,所述平行细长传导元件 (32) 包括射频陷波器元件 (44、45),所述射频陷波器元件配置用于充分抑制在所述磁场强度下所述平行细长传导元件上的 ^1H 磁共振。
4. 根据权利要求 1 所述的磁共振线圈,还包括:
至少靠近所述端环 (34、35) 布置的一个或多个射频屏蔽部分 (36、36'、38、38'、39),所述一个或多个射频屏蔽部分与所述端环协同以将所述端环配置用于支持在所述磁场强度下的所述正弦 ^1H 磁共振。
5. 根据权利要求 4 所述的磁共振线圈,其中,所述一个或多个射频屏蔽部分 (36、36'、38、38'、39) 包括:
布置在所述平行细长传导元件 (32) 的每个端的屏蔽凸缘部分 (38、39) 和屏蔽端盖部分 (38') 中的至少一种,以屏蔽所述端环 (34、35) 中邻近的一个。
6. 根据权利要求 4 所述的磁共振线圈,其中,所述一个或多个射频屏蔽部分 (36、36'、38、38'、39) 包括:
圆柱形射频屏蔽 (36、36'),所述圆柱形射频屏蔽还包括布置在所述平行细长传导元件 (32) 的每个端的屏蔽凸缘部分 (38、39) 和屏蔽端盖部分 (38') 中的至少一种,以屏蔽所述端环 (34、35) 中邻近的一个。
7. 根据权利要求 6 所述的磁共振线圈,其中:
所述端环 (34、35) 和所述平行细长传导元件 (32) 协同以支持所述第二核素磁共振,作为在所述磁场强度下的鸟笼第二核素磁共振;并且
所述圆柱形射频屏蔽 (36') 具有中央开口区域。
8. 一种磁共振扫描器,包括:
配置用于产生静 (B_0) 磁场的主磁体 (12);
配置用于在所述静 (B_0) 磁场上叠加选定的磁场梯度的磁场梯度线圈 (18);以及
根据权利要求 1 所述的磁共振线圈。
9. 一种磁共振线圈,包括:
平行细长传导元件 (32),其布置用于限定圆柱体;
端环 (34、35),其设置于所述平行细长传导元件的相对端并与所述平行细长传导元件横向取向;以及
至少接近所述端环的射频屏蔽 (36、36'、38、38'、39);
所述端环、所述平行细长传导元件和所述射频屏蔽配置用于协同地支持在一磁场强度

下所述端环上的正弦端环第一核素磁共振和同一所述磁场强度下的第二核素鸟笼磁共振。

10. 根据权利要求 9 所述的磁共振线圈,其中,所述平行细长传导元件 (32) 包括射频陷波器 (44、45),所述射频陷波器被调谐用于阻塞在所述磁场强度下的所述第一核素磁共振频率。

11. 根据权利要求 9 所述的磁共振线圈,其中,所述射频屏蔽 (36、36'、38、38'、39) 包括:

接近所述端环中的第一端环设置的凸缘 (38、39) 或端盖 (38');以及
接近所述端环中的第二端环设置的凸缘或端盖。

12. 根据权利要求 11 所述的磁共振线圈,其中,所述射频屏蔽 (36、36'、38、38'、39) 还包括:

圆柱形射频屏蔽 (36、36'),所述圆柱形射频屏蔽环绕所述平行细长传导元件 (32) 并与由所述平行细长传导元件限定的所述圆柱体共轴。

13. 根据权利要求 12 所述的磁共振线圈,其中,所述圆柱形射频屏蔽 (36') 具有开放的中央区域。

14. 一种使用线圈在公共磁场中并行地激励或探测两种不同核素的磁共振的磁共振方法,其中所述线圈具有一对端环 (34、35) 和多个横向细长传导元件 (32),所述方法包括:

以正弦模式操作所述端环以产生或探测在所述端环中以第一核素磁共振频率流动的电流;以及

并行地以第二模式操作所述线圈以产生或探测至少在所述横向细长传导元件中以第二核素磁共振频率并行地流动的电流。

15. 根据权利要求 14 所述的磁共振方法,其中,以所述第二模式操作所述线圈包括:

以鸟笼模式操作所述线圈以产生或探测在所述横向细长传导元件 (32) 和所述端环 (34、35) 中以所述第二核素磁共振频率并行地流动的电流。

适于提供端环模式的双调谐体积线圈

技术领域

[0001] 本发明涉及磁共振领域。本发明在磁共振成像和光谱学中有说明性应用,并将特别参考其进行描述。但是,本发明也将适用于其他磁共振和射频应用。

背景技术

[0002] 多核磁共振成像和光谱学有望用于多种应用,例如新陈代谢监测、诊断和临床监护等。在一些多核应用中,在 ^1H 磁共振频率以及在诸如 ^{13}C 、 ^{31}P 或 ^{23}Na 的第二核素的磁共振频率下执行磁共振激励、磁共振接收或两者都执行。

[0003] 为了在 ^1H 磁共振频率和第二核素磁共振频率下都能够同时或并行运行,可以使用两个分立的经不同调谐的线圈。这样能够在两个磁共振频率下都实现真正的同时操作,但有某些缺点。两个不同的磁共振线圈占据了宝贵的内腔空间。此外,两个线圈必须要在多核磁共振会话之前在空间上彼此对准并在扫描器成像体积之内。

[0004] 另一种方式是使用配置用于工作在 ^1H 磁共振频率和第二核素的磁共振频率(在这里也称为第二核素磁共振频率)两者下的单个线圈。使用针对每个共振频率的交错线圈元件(有时称为线圈横档)可以对横向电磁(TEM)体积线圈进行双调谐。使用交错横档连同射频(RF)陷波器和复合端环布置也可以对鸟笼体积线圈进行双调谐。这些方法可以更有效地利用内腔空间,并且通过使用单个线圈,不需要在多核磁共振会话之前在空间上对准两个不同线圈。不过,出现了一些缺点,例如线圈复杂性增加,两个共振频率之间可能发生电耦合。

[0005] 下文提供了能够克服上述和其他问题的新的改进的设备和方法。

发明内容

[0006] 根据一个方面,公开了一种磁共振线圈,包括:布置用于限定圆柱体的平行细长传导元件;以及端环,所述端环设置于所述平行细长传导元件相对端并与所述平行细长传导元件横向取向。端环配置用于支持在一磁场强度下的正弦 ^1H 磁共振。线圈配置用于支持在同一磁场强度下的第二核素磁共振,所述第二核素与 ^1H 不同。支持特定核素磁共振表明能够在所述磁场强度下在特定核素的拉莫尔频率处发射射频信号和/或接收磁共振信号。

[0007] 根据另一方面,一种磁共振扫描器包括:用于产生静(B_0)磁场(也称为主磁场)的主磁体;配置用于在所述静(B_0)磁场上叠加选定的磁场梯度的磁场梯度线圈;以及在前面段落中所述的磁共振线圈。

[0008] 根据另一方面,公开了一种磁共振线圈,包括:布置用于限定圆柱体的平行细长传导元件;端环,所述端环设置于所述平行细长传导元件的相对端并与所述平行细长传导元件横向取向;以及至少靠近所述端环设置的射频屏蔽。所述端环、所述平行细长传导元件和所述射频屏蔽配置用于协同支持在一磁场强度下所述端环上的正弦端环第一核素磁共振和在同一磁场强度下的第二核素鸟笼磁共振。

[0009] 根据另一方面,一种磁共振扫描器包括:配置用于产生静(B_0)磁场的主磁体;配

置用于在所述静 (B_0) 磁场上叠加选定的磁场梯度的磁场梯度线圈 ; 以及在前面段落中所述的磁共振线圈。

[0010] 根据另一方面, 公开了一种磁共振线圈, 包括 : 布置用于限定圆柱体的平行细长传导元件 ; 端环, 所述端环设置于所述平行细长传导元件相对端并与所述平行细长传导元件横向取向 ; 以及射频陷波器, 所述射频陷波器操作性地与细长传导元件相通并被调谐到在一磁场强度下的 ^1H 磁共振频率, 以便抑制在所述磁场强度下所述磁共振线圈的 ^1H 鸟笼磁共振。

[0011] 根据另一方面, 一种磁共振扫描器包括 : 配置用于产生静 (B_0) 磁场的主磁体 ; 配置用于在所述静 (B_0) 磁场上叠加选定的磁场梯度的磁场梯度线圈 ; 以及在前面段落中所述的磁共振线圈。

[0012] 根据另一方面, 公开了一种使用线圈在公共磁场中并行激励或探测两种不同核素的磁共振的磁共振方法, 所述线圈具有一对端环和多个横向细长传导元件, 所述方法包括 : 以正弦模式操作所述端环以产生或探测在所述端环中以第一核素磁共振频率流动的电流 ; 以及并行地以第二模式操作所述线圈以产生或探测至少在所述横向细长传导元件中以第二核素磁共振频率并行流动的电流。

[0013] 一个优点在于提供了一种用于多核磁共振操作的双调谐射频线圈。

[0014] 另一个优点在于更有效地使用了内腔空间。

[0015] 另一个优点在于降低了用于多核磁共振操作的双调谐射频线圈的复杂性。

[0016] 另一个优点在于有助于在 ^1H 和第二核素磁共振频率同时操作双调谐线圈。

[0017] 在阅读并理解了下述详细说明书的情况下, 本领域普通技术人员将认识到本发明的进一步的优点。

附图说明

[0018] 在下文中将参考附图, 基于下述实施例以举例的方式详细说明这些和其他方面, 其中 :

[0019] 图 1 示意性示出了用于执行多核磁共振成像或光谱分析的系统 ;

[0020] 图 2 示意性示出了适用于图 1 中的系统中的双调谐射频线圈 ;

[0021] 图 3 描绘了针对端环的正弦共振频率与端环半径的关系, 该端环被建模为连续无屏蔽圆形环状导体, 没有居间的电容或电感元件 ;

[0022] 图 4 示意性示出了适用于图 2 的线圈中的适当 ^1H 射频陷波器的电气图 ; 以及

[0023] 图 5 示意性示出了双调谐射频线圈, 该双调谐射频线圈适用于图 1 的系统中并且与图 2 的线圈相比具有不同的射频屏蔽或筛网配置。

具体实施方式

[0024] 参考图 1, 磁共振扫描器 10 包括主磁体 12, 主磁体 12 在检查区域 14 中产生静 (B_0) 磁场, 在检查区域中设置受检者 16 (图 1 中的虚线所示)。图示的磁共振扫描器 10 是水平腔式扫描器, 其中以横截面示出以露出选定部件用于说明。磁共振扫描器 10 是高场扫描器, 其中, 主磁体 12 在检查区域 14 中以大于 3 特斯拉的磁场强度产生静 (B_0) 磁场, 在一些实施例中, 磁场强度大于或大约为 5 特斯拉。在一些实施例中, 主磁体 12 在检查区域 14 中

以 7 特斯拉的磁场强度产生静 (B_0) 磁场。也预期更高的磁场强度。

[0025] 磁共振扫描器 10 还包括磁场梯度线圈 18, 其在静 (B_0) 磁场上叠加选定的磁场梯度以执行各种任务, 例如空间限制性磁共振激励、空间编码磁共振频率和 / 或相位、干扰 (spoiling) 磁共振等。任选地, 磁共振扫描器可以包括在图 1 中未示出的其他元件, 例如腔内衬、有源线圈或无源铁磁垫片等。通过将受检者 16 放在可移动受检者支架 20 上对受检者 16 进行适当准备, 然后连同被支撑的受检者 16 一起将可移动受检者支架插入图示位置中以进行磁共振采集。例如, 受检者支架 20 可以是垫板或台, 其一开始设置于与磁共振扫描器 10 相邻的卧榻 22 上, 将受检者 16 放在支架 20 上然后从卧榻 22 滑动转移到磁共振扫描器 10 的内腔中。

[0026] 继续参考图 1, 并进一步参考图 2, 提供磁共振线圈 30 以激励和接收磁共振。在多核磁共振中, 对两种或更多种核素感兴趣, 例如从由 ^1H 、 ^{13}C 、 ^{31}P 和 ^{23}Na 构成的组选择的两种或更多种核素。在一些多核磁共振应用中, 对两种核素感兴趣, 即 ^1H 和除 ^1H 之外的第二种核素, 例如 ^{13}C 、 ^{31}P 、 ^{23}Na 等。

[0027] 磁共振线圈 30 具有鸟笼构造, 包括多个布置用于限定圆柱体的平行细长传导元件 32 (这里有时称为“横档” 32) 以及端环 34、35, 端环 34、35 设置于平行细长传导元件 32 的相对端并相对于平行细长传导元件 32 横向取向。大致圆柱形的射频屏蔽 36 环绕平行细长传导横档 32 并与由平行细长传导元件 32 限定的圆柱体大致共轴。射频屏蔽 36 包括环形凸缘 38、39, 环形凸缘被设置成在平行横档 32 的相对端与相应端环 34、35 平行并邻近。图示的磁共振线圈 30 是整体线圈, 其尺寸可以共轴配合到图示的水平内腔扫描器 10 的柱形内腔中; 不过, 也可以将磁共振线圈的尺寸设计作为头部线圈, 以配合在受检者 16 的头部上, 或将其尺寸设计作为四肢线圈以配合在受检者 16 的手臂或腿部上, 等等。

[0028] 磁共振线圈 30 是双调谐射频线圈, 在第一核素的第一磁共振频率支持端环共振, 并且在与第一核素不同的第二核素的第二磁共振频率支持鸟笼磁共振。在下文中, 假设端环共振与由主磁体 12 产生的静 (B_0) 磁场的磁场强度下的 ^1H 磁共振频率对应, 而假设鸟笼共振与同样磁场强度下的第二核素磁共振频率对应, 其中第二核素磁共振频率与 ^1H 磁共振频率不同。不过, 也可以预期, 在一磁场强度下端环共振与与除 ^1H 之外的另一核素的磁共振频率对应。

[0029] 鸟笼线圈 30 在第二核素磁共振频率下与鸟笼共振一起作为体积共振器而共振。任选地, 通过适当调谐细长传导元件或横档中的元件, 例如如图所示, 通过分立横档电容 40, 或通过横档 32、端环 34、35 中或两者中的分布电容, 或通过分立的或分布式电感等来调谐鸟笼磁共振频率。使用多调谐电容或分布电容可能是有利的, 以便减小调谐电容器附近的高度局域化电场。在一些实施例中, 屏蔽 36 和环形凸缘 38、39 的几何或材料方面, 例如但不限于材料电导、与横档 32 的间隔、屏蔽的网或筛网材料的厚度等也影响鸟笼磁共振频率。

[0030] 简要参考图 3, 端环 34、35 (图 2 所示) 还配置用于在 ^1H 磁共振频率下以正弦方式共振。图 3 描绘了针对端环的正弦共振频率与端环半径的关系, 该端环被建模为连续无屏蔽圆形环状导体, 没有居间的电容或电感元件。(如这里使用的, 术语“正弦共振”等意在包含不论相位是什么的正弦共振, 根据参考相位, 例如包含可能也被称为“余弦共振”的共振)。图 3 的描绘图是由针对直到 20cm 半径的电磁模拟产生的, 曲线外推到 30cm 半径。

在这里认识到,对于高场磁共振和半径充分大的端环 34、35,正弦模式在与感兴趣的特定磁共振频率匹配的有用频率范围内循环。例如,在 7 特斯拉的静 (B_0) 磁场中 ^1H 磁共振频率为 298MHz。如图 3 所示,合理半径大约为 15 厘米的端环 34、35 的正弦共振接近 7 特斯拉磁场强度下的 ^1H 磁共振频率,15 厘米是人头部线圈的典型半径。考虑到圆柱屏蔽 36 和相邻屏蔽凸缘 38、39 的效果,在头部线圈配置中可以将正弦模式的共振频率紧密地匹配到 298MHz。屏蔽 36、38、39 还有利地锐化了端环 34、35 支持的正弦共振的共振质量 (Q 因子)。

[0031] 继续参考图 2 和 3,能够看出,在端环 34、35 的半径在大约 10 厘米和大约 20 厘米之间时,正弦模式的共振频率在大约 200MHz 和大约 500MHz 之间(考虑到屏蔽 36、38、39 的效果并允许通过在环形导体中增加诸如电容或电容性间隙的电抗元件来任选地调谐)。这些共振频率在高磁场时跨越一些感兴趣核素的磁共振频率。图 3 还将计算出的曲线外推到 128MHz(外推部分由虚线表示),这对应于大约 3 特斯拉的静磁场。外推部分表明,无屏蔽且未调谐的直径大约 60 厘米(半径 30 厘米)到 70 厘米(半径 35 厘米)的端环支持大约在 3 特斯拉磁场强度下的 ^1H 质子磁共振频率处的正弦共振,其中,直径大约 60 厘米到 70 厘米是对于全身射频线圈的典型直径。

[0032] 图 3 的描绘图图示了无屏蔽的连续环形导体。应该理解,可以通过包括调谐元件,通过屏蔽 36、38、39 的构造,通过端环 34、35 的厚度和宽度等,在很大频率范围内调节给定直径的端环 34、35 所支持的正弦共振频率。可以通过以下措施将端环 34、35 的正弦共振频率调谐到 ^1H 磁共振频率或另一感兴趣磁共振频率:通过沿着端环增加集总式或分布式电容或电感,通过改变诸如端环 34、35 的半径、厚度或其他截面维度的参数,通过调节屏蔽 36、38、39,通过在端环 34、35 中增加诸如电容或电容性间隙的电抗元件,通过在端环 34 和凸缘 38 和 / 或端环 35 和凸缘 39 之间增加绝缘材料,或通过这些调节的各种组合。此外,在这里认识到,在高磁场下,由端环 34、35 中的正弦共振提供的空间均匀性很大程度上由受检者 16 或线圈 30 的其他负载的介电和传导特性决定;因此,在静 B_0 磁场值大于或大约为 3 特斯拉时,正弦模式产生的 B_1 场的较大去载不均匀性是可接受的。

[0033] 返回到图 2,端环 34、35 连接到横档 32。横档 32 干扰正弦端环共振。为了减小或消除这种干扰,为横档 32 适当设置射频陷波器 44、45 或将射频陷波器集成到横档 32 中。陷波器 44、45 是射频滤波器,设计用于在端环 34、35 支持的正弦共振频率提供阻塞高阻抗,而在与由端环 34、35 支持的共振频率不同的第二频率处对鸟笼共振几乎没有影响。在端环共振时,陷波器 44、45 实际上将端环 34、35 与横档 32 隔离开。例如,如果设计的磁场强度为 7 特斯拉,且端环被设计用于支持在 7 特斯拉的 ^1H 磁共振频率(即 298MHz),那么将射频陷波器 44、45 适当设计为陷波滤波器以阻挡 298MHz 的共振频率。如图 2 所示,在一些实施例中,射频陷波器 44、45 设置于横档 32 的端,靠近端环 34、35。

[0034] 参考图 4,在一些实施例中,射频陷波器 44、45 是并联 LC 储能电路(其中 L 表示电感,C 表示电容),在频率 $\frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{LC}}$ 处其阻抗最大。也预期其他射频陷波器构造。在陷波器 44、45 调谐到 ^1H 磁共振频率时,陷波器 44、45 阻挡 ^1H 磁共振频率下的电流,但允许其他频率下的电流,例如以鸟笼共振模式所工作着的第二核素磁共振频率下的电流。

[0035] 参考图 5,经修改的线圈 30' 包括横档 32 和端环 34、35。不过,在图 5 的经修改的线圈 30' 中用开放屏蔽 36' 替换了图 2 中线圈的屏蔽 36、38、39,开放屏蔽 36' 在中央区域

不包括屏蔽材料。在这种情况下,由开放的中央区域将圆柱形屏蔽 36' 分成两个分立部分。在鸟笼共振频率下,鸟笼线圈的行为接近无屏蔽的鸟笼,这充分改善了线圈的灵敏度。该屏蔽还包括凸缘 38、39。任选地,可以由端盖 38' 替代一个凸缘,例如凸缘 38。尽管未示出,这样用端盖替换凸缘也可以在图 2 的线圈 30 中进行。开放屏蔽 36' 有利地提高了针对第二核素(非 ^1H) 磁共振的线圈灵敏度,因为在第二核素磁共振频率下的辐射损失不显著。开放屏蔽 36' 不会对 ^1H 磁共振的线圈灵敏度造成不利影响,因为与 ^1H 磁共振耦合的正弦共振是由端环 34、35 支持的,端环距开放屏蔽 36' 的开放中央区域较远。

[0036] 已经描述了一些说明性的线圈实施例 30、30', 通过其他示例描述另外一些说明性实施方式。

[0037] 通过可调环形电容器(未示出)或影响端环 34、35 的正弦共振的其他元件将端环 34、35 适当调谐到 ^1H 磁共振频率下的正弦共振模式。在一些实施例中,预先确定环的期望直径,可以使用与环电容器串联的个体电感器来将端环 34、35 调谐到 ^1H 磁共振频率下的正弦共振模式。在 ^1H 磁共振频率下,线圈横档 32 中的陷波器 44、45 具有高阻抗,这样抑制了电流流向线圈横档 32。在图示的实施例中,陷波器 44、45 位于靠近与相应端环 34、35 的连接横档 32 上。于是,可以正交地对两个端环 34、35 馈电用于对 ^1H 信号的发射和接收。在第二核素(非 ^1H) 频率下,陷波器 44、45 大致起到短路电路的作用,这允许在第二核素磁共振频率下的电流根据鸟笼共振模式在端环 34、35 和横档 32 之间流动。线圈 30、30' 就这样限定了在第二核素磁共振频率下共振的被屏蔽的带通鸟笼线圈。可以通过调节横档电容器 40 的值将鸟笼共振调谐到期望的第二核素磁共振频率。任选地,还可以通过调节端环 34、35 的直径,通过调节端环沿横档 32 的位置,通过包括诸如电容器或电感器的调谐端环元件等来调节鸟笼共振频率。在诸如端环调谐电容器值的参数既影响正弦共振频率又影响鸟笼共振频率的情况下,可以结合适当的电磁建模通过迭代地调节来选择参数值,以一起调谐正弦和鸟笼共振频率。

[0038] 为了进一步说明这里公开的双调谐体积线圈相对于 TEM 多核线圈的优点,将图 1 的线圈 30 建模为头部尺寸的发射/接收(T/R)线圈,直径为 30cm,横档长度为 21cm。将圆柱形屏蔽直径建模为 35cm,将屏蔽长度建模为 23cm。在线圈模型中包括十二个横档 32。将两个端环 34、35 建模为平坦圆环,内径为 28cm,外径为 31cm。将端环 34、35 调谐到 298MHz 的 ^1H 磁共振频率(对应于 7 特斯拉的磁场强度),并将被屏蔽的鸟笼线圈调谐到针对同样的 7 特斯拉磁场强度的 120.7MHz 的 ^{31}P 频率。作为对比,将 12 元件的 TEM 线圈建模为具有与鸟笼线圈相同尺寸,并将其调谐到同样的 120.7MHz 的 ^{31}P 频率。使用 20cm 直径的球形体模(电导率 $\sigma = 0.855\text{S/m}$, 相对介电常数 $\epsilon_r = 80$) 对两个线圈模型的负载建模。在该模型中,线圈元件和屏蔽结构被空气分开。

[0039] 将两个端环建模为在 298MHz 在正交的两端口驱动下工作,其中一个端口被馈入一个端环中,另一个端口具有相反电压但相位差 90 度,被馈入另一端环中。在 120.7MHz 下,在两个横档中间对鸟笼线圈进行正交的两端口驱动。将比较用 TEM 线圈也建模为工作于跨电容器的端的两端口正交驱动下。在两个共振频率,298MHz 和 120.7MHz 下都计算球形体

模的三个中心切片中的 $|B_1^+|$ 场(射频发射场)。发射效率计算为 $\eta = \frac{|B_1^+|_{\text{ave}}}{\sqrt{P_{\text{abs}}}}$, 其中 $|B_1^+|_{\text{ave}}$ 是球形体模中心横向切片中的平均 $|B_1^+|$ 场,并且 P_{abs} 是体模的总吸收功率。将线圈灵敏度

计算为线圈横档（或者，在仅有端环共振模式的情况下的环）中每单位电流的 $|B_1^+|_{ave}$ 。

[0040] 发现在 ^1H 磁共振频率下的 $|B_1^+|$ 场均匀性受体模材料的介电效应支配，这与 T/R 鸟笼或 TEM 体积线圈可比。发现在 ^{31}P 磁共振频率下的 $|B_1^+|$ 场均匀性相对均匀，类似于 TEM 线圈的均匀性。表 1 列出了在 $|B_1^+|_{ave} = 1 \mu\text{T}$ 时计算出的发射效率和最大局部 SAR (10g 体模材料平均的 SAR)。在表 1 中还给出了模型化的双调谐体积线圈和比较用 12 元件 TEM 体积线圈在 120.7MHz 下的线圈灵敏度。可以看出，在 120.7MHz，鸟笼线圈与 TEM 线圈具有大约相同的发射效率，但具有较小的局部 SAR 和显著更高的线圈灵敏度。此外，鸟笼线圈具有仅十二个横档的较小复杂性结构，而双调谐 TEM 体积线圈采用了更为复杂的二十四元件结构，其中十二个元件提供在 ^1H 磁共振频率下的共振，另外十二个交错的元件提供在 ^{31}P 磁共振频率下的共振。

[0041] 表 1

[0042]

体积线圈	双调谐体积线圈		在 120.7MHz 的比较用 12 元件 TEM
	在 298MHz 的两个端环	在 120.7MHz 的鸟笼	
发射效率	$0.5 \mu\text{T}/\text{W}^{1/2}$	$0.8 \mu\text{T}/\text{W}^{1/2}$	$0.8 \mu\text{T}/\text{W}^{1/2}$
$ B_1^+ _{ave} = 1 \mu\text{T}$ 时的最大局部 SAR	2.5W/kg	0.6W/kg	0.8W/kg
线圈灵敏度	-	$2.5 \mu\text{T}/\text{A}$	$1.4 \mu\text{T}/\text{A}$

[0043] 采用正弦端环和鸟笼共振的双调谐体积线圈的另一个优点在于，如图 5 所示，可以通过在屏蔽中部开口来提高在鸟笼共振（即第二核素磁共振）的线圈灵敏度。图 5 的开放屏蔽 36' 与 TEM 线圈不可比，因为其不会支持 TEM 共振模式。

[0044] 还提供了图 5 的经修改的线圈 30' 的建模示例。再次使用与前述相同的线圈模型，只是在图 5 所示的中部为圆柱形屏蔽开口，中央开口区域为 10cm 宽的间隙。在建模过程中不包括任选的端盖 38'。表 2 列出了具有密封屏蔽（如图 2 所示）和部分开放屏蔽（如图 5 所示）的模型的计算结果。从表 2 中可以看出，线圈灵敏度从对于具有密封屏蔽的线圈的 $2.5 \mu\text{T}/\text{A}$ 增大到对于具有带 10cm 间隙的开放屏蔽的线圈的 $6.4 \mu\text{T}/\text{A}$ 。通过具有 10cm 的间隙使得线圈灵敏度增加两倍还多。在用于 7 特斯拉运行的双调谐线圈中不容易获得开放屏蔽线圈的高线圈灵敏度，双调谐线圈在 ^1H 和第二核素磁共振频率下都被屏蔽。尽管为 ^1H 线圈共振提供屏蔽对于在 7 特斯拉减少辐射损失是有利的，但为第二核素（即，非 ^1H ）线圈共振提供屏蔽则不是有利的，因为大部分非 ^1H 磁共振频率显著低于 ^1H 磁共振频率（对于同样的磁场强度而言）并因此表现出显著更低的辐射损失。通过将用于 ^1H 磁共振耦合的正弦端环共振与用于第二核素磁共振耦合的鸟笼共振进行组合实现了对图 5 的线圈的部分屏蔽。

[0045] 表 2

[0046]

	在 298MHz 的两个端环	在 120.7MHz 的鸟笼
发射效率	$0.5 \square T/W^{1/2}$	$0.8 \square T/W^{1/2}$
$ B1^+ _{ave} = 1 \square T$ 时的最大局部 SAR	2.8W/kg	0.6W/kg
线圈灵敏度	-	$6.4 \square T/A$

[0047] 还执行建模以估计在屏蔽 36' 中具有 10cm 间隙的图 5 的双调谐（正弦端环 / 鸟笼）线圈 30' 的峰值电场分布。发现屏蔽 36' 中的间隙导致了线圈外部的电磁场泄漏，这增加了辐射损失。不过，预计这种效应不会成为问题，因为典型的磁共振扫描器包括另一身体大小的屏蔽，其可以帮助容纳功率损失。此外，在 3 特斯拉下 128MHz 的 1H 磁共振的辐射损失对于鸟笼型头部 T/R 线圈而言不成为问题。在更高的磁场强度下，可以在辐射损失（通过减小屏蔽 36' 的间隙来抑制）和对于第二核素磁共振的线圈灵敏度（通过增加屏蔽 36' 的间隙来增强）之间做出设计折衷。

[0048] 在图示的实施例中，线圈具有鸟笼构造，其中，端环 34、35 与平行细长传导元件 32 操作性地耦合以支持第二核素鸟笼磁共振。这样允许选择使用封闭射频屏蔽 36 或开放射频屏蔽 36'。还预期将平行细长传导元件与屏蔽操作性地连接，在这种实施例中屏蔽是类似于射频屏蔽 36 的密封屏蔽，从而使得在 TEM 模式中支持第二核素共振，同时端环仅支持正弦型第一核素（例如 1H ）磁共振。在这种实施例中，阻塞平行细长传导元件 32 上的 1H （或其他第一核素）共振的射频陷波器抑制在 1H 频率下的感应耦合。

[0049] 已经参考优选实施例描述了本发明。在阅读并理解了前述详细说明的同时，可以进行修改和变化。这意味着，应当将本发明解读为包括所有此类落在权利要求及其等同替代的范围内的修改和变化。在权利要求中，不应当将任何放置在括号内的附图标记解读为限制所述权利要求。“包括”一词不排除存在权利要求列举的元件或步骤之外的元件或步骤。元件前的词语“一”、“一个”不排除存在复数个这样的元件。可以利用包括若干分立元件的硬件，也可以利用适当编程的计算机实现所公开的方法。在列举了若干器件的系统权利要求中，可以在同一个计算机可读软件或同一个硬件内体现这些器件中的几个。在互不相同的从属权利要求中陈述某些措施不表示不能有利地采用这些措施的组合。

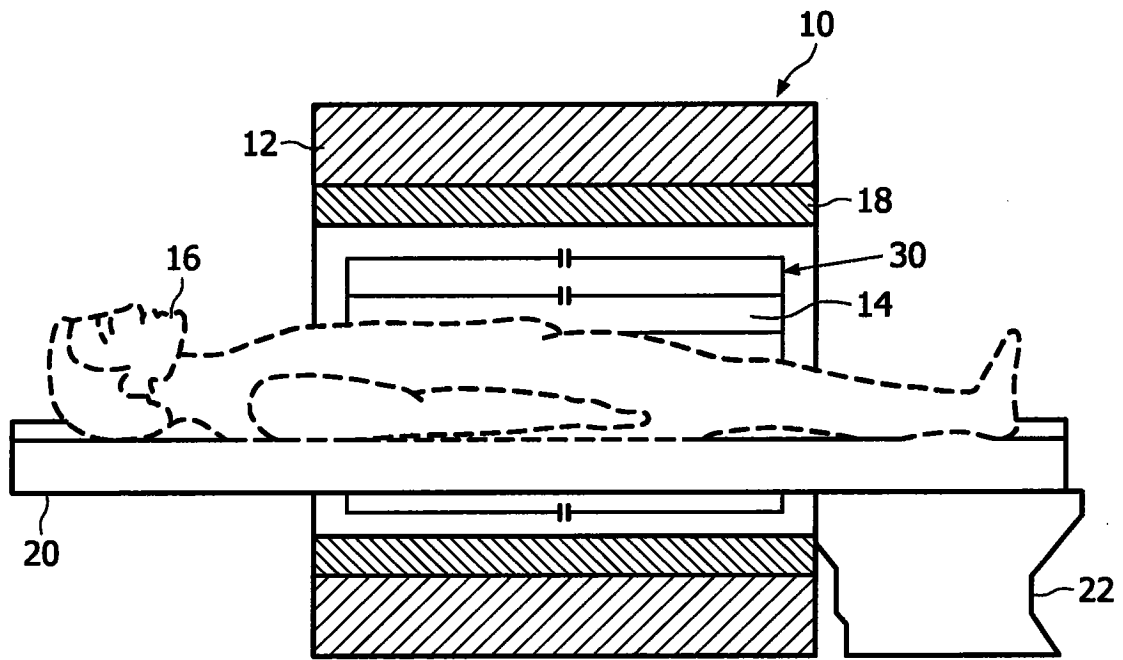


图 1

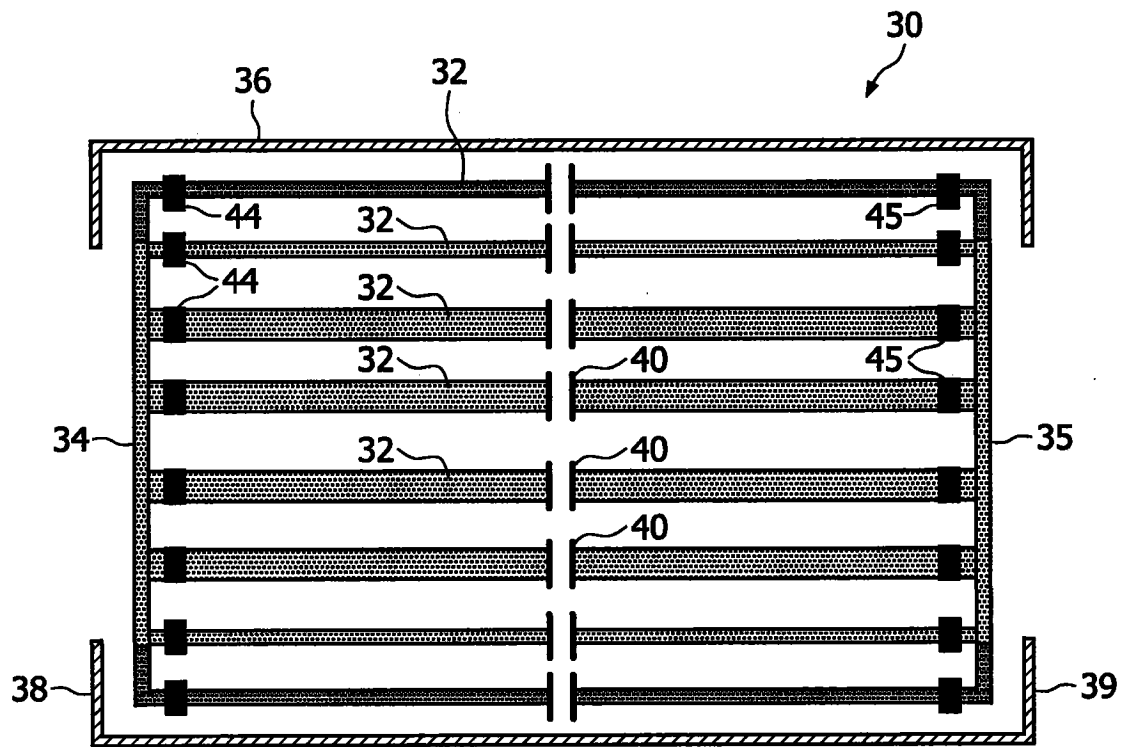


图 2

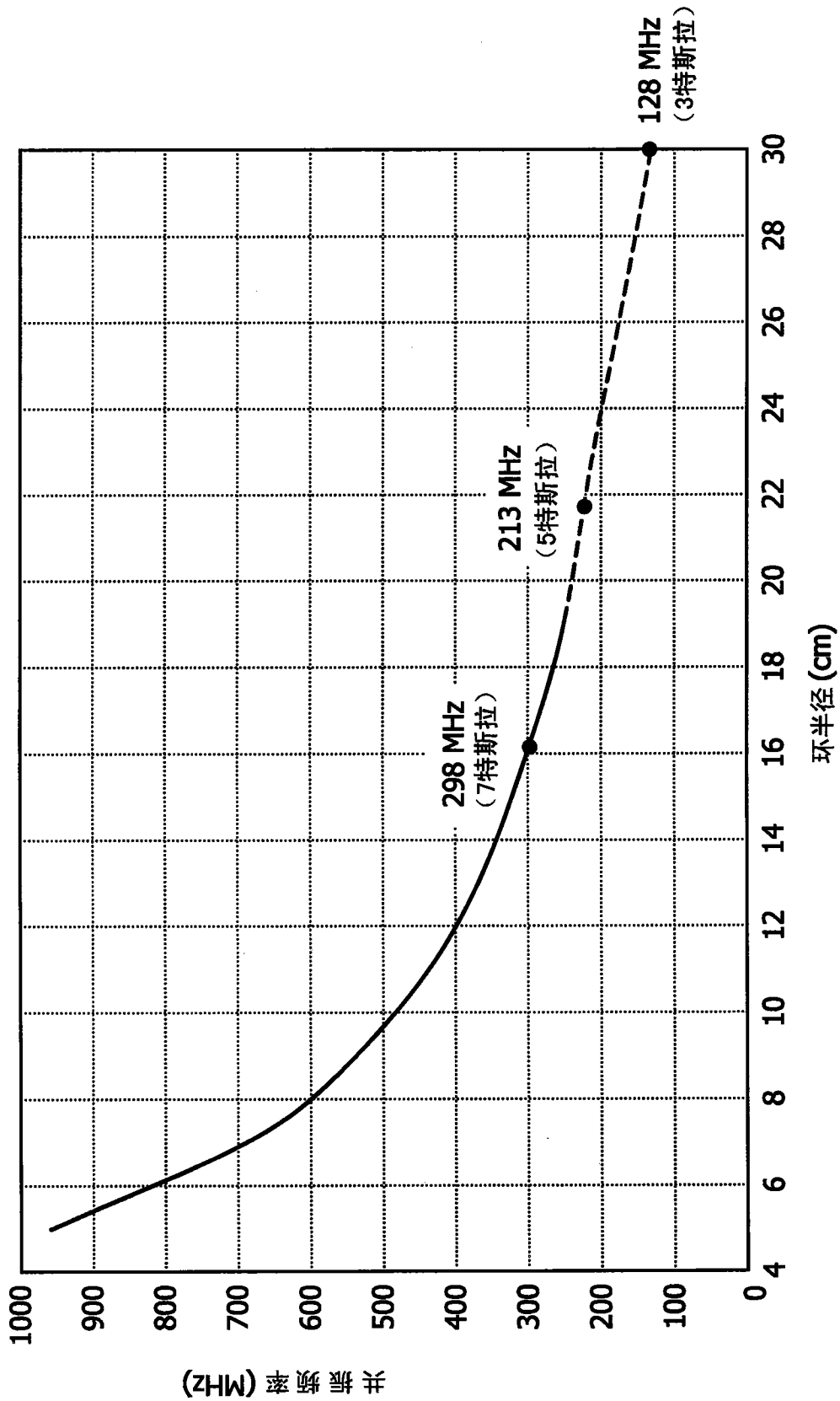


图 3

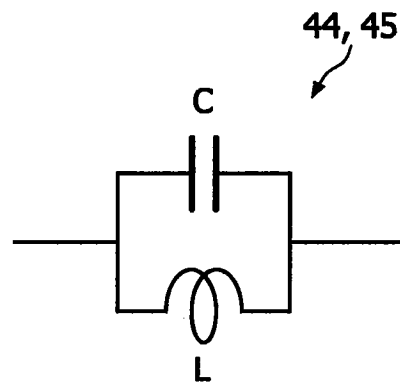


图 4

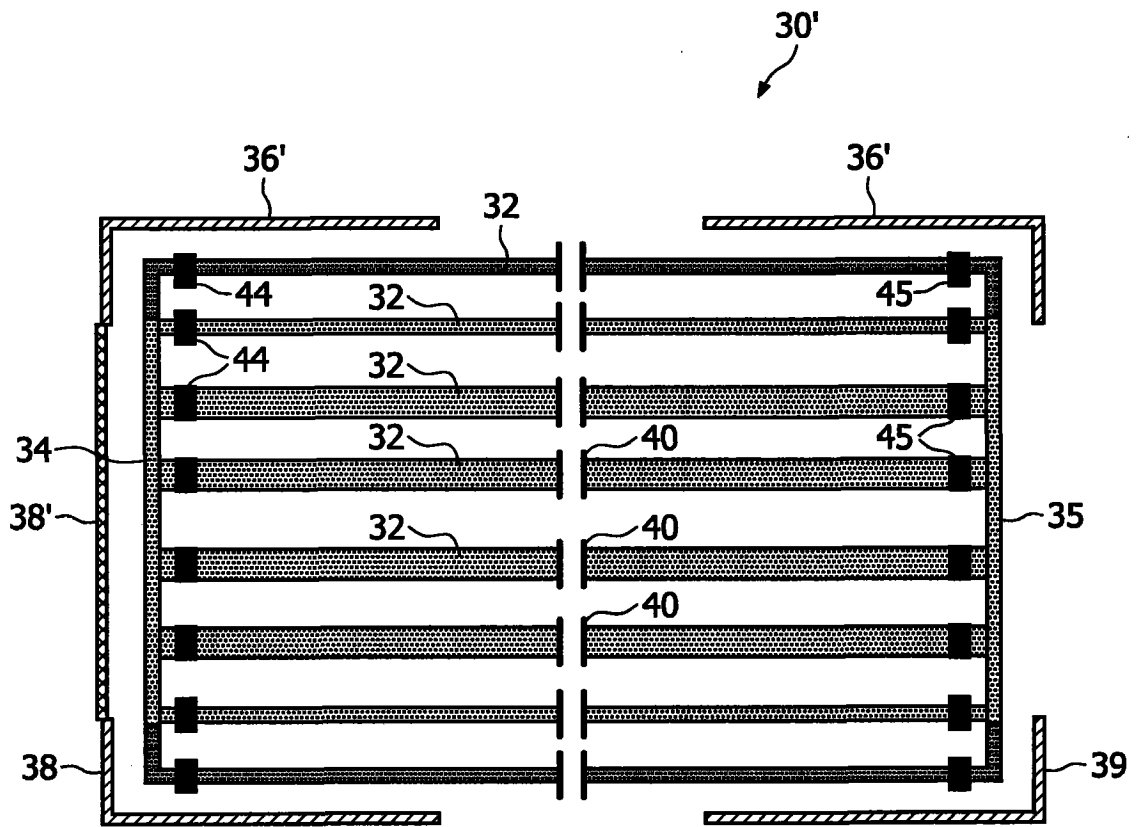


图 5