

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G01R 33/565 (2006.01)

G01R 33/54 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 00118764.3

[45] 授权公告日 2006 年 3 月 29 日

[11] 授权公告号 CN 1248009C

[22] 申请日 2000.6.26 [21] 申请号 00118764.3

[30] 优先权

[32] 1999.6.24 [33] JP [31] 177660/99

[71] 专利权人 通用电器横河医疗系统株式会社

地址 日本东京都

[72] 发明人 宫本昭荣 小杉进

审查员 田蕴青

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 陈 霁 张志醒

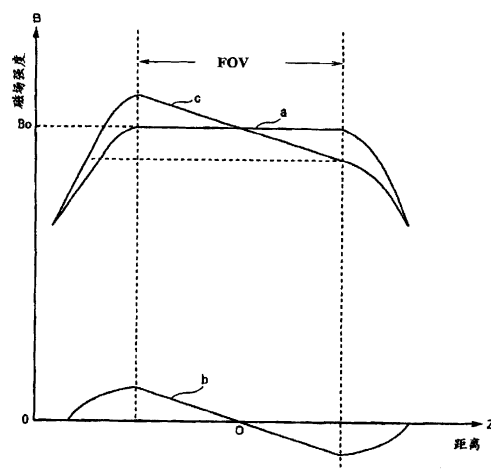
权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 8 页

[54] 发明名称

用于磁共振成像的激励方法和装置以及磁共振成像装置

[57] 摘要

为提供一种不受磁场梯度的非线性影响的有选择性的激励方法和装置以及一种应用这种有选择性的激励装置的磁共振成像方法和装置，将与依据在梯度磁场 G_z 中的非线性误差指定的片段位置 Z_a 不同地再次确定的片段的位置 Z_c 相对应的频率 f' 作为 RF 频率。可替换的是，可以调整梯度以使在指定的片段位置 Z_a 处的自旋频率等于 RF 激励信号的频率 f 。



1. 一种用于磁共振成像的激励方法, 包括步骤:
 将一个梯度信号提供给在磁场中心被检查和定位的目标;
 给所述目标提供一个 RF 信号, 有选择地激励所述目标内部原子核
5 的自旋, 所述选择性激励对于一个片段位置有效, 所述片断位置在相
 对于有一个梯度的所述磁场中心的一个预定距离处被定义;
 检测所述梯度中的一个非线性误差; 和
 根据所述检测的非线性误差, 控制所述 RF 信号的频率或者控制所
 述梯度信号, 使得在所述片断位置或者在所述片断位置的自旋频率基
10 本上等于为该片断位置所确定的 RF 信号的所述频率.
2. 根据权利要求 1 所述的方法, 其中所述 RF 信号的所述频率被
 调整, 使得对于 RF 信号的一个频率, 所述非线性误差被考虑的一个片
 段位置被选择.
3. 根据权利要求 1 所述的方法, 其中所述梯度信号的幅度被调
15 整, 使得在所述片断位置处的自旋频率基本等于引起所述片断位置的
 所述 RF 信号的频率.
4. 根据权利要求 1 所述的方法, 其中所述非线性误差在一个片段
 平面内是统一的.
5. 根据权利要求 1 所述的方法, 其中在一个片段平面内的感兴趣
20 区域中检测所述非线性误差.
6. 一种用于在磁共振成像中激励原子核的自旋的激励装置, 包
 括:
 将一个梯度信号提供给在磁场中心被检查和定位的目标的设备;
 给所述目标提供一个 RF 信号, 有选择地激励所述目标内部原子核
25 的自旋的设备, 所述选择性激励对于一个片段位置有效, 所述片断位
 置在相对于有梯度的所述磁场中心的一个预定距离处被定义;
 检测所述梯度中的一个非线性误差的设备; 和
 根据所述检测的非线性误差, 控制所述 RF 信号的频率或者控制所
 述梯度信号, 使得在所述片断位置或者在所述片断位置的自旋频率基
30 本上等于为该片断位置所确定的 RF 信号的所述频率的设备.
7. 根据权利要求 6 所述的激励装置, 其中所述用于控制的设备包
 括用于调整所述 RF 信号的所述频率, 使得对于 RF 信号的一个频率,

所述非线性误差被考虑的一个片段位置被选择的设备。

8. 根据权利要求6所述的激励装置,其中所述用于控制的设备包括用于调整所述梯度信号的幅度,使得在所述片断位置处自旋频率基本等于引起所述片断位置的所述RF信号的频率的设备。

5 9. 根据权利要求6所述的激励装置,其中所述用于检测的设备包括用于检测在一个片段平面内是统一的所述非线性误差的设备。

10 10. 根据权利要求6所述的激励装置,其中所述用于检测的设备包括用于检测在一个片段平面内的感兴趣区域中的所述非线性误差的设备。

11. 一种MRI装置,包括:

将一个静态磁场提供给被检查并设置在磁场中心的目标的设备;

用于提供一个梯度信号给所述目标的设备;

15 用于给所述目标提供一个RF信号,有选择地激励所述目标内部原子核的自旋的设备,所述选择性激励对于一个片段位置有效,所述片断位置在相对于所述磁场中心并且有梯度的一个预定距离处被定义;

检测所述梯度中的一个非线性误差的设备;和

根据所述检测的非线性误差,控制所述RF信号的频率或者控制所述梯度信号的设备,使得在所述片断位置或者在所述片断位置的自旋频率基本上等于为该片断位置所确定的RF信号的所述频率。

20 12. 根据权利要求11所述的MRI装置,其中所述用于控制的设备包括用于调整所述RF信号的频率,使得对于RF信号的一个频率,所述非线性误差被考虑的一个片段位置被选择的设备。

13. 根据权利要求11所述的MRI装置,其中所述用于控制的设备包括用于调整所述梯度信号的幅度,使得在所述片断位置处自旋频率基本等于引起所述片断位置的所述RF信号的频率的设备。

25 14. 根据权利要求11所述的MRI装置,其中所述用于检测的设备包括用于检测在一个片段平面内是统一的所述非线性误差的设备。

15. 根据权利要求11所述的MRI装置,其中所述用于检测的设备包括用于检测在一个片段平面内的感兴趣区域中的所述非线性误差的设备。

用于磁共振成像的激励方法和装置 以及磁共振成像装置

5 本发明涉及一种有选择性的激励方法和装置以及磁共振成像方法和装置，更具体地说，本发明提供一种有选择地激发原子核自旋的方法和装置，以及提供一种应用这种有选择性的激励装置的磁共振成像方法和装置。

在磁共振成像中，在要成像的空间中产生梯度磁场以使通过原子核（比如质子）的自旋频率能够识别体素的三维位置。在视场（FOV）
10 中产生梯度磁场包括产生一种具有均匀的磁场强度 B_0 的静态磁场 a，如在附图 1 中示出了一种示例性的磁场强度分布，应用一种对称的梯度磁场 b，相对于静态磁场的中心 O 该磁场 b 在一侧的方向与在另一侧的方向彼此相反，结合磁场 a 和 b 得到一种具有梯度的复合磁场 c。为产生静态磁场 a，应用超导电磁体、普通导电电磁体、永磁体或类
15 似的磁体。为产生梯度磁场 b，应用具有合适的环形形状的梯度线圈。

由于复合磁场 c 具有梯度，自旋频率随着在视场中距离 Z 线性变化，因此可以通过适当地选择 RF（射频）激励信号来有选择性地激发所需的片段，基于来自该片段所产生的磁共振信号产生（即，重构）层析成象的图象。

20 在如上所产生的梯度磁场中，随着距 FOV 中心 O 的距离越来越大梯度线性趋于变坏。虽然可以通过精确设计梯度线圈环的形状来改善梯度的线性，在线性和其它条件（比如抑制涡流）之间存在折衷方案，但是线性总是不理想。因此，当在距中心 O 的某一位置（即，偏离中心的位置）选择片段时，通过应用一种 RF 激励频率（偏移频率）激
25 励与理想位置不同的片段位置，通过与该理想的片段位置相对应的公称梯度磁场确定该 RF 激励频率。

因此本发明的一个目的是提供一种有选择性的激励方法和装置，其不受梯度磁场的非线性的影响，以及一种应用这种有选择性的激励装置的磁共振成像方法和装置。

30 依据本发明的第一方面，提供一种有选择性的激励方法，该方法通过 RF 信号有选择性地激励在要成像的目标内部的原子核的自旋，在相对于具有梯度的磁场空间的中心的预定距离处确定的片段位置

上实施有选择性的激励，该方法包括如下步骤：应用具有这样一种频率的 RF 信号作为 RF 信号，即该频率对应于不同于依据在梯度中的非线性误差确定的片段位置所再次确定的片段位置。

依据本发明的第二方面，提供一种有选择性的激励方法，该方法
5 通过 RF 信号有选择性地激励在要成像的目标内部的原子核的自旋，在相对于具有梯度的磁场空间的中心的预定距离处确定的片段位置上实施有选择性的激励，该方法包括如下步骤：调整梯度以使在所确定的片段位置处的自旋频率等于 RF 信号的频率。

依据本发明的第三方面，提供一种有选择性的激励装置，该装置
10 通过 RF 信号有选择性地激励在要成像的目标内部的原子核的自旋，在相对于具有梯度的磁场空间的中心的预定距离处确定的片段位置上实施有选择性的激励，该装置包括 RF 激励装置，该 RF 激励装置应用具有这样一种频率的 RF 信号作为 RF 信号，即该频率对应于不同于依据在梯度中的非线性误差确定的片段位置所再次确定的片段位置。
15 置。

依据本发明的第四方面，提供一种有选择性的激励装置，该装置通过 RF 信号有选择性地激励在要成像的目标内部的原子核的自旋，在相对于具有梯度的磁场空间的中心的预定距离处确定的片段位置上实施有选择性的激励，该装置包括梯度调整装置，该梯度调整装置
20 调整梯度以使在所确定的片段位置的自旋频率等于 RF 信号的频率。

（效果）

依据本发明，应用具有这样一种频率的 RF 信号作为 RF 信号进行激励自旋，即该频率对应于与依据在梯度磁场中的非线性误差预先确定的片段位置不同地再次确定的片段位置。可替换的是，可以调整磁
25 场梯度，以使在预先确定的片段位置的自旋频率等于 RF 激励信号的频率。

因此，本发明能够提供一种有选择性的激励方法和装置，其不受磁场梯度的非线性的影响，以及提供一种应用这种有选择性的激励装置的磁共振成像方法和装置。

30 通过下文对如附图所示的优选实施例的详细描述本发明的进一步目的和优点将会清楚。

附图 1 所示为在磁共振成像装置中的磁场强度的分布。

附图 2 所示为依据本发明的一个实施例的装置的方块图。

附图 3 所示为依据本发明的另一个实施例的装置的方块图。

附图 4 所示为在附图 2 或 3 所示的装置中的梯度驱动段的方块图。

5 附图 5 所示为在附图 2 或 3 所示的装置中的 RF 驱动段的方块图。

附图 6 所示为附图 2 或 3 所示的装置所实施的脉冲序列实例。

附图 7 所示为附图 2 或 3 所示的装置所实施的脉冲序列实例。

附图 8 和 9 所示为在附图 2 或 3 中所示的装置中的偏移频率曲线。

10 参考附图下文将更详细地描述几个实施例。附图 2 所示为本发明的一个实施例的磁共振成像装置的方块图。该装置的结构代表依据本发明的装置一种实施例，并且该装置的操作代表依据本发明的方法的一种实施例。

如在附图 2 中所示，本发明装置具有磁体系统 100。磁体系统 100
15 具有主磁场线圈段 102、梯度线圈段 106 和 RF（射频）线圈段 108。这些线圈段一般为圆柱形外形，并且同心设置。要成像的对象 300 躺在托架 500 上，并通过输送装置（未示）可以将成像对象送入磁体系统 100 的内部空间或送出该空间。

主磁场线圈段 102 在磁体系统 100 的内部空间产生静态磁场。静态磁场的方向通常与要成像的对象 300 的躯体轴线的方向平行，即所谓产生水平磁场。主磁场线圈段 102 包括例如超导线圈。人们容易认识到主磁场线圈段 102 并不限于包括超导线圈，也可以包括常规导电线圈或类似的线圈。
20

梯度线圈段 106 产生梯度磁场以将梯度施加到静态磁场强度中。所产生的梯度磁场包括三种类型的磁场：片段梯度磁场、读出梯度磁场和相位编码梯度磁场，而梯度线圈段 106 具有与这三种梯度磁场相对应的三种梯度线圈（未示）。
25

射频线圈段 108 在静态磁场空间中产生高频磁场以激励在要成像的对象 300 内部的自旋。在下文中将产生高频磁场称为发射 RF 激励信号。RF 线圈段 108 也接收由所激励的自旋产生的电磁波，即磁共振信号。射频线圈段 108 具有发射线圈和接收线圈（未示）。发射线圈和接收线圈可以是相同的线圈或不同的专用线圈。
30

将梯度线圈段 106 与梯度驱动段 130 相连接, 以给梯度线圈段 106 输送驱动信号来产生梯度磁场。梯度驱动段 130 具有与在梯度线圈段 106 中的三个梯度线圈相对应的三种驱动电路。驱动段将在下文更详细地描述。

- 5 射频线圈段 108 与射频驱动段 140 相连接, 以给射频线圈段 108 输送驱动信号来发射射频激励信号, 由此激励在要成像的对象 300 内部的自旋。射频驱动段 140 将在下文更详细地描述。

- 由梯度线圈段 106、梯度驱动段 130、射频线圈段 108 和射频驱动段 140 组成的部分构成本发明的有选择性的激励装置的实施例。该装置的结构代表依据本发明的装置的一种实施例, 而该装置的操作代表依据本发明的方法的一种实施例。

射频线圈段 108 还与数据采集段 150 相连接以聚集由射频线圈段 108 所接收的信号并采集该信号作为数字信号。

- 梯度驱动段 130、射频驱动段 140 和数据采集段 150 都与控制段 15 160 相连接以控制这些段 130-150。

- 将数据采集段 150 的输出连接到数据处理段 170。数据处理段 170 将从数据采集段 150 聚集的数据存储在存储器 (未示) 中。因此, 在存储器中形成数据空间, 其构成了二维傅立叶空间。数据处理段 170 对在二维傅立叶空间中的数据进行反向的二维傅立叶变换以重构对象 20 300 的图象。

- 将数据处理段 170 连接到控制段 160。数据处理段 170 优于控制段 160 并对段 160 进行控制。数据处理段 170 与显示段 180 和操作段 190 相连接, 该显示段 180 显示重构的图象和从数据处理段 170 输出的信息, 该操作段 190 由人工操作员操作并输入一些指令、信息等到 25 数据处理段 170。

附图 3 所示为另一个磁共振成像装置的方块图, 其为本发明的一个实施例。该装置的结构代表依据本发明的装置的一种实施例, 而该装置的操作代表依据本发明的方法的一种实施例。

- 在附图 3 中所示的装置具有与在附图 2 中所示的装置不同的磁体系统 30 100'。除了磁体系统 100' 外其它部件都与在附图 2 中所示的装置中的部件类似, 并且通过参考类似的参考标号可以设计类似的部件, 因此下文省略对这些的解释。

磁体系统 100' 具有主磁场磁体段 102'、梯度线圈段 106' 和射频线圈段 108'。主磁场磁体段 102' 和线圈段 106' 和 108' 每个都包括一对彼此正对着的单个部件，并在它们之间插有间隔。这些段的外形一般为盘形，并且设置有公共的中心轴线。要成像的对象 300 躺在托架 500 上，并且通过输送装置（未示）可以将成像对象送入磁体系统 100' 的内部空间或送出该空间。

主磁场线磁体 102' 在磁体系统 100' 的内部空间产生静态磁场。静态磁场的方向通常与要成像的对象 300 的躯体轴线的方向垂直，即所谓产生垂直磁场。例如主磁场磁体段 102' 包括永磁体。人们容易认识到主磁场磁体段 102' 并不限于包括永磁体，也可以包括超导磁体或常规导电电磁体等。

梯度线圈段 106' 产生梯度磁场以将梯度施加到静态磁场强度中。要产生的梯度磁场包括三种类型的磁场：片段梯度磁场、读出梯度磁场和相位编码梯度磁场，并且梯度线圈段 106' 具有与这三种梯度磁场相对应的三种梯度线圈（未示）。

射频线圈段 108' 发射射频激励信号到静态磁场空间中以激励在要成像的对象 300 内部的自旋。RF 线圈段 108' 也接收由所激励的自旋产生的磁共振信号。射频线圈段 108' 具有发射线圈和接收线圈（未示）。发射线圈和接收线圈可以是相同的线圈或不同的专用线圈。

附图 4 所示为在梯度驱动段 130 中的一个驱动电路的方块图，比如片段梯度线圈的驱动电路。如图所示，驱动电路具有信号产生电路 312，该信号产生电路 312 产生具有预定波形的梯度线圈驱动信号。控制段 160 控制梯度线圈驱动信号的产生。

通过幅值调整电路 314 调整梯度线圈驱动信号的幅值。控制段 160 控制幅值调整电路 314 要调整的幅值量。由幅值调整电路 314 和控制段 160 组成的部分是本发明的梯度调整装置的实施例。通过功率放大器 316 对经调整幅值的梯度线圈驱动信号进行功率放大，并输送到在梯度线圈段 106 中的片段梯度线圈。

附图 5 所示为射频驱动段 140 的方块图。如图所示，驱动段具有射频信号产生电路 412。在该射频信号产生电路 412 中，通过控制段 160 控制信号产生时序和射频信号频率。在幅值调制电路 414 中调制所产生的射频信号幅值，通过功率放大器 416 进行功率放大，并输送

到射频线圈段 108 中。

由射频信号产生电路 412、幅值调制电路 414、功率放大器 416、射频线圈段 108 和控制段 160 组成的部分是本发明的射频激励装置的实施例。

- 5 现在描述本装置的操作。在附图 2 中所示的装置的操作和在附图 3 中所示的装置操作没有本质的区别。该装置的操作受控制段 160 的控制。附图 6 示出了用在磁共振成像中的示例性的脉冲序列。所示的一种脉冲序列是一种用于自旋回波 (SE) 技术中的脉冲。

- 10 具体地说, (1) 是一种用于 SE 技术的射频激励的 90° 和 180° 脉冲序列, 而 (2)、(3)、(4) 和 (5) 分别是 SE 技术的片段梯度 G_s 、读出梯度 G_r 、相位编码梯度 G_p 和自旋回波 MR 的序列。需指出的是, 90° 和 180° 脉冲都是通过它们各自中心信号表示的。脉冲序列沿着时间轴 t 自左至右行进。

- 15 如图所示, 90° 脉冲产生 90° 的自旋激励。同时, 施加片段梯度 G_s 以在某一片段位置实现有选择性的激励。在自 90° 激励的预定时间后, 通过 180° 脉冲执行 180° 激励或自旋反向。同时再次施加片段梯度 G_s 以对相同的片段位置实现有选择性的反向。

- 20 在 90° 激励和自旋反向之间的周期中, 施加读出梯度 G_r 和相位编码梯度 G_p 。读出梯度 G_r 使自旋失相 (dephase), 而相位编码梯度 G_p 对该自旋进行相位编码。

- 25 在自旋反向后, 通过读出梯度使自旋恢复相位 (rephase) 以产生自旋回波 MR。自旋回波 MR 是一种 RF 信号, 其波形相对于回波中心对称。在从 90° 激励的 TE (回波时间) 后产生中心回波。通过数据采集段 150 采集自旋回波 MR 作为可视数据。在一个 TR (重复时间) 周期中重复这种脉冲序列 128—256 次。在每个重复时间中都改变相位编码梯度 G_p 以每次提供都不同的相位编码。因此得到可显示 128—256 种视图的可视数据。

在附图 7 中所示为用于磁共振成像中的脉冲序列的另一实例。这种脉冲序列是一种用于产生梯度回波 (GRE) 技术的脉冲序列。

- 30 具体地说, (1) 是一种用于 GRE 技术的射频激励的 α° 脉冲序列, 而 (2)、(3)、(4) 和 (5) 分别是 GRE 技术的片段梯度 G_s 、读出梯度 G_r 、相位编码梯度 G_p 和梯度自旋回波 MR 的序列。需指出的是,

α° 脉冲都是通过它的中心信号表示。脉冲序列沿着时间轴 t 自左至右行进。

如图所示, α° 脉冲产生 α° 的自旋激励, 其中 α 不大于 90° 。同时, 施加片段梯度 G_s 以在某一片段位置实现有选择性的激励。

- 5 在自 α° 激励后, 通过相位编码梯度 G_p 对自旋进行相位编码。接着, 首先使自旋失相, 随后在通过读出梯度 G_r 使其恢复相位以产生梯度回波 MR。梯度回波 MR 是一种 RF 信号, 其波形相对于回波中心对称。在从 α° 激励的 TE 后产生中心回波。

- 10 通过数据采集段 150 采集梯度回波 MR 作为可视数据。在一个 TR 周期中重复这种脉冲序列 128—256 次。在每个重复时间中都改变相位编码梯度 G_p 以每次都提供不同的相位编码。因此, 可以得到可显示 128—256 种视图的可视数据。

- 15 将通过附图 6 或 7 所示的脉冲序列所得到的可视数据采集到在数据处理段 170 的存储器中。容易理解的是该脉冲序列并不限于 SE 或 GRE 技术, 而可以是任何适当的技术, 比如快速自旋回波 (FSE) 技术。数据处理段 170 对可视数据进行反向二维傅立叶变换以重构对象 300 的层析图象。通过显示段 180 显示所重构的图象作为可视图象。

- 20 在附图 8 中示例性地示出了当在上述装置中片段梯度 G_s 包含有非线性误差时在与片段平面正交的方向上的偏移频率。具体地说, 随着距磁场中心 O 的距离的加大梯度 $G(Z)$ 的误差从正确的线性梯度 $g \cdot Z$ (公称梯度) 不断增加, 偏移频率 F 具有相同的非线性。

- 25 如果人工操作员例如在偏移距离 Z_c 处确定一片段位置, 则在上述条件下控制段 160 控制射频产生信号 412 以将射频激励信号的频率改变为在公称梯度 $g \cdot Z$ 下的与偏移位置 Z_c 相对应的频率 f' 。通过下式计算距离 Z_c :

$$Z_c = \frac{G(Z_c)}{g} \quad (1)$$

其中:

$G(Z_c)$: 在距离 Z_c 处的梯度磁场强度, 和

g : 公称磁场梯度。

- 30 基于片段梯度 G_s 的已知非线性计算 $G(Z_c)$ 。 g 的值已知。

因此, 可以将偏移频率 f' 表示为:

$$\begin{aligned} f' &= \gamma \cdot g \cdot Z_c \\ &= \gamma \cdot G(Z_c) \end{aligned} \quad (2)$$

其中 γ 为旋磁比。由此将射频激励频率调整到偏移距离 Z_c 的频率，因此在偏移距离 Z_c 处可以精确地激励片段。

- 5 可替换的是，可以调整梯度磁场以使自旋频率等于射频激励信号的频率，而不是调整射频激励信号的频率。具体地说，如附图 9 所示，在公称片段梯度 g 下激励偏移距离 Z_c 的频率为 $f = \gamma \cdot g \cdot Z_c$ 。然后，控制段 160 经过幅值调整电路 314 调整梯度驱动信号的幅值，以将公称梯度改变为值 g' ，该值 g' 通过下式计算：

$$10 \quad g' = \frac{Z_c}{Z_a} g \quad (3)$$

依据公式 (3) 公称梯度 g' 的值是使在偏移距离 Z_c 处的磁场强度 $g' \cdot Z_c$ (公称) 等于在公称梯度 g 下在偏移距离 Z_c 处的磁场强度 $g \cdot Z_c$ (公称)。梯度的改变产生了 $G'(Z)$ 的实际梯度。 $G(Z)$ 、 $G'(Z)$ 和 g' 之间的关系如下式：

$$15 \quad G'(Z_c) = \frac{g'}{g} G(Z_c) \quad (4)$$

在这种情况下，频率 f 为

$$f = \gamma \cdot g' \cdot Z_c \quad (5)$$

将 Z_c 以关系式 (1) 代入得到：

$$f = \gamma \cdot g' \cdot \frac{G(Z_c)}{g} \quad (6)$$

- 20 将关系式 (4) 代入得到：

$$f = \gamma \cdot G'(Z_c) \quad (7)$$

这就是说，在改变之后在实际梯度 $G'(Z)$ 之下在偏移距离 Z_c 处的自旋频率等于射频激励信号的频率 f 。这就在偏移距离 Z_c 处允许进行精确的片段激励。

- 25 上文描述了当在片段平面中梯度的非线性误差均匀时对射频激励频率或梯度磁场的调整方法。然而，如果在片段平面中非线性误差为非均匀的，则可以基于在片段平面中的感兴趣区 (ROI) 内部的非线性进行类似的调整。

在不脱离本发明的精神和范围的前提下可以构造出本发明的许多

不同的实施例。可以理解的是本发明的并不限于在上述中所描述这些特定的实施例中，而是由附加的权利要求确定。

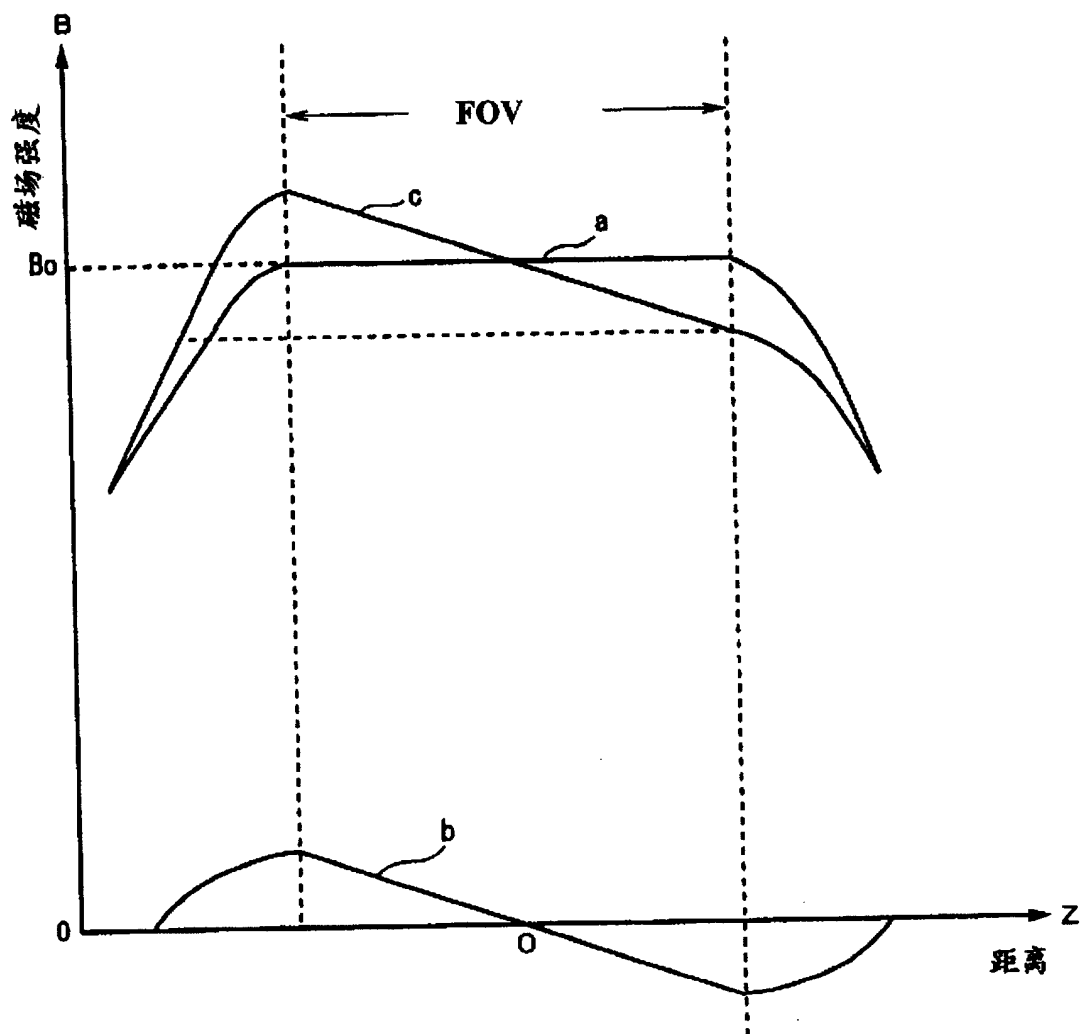


图 1

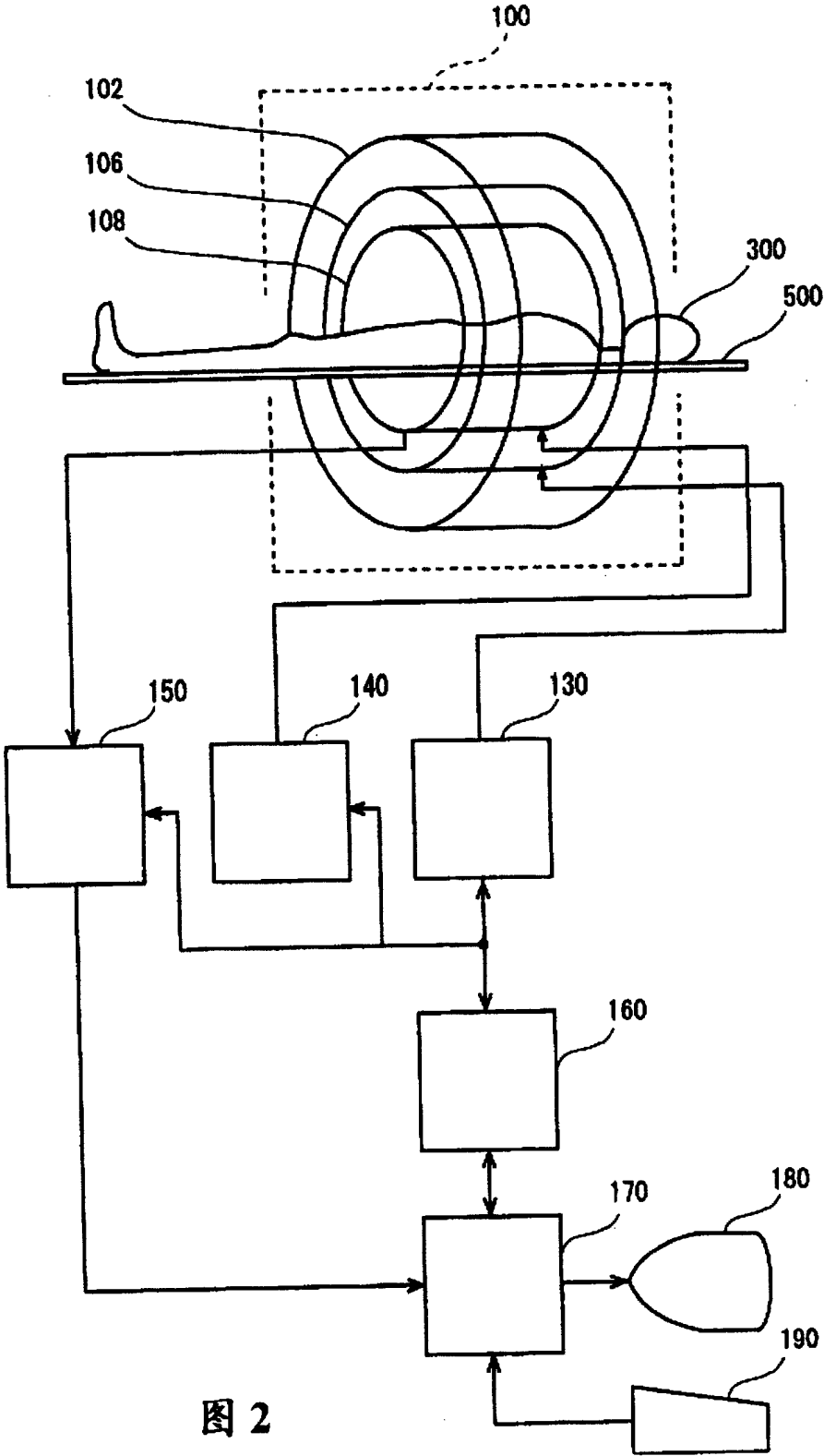


图 2

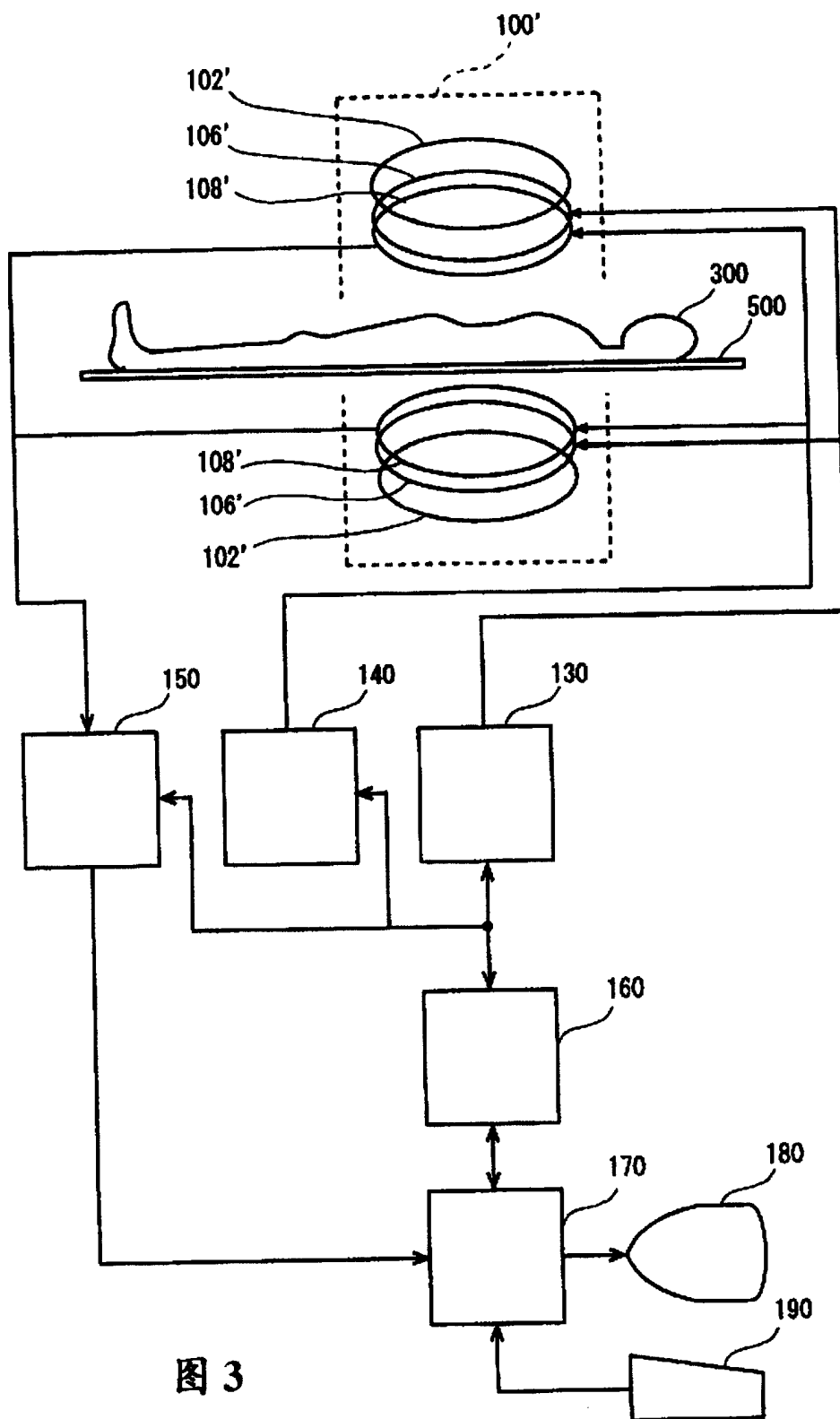


图 3

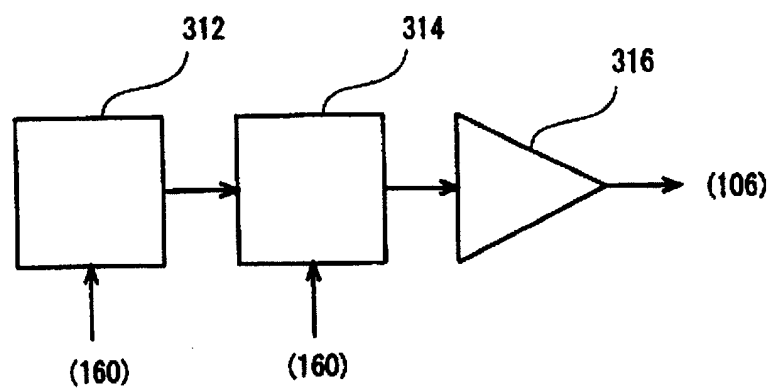


图 4

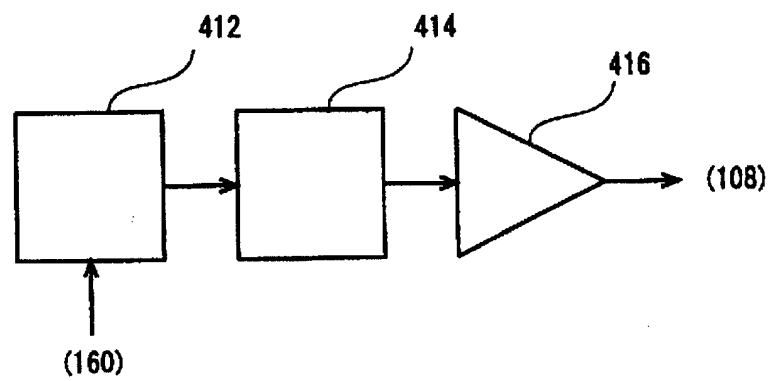


图 5

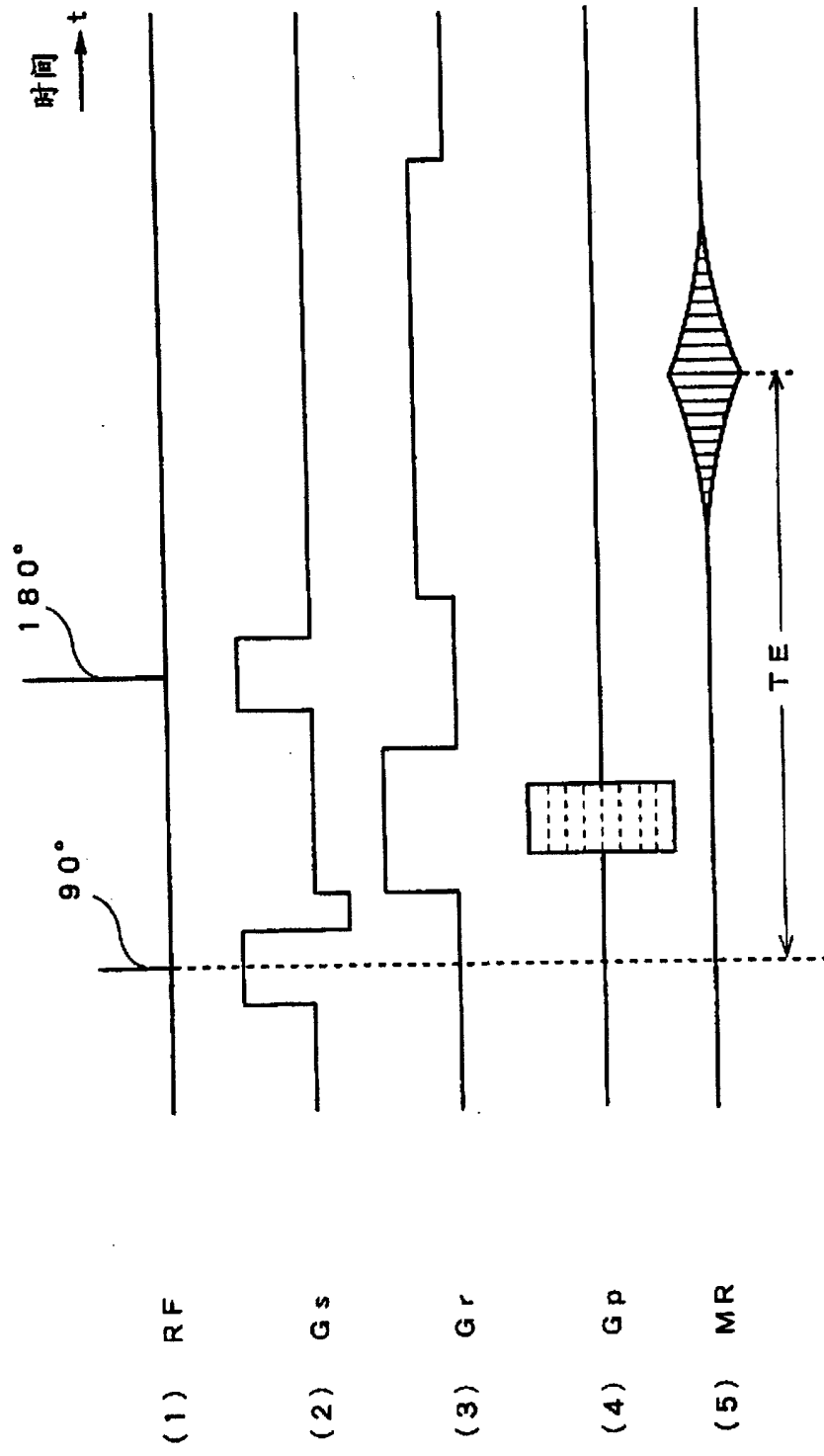
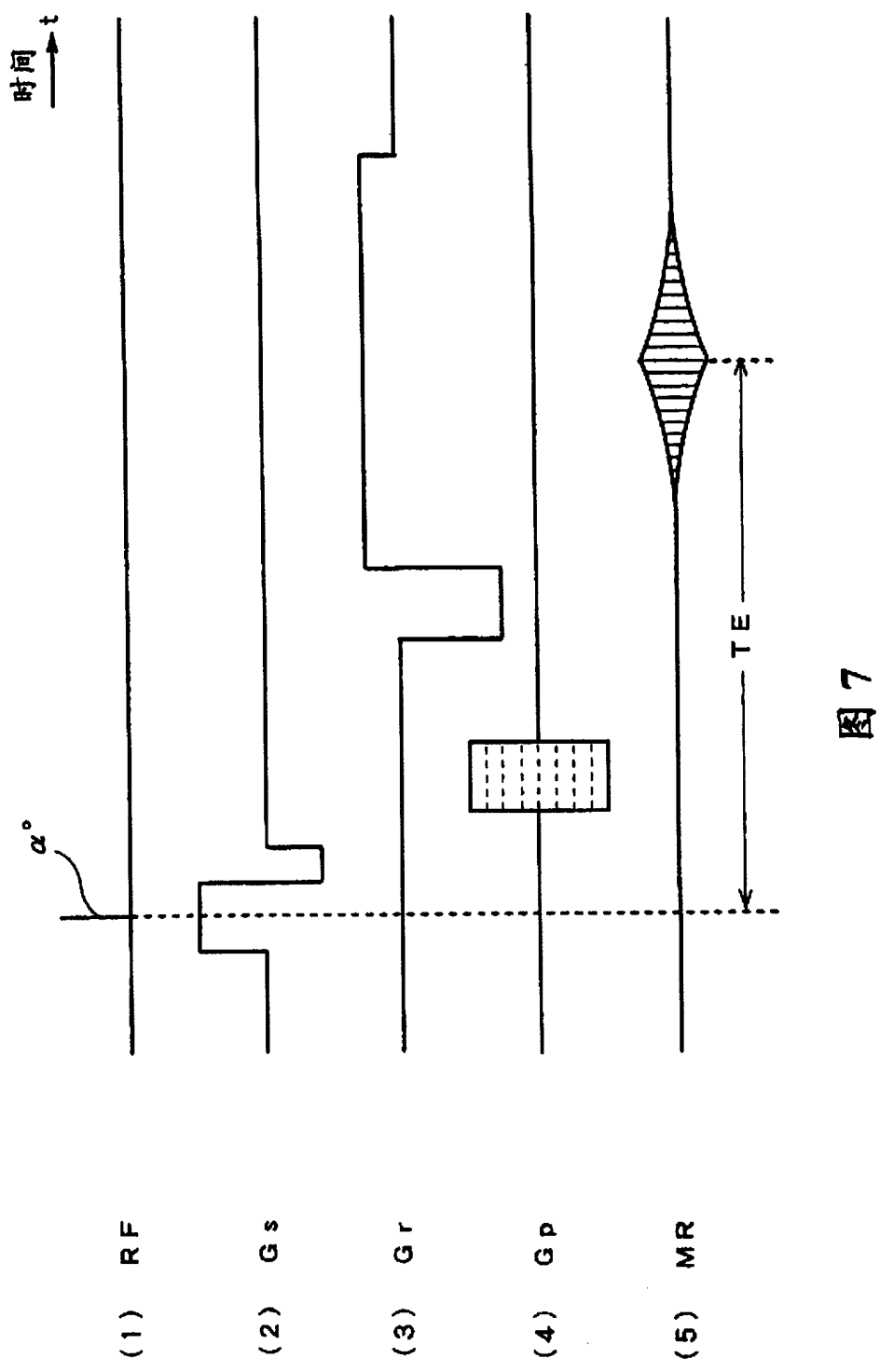


图 6



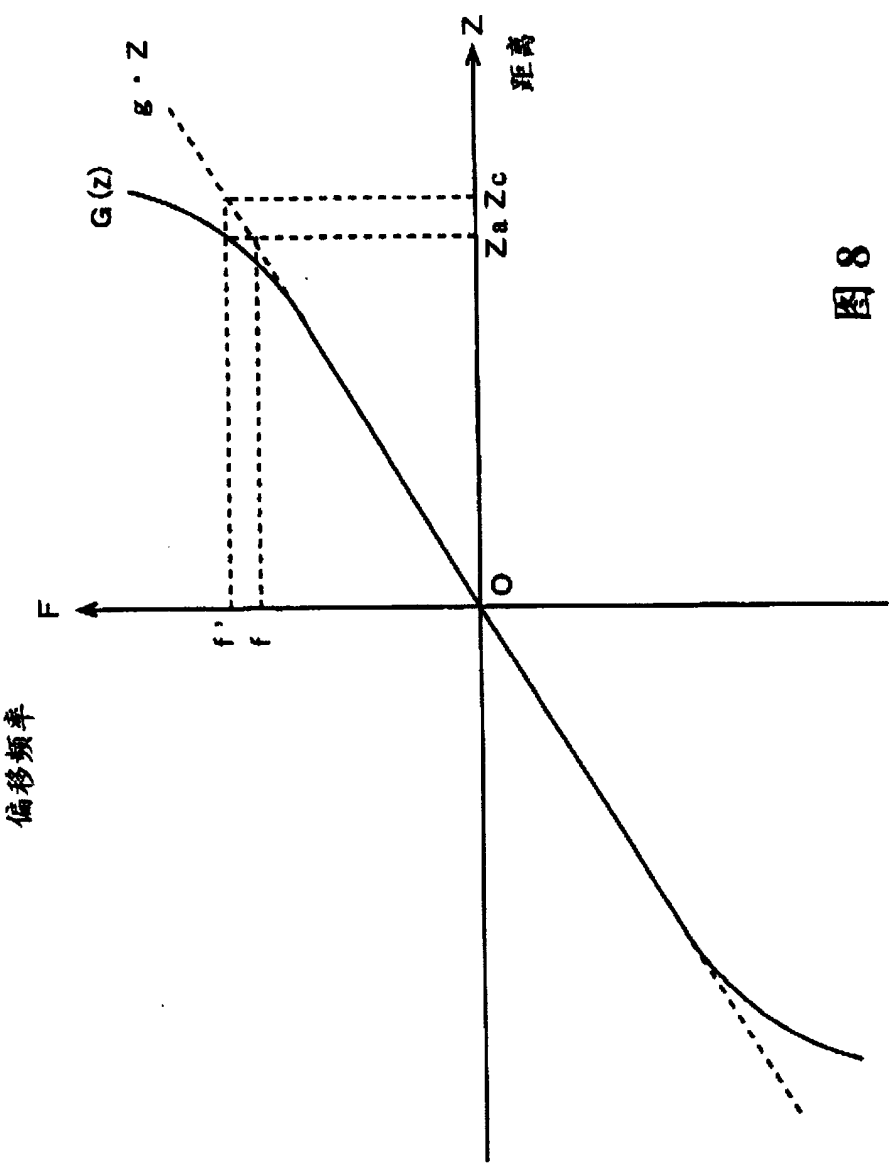


图 8

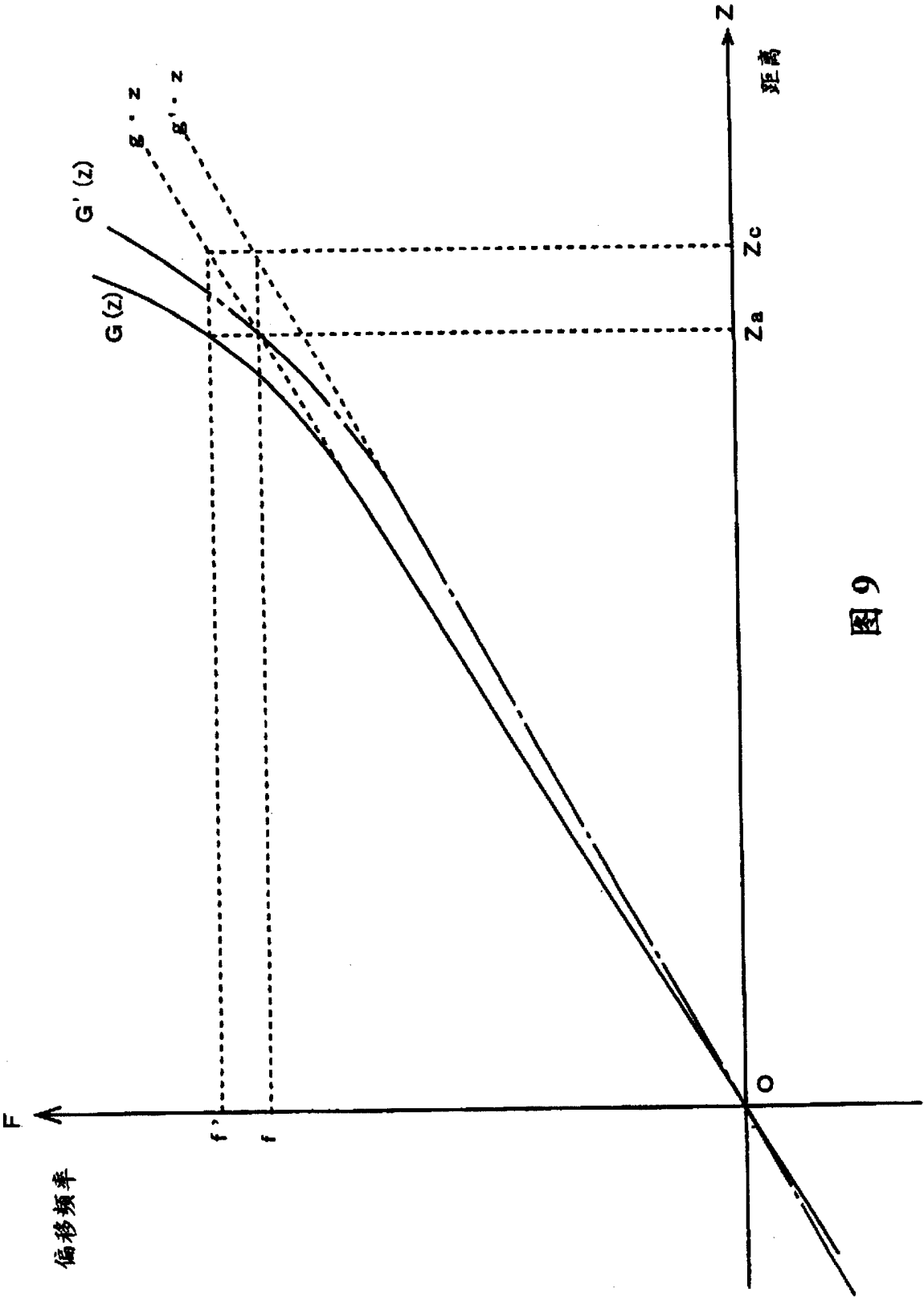


图 9