



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112671159 A

(43) 申请公布日 2021.04.16

(21) 申请号 202011535914.X

(22) 申请日 2020.12.23

(71) 申请人 苏州苏磁智能科技有限公司

地址 215131 江苏省苏州市苏州相城经济  
技术开发区澄阳路116号阳澄湖国际  
科技创业园2号楼311室

(72) 发明人 尹成科 尤志强 吴文志

(51) Int.Cl.

H02K 7/09 (2006.01)

H02K 1/12 (2006.01)

H02K 1/22 (2006.01)

F16C 32/04 (2006.01)

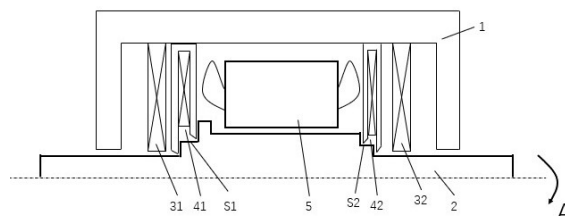
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

### (54) 发明名称

一种电机转子、磁悬浮装置、磁悬浮电机、透平电机系统

### (57) 摘要

一种电机转子、磁悬浮装置、磁悬浮电机、透平电机系统。所述磁悬浮装置包含：壳体(1)、转子(2)、径向磁轴承(31,32)、轴向磁轴承(41,42)、以及电机定子(5)，其中所述转子(2)的两侧均提供有阶梯状结构，且两侧的阶梯状结构是非对称的。该转子可应用于磁悬浮装置，该磁悬浮装置可以应用于磁悬浮电机、压缩机及泵。通过本发明的设计，实现了磁悬浮电机在高转速下的稳定工作，同时减小了磁悬浮电机的体积、质量，降低了生产制造成本。



1. 一种磁悬浮装置,包括:壳体、设置在壳体内侧的转子、径向磁轴承、轴向磁轴承和电机定子;

其中,所述转子相对于所述电机定子所处的中心部段的两侧均提供有阶梯状结构,且所述转子两侧的阶梯状结构为非对称结构。

2. 根据权利要求1所述的磁悬浮装置,其中,所述转子两侧阶梯结构之间的转子部分的直径大小相同;

所述转子一侧上的阶梯结构的最大阶梯直径与所述两侧的阶梯结构之间的转子部分的直径大小一样;以及

所述转子另一侧上的阶梯结构的最大阶梯直径大于所述两侧的阶梯结构之间的转子的直径。

3. 根据权利要求2所述的磁悬浮装置,其中,所述转子两侧的阶梯结构的直径越靠近所在侧的转子末端越小。

4. 根据权利要求2所述的磁悬浮装置,其中,在所述转子两侧的阶梯状结构中,具有最大阶梯直径的一侧的第一阶梯深度大于另一侧阶梯的第一阶梯深度;以及具有最大阶梯直径的一侧的第二阶梯深度大于另一侧阶梯的第二阶梯深度。

5. 根据权利要求4所述的磁悬浮装置,其中,所述转子上的阶梯直径较大的一侧设置在与应用该磁悬浮装置的磁悬浮电机正常工作时的轴向合力方向相反的一侧。

6. 根据权利要求5所述的磁悬浮装置,其中,所述合力指的是所述磁悬浮电机工作时,轴向上所有的力之和;以及若所述转子的轴向相对于水平面为非平行关系时,所述合力还包括重力。

7. 根据权利要求4所述的磁悬浮装置,其中,所述转子两侧的阶梯状结构具有阶梯面,所述阶梯面分别与所述第一轴向磁轴承和所述第二轴向磁轴承相对;以及所述第一轴向磁轴承和第二轴向磁轴承在所述转子上的所述阶梯面上产生轴向吸力。

8. 根据权利要求1所述磁悬浮装置,其中,所述电机定子设置在所述转子中间段附近,以及所述轴向磁轴承设置为比所述径向磁轴承更靠近所述转子中间段。

9. 根据权利要求1所述磁悬浮装置,其中,所述转子一端为输出端。

10. 根据权利要求9所述的磁悬浮装置,其中,所述转子的另一端也为输出端。

11. 根据权利要求1至10任一项所述的磁悬浮装置,其中,所述两侧的非对称设计阶梯结构处设置有凹槽结构。

12. 一种磁悬浮电机,包括权利要求1至11中任一项所述的磁悬浮装置,以及设置在所述转子至少一端的工作部件,所述工作部件包括叶轮。

13. 根据权利要求12所述的磁悬浮电机,还包括设置在所述转子的单侧的轴向传感器,以及设置在所述转子的两侧的径向传感器。

14. 一种透平电机系统,包括权利要求13所述的磁悬浮电机。

15. 一种电机转子,包括中间部段和分别位于中间部段之外的两端部段,其中,所述中间部段两侧均提供有阶梯状结构,且所述两侧阶梯状结构为非对称结构。

16. 根据权利要求15所述的转子,其中,所述两侧阶梯结构之间的中间部段部分的直径大小是一样的;

所述中间部段一侧上的阶梯结构的最大阶梯直径与所述两侧阶梯结构之间的中间部

段部分的直径大小一样;以及

所述中间部段另一侧上的阶梯结构的最大阶梯直径大于所述两侧阶梯结构之间的中间部段部分的直径。

17. 根据权利要求16所述的转子,其中,所述中间部段两侧的阶梯结构的直径越靠近所在侧的端部段末端越小。

18. 根据权利要求17所述的转子,其中,在所述

两侧阶梯状结构中,具有最大阶梯直径的一侧的第一阶梯深度大于另一侧阶梯的第一阶梯深度;以及具有最大阶梯直径的一侧的第二阶梯深度大于另一侧阶梯的第二阶梯深度。

19. 根据权利要求18所述的转子,其中,所述两侧阶梯状结构具有阶梯面。

## 一种电机转子、磁悬浮装置、磁悬浮电机、透平电机系统

### 技术领域

[0001] 本发明的实施例涉及磁悬浮技术领域，特别是涉及一种磁悬浮转子、磁悬浮装置、磁悬浮电机、透平电机系统。

### 背景技术

[0002] 传统电机使用的是接触式轴承，接触式轴承的转速主要受到轴承内部的摩擦发热引起的温升的限制，当转速超过某一界限后，轴承会因烧伤等原因而不能继续旋转。受限于此，传统电机的转速难以进一步提升。工业上对于高转速电机的需求日渐迫切，非接触式轴承的研究受到重点关注，例如磁悬浮电机技术。磁悬浮电机可应用于透平电机系统（例如压缩机、膨胀机、输送流体的泵等）中。

[0003] 磁悬浮电机利用磁力使得转子悬浮旋转，转子与轴承之间无接触、无摩擦。轴承的转速仅受限于转子的材料。因此在转子材料已经确定的情况下，只有设计出合理的结构才使得磁悬浮电机在高转速下工作。

[0004] 转子高速旋转时产生巨大的离心力。由于离心力与转子半径成正比，为了减小离心力，转子外径应尽可能小，但是另一方面转子需要提供足够的磁力面积，因此转子也不能过小，这提升了磁悬浮转子悬浮装置的整体设计难度。

[0005] 现有设计的一种结构将轴向磁轴承与推力盘安装在转子一端，推力盘在转子的径向上突出，此时转子旋转工作时最大离心力在推力盘的最大直径处，这种设计给轴向磁轴承提供了磁力面积，但忽略了在高转速时离心力的影响，直接导致磁悬浮电机的转速受到推力盘直径的限制。为了减小转子的最大外径，现有设计的另一种结构是在转子两端设计对称的阶梯状设计，将轴向磁轴承安装在转子的对称的阶梯状设计的两侧。

[0006] 现有的转子的对称的阶梯状设计没有考虑磁悬浮电机实际工作时的轴向力不平衡的特点。这种对称式阶梯状设计的磁力面积是以轴向上受力较大一端的参数为基准设计的。而另一端的轴向受力较小，所以利用不到全部的磁力。若以轴向力较小的一侧设计转子的对称式阶梯，则需要在受力较大的一侧安装小推力盘以平衡轴向力，这会导致磁悬浮电机内部的产品结构复杂，且增加了组件不利于装配与安装。

[0007] 由此可知，上述设计浪费了多余的材料导致制造成本高，且径向上转子的直径整体较大导致磁悬浮电机整体体积变大，不利于磁悬浮电机的小型化，轻量化。不仅如此，径向上磁力面积的增大导致轴向上电磁铁的厚度增加，这直接使得转子的轴向长度变长，降低了临界转速，不利于转子转速的提高。

### 发明内容

[0008] 有鉴于此，本发明的实施例提供了一种电机转子，磁悬浮装置、磁悬浮电机、压缩机及泵。本发明的至少一个目的是使得磁悬浮装置的悬浮转子满足高转速的工作需求，同时实现磁悬浮电机的小型化，轻量化。

[0009] 为达上述目的，本发明主要提供如下技术方案：

本发明的至少一个实施例提供了一种磁悬浮装置,包括:壳体、以及设置在壳体内侧的转子、径向磁轴承、轴向磁轴承、和电机定子;其中,所述转子相对于所述电机定子所处的中心部段的两侧均提供有阶梯状结构,且所述转子两侧的阶梯状结构为非对称结构。

[0010] 例如,所述转子两侧阶梯结构之间的转子部分的直径大小相同;所述转子一侧上的阶梯结构的最大阶梯直径与所述两侧的阶梯结构之间的转子部分的直径大小一样;以及所述转子另一侧上的阶梯结构的最大阶梯直径大于所述两侧的阶梯结构之间的转子的直径。

[0011] 例如,所述转子两侧的阶梯结构的直径越靠近所在侧的转子末端越小。

[0012] 例如,在所述转子两侧的阶梯状结构中,具有最大阶梯直径的一侧的第一阶梯深度大于另一侧阶梯的第一阶梯深度;以及具有最大阶梯直径的一侧的第二阶梯深度大于另一侧阶梯的第二阶梯深度。

[0013] 例如,所述转子上的阶梯直径较大的一侧设置在与应用该磁悬浮装置的磁悬浮电机正常工作时的轴向合力方向相反的一侧。

[0014] 例如,所述合力指的是所述磁悬浮电机工作时,轴向上所有的力之和;以及若所述转子的轴向相对于水平面为非平行关系时,所述合力还包括重力。

[0015] 例如,所述转子两侧的阶梯状结构具有阶梯面,所述阶梯面分别与所述第一轴向磁轴承和所述第二轴向磁轴承相对;以及所述第一轴向磁轴承和第二轴向磁轴承在所述转子上的所述阶梯面上产生轴向吸力。

[0016] 例如,所述电机定子设置在所述转子中间段附近,以及所述轴向磁轴承设置为比所述径向磁轴承更靠近所述转子中间段。

[0017] 例如,所述转子一端为输出端。

[0018] 例如,所述转子的另一端也为输出端。

[0019] 例如,所述两侧的非对称设计阶梯结构处设置有凹槽结构。

[0020] 本发明的至少一个实施例还提供一种磁悬浮电机,包括任一所述的磁悬浮装置,以及设置在所述转子至少一端的工作部件,工作部件包括叶轮。

[0021] 例如,所述磁悬浮电机还包括设置在所述转子的单侧的轴向传感器,以及设置在所述转子的两侧的径向传感器。

[0022] 本发明的至少一个实施例还提供一种透平电机系统,包括所述磁悬浮电机。

[0023] 本发明的至少一个实施例还提供一种电机转子,包括中间部段和分别位于中间部段之外的两端部段,其中,所述中间部段两侧均提供有阶梯状结构,且所述两侧阶梯状结构为非对称结构。

[0024] 例如,所述两侧阶梯结构之间的中间部段部分的直径大小相同;所述中间部段一侧上的阶梯结构的最大阶梯直径与所述两侧阶梯结构之间的中间部段部分的直径大小一样;以及所述中间部段另一侧上的阶梯结构的最大阶梯直径大于所述两侧阶梯结构之间的中间部段部分的直径。

[0025] 例如,所述中间部段两侧的阶梯结构的直径越靠近所在侧的端部段末端越小。

[0026] 例如,在所述两侧阶梯状结构中,具有最大阶梯直径的一侧的第一阶梯深度大于另一侧阶梯的第一阶梯深度;以及具有最大阶梯直径的一侧的第二阶梯深度大于另一侧阶梯的第二阶梯深度。

[0027] 例如,所述两侧阶梯状结构具有阶梯面。

## 附图说明

[0028] 图1是本发明实施例提供的一种磁悬浮装置的结构示意图;  
图2是本发明实施例提供的一种非对称磁悬浮转子结构的示意图;  
图3是本发明实施例提供的一种非对称磁悬浮转子结构的示意图;  
图4是本发明实施例提供的一种非对称磁悬浮转子结构的示意图;  
图5是本发明实施例提供的一种非对称磁悬浮转子结构的示意图;  
图6是本发明实施例提供的一种非对称磁悬浮转子结构的示意图;以及  
图7是本发明实施例提供的磁悬浮装置中非对称磁悬浮转子结构呈凹槽形式的结构示意图。

## 具体实施方式

[0029] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅是本公开一部分实施例,并不是全部的实施例。基于本公开中的实施例,本领域技术人员在无需做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本公开保护的范围。

[0030] 除非另外定义,此处使用的技术术语或者科学术语应当为本公开所属领域内具有一般技能的人士所理解的通常意义。本公开中使用的“第一”、“第二”、“第三”、“第四”以及类似的词语并不表示任何顺序、数量或者重要性,而只是用来区分不同的组成部分。“包括”或者“包含”等类似的词语意指出现该词前面的元件或者物件涵盖出现在该词后面列举的元件或者物件及其等同,而不排除其他元件或者物件。“上”、“下”、“左”、“右”等仅用于表示相对位置关系,当被描述对象的绝对位置改变后,则该相对位置关系也可能相应地改变。

[0031] 如图1所示,本发明的实施例提供一种磁悬浮装置,包括:壳体1、位于壳体内侧的转子2、第一径向磁轴承31、第二径向磁轴承32、第一轴向磁轴承41、第二轴向磁轴承42以及电机定子5。其中径向磁轴承、轴向磁轴承与电机定子属于定子的一部分。磁悬浮装置工作时,转子悬浮于定子中。

[0032] 如图1所示,所述转子2的大部分、第一径向磁轴承31、第二径向磁轴承32、第一轴向磁轴承41、第二轴向磁轴承42以及电机定子5均同轴安装在壳体1内侧。例如,转子2绕图中的箭头A方向可旋转。

[0033] 继续如图1所示,所述转子2两侧的阶梯面S1,S2分别与第一轴向磁轴承41和第二轴向磁轴承42相对。第一轴向磁轴承41和第二轴向磁轴承42分别在转子2上的阶梯面S1,S2上产生轴向吸力,通过所述轴向吸力来控制转子的轴向无接触悬浮。

[0034] 如图2所示,例如,本发明的所述转子2的两侧与轴向磁轴承对应的部分设置有非对称的阶梯状结构。转子2的两侧阶梯状结构的每侧各有两个台阶与轴向磁轴承配合产生轴向吸力。其中左侧阶梯状台阶的第一台阶21深度为a1,第二台阶22深度为a2。第一台阶21的从远离转子旋转轴A而言的最外侧算起的直径大于两侧阶梯状结构之间的转子部分的直径d1。右侧阶梯状台阶的第一台阶23(或称第三台阶23)深度为b1,第二台阶24(或称第四台阶24)深度为b2。右侧第一台阶23从远离转子2旋转轴A而言的最外侧算起的直径与两侧阶

梯状结构之间的转子部分的直径 $d_1$ 大小相等。

[0035] 此外,转子2的非对称的阶梯状结构的两侧的阶梯深度与其应用的电机工作时的轴向受力大小有关。为了实现磁悬浮电机体积的小型化与轻量化,例如,以轴向受力较小的一侧为基准设计转子直径 $d_1$ ,所以右侧第一台阶23(或称第三台阶23)的直径与两阶梯状结构之间的转子直径 $d_1$ 大小相等。

[0036] 而据发明人了解,现有设计的一种对称性阶梯设计,其台阶的高度必须按照轴向受力较大的一侧设计,否则磁悬浮电机无法正常工作。因此现有设计的两阶梯之间的直径较大,相应地,只能选择直径更大的电机定子进行配套安装,因此其径向尺寸必然大于本发明设计。不仅如此,现有设计的对称性设计也使得轴向磁轴承的铁芯厚度也按照轴向受力较大的一侧设计,这样会导致转子在轴向上长度的增加,降低了转子的临界转速,不利于转子转速的提升。

[0037] 因此本发明设计相较于现有设计实现了转子直径的减小。相应地,可以选择直径更小的电机定子配套安装在直径较小的转子上,实现了磁悬浮电机的小型化。

[0038] 进一步地,例如,在轴向力较小的一侧不仅减小了阶梯直径,还缩小了轴向磁轴承的厚度。在不影响磁悬浮工作性能的同时,实现了转子长度的减小,提升了转子的临界转速(转子的临界转速指使转子发生强烈振动的转速)。进一步地,例如,由于用于磁悬浮电机上的转子往往价格昂贵,本发明的设计实现了转子直径的减小,降低材料用量,在控制了磁悬浮电机成本的同时实现了磁悬浮电机的轻量化。

[0039] 例如,所述左侧第一台阶21的深度 $a_1$ 大于所述右侧第一台阶23的深度 $b_1$ ,所述左侧第二台阶22的深度 $a_2$ 大于所述右侧第二台阶 $b_2$ 。

[0040] 可以理解,所述非对称的阶梯状结构,其设计与转子正常工作时的理想轴向受力情况有关。当转子与放置面是水平关系时,如图3所示,当正常工作时轴向合力 $F$ 的指向为右侧,则在转子左侧设计第一台阶21与第二台阶22,在转子右侧设计第三台阶23与第四台阶24。反之,如图4所示,当正常工作时轴向合力 $F$ 的指向为左侧,则在转子右侧设计第一台阶21与第二台阶22,在转子左侧设计第三台阶23与第四台阶24。

[0041] 例如,转子不一定与放置面是水平关系,例如,如图5所示,当转子相对于地平面而言非水平放置时,此时轴向合力还包括重力。当正常工作时轴向合力 $F$ 的指向向下,则在转子上侧设计第一台阶21与第二台阶22,在转子上侧设计第三台阶23与第四台阶24。反之,例如,如图6所示,当正常工作时轴向合力 $F$ 的指向向上,则在转子上侧设计第一台阶21与第二台阶22,在转子上侧设计第三台阶23与第四台阶24。

[0042] 但是,本公开的实施例并不限于转子的上述放置方式和使用方式。相应的,当转子以相对于水平面以其他角度放置时,相应的台阶设计也可以根据转子正常工作时轴向合力的指向进行相应的调整。

[0043] 例如,在所述转子2的非对称的阶梯状结构中,转子2两侧的阶梯直径越靠近转子两侧的转子末端越小。即,转子2一侧的阶梯直径越靠近所在侧转子的末端,其阶梯直径越小。这种设计便于转子的加工以及后续电机的安装。

[0044] 例如,参见图1和7所示,所述电机定子5安装在转子2中间段附近,例如,电机定子5围绕转子2设置,或者转子2插入所述定子5中。第一轴向磁轴承41比第一径向磁轴承31更靠近转子2中心位置,第二轴向磁轴承42比第二径向磁轴承32更靠近转子中心位置。例如,为

为了方便转子的加工和电机的安装,转子2两侧的阶梯直径越靠近转子2两侧的转子末端越小。因此为了获得较大的磁力面积,将轴向磁轴承安装在直径相对较大的靠近转子中心处附近,从而获得更大的磁力面积。

[0045] 例如,如图7所示,为了防止漏磁现象的发生,在两侧的非对称设计阶梯处附近还可以设置凹槽结构G1,G2。

[0046] 例如,本发明的实施例还提供一种磁悬浮电机,所述磁悬浮电机包括上面任一实施例所述的转子两侧具有非对称阶梯结构的磁悬浮装置。

[0047] 所述磁悬浮电机可以在转子2两端安装工作部件,也可以只在一端安装工作部件。例如,以二级离心式空压机为例,使用本发明设计的磁悬浮电机的二级离心式压缩机可以在转子两端都安装工作部件。例如,以一级离心压缩机或者离心泵为例,可只在单侧安装工作部件,另一侧不安装工作部件。例如,所述工作部件可以是叶轮。

[0048] 所述磁悬浮电机中设置有轴向传感器和径向传感器。例如,径向传感器可安装在转子两侧并与径向磁承配套安装。例如,轴向传感器可只在转子的阶梯直径较大一侧安装,因为转子阶梯直径较大一侧的轴向磁轴承的磁力较大,对轴向位移的精度要求更高。但是本发明的实施例并不限于此。

[0049] 磁悬浮电机可以通过上述磁悬浮装置获得更大的转速范围,并且实现磁悬浮电机的轻量化、小型化,进一步地降低生产制造成本。

[0050] 所述磁悬浮电机可应用于透平电机系统(例如压缩机、膨胀机、输送流体的泵等)中。

[0051] 本发明的实施例还提供透平电机系统,所述透平电机系统包括上述的磁悬浮电机。

[0052] 需要说明的是,在不冲突的情况下,本领域的技术人员可以根据实际情况将上述各示例中相关的技术特征或各示例相互组合,以达到相应的技术效果,具体对于各种组合情况在此不一一赘述。

[0053] 以上所述,仅是本发明的示例实施例,并非对本发明作任何形式上的限制,依据本发明的技术实质对以上实施例所作的任何修改、等同变化与修饰,均仍属于本发明要求保护的范围。

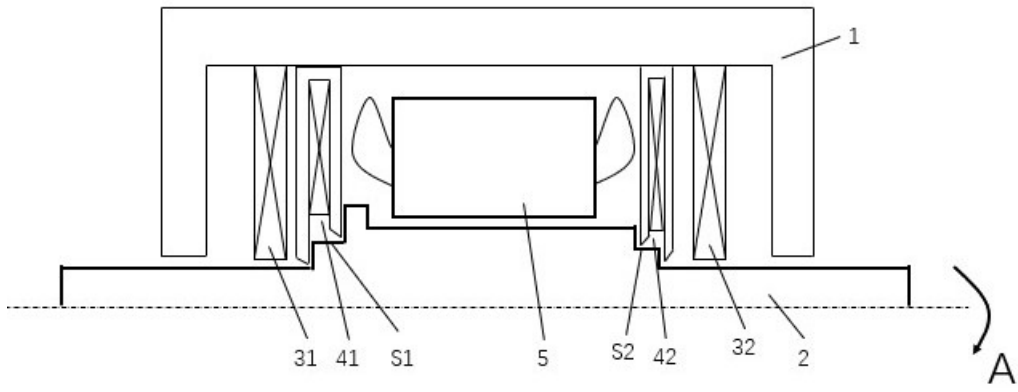


图1

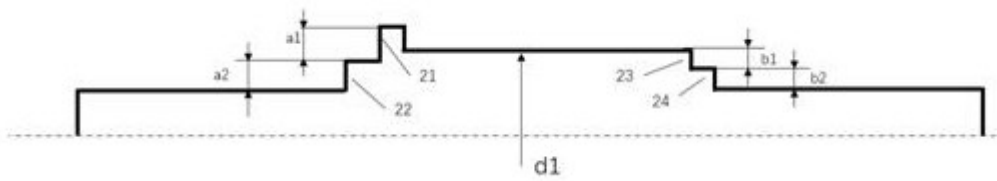


图2

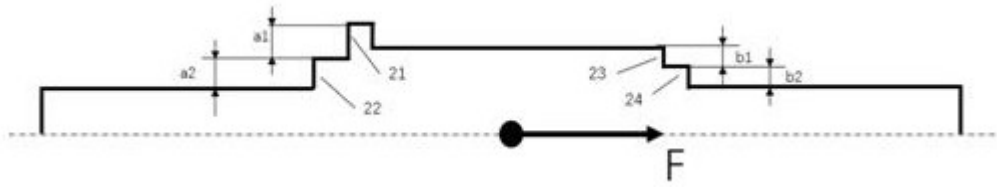


图3

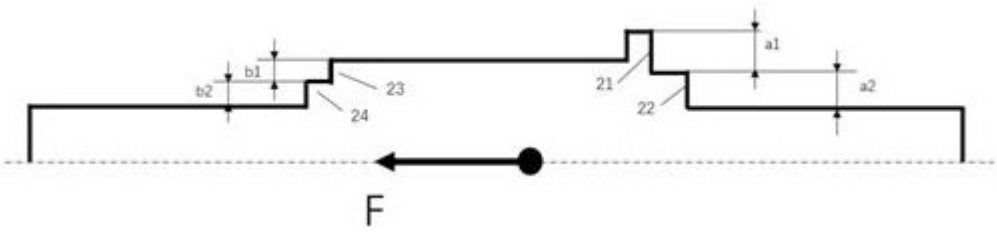


图4

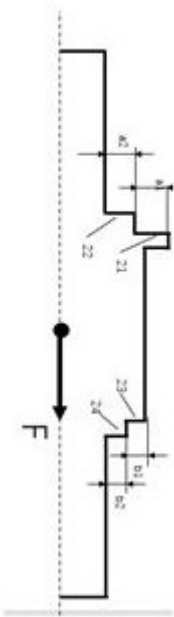


图5

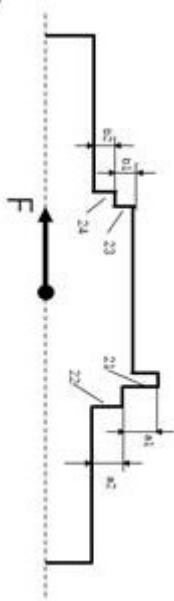


图6

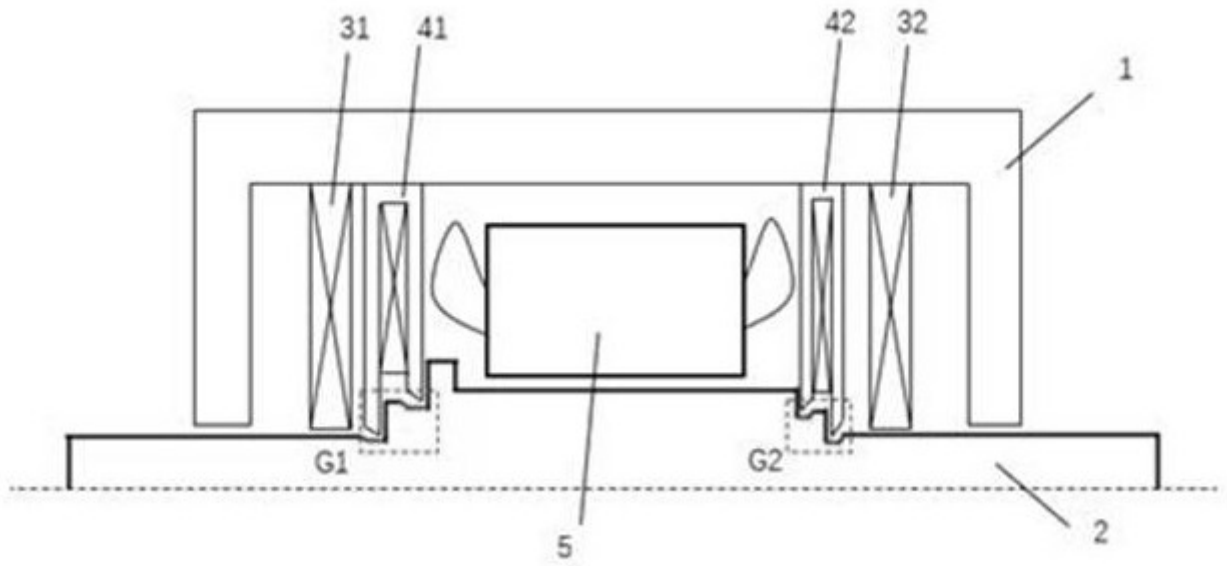


图7