



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107070073 B

(45)授权公告日 2020.11.03

(21)申请号 201710197695.0

(22)申请日 2017.03.29

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107070073 A

(43)申请公布日 2017.08.18

(73)专利权人 江苏大学

地址 212013 江苏省镇江市京口区学府路
301号

(72)发明人 孙玉坤 袁野 孟高军 黄永红

(51)Int.Cl.

H02K 7/02(2006.01)

H02N 15/00(2006.01)

审查员 董统传

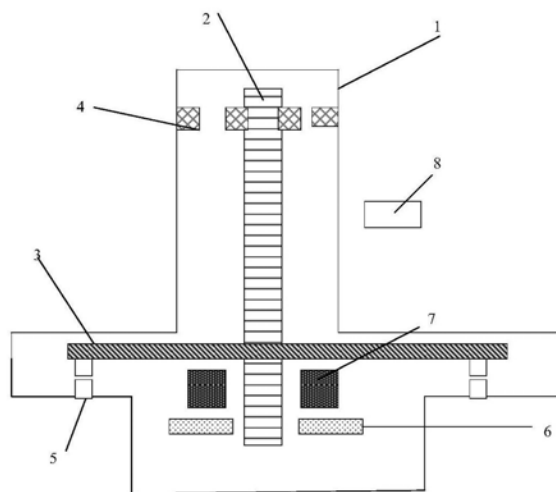
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种磁悬浮飞轮电池

(57)摘要

本发明公开了一种磁悬浮飞轮电池,包括真空室,转轴,飞轮,永磁径向轴承,永磁卸载轴承,径向-轴向磁悬浮支承,单绕组磁悬浮电机,位移判断单元;本发明加入了位移判断单元,飞轮电池采用单绕组磁悬浮电机,只有当系统径向载荷超过支承系统径向负载能力时,单绕组磁悬浮电机,才提供相应的径向悬浮力,产生相应的悬浮功率。绝大多数情况下,外部电源供给单绕组磁悬浮电机的能量全部用于产生转矩为飞轮储能,具有“等价能量转换”功能,不需要消耗能量用于产生悬浮功率。因此,该系统在绝大多数情况下,保持高运行效率。



1. 一种磁悬浮飞轮电池,其特征是:包括真空室(1),转轴(2),飞轮(3),永磁径向轴承(4),永磁卸载轴承(5),径向-轴向磁悬浮支承(6),单绕组磁悬浮电机(7),位移判断单元(8);

转轴(2),飞轮(3),永磁径向轴承(4),永磁卸载轴承(5),径向-轴向磁悬浮支承(6),单绕组磁悬浮电机(7)安装于真空室(1)内,用于减少风阻带来的能量损耗;所述转轴(2)设置于真空室(1)中间,永磁径向轴承(4)安装于转轴(2)上端,用于分担大部分两个自由度径向悬浮力;飞轮(3)、永磁卸载轴承(7)位于转轴(2)中下段,且永磁卸载轴承(7)固连飞轮(3)与真空容器(1),用于卸载飞轮电池轴向平衡时重量;径向-轴向磁悬浮支承(6)安装于转轴(2)最下端,用于分担小部分两个自由度径向悬浮力,位移判断单元(8)根据转轴径向位移值大小和轴向扰动,决定单绕组磁悬浮电机(7)和径向-轴向磁悬浮支承(6)的工作模式;

位移判断单元(8)可根据转子轴向扰动,决定径向-轴向磁悬浮支承(6)是否提供轴向悬浮力,当位移传感器检测到飞轮电池轴向偏心时,径向-轴向磁悬浮支承(6)提供轴向悬浮力,反之,径向-轴向磁悬浮支承(6)只提供径向悬浮力;

当飞轮电池径向载荷超过永磁径向轴承(4)和径向-轴向磁悬浮支承(6)的径向负载能力时,位移判断单元(8)根据转轴轴向位移,给单绕组磁悬浮电机(7)发出指令,额外的径向载荷由单绕组磁悬浮电机(7)提供,单绕组磁悬浮电机(7)此时需要通过调节每套绕组内悬浮电流分量,进而产生相应的悬浮功率和悬浮力,用于维持飞轮电池系统的径向平衡;

所述位移判断单元(8)可根据转子径向位移偏心量,决定单绕组磁悬浮电机的工作模式,飞轮电池安装的位移传感器将位移信号转换成电信号,输入到数字处理器中结合相应的控制策略对单绕组磁悬浮电机(7)实时控制;当径向位移偏心值在气隙长度20%以内时,认为径向-轴向磁悬浮支承(6)和永磁径向轴承(4)维持转子径向稳定悬浮,此时位移判断单元(8)通过数字处理器将单绕组磁悬浮电机(7)控制在转矩状态,绕组中的电流全部用于供转矩电流 i_t ,即 $i = i_t$,电机和无刷直流电机运行原理相同,外部电源输入的电能全部用于单绕组磁悬浮电机(7)的加速电动,为飞轮储能,无需提供额外的径向悬浮力,具有“等价能量转换”功能;当径向位移偏心值超过气隙长度20%时,认为径向-轴向磁悬浮支承(6)和永磁径向轴承(4)难以维持转子径向稳定悬浮,此时位移判断单元(8)通过数字处理器将单绕组磁悬浮电机(7)控制在转矩/悬浮状态,绕组中的电流分为了转矩电流 i_t 和悬浮电流 i_s ,即 $i = i_t + i_s$;转矩电流用于产生转矩,悬浮电流用于产生麦克斯韦径向力,分担径向-轴向磁悬浮支承和永磁径向轴承承载力之外的径向扰动,使转子回到中心位置,通过控制电流大小使转子始终保持在平衡位置。

2. 如权利要求1所述的一种磁悬浮飞轮电池,其特征是:单绕组磁悬浮电机(7)安装于飞轮(3)和径向-轴向磁悬浮支承(6)之间,每套绕组独立控制,当飞轮电池径向载荷在永磁径向轴承(4)和径向-轴向磁悬浮支承(6)的径向负载能力范围内时,外部电源输入的电能全部用于单绕组磁悬浮电机(7)的加速电动,为飞轮储能,无需提供额外的径向悬浮力。

3. 如权利要求1所述的一种磁悬浮飞轮电池,其特征是:所述永磁径向轴承(4)包括内磁环(401),硅钢片(402),内环压板(403),外环压板(404),外磁环(405);内磁环(401)固连内环压板(403),内环压板(403)固连转轴(2),内磁环(401)可与转轴(2)一起转动;外磁环(405)固连外环压板(404),外环压板(404)固连真空容器(1)。

4. 如权利要求1所述的一种磁悬浮飞轮电池,其特征是:所述永磁卸载轴承(5)包括上

磁环(501),下磁环(502),硅钢片(503);上磁环(501)两侧贴上硅钢片(503),并固连在飞轮(3)上,可与飞轮(3)一起旋转;下磁环(502)两侧贴上硅钢片(503),并固连在真空容器(1)上;上磁环(501)与下磁环(502)采用轴向充磁,充磁方向相反;利用两磁环之间的斥力实现飞轮电池轴向重量卸载。

5.如权利要求1所述的一种磁悬浮飞轮电池,其特征是:所述径向-轴向磁悬浮支承(6)位于转轴(2)下端,提供径向悬浮力和轴向悬浮力;包括轴向定子(601),轴向控制线圈(602),轴承转子(605),径向控制线圈(606),轴向控制线圈(602),径向定子(607),永磁环(608);

轴向定子(601)固连真空容器(1),2个轴向控制线圈(602)固连在轴向定子(601)内侧上下端,径向定子(607)沿圆周90度均匀分布,每个径向定子(607)均叠绕径向控制线圈(606),永磁环(608)径向充磁嵌在轴向定子(601)和径向定子(607)的交接处,轴承转子(605)与径向定子(707)之间留有径向气隙(604),轴承转子(605)与轴向定子(601)之间留有轴向气隙(603);轴向控制线圈(602)由径向分别对置的两个线圈串联作为相关自由度的控制线圈。

一种磁悬浮飞轮电池

技术领域

[0001] 本发明属于电能存储技术领域,尤其涉及一种“等价能量转换”的磁悬浮飞轮电池,特别适用于不间断电源、航空航天等领域。

背景技术

[0002] 随着新能源发电、分布式电源系统、混合动力车辆、航空航天等领域的发展,储能技术已成为世界性的研究课题。众多储能技术中,飞轮电池以功率大、效率高、寿命长、储能密度大、清洁无污染等优点受到国内外的高度重视。作为一种集机械、控制、电子等技术于一体的新型储能装备,飞轮电池目前还存在诸多制约其工程化应用的技术难题,主要表现于悬浮支承系统、集成式高速/超高速电机的性能与控制等。为减小支承损耗,飞轮电池通常采用多个主动式磁悬浮轴承支承,增加了飞轮轴向长度,降低了临界转速,同时也导致飞轮电池结构复杂、体积庞大。磁悬浮电机集传统电机旋转与磁轴承悬浮功能于一体,以同时产生驱动负载的电磁转矩和支承转子的悬浮力为目标,打破了传统电机仅为了产生电磁转矩而必须保持气隙磁场平衡的思路,开辟了高速电机研究领域的新方向。但是采用磁悬浮电机的飞轮电池,其存在的必然缺点是磁悬浮电机需要有额外的绕组来提供径向悬浮力,必然导致电机牺牲一部分系统的转矩功率来产生悬浮功率。为此,本专利提出一种“等价能量转换”的磁悬浮飞轮电池,飞轮电池的四个径向自由度中的两个自由度由永磁径向轴承提供,用于分担大部分的径向悬浮力,剩余的两个径向自由度由径向-轴向磁悬浮支承提供,用于分担小部分的径向悬浮力,飞轮电池轴向自由度由永磁卸载轴承提供,当系统径向载荷在永磁径向轴承和径向-轴向磁悬浮支承负载范围内时,电机绕组电流全部用于产生转矩,此时外部电源输入的电能全部用于单绕组磁悬浮电机的加速电动,为飞轮储能,无需提供额外的径向悬浮力,具有“等价能量转换”功能,只有当少数情况下,当飞轮电池径向载荷超过永磁径向轴承和径向-轴向磁悬浮支承的径向负载能力时,额外的径向载荷由单绕组磁悬浮电机提供,此时需要通过调节每套绕组内悬浮电流分量,进而产生相应的悬浮功率和悬浮力,用于维持飞轮电池系统的径向平衡。

发明内容

[0003] 本发明目的是提出一种“等价能量转换”的磁悬浮飞轮电池,当系统稳态运行时,大部分的径向载荷由永磁径向轴承分担,轴承载荷由永磁卸载轴承分担,径向-轴向磁悬浮支承系统仅分担大部分的径向载荷,因此降低了磁悬浮支承系统的体积,增加了飞轮电池的结构紧凑性;当系统有轴向扰动时,径向-轴向磁悬浮支承系统分担轴向扰动,当轴向扰动消失时,径向-轴向磁悬浮支承无需提供额外的轴向力,降低了飞轮电池的功耗;当飞轮电池径向载荷超过永磁径向轴承和径向-轴向磁悬浮支承的径向负载能力时,单绕组磁悬浮电机分担永磁径向轴承和径向-轴向磁悬浮支承的径向负载能力之外的径向载荷,将单绕组磁悬浮电机绕组通入悬浮分量电流,产生相应的径向悬浮力,进而平衡径向负载能力之外的径向载荷,此时单绕组磁悬浮电机共在悬浮/转矩模态,当径向负载能力之外的径向

载荷消失时,单绕组磁悬浮电机无需工作在悬浮模态,其绕组电流均可工作于转矩模态,此时外部电源输入的电能全部用于单绕组磁悬浮电机的加速电动为飞轮储能,无需提供额外的径向悬浮力,具有“等价能量转换”功能,提高了飞轮电池的运行效率。

[0004] 为实现上述目的,本发明采用的技术方案是:一种磁悬浮飞轮电池,包括真空室(1),转轴(2),飞轮(3),永磁径向轴承(4),永磁卸载轴承(5),径向-轴向磁悬浮支承(6),单绕组磁悬浮电机(7),位移判断单元(8);

[0005] 转轴(2),飞轮(3),永磁径向轴承(4),永磁卸载轴承(5),径向-轴向磁悬浮支承(6),单绕组磁悬浮电机(7)安装于真空室(1)内,用于减少风阻带来的能量损耗;所述转轴(2)设置于真空室(1)中间,永磁径向轴承(4)安装于转轴(2)上端,用于分担大部分两个自由度径向悬浮力;飞轮(3)、永磁卸载轴承(7)位于转轴(2)中下段,且永磁卸载轴承(7)固连飞轮(3)与真空容器(1),用于卸载飞轮电池轴向平衡时重量;径向-轴向磁悬浮支承(6)安装于转轴(2)最下端,用于分担小部分两个自由度径向悬浮力,位移判断单元(8)根据转轴径向位移值大小和轴向扰动,决定单绕组磁悬浮电机(7)和径向-轴向磁悬浮支承(6)的工作模态。

[0006] 进一步,位移判断单元(8)可根据转子轴向扰动,决定径向-轴向磁悬浮支承(6)是否提供轴向悬浮力,当位移传感器检测到飞轮电池轴向偏心时,径向-轴向磁悬浮支承(6)提供轴向悬浮力,反之,径向-轴向磁悬浮支承(6)只提供径向悬浮力。

[0007] 进一步,单绕组磁悬浮电机(7)安装于飞轮(3)和径向-轴向磁悬浮支承(6)之间,每套绕组独立控制,当飞轮电池径向载荷在永磁径向轴承(4)和径向-轴向磁悬浮支承(6)的径向负载能力范围内时,外部电源输入的电能全部用于单绕组磁悬浮电机(7)的加速电动,为飞轮储能,无需提供额外的径向悬浮力。

[0008] 进一步,当飞轮电池径向载荷超过永磁径向轴承(4)和径向-轴向磁悬浮支承(6)的径向负载能力时,位移判断单元(8)根据转轴轴向位移,给单绕组磁悬浮电机(7)发出指令,额外的径向载荷由单绕组磁悬浮电机(7)提供,单绕组磁悬浮电机(7)此时需要通过调节每套绕组内悬浮电流分量,进而产生相应的悬浮功率和悬浮力,用于维持飞轮电池系统的径向平衡。

[0009] 进一步,所述永磁径向轴承(4)包括内磁环(401),硅钢片(402),内环压板(403),外环压板(404),外磁环(405);内磁环(401)固连内环压板(403),内环压板(403)固连转轴(2),内磁环(401)可与转轴(2)一起转动;外磁环(405)固连外环压上(404),外环压板(404)固连真空容器(1)。

[0010] 进一步,所述永磁卸载轴承(5)包括上磁环(501),下磁环(502),硅钢片(503);上磁环(501)两侧贴上硅钢片(503),并固连在飞轮(3)上,可与飞轮(3)一起旋转;下磁环(502)两侧贴上硅钢片(503),并固连在真空容器(1)上;上磁环(501)与下磁环(502)采用但不局限于轴向充磁,充磁方向相反;利用两磁环之间的斥力实现飞轮电池轴向重量卸载。

[0011] 进一步,所述径向-轴向磁悬浮支承(6)位于转轴(2)下端,提供径向悬浮力和轴向悬浮力;包括轴向定子(601),轴向控制线圈(602),轴承转子(605),径向控制线圈(606),轴向控制线圈(602,径向定子(607),永磁环(608);

[0012] 轴向定子(601)固连真空容器(1),2个轴向控制线圈(602)固连在轴向定子(601)内侧上下端,径向定子(607)沿圆周90度均匀分布,每个径向定子(607)均叠绕径向控制线圈

(606), 永磁环 (608) 径向充磁嵌在轴向定子 (601) 和径向定子 (607) 的交接处, 轴承转子 (605) 与径向定子 (707) 之间留有径向气隙 (604), 轴承转子 (605) 与轴向定子 (601) 之间留有轴向气隙 (603); 轴向控制线圈 (602) 线圈由径向分别对置的两个线圈串联作为相关自由度的控制线圈。

[0013] 与现有技术相比, 本发明的有益效果是:

[0014] (1) 系统功耗低

[0015] 飞轮电池支承系统全部采用磁悬浮支承, 无机械摩擦, 无需润滑, 系统功耗低, 储能效率高

[0016] (2) 系统运行效率高

[0017] 加入位移判断单元, 飞轮电池采用单绕组磁悬浮电机, 只有当系统径向载荷超过支承系统径向负载能力时, 单绕组磁悬浮电机, 才提供相应的径向悬浮力, 产生相应的悬浮功率。绝大多数情况下, 外部电源供给单绕组磁悬浮电机的能量全部用于产生转矩为飞轮储能, 具有“等价能量转换”功能, 不需要消耗能量用于产生悬浮功率。因此, 该系统在绝大多数情况下, 保持高运行效率。

附图说明

[0018] 图1为一种“等价能量转换”的磁悬浮飞轮电池;

[0019] 图2为本发明所采用的永磁径向轴承结构示意图;

[0020] 图3为本发明所采用的永磁卸载轴承结构示意图;

[0021] 图4为本发明所采用的径向-轴向磁悬浮支承结构示意图;

[0022] 图5为本发明所采用的单绕组磁悬浮电机结构示意图;

[0023] 图6为基于转子径向位移的单绕组磁悬浮电机工作模式判断表, 其中 (a) 为转子径向位移示意图; (b) 为本发明所采用的单绕组磁悬浮电机工作模式判断表。

具体实施方式

[0024] 下面结合附图和实施例, 对本发明具体实施方式做进一步描述。以下实施例仅用于更加清楚的说明本发明的技术方案, 而不能以此来限制本发明的保护范围。

[0025] 如图1所示, 一种“等价能量转换思想”的磁悬浮飞轮电池, 转轴2, 飞轮3, 永磁径向轴承4, 永磁卸载轴承5, 径向-轴向磁悬浮支承6, 单绕组磁悬浮电机7安装于真空室1, 用于减少风阻带来的能量损耗。位移判断单元8根据转轴径向位移和轴向位移值大小, 决定径向-轴向磁悬浮支承6和单绕组磁悬浮电机7的工作模式。永磁径向轴承4安装于转轴2上端, 用于分担大部分两个自由度径向悬浮力; 永磁卸载轴承7固连飞轮3与真空容器1, 用于卸载飞轮电池轴向平衡时重量; 径向-轴向磁悬浮支承6安装于转轴2下端, 用于分担小部分两个自由度径向悬浮力, 同时, 当飞轮电池轴向平衡时, 径向-轴向磁悬浮支承6无需产生轴向悬浮力, 当飞轮电池轴向有扰动时, 位移判断单元8根据转轴轴向位移, 给径向-轴向磁悬浮支承6发出指令, 使之可以产生相应的轴向悬浮力保持飞轮电池轴向稳定; 单绕组磁悬浮电机7安转于飞轮3和径向-轴向磁悬浮支承6之间, 每套绕组独立控制, 当飞轮电池径向载荷在永磁径向轴承4和径向-轴向磁悬浮支承6的径向负载能力范围内时, 外部电源输入的电能全部用于单绕组磁悬浮电机7的加速电动, 为飞轮储能, 无需提供额外的径向悬浮力, 具有

“等价能量转换”功能,在少数情况下,当飞轮电池径向载荷超过永磁径向轴承4和径向-轴向磁悬浮支承6的径向负载能力时,位移判断单元8根据转轴轴向位移,给单绕组磁悬浮电机7发出指令,额外的径向载荷由单绕组磁悬浮电机7提供,单绕组磁悬浮电机7此时需要通过调节每套绕组内悬浮电流分量,进而产生相应的悬浮功率和悬浮力,用于维持飞轮电池系统的径向平衡。

[0026] 如图2所示,本发明所采用的永磁径向轴承4位于转轴2上端,用于分担大部分两个自由度径向悬浮力。包括内磁环401,硅钢片402,内环压板403,外环压板404,外磁环405。内磁环401固连内环压板403,内环压板403固连转轴2,内磁环401可与转轴2一起转动。外磁环405固连外环压板404,外环压板404固连真空容器1。磁环材料一般采用但不局限于稀土材料钕铁硼材。外磁环405与内磁环401采用轴向充磁,充磁方向相同,利用两磁环之间的斥力,将转轴2固定在平衡位置。两者同心同轴同长度。需要说明的是:磁环两侧贴上硅钢片硅钢片402,磁通在硅钢片中集中径向流动从而增加径向磁通密度降低漏磁。

[0027] 如图3所示,本发明所采用的永磁卸载轴承5,用于卸载飞轮电池轴向平衡时重量。包括上磁环501,下磁环502,硅钢片503。磁环材料一般采用但不局限于稀土材料钕铁硼材料。上磁环501两侧贴上硅钢片503固连飞轮3,可与飞轮3一起旋转。下磁环502两侧贴上硅钢片503固连真空容器1。上磁环501与下磁环502采用但不局限于轴向充磁,充磁方向相反。利用两磁环之间的斥力实现飞轮电池轴向重量卸载。需要说明的是:为获得更大的刚度和承载力本发明采用多对磁环进行轴向叠加,磁环两侧贴上硅钢片,磁通在硅钢片中集中径向流动从而增加径向磁通密度降低漏磁。

[0028] 如图4所示,本发明所采用的径向-轴向磁悬浮支承6位于转轴2下端,可提供径向悬浮力和轴向悬浮力。包括轴向定子601,轴向控制线圈602,轴承转子605,径向控制线圈606,轴向控制线圈602,径向定子607,永磁环608。轴向定子601固连真空容器1,2个轴向控制线圈602固连轴向定子601,径向定子607沿圆周90度均匀分布,每个径向定子607均叠绕径向控制线圈606,永磁环608径向充磁嵌在轴向定子601和径向定子607的交接处,轴承转子605与径向定子607之间留有径向气隙604,轴承转子605与轴向定子601之间留有轴向气隙603。轴向控制线圈602线圈由径向分别对置的两个线圈串联作为相关自由度的控制线圈。2个轴向控制线圈602,4个径向控制线圈606绕组均通直流电。轴向定子601与径向定子607采用硅钢片叠压而成,永磁环608一般采用但不局限于稀土材料钕铁硼材料,并径向充磁。当径向-轴向都稳定悬浮时,转轴2在永磁环608产生的静磁场吸力下处于悬浮的中间位置。径向-轴向磁悬浮支承6与永磁径向轴承4相配合,用于提供飞轮电池四自由度径向悬浮力。仅当飞轮电池受到轴向扰动时,径向-轴向磁悬浮支承提供轴向悬浮力,反之,径向-轴向磁悬浮支承的轴向部分不需要工作。

[0029] 如图5所示,本发明所采用的单绕组磁悬浮电机可以采用单绕组磁悬浮无刷直流电机,包括定子轭701,定子齿702,绕组线圈703,永磁体704,转子轭705。定子轭701、定子齿702和转子轭705由硅钢片压制而成。定子齿702共有12个,绕组线圈703共12个采用集中绕组的方式分别绕制在定子齿702上。绕组线圈703分为A、B、C三相,A1、A2、A3和A4组成A相,B1、B2、B3和B4组成B相,C1、C2、C3和C4组成C相,每个线圈独立控制。永磁体704为稀土材料,径向充磁,分为四极,相对两极为一对极,分别为N极和S极。当飞轮电池径向扰动在径向-轴向磁悬浮支承和永磁径向轴承承载力范围内时,单绕组磁悬浮无刷直流电机工作于转矩状

态,绕组中的电流全部用于供转矩电流 i_t ,即 $i=i_t$,电机和普通无刷直流电机运行原理相同,外部电源输入的电能量全部用于单绕组磁悬浮电机7的加速电动,为飞轮储能,无需提供额外的径向悬浮力,具有“等价能量转换”功能。当飞轮电池径向扰动超过时,单绕组磁悬浮无刷直流电机工作于转矩/悬浮状态,绕组中的电流分为了转矩电流 i_t 和悬浮电流 i_s ,即 $i=i_t+i_s$ 。转矩电流用于产生转矩,悬浮电流用于产生麦克斯韦径向力,分担径向-轴向磁悬浮支承和永磁径向轴承承载力之外的径向扰动,使转子回到中心位置,通过控制电流大小使转子始终保持在平衡位置。

[0030] 如图6所示,本发明位移判断单元8可根据转子径向位移偏心量,决定单绕组磁悬浮电机的工作模式。飞轮电池安装的位移传感器可以将位移信号转换成电信号,输入到数字处理器中结合相应的控制策略对单绕组磁悬浮电机7实时控制。当径向位移偏心值在气隙长度20%以内时,可以认为径向-轴向磁悬浮支承6和永磁径向轴承4可以维持转子径向稳定悬浮,此时位移判断单元8可以通过数字处理器将单绕组磁悬浮电机7控制在转矩状态,绕组中的电流全部用于供转矩电流 i_t ,即 $i=i_t$,电机和普通无刷直流电机运行原理相同,外部电源输入的电能量全部用于单绕组磁悬浮电机7的加速电动,为飞轮储能,无需提供额外的径向悬浮力,具有“等价能量转换”功能。当径向位移偏心值超过气隙长度20%以内时,可以认为径向-轴向磁悬浮支承6和永磁径向轴承4难以维持转子径向稳定悬浮,此时位移判断单元8可以通过数字处理器将单绕组磁悬浮电机7控制在转矩/悬浮状态,绕组中的电流全部用于供转矩电流 i_t ,即 $i=i_t$,电机和普通无刷直流电机运行原理相同,绕组中的电流分为了转矩电流 i_t 和悬浮电流 i_s ,即 $i=i_t+i_s$ 。转矩电流用于产生转矩,悬浮电流用于产生麦克斯韦径向力,分担径向-轴向磁悬浮支承和永磁径向轴承承载力之外的径向扰动,使转子回到中心位置,通过控制电流大小使转子始终保持在平衡位置。位移判断单元8可根据转子轴向扰动,决定径向-轴向磁悬浮支承6是否提供轴向悬浮力。当位移传感器检测到飞轮电池轴向偏心时,径向-轴向磁悬浮支承6提供轴向悬浮力,反正,径向-轴向磁悬浮支承6只提供径向悬浮力。

[0031] 在本说明书的描述中,参考术语“一个实施例”、“一些实施例”、“示意性实施例”、“示例”、“具体示例”、或“一些示例”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本发明的至少一个实施例或示例中。在本说明书中,对上述术语的示意性表述不一定指的是相同的实施例或示例。而且,描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任何一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。

[0032] 尽管已经示出和描述了本发明的实施例,本领域的普通技术人员可以理解:在不脱离本发明的原理和宗旨的情况下可以对这些实施例进行多种变化、修改、替换和变型,本发明的范围由权利要求及其等同物限定。

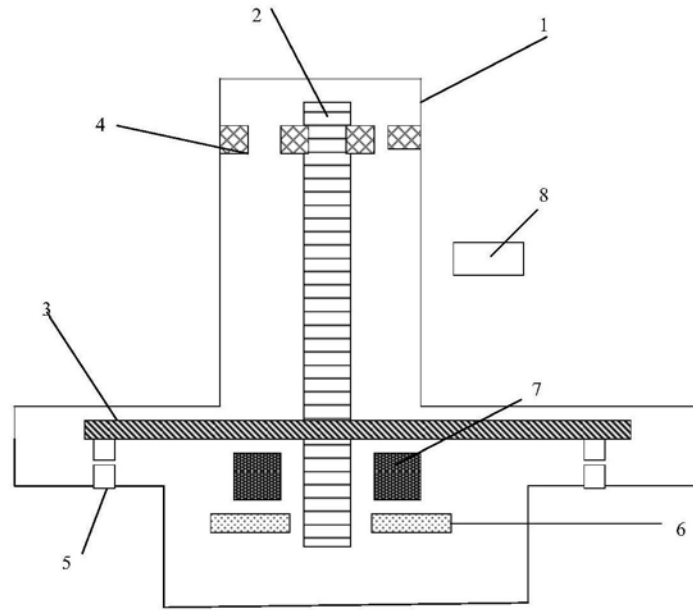


图1

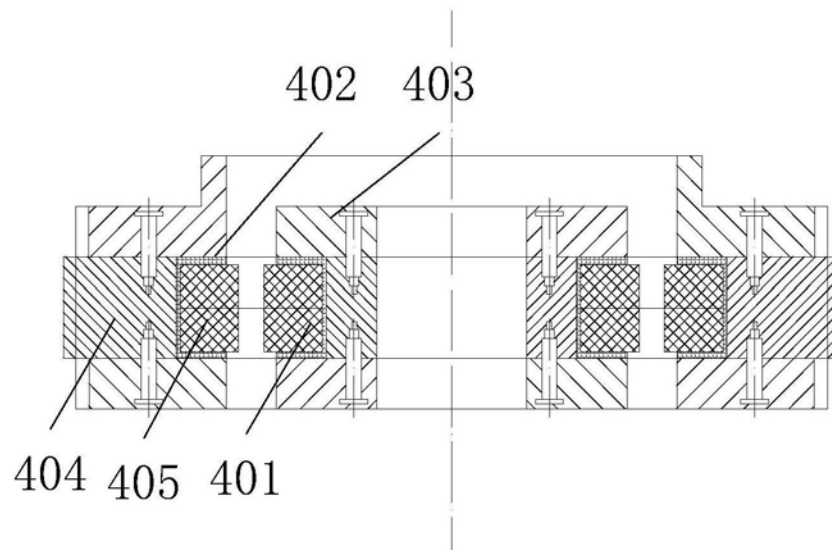


图2

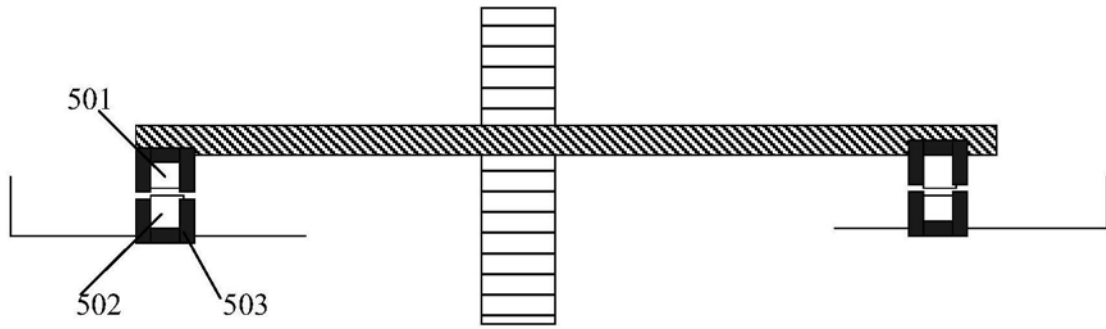


图3

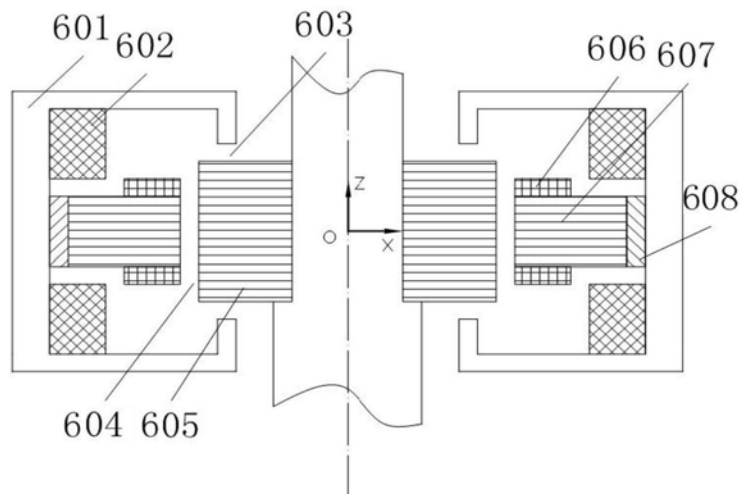


图4

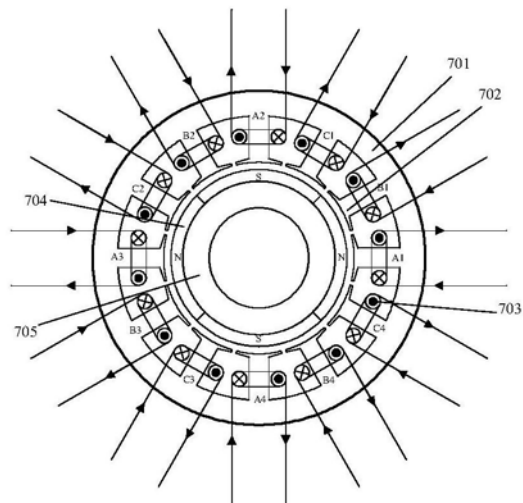


图5

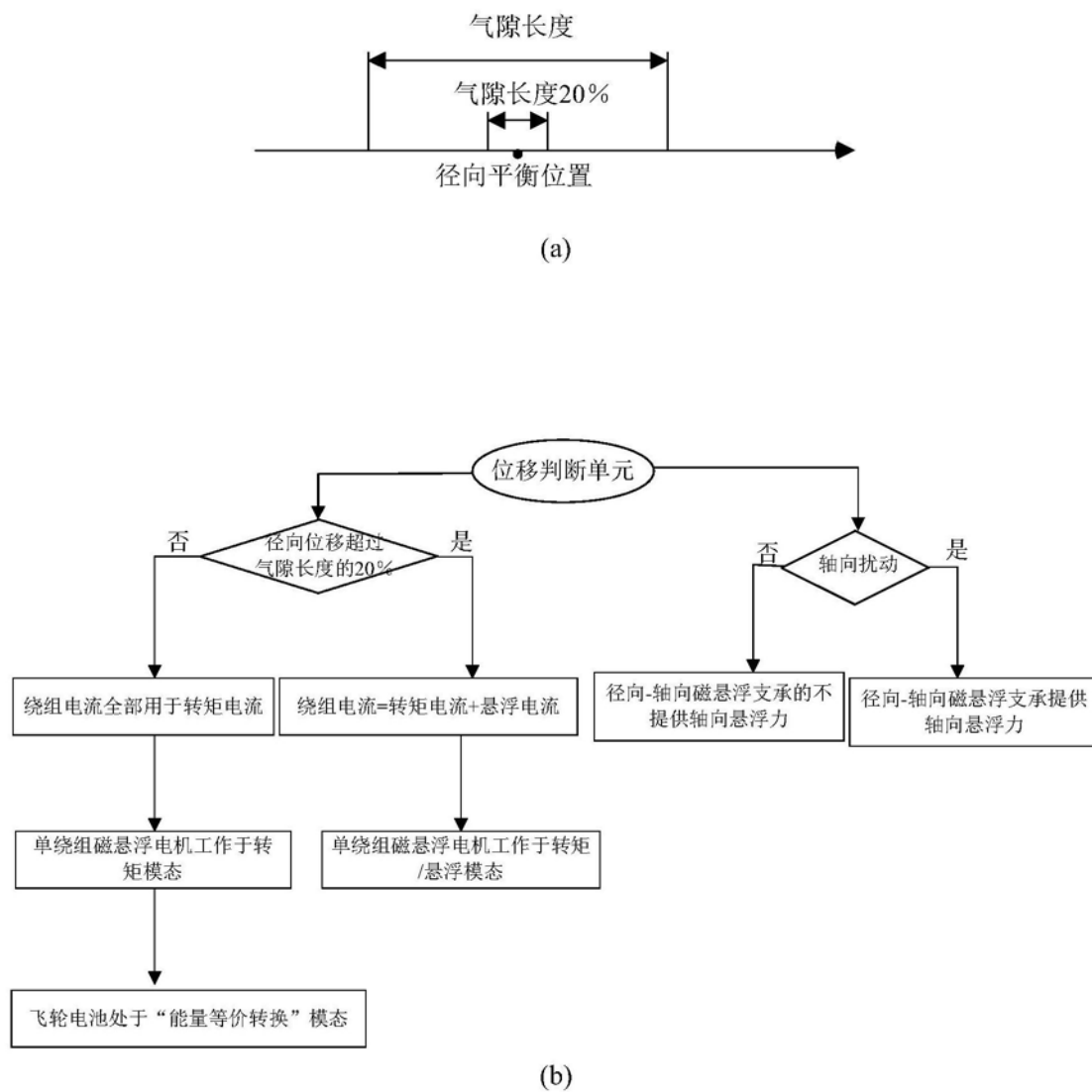


图6