

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2019 年 1 月 31 日 (31.01.2019)



(10) 国际公布号
WO 2019/019244 A1

- (51) 国际专利分类号:
F16C 32/04 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2017/099223
- (22) 国际申请日: 2017 年 8 月 28 日 (28.08.2017)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201710623045.8 2017年7月27日 (27.07.2017) CN
- (71) 申请人: 江苏大学 (JIANGSU UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。
- (72) 发明人: 张维煜 (ZHANG, Weiyu); 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。 杨恒

坤 (YANG, Hengkun); 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。 朱焜秋 (ZHU, Huangqiu); 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。 陈涛 (CHEN, Tao); 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。 程玲 (CHENG, Ling); 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。

(74) 代理人: 北京德崇智捷知识产权代理有限公司 (JW IP LAW FIRM); 中国北京市朝阳区酒仙桥路 14 号 A5 楼 7 层 701, Beijing 100015 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS,

(54) **Title:** VEHICLE-MOUNTED FLYWHEEL BATTERY USING FIVE-DEGREE-OF-FREEDOM HYBRID MAGNETIC BEARING

(54) 发明名称: 采用五自由度混合磁轴承的车载飞轮电池

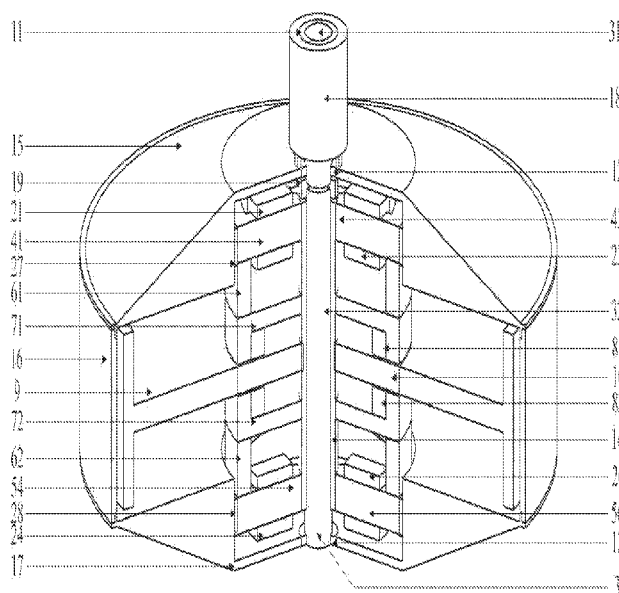


图 1

(57) **Abstract:** Disclosed by the present invention is a vehicle-mounted flywheel battery using a five-degree-of-freedom hybrid magnetic bearing as a magnetic suspension support; the five-degree-of-freedom hybrid magnetic bearing is arranged at the exact middle of an inner portion of a sealed vacuum chamber; a magnetic bearing rotor is coaxially and tightly sleeved outside of a rotating shaft of the magnetic bearing at the exact middle of the magnetic bearing; a tension disk is tightly sleeved outside of the exact center of the magnetic bearing rotor in the axial direction, and a flywheel is fixedly sleeved outside of the tension disk; a stator pole is wound with a



WO 2019/019244 A1

JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告 (条约第21条(3))。

radial control coil, and an axial stator is internally provided with an axial control coil; at the exact center outside of a top surface of an outer casing is a motor/generator, a rotating shaft of the motor extending from top to bottom into the outer casing and being coaxially and fixedly connected to an upper end of the rotating shaft of the magnetic bearing; by integrating the tension disk and the flywheel into one unit, the axial length of the flywheel battery is further shortened, and the gyroscopic effect is effectively suppressed; the five-degree-of-freedom hybrid magnetic bearing integrates two single-piece three-degree-of-freedom hybrid magnetic bearings together, and is distributed on two sides of the tension disk by using a manner of mirror-symmetry, having high control precision.

(57) 摘要: 本发明公开一种采用五自由度混合磁轴承作为磁悬浮支承的车载飞轮电池, 在密闭真空腔室的内部正中间设有五自由度混合磁轴承, 该磁轴承正中间的磁轴承转轴外同轴紧密套有磁轴承转子, 磁轴承转子的轴向正中间外紧密套有拉力盘, 拉力盘外固定套有飞轮, 定子极上绕有径向控制线圈, 轴向定子内设轴向控制线圈; 外壳顶面外正中间是电动机/发电机, 电机转轴从上至下伸入外壳内同轴固定连接所述磁轴承转轴上端; 将拉力盘与飞轮整合为一个整体, 进一步缩短了飞轮电池的轴向长度, 陀螺效应得到有效抑制, 五自由度混合磁轴承是将两个单片三自由度混合磁轴承整合到一起, 以镜面对称的方式分布在拉力盘的两侧, 控制精度高。

采用五自由度混合磁轴承的车载飞轮电池

技术领域

本发明涉及用于电动汽车的车载飞轮电池（也称飞轮储能装置）领域，具体是采用五自由度混合磁轴承作为磁悬浮支承的车载飞轮电池。

背景技术

目前制约电动汽车发展的主要难题是车载动力电池的性能。车载飞轮电池是利用磁悬浮支承和飞轮的旋转惯量来实现能量存储的，其充电效率高、比能量、比功率大、质量小、无污染且寿命长。由于电动汽车空间有限，因此对飞轮电池的体积的要求就相对较高，而磁悬浮轴承是对飞轮电池提供支撑的关键部件，其体积大小直接影响飞轮电池的体积。

目前车载飞轮电池的瓶颈主要在飞轮转轴的陀螺效应难以克服。当飞轮电池受到外界干扰时，由于飞轮电池固有的“有轴”结构，不可避免会引起陀螺效应。尤其对于车载飞轮电池，在遇到启动、急停、转弯等动作时，都会引起飞轮轴在约束方向上受到很大的陀螺力矩，从而使飞轮轴承受受到很大的附加压力，陀螺效应更加难以控制。而通过缩短飞轮转子轴向长度可有效减小飞轮转子的陀螺效应。现有的飞轮电池所采用的磁悬浮支撑系统大多采用二自由度和三自由度组合以实现转子五自由度平衡。这种结构设计集成度不高，导致转子轴向长度过长，陀螺效应更加明显。

发明内容

本发明的目的是为了最大限度减小飞轮电池的陀螺效应，提出一种集成五自由度混合磁轴承、减小飞轮转子的轴向长度、结构紧凑、从结构上减小飞轮转子陀螺效应的车载飞轮电池。

本发明的目的是采用以下技术方案来实现的：包括一个由外壳、上端盖和下端盖形成的密闭真空腔室，在密闭真空腔室的内部正中间设有五自由度混合磁轴承，该磁轴承正中间是磁轴承转轴，磁轴承转轴外同轴紧密套有磁轴承转子，磁轴承转子的轴向正中间外紧密套有拉力盘，拉力盘外固定套有飞轮，磁轴承转子外还有间隙地套径向定子、轴向定子和环形永磁体，径向定子的定子极上绕有径向控制线圈，轴向定子内设轴向控制线圈，环形永磁体轴向充磁；外壳顶面外正中间是电动机/发电机，电动机/发电机正中间是电机转轴，电机转轴从上至下伸入外壳内同轴固定连接所述磁轴承转轴上端。

进一步地，当电机转轴转动，带动磁轴承转子、拉力盘和飞轮共同转动，所述环形

永磁体提供偏置磁场，飞轮被动悬浮转动；当飞轮驱动拉力盘、磁轴承转子和电机转轴共同转动，对轴向控制线圈通直流电，控制磁轴承转子和电机转轴轴向一个自由度，对径向控制线圈通交流电，控制磁轴承转子和电机转轴径向上四个自由度。

本发明与现有技术相比的有益效果在于：

1、本发明将拉力盘与飞轮通过过盈配合整合为一个整体，不多占用轴向位置，进一步缩短了飞轮电池的轴向长度，飞轮电池的陀螺效应得到有效抑制，并且节约了材料，降低了飞轮电池的质量。

2、本发明所采用的五自由度混合磁轴承是将两个单片三自由度混合磁轴承整合到一起，以镜面对称的方式分布在拉力盘的两侧，实现五自由度控制，集成度高，控制精度高。

3、本发明飞轮电池的电机是设置在外壳的外部而非将电动机/发电机整合到飞轮电池外壳的内部，这样的设计降低了飞轮电池的加工难度，便于飞轮电池的检修与维护。

4、本发明将磁轴承和飞轮密封在一个真空外壳中，消除了空气摩擦对飞轮所带来的损耗。

5、本发明拉力盘与磁轴承转子的结合处加工为齿状，经过过盈配合进行安装。由于在飞轮电池高速旋转时，拉力盘所受应力主要集中在了拉力盘与磁轴承转子的结合处。这种结构使得拉力盘与磁轴承转子的结合处所受应力变得很小，避免了飞轮在高速状态下变形甚至损坏。

附图说明

图 1 是本发明的内部结构剖视图；

图 2 是图 1 的局部结构立体图；

图 3 是图 1 中的五自由度混合磁轴承的剖视图；

图 4 是图 1 中下部径向定子和磁轴承转子之间的装配结构俯视图；

图 5 是图 3 中磁轴承转子、轴向定子和拉力盘之间的装配结构放大图；

图 6 是图 1 中磁轴承转子、飞轮和拉力盘之间的装配结构放大图；

图 7 是图 6 中磁轴承转子和拉力盘的分解结构图；

图 8 是本发明工作在充电和能量保持阶段时，五自由度混合磁轴承实现静态被动悬浮的原理图；

图 9 是本发明工作在放电阶段时，五自由度混合磁轴承实现径向二自由度平衡控制的原理图；

图 10 是本发明工作在放电阶段时，五自由度混合磁轴承实现径向旋转二自由度平衡控制的原理图；

图 11 是本发明工作在放电阶段时，五自由度混合磁轴实现轴向单自由度平衡控制的原理图。

图中：3.飞轮电池转轴；4.上部径向定子；5.下部径向定子；9.飞轮；10.拉力盘；11.中心转轴辅助轴承；12.上辅助轴承；13.下辅助轴承；14.磁轴承转子；15.上端盖；16.外壳；17.下端盖；18.电动机/发电机；19.联轴器；21,22,23.上部径向控制线圈；24,25,26.下部径向控制线圈；31.电机转轴；32.磁轴承转轴；41,42,43.上部径向定子极；51,52,53.下部径向定子极；61.上部环形永磁体；62.下部环形永磁体；71.上部轴向定子；72.下部轴向定子；73.圆盘；74.圆环体；81.上部轴向控制线圈；82.下部轴向控制线圈；91.飞轮中空圆柱体；92.飞轮中空圆盘。

具体实施方式

参见图 1 和图 2 所示，本发明的最外部是一个外壳 16，外壳 16 为中空圆柱体，外壳 16 的顶部密封连接上端盖 15，底部密封连接下端盖 17，上端盖 15 和下端盖 17 的形状相同，均为圆台状端盖，并且中心开有通孔，以便各安装一个辅助轴承，其中上端盖 15 的中心通孔处通过过盈配合安装上辅助轴承 12，下端盖 17 的中心通孔处通过过盈配合安装下辅助轴承 13，上辅助轴承 12 和下辅助轴承 13 形状大小相同，其外径与中心通孔的内径相等。由外壳 16、上端盖 15 和下端盖 17 三者之间形成一个密闭的真空腔室。

在密闭的真空腔室的内部正中间设有五自由度混合磁轴承，再结合图 3 所示，五自由度混合磁轴承是在轴向上上下对称的结构，包括磁轴承转轴 32、磁轴承转子 14、拉力盘 10、径向定子、轴向定子和环形永磁体。正中间是磁轴承转轴 32，磁轴承转轴 32 的中心与外壳 16 的中心重合，在磁轴承转轴 32 外同轴心地套有磁轴承转子 14，磁轴承转子 14 外套有拉力盘 10、径向定子、轴向定子和环形永磁体，其中拉力盘 10 与磁轴承转子 14 紧密固定相接，径向定子、轴向定子、环形永磁体内壁与磁轴承转子 14 外壁之间间隙。

参见图 1、2、3 所示，磁轴承转子 14 的轴向正中间通过过盈配合固定套拉力盘 10。拉力盘 10 上下两侧布置上下对称的轴向定子、环形永磁体和径向定子。其中，轴向定子由上部轴向定子 71 和下部轴向定子 72 组成，径向定子由上部径向定子 4 和下部径向定子 5 组成，环形永磁体由上部永磁体 61 和下部永磁体 62。上部轴向定子 71 和下部轴向定子 72 相对于拉力盘 10 上下对称，上部径向定子 4 和下部径向定子 5 相对于拉力盘 10

上下对称，上部永磁体 61 和下部永磁体 62 相对于拉力盘 10 上下对称。上部永磁体 61 固定叠压连接在上部径向定子 4 和上部轴向定子 71 之间，下部永磁体 62 固定叠压连接在下部径向定子 5 和下部轴向定子 72 之间。

上部径向定子 4 和下部径向定子 5 同轴布置，上部径向定子 4 的上端面和磁轴承转子 14 的上端面平齐，下部径向定子 5 的下端面和磁轴承转子 14 的下端面平齐。

拉力盘 10、轴向定子、径向定子、环形永磁体四者的外径均相等。

参见图 3 并结合 4 所示，上部径向定子 4 的轭部和下部径向定子 5 的轭部各自沿圆周方向均匀布置三个径向定子极，分别是三个上部径向定子极 41、42、43 和三个下部径向定子极 51、52、53。三个上部径向定子极 41、42、43 和三个下部径向定子极 51、52、53 的形状完全相同，上下投影重叠。三个上部径向定子极 41、42、43 的上端面和上部径向定子 4 的轭部上端面平齐，三个下部径向定子极 51、52、53 的下端面和下部径向定子 5 的轭部下端面平齐。在每个径向定子极上绕有径向控制线圈，分别是上部径向控制线圈 21、22、23 和下部径向控制线圈 24、25、26，6 个完全相同的径向控制线圈一一对应地绕制于三个上部径向定子极 11、12、13 和三个下部径向定子极 81、82、83 上。三个上部径向定子极 11、12、13 和三个下部径向定子极 81、82、83 的内端都带有极靴，极靴内表面为圆弧柱面。当磁轴承转子 14 处于平衡位置时，上部径向定子极 11、12、13 以及下部径向定子极 81、82、83 的极靴内表面与磁轴承转子 14 外壁之间留有 0.5mm 的径向气隙。

上部径向控制线圈 21、22、23 与上端盖 15 相互不接触，同样，下部径向控制线圈 24、25、26 与下端盖 17 相互不接触。

参见图 5 并结合图 3，轴向定子的上部轴向定子 71 和下部轴向定子 72 结构相同，都是原盘状。上部轴向定子 71 和下部轴向定子 72 同轴布置，分别位于拉力盘 10 的上下两侧，并且与拉力盘 10 之间留有轴向间隙。上部轴向定子 71 与上部径向控制线圈 21、22、23 不接触，下部轴向定子 72 和下部径向控制线圈 24、25、26 不接触。上部轴向定子 71 通过一个线圈架固定上部轴向控制线圈 81，上部轴向控制线圈 81 紧贴在上部轴向定子 71 的内壁上，下部轴向定子 72 通过另一个线圈架固定下部轴向控制线圈 82，下部轴向控制线圈 82 紧贴在下部轴向定子 72 的内壁上。上部轴向控制线圈 81 和下部轴向控制线圈 82 都同轴套在磁轴承转子 14 外，与磁轴承转子 14 之间留有径向间隙，并且与拉力盘 10 之间留有轴向间隙。

轴向定子的上部轴向定 71 和下部轴向定子 72 均各由一个圆盘 73 和一个圆环体 74

在轴向上叠放且固定连接而成。圆盘 73 的外径等于圆环体 74 的外径，圆环体 74 的内径远大于圆盘 73 的内径。上部轴向控制线圈 81 和下部轴向控制线圈 82 分别紧贴在对应的圆环体 74 的内壁上，当上部轴向控制线圈 81 和下部轴向控制线圈 82 通电时，圆环体 74 内能产生轴向控制磁场。当飞轮 9 处于平衡位置时，在径向上，拉力盘 10 上下两侧的圆盘 73 的内壁与磁轴承转子 14 之间留有 0.5mm 的径向气隙。在轴向上，上部轴向定子 71 的圆环体 74 的下端面与拉力盘 10 的上端面保持 0.5mm 的轴向气隙；下部轴向定子 72 的圆环体 74 的上端面与拉力盘 10 的下端面保持 0.5mm 的轴向气隙。

如图 1、2、3 所示，上部径向定子 4 与上部轴向定子 71 之间以及下部径向定子 5 与下部轴向定子 72 之间分别固定叠压一块形状相同的环形永磁体，分别是上部环形永磁体 61 和下部环形永磁体 62。上部环形永磁体 61 和下部环形永磁体 62 的结构相同，均采用高性能稀土材料钕铁硼制成，均轴向充磁，上部环形永磁体 61 和下部环形永磁体 62 的充磁方向相反，环形永磁体的 S 极相面对面。上部环形永磁体 61 和下部环形永磁体 62 的内径与上部径向定子 4 和下部径向定子 5 的轭部的内径相等、外径与上部径向定子 4 和下部径向定子 5 的轭部的外径相等。

如图 1 图 2 所示，上部径向定子 4 和下部径向定子 5 的外壁上各紧密套一个环状隔磁铝环，其中上隔磁铝环 27 通过过盈配合紧密套在上部径向定子 4 外，下隔磁铝环 28 通过过盈配合紧密套在下部径向定子 5 外。上隔磁铝环 27 和下隔磁铝环 28 还通过冷压焊的方式分别紧密固定连接对应的上端盖 15 和下部盖 17，使固定连接的径向定子、轴向定子和环形永磁体一起通过环状隔磁铝环固定不动。这样，上隔磁铝环 27 和下隔磁铝环 28 不仅隔绝了上部径向定子 4 和下部径向定子 5 与外壳 16 之间的磁场，而且起到固定磁轴承的作用。上隔磁铝环 27 和下隔磁铝环 28 的内径等于上部径向定子 4 和下部径向定子 5 的外径，外径远小于外壳 16 的内径。

如图 6 所示，在磁轴承转子 14 的轴向正中间位置通过过盈配合固定套有拉力盘 10。轴向上，拉力盘 10 的上端面到磁轴承转子 14 上端面的距离与轴向上拉力盘 10 的下端面到磁轴承转子 14 下端面的距离相等。拉力盘 10 外通过过盈配合固定套有飞轮 9。飞轮 9 由一个中空圆筒体 91 和一个中空圆盘 92 连接组成，中空圆盘 92 的外径等于中空圆筒体 91 的内径，中空圆筒体 91 的轴向长度远大于中空圆盘 92 的轴向长度。中空圆盘 92 同轴紧密套在中空圆筒体 91 内部中央，中空圆盘 92 上下两端面到中空圆筒体 91 对应的上下两端面距离相等，中空圆盘 92 外壁与中空圆筒体 91 内壁紧密连接。中空圆盘 92 同轴紧密套在拉力盘 10 外，中空圆盘 92 内壁与拉力盘 10 外壁紧密接触。中空圆盘 92 的轴

向厚度与拉力盘 10 的轴向厚度相等，中空圆盘 92 的上下两端面与拉力盘 10 的上下两端面对应地平齐。中空圆筒体 91 与中空圆盘 92 都采用高强度碳纤维复合材料加工而成。

参见图 1，上部轴向定 71 和下部轴向定子 72 的外径远小于飞轮 9 的中空圆筒体 91 的内径，上部轴向定 71 和下部轴向定子 72 位于飞轮 9 的中空圆筒体 91 的筒体内部。飞轮 9 的外径小于外壳 16 的内径。飞轮 9 的上下两个端面与上端盖 15 的下表面和下端盖 17 的上表面之间保持一定的间距，这样就使得飞轮拥有一定的空间裕量，正常运行。

如图 7 所示，磁轴承转子 14 的轴向中心处加工为齿状结构，齿状结构的轴向厚度为拉力盘 10 的轴向厚度。拉力盘 10 外形为中空圆盘，拉力盘 10 的内壁加工为与磁轴承转子 14 上的齿状相配合的齿状，磁轴承转子 14 与拉力盘 10 通过齿状结构过盈配合紧密连接。

再参见图 1，外壳 16 的顶面之上正中间是电动机/发电机 18，电动机/发电机 18 的正中间是中心转轴 31，中心转轴 31 上安装中心转轴辅助轴承 11。中心转轴 31 从上至下伸入外壳 16 内部，穿过上端盖 15 上的上辅助轴承 12 后通过联轴器 19 同轴固定连接磁轴承转轴 32 上端，磁轴承转轴 32 下端通过下辅助轴承 13 连接下端盖 17。由此，由中心转轴 31 和磁轴承转轴 32 共同组成了飞轮电池转轴 3，飞轮电池转轴 3 在外壳 16 的中心位置。

磁轴承转轴 32 外通过过盈配合紧密套磁轴承转子 14，两者固定连接在一起。磁轴承转轴 32 的轴向长度大于磁轴承转子 14 的长度，磁轴承转轴 32 的上下两端分别伸出磁轴承转子 14 上下两端之外。磁轴承转子 14 的上端面到磁轴承转轴 32 的上端面以及磁轴承转子 14 的下端面到磁轴承转轴 32 的下端面间留有一定的距离，以便于磁轴承转轴 32 与联轴器 19、下辅助轴承 13 相连接。

本发明飞轮电池工作时，分为充电、能量保持、放电这三个阶段，具体如下：

(1) 充电阶段，电动机/发电机 18 处于电动机的工作状态。当本发明飞轮电池需要充电时，将电动汽车的充电线与外部电网连接，从电网来的电能通过功率电子变换后驱动电动机/发电机 18 的电机转轴 31 转动，进而通过联轴器 12 驱动磁轴承转轴 32 一起转动，由磁轴承转轴 32 带动磁轴承转子 14、拉力盘 10、飞轮 9 共同转动。此时，磁轴承的上部环形永磁体 61 和下部环形永磁体 62 提供偏置磁场，实现飞轮 9 的静态被动悬浮转动。如图 8 所示，静态被动悬浮时，上部环形永磁体 61 产生的偏置磁通从其 N 极经过上部径向定子 4，再经过径向气隙进入磁轴承转子 14 后分为两路，一路通过上部轴向定子 71 的圆盘 73 的内壁磁轴承与转子 14 间的气隙进入圆盘 73 中，一路通过磁轴承转子 14 进入拉力盘 10 中，再

经过轴向气隙进入上部轴向定子71的圆环体74中，并进入圆盘73中，最终在圆盘73中汇合，回到S极。同样地，下部环形永磁体62产生的偏置磁通从其N极经过下部径向定子5，再经过径向气隙进入磁轴承转子14后分为两路，一路通过下部轴向定子72的圆盘73的内壁与磁轴承转子14间的气隙进入圆盘73中，一路通过转子14进入拉力盘10中，再经过轴向气隙进入下部轴向定子72的圆环体74中，并进入圆盘73中，最终两路磁路在圆盘73中汇合，回到S极。当磁轴承转子14处于中心平衡位置时，磁轴承转子14的中心轴位于磁轴承中心处，在径向上，磁轴承转子14与上部径向定子极41、42、43以及下部径向定子极51、52、53极靴间的气隙磁通完全相等，因此磁轴承转子14在径向上受电磁力平衡，实现磁轴承转子14径向稳定悬浮。轴向上，拉力盘10上表面与上部轴向定子71的圆环体74的下底面间的气隙磁通与拉力盘10上表面与下部轴向定子72的圆环体74的上表面间的气隙磁通完全相等。磁轴承转子14在轴向上受到的电磁力平衡，因此，实现磁轴承转子14轴向稳定悬浮。这样，飞轮9就以电能的形式把能量储存下来，从而完成电能转为机械能的能量储存过程，此时电动机/发电机18处于电动机的工作状态。

(2) 能量保持阶段，就是通常的电池“充足”的状态。飞轮9几乎维持在一个恒定的转速。此时，依然是磁轴承的上部环形永磁体61和下部环形永磁体62提供偏置磁场，实现飞轮9的静态被动悬浮转动。这个阶段一直持续到飞轮电池接收到一个能量释放的控制信号为止。

(3) 放电阶段，电动机/发电机 18 处于发电机状态。当电动汽车发动时，本发明飞轮电池需要给电动汽车供应电能，此时高速旋转的飞轮 9 驱动拉力盘 10、磁轴承转子 14、磁轴承转轴 32，进而驱动与磁轴承转轴 32 通过联轴器 12 连接的电机转轴 31 同时转动，此时飞轮 9 作为原动机带动电动机/发电机 18 发电，电动机/发电机 18 经过功率变换器等设备输出适合电动汽车运行的电流和电压。此时电动机/发电机 18 处于发电机状态，从而完成机械能转换电能的释放过程。在这一阶段中，当本发明飞轮电池受到外界扰动，如电动汽车进行上下坡、转弯、刹车等动作时，整个飞轮电池转轴 3 就会出现失稳状态，此时就需要通过对磁轴承的控制来实现整个飞轮电池转轴 3 的径向二自由度平衡、径向扭转二自由度平衡以及轴向单自由度平衡。在轴向控制方面，对上部轴向控制线圈 81 和下部轴向控制线圈 82 通以直流电与轴向定子组成电磁铁，通过改变控制直流电的大小和方向来改变轴向上转子受力大小与方向，从而实现对轴向一个自由度的控制。在径向控制方面，对置于上下各一组三磁极径向定子的上部径向控制线圈 21、22、23 和下部径向控制线圈 24、25、26 通以交流三相电，通过改变径向控制线圈电流大小，实现了径向上

四个自由度的精准控制。具体如下：

径向二自由度的实现：当磁轴承转子 14 在径向二自由度 (X,Y) 收到干扰而偏离平衡位置时，对上部径向控制线圈 21、22、23 与下部径向控制线圈 24、25、26 通电，其产生的单磁通指向与位置偏移相反的方向，产生相应的径向控制磁悬浮力，使磁轴承转子 14 回到径向平衡位置。假设磁轴承转子 14 在径向 X 轴负方向上受到扰动而偏移平衡位置，上部径向控制线圈 21、22、23 与下部径向控制线圈 24、25、26 均会通电，产生的控制磁通如图 9 中的粗实线及其箭头所示，上部环形永磁体 61 和下部环形永磁体 62 产生的偏置磁通如图 9 中的虚线及其箭头所示，经过上部径向定子极 41、43 以及下部径向定子极 51、53 中的偏置磁通和控制磁通方向相反，而总磁通减弱。上部径向定子极 42 和下部径向定子极 52 中的偏置磁通和控制磁通方向相同，进而总磁通增强，使得在 X 轴负方向上的单磁通加强，磁轴承转子 14 受到 X 负方向的磁拉力 F1 及 F2 而回到平衡位置。

径向扭转二自由度的实现：参见图 10，当磁轴承转子 14 在径向扭转二自由度 (θ_x , θ_y) 受到干扰而偏离平衡位置时，依然对上部径向控制线圈 21、22、23 与下部径向控制线圈 24、25、26 通电，其产生的单磁通指向与位置偏移相反的方向，产生扭矩，使磁轴承转子 14 回到径向平衡位置。假设磁轴承转子 14 受到扰动在 X 正方向上发生扭转，扭转角度为 θ_x ，对上部径向控制线圈 21、22、23 与下部径向控制线圈 24、25、26 通电，产生的控制磁通如图 10 中粗实线及其箭头所示，上部环形永磁体 31 和下部环形永磁体 32 产生的偏置磁通如图 10 中的虚线及其箭头所示，可以看出，上部径向定子极 41、43 中的偏置磁通和控制磁通方向相反，上部径向定子极 41、43 中的总磁通减弱，而上部径向定子极 42 中的转子偏置磁通和控制磁通方向相同，总磁通增强，磁轴承转子 14 会受到 X 负方向的磁拉力 F1。下部径向控制线圈 51、52、53 通电后，经过下部径向定子极 51、53 中的偏置磁通和控制磁通方向相同，经过下部径向定子极 51、53 中总磁通增强，而经过下部径向定子极 52 偏置磁通和控制磁通方向相反，进而总磁通减弱，磁轴承转子 14 受到下部径向定子极 51、53 的磁拉力 F3、F4，其合成磁拉力 F2 指向 X 正方向，因此磁轴承转子 14 受到恢复扭转力矩使其回到平衡位置。

参见图 11，上部轴向控制线圈 81 和下部轴向控制线圈 82 通以直流电，当磁轴承转子 14 在轴向上出现位置偏移时，通过改变直流控制电流的大小与方向，进而改变拉力盘 10 下表面与上部轴向定子 71 的圆环体 74 的下底面间的气隙磁通与轴向上拉力盘 10 下

表面与下部轴向定子 72 的圆环体 74 的上表面间的气隙磁通的大小，在轴向气隙处产生磁吸力使拉力盘 10 回到轴向参考平衡位置。例如当拉力盘 10 向上偏移时，只需增强下部轴向控制线圈 82 内部电流的大小，就会使得拉力盘 10 下表面与下部轴向定子 72 的圆环体 74 的上表面间的气隙磁通变大，由此，磁轴承转子 14 受到的合成电磁力 F_z 向下，将磁轴承转子 14 拉回轴向平衡位置，因此，轴向上的一个自由度得到控制。

由于磁轴承转子 14 与电机转轴 32 同轴紧密相套，磁轴承转子 14 回到平衡位置，也即整个飞轮电池转轴 3 回到平衡位置，这样飞轮电池在失稳的状态下重新回到平衡状态。

根据以上所述，便可以实现本发明。对本领域的技术人员在不背离本发明的精神和保护范围的情况下做出的其它的变化和修改，仍包括在本发明保护范围之内。

权 利 要 求 书

1、一种采用五自由度混合磁轴承的车载飞轮电池，包括一个由外壳（16）、上端盖（15）和下端盖（17）形成的密闭真空腔室，其特征是：在密闭真空腔室的内部正中间设有五自由度混合磁轴承，该磁轴承正中间是磁轴承转轴（32），磁轴承转轴（32）外同轴紧密套有磁轴承转子（14），磁轴承转子（14）的轴向正中间外紧密套有拉力盘（10），拉力盘（10）外固定套有飞轮（9），磁轴承转子（14）外还有间隙地套径向定子、轴向定子和环形永磁体，径向定子的定子极上绕有径向控制线圈，轴向定子内设轴向控制线圈，环形永磁体轴向充磁；外壳（16）顶面外正中间是电动机/发电机（18），电动机/发电机（18）正中间是电机转轴（31），电机转轴（31）从上至下伸入外壳（16）内同轴固定连接所述磁轴承转轴（32）上端。

2、根据权利要求1所述的采用五自由度混合磁轴承的车载飞轮电池，其特征是：当电机转轴（31）转动，带动磁轴承转子（14）、拉力盘（10）和飞轮（9）共同转动，所述环形永磁体提供偏置磁场，飞轮（9）被动悬浮转动；当飞轮（9）驱动拉力盘（10）、磁轴承转子（14）和电机转轴（31）共同转动，对轴向控制线圈通直流电，控制磁轴承转子（14）和电机转轴（31）轴向一个自由度，对径向控制线圈通交流电，控制磁轴承转子（14）和电机转轴（31）径向上四个自由度。

3、根据权利要求1所述的采用五自由度混合磁轴承的车载飞轮电池，其特征是：拉力盘（10）上下两侧布置上下对称的轴向定子、环形永磁体和径向定子，轴向定子由上部轴向定子（71）和下部轴向定子（72）组成，径向定子由上部径向定子（4）和下部径向定子（5）组成，环形永磁体由上部永磁体（61）和下部永磁体（62）；上部永磁体（61）固定连接在上部径向定子（4）和上部轴向定子（71）之间，下部永磁体（62）固定连接在下部径向定子（5）和下部轴向定子（72）之间。

4、根据权利要求3所述的采用五自由度混合磁轴承的车载飞轮电池，其特征是：上部径向定子（4）和下部径向定子（5）的外壁上各紧密套一个环状隔磁铝环，上、下环状隔磁铝环各对应地固定连接上端盖（15）和下部盖（17）。

5、根据权利要求3所述的采用五自由度混合磁轴承的车载飞轮电池，其特征是：上部径向定子（4）的轭部和下部径向定子（5）的轭部各自沿圆周方向均匀布置三个径向定子极，每个径向定子极上绕有径向控制线圈，每个径向定子极的内端都带有极靴，极靴内表面与磁轴承转子（14）外壁之间留有径向气隙；上部轴向定子（71）和下部轴向定子（72）与拉力盘（10）之间留有轴向间隙。

6、根据权利要求 3 所述的采用五自由度混合磁轴承的车载飞轮电池，其特征是：上部轴向定（71）和下部轴向定子（72）均各由一个圆盘（73）和一个圆环体（74）在轴向上叠放且固定连接而成，圆盘（73）的外径等于圆环体（74）的外径，圆环体（74）的内径大于圆盘（73）的内径。

7、根据权利要求 1 所述的采用五自由度混合磁轴承的车载飞轮电池，其特征是：飞轮（9）由一个中空圆筒体（91）和一个中空圆盘（92）连接组成，中空圆盘（92）同轴紧密套在中空圆筒体（91）内部中央，中空圆筒体（91）的轴向长度大于中空圆盘（92）的轴向长度，中空圆盘（92）同轴紧密套在拉力盘（10）外，中空圆盘（92）的轴向厚度与拉力盘（10）的轴向厚度相等。

8、根据权利要求 1 所述的采用五自由度混合磁轴承的车载飞轮电池，其特征是：拉力盘（10）、轴向定子、径向定子、环形永磁体四者的外径均相等；磁轴承转轴（32）的轴向长度大于磁轴承转子（14）的长度；上部径向定子（4）的上端面和磁轴承转子（14）的上端面平齐，下部径向定子（5）的下端面和磁轴承转子（14）的下端面平齐；

9、根据权利要求 1 所述的采用五自由度混合磁轴承的车载飞轮电池，其特征是：磁轴承转子（14）的轴向中心处通过齿状结构与拉力盘（10）固定连接。

10、根据权利要求 1 所述的采用五自由度混合磁轴承的车载飞轮电池，其特征是：环形永磁体的径向定子的轭部的内径相等。

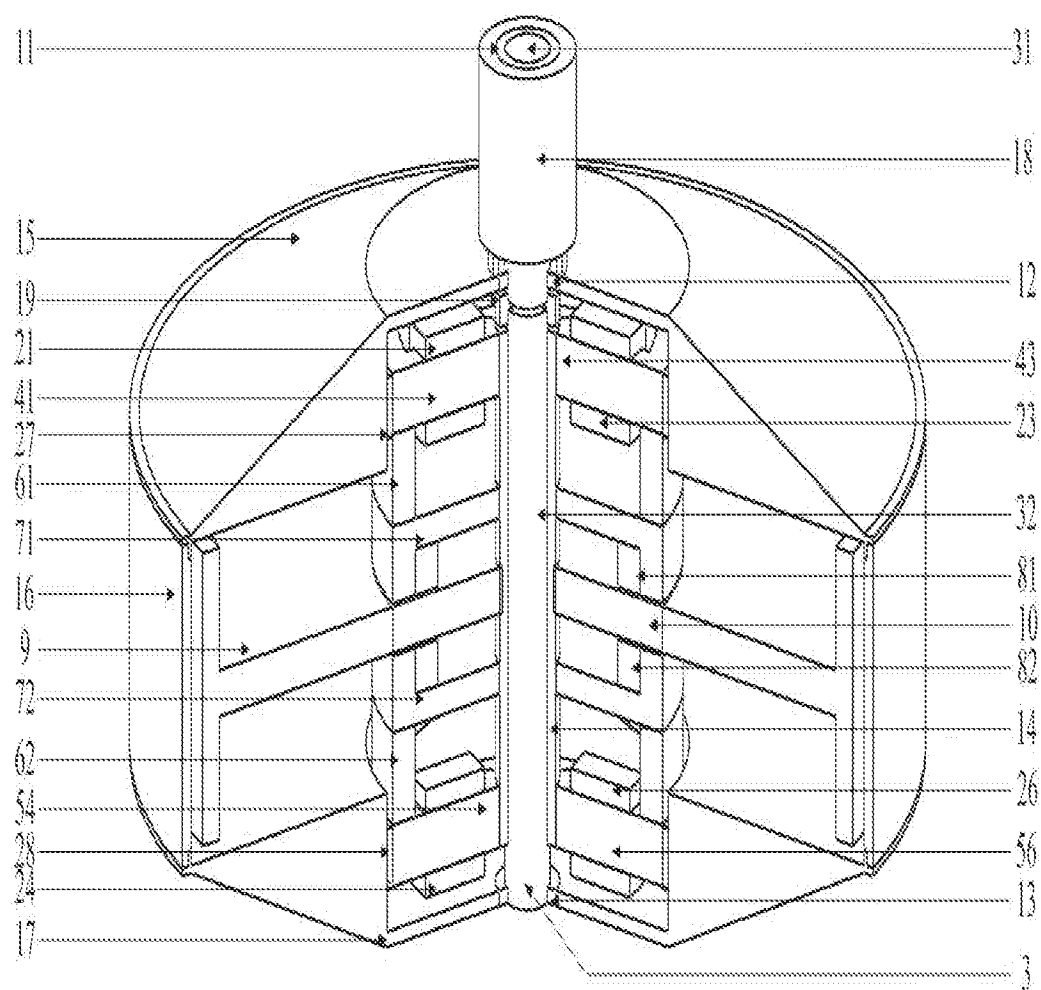


图 1

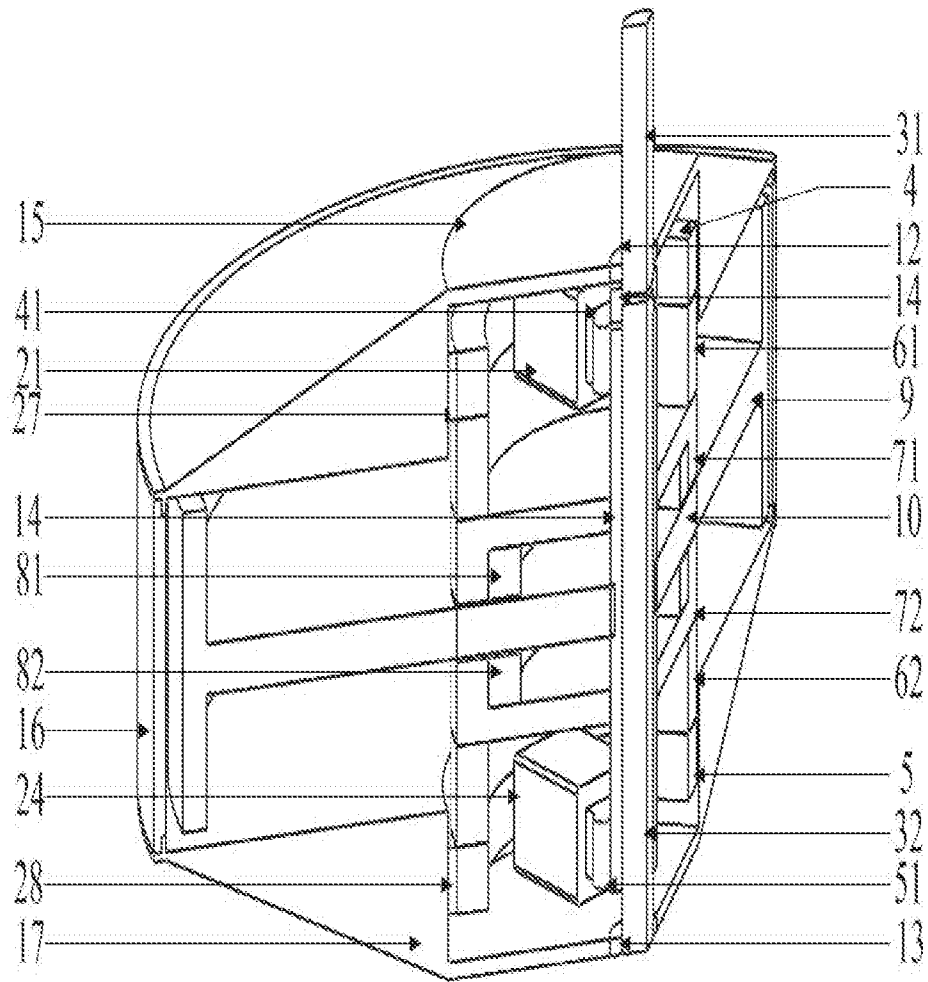


图 2

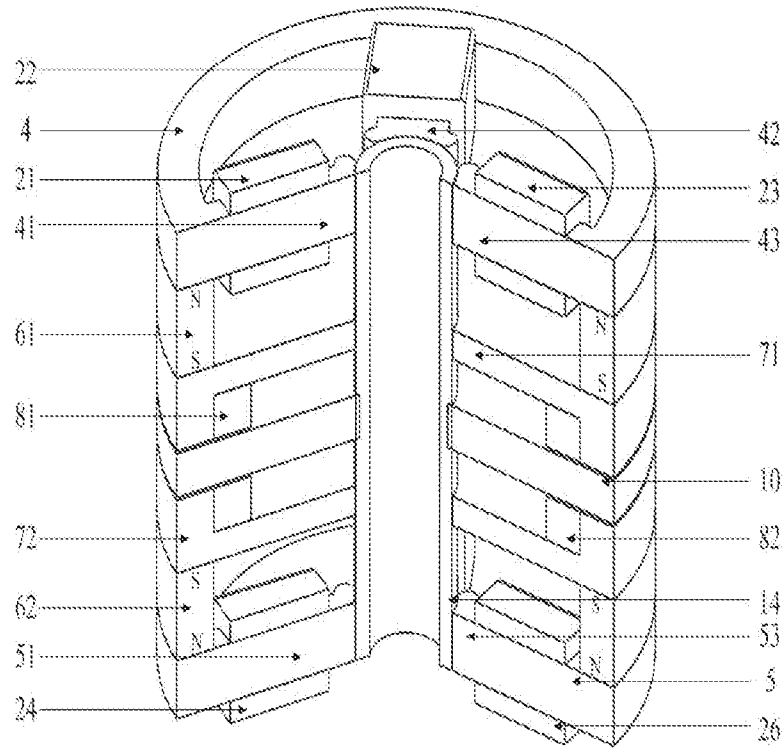


图 3

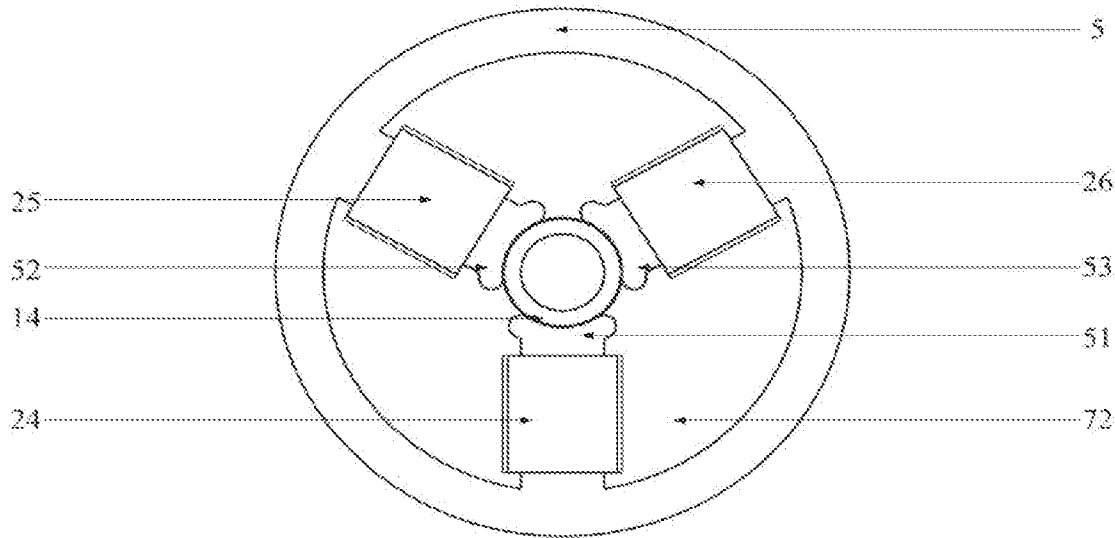


图 4

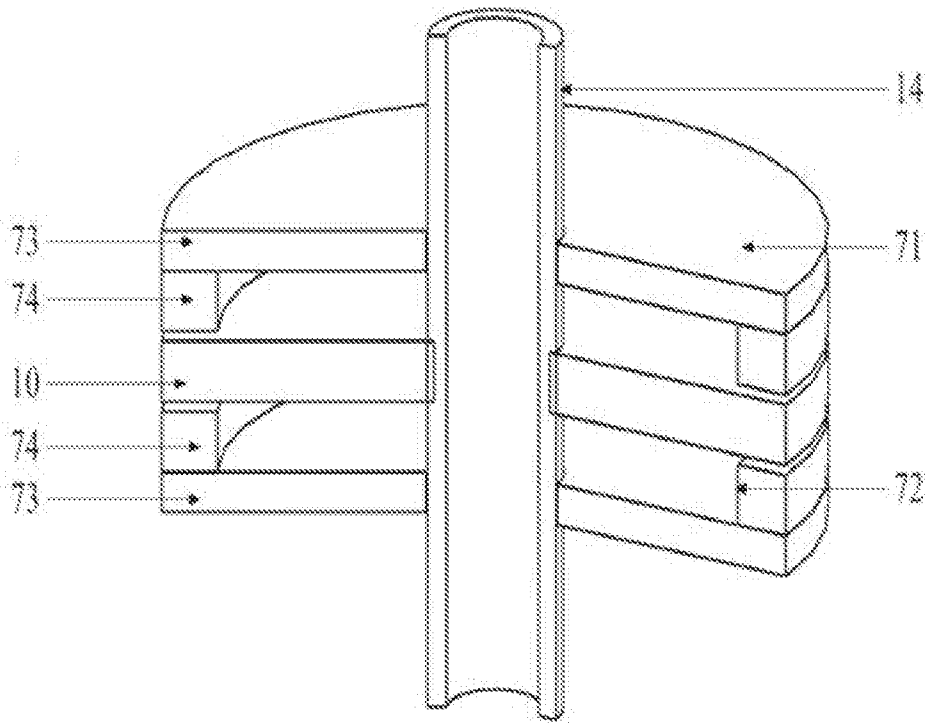


图 5

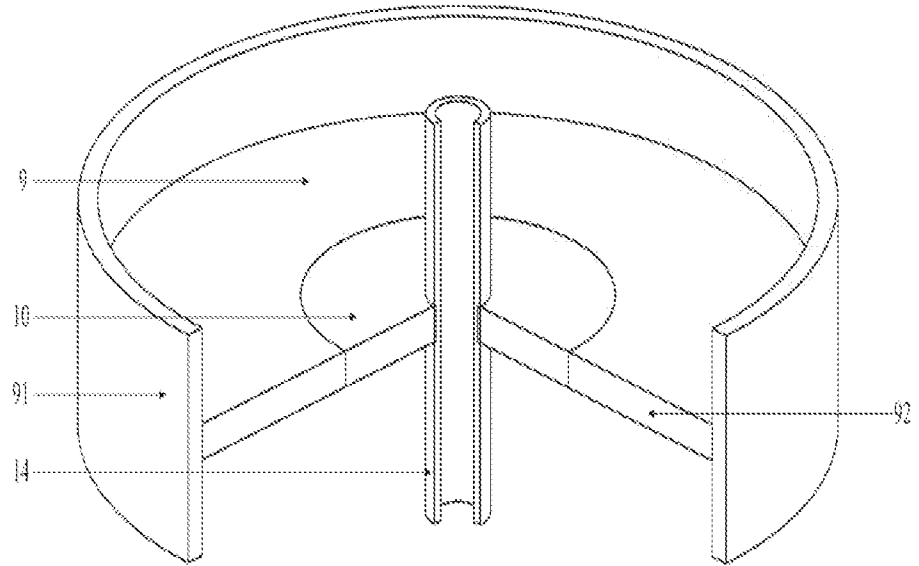


图 6

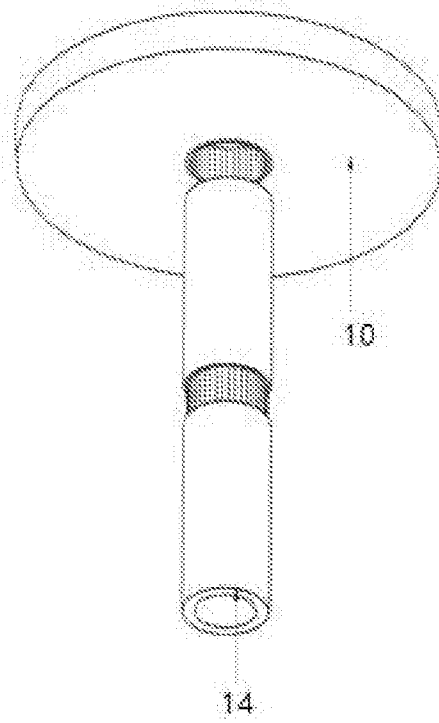


图 7

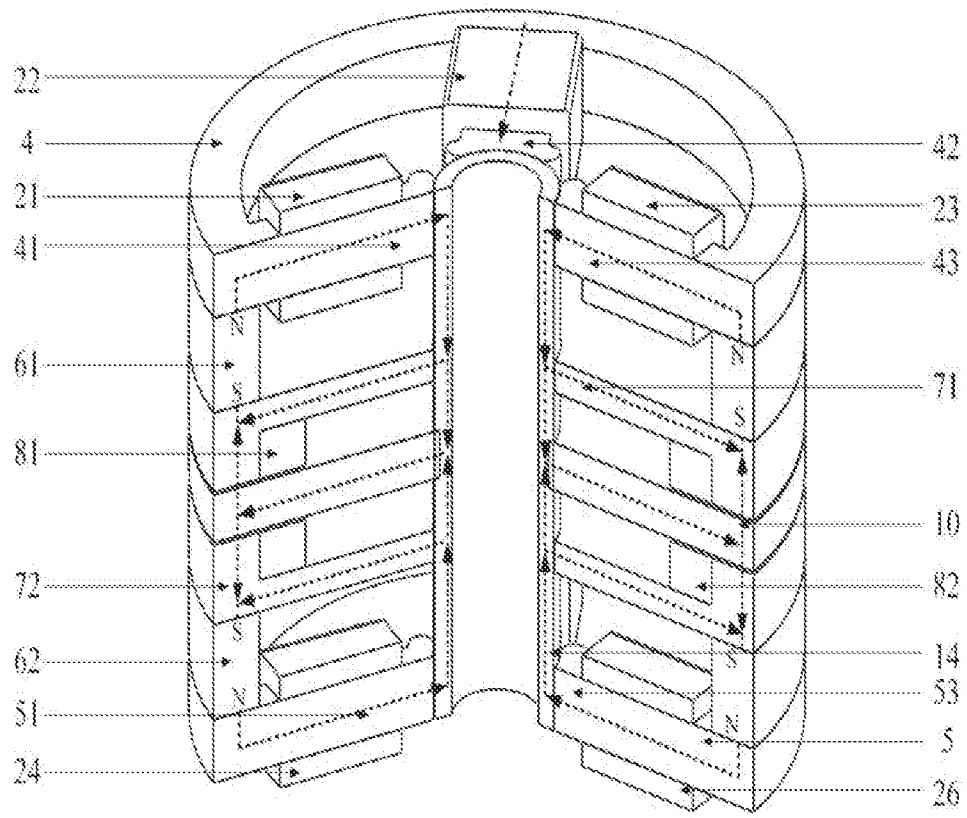


图 8

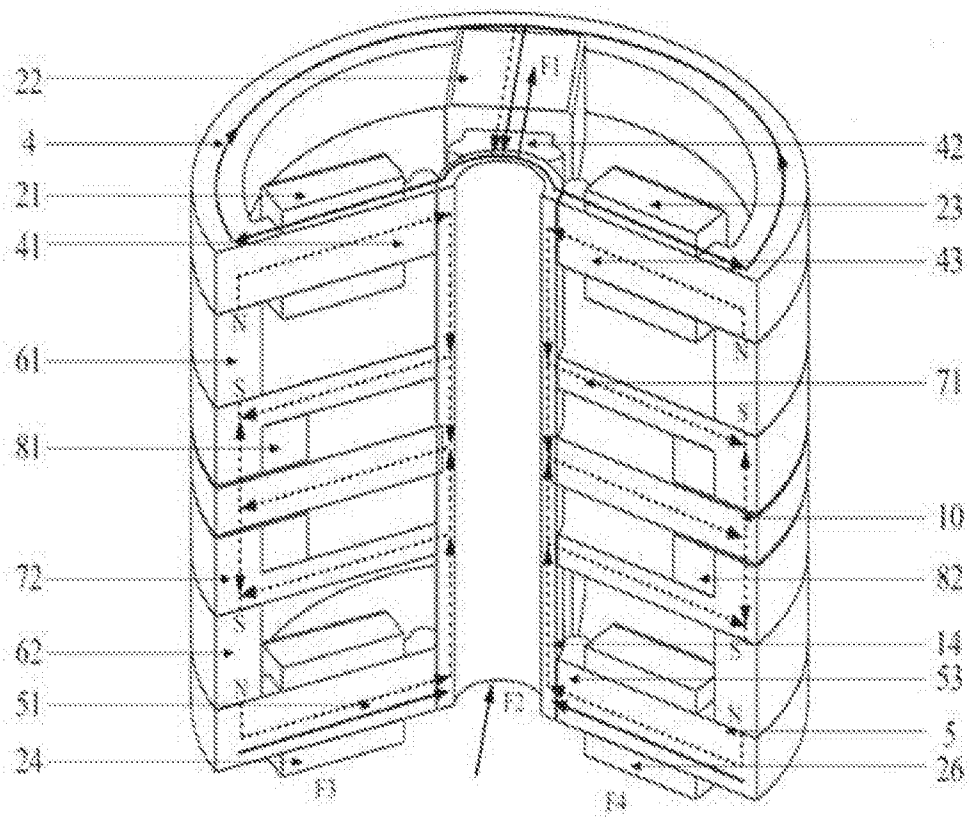


图 9

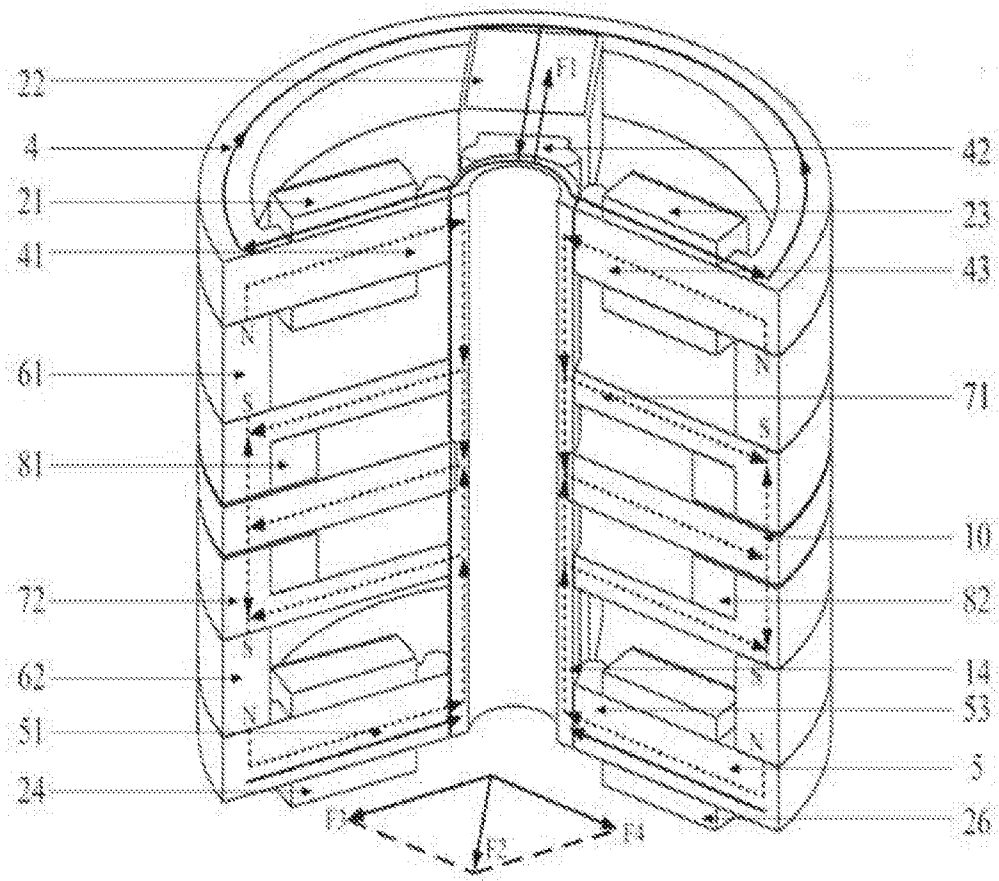


图 10

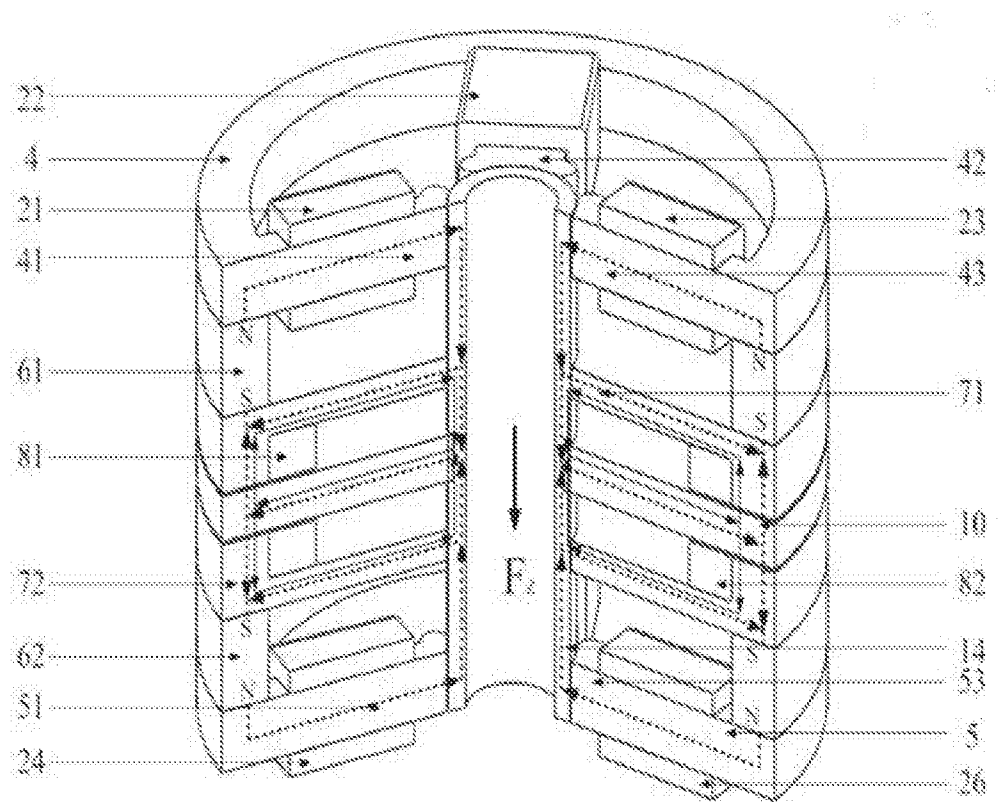


图 11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/099223

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F16C 32/04 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F16C; H02K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS; CNTXT; SIPOABS; DWPI: 飞轮, 电池, 储能, 自由度, 径向, 轴向, 磁悬浮; flywheel, battery, energy, storage, freedom, radial, axial, suspension

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 105782242 A (STATE GRID JIBEI ELECTRIC POWER CO., LTD. CHENGDE POWER SUPPLY COMPANY), 20 July 2016 (20.07.2016), description, paragraphs 28-41, and figures 1-7	1-10
A	CN 106953457 A (NANJING AIKERUTE ELECTROMECHANICAL TECHNOLOGY CO., LTD.), 14 July 2017 (14.07.2017), entire document	1-10
A	CN 105827028 A (JIANGSU UNIVERSITY), 03 August 2016 (03.08.2016), entire document	1-10
A	JP H0742737 A (NTN CORP.), 10 February 1995 (10.02.1995), entire document	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	“&” document member of the same patent family
“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 30 October 2017	Date of mailing of the international search report 07 November 2017
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer XIN, Yijian Telephone No. (86-10) 62412310

International application No.
PCT/CN2017/099223

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 2009)

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/099223

A. 主题的分类

F16C 32/04(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

F16C;H02K

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNABS;CNTXT;SIPOABS;DWPI: 飞轮, 电池, 储能, 自由度, 径向, 轴向, 磁悬浮; flywheel, battery, energy, storage, freedom, radial, axial, suspension

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 105782242 A (国网冀北电力有限公司承德供电公司) 2016年 7月 20日 (2016 - 07 - 20) 说明书第28-41段, 附图1-7	1-10
A	CN 106953457 A (南京埃克锐特机电科技有限公司) 2017年 7月 14日 (2017 - 07 - 14) 全文	1-10
A	CN 105827028 A (江苏大学) 2016年 8月 3日 (2016 - 08 - 03) 全文	1-10
A	JP H0742737 A (NTN CORP) 1995年 2月 10日 (1995 - 02 - 10) 全文	1-10

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2017年 10月 30日

国际检索报告邮寄日期

2017年 11月 7日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN)
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

受权官员

辛义剑

传真号 (86-10)62019451

电话号码 (86-10)62412310

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/099223

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	105782242	A	2016年 7月 20日	无	
CN	106953457	A	2017年 7月 14日	无	
CN	105827028	A	2016年 8月 3日	无	
JP	H0742737	A	1995年 2月 10日	无	

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2009年7月)