(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 103929010 A
(43)申请公布日 2014.07.16

(21)申请号 201410113317.6

(22)申请日 2014.03.25

(71)申请人 中国人民解放军海军工程大学
地址 430033 湖北省武汉市解放大道 717 号

(72)发明人 王东 张贤彪 吴磊涛 苏振中
易新强 陈俊全

(74)专利代理机构 武汉开元知识产权代理有限公司 42104
代理人 马辉

(51)Int.Cl.
H02K 7/02(2006.01)
F16C 32/04(2006.01)

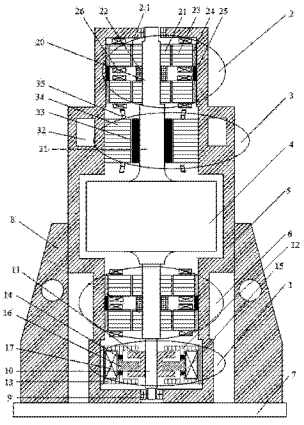
权利要求书2页 说明书5页 附图4页

(54)发明名称

一种立式混合磁悬浮飞轮储能系统

(57)摘要

本发明公开一种立式混合磁悬浮飞轮储能系统，高速永磁电机为充发一体式电机，输入／输出端连接矩阵变换器，配以可高速旋转的飞轮本体，使系统具有储能和放能双向功能。采用永磁偏置轴、径向混合磁轴承作为主支撑结构，机械滚动轴承提供系统失稳保护，降低了飞轮储能系统的待机损耗，提高了能量转换效率。系统的金属外壳较厚，形成真空腔，降低系统转子风磨损耗，同时具有支撑和保护作用。基座较大，降低系统重心，提高系统稳定性。因此，本系统具有大容量、高转速、高功率密度、低待机损耗等特点，可用于电网调峰、不间断电源、混合动力机车等场合。



CN 103929010 A

1. 一种立式混合磁悬浮飞轮储能系统，包括金属外壳（5）、基座（7），以及由上到下依次布置在金属外壳（5）内的上径向混合磁轴承（2）、高速永磁电机（3）、飞轮本体（4）、下径向混合磁轴承（6）和轴向混合磁轴承（1），且上径向混合磁轴承（2）和下径向混合磁轴承（6）结构相同；其特征在于，

所述上径向混合磁轴承（2）包括径向磁轴承转轴（20）、两个径向磁轴承定子铁心（23）及设置在径向磁轴承定子铁心（23）对应位置的径向磁轴承转子铁心（21），每个径向磁轴承定子铁心（23）磁极极靴位置布置一导磁块（24），导磁块（24）之间嵌入有径向磁轴承永磁体（25），每个径向磁轴承定子铁心（23）的径向槽内分布有缠绕各个磁极的径向磁轴承绕组线圈（26），径向磁轴承转子铁心（21）轴向位置之间布置有导磁环（22），所述径向磁轴承定子铁心（23）与径向磁轴承转子铁心（21）之间留有径向磁轴承工作气隙（2.1）；

所述轴向混合磁轴承（1）包括轴向磁轴承转轴（10）、套置在轴向磁轴承转轴（10）上的转子双推力盘（11）、上定子端板（12）、下定子端板（13）、设置在上定子端板（12）和下定子端板（13）中间的定子中心板（16）、位于定子中心板（16）与上定子端板（12）之间的上永磁体（14）及位于定子中心板（16）与下定子端板（13）之间的下永磁体（15），以及位于定子外壳（18）与上定子端板（12）、定子中心板（16）及下定子端板（13）围合形成空间内的定子励磁线圈（17）；所述上定子端板（12）和下定子端板（13）分别与转子双推力盘（11）的外端面构成外上气隙（1.1）和外下气隙（1.4），所述定子中心板（16）与转子双推力盘（11）的内端面构成内上气隙（1.2）和内下气隙（1.3）；所述上永磁体（14）和下永磁体（15）轴向充磁，且充磁方向相反；

所述高速永磁电机（3）由内向外依次包括电机转轴（31）、表贴于电机转轴（31）外的电机永磁体（33）、电机定子铁心（34）、电机绕组线圈（35）及置于金属外壳（5）内的水冷套（32）；所述电机永磁体（33）与电机定子铁心（34）之间留有电机工作气隙（3.1）。

2. 根据权利要求 1 所述的立式混合磁悬浮飞轮储能系统，其特征在于，所述导磁块（24）为圆弧，所述径向磁轴承永磁体（25）为圆弧状，且径向磁轴承永磁体（25）采用轴向充磁；所述径向磁轴承定子铁心（23）的每个磁极对应的径向磁轴承永磁体（25）大小相同、充磁方向相同。

3. 根据权利要求 1 所述的立式混合磁悬浮飞轮储能系统，其特征在于，所述导磁环（22）的截面积等于所述径向磁轴承转轴（20）的截面积。

4. 根据权利要求 1 所述的立式混合磁悬浮飞轮储能系统，其特征在于，所述每个径向磁轴承定子铁心（23）的磁极数目为四个、八个或十六个，且每个磁极的形状相同。

5. 根据权利要求 1 所述的立式混合磁悬浮飞轮储能系统，其特征在于，所述每个径向磁轴承定子铁心（23）的磁极数目为四个，且每个磁极的形状相同。

6. 根据权利要求 1 所述的立式混合磁悬浮飞轮储能系统，其特征在于，所述转子双推力盘（11）的两个推力盘的外径相等，为轴对称结构。

7. 根据权利要求 1 所述的立式混合磁悬浮飞轮储能系统，其特征在于，所述径向磁轴承工作气隙（2.1）的大小在 1mm 以下；所述外上气隙（1.1）与外下气隙（1.4）大小相等，所述内下气隙（1.3）的大小小于内上气隙（1.2）的大小。

8. 根据权利要求 1 所述的立式混合磁悬浮飞轮储能系统，其特征在于，所述上永磁体（14）和下永磁体（15）采用的是相同的环形永磁体；所述上永磁体（14）距定子中心板（16）

和上定子端板(12)的端面距离为其自身高度的一倍以上,所述下永磁体(15)距定子中心板(16)和下定子端板(13)的端面距离为其自身高度的一倍以上。

9. 根据权利要求 1 所述的立式混合磁悬浮飞轮储能系统,其特征在于,所述径向磁轴承定子铁心(23)、径向磁轴承转子铁心(21)及电机定子铁心(34)均由硅钢片沿轴向叠置而成,厚度为 0.2mm、0.35mm 或 0.5mm。

10. 根据权利要求 1 所述的立式混合磁悬浮飞轮储能系统,其特征在于,所述金属外壳(5)为密闭的金属外壳,且所述金属外壳(5)与基座(7)之间使用加强筋(8)连接;所述金属外壳(5)在系统上、下端部还设有机械滚动轴承(9)。

一种立式混合磁悬浮飞轮储能系统

技术领域

[0001] 本发明属于电工技术领域，涉及一种立式混合磁悬浮飞轮储能系统，更具体地，涉及一种大容量、高转速、高能量密度、低待机损耗的立式混合磁悬浮飞轮储能系统。

背景技术

[0002] 风能、太阳能、潮汐能等新能源具有的随机性、间歇性、不可控性等特点，其接入电网造成电能质量下降、局部电网无功电压和频率不稳定等问题，对电网和系统的安全运行带来不利影响。传统发电方式如水力发电存在设备利用率低、电能浪费的问题，为了提高电力系统利用率，需要存储多余的能量。当电网出现短时大功率负载冲击或供电系统发生实时短路故障等情况时，也迫切需要设计能快速反应的储能调峰电站向冲击负载或电网提供短时大功率电能，以维持电力系统的供电连续性，确保电力系统的稳定和安全运行。

[0003] 目前以新能源为代表的分布式发电储能技术目前主要有以下四种：蓄电池储能、电容器储能、超导储能和飞轮储能。其中飞轮储能由于无污染、储能密度高、充放电次数无限制、分布不受自然条件限制等优势，可广泛应用于电网调峰、不间断电源、混合动力机车、航空航天等场合，发展前景广阔。

[0004] 目前的飞轮储能系统产品多采用机械轴承支撑，待机损耗大；电机转速难以提高，系统储能密度低；系统结构复杂，空间利用率不高，稳定性较差。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于针对目前结构存在的缺陷，提供一种大容量、高转速、高能量密度、低待机损耗的立式混合磁悬浮飞轮储能系统。

[0006] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是：提供一种立式混合磁悬浮飞轮储能系统，包括金属外壳、基座，以及由上到下依次布置在金属外壳内的上径向混合磁轴承、高速永磁电机、飞轮本体、下径向混合磁轴承和轴向混合磁轴承，且上径向混合磁轴承和下径向混合磁轴承结构相同。

[0007] 进一步地，所述上径向混合磁轴承包括径向磁轴承转轴、两个径向磁轴承定子铁心及设置在径向磁轴承定子铁心对应位置的径向磁轴承转子铁心，每个径向磁轴承定子铁心磁极极靴位置布置一导磁块，导磁块之间嵌入有径向磁轴承永磁体，每个径向磁轴承定子铁心的径向槽内分布有缠绕各个磁极的径向磁轴承绕组线圈，径向磁轴承转子铁心轴向位置之间布置有导磁环，所述导磁块与径向磁轴承转子铁心之间留有径向磁轴承工作气隙。

[0008] 进一步地，所述轴向混合磁轴承包括轴向磁轴承转轴、套置在轴向磁轴承转轴上的转子双推力盘、上定子端板、下定子端板、设置在上定子端板和下定子端板中间的定子中心板、位于定子中心板与上定子端板之间的上永磁体及位于定子中心板与下定子端板之间的下永磁体，以及位于定子外壳与上定子端板、定子中心板及下定子端板围合形成空间内的定子励磁线圈；所述上定子端板和下定子端板分别与转子双推力盘的外端面构成外上气

隙和外下气隙，所述定子中心板与转子双推力盘的内端面构成内上气隙和内下气隙；所述上永磁体和下永磁体轴向充磁，且充磁方向相反。

[0009] 进一步地，所述高速永磁电机由内向外依次包括电机转轴、表贴于电机转轴外的电机永磁体、电机定子铁心、电机绕组线圈及置于金属外壳内的水冷套；所述电机永磁体与电机定子铁心之间留有电机工作气隙。

[0010] 优选地，所述导磁块为圆弧，所述径向磁轴承永磁体为圆弧状，且径向磁轴承永磁体采用轴向充磁；所述径向磁轴承定子铁心的每个磁极对应的径向磁轴承永磁体大小相同、充磁方向相同。

[0011] 优选地，所述导磁环的截面积等于所述径向磁轴承转轴的截面积。

[0012] 优选地，所述每个径向磁轴承定子铁心的磁极数目为四个、八个或十六个，且每个磁极的形状相同。

[0013] 优选地，所述每个径向磁轴承定子铁心的磁极数目为四个，且每个磁极的形状相同。

[0014] 优选地，所述转子双推力盘的两个推力盘的外径相等，为轴对称结构。

[0015] 优选地，所述径向磁轴承工作气隙的大小在 1mm 以下；所述外上气隙与外下气隙大小相等，所述内下气隙的大小小于内上气隙的大小。

[0016] 优选地，所述上永磁体和下永磁体采用的是相同的圆弧形永磁体；所述上永磁体距定子中心板和上定子端板的端面距离为其自身高度的一倍以上，所述下永磁体距定子中心板和下定子端板的端面距离为其自身高度的一倍以上。

[0017] 优选地，所述径向磁轴承定子铁心、径向磁轴承转子铁心及电机定子铁心均由硅钢片沿轴向叠置而成，厚度为 0.2mm、0.35mm 或 0.5mm。

[0018] 优选地，所述金属外壳为密闭的金属外壳，且所述金属外壳与基座之间使用加强筋连接；所述金属外壳在系统上、下端部还设有机械滚动轴承。

[0019] 本发明的工作原理是：上、下径向混合磁轴承及轴向混合磁轴承通电后，对系统转子进行悬浮支撑，实现其五个自由度的悬浮。高速永磁电机通电后带动系统转子旋转，真空泵开始工作，金属外壳形成真空腔。飞轮储能系统在充电模式下运行时，高速永磁电机做电动机运行，恒转矩输入；在发电模式下运行时，高速永磁电机做发电机运行，恒功率输出。如果系统转子失稳，系统转子端部的机械滚动轴承开始工作，保护磁轴承和系统安全。

[0020] 本发明与现有立式飞轮储能系统相比，具有以下特点：

[0021] (1) 支撑系统采用轴、径向混合磁轴承，无接触支撑，可承受系统转子高转速、待机损耗低、能量转换效率高、轴承使用寿命长；

[0022] (2) 充发一体式高速永磁电机作为系统机电能量转换的装置，功率大、充放电速度快；系统可达到高速、存储能量大、转矩脉动小，对系统转子稳定性影响小；

[0023] (3) 飞轮本体可承受高转速，其边缘线速度大、能量密度高；

[0024] (4) 系统各组件基本解耦，独立性好、系统转子稳定性强。

附图说明

[0025] 图 1 为本发明立式混合磁悬浮飞轮储能系统的结构示意图；

[0026] 图 2 为图 1 中径向混合磁轴承的结构示意图；

[0027] 图 3 为图 2 的一个径向磁轴承定子铁心径向剖面的永磁磁路示意图；

[0028] 图 4 为图 1 中轴向混合磁轴承的结构示意图；

[0029] 图 5 为图 4 的永磁磁路示意图；

[0030] 图 6 为图 4 的电励磁磁路示意图；

[0031] 图 7 为图 1 中高速永磁电机的结构示意图；

[0032] 在所有附图中，相同的附图标记用来表示相同的元件或结构，其中：

[0033] 1—轴向混合磁轴承、10—轴向磁轴承转轴、11—转子双推力盘、12—上定子端板、13—下定子端板、14—上永磁体、15—下永磁体、16—定子中心板、17—定子励磁线圈、18—定子外壳、1.1—外上气隙、1.2—内上气隙、1.3—内下气隙、1.4—外下气隙；

[0034] 2—上径向混合磁轴承、20—径向磁轴承转轴、21—径向磁轴承转子铁心、22—导磁环、23—径向磁轴承定子铁心、24—导磁块、25—径向磁轴承永磁体、26—径向磁轴承绕组线圈、2.1—径向磁轴承工作气隙；

[0035] 3—高速永磁电机、31—电机转轴、32—水冷套、33—电机永磁体、34—电机定子铁心、35—电机绕组线圈、3.1—电机工作气隙；

[0036] 4—飞轮本体、5—金属外壳、6—下径向混合磁轴承、7—基座、8—加强筋、9—机械滚动轴承。

具体实施方式

[0037] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本发明进行进一步详细说明。此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明，并不用于限定本发明。此外，下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

[0038] 如图 1 所示一种立式混合磁悬浮飞轮储能系统，包括金属外壳 5、基座 7，以及由上到下依次布置在金属外壳 5 内的上径向混合磁轴承 2、高速永磁电机 3、飞轮本体 4、下径向混合磁轴承 6 和轴向混合磁轴承 1，且上径向混合磁轴承 2 和下径向混合磁轴承 6 结构相同；另外，本实施例中的金属外壳 5 采用的是密闭的金属外壳，金属外壳 5 与基座 7 之间使用加强筋 8 连接，加强筋 8 起到支撑和保护作用，金属外壳 5 在系统上、下端部还设有机械滚动轴承 9，飞轮本体 4 可采用高强度钢或者高分子复合材料。上径向混合磁轴承 2、下径向混合磁轴承 6 和轴向混合磁轴承 1 分布于高速永磁电机 3 和飞轮本体 4 的两侧，负责实现系统转子五个自由度的悬浮；高速永磁电机 3 位于飞轮本体 4 上方，带动系统转子旋转。本实施例中基座 7 为铸铁块，其重量视系统重心高度而定，一般大于系统总重的一半，因此，系统工作时，金属外壳 5 内空气被真空泵抽走，形成真空腔；如果系统转子失稳，系统转子端部的机械滚动轴承 9 开始工作，保护磁轴承和系统安全。

[0039] 如图 2 所示，上径向混合磁轴承包括径向磁轴承转轴 20、两个径向磁轴承定子铁心 23 及设置在径向磁轴承定子铁心 23 对应位置的径向磁轴承转子铁心 21，每个径向磁轴承定子铁心 23 磁极极靴位置布置一导磁块 24，导磁块 24 之间嵌入有径向磁轴承永磁体 25，本实施例中导磁块 24 的材料为高导磁率低导电率的电工纯铁，为圆弧，而径向磁轴承永磁体 25 为圆弧状，每个径向磁轴承定子铁心 23 的径向槽内分布有缠绕各个磁极的径向磁轴承绕组线圈 26，径向磁轴承转子铁心 21 轴向位置之间布置有导磁环 22，导磁环 22 材

料为高导磁低导电的电工纯铁；径向磁轴承定子铁心 23 与径向磁轴承转子铁心 21 之间留有径向磁轴承工作气隙 2.1。而径向磁轴承永磁体 25 充磁方式采用轴向充磁，且径向磁轴承定子铁心 23 的每个磁极对应的径向磁轴承永磁体 25 大小相同、充磁方向相同，通过径向磁轴承转子铁心 21 和径向磁轴承转轴 20 实现永磁磁路导通。

[0040] 通常情况下，每个径向磁轴承定子铁心 23 的磁极数目可以为四个、八个或十六个，且每个磁极的形状相同，本实施例中每个径向磁轴承定子铁心 23 的磁极数目为四个，因此，径向磁轴承永磁体 25 有四个，两个径向磁轴承定子铁心 23 共有八个径向磁轴承绕组线圈 26，同向两个径向磁轴承绕组线圈 26 作为一组，一共四组，对应四个方向。导磁环 22 的截面积取决于径向磁轴承转轴 20 磁密饱和程度，本实施例中导磁环 22 的截面积等于径向磁轴承转轴 20 的截面积，并且转子组件的内外表面均为光滑曲面。

[0041] 在本实施例中，径向混合磁轴承的永磁磁路采用轴向磁路，如图 3 所示，径向磁轴承定子极靴由导磁块 24 构成，作为径向磁轴承永磁体 25 和电励磁磁路的延伸，有效减小永磁磁路的磁阻，径向磁轴承永磁体 25 嵌入其中；为了便于装配和考虑实际加工工艺，径向磁轴承永磁体 25 形状不再设置为圆环状，而是圆弧状；导磁块 24 和径向磁轴承转子铁心 21 之间是径向磁轴承工作气隙 2.1，为了保证磁轴承能提供较大的承载力，径向磁轴承工作气隙 2.1 必须在 1mm 以下，本实施例采用 0.5mm；从减少组件数目和提高空间利用率的角度考虑，径向磁轴承转轴 20 采用高强度高磁导率的导磁钢，本实施例采用 25Cr2Ni4Mov，等同于非导磁转轴外套导磁环结构，更加紧凑；径向磁轴承转轴 20 是各个径向磁轴承工作气隙 2.1 的永磁磁路共用的组件，但是其外径受到强度的限制，因此在其中间设置导磁环 22 防止径向磁轴承转轴 20 磁密饱和。四个径向磁轴承永磁体 25 大小相等，充磁方向相同，产生的偏置磁场相等，具有较好的对称性。

[0042] 本发明的径向磁轴承转子铁心 21 和径向磁轴承定子铁心 23 由硅钢片沿轴向叠置而成，厚度为 0.2mm、0.35mm 或 0.5mm，电励磁磁路径向分布。因此，图 3 选取单个径向磁轴承定子铁心 23 径向剖面作为径向混合磁轴承的电励磁磁路分布的示例。径向磁轴承绕组线圈 26 分为四组，分别绕在径向磁轴承定子铁心 23 的四个磁极上，受功率放大器控制，进行灌胶处理以便于固定和散热；以 x 轴为例，其正负方向的电励磁方向相同，磁场方向可正可负，由于永磁磁场方向全部是指向圆心，因此二者在气隙处叠加或者抵消；y 轴原理相同，在此不再赘述。

[0043] 如图 4 所示的轴向混合磁轴承包括轴向磁轴承转轴 10、套置在轴向磁轴承转轴 10 上的转子双推力盘 11、上定子端板 12、下定子端板 13、设置在上定子端板 12 和下定子端板 13 中间的定子中心板 16、位于定子中心板 16 与上定子端板 12 之间的上永磁体 14 及位于定子中心板 16 与下定子端板 13 之间的下永磁体 15，以及位于定子外壳 18 与上定子端板 12、定子中心板 16 及下定子端板 13 围合形成空间内的定子励磁线圈 17，并对定子励磁线圈 17 进行灌胶处理。本实施例中转子双推力盘 11 的两个推力盘的外径相等，为轴对称结构；转子双推力盘 11 由于受转速影响可根据实际进行选择，高速场合需采用高强度的软磁材料，强度的大小则需要根据实际应用计算而定，而轴向磁轴承转轴 10 采用高强度钢，转子双推力盘 11 与轴向磁轴承转轴 10 热套连接；另外，上、下永磁体 14、15 位于定子中心板 16 和上、下定子端板 12、13 之间，与转子双推力盘 11 一起构成永磁磁路，定子励磁线圈 17 位于定子外壳 18 与上、下定子端板 12、13、定子中心板 16 之间，与转子双推力盘 11 构成电

励磁磁路，而定子中心板为系统转轴提供悬浮所需的轴向力。上定子端板 12 和下定子端板 13 分别与转子双推力盘 11 的外端面构成外上气隙 1.1 和外下气隙 1.4，定子中心板 16 与转子双推力盘 11 的内端面构成内上气隙 1.2 和内下气隙 1.3；本实施例中，外上气隙 1.1 与外下气隙 1.4 大小相等，为系统提供偏置磁场，内下气隙 1.3 的大小小于内上气隙 1.2 的大小，使得转子双推力盘 11 产生抵消重力的卸载力。

[0044] 本实施例中，上永磁体 14 和下永磁体 15 采用的是相同的环形永磁体；上永磁体 14 距定子中心板 16 和上定子端板 12 的端面距离为其自身高度的一倍以上，下永磁体 15 距定子中心板 16 和下定子端板 13 的端面距离为其自身高度的一倍以上，并且上永磁体 14 和下永磁体 15 轴向充磁，且充磁方向相反，在内外气隙 1.1、1.2、1.3、1.4 内产生永磁偏置磁场，可形成三条回路，如图 5 所示：外上气隙 1.1 与外下气隙 1.4 大小相同，内上气隙 1.2、内下气隙 1.3 大小不一样，在本实施例中，外上气隙 1.1 取 0.5mm、内上气隙 1.2 取 1.5mm，内下气隙 1.3 取 0.5mm、外下气隙 1.4 取 0.5mm，因此上永磁体 14 形成两条回路，分别经过内上气隙 1.2、内下气隙 1.3 且在内下气隙 1.3 处的磁密要大于内上气隙 1.2，同时下永磁体 15 也通过内下气隙 1.3 形成回路，内下气隙 1.3 处的磁密远大于内上气隙 1.2 处的磁密（10 倍以上），因此转子双推力盘 11 可以提供抵消转子重力的卸载力。

[0045] 本发明实施例的轴向混合磁轴承的电励磁磁路如图 6 所示。定子励磁线圈 17 产生的电励磁磁场可以对永磁偏置磁场进行调节，定子励磁线圈 17 的电流方向可以双向调节，这里取励磁电流为正时的状态，电励磁磁路沿转子双推力盘 11 磁场方向向上，先后穿过外上气隙 1.1、外下气隙 1.4，通过上定子端板 12、下定子端板 13 和定子外壳 18 形成回路。此时电励磁和永磁回路分别在外上气隙 1.1、外下气隙 1.4 处叠加，外上气隙 1.1 磁场增强，外下气隙 1.4 磁场削弱，导致抵消重力后的承载力合力向上；同理，当定子励磁线圈 17 的电流为负时，抵消重力后的承载力合力向下。

[0046] 如图 7 所示的高速永磁电机 3 由内向外依次包括电机转轴 31、表贴于电机转轴 31 外的电机永磁体 33、电机定子铁心 34、电机绕组线圈 35 及置于金属外壳 5 内的水冷套 32；本实施例中，电机转轴 31 采用高强度软磁材料，电机永磁体 33 为两片圆弧状，表贴于电机转轴 31 外，采用径向充磁，通过电机转轴 31 和电机定子铁心 34 形成回路；电机定子铁心 34 由硅钢片沿轴向叠置而成，厚度为 0.2mm、0.35mm 或 0.5mm，采用水冷方式冷却；电机永磁体 33 与电机定子铁心 34 之间留有电机工作气隙 3.1，其电机工作气隙 3.1 相对较大，本实施例取 5mm。

[0047] 本发明中，高速永磁电机 3 为充发一体式电机，输入 / 输出端连接矩阵变换器，配以可高速旋转的飞轮本体，使系统具有储能和放能双向功能。采用永磁偏置轴、径向混合磁轴承作为主支撑结构，机械滚动轴承提供系统失稳保护，降低了飞轮储能系统的待机损耗，提高了能量转换效率。系统的金属外壳较厚，形成真空腔，降低系统转子风磨损耗，同时具有支撑和保护作用。基座较大，降低系统重心，提高系统稳定性。因此，本系统具有大容量、高转速、高功率密度、低待机损耗等特点，可用于电网调峰、不间断电源、混合动力机车等场合。

[0048] 以上所述仅为本发明的较佳实施例，并不用以限制本发明，凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等，均包含在本发明的保护范围之内。

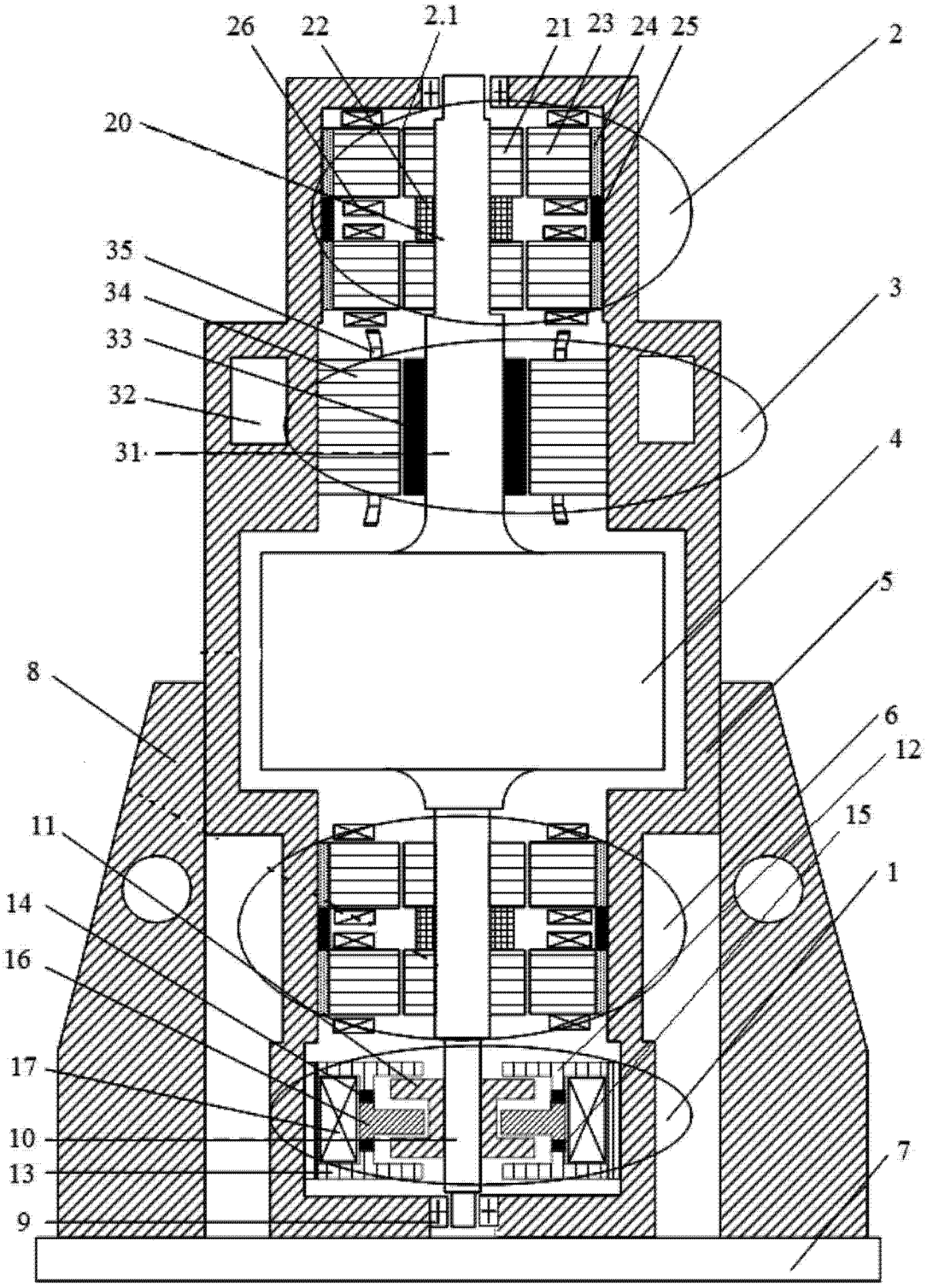

26
22
2.1
21
23
24
25
2
20
35
34
33
32
31
3
4
5
8
6
12
15
11
1
14
16
17
10
13
9
7

图 1

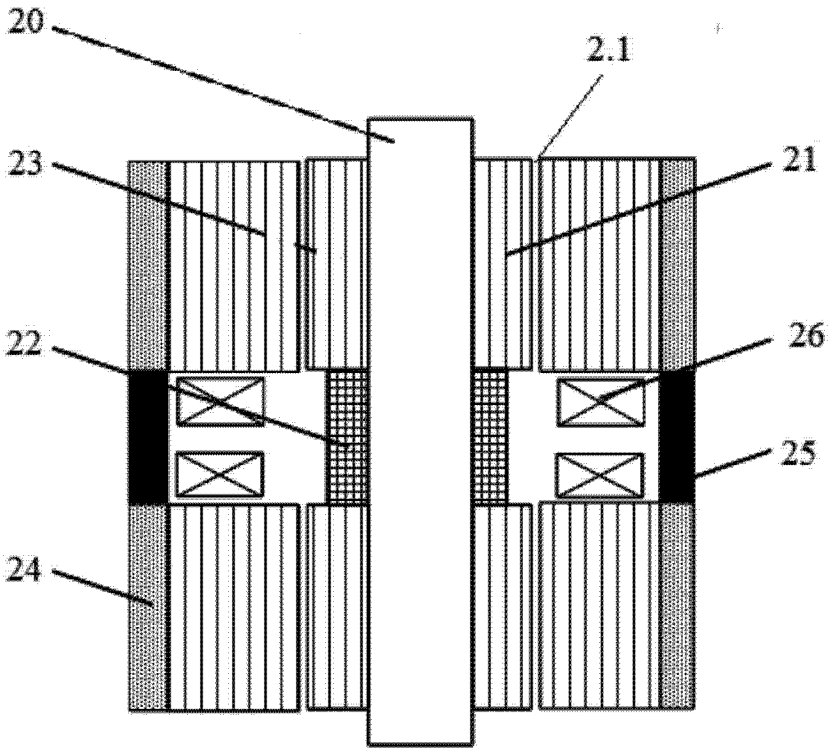


图 2

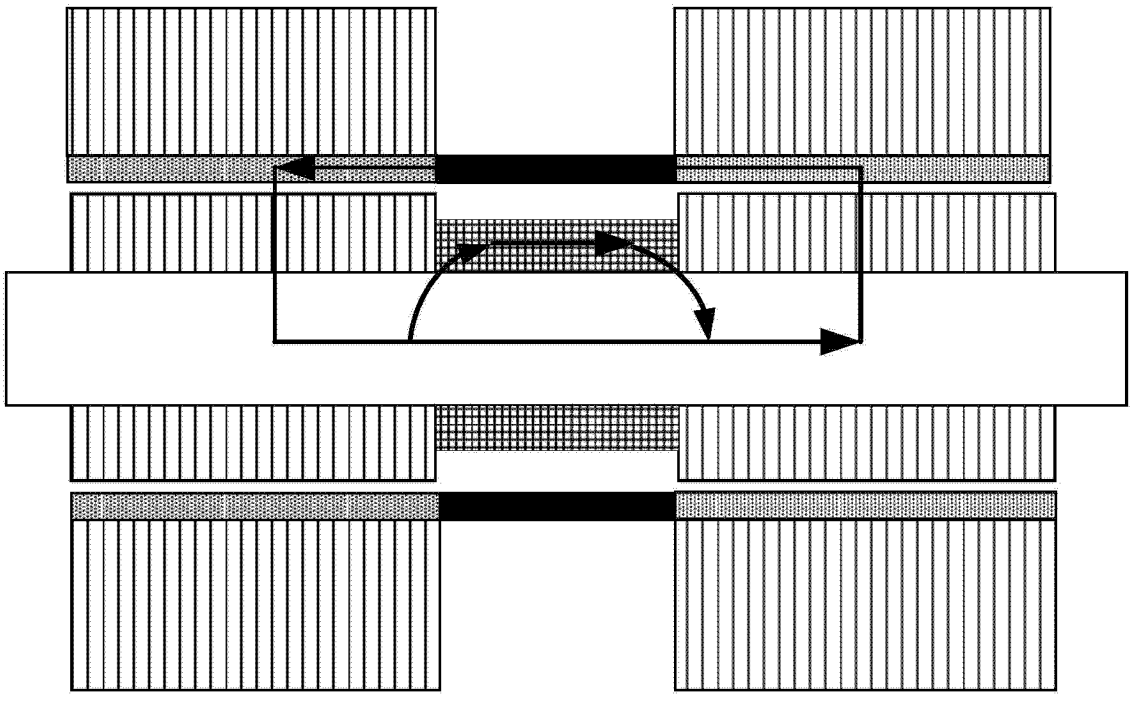


图 3

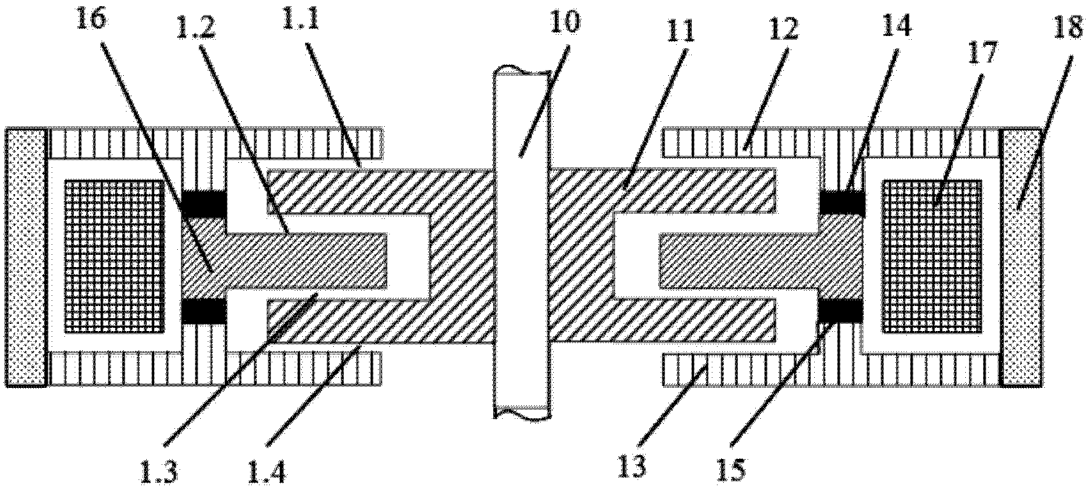


图 4

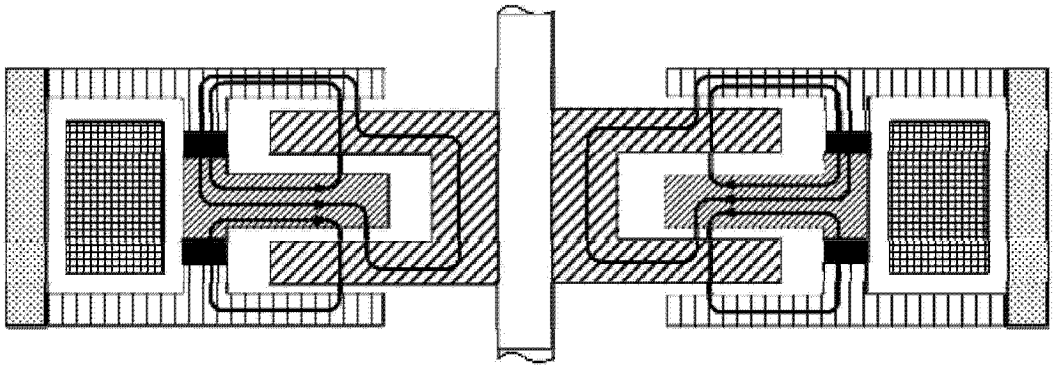


图 5

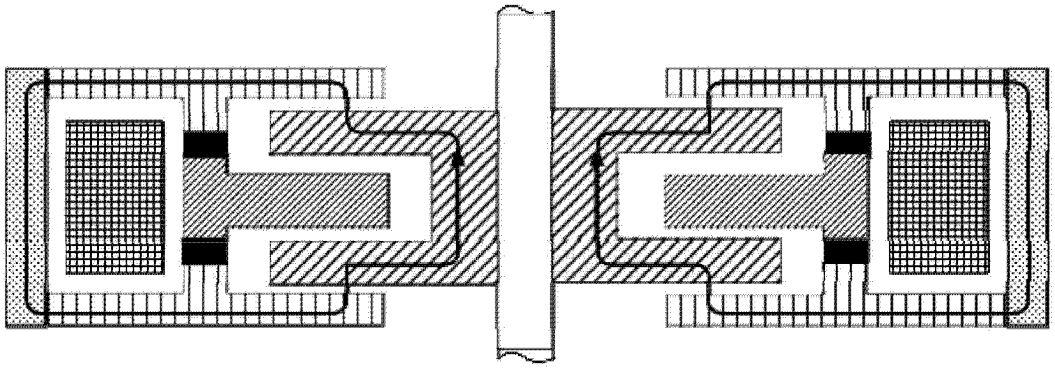


图 6

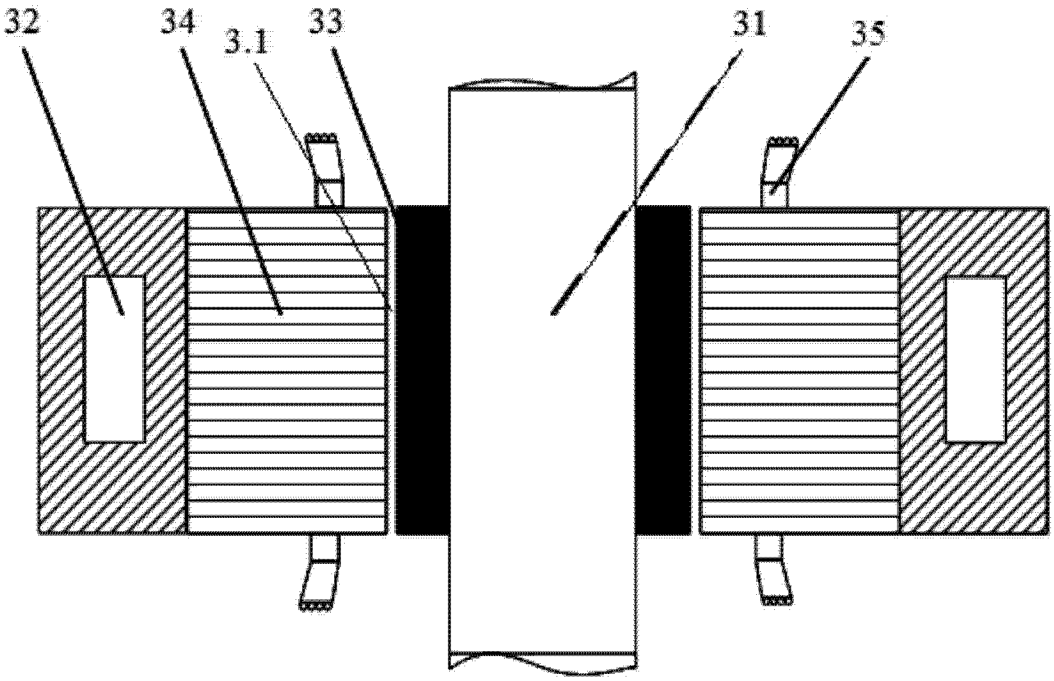


图 7