



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107399431 A

(43)申请公布日 2017. 11. 28

(21)申请号 201710845094.6

H02K 7/116(2006.01)

(22)申请日 2017.09.19

(71)申请人 合肥工业大学

地址 230009 安徽省合肥市包河区屯溪路  
193号

(72)发明人 赵韩 朱胤斐 黄康 孙浩  
甄圣超 李晨鸣

(74)专利代理机构 安徽省合肥新安专利代理有  
限责任公司 34101

代理人 陆丽莉 何梅生

(51)Int.Cl.

B64C 27/12(2006.01)

B64C 27/82(2006.01)

B64D 31/00(2006.01)

H02K 21/22(2006.01)

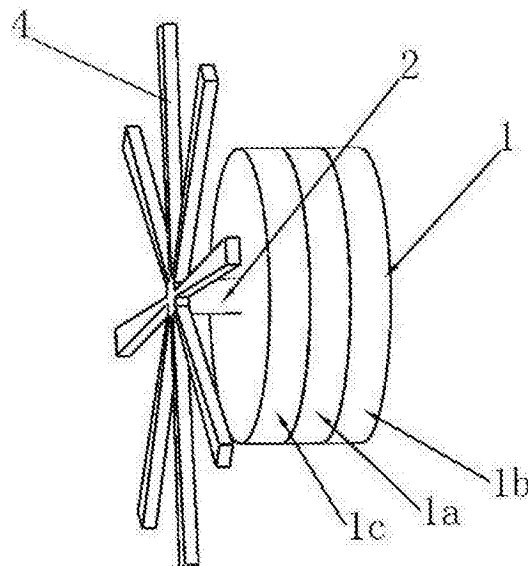
权利要求书2页 说明书5页 附图5页

## (54)发明名称

应用于电驱动直升机尾桨上的电机与减速器一体化装置及其控制方法

## (57)摘要

本发明公开了一种应用于电驱动直升机尾桨上的电机与减速器一体化装置及其控制方法,包括:盘式轴向永磁同步电机、一级减速器、控制器;盘式轴向永磁同步电机为外转子和内定子的无铁芯空心结构,并包括:壳体、铜线圈绕组、外转子永磁体、转子支撑架、动力传输连杆;一级减速器置于内定子结构的内部,并包括:小齿轮、大齿轮、大齿轮后盖、输出轴、角接触球轴承;控制器包括:转子位置传感器和电机调速器。本发明能节约电动直升机的内部空间,缩短输出轴的距离、减少输出轴的数量,从而减轻整体结构的重量,进而为电动直升机更长时间、更长距离的飞行提供有力保证。



1. 一种应用于电驱动直升机尾桨上的电机与减速器一体化装置,其特征包括:盘式轴向永磁同步电机(1)、一级减速器(2)和控制器(3);

所述盘式轴向永磁同步电机(1)为外转子和内定子的无铁芯空心结构,并包括:壳体、铜线圈绕组(1e)、外转子永磁体(1d)、转子支撑架(1f)、动力传输连杆(1g);

所述壳体内部套有所述外转子永磁体(1d),所述外转子永磁体(1d)的内圈连接有所述转子支撑架(1f),在所述转子支撑架(1f)上间隔绕有胶膜塑封过的铜线圈绕组(1e),从而形成无铁芯的内定子结构;在所述转子支撑架(1f)的后方打有孔,并通过键和键槽与所述动力传输连杆(1g)的一侧连接;

以所述铜线圈绕组(1e)通电后产生电流,并与所述外转子永磁体(1d)产生的磁场相互作用,形成电磁转矩,从而驱动所述外转子永磁体(1d)的转动,并带动所述转子支撑架(1f)连同所述动力传输连杆(1g)一起运动,进而将所述盘式轴向永磁同步电机(1)产生的动力传输给所述一级减速器(2);

所述一级减速器(2)置于所述内定子结构的内部,并包括:小齿轮(2e)、大齿轮(2d)、大齿轮后盖(2a)、输出轴(2b)、角接触球轴承(2c);

在所述转子支撑架(1f)的内部设置有所述角接触球轴承(2c),所述角接触球轴承(2c)的内侧与所述大齿轮(2d)的外侧相连;所述大齿轮(2d)与小齿轮(2e)内啮合,所述小齿轮(2e)通过键和键槽与所述动力传输连杆(1g)的另一侧连接;

在所述大齿轮(2d)的后方设有所述大齿轮后盖(2a),所述大齿轮后盖(2a)的中间设有所述输出轴(2b);

所述一级减速器(2)通过所述动力传输连杆(1g)将所述动力传输给所述小齿轮(2e),所述小齿轮(2e)进一步将动力传输给所述大齿轮(2d),形成减速后的动力通过所述大齿轮后盖(2a)传输给所述输出轴(2b),从而利用所述输出轴(2b)驱动所述尾桨(4)运动;

所述控制器(3)包括:转子位置传感器(3a)和电机调速器(3b);

在所述输出轴(2b)上设置有所述转子位置传感器(3a),用于获取所述输出轴(2b)的转速与转矩;

在所述转子位置传感器(3a)的一侧连接有所述电机调速器(3b),用于调整所述输出轴(2b)的转速与转矩,使得尾桨(4)能按照指定的转速运动。

2. 一种基于权利要求1所述的电机与减速器一体化装置的控制方法,其特征是按如下步骤进行:

步骤1、利用升压模块将电驱动直升机中的小电压直流电池输出的电压转换为所述盘式轴向永磁同步电机(1)所需的额定电压,再通过换向器将额定电压产生的额定直流电转换为三相交流电,并提供给所述盘式轴向永磁同步电机(1)作为工作电流;

步骤2、设定所述盘式轴向永磁同步电机(1)的目标转速或目标转矩,并由所述电机调速器(3b)控制所述外转子永磁体(1d)所发出的磁通量和所述转子支撑架(1f)上的铜线圈绕组(1e)的通电量,从而得到所述目标转速或目标转矩;

步骤3、由所述一级减速器(2)将所述目标转速或目标转矩进行一级减速处理后通过所述输出轴(2b)传递给所述尾桨(4)进行驱动;

步骤4、所述转子位置传感器(3a)实时获取所述输出轴(2b)的转速或转矩,并与所设定的目标转速或目标转矩相比较,得到转速或转矩的实时变化量并通过电信号的形式发送给

所述电机调速器(3b)；

步骤5、所述电机调速器(3b)根据所述实时变化量对所述盘式轴向永磁同步电机(1)进行反馈调节,使得所述盘式轴向永磁同步电机(1)能维持所述目标转速或目标转矩。

## 应用于电驱动直升机尾桨上的电机与减速器一体化装置及其控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于航空器设计领域,具体涉及到军用或民用的电驱动式直升机尾桨传动系统的设计、制造与控制领域。

### 背景技术

[0002] 现有直升机尾桨的传动系统为电机与减速器分开式,如图7所示,驱动方式多为燃油驱动。虽然其为目前市面上比较常用的传动系统结构,技术和制造上相对比较成熟,但是由于通过大量的轴、联轴器等结构拼接而成,其本身具有结构重量大、能量损失大、占用空间大、装配维修困难等固有缺点。

[0003] 而如果在电机与减速器一体化装置中的减速器部分采用行星轮系减速器,如图8所示,虽然其结构具有同轴输入同轴输出的特点,单其结构齿轮多,结构复杂,导致整体重量过大。又如果减速器部分采用一级圆柱齿轮外啮合方式,如图9所示,则占据了更多的安装空间,导致整体的可利用空间过小,

[0004] 由于现如今的飞机多采用混合动力的方式,所以现有技术中在控制方法上设计的过于简单,很难应付突发的外界条件的改变。所以如何改进尾桨传动系统的结构、优化传动系统的控制成为民用企业、军事基地急需解决的问题,因此尾桨传动系统的设计具有广阔的市场前景和应用前景。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的在于解决现有技术存在的不足,提供一种结构简单、重量轻便、安全可靠的应用于电驱动直升机尾桨上的电机与减速器一体化装置及其控制方法,以期能节约电动直升机的内部空间,缩短输出轴的距离、减少输出轴的数量,从而减轻整体结构的重量,进而为电动直升机更长时间、更长距离的飞行提供有力保证。

[0006] 本发明解决上述技术问题所采用的技术方案是:

[0007] 本发明一种应用于电驱动直升机尾桨上的电机与减速器一体化装置的特点包括:盘式轴向永磁同步电机、一级减速器和控制器;

[0008] 所述盘式轴向永磁同步电机为外转子和内定子的无铁芯空心结构,并包括:壳体、铜线圈绕组、外转子永磁体、转子支撑架、动力传输连杆;

[0009] 所述壳体内部套有所述外转子永磁体,所述外转子永磁体的内圈连接有所述转子支撑架,在所述转子支撑架上间隔绕有胶膜塑封过的铜线圈绕组,从而形成无铁芯的内定子结构;在所述转子支撑架的后方打有孔,并通过键和键槽与所述动力传输连杆的一侧连接;

[0010] 以所述铜线圈绕组通电后产生电流,并与所述外转子永磁体产生的磁场相互作用,形成电磁转矩,从而驱动所述外转子永磁体的转动,并带动所述转子支撑架连同所述动力传输连杆一起运动,进而将所述盘式轴向永磁同步电机产生的动力传输给所述一级减

速器；

[0011] 所述一级减速器置于所述内定子结构的内部，并包括：小齿轮、大齿轮、大齿轮后盖、输出轴、角接触球轴承；

[0012] 在所述转子支撑架的内部设置有所述角接触球轴承，所述角接触球轴承的内侧与所述大齿轮的外侧相连；所述大齿轮与小齿轮内啮合，所述小齿轮通过键和键槽与所述动力传输连杆的另一侧连接；

[0013] 在所述大齿轮的后方设有所述大齿轮后盖，所述大齿轮后盖的中间设有所述输出轴；

[0014] 所述一级减速器通过所述动力传输连杆将所述动力传输给所述小齿轮，所述小齿轮进一步将动力传输给所述大齿轮，形成减速后的动力通过所述大齿轮后盖传输给所述输出轴，从而利用所述输出轴驱动所述尾桨运动；

[0015] 所述控制器包括：转子位置传感器和电机调速器；

[0016] 在所述输出轴上设置有所述转子位置传感器，用于获取所述输出轴的转速与转矩；

[0017] 在所述转子位置传感器的一侧连接有所述电机调速器，用于调整所述输出轴的转速与转矩，使得尾桨能按照指定的转速运动。

[0018] 本发明一种基于电机与减速器一体化装置的控制方法的特点是按如下步骤进行：

[0019] 步骤1、利用升压模块将电驱动直升机中的小电压直流电池输出的电压转换为所述盘式轴向永磁同步电机所需的额定电压，再通过换向器将额定电压产生的额定直流电转换为三相交流电，并提供给所述盘式轴向永磁同步电机作为工作电流；

[0020] 步骤2、设定所述盘式轴向永磁同步电机的目标转速或目标转矩，并由所述电机调速器控制所述外转子永磁体所发出的磁通量和所述转子支撑架上的铜线圈绕组的通电量，从而得到所述目标转速或目标转矩；

[0021] 步骤3、由所述一级减速器将所述目标转速或目标转矩进行一级减速处理后通过所述输出轴传递给所述尾桨进行驱动；

[0022] 步骤4、所述转子位置传感器实时获取所述输出轴的转速或转矩，并与所设定的目标转速或目标转矩相比较，得到转速或转矩的实时变化量并通过电信号的形式发送给所述电机调速器；

[0023] 步骤5、所述电机调速器根据所述实时变化量对所述盘式轴向永磁同步电机进行反馈调节，使得所述盘式轴向永磁同步电机能维持所述目标转速或目标转矩。

[0024] 与已有技术相比，本发明的有益效果是：

[0025] 1、本发明的电机与减速器一体化装置中的新型永磁同步电机、一级减速器、控制器等结构布局合理，并将减速器部分设计进了电机的内部。与传统的电机加减速器装置相比省略了传统的有铁芯定子结构、联轴器结构、缩短了输出轴的距离、减少了输出轴的数量从而充分利用了电机的内部空间，大大降低了电驱动直升机的尾部重量，使其飞行距离更远、飞行时间更长、飞行稳定性更可靠。

[0026] 2、本发明的电机与减速器一体化装置中的减速器结构采用一级圆柱齿轮内啮合的方式，相比于一级圆柱齿轮外啮合的方式，内啮合的方式使得两个齿轮配合后的纵向直径最小，并且不向采用行星轮系的方式，会造成齿轮个数多，结构复杂等缺点。这种一级圆

柱齿轮内啮合的方式结构简单、轻量化、所占空间小。并且一级减速器相比于多级减速器本身就更加简单和轻量化。而且在设计减速器时对齿轮的齿形、结构、材料进行了优化设计，进一步减轻质量、缩小体积。这里选用的微线段齿轮或大重合度齿轮来代替传统的渐开线齿轮，因为微线段齿轮和大重合度齿轮相比较于普通的渐开线齿轮，其承载能力较高，等强度情况下可减少齿轮模数，减轻了一体化结构的质量，同时选用高强度、轻质材料代替普通材料，从而进一步减轻了电机与减速器一体化结构的质量、缩小其体积。

[0027] 3、本发明的电机与减速器一体化装置的控制方法，通过多个控制模块相结合的方式，并将电池和升压模块引入到直升飞机上，再相关先进的控制算法从而形成了反馈调节来应对各种外界环境的改变，使得整个控制系统更加可靠与完善。

## 附图说明

[0028] 图1为本发明电机与减速器一体化装置整体结构示意图；

[0029] 图2为本发明电机与减速器一体化装置结构主视图；

[0030] 图3为本发明电机与减速器一体化装置结构后视图；

[0031] 图4为本发明电机与减速器一体化装置中间剖视图；

[0032] 图5为本发明一级减速器传动机构示意图；

[0033] 图6为本发明电机与减速器一体化装置控制策略流程框图；

[0034] 图7为现有技术中传动的电机与减速器结构示意简图；

[0035] 图8为现有技术中减速器采用行星轮系结构的示意简图；

[0036] 图9为现有技术中减速器中一对齿轮采用外啮合方式的示意简图；

[0037] 图中序号：1盘式轴向永磁同步电机；2一级减速器；3控制器；4尾桨；1a电机外壳；1b电机后盖；1c电机前盖；1d外转子永磁体；1e铜线圈绕组；1f转子支撑架；1g动力传输连杆；2a大齿轮后盖；2b输出轴；2c角接触球轴承；2d大齿轮；2e小齿轮；3a转子位置传感器；3b电机调速器。

## 具体实施方式

[0038] 本实施例中，参见图1、图2所示，一种应用于电驱动直升机尾桨上的电机与减速器一体化装置，其组成包括：盘式轴向永磁同步电机1、一级减速器2和控制器3；

[0039] 如图1、图2、图3所示，盘式轴向永磁同步电机1为外转子和内定子的无铁芯空心结构，由壳体、铜线圈绕组1e、外转子永磁体1d、转子支撑架1f、动力传输连杆1g共同组成。

[0040] 其中，壳体由电机外壳1a、电机前盖1c和电机后盖1b共同组成，起到密封作用。在壳体内部套有外转子永磁体1d，而外转子永磁体1d的内圈连接有转子支撑架1f，并且在转子支撑架1f上间隔绕有胶膜塑封过的铜线圈绕组1e作为内定子结构，从而形成无铁芯的内定子结构；而在转子支撑架1f的后方打有孔，并通过键和键槽与所述动力传输连杆1g的一侧连接；

[0041] 如图2、图3所示，首先铜线圈绕组1e通电后产生三相交流电，并与外转子永磁体1d的N和S极产生的磁场相互作用，形成电磁转矩，从而驱动外转子永磁体1d的转动，并带动转子支撑架1f连同动力传输连杆1g一起运动，进而将盘式轴向永磁同步电机1产生的动力传输输出给一级减速器2；

[0042] 如图3、图4、图5所示,这里由于所需减速比较小,所以减速器部分设计为一级减速器2并置于所述内定子结构的内部,这样设计省去了联轴器等装置,缩短了输出轴的距离、减少了输出轴的数量,减轻的整体结构的质量,同时也为电动直升机内部节约了有效空间。其组成包括:小齿轮2e、大齿轮2d、大齿轮后盖2a、输出轴2b、角接触球轴承2c;首先在转子支撑架1f的内部设置有角接触球轴承2c,而角接触球轴承2c的内侧与大齿轮2d的外侧相连;而大齿轮2d与小齿轮2e采用内啮合的方式,并且小齿轮2e通过键和键槽与动力传输连杆1g的另一侧连接;

[0043] 如图5所示,大齿轮2d的后方设有所述大齿轮后盖2a,大齿轮后盖2a的中间设有所述输出轴2b,这里将大齿轮后盖2a与大齿轮2d也做成一体化结构,减轻重量的同时,也方便大齿轮2d带动大齿轮后盖2a运动。而且在设计减速器时对齿轮的齿形、结构、材料进行了优化设计,进一步减轻质量、缩小体积。这里选用微线段齿轮或大重合度齿轮来代替传统的渐开线齿轮,因为微线段齿轮和大重合度齿轮相比较于普通的渐开线齿轮,其承载能力较高,等强度情况下可减少齿轮模数,减轻一体化结构的质量,同时选用高强度、轻质材料代替普通材料,从而进一步减轻了电机与减速器一体化结构的质量、缩小其体积。

[0044] 如图3、图4所示,具体传动系统的动力传输过程为:首先一级减速器2通过动力传输连杆1g将动力传输给小齿轮2e,而小齿轮2e进一步将动力传输给大齿轮2d,形成减速后的动力通过大齿轮后盖2a传输给输出轴2b,从而利用输出轴2b驱动尾桨4运动;

[0045] 如图2所示,控制器3包括:转子位置传感器3a和电机调速器3b。在输出轴2b上设置有转子位置传感器3a,用于获取输出轴2b的转速与转矩;在转子位置传感器3a的一侧连接有电机调速器3b,用于调整输出轴2b的转速与转矩,使得尾桨4能按照指定的转速运动。

[0046] 如图6流程框图所示,由于一种电驱动直升机尾桨上电机与减速器一体化装置的控制方法,是应用于电驱动直升机上的,用于快速调整电驱动直升机尾桨4由于飞行过程中外界影响因素的影响,如大气气流、风速、温度,以及自身减速器2的传动系统的一些动态特性,例如扭转阻尼、齿轮间隙等导致输出轴2b输出转速或转矩的损耗。该控制方法具体按如下步骤进行:

[0047] 步骤1、利用升压模块将电驱动直升机中的小电压直流电池输出的电压转换为盘式轴向永磁同步电机1所需的额定电压,再通过换向器将额定电压产生的额定直流电转换为三相交流电,并提供给盘式轴向永磁同步电机1作为工作电流;这里在电动直升机上首次应用了小电压直流电池+升压模块+换向器的供电方式,十分新颖,同时相比于传统的发电机供电方式可减轻整体系统的重量,对电动直升机进一步轻量化。

[0048] 步骤2、人为根据实际情况设定盘式轴向永磁同步电机1的目标转速或目标转矩,并由电机调速器3b控制外转子永磁体1d的N与S级所发出的磁通量和转子支撑架1f上的铜线圈绕组1e的通电量,从而得到目标转速或目标转矩;

[0049] 步骤3、由一级减速器2将目标转速或目标转矩进行一级减速处理后通过输出轴2b传递给尾桨4进行驱动;

[0050] 步骤4、由于尾桨4在直升机飞行过程中会受到外界因素如温度、风速、气流的影响、减速器2在工作过程中会由于齿轮的啮合间隙、时变刚度、扭转阻尼等因素的影响,会造成输出轴2b输出转速或转矩的改变,而安装在输出轴2b上的转子位置传感器3a实时获取输出轴2b的转速或转矩,并与所设定的目标转速或目标转矩相比较,得到转速或转矩的实时

变化量并通过电信号的形式发送给电机调速器3b;

[0051] 步骤5、最后电机调速器3b根据实时变化量,并结合相关鲁棒控制算法、模糊控制算法等的计算与验证,对盘式轴向永磁同步电机1进行反馈调节,使得盘式轴向永磁同步电机1能维持所需的目标转速或目标转矩。



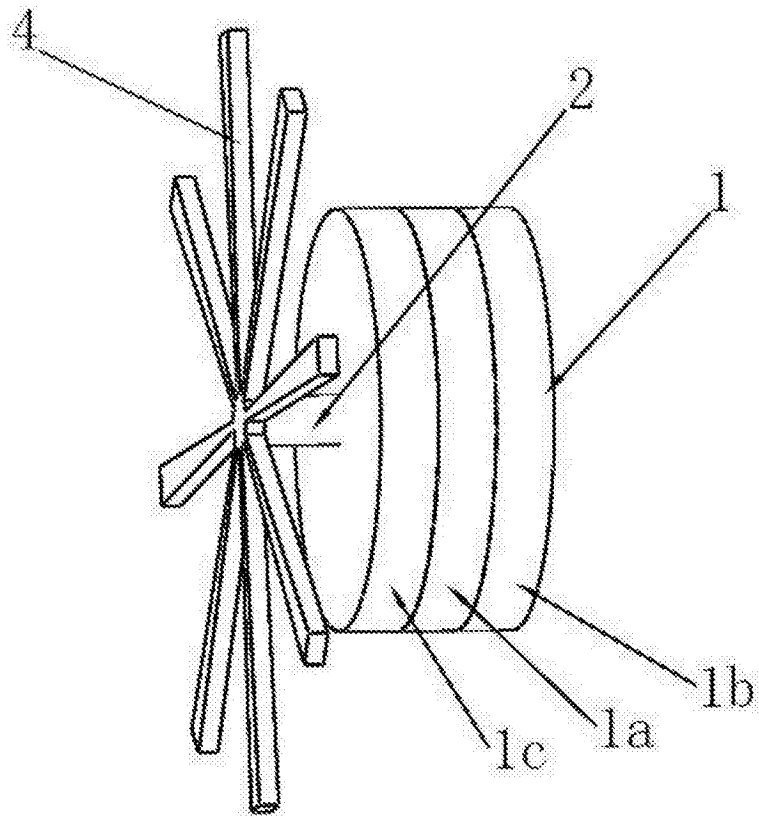


图1

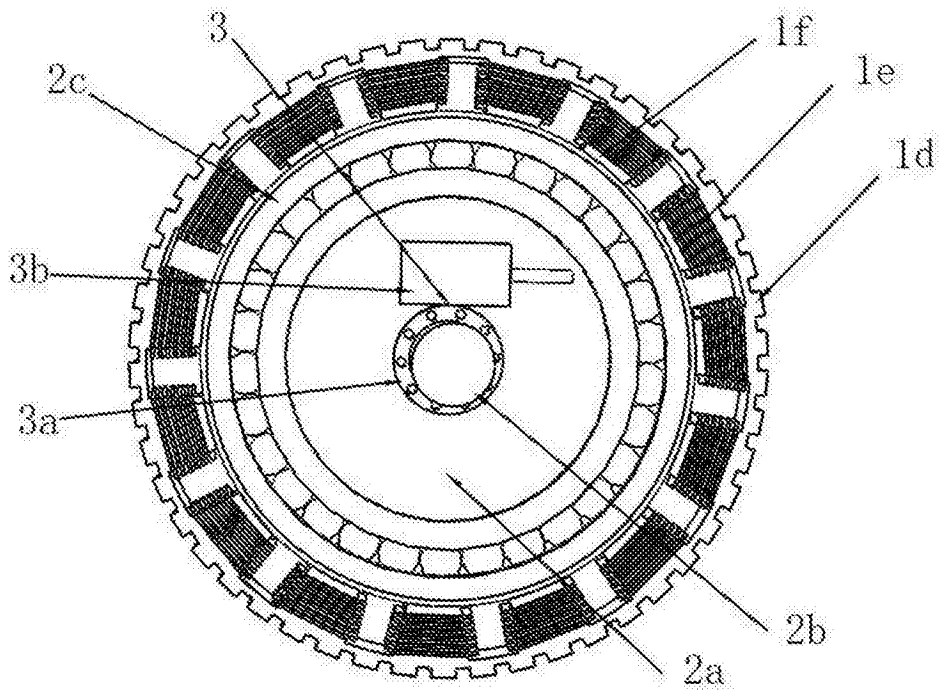


图2

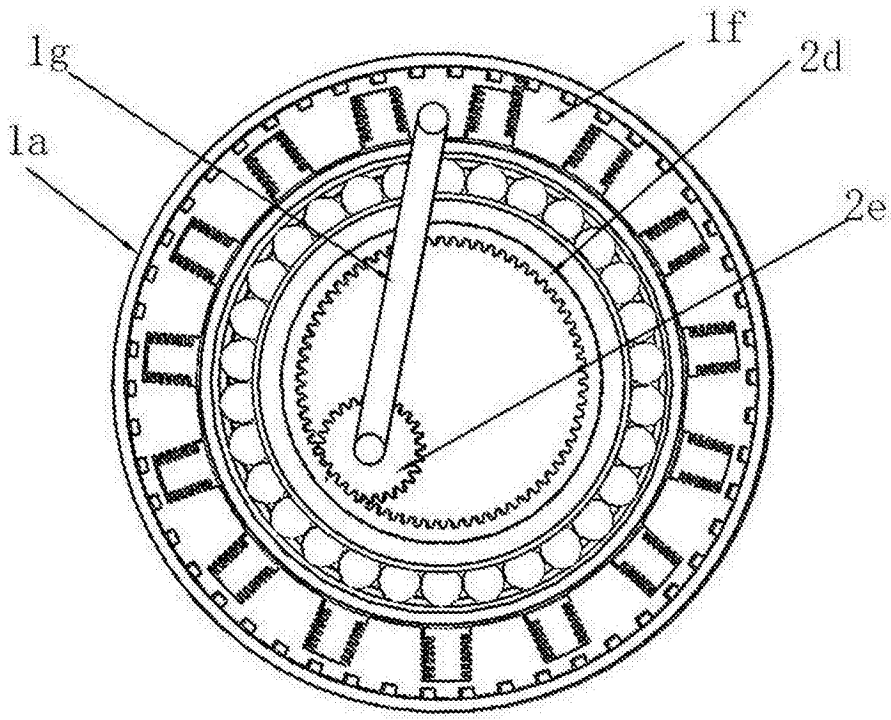


图3

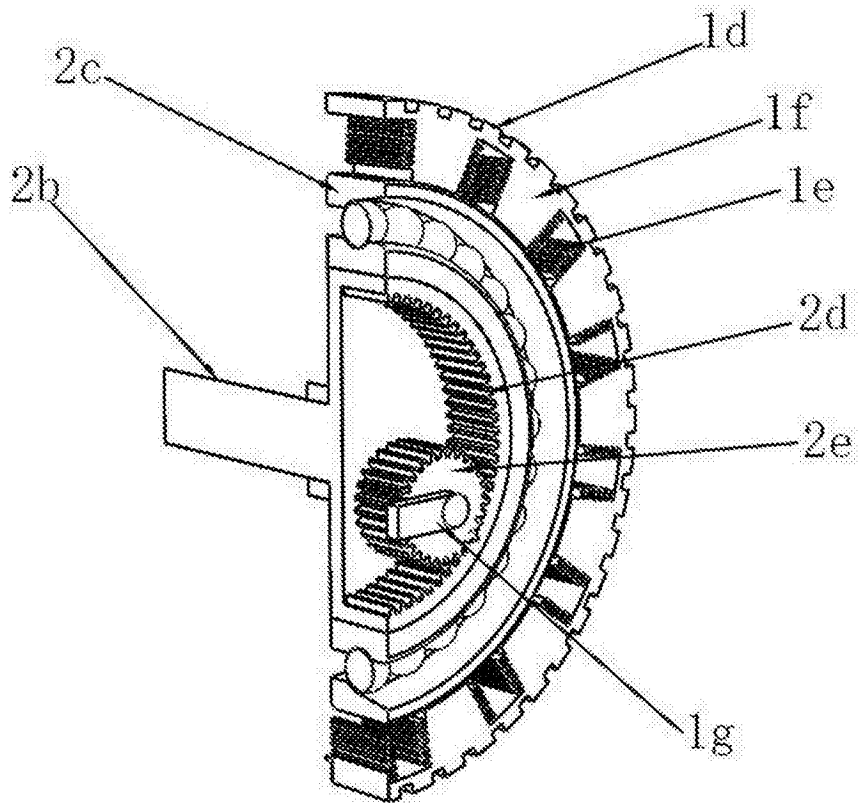


图4

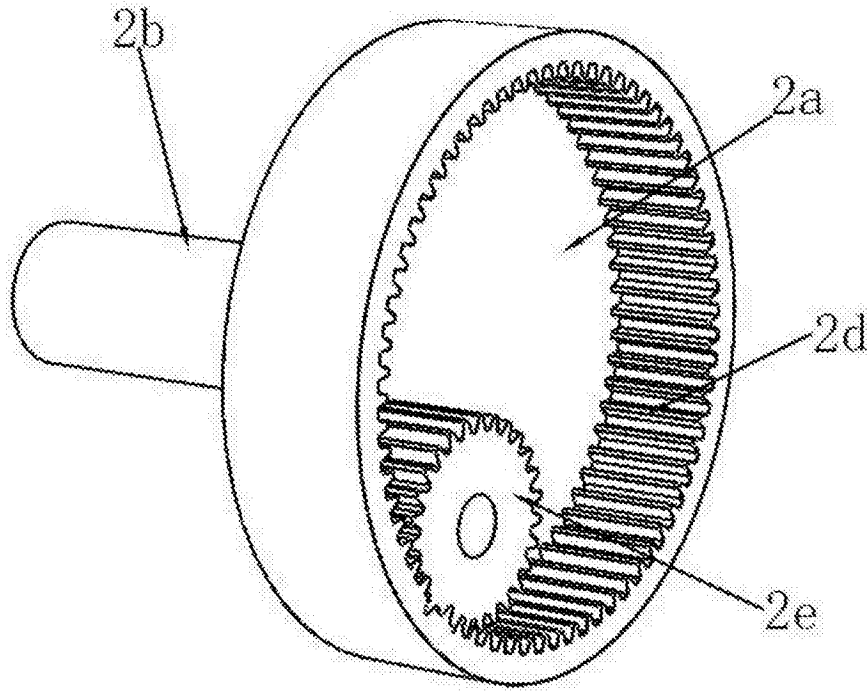


图5

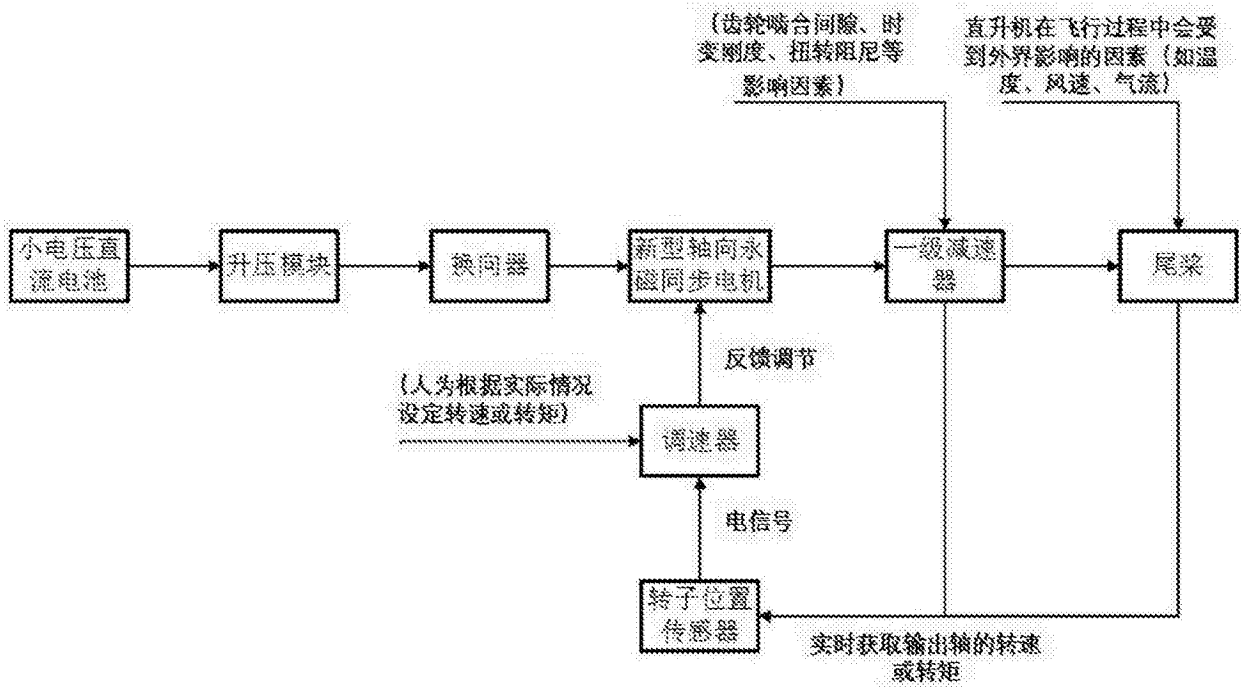


图6

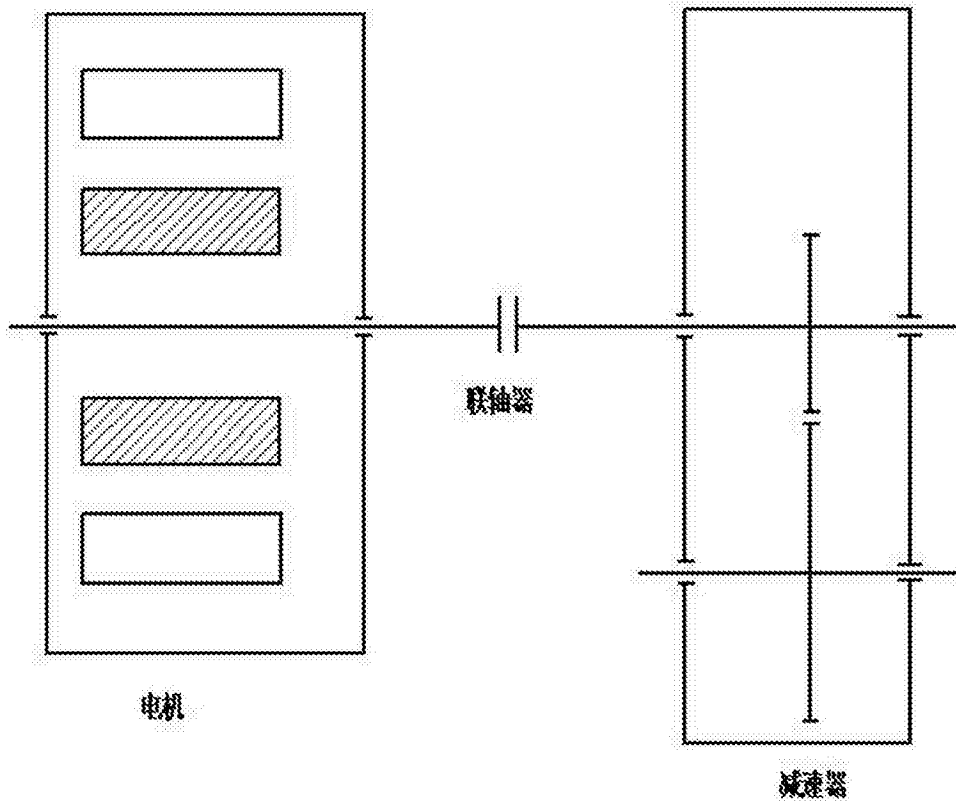


图7

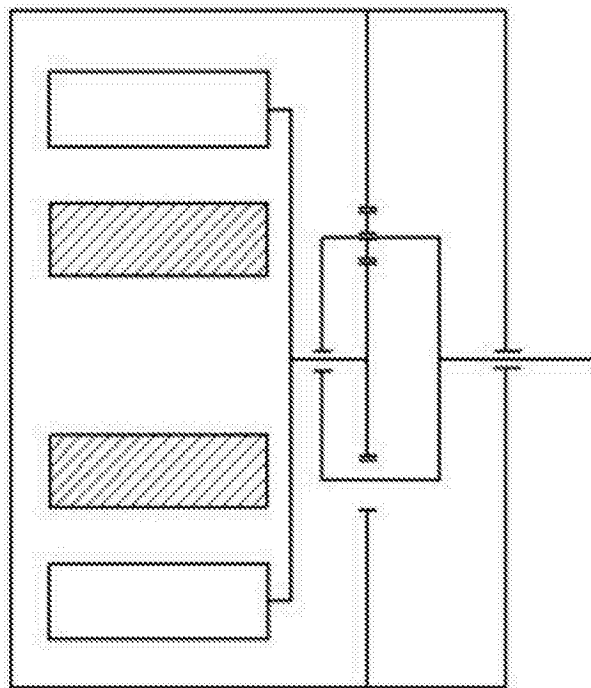


图8

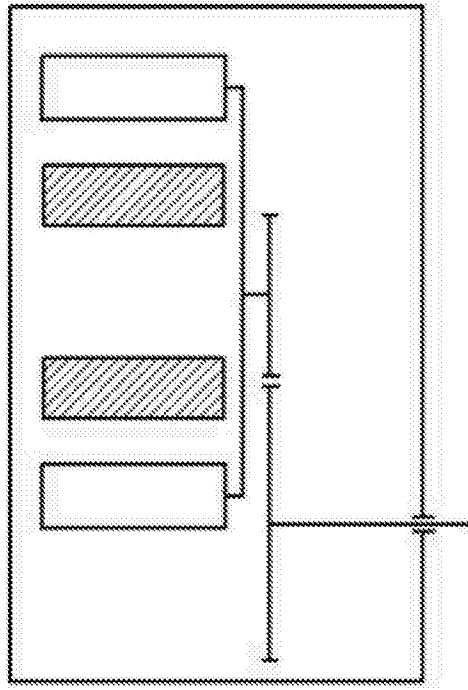


图9