(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
2015 年 7 月 9 日 (09.07.2015)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2015/100630 A1

(51) 国际专利分类号:
B60K 7/00 (2006.01) *B60K 17/08* (2006.01)
B60K 17/356 (2006.01) *F16H 3/44* (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2013/091150

(22) 国际申请日: 2013 年 12 月 31 日 (31.12.2013)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(71) 申请人: **中国科学院深圳先进技术研究院 (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES)** [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。 **香港中文大学 (THE CHINESE UNIVERSITY OF HONG KONG)** [CN/CN]; 中国香港特别行政区新界沙田, Hong Kong (CN)。

(72) 发明人: **徐国卿 (XU, Guoqing)**; 中国广东省深圳市南山区西丽大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。

(74) 代理人: **广州华进联合专利商标代理有限公司 (ADVANCE CHINA IP LAW OFFICE)**; 中国广东省广州市天河区花城大道 85 号 3901 房, Guangdong 510623 (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, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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。

[见续页]

WO 2015/100630 A1

(54) **Title**: HUB DRIVING DEVICE HAVING PLANETARY MOTOR AND WHEEL POWER SYSTEM USING SAME

(54) **发明名称** : 具有行星电机的轮毂驱动装置及采用该轮毂驱动装置的车轮动力系统

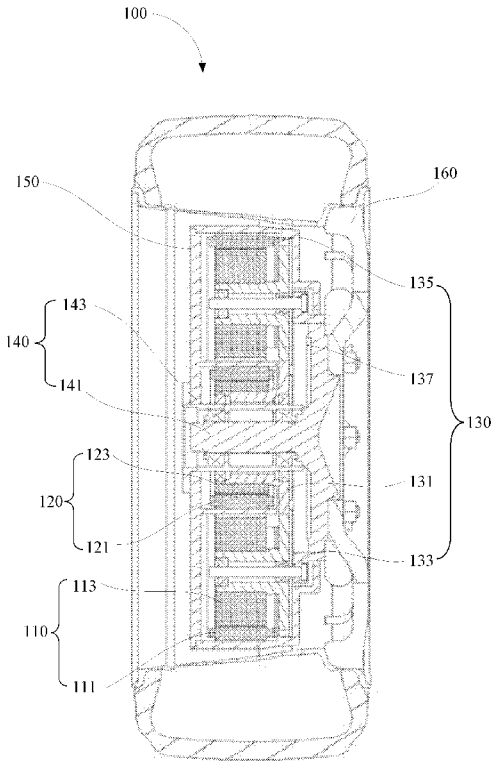


图 1 / Fig. 1

(57) **Abstract**: Disclosed is a hub driving device having a planetary motor (110) and a wheel power system (100) using the hub driving device, wherein the hub driving device comprises a planetary motor (110) which comprises a stator for a toothed ring (111) and a plurality of planetary rotors (113) provided on the radially inner side of the stator for a toothed ring (111); a planetary mechanism (130) used for matching the rotation speeds and torques of the planetary motor (110) and a hub (141), wherein the planetary mechanism (130) comprises a planetary carrier (133), a toothed ring (135) and a plurality of planetary gears (137); the plurality of planetary gears (137) are provided on the radially inner side of the toothed ring (135); the plurality of planetary gears (137) are engaged with the toothed ring (135) so that the plurality of planetary gears (137) can roll along the inner circumference of the toothed ring (135); the plurality of planetary gears (137) are respectively assigned to the plurality of planetary rotors (113) in a one-to-one manner, and the plurality of planetary gears (137) are respectively connected to the plurality of planetary rotors (113) coaxially; and the plurality of planetary gears (137) are respectively rotatably connected to the planetary carrier (133) via rotation shafts so that the planetary carrier (133) can rotate along with the rolling of the plurality of planetary gears (137) relative to the toothed ring (135). The hub driving device has a high power density, reliability and fault safety.

(57) **摘要**:

[见续页]

(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, 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))。

一种具有行星电机（110）的轮毂驱动装置及采用该轮毂驱动装置的车轮动力系统（100），其中，该轮毂驱动装置包括行星电机（110），其包括齿圈定子（111）及设于齿圈定子（111）的径向内侧的多个行星转子（113）；行星机构（130），其用于匹配行星电机（110）与轮毂（141）的转速和转矩，行星机构（130）包括行星架（133）、齿圈（135）及多个行星齿轮（137）；多个行星齿轮（137）设于齿圈（135）径向内侧；多个行星齿轮（137）均与齿圈（135）相啮合，使多个行星齿轮（137）沿齿圈（135）的内周缘可滚动；多个行星齿轮（137）分别与多个行星转子（113）一一对应设置，并且多个行星齿轮（137）分别与多个行星转子（113）共轴连接；多个行星齿轮（137）分别通过转轴与行星架（133）可转动连接，使行星架（133）随着多个行星齿轮（137）相对于齿圈（135）滚动而转动。该轮毂驱动装置具有较高的功率密度、可靠性及故障安全性。

具有行星电机的轮毂驱动装置及采用该轮毂驱动装置的车轮动力系统

【技术领域】

本发明涉一种轮毂驱动装置，尤其涉及一种具有行星电机的轮毂驱动装置及采用该轮毂驱动装置的车轮动力系统。

【背景技术】

轮毂独立驱动是一种古老而先进的驱动方式，具有以下显著的优点：其一，车轮的驱动力和制动力可以独立调节并根据整车的需求协调控制，车辆具有优异的动力学特性；其二，车辆总布置极为简化和灵活，车内空间最大化。其缺点主要是增大了非悬挂质量，降低了低速时的车辆接地安全性和平顺性，但改善了高速时的车辆平顺性。研究表明，只要增加的非悬挂质量较小，并对现有悬架进行相应的调校，即可克服这些不利的影响。近年来，伴随着电机和控制技术的进一步发展，轮毂驱动装置又得到了重视。

现有的轮毂驱动装置主要有两类，一种是带减速器的高速电机驱动装置，一种是不带减速器的低速电机驱动装置。前者多采用转速高达 12000～15000rpm 的高速、永磁、风冷或水冷电机来实现，搭配的减速器传动比为 10～12 左右。后者通常采用磁极对数高达 20～24、集中绕组、永磁、风冷或水冷的环形电机来实现，其最高转速为 1500～2000rpm。就现有的电机技术水平而言，带减速器的高速电机驱动装置的功率密度更高，也更易于和悬架集成，因此得到了优先的关注。

美国专利申请 US2007/0078035 A1 和 US2007/0209853 A1 公开了两种轮毂驱动装置，其包括直径较大而轴向长度较短或直径较小而长度较长的轮内电机、半嵌入电机内的行星减速器、制动器、轮毂单元和车轮。美国专利申请 US2008/0070736 A1 公开了另外一种轮毂驱动装置，其包括直径较大而轴向长度较短的轮内电机，行星减速器内嵌在轮内电机里、制动器、轮毂单元和车轮。美国专利 US8002060 B2 公开了另外一种轮毂驱动装置，其包括在车轮内偏置布置的轮内电机、内齿轮减速器、制动器、轮毂单元和车轮。美国专利申请 US2008/308330 A1 公开了另一种轮毂驱动装置，其包括在车轮内偏置布置的轮内电机、一级外齿轮传动和一级行星减速器、制动器、轮毂单元和车轮。美国专利申请 US2009/0236158 A1 公开了另外一种轮毂驱动装置，其包括转向节、布置在转向节后部的轮内电机、减速器和用于连接减速器输出端与车轮的传动轴。

上述公开的技术方案存在着以下问题：功率密度低，难与悬架进行集成，因为体积较大的带减速器的轮内电机占据了悬架摆臂与轮毂单元连接的空间；故障安全性低，如果轮内电机出现故障，则该轮将失去可控的驱动力，由此可能带来安全性隐患。

因此，还存在着提供一种具有高功率密度和高故障安全性的轮毂驱动装置的需求。

【发明内容】

鉴于上述状况，有必要提供一种具有功率密度较高和故障安全性较高的具有行星电机的轮毂驱动装置。

一种具有行星电机的轮毂驱动装置，其包括：

行星电机，用于提供驱动轮毂转动的第一动力，所述行星电机包括齿圈定子及设于所述齿圈定子的径向内侧的多个行星转子；及

行星机构，用于匹配所述行星电机与所述轮毂的转速和转矩，所述行星机构包括行星架、齿圈及多个行星齿轮；所述多个行星齿轮设于所述齿圈径向内侧，并且呈环形分布；所述多个行星齿轮均与所述齿圈相啮合，使所述多个行星齿轮沿所述齿圈的内周缘可滚动；所述多个行星齿轮分别与所述多个行星转子一一对应设置，并且所述多个行星齿轮分别与所述多个行星转子共轴连接，以使每个所述行星齿轮与对应的所述行星转子共轴同步转动；所述多个行星齿轮分别通过转轴与所述行星架可转动连接，使所述行星架随着所述多个行星齿轮相对于所述齿圈滚动而转动；

其中，当所述行星电机给所述车轮提供动力时，所述行星架为动力的输出端，并且所述行星架用于带动所述轮毂转动，所述行星转子驱动所述行星齿轮转动，所述行星齿轮与所述齿圈相啮合而沿所述齿圈滚动，从而带动所述行星架转动。

相较于传统的轮毂驱动装置，上述具有行星电机的轮毂驱动装置至少具有以下优点：

（1）由行星电机的原理可知，行星电机与常规的以径向力工作的电机有明显的区别，其特征是行星电机的转子为行星轮，磁路短，节能空间，转子运动的磁力主要为径向力，出力大，在功率密度上比一般电机有更大的优势。因此，上述具有行星电机的轮毂驱动装置具有较高的功率密度。

（2）上述具有行星电机的轮毂驱动装置可采用两个动力来驱动轮毂，其中一个动力可由行星电机提供，另外一个可由动力装置提供，并且，行星电机具有多个行星转子，由多套线圈供电工作，大大提高了工作可靠性和故障安全性。因此，上述具有行星电机的轮毂驱动装置可靠性和故障安全性较高。

在其中一个实施例中，所述齿圈定子与所述齿圈连接，并且所述齿圈定子沿着圆周方向

布置成多个极区域，每个所述极区域内的线圈整距布置。

在其中一个实施例中，所述齿圈定子由定子铁芯及线圈组成，所述定子铁芯的内圈设有多个间隔设置的凸齿，每相邻两个所述凸齿之间形成齿槽，所述线圈缠绕在所述凸齿上，并且嵌入所述齿槽内，并且每个所述线圈对应一个所述凸齿，以构成一相，每个所述极区域内的所述线圈的数量与所述凸齿的数量相同。

在其中一个实施例中，所述齿圈定子的各相绕组由各个所述极区域的各相对应的线圈串联或并联构成，并且每两相相邻绕组同时通电，并流过相同大小的电流。

在其中一个实施例中，所述各相绕组与电力电子装置电连接，并且由所述电力电子装置给各相绕组按次序供电，当两相线圈通电时，所述行星转子上会产生磁拉力，并且所述磁拉力总是使得所述行星转子向着总磁路磁阻最小的位置运动。

在其中一个实施例中，所述行星转子为无磁趋向性的导磁圆柱体，并且所述多个行星转子沿所述齿圈定子的内周缘布置，其中，所述行星转子的数量与所述齿圈定子的极区域数量及所述行星齿轮的数量均相同。

在其中一个实施例中，所述行星转子内嵌入有磁钢。

在其中一个实施例中，所述齿圈定子及所述行星转子分别与所述齿圈及所述行星齿轮可拆卸地固定连接，或者，所述齿圈定子及所述行星转子分别与所述齿圈及所述行星齿轮一体成型。

在其中一个实施例中，还包括位置传感器，所述位置传感器设于所述行星架上，用于感测所述行星转子的位置。

同时，本发明还提供一种采用上述轮毂驱动装置的车轮动力系统。

一种车轮动力系统，包括：

上述的轮毂驱动装置；

所述轮毂，与所述行星架固定连接；

车轮，与所述轮毂固定连接，并且随着所述轮毂一起转动；

动力装置，用于提供驱动所述轮毂转动的第二动力；及

转向节，用于支撑所述行星电机、所述动力装置、所述行星机构及所述轮毂，并用于与悬架装置和转向装置相连接。

在其中一个实施例中，还包括轮毂轴承，所述轮毂轴承固定在所述转向节上，并且套设在所述轮毂的转轴上，用于支撑所述轮毂。

在其中一个实施例中，所述行星机构还包括太阳轮，所述太阳轮位于所述多个行星齿轮的中间位置，并且与所述多个行星齿轮相啮合；所述动力装置为电机，所述电机安装在所述

多个行星转子的中间，并且所述电机的转子与所述太阳轮共轴连接，使所述太阳轮随着所述电机的转子一起转动；

其中，当所述动力装置给所述车轮提供动力时，所述动力装置驱动所述太阳轮转动，所述太阳轮与所述行星齿轮相啮合而带动所述行星齿轮转动，所述行星齿轮与所述齿圈相啮合而沿所述齿圈滚动，从而带动所述行星架转动。

在其中一个实施例中，所述电机的转子与所述太阳轮可拆卸地固定连接，或者，所述电机的转子与所述太阳轮一体成型。

在其中一个实施例中，所述动力装置为发动机，所述发动机通过传动轴驱动所述轮毂转动。

在其中一个实施例中，所述齿圈及所述齿圈定子均固定连接在所述转向节内。

【附图说明】

图 1 为本发明的实施例一的具有行星电机的车轮动力系统的剖视图；

图 2 为图 1 所示的内侧轴局部示意图；

图 3 为图 1 所示的外侧轴局部示意图；

图 4 为图 1 所示的行星电机和行星机构的转动状态示意图；

图 5 为图 1 所示的行星电机的结构示意图；

图 6 为图 1 所示的行星电机的行星转子在不同位置情况下，齿圈定子的一个极区域下的两相绕组对应线圈（线圈 B1、C1）通电时产生的磁通示意图；

图 7 为图 1 所示的行星电机的齿圈定子两相绕组通电时，行星转子在不同位置情况下齿圈定子的绕组磁连/位置/电流关系图；

图 8 为图 1 所示的行星电机的齿圈定子的绕组与电力电子装置的连接示意图；

图 9 为图 1 所示的行星电机的齿圈定子的绕组的一个极（区域）下各相线圈的通电次序示意图；

图 10 为图 1 所示的行星电机的齿圈定子的绕组依次通电，行星转子受力做滚动运动的示意图；

图 11 是本发明的实施例二的车轮动力系统的剖视图。

【具体实施方式】

为了便于理解本发明，下面将参照相关附图对本发明进行更全面的描述。附图中给出了本发明的较佳的实施例。但是，本发明可以以许多不同的形式来实现，并不限于本文所描述

的实施例。相反地，提供这些实施例的目的是使对本发明的公开内容的理解更加透彻全面。

需要说明的是，当元件被称为“固定于”另一个元件，它可以直接在另一个元件上或者也可以存在居中的元件。当一个元件被认为是“连接”另一个元件，它可以是直接连接到另一个元件或者可能同时存在居中元件。本文所使用的术语“垂直的”、“水平的”、“左”、“右”以及类似的表述只是为了说明的目的。

除非另有定义，本文所使用的所有的技术和科学术语与属于本发明的技术领域的技术人员通常理解的含义相同。本文中在本发明的说明书中所使用的术语只是为了描述具体的实施例的目的，不是旨在于限制本发明。本文所使用的术语“及／或”包括一个或多个相关的所列项目的任意的和所有的组合。

本发明的实施方式的车轮动力系统，其包括具有行星电机的轮毂驱动装置、轮毂、车轮、动力装置及转向节。轮毂驱动装置包括行星电机及行星机构。

行星电机用于提供驱动轮毂转动的第一动力。行星电机包括齿圈定子及设于齿圈定子的径向内侧的多个行星转子。具体的，齿圈定子沿着圆周方向布置成多个极区域，每个极区域内的线圈整距布置。齿圈定子可以固定连接在转向节内。

进一步地，齿圈定子由定子铁芯及线圈组成，定子铁芯的内圈设有多个间隔设置的凸齿，每相邻两个凸齿之间形成齿槽，线圈缠绕在凸齿上，并且嵌入齿槽内，并且每个线圈对应一个凸齿，以构成一相，每个极区域内的线圈的数量与凸齿的数量相同。

进一步地，齿圈定子的各相绕组由各个极区域的各相对应的线圈串联或并联构成，并且每两相相邻绕组同时通电，并流过相同大小的电流。

进一步地，各相绕组与电力电子装置电连接，并且由电力电子装置给各相绕组按次序供电，当两相线圈通电时，行星转子上会产生磁拉力，并且磁拉力总是使得行星转子向着总磁路磁阻最小的位置运动。

具体的，行星转子为无磁趋向性的导磁圆柱体，并且多个行星转子沿齿圈定子的内周缘布置，其中，行星转子的数量与齿圈定子的极区域数量及行星齿轮的数量均相同。

进一步地，行星转子内嵌入有磁钢，以增加行星转子的转矩密度。

行星机构用于匹配行星电机与轮毂的转速和转矩。行星机构包括行星架、齿圈及多个行星齿轮。

多个行星齿轮设于齿圈径向内侧，并且呈环形分布。多个行星齿轮均与齿圈相啮合，使多个行星齿轮沿齿圈的内周缘可滚动。具体的，齿圈定子与齿圈连接。齿圈及齿圈定子均固定连接在转向节内。

多个行星齿轮分别与多个行星转子一一对应设置，并且多个行星齿轮分别与多个行星转

子共轴连接，以使每个行星齿轮与对应的行星转子共轴同步转动。

多个行星齿轮分别通过转轴与行星架可转动连接，使行星架随着多个行星齿轮相对于齿圈滚动而转动。

其中，当行星电机给车轮提供动力时，行星架为动力的输出端，并且行星架用于带动轮毂转动，行星转子驱动行星齿轮转动，行星齿轮与齿圈相啮合而沿齿圈滚动，从而带动行星架转动。

需要说明的是，齿圈定子及行星转子分别与齿圈及行星齿轮可拆卸地固定连接，或者，齿圈定子及行星转子分别与齿圈及行星齿轮一体成型。

进一步地，轮毂驱动装置还包括位置传感器，位置传感器设于行星架上，用于感测行星转子的位置。

轮毂与行星架固定连接。车轮与轮毂固定连接，并且随着轮毂一起转动。动力装置用于提供驱动轮毂转动的第二动力。转向节，用于支撑行星电机、动力装置、行星机构及轮毂，并用于与悬架装置和转向装置相连接。优选地，轮毂驱动装置还包括轮毂轴承，轮毂轴承固定在转向节上，并且套设在轮毂的转轴上，用于支撑轮毂。

动力装置可以为电机、发动机等，例如，当动力装置为电机时，行星机构还包括太阳轮，太阳轮位于多个行星齿轮的中间位置，并且与多个行星齿轮相啮合；动力装置安装在多个行星转子的中间，并且电机的转子与太阳轮共轴连接，使太阳轮随着电机的转子一起转动。当动力装置给车轮提供动力时，动力装置驱动太阳轮转动，太阳轮与行星齿轮相啮合而带动行星齿轮转动，行星齿轮与齿圈相啮合而沿齿圈滚动，从而带动行星架转动。电机的转子与太阳轮可拆卸地固定连接，或者，电机的转子与太阳轮一体成型。当动力装置为发动机，发动机可通过传动轴直接驱动轮毂转动。

需要说明是，上述轮毂驱动装置可以应用于电动动力的车轮动力系统中，也可以应用于混合动力的车轮动力系统中。

下面结合图示的实施例来说明上述车轮动力系统。

图 1、图 2 及图 3 分别是本发明一具体实施例的剖视示意图、内侧轴的局部示意图和外侧轴的局部示意图。请参阅图 1 至图 3，本发明的实施例一的车轮动力系统 100 包括行星电机 110（行星电机 100 为第一电机）、第二电机 120、行星机构 130、轮毂单元 140、转向节 150 及车轮 160。轮毂单元 140 包括轮毂 141 及套设在轮毂 141 的转轴上的轮毂轴承 143。

行星电机 110 用于提供驱动车轮 160 的第一动力，包括齿圈定子 111 及布置在齿圈定子 111 的径向内侧的多个行星转子 113。第二电机 120，用于提供车轮 160 的第二动力，其包括第二定子 121 和第二转子 123。行星机构 130，用于匹配行星电机 110 及第二电机 120 与车轮

160 的转速和转矩，行星机构 130 包括太阳轮 131、行星架 133、齿圈 135 和多个行星齿轮 137。轮毂 141，用于支撑和连接行星架 133 和车轮 160。轮毂轴承 143，用于支撑轮毂 141 旋转。转向节 150，用于支撑行星电机 110、第二电机 120、行星机构 130 和轮毂轴承 143，并与悬架装置（未示出）和转向装置（未示出）相连接。

第二电机 120 的第二定子 121 固接在转向节 150 内，第二转子 123 与行星机构 130 的太阳轮 131 相连接。行星机构 130 的太阳轮 131 与多个行星齿轮 137 相啮合，多个行星齿轮 137 可旋转地支撑在行星架 133 上，齿圈 135 固接在转向节 150 内。行星电机 110 的多个行星转子 113 分别与行星机构 130 的多个行星齿轮 137 固接，行星电机 110 的齿圈定子 111 固接在转向节 150 内，行星机构 130 的行星架 133 与轮毂 141 相连接，轮毂 141 支撑在轮毂轴承 143 上。

图 4 是行星电机 110 和行星机构 130 的转动示意图。请参阅图 4 在图示的实施例中，行星机构 130 采用的是太阳轮 131 输入，齿圈 135 固定，行星架 133 输出的减速增矩结构，可以实现的传动比为 1+K（K 是行星排的特征参数）。如果太阳轮 131 的转速为 nt，则行星架 133 的转速 nj 为 nt/(1+K)，行星齿轮 137 的转速 nx 为（3K-1）nt/（K^2-1）。由于行星齿轮 137 和行星转子 113 固接，因此，行星转子 113 的转速 nr 等于行星齿轮 137 的转速 nx，也为（3K-1）nt/（K^2-1）。

图 5 是行星电机 110 的齿圈定子 111 和行星转子 113 的结构示意图。请参阅图 5，在图示的实施例中，行星电机 110 的齿圈定子 111 与行星机构 130 的齿圈 135 连接，齿圈定子 111 由定子铁芯 1111 和线圈 1113 组成。定子铁芯 1111 的内圈设有多个间隔设置的凸齿 1111a，每相邻两个凸齿 1111a 之间形成齿槽 1111b。线圈 1113 缠绕在凸齿 1111a 上，并且嵌入齿槽 1111b 内，并且每个线圈 1113 对应一个凸齿 1111a，以构成一相，每个极区域内的线圈 1113 的数量与凸齿 1111a 的数量相同。多个行星转子 113 分布在齿圈定子 111 的内侧，并且与行星机构 130 的行星齿轮 137 连接。

图 5 中的行星转子 113 上没有线圈，采用无趋向导磁材料，可以在转子内嵌入磁钢以增加转矩密度。假设行星转子 113 的个数为 N2 个（如为 6），齿圈定子 111 的凸齿 1111a 的数量（齿槽 1111b 的数量）为 N1 个（如 24），齿圈定子 111 的凸齿 1111a 被平均分配成 N2 个区域，定义为 N2 个极区域。N1 为 N2 的整数倍，设齿圈定子 111 每个极区域下对应 M 个凸齿 1111a（线圈 1113），假设 M 为 4，齿圈定子 111 的每个极区域下的线圈 1113 分别以 Ai、Bi、Ci、Di 表示（i 为 1，2，3，4），定义为齿圈定子 111 的绕组的相数，M 为 N1/N2。齿圈定子 111 的各相绕组由各个极区域下各相对应线圈 1113 串联（或并联）构成。

A 相绕组对应第一个定子极区域的线圈 A1 的正极为 A1+，负极为 A1-，B 相绕组对应第

一个定子极区域的线圈 B1 的正极为 B1+，负极为 B1-，依次类推。行星电机 110 的齿圈定子 111 第一个极区域内的 A1 相线圈产生的磁通从凸齿 A1T 通过，方向为正（从定子向转子方向），B1 相线圈产生的磁通从凸齿 B1T 通过，方向为负（从转子向定子方向），依次类推。

图 6 为行星电机 110 的行星转子 113 在不同位置情况下，齿圈定子 111 的一个极区域下的两相绕组对应线圈 1113（线圈 B1、C1）通电时产生的磁通示意图。图 7 为齿圈定子 111 的两相绕组通电时，转子在不同位置情况下定子绕组磁连/位置/电流关系图。请参阅图 6 和图 7，在图示的实施例中，行星电机 110 的齿圈定子 111 的绕组采用两相绕组两两通电方式，即在绕组通电时，始终是两相相邻的绕组同时通电，流过相同大小的电流。每相绕组（线圈 1113）通电与电流控制有专门的电力电子装置实现。当相邻两相绕组通电时，一相通正电流，另一相通负电流。如果 A1 线圈通正电流 B1 线圈通负电流，可表示为 A1（+）B1（-），此时，行星电机 110 的齿圈定子 111 的第一个极区域内的 A1 相线圈产生的磁通从凸齿 A1T 通过，方向为正（从定子向转子方向），B1 相线圈产生的磁通从凸齿 B1T 通过，方向为负（从转子向定子方向），磁通路径为：凸齿 A1T——气隙——转子——气隙——凸齿 B1T——定子轭部（连接凸齿 A1T 和凸齿 B1T 的磁路。

整个磁路的磁阻如下：

齿圈定子 111 的两个相邻近凸齿之间的轭部磁阻为 Rl；

齿圈定子 111 的两个凸齿部磁路磁阻分别为 Rt1、Rt2；

齿圈定子 111 的两个凸齿部对应的气隙磁路分别为 Rg1、Rg2；

行星转子 113 通过磁通的磁路磁阻为 Rr；

齿圈定子 111 的两相邻线圈通电的磁路总磁阻为：

$$Rfi=Rl+Rt1+Rt2+Rg1+Rg2+Rr \quad (1)$$

Rg1、Rg2、Rr 与行星转子 113 位置有关，行星转子 113 离齿圈定子 111 的内侧最近点与齿圈定子 111 的每个确定位置（如 A1、B1 相线圈共用槽的中心线）的相对位置角度（θ）对上述磁路的磁阻有很大的影响。

设定行星电机 110 的齿圈定子 111 每个极区域的每相线圈的匝数为 Wp，两个相邻线圈 1113 通电电流为 ip，则上述磁路的总磁势为 2Wp*ip，为简化分析，忽略不经过上述磁路闭合的磁通（称为漏磁通），两个相邻定子线圈 1113 的总磁链近似为：

$$\psi k=4*ip（Wp）^2/ Rfi \quad (2)$$

总电感近似为：

$$Lab=4（Wp）^2/ Rfi \quad (3)$$

显然，总磁链和总电感与转子位置有关。

当两相线圈 1113 通电时，行星转子 113 上会产生磁拉力，该磁拉力总是使得行星转子 113 向着总磁路磁阻最小的位置运动。因此，存在着一个位置，在该两相线圈 1113 通电时，星转子 113 处于平衡状态，如果在该位置前，改变通电的线圈 1113，可以使星转子 113 保持继续运动。由于行星转子 113 固定在行星架 133 上，行星转子 113 的运动围绕行星齿轮 137 中心呈滚动运动。

在两相邻线圈 1113 通电的情况下，行星转子 113 受到的磁拉力为：

$$T_{em}=\frac{\partial W_C(\theta,i_k)}{\partial\theta}=\frac{\partial}{\partial\theta}\int_0^{i_k}\varphi_k di_k \qquad (4)$$

其中 ψk 与星转子 113 的位置 θ 和两相电流 ik 有关。

由上分析可知，采用电流控制，行星电机 110 具有很好的恒功率特性。

图 8 为齿圈定子绕组与电力电子装置的连接示意图；图 9 为齿圈定子绕组的一个极区域的各相线圈 1113 的通电次序示意图；图 10 是齿圈定子绕组依次通电，行星转子受力做滚动运动的示意图。请参阅图 8 至图 10，在图示的实施例中，在通电一个周期内，行星转子 113 转过一个齿圈定子 111 的一个极区域，如所示，分别为 A1（+）B1（-）——B1（-）C1（+）——C1（+）D1（-）——D1（-）A（+）——A1（+）B1（-）……,也可以是 A1（+）B1（-）——B1（+）C1（-）——C1（+）D1（-）——D1（+）A（-）——A1（+）B1（-）……。其中 A1（+）表示 A 相线圈正向通电，A1（-）表示 A 相线圈反向通，A1（+）B1（-）A 相线圈正向通电 B 相线圈反向通电。

每相绕组（线圈 1113）通电与电流控制有专门的电力电子装置实现。为了将行星电机 110 的通电时刻与行星转子 113 位置配合，在本装置的行星架 133 上装配专门的位置传感器，用于感测行星转子 113 的具体位置。

相较于传统的轮毂 141 驱动装置，上述轮毂 141 驱动装置至少具有以下优点：

（1）由行星电机 110 的原理可知，行星电机 110 与常规的以径向力工作的电机有明显的区别，其特征是行星电机 110 的转子为行星轮，磁路短，节能空间，转子运动的磁力主要为径向力，出力大，在功率密度上比一般电机有更大的优势。因此，上述轮毂 141 驱动装置具有较高的功率密度。

（2）上述轮毂 141 驱动装置可采用两个动力来驱动轮毂 141，其中一个动力可由行星电机 110 提供，另外一个可由动力装置提供，并且，行星电机 110 具有多个行星转子 113，由多套线圈分别供电工作，大大提高了工作可靠性和故障安全性。因此，上述轮毂 141 驱动装置可靠性和故障安全性较高。

图 11 是本发明的实施二的具有传动轴的车轮动力系统 100 的剖视图。请参阅图 11，本发

明的实施例二的车轮动力系统 200 为混合动力驱动系统，其与实施例一的车轮动力系统 100 基本相同，其不同之处在于：实施例二的车轮动力系统 200 的动力装置为发动机 220，发动机 220 采用传动轴 270 直接驱动轮毂转动，此时，行星机构 230 省略了太阳轮。

换句话说，实施例二的车轮动力系统 200 包括行星电机 210、行星机构 230、轮毂单元 240、转向节 250 及发动机 220。行星电机 210，用于提供驱动车轮 260 的第一动力，其包括齿圈定子 211 和布置在齿圈定子 211 的径向内侧的多个行星转子 213。行星机构 230，用于匹配行星电机 210 与车轮 260 的转速和转矩，其包括行星架 233、齿圈 235 和多个行星齿轮 237。轮毂单元 240，用于支撑、连接行星架 233 及车轮 260 旋转。轮毂单元 240 包括轮毂及套设在轮毂的转轴上的轮毂轴承。转向节 250，用于支撑行星电机 210、行星机构 230 及轮毂单元 240，并与悬架装置（未示出）和转向装置（未示出）相连接。

多个行星齿轮 237 可旋转地支撑在行星架 233 上，齿圈 235 固接在转向节 250 内，多个行星转子 213 分别与多个行星齿轮 237 固接，齿圈定子 211 固接在转向节 250 内，行星架 233 与轮毂单元 240 相连接，通过传动轴 270 传递来的发动机 220 的动力用于驱动车轮 260 及行星架 233。

以上所述实施例仅表达了本发明的几种实施方式，其描述较为具体和详细，但并不能因此而理解为对本发明专利范围的限制。应当指出的是，对于本领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明构思的前提下，还可以做出若干变形和改进，这些都属于本发明的保护范围。因此，本发明专利的保护范围应以所附权利要求为准。

权利要求书

1、一种具有行星电机的轮毂驱动装置，其特征在于，包括：

行星电机，用于提供驱动轮毂转动的第一动力，所述行星电机包括齿圈定子及设于所述齿圈定子的径向内侧的多个行星转子；及

行星机构，用于匹配所述行星电机与所述轮毂的转速和转矩，所述行星机构包括行星架、齿圈及多个行星齿轮；所述多个行星齿轮设于所述齿圈径向内侧，并且呈环形分布；所述多个行星齿轮均与所述齿圈相啮合，使所述多个行星齿轮沿所述齿圈的内周缘可滚动；所述多个行星齿轮分别与所述多个行星转子一一对应设置，并且所述多个行星齿轮分别与所述多个行星转子共轴连接，以使每个所述行星齿轮与对应的所述行星转子共轴同步转动；所述多个行星齿轮分别通过转轴与所述行星架可转动连接，使所述行星架随着所述多个行星齿轮相对于所述齿圈滚动而转动；

其中，当所述行星电机给所述车轮提供动力时，所述行星架为动力的输出端，并且所述行星架用于带动所述轮毂转动，所述行星转子驱动所述行星齿轮转动，所述行星齿轮与所述齿圈相啮合而沿所述齿圈滚动，从而带动所述行星架转动。

2、如权利要求 1 所述的轮毂驱动装置，其特征在于，所述齿圈定子与所述齿圈连接，并且所述齿圈定子沿着圆周方向布置成多个极区域，每个所述极区域内的线圈整距布置。

3、如权利要求 2 所述的轮毂驱动装置，其特征在于，所述齿圈定子由定子铁芯及线圈组成，所述定子铁芯的内圈设有多个间隔设置的凸齿，每相邻两个所述凸齿之间形成齿槽，所述线圈缠绕在所述凸齿上，并且嵌入所述齿槽内，并且每个所述线圈对应一个所述凸齿，以构成一相，每个所述极区域内的所述线圈的数量与所述凸齿的数量相同。

4、如权利要求 3 所述的轮毂驱动装置，其特征在于，所述齿圈定子的各相绕组由各个所述极区域的各相对应的线圈串联或并联构成，并且每两相相邻绕组同时通电，并且流过相同大小的电流。

5、如权利要求 4 所述的轮毂驱动装置，其特征在于，所述各相绕组与电力电子装置电连接，并且由所述电力电子装置给各相绕组按次序供电，当两相线圈通电时，所述行星转子上会产生磁拉力，并且所述磁拉力总是使得所述行星转子向着总磁路磁阻最小的位置运动。

6、如权利要求 2 所述的轮毂驱动装置，其特征在于，所述行星转子为无磁趋向性的导磁圆柱体，并且所述多个行星转子沿所述齿圈定子的内周缘布置，其中，所述行星转子的数量与所述齿圈定子的极区域数量及所述行星齿轮的数量均相同。

7、如权利要求 6 所述的轮毂驱动装置，其特征在于，所述行星转子内嵌入有磁钢。

8、如权利要求 1 所述的轮毂驱动装置，其特征在于，所述齿圈定子及所述行星转子分别与所述齿圈及所述行星齿轮可拆卸地固定连接，或者，所述齿圈定子及所述行星转子分别与所述齿圈及所述行星齿轮一体成型。

9、如权利要求 1 所述的轮毂驱动装置，其特征在于，还包括位置传感器，所述位置传感器设于所述行星架上，用于感测所述行星转子的位置。

10、一种车轮动力系统，其特征在于包括：

如权利要求 1~9 任一项所述的轮毂驱动装置；

所述轮毂，与所述行星架固定连接；

车轮，与所述轮毂固定连接，并且随着所述轮毂一起转动；

动力装置，用于提供驱动所述轮毂转动的第二动力；及

转向节，用于支撑所述行星电机、所述动力装置、所述行星机构及所述轮毂，并用于与悬架装置和转向装置相连接。

11、如权利要求 10 所述的车轮动力系统，其特征在于，还包括轮毂轴承，所述轮毂轴承固定在所述转向节上，并且套设在所述轮毂的转轴上，用于支撑所述轮毂。

12、如权利要求 10 所述的车轮动力系统，其特征在于，所述行星机构还包括太阳轮，所述太阳轮位于所述多个行星齿轮的中间位置，并且与所述多个行星齿轮相啮合；所述动力装置为电机，所述电机安装在所述多个行星转子的中间，并且所述电机的转子与所述太阳轮共轴连接，使所述太阳轮随着所述电机的转子一起转动；

其中，当所述动力装置给所述车轮提供动力时，所述动力装置驱动所述太阳轮转动，所述太阳轮与所述行星齿轮相啮合而带动所述行星齿轮转动，所述行星齿轮与所述齿圈相啮合而沿所述齿圈滚动，从而带动所述行星架转动。

13、如权利要求 12 所述的车轮动力系统，其特征在于，所述电机的转子与所述太阳轮可拆卸地固定连接，或者，所述电机的转子与所述太阳轮一体成型。

14、如权利要求 10 所述的车轮动力系统，其特征在于，所述动力装置为发动机，所述发动机通过传动轴驱动所述轮毂转动。

15、如权利要求 10 所述的车轮动力系统，其特征在于，所述齿圈及所述齿圈定子均固定连接在所述转向节内。

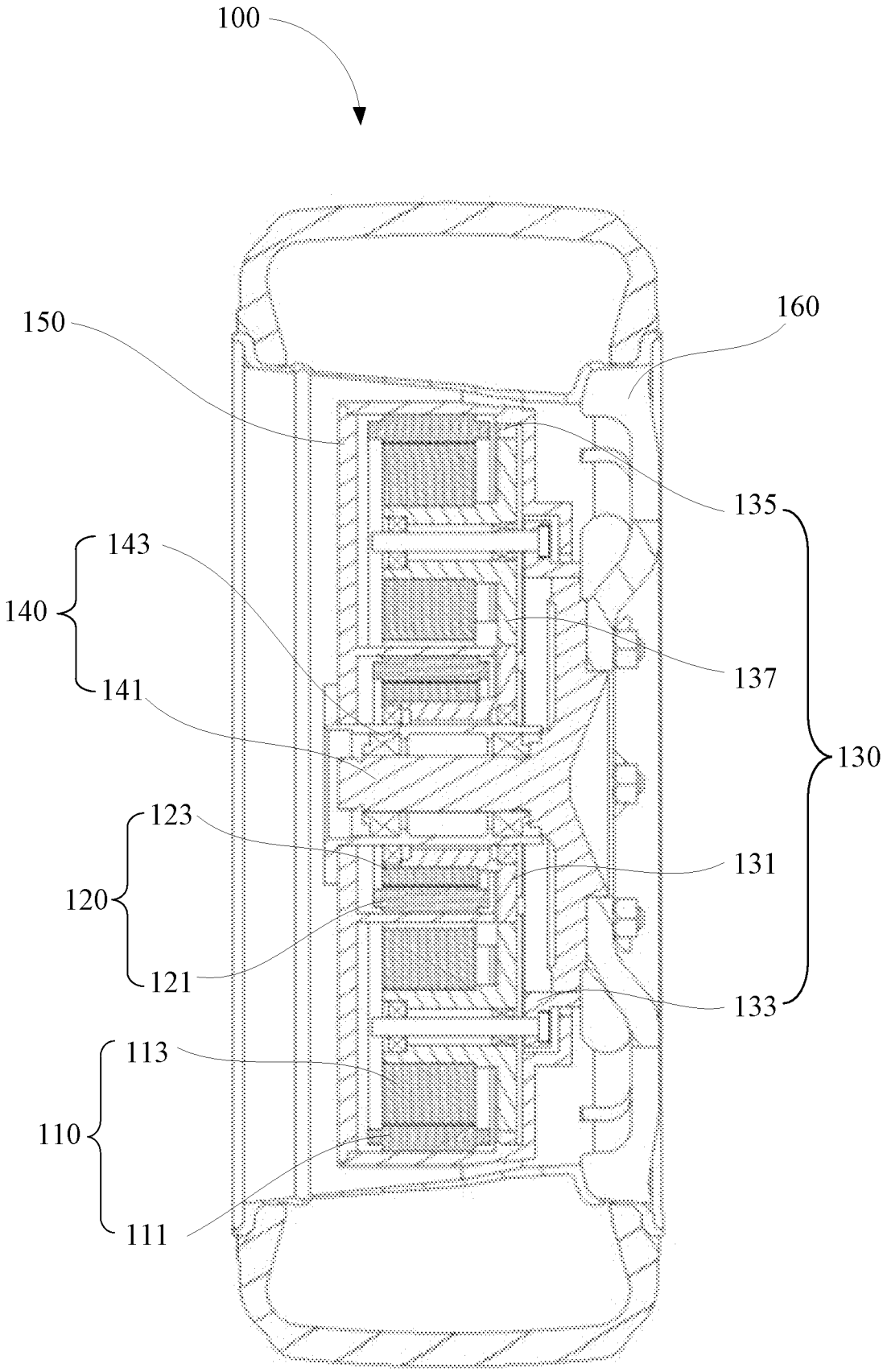

100
150
160
135
143
140
137
141
130
123
131
120
121
133
113
110
111

图 1

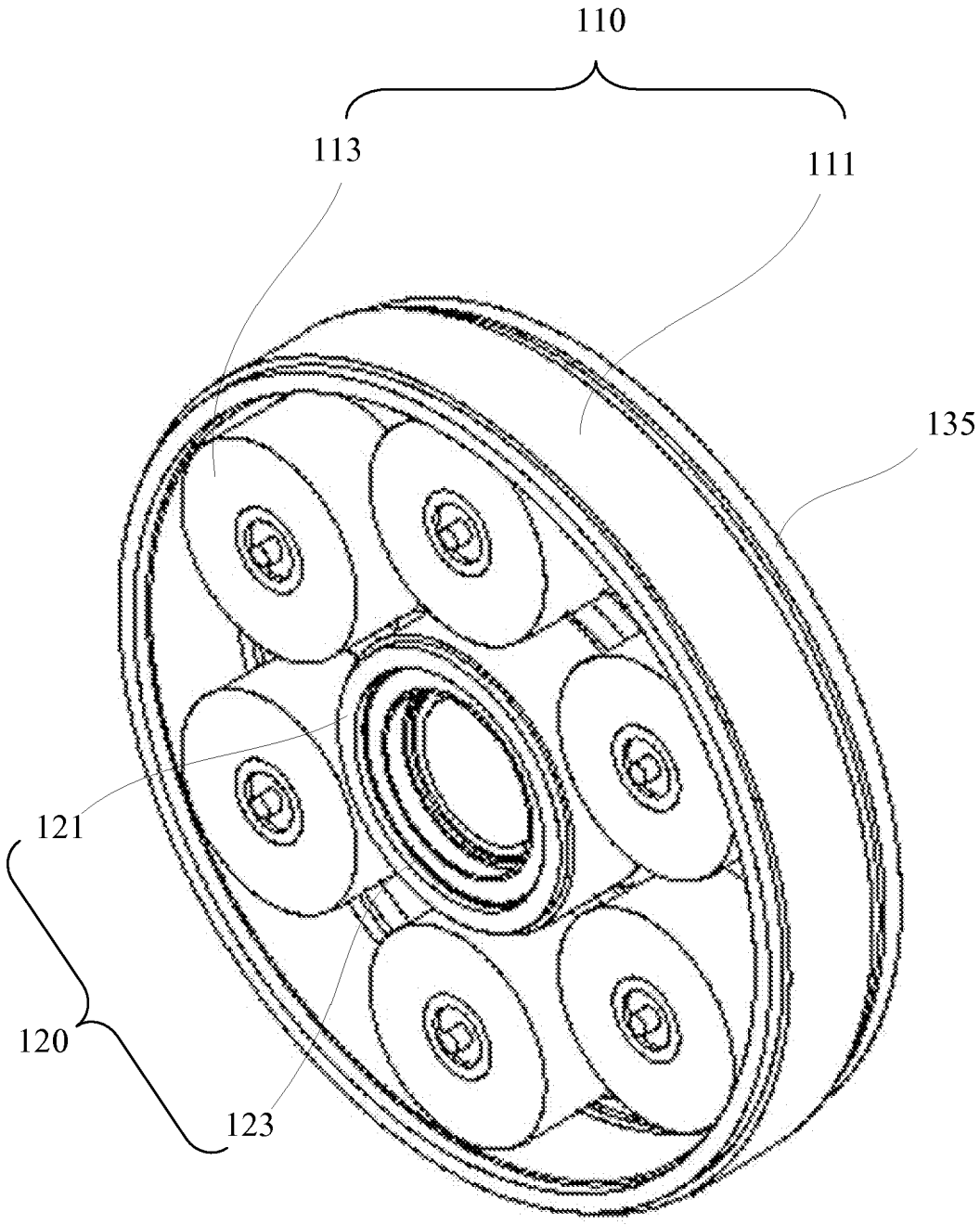


图 2

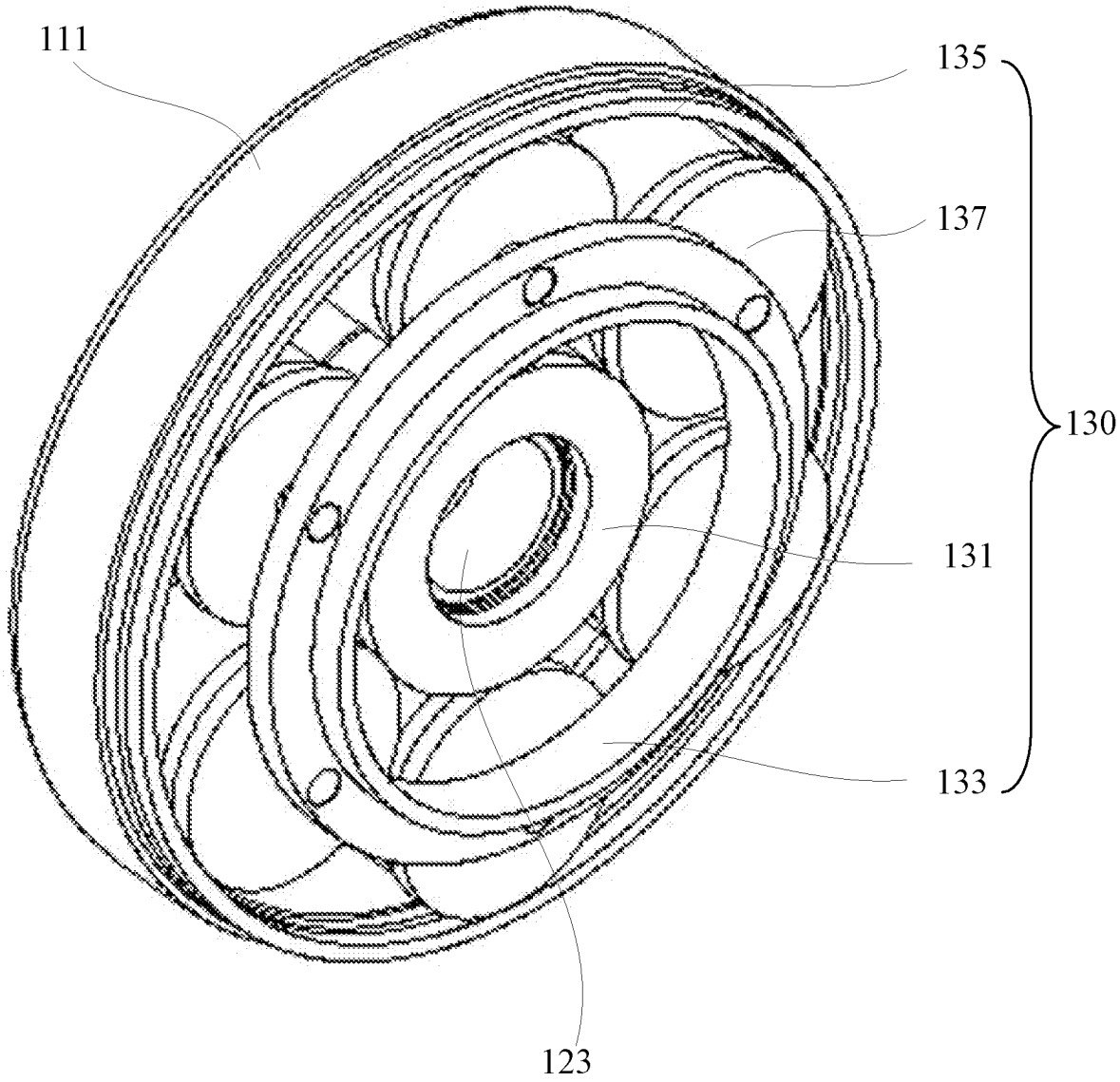


图 3

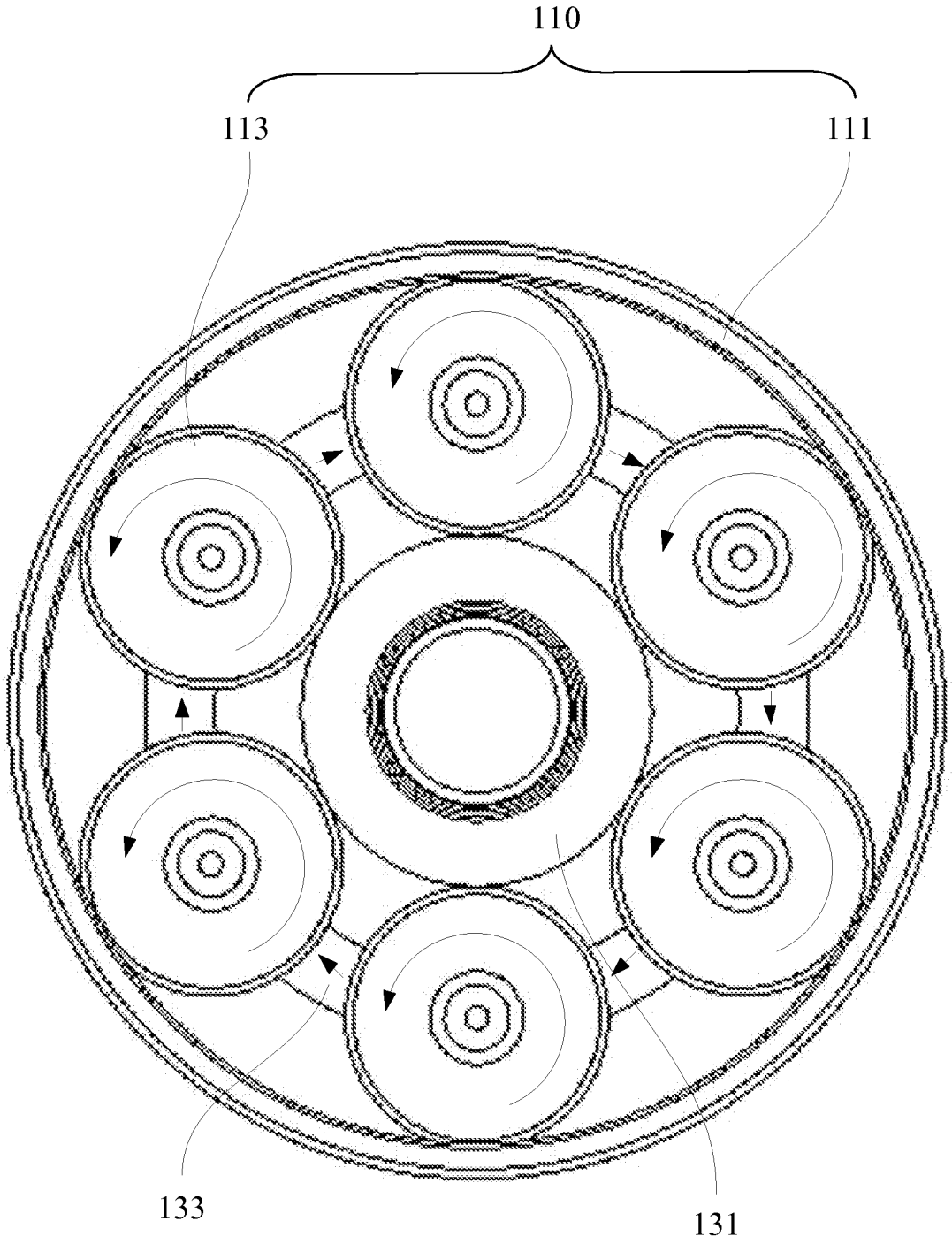


图 4

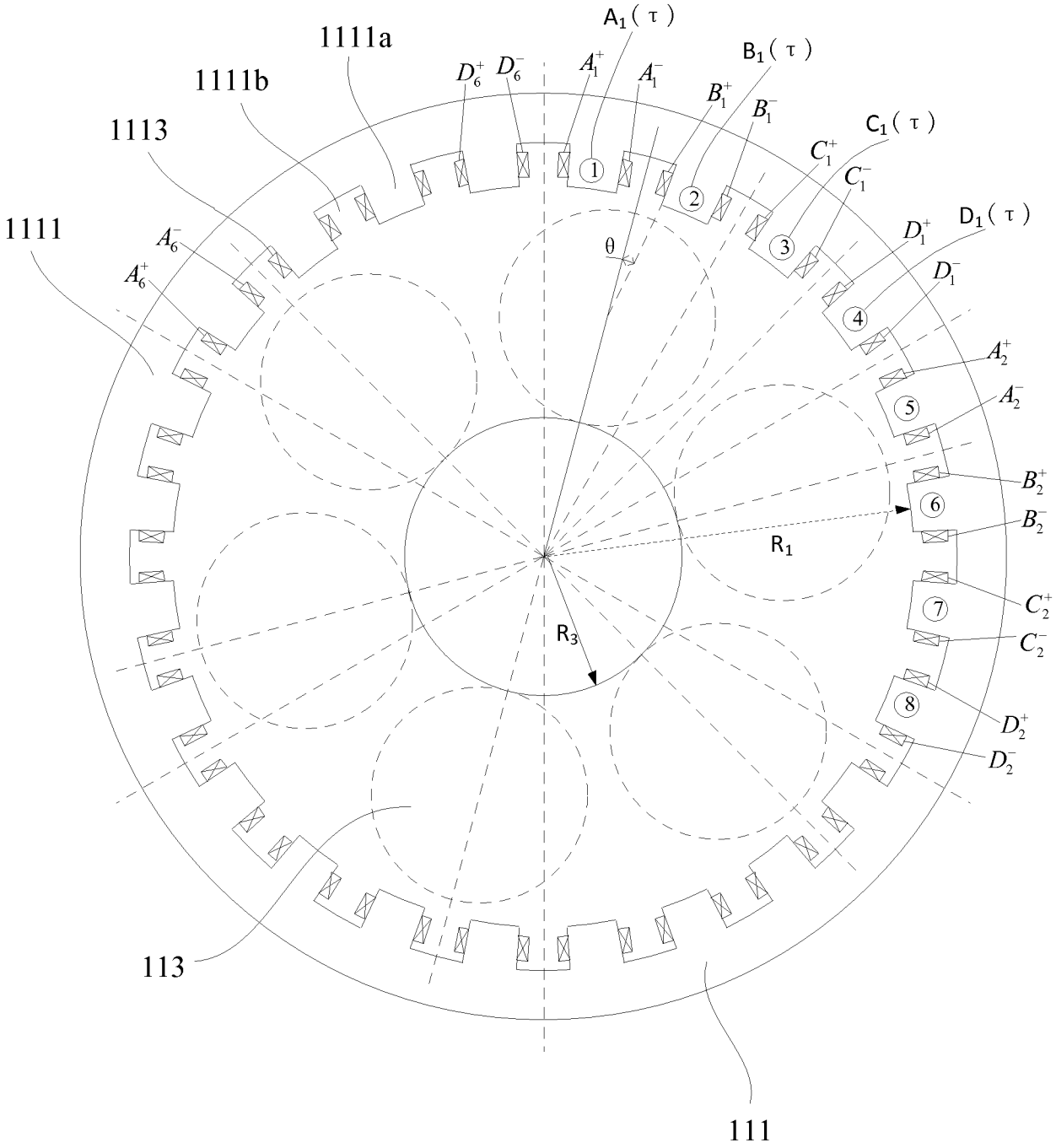


图 5

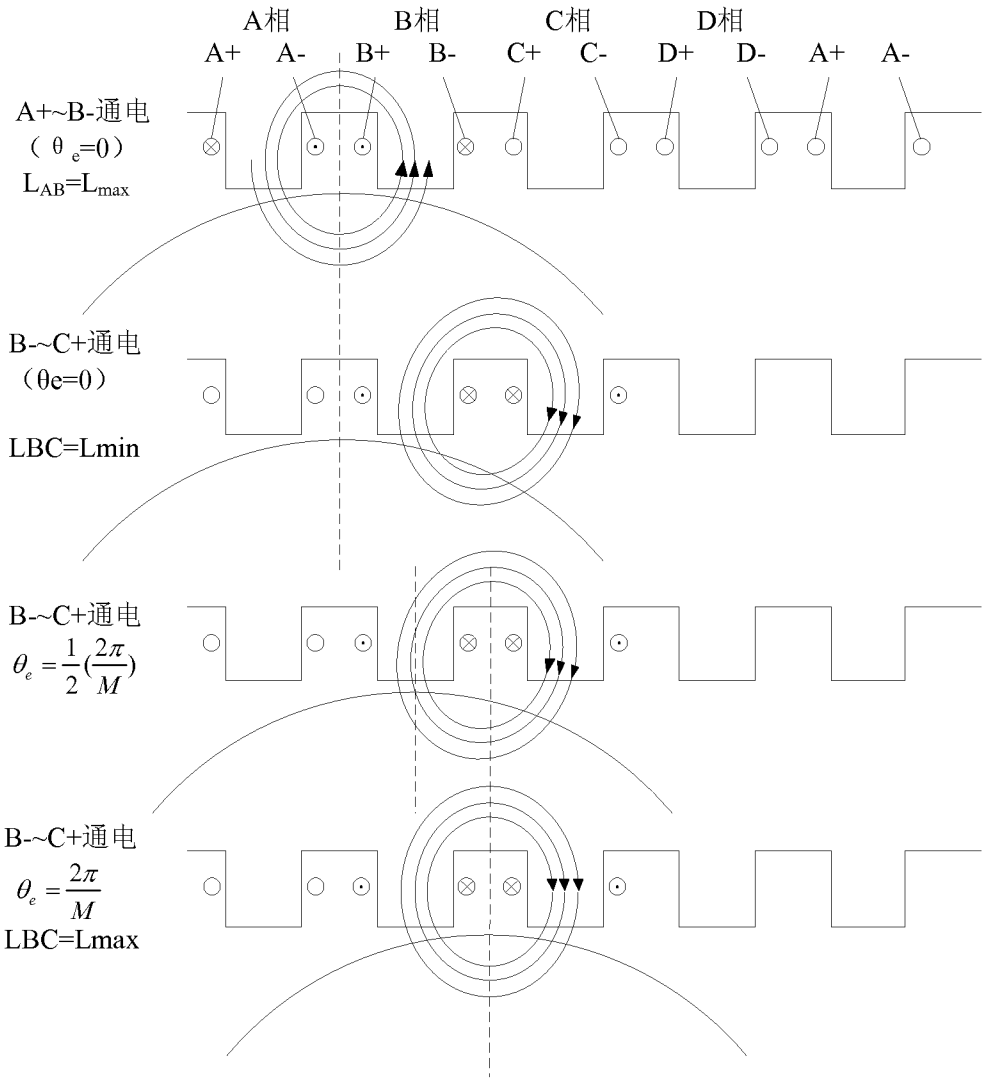

A相
B相
C相
D相
A+
A-
B+
B-
C+
C-
D+
D-
A+
A-
A+~B-通电
（θe=0）
LAB=Lmax
B-~C+通电
（θe=0）
LBC=Lmin
B-~C+通电
θe=1/2(2π/M)
B-~C+通电
θe=2π/M
LBC=Lmax

图 6

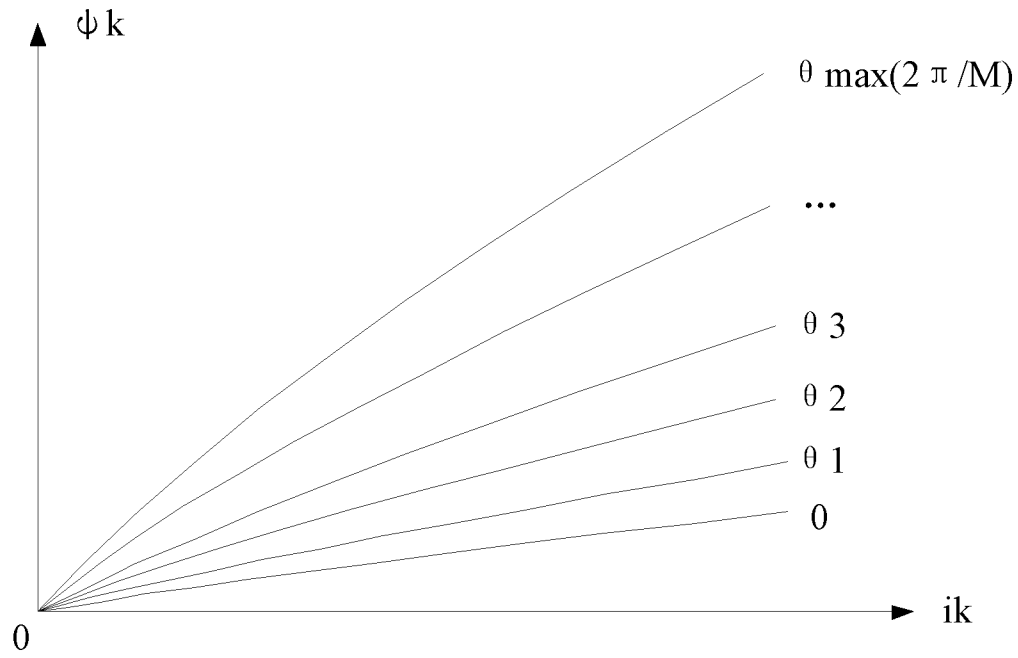


图 7

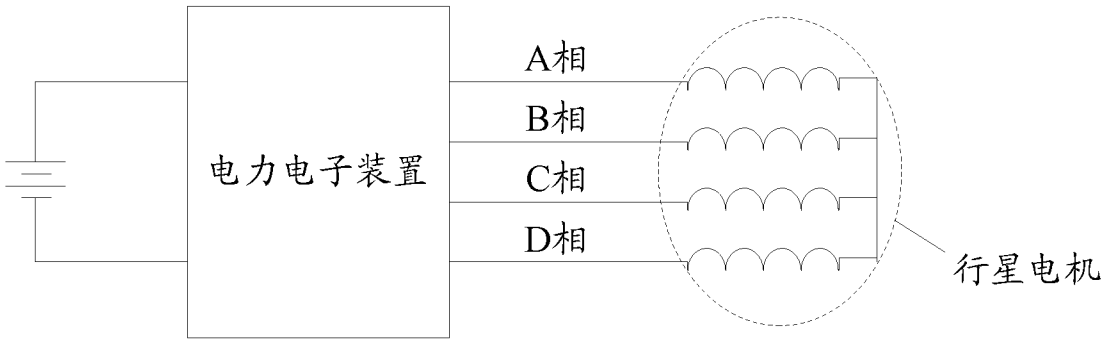


图 8

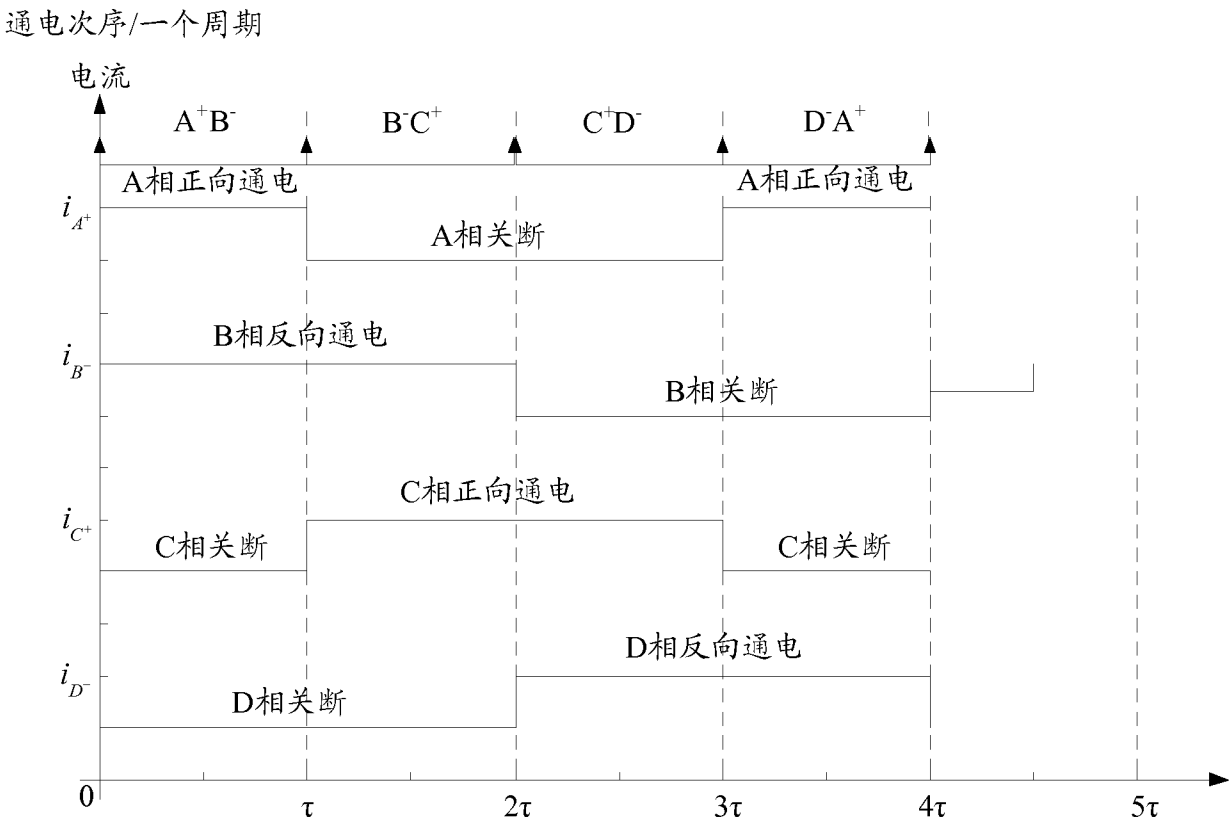

通电次序/一个周期
电流
A+B-
B-C+
C+D-
D-A+
A相正向通电
A相关断
A相正向通电
B相反向通电
B相关断
C相正向通电
C相关断
C相关断
D相反向通电
D相关断
0
τ
2τ
3τ
4τ
5τ

图 9

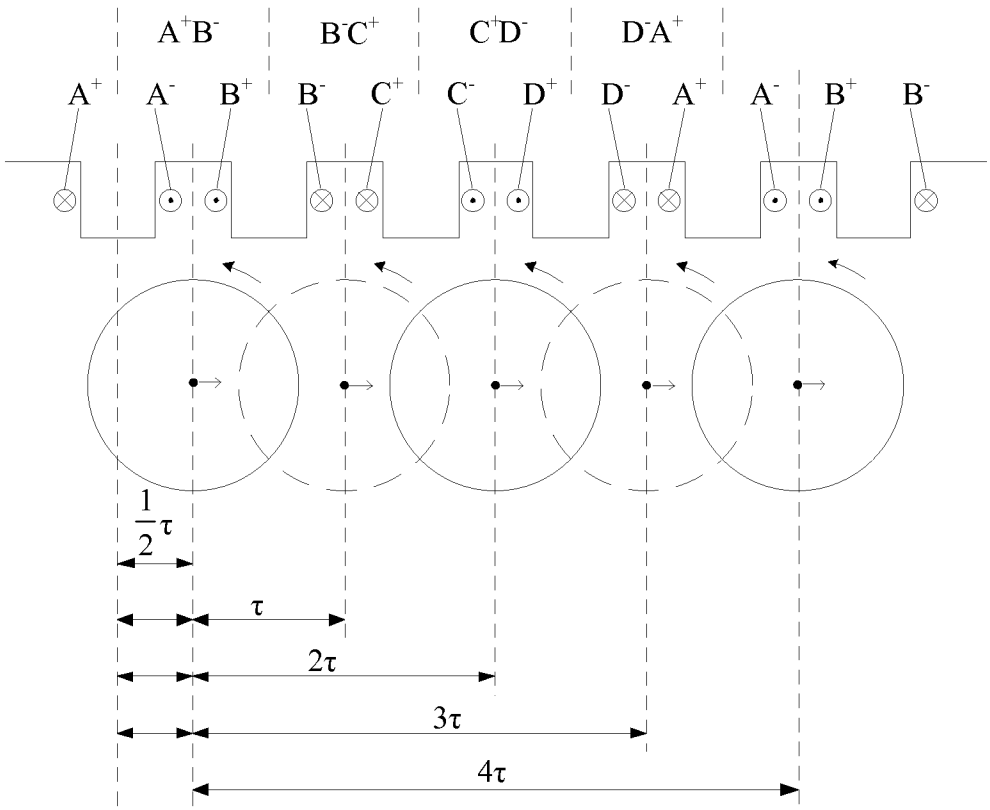


图 10

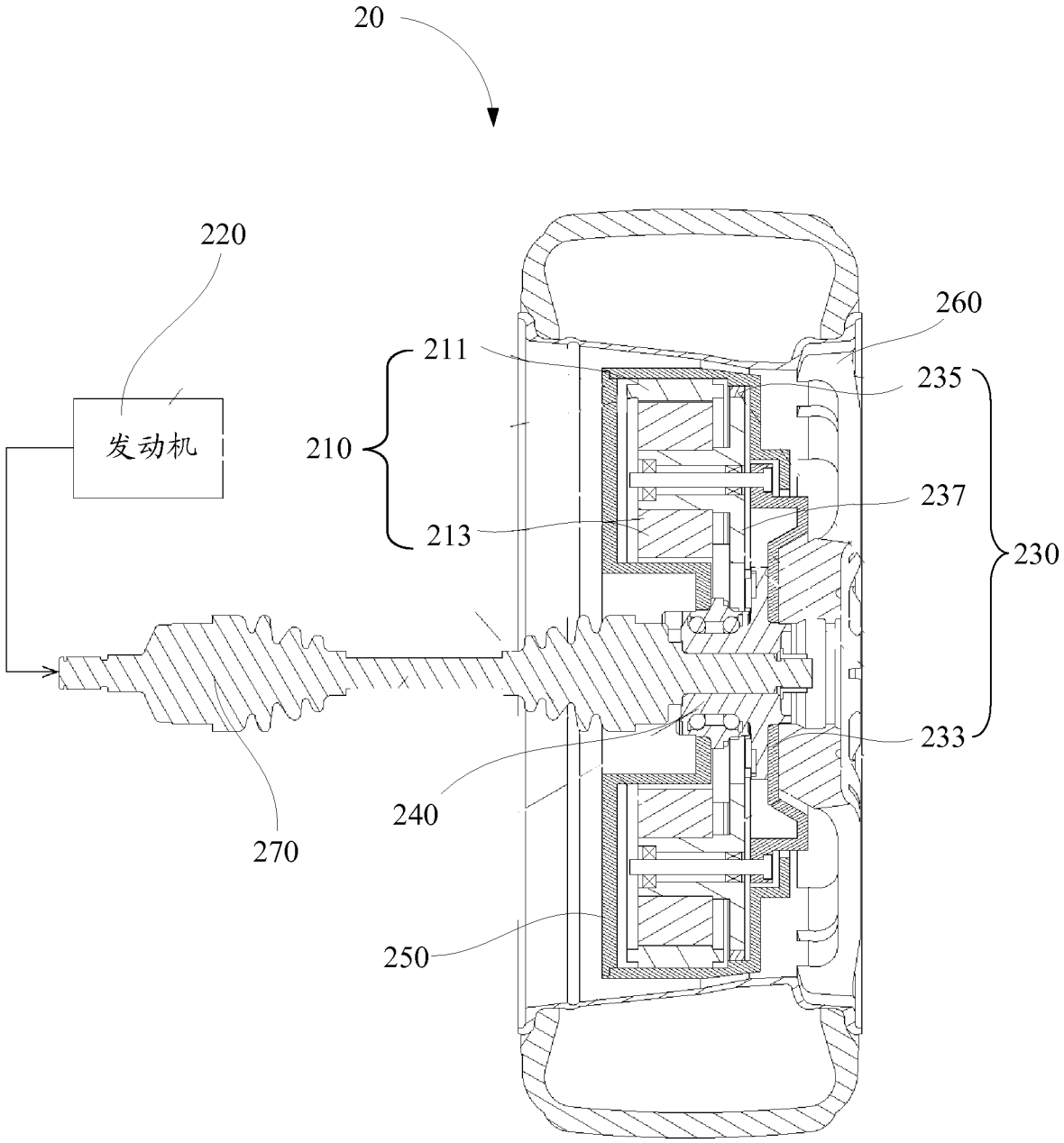


图 11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2013/091150

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B60K 7/00 (2006.01) i; B60K 17/356 (2006.01) i; B60K 17/08 (2006.01) i; F16H 3/44 (2006.01) n

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)

B60K 7/-; B60K 17/-; F16H 3/-

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)

WPI; EPODOC; CNPAT; CNKI: electric motor, wheel rim+in-wheel, planetary mechanism; motor?, hub, (planet w gear?) or (planetary w gear?), stator?, rotor?, (gear w ring), coaxial

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
E	CN 203752887 U (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES et al.), 06 August 2014 (06.08.2014), claims 1-15	1-15
A	CN 103442918 A (VOLVO LASTVAGNAR AB), 11 December 2013 (11.12.2013), the whole document	1-15
A	CN 102139738 A (NIDEC COPAL CORP.), 03 August 2011 (03.08.2011), the whole document	1-15
A	CN 103029563 A (NISSAN MOTOR CO., LTD.), 10 April 2013 (10.04.2013), the whole document	1-15
A	WO 2013/047094 A1 (NTN CORP.), 04 April 2013 (04.04.2013), the whole document	1-15
A	US 2003/0015360 A1 (VILLENEUVE), 23 January 2003(23.01.2003), the whole document	1-15
A	US 2012/0161497 A1 (HE et al.), 28 June 2012 (28.06.2012), the whole document	1-15

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"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)

"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

"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

"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

"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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
11 September 2014 (11.09.2014)	**30 September 2014 (30.09.2014)**
Name and mailing address of the ISA/CN: 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 **CHEN, Biao** Telephone No.: (86-10) **62085430**

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2009)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2013/091150

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 203752887 U	06 August 2014	None	
CN 103442918 A	11 December 2013	WO 2012121629 A1	13 September 2012
		EP 2683568 A1	15 January 2014
		US 2014125205 A1	08 May 2014
CN 102139738 A	03 August 2011	JP 2011156911 A	18 August 2011
		TW 201127693 A	16 August 2011
		CN 201999165 U	05 October 2011
CN 103029563 A	10 April 2013	JP 2013072528 A	22 April 2013
WO 2013/047094 A1	04 April 2013	CN 103874871 A	18 June 2014
		EP 2762751 A1	06 August 2014
		US 2014232175 A1	21 August 2014
		JP 2013072458 A	22 April 2013
US 2003/0015360 A1	23 January 2003	GB 2377679 A	22 January 2003
		DE 10231565 A1	06 February 2003
		JP 2003094957 A	03 April 2003
US 2012/0161497 A1	28 June 2012	None	

国际检索报告

国际申请号 PCT/CN2013/091150

A. 主题的分类

B60K 7/00(2006.01)i；B60K 17/356(2006.01)i；B60K 17/08(2006.01)i；F16H 3/44(2006.01)n

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)

B60K7/-；B60K17/-；F16H3/-

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））

WPI；EPODOC；CNPAT；CNKI：电机+电动机+马达，轮毂+轮边+轮内，行星齿轮+行星机构，定子，转子，齿圈，共轴+同轴； motor?, hub, (planet w gear?) or (planetary w gear?), stator?, rotor?, (gear w ring), coaxial

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
E	CN 203752887 U（中国科学院深圳先进技术研究院等）2014年 8月 06日（2014-08-06） 权利要求1-15	1-15
A	CN 103442918 A（沃尔沃拉斯特瓦格纳公司）2013年 12月 11日（2013-12-11） 全文	1-15
A	CN 102139738 A（日本电产科宝株式会社）2011年 8月 03日（2011-08-03） 全文	1-15
A	CN 103029563 A（日产自动车株式会社）2013年 4月 10日（2013-04-10） 全文	1-15
A	WO 2013/047094 A1（NTN株式会社）2013年 4月 04日（2013-04-04） 全文	1-15
A	US 2003/0015360 A1（VILLENEUVE）2003年 1月 23日（2003-01-23） 全文	1-15
A	US 2012/0161497 A1（HE等）2012年 6月 28日（2012-06-28） 全文	1-15

☐ 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	国际检索报告邮寄日期
2014年 9月 11日	2014年 9月 30日

ISA/CN的名称和邮寄地址	受权官员
中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 中国	陈飚
传真号 (86-10)62019451	电话号码 (86-10)62085430

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2013/091150

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	203752887	U	2014年 8月 06日	无			
CN	103442918	A	2013年 12月 11日	WO	2012121629	A1	2012年 9月 13日
				EP	2683568	A1	2014年 1月 15日
				US	2014125205	A1	2014年 5月 08日
CN	102139738	A	2011年 8月 03日	JP	2011156911	A	2011年 8月 18日
				TW	201127693	A	2011年 8月 16日
				CN	201999165	U	2011年 10月 05日
CN	103029563	A	2013年 4月 10日	JP	2013072528	A	2013年 4月 22日
WO	2013/047094	A1	2013年 4月 04日	CN	103874871	A	2014年 6月 18日
				EP	2762751	A1	2014年 8月 06日
				US	2014232175	A1	2014年 8月 21日
				JP	2013072458	A	2013年 4月 22日
US	2003/0015360	A1	2003年 1月 23日	GB	2377679	A	2003年 1月 22日
				DE	10231565	A1	2003年 2月 06日
				JP	2003094957	A	2003年 4月 03日
US	2012/0161497	A1	2012年 6月 28日	无			