(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 102013786 A
(43)申请公布日 2011.04.13

(21)申请号 201010584004.0

(22)申请日 2010.12.13

(71)申请人 东南大学
地址 210096 江苏省南京市四牌楼 2 号

(72)发明人 程明 曹瑞武 花为

(74)专利代理机构 南京天翼专利代理有限责任公司 32112
代理人 汤志武 王鹏翔

(51)Int.Cl.
H02K 41/03(2006.01)

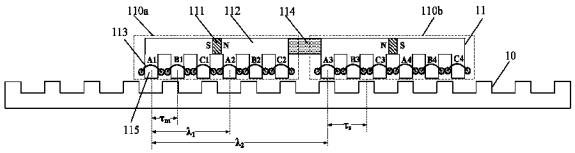
权利要求书 1 页 说明书 4 页 附图 1 页

(54)发明名称

模块化互补型初级永磁直线电机及由其构成的电机模组

(57)摘要

本发明公开了模块化互补型初级永磁直线电机及由其构成的电机模组，包括初级和次级，初级和次级均为凸极结构，且两者之间具有气隙，初级包括动子模块，动子模块包括第一模块和第二模块，且两者之间设有第一非导磁材料；第一模块及第二模块均包括两个凸极导磁材料和设置在两凸极导磁材料之间的永磁体，凸极导磁材料设有 m 个初级齿，初级齿上设有集中电枢绕组；第一模块和第二模块的相对位移为 $\lambda_2=(k\pm0.5)\tau_s$，相邻两凸极导磁材料之间的相对位移为 $\lambda_1=m*\tau_m$，初级极距和次级极距之比为 $\tau_m/\tau_s=(m\pm1)/m$。本发明具有反电势对称、定位力较小和推力波动小等优点，适合于长定子结构直线电机应用场合。



CN 102013786 A

1. 模块化互补型初级永磁直线电机，包括初级 (11) 和次级 (10)，所述初级 (11) 和次级 (10) 均为凸极结构，且两者之间具有气隙，其特征在于，

所述初级 (11) 包括动子模块 (110)，所述动子模块 (110) 包括第一模块 (110a) 和第二模块 (110b)，且两者之间设有第一非导磁材料 (114)；

所述第一模块 (110a) 及第二模块 (110b) 均包括两个凸极导磁材料 (112) 和设置在两凸极导磁材料 (112) 之间的永磁体 (111)，所述凸极导磁材料 (112) 设有 m 个初级齿 (115)，所述初级齿 (115) 上设有集中电枢绕组 (113)；

所述第一模块 (110a) 和第二模块 (110b) 的相对位移为 $\lambda_2 = (k \pm 0.5)\tau_s$，

相邻两凸极导磁材料 (112) 之间的相对位移为 $\lambda_1 = m^* \tau_m$，

初级极距和次级极距之比为 $\tau_m / \tau_s = (m \pm 1)/m$，

其中，τ_m 为初级极距，τ_s 为次级极距，m 为电机的相数，k 为正整数。

2. 根据权利要求 1 所述的模块化互补型初级永磁直线电机，其特征在于，所述第一模块 (110a) 及第二模块 (110b) 中同相的集中电枢绕组 (113) 分别相互串联在一起组成第一模块集中绕组及第二模块集中绕组，所述第一模块集中绕组与第二模块集中绕组相互串联组成集中绕组。

3. 根据权利要求 1 所述的模块化互补型初级永磁直线电机，其特征在于，所述初级齿 (115) 及次级 (10) 均为直槽或斜槽结构。

4. 根据权利要求 1 所述的模块化互补型初级永磁直线电机，其特征在于，所述次级 (10) 仅为导磁材料。

5. 根据权利要求 1 所述的模块化互补型初级永磁直线电机，其特征在于，所述相邻两个永磁体 (111) 采用交替平行充磁。

6. 根据权利要求 1 所述的模块化互补型初级永磁直线电机，其特征在于，所述模块化互补型初级永磁直线电机是单边平板结构、双边平板结构或圆筒型结构。

7. 根据权利要求 1 所述的模块化互补型初级永磁直线电机，其特征在于，所述模块化互补型初级永磁直线电机是电动机或发电机。

8. 由权利要求 1 ～ 7 所述的模块化互补型初级永磁直线电机构成的电机模组，其特征在于，包括 n 个动子模块 (110)，且相邻两动子模块 (110) 之间设有第二非导磁材料 (116)，n 为正整数。

9. 根据权利要求 8 所述的电机模组，其特征在于，所述 n 个动子模块 (110) 中同相的集中绕组相互串联组成一个电机或并联单独控制。

模块化互补型初级永磁直线电机及由其构成的电机模组

技术领域

[0001] 本发明涉及的是初级永磁直线电机，具体涉及的是模块化互补型初级永磁直线电机及由其构成的电机模组，属于电机制造技术领域。

背景技术

[0002] 随着工业的发展，直线电机得到广泛的应用。 采用直线电机驱动可以省去传统的旋转电机，把旋转运动转换为直线运动的机械齿轮。 可以降低成本，较小噪声，降低系统体积，减低维护成本。 特别在轨道交通应用中，采用旋转电机驱动时，其驱动力是通过车轮和铁轨之间的黏着力产生，速度过高及减速时会出现轮轨滑动等问题。 因此，采用直线电机代替旋转电机这一技术手段，可以克服旋转电机在此应用场合中的上述缺点，提高整个系统的效率。

[0003] 我国是稀土永磁大国，随着电力电子和磁性材料的发展，永磁无刷电机得到迅速的发展。 此类电机具有高效率、高功率密度等优点。 其相应的直线结构也被广泛研究。 传统的永磁直线同步电机兼有永磁电机和直线电机的双重优点。 与直线感应电机相比，永磁直线同步电机的推力密度高、体积小、重量轻，且具有发电制动功能。 然而，由于传统的永磁电机的永磁体和电枢绕组分别安装在初级和次级，而永磁体和电枢的成本都较高，在如轨道交通等长次级应用场合中无疑导致系统成本增加。

[0004] 目前，国际上研究比较热点的永磁电机（DSPM 电机）具有较高的功率密度，其永磁体和电枢绕组均放置在定子上，转子无绕组、无电刷、无永磁体，仅为导磁铁心材料，具有功率密度高，结构简单，易于散热，高可靠性等优点。 对其直线结构而言，可以把旋转结构的定子作为初级动子，由永磁体和绕组组成，而旋转结构的动子作为次级长定子，仅由导磁性材料组成，因此，此结构电机在长定子应用场合可以大大降低系统成本。 然而，传统的直线电机需要增加辅助齿和永磁体来平衡端部相绕组的磁路，同时具有反电势波形非对称，定位力大的缺点，导致电机具有较大的推力波动。 因此影响该结构直线电机的动态性能。

发明内容

[0005] 针对现有技术上存在的不足，本发明目的是在于提供反电势波形对称且定位力小的模块化互补型初级永磁直线电机及由其构成的电机模组，使得电机具有较小的推力波动、永磁体利用率高和系统容错性能高等优点。

[0006] 为了实现上述目的，本发明是通过如下的技术方案来实现：

[0007] 本发明的初级永磁直线电机包括初级和次级，初级和次级均为凸极结构，且两者之间具有气隙，初级包括动子模块，动子模块包括第一模块和第二模块，且两者之间设有第一非导磁材料；第一模块及第二模块均包括两个凸极导磁材料和设置在两凸极导磁材料之间的永磁体，凸极导磁材料设有 m 个初级齿，初级齿上设有集中电枢绕组；第一模块和第二模块的相对位移为 $\lambda_2 = (k \pm 0.5)\tau_s$，相邻两凸极导磁材料之间的相对位移

为 $\lambda_1 = m^* \tau_m$，初级极距和次级极距之比为 $\tau_m / \tau_s = (m \pm 1)/m$，其中，$\tau_m$ 为初级极距，τ_s 为次级极距，m 为电机的相数，k 为正整数。

[0008] 上述第一模块及第二模块中同相的集中电枢绕组分别相互串联在一起组成第一模块集中绕组及第二模块集中绕组，第一模块集中绕组与第二模块集中绕组相互串联组成集中绕组。 即两模块中同相的集中电枢绕组串联组成一相。

[0009] 上述初级齿及次级均为直槽或斜槽结构。 为直槽时可以得到较对称的梯形波，斜槽时可以得到正弦波。

[0010] 上述次级仅为导磁材料。 导磁材料价格便宜，使得本发明特别适用于如轨道交通、高层楼房电梯等长定子应用场合，可以大大降低系统的成本。

[0011] 上述相邻两个永磁体采用交替平行充磁。

[0012] 初级两模块相对位移的互补性，保证了两部分定位力波形有 180° 相位差，且变化趋势相反，因此两部分合成的定位力被大大削弱甚至抵消。

[0013] 上述模块化互补型初级永磁直线电机是单边平板结构、双边平板结构或圆筒型结构。

[0014] 上述模块化互补型初级永磁直线电机可以运行在电动机或发电机状态。

[0015] 本发明由初级永磁直线电机构成的电机模组，包括 n 个动子模块，且相邻两动子模块之间设有第二非导磁材料，n 为正整数。

[0016] 上述 n 个动子模块中同相的集中绕组相互串联组成一个电机或并联单独控制。从而增加了系统的容错能力。

[0017] 本发明不需要附加齿和附加永磁体来平衡端部绕组的磁路，节省材料，降低初级质量和长度；且具有反电势对称、定位力较小、推力波动小、气隙的磁通密度大、输出推力较强、功率密度较高、效率较高、模块化设计、工艺简单、长次级应用场合电机成本低等优点。 本发明特别适合于长定子结构直线电机应用场合，例如城市轨道交通直线电机、工厂运输传动设备、高层楼房电梯等直线驱动场合。

附图说明

[0018] 下面结合附图和具体实施方式来详细说明本发明；

[0019] 图 1 为本发明模块化互补型初级永磁直线电机的结构示意图；

[0020] 图 2 为本发明电机模组的结构示意图。

具体实施方式

[0021] 为使本发明实现的技术手段、创作特征、达成目的与功效易于明白了解，下面结合具体实施方式，进一步阐述本发明。

[0022] 参见图 1 和图 2，本发明的初级永磁直线电机包括初级 11 和次级 10，初级 11 和次级 10 均为凸极结构，且两者之间具有气隙，其中，次级 10 上既无永磁体也无绕组，仅仅由价格较低的导磁材料组成，使得本发明特别适用于如轨道交通和高层楼房电梯等长定子应用场合，可以大大降低系统的成本。

[0023] 初级 11 包括动子模块 110，动子模块 110 包括第一模块 110a 和第二模块 110b，第一模块 110a 与第二模块 110b 之间设有第一非导磁材料 114，第一模块 110a 及第二模块

110b 均包括两个凸极导磁材料 112 和设置在凸极导磁材料 112 之间的永磁体 111。

[0024] 参见图 1，本实施例中，m 为电机的相数，取 m = 3，即电机具有 A、B、C 三相，所以凸极导磁材料 112 有 3 个初级齿 115，初级齿 115 为直槽或斜槽，每个初级齿 115 上设有集中电枢绕组 113。所以第一模块 110a 及第二模块 110b 均包括一个永磁体 111、两个凸极导磁材料 112 和六个集中电枢绕组 113。

[0025] 第一模块 110a 和第二模块 110b 结构相同，相对位移为 $\lambda_2 = (k \pm 0.5)\tau_s$，k 为正整数，取 k = 4，第一模块 110a 和第二模块 110b 的相对位移为 $4.5^*\tau_s$，τ_s 为次级极距，两者永磁体 111 的充磁方向相反。此结构使第一模块 110a 和第二模块 110b 定位力波形有 180° 相位差，且变化趋势相反，因此第一模块 110a 和第二模块 110b 合成的定位力被大大削弱甚至抵消。

[0026] 相邻两凸极导磁材料 112 之间的相对位移为 $\lambda_1 = 3^*\tau_m$，初级极距和次级极距之比为 $\tau_m/\tau_s = 2/3$，其中，τ_m 为初级极距。

[0027] 第一模块 110a 中集中电枢绕组 A1 和 A2 串联组成 A 相第一模块集中绕组；第二模块 110b 中集中电枢绕组 A3 和 A4 串联组成 A 相第二模块集中绕组；第一模块集中绕组与第二模块集中绕组相互串联组成集中绕组。A 相第一模块集中绕组中集中电枢绕组 A1 和 A2 之间的距离为 $3^*\tau_m = 2^*\tau_s$，因此相对初级 11 的位移相同，即集中电枢绕组 A1 和 A2 串联后可得到总的电磁参数为每个绕组的 2 倍。

[0028] 本发明的初级 11 运动一个电气周期 360°（即移动 τ_s 距离）过程中，A 相第一模块集中绕组和 A 相第二模块集中绕组与次级 10 相对位置存在磁路上的差异。如图 1 所示位置时，如假定此时 A 相第一模块集中绕组磁链为负的最小幅值，那么 A 相第二模块集中绕组磁链为正的最大幅值。在初级 11 移动一个周期过程中，A 相第一模块集中绕组磁链幅值变化过程为：负最小幅值——负最大幅值——负最小幅值；而 A 相第二模块集中绕组磁链幅值变化过程为：正最大幅值——正最小幅值——正最大幅值。因此，两部分集中绕组中的磁链变化趋势对称互补，波形相位互差 180°。虽然 A 相第一模块集中绕组和 A 相第二模块集中绕组中的磁链都为单极性磁链，但其合成的 A 相磁链为双极性磁链且幅值变化范围为每个的 2 倍。此特点与传统的双凸极电机不同。A 相第一模块集中绕组和 A 相第二模块集中绕组产生的反电势波形也具有对称性，合成一相绕组后相互抵消一定的谐波分量，从而使每相反电势幅值为 A 相第一模块集中绕组和 A 相第二模块集中绕组的 2 倍且对称，初级齿 115 及次级 10 均为直槽或斜槽结构，为直槽时可以得到较对称的梯形波，为斜槽时可以得到正弦波。

[0029] B，C 两相同样具有 A 相的特点，三相之间相位互差 120° 电角度。

[0030] 本发明的初级永磁直线电机可以是单边平板结构、双边平板结构或圆筒型结构。而且，初级永磁直线电机可以运行在电动机或发电机状态。

[0031] 参见图 2，本实施例中，本发明由初级永磁直线电机构成的电机模组包括两个动子模块 110，相邻两动子模块 110 之间设有第二非导磁材料 116，且相邻两动子模块 110 之间的相对位移为 λ_3，适当调整 λ_3 可以进一步减小整个系统的定位力。两个动子模块 110 中 A 相的集中绕组相互串联组成一个电机或并联单独控制，从而增加了系统的容错能力，同样 B，C 两相具有 A 相的特点。

[0032] 本发明不需要附加齿和附加永磁体来平衡端部绕组的磁路，节省材料，降低初

级 11 质量和长度；且具有反电势对称、定位力较小、推力波动小、气隙的磁通密度大、输出推力较强、功率密度较高、效率较高、模块化设计、工艺简单、长次级应用场合电机成本低等优点。 本发明特别适合于长定子结构直线电机应用场合，例如城市轨道交通直线电机、工厂运输传动设备、高层楼房电梯等直线驱动场合。

[0033] 以上显示和描述了本发明的基本原理和主要特征和本发明的优点。 本行业的技术人员应该了解，本发明不受上述实施例的限制，上述实施例和说明书中描述的只是说明本发明的原理，在不脱离本发明精神和范围的前提下，本发明还会有各种变化和改进，这些变化和改进都落入要求保护的本发明范围内。 本发明要求保护范围由所附的权利要求书及其等效物界定。

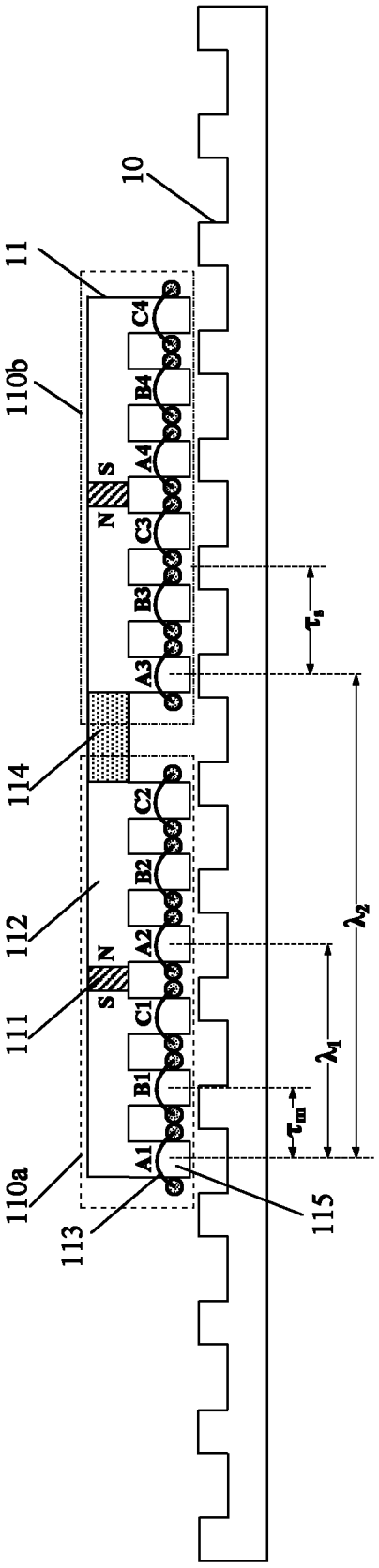

10
11
110b
C4
B4
A4
S
N
C3
B3
A3
114
C2
B2
112
A2
N
S
111
C1
B1
A1
110a
113
115
τ_s
λ_2
λ_1
τ_m

图 1

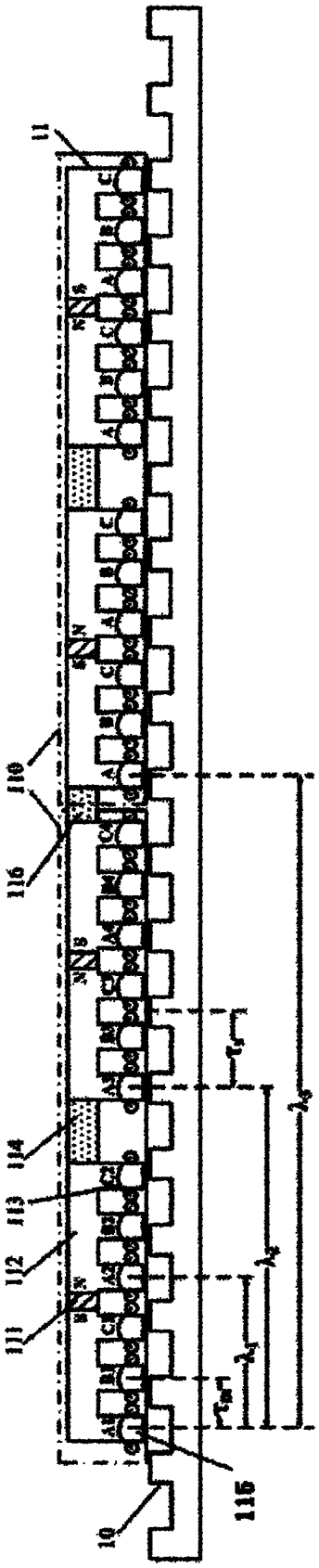

11
110
116
114
113
112
111
115
10

图 2