



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104167896 A

(43) 申请公布日 2014. 11. 26

(21) 申请号 201410387913. 3

(22) 申请日 2014. 08. 07

(71) 申请人 江苏大学

地址 212013 江苏省镇江市京口区学府路
301 号

(72) 发明人 杜恽 沈晨普 诸德宏 刘贤兴
肖凤

(51) Int. Cl.

H02K 41/03 (2006. 01)

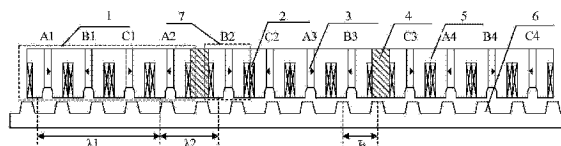
权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种 T 型磁通切换永磁直线电机及其模组

(57) 摘要

本发明公开了一种模块互补型磁通切换永磁直线电机,包括初级和次级,所述初级和次级均为凸极结构,所述初级和次级之间存在气隙;所述初级包括初级铁芯、永磁体、非导磁块、电枢绕组,所述初级铁芯形成导磁齿,所述永磁体和其两侧的导磁齿构成一个 T 型单元,所述初级包括 $N \times m$ 个 T 型单元, N 为每相绕组中的线圈个数, m 为电机的相数;每 i 个所述 T 型单元构成一个模块。该类电机具有对称互补性,降低了加工制造的难度,且电机的磁链波形和反电动势波形对称、正弦,推力波动显著减小,特别适用于城市轨道交通系统、工厂运输传动设备和电梯等直线驱动场合。



1. 一种 T 型磁通切换永磁直线电机及其模组,其特征在于:包括初级 (5) 和次级 (6),所述初级 (5) 和次级 (6) 均为凸极结构,所述初级 (5) 和次级 (6) 之间存在气隙;

所述初级 (5) 包括初级铁芯、永磁体 (3)、非导磁块 (4)、电枢绕组 (2),所述初级铁芯形成导磁齿,所述永磁体 (3) 和其两侧的导磁齿构成一个 T 型单元 (7),所述初级 (5) 包括 $N*m$ 个所述 T 型单元 (7), N 为每相绕组中的线圈个数, m 为电机的相数;每 i 个所述 T 型单元 (7) 构成一个模块 (1),相邻两个所述模块 (1) 之间填充所述非导磁块 (4);所述电枢绕组 (2) 安装于齿槽内,一个电枢绕组 (2) 的线圈跨过一块永磁体 (3) 和两块初级铁芯形成集中绕组结构;

当所述模块 (1) 上的相邻两个异相之间的相对位移为 $1/(2m)*\tau_s$ 时,两个同相的 T 型单元 (7) 之间的相对位移为 $\lambda_1 = (k \pm 1/2)*\tau_s$,相邻两个模块 (1) 上异相的 T 型单元 (7) 之间的相对位移为 $\lambda_2 = (s+1/(2m))*\tau_s$, τ_s 为次级极距, k, s 均为正整数;

当所述模块 (1) 上的相邻两个异相之间的相对位移为 $(1/m)*\tau_s$ 时,两个同相的 T 型单元 (7) 之间的相对位移为 $\lambda_1 = k*\tau_s$,相邻两个模块 (1) 上异相的 T 型单元 (7) 之间的相对位移为 $\lambda_2 = (s+1/m)*\tau_s$ 。

2. 根据权利要求 1 所述的 T 型磁通切换永磁直线电机及其模组,其特征在于:所述两个模块 (1) 之间相差 1 个次级极距 τ_s 或相差 $1/2$ 个次级极距 τ_s 。

3. 根据权利要求 1 所述的 T 型磁通切换永磁直线电机及其模组,其特征在于:所述模块 (1) 的个数为 t 个, t 为大于等于 2 的正整数,所述 t 个模块 (1) 的位置可以任意交换,而不一定按照“ABCABC……”的顺序依次安排,此时需要满足:

当同一个模块 (1) 上的相邻两个异相之间的相对位移为 $1/(2m)*\tau_s$ 时,两个同相的 T 型单元 (7) 之间的相对位移为 $\lambda_1 = (k \pm 1/2)*\tau_s$ 或 $\lambda_1 = k*\tau_s$,相邻两个模块 (1) 上异相的 T 型单元 (7) 之间的相对位移为 $\lambda_2 = (s+1/(2m))*\tau_s$ 或 $\lambda_2 = (s-1/m)*\tau_s$, τ_s 为次级极距, k, s 均为正整数;

当同一个模块 (1) 上的相邻两个异相之间的相对位移为 $(1/m)*\tau_s$ 时,两个同相的 T 型单元 (7) 之间的相对位移为 $\lambda_1 = k*\tau_s$ 或 $\lambda_1 = (k \pm 1/2)*\tau_s$,相邻两个模块 (1) 上异相的 T 型单元 (7) 之间的相对位移为 $\lambda_2 = (s+1/m)*\tau_s$ 或 $\lambda_2 = (s-1/(2m))*\tau_s$ 。

4. 根据权利要求 1 所述的 T 型磁通切换永磁直线电机及其模组,其特征在于:所述同相的 T 型单元 (7) 的集中绕组通过相互串联或并联的方式灵活组合。

5. 根据权利要求 1 所述的 T 型磁通切换永磁直线电机及其模组,其特征在于:所述次级铁芯由导磁材料构成。

6. 根据权利要求 1 所述的 T 型磁通切换永磁直线电机及其模组,其特征在于:所述相邻两个永磁体 (3) 采用交替平行充磁。

7. 根据权利要求 1 或 6 所述的 T 型磁通切换永磁直线电机及其模组,其特征在于:所述永磁体 (3) 的高度小于或等于导磁齿的高度。

8. 根据权利要求 1 所述的 T 型磁通切换永磁直线电机及其模组,其特征在于:所述模组包括 j 个所述模块化磁通切换永磁直线电机, j 为正整数; j 个所述模块化磁通切换永磁直线电机串、并联构成一个整体或分开单独控制。

一种 T 型磁通切换永磁直线电机及其模组

技术领域

[0001] 本发明涉及一种新型的模块互补型磁通切换永磁直线电机及其构成的电机模组，具体涉及电工、电机制造技术领域。

背景技术

[0002] 随着工业技术的不断发展，直线驱动系统得到了广泛应用。与传统的旋转电机驱动系统相比，直线电机驱动可以省去将旋转运动转换为直线运动的转换装置，大大减小了机械摩擦，不仅可以降低成本，而且还减小了噪声，降低了维护成本，节能又环保。特别是在城市轨道交通领域，传统的旋转电机驱动系统的稳定性差、效率低等缺点一直制约着它的发展，而采用直线电机驱动系统代替旋转电机驱动，可以很好地克服旋转电机驱动系统在城市轨道交通领域所带来的不良影响，同时提高了整个系统的效率。

[0003] 近年来，随着电力电子和磁性材料的发展，永磁无刷电机得到了迅速的发展。此类电机具有效率高，功率密度高等优点，同时它还兼备了永磁电机和直线电机的双重优点。与直线感应电机相比，永磁同步直线电机的力能指标高、重量轻、体积小，而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，因此不论是对长初级短次级驱动系统还是对短初级长次级驱动系统都无疑会带来系统成本的增加。

[0004] 目前，双极性磁链的旋转型磁通切换永磁电机正受到人们的广泛关注，它具有较高的功率密度。永磁体和电枢绕组均放置在定子上，转子上无绕组、无电刷、无永磁体，仅仅由导磁材料构成，该类电机具有功率密度高，结构简单，易于散热，高效率，高可靠性等优点。对于其直线结构而言，就是将旋转结构沿径向剖开，旋转结构中的定子就变成了直线结构中的初级，转子就变成了次级，鉴于直线结构的次级仅由导磁材料构成，没有永磁体和绕组，因此该类直线电机特别适用于短初级长次级的场合，如轨道交通系统等。然而，传统磁通切换直线电机的端部相绕组的磁通正负半周不对称，从而引起各相反电势和电感等参数不平衡。传统模块化磁通切换直线电机没有考虑到每相绕组及结构的互补性，存在每相磁链和反电势正负半周不对称，定位力大等缺点。

发明内容

[0005] 本发明针对现有技术的不足，目的在于提出一种 T 型的模块互补型磁通切换永磁直线电机及其构成的电机模组，该电机具有对称互补性，电机的磁链波形和反电势波形对称、正弦，而且互补的结构大大降低了电机的定位力，增强了电机运行的可靠性。

[0006] 为解决上述技术问题，本发明提供的技术方案为：

[0007] 一种模块互补型磁通切换永磁直线电机，包括初级和次级，所述初级和次级均为凸极结构，所述初级和次级之间存在气隙；所述初级包括初级铁芯、永磁体、非导磁块、电枢绕组，所述初级铁芯形成导磁齿，所述永磁体和其两侧的导磁齿构成一个 T 型单元，所述初级包括 $N \times m$ 个 T 型单元，N 为每相绕组中的线圈个数，m 为电机的相数；每 i 个所述 T 型

单元构成一个模块,相邻两个所述模块之间填充所述非导磁块;所述电枢绕组安装于齿槽内,一个电枢绕组的线圈跨过一块永磁体和两块初级铁芯形成集中绕组结构;当所述模块上的相邻两个异相之间的相对位移为 $1/(2m)*\tau_s$ 时,两个同相的 T 型单元之间的相对位移为 $\lambda_1 = (k \pm 1/2)*\tau_s$,相邻两个模块上异相的 T 型单元之间的相对位移为 $\lambda_2 = (s+1/(2m))*\tau_s$, τ_s 为次级极距, k, s 均为正整数;当所述模块上的相邻两个异相之间的相对位移为 $(1/m)*\tau_s$ 时,两个同相的 T 型单元之间的相对位移为 $\lambda_1 = k*\tau_s$,相邻两个模块上异相的 T 型单元之间的相对位移为 $\lambda_2 = (s+1/m)*\tau_s$ 。为此,本发明的永磁体设计灵活、磁链波形和反电动势波形对称正弦、定位力较小、气隙的磁通密度大、输出推力较强、功率密度较高、模块化设计、短初级长次级应用场合电机成本低等优点。本发明特别适用于短初级长次级结构直线电机应用场合,例如城市轨道交通系统、工厂运输设备和电梯等直线驱动场合。

[0008] 进一步,所述两个模块之间相差 1 个次级极距 τ_s 或相差 $1/2$ 个次级极距 τ_s 。由于该直线电机的两个模块之间可以相差一个次级极距 τ_s (360 度电角度),也可以相差 $1/2 \tau_s$ (180 度电角度)。假设非导磁块的宽度为 τ_m ,对于一个三相绕组而言,当 $\tau_m = \tau_s$ 时,从左往右按照“ABCABC……”的顺序依次绕线,且每个单元的绕线方向完全一致;如果当 $\tau_m = 1/2 \tau_s$ 时,仍然按照“ABCABC……”的顺序依次绕线,左右两端模块的绕线还是一致的,但是中间模块的绕线方向与其他两个模块的绕线方向则相反,这种结构可以节省非导磁块的材料,从而缩短电机初级的有效长度;另一方面,由于模块化的结构设计,可以通过调节中间非导磁块的宽度来调节各个模块之间的相位差,从而到达减小定位力的目的,设计相对灵活。

[0009] 进一步,所述模块的个数为 t 个, t 为大于等于 2 的正整数,所述 t 个模块的位置可以任意交换,而不一定按照“ABCABC……”的顺序依次安排,此时需要满足:当同一个模块上的相邻两个异相之间的相对位移为 $1/(2m)*\tau_s$ 时,两个同相的 T 型单元之间的相对位移为 $\lambda_1 = (k \pm 1/2)*\tau_s$ 或 $\lambda_1 = k*\tau_s$,相邻两个模块上异相的 T 型单元之间的相对位移为 $\lambda_2 = (s+1/(2m))*\tau_s$ 或 $\lambda_2 = (s-1/m)*\tau_s$, τ_s 为次级极距, k, s 均为正整数;当同一个模块上的相邻两个异相之间的相对位移为 $(1/m)*\tau_s$ 时,两个同相的 T 型单元之间的相对位移为 $\lambda_1 = k*\tau_s$ 或 $\lambda_1 = (k \pm 1/2)*\tau_s$,相邻两个模块上异相的 T 型单元之间的相对位移为 $\lambda_2 = (s+1/m)*\tau_s$ 或 $\lambda_2 = (s-1/(2m))*\tau_s$ 。

[0010] 进一步,所述同相的 T 型单元的集中绕组通过相互串联或并联的方式灵活组合。

[0011] 进一步,所述电机的次级由导磁材料构成。由于次级结构简单(无绕组、无永磁体),仅仅由价格便宜的导磁材料组成,使得本项发明特别适用于诸如城市轨道交通、电梯驱动系统等短初级长次级的应用场合,这样可以大大降低系统的成本。

[0012] 进一步,所述相邻两个永磁体采用交替平行充磁,这样做可以有效防止漏磁的产生。

[0013] 进一步,所述永磁体的高度小于或等于导磁齿的高度,该改进可以使得永磁

[0014] 体的高度可调,设计更加灵活。

[0015] 进一步,所述模组包括 j 个所述模块化磁通切换永磁直线电机, j 为正整数; j 个所述模块化磁通切换永磁直线电机串、并联构成一个整体或分开单独控制,从而增加了系统的容错能力。

[0016] 本发明的有益效果是：所述电机的永磁体和电枢绕组均放置在初级上，次级结构简单，无永磁体、无绕组、无电刷，仅由导磁材料构成，具有高效率、高功率密度、高可靠性等优点。而且该电机具有互补的结构，大大降低了定位力，使得电机更加稳定地运行。同时，模块化的结构有利于生产、安装和维护，特别适用于短初级长次级的应用场合，不仅能够减低制造成本，而且安全可靠。和传统磁通切换永磁直线电机相比较，该设计具有的以下优点：

[0017] 1) 电枢绕组和永磁体均位于电机初级，便于电机的冷却；

[0018] 2) 模块化的设计，大大降低了制造成本，方便了生产和维护，同时减小了相与相之间由于互感产生的影响，提升了电机运行时的容错能力；

[0019] 3) 互补的结构设计，使得磁链和反电动势波形的正弦度提高，定位力也明显减小，电机运行更加稳定。

[0020] 4) T 型磁通切换永磁直线电机的初级铁心宽度比传统的 E 型磁通切换永磁直线电机的要小，因此 T 型电机的齿槽面积要大，即电枢绕组的匝数可以有所增加，这样就会使得 T 型电机的磁链和反电势的峰值比 E 型的要大，最终导致 T 型电机的推力要大；此外，E 型磁通切换直线电机中，永磁体宽度比本发明电机要宽（但总的永磁体用量是相同的），这就使得在 E 型磁通切换直线电机的初级铁心的饱和程度比本发明的严重很多，所以只能通过扩大初级铁心的宽度来缓解铁心过饱的现象，这就导致了 E 型电机的初级铁心的用量比所述电机的要多一些，增加了初级的负荷。

[0021] 5) 所述 T 型电机的磁链比传统型磁通切换永磁直线电机的更加对称，因为 T 型电机中继承了传统电机同相磁链之间互补的特点（传统电机中每相绕组分别有 4 个线圈，每两个线圈之间存在互补性），同时还平衡了端部效应的影响，从而使得电机的磁链和反电动势波形更加对称、正弦。

[0022] 6) 此外，所述电机的 t 个模块的位置可以任意交换，而不一定按照“ABCABC……”的顺序依次安排，T 型电机的模块化程度比传统型的要高，设计的灵活性更强，可以根据不同的需求设计出满足条件的电机结构。

附图说明

[0023] 图 1 为每两个 T 型单元组成一个模块，共 6 个模块的本发明中的一个模块互补型磁通切换永磁直线电机的结构示意图。

[0024] 图 2 为每四个 T 型单元组成一个模块，共 3 个模块的本发明中的一个模块互补型磁通切换永磁直线电机的结构示意图。

[0025] 图 3 为本发明和传统磁通切换永磁直线电机的磁链波形对比图。

[0026] 图 4 为本发明和传统磁通切换永磁直线电机的定位力波形对比图。

[0027] 图中：1- 基本模块；2- 电枢绕组；3- 永磁体；4- 非导磁块；5- 初级；6- 次级；7-T 型单元。

具体实施方式

[0028] 下面结合实施例以及附图对本发明的具体实施方式做进一步说明。

[0029] 一种模块互补型磁通切换永磁直线电机，包括初级 5 和次级 6，所述初级 5 和次级 6 均为凸极结构，所述初级 5 和次级 6 之间存在气隙；所述初级 5 包括初级铁芯、永磁体 3、

非导磁块 4、电枢绕组 2, 所述初级铁芯中间的初级铁心都是 U 型, 电枢绕组安装于 U 型齿槽内, 所述初级铁芯形成导磁齿, 所述永磁体 3 和其两侧的导磁齿构成一个 T 型单元 7, 所述初级 5 包括 $N \times m$ 个 T 型单元 7, N 为每相绕组中的线圈个数, m 为电机的相数; 每 i 个所述 T 型单元 7 构成一个模块 1, 相邻两个所述模块 1 之间填充所述非导磁块 4; 所述电枢绕组 2 安装于齿槽内, 一个电枢绕组 2 的线圈跨过一块永磁体 3 和两块初级铁芯形成集中绕组结构; 当同一个模块 1 上的相邻两个异相之间的相对位移为 $1/(2m) \times \tau_s$ 时, 两个同相的 T 型单元 7 之间的相对位移为 $\lambda_1 = (k \pm 1/2) \times \tau_s$, 相邻两个模块 1 上异相的 T 型单元 7 之间的相对位移为 $\lambda_2 = (s+1/(2m)) \times \tau_s$, τ_s 为次级极距, k, s 均为正整数; 当同一个模块 1 上的相邻两个异相之间的相对位移为 $(1/m) \times \tau_s$ 时, 两个同相的 T 型单元 7 之间的相对位移为 $\lambda_1 = k \times \tau_s$, 相邻两个模块 1 上异相的 T 型单元 7 之间的相对位移为 $\lambda_2 = (s+1/m) \times \tau_s$ 。

[0030] 所述两个模块 1 之间相差 1 个次级极距 τ_s 或相差 $1/2$ 个次级极距 τ_s 。

[0031] 所述模块 1 的个数为 t 个, t 为大于等于 2 的正整数, 所述 t 个模块 1 的位置可以任意交换, 而不一定按照“ABCABC……”的顺序依次安排, 此时需要满足: 当同一个模块 1 上的相邻两个异相之间的相对位移为 $1/(2m) \times \tau_s$ 时, 两个同相的 T 型单元 7 之间的相对位移为 $\lambda_1 = (k \pm 1/2) \times \tau_s$ 或 $\lambda_1 = k \tau_s$, 相邻两个模块 1 上异相的 T 型单元 7 之间的相对位移为 $\lambda_2 = (s+1/(2m)) \times \tau_s$ 或 $\lambda_2 = (s-1/m) \times \tau_s$, τ_s 为次级极距, k, s 均为正整数; 当同一个模块 1 上的相邻两个异相之间的相对位移为 $(1/m) \times \tau_s$ 时, 两个同相的 T 型单元 7 之间的相对位移为 $\lambda_1 = k \tau_s$ 或 $\lambda_1 = (k \pm 1/2) \times \tau_s$, 相邻两个模块 1 上异相的 T 型单元 7 之间的相对位移为 $\lambda_2 = (s+1/m) \times \tau_s$ 或 $\lambda_2 = (s-1/(2m)) \times \tau_s$ 。

[0032] 所述同相的 T 型单元 7 的集中绕组通过相互串联或并联的方式灵活组合。所述次级铁芯由导磁材料构成。所述相邻两个永磁体 3 采用交替平行充磁。所述永磁体 3 的高度小于或等于导磁齿的高度。所述电机包括 j 个所述模块化磁通切换永磁直线电机, j 为正整数; j 个所述模块化磁通切换永磁直线电机串、并联构成一个整体或分开单独控制。

[0033] 所述模块化磁通切换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, 这样的设计使得电机功能适用范围广; 此外, 所述模块化磁通切换永磁直线电机是电动机或发电机, 该电机模组包括 j 个所述模块化磁通切换永磁直线电机, j 为正整数, j 个所述模块化磁通切换永磁直线电机串、并联构成一个整体或分开单独控制, j 为正整数。所述电机在绕组绕线方向确定的情况下, 永磁体充磁方向可以与之前的完全相反。所述电机同相模块的绕组相互串联在一起。

[0034] 为了说明本发明的结构特点及运行原理, 下面以一台三相电机为例来说明。

[0035] 实施例 1

[0036] 参见图 1, 本发明提供的模块互补型磁通切换永磁直线电机结构包括电机初级 5 和电机次级 6, 两者之间有气隙。初级 5 和次级 6 均采用凸极结构。并且永磁体 3 和绕组 2 都在初级 5 上, 次级 6 仅由导磁材料构成, 无绕组, 无永磁体。

[0037] 此时, 当相数 $m = 3$, 同一个模块上的相邻两个异相之间的相对位移为 $1/6 \tau_s$ 时, $k = 4, s = 2, \lambda_1 = 9/2 \tau_s, \lambda_2 = 13/6 \tau_s, \tau_m = \tau_s$ 。

[0038] 所述电机初级 5 包括 T 型单元 7, 一共 $N \times m$ 个, 每 i 个 T 型单元 7 组成一个模块, N 为每相绕组中的线圈个数, i 为正整数。并且相邻两个模块 1 之间用非导磁块 4 来填充。每个 T 型单元 7 由两个初级齿 5、一个永磁体和跨过这两个齿的电枢绕组 2 构成, 电枢绕组

2 放在两个齿槽内,在本实例中, $m = 3$,即电机具有如图所示 A、B、C 三相; $N = 4$,即每相绕组中有四个线圈串联而成; $i = 4$,即每个模块 1 由四个 T 型单元组成。

[0039] 在本实例中,每一相中具有四组相同的 T 型单元 7,每个模块由 2 个 T 型单元 7 构成,第一个模块的集中绕组为 A1、B1;第二个模块的集中绕组为 C1、A2;第三个模块的集中绕组为 B2、C2;第四个模块的集中绕组为 A3、B3;第五个模块的集中绕组为 C3、A4;第六个模块的集中绕组为 B4、C4。其实,就是按照 A、B、C 三相沿着初级顺次绕线。每个模块之间采用非导磁材料连接,如图 1 所示,模块之间的间距应该满足 $\tau_m = \tau_s$, τ_m 为非导磁块 4 的宽度, τ_s 为次级极距。并且保证每个模块上的绕组方向一致。

[0040] 如图 1 所示,A 相中的集中绕组是由 A1、A2、A3、A4 这四个线圈串联而成的,B、C 相亦如此。为了方便,我们将 A1、B1、C1 集中绕组定义为第一绕组,A2、B2、C2 定义为第二绕组,A3、B3、C3 定义为第三绕组,A4、B4、C4 定义为第四绕组。如图 1 所示,A 相(或者 B、C 相)中相邻两个线圈之间的相对位移为 $\lambda_1 = (k \pm 1/2) * \tau_s$,而同一绕组中,相邻两个异相(例如 A1 与 B1,或 B1 与 C1)之间的相对位移为 $\lambda_2 = (s+1/(2m)) * \tau_s$, τ_s 为次级极距,k, s 均为正整数,m 为电机的相数。

[0041] 该结构的电机具有如下特点:第一,第一个模块的两端部是绕组 A1 和 B1,第二个模块的两端部是绕组 C1 和 A2,第三个模块的两端部是绕组 B2 和 C2,第一个模块的两端部是绕组 A3 和 B3,第二个模块的两端部是绕组 C3 和 A4,第三个模块的两端部是绕组 B4 和 C4,这种结构确保了每相中都有四个绕组在端部,缓解了端部效应所导致的磁路上的差异,从而导致每个模块中的磁链和反电势对称互补。而且每个集中绕组中各相的磁链或反电动势波形相差 180 度电角度,这种互补特性使得四个绕组中的感应反电势高次偶次谐波分量幅值相等,相位相反,在合成为一相反电势时相互抵消,从而保证电机的永磁磁链和反电势具有高度的正弦对称性。

[0042] 第二,两个相邻同相的 T 型单元 7 之间的相对位移为 $\lambda_1 = (k \pm 1/2) \tau_s$,k 为正整数,从而保证每个模块的定位力波形有 180 度电角度的相位差,每部分合成的定位力被大大削弱。

[0043] 图 1 中具体实施例也可以作为一个电机模块,由 j 个这样的模块互补型磁通切换永磁直线电机模块组合成一个电机模组,j 为正整数,这样进一步减小定位力,提高输出力。其中,这些 j 个所述模块互补型磁通切换永磁直线电机可以串联构成一个整体或分开单独控制。

[0044] 实施例 2

[0045] 如图 2 所示,当 $m = 3$,同一个模块上的相邻两个异相之间的相对位移为 $1/3 \tau_s$ 时, $k = 4$, $s = 2$, $\lambda_1 = 4 \tau_s$, $\lambda_2 = 11/6 \tau_s$, $\tau_m = 1/2 \tau_s$ 。本实施例中的模块互补型磁通切换永磁直线电机与实施例 1 中的不同点在于所述电机是由四个 T 型单元构成一个模块的,共 3 个模块。相邻两个模块 1 之间的非导磁块 4 的宽度变为原来的一半,即 $\tau_m = 1/2 \tau_s$, τ_m 为非导磁块的宽度, τ_s 为次级极距,而且,此时一个模块上的相邻两个异相之间的相对位移为 $(1/m) * \tau_s$ 。绕线方法还是按照“ABCABC……”三相顺次绕线,但是第二个模块的绕组方向与其他两个模块的绕组方向完全相反,同时必须满足以下两个条件:两个同相的 T 型单元之间的相对位移为 $\lambda_1 = k * \tau_s$ 或 $\lambda_1 = (k \pm 1/2) * \tau_s$;相邻两个模块上异相的 T 型单元之间的相对位移为 $\lambda_2 = (s-1/(2m)) * \tau_s$,k, s 为正整数,m 为电机的相数,本实例中 $m =$

3,即电机是三相绕组的。从而形成互补对称结构,而且较之其原始模型,在一定程度上缩短了初级的长度,节省了材料。其他结构和特性均与实施例 1 相同。

[0046] 如图 3 所示的本发明的磁链波形对比图,和传统的磁通切换直线电机的磁链波形相比较,本发明提出了新型的模块互补型磁通切换直线电机,由于端部效应,处在端部的相磁链的峰一峰值要比处在中间的相磁链要小,这样就导致三相磁链波形不对称。而对于本文所述的电机,磁链正负对称,而且端部的相磁链和中间的相磁链的峰一峰值基本相同,体现了对称互补的结构特点。由于保证了每相绕组中都受到同等的端部效应,平衡了端部效应对电机的影响,从而使得电机的磁链和反电动势波形更加对称、正弦。

[0047] 如图 4 所示的定位力波形对比图,和传统的磁通切换直线电机的定位力相比较,本发明采取模块互补型的结构以后,定位力的峰一峰值明显减小,电机性能显著提高。

[0048] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,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,均应包含在本发明的保护范围之内。

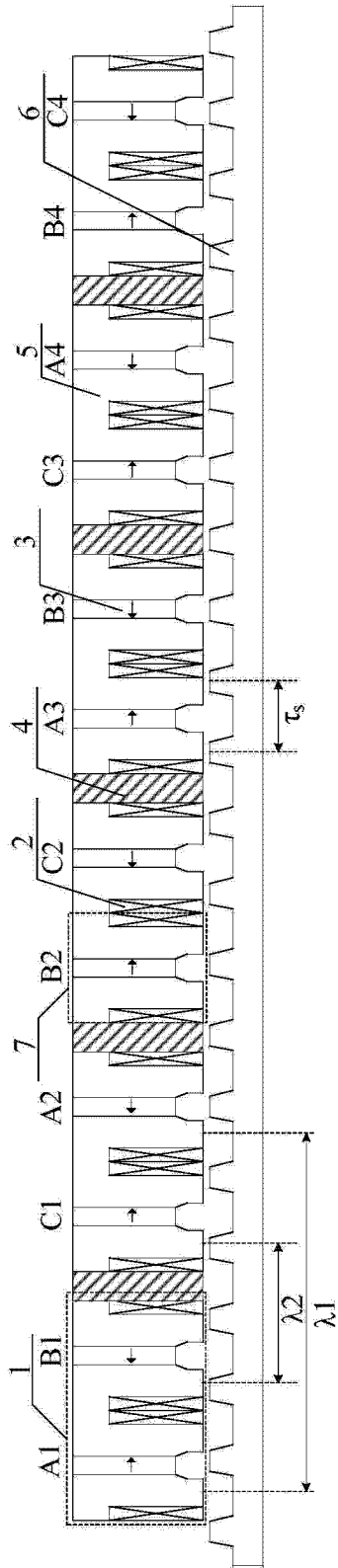


图 1

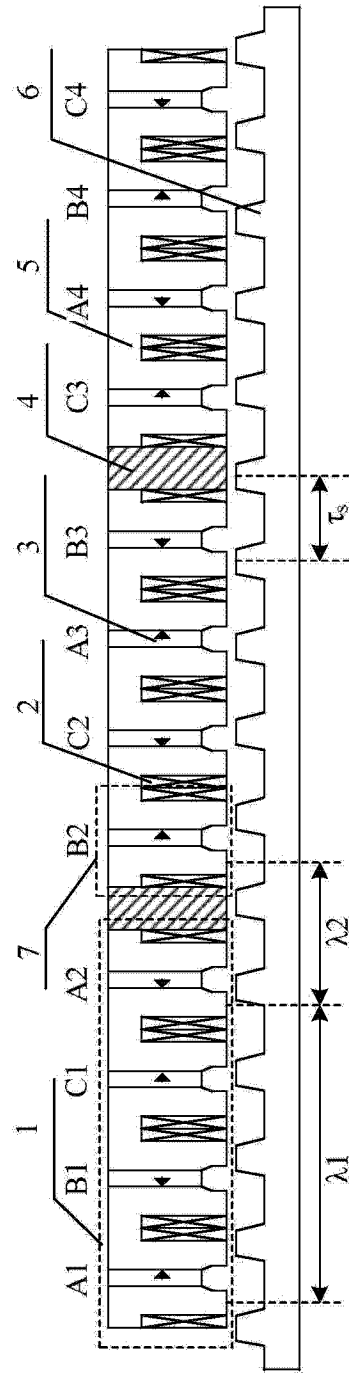


图 2

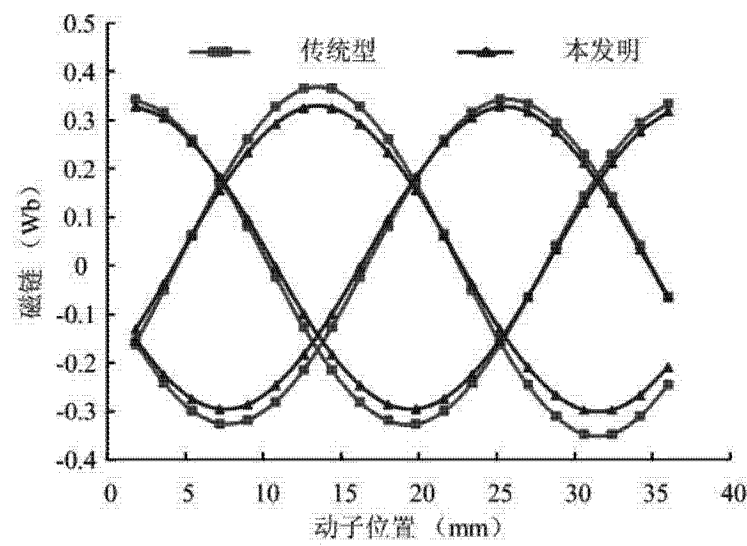


图 3

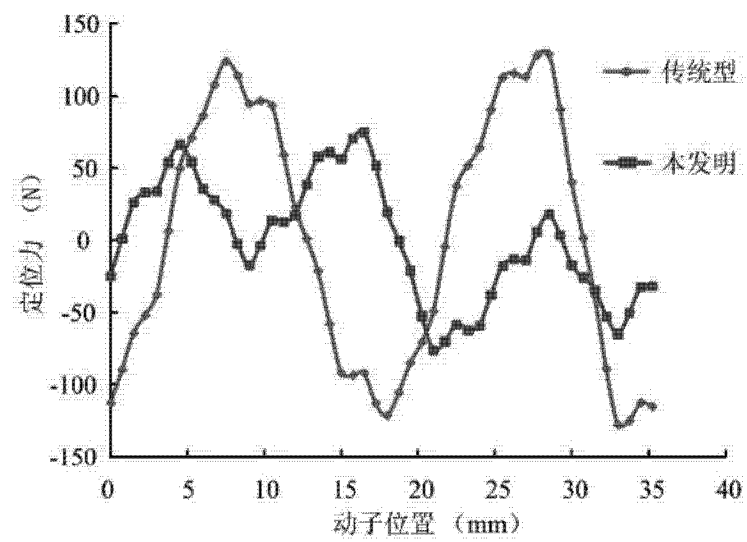


图 4