



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103956874 A

(43) 申请公布日 2014. 07. 30

(21) 申请号 201410169261. 6

(22) 申请日 2014. 04. 25

(71) 申请人 联合汽车电子有限公司

地址 201206 上海市浦东新区榕桥路 555 号

(72) 发明人 黄文祥 韩明 暴捷 孔勇进

蒋大千 陈益辉 石佳

(74) 专利代理机构 上海浦一知识产权代理有限

公司 31211

代理人 王江富

(51) Int. Cl.

H02K 21/02(2006. 01)

H02K 1/22(2006. 01)

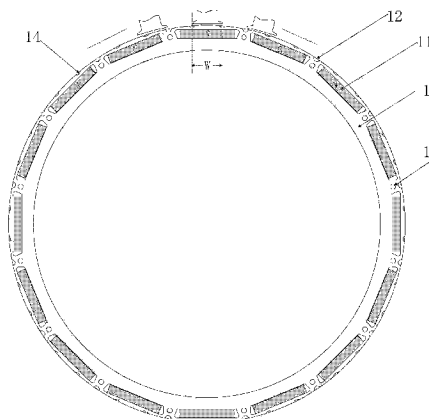
权利要求书2页 说明书6页 附图11页

(54) 发明名称

永磁同步电机及其转子

(57) 摘要

本发明公开了一种永磁同步电机,其转子包括铁芯;所述铁芯,为圆柱形,铁芯内部绕轴线均匀设置有p个S极磁钢片、p个N极磁钢片,p为正整数;S极磁钢片同N极磁钢片相间隔排列;所述铁芯,在位于相邻S极磁钢片同N极磁钢片的中间处的内部沿轴向设置有内部孔。本发明还公开了一种永磁同步电机的转子。本发明的永磁同步电机及其转子,能降低电机凸极效应引起的转矩波动,并可以提高电机的磁钢利用率,增强磁钢的抗退磁性能,而且结构简单,易于加工制造,成本低。



1. 一种永磁同步电机,其转子包括铁芯;所述铁芯,为圆柱形,铁芯内部绕轴线均匀设置有 p 个 S 极磁钢片、 p 个 N 极磁钢片, p 为正整数;S 极磁钢片同 N 极磁钢片相间隔排列;其特征在于,

所述铁芯,在位于相邻 S 极磁钢片同 N 极磁钢片的中间处的内部沿轴向设置有内部孔。

2. 根据权利要求 1 所述的永磁同步电机,其特征在于,

所述永磁同步电机为分数槽电机;

所述铁芯,在位于相邻 S 极磁钢片同 N 极磁钢片的中间处的外表面沿轴向设置有 q 轴表面槽。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的永磁同步电机,其特征在于,

所述铁芯,还在每个磁钢片处的转子铁芯表面设置有两个 d 轴表面槽;

对应于一个磁钢片的两个 d 轴表面槽,对称分布于该磁钢片中心线的两侧;

对应于一个磁钢片的两个 d 轴表面槽的轴线间距,为永磁同步电机的定子齿的齿端宽度的 90%到 110%。

4. 根据权利要求 3 所述的永磁同步电机,其特征在于,

永磁同步电机为分数槽集中绕组永磁同步电机;

分数槽集中绕组永磁同步电机的每极每相槽数大于等于 $1/4$ 并且小于等于 $1/2$ 。

5. 根据权利要求 4 所述的永磁同步电机,其特征在于,

所述分数槽集中绕组永磁同步电机的定子,有 24 个定子齿;

所述铁芯,内部绕轴线交替均匀设置有 8 个 S 极磁钢片和 8 个 N 极磁钢片。

6. 根据权利要求 3 所述的永磁同步电机,其特征在于,

d 轴表面槽的开口宽度,在永磁同步电机的定子齿的齿靴宽度的 50%到 150%之间;

d 轴表面槽的深度,在气隙的 20%到 80%之间;

对应于一个磁钢片的两个 d 轴表面槽的轴线间距,为永磁同步电机的定子齿的齿端宽度的 90%、100%或 110%。

7. 一种永磁同步电机的转子,包括一铁芯;所述铁芯,为圆柱形,铁芯内部绕轴线均匀设置有 p 个 S 极磁钢片、 p 个 N 极磁钢片, p 为正整数;S 极磁钢片同 N 极磁钢片相间隔排列;其特征在于,

所述铁芯,在位于相邻 S 极磁钢片同 N 极磁钢片的中间处的外表面沿轴向设置有 q 轴表面槽。

8. 根据权利要求 7 所述的永磁同步电机的转子,其特征在于,

所述永磁同步电机为分数槽电机;

所述铁芯,在位于相邻 S 极磁钢片同 N 极磁钢片的中间处的外表面沿轴向设置有 q 轴表面槽。

9. 根据权利要求 7 或 8 所述的永磁同步电机的转子,其特征在于,

所述铁芯,还在每个磁钢片处的转子铁芯表面设置有两个 d 轴表面槽;

对应于一个磁钢片的两个 d 轴表面槽,对称分布于该磁钢片中心线的两侧;

对应于一个磁钢片的两个 d 轴表面槽的轴线间距,为永磁同步电机的定子齿的齿端宽度的 90%到 110%。

10. 根据权利要求 9 所述的永磁同步电机的转子,其特征在于,

永磁同步电机为分数槽集中绕组永磁同步电机；

分数槽集中绕组永磁同步电机的每极每相槽数大于等于 $1/4$ 并且小于等于 $1/2$ 。

11. 根据权利要求 10 所述的永磁同步电机的转子,其特征在于,

所述分数槽集中绕组永磁同步电机的定子,有 24 个定子齿；

所述铁芯,内部绕轴线交替均匀设置有 8 个 S 极磁钢片和 8 个 N 极磁钢片。

12. 根据权利要求 9 所述的永磁同步电机的转子,其特征在于,

d 轴表面槽的开口宽度,在永磁同步电机的定子齿的齿靴宽度的 50%到 150%之间；

d 轴表面槽的深度,在气隙的 20%到 80%之间；

对应于一个磁钢片的两个 d 轴表面槽的轴线间距,为永磁同步电机的定子齿的齿端宽度的 90%、100%或 110%。

永磁同步电机及其转子

技术领域

[0001] 本发明涉及电机,特别涉及一种永磁同步电机及其转子。

背景技术

[0002] 永磁电机具有高转矩密度、高功率密度、高效率区广等优势,是混合动力、纯电动和燃料电池等新能源汽车用驱动电机的首选。尤其是对于内置磁钢的永磁同步电机,可以利用转子的凸极效应产生的磁阻转矩,可进一步提高转矩水平,扩大弱磁调速范围,提高转速。但是永磁转子也会带来齿槽转矩,加之磁饱和带来的非线性磁路等影响,永磁电机的反电势谐波含量丰富,负载时的转矩波动水平要比一般的异步电机和表面磁钢的永磁电机严重。这些还会造成一定的NVH(Noise、Vibration、Harshness,噪声、振动与声振粗糙度),增加乘客的不舒适感,必须加以解决。

[0003] 现有一种有效降低反电势谐波和齿槽转矩,减小转矩波动的方案,是选用合理的极槽配合。比如以丰田普锐斯(PRIUS)为代表的多数车用驱动电机都采用定子48槽(齿),转子8极的方案,而以本田IMA为代表的ISG电机多采用3:2槽极数比例的集中绕组方案。

[0004] 丰田PRIUS所用的一种48槽8极永磁同步电机如图1所示,由于定转子没有斜极,可以看到其反电势波形里有丰富的谐波含量,如图2所示。这不仅会增加铁损,对匹配控制时确定转子位置角也会造成一定的精度误差,同时会伴随有明显的齿槽转矩和转矩波动。

[0005] 现有另一种有效降低谐波、齿槽转矩及转矩波动的方案,是通过定子斜槽或转子分段斜极的方法消除谐波含量和齿槽转矩,降低转矩波动,其工作原理相当于将多个电机沿轴向错开叠加,使得各段电机的齿槽转矩和趋近于零,反电势谐波相互抵消。但其存在以下缺陷:

[0006] 一. 定子斜槽或转子分段斜极要求在叠装定子冲片或转子叠片组时有定位工装,增大设备投入成本,降低整机制造的效率;

[0007] 二. 斜槽后的定子会增加下线难度,绕组的有效长度也会相应增长,增加铜线用量;

[0008] 三. 转子分段斜极会使得相邻叠片组间不同极性磁极距离缩短,极间漏磁增大,从而削弱电机的输出性能,尤其是对于斜极程度较大的电机,性能下降水平更加明显;

[0009] 四. 同样的电机,完全斜槽和斜极后电机的峰值扭矩和功率都会下降10%左右,如果要达到原有的性能水平,相当于要增加10%的磁钢用量,目前永磁同步电机的磁钢主要是钕铁硼,受稀土价格的影响,磁钢一度占到整机成本的50%左右,磁钢用量对产品经济性影响敏感;

[0010] 五. 对于转子分段斜极,一般分段数 ≥ 3 时,对齿槽转矩和转矩波动的削弱程度变化不大,即只要分段数不是做到无穷大,就无法达到定子斜槽的效果,而且有些特定的齿槽转矩不能被分段斜极的方法削弱;

[0011] 六. 对于ISG(Integrated Starter Generator,组合起动/发电机)等轴向长度比较短或槽数比较少的电机,斜槽或斜极实现起来有一定难度,而且端部漏磁带来的影响

比例较大,由此带来的齿槽转矩等是无法通过斜槽或斜极有效削弱的;

[0012] 七.斜槽或斜极都会在转子上产生一周期性的轴向分力,增加轴承的失效概率,使寿命缩短,还会增加轴向的 NVH。

[0013] 日产聆风 (LEAF) 所用的一种转子分段斜极永磁同步电机如图 3 所示,该转子分段斜极永磁同步电机可以显著的改善反电势波形,降低齿槽转矩和转矩波动,但对电机的峰值性能也会有所削弱,同时增加转子的制造复杂度。

发明内容

[0014] 本发明要解决的技术问题是提供一种永磁同步电机及其转子,能降低电机凸极效应引起的转矩波动,并可以提高电机的磁钢利用率,增强磁钢的抗退磁性能,而且结构简单,易于加工制造,成本低。

[0015] 为解决上述技术问题,本发明提供的永磁同步电机,其转子包括铁芯;所述铁芯,为圆柱形,铁芯内部绕轴线均匀设置有 p 个 S 极磁钢片、 p 个 N 极磁钢片, p 为正整数;S 极磁钢片同 N 极磁钢片相间隔排列;

[0016] 所述铁芯,在位于相邻 S 极磁钢片同 N 极磁钢片的中间处的内部沿轴向设置有内部孔。

[0017] 较佳的,所述永磁同步电机为分数槽电机;

[0018] 所述铁芯,在位于相邻 S 极磁钢片同 N 极磁钢片的中间处的外表面沿轴向设置有 q 轴表面槽。

[0019] 较佳的,所述铁芯,还在每个磁钢片处的转子铁芯表面设置有两个 d 轴表面槽;

[0020] 对应于一个磁钢片的两个 d 轴表面槽,对称分布于该磁钢片中心线的两侧;

[0021] 对应于一个磁钢片的两个 d 轴表面槽的轴线间距,为永磁同步电机的定子齿的齿端宽度的 90%到 110%。

[0022] 较佳的,永磁同步电机为分数槽集中绕组永磁同步电机;

[0023] 分数槽集中绕组永磁同步电机的每极每相槽数大于等于 $1/4$ 并且小于等于 $1/2$ 。

[0024] 较佳的,所述分数槽集中绕组永磁同步电机的定子,有 24 个定子齿;

[0025] 所述铁芯,内部绕轴线交替均匀设置有 8 个 S 极磁钢片和 8 个 N 极磁钢片。

[0026] 较佳的, d 轴表面槽的开口宽度,在永磁同步电机的定子齿的齿靴宽度的 50%到 150%之间;

[0027] d 轴表面槽的深度,在气隙的 20%到 80%之间;

[0028] 对应于一个磁钢片的两个 d 轴表面槽的轴线间距,为永磁同步电机的定子齿的齿端宽度的 90%、100%或 110%。

[0029] 为解决上述技术问题,本发明提供的永磁同步电机的转子,包括一铁芯;所述铁芯,为圆柱形,铁芯内部绕轴线均匀设置有 p 个 S 极磁钢片、 p 个 N 极磁钢片, p 为正整数;S 极磁钢片同 N 极磁钢片相间隔排列;

[0030] 所述铁芯,在位于相邻 S 极磁钢片同 N 极磁钢片的中间处的外表面沿轴向设置有 q 轴表面槽。

[0031] 较佳的,所述永磁同步电机为分数槽电机;

[0032] 所述铁芯,在位于相邻 S 极磁钢片同 N 极磁钢片的中间处的外表面沿轴向设置有

q 轴表面槽。

[0033] 较佳的,所述铁芯,还在每个磁钢片处的转子铁芯表面设置有两个 d 轴表面槽;

[0034] 对应于一个磁钢片的两个 d 轴表面槽,对称分布于该磁钢片中心线的两侧;

[0035] 对应于一个磁钢片的两个 d 轴表面槽的轴线间距,为永磁同步电机的定子齿的齿端宽度的 90%到 110%。

[0036] 较佳的,永磁同步电机为分数槽集中绕组永磁同步电机;

[0037] 分数槽集中绕组永磁同步电机的每极每相槽数大于等于 1/4 并且小于等于 1/2。

[0038] 较佳的,所述分数槽集中绕组永磁同步电机的定子,有 24 个定子齿;

[0039] 所述铁芯,内部绕轴线交替均匀设置有 8 个 S 极磁钢片和 8 个 N 极磁钢片。

[0040] 较佳的,d 轴表面槽的开口宽度,在永磁同步电机的定子齿的齿靴宽度的 50%到 150%之间;

[0041] d 轴表面槽的深度,在气隙的 20%到 80%之间;

[0042] 对应于一个磁钢片的两个 d 轴表面槽的轴线间距,为永磁同步电机的定子齿的齿端宽度的 90%、100%或 110%。

[0043] 本发明的永磁同步电机及其转子,在转子铁芯 q 轴处内部开孔,一方面可以降低电机凸极效应引起的转矩波动,并可以有效遏制极间漏磁,提高电机的磁钢利用率;另一方面,在铁芯 q 轴处内部开孔后,q 轴磁路的磁阻增大,在相同的定子电流条件下进入磁钢部分的 d 轴弱磁反向场变低,增强了磁钢的抗退磁性能。而且,本发明的永磁同步电机的转子结构简单,易于加工制造,成本低。

附图说明

[0044] 为了更清楚地说明本发明的技术方案,下面对本发明所需要使用的附图作简单的介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0045] 图 1 是现有一种 48 槽 8 极永磁同步电机示意图;

[0046] 图 2 是图 1 所示永磁同步电机反电势波形示意图;

[0047] 图 3 是现有一种转子分段斜极永磁同步电机示意图;

[0048] 图 4 本发明的永磁同步电机转子实施例一示意图;

[0049] 图 5 本发明的永磁同步电机转子实施例二示意图;

[0050] 图 6 本发明的永磁同步电机转子实施例三示意图;

[0051] 图 7 是齿靴宽度及气隙示意图;

[0052] 图 8A 是转子不做处理的永磁同步电机的反电势示意图;

[0053] 图 8B 是转子不做处理的永磁同步电机的齿槽转矩示意图;

[0054] 图 8C 是转子不做处理的永磁同步电机的转矩波动示意图;

[0055] 图 9A 是转子铁芯设有 q 轴表面槽和 q 轴内部孔后的永磁同步电机的反电势示意图;

[0056] 图 9B 是转子铁芯设有 q 轴表面槽和 q 轴内部孔后的永磁同步电机的齿槽转矩示意图;

[0057] 图 9C 是转子铁芯设有 q 轴表面槽和 q 轴内部孔后的永磁同步电机的转矩波动示

意图；

[0058] 图 10A 是转子铁芯设有 q 轴表面槽和 d 轴表面槽后的永磁同步电机的反电势示意图；

[0059] 图 10B 是转子铁芯设有 q 轴表面槽和 d 轴表面槽后的永磁同步电机的齿槽转矩示意图；

[0060] 图 10C 是转子铁芯设有 q 轴表面槽和 d 轴表面槽后的永磁同步电机的转矩波动示意图；

[0061] 图 11A 是转子铁芯设有 q 轴表面槽和 q 轴内部孔及 d 轴表面槽后的永磁同步电机的反电势示意图；

[0062] 图 11B 是转子铁芯设有 q 轴表面槽和 q 轴内部孔及 d 轴表面槽后的永磁同步电机的齿槽转矩示意图；

[0063] 图 11C 是转子铁芯设有 q 轴表面槽和 q 轴内部孔及 d 轴表面槽后的永磁同步电机的转矩波动示意图；

[0064] 图 12 是开设 d 轴表面槽前后的气隙磁密幅值示意图。

具体实施方式

[0065] 下面将结合附图,对本发明中的技术方案进行清楚、完整的描述,显然,所描述的实施例是本发明的一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动的前提下所获得的所有其它实施例,都属于本发明保护的范围。

[0066] 实施例一

[0067] 永磁同步电机,其转子如图 4 所示,包括铁芯 1；

[0068] 所述铁芯 1,为圆柱形,铁芯内部绕轴线均匀设置有 p 个 S 极磁钢片 11、p 个 N 极磁钢片 11, p 为正整数；S 极磁钢片同 N 极磁钢片相间隔排列；

[0069] 所述铁芯 1,还在位于相邻 S 极磁钢片同 N 极磁钢片的中间处（即转子 q 轴处）的内部沿轴向设置有内部孔 13。

[0070] 实施例一的永磁同步电机,在转子铁芯 q 轴处内部开孔,一方面可以降低电机凸极效应引起的转矩波动,并可以有效遏制极间漏磁,提高电机的磁钢利用率；另一方面,在铁芯 q 轴处内部开孔后, q 轴磁路的磁阻增大,在相同的定子电流条件下进入磁钢部分的 d 轴弱磁反向场变低,增强了磁钢的抗退磁性能。而且,实施例一的永磁同步电机的转子结构简单,易于加工制造,成本低。

[0071] 实施例二

[0072] 基于实施例一的永磁同步电机,所述永磁同步电机为分数槽电机；如图 5 所示,所述铁芯 1,在位于相邻 S 极磁钢片同 N 极磁钢片的中间处（即转子 q 轴处）的外表面沿轴向设置有 q 轴表面槽 12。

[0073] 永磁同步电机的平均转矩 $T = p[\Phi_f i_d + (L_d - L_q) i_d i_q]$, 式中 p 为电机极对数, Φ_f 为永磁体基波磁场在定子绕组中产生的磁链, i_d 为定子 d 轴电流, i_q 为定子 q 轴电流, L_d 为定子绕组的 d 轴电感、 L_q 为定子绕组的 q 轴电感。永磁同步电机的转矩 T 主要由两部分构成,即由永磁材料励磁磁场和 d 轴电流作用产生的同步扭矩,和由于 d 轴、q 轴磁路不对称

造成的 d 轴电感 L_d 、q 轴电感 L_q 不相等引起的磁阻转矩组成,磁阻转矩可提升永磁电机的转矩 / 电流密度,但同时往往会使得转矩波动大幅增加。

[0074] 对于分数槽电机 (即每极每相槽数为分数的电机,其每极每相槽数

$$T = \frac{Z}{2pm} = b + \frac{j}{k}, \quad p \text{ 为电机极对数, } m \text{ 为相数, } Z \text{ 为定子齿数, } b、j、k \text{ 为正整数, } k > j),$$

由于 d 轴、q 轴磁路不对称造成的 d 轴电感 L_d 、q 轴电感 L_q 不相等引起的磁阻转矩所占比例不大,所以通过改变转子 q 轴磁路的形状,往往可使转矩波动大幅降低,而总的合成转矩保持不变。

[0075] 实施例二的永磁同步电机,为分数槽电机,不仅可以降低电机凸极效应引起的转矩波动,提高电机的磁钢利用率,增强磁钢的抗退磁性能,而且通过在转子铁芯表面 q 轴处开槽,改变转子 q 轴磁路的形状,从而可以在总的合成转矩基本保持不变的情况下,使转矩波动大幅降低,降低负载工作时电机的转矩波动水平,尤其是中、高转矩区域内的转矩波动。

[0076] 较佳的,永磁同步电机为分数槽集中绕组永磁同步电机,其每极每相槽数 T 大于等于 $1/4$ 并且小于等于 $1/2$ 。集中绕组的优点是绕组端接部分缩短,导线用量减少,绕组线圈电阻降低,铜耗减少,电机效率提高,成品降低,制造周期缩短。因为分数槽集中绕组永磁同步电机的绕组节距 $y = 1$,当 Z/p 范围在 $3/2$ 到 3 之间,即每极每相槽数 T 大于等于 $1/4$ 并且小于等于 $1/2$ 时,同一线圈的两个线圈边感应电动势相差接近 180° ,可以得到较高的绕组系数。

[0077] 较佳的,所述分数槽集中绕组永磁同步电机的定子,有 24 个定子齿 ($Z = 24$),每个定子齿只绕一个线圈;所述铁芯,内部绕轴线交替均匀分布有 8 个 S 极磁钢片和 8 个 N 极磁钢片 (8 对转子磁极, $p = 8$, 共 $2p$ 个极),所以电机的每极每相槽数 $T = \frac{Z}{2pm} = \frac{24}{2 * 8 * 3} = \frac{1}{2}$ 。

[0078] 实施例三

[0079] 基于实施例一或二的永磁同步电机,如图 6 所示,所述铁芯 1,还在每个磁钢片处的转子铁芯表面设置有两个 d 轴表面槽 14;

[0080] 对应于一个磁钢片的两个 d 轴表面槽 14,对称分布于该磁钢片中心线 (即 d 轴) 的两侧;

[0081] 对应于一个磁钢片的两个 d 轴表面槽 14 的轴线间距 W ,约等于永磁同步电机的定子齿的齿端宽度 W (如为永磁同步电机的定子齿的齿端宽度 W 的 90% 到 110%,可以为永磁同步电机的定子齿的齿端宽度 W 的 90%、100% 或 110%)。

[0082] 齿槽转矩是永磁电机的永磁体与定子开槽后的定子齿间相互作用力的切向分量产生的,忽略铁心饱和影响,齿槽转矩 T_{cog} 可表示为

$$T_{\text{cog}} = \frac{\pi Z L_a}{4 \mu_0} \cdot (R_2^2 - R_1^2) \sum_{n=1}^{\infty} n G_n B_r \frac{nZ}{2p} \sin nZ\alpha, \quad \text{其中 } Z \text{ 为定子齿数, } L_a \text{ 为铁心轴向长度, } \mu_0 \text{ 为常数,}$$

R_1 为对应气隙的内径, R_2 为对应气隙的外径, G_n 是对应气隙磁导的系数, B_r 为永磁体磁场沿气隙圆周产生的磁密, α 为永磁体中心线 (d 轴) 与定子齿中心线之间的夹角, n 为使 $nZ/2p$ 为整数的正整数。根据表达式可知,只有 $nZ/2p$ 次谐波的磁密分量才可能产生齿槽转

矩,可通过降低 $nZ/2p$ 次谐波的气隙磁密 B_r 幅值降低齿槽转矩。

[0083] 实施例三的永磁同步电机,在每个磁钢片处的转子铁芯表面设置有两个 d 轴表面槽 14,并使对应于一个磁钢片的两个 d 轴表面槽 14 的轴线间距等于永磁同步电机的定子齿 2 的齿端宽度 W ,这样,如图 6 所示,当定子齿中心与 d 轴一致时,对应于一个磁钢片的两个 d 轴表面槽的轴线处在定子齿的齿靴 21 靴头处,从而可缓解因定子开槽效应造成的气隙磁密幅值突变,从而降低磁密反电势谐波的幅值,根据理论分析的齿槽转矩表达式,齿槽转矩会相应变低。如图 12 所示(浅色和深色曲线分别对应 d 轴表面槽开槽前后磁密的变化),可见反电势中低次谐波的幅值大大减小了。

[0084] 实施例三的永磁同步电机,能增加一个周期内气隙磁密的基波含量比例,降低磁密波形的反电势谐波含量,即气隙磁密的正弦度较好。而电机不通电时内部的磁场完全靠磁钢提供,转动转子产生的转矩仅与磁密幅值和磁导率相关,线性情况下如果磁密波形为正弦,齿槽转矩即可消除。所以实施例三的永磁同步电机,能降低因定子开槽带来的气隙磁密波形的畸变而造成的齿槽转矩,从而降低负载工作时电机的转矩波动水平,尤其是低转矩区域内的转矩波动。

[0085] 实施例三的永磁同步电机,在转子铁芯表面 q 轴处开槽、在铁芯 q 轴处内部开孔,并在每个磁钢片处的转子铁芯表面对称于 d 轴设置有两个 d 轴表面槽 14,能降低齿槽转矩和整个区域内电机负载工作时的转矩波动水平,达到斜极的效果。

[0086] 较佳的,如图 7 所示,d 轴表面槽 14 的开口宽度在永磁同步电机的定子齿 2 的齿靴 21 宽度 L 的 50%到 150%之间(如 50%、100%、150%),d 轴表面槽 14 的深度在气隙 F (永磁同步电机的定子齿端到转子铁芯间的距离)的 20%到 80%之间(如 20%、50%、80%),以使得气隙磁密从 d 轴至 q 轴平稳变化,降低 d 轴表面槽 14 开槽带来的谐波影响。

[0087] 转子不做处理的永磁同步电机的反电势如图 8A 所示,齿槽转矩如图 8B 所示,转矩波动如图 8C 所示。

[0088] 转子铁芯设有 q 轴表面槽和 q 轴内部孔后的永磁同步电机的反电势如图 9A 所示,齿槽转矩如图 9B 所示,转矩波动如图 9C 所示。

[0089] 转子铁芯设有 q 轴表面槽和齿靴槽后的永磁同步电机的反电势如图 10A 所示,齿槽转矩如图 10B 所示,转矩波动如图 10C 所示。

[0090] 转子铁芯设有 q 轴表面槽和 q 轴内部孔及齿靴槽后的永磁同步电机的反电势如图 11A 所示,齿槽转矩如图 11B 所示,转矩波动如图 11C 所示。

[0091] 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,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明保护的范围之内。

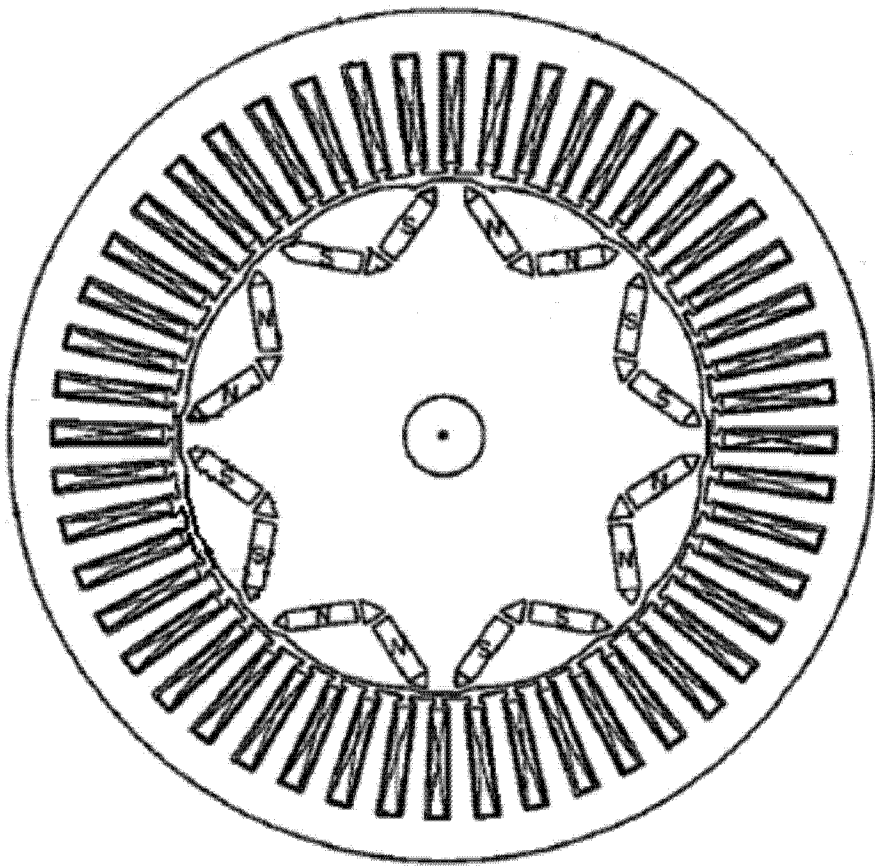


图 1

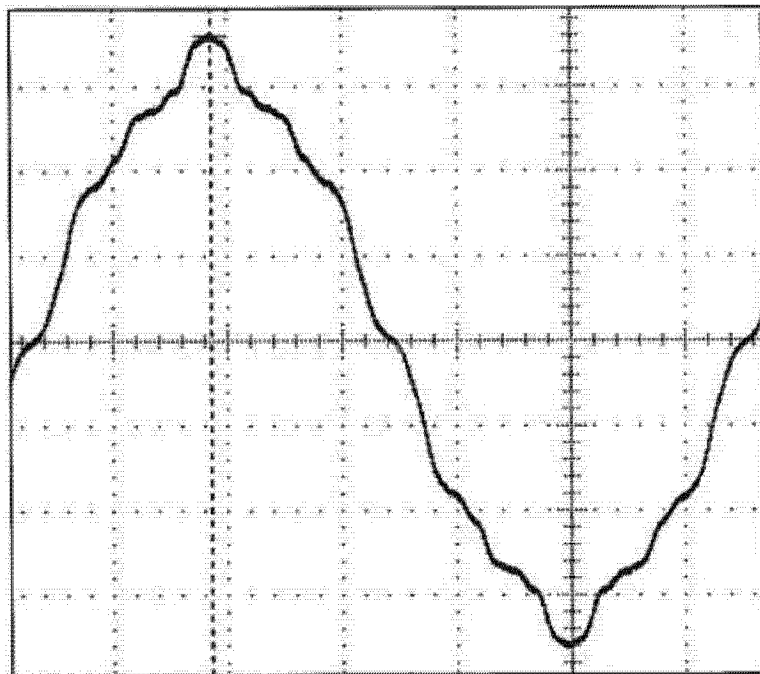


图 2

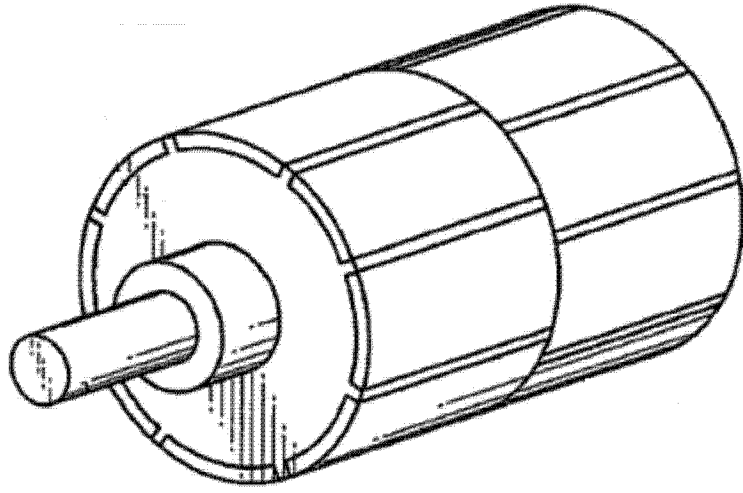


图 3

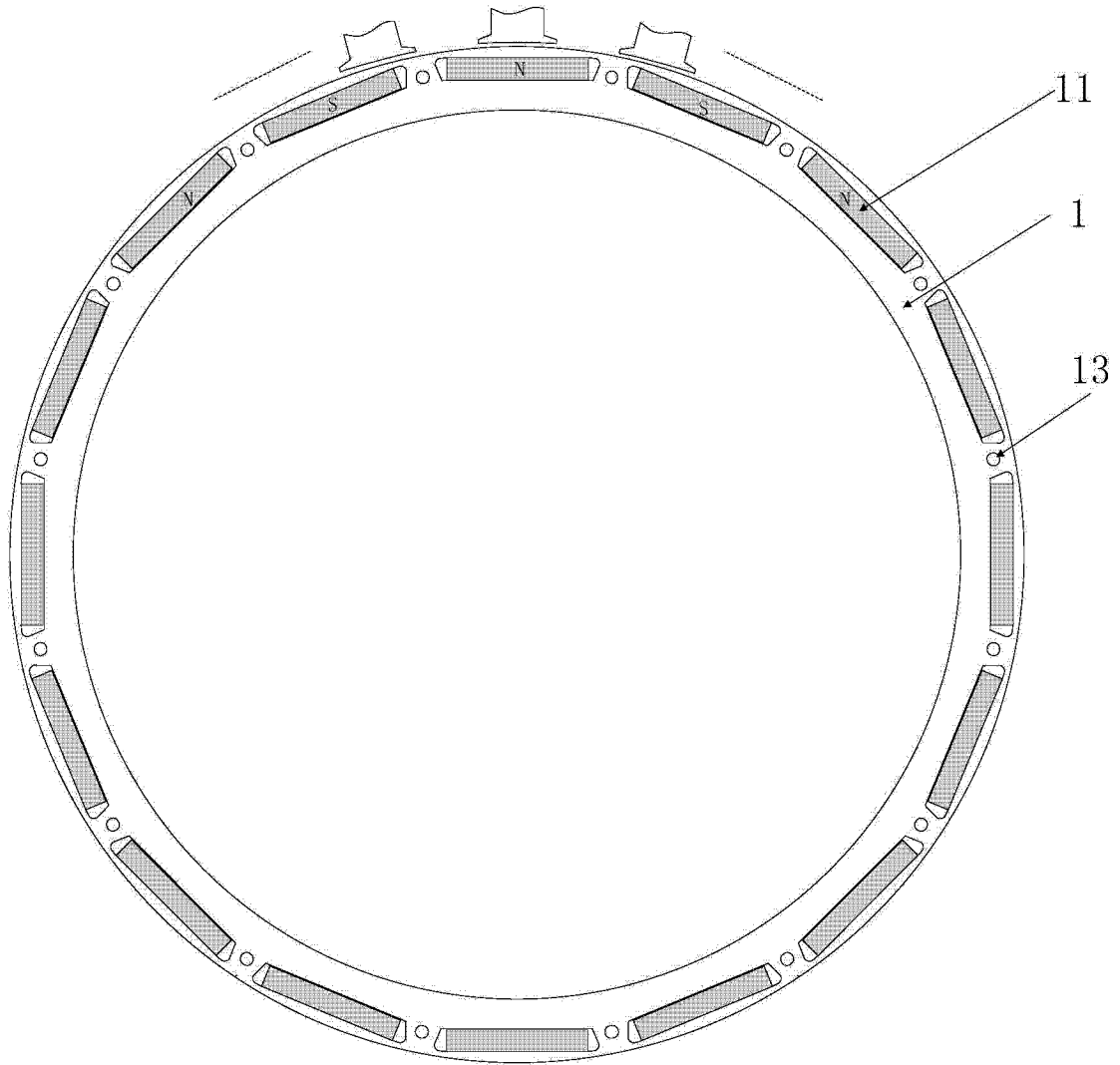


图 4

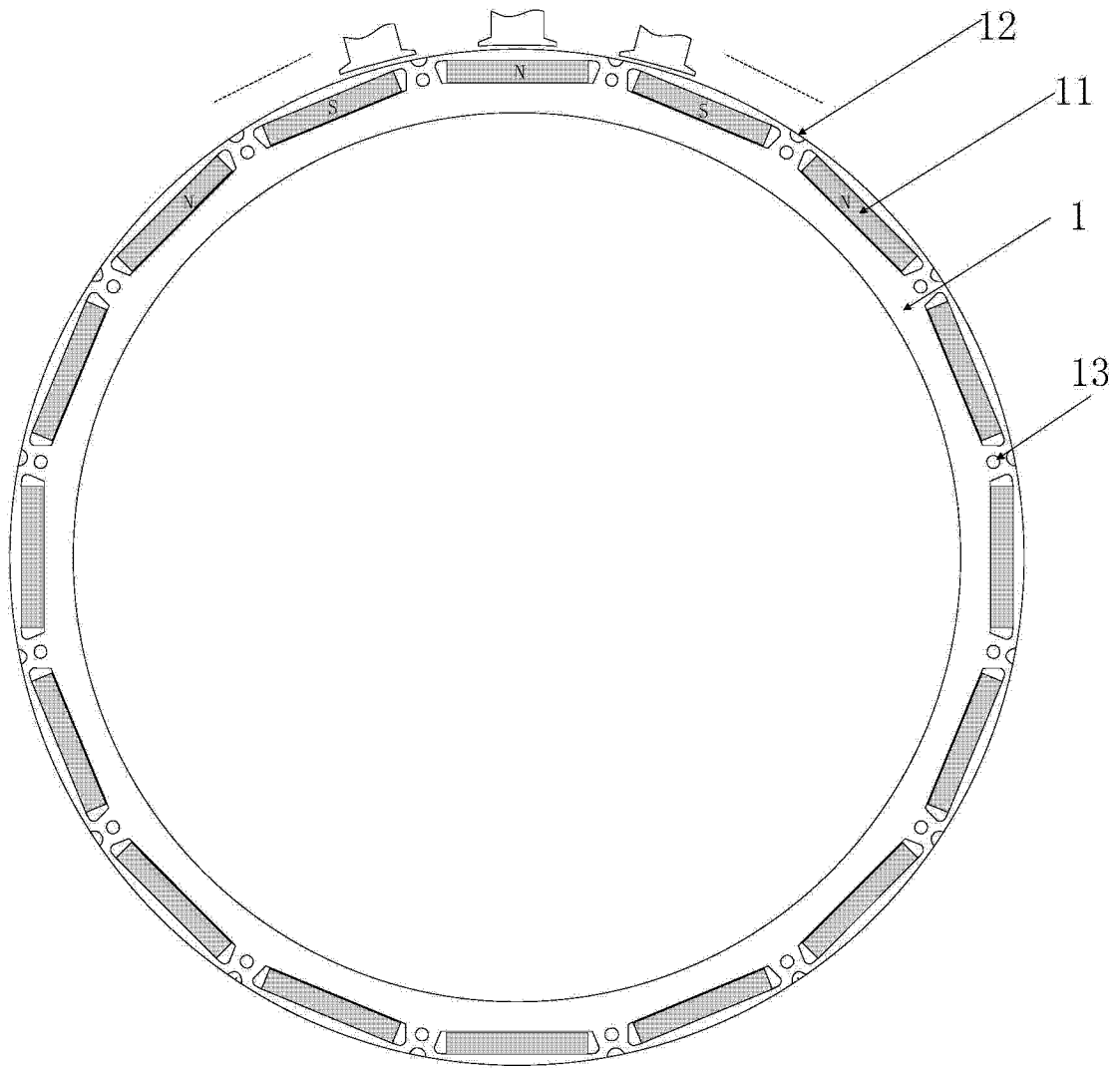


图 5

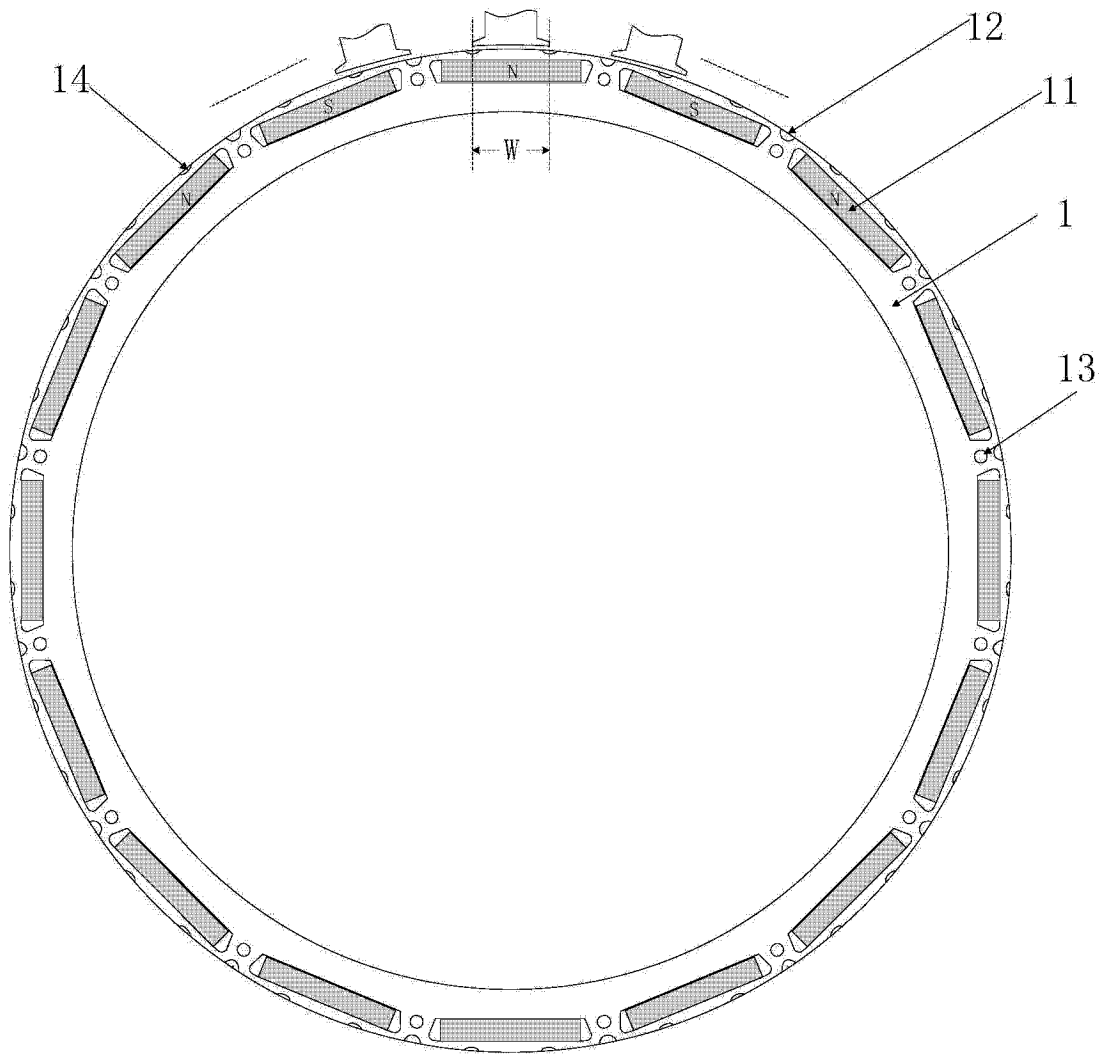


图 6

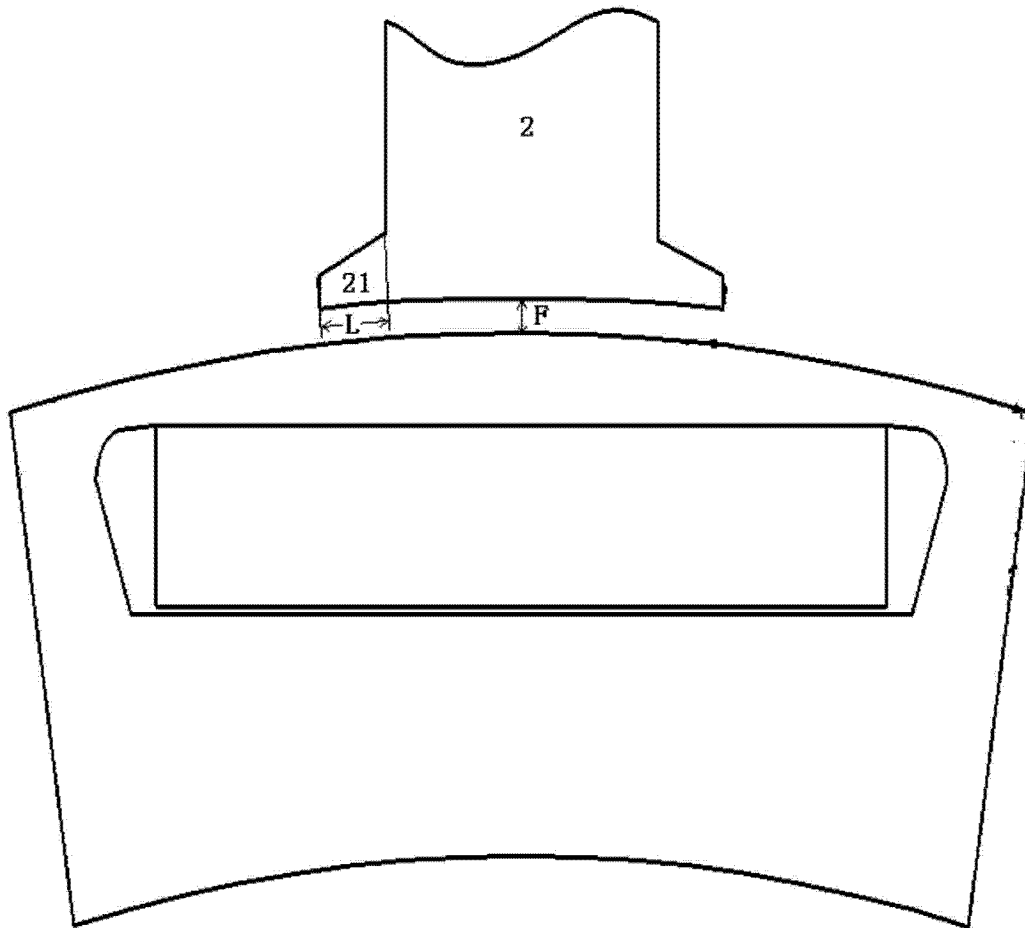


图 7

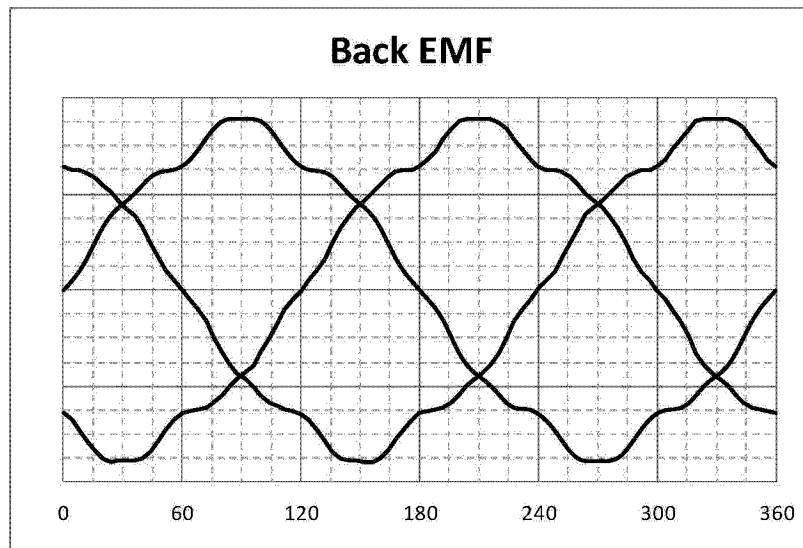


图 8A

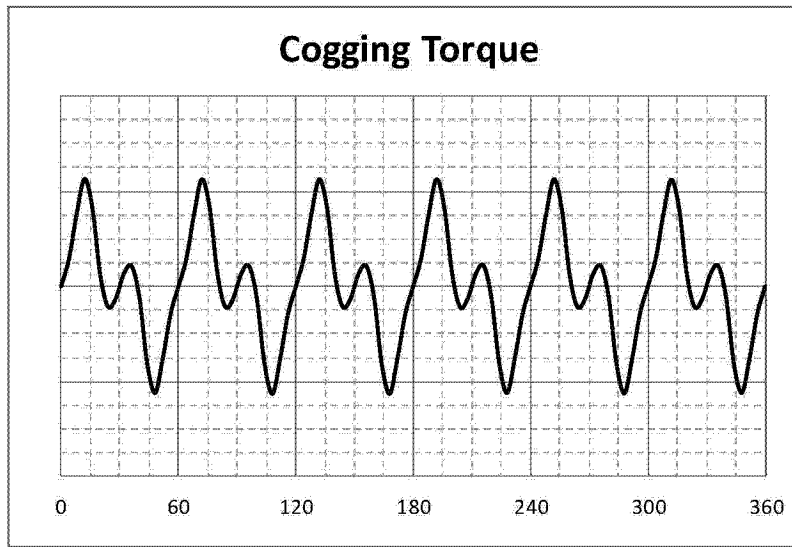


图 8B

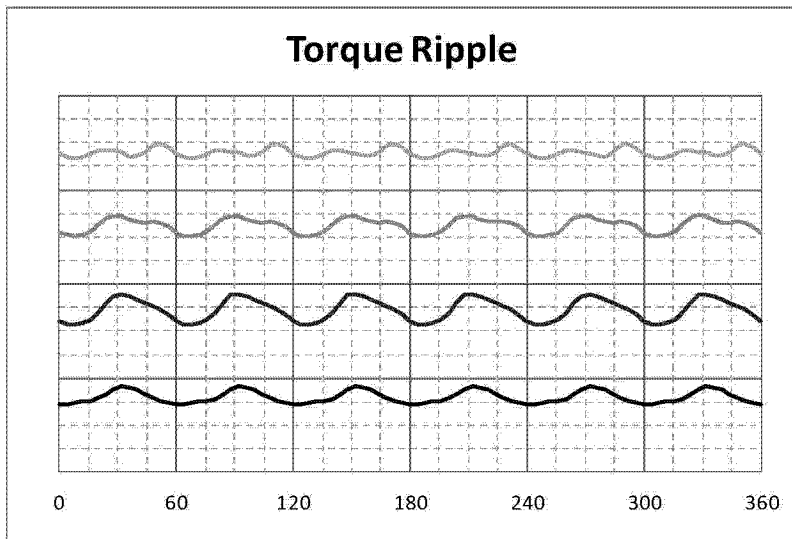


图 8C

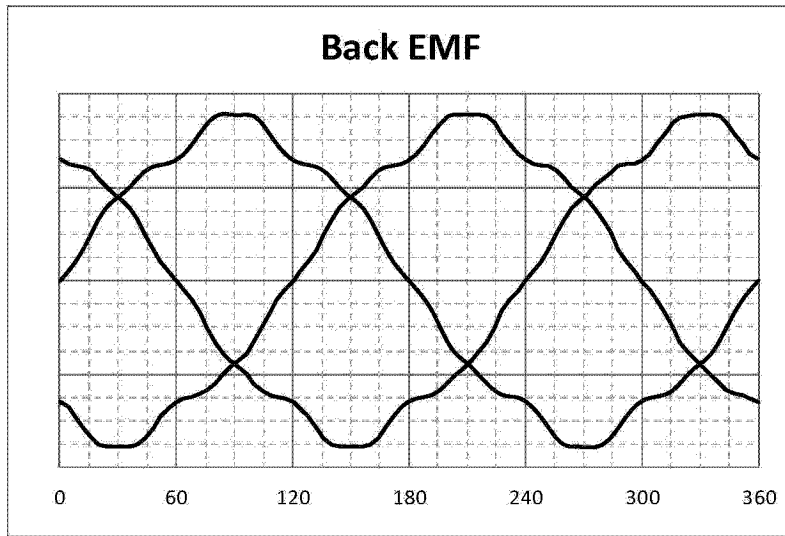


图 9A

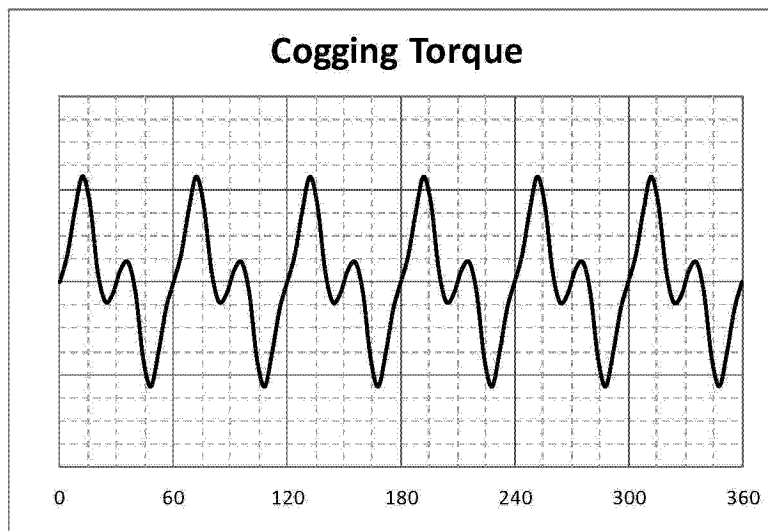


图 9B

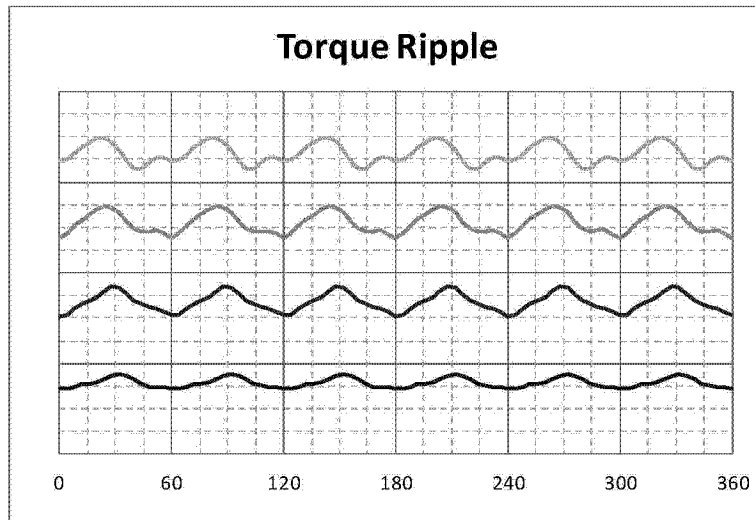


图 9C

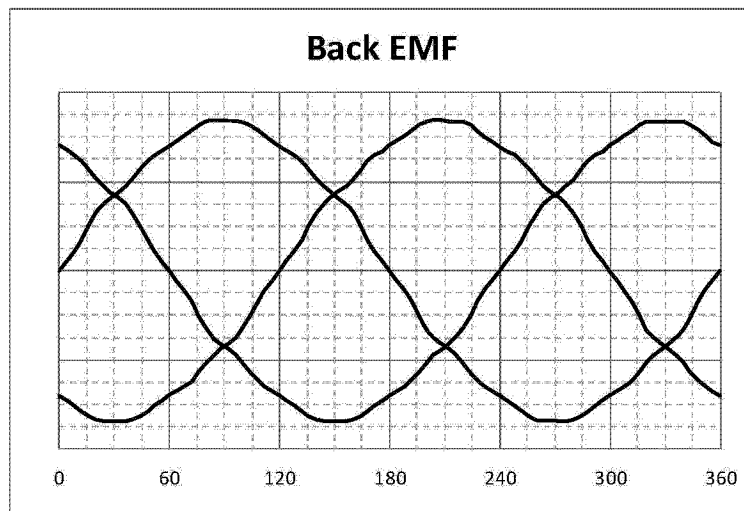


图 10A

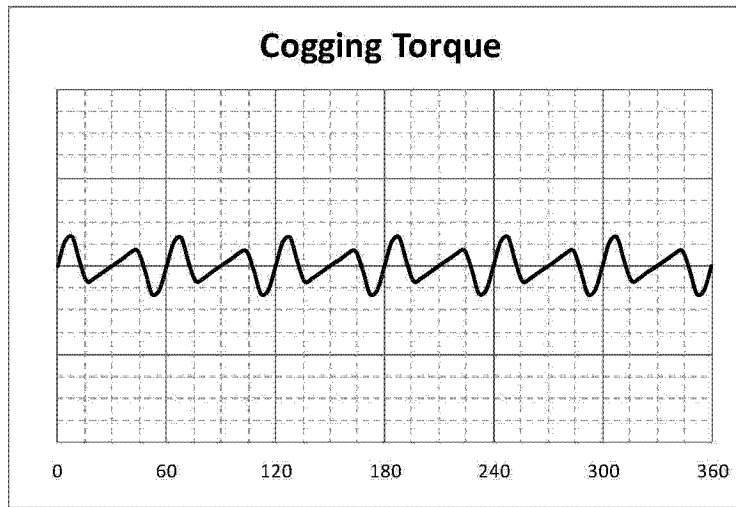


图 10B

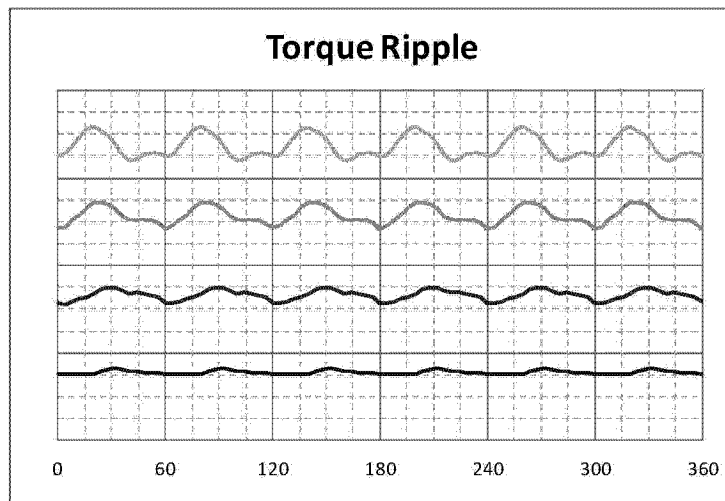


图 10C

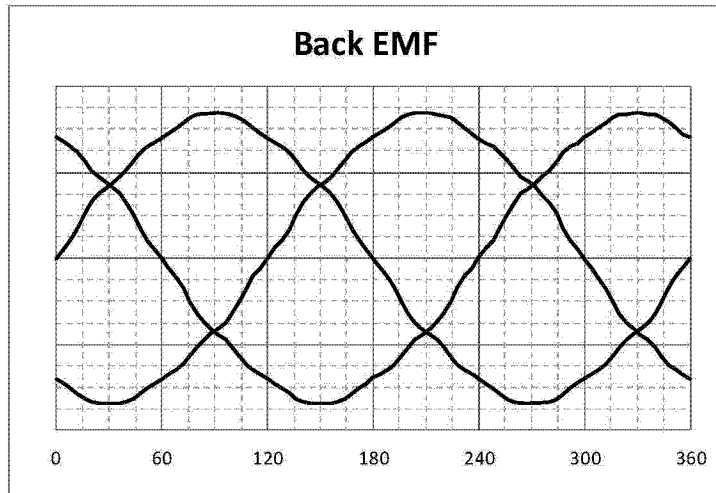


图 11A

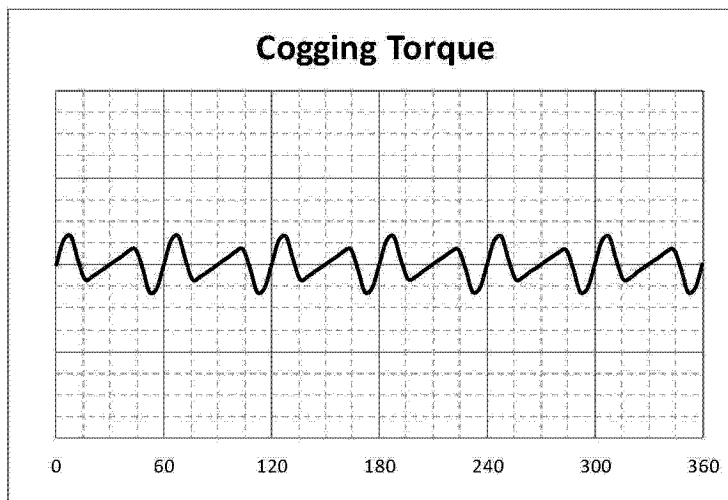


图 11B

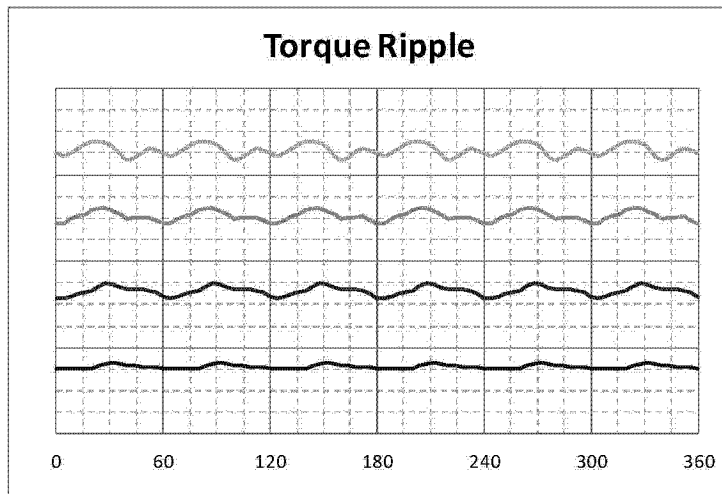


图 11C

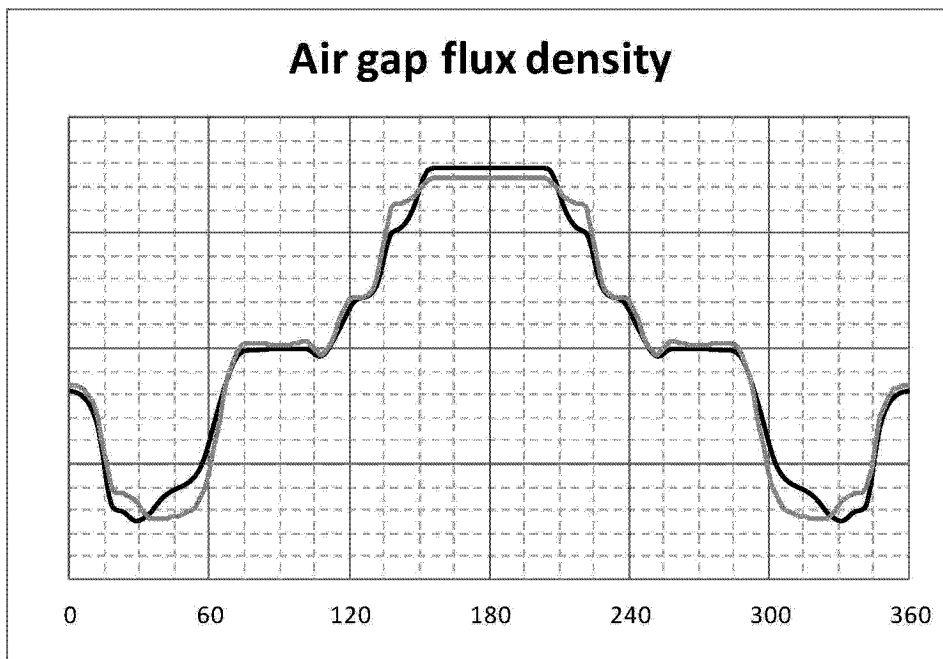


图 12