

一种削弱聚磁式永磁爪极电机齿槽转矩的新方法

耿 振¹, 李光友², 赵雪瑞²

(¹山东大学, 济南 yøþþùýýú 秦皇岛方圆港湾监理有限公司, 秦皇岛 þùùþþþ)

摘要:针对聚磁式永磁爪极电机的齿槽转矩的问题,提出了采用爪极偏移削弱齿槽转矩的新方法。在电机二维简化模型的基础上,采用二维有限元软件分析齿槽转矩。通过参数化方法确定了磁极极弧系数和爪极偏移量的较佳组合,而且验证了该方法的有效性。

关键词:永磁爪极电机;齿槽转矩;爪极偏移

中图分类号: T812.4 文献标识码: A 文章编号: yþþùôóþýóþýýþþùôþþþ

摘要: 本研究针对聚磁式永磁爪极电机的齿槽转矩问题, 提出了采用爪极偏移削弱齿槽转矩的新方法。在电机二维简化模型的基础上, 采用二维有限元软件分析齿槽转矩。通过参数化方法确定了磁极极弧系数和爪极偏移量的较佳组合, 从而验证了该方法的有效性。

引言: 为了削弱聚磁式永磁爪极电机的齿槽转矩, 本研究提出了一种新的削弱方法, 即通过改变磁极极弧系数和爪极偏移量的组合来达到削弱齿槽转矩的目的。通过有限元分析, 确定了最佳的参数组合, 并进行了验证。

聚磁式永磁爪极电机是一种新型的永磁电机, 它具有结构简单、功率密度高、容错性好等优点, 因此具有广阔的应用前景。单相聚磁式永磁爪极电机的结构如图 1 所示, 外转子内表面分布有永磁磁极, 呈 D 极及交替排列; 内定子采用爪极结构, 爪极的齿数与转子极数相等; 左端和右端爪极之间放置集中电枢绕组。当转子转动时, 磁极磁通经爪极汇聚交链电枢绕组, 产生感应电动势。电动势与电枢电流作用产生电磁功率, 实现能量转换。轴向排列三台空间相位依次相差 120° 的单相电机就构成一台三相聚磁式永磁爪极电机。由于这种新型电机的爪极数与磁极数相等, 因此齿槽转矩很大, 严重影响它的推广应用, 必须设法予以削弱。

引言

聚磁式永磁爪极电机是一种新型的永磁电机, 它具有结构简单、功率密度高、容错性好等优点, 因此具有广阔的应用前景。单相聚磁式永磁爪极电机的结构如图 1 所示, 外转子内表面分布有永磁磁极, 呈 D 极及交替排列; 内定子采用爪极结构, 爪极的齿数与转子极数相等; 左端和右端爪极之间放置集中电枢绕组。当转子转动时, 磁极磁通经爪极汇聚交链电枢绕组, 产生感应电动势。电动势与电枢电流作用产生电磁功率, 实现能量转换。轴向排列三台空间相位依次相差 120° 的单相电机就构成一台三相聚磁式永磁爪极电机。由于这种新型电机的爪极数与磁极数相等, 因此齿槽转矩很大, 严重影响它的推广应用, 必须设法予以削弱。

针对聚磁式永磁爪极电机的齿槽转矩问题, 文献 [1] 利用解析法对选择不同极弧系数抑制齿槽转矩进行了分析, 文献 [2] 提出了通过斜槽减小外转子爪极电机的齿槽转矩, 文献 [3] 提出利用切割永磁体的方法来调整永磁体磁极参数, 进而削弱爪极电机的齿槽转矩, 文献 [4] 对不等槽口宽配合的齿

槽转矩削弱方法进行了研究, 文献 [5] 对削弱齿槽转矩的不同方法进行了较为细致的总结。本文提出一种爪极偏移削弱齿槽转矩的新方法, 并通过参数优化, 使齿槽转矩达到最小值。

聚磁式永磁爪极电机简化模型及齿槽转矩的分析

所研究的聚磁式永磁爪极电机单相整体 $\frac{1}{2}$ 模型如图 2 所示, 可以把定子爪极的上表面看成传统电机中的齿, 把相邻两个爪极之间的空隙看成是传统电机的槽, 在槽中安放成型的集中绕组。为了方便分析, 在此基础上做一些相应的简化得到了聚磁式永磁爪极电机的 $\frac{1}{2}$ 简化模型, 以此模型分析聚磁式永磁爪极电机的齿槽转矩。图 3 是简化后的聚磁式永磁爪极电机的物理模型。



图 2 单相电机整体 $\frac{1}{2}$ 模型

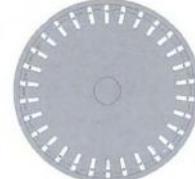


图 3 电机简化 $\frac{1}{2}$ 模型

因为电机的基本尺寸和结构外形已经确定, 可以改动的地方主要在于齿宽或者槽宽以及永磁体的

宽度 b 因此对于简化后的电机模型在分析其齿槽转矩时,通过利用优化极弧系数 α 定子爪极偏移(槽口宽度)等方法来削弱齿槽转矩 β

根据齿槽转矩的定义,可得:

$$\hat{I}_{\text{core}} = \frac{\hat{U}_d}{\hat{U}_{\text{u}}} \quad (\text{y})$$

式中: \hat{U}_{u} 为某一指定的齿的中心线和某一指定的永磁极中心线之间的夹角 β

文献 [6] 中已得出普遍情形下齿槽转矩的表达式:

$$\hat{I}_{\text{core}}(\hat{U}_{\text{u}}) = \frac{\hat{U}_d}{\hat{U}_{\text{u}}} \left(\hat{U}_{\text{u}} - \frac{\hat{U}_d}{\hat{U}_{\text{u}}} \right)^{\frac{1}{2}} \hat{U}_d \sin \theta_{\text{slot}}^{\text{slot}} \quad (\text{y})$$

式中: \hat{U}_d 为使 $\frac{\hat{U}_d}{\hat{U}_{\text{u}}}$ 为整数的整数 β

根据上述情况下的齿槽转矩的傅里叶表达式,对于单相电机齿槽转矩进行离散傅里叶变换后的齿槽转矩可以统一表达:

$$\hat{I}_{\text{core}} = \sum_{n=1}^{N_p} \hat{U}_{\text{u}} \hat{U}_{\text{u}}^n \cos(n\theta) \quad (\text{E})$$

式中: θ 为转子的电角度; \hat{U}_{u} 为离散傅里叶的变换系数 β

由于三相聚磁式永磁爪极电机的三相之间互差 120° 电角度,故三相齿槽转矩的基波也互差 120° 电角度 β 三相齿槽转矩之和:

$$\begin{aligned} \hat{I}_{\text{core}} &= \hat{U}_{\text{u}} \hat{U}_{\text{u}}^1 + \hat{U}_{\text{u}} \hat{U}_{\text{u}}^2 + \cdots + \hat{U}_{\text{u}} \hat{U}_{\text{u}}^N \\ &= \hat{U}_{\text{u}} \hat{U}_{\text{u}}^1 + \hat{U}_{\text{u}} \hat{U}_{\text{u}}^2 + \cdots + \hat{U}_{\text{u}} \hat{U}_{\text{u}}^N \quad (\text{u}) \end{aligned}$$

由上式可以看出,三相电机的齿槽转矩合成后只剩下 2 次及 4 的倍数次谐波,且幅值为原来的 2 倍 β 其他次谐波均互相抵消,因此,三相电机的齿槽转矩比单相明显减小 β

聚磁式永磁爪极电机齿槽转矩实例分析

本文所研究的电机主要参数如表 y 所示 β

表 y 永磁外转子爪极发电机主要结构参数

参数 α 单位	值	参数 α 单位	值
定子外径 C_{out}	100 mm	磁极内径 C_{in}	60 mm
定子内径 C_{in}	50 mm	极数	4
转子外径 C_{out}	50 mm	气隙长度 C_{gap}	2 mm
转子内径 C_{in}	40 mm	永磁体材料	$Neodymium$
磁极外径 C_{ext}	55 mm	齿宽 C_{slot}	2 mm
单相长度 C_{phase}	10 mm	频率 f_{phase}	50 Hz
额定功率 P_{rated}	1 kW		

y 不同极弧系数时电机的齿槽转矩

利用有限元软件中的参数化分析功能,以极弧系数 α 为参数,变化范围为 $[0, 1]$,步长 0.01 ,

通过仿真得到齿槽转矩的曲线,仿真后发现单相齿槽转矩曲线幅值均在 $[-10, 10] \text{ Nm}$ 左右,因此具体曲线不再画出 β 图 u 是三相合成齿槽转矩曲线,其中横坐标 t/ms 分别对应于 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$

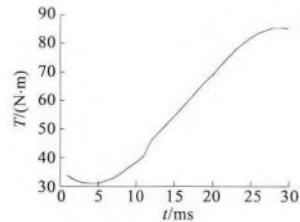


图 u 不同极弧系数时齿槽转矩变化曲线

观察图 u 的曲线可以发现,不同极弧系数时,电机的齿槽转矩出现明显差异,当 $\alpha_1 = 0$ 时,三相合成齿槽转矩最小,为 -10 Nm ;当 $\alpha_2 = 0.5$ 时,齿槽转矩达到最大,为 80 Nm 和 $\alpha_3 = 1$ 时的齿槽转矩曲线分别如图 u 所示 β

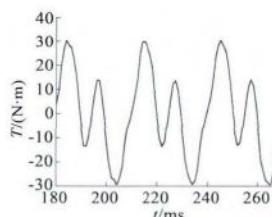


图 u 不同极弧系数时电机的齿槽转矩

由此可见,优化极弧系数可以削弱齿槽转矩,但仍然较大,需要采用其他方法进一步削弱齿槽转矩 β 爪极偏移时电机的齿槽转矩

由以上分析可知,当 $\alpha_1 = 0$ 时,电机的合成齿槽转矩最小 β 现保持 $\alpha_1 = 0$ 不变,使电机的爪极偏移,具体偏移方法:将 12 个爪极平均分为 4 组,每三个为一组,相邻两爪之间的槽口宽度为 2 mm ,每组之间的距离可以通过计算得出 β

经过有限元分析,得到电机的齿槽转矩曲线如图 o 所示 β

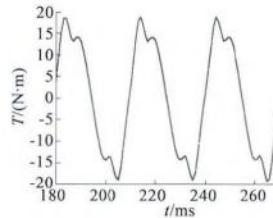


图 u α1=0 时电机的齿槽转矩

从图 o 中可以看出,齿槽转矩最大值为 10 Nm ,比爪极不偏移时电机的齿槽转矩明显减小 β 经过参数化分析发现,在上述条件下,当 $\alpha_2 = 0.5$ 时,齿槽转矩最小,为 -10 Nm ;当 $\alpha_3 = 1$ 时,齿槽转矩最小,为 -10 Nm 。

图 o α2=0.5 时电机的齿槽转矩

改变槽口宽度,分别使槽口宽度为 $1 \text{ mm}, 2 \text{ mm}, 3 \text{ mm}$,

(下转第 10 页)