



具脈寬外型磁鐵的 少稀土永磁同步馬達

Less Rare-Earth Magnet with Pulse-Width Modulation Shape
for Permanent Magnet Synchronous Motors

賴冠宇

國立台灣大學
機械系
研究生

陽毅平

國立台灣大學
機械系
教授

關鍵詞(Keywords)

- 稀土磁鐵 Rare-Earth Magnet
- 永磁同步馬達 Permanent Magnet Synchronous Motor
- 脈寬外型磁鐵 Pulse-Width Modulation Shaped Magnet

摘要(Abstract)

本案利用脈寬調變技術設計永磁同步馬達的磁鐵外型，主要目標為減低稀土磁鐵用量，並且盡量降低馬達性能損失。在馬達的等效磁路模型分析中，考慮有效氣隙、槽效應、與氣隙漏磁等，建立一維氣隙磁通密度分布函數，進一步得到馬

達的性能，再利用妥協規劃法來評鑑各磁鐵尺寸的表現，並利用二維有限元素分析模型驗證其準確性。最後選出三組經過設計後的磁鐵和一組未做外型設計的磁鐵，比較其性能及磁鐵使用量上的差異。根據本文的設計方法可以降低9~13%的磁鐵用量，而馬達力矩輸出下降約3~5%，在維持了應有的性能下減少磁鐵用量。

This paper introduces a novel pulse-width modulation (PWM) shaped permanent magnet for a permanent magnet synchronous motor (PMSM), aiming to reduce as much rare-earth magnet materials and power losses as possible. A one-dimensional air-gap flux density distribution function is derived by considering the effective air-gap, slot effect, and flux leakage in an equivalent magnetic circuit model of a scooter



motor. In the search for optimal magnet shapes, the compromise programming is used to obtain an optimal set of magnet parameters that minimize the magnet volume and maximize the torque and efficiency of the motor. Two-dimensional finite elements method (FEM) is used for verification and refinement. Finally, three motors with various PWM-shaped magnets were fabricated to compare performance with the motor without PWM-shaped magnets. The motors with the proposed PWM-shaped magnet have 9-13 % less magnet in volume than the motor without PWM-shaped magnets, but the corresponding torque is only reduced by 3-5 %.

1. 前言

近幾十年來汽機車都是使用內燃機作為其動力來源，隨著石油日漸吃緊與環保意識的抬頭，人們渴望尋找其他乾淨的替代能源以及發展搭載其能源系統的代步工具。電動車、電動自行車等以電能為動力源的交通工具在近期受到大量的推廣，因其碳排放量低，且電池可一再重複使用，屬於再生能源，符合環保需求，我們開始思考使用馬達來代替或輔助內燃機的角色。電動車使用馬達取代內燃機作為動力來源，近年來永磁無刷馬達開始快速發展，雖然其需要較複雜的控制架構，但有能源轉換效率高且故障率低的優點。永磁無刷馬達性能的關鍵為磁鐵，馬達需要提供足夠的動力用以驅動車輛本體，常見的鐵氧體磁鐵

所能提供磁場不足，進而選擇稀土磁鐵。

Hong 和 Yoo[1]設計表面貼磁式永磁馬達的磁鐵表面形狀，用以達到降低力矩漣波和諧波失真。Kim 等人[2]切削磁鐵兩邊外型，用以改進馬達的頓轉力矩和反電動勢波形，套用在外轉式馬達並進行有限元素分析驗證。Chabchoub 等人[3]則是針對磁鐵兩端的形狀對於頓轉力矩的關係更深入的探討形狀的影響。Łukaniszyn 等人[4]及 Shah 等人[5]捨棄只在平面設計磁鐵的方法，前者將一整塊磁鐵切割成數個小磁鐵，將其中幾個的位置稍微改變，並使用基因演算法求解最佳的改變位置，能有效降低頓轉力矩；後者將磁鐵分布位置改變，因為考慮正常磁鐵的反電動勢為方波，而電流卻以弦波方式輸入，故將在轉子上的磁鐵進行重新分布亦能有效降低頓轉力矩。Hsieh 及 Hsu[6]則是改造磁鐵外型，並將其改造過後的磁動勢代入偏微分方程式，比較磁鐵外型改造前後反電動勢與弦波的差異。Laskaris 等人[7]將瓦片狀的磁鐵改變為圓弧狀，藉此達到弦波反電動勢，並依據此設計製作並比較兩者的差異，結果為改造後的馬達擁有更大的轉速區，效率也較高。Zhao 等人[8]針對磁鐵的材料經濟性作分析，文中提出了四種磁鐵形式，發現將磁鐵作 Z 軸方向的排列可以有效的使反電動趨近弦波，並節省磁鐵用量。Oh 等人[9]設計磁鐵各區塊充磁方向，進而達到降低磁鐵用量及減少頓轉力矩的目的。

本文的主軸是將脈波寬度調變(PWM)應用在磁鐵形狀上，將磁鐵切割出許多凹槽，再把磁鐵形狀寫成傅立葉級數，有了磁動勢後就可以依序推得磁通鍊及反電動勢，又因反電動勢正比於馬達力矩，故適當調整切割的方式可以影響反電動

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】386期・104年5月號

每期220元・一年12期2200元

劃撥帳號：07188562 工業技術研究院機械所

訂書專線：03-591-9342

傳真訂購：03-582-2011

機械工業雜誌官方網站：www.automan.tw