



應用於輕型電動機車之 外轉子直流激磁式 磁通切換馬達設計

Design of an Outer Rotor DC-Excited Flux Switching Motor
for Light Electric Scooter

楊勝明

國立台北科技大學
電機工程系
電力電子組
博士

蔡炎臻

國立台北科技大學
電機工程系
電力電子組
碩士

張佳皓

國立台北科技大學
電機工程系
電力電子組
碩士

關鍵詞(Keywords)

- 磁通切換馬達 Flux Switching Motor
- 外轉子馬達 Outer Rotor
- 電動車 Electrical Vehicle

摘要(Abstract)

本案的主要目的是設計一應用於輕型電動機車之外轉子式直流激磁式磁通切換馬達，其主要規格是根據政府補助於輕型小型電動機車規範來制定。透過分析轉矩-轉速曲線開始制定馬達規格，並利用有限元素分析決定轉定子槽極數，之後根據外觀尺寸的限制做初步的設計，最後利用靈敏度分析與最佳化決定合適的參數，改良轉子

外觀以得到最佳效率及最小轉矩漣波的設計。除了分析及設計之外，亦實際做出馬達及其驅動來驗證結果是否與設計相符。

This paper proposes an outer rotor DC excitation flux switching motor design for light weight electric scooters. The motor was designed based on the government subsidy guidelines for lightweight electric scooters. Motor specifications were developed by using the required torque-speed curve. Then, finite element analysis software was used to determine the number of slots and poles. After that, motor shape and winding layout was designed. Finally, motor efficiency and torque ripple were optimized through sensitivity analysis and an optimization scheme. In addition to the theoretical analysis, a motor was built and experimental verifications were performed.



1. 前言

永磁磁通切換式馬達(permanent magnet flux switching motor, PMFSM)為一種新型態的馬達，其主要為永磁同步馬達與開關式磁阻馬達的一種結合，其同時具備了高功率密度，以及高結構強度。而直流激磁式磁通切換馬達(DC-excited flux switching motor, DCFSM)則是以激磁線圈取代永久磁鐵，除了因為沒有磁鐵而降低成本及耐熱能力外，也可透過調節激磁電流做弱磁控制，且轉子的結構強健，相當適合於電動車輛相關的應用。國外雖然已有一些直流激磁式磁通切換馬達相關的研究論文，但大多探討馬達的結構設計及特性，控制相關的文獻較少[1-7]，且尚未發現有產業應用的實例，故此研究主題相當具有前瞻性。

本研究以小輕型的電動機車之內輪式馬達為主要的應用對象，探討直流激磁式磁通切換馬達之規格、設計及應用等。本篇主要的研究目標是分析、設計及製作一 12 槽/14 極外轉子直流激磁式磁通切換馬達，並透過實驗其驅動電路來作驗證。

2. 馬達設計

本節說明主要的研究方法，包含：馬達規格制訂、設計流程、利用有限元素分析(finite element analysis, FEA)軟體 Flux 2D 權衡出一組較符合馬達需求模型，在計算其工作點之性能、電樞及激磁電流與轉矩之間的關係及效率分析。

2.1 馬達規格制訂

本篇使用的馬達為直流激磁式外轉子輪圈馬達，規格制訂時參考“經濟部發展電動機車補助及獎勵要點”所訂的小型輕型電動機車之性能標準及相關測試規範[8]，主要項目如表 1 所示。根據此規範需求的性能，以及基本的騎乘參數，可以計算出直流激磁式馬達所需的轉矩-轉速性能如圖 1 所示。

電動機車主要有兩個工作點，分別為爬坡工作點與額定工作點。馬達的爬坡工作點為 12 度斜坡時需達到 200 rpm (10 Km/H)此時轉矩為 25.4 Nm，最大功率約為 560 W，其運作時間必須限制以避免馬達過熱。額定工作點為平地時需達到 700 rpm，此時轉矩為 6 Nm 左右，功率則下降至 420 W。

經由參考相關文獻的研究[9-15]及利用有限元素軟體分析比較之後，找出 12 槽/14 極的設計可提供外轉子磁通切換式馬達最好的輸出轉矩及連波轉矩，並將圖 1 所示之轉矩-轉速性能需求乘上 1.2 倍的安全係數之後再進行設計。其中本研究所定義之 12 槽為供給電樞繞組的 12 槽，定子另需要 12 槽給激磁繞組使用，故實際槽數為 24 槽。並由於實驗室電力配置、動力計限制、及安全上的考量，設計的馬達功率上限訂為 700 W，使用自然方式冷卻。又為了降低電流及提高效率，直流電源訂為 300 VDC，故馬達相電壓的峰值為 150 V，主要的規格見表 2。

表 1 小型輕型電動機車主要性能表

車+騎士	平坦地面 速度	12 % 斜坡	0-20 Km/H 加速
150 Kg	> 30 Km/H	> 10 Km/H	< 9 Sec.

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