高效率同步磁阻馬達設計

Design of High Efficiency Synchronous Reluctance Machine

黃憲章
工研院機械所
控制核心技術組
高階伺服技術部

張正敏
工研院機械所
控制核心技術組
高階伺服技術部

吳昱勳
工研院機械所
控制核心技術組
高階伺服技術部

關鍵詞

- 同步磁阻馬達 Synchronous Reluctance Motor
- 轉矩漣波 Torque Ripple
- 轉子設計 Rotor Design

摘要(Abstract)

本文主要在敘述同步磁阻馬達轉子設計，基於 d/q 軸 MMF 在弦波分佈之下，改變轉子磁障大小與角度，並觀察馬達轉矩與轉矩漣波之變化，從中了解變數之間與馬達特性的關係，進而找出合適的轉子磁障幾何尺寸。最後，再作轉子磁障形狀的改善，譬如：導圓角。變數對於馬達特性之敏感度，有時無法兩者兼得，必須有所妥協取得平衡點，以達到馬達規格需求與改善。

The purpose of this paper is to present a rotor design for synchronous reluctance motors. Under the condition of sinusoidal MMF distribution in d/q axes, different geometries of flux barriers in rotors are applied to observe the output torque and torque ripples. The relation between rotor geometry and motor performance is deduced and a suitable geometry of the rotor flux barriers is obtained.

1. 簡介

在節能環保的國際趨勢下，耗電量占總工業60%以上的馬達成為節電的首要目標，近年來提升馬達效率已成為電機領域的顯學。目前國際上的馬達效率，主要以國際電工委員會(International

Electrotechnical Commission, IEC) 制定的 IEC 60034-30 國際標準為主，該標準將馬達分為 IE1、IE2、IE3 及 IE4 等級，美國、歐盟國家、日本等國對馬達單體能效標準設定實施期程，美國已於 2010 年底實施相當於 IE3 等級的 NEMA 標準，歐盟、日本於 2015 年開始實施 IE3 管制，韓國及中國則分別於 2015 年、2016 年實施 IE3。

此一趨勢推動各國馬達業者在效能提升上不斷努力，然而，依據表 1，國際標準 IEC60034-30-1 對各式馬達的效率達成的潛力預測[1]，非同步的三相感應電機要達到 IE4 效率等級以上，有相當難度，要達到 IE5 等級更是極大的挑戰，隨著最低能效標準的提升，業界尋求感應馬達以外的解決方案，以期為未來更高標準實施預作準備。

儘管永磁馬達效率可大大高於感應馬達，然而稀土屬於高價材料，即使在設計永磁馬達時，對磁鐵的使用量都已斤斤計較，若只是為了提升效率，取代感應馬達，在成本考量上，不會優先選擇昂貴的永磁馬達。此時磁阻馬達的優勢就凸顯出來，相對於永磁馬達，磁阻馬達不需要永久磁鐵(不考慮磁鐵輔助型的磁阻馬達)，成本較低；相對於鼠籠式感應馬達，磁阻馬達的轉子不須鑄鋁，沒有導體條，因此沒有轉子焦耳損，有助於效率提升。此時，磁阻馬達成了取代感應馬達的一種選擇。本文即是探討同步磁阻馬達(synchronous reluctance motor, SynRM)的理論與設計。

2. 基礎理論

以旋轉運動的馬達而言，輸出功率仰賴產生力矩推動轉子，力矩的產生可分為兩種主要的方式：電磁力與磁阻力，本文討論的磁阻馬達就是利用磁阻力(reluctance force)產生轉矩。基於在磁場中磁力線會選擇最小磁阻的路徑前進的性質，電機中的磁性物體會順應此最小磁阻路徑移動，進而產生的推動力稱為「磁阻力」。

對任何旋轉電機而言，由能量的觀點來看，儲存於電機磁場中的能量 W_f 可表示成：

$$W_f = \frac{1}{2}L_{ss}i_s^2 + \frac{1}{2}L_{rr}i_r^2 + L_{sr}i_s i_r$$

表 1　各式馬達與其效率潛力(IEC60034-30-1)

Motor type		IE1	IE2	IE3	IE4	IE5
Three-phase cage-rotor induction motors (ASM)	Random wound windings (all enclosures, all ratings)	Yes	Yes	Yes	Difficult	No
	Form wound windings IP2x (open motors)	Yes	Yes	Difficult	No	No
	Form wound windings IP4x and above	Yes	Yes	Yes	Difficult	No
There-phase wound-rotor induction motors		Yes	Yes	Yes	Difficult	No
Synchronous motors	Line-start permanent-magnet (LSPM)	Yes	Yes	Yes	Difficult	No

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】398 期・105 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

機械工業雜誌信箱：jmi@itri.org.tw