節能高效率磁阻電機

Energy-Saving of High-Efficiency Reluctance Motor

徐銘懋1、彭昌明2

- 1工研院機械所 控制核心技術組 先進馬達技術部
- 2工研院機械所 先進機械技術組 節能機械系統部

前言

近年來,節能意識的抬頭,對於能源的需求 急遽上升,不需要內置永久磁石的同步磁阻馬達 (Synchronous Reluctance M otor, SynRM) 相對其他 馬達具有很高的性價比和新穎結構,在需要調變 的應用場合中,更具有良好的表現。同步磁阻馬 達具有多項重要指標,如轉矩漣波、功率因數、 鐵心損耗、機械強度等表現,透過昔日的馬達工 藝和材料技術的進步,將有助於同步磁阻馬達或 其相似類型的磁阻馬達,發揮優質效率的體現, 以應用在節能的風水力系統,甚至應用於未來電 動車輛系統中。

同步磁阻馬達構型與概論

同步磁阻馬達的演進非常悠久,於1930年代左右就有學者提出。其中,同步磁阻馬達與感應馬達的構性非常類似,由馬達的外部至內部,依序可以分為支撐和保護的殼體、定子導磁鋼片、繞組導體、氣隙、轉子導磁鋼片、軸心等,唯二的差異在於轉子構型和轉子導體。而同步磁阻馬達演變,至今也有軸向疊壓轉子(ALA)和徑向疊壓轉子(TLA)等樣式,用以提高凸極比,達高效率和改善功率因數等特性。

對於不具有磁石材料的馬達,通常將磁路的 方向定義為 d 軸,亦為馬達定子和轉子對應產生 最大電感值(直軸電感),相對應方向定義為 q 軸 (交軸電感)。然而,同步磁阻馬達的轉矩輸出, 正比於馬達極數、d 軸和 q 軸電感差和 d-q 軸的電流乘積。其中,同步磁阻馬達受到凸極比的響應甚大;於磁路設計和過載操作狀態下,磁飽和的現象要極力避開,以免改變電感差異,快速影響轉矩輸出。在於馬達應用上,功率因數指標受到各國的限制,必須大於一定數值,大部分先進國家都會限制在 80% 以上;然而功率因數會正比於 d 軸電感以及電流向量與 d 軸的夾角;顯然極數的增加也同時會降低凸極率,又搭配上機構上的配置和基本波的損失響應,所以,目前大部分的同步磁阻馬達都採 4 極設計。

同步磁阻馬達最具特色的地方為轉子結構, 通常上面不配置磁鐵,僅透過奇特構型的磁障形 成磁路通道。其中,磁障的數量、形狀、間距是 重要的設計方向,它會決定轉矩的輸出及轉矩漣 波大小。

同步磁阻馬達應著重在於機構強度、效率、 功率因數、轉矩輸出、轉矩漣波、鐵心損失、控 制方式等,才有機會體現出高效率的能源轉換能 力。

無磁石馬達

同步磁阻馬達的體積大小與感應馬達相似, 常做為比較和應用。兩種馬達特性最大的差異在 於同步旋轉和具有滑差的異步旋轉,以及自啟動。 在啟動旋轉條件上,同步磁阻馬達需要配置驅動 控制系統,而感應馬達則是選擇性配置。除了上



Win	輸出轉矩 (相同電流密度)	-
-	温昇 (相同電流密度)	Win
-	驅動能力	Win
Win	啟動能力	-
Win	功率因數 (相同功率)	-
-	成本 (低功率標準型)	Win
-	效率 (相同轉矩)	Win



圖 1 (a) 同步磁阻馬達與 (b) 感應馬達比較 (圖示引用 ABB 網路電子型錄)

述,在特定的條件下,更有多方面的相異之處: 基於相同的電流密度,同步磁阻馬達較感應馬達 有偏低的轉矩輸出;基於相同的轉矩輸出,同步 磁阻馬達較感應馬達有較高的效率轉換;基於相 同轉速上,同步磁阻馬達較感應馬達有較低的頻 率和電磁損失,同時轉子損失較小,相對應定子 頻率,繞組導體和鐵心溫昇也較低。兩種電機的 差異,將如圖1概述;使用者,應評估所需應用 環境以及成本考量等,而選用較適合的馬達類型。

應用與展望

環保意識以及國際電工委員會的 IEC60034 推行,馬達的效率受到國際大廠的重視,包含 ABB、SIEMENS 和 KSB等,都陸續開發同步磁 阻馬達,甚至進一步研發永磁輔助同步磁阻馬達 (SynRM2),以達到更高效率的輸出;磁阻馬達應 用場合也陸續應用在泵浦系統、風機系統等。工 研院先進馬達技術研究團隊,認為磁阻類型的馬 達所增加的磁阻力,以及相對應成本帶來的性價 比,將會開創節能的新話題。團隊目前也開發出 工業用磁阻類馬達,其 1.5kW 效率高達 94%,並 具調控能力。同時,電動車輛的迫切需求以及未 來性,將有機會透過磁阻類的馬達,搭配相對應 的區動控制器,發展出更具增程效益的動力系統。

參考文獻

- [1] J. X. Shen, S. Cai, and S. S. Yuan, "Analysis and design of synchronous reluctance machines," Micromotors, 2016, pp. 72–83.
- [2] Siadatan, M. K. Adab, and H. Kashian, "Compare motors of Toyota Prius and synchronous reluctance for using in electric vehicle and hybrid electric vehicle," 2017 IEEE Electrical Power and Energy Conference, 2017, pp. 1-6.
- [3] T. A. Huynh, M. F Hsieh, K. J. Shih, and H. F. Kuo, "Design and analysis of permanent-magnet assisted synchronous reluctance motor," 2017 20th International Conference on Electrical Machines and Systems, 2017, pp. 1-6.
- [4] L. Ge, X. Zhu, W. Wu, F. Liu, and Z. Xiang, "Design and comparison of two non-rare-earth permanent magnet synchronous reluctance motors for EV applications," 2017 20th International Conference on Electrical Machines and Systems, 2017, pp.1-5.
- [5] S. Taghavi and P. Pillay, "Design aspects of a 50hp 6-pole synchronous reluctance motor for electrified powertrain applications," *IECON 2017* - 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2017, pp. 2252-2257.
- [6] K. Hannu, A. Lassi, N. Markku, P. Juha, and K. Jere, "Technology comparison of induction motor and synchronous reluctance motor," *IECON 2017 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 2017, pp.2207-2212.