

第一章 簡介

1.1、簡介

馬達(Motor)為最常用於家電設備、工業設備、電動車輛、及周邊設備等之致動元件。如圖 1.1 所示，馬達驅動系統為一含馬達、機械、轉換器、控制器、感測與轉換等之機電整合系統，唯有馬達與其驅動器組元件之適當設計、驅動系統組件間之妥善搭配，始可得優良之運轉控制性能。轉換器供電馬達驅動系統之操控特性甚受轉換器輸出諧波成份之影響，而諧波成份決定於轉換器之架構及切換控制策略。不同型式之馬達所採用之轉換器及切換控制方式不同。依據馬達反電動勢波形之特性，有些馬達之線圈電流宜為方波、有些則為弦波。如切換式磁阻馬達之線圈電流為方波波形。而有些更須配合馬達之線圈電感特性，從事切換控制及/或適當之換相時刻調適，以得較佳之運轉特性及轉換效率。在此方面，須先瞭解轉換器所採用切換技術所得輸出電壓或電流之頻譜特性。其次，應瞭解在具有諧波成份之非理想波形供電下，馬達之操作特性，如諧波電流、諧波損失、效率、繞組電壓應力、脈動轉矩、振動、噪音(Acoustic noise)、等，以為性能改善控制技術研擬之依據。

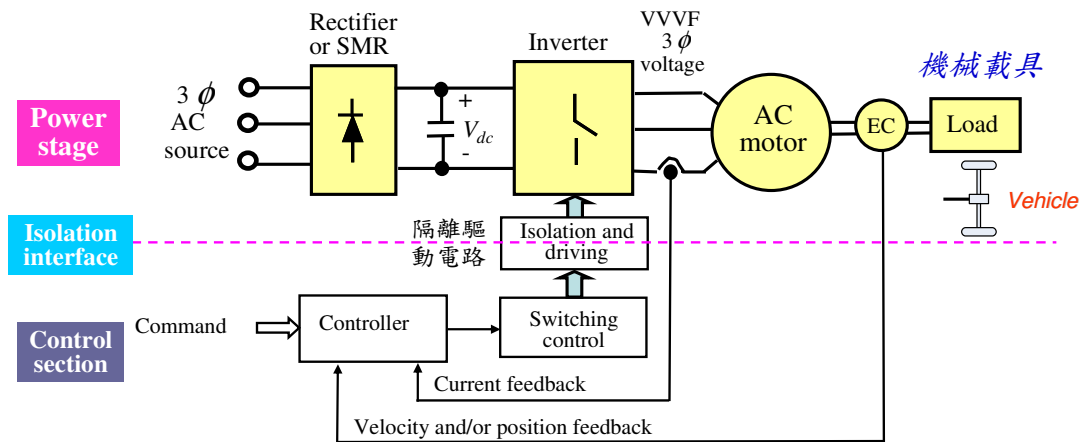


圖 1.1：馬達驅動系統組成示意圖。

影響馬達運轉特性之有關事務有：(1) 所用馬達之組成、主導方程式、操控特性之分析與量測；(2) 如何在一般標準馬達與轉換器間從事妥善之選擇搭配；(3) 馬達與轉換器間之連接匹配考量，以降低因反射所致電壓突波對線圈耐壓之影響；(4) 在馬達之分析與設計上，從事其最佳化設計，以得重量輕與體積小之小型化目標。且在充分了解轉換器供電馬達之特性後，轉換器供電專用馬達之研發相當值得從事；(5) 為了較準確分析轉換器供電馬達之特性，以及從事馬達之分析、設計與控制，需要

準確之等效電路模型，同時亦宜開發一簡便之方法以估測等效電路之參數，有時等效電路參數之線上即時估測，有助於馬達驅動性能之再提升；(6) 永磁馬達之分析與設計；(7) 轉換器、隔離驅動電路與控制器之模組化與 IC 化之研發，以促成整合驅動馬達模組(Integrated drive/motor package, IDM)之達成；(8) 轉換器電路及其 PWM 切換控制技術之研發；(9) 馬達驅動系統控制組態之研擬、設計與實現，電流迴路之必需性及控制方式；(10)轉換器之諧波產生特性分析及其影響；(11) 增進各式馬達轉矩產生能力之關鍵參數調控技術；(12) 實用簡易無感測技術之開發，並評定其可行性及操控性能；(13) 在具有良好馬達驅動運轉性能下，從事馬達驅動系統之動態模式估測技術與實用先進控制技術等之開發；(14) 控制機構之數位化；(15) 馬達驅動系統之轉矩、振動、噪音等降低；(16) 馬達驅動系統之應用搭配；(17) 多變頻器或多馬達之並聯操控。

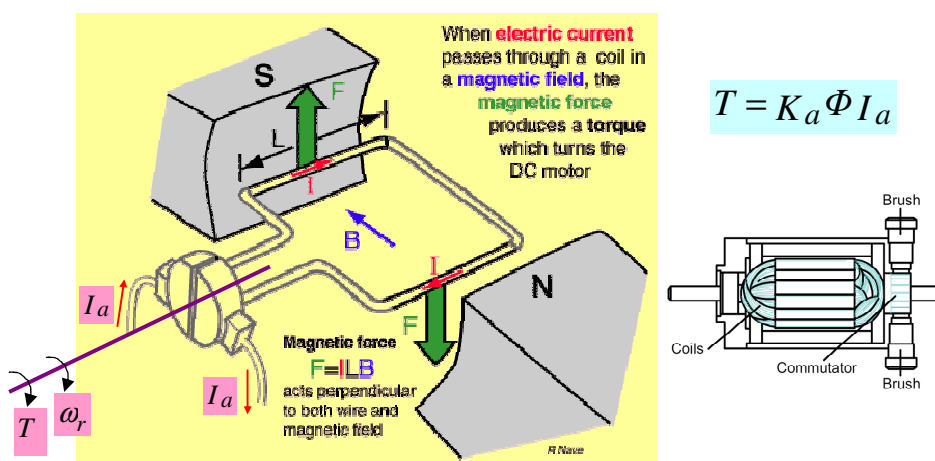
馬達種類煩多，以下概述一些常用者之特徵，及一些值得研究之課題。

A. 直流馬達

如圖 1.2 所示，傳統直流有刷馬達因電樞線圈作用導體恆與磁場垂直，而具有優越之轉矩產生特性，然因碳刷與換向器之機械整流機構之限制使其使用場合受到限制，且功率密度亦較低。在較無空間限制場合，仍常被採用。

Structure and Developed Torque of a DC Motor (with brush)

- Torque generating capability of a DC Motor is the best among all motors, since the flux and armature conductor current are kept in quadrature in nature.



hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/Hbase/magnetic/motdc.html

圖 1.2：傳統直流有刷馬達成示意圖。

B. 感應馬達

感應馬達(Induction motor, IM)具有結構堅固、容易維護、體積小、價格低、無炭刷滑動接觸之缺點、可密封而應用於易爆場合等先天結構上之優點，由變頻器供電之感應馬達配上適當的控制，可得到高性能之操控特性，滿足各種不同應用場合的性能要求。如再配合施行磁場導向(Field-orientation)控制(或稱向量控制(Vector control))，更使其具有與直流馬達相比美之性能。而相較於其他馬達，其僅需採用增量型之轉子位置感測元件，為其優點。故在工業應用上，不論是速度或位置伺服驅動，均大量地被採用。尤其是較大馬力之驅動系統，其他馬達並不適用。又由於感應馬達之轉子未配置永久磁鐵，無去磁之擔憂，且易於有效地施行弱磁(Field weakening)操控。

然而由變頻器供電之感應馬達，其特性甚受變頻器輸出諧波成份之影響，而諧波成份決定於變頻器之架構，如電壓型或電流型，以及切換控制策略。如圖 1.3 所示之變頻驅動感應馬達驅動系統之關鍵參數為：

- Armature phase winding inductance L .
- Switching frequency f_s .
- Switching time of power switch t_c .
- Blanking time t_{Δ} .

這些參數需有妥適之擇衷考量選定，始有良好之驅動特性。

此外一個感應馬達驅動系統，需有馬達設計、變頻器及其切換控制、磁場導向機構之調適控制、迴授控制等相關事務之配合，才能使其具有優良之運轉及控制性能。亦應繼續開發一些實用之 PWM 及柔性切換技術，以降低損失並提升感應馬達驅動系統之電流控制性能，及降低振動及可聽噪音(Acoustic noise)。在中大額定之感應馬達驅動系統宜採多相(Multiple phase)技術之變頻器。

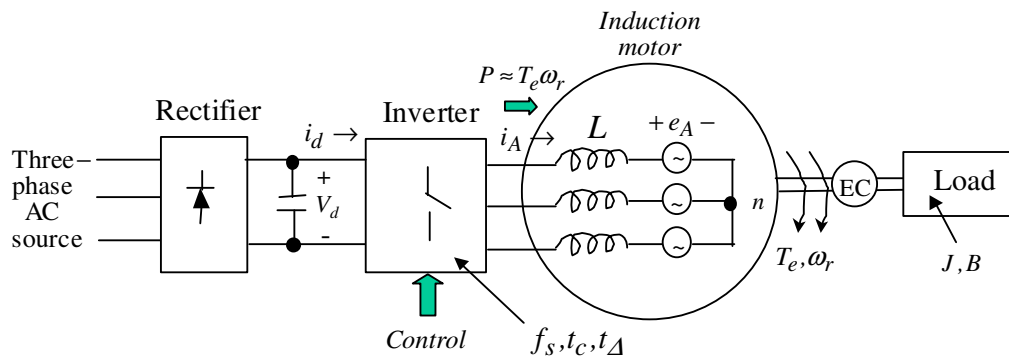


圖 1.3：變頻驅動感應馬達驅動系統之關鍵參數。

無速度感測器感應馬達驅動系統適用於先天即不便安裝機械式速度感測元件之場合，具有成本低、免維護、高可靠度等優點。一般而言，無速度感測馬達驅動系統之控制性能畢竟比不上有速度感測者。然而經由長期之研究，無速度感測器感應磁場導向馬達驅動系統已有不錯之控制性能，而應用於一些場合。進一步之研究以持續提升無速度感測器感應磁場導向馬達驅動系統之控制性能，促進其具有較高性能之應用能力，仍值得從事。

高效率感應馬達雖然初期成本較高，但長期運轉電費之節省，遠可抵過初期成本，對能源節約助益頗大。目前國內自製各級感應馬達之效率仍遠低於國外者，因此，亦應促成加速高效率感應馬達之研製。

另外之事務有：(1) 多變頻器或多馬達之並聯操控；(2) 符合入電電力品質要求及增壓需求之前端轉換器電路及控制技術開發；(3) PAM/PWM 之協調切換控制，以得較佳之效率與高速驅動特性。

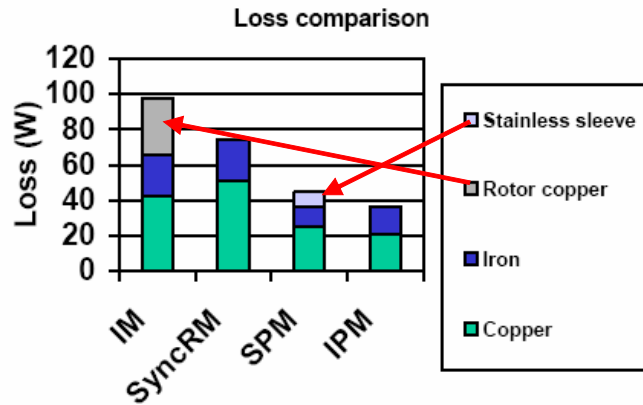
C. 同步馬達及直流無刷馬達

直流無刷馬達(Brushless DC Motor, BDCM)基本上為一永磁式同步馬達，以感測之轉子位置信號從事其變頻器之切換驅動控制，又分為方波及弦波式兩種。在中下額定之應用場合有其優勢。如於空調機之驅動應用上，一些研究顯示應用永磁式同步馬達之直流無刷馬達，具有比比感應馬達及磁阻馬達優越之擇衷性能，尤其是內置式磁石無刷馬達(Interior permanent-magnet synchronous motor, IPMSM)。

比起表面黏貼式永磁式同步馬達(Surface mounted PMSM)，由於內置式磁石永磁式同步馬達本身具有堅實之轉子、低運轉動慣量、較小之空氣隙及凸極等結構上之固有優點，使其具高產生轉矩及高轉換效率，如圖 1.4 所示。因此適用於如壓縮機等一些同時需要定轉矩及定功率運轉模式之場合。然而，這類馬達之定子線圈電感為轉子位置之非線性函數，其驅動特性甚受定子線圈激磁換向相移之影響。另外，三相中性點電壓之飄移，也使得此類馬達之無感測驅動較為困難。因此開發一具改善性能之以內置式磁石永磁式同步馬達為主之無刷馬達驅動系統，相當重要。而無位置感測驅動系統之研製與實際應用推廣，亦刻不容緩。

比起較常用之感應馬達及永磁同步馬達，**切換式(或開關式)磁阻馬達**(Switched-reluctance motor, SRM)具有許多結構及轉換器上之優點，尤其是其轉子不配具有線圈或永久磁鐵，簡單可靠度高，適合高溫高速運轉等，非常具有應用潛力，值得重視。

Loss Comparison of Some Motors

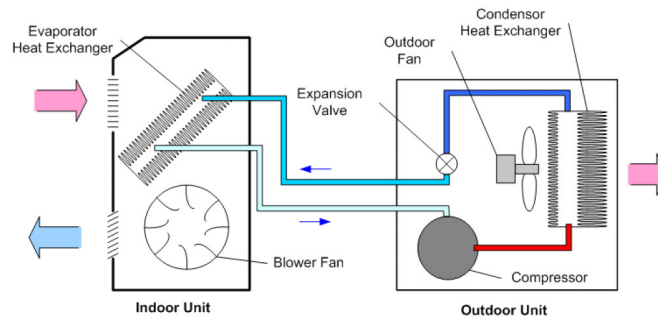


www.irf.com/technical-info/whitepaper/imotionapmotorpcimchina06.pdf

圖 1.4：四種典型馬達之損失比較。

以家用空調機為例此馬達驅動系統之發展驅勢如下：

Home air conditioner



Trends:

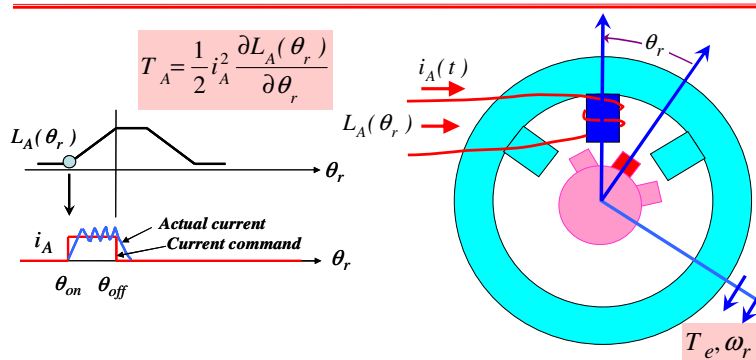
- Motor: Induction motor >> Permanent-magnet synchronous motor (PMSM)
- Vector control >> Sensorless control.
- Square-wave type >> sinewave type.
- Front-end switch-mode rectifier (SMR)>> provide boostable and well-regulated DC-link voltage with good line drawn power quality.
- Common digital control environment for: Outdoor compressor PMSM, outdoor condenser fan motor, front-end switch-mode rectifier (SMR).
- DSP or ASIC + microcontroller, or FPGA + microcontroller.

www.irf.com/technical-info/whitepaper/mce_digitalpfc_ac.pdf

D. 開關式磁阻馬達與步進馬達

開關式磁阻馬達(Switched Reluctance Motor, SRM)與可變磁阻步進馬達(Variable reluctance motor)之結構類似，為一雙凸結構單激勵方波線圈電流之馬達，具有結構簡單堅實、可靠度高、轉子不配具有線圈或永久磁鐵、製作成本低、轉換效率高、變速範圍寬廣、可高速運轉、高轉矩對轉動慣量比及高功率密度等優點。而定子繞組可由單極性驅動電路激勵，電路較為簡單且無臂短路之虞。然而仍有許多缺點，如：非線性之線圈電感與轉矩產生特性、較大之轉矩漣波、較大之機械振動與聲頻噪音等，而值得從事進一步之研究以增進其操控性能。近年來，由於半導體元件性能、電力電子控制技術、智慧型控制技術及微處理器技術之提升，使得切換式磁阻馬達之性能及應用能力不斷在提升。

Variable reluctance stepping motor vs. Switched reluctance motor



■ Switched reluctance motor:

- The winding excitation is applied according to the sensed rotor position.
- Absolute rotor position sensing is required.

E. 其他特殊電機機械

其他之電機機械含：

- 單相感應馬達，最常被應用於家電電器、壓縮機等之驅動，其性能之精進值得從事，唯須注意成本及產品之小型化。
- 微小及特殊馬達，如：步進馬達、超音波馬達、微機電致動元件等。
- 線性馬達(Linear motor)在直接線性驅動應用場合具有許多優點，使其逐漸取代旋轉馬達，市場規模正迅速成長中。最近有關線性馬達之設計、驅動電路、先進控制法則等之進展相當迅速。比起其他線性馬達，線性直流無刷馬達(Linear brushless DC motor, LBDCM)因具有高能量密度、高轉換效率、高加速能力等優點，故在中、低容量之應用場合最常被採用。
- 電磁閥。