



# 提升永磁馬達效能之 雙模式控制技術

Enhancement of PM Motor Performance  
Using Dual-Mode Control Technology

莊坤倫

工研院機械所  
智慧車輛技術組  
電動動力與控制部

林俊辰

工研院機械所  
智慧車輛技術組  
電動動力與控制部

簡士翔

工研院機械所  
智慧車輛技術組  
電動動力與控制部

宋柏嶺

工研院機械所  
智慧車輛技術組  
電能系統部

## 關鍵詞(Keywords)

- 雙模式           Dual mode
- 霍爾感測器     Hall sensor
- 永磁同步馬達   Permanent magnet synchronous motor (PMSM)
- 向量控制        Vector control

## 摘要(Abstract)

本文針對只採用霍爾感測器作為馬達轉子位置感測的永磁同步馬達提出一雙模式控制策略以提昇馬達輸出性能。此雙模式控制策略，其主要關鍵在於馬達啟動時利用六步方波控制，以減少啟動困難度，同時可藉由轉子位置估測器獲得精

準之馬達轉子位置，並且當馬達啟動後再利用磁滯切換機制切入弦波向量控制，以使馬達輸出性能大幅提昇。因此，馬達可不用加裝解角器而降低成本。最後由實驗結果可以驗證本文所提出的雙模式控制策略之可行性。

This article describes a dual-mode control strategy to enhance the performance of a permanent magnet synchronous motor (PMSM), where only Hall sensors are used to detect the rotor positions. The key of the proposed control strategy is to employ a six-step square wave control strategy to decrease the difficulty of starting the PMSM. Meanwhile, the explicit position of the rotor can be obtained using the rotor position estimator. Moreover, after the PMSM is started, hysteresis switching mechanism is applied to change control



strategy from the six-step square control strategy to vector control strategy and consequently improving the PMSM output performance. The hardware cost is reduced by removing the resolver. Finally, experimental results are shown to verify the feasibility of the proposed dual-mode control strategy.

---

## 1. 前言

---

隨著各國各界提倡節能省碳以及石油資源的日益減少，又因燃料車排放廢氣汙染是造成全球暖化現象之一，因此，電動車(Electric Vehicle, EV)已漸漸成為世界各國爭相發展的一項重要計畫。此外，由於汽油車之排氣可視為移動式污染源；而提供電動車電能的電力公司則可視為固定污染源，因此方便污染管理，這也是電動車的重要優勢[1]。另外，由於電動車具有高效率、低噪音、能源多元化以及低污染排放等優點，所以發展電動車勢必成為國內學界與業界往後研究主題重點之一。

有鑑於此，一般在發展中低功率等級之電動車大部分都使用永磁同步馬達，然而若要控制永磁同步馬達速度在寬域範圍都能達到額定功率是件不容易的事，因此，大多數選擇變速箱以多段變速為主，以達成寬速域等問題。但使用多段變速的變速箱體積勢必大，重量也不輕，對於發展電動車來說不僅成本高，而且負荷重會使電池電量使用更多，因此電動車續航力嚴重不足，效率也會隨之變差。在另一方面，一般若是使用弦波

向量控制驅動永磁同步馬達時，感測馬達的轉子位置都必須加裝解角器以獲得精準之轉子位置，這樣如此一來將大幅提高成本，並且使驅動電路也需要大幅修改，同時對整個系統電路也較複雜化。然而，若單存使用六步方波控制驅動永磁同步馬達時，雖然可只使用霍爾感測器以降低成本，同時使整體系統電路較為簡化，但在馬達輸出性能上卻無法得到好的效能。

因此由上述可知，如要發展純電動車就必須解決以上之問題，因此，本文的目的在於發展永磁同步馬達的控制策略，藉由發展控制策略以提昇永磁同步馬達之轉速與效率，同時可以解決成本之問題。本文內容可分為如下；第 2 節將詳細說明本文所提出之雙模式控制策略，在第 3 節中將說明實驗結果，驗證本文所提出的雙模式控制策略之可行性，最後是結論。

---

## 2. 雙模式控制策略

---

永磁同步馬達一般係以磁場導向的方式獲得適當的電壓控制命令；如圖 1 所示，磁場導向的目的在於使永磁馬達的電流向量與同步旋轉座標上的交軸重合，因此永磁馬達的定子線圈便能產生一旋轉磁場，並且與轉子磁場相互正交。最後，永磁馬達產生轉矩以帶動轉子旋轉。從圖 1 可以知道，由於永磁馬達的電流向量係與同步旋轉座標上的交軸重合，因此交軸分量與電流向量的長度相等，而使直軸上的電流分量為零。在電流控制迴路中，電流向量於同步旋轉座標上的交、直軸分量便是透過電流控制器所調整。在馬達驅動

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】373期・103年4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](http://www.automan.tw)