



# 應用於無人飛行載具 之整合式起動馬達 —發電機研發

Development of an Integrated Starter-Generator System  
for Unmanned Aerial Vehicles

余守龍

國立成功大學  
系統及船舶機電工程系

謝旻甫

國立成功大學  
系統及船舶機電工程系  
教授

## 關鍵詞(Keywords)

- 馬達設計 motor design
- 發電機設計 generator design
- 後充磁 post-assembly magnetization
- 整合式起動發電機 integrated starter generator
- 永磁無刷電機 brushless permanent-magnet machine

## 摘要(Abstract)

本文旨在敘述研製應用於無人飛行載具之整合式起動馬達-發電機，可直接驅動並起動載具引擎，當引擎起動後便發電提供航電儀器使用。此一體式及直驅設計可減少空間與重量、降低齒輪

損耗，達到提升效率之目的。文內所舉之起動發電機係使用高性能稀土磁鐵，具有高功率密度、高轉矩密度、高效率與少維修等優勢。然而考量稀土磁鐵之組裝與充磁問題，在文內提到以「組裝後充磁」製程技術來設計製作起動發電機。文內並評估負載需求與後充磁限制，制訂起動發電機規格，並以等效磁路設計其尺寸，再透過有限元素分析模擬其特性與性能。在組裝後充磁方面，文章內有分析各種充磁接線方式所造成之不同線圈阻抗，以及其如何影響充磁電流與充磁磁場，並選定一種接線方式進行充磁實作。最後，以實驗方式比較驗證「組裝後充磁」與「充磁後再組裝」之起動發電機性能。

This paper develops an integrated starter generator system for unmanned aerial vehicles. The designed permanent magnet starter generator



(PMSG) can start up the engine by direct drive. The PMSG then generates electricity for avionic instruments after the engine starts. This design reduces the weight, saves space and needs no gearbox, thus enhancing the overall efficiency. The rare-earth PMSG possesses advantages such as high power density, high torque density, high efficiency and low maintenance. However, considering assembly problems and demagnetization associated with rare-earth components, a post-assembly magnetization technique is developed for the PMSG. The specifications of the PMSG are defined through the load requirement and constraints from post-assembly demagnetization. The PMSG is then designed using magnetic circuit model then simulated with finite element analysis. Analysis of magnetizing the PMSG using various winding connections to the magnetizer is also conducted. Finally, the performances of the PMSG manufactured by pre-magnetization and post-assembly magnetization are compared.

## 1. 前言

一般無人飛行載(unmanned aerial vehicles, UAV)以引擎為動力，而其航電儀器所需電力則由電池所提供，若配備有發電機(generator)，則可對電池充電或直接供電給航電儀器，可大大提升其航程。此發電機通常僅在航行時操作，引擎起動則須藉由地面特定的起動器與高扭力起動馬達

(starter motor)，以提供起動所需動力。如此一來，起動較為不便，且在航程中失去動力時，亦無重新起動之機會。故若能結合起動馬達與發電機，成為整合式或一體式起動發電機，將可有效解決問題。隨著混合電動車(hybrid electric vehicle, HEV)的發展，整合式起動發電機(integrated starter generator, ISG)[1]已被廣泛發展，做為車載電力系統重要的一環。ISG 利用一部電機取代以往分別的起動馬達與發電機，在不同的工作條件下達成起動或發電的功能，可有效減少體積、空間、重量、廢氣排放，並增加燃料與整體效率，極為適用於 UAV 上。傳統載具架構與 ISG 架構的差別，如圖 1[1]所示，顯然 ISG 可簡化系統並降低重量。

在 ISG 相關文獻方面，Walker 等人[2]提出一永磁式軸向起動發電機，證實高壓 ISG 能夠提升燃油的經濟效益。Hsu 等人[3]比較各式起動發電機的特性。Chen 等人[4]設計一 15 kW 永磁表面型同步起動發電機，效率高達 94%，並具備低轉矩漣波與高操作範圍。Carcchi 等人[5]發表一 3-kW 永磁式軸向起動發電機並實際與引擎連結測試。較早期的研究，例如 Ferreira 等人[6]提出一個應用在飛機引擎上的 30-kW 開關磁阻起動發電機。Radun 等人[7]提出一 250-kW 的雙通道開關磁阻起動發電機。Vries 等人[8]則利用開關磁阻式作為一個車用的 5-kW 起動發電機。感應馬達方面，則有 Chen 等人[9]採用皮帶驅動(belt-driven)之感應起動發電機。

從上述文獻可發現，稀土永磁式起動發電機(permanent magnet starter generator, PMSG)較其他電機具有高效率、高功率密度、高轉矩密度、易於控制及維護等優點[1,5,10]，非常適合應用於

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】364期・102年7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)