

摘要

隨著衛星任務對小型化、高效率及長壽命的需求日益提高，本文開發一種適用於衛星姿態控制系統之反應輪馬達，並提出創新設計的徑向折疊式印刷電路板(FPCB)繞組技術。相較於傳統以銅線繞製並灌膠固定的無槽式定子繞組，本文所提出的 FPCB 繞組具備製程一致性高、整合性強與可模組化等優勢，能有效提升系統可靠性與製造效率。為克服 PCB 繞組於徑向磁通應用的空間侷限與導體截面積不足等挑戰，本文採用多層佈線與折疊結構，搭配其邊緣鍍金接點(金手指)與底部 PCB 板進行電氣連接，實現 FPCB 繞組三維化，並將結線與部分元件整合以強化其結構一體性與降低阻抗。此外，為突破反電動勢限制所導致的轉速瓶頸，本文提出「部分繞組分離法」，透過開關元件斷開部分繞組以降低高轉速區的反電動勢，擴大角動量操作範圍並維持低功耗特性。本文亦建立完整功耗模型，針對穩態懸停與姿態修正兩種操作模式進行損耗分析，並以模擬與實測驗證設計成效。實驗結果顯示，本文所設計之 FPCB 反應輪原型機在體積受限條件下成功實現高慣量輸出與低能耗運作，為小型衛星反應輪的可量產化與高可靠性應用提供了新的解決方案。