

車用高功率密度電動動力系統發展技術

Development of High Power Density Electric Vehicle Propulsion System

藍亦維¹、何祥璋²

¹ 工研院機械所 智慧車輛組 電能系統部

² 國立台灣大學 機械工程學系

摘要：因應全球暖化趨勢，車輛電動化早已勢在必行，而對於一般轎車甚至於電動巴士，往往會使用超過百千瓦的電動動力系統，因功率大，車輛需求電池量多，相對提高馬達與驅動器的體積限制，對於提升功率密度已成為設計上必須考量的重點。本文主要說明百千瓦等級之車用電動驅動系統之發展趨勢與研發要點，以及高功率密度動力系統的設計要點與技術內涵，包含馬達設計分析流程與方法的介紹，和高功率密度驅動器之設計，並介紹工研院在高功率密度車用動力系統多年發展所累積之技術研發能量。

Abstract : To solve problem of global warming, vehicle electrification is regarded imperative. For sedans electric vehicle (EV) and even electrical bus, it is quite common to install electrical power systems (EPS) with power of hundreds kilo-watts. To supply energy to these large power systems, more battery packs are equipped in EV. In consequence, due to the available space to accommodate the EPS's is constrained, raising power density of the EPS's becomes critical to EV development. Therefore, this paper presents development trend and technologies for hundred kilo-watts level EV power systems and high power density power systems. It also discusses motor design processes and methods, and designs of high power density controllers. Besides, ITRI's technical capability in developing high power density is introduced.

關鍵詞：功率密度、動力系統、電動巴士

Keywords : Power density, Power system, Electric bus

前言

因應全球石化能源短缺，車輛動力來源已從過去的引擎車逐漸轉變為電動車。但電動車因電池功率密度不足，造成電動車巡航里程不如引擎車。在電池技術尚未有進一步的突破，馬達與驅動系統之效率提升便更加重要。

車輛電動化已成為目前國際發展趨勢，其核

心電動驅動系統在電動車相關系統中屬於關鍵技術，對於改善電動車巡航里程，朝提高馬達與驅動系統效率與縮小體積，已成為整車廠提升車輛性能的重點。因此，近年來對於電動驅動系統的需求，研發方向已朝向高效率、低成本與小型化之方向進行，其具體技術方法各家廠商皆有其核心技术。針對超過百千瓦的大功率電動動力系統，

提升其功率密度 (Power Density, 單位 kW/L) 與比功率 (Specific Power, 單位 kW/kg) 已成為設計上必須考量的重點。本文主要探討百千瓦等級之車用驅動動力系統可廣用於一般轎車、中型巴士甚至大型巴士等，輸出功率也從 100 kW 到 350 kW 區間範圍。

車用動力系統發展趨勢

1. 車用動力系統技術發展趨勢：

馬達加上驅動器通常為車用動力系統最基本的組成，甚至有些定義亦包含電池組或傳動箱。目前國外針對車用動力系統的研發目標，主要以低成本、高效率、小型化與輕量化為主。在 Advanced Power Electronics and Electric Machines(APEEM) R&D 提供的資訊，包含了 2010 年的動力系統研發狀態，以及定義了 2015 及 2020 年的技術目標。其中也針對成本、比功率、功率密度和效率四個指標進行定義，如表 1 所示 [1]。

表 1 動力系統開發指標

	R&D Status Targets		
	2010	2015	2020
Cost, \$/kW	<19	<12	<8
Specific power, kW/kg	>1.06	>1.2	>1.4
Power density, kW/L	>2.6	>3.5	>4.0
Efficiency	>90%	>93%	>94%

為達成目標，現行研發主要朝以下三大面向進行：

電力電子部分

- 針對新型態電路拓樸進行設計：縮小尺寸、減重、低成本和提升可靠度
- 寬能隙半導體：具備高溫操作與較佳的效率特性
- 改善封裝設計：縮小尺寸、減重、低成本和提升可靠度
- 電容：縮小體積及提升高溫操作特性
- 減少車用充電成本

馬達部分

- 永磁馬達：減少成本但維持性能
- 新式磁鐵材料：取代磁鐵內部稀土金屬材料
- 無磁鐵馬達：降低磁鐵成本
- 新式電磁鋼材：降低成本與體積

熱管理部分

- 散熱系統整合：技術整合以降低成本
- 熱傳技術：在低成本下提升功率密度
- 熱應力與可靠度：提升新技術的可靠度

2. 車用動力系統規格需求：

車用動力系統若涉及電動化驅動系統，從微混合動力系統到全電動動力輸出系統皆可算在內。若以都會小型車為標的，從電動系統功率由小至大來看，最小功率的系統為 (Belt Integrated Starter Generator, BISG) 或 (Integrated Starter Generator, ISG) 系統，前述兩者的差異在於，BISG 是以皮帶作為傳動帶動引擎或是被引擎帶動發電；ISG 是電機輸出軸與引擎曲軸同軸，以做為馬達與發電機之用。此系統僅一顆電機，輸出功率大約在 10~30 kW 之間，其功能大致上有啟動馬達、車用發電機及輔助動力的功能，在功率較大的 ISG 系統，可以在低速提供動力。其次是混合動力系統，其電機可作為主動力輸出，或是與引擎同軸輸出，此系統包含兩顆電機 (馬達與發電機)，馬達最大輸出功率約在 85 kW 左右，但額定持續輸出功率僅 20 kW，因此限制馬達在系統中使用的時間，發電機功率則可到 60 kW。再進一步的電動化，電池容量增加，電動動力成為主要動力，引擎成為輔助動力輸出或單純做為延距型發電機動力，故此系統也包含兩顆電機 (馬達與發電機)，馬達在此系統輸出功率約在 70~110 kW 之間，發電機則是 45~55 kW 之間。最後則是純電動車輛，通常由單一顆馬達負責全車動力輸出，系統架構單純，馬達功率約 110 kW 左右，額定功率約 65 kW。

若以 120 kW 純電動動力系統，應用於一般轎車相當有餘，而對於更高動力需求 Tesla 動力系統，以 Model S 85 的車輛規格而言，規格如表 2[2]，後驅式電機最大功率為 285 kW，而四輪驅動式更

更完整的內容

詳見【機械工業雜誌】421期・107年4月號

機械工業雜誌・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：03-591-9339

傳 真：03-582-2011

機械工業雜誌・官方網站：www.automat.tw

機械工業雜誌・信箱：jmi@itri.org.tw