

# 驅動器功率極板設計改善與測試驗證

李昫桓<sup>1\*</sup>、Uma Sankar Rout<sup>1</sup>、田慶金<sup>1</sup>、林立松<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 工研院機械所 智慧車輛技術組 電動動力與控制部

<sup>2</sup> 工研院機械所 智慧車輛技術組 電能系統部

## 前言

在馬達驅動器中的功率元件之溫度表現是決定一個驅動器可靠度的關鍵之一，原因在於隨著應用功率越大，當無適當的設計出現時，功率元件之溫升就越高，易導致功率極板間發生跳火之危險情況，最終造成驅動電路板或功率元件毀損。然而過去功率極板鮮少被注意，當功率極板之溫度增加後，其熱耗散僅靠輻射的方式是不夠的，特別是在小型化的裝置中。因此本文將從不同角度針對功率極板的設計、分析做介紹。

## 功率極板之分析、設計與驗證

在主電系統中設計功率極板為一重覆性設計與修改的程序，其中需要考量許多因素並從中取得折衷以達到高安全性以及高可靠度之目的，這些因素包含成本、尺寸與構裝方式等。在良好的功率極板設計除了可保證系統的性能以外，亦可具有低成本的特色。

在功率極板的設計，一開始會先考量馬達驅動器整體操作的情況，這主要包含了功率輸出的高低與持續的時間。從功率輸出的數值可計算得到功率極板所流經的電流量，藉此可用於確認功率極板最小的截面積，其中經由經驗法則與熱分析經驗，紀錄一個有效用於估算電流密度的經驗式，即電流密度應小於  $5 \text{ A/mm}^2$ 。

因此若考慮額定功率輸出 35 千瓦與直流端電壓 325 伏特下，直流端電流會操作在 107.69 安培。電流密度應小於  $5 \text{ A/mm}^2$  時，可計算得（室溫下）

截面積最小應為  $21.5 \text{ mm}^2$ 。此外，考慮切換頻率 12 kHz 與集膚效應（skin effect），可知集膚效應深度約為 0.6 mm，因此功率極板的厚度建議大於 1.2 mm。然而功率極板所流經的電流不僅跟截面積有關，同時亦跟工作溫度有關，這部分需同時考量銅材質極板的電阻係數。假設期望功率極板溫度不高於  $85^\circ\text{C}$ ，代入銅材質之電阻係數、功率極板面積、截面積、操作電流等設計參數，可得到直流端正負極功率極板之消耗功率，分別為 1.94 W 與 1.31 W。考慮功率極板所產生的熱（消耗功率）後，再來針對散熱量做分析。倘若熱大於散熱量，則代表功率極板設計得過小。關於散熱量這個因子，通常考慮功率極板的尺寸與形狀外，亦會考慮熱耗散的方式，包含傳導、電流，與輻射。

此外，在直流鏈電容到 IGBT 功率模組間的功率極板所存在的雜散電感，亦是在設計其結構與形狀的重要考量。因這部分會在大電操作下，使得直流端會出現過電壓以及電壓降等兩個現象。此現象可藉由功率極板的電流與電磁場的模擬分析（Q3D、SI WAVE）作設計優化。整體的大方向設計有二，第一是將直流鏈電容到 IGBT 功率模組功率極板設計得越短、截面積越寬、極板寬度越寬，以及將正負極板的間距僅量地拉近以產生類似平板電容的效應；第二是在有限的空間內儘可能地增大直流鏈電容。在正負極板有交疊的部分就需要特別考量其絕緣性。

圖 1 為功率極板優化前後的量測比較圖。在此測試，給定  $60^\circ\text{C}$  循環水，實驗室室溫控制在

25°C。尚未達到 1058 秒時舊版功率極板其溫度已超過 70°C 且無穩定之趨勢。以先前測試數據而言，將在 1300 秒左右到達 80°C，在 3500 秒時到達 95°C 左右。然而，當溫度超過 90°C 時，常會導致 IGBT 毀損而使實驗中止。然而新版功率極板在 756 秒左右即進入穩態，並當持續操作至 3474 秒時，溫度仍穩定在 76°C 左右，可謂在溫度上的表現已較舊版功率極板良好。

本文所提之分析驗證是以本所之 50 kW 馬達驅動器做研究對象，進而分析、計算、模擬、重新設計功率極板、再實驗之方式對功率極板之溫度表現作觀察以及整理出設計要點。並於實測結果顯示在驅動器功率極板的熱阻與散熱性能設計，於相同功率密度之驅動器以及相同測試條件下，可提升額定穩態運轉時間，新版的功率極板設計在溫度表現的確有效，大幅提昇驅動器之可靠度。



圖 1 (a) 電力極板 - 改善前



圖 1 (b) 電力極板 - 改善後

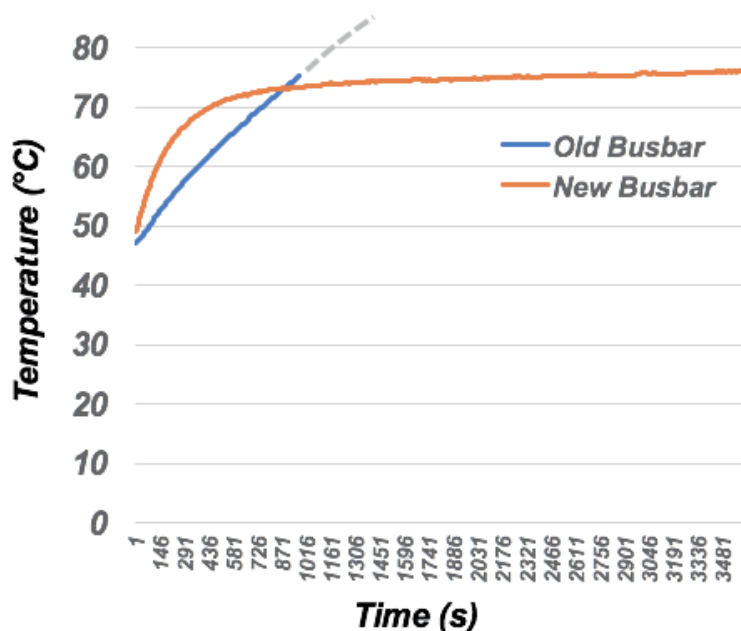


圖 1(c) 改善前後測試比較圖