

第二代 DC-DC 轉換器提升模塊的功率密度、可靠性和成本

Steve Montminy, Vicor Corp.

從第一代發展到第二代 DC-DC 轉換器，電源模塊無論在性能表現和成本兩方面都大大改善。第一代及第二代的模塊均採用零電壓開關，準諧振單方正向轉換拓撲架構。在單方正向轉換器模塊，能源是通過一只集成功率器件 MOSFET，在每一次開關導通時由供電源傳送到負載的。準諧振轉換器有別於諧

振轉換器，當能量從供電源流到負載時，它是單向性的，可以優化轉換效率和功率密度。第一代及第二代轉換器都內置專利的變壓器復位電路，協助 IPD MOSFET 進行零電壓開關。在零電流及零電壓開關相配合下，理論上是可以消除所有 MOSFET 的開關功

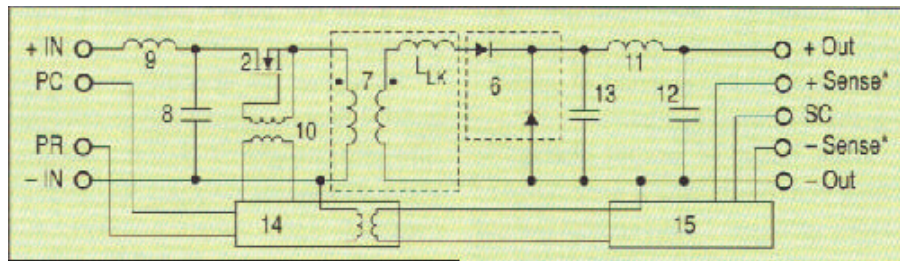


圖1 是第二代開關架構的簡圖。

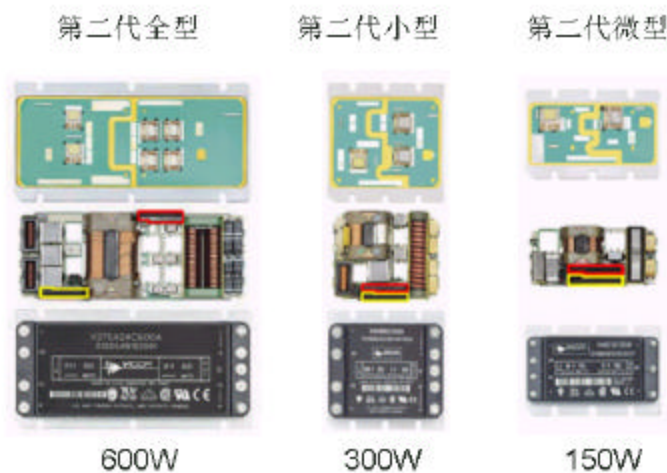


圖2 詳細介紹高功率密度模塊系列。

轉換器的屬性包括效率、功率密度、噪聲、成本等，都由它的功率轉換架構(如零電流開關，準諧振轉換等)預定了。第二代DC-DC轉換器就是受益於控制電路的改良。大大縮減控制電路所佔的面積，而同時又提供優良的屬性表現(表1表列第二代模塊的特性)。

更高額定溫度：第二代轉換器有優良的散熱設計，選用新開發的物料及裝配工序，包括線上測試及檢定，保證器件的熱阻和模塊內部的溫升都在一個低水平。模塊的基板工作溫度可達 100。

寬輸出電壓範圍：這些模塊的輸出範圍很寬闊，可以利用固定的電阻，電位器或數模轉換器調節輸出電壓，範圍是額定值的 10 至 110%。以 12V 輸出模塊為例，它的調壓範圍是 1.2V 至 13.2V。

並聯：第二代轉換器也是可以並聯的，而且帶有專利的 N+M 容錯結構。在並聯陣列內其中一個模塊會自動在起動時變為主控，其它模塊會自動與它同步工作。模塊間以初級線的高速脈衝通信。如果主控模塊損壞，另一個模塊會自動變為主控，系統可以繼續運作，不受干擾。

控制元件

第二代模塊的開發是希望達到多個目的，包括更高的功率密度，更佳熱和噪聲處理，提高產品可靠性和生產效率。要達到以上各點，其中一個重要的門徑是把控制電路集成在硅芯片上，把省下來的空間留給功率轉換元件。

第二代轉換器的控制功能和有源電路是放在

兩個集成電路內的，體積只有 $1/3\text{in}^3$ ，令模塊內的元件總數由 113 個減至 35 個(圖3)。

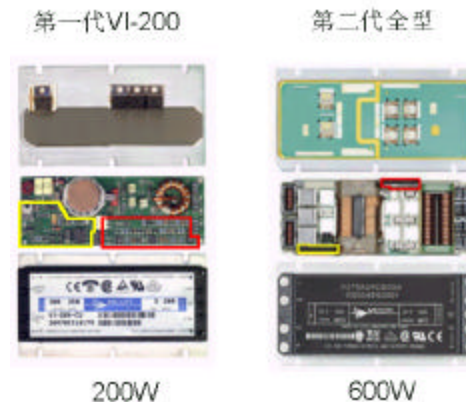


圖3. 比較第一代模塊與第二代模塊控制電路

模塊的整個控制功能都放在兩個集成控制器件(Integrated Control Devices ICD)內，或稱為“大腦”。一個放在初級端，另一個放在次級端。元件數目減少了，成本亦減低 50%。

初級及次級大腦都用環氧樹脂灌封，直接焊接在基板上，減低大腦到基板的熱阻，改善散熱。再者，由於大腦是用環氧樹脂灌封，做了一個獨立的元件，他可以通過比實際應用更嚴格的环境應力篩選。在電氣測試，當大腦通過混合信號測試器後，每個大腦都經過老化和由 -65 至 +125 的溫度循環，不斷測試它在惡劣環境下的表現。

除了節省空間外，大腦亦提供比第一代模塊更多的功能。第二代的控制芯片，有專利的回路補償，提供一個穩定的跨越頻率，和為額定供電和負載範圍提供餘量。在第一代模塊，用了七個元件來組成反饋控制環路，

而第二代轉換器只用了兩個元件。

另一個提升功能的例子是集成的多元素 MOSFET 驅動器。這驅動器直接放在 MOSFET 集成功率器件上，使 MOSFET 的門極有效率和湊效地充電及放電，驅動器解讀輸入脈衝的寬度，再決定 MOSFET 導通的時間。在正向轉換時，驅動器扮演低阻抗的器件，令門極無功耗的充電。反方時，驅動器扮演高阻抗的器件，直至門極完全放電，脈衝的導通時間短，脈衝耦合變壓器的大小亦可以縮小五倍。

第一代轉換器採用光耦合器通過隔離部份把信息由次級端傳到初級端，其增益會隨時間及溫度而改變的。第二代轉換器採用一個集成的磁蕊“脈衝器”，它是一個脈衝變壓器，提供最佳的隔離，最穩定的溫度和更闊的頻寬。

另外，蕊片內包含專利的“無功耗”限流技術，只用兩個外部元件來設定限流值。這剛與第一代模塊相反，第一代模塊用一個電阻來感應電流，以比較器和放大器來實現限流功能。

鍍通磁心變壓器

專利的第二代變壓器有獨創的鍍通磁心，把初級和次級線圈分開，增加初、次端的距離，減低寄生電容產生的噪聲。鍍通的磁心亦限制了磁通。

鍍通設計有利把熱從變壓器傳導出來，增大功率處理能力。開放式的結構提供散熱門徑，把熱量傳到基板。這些改良不單改善散熱和噪聲表現，亦提升可靠

性和降低成本。

在全磚模塊內，第二代模塊的變壓器的面積與第一代相同，都是 0.5cm^2 ，但第二代變壓器的磁路較長，繞線面積大些，電阻較細，繞線的功耗較小。

初級和次級線圈分隔開來，有助減低耦合電容量，但如果磁蕊沒有鍍通漏電感會很高。把磁蕊鍍了銅，可以限制漏磁通量，產生很低的漏電感。而模塊所需的漏電感量是通過加進閥門來控制的。

鍍通的設計亦有把磁蕊散熱。磁蕊的底部貼上了銅，再貼在基板上散熱。這方法大大改善磁蕊的散熱表現，幫助模塊增加功率密度。第二代變壓器可以處理 600W 功率，變壓器的功率密度超過 $1000\text{W}/\text{in}^3$ ，溫升只是 30 到 40 。

開關元件

集成的功率器件是貼在低熱阻的陶瓷封裝。MOSFET 集成功率元件 (IPD) 包含主開關和驅動器，在共漏結構內產生低的傳導和輻射噪聲。MOSFET 和整流 IPD 焊在厚度為 0.020 吋導熱的初級和次級屏蔽上，再貼在接地的鋁基板上。利用基板散熱，減低 MOSFET (初級) 和整流器 (次級) 的熱阻。屏蔽亦可減低傳導和輻射噪聲。

接觸介面的數目減少了，可縮短 MOSFET 至基板的散熱距離 (與第一代模塊比較) 可以減少結點到基板的熱阻達 50%。

模塊封裝

每種封裝尺寸(全型、小型和微型)都有四款基板，二款引腳選擇，另有多種安裝配件，功率處理電路板裝嵌在基板和接上引腳的絕緣外殼之間，輸入及輸出引腳外型是微凹的，可提高效率和提供安裝彈性。引腳可以錫焊或插入一種低電

阻的插座 SurfMate，另有低電阻的插座適合板上安裝形式。

模塊亦可以放在預先挖空的印刷板上，板上高度只有 0.43 吋。這種板內安裝的方法亦可令模塊腹部直接與空氣接觸，方便散熱。

表 1.

| 項目 | 功能 | 全型 V48A5C400A | 小型 V48B15C250A | 微型 V48C12C150A |
|------------------|---|---|--|--|
| 1. 基板 | 提供安裝、機械支撐面，幫助散熱 | 鋁基板 6063T-5 | 鋁基板 6063T-5 | 鋁基板 6063T-5 |
| 2. MOSFET IPD(s) | 共漏感的主開關，減低傳導和輻射噪聲 | 數量-2 111 (175) $\theta_{j-bp} = 2.1 /W$ 81V(100V) | 數量-1 112 (175) $\theta_{j-bp} = 2.1 /W$ 79V(100V) | 數量-1 106 (175) $\theta_{j-bp} = 2.1 /W$ 77V(100V) |
| 3. 初級屏蔽 | 減低 MOSFET 到基板熱阻的導熱器，同時提供 EMI 屏蔽，減少傳導和輻射噪聲 | 啞鋁片 | 啞鋁片 | 啞鋁片 |
| 4. 隔離器 | 電氣隔離初級控制，次級控制或基板 | 聚酰亞胺 | 聚酰亞胺 | 聚酰亞胺 |
| 5. 次級屏蔽 | 減低 MOSFET 到基板熱阻的導熱器，同時提供 EMI 屏蔽，減少傳導和輻射噪聲 | 啞鋁片 | 啞鋁片 | 啞鋁片 |
| 6. 整流器 (IPDs) | 雙二極管輸出整流器 | 數量-4 123 (150) $\theta_{j-bp} = 2.22 /W$ 21V(35V) | 數量-2 115 (150) $\theta_{j-bp} = 2.55 /W$ 52V(100V) | 數量-1 123 (150) $\theta_{j-bp} = 2.55 /W$ 52V(100V) |
| 7. 主變壓器 | 隔離初級及次級端 | 111 (240) – 磁芯 121 (180) – 線圈 | 135 (240) – 磁芯 132 (180) – 線圈 | 129 (240) – 磁芯 133 (180) – 線圈 |
| 8. 輸入電容 | “LC” 濾波器的 “C” 部份 | 數量-3 薄膜電容器 48V(100V) | 數量-1 薄膜電容器 48V(100V) | Quantity-1 薄膜電容器 48V(100V) |
| 9. 輸入電感器 | “LC” 濾波器的 “L” 部份 | 數量-2 105 (125) – 磁芯 110 (180) – 線圈 | 數量-1 105 (125) – 磁芯 110 (180) – 線圈 | 數量-1 105 (125) – 磁芯 110 (180) – 線圈 |
| 10. 脈衝變壓器 | 驅動 MOSFET 的共漏極 | 110 (170) | 110 (170) | 110 (170) |
| 11. 輸出電感器 | “LC” 濾波器的 “L” 部份 | 109 (125) – 磁芯 112 (180) – 線圈 | 108 (125) – 磁芯 113 (180) – 線圈 | 118 (125) – 磁芯 121 (180) – 線圈 |
| 12. 輸出電容器 | “LC” 濾波器的 “C” 部份 | 數量-8 鉭電容器 5V(10V) | 數量-4 鉭電容器 15V(25V) | 數量-2 鉭電容器 12V(20V) |
| 13. 諧振電容器 | 零電流開關轉換器內準諧振回路內的 “C” 部份 | 數量-6 薄膜電容器 21V(35V) | 數量-2 薄膜電容器 52V(100V) | 數量-1 薄膜電容器 52V(100V) |
| 14. 大腦(初級端) | 初級集成控制器件 | 111 (135) | 109 (135) | 108 (135) |
| 15. 大腦(次級端) | 次級集成控制器件 | 109 (135) | 109 (135) | 108 (135) |

*在微型模塊，感應端是內部閉環的。