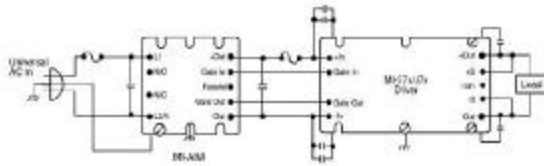


利用高密度電源元件組裝持續供電系統的考慮因素

Keith Nardone 產品經理 Vicor Corporation

優良的性能和高可靠性向來是軍用電子系統的首要考慮因素。近來，電子系統在國防、航空、船艦或地面設施等方面的應用日益廣泛。這些設施必須持續不間斷的操作。同樣地，COTS 電源的生產商亦必須以此為目標，致力保證系統能不間斷的工作。

高密度的電源元件（圖 1），具有高效率及可靠等先天優勢，但若單獨使用或設計不當，仍有機會令供電失效。利用這些元件作為核心組件，可以很容易地組裝出分佈式電源，容錯陣列，或熱插拔等架構。這些都是避免整個系統失效的重要措施。



圖一. 簡單的 COTS 供電器典型連接圖。AC 主線直接輸入模塊(M-AIM)，提供整流，EMI 濾波，瞬變保護，限制湧流，以避損壞 DC-DC 模塊 (MI-27x/J7x)。

電源模塊改善系統效率和可靠性

電源模塊一般在精密及自動化生產線上生產，故此比傳統的電源系統有更好的質量，有些模塊的論證無失效時數可達上 1000 萬小時。如用上先進的開關技術，優良的架構，一般而言，電源模塊比分立元件電源能更有效的處理功率轉換，功耗也較少。

此外，DC-DC 模塊的生產商採用不同的手段來處理“熱耗”。例如在低電壓轉換時以同步整流取代二極管便是一種常用的手段。二極管整流是採用一隻蕭特基勢二極管 (Schottky diode)，它帶有輕微的電阻及恆定的壓降，功耗大概與流經該二極管的電流成正比 ($P_{diss} = EI$)。同步整流則採用一隻金屬氧化場效管

(MOSFET)開關整流，它的功耗大概正比於流經電流的平方值 ($P_{diss} = I^2R$)。在低電流的應用，摩斯管會產生較少的熱，是一個好的選擇。當電流增大到大概 20 安培或以上，二極管產生的熱會較少。一些高電流的轉換器會並聯多隻開關來減少流經每隻摩斯管的電流，這樣，便增加了應用的難度，影響模塊可靠性。

由於優化熱處理是提升功率密度的有效手段，所以一直是模塊生產商非常看重的問題。某些模塊的內部結構把控制芯片包裹在環氧樹脂內，同時貼上銅片，直接焊接在基板上，減低熱阻，並提供散熱門徑。也有些模塊的散熱處理是不帶基板，不灌封的。

另一個突破是改良變壓器設計。採用鍍銅軸心，更有效的控制磁效應及導熱，增加功率處理能力。沒有灌封的變壓器，能有效的把熱傳導到基板或散熱片上。綜使以上各種改良方案都用上了，系統產生熱量仍是不能避免的。由於系統的壽命及可靠性與工作溫度是成反比的，設計供電器時仍需要用上一些佈局，如分佈式電源架構(熱處理較易)。如系統要求持久供電，便需要考慮容錯陣列(避免系統失效)，均流(減低動態反應)和熱插拔(避免關機)等措施。

保持系統持久操作的手段

分佈式電源: 如前文提到，分佈式架構與集中電源不同的地方是前者在系統的電壓分配中處理的電流較少。這樣可以減少功耗，減低導電體的成本。熱處理比較簡單。它把功率處理流程分散在系統內，避免熱力集中在一點，散熱較容易，甚至可能不需要風扇或散熱片。分佈式電源的另一個好處是，它分間的層次是無限制的：可以是直接供電給負載或電源咭，亦可由一隻或多隻模塊供電給多片電源咭。

總體來說，妥善的熱處理和容許熱插拔，有助系統持續供電。把負載越分散起來，兩者的處理越容易。

減低電流，可以減少 I^2R 功耗，縮減導體的體積：尤其在某些需要多隻繼電器，開關和連接器的應用。在高功率的應用如尖端的數據處理器，效果尤其顯著。再者，150V 或 300V 電壓可以直接由 AC 主線整流濾波接入；全球通用輸入電壓(85-264V)，或帶功率因素校正的前端亦可以輸出 300V 電壓，是中轉總線電壓的現成標準。

決定電壓時亦需要考慮安全標準的限制，如 SELV 安全低電壓標準（多國採用的電壓標準，避免人手觸摸發生意外），一般最高是 60V，通訊應用一般是 48V。這些都是分佈電源系統的輸入標準。

容錯：容錯陣列是達成不停供電的基本手段。系統可以容錯，必先有冗餘備份。即至少有一隻備份的轉換器。這架構一般稱為 N+M 陣列。N 是供給足夠系統電量需求的轉換器。M 是備份模塊。容錯亦可包括前端的備份，可以以下手段實現。

- 獨立前端
- AC 主線加接開關，分接蓄電池供電的 DC 線上。當主線供電失效，便由 DC 供電。

亦可以用多隻模塊實現備份，保證供電失效時仍有足夠模塊提供足夠電量。設計師同時需要考慮是否可以停機更換失效的模塊，還是需要熱插拔。如系統需要不斷開動，不能停機，便必須具熱插拔功能。如只是考慮系統的平均失效間隔，便不需要在系統開動時更換模塊，因為提供備份已大大改善了此項要求。

如選用模塊具備的功能越多，冗餘陣列的設計亦較容易。最顯著的如均流。當陣列內其中一隻模塊損壞失效時，所有模塊必須能夠不間斷地供應充足的電量，即使負載突然改變。因此，每隻模塊必須能自動均流，減輕每隻模塊的動態反應

均流：DC-耦合單線並聯。(圖 2)並聯兩隻或以上模塊。每隻模塊都有智能，能自動調節輸出電壓，令陣列內所有模塊都輸出相同的電流。這方案可支援備份。但若其中一點出現失誤，輕微的會失去均流功能；嚴重的可能損毀所有模塊。原因是以單線並聯，模塊與模塊間通電

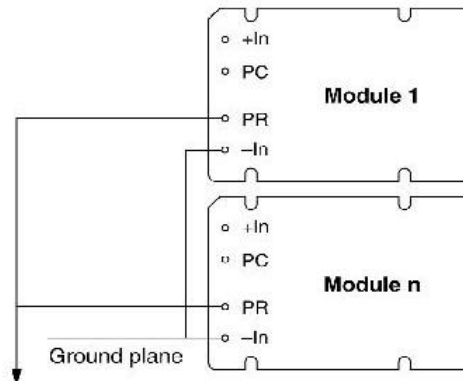


圖 2. DC 耦合單線連接。模塊間的並聯腳(PR)直接連線。這接法支援均流但不能容錯。

有一種模塊，採用零電流開關架構，每隻模塊都有能力在陣列內作主導。輸出電壓最高的模塊，會傳送一個脈衝訊號，指揮其它模塊同步工作。由於模塊是在零電流瞬間開關，每個開關週期傳送相等的能量，同步工作的模塊便自動均流。碰到瞬變或其中一隻模塊失效，另一隻模塊的輸出電壓提高，自動取代主導位置，發出同步脈衝，不影響總線輸出。

這種民主的同步均流陣列，實現了簡單和無功耗的均流控制。它提供一個簡便的方案，無須感應每個模塊的電流，然後個別調節電壓。模塊的脈衝訊號，同時容許設計師在並聯腳間使用電容或變壓器，做成 DC 絕緣耦合。這可避免導至供電失效的內部或外部因素影響其它模塊，加強容錯效能。這架構的其它優點包括優良的瞬變反應，和避免多層環路控制問題。

利用這 AC 訊號（每隻模塊都有的雙向接口，用來輸出及接收模塊間的訊號）。進一步改善系統的可靠性，設計師亦可以外加一些保護

保護措施,即除了簡單的把所有 PR 腳連上外,設計師還可以把引腳電容耦合

(圖 3), 避免 DC 耦合或單線並聯等架構產生的潛在危機 (因為單一個模塊失效而影響整個陣列, 甚至損壞其它模塊). 如在每個模塊到總線間加上電容, 亦可避免上述問題

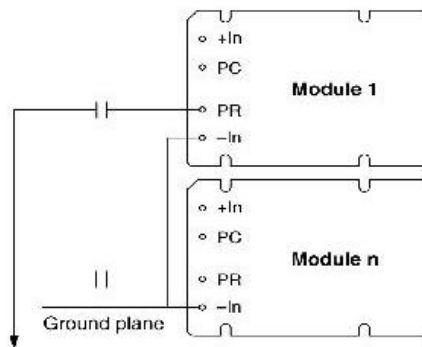


圖 3. 利用 AC 耦合單線連帶 所有 PR 腳經電容連接到一個通訊總線 這架構支援均流和具高容錯能力.

熱插拔: 大部份需要容錯或備份的應用均同時需要熱插拔, 以保證系統不間斷運作. 設計熱插拔時需要注意把電源初次的電勢, 和會輸出大量能量的二次整流部份與人手可觸摸的部份隔離. 同時, 系統需要能示警, 當模塊失效時, 系統會提示維修更換.

還需要留意保護輸入及輸出總線, 以免熱插拔時產生的瞬變損壞整個系統. 基本上, 如輸入總線因模塊失效短路, 一隻大電容能提供足夠的保持時間, 讓該隻模塊的保險絲溶斷. 但當需要插入更換插咭時, 這些大電容會令總線降壓. 這些電容效應可以用電阻及分路開關(如 FET 或繼電器)去耦. 這開關應在插入時關斷使電阻起作用, 然後才接合而把電阻短路, 減低功耗.

輸出端的考慮因素大致與輸入端相同. 可用“或”二極管保護總線, 避免受模塊短路影響. 同時可以把熱插咭上的電容隔離, 避免備份咭的電容放電. 如不加“或”二極管, 熱插咭上的電容應該隔離. 如處理輸入總線的措施一樣.