

電力電容器 利用寬頻隙半導體延長壽命

■作者：Reggie Phillips/KEMET 產品線經理

為了滿足電源轉換行業對功率、溫度和成本的要求，工程師需要採用高效率的電力 MOSFET、整流二極體和絕緣柵雙極型電晶體 (IGBT)。隨著提高效率成為眾需求中的重中之重，並且能源成本也在不斷增加，以前被認為是奇特且昂貴的碳化矽 (SiC) 和氮化鎵 (GaN) 等技術，現已變得更具性價比。此外，隨著市場的成長，由於規模經濟的關係，SiC 或 GaN 電晶體和二極體在經濟上也越來越具有吸引力。

隨著電源電路——尤其是電器或電動汽車 (EV) 電機驅動器、並網逆變器和資料中心電源——越來越普遍地採用這類器件設計，設計人員需要考慮它們對電路其他部分（例如電容器等無源元件）的影響，以及如何設計它們來幫助盡可能地提高效率增益並確保可靠性。

高效功率半導體

功率半導體（如二極體和 MOSFET）可以通過幾種機制顯著節省能源。與傳統的矽器件相比，SiC 二極體可以實現短得多的反向恢復時間，從而實現更快的開關。此外，其反向恢復電荷要少很多，從而可降低開關損耗。就其本身而言，SiC MOSFET 沒有傳統矽 IGBT 關斷特性中所具有的拖尾電流，因此可以將關斷損耗降低多達 90%，同時可以增加開關頻率，從而減少對外部平波電容的依賴。此外，SiC 的寬頻隙特性，可使高壓電晶體的溝道設計得很窄，從而使單位面積上的 $R_{DS(ON)}$ 降低，而使採用標準功率封裝的 SiC 器件能夠實現比採用同類

封裝的相應矽器件更低的傳導損耗。

由於可同時實現低開關損耗和導通損耗，並可實現高擊穿電壓，因此工程師可設計具有低分佈電流（即低 I^2R 損耗）的高效高壓電路。這在資料中心電源等電路中越來越重要——隨著資料中心面臨用戶數增加、消費者對流媒體服務的需求、對雲分析和存儲越來越依賴，以及物聯網 (IoT) 迅速發展的影響等趨勢，伺服器需要更高的功率來處理越來越多的計算負載。

設計選用對其他元件的影響

由於寬頻隙器件可實現更高的工作電壓和更高的開關頻率，因此濾除和平滑電壓和電流紋波所需的外部電容值可以更低。另一方面，在電路佈局時需要對高工作頻率格外小心，以便盡可能減少不期望的影響，例如 PCB 走線或電纜中的電感。

就電容器的要求而言，儘管所需的電容值可能較低，但由於電源電路通常受到極大的尺寸限制——例如，雲伺服器設計人員希望盡可能為處理器和 FPGA 留出電路板空間，以便處理高計算負載，而 EV 設計人員需要採用小型逆變器來迎合汽車的整體封裝——因此需要高額定電壓以及小尺寸。

選用寬頻隙半導體設計，還要求元件能夠承受更高的環境工作溫度。SiC 或 GaN 器件可以在比傳統矽器件更高的溫度下工作，並具有相同的可靠性。目前市場上的 SiC 基半導體可以在 200°C 以上的溫度下工作，電壓範圍為 400V 至 3500V。系統設計人員可以利用這一點來簡化熱管理，從而降低總體

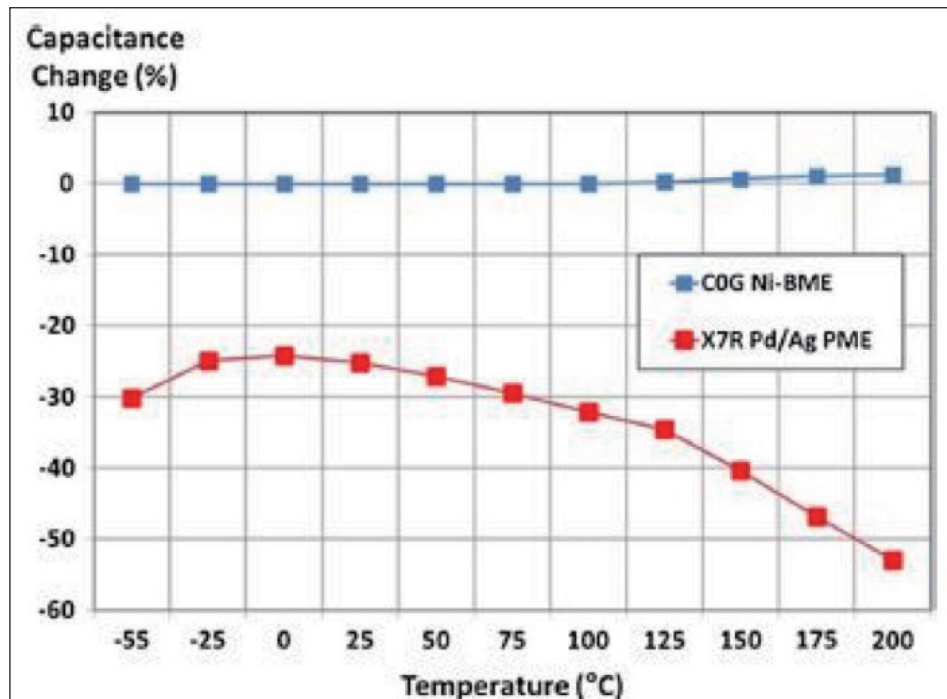
成本和尺寸：散熱器尺寸減小、成本降低，可為設備製造商帶來顯著的經濟效益；伺服器機房空調成本降低，可使資料中心運營商受益；或者 EV 逆變器冷卻系統容量降低，可以說明減少車輛重量和成本。

由於採用寬頻隙器件的電路通常具有較高開關頻率，需要將導體長度設置得短，以盡可能降低不期望的電感，因此像電容器這樣的元件往往放置在更靠近較熱功率半導體的位置。因此，設計人員不僅需要增加電容器溫度等級，而且還需要更高的溫度穩定性，以確保在典型的穩態工作溫度下具有足夠的電容。電容等效串聯電感 (ESL) 和等效串聯電阻 (ESR) 也應低，以盡量減少不期望的自發熱和高頻感應電壓。

電容器設計的增強

工作溫度高達 200°C 的電容器，其需求通常僅限於專業市場，如國防或井下鑽探。這類市場已經應用了各種電容器技術，例如具有液態硫酸電解質的鉭電容器。這些技術不適合在消費類設備中廣泛使用。雖然業界已開發出額定工作溫度高達

圖 1：C0G BME MLCC 在 500VDC 偏壓下表現出優異的電容穩定性。



200°C、具有安全固體電解質的表貼式鉭電容器，但此類電容器的額定電壓通常為 10V 至 35V，並採用 EIA 7343 外殼尺寸，而使其最適合用作大容量電容。

對於井下鑽探應用，業界已開發出採用貴金屬內部電極而使溫度等級可達至 260°C 或更高的積層陶瓷式電容器 (MLCC)。然而，從成本角度來看，貴金屬技術對於消費類或大批量應用並不可取。

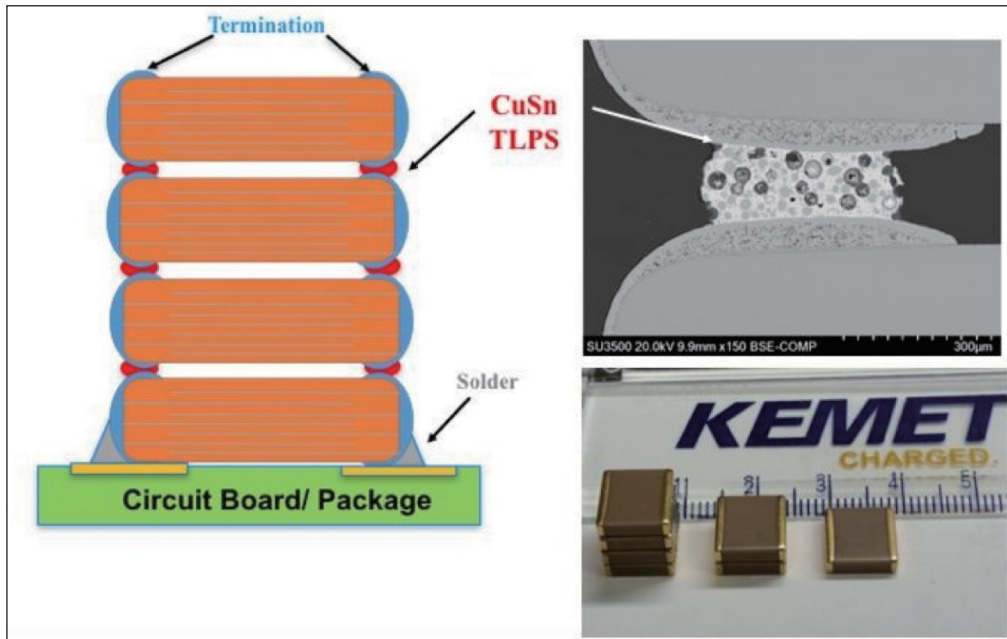
KEMET 已開發出額定工作溫度高達 200°C、採用 C0G 電介質和鍍銀金屬電極 (BME) 的 MLCC，為額定電壓為 200V、500V 和 2000V 的應用提供了高性價比的替代方案，以滿足井下鑽探市場所需。這些器件得益於低漏電流、低損耗因數、低 ESR 和 ESL，以及在高達 300°C 的溫度下具有較長使用壽命等特性。此外，實驗結果表明，其有效電容受溫度或所加電壓的影響非常小，從而可確保在持續的高工作溫度下具有穩定的電容和高可靠性。

圖 1 顯示了在施加 500VDC 連續偏壓的情況下，33nF EIA 2824 表貼鍍銀 BME C0G 電容器和 10nF 徑向引線 500VDC X7R 貴金屬電極電容器隨溫度變化的比較結果。施加電壓時，X7R 電容器的

電容相對其額定值下降了 25%。在 200°C 時，電容比指定的標稱值低 50% 以上。相比之下，BME MLCC C0G 電容器在整個溫度範圍內具有非常小的電容變化。

除了高溫性能和穩定的電容之外，對於電路板基板彎曲可能導致 MLCC 層破裂的情況，BME MLCC 還可設計為盡可能降低由此產生的電容損耗和器件故障。對於電容器和 PCB 基板之間熱膨脹係數 (CTE) 高度不匹配的應用，引線或堆

圖 2：KEMET 使用 KONNEKT 技術的無引線堆疊電容器。



TLPS 互連可在 275°C 的包覆成型製程溫度下保持高剪切強度，而焊接接頭僅有很小的剪切強度。另一種則是基於銦銀 (InAg) 合金的替代製程，它增加了堆疊 MLCC 等較大元件的抗脆性。

KEMET 的 KONNEKT 技術通過將多個元件組合到單個表貼封裝中來實現高功率密度，可滿足越來越多需要以小尺寸提供高功率密度的

疊式電容器封裝可以承受更大的彎曲或機械應力。

應用所需。

瞬態液相燒結 (TLPS)

TLPS 製程是指，將具有低熔點的合金與具有更高熔點的合金進行反應，而在兩個表面之間形成冶金結合。KEMET 利用了兩種 TLPS 製程來為其 KONNEKT 技術組裝高溫電容器封裝。其中一種 TLPS 製程是基於銅錫 (CuSn) 合金，在達到 300°C 最高燒結溫度後持續 30 秒鐘反應，這種製程現已用於對徑向和軸向敷形塗層 MLCC 的引線進行粘合。與使用傳統焊接引線組裝的電容器相比，SnCu

總結

為說明提高電源轉換效率、減小電路尺寸並簡化熱管理，寬頻隙電力電晶體和二極體將得到越來越多的應用。使用這類器件進行設計，需要對電容器等相關外部元件進行重新評估。它們必須適合更高的開關頻率、工作電壓和環境溫度。新系列 MLCC 可滿足設計人員的需求，其利用了新開發的瞬態液相燒結技術，而使帶引線封裝能夠承受高包覆成型溫度，並在高達 200°C 的溫度下連續工作。

CTA

COMPOTECHAsia 臉書

每週一、三、五與您分享精彩內容

<https://www.facebook.com/lookcompotech>