

# 應用說明

## 如何為高壓儲能應用選擇合適的加強絕緣變壓器



HCT 系列

### 簡介

在高壓系統下為諸如微控制器、類比到數位轉換器、獨立的門極驅動器、或電壓監控 IC，提供獨立的低壓偏置功率，通常是透過獨立的 DC-DC 轉換器來達成。如果該高壓系統分佈在幾個模組下，此架構可能在低壓側需要對各個模組建立並聯的 DC 匯流排以支援多個獨立的低功率 DC-DC 轉換器。由於在這個情境下運用許多次該應用場景目前較為常見，故高效且符合成本效益的佈線圖是最佳做法。

此應用說明強調在這些應用場景下運用推挽式變壓器的設計效益是經過驗證的解決方案。運用 Bourns® HCTSM8 系列變壓器做為案例，該系列變壓器符合 AEC-Q200 標準並且擁有完整範圍的匝數比 (turns ratios) 標準。多種的匝數比是一項可讓同一基本電路圖以同一組件及電路板配置重複運用在整個系統的重要功能。使用 HCTSM8 型變壓器系列，設計人員能基於特定的輸出電壓以選擇合適的加強絕緣變壓器型號，以推動微控制器或絕緣的 IGBT 閘道驅動器。

# 應用說明

## 如何為高壓儲能應用選擇合適的加強絕緣變壓器



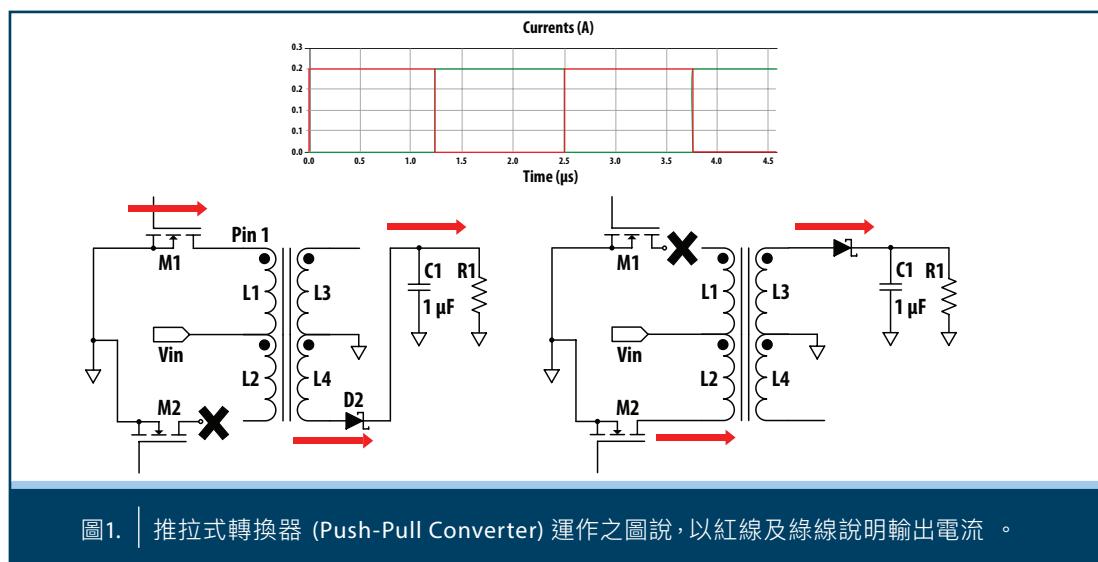
HCT 系列

### 為什麼推挽式 (Push-Pull) 變壓器是最佳選擇 電氣優勢

推挽式變壓器一般認為在低電壓及輸入及輸出低變動的環境下可運作良好。這項特性，對具需要穩定電源水準及輸入電壓偏置的微控制器或閘道驅動器 IC 甚為理想。不像典型的反激及正激拓樸配置，推挽式拓樸可在穩定的輸入輸出電流下，提供更高的效率。當任何的輸入及輸出電流的變化，由於在開關時的功率損耗是恒定的，會影響電源效率。

此外，反激式 (flyback) 變壓器可能會造成電磁干擾 (EMI) 問題，即便該拓樸能有效率地處理寬輸入範圍，他們往往需要閉環控制，才能達到穩定的工作狀態。然而，推挽式變壓器在開環條件下可非常簡易地操作。相較於閉環控制下所需的組件數，開環控制下只需結合固定占空比的驅動器，搭配兩組 MOSFET、一顆根據輸入/輸出電壓選擇的合適的匝數比的變壓器、兩個肖特基二極體 (Schottky diodes)、以及兩顆陶瓷電容。事實上，驅動器可以是已經在使用中的微控制器。如果使用微控制器做為驅動器，那麼需要額外的 NPN 電晶體極電阻以提供推拉式 MOSFET 的門極驅動。

選擇推挽式變壓器還有其他的原因。輸出電流為經調整後的線性輸出而非脈衝化，脈衝化的電流會帶給二極體及電容器較重的負擔。針對相對低電流的方案，增加一個符合成本效益的符合二極體以有助於確保變壓器的補償和平衡。如果勵磁電流不平衡，在繞線上的額外電流將造成驅動 MOSFET 的漏–源阻抗 (drain-to-source resistance) 增加。這會增加整個 MOSFET 的壓降，並減少繞線上的電壓，從而等效為不平衡的狀態。



# 應用說明

## 如何為高壓儲能應用選擇合適的加強絕緣變壓器



HCT 系列

### 為什麼推挽式 (Push-Pull) 變壓器是最佳選擇 (續) 機械優點

#### 節省空間

指定推挽式變壓器用於低電壓應用，帶來許多節省空間的效益。它們通常比反激式 (flyback) 變壓器佔用較少空間。並且由於推挽式變壓器是設計為「純粹」變壓器，相較於反激式變壓器它們通常有較小的鐵氧體磁芯。加上，在推挽式變壓器的鐵氧體磁芯不需要氣隙，因此，可維持高度的有效磁導率，且在低匝數下實現高磁化感值。

在一個夠高的開關頻率及低 DC 直流電壓下，所產生的磁通量（每匝的伏秒容量）可保持在飽和點之下。對比於在反激式變壓器裡分離式鐵氧體磁芯，需要更多匝數以確保變壓器不會因為電流而飽和。如果有空間限制的考慮，增加匝數會無可避免的增加 DC 直流阻抗導致效率降低。

建議採用具有環狀磁芯的推挽式變壓器。使其成為好選擇的原因是，沒有氣隙的需要，且環狀磁芯眾所周知可在繞線間提供良好的耦合。這是因為磁通量只需傳遞短距離，且在繞線間較少消散。具有環狀磁芯的推挽式變壓器有著相對較高的電感係數，意味著可能不需要高匝數即能達到高磁化感值。並且不需要線圈架，因為線是直接繞制在塗有高強度絕緣層的鐵氧體上。線圈架會佔用額外空間，如果該變壓器是 SMD 貼裝，則變壓器的鐵氧體的上端及底部會暴露在外。

而環狀磁芯可以封裝在隔離磁芯和電路板的機殼裡。該設計上的不同點能夠在減少了在高電壓應用下 PCB 上的封裝面積的前提下，任然滿足依據絕緣標準 (IEC 60664) 及通訊設備標準 (IEC 62368) 訂出安全距離（爬電距離和電氣間）。這些標準，強制要求在 PCB 的高電壓危險側與低電壓側之間留下間距。如果磁芯外露，安全距離會顯著減少，需要靠額外塑膠載體的寬度或高度以加以補償。

# 應用說明

## 如何為高壓儲能應用選擇合適的加強絕緣變壓器



HCT 系列

### 為什麼推挽式 (Push-Pull) 變壓器是最佳選擇 (續) 機械優點

#### 節省空間(續)

圖2 顯示了一具Bourns® Model HCTSM8變壓器與一具分立式磁芯變壓器（如E13）在尺寸方面的比較。此圖顯示了 E13 方案為了要達到符合相同絕緣程度，在 PCB 上需要比 Bourns® HCT 變壓器多占百分之 90 的空間。此外，就算具有外殼的初級包覆層，相較於具有緊密耦合的環形變壓器，為了降低帶骨架的變壓器的漏感 ( leakage inductance) 至少需要在 PCB 上多佔用百分之 200 的空間。

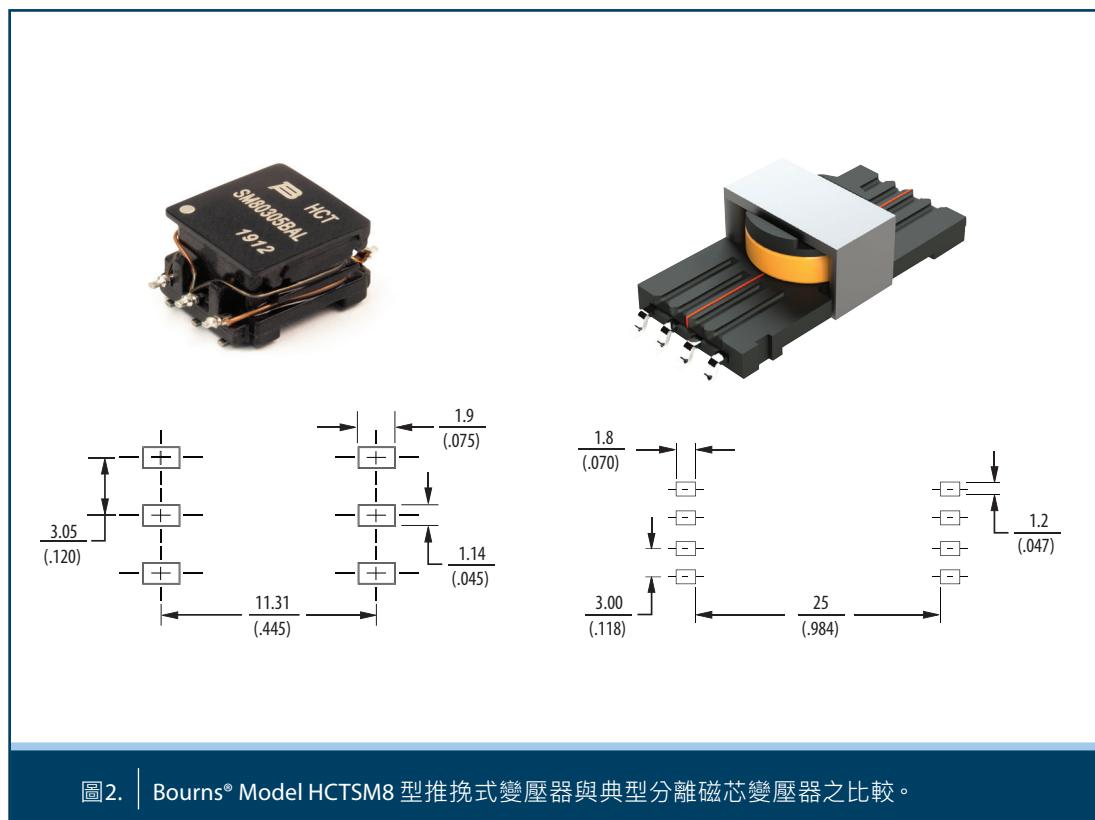


圖2. | Bourns® Model HCTSM8 型推挽式變壓器與典型分離磁芯變壓器之比較。

# 應用說明

## 如何為高壓儲能應用選擇合適的加強絕緣變壓器



HCT 系列

### 為什麼推挽式 (Push-Pull) 變壓器是最佳選擇 (續) 機械優點

#### 更好的絕緣特性

Bourns® Model HCTSM8 具有經強化的絕緣，此絕緣機構依照標準必須由三重絕緣線（繞線上有三層絕緣層）包覆在一股繞線或是在所有繞線上增加絕緣（雙重絕緣）。從電氣觀點來看，雙重絕緣是不夠的。在繞線制程期間，從線圈開頭處剝除絕緣體的時間會是三重絕緣變壓器的兩倍。導體的有效空間在雙重絕緣系統縮減了，因為兩個線圈具有至少 0.08 mm 的絕緣，相較於單純的搪瓷磁線只需 0.02 mm。在環狀線圈上卷絕緣線要比搪瓷鍍膜磁線花時間。因此，雙重絕緣系統較無效率且較為昂貴。但是，對於一些客戶來說雙重絕緣系統相較於三重絕緣線路具有提供真正冗餘絕緣的優勢。

以 HCTSM8 系列變壓器為例，次級線圈由 FIW (完全絕緣線路) 所構成，一般認為絕緣效果和三重絕緣線一樣，但是卻沒有安全機構的認可（對許多類型來說）。這對於具有環狀磁芯的變壓器來說，特別相關。這麼設計的考慮點在於三重絕緣線的效果可能衰減，而導致繞線對磁芯的短路，以及磁芯到非絕緣線的短路。這風險可藉由在次級側使用 FIW 線而減輕。

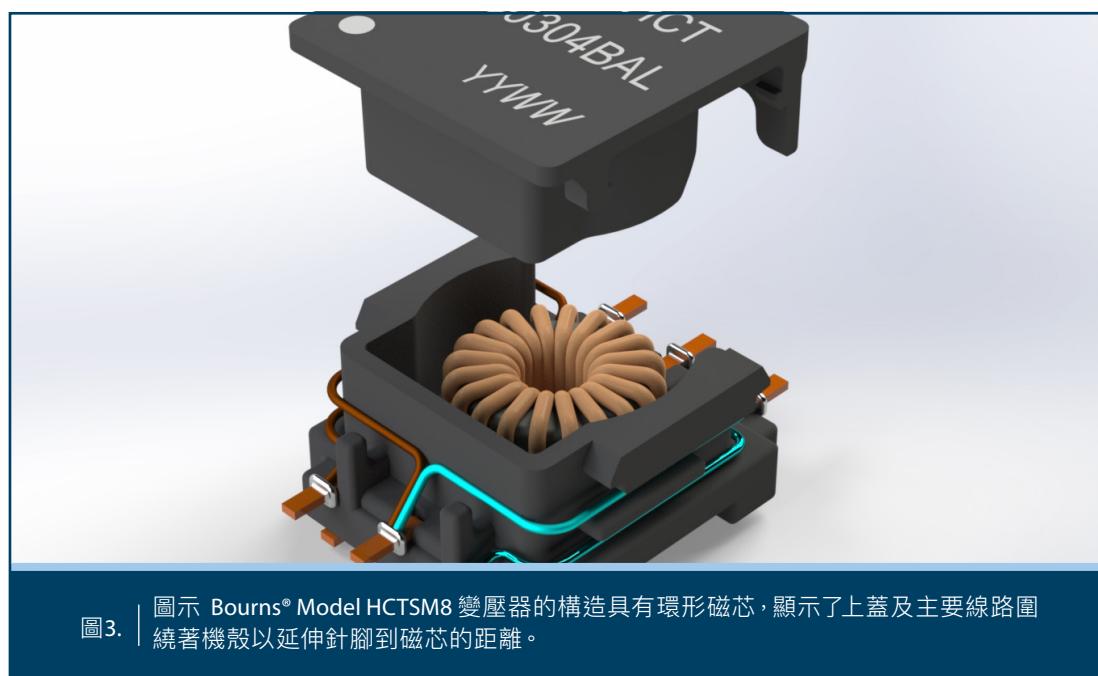


圖3. | 圖示 Bourns® Model HCTSM8 變壓器的構造具有環形磁芯，顯示了上蓋及主要線路圍繞著機殼以延伸針腳到磁芯的距離。

# 應用說明

## 如何為高壓儲能應用選擇合適的加強絕緣變壓器



HCT 系列

### 為什麼推挽式 (Push-Pull) 變壓器是最佳選擇 (續) 機械優點

#### 最大爬電距離 / 電氣間隙

Bourns® Model HCTSM8 推挽式變壓器充分運用了包覆在鐵氧體磁芯的外殼以將爬電距離擴到最大，並將體積縮到最小。此磁芯從針腳的設計上是隱藏式的，所以針腳到磁芯的間隙的計算是從經過變壓器的壁板，並下接到上蓋與側壁間。藉由將絕緣線包覆在組件外側，有效地最大化了在從針腳到磁芯走線距離。藉由運用這突破性的設計，壓蓋式的上蓋抵住側壁，並包覆絕緣線，Model HCTSM8 可取得 8.0 mm 的爬電距離及間隙，儘管僅具有 6.5 mm 的標稱高度以及從 PCB 的焊盤到焊盤 11 mm 的最大距離。

此外，Model HCTSM8 運用了 Class I 等級的塑膠原料，代表這是在高電壓狀況下最不導電的塑膠。該設計體現了初級繞線的三重絕緣線特性。因此，採用 8.0 mm 爬電距離及間隙，並參考 IEC 60664 的表 F.4，這款變壓器提供 800 Vrms 的額定工作電壓。因此，針對具有有效電壓高達 800 Vrms 的逆變器及電池包需要加強絕緣的應用，可運用 HCTSM8 在下列兩個儲能應用用途上：

- A) 獨立的 DC 直流電壓以供 IGBT 或 SiC MOSFET 的門極驅動器之用
- B) 獨立的 DC 直流電源供電的微控制器或電壓監控 IC 或收發器之用

# 應用說明

## 如何為高壓儲能應用選擇合適的加強絕緣變壓器



HCT 系列

### 典型應用案例

在一具門極驅動器 (gate driver) 要產生正向及負向電壓，類似於圖4 的電路配置顯示了為什麼 Bourns® Model HCTSM8 是一項有效的解決方案。在這個例子中，此設備是由集成式 Texas Instruments SN6501 推挽式驅動器所驅動。此 Texas Instruments 驅動晶片是在高開關頻率 (400 kHz) 下運轉且具有固定的占空比 (duty cycle) (百分之50)。在推挽式驅動器的輸出關係，如下列公式所示：  
 $V_{in}$  為輸入電壓，而  $V_{out}$  為輸出電壓，D 為占空比 (duty cycle) :

$$V_{out} = 2 \times D \times n \times V_{in} \text{ 其中 } n \text{ 為從次級 (secondary) 到初級 (primary) 的匝數比 (turns ratio)}$$

Model HCTSM8 具有 11 種不同的標準匝數比 (turns ratio)。由於 Texas Instruments 的 SN6501 驅動晶片內部的 MOSFET 其最高額定電壓為 5 V，所以  $V_{in}$  不得超過個水準。而且為了要輸出切換 IGBT 所需的 12 V，需要 2.5 的匝數比。

對於推挽式變壓器，由於對磁芯 (core) 磁化及退磁的時間必須平衡，否則會發生因電流而飽和(saturation)的狀態，所以無法推動 D 超過 50%。也可藉由在接地軌和負極輸出間掛上一分流參考 (shunt reference) 而由同一顆變壓器產出負向電壓。在運用具有符合 AEC-Q200 品質水準的 Model HCTSM8 系列型錄產品，相較於客制化的變壓器，可提供有效率及符合成本效益的絕緣電源配置。客制化的變壓器通常需要涉及軟模和硬模的設計成本，以及額外的開發成本。

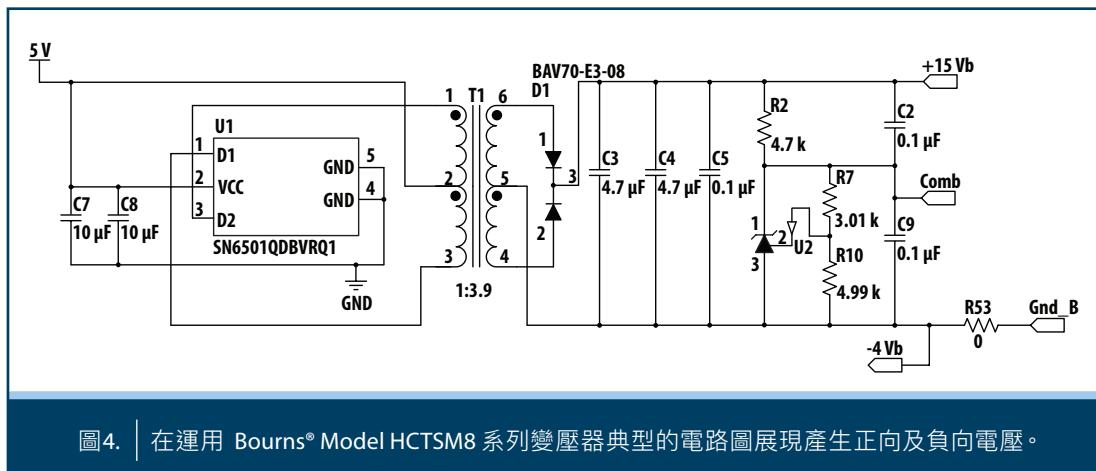


圖4. 在運用 Bourns® Model HCTSM8 系列變壓器典型的電路圖展現產生正向及負向電壓。

# 應用說明

## 如何為高壓儲能應用選擇合適的加強絕緣變壓器



HCT 系列

### 典型應用案例(續)

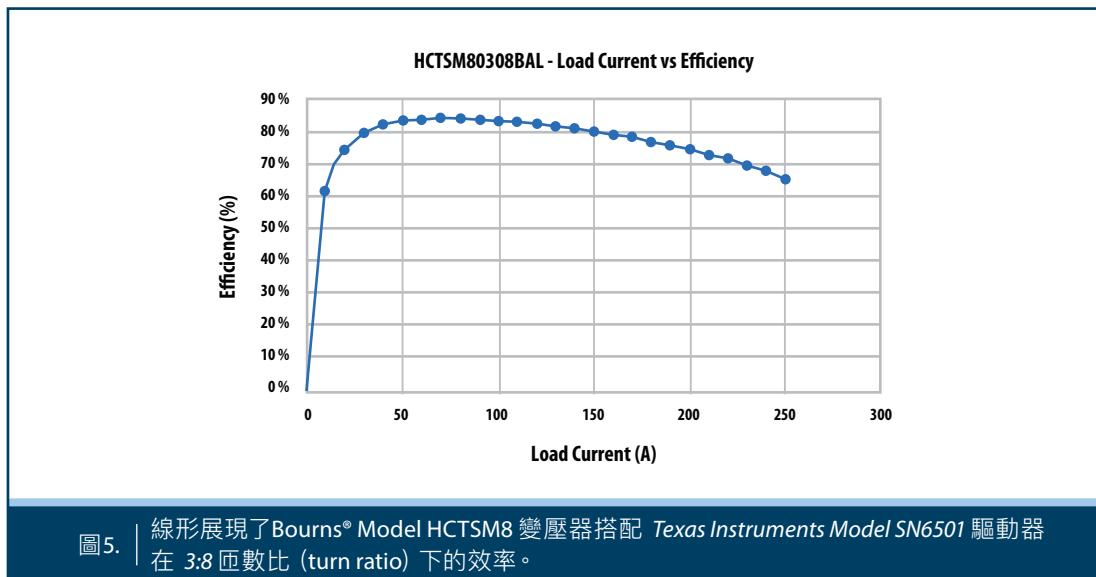


圖5. | 線形展現了Bourns® Model HCTSM8 變壓器搭配 Texas Instruments Model SN6501 驅動器在 3:8 匝數比 (turn ratio) 下的效率。

圖 5 顯示運用 Model HCTSM80308BAL 的電路效率。Model HCTSM80308BAL 是一項理想的解決方案以對獨立的門極驅動器 IC 提供所需的 15 V 電壓。在此應用下，最佳工作點為介於 100 mA 和 150 mA 之間的輸出電流。

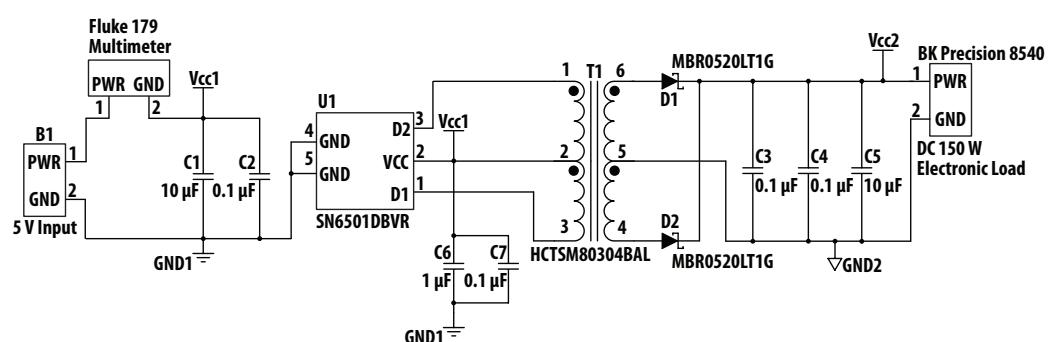
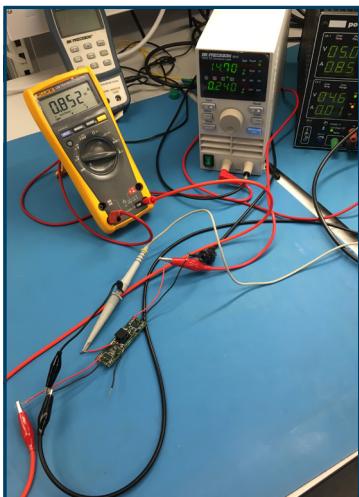


圖6. | 型號 HCTSM8 系列已通過完整的驗證。

圖 6 顯示用以驗證 HCTSM8 系列的電路及突顯用以計算整體功率效率的測試板及設備。

# 應用說明

## 如何為高壓儲能應用選擇合適的加強絕緣變壓器

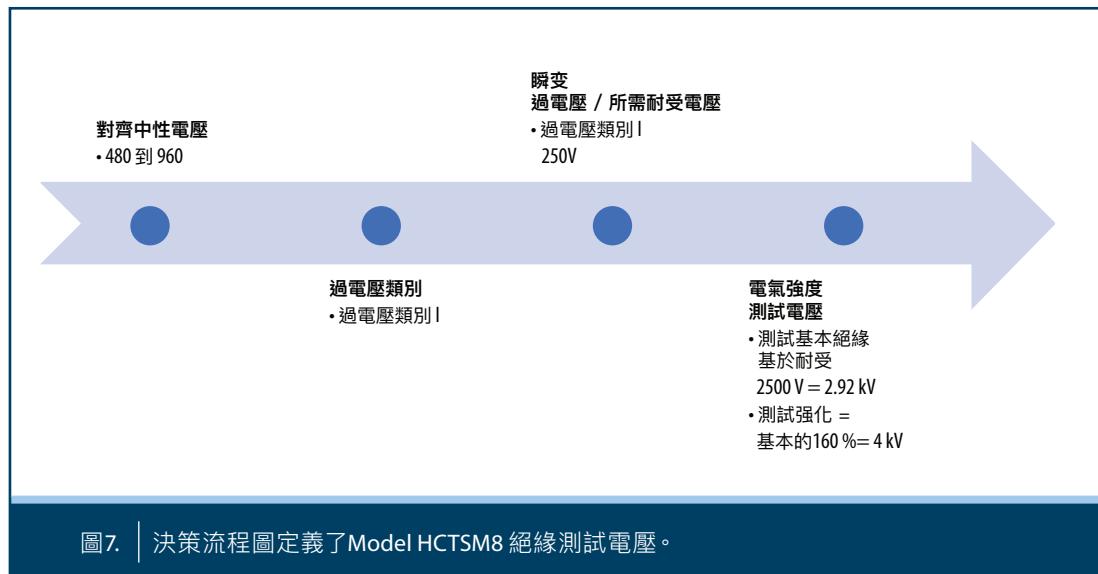


HCT 系列

### BMS 變壓器安全性檢測

符合業界標準，能確保變壓器的絕緣特性，從元件編帶中的單品狀態，到實際安裝到基板上及在該應用的壽命年限期間維持不變。

Bourns 設計其 Model HCTSM8 系列能承受指定的回流焊狀態，而且要能通過錫爐三次而不會造成絕緣線的劣化。此絕緣強度經過 Hi-POT 檢測儀施加 4 kV rms 長達 60秒。顯示如圖 7 的是 Bourns 在定義電氣隔絕規格時所用的標準：



過電壓類別將取決於電源供應的所在位置。如果從主電源供應處沒有瞬變的風險，例如：電壓來源位於相對接近於電池，那麼此應用可歸類為第一類 (Category I)。如果有獨立的連接到主電源，可以從第二類 (Category II) 移到第一類 (Category I)。

Hi-POT 檢測用於檢查變壓器上的固體絕緣，但它也可用於驗證間隙是否符合標準。任何電弧或電暈放電跡象將會是明確的故障。Model HCTSM8 是設計以在 2000 m 的海拔高度能有 800 Vrms 的表現。若要更高的海拔，由於空氣稀薄，擊穿電壓和電暈放電電壓會因此降低，故工作電壓必須降額。

# 應用說明

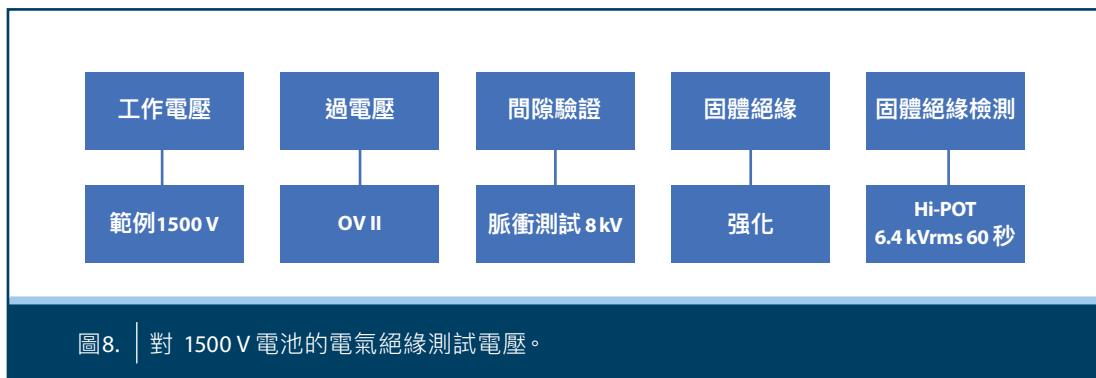
## 如何為高壓儲能應用選擇合適的加強絕緣變壓器



HCT 系列

### 未來趨勢

1000 V 及 1500 V 工作電壓在公共交通運輸應用上，以及在工業場景下的儲能應用，如圖8 所示需要依照相關標準就各種程度的測試電壓進行獨立測試。IEC 60664 標準也提到運用局部放電測試以確保在絕緣上無細小的針孔，因為此類針孔在強烈的電場下會隨著時間擴大。事實上，如果初級 (primary) 和次級 (secondary) 電場超過 1000 V/mm 且如果工作電壓超過 750 V，依照 IEC 60664 則需要電路設計通過局部放電的標準。



# 應用說明

## 如何為高壓儲能應用選擇合適的加強絕緣變壓器



HCT 系列

### 設計優勢

此應用說明顯示設計人員藉由運用 Bourns® HCTSM8 系列變壓器于儲能應用硬體模組所能發揮的效益。靈活性、效率、低電磁波干擾 (EMI)、及節省空間這些優勢為這類設計帶來了吸引人的解決方案。

#### 靈活性

- 標準部件具有 11 個不同的匝數比可支援輸出電壓最高高達三倍於輸入電壓便於更高品質以及更靈活的設計

#### 非常高效的设计

- 不需要昂貴的回饋繞組或光耦隔離器
- 在相同電感下比反激式變壓器提供較低的 DC 直流阻抗

#### 平稳的非脉冲式 输出电流

- 相較於反激式變壓器有著較低的電磁干擾(EMI) 水準
- 可用成本較低廉的陶瓷電容及肖特基二極體 (Schottky diodes)

#### 最小体积

- 相較於分離式磁芯骨架 (extended split core bobbins) 沒有平整度的問題
- 相較於分離式磁芯佔用 PCB 較少表面積 (可少達將近50%)

圖9. | 選擇Bourns 標準品系列變壓器 HCTSM8 系列的優勢。

Bourns® HCT 系列已由 Texas Instruments 在其 Model SN6501 及 SN6505 系列推挽式驅動器上測試過並得到認可。由於高壓驅動設備在公共交通運輸及其他市場的應用日漸廣泛，所以需求也越來越穩定，用於高品質及標準化的獨立電源設計應用，如高壓電池或超級電容包的模組。Bourns 提供 11 種經過完全測試及符合 AEC-Q200 的 Model HCTSM8 系列推挽式變壓器的料號供 Texas Instrument 驅動器使用。基於 Bourns 的先進功率變壓器設計 HCTSM8 系列提供獨立電源搭配低壓儲能門極驅動器微控制器、電池管理 IC 及許多其他應用的合適組合。

[www.bourns.com](http://www.bourns.com)

**BOURNS®**

**Americas:** Tel +1-951 781-5500  
Email [americus@bourns.com](mailto:americus@bourns.com)

**EMEA:** Tel +36 88 885 877  
Email [eurocus@bourns.com](mailto:eurocus@bourns.com)

**Asia-Pacific:** Tel +886-2 2562 4117  
Email [asiacus@bourns.com](mailto:asiacus@bourns.com)