

四種常見的電子負載應用

直流負載基本原理和應用說明

簡介

電子負載的設計初衷是作為電源供應器的專用測試產品。直流電子負載可分析電源供應器在各種負載條件下的響應。電子負載採用 FET 切換器和非無功功率電子元件，能大幅減少振鈴並管理非理想特性。現在的電子負載多作為通用型儀器，能對大多數的直流電源進行測試，包括直流對直流轉換器、LED 驅動器、普通電池、太陽能電池、發電機和燃料電池等等。

秘訣 1：採取定電流模式進行電池測試

電流優先模式是電子負載最常用的設定。舉個簡單的例子，我們可從電池中汲取定電流來計算出其儲存的總能量。電池的電壓會隨著電流放電而下降。確定電壓和剩餘能量之間的關係，有助於預測裝置的剩餘運作時間。當電流從電池流出時，電池的各種化學成分都具有獨特的電壓分佈。

當電池達到低電壓極限時，必須讓電流停止拉載，因為繼續將電流拉至低電流臨界值會造成電池的損壞。



這四個秘訣探討如何使用電子負載進行測試，並舉例說明直流電子負載的靈活和實用性。

- 秘訣 1：採取定電流模式進行電池測試
- 秘訣 2：測試電源供應器的暫態響應
- 秘訣 3：測試電源供應器的限流能力
- 秘訣 4：測試直流對直流轉換器

如有任何問題,請洽keysight 正式授權經銷商

品勛科技股份有限公司

www.pinsyun.com.tw

02-2278-9886 | 03-668-1808 | 06-230-0896


品勛科技股份有限公司



適用於 25°C 的 18650A 鋰離子電池規格		
電池容量標稱值	1C	2500 mAh
最小容量		n/s
充電電壓		4.2 V
充電	0.5C	CC-CV, Std. 1250 mA, 4.2 V
標稱電壓		3.6 V
放電		2.5 V 截止 (下限)
標準速率	0.2C/h	500 mA
最大速率		20000 mA

表 1：18650A 鋰離子電池規格表 (25 °C)

為說明如何在定電流模式下進行電池測試，我們使用工業鋰離子 18650 電池。電池容量 (C) 以 mAh 為計量單位。電池容量也是決定充電和放電電流的關鍵因素。充電電流會被限制在 0.5 C，即 $0.5 * 2500 \text{ mAh} = 1250 \text{ mA}$ 。因此鋰電池會以 1250 mA 的定電流 (CC) 持續進行充電，直到電壓達到 4.2 V 為止。

放電也是類似，以定電流放電，直到其達到 2.5 V 的截止電壓。汲出的電流量在 0 到 20 A 之間變化，但高電流會減少充電和放電的次數，進而限制電池的使用壽命。將電池放電至低於截止電壓，也會縮短電池的使用壽命。電池運作時間可利用圖 2 的放電曲線圖來計算。

電池以 1C 進行放電，可使用一小時。若是 $(1 \text{ C}) / (5 \text{ h}) = 0.2 \text{ C}$ 的速率放電則可達 5 小時。鋰離子電池在 0.2 C 的放電速率，通常具有較高的容量。最後一點，溫度會影響電池容量和放電電壓。理想溫度是 25 °C 以上，而在低溫時電池容量和電壓會下降。利用萬用電錶來監測電壓，確保電池不會放電至 2.5 V 截止電壓以下。

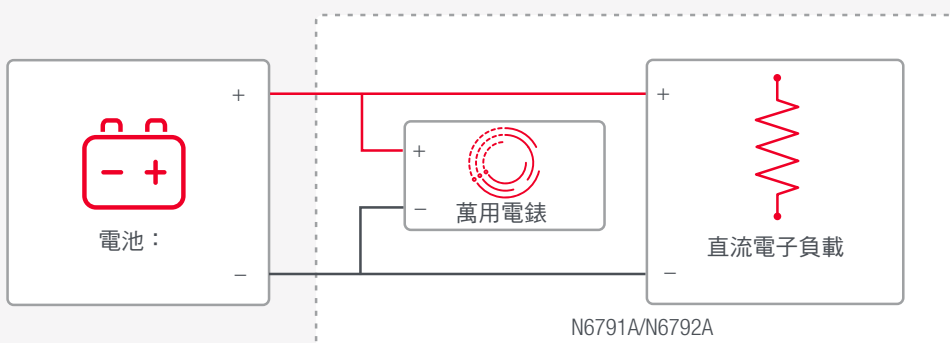


圖 1：電子負載的電池放電設置。

電子負載適用於多種電池測試，包括容量保持率、內部阻抗量測、生命週期效能、溫度測試和濫用測試。

電池容量測試是最常見的電池測試，因為它直接影響到裝置運作時間。電池容量測試，可採各種不同的固定放電率，或甚至是動態電流來執行量測，模擬裝置以不同速率放電的情況。許多裝置在閒置或休眠狀態透過降低功率來達到省電，而在其運作狀態才有較大的電流消耗。

為確定裝置的運作時間，掌握電池在各種放電率下的特性會很有幫助。圖 2 顯示幾種固定放電率，包括 1.5 C、1 C、.2 C。

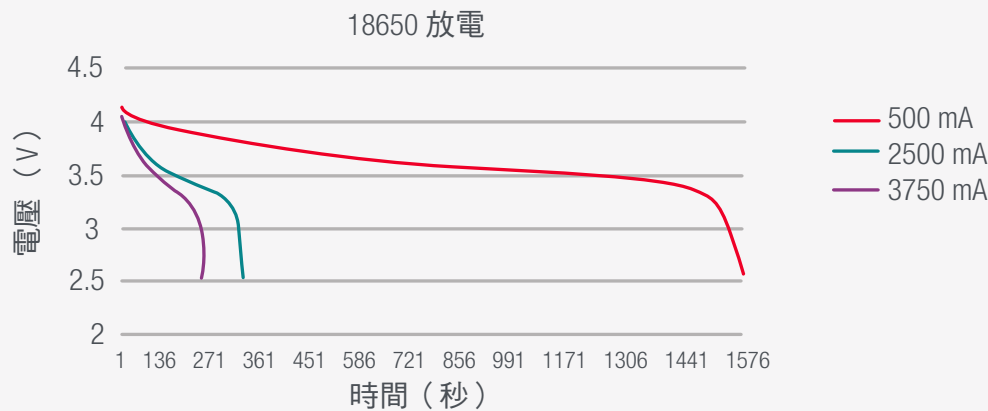


圖 2：18650 電池以數種不同的速率放電

當充電電壓高於 4.0 V 時，鋰離子電池將會承受過大的內部壓力。圖 2 顯示電池電壓恢復到弛豫狀態時，電池電壓迅速下降。電壓從 3.2 V 降至 3.1 V 之前，壓降一直是保持線性。而當電壓繼續降低，電池電壓便迅速下降。電池容量可用放電電流量來計算：500 mA 乘上運作時間 4.5 h，可得到 2250 mAh。測得的電池容量低於額定容量，原因是它們在 4.1 至 2.6 V 的工作範圍內才可量測。

配置需求		
1	配置電流優先模式的負載	“FUNC CURR,(@1)”
2	執行 .2 C 測試時，穩態電流設定為 .5 A	“CURR 0.5,(@1)”
3	範圍設定為 4 A 低範圍，以便準確地量測電池電流	“CURR:RANG 4,(@1)”
4	欠壓抑制（Under voltage inhibit）設定為關閉	“VOLT:INH:VON:MODE OFF,(@1)”
5	取消選擇啟用短路（預設）	“OUTP:SHOR OFF,(@1)”
進階電源設定		
6	將正負壓轉換率設定為 MAX	“CURR:SLEW 5,(@1)” “CURR:SLEW:NEG INF,(@1)”
7	選擇遠端 4 線式感測	“VOLT:SENS:SOUR EXT,(@1)”

表 2：配置負載模組通道 1 來汲取定電流

秘訣 2：測試電源供應器的暫態響應

大多數的電源設計，均使用電壓調節電路來提供定電壓。如果負載突然有大量電流流入，則調節電路便無法輸出穩定電壓。若測試情境為最大電壓輸出，或需要全電流輸出的暫態時，情況會更差。

為舉例說明，是德科技的暫態響應測試，是在電源供應器的最大輸出電壓下進行。輸出電流從最大值的 50% 開始，增加到最大值，接著返回到 50%。參閱圖 3，電流的急劇變化導致兩個電壓瞬變。

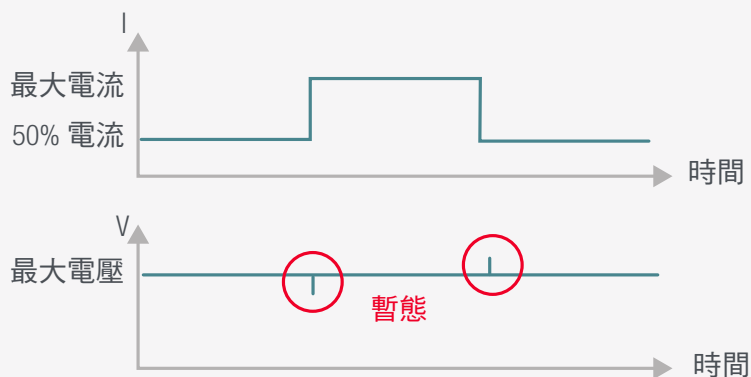


圖 3：電源供應器流出的最大電流突然改變，造成了電壓瞬變

暫態響應時間是指電源供應器從負載的顯著變化中恢復所需的時間。一旦電源供應器的輸出電壓，落入趨穩區域的上下限內，我們就認為它已恢復，如圖 4 所示。

例如，Keysight E36312A 的規格，是電壓進入 15 mV 的趨穩區域，恢復時間低於 50 μ s。這發生在負載從 50% 變化到 100%，及從滿載的 100% 變到 50% 的時候。

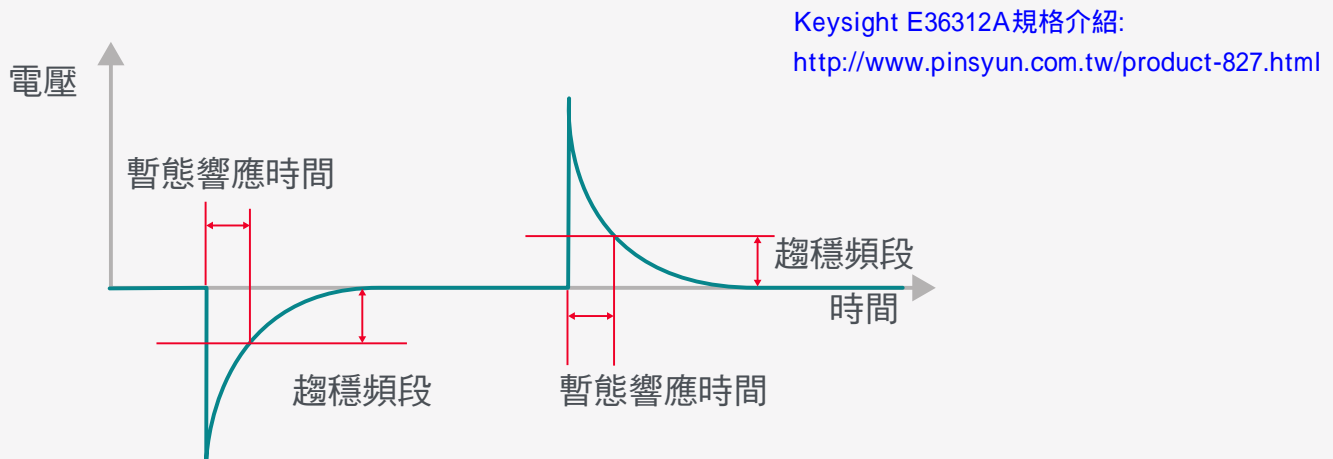


圖 4：暫態響應時間為電源供應器恢復至電壓趨穩區域所需的時間（量測響應時間）

用負載電阻和切換器量測響應時間極具挑戰性。功率電阻器上的電感，常常會受到電源供應器暫態的影響。使用直流電子負載可避免引入額外的失真。

電子負載設置兩種最常用的方式，是電阻模式和定電流模式。在電阻模式下，電子負載透過計算，選擇可汲入 50% 電流的電阻。第二個電阻汲入最大電流。電流優先模式很直觀，因為所需電流直接輸入到負載。

舉例來說，將 Keysight E36312A 電源供應器設定成 6 V 和 5 A 來進行測試。需觀察的兩個電流為 2.5 A（50%）和 5 A（最大值）。N6792A 負載模組配置為電流優先，如表 2 所示。

將負載配置為電流優先模式後，下一步是建立暫態。Keysight N6700 系列具有多個內建波形，可簡化動態輸出設定，只需設定幾個點即可完成。

當電流位準改變時，階梯式波形會產生一個暫態。當電流上升再下降時，脈衝波形產生了兩個暫態。此測試採用脈衝波形作為設置，參閱圖 5 所示。

keysight N6700 系列規格介紹:
<http://www.pinsyun.com.tw/product-13.html>
Keysight N6792A 規格介紹
<http://www.pinsyun.com.tw/product-919.html>

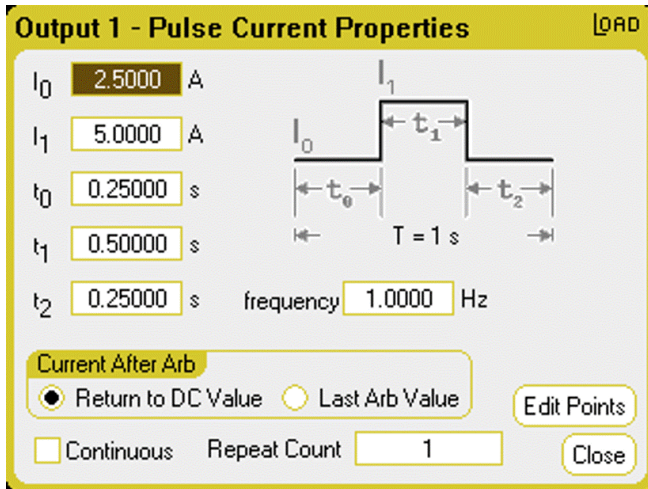


圖 5：選擇脈衝波形來產生動態電流

表 3 顯示 SCPI 程控指令以及 Keysight N6705C 前面板指示。定義好波形後，您隨時可使用 arb run 指令或 N6705C 前面板上的執行/停止鍵來啟用它。

將示波器的位準觸發設定為單次擷取，即可輕鬆查看並同時擷取波形。執行 arb 後，擷取到的暫態如圖 6 所示。示波器輸入選擇 AC 耦合，頻寬限制為 50 mV/div。掃描設定為 20 μ s/div，加入若干延遲使波形置中。

將標記設定在暫態進入 15 mV 趨穩區域內的位置，以查看波形通過的時間。對於這兩種暫態，電源恢復時間皆比額定的 50 μ s 規格快得多。

任意波形設定

8	選擇電流任意波形類型	"ARB:FUNC:TYPE CURR,(@1)"
9	波形設定為脈衝	"ARB:FUNC:SHAP PULS,(@1)"
10	脈衝初始位準的 I0 電流設定為 2.5 A	"ARB:CURR:PULS:STAR 2.5,(@1)"
11	脈衝高位準的 I1 電流設定為 5.0 A	"ARB:CURR:PULS:TOP 5,(@1)"
12	t0 脈衝於低位準持續 0.25 秒	"ARB:CURR:PULS:STAR:TIM 0.25,(@1)"
13	t1 脈衝在高位準停留 0.5 秒	"ARB:CURR:PULS:TOP:TIM 0.5,(@1)"
14	t2 脈衝結束於低位準並持續 0.25 秒	"ARB:CURR:PULS:END:TIM 0.25,(@1)"
15	脈衝頻率	"ARB:CURR:PULS:FREQ 1,(@1)"
16	脈衝結束後返回直流	"ARB:TERM:LAST OFF,(@1)"
17	重複計數設定為 1	"ARB:COUN 1, (@1)"

任意波形設定		
18	啟用輸出	“OUTPUT ON,(@1)”
配置觸發（按下 N6705C 前面板的執行/停止鍵來選擇觸發）		
19	啟用 arb 功能來響應觸發	“CURR:MODE ARB,(@1)”
20	執行 arb 時產生觸發	“TRIG:ARB:SOUR IMM”
執行 arb		
21	啟動 arb（類似 N6705C 的執行按鈕）	“INIT:TRAN (@1)”

表 3：配置負載模組的通道 1 來汲取動態電流（前七個步驟與秘訣 1 的步驟相同）

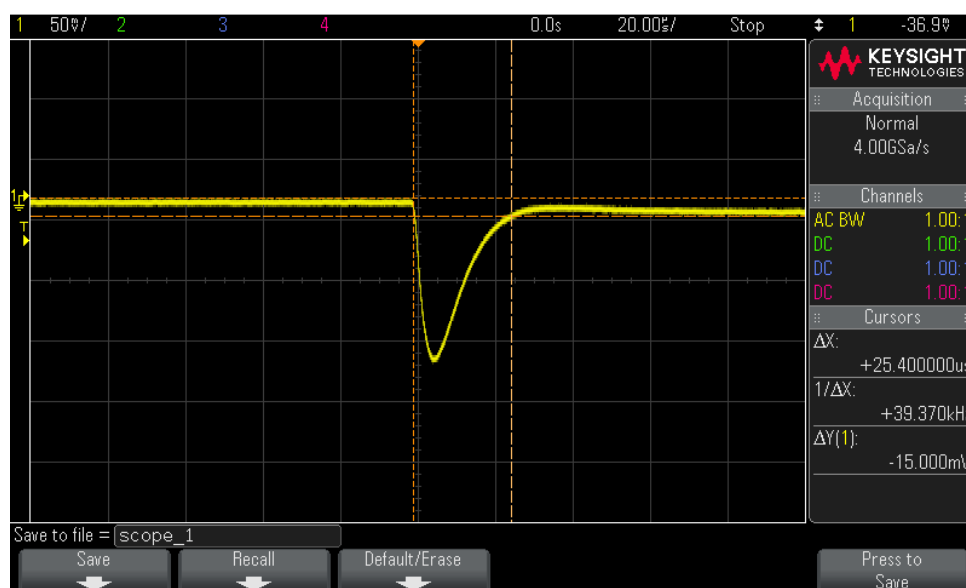


圖 6：第一個暫態的單次擷取結果

秘訣 3：測試電源供應器的限流能力

所有電源都會內建限流電路，來對本身和其供電的裝置進行保護。使用原始設備製造商（OEM）電源供應器時，需了解電源的限流能力，這點非常重要。

執行限流量測來確定定電壓電源將其最大輸出電流限制在預設值的程度。該預設值在整個指定範圍內可以是固定值，也可以是變數。

限流電源供應器設計有三種：

1. 傳統限流電源供應器
2. 能將定電壓 (CV) 轉換為定電流 (CC) 的電源供應器
3. 返馳式限流電源供應器

傳統的限流電源供應器和 CV/CC 模式電源供應器，功能上非常類似。這兩者僅在定電流工作區（參閱圖 7）的調節程度上有所不同。您可調整 CV/CC 電源供應器的 CC 工作點。

圓形交越轉折點和傾斜的限流特性曲線，表示電流調節能力不太準確。相反地，越急遽的轉折點和垂直的限流特性，則表示電流的調節能力越好。返馳式限流電源供應器採用的技術可使輸出電壓和電流同時降低，使負載電阻低於交越值。

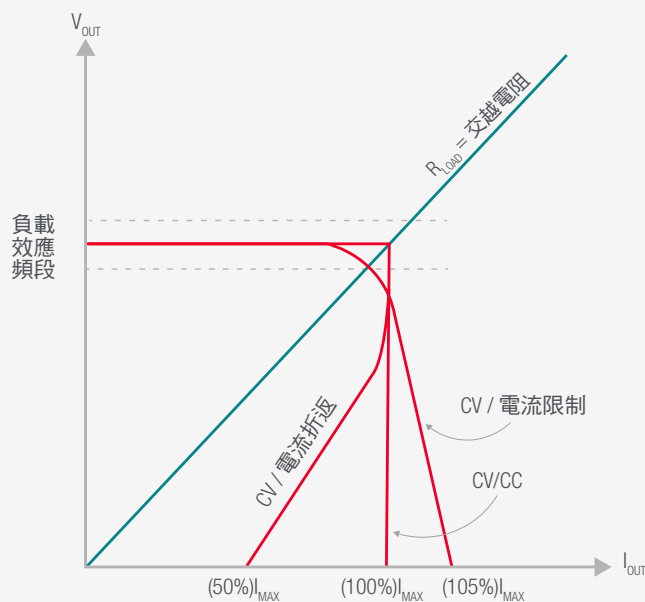


圖 7：三種限流設計的電壓 — 電流特性

用於測試電源供應器限流能力的測試程序

將電源供應器連接到萬用電錶和電子負載，如圖 8 所示。N6791A 和 N6792A 電子負載內建精密量測系統，無需使用外部的萬用電錶。

N6791A 規格介紹:

<http://www.pinsyun.com.tw/product-840.html>

N6792A 規格介紹:

<http://www.pinsyun.com.tw/product-919.html>

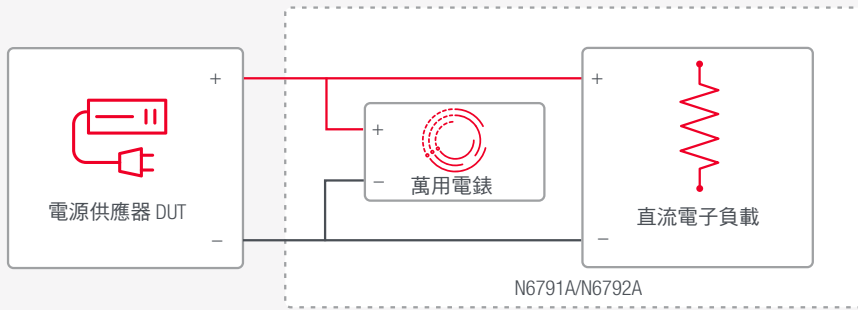


圖 8：待測電源供應器連接到萬用電錶和直流負載

首先將電源供應器設定至最高電壓並將負載設定為高電阻，開始進行測試。高電阻汲取最小電流，電源供應器處於正常定電壓模式。

測試期間，電源供應器不斷記錄輸出電壓和電流。程式開始以步進減少電子負載的電阻。隨著負載改變，造成電流增加時，輸出電壓保持不變。然而一旦輸出電流達到電流限制，電壓就會下降。

圖 9 顯示的是交越區的壓降。電源供應器不能再保持定電壓。而隨電阻持續下降，電源供應器的操作進入限流模式。具備 CV/CC 功能的高品質電源供應器，即可迅速轉變成定電流模式。隨著電阻持續增加，電流應保持不變。

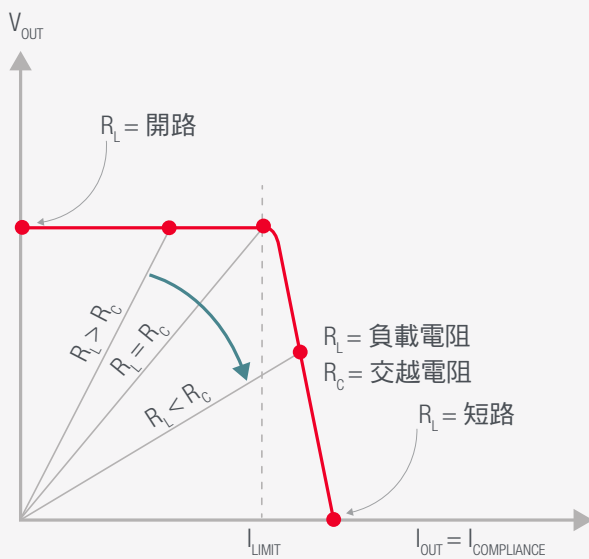


圖 9：圖中說明電阻增加對電源供應器的影響

配置表		
1	選擇電阻優先模式	"FUNC RES,(@1)"
2	將該範圍設置為低電阻範圍，可處理 3 歐姆或更低電阻	"RES:RANG 3,(@1)"
3	利用字串變數重置來降低電阻	"RES " & resSet & ", (@1)"
4	關閉欠壓抑制功能	"VOLT:INH:VON:MODE OFF,(@1)"
5	取消選擇啟用短路（預設）	"OUTP:SHOR OFF,(@1)"
進階電源設定		
6	將正負壓轉換率設定為 MAX	"RES:SLEW INF,(@1)"
7	"RES:SLEW:NEG INF,(@1)"	
8	選擇 4 線式遠端電壓感測	"VOLT:SENS:SOUR EXT,(@1)"
	將負載掛載至電源供應器	"OUTPUT ON, (@1)"

表 4：配置負載模組的通道 1 來降低電阻

結果

待測電源供應器的限流設定為 2 A。電子負載提供 3 歐姆電阻，使電壓和電流均可量測。電阻以 0.1 歐姆步進減少，且在下一組量測開始前，電源供應器要達穩定狀態。

重複此過程直到電阻降至 0.1 歐姆為止。關於電壓—電流量測結果，請參閱圖 10。待測電源供應器可迅速地從定電壓模式轉換到定電流模式。轉換時間越短，代表電源供應器的品質越高。

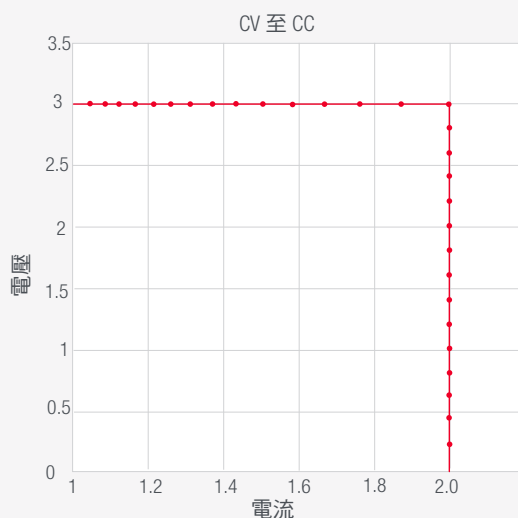


圖 10：圖中顯示電壓與電流的關係，限流 2 A

秘訣 4：測試直流對直流轉換器

直流對直流轉換器在現代電子產品中很常見。它有三種主要用途：

1. 建立電氣隔離
2. 轉變電壓位準，產生更高或更低的輸出電壓
3. 允許大範圍的輸入電壓

汽車電子使用標稱電壓 $12 V_{DC}$ ，當電池低電量時，最低電壓可達 $9 V_{DC}$ ，而引擎運轉時則可產生高達 $14 V_{DC}$ 。直流對直流轉換器需能接收 9 至 $14 V_{DC}$ 的輸入電壓，並輸出一致的 $12 V_{DC}$ 。

另一個有趣的用途，是具備整合式電腦和電子裝置的緊急救援車輛。 $19 V_{DC}$ 可為多種筆記型電腦、顯示器和路由器供電。直流對直流轉換器可用於將標準的 $12 V_{DC}$ 轉換成 $19 V_{DC}$ 。使用 $19 V_{DC}$ ，便無需使用換流器為每部裝置產生 $115 V_{AC}$ 家用電源，和交流直流電源供應器。直流對直流轉換器的效率很高，效率超過 96% 極為常見。

直流對直流轉換器的輸入在穩定負載下消耗固定功率。為了消耗固定的功率，轉換器在電壓增加時汲入較小的電流。圖 11 是固定功率的曲線圖。在寬電壓範圍內，很容易看出電壓和電流之間呈曲線關係。

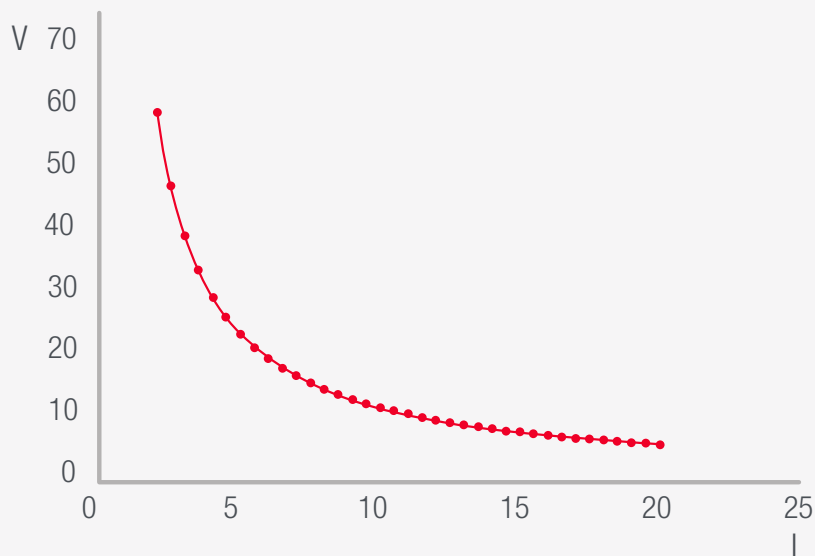


圖 11：在廣泛電壓和電流範圍內的固定功率曲線

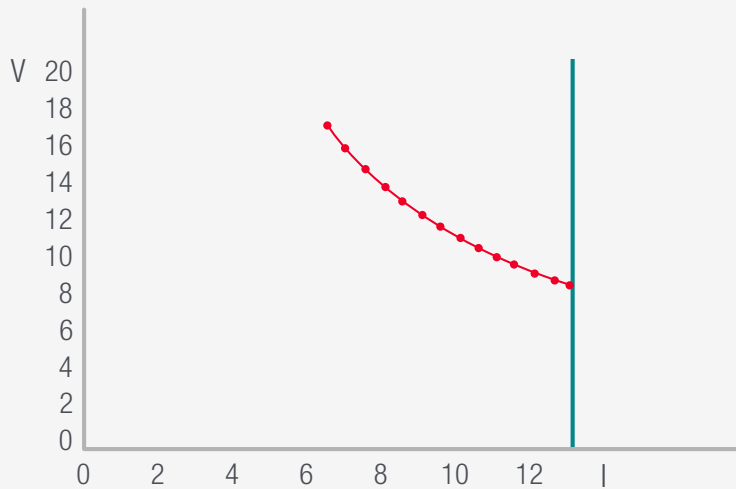


圖 12：單一限流條件僅保護直流對直流轉換器在單一電壓下的操作（綠線）

直流對直流轉換器，其電壓 — 電流範圍和圖 11 中的曲線相比較為有限。19 V/6 A 轉換器的產品規格書，顯示其輸入電壓範圍為 9 V 至 18 V。為了測試轉換器的完整輸入範圍，需要一個能夠產生 9 V/13 A 和 18 V/6.5 A 的直流電源供應器。

保護轉換器

為保護轉換器免受電壓過高和電流過大的影響，需要一個以上的單一限流條件。圖 12 的單一限流為 13 A。13 A 的限流條件僅能在轉換器工作於 9 V 時提供保護。在高電壓時，轉換器在限流跳脫之前會接收過多功率。固定功率（CP）保護適用於單一限流無效的情形。圖 13 繪示固定的功率限制。高階電源和電子負載具備內建的固定電源保護。

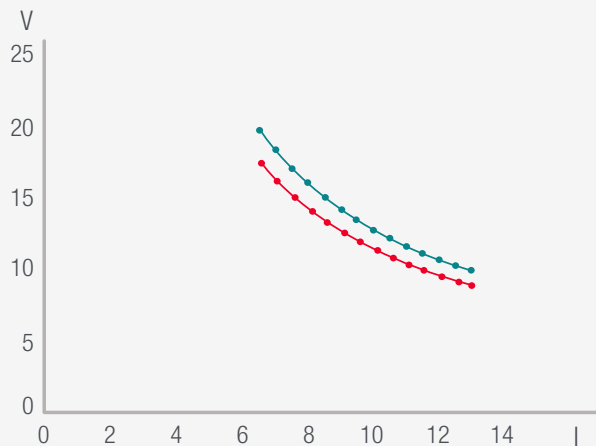


圖 13：功率限制（綠色）略大於操作功率（紅色）的示意圖

標準電流保護的另一個問題是，由於限流的限制，電源供應器將會轉換至定電流模式。在定電流模式下，電源供應器允許其輸出電壓下降，並可能低於轉換器的操作電壓。電壓太低將導致轉換器進入未調節狀態。此時需對轉換器進行重置。

過流保護（OCP）可防止電源供應器供應低電壓。OCP 不是轉換到定電流模式，而是關閉電源輸出。

負載也能保護轉換器，其可在轉換器操作於預期的 19 V 才汲入電流。欠壓抑制功能可關閉負載，一直到輸入電壓高於 19 V 的限制才將其開啟。一旦轉換器提供正確的電壓，負載便能再次汲入電流。

測試電源轉換器

Keysight N6700C 模組化主機，其電源供應器模組和直流電子負載模組都可以添加到主機中，是此測試的理想選擇。電源供應器模組可程控來產生不同電壓，以模擬汽車的電壓，同時負載可配置為汲入固定功率模式。負載設定為 85 W，代表電腦和多個周邊裝置的所需功率。

對於每一操作電壓下都會進行效率計算。轉換器的效率，是將輸出功率除以輸入功率。電源供應器產生和量測

輸入功率，而負載量測輸出功率。將電源和負載放在同一台儀器中，可以輕鬆實現量測同步並執行效率量測。

電源供應器配置		
1	使用字串變數 voltSet 輸出 9 至 18 V	"VOLT " & voltSet & ",(@3)"
2	限流設定為 10 A	"CURR 10,(@3)"
3	使用過流保護來禁用輸出	"CURR:PROT:STAT ON,(@3)"
4	選擇 4 線式遠端電壓感測	"VOLT:SENS:SOUR EXT,(@3)"
5	將轉換器上電	"OUTPUT ON,(@3)"

表 5：配置電源供應器模組通道 3 以驅動換流器

負載配置		
1	選擇功率優先模式	"FUNC POW,(@1)"
2	將範圍設定為高功率以管理超過 20 W	"POW:RANG 100,(@1)"
3	配置負載消耗 85 W	"POW 85,(@1)"
4	欠壓抑制設置為 19 V 並啟用	"VOLT:INH:VON 19,(@1)" "VOLT:INH:VON:MODE LIVE,(@1)"
5	取消選擇啟用短路（預設）	"OUTP:SHOR OFF,(@1)"
進階電源設定		
6	將正負壓轉換率設定為 MAX	"POW:SLEW INF,(@1)" "POW:SLEW:NEG INF,(@1)"
7	選擇 4 線式遠端電壓感測	"VOLT:SENS:SOUR EXT,(@1)"
8	將負載掛載至電源供應器	"OUTPUT ON, (@1)"

表 6：配置負載模組的通道 1，以消耗固定的 85 W 功率

結果

開始測試時，將 18 V 施加到轉換器以及 85 W 負載。電壓和電流量測值分別在轉換器的輸入和輸出計算。使用電壓和電流量測值來計算效率。接下來，在降低轉換器輸入電壓 500 mV 後，允許轉換器暫停三秒鐘來達到穩定。穩定後，進行量測並記錄所有電壓和電流。程式繼續降低電壓並進行量測，直到輸入電壓達 9 V 下限。圖 14 顯示輸入電壓和電流。效率的測試結果約在 97% 至 98%。

欠壓抑制模式對於測試很有幫助。如使用 9 V 以下的電壓對轉換器供電，它將進入未調節狀態，並且無法產生 19 V。欠壓抑制會消除負載，使轉換器在有效電壓輸入後便能輕鬆恢復。

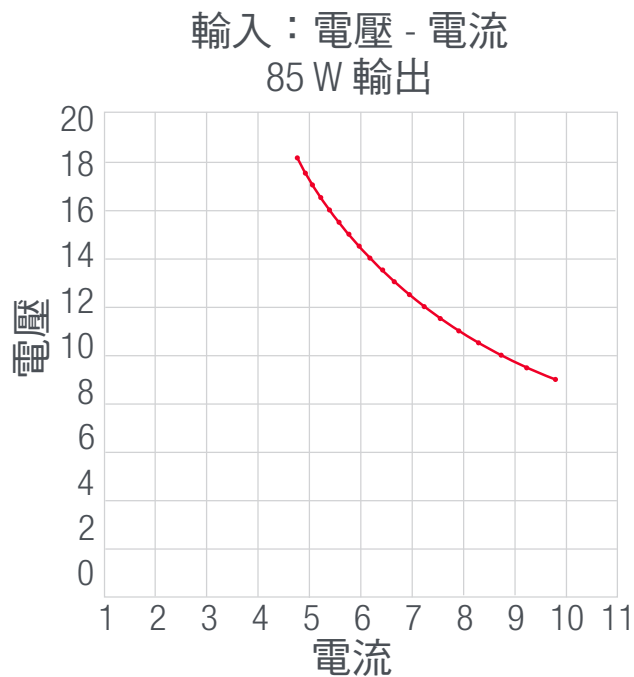


圖 14：85 W 換流器的輸入電壓和電流圖

如有任何問題,請洽keysight 正式授權經銷商
品勛科技股份有限公司
www.pinsyun.com.tw
02-2278-9886 | 03-668-1808 | 06-230-0896



了解詳情 — 電子負載

隨著越來越多電子裝置需轉換或儲存能量，直流電子負載在測試系統中變得越來越普遍。是德科技全新推出的 N6790 系列直流電子負載，可安裝在 N6700C 模組化直流電源內。如此一來，只要透過單一儀器，便可為您的工作台或系統汲入和供應電源。N6790 系列負載提供電流模式、電壓模式、電阻模式和電源模式。其內建高效能量測試系統，無需搭配外部萬用電錶來使用。

專業設計以適用於各項應用

新的 100 W N6791A 和 200 W N6792A 電子負載可提供四種不同的操作模式：

- **電流模式** — 電源供應器、普通電池和燃料電池測試
- **電阻模式** — 利用可變電阻器作為電源供應器和電池的負載
- **電壓模式** — 測試電流源、LED 驅動器和太陽能板
- **電源模式** — 直流對直流轉換器測試

此外，N6790 系列負載可執行動態和靜態測試。

桌上型

N6705C 600W 模組化電源供應器可提供四個模組插槽、大尺寸顯示螢幕、顯示畫面設定並同時在所有通道進行量測。利用配置面板可輕鬆對各個模組進行設置。

ATE 系統

有三種 1U 主機可供您選擇：N6700C 400 W、N6701C 600 W 或 N6702C 1200 W。所有主機都提供四個模組插槽。透過幾個內建的任意波形，輕鬆建立動態功率波形和負載曲線，您只需設定幾個點即可完成。

下載 [N6700 模組化電源系統 — 產品規格書 5992-1857EN](#)

下載 [N6700 系列規格說明書 — N6700-90001.pdf](#)

[觀看更多power 類型測試白皮書](#)

<http://www.pinsyun.com.tw/product-807.html>

詳細資訊，請上網查詢：www.keysight.com

有關是德科技電子量測產品、應用及服務的詳細資訊，可查詢我們的網站或來電洽詢。是德科技聯絡窗口：www.keysight.com/find/contactus

PINSYUN

品勛科技股份有限公司

KEYSIGHT
TECHNOLOGIES