

突波抗擾度測試問題分析及實例解析

突波抗擾度測試儀能模擬雷擊和開關操作產生瞬態過電壓干擾波，評估各種裝置的抗電磁干擾能力是否滿足要求。本文以 ADI 的 AD74115H 舉例，討論如何進行突波抗擾度測試。

■作者：Alan Yang

突波抗擾度測試表明，裝置或設備在雷擊，或切換重載，或短路故障條件下，引起的工業電源突波等事件中的耐受能力。本文以 ADI 的 AD74115H 舉例，如何進行突波抗擾度測試。

1. 突波抗擾度測試原理及詳細分析

首先明確測試目標：突波抗擾度測試旨在評估受試設備 (EUT)，在高能電源與互連線干擾 (突波脈衝) 下的性能。

1.1 突波抗擾度測試兩大主要部分：

■突波脈衝產生器

通常透過源阻抗 (例如 $10\ \Omega$ 的電阻、 $9\ \mu\text{F}$ 的串聯電容) 直接耦合至訊號。

■去耦合網路 (CDN)

去耦合網路 (CDN) 通常包含 (在抗擾度測試系統內) 有助於在突波測試期間的保護電源或輔助設備。其中去耦合網路中的電感，結合電源轉化器輸入電容，進而起到去耦合的作用。

然而，CDN 中使用的電感越高，預期振盪概率就越高。相反，轉換器輸入電容越高，振盪的概率就越低。

當 EUT 透過 CDN 連接，當前設計的電源轉換器可能無法啟動或出現振盪。在某些情況下，振盪可能會導致 EUT 損壞。

1.2 突波抗擾度測試關鍵參數：

■直流電源的輸入電壓

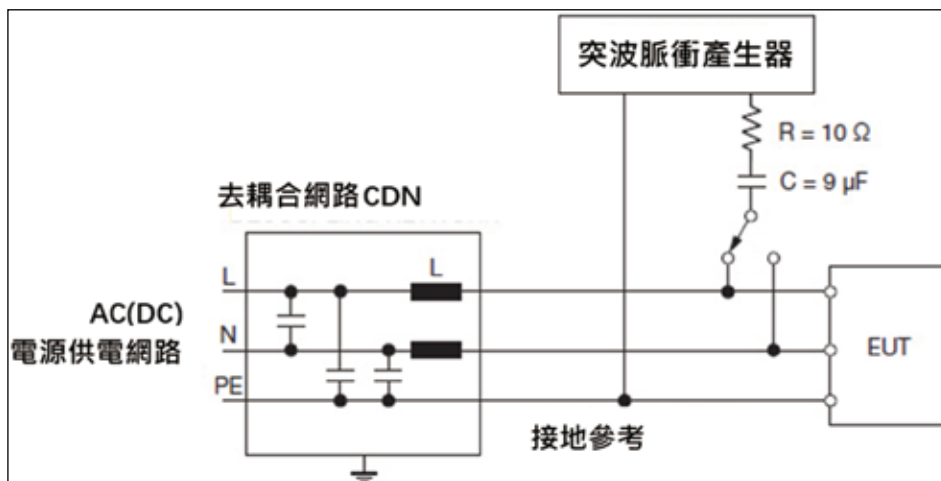
結論：較高的直流電源輸入電壓，有利於測試。

根據標準 EN 50121-3-2，突波測試應在最大輸入工作電壓下執行。例如，電池電壓為 $110\ \text{V}$ 時，應以 $137.5\ \text{V}$ 進行測試。

務必要確保將直流電源電壓調整到足夠高，以補償 CDN 和輸入線的損耗。

舉例：使用 $24\ \text{V DC}$ / DC 轉換器，功率為 $300\ \text{W}$ ，CDN 串聯阻抗 $0.5\ \Omega$ ，

圖 1: 突波抗擾度測試原理 (圖片來源於 Bel Fuse)



CDN 電壓降將為大約 7 V。

同時，輸入電壓越高，預期振盪概率就越低。

■負載輸出電流

結論：較低的負載輸出電流，有利於測試。

輸出功率越低，從電源吸取的輸入電流就越低。當負載足夠低時，振盪就會消失。

■去耦合網路 CDN 的額定電流

結論：較低去耦合電感，較低的串聯電阻，較高額定電流的 CDN，發生振盪的可能性較低。

在 IEC 61000-4-5 標準中，並未指定 CDN 電感參數。因此，市場上推出了各類 CDN 裝置，這導致部分測試實驗室使用具有相當高電感的 CDN，其中的 DC/DC 轉換器可能會發生振盪。相反，有的實驗室可能使用較低電感的 CDN，且沒有觀察到不穩定性現象。CDN 的通用電感約為 1 mH (每極)。

■ IEC 61000-4-5 突波測試等級

圖 2: 無負載情況下，發生振盪的原因 (圖片來源於 Bel Fuse)

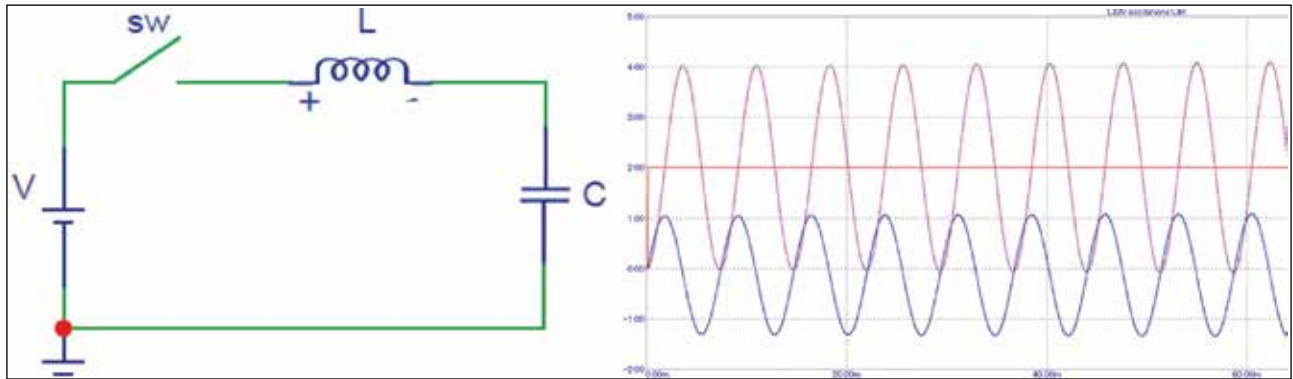
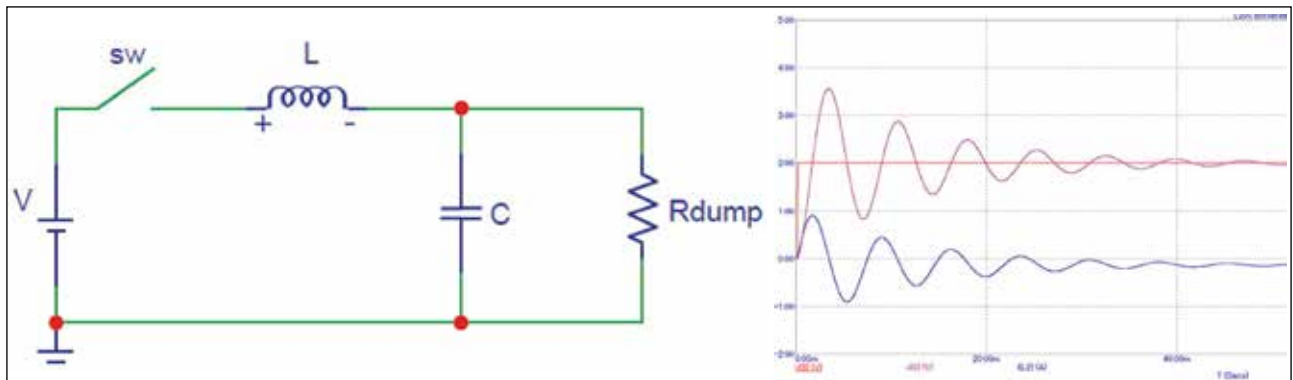


圖 3: 可能的解決方案 — 導入耗散電阻 (圖片來源於 Bel Fuse)



等級	電壓峰值 (kV)
1	0.5
2	1
3	2
4	4

2. 發生振盪的原因與可能的解決方案

■無負載情況下，發生振盪的原因

開關“SW”打開後(或電路中引入其他變化/階躍)，此 LC 電路中出現頻率為“fr”的諧波振盪。

$$f_r = (1/2\pi) * (1/\sqrt{L*C})$$

由於能量無法及時耗散，因此能量在電容和電感之間，以恆定的幅度長久持續地振盪。

■可能的解決方案 — 導入耗散電阻

為了避免振盪的發生，可以導入耗散電阻(比如電阻“Rdump”)，則電感和電容之間的能量傳輸就會有損耗，且振盪幅度會隨著時間的推移而減小。

圖 4: 連接了穩壓電源轉換器情況下, 發生振盪的原因 (圖片來源於 Bel Fuse)

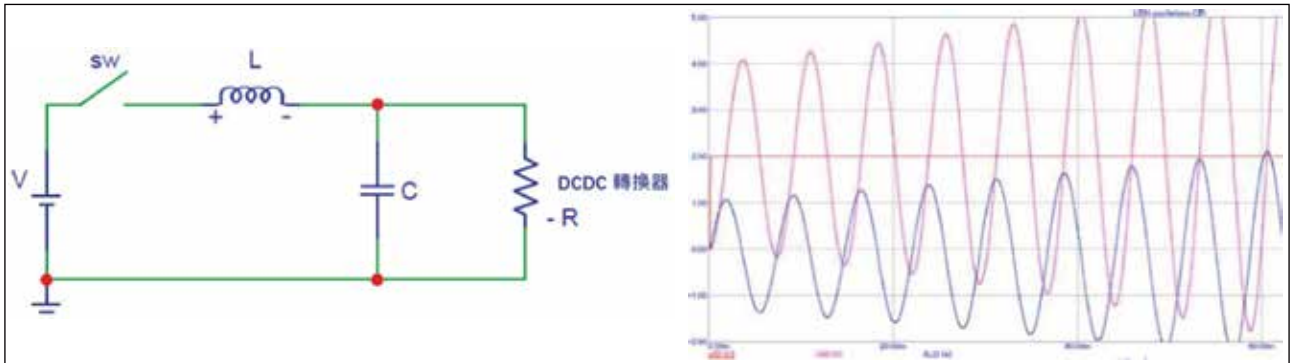


圖 5: 可能的解決方案 — 導入耗散電阻 (圖片來源於 Bel Fuse)



■連接了穩壓電源轉換器情況下, 發生振盪的原因

如果連接了穩壓電源轉換器而非耗散元件 (如電阻負載), 則幅度不會減小, 而是及時放大。

■可能的解決方案 — 導入耗散電阻

若要補償這種影響, 至少需要在電路中添加耗散電阻 “R”。若要耗散足夠快, “R” 的值應該越小越好。

電阻 “R” 的並聯 (左圖), 會在直流條件下導致額外顯著耗散。因此, 最好串聯電阻 “Rs” 和電容器 “Cs” (右圖), 以更有效地抑制振盪。

3. 減輕突波測試期間振盪的可用解決方案比較

除了導入耗散電阻之外, 我們還可以透過調整輸入電容或者限制轉換器調節迴路頻寬, 來減輕突波測試期間振盪。下面是三種方案的比較:

解決方案	優點	缺點
耗散電阻與電容串聯組合	不需要突波限制器 可用於單級設計	需要板材空間 增加產品成本
輸入電容	可用於單級設計	需要突波限制器電路 需要較大的板材空間 增加產品成本
限制轉換器調節迴路頻寬	不需要突波限制器 不影響產品成本 不需要額外空間	對單級設計無效 影響動態回應

4. ADI AD74115H 突波測試實例

根據 IEC 61000-4-5 工業環境標準:

■突波為兩種波形的組合波:

上升時間 1.2 μ s 與 50 μ s 脈寬開路電壓

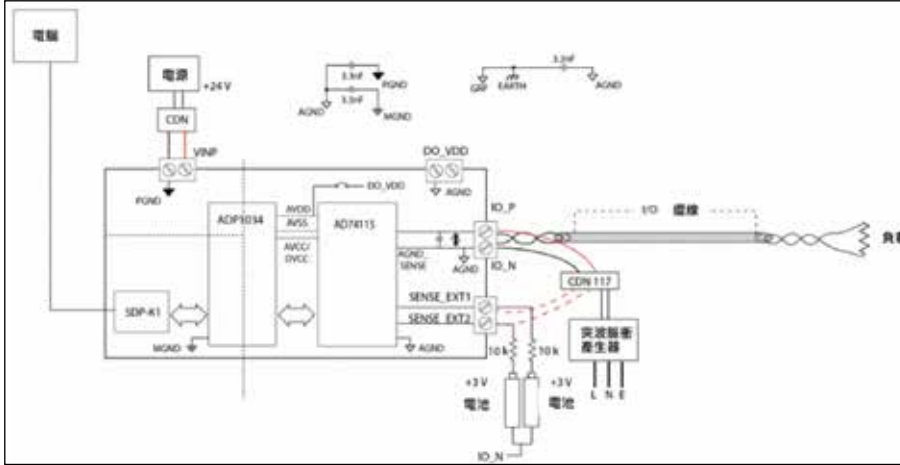
上升時間 8 μ s 與 20 μ s 脈寬短路電流

■DUT (被測元件) 在每個額定值下經受五次正突波和五次負突波。

每個突波之間的時間為 1 分鐘。對 AD74115H 輸出纜線進行突波測試, 該纜線被視為 DUT 的非遮罩非對稱操作互連線。突波透過去耦合網路 CDN 117 施加到 I/O 和感測器。

■CDN (去耦合網路) 不影響 DUT 的指定功能

圖 6: ADI AD74115H 突波測試實例 (圖片來源於 ADI)



條件。DUT 和 CDN 之間的互連線路長度應小於等於 2m。

4.1 硬體設定

為了確保 I/O1 埠和感測器接腳以及用於內部數位輸出 FET 的完整性。

突波測試期間測試物件，需要測試下面這些特定物件，：

- > 電壓輸出 (以及透過重新配置 ADC 輸入節點的電壓輸入)
- > 內部數位輸出
- > 感測器接腳 sense_EXT1 和 sense_EXT 2

突波相較於 IO_N(AGND) 一次一個地耦合到每個端子，所有測試物件均使用非遮罩纜線。

對於電壓輸出測試物件，將 6V 配置為連接在 IO_P 和 IO_N 之間的 100kΩ 負載的輸出。測量 (電壓輸入) 被配置為 IO_P 至 IO_N，範圍為 0 V 至 12 V。

SENSE_EXT1 和 SENSE_EXT 2 節點被選為診斷節點，並被配置為 0 V 到 12 V 範圍內 ADC 的輸入。兩個串聯的 AA 電池被用作每個 SENSE_EXTx 接腳的 3.1 V 輸入。

對於內部數位輸出，在 IO_P 和 IO_N 之間連接 1 kΩ 負載電阻器。該測量值被配置為對流過內部 RSET 的電流進行內部診斷。

4.2 軟體配置

使用的軟體是 AD74115H 評估板提供的評估軟體。在每次測試開始時，進行預測試配置。在放電之前，執行前測量流程。放電後，執行後測量流程。

■預測試配置

- > 重置 DUT
- > 清除警報狀態暫存器
- > 配置通道
- > 配置 ADC 測量節點

- > 配置 ADC 取樣速率為 20 SPS

■前測量與後測量流程

- > 讀取並儲存警報狀態暫存器
- > 清除警報狀態暫存器
- > 讀取 ADC 數據
- > 將資料保存到檔案中

4.3 性能表現總結

下表總結了突波試驗結果。對於數位輸出測試物件，不記錄偏差，因為精度取決於負載。測試驗證了數位輸出沒有意外關閉。警報狀態暫存器中的 ADC 轉換錯誤位在每次測試後設置。ADC 誤差表示飽和誤差 (ADC 測量讀數為滿刻度)，表明在測試接腳上觀察到 >12 V 的突波電壓。

■常見的防止突波電流的零組件

- > 電阻

對於小功率電源 (最多幾瓦特)，增加一個串聯電阻，是一個簡單和實用的解決方案，以限制突波電流。但限制突波電流的電阻會造成功率損耗，不適合大功率裝置。

- > 熱敏電阻

熱敏電阻是一種阻值隨溫度變化而發生較大變化的電阻元件，他們通常作為電流限制器。

測試等級	測試對象	前測試	後測量	偏差 (%FSR)	表現
1 kV	電壓輸出 (Voltage Output)	5.9942 V	5.9940 V	0.00016	Class B
	感測器 (SENSE EXT1)	3.1086 V	3.1084 V	0.00016	Class B
	感測器 (SENSE EXT2)	3.1015 V	3.1017 V	0.00016	Class B
	內部數位輸出放出電流 (Digital Output Internal Source)	22.55 mA	21.98 mA	N/A	Class B
	內部數位輸出吸收電流 (Digital Output Internal Sink)	22.49 mA	22.49 mA	N/A	Class B
1 kV	電壓輸出 (Voltage Output)	5.9942 V	5.9940 V	0.00016	Class B
	感測器 (SENSE EXT1)	3.1088 V	3.109 V	0.00016	Class B
	感測器 (SENSE EXT2)	3.1017 V	3.019 V	0.00016	Class B
	內部數位輸出放出電流 (Digital Output Internal Source)	22.55 mA	21.98 mA	N/A	Class B
	內部數位輸出吸收電流 (Digital Output Internal Sink)	22.49 mA	22.49 mA	N/A	Class B

熱敏電阻分為兩類：

■正溫度係數 (PTC) 熱敏電阻

■負溫度係數 (NTC) 熱敏電阻

> 突波電流限制器

這些突波電流限制器可用於各種配置和保護塗層，以適應幾乎所有應用。一般來說，串珠式熱敏電阻具有高穩定性和可靠性，回應時間快，在高溫下運行。磁片和晶片類型通常比串珠式的大，因此它們的回應時間相對較慢。然而，它們通常具有更高的耗散常數，因此在測量、控制和補償應用中能

夠更好地處理功率。他們通常具有成本較低、更容易更換的特點。

總結：

突波抗擾度測試儀能模擬雷擊和開關操作產生瞬態過電壓干擾波，評估各種裝置的抗電磁干擾能力是否滿足要求。對於測量不同的受試裝置，還需要留意受試裝置自身的特點，增加合適的測試物件與流程，才能確保受試裝置各個部分的訊號完整性。

CTA

下期預告

智慧邊緣設計