

# 積層陶瓷電容器(MLCC)測試指南

December 2021  
Chroma ATE Inc.

## 目 錄

一、	目的.....	3
二、	電容器原理.....	3
三、	MLCC 的基本參數測量 .....	3
四、	基本參數以外評估 MLCC 電氣優劣的方法.....	5
五、	Chroma 相關測試解決方案 .....	7
六、	技術說明 .....	10
七、	附加說明 - MLCC 生產測試 – 瞬時過壓測試 .....	12

## 一、目的

積層陶瓷電容器 ( Multi-layer Ceramic Capacitor · MLCC ) 是陶瓷電容器的一種，其電容值含量與產品表面積大小、陶瓷薄膜堆疊層數成正比，MLCC 也因其物理特性有耐高電壓和高熱、運作溫度範圍廣，能夠晶片化使體積小，且電容量大、頻率特性佳、高頻使用時損失率低、適合大量生產、價格低廉及穩定性高等優點，被大量廣泛使用於電子產品中。本文將針對如何有效檢測積層陶瓷電容器 ( MLCC ) 產品品質進行說明。

## 二、電容器原理

真空中，無介電質的導體平行板間加一電壓，導體平行板間因電動勢所誘起之電荷。

$Q_0 = C_0 V$ ， $C_0$  為其比例係數，稱為此導體平行板之真空靜電容量。

又  $C_0$  與平行板面積  $S$  成正比。與平行板間距  $d$  成反比。

$C_0 = \epsilon_0 S/d$ ， $\epsilon_0$  為其比例係數，稱為真空介電係數。

$$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} [\text{F/m}]$$

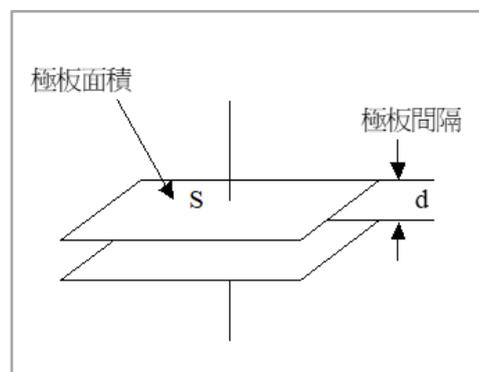
於平行板空間內塞滿均質介電質後，因介電質之極化反應，導體平行板間因電動勢  $V$  所誘起之電荷量  $Q$ 。

$Q = CV$

$C = \epsilon S/d$   $\epsilon$  為介電質插入後之介電係數，相對於真空介電係數  $\epsilon_0$ 。

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$$

$\epsilon_r$  稱為相對介電率。



圖(一) 真空靜電容量

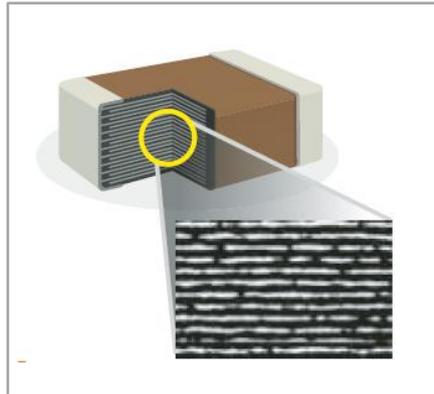
## 三、MLCC 的基本參數測量

3.1 所有直流儲能元件皆有以下三個基本參數：

- ① 基本儲能容量
- ② 交流損失
- ③ 直流絕緣漏電

於 MLCC 即是：

- ① 靜電容量 (  $C$  · [μF] )
- ② 損失因素 (  $D$  或  $\tan\delta$  in % )
- ③ 絕緣電阻或漏電流 (  $IR$  [Ω] 或  $LC$  [μA] @ 額定電壓 )



圖(二) 積層陶瓷電容結構

### 3.2 MLCC 的靜電容量 (C, [μF])

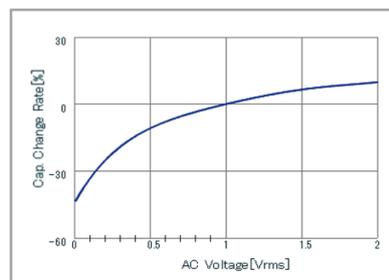
MLCC 由於使用高介電系數絕緣材料，在低壓領域就會開始呈現非線性現象，測得電容量會隨著加在電容身上的電壓不同而有差異。故在法規 (JIS C 5101-1-1998) 對測試信號有所規範。

公稱靜電容量	測定周波數	測定電壓
$C \leq 10\mu\text{F}$ (10V 以上)	$1 \pm 0.1\text{kHz}$	$0.1 \pm 0.2\text{Vrms}$
$C \leq 10\mu\text{F}$ (6.3V 以下)	$1 \pm 0.1\text{kHz}$	$0.5 \pm 0.1\text{Vrms}$
$C > 10\mu\text{F}$	$120 \pm 24\text{kHz}$	$0.5 \pm 0.1\text{Vrms}$

表 (1) 測定條件

注意事項：

一般 LCR Meter 設計因內部有輸出限流電阻，故儀器所設定之電壓須注意選用較低輸出電阻模式 ( $\leq 10\text{ohm}$ ) 或使用自動電壓補償 (ALC) 功能。



圖(三) AC 電壓與電容量的關係

### 3.3 損失因素 (D 或 $\tan\delta$ in %)

損失因素是指交流狀態之損失與皮相功率的比。

$$D = \frac{i^2 R_s}{i^2 X_c} = \frac{R_s}{X_c} = \omega C_s R_s$$

$R_s$ : 串聯等效電阻

$X_c$ : 容抗

$C_s$ : 串聯等效容量

- D 值越低代表損失越小。有些會以百分比方式表現，方便將皮相功率換算成損失功率。
- D 值一般與 C 量測使用相同測試頻率 (例：1kHz 1V)；但損失在高低頻的主要變數不盡相同。有時會另以接近實際使用頻率或更高頻率檢測 ESR ( $R_s$ ) 用以檢出特定不良 (例：內部電極表面積較小，高頻導電有效面小電阻高)。

### 3.4 絕緣電阻或漏電流 (IR [ $\Omega$ ]或 LC [ $\mu$ A] @ 額定電壓)

無論 IR 或 LC 都是由測得 LC 換算。

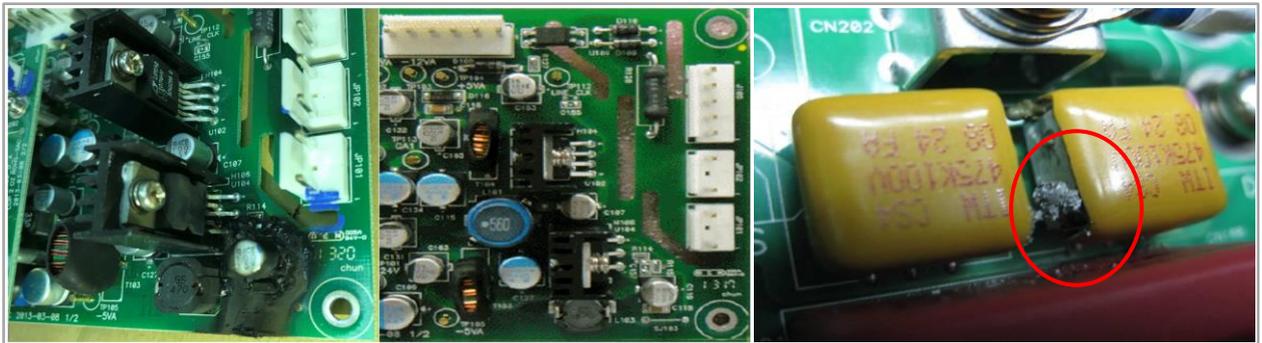
$$IR = \frac{Vt}{LC}$$

Vt: 測試電壓，一般規格以額定電壓測試。

- MLCC 一般生產檢驗以 IR 標示。但介電材絕緣特性一般皆是以漏電流與測試電壓的關係曲線 (I-V curve)。

## 四、基本參數以外評估 MLCC 電氣優劣的方法

相同規格的 MLCC 在使用上會有不同的表現，以下說明用來挑選較高品質 MLCC 的特殊檢驗手法。



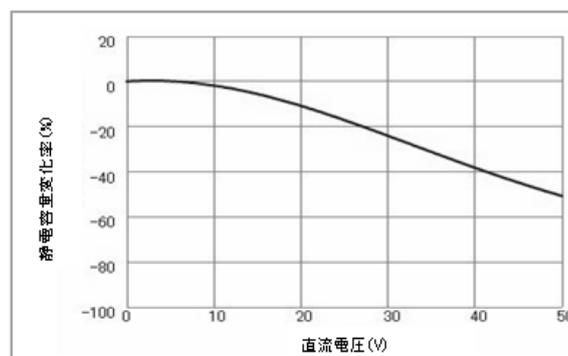
圖(四) MLCC 損壞實際範例

### 4.1 崩潰電壓

#### 4.1.1 MLCC 崩潰電壓 – 耐壓餘裕度

MLCC 的額定耐壓與實際產品的崩潰電壓有著相當大的差距，因其介電材的極化特性跟直流電壓有高度依存性。以一標稱 50Vdc 額定使用電壓 MLCC 為例：其電容量在 50Vdc 使用時電容量可能只剩 50%；但電氣崩潰卻可能高過 5 倍的 250V。其間差異就是產品耐壓的餘裕度，一般生產廠商在產線都會執行瞬時過電壓測試 (Flash Test) 確保此餘裕度，倍率依產品耐壓或公司品質考量不同而有差異，約 1.5~5 倍。MLCC 一般最大議題為使用後發生短路故障引起產品異常或 PCB 起火，所以以實際耐壓餘裕度來選擇好的 MLCC 產品不失為好的做法。

- 一般額定電壓指的是：到這個電壓其標稱容量仍在堪用範圍
- 崩潰電壓指的是：到這個電壓介電材絕緣崩潰為導體或介電質發生無法回復現象

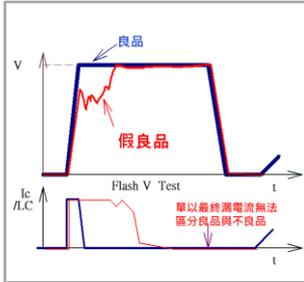


圖(五) 直流電壓與靜電容變化率

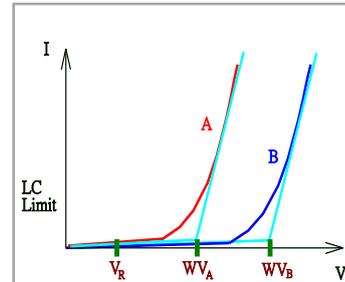
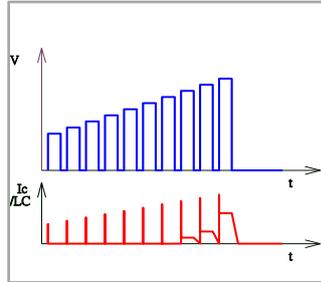
4.1.2 MLCC 崩潰電壓 – 測試方法

有效絕緣能力認定的概念：

- 絕緣不良：在某一測試電壓測試過程中產生電氣崩潰 ( Breakdown ) 或電氣閃 ( Flashover )
- 絕緣體與導體特性的轉折點 ( I-V curve )



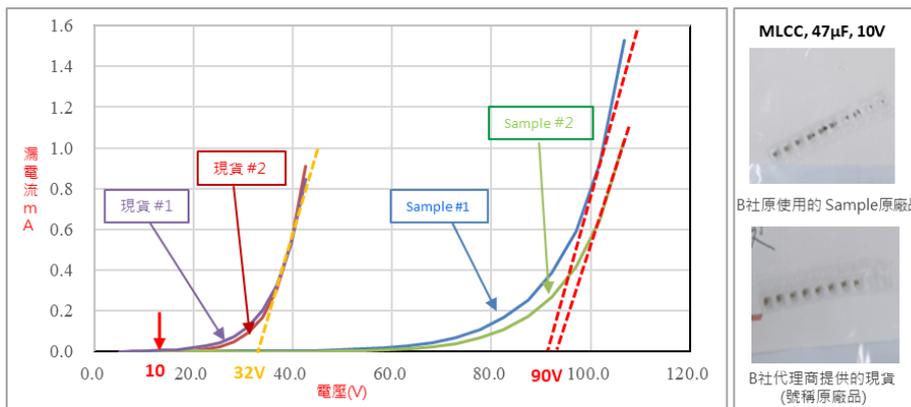
圖(六) 產生電氣崩潰或電氣閃絡



圖(七) 絕緣體與導體特性的轉折點

由於一旦進入絕緣開始劣化電位為後漏電特性會快速攀升，兩種方式認定方式一般不會差距太大。而崩潰電壓掃描建議目標電壓設定為 MLCC 10 倍額定電壓或設備最大值。

4.1.3 MLCC 崩潰電壓 – 實際案例



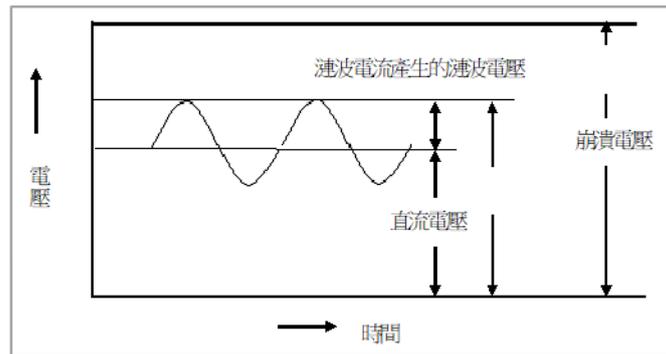
圖(八) MLCC 47µF · 10V 實際案例測試

4.2 AC 耐電流規格/漣波電流

MLCC 在實際交直流合併應用情況下會因為以下因素發熱：

- 交流電壓在介電材產生的極化變化產生的熱
- 交流電流在外部電極、內部電極鍍銀等導體產生的實功
- 直流電壓與其漏電流產生的實功 (  $V * I$  )

交流電壓在介電材產生的極化變化產生的熱會因為直流電壓所在影響極化能力影響與直流電壓與其漏電流產生的實功 (  $V * I$  ) 有相互關聯。所以若要評估一 MLCC 的發熱品質，一般會疊加一額定電壓（故稱漣波電流測試），再流以交流電流測試其溫升。



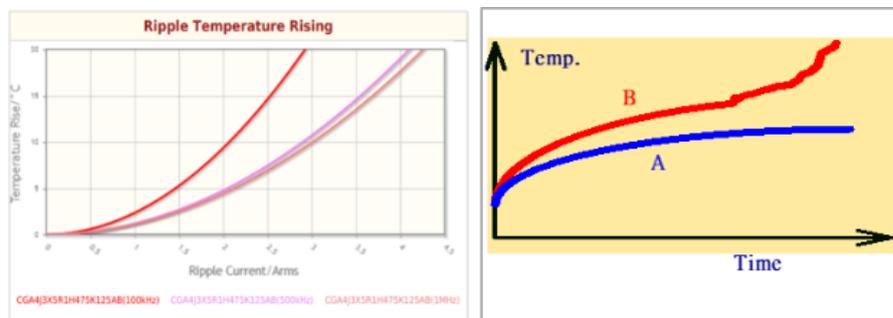
圖(九) MLCC AC 耐電流規格/漣波電流關係

MLCC 規格理應提供最大可承受漣波規格，但未必有所有廠商對各規格都有測試分析。一般 MLCC 業者提供之基本作法：

- 以 CC ( 定電流 ) 測試各電流時之溫升
- 一般指定不使用超過+20°C
- 頻率定點：10kHz、100kHz、500kHz、1MHz
- 中壓( 100V~500V ) 低容產( <10nF ) 品因小電流即高電壓，改以 CV( 定電壓 ) 測試 100kHz、500kHz、1MHz

評估各廠牌 MLCC 的發熱品質差異，除參考其標稱漣波電流 MLCC 規格外，建議以單一過酷條件比較各廠牌電容溫昇差異可縮短比較所需時程。

例：4.7uF, 50V, 3.5A max 規格品 → 以 50V DC Bias, 7A@ 1MHz 測試溫升差異。



圖(十) MLCC 漣波電流電容溫升差異

## 五、Chroma 相關測試解決方案

### 5.1 Chroma 11050-5MHz 高頻 LCR 錶



5.1.1 測試目標：MLCC 的 C/D/ESR

5.1.2 產品規格：

- 測試參數：L/C/R/Z/Y/DCR/Q/D/θ
- 測試頻率：60Hz ~ 5MHz ( 可任意設定 )

- 測試電壓：10mV ~ 5V
- 基本準確度：0.1%
- 測試訊號自動電壓補償功能
- 比較與分類選別功能
- 標準的 Handler、RS-232C、USB 儲存
- 1GPIB 或 LAN 介面 (選購)

## 5.2 Chroma 11210 電池芯絕緣測試器



5.2.1 測試目標：MLCC 的 IR (絕緣) / LC (漏電流) / BDV (崩潰電壓)

5.2.2 產品規格：

- 測試電壓 1KV、高速定電流充電 0~50Ma
- 高速測量：> 10mS
- 接觸檢查功能
- 崩潰電壓 (BDV) 檢測功能、I-V 曲線輸出
- 瞬時過壓 (+Flash) 測試功能
- 全時段局部放電檢出[PD Option：局部放電程度與次數記錄]
- 局部放電分析儀功能[PD Analyzer option：+ 波形紀錄]

備註波形紀錄功能：部分絕緣毛邊或介電質缺陷在絕緣測試過程中會因強烈電氣放電修復，不良判定重測後可能無法重現，影響品保追蹤確認。



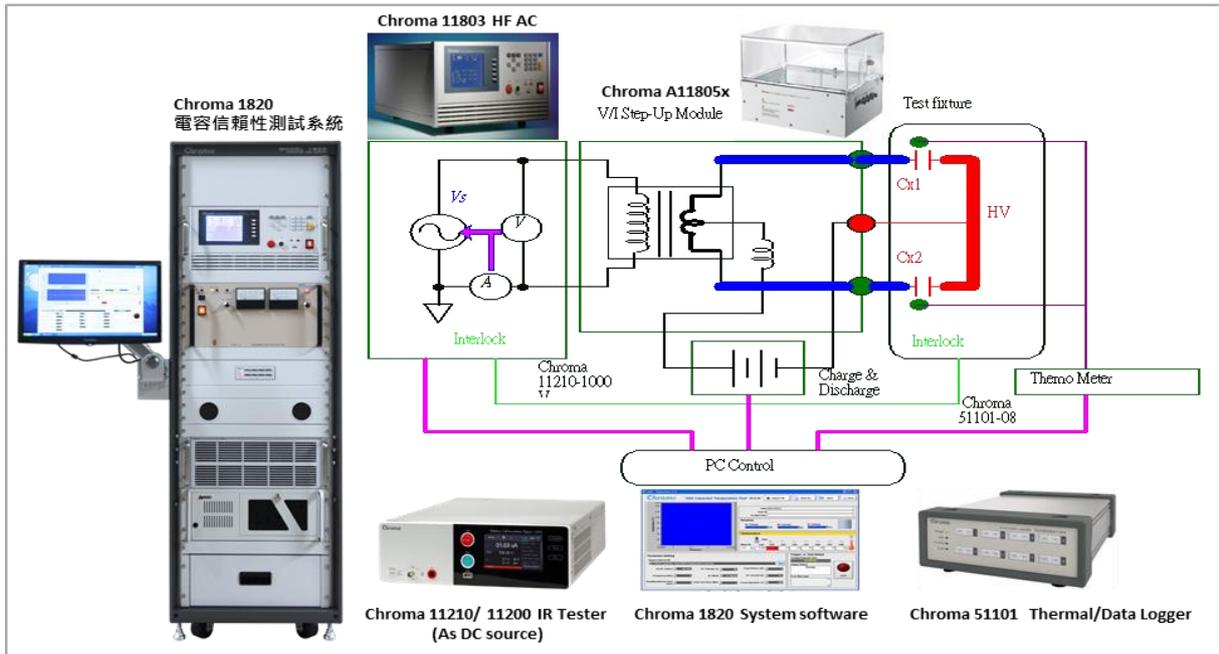
圖(十一) 波形紀錄

## 5.3 Chroma 1820 電容信賴性測試系統

5.3.1 測試目標：MLCC 的連波電流

5.3.2 產品規格：

- 高頻弦波電流：1kHz~20kHz、10kHz~20010kHz
- 直流重疊電壓：最高 5000V
- 電容元件耐久性與溫升測試
- 電容元件耐電流測試 (頻率掃描)
- 軟體控制支援
- 客製化測試模組

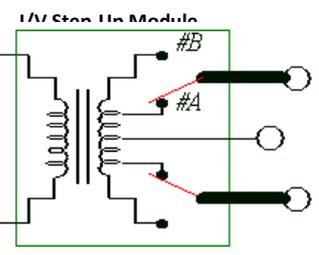


圖(十二) Chroma 1820 電容信賴性測試系統

5.3.3 MLCC 漣波電流：升流/升壓測試模組：800VA 10k~1MHz

- A118053 @ < 20kHz 可輸出電壓規格\*50%

Model		V output (V)	I output (A)	適用測試
A118053	#A	15+15 (Note 1)	27	低壓高容 CC
A118052	#A	125+125	4 (Note 2)	
	#B	250+250	2 (Note 2)	中壓低容 CV
	#C	500+500	1 (Note 2)	



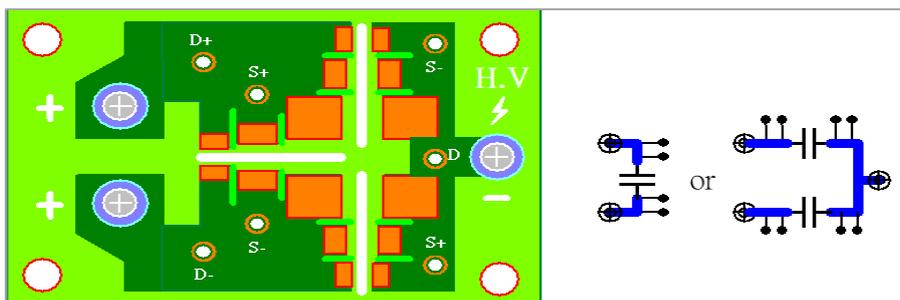
A118052 @ > 200kHz 可輸出電流規格\*80%

5.3.4 MLCC 漣波電流之測試治具建議：

5.3.4.1 SMD 電容測試板：

MLCC 一般為 SMD，建議將受評估電容以焊接於測試用之 PCB 上處理

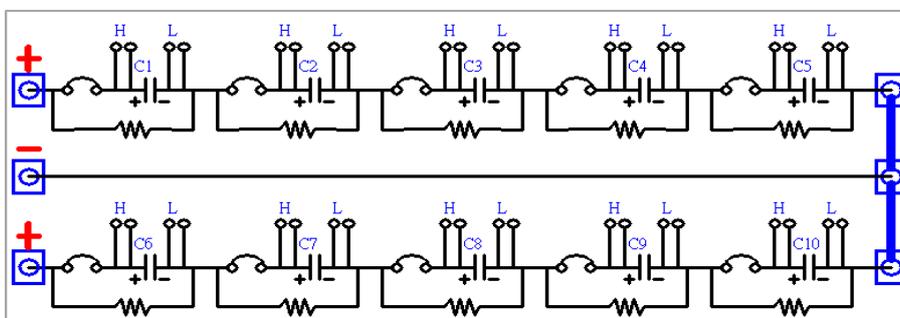
- 較不受接觸電阻溫升影響評估結果
- 溫度監測較不受治具機械干涉影響
- 測試後可不解焊接受 C/R、ESR、IR 等測試
- 涵蓋個標準尺寸及考量易焊性、散熱、PCB 沿面耐壓及絕緣等特性要求



圖(十三) SMD 電容測試板範例

5.3.4.2 多顆 SMD 電容串列測試板：

當對多家廠商 MLCC 進行耐漣波規格能力比較時，將多個樣品同時進行相同規格測試是比較有效率的，可使用串列測試板測試。



圖(十四) 多顆 SMD 電容串列測試板範例

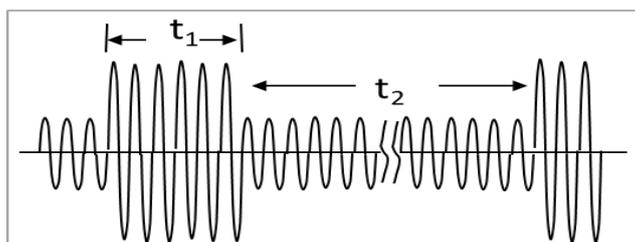
六、技術說明

6.1 瞬時過功率測試需求

有些電容應用會有短暫的過功率（例：冷陰極管、熱陰極管啟動電容、SMPS Snubber 電容等），少有測試設備可提供持續全功率或完全的仿真負載波形供測試。因此測試者應該認清測試需求之本質是考察 ① 因高電壓造成的絕緣劣化議題？還是 ② 因負載電流帶來的過熱議題？

6.1.1 因高電壓造成的絕緣劣化議題（CV，定電壓測試）

- 設定一較長的時間（ $t_2$ ）來盡可能降低熱的產生
- 電壓位準為主要參數，選擇一測試頻率接近真實應用，但在高頻交流測試器可提供之功率範圍內



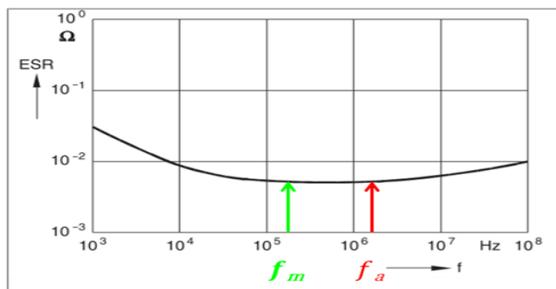
圖(十五) 高壓瞬時高功率耐久性測試

6.1.2 因負載電流帶來的過熱議題 (CC, 定電流) (註 1)

- 主要考量“熱”的產生接近評估目標
- 電流的實效值 (RMS) 是主要參數。除了電流實效值外，在實際等效應用頻率  $f_a$  與可測試頻率  $f_m$  之間的 ACR 差異必須被考量

$$I_m' = I_m * \sqrt{\frac{R(@f_a)}{R(@f_m)}}$$

註 1：部分低容量中高壓陶瓷電容因小電流 CC 不易，以 CV 測試。

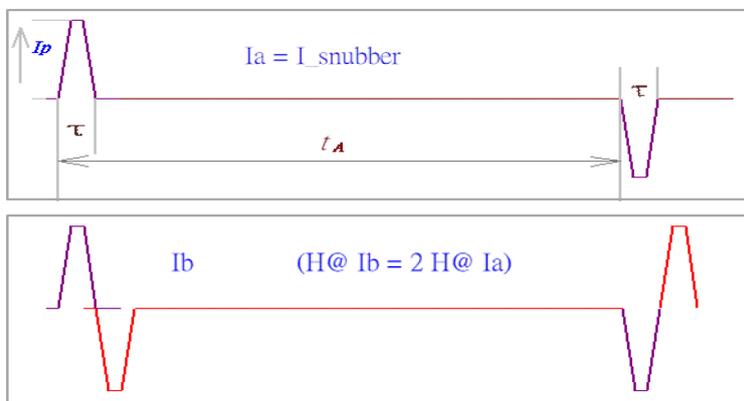


圖(十六) ESR vs freq. ( CC 耐久性測試 )

6.2 常發生的需求規格錯誤 – Snubber 電路的脈衝波

發生在電容上的熱  $H$ ,  $H@I_c = \frac{tA}{\tau} * H@I_a$

如果  $I_a$  的脈衝寬度是  $\tau$ , 那  $I_c$  的週期為  $2\tau$ ; 等效應用頻率  $f_a = \frac{1}{2\tau}$

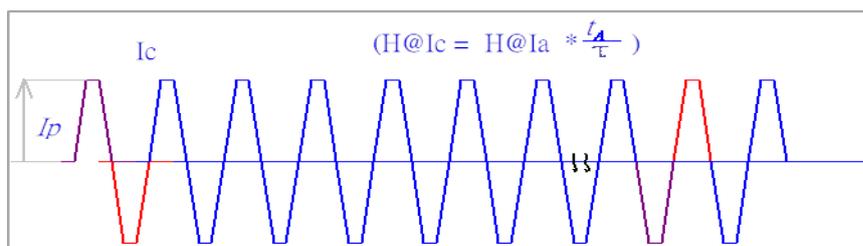


以  $I_m \equiv \frac{I_p}{\sqrt{2}} \frac{1}{\sqrt{\frac{tA}{\tau}}}$  [rms] @  $f_a$ , 來考量  $I_a$  所發的熱較適當

意即：實際量到的最大負載電流 rms, 但頻率以脈衝寬度判定

Ex:  $\tau = 0.3\mu S$ ,  $tA = 15 \mu S$ ,  $I_p = 20A$

$I_m = 2.0A_{rms}$  @  $f_a = 1.66MHz$



圖(十七)  $H@I_c = \frac{tA}{\tau} * H@I_a$

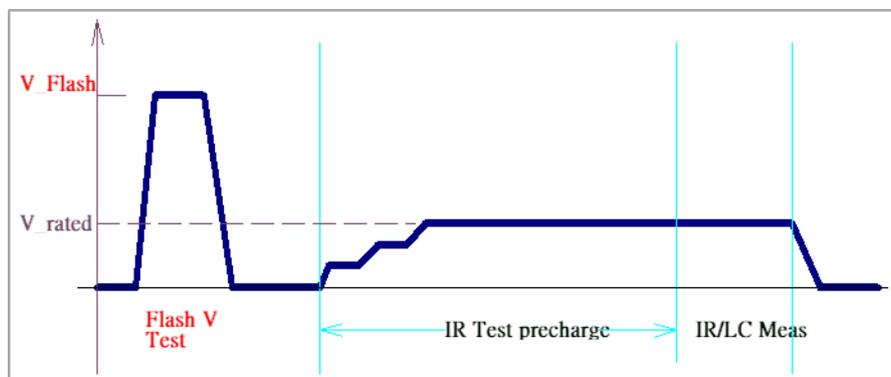
## 七、附加說明 - MLCC 生產測試 - 瞬時過壓測試

## 7.1 MLCC 短路劣化的可能原因

- MLCC 生產或組裝過程龜裂
- 陶瓷絕緣層因陶瓷局部厚度不足或金屬異物混入導致絕緣有效距離不足
- 介電質 ( BaTiO<sub>3</sub> ) 缺陷

## 7.2 一般 MLCC 絕緣劣化生產者之防止對策 - 瞬時過壓 (Flash) 測試

在一般 MLCC 施以短時間，額定耐壓以上 2~5 倍之電壓 Pulse 衝擊測試。概念為耐壓薄弱產品可透過此衝擊成為破壞品，在後續一般額定電壓之 IR 測試或 C/D 檢測篩選出，抑或是高壓 Aging 後破壞低絕緣路徑，修復為相對耐壓可接受之“良品”，但後者卻往往成為潛在的“假良品”在日後繼續劣化為短路品或耐變形量較低的次級品。



圖(十八) 瞬時過壓測試