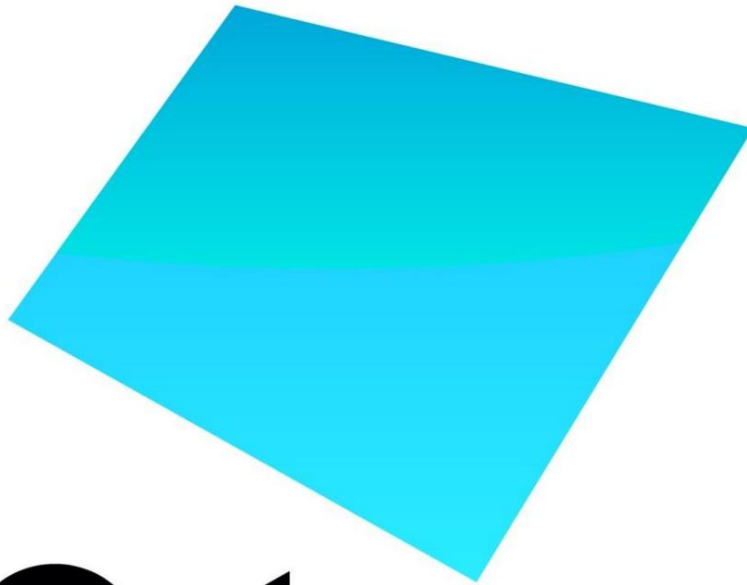


完整的控制學測試協議，包括能源  
AC-DC 電源供應器的效率、輸出雜訊和整體效能計算

修訂版3.0

作者：阿里斯蒂迪斯·比齊奧普洛斯



# Cybernetics

塞浦路斯尼科西亞

2024 年 9 月

修訂歷史

版本	發布日期	筆記
1.0	2020年2月	初稿
1.1	2020年3月	整體效能演算法更新
1.2	2020年6月	噪音測量程序更新
1.3	2020年7月	加入背景噪音計算
1.4	2020年8月	增加漏電流設備並更新 EMI 設備
1.5	2021 年 1 月	一些定義的變化
1.6	2021 年 5 月	負載調節計算的變化和其他小修復
1.7	2021 年 9 月	小改動
1.8	2021 年 9 月	修正 Eq10 描述中的錯誤、PSU 時序更新描述、Eq12 中的更改
1.9	2021 年 11 月	添加了冗餘 PSU 的效率和 PF 計算，並進行了更多更改以引入 ATX12VO PSU
2.0	2022年5月	為 ATX v3.0 相容 PSU 新增了新的瞬態響應測試
2.1	2022 年 6 月	修正了方程式 8 中的一個拼字錯誤
2.2	2023 年 1 月	更改了效能計算演算法和範例
2.3	2023 年 2 月	效能計算演算法的變更（ATX v3.0 瞬態響應獎勵）
2.4	2023 年 2 月	修復了效能計算範例中的一些拼字錯誤
2.5	2023 年 3 月	ATX v3.0 測試程式更新
2.6	2023年5月	5VSB CL 測試負載改為 3 W
2.7	2024 年 1 月	OCP獎金的變化
2.8	2024 年 6 月	小改動
2.9	2024 年 9 月	新增了風扇故障獎勵積分和 ATX v3.1 參考。保持時間澄清。
3.0	2024 年 9 月	新增了背景噪音螢幕截圖。其他細微變化。

目錄

目錄

定義..... 5

    交流訊號..... 5

    環境溫度.....5

    視在功率.....5

    直流訊號..... 5

    效率.....5

    電源.....5

    IEEE 標準1515-2000 .....5

    ATX 規格..... 5

    輸出電壓漣波.....5

    真實功率因數.....6

    波峰因數.....6

    鐵路或直流母線.....6

    額定交流輸入電壓範圍.....6

    額定直流輸出電壓.....6

    額定直流輸出功率和電流.....6

    RMS（均方根）.....6

    穩定狀態.....7

    總諧波失真(THD).....7

    被測裝置.....7

序幕.....8

測試設定與測量條件.....9

    測量設備.....9

    測量軟體 – Faganas ATE .....11

    輸入電壓和最大瓦數輸出.....11

    測試條件.....11

效率測量程序.....12

輸出雜訊測量程序.....14

背景雜訊計算.....15

輸出雜訊測量測試設定.....17

整體效能計算.....19

    負載調整率.....19

    漣波抑制.....20

    瞬態響應.....20

    打開瞬態電壓過衝.....21

    平均效率.....21

    最大額定容量負載或10W 的2% 時的效率（對於<500W PSU） .....21

    平均5VSB 效率.....22

    平均 PF .....22

    保持時間.....22

    電源正常訊號.....22

    容量.....23

    電源時序.....24

    電源保護.....24

    整體績效評等計算.....25

    整體績效評等計算範例.....27

測試報告範例.....29

結語.....30

參考 .....31

## 定義

### 交流訊號

極性隨時間T變化且平均值為零的時變訊號。 [1]

### 環境溫度

被測設備 (UUT) 周圍的環境空氣溫度。 [1]

### 視在功率

RMS 電壓和電流 (VA) 的乘積。它也稱為總功率。

### 直流訊號

極性和幅度不隨時間變化的訊號。 [1]

### 效率

總實際輸出功率與產生該功率所需的實際功率輸入的比率（以百分比表示），使用以下公式：

$$= \frac{\text{輸出功率}}{\text{輸入功率}} \times 100$$

輸入功率（Pin）包括UUT冷卻風扇所需的功率。

#### 電源供應器

電源單元將一種電壓轉換為直流電壓輸出或多個輸出，具體取決於其類型。例如，具有多個直流電壓輸出（軌）的 PSU 主要用於桌上型 PC。

### IEEE 標準 1515-2000

IEEE Std 1515 [1] 是一種主要規範語言，提供參數定義、測試條件和測試方法。它並不試圖標準化規範本身。相反，它提供了讓每個人在公平競爭環境中使用同一種語言的基礎。

該標準已於 2019 年 11 月 7 日撤銷 [<https://standards.ieee.org/standard/1515-2000.html>]，但我們決定使用其中的幾個定義，因為它們仍然適用。

### ATX規格

ATX（先進技術擴充）是英特爾於 1995 年開發的主機板和電源配置規範，旨在改進先前的事實標準（例如 AT 設計）。 [6]

### 輸出電壓漣波

以峰峰值電壓表示的直流或低頻交流電壓上存在的最大交流電壓。目的是表徵與輸出開關頻率（或輸出開關頻率的兩倍）下的開關動作相關的殘餘成分。

真實功率因數

真實功率因數是有功功率 (P) (以瓦特為單位)與視在功率的比率 (S) 伏安

$$= \frac{P}{S}$$

波峰因數

波峰因數是峰值電流與 RMS 電流 (或峰值電壓與 RMS 電壓)的比率。例如，對於純正弦波形，波峰因數為 1.414，而對於純恆定 DC 負載時，波峰因數為1.0。

鐵路或直流母線

向連接的系統供電的 PSU 的任何直流輸出。多軌PSU的標準軌為+12V、+5V、+3.3V、+5VSB，最新ATX可選-12V

規格。

額定交流輸入電壓範圍

輸入電壓範圍 (最小/最大)由 UUT 製造商提供。它顯示在 UUT 的電源標籤上。

額定直流輸出電壓

描述

額定直流輸出功率和電流

額定直流輸出功率和電流是 PSU 在指定環境溫度下可以在其電源軌上提供的最大負載。製造商為每個 PSU 電源軌提供直流輸出功率和電流輸出，並在其電源標籤和包裝上進行了描述。

因此，如果有任何差異，我們總是會考慮 PSU 上的電源標籤。

RMS (均方根)

整個週期內函數值的平方平均值的平方根。例如，正弦波的 RMS 電壓值可計算如下：

$$= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V^2(t) dt}$$

其中 T 是波形的周期，

V(t) 是時間 t 時的瞬時電壓

VRMS 是 RMS 電壓值。

### 穩定狀態

系統的運作條件，其中觀察到的變數會因系統傳遞函數定義的輸入或其他刺激而達到平衡條件。在電源供應器的情況下，這可能涉及系統輸出處於某個恆定電壓或電流值。 [1]

### 總諧波失真 (THD)

總諧波失真 (THD 或 THDi)[7] 是訊號中存在的諧波失真的測量，定義為所有諧波成分的功率總和與基頻功率的比率。

### 被測裝置

UUT 是「Unit Under Test」的縮寫，指的是被測 PSU 樣本。

## 序言本文的

目的是清楚地解釋我們的方法和測試程序，不僅針對效率和噪音輸出結果，而且針對 PSU 的所有重要性能方面，包括紋波抑制、瞬態響應、保持時間、浪湧電流等。

對於所有想要檢查其產品與我們的效率和噪音標準（ETA 和 LAMBDA）相容性的品牌和製造商來說，本文將是一個很好的資訊來源。此外，它將使每個擁有適當設備的實驗室能夠按照 ISO17025:2017 [8] 的規定驗證我們的結果。為了更詳細地說明這一點，兩個擁有校準設備的實驗室具有相同的功能，並且可以提供相似程度的結果準確度。

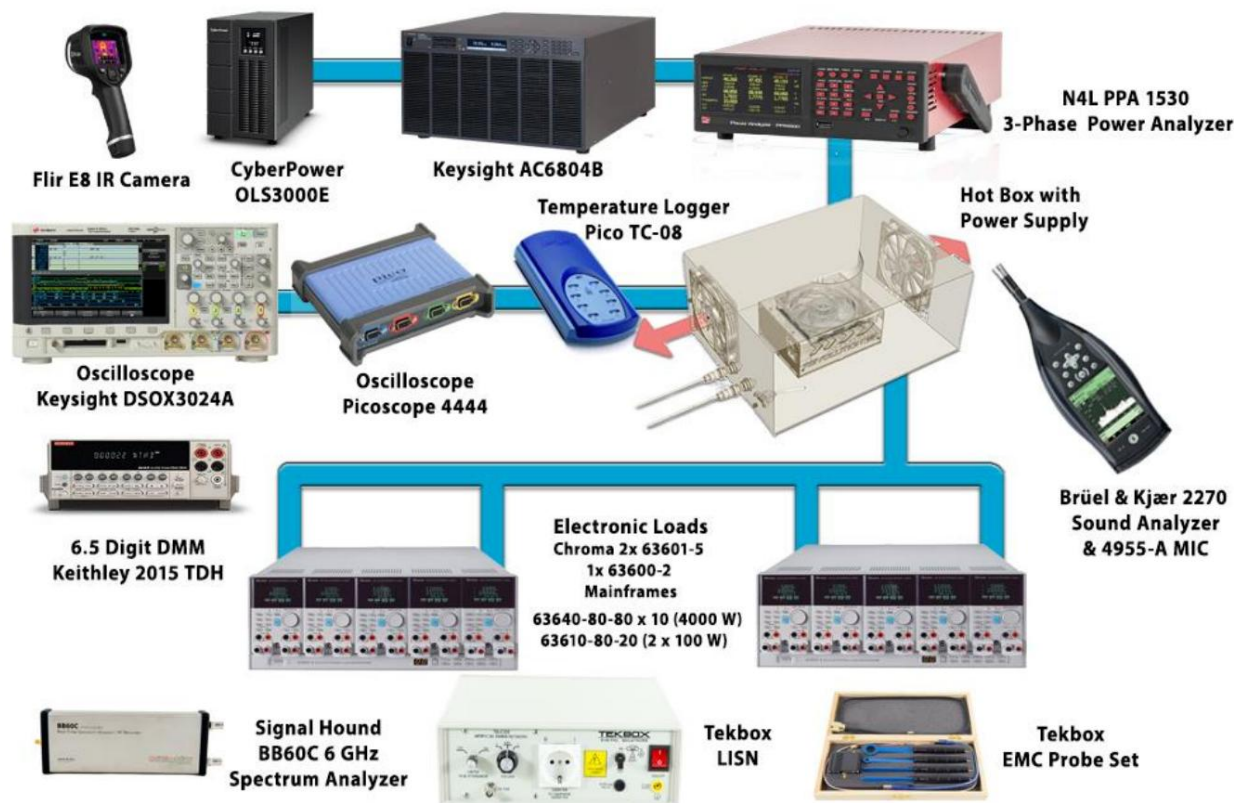
鑑於它們遵循相同的方法，應該得出相同的結果。Cybenetics 旨在成為認證機構。它將接受來自 ISO17025 認證實驗室的所有結果，這些實驗室遵循所提供的方法來獲取必要的數據，ETA 和 LAMBDA 認證均源自這些數據。

到目前為止，現有的效率標準存在許多缺陷，其中包括測量次數有限（三到四次）、進行測試的環境溫度非常低、缺乏任何備用軌道測量以及沒有提及用於執行測量的設備。尤其是後者非常重要，因為每份適當的測試報告都應包括用於進行所有測試的設備。

測量。

## 測試設定和測量條件

除非另有說明，所有測量均在下述設備和條件下進行。

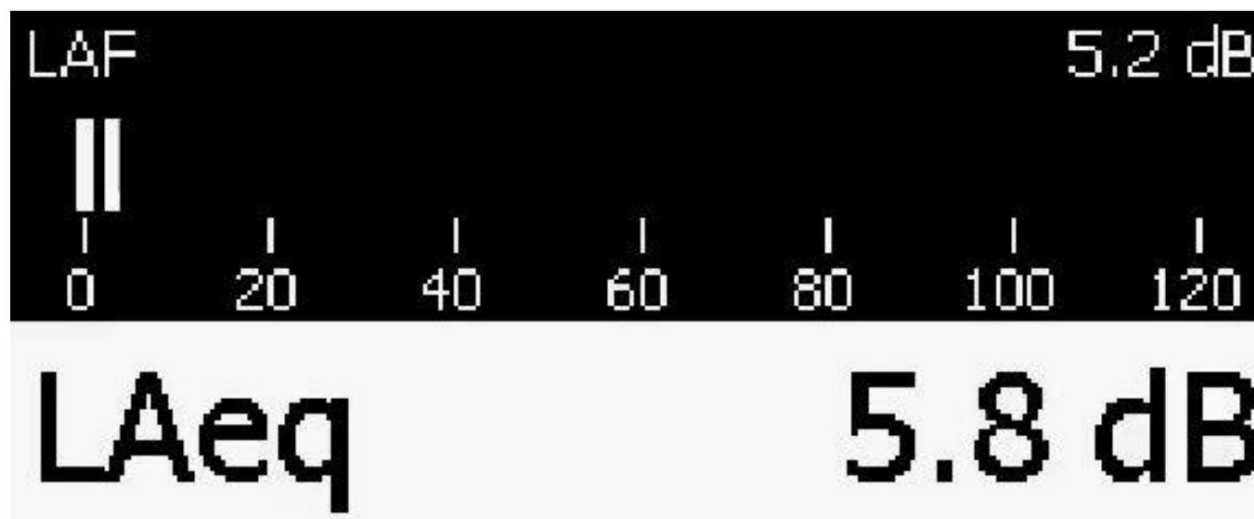


## 測量設備

所有測量均使用多個設備齊全的 Chroma 63600 站進行。每站可提供超過 4 kW 的負載，包括兩台 63601-5 和一台 63600-2 主機。此外，上述每個主機都裝有十個 63640-80-80 [400 W] 電子負載以及兩個 63610-80-20 [100 W x2] 模組。最後，我們有一個 Chroma 6314 站，目前作為備份。它可提供高達 2500 W 的負載，由兩台配備以下電子負載的 6314A 主機組成：六個 63123A [每個 350 W]、一台 63102A [100 W x2] 和一台 63101A [200 W]。

我們使用的交流電源是 Chroma 6530（能夠提供高達 3 kW 的功率），突波電流測試站中使用的 Chroma 61604（最大容量為 2 kW）以及兩台 Keysight AC6804B（最大功率為 4 kW）。所有交流電源均透過強大的隔離變壓器連接到主網路。最後，我們使用 CyberPower OLS3000E 線上 UPS 設備保護交流電源。

我們的其餘設備包括三個Picotech TC-08 熱電偶資料記錄器、兩台Fluke 萬用表（型號289 和175）、一個Keysight U1273AX 萬用表、一個Keithley 2015 THD 6.5 位元桌上型數位萬用表和三個實驗室級N4L PPA1530L PPA1530三相功率分析儀，基本精度為 0.05%。此外，出於備援目的，我們還有橫河WT210功率分析儀和GW Instek GPM-8212。最後，我們的突波電流測試站也使用了基本精度為 0.01% 的高精度 N4L PPA5530 三相功率分析儀。



噪音測量使用 1 級 Bruel & Kjaer 聲音分析儀（2270 G4 和 2250-LG）進行，配備 4955-A 型低噪音和自由場麥克風，可測量低至 5 dB(A) 的噪音（我們還具有 4189 型麥克風，具有 16.6-140 dBA 加權動態範圍）。聲音分析儀安裝在半消音室中，接近

6 dB(A) 本底噪音。每次噪音測量前都使用 Bruel & Kjaer 4231 型來校準聲音分析儀。

我們的實驗室配備了 Rigol RSA3015E-TG 頻譜分析儀 (9kHz -1.5GHz)，具有 EMI 選項，因此我們可以進行電磁相容性 (EMC) 評估。我們也使用 Tekbox TBLC08 LISN 將電源供應器與本次測試中的設備 (DUT) 隔離。我們的第二台頻譜分析儀是 Signal Hound BB60C，我們也儲備了一台 Rigol DSA815-TG。

最後，為了在需要時識別 EMI 來源，我們可以使用一組 Tekbox EMC 探頭 (TBPS01) 和一個 TBWA2 寬頻放大器。

為了測量漏電流，我們使用GW Instek GPT-9804電氣安全測試儀器。  
除了漏電流之外，此測試儀還可以進行以下測量：

- 耐交流電
- 直流耐受
- 絕緣電阻
- 地面機構

## 測量軟體 – Faganas ATE

我們方法的一個重要組成部分是連接到所有設備的控制和監控軟體

我們使用的設備，甚至是熱箱。該應用程式開發了過去十年，由數千行程式碼組成。最近，我們再次使用 C# 對該應用程式進行了編碼，以使其符合現代編碼趨勢。

除了收集、儲存所有數據並允許其以任何可能的形式提取以滿足我們的要求之外，它最重要的功能之一是它還允許我們對獲得的所有讀數進行平均。通常，我們檢查每個不同的負載水平四到十分鐘，在此期間，我們不會只是隨機讀取任何讀數，而是收集所有讀數並將平均讀數作為最終結果。這是獲得高精度結果的唯一方法。此外，隨著電源內部熱量的增加以及PSU表阻的變化，由於溫差而自然會出現電壓、負載以及負載和效率的差異。因此，最好的方法是考慮整個測試中的所有讀數，並接受平均值作為最終結果。

## 輸入電壓和最大功率輸出

除了115V和230V之外，我們還在100V下進行測試，以檢查PSU在較低電壓輸入下的性能。由於我們在接近 45°C 的高溫環境下對所有 PSU 進行嚴格測試，我們避免使用更低的電壓輸入（例如 90V）進行測試，因為 PSU 故障也會損壞直接與其連接的功率分析儀。然而，透過提高熱箱內的熱量並撥出比標稱負載更高的負載，我們已經對 DUT 施加了巨大的壓力，尤其是在 100 V 輸入的情況下，模擬了一些最糟糕的現實場景。

我們使用 PSU 的標籤來檢查最大瓦特輸出。我們還對 PSU 最大額定容量的 110% 負載進行了測試，工作溫度超過 45°C，PSU 聲稱在 50°C 下提供連續滿載輸出。

## 測試條件

效率和雜訊輸出測試期間的環境溫度為 30°C (+/-2°C)。我們也在 35-45°C 範圍內 (+/-2°C) 的較高環境溫度下進行測試。

## 效率測量程序

與僅進行三到四次測量的現有方法相反，我們在 DUT 中應用了 1450 多種不同的負載組合。整個過程總共持續約兩個半小時。整體效率或平均效率是所有測量值的平均值，涵蓋

PSU 的整個工作範圍，但冗餘 PSU 除外，我們採用 PSU 工作範圍的 2-100%。這樣，製造商就不可能調整其產品以滿足某些指定的負載水平，因為本質上，我們考慮的是更多不同負載組合下的效率水平，均勻分佈在整個負載範圍內。

除了效率之外，我們還考慮電壓、漣波、功率因數、雜訊和溫度測量。

對於 ATX12V PSU，我們嘗試在 5V 和 3.3V 下具有至少 20 個不同的負載等級。同時，我們也為 +12V 設定了適當的負載階躍，總共可以提供至少 1450 個 +12V、5V 和 3.3V 的負載組合。最後，我們在 5VSB 下施加 0.6A 的穩定負載，同時不處理 -12V，最新的 ATX 規範不再需要 -12V。

在只有一個主軌和一個備用軌的冗餘和 ATX12VO 設備中，我們將後一個軌上的負載增加 1W，因此，如果該軌有 15W 容量，我們應用 15 種不同的負載等級（每次增加 1W），同時設定主導軌上有適當的負載台階，以允許至少 1450 種不同的負載組合。

-12V, 5V, 3.3V min loads (W) for CL tests		Options		
+12V Min:	<input type="text" value="10"/>	5/3.3V Min:	<input type="text" value="10"/>	
		+12V step (W):	<input type="text" value="10"/>	5V/3.3 step (W): <input type="text" value="5"/> time (sec): <input type="text" value="5"/>

下面以程式碼形式提供了用於導出 ATX12V PSU 電源軌上的負載水平的演算法的描述。對於只有兩個電源軌（主電源軌和備用電源軌）的單元，使用更簡單的演算法。輸出表包含所有可能的負載組合，考慮到我們選擇的 +12V 和 5V/3.3V 瓦階輸出。我們還提供了軌道上最小施加負載的條目。

一些在次級側採用組調節方案的較舊 PSU 無法在 +12V 零負載和次要電源軌滿載的情況下正常運作（反之亦然）。最後，在這些測試中，5VSB 的負載保持不變。我們選擇這個有兩個原因：這是一個備用軌，因此很可能在 PSU 運行時不會使用它，其次，如果我們在下面所示的演算法中也使用了這個軌，則相應的測試將持續更長。

```

最大 12V 負載= PSU_12V 最大功率- V12 最小負載
Max_5V_load = (Minor_Rails_Max_Combined_Load /5) *3
Max_33V_load = (Minor_Rails_Max_Combined_Load /5) *2

Load_steps_12V := round(Max_12V_load / Watts_12V_step)
Load_steps_5V := round(Max_5V_load / Watts_5V_33V_step)
Load_steps_33V := round(Max_33V_load / Watts_5V_33V_step)

for i:= 0到 Load_steps_12V執行
    對於k := 0到 Load_steps_5V執行
    {

        l:= k;
        如果l > Load_steps_33V 則 l := Load_steps_33V

        總計 12V:= V12_min_load + Watts_12V_ 步長 總計 5V = V5_V33_min_load + *我
        Watts_5V_33V_步長 總計 33V = V5_V33_min_load + Watts_5V_33V_ 步長 * k *升

        若總 12V +總 5V +總 33V <= PSU_Max_Power 則
        {
            j=j + 1 ;
            //行號
            Load_combinations_table.Cells[0,j]= j
            // 12V負載
            Load_combinations_table.Cells[1,j]=總計12V
            // 5V 負載
            Load_combinations_table.Cells[2,j]=總計 5V
            // 3.3V負載
            Load_combinations_table.Cells[3,j]=總計33V

        }
    }
}
```

我們的方法提供的大量數據使我們能夠在需要時快速修改我們的效率認證計劃。最後，我們在接近 30°C 的溫度下開始測試，將 PSU 置於熱箱中，模擬機箱環境。測試結束時，箱內環境溫度高達32-34°C，接近現實生活條件。

吸血鬼功耗（5VSB 軌上無負載時的功耗）在 ATX12V 和 ATX12VO 設備中非常重要，因為所有這些能量都被浪費了，而且大多數 PC 系統不能 24/7 保持運行，這意味著對於一天中的一部分時間，PSU 只是消耗能量，而不做任何有用的事情。我們嚴格遵循 EN 50564:2011 和 IEC 62301 [2] 測量指南來評估每個 PSU。如果 DUT 不符合我們的標準，它將自動降級到下一個較低的效率認證等級。

如果您有先進的功率分析儀，整個過程很容易遵循。將PSU 安裝在我們的一台負載測試儀上並通過我們的其中一台交流電源供電後，我們將其置於待機模式並運行相應的應用程序，自動收集所有吸血鬼功率讀數並在15 分鐘內為我們提供完整的報告。在此過程中，如果交流輸入的 TDH 讀數超出規格，應用程式會將結果呈現為無效。

除此之外，ETA還會考慮備用軌的平均效率。我們

測量該電源軌上每 0.05 A 步進直至其最大電流輸出的效率，所有測量值的平均值就是最終的效率結果。因此，我們預計所有 PSU 在此軌道上提供超過 70% 的平均效率輸出，對於屬於 ETA 計畫頂級類別的設備，此閾值設定得更高。

## 輸出噪音測量程序

正如我們在效率測量過程中已經提到的，我們在 DUT 的導軌上應用至少 1450 種不同的負載組合，同時監控所有重要數據，包括風扇速度。有了風扇轉速範圍數據，我們可以以盡可能小的間隔進行噪音測量，精度高，覆蓋整個範圍。

例如，如果風扇速度範圍為 400-2000 RPM，我們每 50 RPM 間隔進行一次噪音測量。

噪音測量是在關閉 DUT 的半消音室中進行的，

其風扇連接到外部電源，施加達到所需風扇速度所需的電壓。此外，風扇速度由轉速計持續監控。這樣，我們就可以消除第三方噪音，包括電子負載的噪音。

我們製作了一個表格，其中包含以 RPM 為單位的風扇速度以及該速度下相應的噪音。之後，我們的軟體會查看負載測試期間收集的所有數據，並使用上表為每個風扇速度值分配一個分貝值。

一旦我們獲得了使用多個負載組合進行的每個測試的 dBA 值，我們就會將 dBA 值轉換為 SPL 以對其進行平均，完成此操作後，我們會再次將結果反轉為 dBA。這個過程使我們能夠用一個數字來描述 DUT 的平均值

至少 1450 個負載組合的雜訊輸出。根據這個數字，我們將 DUT 歸類為 LAMBDA 類別之一。

除了風扇雜訊之外，我們還使用被動冷卻負載測試儀，在安裝在半消音室中的 DUT 上施加負載組合來檢查電子雜訊（線圈嘯叫聲）。如果我們發現任何超過 6-6.5 dBA 的電子噪聲，我們必須考慮最低風扇噪音水平是否在 10 dBA 範圍內，因為它會影響噪音測量。更簡單的方法是透過向 DUT 施加負載來進行相應的風扇噪音測量，以創造產生電子噪音的條件。根據我們迄今為止的測試結果，很難找到一公尺距離內電子雜訊高於 6.5 dBA 的電源，

使用基於電阻的負載。因此，在大多數情況下，線圈嗚鳴雜訊是由系統元件的組合造成的。最後，強制電源發出電子雜訊的應用場景也扮演著顯著的角色。由於 PSU 在打開且導軌上沒有任何負載時可能會產生電子噪聲，這不是現實生活中的情況，因此我們不考慮它（但我們仍然記下結果並通知製造商這個問題）。這同樣適用於僅 3.3V 電源軌有負載、或 5V 電源軌或兩個次要電源軌（在具有 DC-DC 轉換器的 PSU 中，

不過，對於次要電源軌的生成，這意味著 +12V 電源軌也在使用中，因為它為轉換器供電（如上所述）。相反，我們考慮僅在 +12V 或 5VSB 施加負載（PSU 處於待機模式）的情況。

## 背景噪音計算

我們室內的背景噪音範圍為 5.5 dBA 至 8 dBA，取決於外部條件。因此，為了獲得最佳條件，我們更喜歡在夜間進行噪音測量，此時環境噪音低於白天。



在任何情況下，背景噪音都不能超過感興趣的聲音，而且在實踐中，DUT 的輸出電平必須比背景噪音高至少 3 dBA，才能保證測量準確。儘管如此，仍需進行修正才能得到正確的結果。背景雜訊校正定義為  $K1[9][11]$ ，它是測量的源電平被降低以獲得背景雜訊校正源電平的量。

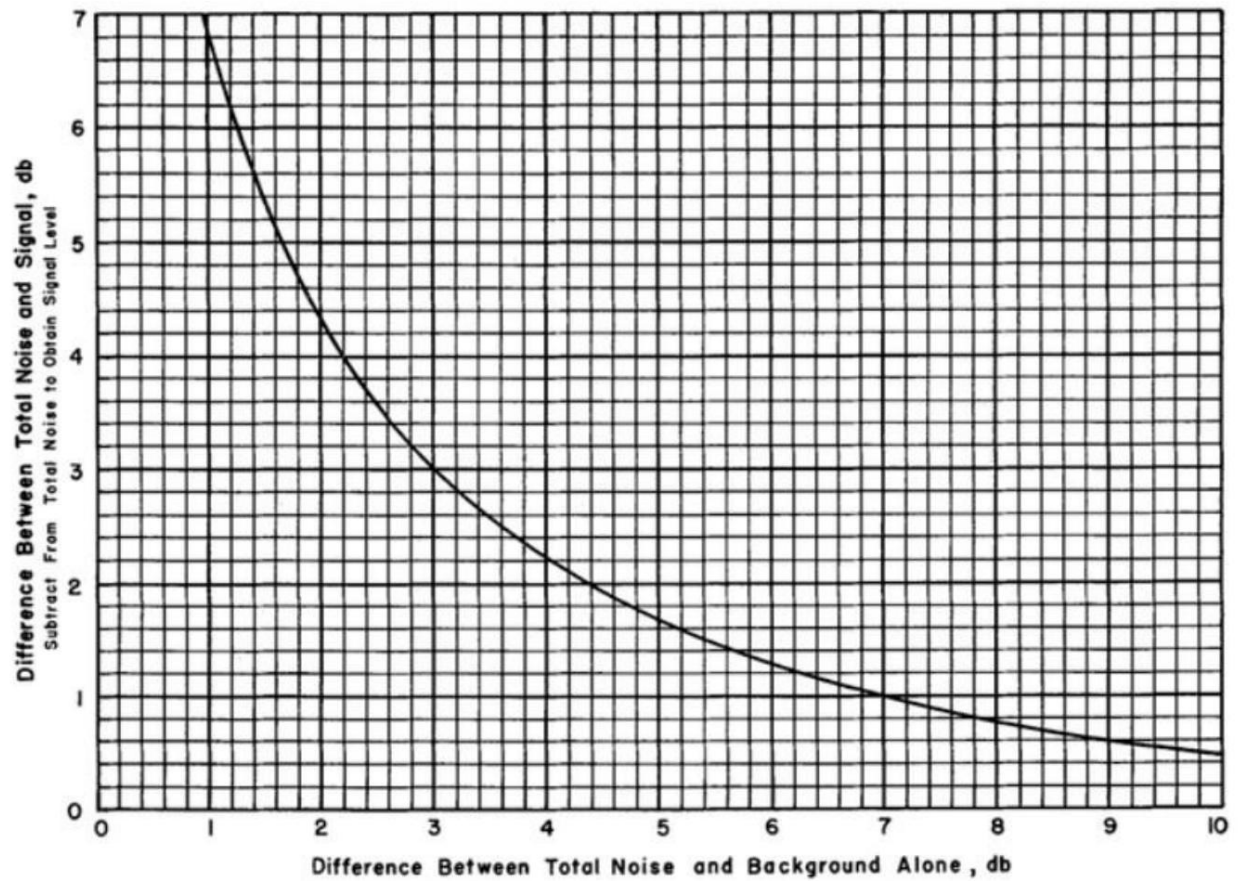
測量 DUT 雜訊輸出的過程如下：

- 在 DUT 運作時測量總噪音水準(LDUT + LBG) · 特別注意至最低雜訊輸出模式。
  - 在DUT 關閉的情況下測量背景噪音水準(LBG)。
  - 計算上述兩個讀數之間的差值(LDUT - LBG)。
- 如  
果低於 3 dBA，則背景噪音太高，無法準確測量。如果在 3-10 dBA 範圍內，則必須進行校正。如果差異大於 10 dBA，則無需校正，但對於差異高達 20 dBA 的情況，我們仍然使用它。

不受背景雜訊影響的雜訊源計算公式如下：

$$= \left( \frac{\text{LDUT}}{\text{LBG}} - 1 \right)$$

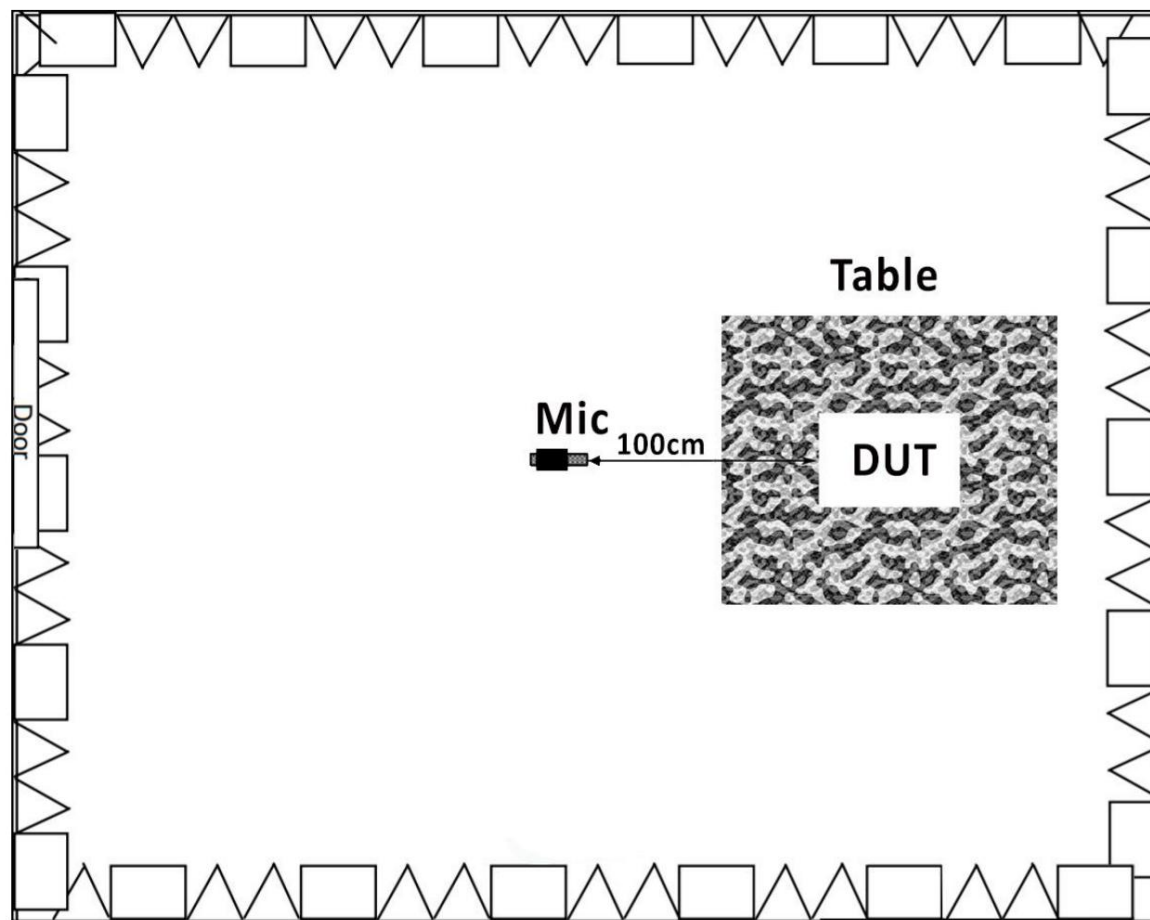
在電子表格中，上述公式可以表示為  $10 \cdot \log(10^{(\text{LDUT}/10)} - 10^{(\text{LBG}/10)})$



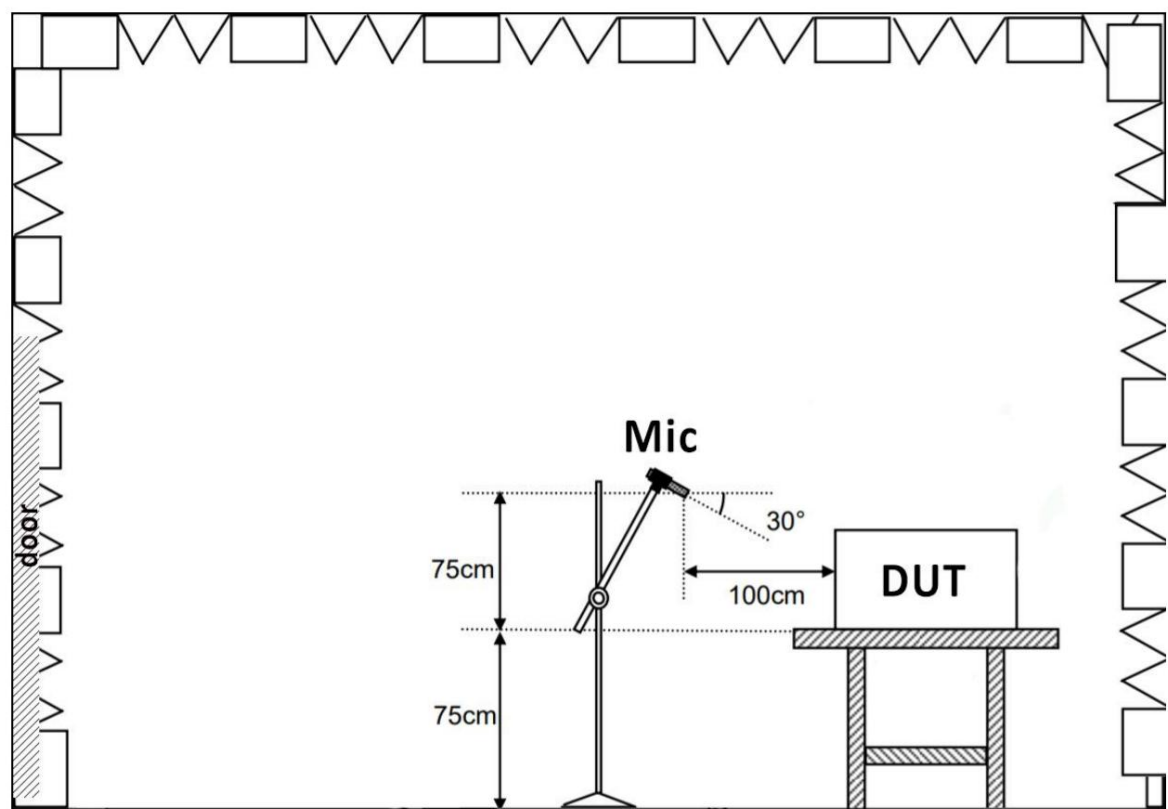
上圖可用於對來源訊號進行背景雜訊校正。

## 輸出雜訊測量測試設置

在下面的方案中，您將看到我們的半電波暗室的輪廓以及 MIC 和 DUT 的準確位置。我們嚴格遵循相應的 ISO 標準 [9][10]。



俯視圖



側面圖

## 整體效能計算

由於我們進行了大量的測試，並且必須考慮太多的因素，因此用一個數字來表徵像電源這樣的複雜產品的整體性能是具有挑戰性的。儘管如此，到目前為止，我們已經完成了數千個電源，並且我們的資料庫包含大量數據，這使我們能夠找到迄今為止最好的電源，

這項工作的演算法。我們努力不斷改進我們的方法，因此將來很有可能繼續更改該演算法以使其更加準確。鑑於我們已經掌握了所有數據，在效能演算法中所做的每次變更中，很容易計算出資料庫中所有 PSU 的整體效能分數。

我們的整體性能演算法考慮了所有主要性能因素：

- 負載調節
  - 漣波抑制
  - 瞬態測試反應偏差
  - 開啟瞬態測試期間的電壓過衝
  - 平均效率
  - 2%負載時的效率
  - 備用軌的平均效率
  - 待機功耗
  - 平均功率因數 · 維持時間
- 
- 電源正常訊號
  - 最大功率
  - PSU 時序
  - PSU 防護功能

## 負載調整率

在理想情況下，無論負載如何，PSU 都會保持恆定的電壓水平，但在現實場景中，隨著負載的增加，每個電源軌上始終會出現壓力降。在我們的測試中，電壓調節顯示了20W 負載時初始電壓讀數之間的差異（而不是空載時的差異，因為許多PSU 在其電源軌上空載時無法正常工作，而其他一些電源則具有空載保護功能）及滿載時所有電源軌上的電壓讀數。

我們使用以下公式計算所有額定值的電壓調節額定值：

$$= \frac{V_{5V} + V_{3.3V} + V_{5VSB}}{V_{+12V} + V_{+5V} + V_{+3.3V} + V_{-5V} + V_{-12V}} \times 100\%$$

從上式可以看出，5V和3.3V的權重因子較低，5VSB的權重因子最低。

這是因為 +12V 電源軌是系統中最重要電源軌，其穩定性至關重要。

我們在下面的其他公式中也使用相同的方法。

紋波抑制

漣波代表 PSU 直流電源軌中的交流波動（週期性）和雜訊（隨機）。我們從 100% 負載測試中取得所有電源軌的漣波讀數，並將它們組合到下面的等式中。

$$= \sqrt{\left( \frac{V_{ripple}}{V_{load}} \right)^2 + \left( \frac{V_{noise}}{V_{load}} \right)^2} \times 100\%$$

瞬態響應

電源對負載突然變化的反應程度是設備電能品質的良好指標。因此，我們取每條軌道在所有軌道上記錄的最大偏差

我們進行瞬態響應測試來計算效能。

我們進行各種瞬態測試。您將在下面找到我們在不符合 ATX v3.x 規範及其未來修訂版的 PSU 中使用的標準電源：

- 當PSU 在20% 負載狀態下運作時，瞬態負載會施加到PSU 20ms（+12V 時為15A，5V 和3.3V 時為6A，5VSB 時為0.5A）。
  - 在 50% 負載下工作時，PSU 會受到相同的瞬態負載的影響。
  - 在以下測試中，我們再次使用相同的起始點，20% 和 50% 的負載狀態。然而，此外，我們將負載變化重複率從 50 Hz (20ms) 增加到 1 kHz (1ms)。這樣，我們就可以更努力地推動 PSU。
  - 在所有測試中，我們都會測量負載突然變化所導致的電壓降。電壓應保持在 ATX 規範的規定限制內。
- 在滿足 ATX v3.x 規範要求 [12][13] 的 PSU 中，我們進行了一組額外且壓力更大的瞬態響應測試，如上述規範中所述。

PSU 額定容量的功率偏移 % PSU ≤ 450 瓦 & 不含電源的電源 12VHPWR 連接器	PSU 額定容量的功率偏移 % 電源 > 450 瓦 & 12VHPWR 康乃狄克州	權力時刻 短途旅行（TE）	測試工作週期
100%	100%	無限	--
110%	120%	100毫秒	25
135%	160%	10毫秒	12.5
145%	180%	1毫秒	8
150%	200%	100us	5

為了計算恆定電平的功率電平 (Power @ TC)和功率偏移期間的功率電平 (power @ TE)，我們使用基於最新英特爾測試計劃開發的特殊應用程式。

### Transient Response Settings

$T_e$	<input type="text" value="2000"/>	<input type="text" value="1800"/>	<input type="text" value="1600"/>	<input type="text" value="1200"/>
$T_c$	<input type="text" value="917.7"/>	<input type="text" value="897.3"/>	<input type="text" value="881.6"/>	<input type="text" value="923.8"/>
	100us	1ms	10ms	100ms

Calc

我們還應該注意到，由於新的功率偏移要求，ATX v3.x 規範在 12V 時允許 PCIe 連接器上高達 -8% 的壓降，以及其他連接器上高達 -7% 的壓降。製造商也可以將此電源軌上的標稱電壓提高至 12.1V 或 12.2V，以避免電壓等級過低。

為了保持與先前測試的 PSU 的兼容性，我們將使用以下公式以及來自標準和 ATX v3.x 瞬態響應測試的資料。儘管如此，對於滿足更嚴格的 ATX v3.x 瞬態響應要求的 PSU，將會有 0.5 分的獎勵。

[illegible]

## 打開瞬態電壓過衝

這些測試中的效能計算相對簡單，因為我們僅使用註冊尖峰的粗略值與 +12V 和 5VSB 電源軌的標稱值相比。在 +12V 時，我們只使用較高的電壓過衝而忽略另一個（當然，如果有的話）。舉個例子：如果 +12V 處的較高記錄電壓過衝為 +12.5V，則尖峰為 0.5V (12.5V - 12.0V)，因此我們在方程式中使用該值。

$$= \left( \begin{array}{c} - \\ - \\ + \\ + \\ - \end{array} \right)$$

平均效率

我們應用所有負載組合的平均值 (>1450) 來獲得 PSU 的 ETA 認證平均效率。

$$= \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \right)$$

最大額定容量負載或10W 的 2% 時的效率 (對於 <500W PSU)

根據 ATX 規範[參考]，主流電腦空閒模式的最低直流負載確定為 10 瓦。PSU 大於 500 瓦的電腦預計也會有更多元件，因此空閒模式將處於更高的直流負載。500 瓦以上的 PSU 將使用設定為 2% 水平的低負載效率。

$$= \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \right) = 0$$

平均5VSB 效率

我們為獲得 ETA 認證的 5VSB 導軌平均效率而應用的所有負載組合的平均值。

$$= \frac{1}{N} \left( \frac{P_{5VSB1}}{P_{IN1}} + \frac{P_{5VSB2}}{P_{IN2}} + \dots + \frac{P_{5VSBN}}{P_{INN}} \right)$$

待機功耗

PSU 在待機狀態下所需的電力稱為吸血鬼或幻象電源，因為它是在電源不執行任何操作的情況下消耗的。此功率主要消耗在 PSU 的待機電路上。

$$= P_{standby}$$

平均功率因數

我們所應用的所有負載組合 (>1450) 的平均值用於取得 PSU 的 ETA 認證平均 PF 分數。

$$= \frac{1}{N} \left( PF_1 + PF_2 + \dots + PF_N \right)$$

保持時間

保持時間表示 PSU 在沒有輸入電源的情況下可以維持 ATX 規範定義的輸出調節的時間量（通常以毫秒為單位）。簡而言之，保持時間是指在電源中斷期間系統可以繼續運作而不關閉或重新啟動的時間。v3.0 之前的 ATX 規格將最大連續輸出負載的最小保持時間設定為 17ms。ATX v3.1 將最小保持時間更改為 12ms，但我們將在效能演算法中保留增加的時間

17 毫秒。

$$= \frac{1}{N} \left( t_{hold1} + t_{hold2} + \dots + t_{holdN} \right)$$

電源正常訊號

根據 ATX 規範，PWR\_OK 是「電源良好」訊號。因此，電源應將此訊號置為高電平（5V），以指示+12V、5V 和3.3V 輸出處於調節閾值範圍內，並且APFC 轉換器儲存了足夠的電源能量，以確保在規格範圍內連續電源運轉至少 17 毫秒。相反，當任何 +12V、5V 或 3.3V 輸出電壓低於其欠壓閾值時，或當主電源已移除足夠長的時間（例如無法保證電源運作。此外，AC 損耗到 PWR\_OK 的最小保持時間設定為 16ms，比保持時間短，

且ATX規範也設定了PWR\_OK無效到DC丟失延遲，延遲應大於1ms。這表示在任何情況下，PWR\_OK 保持的交流損耗應低於 PSU 的整體保持時間，這可確保電源在任何情況下都不會繼續發送電源良好訊號，同時任何+12V、5V 和3.3V 電源軌不符合規格。

綜上所述，當 PWR\_OK 訊號高於保持時間時，我們會收到 PSU 電源正常訊號的虛假報告，而我們的整體效能計算演算法會扣除效能點。PWR\_OK 訊號的保持時間也必須比實際保持時間至少短 1ms，以便在電壓軌超出規格之前為系統提供足夠的時間關閉。

如果 PWR\_OK 訊號準確，我們使用以下公式：

$$= \frac{1}{100} \left( \frac{PWR\_OK\_Hold\_up\_time}{Hold\_up\_time} - 1 \right)$$

這裡有三種情況：

- PWR\_OK\_Hold\_up\_time比Hold\_up\_time 剛好低1ms，因此結果為零，表示與總分沒有差異。
- PWR\_OK\_Hold\_up\_time 與 Hold\_up\_time 的差異大於 1ms，所以結果對總分是有利的。
- PWR\_OK\_Hold\_up\_time 高於(Hold\_up\_time – 1ms) 週期，因此從總分中扣除分數。

我們應該注意，我們不會在該方程中扣除低於 16ms PWR\_OK 保持時間的點，因為在方程式 10 中，我們已經刪除了低於 17 毫秒保持時間的點，而在方程式 11 中，保持時間為也參與其中。並且保持時間與PWR\_OK保持時間密切相關。

## 容量

當您直接比較 400W 設備與 1500W 型號的負載調節、效率或漣波讀數時，這種比較絕對不公平。

例如，考慮 40W 負載的電壓調節時，400W PSU 的調節範圍為 360W (= 400W - 40W)。然而，在測試 1500W 型號時，這一點更為重要：1460W (= 1500W - 40W)。當然，容量較小的單元很可能會表現出更好的電壓調節或紋波，但差異如此巨大。因此，我們添加了標準化，可以讓事情變得正確。此係數直接從每個單元的額定功率得出。

$$= \frac{1}{100} \left( \frac{PWR\_OK\_Hold\_up\_time}{Hold\_up\_time} - 1 \right)$$

電源時序

為了滿足替代睡眠模式，上電時間（T1）需要低於150ms，而 PWR\_OK 延遲（T3）必須在 100-150ms 範圍內。而且，T3最短時間不得快於100ms。所有符合上述條件的單位都有獎金。

要求並具有高於 16ms 的交流損耗到 PWR\_OK 的保持時間以及高於 1ms 的 PWR\_OK 無效到直流損耗的延遲。我們使用兩種不同的負載等級（20% 和 100%）進行 T1 和 T3 測量。在這兩種情況下，每個 PSU 都需要滿足上述要求。

$$\begin{aligned} & \left( \frac{P_{max}}{P_{nom}} \right) \leq 1.1 \text{ and } \left( \frac{P_{max}}{P_{nom}} \right) \geq 1.0 \\ & \left( \frac{P_{max}}{P_{nom}} \right) \leq 1.1 \text{ and } \left( \frac{P_{max}}{P_{nom}} \right) \geq 1.0 \\ & \left( \frac{P_{max}}{P_{nom}} \right) \leq 1.1 \text{ and } \left( \frac{P_{max}}{P_{nom}} \right) \geq 1.0 \\ & \left( \frac{P_{max}}{P_{nom}} \right) \leq 1.1 \text{ and } \left( \frac{P_{max}}{P_{nom}} \right) \geq 1.0 \end{aligned}$$

電源保護

每個電源都應配備適當的保護方案，使其即使在惡劣的條件下也能安全運行，而不會損壞其供電的系統或對其供電的系統造成任何故障。

所有重要電源軌（+12V、5V 和 3.3V）中的過電流保護 (OCP) 以及過功率保護 (OPP) 需要設定在可接受的範圍內，且不能太高。當這些保護設定得較高時，PSU 可能會在正常溫度下正常工作，但有一個很好的

它有可能在較高的工作溫度下破裂。此外，其電路在高溫下會承受很大的應力，因此應適當設定OCP和OPP觸發點。事實上，PSU 必須承受高功率峰值，通常來自 GPU 和高時脈 CPU，但同時，其保護功能應確保其元件能夠勝任任務且不會過載。根據我們迄今的經驗，單+12V軌PSU的OCP和OPP觸發點應設定在各自標稱值的130%以內。對於具有多個 +12V 電源軌的 PSU，我們將允許範圍增加到 135%。

過溫保護 (OTP) 是每個電源最重要的保護功能之一。大多數PSU故障是由於工作溫度過高造成的，因此必須有一個正常工作的OTP，應根據平台的特性進行設定。通常，在具有半被動操作的 PSU 中，OTP 設定為略高於缺乏被動功能的 PSU。

PWR\_OK 訊號對於 PSU 保護功能非常重要。儘管如此，我們已經在Eq10中考慮了它，所以沒有必要再次提供獎金。

短路保護 (SCP)：如果存在輸出短路，根據 ATX 規範，定義為任何小於 0.1 歐姆的輸出阻抗，PSU 應關閉。唯一的例外是 5VSB 導軌，其中 PSU 已處於待機模式。一旦 5VSB 處的短路被消除，PSU 應恢復運行，不會有任何問題。

突波和突波保護 (SIP) 非常重要，PSU 應配備正確的部件以包含這兩種保護。通常，突波保護是透過

MOV（金屬氧化物壓敏電阻）。相較之下，突波保護涉及 NTC 熱敏電阻，通常由旁路繼電器支持，以增強保護等級。

風扇故障保護至關重要，因為如果 PSU 的風扇停止運行，其內部溫度可能會達到臨界水平。當然，在過溫保護啟動之前，如果有過溫保護，PSU 的零件將受到很大的壓力，因此它們的壽命將受到顯著影響。

風扇故障保護應該存在於任何 PSU 中，這就是為什麼我們決定為其提供獎金，以推動所有製造商實施它。

我們為以下每一種情況提供獎勵積分。

- 0.25 額外獎勵：+12V、5V 和 3.3V 下的 OCP 位於各自最大額定電壓軌容量的 130% 範圍內，由工廠或透過軟體提供（如果 PSU 允許軟體控制）。對於具有多個 +12V 電源軌的 PSU，我們允許高達 135% 的 OCP 觸發點。  
此獎勵適用於任何上述電源軌，並且它是獨立的，這意味著 PSU 的 OCP 可能超過 12V 限制，但在次要電源軌上的 OCP 限制範圍內。在這種情況下，它將獲得兩個次要軌道的 OCP 獎勵。
- 0.25 獎金：OPP 在 130% 以內，無論是來自工廠或透過軟體。
- 0.25 獎勵：OTP 在次級散熱器或次級側在 <190 攝氏度時關閉 PSU
- 0.25 獎勵：所有軌道上都有 SCP。PSU 在長時間使用後應能正常運作重複的 SCP 評估測試。
- 0.25 獎勵：PSU 應配備 MOV 或 TVS 二極體（或組合）  
兩個都）
- 0.25 獎勵：PSU 應配備 NTC 熱敏電阻和旁路繼電器
- 0.25 獎勵：PSU 應具有風扇故障保護

如果 PSU 在上述條件下（例如，負載在其最大額定容量的 130% 以內或次級側的熱量低於 190 攝氏度）在保護功能評估測試期間失敗，則不會獲得任何分數導致 PSU 失敗的相應類別。另一方面，滿足上述所有要求的 PSU 獲得 1.75

獎勵積分。

### 整體績效評等計算

現在我們已經計算了上述所有因素，是時候將它們結合起來計算最終的績效評級 (13)。同樣，我們以 100 為滿分，減去結果 (1-11)，最後考慮容量 (12) 以及 PSU 時序和保護功能加分。

$$= - \sum + + .$$

(13) 的結果是該單位的整體績效評級。



## 整體績效評等計算範例

### 實施例A

在本例中，我們將使用具有 115V 輸入的文泰艾丹 T1616：

$$\begin{aligned}
 &= 1.2 \cdot 0.3 + 0.6 (1.48 + 2.4) + 0.3 \cdot 2.44 = 0.36 + 2.328 + 0.732 \\
 &= 3.42 ( ) \\
 &= 0.08 \cdot 27.46 + 0.04 (10.28 + 12.88) + 0.02 \cdot 14.44 = 2.1968 + 0.9264 + 0.2888 \\
 &= 3.412 ( ) \\
 &= 2 \cdot 0.49 + 0.2 (1.63 + 3.05) + 0.1 \cdot 1.54 + 0 = 0.98 + 0.936 + 0.154 \\
 &= 2.07 ( ) \\
 &= 1.25 (0.12 + 0) = 0.15 ( ) \\
 &= 0.8 (100 - 92.713) = 5.8296 ( ) \\
 &= 0.03 (100 - 77.432) = 0.67704 (2\%) \\
 &= 0.1 (100 - 82.381) = 1.7619 (5) \\
 &= 6 \cdot 0.0404641 = 0.242785 ( ) \\
 &= 50 (1 - 0.99) = 0.5 ( ) \\
 &= 0.15 (17 - 26.2) = -1.38 ( ) \\
 &= 0.15 (25.2 - (26.2 - 1)) = 0 ( ) \\
 &= 0.4 \left( \frac{1616}{100} \right) = 6.464 ( )
 \end{aligned}$$

ATX v3.x 相容性獎勵 :0

PSU 時序獎勵 :0 (因為 20% 負載測試中  $T1 > 150\text{ms}$ ，並且兩個測試中  $T3 > 150\text{ms}$ )

PSU 保護加成 :OCP :0.25 (自12V4 OCP > 135% 和5V OCP > 130% 起，僅3.3V OCP < 130%)、OPP :0.25 (130% 以內)、OTP :0.25 (<190°C)、SCP :0.25、MOV :0.25、NTC熱敏電阻和繼電器 :0.25

$$\begin{aligned}
 \text{性能評級} &= 100 - 3.42 - 3.412 - 2.07 - 0.15 - 5.8296 - 0.67704 - 1.7619 - \\
 &0.242785 - 0.5 - (-1.38) - 0 + 6.464 + 0 + 0 + 1.5 = 91.280675
 \end{aligned}$$

## 實施例B

在本例中，我們將使用具有 115V 輸入的Corsair AX1600i：

$$\begin{aligned}
 &= 1.2 \cdot 0.24 + 0.6 (0.9 + 0.3) + 0.3 \cdot 1.32 = 0.288 + 0.72 + 0.396 \\
 &= 1.404 ( = ) \\
 &0.08 \cdot 10.33 + 0.04 (6.24 + 14.98) + 0.02 \cdot 6.62 = 0.8264 + 0.8488 + 0.1324 \\
 &= 1.8076 ( ) \\
 &= 2 \cdot 0.64 + 0.2 (1.4 + 2.87) + 0.1 \cdot 1.28 + 0 = 1.28 + 0.854 + 0.128 \\
 &= 2.262 ( ) \\
 &= 1.25 (0 + 0.024) = 0.03 ( ) \\
 &= 0.8 (100 - 92.221) = 6.2232 ( ) \\
 &= 0.03 (100 - 78.233) = 0.65301 ( 2\% ) \\
 &= 0.1 (100 - 81.807) = 1.8193 ( 5 ) \\
 &= 6 \cdot 0.0457394 = 0.274436 ( ) \\
 &= 50 (1 - 0.992) = 0.4 ( ) \\
 &= 0.15 (17 - 26.7) = -1.455 ( ) \\
 &= 0.15 (24.5 - (26.7 - 1)) = -0.18 ( ) \\
 &= 0.4 ( \frac{1600}{100} ) = 6.4 ( )
 \end{aligned}$$

ATX v3.x 相容性獎勵 :0

PSU 計時獎勵 :0 (因為 20% 負載測試中  $T1 > 150\text{ms}$ ，並且兩個測試中  $T3 > 150\text{ms}$ )

PSU 保護獎勵 :OCP :0.50 (因為 12V 不超過 135% ,3.3V 低於 130% ,5V 為零點) ,OPP :0.25 (130% 以內) ,OTP :0.25 ( $<190^\circ\text{C}$ ) ,SCP : 0.25 , MOV : 0.25 ,NTC熱敏電阻和繼電器 :0.25

$$\begin{aligned}
 \text{性能評級} &= 100 - 1.404 - 1.8076 - 2.262 - 0.03 - 6.2232 - 0.65301 - 1.8193 - \\
 &0.274436 - 0.4 - (-1.455) - (-0.18) + 6.4 + 0 + 0 + 1.75 = 94.911454
 \end{aligned}$$

測試報告範例

Cybernetics

EFFICIENCY AND NOISE  
LEVEL CERTIFICATIONS

Anex

Corsair AX1600i (Sample #3)

Lab ID#: CR16001631

Receipt Date: •

Test Date: Apr 1, 2020

Report: 20PS1631A

Report Date: Apr 6, 2020

DUT INFORMATION

Brand	Corsair
Manufacturer (OEM)	Electronics
Series	AXi
Model Number	AX1600i (Sample #3)
Serial Number	1742956000049040027
DUT Notes	Balanced Profile

DUT SPECIFICATIONS

Rated Voltage (Vrms)	100-240
Rated Current (Arms)	18.9
Rated Frequency (Hz)	50-60
Rated Power (W)	1600
Type	ATX12V
Cooling	140mm Fluid Dynamic Bearing Fan (NR140P)
Semi-Positive Operation	✓ (selectable)
Cable Design	Fully Modular

POWER SPECIFICATIONS

Rail		3.3V	5V	12V	5VSB	-12V
Max. Power	Amps	30	30	133.3	3.5	0.8
	Watts	180		1600	17.5	9.6
Total Max. Power (W)		1600				

CABLES AND CONNECTORS

Modular Cables

Description	Cable Count	Connector Count (Total)	Gauge	In Cable Capacitors
ATX connector 20+4 pin (500mm)	1	1	16-22AWG	Yes
4+4 pin EPS12V (650mm)	2	2	16AWG	Yes
6+2 pin PCIe (650mm)	6	6	16-18AWG	Yes
6+2 pin PCIe (680mm+100mm)	2	4	16-18AWG	Yes
SATA (450mm+110mm+110mm+110mm)	3	12	18AWG	No
SATA (550mm+110mm)	2	4	18AWG	No
4-pin Molex (450mm+100mm+100mm)	3	9	18AWG	No
FDD Adapter (+105mm)	2	2	20AWG	No
USB Mini to Motherboard Header Cable (+800mm)	1	1	24-28AWG	No
AC Power Cord (1400mm) - C19 coupler	1	1	14AWG	-

All data and graphs included in this test report can be used by any individual on the following conditions:  
• It should be mentioned that the test results are provided by Cybernetics.  
• The link to the original test results document should be provided in any case.

PAGE 1/14

Cybernetics offers the ETA and Lambda voluntary certification programs, through which the efficient and silent power supplies are promoted.

www.cybernetics.com - info@cybernetics.com  
4004 MESA GERONIA, LIMASSOL, CYPRUS

## 結語

本文的目的是解釋我們在效率和雜訊測量中遵循的方法，ETA 和 LAMBDA 認證均源自於此方法。此外，我們希望分享我們在多次 PSU 評估後獲得的知識，並幫助其他實驗室配備適當的設備和相應的 ISO 認證 (17025)，證明所有程序都將詳細遵循並根據我們的標準進行測試。

除了提供對我們的效率和噪音方法的完整洞察之外，我們決定再採取（大）一步，更新並展示我們的整體效能演算法。透過這種演算法，人們可以在任意數量的電源之間進行非常詳細的比較，除了純粹的性能之外，還考慮所有關鍵因素，包括保護功能。

該演算法的開發是一項具有挑戰性的任務，我們將根據我們隨著時間的推移收集的新數據和經驗繼續更新該演算法。儘管如此，我們計劃在 Beta 評估中使用該演算法。我們也將與一些媒體/評論網站分享，包括

[硬體剋星](#)幫助他們提供更準確的比較結果。

## 參考

[1] IEEE Std 1515-2000, IEEE 電子電力子系統建議實務：參數定義、測試條件與測試方法。

[2] IEC 62301:2011, 家用電器 – 待機功率的測量。

[3] IEC 60950-1 Ed 2.0, 資訊科技設備 - 安全 - 第 1 部分：一般要求, 2005 年 12 月。

[4] 桌面平台外形尺寸的電源設計指南, 修訂版 002, 2018 年 6 月, 英特爾公司。

[5] 伺服器系統基礎架構 (SSI) 電源設計指南 (可從 <http://www.ssiforum.org/> 取得), 英特爾公司。

[6] ATX 維基百科：[https://en.wikipedia.org/wiki/ATX#ATX\\_power\\_supply\\_derivatives](https://en.wikipedia.org/wiki/ATX#ATX_power_supply_derivatives)。

瀏覽日期：2020 年 3 月 19 日。

[7] 總諧波失真維基百科：[https://](https://en.wikipedia.org/wiki/Total_harmonic_distortion)

[en.wikipedia.org/wiki/Total\\_harmonic\\_distortion](https://en.wikipedia.org/wiki/Total_harmonic_distortion)。訪問日期：4 月 22 日。

[8] ISO/IEC 17025:2017, 測試和校準實驗室能力的一般要求, 2017 年 11 月。

[9] ISO 7779 :2018 - 聲學 - 資訊科技和電信設備發出的空氣噪音的測量。

[10] ISO 11201:2010 (E) - 聲學 - 機械和設備發出的噪音 -

確定工作站和反射平面上基本自由場中其他指定位置的發射聲壓級, 環境校正可忽略不計。

[11] ECMA-74 (第 17 版) - 資訊科技與電信設備發出的空氣噪音測量 - ECMA International。2019 年 12 月。

[12] ATX 版本 3.0 多軌桌面平台電源：[https://edc.intel.com/content/www/us/en/design/ipla/software-development-platforms/client/platforms/alder-lake-desktop / atx-version-3-0-multi-rail-desktop-platform-power-supply-design-guide/2.0/2.01/introduction/](https://edc.intel.com/content/www/us/en/design/ipla/software-development-platforms/client/platforms/alder-lake-desktop/atx-version-3-0-multi-rail-desktop-platform-power-supply-design-guide/2.0/2.01/introduction/)。於 9 月 24 日訪問。

[13] ATX 版本 3.1 多軌桌面平台電源：<https://edc.intel.com/content/www/us/en/design/ipla/software-development->

[平台/客戶端/平台/alder-lake-desktop/atx-version-3-0-multi-rail-desktop-platform-power-supply-design-guide/2.0/2.1a/](#) 於 9 月 24 日訪問。