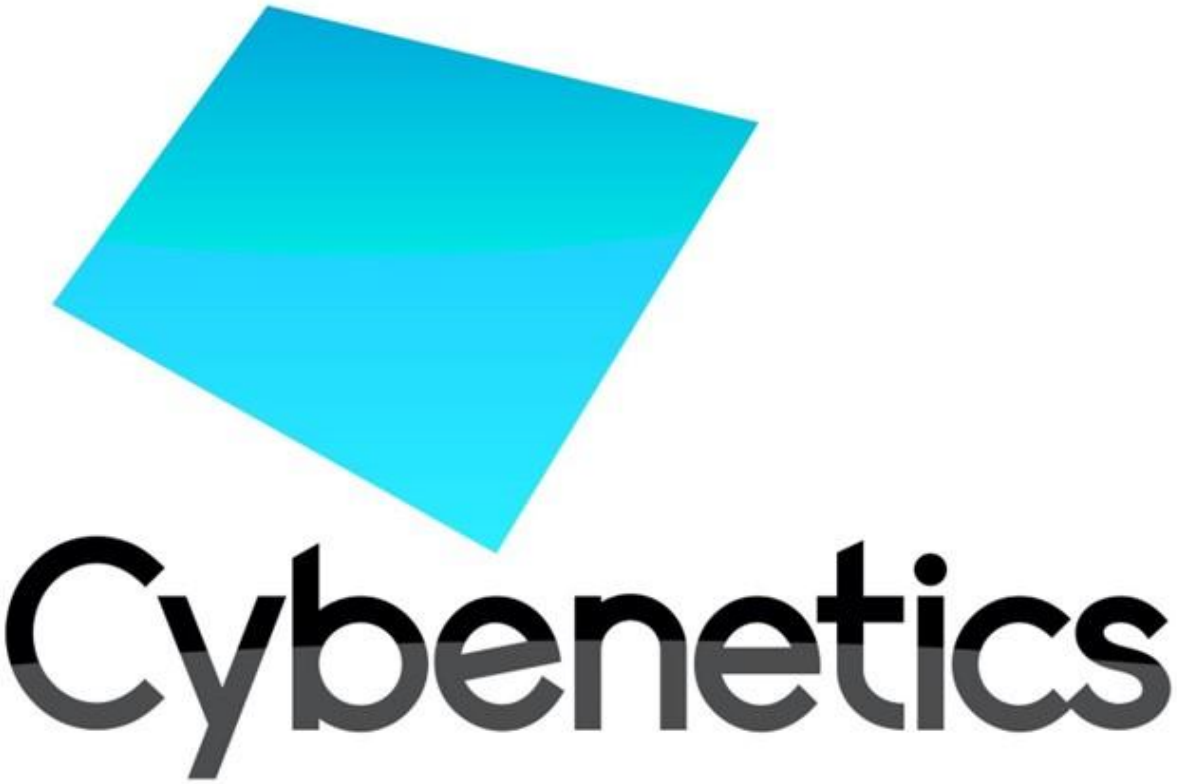
傳導發射測試程序

修訂版 1.9

作者：Aristeidis Bitziopoulos



賽普勒斯，尼古西亞

2026 年 10 月

修訂歷史

版本	發布日期	備註
1.0	2025 年 4 月	初版草稿
1.1	2026 年 1 月	• 修訂歷史／頁首（第 1 頁）– 提升至 Rev 1.1 • 測試方法（約第 10–11 頁）– 新增認證等級細節 • 在方法之後插入的新章節（約第 11–12 頁）： • 測試環境與配置 • 負載條件之正當理由（50 W） • 量測參數（RBW、掃描／QP） • 合格／不合格判定準則 • 結果與解讀（約第 12 頁）– 釐清餘裕與合規邏輯
1.2	2026 年 2 月	• 依 CISPR 16-2-1 與 16-1-x 標準新增設備要求。
1.3	2026 年 8 月	• 量測不確定度已更新至目前的管制預算（P19）。
1.4	2026 年 8 月	• 修正負載條件：負載器施加 4 A 直流（12 V 下約 48 W），先前記載為 50 瓦的直流負載。
1.5	2026 年 8 月	標題頁整理：修訂歷史現改自第 2 頁開始；並移除文件最前方一個失效的空白目錄欄位。技術內容未變更。
1.6	2026 年 10 月	重新檢查連結：LISN 產品頁已替換為 TekBox 的現行頁面，並移除一個追蹤參數。EN 55032 定義現引用參考文獻 [18]。已移除 SMPS 定義中一個多餘的逗號。表 1 的電壓單位標題已統一為 dBµV。方法中的設備已更新為 TekBox TBOH02 與 TBMR-110M；已修正自供電負載的描述。
1.7	2026 年 10 月	準峰值與平均值檢波器現於每次測試中同時量測（測試方法與附錄 A.5）；平均值檢波器改述為對所測電壓取平均；4 A 負載條件改述為使不同電源供應器結果可相互比較的固定參考負載，不再宣稱其為最壞情況。
1.8	2026 年 10 月	標準版本已註明年份 (CISPR 16-1-1, 16-1-2, 16-4-2)；新增 CISPR 16-2-1；更正修訂歷史註記中的誤字；將 Intel 引文更正為 CISPR 22, 5th ed.。
1.9	2026 年 10 月	依據 EN 55032 附錄 B，新增 PSU 以外受測設備（外接式電源供應器與充電器、電視機、顯示器與個人電腦）的操作條件：操作模式的選擇、佈置、負載與測試訊號，以及測試報告記錄的內容（附錄 A，A.7）。不測試電視機的廣播接收，並將其記錄為偏離。測試方法與 A.3 現已指向該節。將量測鏈路的瞬態限制器與高通濾波器新增至測試設備與附錄 A（A.2.4，以及 A.6 中的檢查項目），並納入其插入損耗的修正。新增參考文獻 [25] 至 [27]。限值、餘裕、檢波器設定、判定規則或不確定度值均未變更。

目錄

定義 5
電磁干擾（EMI） 5
電磁相容性（EMC） 5
傳導發射 5
輻射發射 5
線路阻抗穩定網路（LISN） 5
CISPR (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques) 5
EN 55032 / CISPR 32 5
分貝微伏（dBµV） 6
交換式電源供應器（SMPS） 6
頻譜分析儀 / EMI 接收機 6
準峰值檢波器 6
前言 7
電磁發射的類型 7
傳導發射測試的重要性 8
測試標準 8
檢波器類型 9
環境條件與監控 10
人員能力 10
測試設備 10
測試軟體 12
測試方法 13
方法確認與驗證 14
結果 15
文件管制 16
結語 16
參考文獻 17
附錄 A – 認證等級測試條件（規範性） 18
A.0 量測設備與儀器 18
A.1 測試環境與配置 18
A.2 量測儀器 19
A.3 負載條件之正當理由 20
A.4 量測參數 20

A.5 合格／不合格判定準則 21
A.6 校準、驗證與追溯性 21
A.7 PSU 以外的受測設備 22
附錄 B – 量測不確定度與不符合性免責聲明 23
B.1 量測不確定度 23
B.2 不符合性與免責聲明 23
附錄 C – 量測不確定度預算（認證） 24

定義

為確保電磁發射分析的明確性，特別是在個人電腦電源供應器（PSU）合規性測試的情境下，茲定義下列關鍵術語與概念：

電磁干擾（EMI）

EMI 係指會擾亂或劣化電子設備性能的非預期電磁能量。EMI 可能源自系統內部的來源，也可能來自鄰近裝置等外部來源，通常分為輻射發射與傳導發射兩類 [1]。

電磁相容性（EMC）

EMC 是指電子裝置或系統能在其電磁環境中正常運作，且不會對周圍其他裝置產生無法容忍之電磁騷擾的能力 [2]。符合 EMC 標準可確保各裝置之間不會相互干擾。

傳導發射

傳導發射是沿電源線或訊號線傳播的高頻電氣雜訊訊號。這些發射在電子設備（例如電源供應器）內部產生，並透過市電纜線傳播。其量測頻率範圍通常為 150 kHz 至 30 MHz。

共模（CM）發射：在火線與中性線導體上以相同方向流動並經由接地返回的雜訊電流。通常由電路與接地之間的寄生耦合所引起。
差模（DM）發射：在火線與中性線導體上以相反方向流動的雜訊電流。通常由電源供應器切換電路中的不對稱性所產生。

輻射發射

輻射發射是裝置直接向空氣中發射的電磁波，通常肇因於高頻切換與佈局特性。這些發射可經由空氣耦合至鄰近設備並造成干擾。

線路阻抗穩定網路（LISN）

LISN 是用於量測傳導發射的標準化測試治具。它為電源線提供一致的阻抗（通常為 50 Ω），並將測試設備與電源隔離。它也使電源線上存在的發射能夠由 EMI 接收機或頻譜分析儀精確量測。

CISPR (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques)

CISPR 是國際電工委員會（IEC）下負責制定電磁干擾控制標準的技術委員會。CISPR 32 是其適用於多媒體設備的標準之一。

EN 55032 / CISPR 32

這些是協調的 EMC 標準，規定多媒體設備（包括個人電腦及其電源供應器）無線電騷擾的限值與量測方法。EN 55032 [18] 是國際標準 CISPR 32 的歐洲採用版本，其中包含傳導發射與輻射發射兩者的要求。

分貝微伏（dBμV）

這是在 EMC 量測中用以表示傳導發射與輻射發射量值的單位。它是以 1 μV 為參考基準的對數電壓單位。

交換式電源供應器（SMPS）

SMPS 是一種利用高頻切換技術轉換電能的電源供應器，通常使用功率電晶體或 MOSFET。雖然效率高，但切換動作會產生高頻雜訊，使 SMPS 成為重要的 EMI 來源。

頻譜分析儀 / EMI 接收機

用於量測與分析發射訊號頻率與振幅的測試儀器。EMI 接收機專為符合 EMC 測試標準而設計，通常包含 CISPR 所規定的準峰值與平均值檢波器。

準峰值檢波器

一種用於 EMI 測試的檢波器，會同時對訊號的振幅與重複率加以加權。它由 CISPR 標準所定義，用以模擬類比無線電接收機感知干擾的方式。

前言

電磁相容性（EMC）是電子設備設計與測試中的關鍵考量 [4]。就個人電腦（PC）電源供應器（PSU）而言，確保其發射位於法規限值之內，對於避免干擾其他電子裝置與系統至關重要 [5]。個人電腦電源供應器因具有高頻切換電路與寬廣的輸入電壓範圍，可能成為重要的電磁干擾（EMI）來源。本白皮書專門探討個人電腦電源供應器在具代表性的 4 A 直流負載下所產生的傳導發射，並採用 EN 55032 與 CISPR 32 Class B 標準所定義的測試程序與合規準則。

EN 55032 與 CISPR 32 協調一致，規範包含個人電腦電源供應器在內之多媒體設備的 EMC 要求。這些標準同時定義了測試方法與輻射發射及傳導發射的容許限值。輻射發射係指發射至周圍環境中的電磁場，而傳導發射則是指經由電源線傳播的非預期電磁雜訊，可能影響連接至同一電力網路的其他設備 [6]。

ATX 電源供應器廣泛應用於消費性與工業電子產品，因此必須符合電磁干擾（EMI）標準，以確保不會對鄰近的其他裝置造成有害干擾。針對住宅環境的 EN 55032 Class B 合規要求，ATX 電源供應器所產生的傳導發射在 150 kHz 至 30 MHz 頻率範圍內必須落在嚴格的限值之內。這些發射使用線路阻抗穩定網路（LISN）量測，每次測試均在整個 150 kHz 至 30 MHz 範圍內同時量測準峰值與平均值檢波器。

電磁發射的類型

電子裝置的電磁發射一般分為兩大類 [7]：

1. 輻射發射

輻射發射是設備直接向自由空間發射的電磁波。在個人電腦電源供應器中，輻射發射的來源通常包括：

- 切換元件與變壓器（因電壓與電流的快速變化）。
- 作為非預期天線的印刷電路板（PCB）走線。
- 連接至電源供應器的纜線（例如交流電源線、直流輸出線）。

輻射發射在複雜系統中較難以控制，並須於半電波暗室等專用環境中進行測試。

2. 傳導發射

傳導發射是沿電源線傳播的高頻雜訊訊號，其頻率範圍通常為 150 kHz 至 30 MHz。這些發射源自電源供應器的切換動作，可能影響共用同一市電供電之其他裝置的運作 [8]。其可再細分為：

- 差模（DM）發射：在火線與中性線導體上以相反方向流動的雜訊電流。通常由電能轉換電路中的不平衡或非線性所產生。
- 共模（CM）發射：在火線與中性線導體上以相同方向流動並經由接地返回的雜訊電流。共模發射通常源自高頻節點與接地之間的寄生電容，包括 PCB 寄生路徑與變壓器繞組間電容。

這兩種傳導發射均可能對其他電子設備造成干擾，因此抑制措施至關重要 [9]。

傳導發射測試的重要性

個人電腦電源供應器屬於大眾市場零組件，維持低傳導發射對於確保在眾多互連裝置的環境中保持相容性至關重要。其中最重要的原因包括：

- 法規符合性：法規機構要求設備符合特定的傳導發射限值，以將干擾風險降至最低。
- 系統可靠性：過高的 EMI 可能導致鄰近系統故障或性能劣化，在醫療或工業等敏感環境中尤其如此。
- 市場准入：產品必須通過 EMC 測試，才能在許多市場（例如歐盟、北美、亞洲）合法銷售。
- 品牌聲譽：EMC 合規性未達標可能導致產品召回或客戶不滿。

測試標準

EN 55032 是國際無線電干擾特別委員會（CISPR）所發布之國際標準 CISPR 32 的歐洲採用版本。該標準規定額定交流市電供電電壓不超過 600 V 之多媒體設備無線電騷擾特性的限值與量測方法。

- Class A 設備：適用於住宅場所以外的所有場所。與 Class B 相比，Class A 的限值較為寬鬆。
- Class B 設備：適用於包括住宅在內的居住環境。與 Class A 相比，Class B 的發射限值更為嚴格，以確保對收音機、電視機與通訊設備等敏感家用裝置的干擾降至最低。
- 傳導發射的頻率範圍：150 kHz 至 30 MHz。
- 量測配置：傳導發射使用線路阻抗穩定網路（LISN）量測，該網路可標準化電源線的阻抗，並使傳導雜訊得以精確量測。
- 測試配置：受測設備（EUT）經由 LISN 供電，市電線路上的雜訊電壓則使用頻譜分析儀或 EMI 接收機量測。

適用的傳導發射限值（以 dBµV 表示）取決於頻率，且針對住宅環境使用的 Class B 設備限值較低。Class B 設備適用更為嚴格的傳導發射限值（以 dBµV 量測），在較低頻率時尤其如此，以確保與住宅射頻環境的相容性。對於面向消費市場的裝置而言，符合這些更嚴格的限值至關重要。

根據 Intel ATX Design Guide [10]，電源供應器「應符合 FCC Part 15、EN55023 與 CISPR 22 第 5 版，在傳導發射與輻射發射兩方面均以 4 dB 餘裕達到 Class B 要求」。由於這些標準已更新，Cybenetics 如前所述採用較新的 EN 55032 與 CISPR 32。

檢波器類型

在傳導 EMI 測試中，特別是為符合 EN 55032 等標準時，會使用多種檢波器類型來評估受測裝置的電磁發射。最常使用的檢波器為平均值（AVG）、峰值（PK）與準峰值（QP）。每一種都有特定用途，並採用不同的量測方式來評估裝置的發射可能如何影響環境中的其他電子產品 [11]。

峰值（PK）檢波器擷取指定頻帶內訊號的最高振幅。它對暫態立即響應，因而是非常靈敏且快速的量測方法。峰值量測的目的是在掃描過程中快速找出最壞情況的發射位準。由於峰值量測較為寬鬆，即使部分發射接近限值，裝置往往仍能通過此項測試。

另一方面，平均值（AVG）檢波器藉由計算量測時間內所測訊號電壓的平均值（以 dBµV 表示），來平滑短期波動。這能更好地反映發射的持續程度，特別是就其在典型使用情況下干擾其他電子設備的可能性而言。平均值檢波器對短暫尖峰的反應較不敏感，而更著重於連續或持續性的干擾。

準峰值（QP）檢波器或許是傳導 EMI 測試中最具挑戰性的量測 [12]。它的設計不僅依振幅、也依重複率對發射加以加權。這表示出現較頻繁的訊號所受的懲罰，會比偶發突波更重。其背後的理由兼具心理層面與實務層面：頻繁的低位準干擾比罕見的高位準尖峰更容易被察覺並造成困擾。準峰值檢波採用較慢的充放電響應曲線，藉以模擬傳統無線電接收機對干擾的反應。

比較各項測試的通過難度時，準峰值量測通常最為困難。這是因為它更具選擇性，且對高振幅與高重複率兩者皆給予懲罰。即使個別突波強度不高，若裝置發出許多重複性的雜訊突波，通過峰值測試的裝置仍可能無法通過準峰值測試。每次測試均在整個 150 kHz 至 30 MHz 範圍內同時量測準峰值與平均值檢波器。每項結果均與表 1 中相應的準峰值或平均值限值減去適用的工程餘裕後的數值比較，並採用附錄 A.5 與附錄 B 所述的合格／不合格準則及決策規則。

環境條件與監控

傳導發射量測於受控的實驗室環境中進行。

與量測有效性相關的環境條件（包括環境電磁雜訊）在測試前均予以監控與驗證。在整個量測頻率範圍內，環境雜訊位準應至少低於適用之 EN 55032 Class B 限值 6 dB。

實驗室的環境溫度與濕度維持在實驗室品質系統所定義的範圍內，以確保量測設備正常運作。

每次測試作業均記錄環境條件。若環境條件超出所定義的限值，或發現其影響量測有效性，應暫停測試並依實驗室品質程序實施矯正措施。

人員能力

依本程序執行的傳導發射量測，僅得由經評鑑具備能力並由實驗室正式授權的人員執行。

執行量測的人員應：

- 具備 EMC 原理與傳導發射測試方面的書面訓練紀錄。
- 接受所使用之特定量測設備與軟體操作的訓練。
- 熟悉適用的標準（EN 55032、IEC/CISPR 16-1-x）。
- 依實驗室能力與授權矩陣取得授權。

訓練、能力評鑑與授權的紀錄保存於實驗室品質管理系統中。

測試設備

在針對 Class B 設備的典型傳導發射測試配置中，下列組件以特定方式連接，以確保量測準確且可重複：

直流負載器：TekBox TBOH02 Self Powered Active Load [13]：TBOH02 是一款精密的自供電主動式負載。它不需要另外的供應電壓，最低可在 2V 下運作。其功能包括定電阻與定電流模式。

圖 1 ：TekBox TBOH02

EMI 接收機：TekBox TBMR-110M EMI-Analyzer DC-110 MHz [14]：一款多功能頻譜分析儀，用於量測傳導發射的頻率與振幅。它提供 EMI 診斷與合規性驗證所不可或缺的高解析度頻譜資料。

圖 2 ：TBMR-110M EMI-Analyzer DC-110 MHz

線路阻抗穩定網路（LISN）：TekBox TBL5008-2C [15]：LISN 直接連接於交流市電電源與 DUT 之間。它具有兩項主要功能：將測試配置與外部電源線雜訊隔離，並提供標準化阻抗以進行精確的發射量測。LISN 同時將來自 EUT 的傳導雜訊導引至量測儀器。

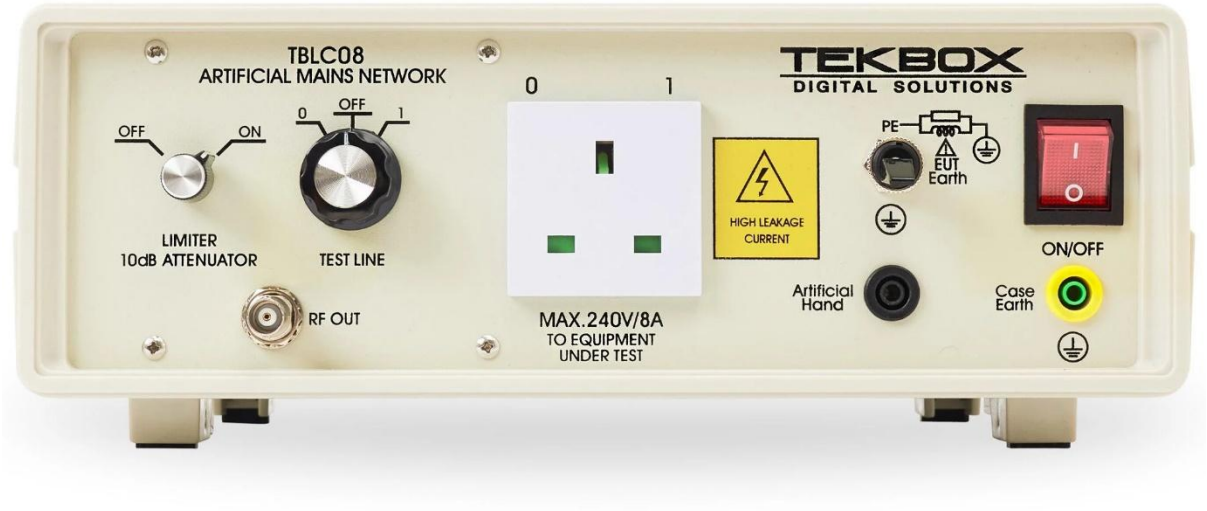


圖 3：TEKBOX TBL5008-2C

瞬態限制器：TekBox TBFL1 [26]：一款整合瞬態限制器、10 dB 衰減器與 9 kHz 高通濾波器的裝置，連接於 LISN 量測埠與 EMI 接收機輸入端之間。它保護接收機輸入端免受瞬態訊號（例如 DUT 開啟時）及意外過載的影響。

高通濾波器：TekBox TBHPF3-150kHz [27]：一款 50 Ω 高通濾波器，同樣連接於 LISN 量測埠與接收機輸入端之間。某些電源供應器在其切換頻率下會於低於 150 kHz 處產生強烈發射；若無此濾波器，這些發射可能會使接收機輸入端過載並干擾 150 kHz 至 30 MHz 範圍的量測。兩款裝置的插入損耗修正方式如附錄 A 之 A.2.4 所述。

測試軟體

EMC View [16] 是一款易於使用的軟體工具，專為視覺化、分析與記錄 EMI 及 EMC 測試資料而設計。它常與頻譜分析儀及 EMI 接收機搭配使用，讓使用者能即時檢視傳導發射與輻射發射、將結果與法規限值（例如 EN 55032 Class B）比較，並產生測試報告。其直覺化的介面使其非常適合預合規測試與完整合規性評估。

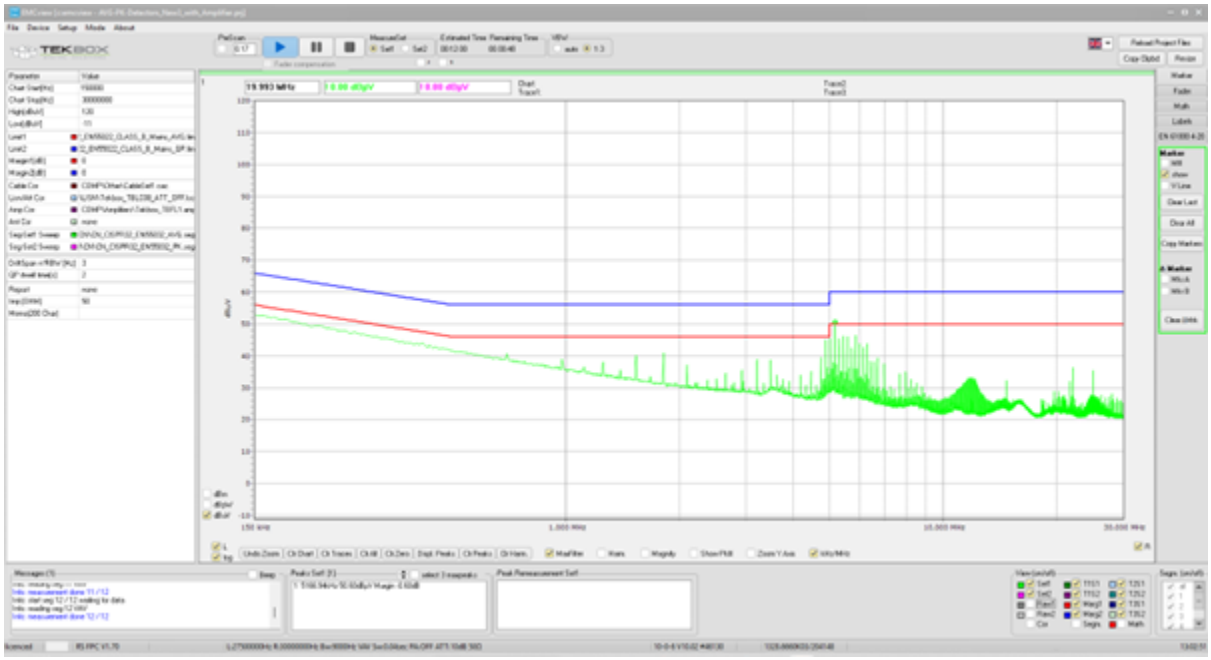


圖 4：EMCView

測試方法

以下程序係針對 PSU 撰寫。PSU 以外的受測設備（例如外接式電源供應器與充電器、電視機、顯示器與個人電腦）遵循相同的程序，但以附錄 A（PSU 以外的受測設備）所規定的操作條件取代直流電子負載。

EMI 測試流程始於設備與配置的仔細準備，因為所涉及的儀器相當敏感，操作不當可能造成損壞。操作人員必須先確認所有裝置均已關閉電源，且 LISN 的 Test Line 旋鈕位於關閉位置。此項預防措施對於防止非預期的訊號流動而損壞量測儀器至關重要。確認之後，將 ATX 電源線由 DUT 連接至直流電子負載（TekBox TBOH02），該負載稍後將於測試期間對電源供應器施加一致且受控的負載。同時，將交流電源線由 LISN 連接至電源供應器，並特別注意正確對應火線與中性線的方向，以避免電氣故障。

確認所有連接後，操作人員依特定順序為設備通電。首先準備直流負載器；TekBox TBOH02 為自供電負載，無需獨立供電電壓。接著開啟 LISN，然後是 EMI 接收機（TekBox TBMR-110M）。後者應預熱至少 30 分鐘，以確保性能穩定。預熱期結束後，將 DUT 通電。操作人員接著使用負載器對電源供應器施加 4 A 的直流負載（12 V 下約 48 W），開始電源供應器在負載下的 10 分鐘預熱期，以協助模擬真實的運作條件。

系統穩定後，在連接的電腦上啟動 EMC View 軟體。該軟體用於控制頻譜分析儀並顯示即時量測資料。在 EMC View 中，操作人員透過瀏覽裝置選單並選擇適當的連線來連接分析儀。連線完成後，載入相關的測試檔案。此檔案包含 EN 55032 Class B 合規性所需的預先設定量測參數與法規限值。

開始傳導發射測試時，將 LISN 的 Test Line 旋鈕由關閉位置轉至「0」，即啟動量測用的訊號路徑。TekBox TBMR-110M 在每次測試中均於整個 150 kHz 至 30 MHz 範圍內同時量測準峰值與平均值檢波器。每項結果均與表 1 中相應的準峰值或平均值限值減去適用的工程餘裕後的數值比較，並採用附錄 A.5 與附錄 B 所述的合格／不合格準則及決策規則。

在整個測試過程中，EMC View 軟體提供合規性的視覺化指示，任何未通過的項目均清楚標示於圖表下方。使用者可選擇切換量測限值線的顯示以提高清晰度，亦可透過裝置選單編輯測試報告屬性。完成後，將圖表與軌跡匯出至指定資料夾以儲存結果，並列印或儲存為影像檔以供文件記錄之用。

關機流程必須謹慎執行以保護設備。首先將 LISN 的 Test Line 旋鈕轉回關閉位置。接著停止直流負載，然後將 DUT 斷電。這些組件關閉後，其餘裝置——LISN 與 EMI 接收機（TekBox TBMR-110M）——可依任意順序關閉。TekBox TBOH02 無需單獨關閉電源。此結構化程序可確保 EMI 量測準確，同時維護測試設備的安全性與使用壽命。

方法確認與驗證

本傳導發射量測方法已依 ISO/IEC 17025:2017 第 7.2.2 條完成驗證與確認，以確認其適用於預期用途。

方法驗證活動包括：

- 確認量測配置、儀器、檢波器特性、解析頻寬與頻率範圍符合 EN 55032 及 IEC/CISPR 16-1-x 的要求。
- 使用已知的參考訊號與儀器自我測試功能，驗證檢波器（峰值、平均值、準峰值）實作正確。

- 在相同測試條件下對具代表性的電源供應器進行多次量測以評估重複性，證明結果的穩定性落在實驗室所聲明的量測不確定度範圍內。

方法確認活動包括：

- 評估實驗室內部的量測重複性與再現性。
- 比較具代表性裝置的歷史量測資料，以確認結果的一致性。
- 技術審查固定的 4 A 直流參考負載（在 12 V 時約為 48 W）與量測參數，以取得電源供應器之間可比較的傳導發射結果，並認知其他負載可能產生不同的發射。

方法驗證與確認的紀錄保存於實驗室品質系統中。本方法被認定適用於 150 kHz 至 30 MHz 頻率範圍內的傳導發射量測。

結果

合規的 ATX 電源供應器在所有相關頻帶中的發射位準均必須低於所定義的限值。這些限值與頻率相關，通常隨頻率升高而降低。結果以圖形方式顯示於 EMC View 軟體中，其中發射值（以 dBµV 量測）相對於頻譜繪製。圖中以紅線表示平均值限值、藍線表示準峰值限值，並在適用時套用工程餘裕。每次測試均在整個 150 kHz 至 30 MHz 範圍內同時量測準峰值與平均值檢波器。每項結果均與表 1 中相應的準峰值或平均值限值減去適用的工程餘裕後的數值比較，並採用附錄 A.5 與附錄 B 所述的合格／不合格準則及決策規則。

依據 Intel Design Guide，評估階段通常會套用 4 dBµV 的餘裕，以在量測到的發射位準與法規限值之間提供緩衝區間。此餘裕考量了在認證實驗室進行正式合規測試時可能出現的量測不確定度、環境變異與重複性差異。例如，若某一發射的量測值為 44 dBµV，而該頻率的限值為 48 dBµV，則結果解讀為「以 4 dBµV 餘裕通過」。此緩衝可提供信心，即使測試條件略有變化，產品在更嚴格的認證環境下仍可能符合要求。

圖 5：以 4 dBµV 餘裕通過的範例

若任何發射峰值超過含 4 dBµV 餘裕的限值，該項目會被標記以供進一步分析。雖然該裝置在技術上仍可能通過測試，但通常建議最佳化設計或改善屏蔽以降低發射，特別是在產品接近量產階段時。

峰值量測快速且可捕捉最高的發射位準，平均值量測評估連續性雜訊位準，而準峰值量測則同時評估發射的強度與出現頻率，提供貼近實際的折衷結果。每次測試均在整個 150 kHz 至 30 MHz 範圍內同時量測準峰值與平均值檢波器。每項結果均與表 1 中相應的準峰值或平均值限值減去適用的工程餘裕後的數值比較，並採用附錄 A.5 與附錄 B 所述的合格／不合格準則及決策規則。它最為嚴苛，因為更貼近干擾對真實世界無線電與電子系統的影響方式，且常成為合規性合格／不合格結果的決定因素。

表 1 列出傳導發射的官方限值 [17]：

EN55032 / CISPR 32	限值 dBµV	
頻率範圍 (MHz)	**準峰值**	**平均值**
0.15 - 0.50	66 至 56	56 至 46

0.50 - 5	56	46
5 - 30	60	50

表 1：傳導發射限值

文件管制

本文件為 Cybenetics Ltd. 品質管理系統內的管制程序。

- 本文件目前的修訂狀態標示於封面頁及修訂歷史表中。
- 僅得使用最新核准的修訂版本執行測試活動。
- 非管制或失效的副本不得用於認證測試。
- 除另有說明外，列印副本視為非管制文件。

本文件的變更於發行前，依實驗室的文件管制程序由授權人員審查並核准。

結語

傳導發射是電磁相容性測試的重要環節，在個人電腦所使用的交換式電源供應器中尤其如此。透過遵循 EN 55032 與 CISPR 32 等標準，設計者與製造商可確保其產品在典型使用環境中不會造成過度干擾。

參考文獻

[1] Electromagnetic Interference
https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/electromagnetic-interference

[2] Scott, J., & Van Zyl, C. (1997). Introduction to EMC. Butterworth-Heinemann.

[3] https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0030&rid=4

[4] Jie, H., Zhao, Z., Zeng, Y., Chang, Y., Fan, F., Wang, C., & See, K. Y. (2024). A review of intentional electromagnetic interference in power electronics: Conducted and radiated susceptibility. IET Power Electronics, 17(12), 1487-1506.

[5] Hesener, A. (2011, August). Electromagnetic interference (EMI) in power supplies. In Fairchild Semiconductor Power Seminar (pp. 1-16).

[6] Zare, Firuz. (2011). Electromagnetic Interference Issues in Power Electronics and Power Systems. 10.2174/97816080524001110101

[7] https://www.compeng.com.au/quick-guide-electromagnetic-interference-power-supplies/

[8] https://www.belfuse.com/resource-library/tech-paper/emi-considerations-for-switching-power-supplies#lawRegCoop

[9] Narayanasamy, B. (2020). Conducted EMI Mitigation in Power Converters using Active EMI Filters. University of Arkansas.

[10] 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/2.1a/

[11] Williams, T. (2003). EMC. In Instrumentation Reference Book (pp. 861-949). Butterworth-Heinemann.

[12] Schaefer, W. (1998, August). Signal detection with EMI receivers. In 1998 IEEE EMC Symposium. International Symposium on Electromagnetic Compatibility. Symposium Record (Cat. No. 98CH36253) (Vol. 2, pp. 761-765). IEEE.

[13] TekBox TBOH02 Self Powered Active Load https://www.tekbox.com/product/tboh02-self-powered-active-load/

[14] TekBox TBMR-110M EMI-ANALYZER 1 Hz-110 MHz
https://www.tekbox.com/product/tbmr-110m-emi-analyzer-dc-110-mhz/

[15] TekBox TBL5008-2C https://www.tekbox.com/product/tbl5008-2c-50uh-line-impedance-stabilisation-network/

[16] EMC View https://www.batronix.com/shop/software/tekbox/emcview.html

[17] https://www.advancedenergy.com/getmedia/13c82758-cf58-45bc-988f-7740ed8357c8/an_emi_standards.pdf
[18] EN 55032:2015/AC:2016/A1:2020/A11:2020 – Electromagnetic compatibility of multimedia equipment – Emission requirements (CISPR 32).
[19] CISPR 16-1-1:2019 (edition 5.0) – Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-1: Measuring apparatus.
https://webstore.iec.ch/en/publication/60774
[20] CISPR 16-1-2:2014+AMD1:2017 – Part 1-2: Coupling devices for conducted disturbance measurements. https://webstore.iec.ch/en/publication/27418
[21] CISPR 16-4-2:2011+AMD1:2014+AMD2:2018 – Part 4-2: Measurement instrumentation uncertainty. https://webstore.iec.ch/en/publication/63750
[22] ISO/IEC 17025:2017 – General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.
[23] JCGM 100:2008 (GUM) – Evaluation of measurement data: Guide to the expression of uncertainty in measurement.
[24] CISPR 16-2-1:2014+AMD1:2017 – Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 2-1: Methods of measurement of disturbances and immunity – Conducted disturbance measurements.
https://webstore.iec.ch/en/publication/40
[25] ITU-R Recommendation BT.471-1 – Nomenclature and description of colour bar signals.
https://www.itu.int/rec/R-REC-BT.471/en
[26] TekBox TBFL1 Transient Limiter https://www.tekbox.com/product/tbfl1-transient-limiter/
[27] TekBox TBHPF3-150kHz High Pass Filter https://www.tekbox.com/product/tbhpf3-150khz-high-pass-filter/

附錄 A – 認證等級測試條件（規範性）

A.0 量測設備與儀器

依本程序用於傳導發射量測的所有設備，均應符合 IEC/CISPR 16-1 系列的適用要求，具體而言為 IEC/CISPR 16-1-1、IEC/CISPR 16-1-2 及相關的 IEC/CISPR 16-1-x 部分。設備應適用於 150 kHz 至 30 MHz 頻率範圍內的量測，並依實驗室品質系統操作。

A.1 測試環境與配置

所有傳導發射量測均於受控的實驗室環境中，使用符合 IEC/CISPR 16-1-2 的單相 50 µH / 50 Ω LISN 進行。
LISN 搭接至實驗室參考接地平面。量測分別在火線與中性線導體上進行。

測試前須驗證環境雜訊位準，在整個頻率範圍內應至少低於適用之 EN 55032 Class B 限值 6 dB。

A.2 量測儀器

A.2.1 量測接收機 / 頻譜分析儀

(IEC/CISPR 16-1-1)

傳導發射應使用符合 IEC/CISPR 16-1-1 的 EMI 量測接收機或頻譜分析儀進行量測。

量測儀器應提供：

- 涵蓋 150 kHz 至至少 30 MHz 的頻率範圍
- 符合 CISPR 要求的 9 kHz 解析頻寬（RBW）
- 依 CISPR 時間常數實作的峰值（PK）、平均值（AVG）與準峰值（QP）檢波器
- 50 Ω 輸入阻抗
- 足夠的動態範圍，以避免量測期間發生過載或壓縮

若使用頻譜分析儀取代專用的 EMI 接收機，應證明其與 IEC/CISPR 16-1-1 功能要求的等效性並予以記錄。

A.2.2 線路阻抗穩定網路（LISN）

(IEC/CISPR 16-1-2)

所有傳導發射量測均應使用符合 IEC/CISPR 16-1-2 的線路阻抗穩定網路（LISN）。

LISN 應：

- 提供 50 µH / 50 Ω 的標準化阻抗
- 涵蓋 150 kHz 至 30 MHz 的頻率範圍
- 包含 50 Ω 量測埠
- 在受測設備（EUT）與市電供電之間提供隔離
- 搭接至實驗室參考接地平面

除非另有正當理由並予以記錄，量測應分別在火線與中性線導體上進行。

A.2.3 射頻纜線與輔助組件

(IEC/CISPR 16-1-x)

量測鏈中使用的所有射頻纜線、衰減器、轉接頭與輔助組件，均應符合 IEC/CISPR 16-1-x 的適用部分。

輔助射頻組件應：

- 具有 50 Ω 的特性阻抗
- 在量測頻率範圍內呈現穩定且已知的插入損耗
- 適用於傳導發射量測
- 數量應盡量減少，以降低量測不確定度

適用時，與頻率相關的損耗應納入實驗室的不確定度評估中。

A.2.4 瞬態限制器與高通濾波器

瞬態限制器（TekBox TBFL1 [26]）與 150 kHz 高通濾波器（TekBox TBHPF3-150kHz [27]）連接於 LISN 量測埠與接收機輸入端之間。限制器保護接收機輸入端免受瞬態訊號影響，並將訊號衰減約 10 dB。濾波器衰減低於 150 kHz 的範圍，否則電源供應器切換頻率處的強烈發射可能會使接收機過載並干擾 150 kHz 至 30 MHz 範圍的量測。

兩款裝置在 150 kHz 至 30 MHz 範圍內、於校準時量測的插入損耗，應包含在測試軟體套用的修正因子中，以使回報的位準為 LISN 量測埠處的位準。其校準不確定度已納入量測不確定度預算（附錄 C）。

由於濾波器從量測鏈路中移除低於 150 kHz 的範圍，本程序不評估低於 150 kHz 的發射。

A.3 負載條件之正當理由

每臺電源供應器在傳導發射測試期間均施加固定的 4 A 直流參考負載（在 12 V 時約為 48 W），使不同電源供應器的結果可相互比較。
此參考負載使電源供應器的切換級保持運作。

其他負載可能產生不同的傳導發射；固定參考負載並不表示其為最壞情況條件。

PSU 以外的受測設備不以此方式施加負載；其操作條件規定於 A.7（PSU 以外的受測設備）。

A.4 量測參數

量測依 CISPR 16-2-1:2014+AMD1:2017 [24] 於 150 kHz 至 30 MHz 頻率範圍內使用 9 kHz RBW 進行。

峰值與平均值量測可使用連續掃描模式進行。
準峰值量測採用步進頻率掃描，並具備足夠的駐留時間以使檢波器穩定。

A.5 合格／不合格判定準則

依據 Intel ATX v3.x 規範，若所有量測到的發射位準在套用 4 dBµV 工程餘裕後仍低於適用之 EN 55032 Class B 限值，則受測裝置（DUT）視為合規。此規定僅適用於 ATX v3.x 測試。

每次測試均必須在整個 150 kHz 至 30 MHz 範圍內同時量測準峰值與平均值檢波器。每項結果均必須與表 1 中相應的準峰值或平均值限值減去適用的工程餘裕後的數值比較。未能符合適用的檢波器限值即構成不合規結果。

當傳導發射量測於實驗室的認證範圍內執行時，與 EN 55032 Class B 限值的符合性，係依實驗室核准的判定規則並基於所聲明的擴展不確定度進行評估。

本程序中所提及的工程餘裕用於內部評估與預合規評估。認證下的正式符合性聲明，僅依實驗室判定規則與適用的不確定度預算發出。

A.6 校準、驗證與追溯性

所有關鍵量測設備，包括 EMI 接收機、LISN 及適用的射頻組件，均應依規定的週期進行校準，並可追溯至國家或國際標準。

測試前應執行功能驗證，包括：

- 儀器自我測試
- LISN 搭接與連續性檢查
- 瞬態限制器與高通濾波器連接於量測鏈路中，且其修正因子在測試軟體中啟用
- 環境雜訊驗證

發現超出規定容差的設備不得用於合規或預合規量測。

本附錄所定義的設備與配置可確保符合 IEC/CISPR 16-1-1、IEC/CISPR 16-1-2 及適用之 IEC/CISPR 16-1-x 部分的儀器要求，並適用於依 EN 55032 / CISPR 32 進行的傳導發射測試。

A.7 PSU 以外的受測設備

本程序亦適用於 PSU 以外的多媒體設備，例如外接式電源供應器與充電器、電視機、顯示器與個人電腦。對於這些設備，本節的操作條件取代 A.3 所述的固定直流參考負載。本附錄的其他所有要求維持不變並同樣適用。

A.7.1 操作模式

依據 EN 55032 附錄 B [18]，使用峰值檢波器預掃描檢查設備的多種代表性操作模式，包括其低功耗或待機模式。產生最高發射的模式用於最終的準峰值與平均值量測。所有埠（包括揚聲器與顯示器）均以符合並代表正常使用的方式運作。

A.7.2 佈置

設備及操作所需的任何輔助設備，均依 EN 55032 附錄 D [18] 之規定，以桌上型或落地型設備的形式，按典型使用方式佈置。在預掃描期間，電纜位置在其正常佈置範圍內變動，以找出產生最高發射的佈置。最終量測使用典型佈置進行。

A.7.3 負載與測試訊號

- 外接式電源供應器與充電器：輸出端使用 TekBox TBOH02 自供電主動式負載 [13] 施加負載（若輸出超過 25 W 則使用其風扇配件），或使用電阻性負載。預掃描在空載與額定輸出電流下進行，並使用產生最高發射的負載進行最終量測。USB 充電器透過 USB 分接轉接器連接。具有多種輸出電壓的充電器（例如 USB Power Delivery）使用 USB Power Delivery 觸發器設定至每個電壓，並在預掃描中產生最高發射的電壓下進行測試。
- 電視機：電視機顯示帶有小型移動元素的標準色條（EN 55032 表 B.1 中最複雜的影像），例如 ITU-R 建議書 BT.471-1 [25] 的 100/0/75/0 色條，由連接至視訊輸入端的視訊來源或電視機自身的媒體播放器播放。不測試廣播接收模式（例如 DVB-T2、DVB-C 或 DVB-S2）；測試報告將此記錄為對 EN 55032 附錄 B 的偏離。聲音由代表正常使用位準的 1 kHz 正弦訊號重現。
- 顯示器：顯示器由電腦驅動，以其最高有效解析度、更新率與色彩深度運作，並顯示帶有移動元素的相同色條影像。亮度、對比度與色彩維持原廠預設值。
- 個人電腦：電腦執行代表性工作負載，同時其顯示輸出以上述顯示器設定顯示帶有移動元素的色條影像。網路埠連接並承載流量，並連接典型使用的週邊設備。

A.7.4 測試報告

測試報告載明操作模式、施加的負載或測試訊號、使用的影像與顯示設定，以及佈置情況，並附上配置照片。任何對 EN 55032 附錄 B 的偏離（例如不同的影像或訊號位準），均記錄於報告中並說明理由。

附錄 B – 量測不確定度與不符合性免責聲明

B.1 量測不確定度

傳導發射量測存在固有的量測不確定度，其來源包括儀器容差、LISN 阻抗變異、纜線擺放位置、接地、環境雜訊與重複性效應。雖然本程序遵循 CISPR 16 與 EN 55032 的建議作法，但測試期間所得的數值結果代表在所定義測試條件下真實發射位準的最佳估計值。

對於在實驗室 ISO/IEC 17025 認證範圍內執行的量測，適用附錄 C 所述的擴展不確定度，並依實驗室判定規則使用。本程序其他章節所提及的 4 dBµV 工程餘裕僅為預合規篩檢的輔助工具；它並非不確定度預算的替代品，且不適用於認證結果。

B.2 不符合性與免責聲明

使用本程序所得的結果，可用於內部工程評估、預合規評估，以及在 Cybenetics Ltd. 的 ISO/IEC 17025 認證範圍內執行時的認證測試活動。正式的符合性聲明僅在所有量測均於實驗室的認證範圍、經核准的不確定度預算及受控品質系統下執行時方得發出。

當量測於認證範圍之外執行時，結果應僅視為工程資料。對於基於非認證測試結果所做出的法規決定，Cybenetics Ltd. 不承擔任何責任。

附錄 C – 量測不確定度預算（認證）

Cybenetics Ltd. 所採用的傳導發射量測不確定度，係源自內部不確定度預算工作表 P19-F03 EMI（22-04-2026）及對應的估算報告 P19-F01（10-05-2026），該等文件依 ISO/IEC 17025 與 CISPR 16 原則制定。合成標準不確定度為 uc = 1.18 dB。

對於在 150 kHz 至 30 MHz 頻率範圍內以 dBµV 表示的傳導發射量測，其擴展不確定度評估為：

擴展不確定度（U，k=2）：±2.35 dB

此擴展不確定度對應約 95% 的信賴水準。當測試於實驗室的認證範圍內執行時，應依實驗室判定規則套用此不確定度值。