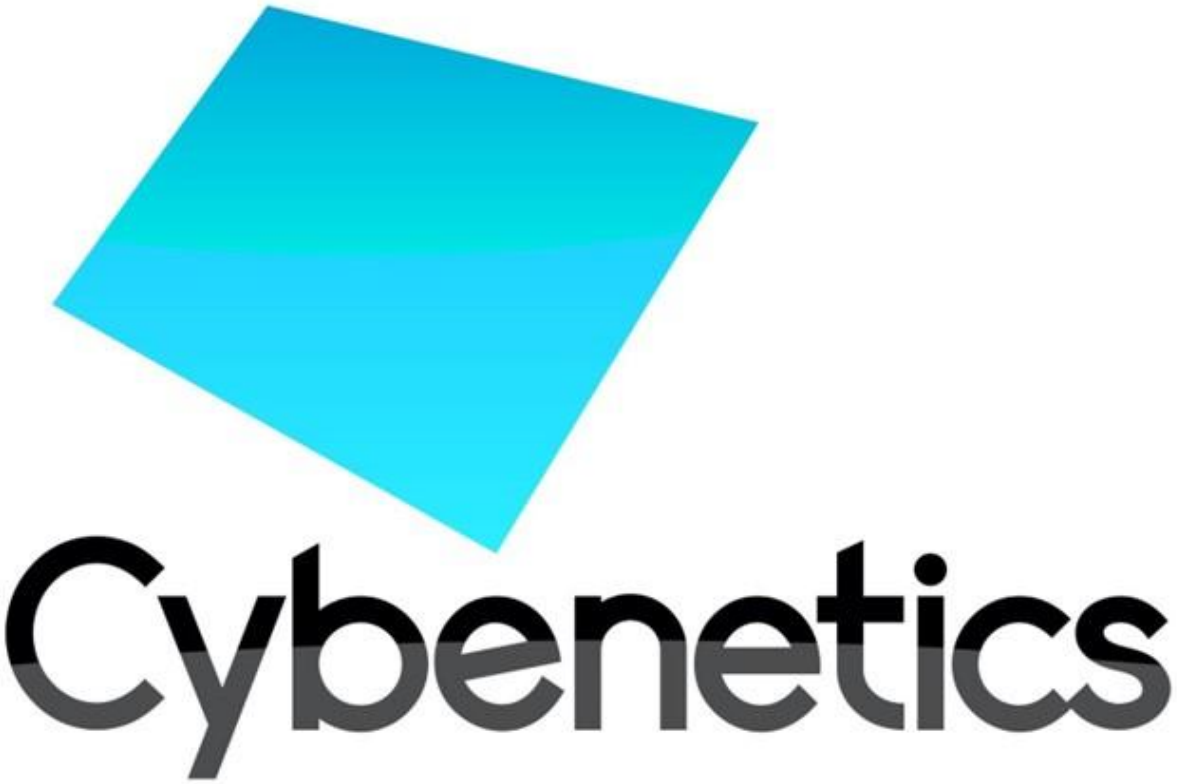
传导发射测试程序

修订版 1.9

作者：Aristeidis Bitziopoulos



塞浦路斯，尼科西亚

2026 年 10 月

修订历史

版本	发布日期	备注
1.0	2025 年 4 月	初稿
1.1	2026 年 1 月	• 修订历史 / 页眉（第 1 页）– 修订版升至 Rev 1.1 • 测试方法（约第 10–11 页）– 增加认证级细节 • 在方法之后新增章节（约第 11–12 页）： • 测试环境与配置 • 负载条件的合理性说明（50 W） • 测量参数（RBW、扫描/QP） • 合格 / 不合格判据 • 结果与解释（约第 12 页）– 澄清裕量与合规判定逻辑
1.2	2026 年 2 月	• 根据 CISPR 16-2-1 和 16-1-x 标准增加了设备要求。
1.3	2026 年 8 月	• 测量不确定度已更新至当前受控预算（P19）。
1.4	2026 年 8 月	• 修正负载条件：负载器施加 4 A 直流（12 V 下约 48 W），此前记载为 50 瓦的直流负载。
1.5	2026 年 8 月	标题页整理：修订历史现改自第 2 页开始；并移除文档最前方一个失效的空白目录字段。技术内容未变更。
1.6	2026 年 10 月	重新检查链接：LISN 产品页已替换为 TekBox 的当前页面，并移除一个跟踪参数。EN 55032 定义现引用参考文献 [18]。已移除 SMPS 定义中一个多余的逗号。表 1 的电压单位标题已统一为 dBµV。方法中的设备已更新为 TekBox TBOH02 和 TBMR-110M；已修正自供电负载的描述。
1.7	2026 年 10 月	准峰值和平均值检波器现于每次测试中同时测量（测试方法和附录 A.5）；平均值检波器改述为对所测电压取平均；4 A 负载条件改述为使不同电源结果可相互比较的固定参考负载，不再宣称其为最坏情况。
1.8	2026 年 10 月	标准版本已注明年份 (CISPR 16-1-1, 16-1-2, 16-4-2)；新增 CISPR 16-2-1；更正修订历史注记中的错字；将 Intel 引文更正为 CISPR 22, 5th ed.。
1.9	2026 年 10 月	根据 EN 55032 附录 B，增加了除 PSU 以外的受试设备（外部电源和充电器、电视机、显示器和个人电脑）的运行条件：运行模式的选择、布置、负载和测试信号，以及测试报告记录的内容（附录 A，A.7）。不测试电视机的广播接收，并将其作为偏离报告。测试方法和 A.3 现在指向该部分。在测试设备和附录 A

		（A.2.4，以及 A.6 中的一项检查）中增加了测量链的瞬态限制器和高通滤波器，并纳入其插入损耗的校正。增加了参考文献 [25] 至 [27]。限值、裕量、检波器设置、判定规则或不确定度值均未改变。

目录

术语定义 5

电磁干扰（EMI） 5

电磁兼容性（EMC） 5

传导发射 5

辐射发射 5

线路阻抗稳定网络（LISN） 5

CISPR（Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques） 5

EN 55032 / CISPR 32 6

分贝微伏（dBµV） 6

开关模式电源（SMPS） 6

频谱分析仪 / EMI **接收机** 6

准峰值检波器 6

前言 7

电磁发射的类型 7

传导发射测试的重要性 8

测试标准 8

检波器类型 9

环境条件与监控 10

人员能力 10

测试设备 11

测试软件 13

测试方法 13

方法确认与验证 15

结果 15
文件控制 16
结语 17
参考文献 18
附录 A – 认证级测试条件（规范性） 19
A.0 测量设备与仪器 19
A.1 测试环境与配置 20
A.2 测量仪器 20
A.3 负载条件的合理性说明 21
A.4 测量参数 22
A.5 **合格 / 不合格判据** 22
A.6 **校准、**验证与溯源 22
A.7 **除** PSU **以外的受**试设备 23
附录 B – 测量不确定度与不符合性免责声明 25
B.1 测量不确定度 25
B.2 **不符合性与免**责声明 25
附录 C – 测量不确定度预算（认可） 26

术语定义

为确保电磁发射分析的清晰性，特别是在 PC 电源（PSU）合规性测试的语境下，现对以下关键术语和概念作出定义：

电磁干扰（EMI）

EMI 是指扰乱或劣化电子设备性能的非预期电磁能量。EMI 可能源自系统内部的干扰源，也可能源自附近设备等外部干扰源，通常分为辐射发射和传导发射两类 [1]。

电磁兼容性（EMC）

EMC 是指电子设备或系统在其电磁环境中能够正常工作，同时不对附近的其他设备引入不可容忍的电磁骚扰的能力 [2]。符合 EMC 标准可确保设备之间不会相互干扰。

传导发射

传导发射是沿电源线或信号线传播的高频电噪声信号。这些发射由电子设备（例如 PSU）内部产生，并通过市电电缆传播。其测量频率范围通常为 150 kHz 至 30 MHz。

共模（CM）发射：在相线和中性线上以相同方向流动并经由接地回流的噪声电流。通常由电路与地之间的寄生耦合引起。
差模（DM）发射：在相线和中性线中以相反方向流动的噪声电流。通常由 PSU 开关电路中的不对称性产生。

辐射发射

辐射发射是设备直接向空气中发射的电磁波，通常由高频开关动作和布局特性引起。这些发射可通过空气耦合至附近设备并造成干扰。

线路阻抗稳定网络（LISN）

LISN 是用于测量传导发射的标准化测试装置。它为电源线提供一致的阻抗（通常为 50 Ω），并将测试设备与电源隔离。它还使电源线上存在的发射能够由 EMI 接收机或频谱分析仪精确测量。

CISPR（Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques）

CISPR 是国际电工委员会（IEC）下属的技术委员会，负责制定控制电磁干扰的标准。CISPR 32 是其适用于多媒体设备的标准之一。

EN 55032 / CISPR 32

这些是协调一致的 EMC 标准，规定了多媒体设备（包括 PC 及其 PSU）无线电骚扰的限值和测量方法。EN 55032 [18] 是国际标准 CISPR 32 的欧洲采标版本，其中包含对传导发射和辐射发射的要求。

分贝微伏（dBµV）

这是 EMC 测量中用于表示传导发射和辐射发射量值的单位。它是以 1 µV 为参考的电压对数单位。

开关模式电源（SMPS）

SMPS 是一类利用高频开关技术转换电能的电源，通常采用功率晶体管或 MOSFET。虽然效率较高，但开关动作会产生高频噪声，使 SMPS 成为重要的 EMI 来源。

频谱分析仪 / EMI 接收机

用于测量和分析发射频率与幅度的测试仪器。EMI 接收机专为满足 EMC 测试标准而设计，通常包含 CISPR 规定的准峰值检波器和平均值检波器。

准峰值检波器

EMI 测试中使用的一类检波器，同时对信号的幅度和重复频率进行加权。它由 CISPR 标准定义，用于模拟模拟式无线电接收机对干扰的感知方式。

前言

电磁兼容性（EMC）是电子设备设计与测试中的关键考量 [4]。就个人计算机（PC）电源（PSU）而言，确保发射处于法规限值之内对于避免干扰其他电子设备和系统至关重要 [5]。由于具有高频开关电路和宽输入电压范围，PC PSU 可能成为重要的电磁干扰（EMI）来源。本白皮书专门讨论 PC PSU 在具有代表性的 4 A 直流负载下产生的传导发射，采用 EN 55032 和 CISPR 32 Class B 标准所规定的测试程序和合规判据。

EN 55032 与 CISPR 32 协调一致，规定了多媒体设备（包括 PC PSU）的 EMC 要求。这些标准既定义了测试方法，也规定了辐射发射和传导发射的允许限值。辐射发射涉及向周围环境发射的电磁场，而传导发射则是指通过电源线传播的非预期电磁噪声，可能影响连接至同一电网的其他设备 [6]。

ATX 电源广泛应用于消费类和工业电子产品，因此必须符合电磁干扰（EMI）标准，以确保不会对附近其他设备造成有害干扰。针对住宅环境的 EN 55032 Class B 合规要求规定，ATX 电源产生的传导发射在 150 kHz 至 30 MHz 频率范围内必须处于严格的限值之内。这些发射使用线路阻抗稳定网络（LISN）测量，每次测试均在整个 150 kHz 至 30 MHz 范围内同时测量准峰值和平均值检波器。

电磁发射的类型

电子设备产生的电磁发射通常分为两大类 [7]：

1. 辐射发射

辐射发射是设备直接向自由空间发射的电磁波。在 PC PSU 中，辐射发射的来源通常包括：

- 开关元件和变压器（因电压和电流的快速变化）。
- 充当非预期天线的印刷电路板（PCB）走线。
- 连接至 PSU 的线缆（例如交流电源线、直流输出线）。

辐射发射在复杂系统中更难控制，需在半电波暗室等专用环境中进行测试。

2. 传导发射

传导发射是沿供电线路传播的高频噪声信号，通常处于 150 kHz 至 30 MHz 范围。这些发射源自 PSU 的开关动作，可能影响共用同一市电供电的其他设备的运行 [8]。其可细分为：

- 差模（DM）发射：在相线和中性线中以相反方向流动的噪声电流。通常由功率变换电路中的不平衡或非线性产生。
- 共模（CM）发射：在相线和中性线中以相同方向流动并经由接地回流的噪声电流。CM 发射通常源于高频节点与地之间的寄生电容，包括 PCB 寄生路径和变压器绕组间电容。

两类传导发射均可能对其他电子设备造成干扰，因此抑制措施至关重要 [9]。

传导发射测试的重要性

PC PSU 属于大众市场产品，保持较低的传导发射对于确保在存在大量互连设备的环境中的兼容性至关重要。其中最重要的原因包括：

- 法规符合性：监管机构要求设备满足特定的传导发射限值，以将干扰风险降至最低。
- 系统可靠性：过高的 EMI 可能导致附近系统发生故障或性能劣化，在医疗或工业等敏感环境中尤为如此。
- 市场准入：产品必须通过 EMC 测试才能在许多市场（例如欧盟、北美、亚洲）合法销售。
- 品牌声誉：EMC 合规性不达标可能导致产品召回或客户不满。

测试标准

EN 55032 是 CISPR 32 的欧洲采标版本，后者是由国际无线电干扰特别委员会（CISPR）发布的国际标准。它规定了额定交流市电供电电压不超过 600 V 的多媒体设备无线电骚扰特性的限值和测量方法。

- Class A 设备：适用于除住宅场所以外的所有场所。与 Class B 相比，Class A 的限值较为宽松。

- Class B 设备：适用于包括住宅场所在内的居住环境。与 Class A 相比，Class B 的发射限值更严格，以确保对收音机、电视机和通信设备等敏感家用设备的干扰降至最低。
- 传导发射的频率范围：150 kHz 至 30 MHz。
- 测量配置：传导发射使用线路阻抗稳定网络（LISN）测量，该网络将电源线阻抗标准化，可实现对传导噪声的准确测量。
- 测试配置：受试设备（EUT）经由 LISN 供电，市电线路上的噪声电压使用频谱分析仪或 EMI 接收机测量。

适用的传导发射限值（以 dBµV 表示）取决于频率，且对面向居住环境的 Class B 设备而言限值更低。Class B 设备须满足更严格的传导发射限值（以 dBµV 计），在较低频率上尤为严格，以确保与住宅射频环境的兼容性。对于面向消费市场的设备，符合这些更严格的限值至关重要。

根据 Intel ATX 设计指南 [10]，PSU“应符合 FCC Part 15、EN55023 和 CISPR 22 第 5 版，在传导发射和辐射发射方面均满足 Class B 并留有 4 dB 裕量”。由于这些标准已经更新，Cybenetics 采用前文所述的较新标准 EN 55032 和 CISPR 32。

检波器类型

在传导 EMI 测试中，特别是为符合 EN 55032 等标准，需使用多种检波器类型来评价受试设备的电磁发射。最常用的检波器为平均值（AVG）、峰值（PK）和准峰值（QP）。每种检波器各有特定用途，并采用不同的测量方式来评价设备的发射可能如何影响环境中的其他电子设备 [11]。

峰值（PK）检波器捕获给定频带内信号的最高幅度。它对瞬态响应迅速，是一种非常灵敏且快速的测量方法。峰值测量的目的是在扫描过程中快速识别最坏情况的发射电平。由于峰值测量较为宽松，即使某些发射接近限值，设备通常也能通过该项测试。

另一方面，平均值（AVG）检波器通过计算测量时间内所测信号电压的平均值（以 dBµV 表示）来平滑短期波动。这更好地反映了发射的持续程度，尤其体现其在典型使用情形下干扰其他电子设备的可能性。平均值检波器对短暂尖峰的响应较弱，更侧重于连续或持续性的干扰。

准峰值（QP）检波器或许是传导 EMI 测试中最具挑战性的测量 [12]。它不仅依据幅度，还依据重复频率对发射进行加权。这意味着出现更频繁的信号所受的惩罚重于偶发的突发信号。其依据既有心理层面也有实用层面的考虑：频繁的低电平干扰比罕见的高电平尖峰更容易被察觉并造成干扰。QP 检波采用较慢的充电和放电响应曲线，以模拟传统无线电接收机对干扰的响应。

比较各项测试的通过难度时，准峰值测量通常最为严苛。这是因为它的选择性更强，同时对高幅度和高重复频率予以惩罚。若某设备发出许多重复性噪声突发，即使单个突发强度不大，它在通过峰值测试后仍可能无法通过准峰值测试。每次测试均在整个 150 kHz 至 30 MHz 范围内同时测量准峰值和平均值检波器。每项结果均与表 1 中相应的准峰值或平均值限值减去适用的工程裕量后的数值比较，并采用附录 A.5 和附录 B 所述的合格/不合格判定准则及判定规则。

环境条件与监控

传导发射测量在受控的实验室环境中进行。

与测量有效性相关的环境条件（包括环境电磁噪声）在测试前予以监控和验证。在整个测量频率范围内，环境噪声电平应至少低于适用的 EN 55032 Class B 限值 6 dB。

实验室的环境温度和湿度维持在实验室质量体系规定的范围内，以确保测量设备正常运行。

每次测试均记录环境条件。若环境条件超出规定限值，或被发现影响测量有效性，则应暂停测试，并按照实验室质量程序实施纠正措施。

人员能力

依据本程序进行的传导发射测量，仅可由经评估具备能力并由实验室正式授权的人员执行。

执行测量的人员应：

- 具备 EMC 原理和传导发射测试方面的书面培训记录。
- 接受过所用特定测量设备和软件操作方面的培训。

- 熟悉适用标准（EN 55032、IEC/CISPR 16-1-x）。
- 依据实验室的能力与授权矩阵获得授权。

培训、能力评价和授权记录保存于实验室质量管理体系中。

测试设备

在针对 Class B 设备的典型传导发射测试配置中，以下组件按特定方式连接，以确保测量准确且可重复：

直流负载：TekBox TBOH02 Self Powered Active Load [13]：TBOH02 是一款精密的自供电有源负载。它无需单独的供电电压，最低可在 2V 下工作。其功能包括恒定电阻模式和恒定电流模式。

图 1：TekBox TBOH02

EMI 接收机：TekBox TBMR-110M EMI-Analyzer DC-110 MHz [14]：一款多功能频谱分析仪，用于测量传导发射的频率和幅度。它可提供高分辨率的频谱数据，对 EMI 诊断和合规性验证至关重要。

图2 ：TBMR-110M EMI-Analyzer DC-110 MHz

线路阻抗稳定网络（LISN）：TekBox TBL5008-2C [15]：LISN 直接连接在交流市电电源与 DUT 之间。它具有两项关键功能：将测试配置与外部电源线噪声隔离，并提供标准化阻抗以实现准确的发射测量。LISN 还将来自 EUT 的传导噪声引至测量仪器。

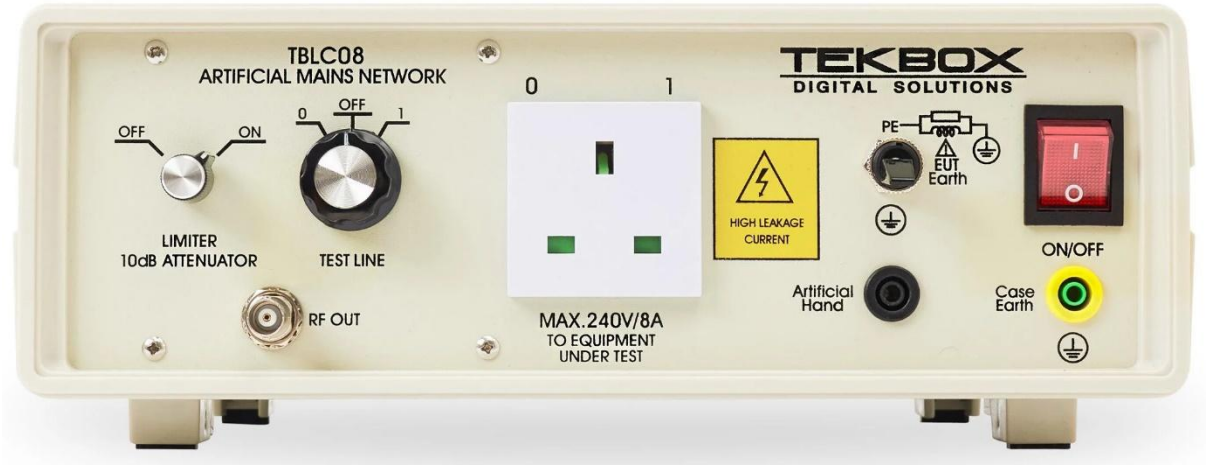


图3 ：TEKBOX TBL5008-2C

瞬态限制器：TekBox TBFL1 [26]：一款集瞬态限制器、10 dB 衰减器和 9 kHz 高通滤波器于一体的设备，连接在 LISN 测量端口与 EMI 接收机输入端之间。它保护接收机输入端免受瞬态信号（例如 DUT 开机时）和意外过载的影响。

高通滤波器：TekBox TBHPF3-150kHz [27]：一款 50 Ω 高通滤波器，同样连接在 LISN 测量端口与接收机输入端之间。某些 PSU 在低于 150 kHz 的开关频率处产生强发射；若无此滤波器，这些发射可能会使接收机输入端过载并干扰 150 kHz 至 30 MHz 范围内的测量。两款设备的插入损耗按附录 A 中 A.2.4 所述进行校正。

测试软件

EMC View [16] 是一款便于使用的软件工具，用于可视化、分析和记录 EMI 与 EMC 测试数据。它常与频谱分析仪和 EMI 接收机配合使用，使用户能够实时查看传导发射和辐射发射、将结果与法规限值（如 EN 55032 Class B）进行比较，并生成测试报告。其直观的界面使其既适用于预合规测试，也适用于完整的合规性评价。

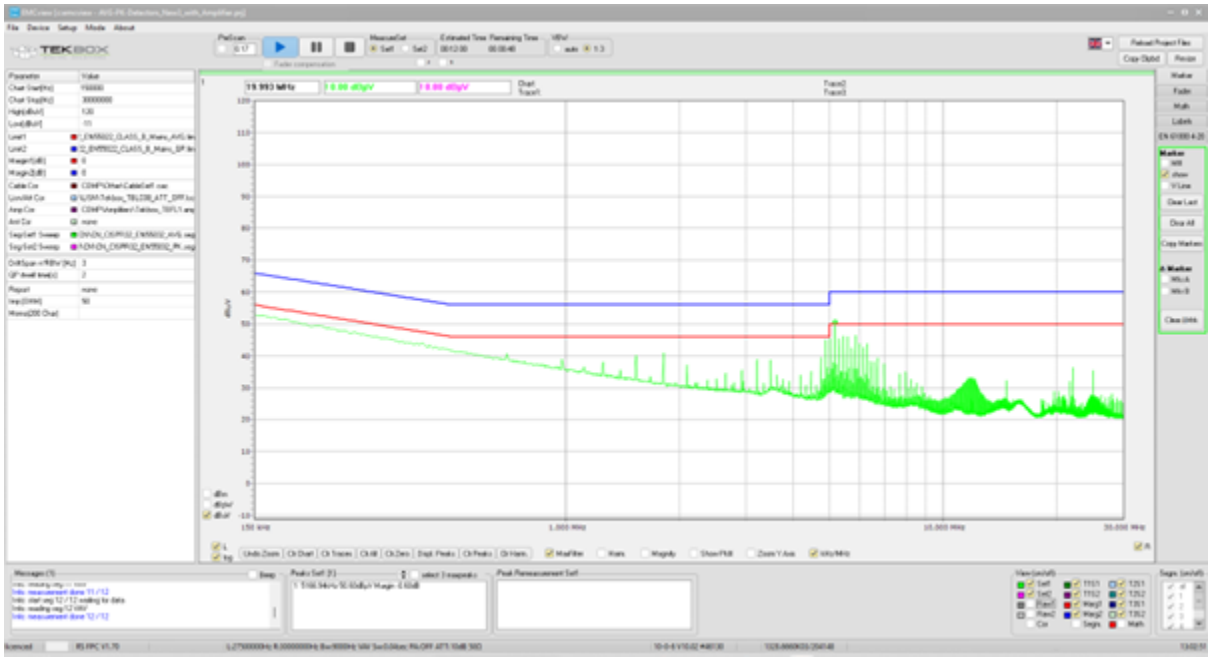


图4：EMCView

测试方法

以下序列针对 PSU 编写。除 PSU 以外的受试设备（如外部电源和充电器、电视机、显示器和个人电脑）遵循相同的序列，但使用附录 A（除 PSU 以外的受试设备）中的运行条件代替直流电子负载。

EMI 测试过程首先要对设备和测试配置进行细致准备，因为所涉仪器较为敏感，操作不当可能造成损坏。操作人员必须首先确认所有设备均已断电，且 LISN 的 Test Line 旋钮处于关闭位置。此项预防措施对于防止非预期信号流动损坏测量仪器至关重要。确认无误后，将 ATX 电源线从 DUT 连接至直流电子负载（TekBox TBOH02），该负载随后将在测试期间对 PSU 施加稳定且受控的负载。同时，将交流电源线从 LISN 连接至 PSU，并特别注意正确对应相线和中性线的方向，以避免电气故障。

确认所有连接后，操作人员按特定顺序为设备上电。首先准备直流负载器；TekBox TBOH02 为自供电负载，无需单独的供电电压。随后开启 LISN，然后是 EMI 接收机（TekBox TBMR-110M）。后者应至少预热 30 分钟，以确保性能稳定。预热结束后，为 DUT 上电。随后操作人员使用负载对 PSU 施加 4 A 的直流负载（12 V 下约 48 W），并进入 10 分钟的带载预热期，以帮助模拟真实的工作条件。

系统稳定后，在连接的 PC 上启动 EMC View 软件。该软件用于控制频谱分析仪并显示实时测量数据。在 EMC View 中，操作人员通过进入设备菜单并选择相应连接来连接分析仪。连接成功后，加载相关的测试文件。该文件包含 EN 55032 Class B 合规性所需的预设测量参数和法规限值。

开始传导发射测试时，将 LISN 的 Test Line 旋钮从关闭位置转至“0”，从而接通测量信号通路。TekBox TBMR-110M 在每次测试中均于整个 150 kHz 至 30 MHz 范围内同时测量准峰值和平均值检波器。每项结果均与表 1 中相应的准峰值或平均值限值减去适用的工程裕量后的数值比较，并采用附录 A.5 和附录 B 所述的合格/不合格判定准则及判定规则。

在整个测试过程中，EMC View 软件提供合规性的可视化指示，任何不合格项都会在图形下方明确标示。用户可以选择切换测量限值线的显示以提高清晰度，也可通过设备菜单编辑测试报告属性。测试完成后，将图形和轨迹导出至指定文件夹以保存结果，并打印或保存为图像文件以供存档。

关机过程必须谨慎执行以保护设备。首先将 LISN 的 Test Line 旋钮恢复至关闭位置。然后停止直流负载，接着关闭 DUT。这些部件关闭后，其余设备——LISN 和 EMI 接收机

（TekBox TBMR-110M）——可按任意顺序关闭。TekBox TBOH02 无需单独断电。此结构化程序既确保 EMI 测量的准确性，又能保障测试设备的安全和使用寿命。

方法确认与验证

本传导发射测量方法已依据 ISO/IEC 17025:2017 第 7.2.2 条予以验证和确认，以确认其对预期应用的适用性。

方法验证活动包括：

- 确认测量配置、仪器设备、检波器特性、分辨率带宽和频率范围符合 EN 55032 和 IEC/CISPR 16-1-x 的要求。
- 使用已知参考信号和仪器自检功能验证检波器（峰值、平均值、准峰值）实现的正确性。

- 通过在相同测试条件下对具有代表性的电源进行多次测量来评估重复性，证明结果的稳定性处于实验室所声明的测量不确定度范围之内。

方法确认活动包括：

- 评价实验室内部测量的重复性和再现性。
- 比较具有代表性设备的历史测量数据，以确认结果的一致性。
- 技术评审固定的 4 A 直流参考负载（在 12 V 时约为 48 W）和测量参数，以取得电源之间可比较的传导发射结果，并认识到其他负载可能产生不同的发射。

方法验证与确认记录保存于实验室质量体系中。该方法被认为适用于 150 kHz 至 30 MHz 频率范围内的传导发射测量。

结果

合规的 ATX PSU 在所有相关频段内的发射电平必须低于规定限值。这些限值与频率相关，通常随频率升高而降低。结果在 EMC View 软件中以图形显示，其中发射值（以 dBµV 计）相对频谱绘制。图中以红线表示平均值限值、蓝线表示准峰值限值，并在适用时应用工程裕量。每次测试均在整个 150 kHz 至 30 MHz 范围内同时测量准峰值和平均值检波器。每项结果均与表 1 中相应的准峰值或平均值限值减去适用的工程裕量后的数值比较，并采用附录 A.5 和附录 B 所述的合格/不合格判定准则及判定规则。

按照 Intel 设计指南，评价阶段通常应用 4 dBµV 的裕量，以在实测发射电平与法规限值之间提供缓冲区。该裕量考虑了在认证实验室进行正式合规测试时可能出现的测量不确定度、环境变化和重复性差异。例如，若某项发射实测为 44 dBµV，而该频率处的限值为 48 dBµV，则该结果被解释为“以 4 dBµV 裕量通过”。此缓冲区提供了信心：即使测试条件略有变化，产品在更严格的认证环境中仍很可能合规。

图5：以 4 dBµV 裕量通过的示例

若任何发射峰值超出计入 4 dBµV 裕量后的限值，则该项会被标记以供进一步分析。虽然设备在技术上仍可能通过测试，但通常建议优化设计或改进屏蔽以降低发射，尤其是在产品接近量产阶段时。

峰值测量快速，可捕获最高发射电平；平均值测量评价连续噪声电平；准峰值测量通过同时评价发射的强度和出现频率，提供了较为贴近实际的折中结果。每次测试均在整个 150 kHz 至 30 MHz 范围内同时测量准峰值和平均值检波器。每项结果均与表 1 中相应的准峰值或平均值限值减去适用的工程裕量后的数值比较，并采用附录 A.5 和附录 B 所述的合格/不合格判定准则及判定规则。它要求最为严格，因为它更贴近干扰对现实世界无线电和电子系统的影响方式，并且常常是合规性通过/不通过判定的决定性因素。

表 1 给出了传导发射的官方限值 [17]：

EN55032 / CISPR 32	限值 dBµV	
频率范围 (MHz)	**准峰值**	**平均值**
0.15 - 0.50	66 至 56	56 至 46
0.50 - 5	56	46
5 - 30	60	50

表 1：传导发射限值

文件控制

本文件是 Cybenetics Ltd. 质量管理体系内的受控程序。

- 本文件的当前修订状态标示于封面页和修订历史表中。
- 仅可使用最新批准的修订版本开展测试活动。
- 非受控或作废的副本不得用于认可测试。
- 除非另有说明，打印副本均视为非受控文件。

本文件的更改在发布前须按照实验室的文件控制程序由授权人员评审和批准。

结语

传导发射是电磁兼容性测试的重要方面，对于 PC 中所使用的开关模式电源尤为如此。通过遵循 EN 55032 和 CISPR 32 等标准，设计人员和制造商可确保其产品在典型使用环境中不会造成过度干扰。

参考文献

[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/

附录 A – 认证级测试条件（规范性）

A.0 测量设备与仪器

本程序下用于传导发射测量的所有设备均应符合 IEC/CISPR 16-1 系列的适用要求，特别是 IEC/CISPR 16-1-1、IEC/CISPR 16-1-2 以及相关的 IEC/CISPR 16-1-x 部分。设备应适用于 150 kHz 至 30 MHz 频率范围内的测量，并按照实验室质量体系进行操作。

A.1 测试环境与配置

所有传导发射测量均在受控的实验室环境中进行，使用符合 IEC/CISPR 16-1-2 的单相 50 µH / 50 Ω LISN。
LISN 与实验室参考接地平面搭接。测量分别在相线和中性线导体上进行。

测试前须验证环境噪声电平，在整个频率范围内应至少低于适用的 EN 55032 Class B 限值 6 dB。

A.2 测量仪器

A.2.1 测量接收机 / 频谱分析仪

(IEC/CISPR 16-1-1)

传导发射应使用符合 IEC/CISPR 16-1-1 的 EMI 测量接收机或频谱分析仪进行测量。

测量仪器应提供：

- 从 150 kHz 至至少 30 MHz 的频率覆盖范围
- 符合 CISPR 要求的 9 kHz 分辨率带宽（RBW）
- 按照 CISPR 时间常数实现的峰值（PK）、平均值（AVG）和准峰值（QP）检波器
- 50 Ω 输入阻抗
- 足够的动态范围，以避免测量过程中出现过载或压缩

若使用频谱分析仪代替专用 EMI 接收机，应证明并记录其与 IEC/CISPR 16-1-1 功能要求的等效性。

A.2.2 线路阻抗稳定网络（LISN）

(IEC/CISPR 16-1-2)

所有传导发射测量均应使用符合 IEC/CISPR 16-1-2 的线路阻抗稳定网络（LISN）。

LISN 应：

- 提供 50 µH / 50 Ω 的标准化阻抗
- 覆盖 150 kHz 至 30 MHz 的频率范围

- 配备 50 Ω 测量端口
- 在受试设备（EUT）与市电供电之间提供隔离
- 与实验室参考接地平面搭接

除非另有合理说明并形成记录，测量应分别在相线和中性线导体上进行。

A.2.3 射频电缆与辅助组件

(IEC/CISPR 16-1-x)

测量链路中使用的所有射频电缆、衰减器、适配器和辅助组件均应符合 IEC/CISPR 16-1-x 的适用部分。

辅助射频组件应：

- 具有 50 Ω 的特性阻抗
- 在测量频率范围内具有稳定且已知的插入损耗
- 适用于传导发射测量
- 数量应尽可能少，以降低测量不确定度

在适用情况下，与频率相关的损耗应纳入实验室的不确定度评定。

A.2.4 瞬态限制器和高通滤波器

瞬态限制器（TekBox TBFL1 [26]）和 150 kHz 高通滤波器（TekBox TBHPF3-150kHz [27]）连接在 LISN 测量端口与接收机输入端之间。限制器保护接收机输入端免受瞬态信号影响，并将信号衰减约 10 dB。滤波器衰减 150 kHz 以下的频段，否则 PSU 开关频率处的强发射可能会使接收机过载并干扰 150 kHz 至 30 MHz 范围内的测量。

两款设备在 150 kHz 至 30 MHz 范围内的插入损耗（在校准时测得）应包含在测试软件应用的校正因子中，以确保报告的电平为 LISN 测量端口处的电平。其校准不确定度已包含在测量不确定度预算中（附录 C）。

由于滤波器从测量链中移除了 150 kHz 以下的频段，本程序不评估 150 kHz 以下的发射。

A.3 负载条件的合理性说明

每台电源在传导发射测试期间均施加固定的 4 A 直流参考负载（在 12 V 时约为 48 W），使不同电源的结果可相互比较。
此参考负载使电源的开关级保持工作。

其他负载可能产生不同的传导发射；固定参考负载并不表示其为最坏情况条件。

除 PSU 以外的受试设备不以此方式加载；其运行条件见 A.7（除 PSU 以外的受试设备）。

A.4 测量参数

测量在 150 kHz 至 30 MHz 频率范围内进行，并按照 CISPR 16-2-1:2014+AMD1:2017 [24] 使用 9 kHz RBW。

峰值和平均值测量可采用连续扫描模式进行。
准峰值测量采用步进频率扫描进行，并保留足够的驻留时间以使检波器稳定。

A.5 合格 / 不合格判据

根据 Intel ATX v3.x 规范，若所有实测发射电平在应用 4 dBµV 工程裕量后仍低于适用的 EN 55032 Class B 限值，则受试设备（DUT）被视为合规。此规定仅适用于 ATX v3.x 测试。

每次测试均必须在整个 150 kHz 至 30 MHz 范围内同时测量准峰值和平均值检波器。每项结果均必须与表 1 中相应的准峰值或平均值限值减去适用的工程裕量后的数值比较。未能满足适用的检波器限值即构成不合规结果。

当传导发射测量在实验室认可范围内进行时，与 EN 55032 Class B 限值的符合性依据实验室批准的判定规则，并基于所声明的扩展测量不确定度进行评价。

本程序中所提及的工程裕量用于内部评价和预合规评估。认可范围下的正式符合性声明仅按照实验室判定规则和适用的不确定度预算出具。

A.6 校准、验证与溯源

所有关键测量设备，包括 EMI 接收机、LISN 和适用的射频组件，均应按规定的间隔进行校准，并溯源至国家或国际标准。

测试前应进行功能验证，包括：

- 仪器自检
- LISN 搭接与连续性检查
- 瞬态限制器和高通滤波器连接在测量链中，其校正因子在测试软件中处于激活状态
- 环境噪声验证

超出规定容差的设备不得用于合规或预合规测量。

本附录规定的设备和配置确保符合 IEC/CISPR 16-1-1、IEC/CISPR 16-1-2 及适用的 IEC/CISPR 16-1-x 部分对仪器设备的要求，适用于按照 EN 55032 / CISPR 32 进行的传导发射测试。

A.7 除 PSU 以外的受试设备

本程序也适用于除 PSU 以外的多媒体设备，如外部电源和充电器、电视机、显示器和个人电脑。对于此类设备，本节中的运行条件取代 A.3 中描述的固定直流参考负载。本附录的其他所有要求同样适用，保持不变。

A.7.1 运行模式

根据 EN 55032 附录 B [18]，使用峰值检波器预扫描检查设备的几种代表性运行模式，包括低功耗或待机模式。产生最高发射的模式用于最终的准峰值和平均值测量。
所有端口（包括扬声器和显示器）均以符合并代表正常使用的方式运行。

A.7.2 布置

设备及其运行所需的任何辅助设备均按照典型使用方式布置，作为台式或落地式设备，遵循 EN 55032 附录 D [18]。在预扫描期间，在电缆的正常放置范围内改变其位置，以找到发射最高的布置。最终测量采用典型布置进行。

A.7.3 负载和测试信号

- 外部电源和充电器：输出端使用 TekBox TBOH02 自供电有源负载 [13] 加载，当输出超过 25 W 时使用其风扇附件，或使用电阻负载。预扫描在空载和额定输出电流下进行，产生最高发射的负载用于最终测量。USB 充电器通过 USB 分线适配器连接。具有多种输出电压的充电器（例如 USB Power Delivery）使用 USB Power Delivery 触发器设置为每个电压，并在预扫描中产生最高发射的电压下进行测试。
- 电视机：电视机显示带有小移动元素的标准彩条（EN 55032 表 B.1 中最复杂的图像），例如 ITU-R 建议书 BT.471-1 [25] 的 100/0/75/0 彩条，从连接到视频输入的视频源或电视机自身的媒体播放器播放。不测试广播接收模式（例如 DVB-T2、DVB-C 或 DVB-S2）；测试报告将此记录为对 EN 55032 附录 B 的偏离。声音由 1 kHz 正弦信号以代表正常使用的电平再现。
- 显示器：显示器由计算机驱动，以其最高有效分辨率、刷新率和色深运行，并显示带有移动元素的相同彩条图像。亮度、对比度和颜色保持出厂默认设置。
- 个人电脑：计算机运行代表性工作负载，同时其显示输出采用上文针对显示器给出的设置，显示带有移动元素的彩条图像。其网络端口已连接并传输流量，并连接典型使用的外设。

A.7.4 测试报告

测试报告说明运行模式、施加的负载或测试信号、使用的图像和显示设置以及布置，并附有设置照片。对 EN 55032 附录 B 的任何偏离（例如不同的图像或信号电平）均记录在报告中并说明理由。

附录 B – 测量不确定度与不符合性免责声明

B.1 测量不确定度

传导发射测量存在固有的测量不确定度，其来源包括仪器容差、LISN 阻抗变化、电缆布置、接地、环境噪声以及重复性效应。虽然本程序遵循 CISPR 16 和 EN 55032 的推荐做法，但测试过程中获得的数值结果仅代表在规定测试条件下真实发射电平的最佳估计值。

对于在实验室 ISO/IEC 17025 认可范围内进行的测量，适用附录 C 中所述的扩展测量不确定度，并按照实验室判定规则使用。本程序其他部分提及的 4 dBµV 工程裕量仅为预合规筛查的辅助手段；它不能替代不确定度预算，且不适用于认可结果。

B.2 不符合性与免责声明

使用本程序获得的结果可用于内部工程评价、预合规评估，以及在 Cybenetics Ltd. 的 ISO/IEC 17025 认可范围内进行的认可测试活动。仅当所有测量均在实验室认可范围、批准的不确定度预算和受控质量体系下进行时，方可出具正式的符合性声明。

当测量在认可范围之外进行时，结果应仅视为工程数据。对于基于非认可测试结果做出的法规决定，Cybenetics Ltd. 不承担任何责任。

附录 C – 测量不确定度预算（认可）

Cybenetics Ltd. 采用的传导发射测量不确定度源自内部不确定度预算工作表 P19-F03 EMI (22-04-2026) 及相应的评定报告 P19-F01 (10-05-2026)，其编制依据 ISO/IEC 17025 和 CISPR 16 的原则。合成标准不确定度为 uc = 1.18 dB。

对于在 150 kHz 至 30 MHz 频率范围内以 dBµV 表示的传导发射测量，扩展测量不确定度评定为：

扩展测量不确定度（U，k=2）：±2.35 dB

该扩展不确定度对应约 95% 的置信水平。当测试在实验室认可范围内进行时，应按照实验室判定规则应用该不确定度值。