

电磁兼容 (EMC) 详解上-电磁干扰 (EMI)

引言

电磁兼容性 (EMC, 即 Electromagnetic Compatibility) 是指设备或系统在其电磁环境中符合要求运行并不对其环境中的任何设备产生无法忍受的电磁骚扰的能力。包括两个方面：电磁干扰(Electromagnetic Interference)和电磁敏感性(Electromagnetic Susceptibility)。EMI 测试主要评估电子设备在运行过程中产生的电磁干扰是否在标准允许范围内。

电磁干扰 (EMI)

EMI 测试的核心概念与重要性

传导干扰测试 (CE) 与辐射干扰测试 (RE) 是 EMI 测试中最基本、最强制性的两部分，是绝大多数电子设备都必须进行的测试。

测试目的：传导干扰测试与辐射干扰测试能够帮助工程师发现产品设计中潜在的电磁干扰问题，确保设备在正常工作时不会产生过量的传导噪声。通过测试可以准确定位设备内部产生电磁干扰的电路或元件；指导工程师改进滤波电路、屏蔽措施和接地设计；减少设备自身产生的干扰对内部电路的影响，提高工作稳定性。同时，在设计阶段发现问题能够有效减少整改成本，缩短开发周期，加快市场推进进程。

传导干扰测试与辐射干扰测试作为 EMC 测试的基础项目，其意义不仅在于满足法规要求，更是企业提升产品质量、降低成本和增强市场竞争力的重要手段。通过专业的测试和整改，可以确保产品在复杂的电磁环境中稳定可靠地工作，为用户提供更好的使用体验。

一些常见的需要进行 EMI 测试的设备：

信息技术设备：如计算机、显示器、打印机等办公设备；

家用电器：如微波炉、空调、洗衣机等；

工业设备：如变频器、伺服驱动器、PLC 控制系统等；

医疗电子设备：如监护仪、超声诊断设备等；

无线通信设备：如手机、路由器、蓝牙设备等；

汽车电子系统：如车载娱乐系统、ADAS 系统等；

照明设备：特别是 LED 灯具的磁场辐射；

大型工业设备：如雷达系统、高频加热设备等。

EMI 核心测试项目

1. 传导干扰测试 (CE)

测试含义：评估电子设备通过电源线、信号线等传导途径产生的电磁干扰水平。

测试对象：主要针对设备的交流或直流电源端口。

测试设备：EMI 接收机或频谱分析仪、人工电源网络(AMN)或线路阻抗稳定网络(LISN)、限幅器、隔离变压器等辅助设备。

测试环境：测试必须在电波暗室或开阔试验场中进行，以排除环境电磁波的干扰。

2. 辐射干扰测试 (RE)

测试含义：评估电子设备通过空间传播的电磁辐射水平。

测试对象：主要针对设备的开关电源电路、高速接口电路 (USB、HDMI、以太网等)、连接线缆、机械结构 (机箱缝隙、散热片、支架等)、特殊功能模块 (无线通信模块、电机驱动电路、显示屏等)。

测试频段：辐射干扰测试的基础频段为 30MHz~1GHz，在汽车电子领域，辐射测试可能要求覆盖更宽的频段(如 150kHz~6GHz)，以应对复杂的车载电磁环境。测试距离通常为 3 米或 10 米，特殊情况下可采用 1 米进行预测试。

测试设备：EMI 接收机或频谱分析仪、射频天线 (30MHz~200MHz：双锥天线；200MHz~1GHz：对数周期天线；1GHz 以上：喇叭天线。)、功率吸收钳等设备。

测试环境：测试应在屏蔽室内进行，环境噪声应比标准限值至少低 6dB。

EMI 其他测试项目

1. 谐波电流测试 (Harmonics)

测试含义：测量被测设备从电网吸取的电流波形失真程度，即其向电网注入的谐波电流的大小。

测试目的：谐波电流可能导致电网中的电气设备过热、产生振动和噪声，加速绝缘老化，缩短使用寿命，甚至引发故障或烧毁。同时，谐波还可能引起电力系统局部并联谐振或串联谐振，放大谐波含量，造成电容器等设备烧毁。此外，谐波电流会降低电能的生产、传输和利用效率，影响电网的供电质量。严重时，还可能引起继电保护和自动装置误动作，导致电能计量混乱。

测试对象：主要针对电子电气设备的开关电源、变频驱动电路、整流电路、电机驱动电路、无线通信模块等部件。

主要测试方法：

低通滤波器滤波(LPF)法：通过低通滤波器得出基波电流分量，然后与被检测电流相减，最终得出谐波电流分量。

高通滤波器(HPF)法：直接使用高通滤波器来得到谐波电流分量，简化了检测装置。

傅里叶变换法(FFT)：将非正弦波信号分解为多个不同频率的正弦波分量，从而提取各次谐波的幅值和相位。

测试设备：电能质量分析仪、谐波分析仪、示波器等。

测试环境：测试应在屏蔽室内进行，环境噪声应比标准限值至少低 6dB。

2. 电压闪烁测试 (Flicker)

测试含义：测量被测设备功率变化对电网电压造成的波动和闪烁影响。

测试目的：电压闪烁测试的核心目的是评估设备引起的电网电压波动对人眼视觉的影响，通过量化分析光闪烁的严重程度。电压波动会导致照明设备出现人眼可察觉的闪烁，长期暴露可能引发视觉疲劳、头痛等健康问题。同时，确保设备不会对同一电网下的其他敏感设备造成干扰，避免因电压波动导致精密仪器误动作或寿命缩短。

测试对象：主要针对电子电气设备的开关电源、整流电路、电机驱动电路、无线通信模块、连接线缆等部件。

测试设备：IEC 闪变仪、功率分析仪等。

测试环境：测试应在屏蔽室内进行，环境噪声应比标准限值至少低 6dB。

电压波动测量：电压波动可通过电压方均根值曲线 $U_{(t)}$ 来描述，电压方均根值是交流电的有效值，表示与直流电产生相同热效应的等效电压值。电压变动 d 和电压变动频度 r 是衡量电压波动大小和快慢的指标。

电压变动 d 的定义表达式为：

$$d = \frac{\Delta U}{U_N} \times 100\%$$

式中： ΔU 电压方均根值曲线上相邻两个极值电压之差， U_N 系统标准电压。

测试步骤：将闪烁测试仪和传感器连接至设备的交流电源输入或输出端，通过电压方均根值曲线 $U_{(t)}$ 描述，计算电压变动 d 和电压变动频度 r ，使用 IEC 闪变仪模拟灯-眼-脑环节对电压波动的反应，测量结果与标准限值比较，判断是否通过。

总结

EMI 测试的核心价值在于确保电子设备在复杂电磁环境中既能正常工作，又不会对其他设备产生过量干扰。随着电子设备日益普及和电磁环境日趋复杂，EMI 测试已成为产品研发和质量控制中不可或缺的环节。