

强制性产品认证、设备的电磁兼容性要求及测试要点

钱振宇

一. 强制性产品认证中的电磁兼容问题

1.1 强制性产品认证中的电磁兼容问题

为适应我国加入世贸组织的需要，促进我国市场经济和对外贸易的发展，我国政府在2001年成立了国家认证认可监督管理委员会，接着又制定了新的国家强制性产品认证制度，并于2001年12月3日颁布了《第一批实施强制性产品认证的产品目录》（当时正值我国正式加入世贸组织的前夕）。

在《第一批实施强制性产品认证的产品目录》中，共涉及9个行业、19大类（包括电线电缆、电路开关及保护或连接用电器装置、低压电器、小功率电动机、电动工具、电焊机、家用和类似用途设备、音视频类设备、信息技术设备、照明设备、电信终端设备、机动车辆及安全附件、机动车辆轮胎、安全玻璃、农机产品、乳胶制品、医疗器械产品、消防产品、安全技术防范产品）、共计132种产品。

在所有的19大类产品中，除少数明显与电技术无关外（如机动车辆轮胎、安全玻璃和乳胶制品等），多数都有电气安全要求，还有相当多的产品涉及了电磁兼容问题。

1.2 电磁兼容的定义

国家标准GB/T4765-1995《电磁兼容术语》对“电磁兼容”的定义是：

“设备或系统在其电磁环境中能正常工作，且不对该环境中的任何事物构成不能承受的电磁骚扰的能力”。

从字面理解看，设备的电磁兼容性包含了两方面的意思：首先，设备要有一定的抗干扰能力，使其在电磁环境中能够正常工作；其次，设备工作中自身产生的电磁骚扰应抑制在一定水平下，不能对同处于一个电磁环境中的任何事物构成不能承受的电磁骚扰。

定义中的“事物”既包含同一电磁环境中的其他设备和系统，事实上还泛指生活在同一电磁环境中的人、动物和植物。亦即，设备产生的电磁骚扰也不能给人、动物和植物带来危害。由此可见，产品的电磁兼容除了要保证产品本身的可靠外，还对于保护生态环境和国家安全起着积极作用。

1.3电磁兼容标准的属性

国家标准化法规定：

“国家标准、行业标准分强制性标准和推荐性标准。保障人体健康，人身、财产安全的标准，和法律、行政法规所规定强制执行的标准是强制性标准，其他标准是推荐性标准。”

“强制性标准必须执行。不符合强制性标准的产品，禁止生产、销售和进口。”

所以，与产品相关的电磁兼容标准大都是强制性的国家标准和行业标准，必须认真贯彻执行。在强制性认证中，凡是有电磁兼容要求的产品，都必须进行电磁兼容性的检验。

二.基本名词术语解释

2.1 电磁环境

Electromagnetic Environment

存在于给定场所的所有电磁现象的总和。

“给定场所”即在给定的空间或环境中，“所有电磁现象”是包括了在这个空间或环境当中，在任何时候所遇到任何电磁现象。

2.2 电磁骚扰

Electromagnetic Disturbance

任何可能引起装置、设备或系统性能降低或者对有生命或无生命物质产生损害作用的电磁现象。

“电磁骚扰”包括了电磁噪声、无用信号或者传播媒介自身的变化。

2.3 电磁干扰

Electro-Magnetic Interference (EMI)

电磁骚扰引起的装置、设备或系统性能降低。

从上面两个术语来看，“骚扰”与“干扰”是有明确区别的：电磁骚扰仅仅是一种电磁现象，它可能引起装置、设备或系统的性能降级或损害，但不一定已经造成了后果。而电磁干扰则是由电磁骚扰引起的直接结果。由此可见，“骚扰”与“干扰”分别是造成性能降级的原因和后果，两者不能混为一谈。在过去这两个名词并没有赋予明确的、概念上的区分，只是进入90年代，国际电工委员会（IEC）才明确引入disturbance一词，与过去沿用的interference分开。

2.4 电磁兼容性

Electro-Magnetic Compatibility (EMC)

前面已解释过，这里不重复。

2.5 (电磁) 发射

(Electromagnetic) Emission

从源向外发出电磁能的现象。

电磁兼容中的发射包含传导和辐射两种发射，而且电磁兼容中的发射常常是无意发射，由一些原来做其他用途的部件（如电线、电缆等等）担当了发射的角色。

2.6 (性能) 降低

Degradation (of Performance)

装置、设备或系统的工作性能与正常性能的非期望偏离。

“性能降低”包含短时故障或永久性故障。但是“非期望偏离”是指装置、设备或系统的性能朝着坏的方向偏离，但是这种偏离并不意味着一是被使用者觉察。例如装置、设备或系统受干扰后的接收灵敏度降低，在强信号作用下并不一定体现出来，但也应当视为性能降低。

2.7（对骚扰的）抗扰度

Immunity（to a Disturbance）

在存在电磁骚扰的情况下，装置、设备或系统具有不降低其运行性能的能力。

2.8（电磁）敏感性

Electro-Magnetic Susceptibility（EMS）

在存在电磁骚扰的情况下，装置、设备或系统没有不降低其运行性能的能力。

敏感性即缺乏抗扰度。

无论抗扰度还是敏感性都是反应装置、设备或系统的抗干扰能力，仅仅是两者观察的角度不同而已。在军标体系中常用敏感性这一术语；而在民标体系中惯用抗扰度一词。

2.9 (骚扰源的) 发射电平

Emission Level (of a Disturbance Source)

用规定方法测得的由特定装置、设备或系统发射的某给定电磁骚扰的水平。

这里“特定装置、设备或系统”实际上是指“某一个”的意思。“某给定电磁骚扰”指的是某种电磁现象的量，例如，功率、电压、场强等等，也包括频率在内。

2.10 (来自骚扰源的) 发射限值

Emission Limit (from a Disturbance Source)

容许的最大发射电平。

限值是人为制定的一个电平，常由产品或产品族标准给出。在规定限值时通常都要规定相应的测试方法。

2.11 抗扰度电平

Immunity Level

用规定的方法注入在特定装置、设备或系统上不会出现运行性能降低的某给定电磁骚扰的最大电平。

2.12 抗扰度限值

Immunity limit

要求的最小抗扰度电平。
“限值”是人为指定的参数。

2.13 发射裕量

Emission Margin

电磁兼容电平与发射限值的差值。

2.14 抗扰度裕量

Immunity Margin

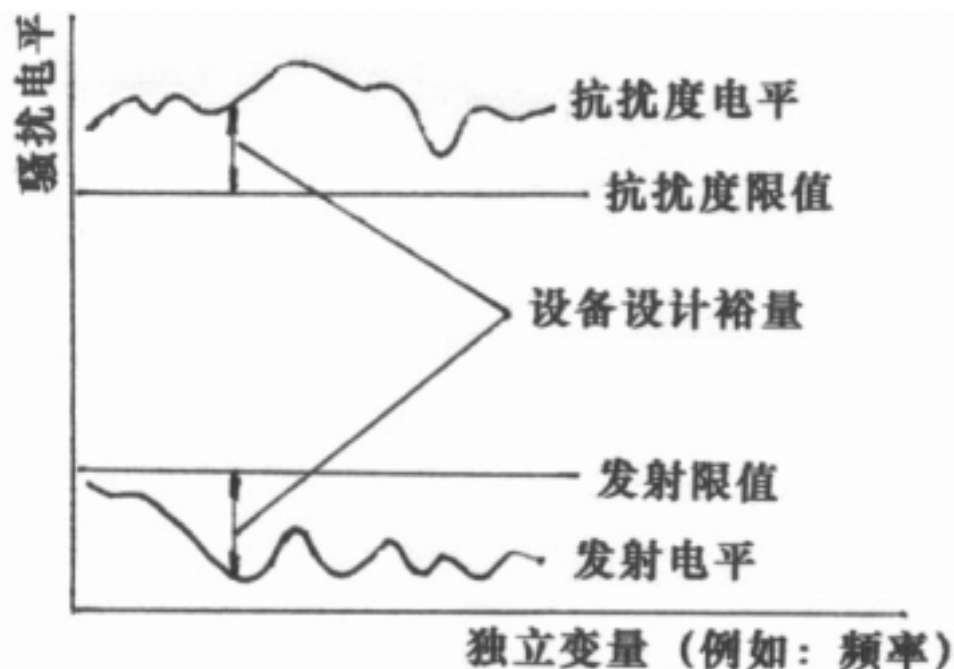
抗扰度限值与电磁兼容电平的差值。

2.15 (电磁) 兼容裕量

(Electromagnetic) Compatibility Margin

装置、设备或系统的抗扰度限值与骚扰源的发射限值之间的差值。

下图给出了它们之间的关系。



三.电磁兼容测试标准的标准体系及通过通用标准看电子电气产品对电磁兼容性测量的要求

根据不同电磁兼容标准在电磁兼容测试中的不同地位，电磁兼容标准（体系）可分为四级，分别是：

基础标准；

通用标准；

产品族标准；

专用产品标准。

3.1基础标准

基础标准不涉及具体的产品，仅就现象、环境、试验方法、试验仪器和基本试验配置等给出定义及详细描述。这类标准不给出指令性的限值，以及对产品性能的直接判据，但它是编制其他各级电磁兼容标准的基础。

属于基础标准范围内的标准例子有：GB4365《电磁兼容术语》；

GB/T6113《无线电骚扰和抗扰度测量设备规范》；

GB/T6113.2《无线电骚扰和抗扰度测量设备规范和测量方法 第二部分：骚扰和抗扰度测量方法》；

以及GB/T17626有关产品抗扰度测量的系列标准等。

3.2通用标准

通用标准给通用环境中的所有产品提出一系列最低的电磁兼容性要求（包括必须进行的测试项目和必须达到的测试要求）。通用标准中提到的测试项目及其试验方法可以在相应的基础标准中找到，而无须在通用标准中作任何介绍。通用标准给出的试验环境、试验要求可以成为产品族标准和专用产品标准的编制导则。同时对于暂时尚未建立电磁兼容性测试标准的产品，可以参照通用标准来进行其电磁兼容性性能的摸底。

3.3产品族标准

这是根据特定产品类别而制定的电磁兼容性能的测试标准。它包含产品的电磁骚扰发射和产品的抗扰度要求的两方面内容。产品族标准中所规定的试验内容及限值应与通用标准相一致，但与通用标准相比较，产品族标准根据产品的特殊性，在试验内容的选择、限值及性能的判据等方面有一定特殊性（如增加试验的项目和提高试验的限值）。

产品族标准是电磁兼容性标准中占据份额最多的一类标准。如GB4343、GB17743、GB9254、GB4824和GB13837分别是关于家用电器和电动工具、照明灯具、信息技术设备、工科医射频设备、声音和广播电视接收设备的无线电骚扰特性测量及限值的标准，这些标准分别代表了一个大类产品对电磁骚扰发射限度的要求。

3.4 专用产品标准

专用产品标准通常不单独形成电磁兼容标准，而以专门条款包含在产品的通用技术条件中。专用产品标准对电磁兼容的要求与相应的产品族标准相一致，在考虑了产品的特殊性之后，也可增加试验项目和对电磁兼容性能要求作某些改变。与产品族标准相比，专用产品标准对电磁兼容性的要求更加明确，而且还增加了对产品性能试验的判据。对试验方法，应由试验人员参照相应基础标准进行。

3.5 通用标准在电磁兼容标准体系中的地位

前面已经讲过：通用标准是针对通用的环境条件对所有产品提出的一系列最低的电磁兼容性要求（包括必须进行的测试项目和必须达到的测试要求）。

通用标准把环境分成两类：一类是住宅、商业和轻工业环境（包含的场所有：居民住宅区，如高层和多层的民居；商业场所，如商店和超市；事务场所，如办公楼和银行；公共娱乐场所，如影院、酒吧和舞厅；户外公共场所，如加油站、停车场、娱乐场和运动中心；轻工业部门，如车间、实验室和服务中心等）。另一类是工业场所（包含的场所有：工科医的射频设备；需要经常切换的大电感和大电容负载的场所；有非常大的电流流过，及因此而伴生很强的电磁场的环境等等）。

通用标准认定凡直接从公共电网以低压供电的场所属于住宅、商业和轻工业环境。

产品的电磁兼容性包含了对产品本身工作时的电磁发射水平，以及产品的抗扰度两项要求。因此产品的电磁兼容测试标准同样有产品本身的电磁发射限值及抗扰度能力两个不同性质的标准。

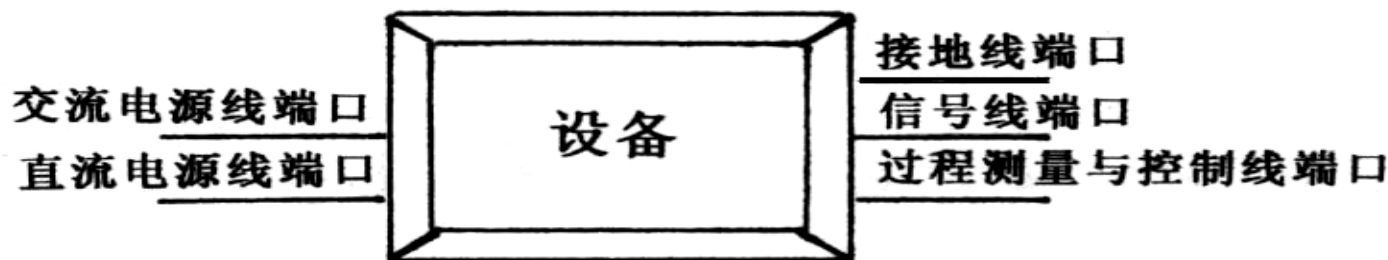
考虑到通用标准把所有电气和电子产品的工作环境划分为住宅、商业、轻工业与工业两个典型环境，因此通用标准实际上有四个分标准，为GB/T17799.1《电磁兼容 通用标准 住宅、商业和轻工业环境中的抗扰度试验》；GB/T17799.2《电磁兼容 通用标准 工业环境中的抗扰度试验》；GB/T17799.3《电磁兼容 通用标准 住宅、商业和轻工业环境的发射标准》和GB/T117799.4《电磁兼容 通用标准 工业环境的发射标准》。它们与国际标准IEC61000-6-1~IEC61000-6-4分别等同。

总之，通用标准描述的环境覆盖了几乎所有民用电气和电子产品的工作环境，因此，通用标准中所提出的试验项目和限值将适用于绝大多数民用电气和电子产品对电磁兼容性的最基本要求。所以我们通过了解通用标准也就了解了绝大多数电气和电子产品对电磁兼容的最基本要求。这样，通用标准在电磁兼容标准体系中的重要地位也就不言而喻了。

3.6 通用的电磁骚扰发射标准

3.6.1 试验端口的概念

所谓端口是指产品的电磁骚扰可能发射的部位（见图所示），分别指机壳、交流电源线、直流电源线、接地线、信号线和过程控制线。就一个具体的电气和电子产品言，不一定包含所有的电磁骚扰发射端口，所以试验应按实际情况进行之。



3.6.2 各试验端口的电磁骚扰发射限值

有关各试验端口的电磁骚扰发射限值，参见下表所示。

环境	序号	端口名称	频率范围	限值	相应的基础标准
住宅、商业和轻工业环境下的骚扰发射限值 GB/T 17799.3	1.1	机壳	30-230MHz 230-1000MHz	在10m处30dB ($\mu\text{V}/\text{m}$) 准峰值 在10m处37dB ($\mu\text{V}/\text{m}$) 准峰值	CISPR22 B级
	1.2	交流电源线	0-2kHz		IEC61000-3-2 IEC61000-3-3
			0.15-0.5MHz 限值随频率的对数线性降低	66-56dB (μV) 准峰值 56-46dB (μV) 平均值	
			0.5-5MHz	56dB (μV) 准峰值 46dB (μV) 平均值	
			5-30MHz	60dB (μV) 准峰值 50dB (μV) 平均值	
			0.15-30MHz	见基础标准断续干扰一节	CISPR14
	1.3	信号、控制、直流输入、直流电源输出等	0.15-0.5MHz 限值随频率的对数线性降低	40-30dB (μA) 准峰值 30-20dB (μA) 平均值	CISPR22修订版 B级
			0.5-30MHz	30dB (μA) 准峰值 20dB (μA) 平均值	

(续上表)

环境	序号	端口名称	频率范围	限值	相应的基础标准
工业环境下的电磁骚扰发射限值 GB/T 17799.4	2.1	机壳	30-230MHz 230-1000MHz	在30m处30dB ($\mu\text{V}/\text{m}$) 准峰值 在30m处37dB ($\mu\text{V}/\text{m}$) 准峰值	CISPR11
	2.2	交流电源线	0.15-0.5MHz	79dB (μV) 准峰值 66dB (μV) 平均值	CISPR11
			0.5-5MHz	73dB (μV) 准峰值 60dB (μV) 平均值	
			5-30MHz	73dB (μV) 准峰值 60dB (μV) 平均值	
	2.3	交流电源线输入端	0-2kHz	在考虑中	IEC61000-3-2 IEC61000-3-3
	2.4	信号、控制、直流电源输入、直流电源输出、交流电源输出等	0.15-0.5MHz	涉及在改版中的基础标准	在考虑中
0.5-30MHz			涉及在改版中的基础标准		

3.6.3 试验中的注意事项

试验应在产品正常使用情况下，以能产生最大电磁骚扰发射的工作方式进行。试验中还要适当地改变试品的布局，以便使骚扰发射为最大。

试验应将试验中用到的试验仪器、试验方法、试验配置和试验布局等明确记录在案，以备试验能重复进行，试验结果可以追溯。

如果试品只是系统的一部分，或者可能还要连接辅助设备方能体现其功能时，则试品就应当连接所必需的最少辅助设备，并用GB9254标准中所描述的方法来检查端口。对于辅助设备的连接情况应当记录在案。

如果试品有许多类似的试验端口，或接法类似的端口，那么应当选择其中足够数量的端口，或接法类似的端口，但要保证这种选择能够覆盖所有不同类型的端口。试验中应将端口选择情况记录在案。

除非另有说明，试验应在额定电压和规定工作条件下进行。

3.7 通用的抗扰度标准

3.7.1 试验端口

所谓端口是指产品可能感受干扰的部位，与通用的电磁骚扰发射标准中的端口概念相类似，也是指机壳、交流电源线、直流电源线、接地线、信号线和测量与控制线。对一个电气和电子产品来说，有可能只包含其中的一部分，故试验应按实际情况来进行。

3.7.2 各试验端口的抗扰度要求

有关各试验端口的抗扰度要求，参见下表所示。

试验部位	序号	试验项目	试验要求		相应的基础标准
			GB/T17799.1	GB/T17799.2	
设备外壳端口	1.1	工频磁场	50/60Hz 3A/m， 均方根值	50Hz 30A/m， 均方根值	IEC61000-4-8
	1.2	辐射电磁场 (调幅)	80-1000MHz， 3V/m，未调制时的均 方根值 1kHz，80%调幅	80-1000MHz 10V/m，未调制时的 均方根值 1kHz，80%调幅	IEC61000-4-3
	1.3	辐射电磁场 (键控)	900 ± 5MHz 3V/m，未调制时的均 方根值 200Hz，重复频率 50%，占空比	900 ± 5MHz 10V/m，未调制时的 均方根值 200Hz，重复频率 50%，占空比	ENV50204
	1.4	静电放电	± 4kV，接触放电 ± 8kV，空气放电	± 4kV，接触放电 ± 8kV，空气放电	IEC61000-4-2

(未完，待续)

(续上表)

试验部位	序号	试验项目	试验要求		相应的基础标准
			GB/T17799.1	GB/T17799.2	
信号线和控制线端口	2.1	射频传导，共模调幅	0.15-80MHz 3V，未调制时的均方根值 1kHz，80%调幅 150 Ω ，源阻抗	0.15-80MHz 10V，未调制时的均方根值 1kHz，80%调幅 150 Ω ，源阻抗	IEC61000-4-6
	2.2	电快速瞬变脉冲群	$\pm 0.5kV$ ，充电电压 5/50ns，前沿/半峰 5kHz，重复频率	$\pm 1kV$ ，充电电压 5/50ns，前沿/半峰 5kHz，重复频率	IEC61000-4-4
	2.3	工频共模		50Hz 10V，均方根值，电动势 推荐今后使用，但数据可能有适当修改	IEC TC77 委员会在考虑中

(未完，待续)

(续上表)

试验部位	序号	试验项目	试验要求		相应的基础标准
			GB/T17799.1	GB/T17799.2	
过程 测量 和控制 线及长 距离总 线和控 制端	3.1	射频传导， 共模调幅		0.15-80MHz 10V，未调制时的均 方根值 1kHz，80%调幅 150，源阻抗	IEC61000-4-6
	3.2	电快速瞬 变脉冲群		±2kV，充电电压 5/50ns，前沿/半峰 5kHz，重复频率	IEC61000-4-4
	3.3	工频共模		50Hz 20V，均方根值，电 动势 推荐在今后使用， 但数据可能有适当 修改	IEC TC77 委员会在考虑中
	3.4	浪涌 线-地 线-线		1.2/50 (8/20) μs， 前沿/半峰 2kV 1kV	IEC61000-4-5

(未完，待续)

(续上表)

试验部位	序号	试验项目	试验要求		相应的基础标准
			GB/T17799.1	GB/T17799.2	
接地线端口	4.1	射频传导，共模调幅	0.15-80MHz 3V，未调制时的均方根值 1kHz，80%调幅 150 Ω ，源阻抗	0.15-80MHz 10V，未调制时的均方根值 1kHz，80%调幅 150 Ω ，源阻抗	IEC61000-4-6
	4.2	电快速瞬变脉冲群	$\pm 0.5\text{kV}$ ，充电电压 5/50ns，前沿/半峰 5kHz，重复频率		IEC61000-4-4

(未完，待续)

(续上表)

试验部位	序号	试验项目	试验要求		相应的基础标准
			GB/T17799.1	GB/T17799.2	
直流输入和输出源端口的抗干扰试验	5.1	射频传导，共模调幅	0.15-80MHz 3V，未调制时的均方根值 1kHz，80%调幅 150，源阻抗	0.15-80MHz 10V，未调制时的均方根值 1kHz，80%调幅 150，源阻抗	IEC61000-4-6
	5.2	浪涌 线-地 线-线	1.2/50 (8/20) μ s， 前沿/半峰 ± 0.5 kV ± 0.5 kV	推荐在今后使用，但数据可能有适当修改 1.2/50 (8/20) μ s， 前沿/半峰 ± 0.5 kV ± 0.5 kV	IEC61000-4-5
	5.3	电快速瞬变脉冲群	± 0.5 kV，充电电压 5/50ns，前沿/半峰 5kHz，重复频率	± 2 kV，充电电压 5/50ns，前沿/半峰 5kHz，重复频率	IEC61000-4-4
	5.4	电压跌落		推荐在今后使用，但数据可能有适当修改 100%降低，50ms	IEC61000-4-11
				60%降低，100ms	
5.5	电压波动		推荐在今后使用，但数据可能有适当修改 U标称 + 20% U标称 - 20%	IEC TC77 委员委在考虑中	

(未完，待续)

(续上表)

试验部位	序号	试验项目	试验要求		相应的基础标准
			GB/T17799.1	GB/T17799.2	
交流输入输出源端口抗度试验	6.1	射频传导，共模调幅	0.15-80MHz 3V，未调制时的均方根值 1kHz，80%调幅 150，源阻抗	0.15-80MHz 10V，未调制时的均方根值 1kHz，80%调幅 150，源阻抗	IEC61000-4-6
	6.2	电压跌落	30%降低 5周波	推荐在今后使用，但数据可能有适当修改 30%降低 5周波	IEC61000-4-11
			60%降低 0.5周波	60%降低 0.5周波	
	6.3	电压中断	>95%降低 250周波	推荐在今后使用，但数据可能有适当修改 >95%降低 250周波	IEC61000-4-11

(未完，待续)

(续上表)

试验部位	序号	试验项目	试验要求		相应的基础标准
			GB/T17799.1	GB/T17799.2	
交流输入和输出电源端口抗度试验	6.4	浪涌 线-地 线-线	1.2/50 (8/20) μ s, 前沿/半峰 ± 2 kV ± 1 kV	推荐在今后使用, 但数据可能有适当修改 1.2/50 (8/20) μ s, 前沿/半峰 ± 4 kV ± 4 kV	IEC61000-4-5
	6.5	电快速瞬变脉冲群	± 1 kV, 充电电压 5/50ns, 前沿/半峰 5kHz, 重复频率	± 2 Kv, 充电电压 5/50ns, 前沿/半峰 5kHz, 重复频率	IEC61000-4-4
	6.6	电压波动		推荐在今后使用, 但数据可能有适当修改 U标称 + 10% U标称 - 10%	IEC TC77 委员会在考虑中

(完)

3.7.3 试验中的注意事项

试品应按实际使用中，以对于干扰最敏感的工作模式下进行试验。试验中还要适当改变布局以求达到最大敏感度。

试验中应将试验配置、试品的工作方式及试验的布局等情况明确记录在案，以便必要时可以重现及对比试验结果。

如果试品有许多类似的端口，或接法类似的端口，则试验应当选择足够数量的端口来模拟实际工作情况，并保证能覆盖各种不同类型的端口。但对端口的选择情况要记录在案。

如果在被试产品的用户手册中规定了试品所需的外部保护装置（或保护措施），那么试品就应当在有保护的情况下进行试验。

除非另有说明，试验应在额定电压和规定的工作条件下进行。

3.7.4 试品性能的评定准则

尽管通用抗扰度标准几乎涉及了所有的民用电气和电子产品，但是试验结果总不外乎是以下几种：

情况A：试品在试验中和试验后都能正常工作，无性能下降和低于制造商规定的性能等级现象发生。

情况B：试品在试验后可以正常工作，且无性能下降和低于制造商所规定的性能等级现象发生。

情况C：允许试品有暂时性的性能降低，只要这种功能是通过控制操作、人工复位，甚至是关机后恢复的。

显然上述情况对产品要求是不同的，情况A为最高；情况C为最低。对于具体的产品究竟应该认为上述哪一种情况是合格的（所谓试品性能的评定准则），应由相应的产品标准或产品制造商给出，在通用标准则无法直接给出。

3.8小结

针对不同的工作环境，在前面两张表格中给出了多个试验端口，以及在每个试验端口上应该进行的试验项目要求，似乎要进行试验的部位与项目很多，但在细看之下觉得还是有几点值得小结的：

对住宅、商业、轻工业环境和工业环境的产品，尽管环境不同，但试验端口的设置和试验项目的选择大体上是一致的，只是限值不同。

试验实际上可以归并为三类：

低频电磁骚扰的发射测试：

0 ~ 2kHz的工频谐波、电压波动和闪烁测试。

高频电磁骚扰的发射测试：

0.15MHz ~ 30MHz的交流电源线传导骚扰测试；

0.15MHz ~ 30MHz的交流电源线断续骚扰测试（仅家用电器产品有此要求）；

0.15MHz ~ 30MHz的信号线、控制线、直流电源线传导骚扰测试；

30MHz ~ 1000MHz的辐射骚扰测试（对家用电器和电动工具做30MHz ~ 300MHz的辐射骚扰功率测试）。

产品的抗扰度试验：
静电放电试验；
高频辐射电磁场试验；
电快速瞬变脉冲群试验；
雷击浪涌试验；
由射频场感应所引起的高频传导试验；
电压跌落试验；
工频磁场试验。

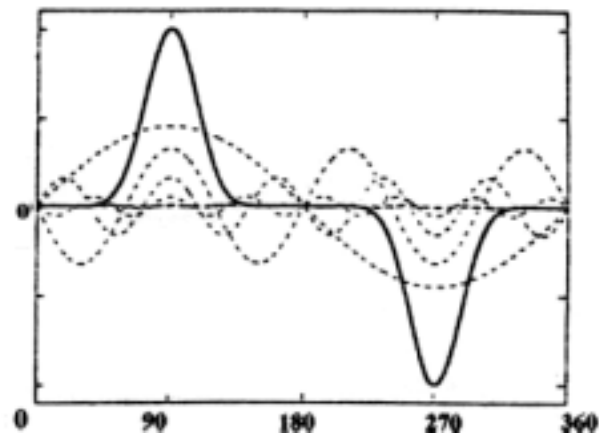
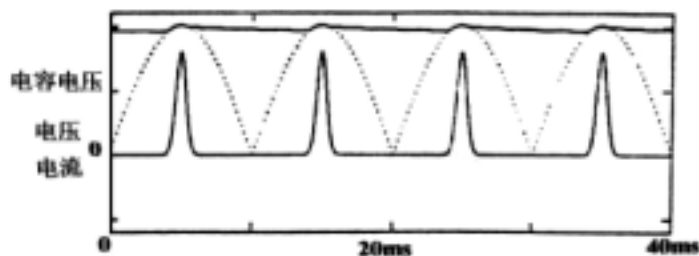
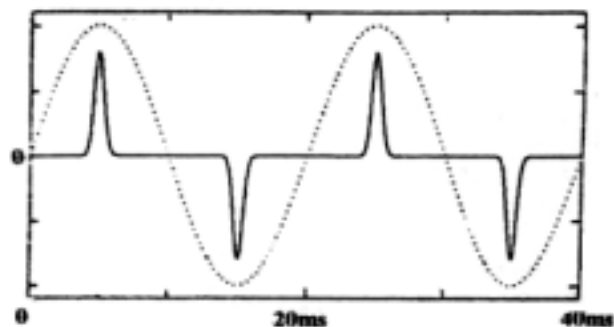
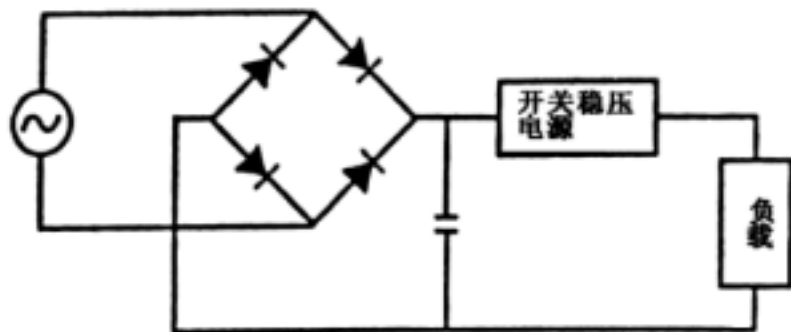
四. 常用电磁兼容检测项目简介

本节叙述常用电磁兼容检测项目，着重指出为什么要做这些检测；从保证检测结果的重复性和可比性出发，应当在检测中注意些什么？

4.1 产品自身工作时所产生的谐波电流发射的检测

由于开关电源和可控硅等非线性设备的大量使用，使得设备在工作时产生了大量的谐波电流。

下图是开关电源产生谐波电流的例子。



谐波电流存在，会在电网的阻抗上产生谐波电压，使得电网电压发生畸变。

电网中谐波的存在可导致变压器、旋转电机等电气设备的损耗增大；电容器绝缘老化加快，使用寿命缩短；引起系统内继电保护和自动装置误动或拒动；干扰通讯信号等危害。谐波还会使电网传输能力下降以及中线发热等等。

所以由设备所产生的谐波电流必须进行检测；当由设备所产生的谐波电流含量超出国家规定时，就必须采取措施来消除或抑制谐波电流的超标

在解释开关电源中谐波电流的产生原理可以看到，尽管开关电源接受的是正弦电压，但电容器的充电电流却是在接近电角度90°和270°处的脉冲电流。所以开关电源吸收电网的电流是非正弦的周期性脉冲电流。

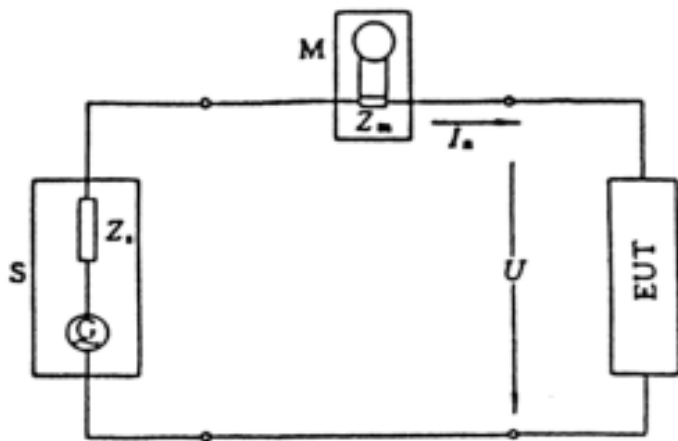
任何非正弦的周期性波形都可以用富里叶级数展开：

$$f(t) = F_0 + \sum_{n=1} H_n \sin(n t + \phi_n)$$

即表示为对直流成分（如果有直流成分的话）和各次谐波幅值及相位的测量。

在GB17625.1标准中要求完成对40次以下谐波的测量。

谐波电流的测量线路见下图所示。其中试验电源S是一个理想化的交流电源，具有内阻小、波形纯、电压稳和频率准的特点。测量设备M是一台有快速富里叶分析能力的时域分析仪器，按标准要求，可以分析1~40阶次的谐波电流值。



标准点评：试验之所选择谐波电流而不是平时比较熟悉的谐波电压为测量对象，是考虑了各地各处电网阻抗各不相同，即使相同的谐波电流值在不同的电网阻抗上所产生的压降也是各不相同的，使相互间缺少可比性。相形之下，电网阻抗总是远小于设备阻抗，因此不同电网中的实际电流（包括由设备引起的谐波电流）相差并不大。故选择谐波电流测试的方案是可取的。

试验线路采用了理想试验电源，目的在于排除电网中固有的谐波电压和电流对设备工作造成的影响，使试验结果更具客观性。

4.2 产品自身工作时所产生的电磁骚扰发射情况检测

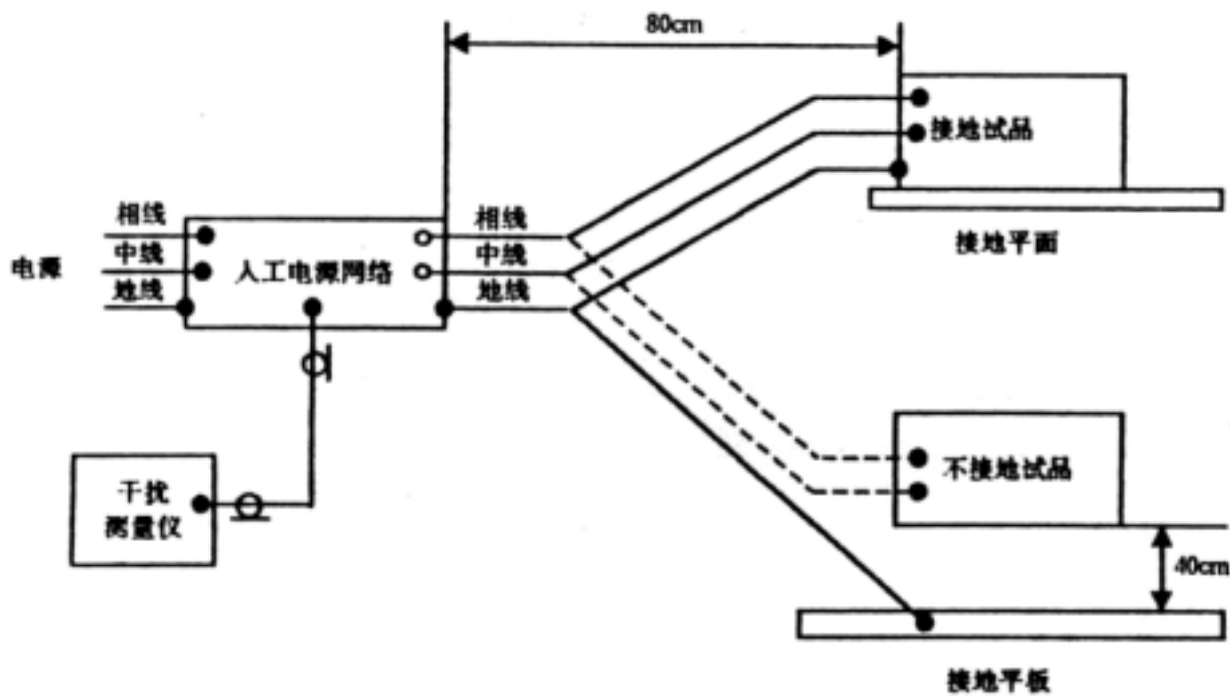
目前国际和国内所采用的产品工作过程中电磁骚扰发射测试标准都是从国际无线电干扰特别委员会（CISPR）所编制的产品族标准转化过来的。

成立国际无线电干扰特别委员会的初衷是为了保护通信和广播不受干扰。根据通信和广播所占用的主要频率范围（150kHz~1000MHz），国际无线电干扰特别委员会对民用电子电气产品的电磁骚扰发射作出了限制，并制定了测试方法。

通常认为在频率较低的时候，电子电气产品的电磁骚扰的发射形式是以传导为主；当频率比较高的时候，电磁骚扰的发射形式是以辐射为主。测试标准把频率的分界点定在30MHz处。

4.2.1 电磁扰骚的传导发射

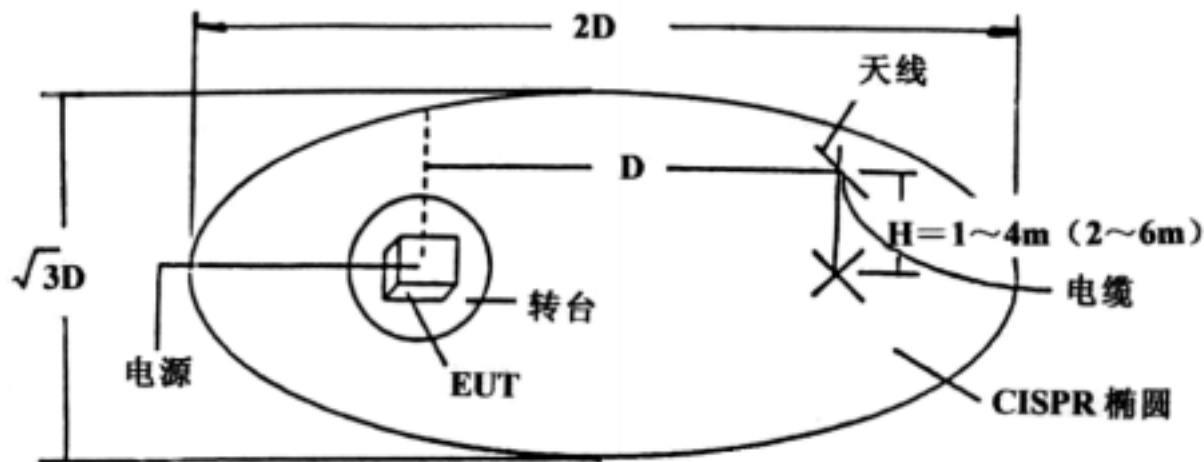
对电磁骚扰的传导发射的测试，特别是对电源线上的电磁骚扰的传导发射测试，其试验配置都是人工电源网络和干扰接收机（见下图）。



试验在屏蔽室进行。其中，人工电源网络可以在射频范围内向受试设备端子提供规定的阻抗（50 Ω）；并能将试验电路与电源上的无用射频信号隔离开来；进而将干扰电压耦合到干扰接收机上。干扰接收机则是一种按专门要求设计的接收机，有平均值和准峰值两种检波功能，这是执行CISPR标准所必须的检波方式，尤其后者，它能较好反映骚扰对听觉造成的影响（因为CISPR标准的本意就是要解决对通讯和广播的保护，所以检波结果必须与人耳的客观反应一致）。如果是手持式试品，为了模拟试验人员在触摸手持式试品时对试品的骚扰发射影响，必须要用到人工模拟手。它由200pF（±20%）电容与50 Ω（±10%）电阻串联组成。RC元件的一端与试品上包裹的金属箔联接，另一端接测量系统的地。人工模拟手的RC元件可以装在人工电源网络的箱子内。

4.2.2 电磁骚扰的辐射发射

试验在开阔场或半电波暗室中进行。典型布置见下图所示。被试设备放在转台上，测量天线分别处在水平和垂直两种极化状态下的辐射情况。考虑到被试品每个表面对外辐射情况的不同，转台应360度旋转，以便记录被试品在每个测量频率上的辐射骚扰最大值。另外，考虑到地面对电磁波的反射情况，试验时天线高度应在1-4m内调节，以便测出辐射（包括直射波和反射波叠加后）的最大值。测试结果由干扰接收机读出。



• D表示转台几何中心与天线几何中心投影距离，试品的几何中心要与转台轴心相重合

在试验中：

- 1) 对环境电平应分别进行水平和垂直极化测量。
- 2) 按自动测量程序进行测量，在30 ~ 1000MHz频率范围内进行初测（一般用峰值检波）。此时天线应在某一适当高度；转台置于某一适当角度。
- 3) 在 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 之间旋转转台，寻找某一（初测时骚扰较大）频率点上试品的最大骚扰电平（准峰值）。
- 4) 在3)的基础上继续在1 ~ 4m高度范围内升降天线，寻找该频率点上试品的最大骚扰电平（准峰值）。
- 5) 在所有较大骚扰电平所对应的频率点上重复3)和4)寻找最大骚扰电平的测量工作。

在一种天线极化方向测量完毕后，再改变为另一种天线极化方向。

在测量中要注意：

- 1) 用来连接天线与测量接收机的同轴电缆的走向。**
- 2) 被测电子、电气设备与接地平板之间的相对位置（如果是系统，还要注意设备之间的距离）、连接线的摆放、电源线的捆扎、电源插座的连接等。**
- 3) 由于测得的是合成波的迭加结果，因此为了寻找最大点，对每一个频率点上都应使天线在1~4m范围内调节。又由于试品本身的不对称，所以在天线的每一高度上要求试品在 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 之间旋转。**
- 4) 由于不同的电子和电气设备都有自身特定电磁场的分布，所以测量应当在两个极化方向上进行。**

为了能重现试验结果，以上各注意点非常重要，应一一详加记录，如有可能，最好采用数码相机拍摄试验布局。

补充说明1：

几种检波方式的各自特点

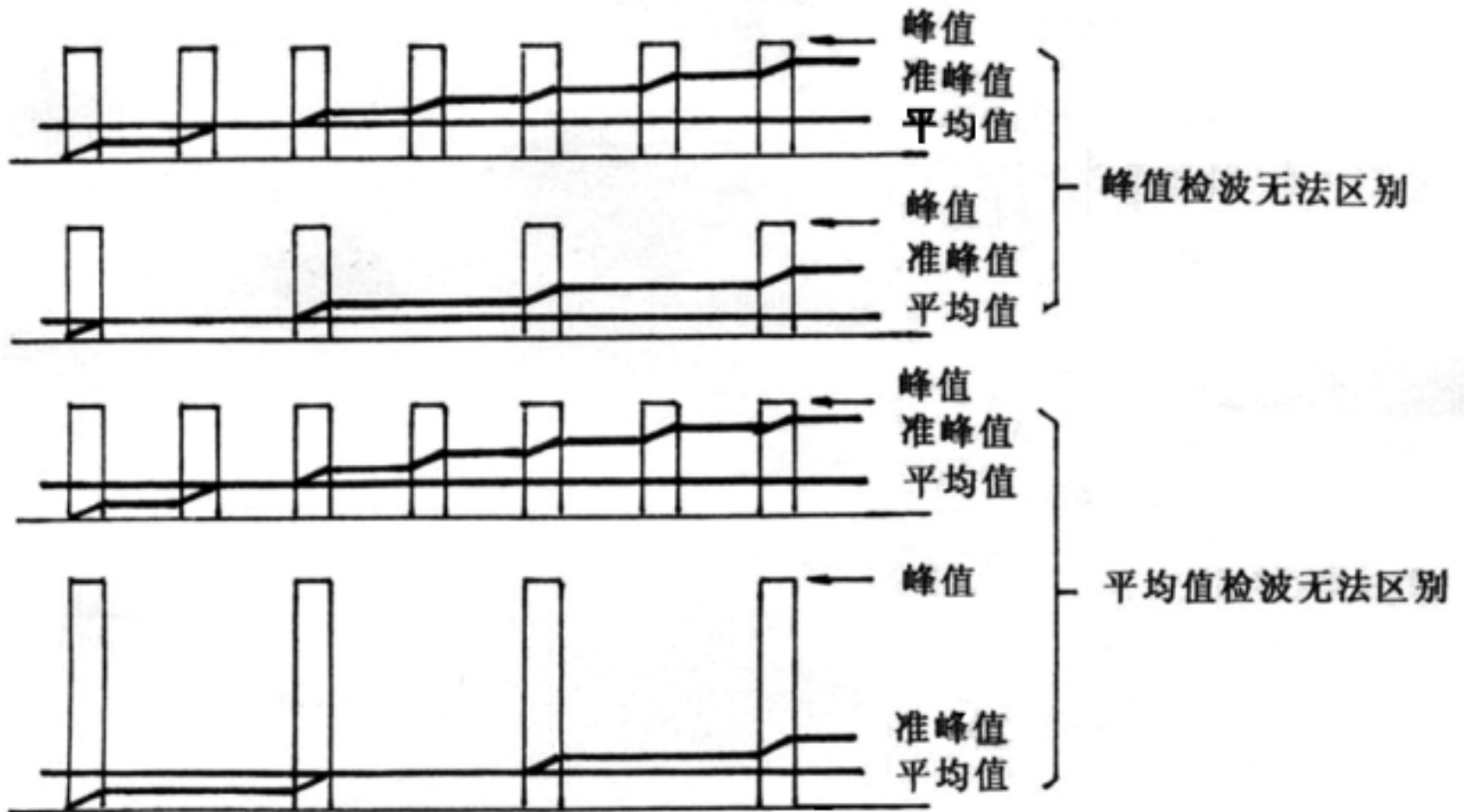
平均值检波：其最大特点是检波器的充放电时间常数相同，特别适用于对连续波的测量。

峰值检波：它的充电时间常数很小，即使是很窄的脉冲也能很快充电到稳定值。当中频信号消失后，由于电路的放电时间常数很大，检波的输出电压可在很长一段时间内保持在峰值上。

峰值检波的特点首先在军用设备的骚扰发射试验中被优先采用，因为好多军用装备只要单次脉冲的激励就可以造成爆炸或数字设备的误动作，而无需像音响设备那样讲究时间的积累。

准峰值检波：这种检波器的充放电时间常数介于平均值与峰值之间，在测量周期内的检波器输出既与脉冲幅度有关，又与脉冲重复频率有关，其输出与干扰对听觉造成的效果相一致。

三种检波方式的比较：



在实际测试中准峰值测量占用时间长，测试效率低。在150kHz ~ 30MHz范围内，采用5kHz为步长时，最小测试时间为1小时40分钟（测量周期为1秒）；对30MHz ~ 1000MHz，采用50kHz为步长，最小测试时间为5小时23分钟。

作为改进，在实际测试中通常都以峰值检波作首轮测试。由于峰值检波得到的测值为最高，如果首轮测值比标准给定的准峰值和平均值都低，则以后测试不用进行，已能断定试验通过。如果峰值测试中有部分测值高于标准规定的准峰值和平均值，则就取超过部分的频段补做准峰值和平均值测试。即使这样，整个测试时间也短于全部用准峰值和平均值检波的测试。

补充说明2：

用吸收钳法测量辐射功率发射（频率范围30 ~ 300MHz）

试验方法的提出

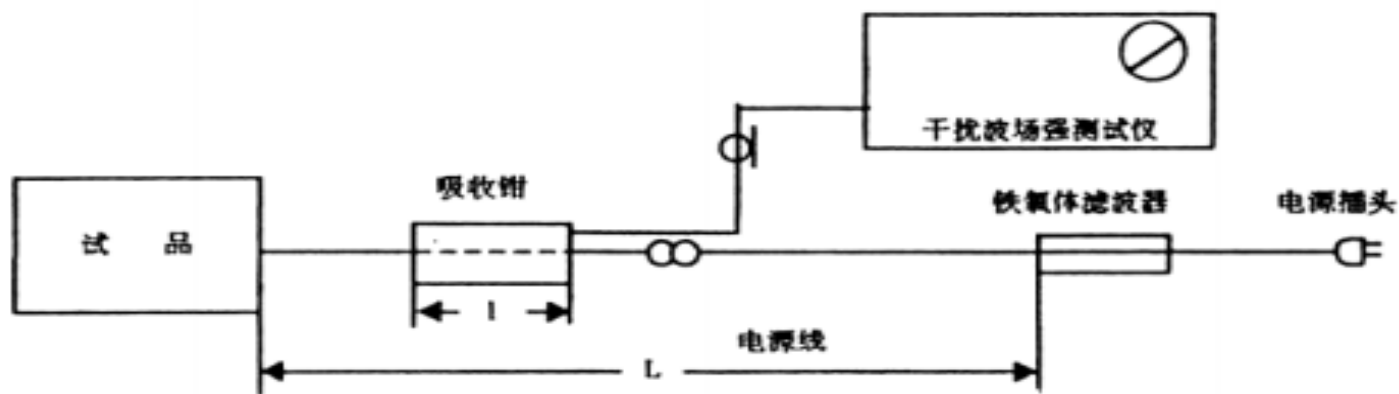
该方法主要用于对家用电器和电动工具的辐射发射的测量。我们注意到这样一个事实：当我们在做被试设备的传导骚扰测量的时候，当测量频率升高到30MHz以上时，人工电源网络中的电感和电容的分布参数影响增大，使其不能起到良好的隔离和滤波作用，这时，高频骚扰中的相当一部分实际上是沿着电源线向外辐射的。同时，我们还注意到家用电器和电动工具这类设备本身的体积比较小巧（相对于工科医设备和信息技术设备来说），因此在家用电器和电动工具的电磁兼容测试标准中就认为设备通过其表面的向外辐射尚不及沿着靠近设备的那部分电源线的向外辐射来得更多。基于这一假定，标准设计了一套利用吸收钳来测量试品沿电源线向外的辐射方法。

用吸收钳法测量试品辐射骚扰方法的主要优点是：1) 测试方法简便易行，配置仪器的价格相对较低（与天线法比较）；2) 获得的数据有很好的重复性和可比性。

这里介绍用吸收钳法测量辐射骚扰方法，主要是考虑到不少电子和电气设备本身的体积也不很大，符合用吸收钳法测量其辐射骚扰的前提。尤其可取的是，这种方法简便易行，试验的重复性和可比性也好，特别适合企业作为产品性能摸底时使用。

测量线路

采用吸收钳法测量被试设备辐射发射的测量线路见下图所示。

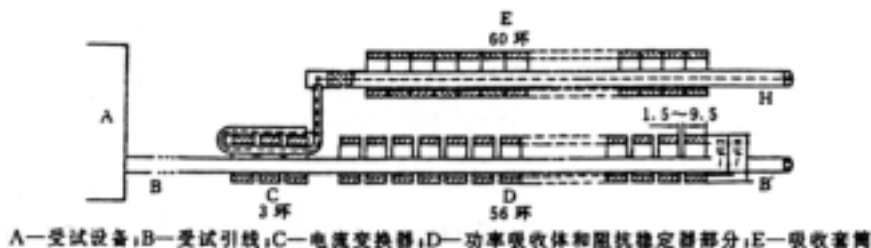


试验在屏蔽室进行。

功率吸收钳

功率吸收钳的结构见图3.16所示。它由三部分组成：C是宽带电流探头，包括铁氧体环和探测线圈；D是铁氧体环组，用于隔离试品和电网，及吸收电源线上的射频辐射；E也是铁氧体环组，用于抑制电源线和测量线之间的耦合。

吸收钳的性能符合下列要求：1) 吸收钳对试品呈现的阻抗为 $100 \sim 200 \Omega$ ，电抗分量小于20%；2) 吸收钳的输出阻抗为 50Ω ；3) 工作频率能覆盖 $30 \sim 300\text{MHz}$ ；4) 插入损耗为17dB；5) 吸收钳对来自电网的骚扰能提供足够的衰减；6) 试品的工作电流通过时，吸收钳不应产生磁路饱和。



试验线路说明

在前图中，试品置于绝缘试验台上，试验台离导电地面的高度不小于0.4m，离墙面距离不小于0.4m。台上有绝缘导轨。试品电源线要拉直，水平敷设在绝缘面上。吸收钳要包住试品的电源线，并使吸收钳的度流互感器朝对试品方向，紧挨试品。由于电磁波在导线上以驻波形式出现，因此功率吸收钳应沿着电源线慢慢移动，以便寻找最大点。为抑制电网中骚扰的入侵，避免影响测试结果，通常还要求在电网一侧加一个由铁氧体环组成的辅助吸收钳（有时亦称为铁氧体滤波器）。

根据辐射理论，当电源线长度达到辐射频率波长的一半时，就可能出现最大辐射情况。对于30 ~ 300MHz的测试频率范围来说，相应的波长应为10m ~ 1m。因此，电源线的长度至少应有5m。考虑到吸收钳的长度，以及辅助吸收钳的长度，电源线更应该增至7m左右。根据这一思路，做吸收钳法测试试品辐射的试验室应当一间狭长的屏蔽室，其长度要达到9 ~ 10m（因电源线前端要留出试品位置；电源线后端要考虑电源插头；按标准要求，在电源线的两侧还要留出0.4m以上的空间）。

试验时，先接通电源，然后在每个测试频点上移动吸收钳的位置，使测量接收机的指示为最大。这样测得的试品骚扰辐射功率为

$$P_0 \text{ (dBpW)} = V \text{ (dB } \mu \text{ V)} +$$

式中， P_0 为试品产生的辐射骚扰功率，dBpW；

V 为测得的骚扰电压，dB μ V；

为吸收钳的校正系数，dB

为了让大家在借用吸收钳法测量辐射发射时能有一个数量概念，这里引用一套家用电器和电动工具的干扰功率允许值（见GB4343-1995《家用和类似用途电器、电热器具、电动工具以及类似电器无线电干扰特性测量方法和允许值》）供参考，参看下表（测量频率：30～300MHz）所示。

家用电器		电动工具					
		电动机额定功率 < 700W		电动机额定功率 700 ~ 1000W		电动机额定功率 > 1000W	
dBpW 准峰值	dBpW 平均值	dBpW 准峰值	dBpW 平均值	dBpW 准峰值	dBpW 平均值	dBpW 准峰值	dBpW 平均值
随频率线性增大		随频率线性增大		随频率线性增大		随频率线性增大	
45 ~ 55	35 ~ 45	45 ~ 55	35 ~ 45	49 ~ 59	39 ~ 49	55 ~ 65	45 ~ 55

对用吸收钳法测试辐射骚扰发射的点评

1) 从前面的叙述可以体会到，在不同频率点上的测量接收机最大读数与吸收钳的摆放位置有关，出现在频率点的 $1/2$ 波长处。对目前标准规定的最大测试频率为300MHz来说，对应的波长为1m，因此吸收钳置于离试品0.5m远处，可望找到一个最大发射点。如果我们把测试频率的上限扩展到1000MHz，则相应于400MHz、500MHz、600MHz、700MHz、800MHz、900MHz和1000MHz的波长分别是0.75m、0.6m、0.5m、0.428m、0.375m、0.333m和0.3m，这些频率点的 $1/2$ 波长是0.375m、0.3m、0.25m、0.214m、0.187m、0.166m和0.15m。可见随着频率的升高，吸收钳摆放的位置将越来越靠近，分辨最大值和一般值将变得越来越困难，所以使用受到了限制，从这个角度看，把上限频率定在300MHz是适当的。

2) 尽管吸收钳法的最大优点（与已经讲过的辐射骚扰的场强测量法相比）是简单、占用设备少，而且重复性和可比性也较好。但采用此种方法有个前提（试品体积要小），有个假定（通过靠近试品的这段电源线辐射是试品对外辐射的主要部分），因此这个试验方法与辐射骚扰的场强测试方法是不同的两个方法，两者很难统一，也很难得出一个比例因子。所以用吸收钳法测试辐射骚扰的发射功率和用场强测量法测试辐射发射是适用于不同测试标准的，相互不能替代。

我们之所以在这里介绍这一测量方法，主要看重它简单、价廉、有比较好的重复性和可比性。我们也可以相信，用吸收钳法测得辐射功率大的电子和电气产品，在用天线法测量时测到的辐射场强必然也是大的，只是这个比例因子不太好找而已。所以用吸收钳法做产品的辐射发射摸底试验还是很合适的。

4.3 产品的抗干扰性能测试

产品的抗干扰问题早在二十世纪六十年代末、七十年代初已经提出，直到八十年代初，才由IEC的过程测量与控制专业技术委员会（TC65）把它作为必须的测试项目写进了IEC801系列标准（1984年）。在此以后，许多IEC和ISO的专业技术委员会都把产品的抗干扰作为一个重要的测试内容写进了产品族和产品标准。基于这种IEC中的研究设备（包括网络）电磁兼容性的TC77委员会编制了基础性的IEC61000标准，其中IEC61000-4系列标准除了收编IEC801系列标准的全部内容外，还有了更多的扩展。

目前，不少产品的抗干扰性能（或抗扰度能力）已经成为产品安全性能的一部分在加以考虑（所谓产品的“安全与电磁兼容”问题），进行强制性的产品认证。

这里讲述前面提到的6种抗扰度试验的目的与注意点。

4.3.1 静电放电抗扰度试验

静电放电抗扰度试验主要是检查人或物体在接触设备时所引起的放电（直接放电），以及人或物体对设备邻近物体的放电（间接放电）时对设备工作造成的影响。

静电放电可能产生的后果是：直接通过能量交换引起半导体器件损坏。放电所引起的近场电场和磁场的变化造成设备误动作。

静电放电是通过放电枪直接对试品表面和邻近耦合板的放电来模拟的。由于静电放电引起的干扰波的前沿达到0.7-1ns（接触放电时），其高次谐波成分极其丰富，故对设备的考核也特别严格。

4.3.2 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

电快速瞬变脉冲群抗扰度试验是模拟在电网里众多机械开关切换电感性负载时所产生的干扰。这类干扰的特点是：成群出现的窄脉冲（一群脉出现个数达到几十个乃至上百个）、脉冲的重复频率较高（KHz-MHz级）、上升沿陡峭（ns级）、单个脉冲的持续时间短暂（10-100ns级）、幅度达到KV级。

国外专家对电快速瞬变脉冲群抗扰度试验的解释是：成群出现的窄脉冲可对半导体器件的结电容充电，当能量积累到一定程度后可以引起线路（乃至设备）的出错。

试验时将脉冲叠加在电源线（通过耦合/去耦网络）和通信线路（通过电容耦合夹），对设备形成干扰。通常这一试验造成设备误动作的机会较多，除非有合适的对策，否则较难通过。

值得指出，由于静电放电和脉冲群试验所产生干扰波形的边沿十分陡峭，持续时间十分短暂，故对试验配置的规范性要求很高。不良的配置可以对试验结果的重复性、可比性，以及试验的严酷程度带来明显的影响，务必引起试验人员的注意。

4.3.3 雷击浪涌抗扰度试验

雷击浪涌抗扰度试验是模拟自然界里的雷击（间接雷）对供电线路和通信线路的影响。对于供电线路中因大型开关切换所引起的线路扰动也用浪涌试验加以模拟。

浪涌试验的特点是脉冲重复率低（每分钟1次，每次1个脉冲）、波形一般（前沿为 μs 级，持续时间为0.01-1ms）、幅值较高（kV级），但能量特别大（几百焦耳级。相形之下，脉冲群的单个脉冲为毫焦耳级；静电放电为皮焦耳级）。因此浪涌试验对设备的影响可能是破坏性的（很可能因试验造成设备中器件的损坏）。

需要一提的，浪涌试验是设备在正常工作状态下，通过电源线或通信线来加脉冲试验，所以是在线的抗干扰试验。它有别于设备的脉冲耐压试验，尽管两者波形相同，但脉冲耐压试验用的发生器内阻较大（为500 Ω ）。而做浪涌试验的发生器的内阻仅2 Ω ），而且设备是在非工作状态下进行试验的，所以两种试验绝对不能混为一谈。

另外，试验时要注意对试验细节方面的要求，例如对电源线共模试验中的耦合网络选择。不同的试验标准，对网络参数的要求是不同的，在国家标准和欧洲标准中采用的是9 μF + 10 μF ；而美国标准则为9 μF 。不同的网络参数其试验效果显然也是不同的。

4.3.4 衰减振荡波抗扰度试验

衰减振荡波代表高压和中压变电站中，特制是关于高压母线闸刀开关操作情况，以及有工厂中的背景骚扰。在变电站中的闸刀开关的分合操作会产生非常陡峭（波前时间为几十ns）的瞬变电压波。

由于高压电路中特性阻抗的失配，电压波会有反射。按照这一观点，在高压母线中的瞬态电压和电流的特性是由线路长度和传播时间来决定基本频率的。户外变电站受上述参数及母线长度的影响（母线长度可以从几十米至几百米，例如典型值是400米），振荡频率的范围大约在100kHz至几兆赫芝，在这方面，1MHz的振荡频率可代表大多数的情况。但对大型高压变电站来说，则认为100kHz较合适。

振荡波的重复频率究竟在几赫芝内变化，这与开关触头之间的距离有关。当触头接近时，重复频率为最高；但当触头间的距离达到使电弧几乎要熄灭时，重复频率为最低，在考虑了这些现象后，选择40C/s和400C/s是一种折衷方案。

在工厂中，重复出现的振荡瞬变是由切换瞬变及电力系统（网络及电气设备）中注入的冲击电流所产生的。

用衰减振荡波模拟工业环境中的重复性的振荡瞬变，有着很高的裕度。它让试品在选定的衰减振荡波上升时间和基频所覆盖的频带内作出响应，以检测试品在不同的特定运行条件下的抗扰度。因此，在某些情况下（如高压电厂中的设备）应优先考虑这项试验。

对衰减振荡波的基本要求是：

第一峰值电压上升时间： $75\text{ns} \pm 20\%$ ；

衰减振荡波的振荡频率： 100kHz 和 1MHz 两种， $\pm 10\%$ ；

衰减振荡波的重复频率：对 100kHz 至少为 40c/s ；

对 1MHz 至少为 400c/s ；

衰减振荡波的波形衰减率：在3~6周内衰减到峰值的50%；

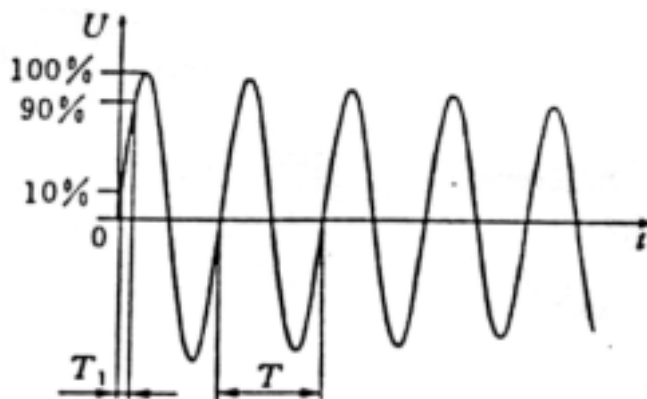
一串衰减振荡波的持续时间：不低于 2s ；

发生器输出阻抗： $200 \pm 20\%$ ；

峰值开路电压： $250\text{V} (-10\%) \sim 2.5\text{kV} (+10\%)$ ；

与电源频率的关系：异步；

衰减振荡波的第一峰值极性：正/负。



电源线的抗扰度试验是通过耦合/去耦网络来进行的，其线路形式与脉冲群和雷击浪涌试验基本相同，由于模拟干扰的波形不同，线路参数也不同。

试验配置由参考接地板、试验仪器、耦合/去耦网络等组成，这与脉冲群试验的要求基本相同。

试验分共模和差模两种进行。

试验采用1MHz和100kHz两种频率；瞬态波与电源不同步。按产品要求施加试验电压，每一极性的试验时间不短于2秒。

4.3.5 工频磁场抗扰度试验

在有电流流过的地方都会伴生磁场，这是一个不争的事实。工频磁场抗扰度试验就是为了检查设备或系统在附近有工频磁场的情况下，对磁场骚扰的抵抗能力。

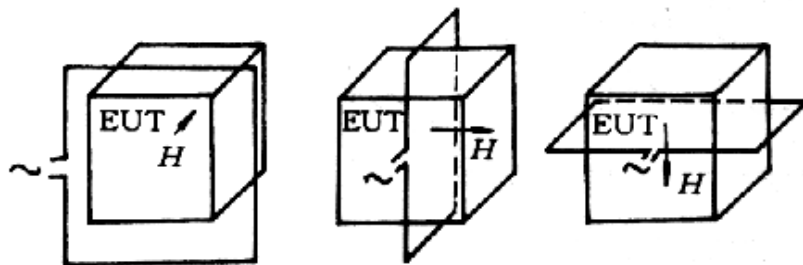
在正常情况下，由工频电流所产生的稳定磁场相对较小，但在故障状态下电流伴生的磁场就比较强，但持续时间很短（直到保护设备动作为止，对熔断器来说，大约是几毫秒；对保护继电器，最大可能达到3~5秒）。

并不是所有的设备对磁场都是敏感的，但有些设备，如计算机的监视器、电子显微镜等一类设备，在工频磁场作用下会产生电子束的抖动；对电度表等一类设备在工频磁场作用下会产生程序紊乱、内存数据丢失和计度误差；对内部有霍尔元件等一类对磁场敏感器件所构成的设备，在磁场作用下会产生误动作（以电感式接近开关为例，可能出现定定位不准确）。因此工频磁场抗扰度试验对上述设备就具有特殊意义了。

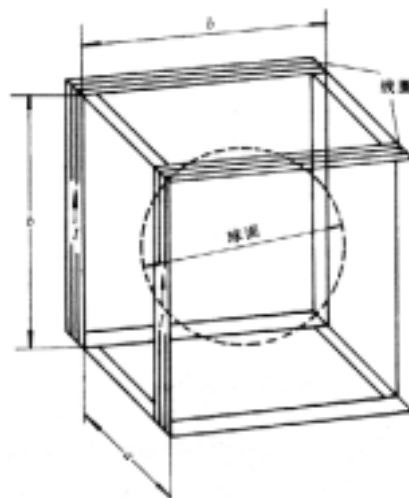
工频磁场抗扰度试验的仪器包括一个用以产生磁场的感应线圈；一台用以供给感应线圈电流的工频电源。

其中工频励磁电源由电压调整器和一台降压变压器组成。对连续试验，要求输出电流为1~100A；对短持续时间试验，输出电流为300~1000A。时间的可设定范围为1~3秒。

感应线圈有三种形式：方形单独感应线圈（下图a），标准的边长尺寸为1m见方，用于试验小型设备。方型双感应线圈（下图b），亦称霍尔姆兹线圈，标准的边长尺寸为1m，两个并联线圈之间的距离是0.8m。采用双线圈的场强均匀度好。对大型柜式设备，线圈应根据试品尺寸和场的不同极化方向来制造。



a) 用于小型设备试验的电感线圈例



b) 用于小型设备试验的霍尔姆兹线圈

试验的基本配置包括参考接地板、感应线圈与电流发生器。

参考接地板的最小尺寸为 $1\text{m} \times 1\text{m}$ ，参考接地板与试验室的安全地接在一起。

试品放在参考接地板上，并用 0.1m 厚的绝缘物垫起。试品外壳通过试品本身的接地端子与参考接地板连接。所有电缆应有 1m 的长度暴露在磁场中。

试验用电流发生器应放在离线圈不超过 3m 远的地方，其一端与参考接地板相连。

感应线圈应放置在距试验室墙壁和其他磁性物质至少 1m 远的地方。感应线圈在做水平极化试验时，参考接地板可作为线圈的底边而成为线圈的一部分。

4.3.6 电压跌落和短时中断的抗扰度试验

电压跌落是指电压偶然跌到大于10%~15%，持续时间为0.5周~50周的电压变化；短时中断则是100%的电压跌落。电压跌落可能是高压、中压和低压电网中偶尔产生的短路、接地故障，或负荷突然出现大的变化所造成的。电压中断则可能是故障情况下的连续快速重合闸造成的，持续时间可能短于0.5秒。

电压跌落和短时中断可能造成的影响有：a.接触器跳闸；b.电压调整器误动作；c.逆变器的转换失败；d.计算机内存信息丢失等等。然而对于大多数带单片机芯片控制的设备来说，电压跌落、短时中断和电压渐变抗扰度试验主要是考核设备的掉电处理能力，一旦电压恢复正常时，能否从掉电发生以前的工作程序上恢复其正常运行。

对于电压跌落、短时中断抗扰度试验，通常选择在0°和180°切换已足够。如果一定要选择一些特定角度来进行试验时，应优先选择45°、90°、135°、180°、225°、270°和315°上进行试验。

此外，对于三相系统，一般是一相、一相地进行试验。特殊情况下才对三相同时做试验，这时要求三套仪器要同步进行试验。

4.3.7 射频辐射电磁场抗扰度试验

射频辐射电磁场试验用来模拟设备遭受射频辐射干扰的情形，尤其是模拟设备操作、维修和安全检查人员在使用移动电话时可能对设备带来的影响。尽管单台移动电话的功率并不大，但由于使用人员靠近设备，造成局部场强很高的情况屡见不鲜。

其他如无线电台、电视发射台、移动无线电发射机、各种工业电磁辐射源，以及电焊机、可控硅整流器、荧光灯等在工作时也会对设备产生辐射现象。

射频辐射电磁场的试验频率在80-1000MHz（今后上限频率会扩展到2000MHz）；试验用场强在1~10V/m之间（常用的产品标准一般选定在3V/m和10V/m上，今后最高严酷度等级会扩展到30V/m）。

英国和法国电工技术研究所的技术人员，对移动电话的辐射情况做了详细研究，发现辐射的场强与移动电话的瞬间输出功率，以及测量点到移动电话天线的距离有关。大体符合下述规律：

$$E=3P^{1/2}/d$$

式中P是移动电话的瞬时输出功率；d是测量点到移动电话天线的距离。假定移动电话的瞬时功率是4W，测量点到移动电话天线的距离是20cm，则移动电话产生的局部场强可以达到30V/m，远大于标准的给定值。

4.3.8 射频电流注入抗扰度试验

对于频率较低（150KHz-80MHz）的射频信号，由于其波长较长，相形之下比一般设备的尺寸要长得多，但与设备的引线（包括电源线及其延续-户外架空线；以及通信线和接口电缆）的尺寸相当，这样这些引线就可以作为被动天线通过传导方式将射频信号以电压和电流形式在设备内部形成干扰。

在上述全部8项试验中，静电、脉冲群、浪涌、电压跌落、衰减振荡波、工频磁场和短时中断试验都可以用单台仪器来实现（有的还需要一定的试验配置，如静电、脉冲群、衰减振荡波和工频磁场试验，以确保试验结果的准确性和可比性），而且由于试验电压和电流较高（远大于一般的环境电磁条件），试验都可以在普通实验室进行。

对于射频辐射电磁场和射频电流注入试验，都要用到一套仪器才能完成一项试验。其中射频辐射电磁场试验要用信号发生器、射频功率放大器、天线、电磁场测试探头、场强监视仪、以及计算机和相应软件构成的闭环试验系统。射频传导试验需要用信号发生器、射频功率放大器、衰减器、耦合/去耦网络、耦合钳、电子毫伏计、以及计算机和相应软件构成的闭环试验系统。这里要注意的是信号发生器和射频功率放大器应与使用的试验频段相适应。射频辐射电磁场试验应在电波暗室中进行，作为替代，也可在GTEM小室中进行。射频电流注入试验一般在屏蔽室中进行。

最后，需要再次指出的是，在已经说过的所有试验中，绝对不是简单地要求企业添置一台或几台仪器的事情。事实上，试验的规范性极其重要，所以要求试验人员不仅仅是要熟悉相关的产品标准，知道试验的严酷度等级，更需要试验人员熟悉与这些试验相关的基础标准，真正掌握试验方法的要点，只有这样，才能确保试验结果的准确性和可比性。

五. 标准化试验及其可信度问题

为了对产品检验其电磁兼容性能，要在标准化的条件下对产品进行骚扰发射和抗扰度性能测试。

5.1 标准化试验

为了在世界范围内重现试验的结果，标准化试验应具有三个基本特点：

在某一时间内只考虑某一种类型的电磁骚扰；

骚扰发射试验时，用于确定骚扰类型的敏感装置和指示器是给定的；在抗扰度试验时，产生电磁骚扰的源和耦合网络是规定好的。

测量条件是给定的和标准的。

标准化试验的电磁环境总是可以控制的，因此骚扰的发射电平和抗扰度电平都是可以测量的。而装置、设备或系统在现场的工作环境的电磁情况是不可控的，所以试验结论与实际工作情况之间有时会有差异。

5.2 标准化试验的可信度

在标准化试验中，有两个重要的不确定因素影响兼容水平和规定限值之间的裕量的大小： 试验方法的贴切性； 批量生产设备的元器件特性的分散性。下面分别叙述之。

5.2.1 试验方法的贴切性

标准化的试验方法力图通过有限的几种试验来验证设备几乎是无限多种的实际情况，事实上，这些试验方法的适应范围是有限的。

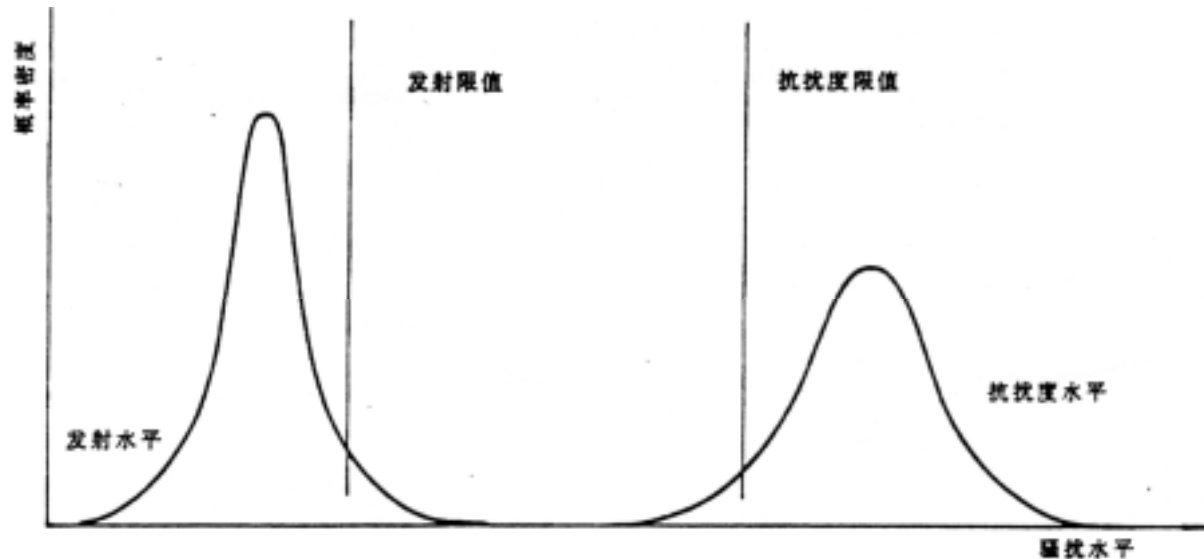
在进行标准化的骚扰发射试验时，我们总是使用标准规定好的测量装置（如天线等）与规定好的测试设备（测量接收机等）相连接来代替对骚扰敏感的设备。类似地，在标准化的抗扰度试验中，发射器是规定好的带有规定的耦合装置的发生器，而不是实际的干扰源。尽管如此，为了了解设备的电磁兼容性能，我们还是有必要进行这样的试验。

由于标准化的骚扰发射试验只考虑一段时间里的一种电磁现象（如传导发射或辐射发射）。对抗扰度试验也有类似的考虑。但是在现实电磁环境中，所有的现象是同时作用的，所以标准化试验方法降低了对实际电磁作用情况的贴切性。

由于标准化试验的贴切性有限，所以在发射限值和抗扰度限值之间考虑电磁兼容的裕量是必须的。

5.2.2 元件特性的分散性

并非所有的装置、设备或系统，特别是那些批量生产的设备，在安装之前都做过测试。事实上由于元件特性的分散性导致测试数据的分散性（参见下图）。因此，从批量生产的设备中随意抽取一台，检测其是否符合所选择的限值，其结果可能是不确定的。这个不确定因素称之为“80%/80%合格原则”。当然不符合选定限值的设备的概率将是很小的。



附录：对设备电磁骚扰发射超标的基本对策

1 辐射发射超标

设备的辐射骚扰发射超标有两种可能，一种是设备外壳的屏蔽性能不完善；另一种是射频骚扰经由电源线和其他线缆的逸出。判断方法是，拔掉不必要的电线和电源插头，继续做试验，如果没有任何改善迹象，则应当怀疑是设备外壳屏蔽性能不完善；如果有所改善，则有可能是线缆的问题。如果针对以上两种可能，采取了必要措施，仍然没有任何改进，则有可能是设备上余下线缆的问题。

1.1 金属机箱屏蔽性能不完善

机箱的缝隙过大，或机箱配合上存在问题

处理意见：

清除结合面上的油漆、氧化层及表面沾污；

增加结合面上的紧固件数目及接触表面的平整度；

采取永久性的接缝（要连续焊接）；

采用导电衬垫来改善接触表面的接触性能。

其他功能性开孔过大

处理意见：

通风口采用防尘板，必要时采用波导通风板，但后者成本昂贵；

显示窗口采用带有屏蔽作用的透明材料；或采用隔舱，并对信号线采取滤波；

对键盘等采用隔舱，并对信号线采取滤波。

机箱内部布线不当，电磁骚扰透过缝隙逸出

处理意见：将印刷板及设备内部布线等可能产生辐射骚扰的布局远离缝隙或功能性开孔的部位，或采取增加屏蔽的补救措施或重新布局。

1.2 非金属机箱

对机箱进行导电性喷涂，特别要注意在结合部分的缝隙也要进行喷涂，保证机箱有导电性的连接；

对产生辐射骚扰和可能产生辐射骚扰的部分采取局部屏蔽，并将所有进入或离开屏蔽体的导线要进行滤波或套上吸收磁环；

对内部布线和印刷线路板的布局重新考虑，尽可能使信号及其回线的环路为最小。

1.3 线缆问题（包括怀疑设备上余下线缆的问题在内）

对电源线的处理

加装电源线滤波器（如果已经有滤波器，则换用高性能的滤波器），要特别注意安装位置（尽可能放在机箱中电源线入口端）和安装情况，要保证滤波器外壳与机箱搭接良好、接地良好；

如果不合格的频率比较高，可考虑在电源线入口的部分套装铁氧体磁环。

对信号线的处理

在信号线上套铁氧体磁环（或铁氧体磁夹）；

对信号线滤波（共模滤波）；必要时将连接器改用滤波阵列板或滤波连接器；

换用屏蔽电缆。屏蔽电缆的屏蔽层与机箱尽量采用360°搭接方式，必要时在屏蔽线上再套铁氧体磁环。

2 传导发射超标

设备的传导骚扰发射超标，主要是线缆方面的问题，但超标的频率通常都比较低，处理起来常感麻烦。

对电源线的处理

检查电源线附近有无信号电缆存在，有无可能是因为信号电缆与电源线之间的耦合使电源线的传导骚扰发射超标（这种情况多见于超标频率的频段较高的情况下）。如有，或拉大两者间的距离，或采用屏蔽措施；

加装电源线滤波器（如果已经有滤波器，则换用高性能的滤波器），要特别注意安装位置（尽可能放在机箱中电源线入口端）和安装情况，要保证滤波器外壳与机箱搭接良好、接地良好；

虽经采取措施，设备传导骚扰发射仍未达标（特别是在低频段没有达标）。此时可考虑在设备内部线路连接接地端子的地方串入一个电感。由于这部分连接属单点接地，平时无电流流过，因此这个电感可以做得很大，而无须担心有铁芯的饱和问题。采取这一措施的理由是，设备传导骚扰发射测试，实际上是共模电压测试（电源线对大地的骚扰电压测试），电源线上有工作电流流过，故滤波器的滤波电感值受制于工作电流，不能做得很大，滤波器的插入损耗也就有限，特别是低频端的损耗更加有限。新方案里的附加电感正好可以弥补这一缺憾，从而取得更好的传导骚扰的抑制能力。

对信号线的处理

注意信号线周围有无其他辐射能量（附近的布线及印刷板的布局）被引到信号线上。如有，或拉大两者的距离，或采用屏蔽措施，或考虑改变设备内部布局和印刷板的布局；

在信号线上套铁氧体磁环（或铁氧体磁夹）；

对信号线进行共模滤波，必要时采用滤波连接器（或滤波阵列板）。注意滤波器的参数，传导骚扰发射超标的频率比辐射骚扰发射超标的频率得低些，因此取用的元件参数应当偏大一些。