

**世纪电源网 2011（上海）电源技术交流会**

**新版抗干扰标准与现行版本的差异及理解**

**钱振宇**

迄今为止，我国在上世纪九十年代末所颁布的基础性常用电磁兼容抗干扰国家标准已经修订完毕，并出版了新的国家标准。只是广大企业中采用的产品标准没有来得及作出相应的修订，因此在各企业所执行的产品标准中所引用的电磁兼容标准都还是旧版的（即上世纪九十年代末出版的标准）。这样，在目前阶段造成了电磁兼容抗干扰国家标准新旧版本共存的现象，不少企业对新旧版本的差异，以及如何理解这些差异还不甚清楚，本报告就来介绍这方面的内容（五个标准，分别是静电、射频辐射电磁场、脉冲群、浪涌和电压跌落等），帮助企业了解一些细节，以便一旦新的产品标准颁布时不会落得一个措手不及。

## 1 静电放电抗扰度试验

国家标准: **GB/T 17626.2** 《电磁兼容 试验和测量技术  
静电放电抗扰度试验》

老标准出版的年份: **1998**; 新标准出版的年份: **2006**

等同的国际标准: **IEC 61000-4-2** 《**Electromagnetic  
compatibility (EMC) -Part 4-2 : Testing and techniques-  
Electrostatic discharge immunity test**》

老标准引用的版本: **1995**; 新标准引用的版本: **2001**

由于新老标准中绝大部分的内容都是相同的, 这里只给出新、老国标中不同的部分 (增加或修改的部分)。

## 1.1 不接地设备的试验方法

本试验方法适用于不与任何接地系统连接的设备或设备部件。包括便携式、电池供电和双重绝缘设备（Ⅱ类设备）。

**基本原理（见新标准的7.1.3节）：**不接地设备或设备的不接地部件不能如Ⅰ类供电设备自行放电。若在下一个静电放电脉冲施加前电荷未消除，受试设备或受试设备的部件上的电荷累积可能使电压为预期试验电压的两倍。因此，双重绝缘设备的绝缘体电容经过几次静电放电累积，可能充电至异常高，然后以高能量在绝缘击穿电压处放电。

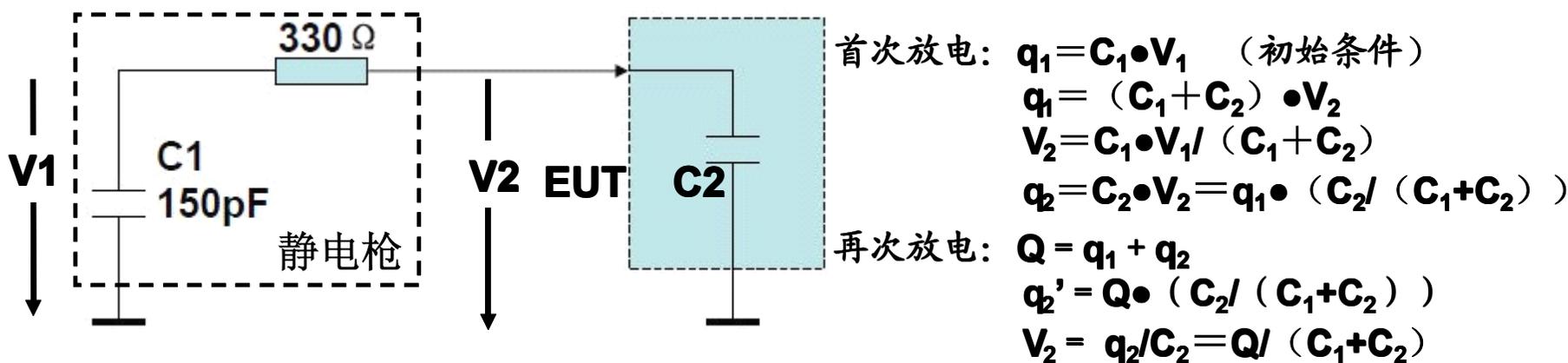
作者对于标准中提到的“若在下一个静电放电脉冲施加前电荷未消除，受试设备或受试设备的部件上的电荷累积可能使电压为预期试验电压的两倍”不能苟同，想象不出在II类设备上放电，如果不将上一次的电荷消除，经过下一次放电之后，怎么会在受试设备或受试设备的部件上的电荷累积可能使电压变为预期试验电压的两倍。

**标准原文: Rationale: Ungrounded equipment, or ungrounded part(s) of equipment, cannot discharge itself similarly to class I mains-supplied equipment. If the charge is not removed before the next ESD pulse is applied, it is possible that the EUT or part(s) of the EUT be stressed up to twice the intended test voltage. Therefore, double-insulated equipment could be charged at an unrealistically high charge, by accumulating several ESD discharges on the capacitance of the class II insulation, and then discharge at the breakdown voltage of the insulation with a much higher energy.**

争议：标准原文中的**twice**可以译成“两次、两倍、再次”，在**GB/T 17626.2-2006**中把它译成“两倍”，作者则把它理解成“再次”，故作者对这段标准原文的理解是：

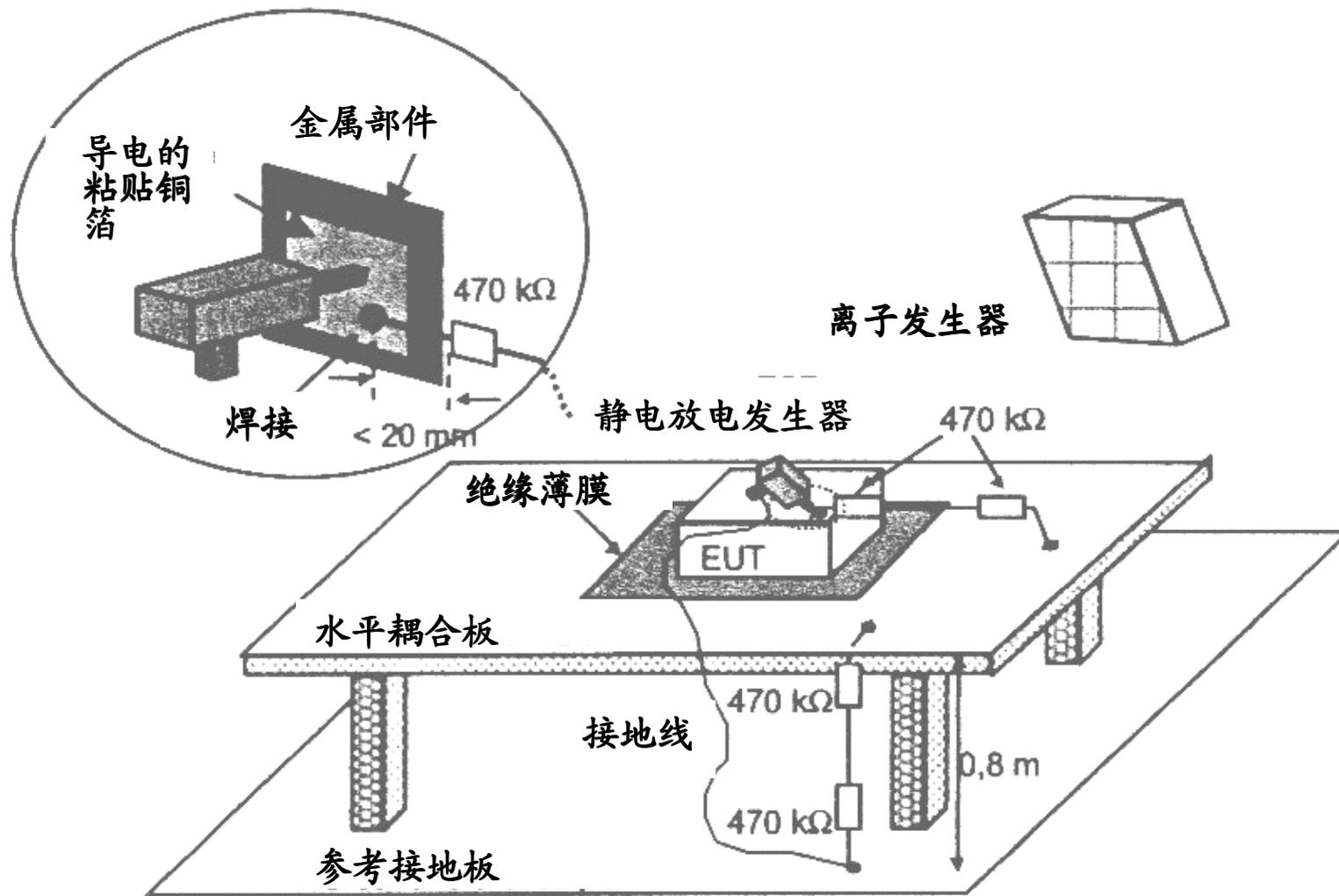
基本原理：不接地设备或设备的不接地部件不能像 I 类供电设备那样进行自行放电。要强调的是，倘若在下一个静电放电脉冲施加之前电荷未被移走，受试设备或受试设备的部件有可能被再次施加指定试验电压，那么，在 II 类绝缘电容上的几次静电放电积累，双重绝缘的设备就可能被充电到不切实际的高电荷，最终，带有极高能量的绝缘物可以在击穿电压处放电。

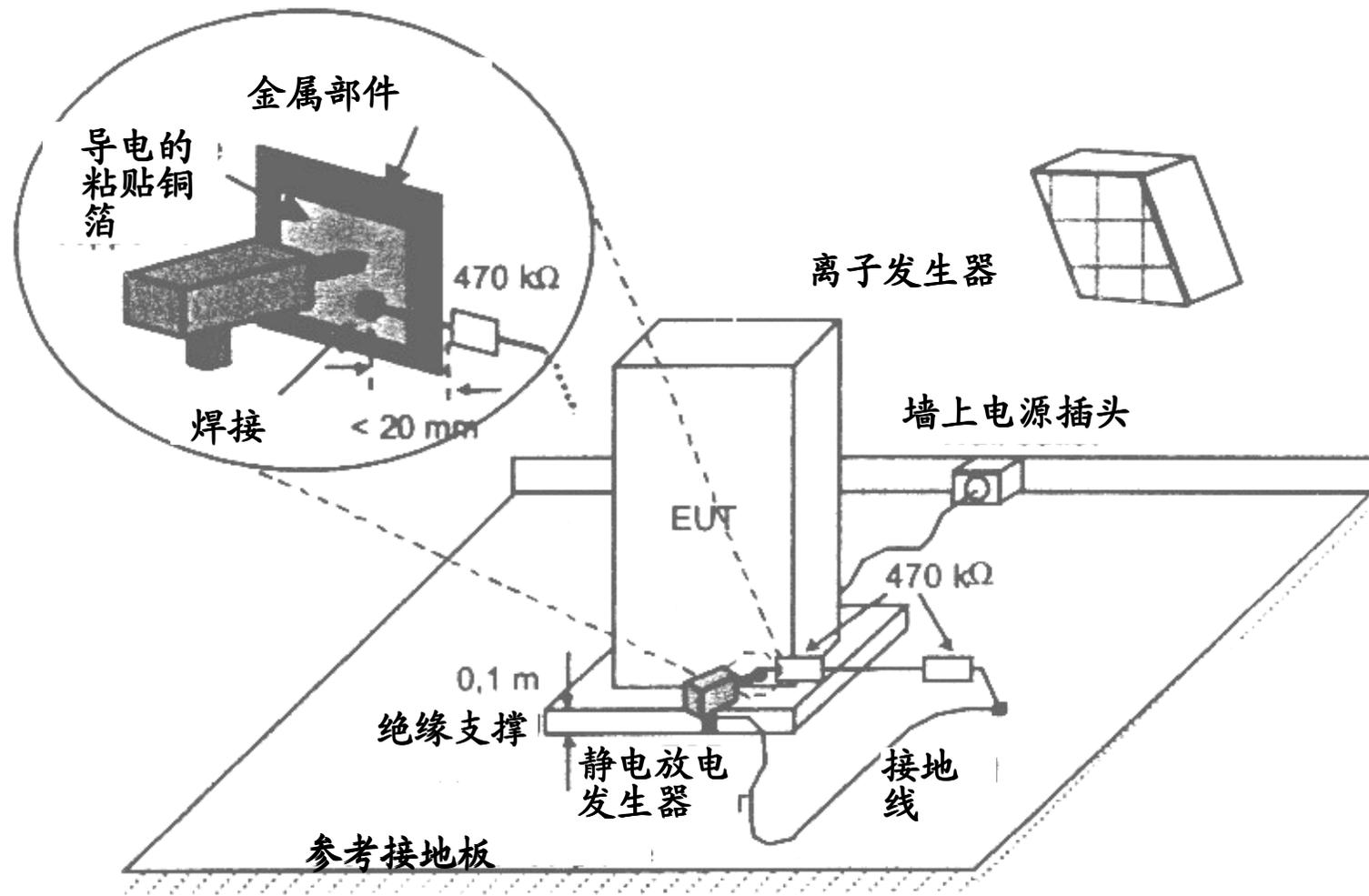
作者认为，不接地的设备的放电时，对设备表面的静电累积应当根据静电枪内部的贮能电容（**150pF**）与被试设备对地的分布电容，按照电容量的大小进行电荷的分配（原始电荷就是静电枪贮能电容上的电荷）。如果首次放电后，存在于设备表面的电荷没有得到释放，那么在再次进行静电放电试验时，仍要根据静电枪内部的贮能电容与被试设备对地的分布电容，按照电容量的大小进行电荷分配，但是这次参加分配的电荷总量应当是放电枪贮能电容上的电荷与设备表面已累积电荷之和，由于二次放电后的电荷量。随着设备分得电荷量的增加，因此设备表面的对地电压也要提高。由此可以想象，经过若干次静电放电，双重绝缘的设备就可能被充电到不切实际的高电荷，最终，带有极高能量的绝缘物可以在击穿电压处放电。



关于不接地设备的试验配置，新版标准与旧版标准的配置是相同的。关键是在单次放电时（无论是空气的，还是接触的），试品上的电荷应当在每次施加静电放电脉冲之前先行释放（释放掉在需要施加静电放电的金属点或金属部位上的电荷）。

可以采用的方法之一是，使用类似于在水平耦合板和垂直耦合板上释放电荷的方法，即通过带有**470k $\Omega$** 泄放电阻的电缆进行放电的方法。若功能允许，在静电放电试验时可以保留带泄放电阻的电缆安装。在放电电缆中，一个电阻要尽可能地靠近**EUT**上的试验点，最好小于**20mm**；另一个电阻接在电缆线的末端附近，与水平耦合板（对台式设备）或参考接地板（对地面设备）相连。详见以下两图。





对于因为带泄放电阻的电缆的存在，有可能会影响某些设备试验结果的话，则在试验期间可先卸掉电缆，再做试验。试验结束后，把电缆再装上去，以便在两次连续放电之间，让电荷有足够衰减。

作为替代，可采用下述方案：

- 将两次连续放电之间的时间间隔增长，达到让试品上的电荷自然衰减到允许值所需的时间。
- 在接地电缆上采用带泄放电阻（例如 **$2 \times 470\text{k}\Omega$** ）的碳纤维刷子。
- 在试验环境里采用空气-离子发生器来加速试品的“自然”放电过程。在做空气放电试验时，离子发生器应关闭。

任何一种替代方法的使用都要反映在试验报告里。

注：对于电荷衰减的争议，试品上的电荷可以用一台非接触的电场计来监视，当电荷衰减到初始值的**10%**以下时，则认为试品已经放电。

静电放电发生器电极应保持垂直于试品表面的位置。

## 1.2 对试品的直接放电

除非在产品标准或产品族标准中另有规定，静电放电仅仅施加在试品正常使用中可以触及到的点和面上。但下述情况被排除在外（换言之，对下述项目可简化放电试验）：

- 只有在维护时才能触及的点和面。
- 只有最终用户检修时才能触及的点和面。例如，在更换电池时触及的电池触点，录音电话的磁带盒，等等。
- 对于在安装固定后，或者按说明使用后不再触及的点和面。例如，设备的底部以及靠墙壁的一侧，适配连接器的后面。
- 同轴以及多芯连接器触点，由于它们都有一个金属的连接器外壳。在这种情况下，接触放电仅仅施加在连接器的金属外壳上。
- 对非导电外壳（例如塑料的）连接器中可接触到的触点，只采用空气放电来做试验。应当在静电放电发生器上采用圆头的电极来做这个试验。

通常要考虑六种情况（根据连接器的外壳材料是金属的，还是非金属的，外壳表面有没有涂层，来决定采用空气放电还是接触放电，以及放电的部位）：

情况	连接器外壳材料	涂层材料	空气放电施加的部位	接触放电施加的部位
1	金属	无	-	外壳
2	金属	绝缘	涂层	可接触的外壳
3	金属	金属	-	外壳和涂层
4	绝缘	无	a	-
5	绝缘	绝缘	涂层	-
6	绝缘	金属	-	涂层

注：对于用涂层来提供连接器出脚屏蔽的情况，应该在涂层或者靠近设备采用涂层连接器的安装地方给出静电放电的警告标识。

**a** 如果产品（或产品族）标准要求对绝缘外壳连接器的有关出脚进行试验，则应采用空气放电。

- 对于那些对静电放电敏感的连接器的触点或其他可触及部分，例如测量、接收或其他通信功能的射频输入端，由于功能的原因，应采用静电放电的警告标识。

这是因为，许多连接器端口是被用来处理模拟或数字的高频信号的，因此不能提供有足够过电压保护能力的器件。在模拟信号的情况下，选用带通滤波器或许是一种解决方案。至于过电压保护二极管，由于寄生电容过大，对试品所采用的工作频率是不利的。

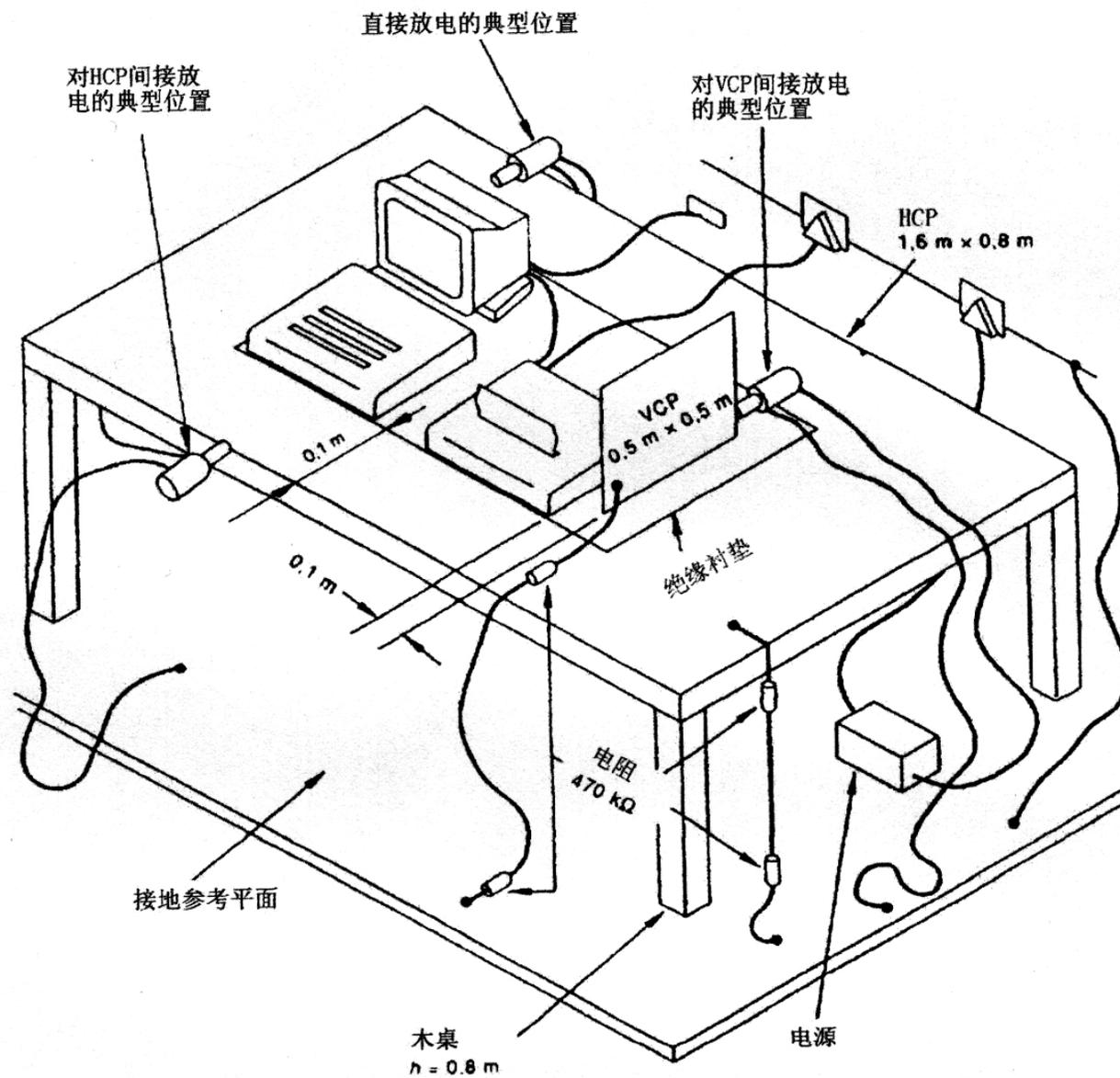
在上述所有情况中，要在相应的文件中推荐专门的试品简化试验。

### 1.3 对水平耦合板的放电

对水平耦合板的放电，要在水平方向来对水平耦合板的边进行。

在朝对**EUT**每一单元（若适用）的中心点，且与**EUT**前端相距**0.1m**处的水平耦合板前缘处，以最敏感的极性，至少作**10**次单次放电。放电时，放电电极的长轴要处在水平耦合板的平面里，且垂直于它的前缘，放电电极要与水平耦合板的边缘相接触。详见见下图所示。

另外，要考虑对**EUT**所有的暴露面做这个试验。



## 2 射频辐射电磁场抗扰度试验

国家标准: **GB/T 17626.3** 《电磁兼容 试验和测量技术  
射频电磁场辐射抗扰度试验》

老标准出版的年份: **1998**; 新标准出版的年份: **2006**

等同的国际标准: **IEC 61000-4-3** 《**Electromagnetic compatibility (EMC) -Part 4-3 : Testing and techniques- Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test**》

老标准引用的版本: **1995**; 新标准引用的版本: **2002**

这里给出新、老国标中不同的部分（增加或修改的部分）。

## 2.1 试验的严酷度等级

在新版标准里对试验的严酷度等级分为一般试验等级和针对数字无线电话的射频辐射而设定的试验等级。其中一般试验等级与旧版标准没有什么不同

等级	试验场强, V/m
1	1
2	3
3	10
x	特定

注: x 是一个开放级, 可在产品规范中规定

●表中给出的是未经调制的信号场强, 在正式试验时要用**1kHz**的正弦波对未调制信号进行深度为**80%**的幅度调制。

●对产品标准化技术委员会来说, 可在我国国家标准**GB/T17626.3**和**GB/T17626.6** (对应于**IEC61000-4-3**和**IEC61000-4-6**) 之间选择比**80MHz**略高或略低的频率作为过渡频率。这里**GB/T17626.6** (及**IEC61000-4-6**) 标准为电气和电子产品规定了频率在**80MHz**以下的辐射电磁场对线路感应所引起的传导干扰试验。

●根据需要, 有关产品标准化技术委员会在试验中也可以选择其他的调制方式。

至于保护设备抵抗数字无线电话射频辐射而设定的试验等级，在下表给出频率范围为**800MHz ~ 960MHz**，及**1.4GHz ~ 2.0GHz**的优先试验等级。

等级	试验场强, V/m
1	1
2	3
3	10
4	30
x	特定

注：x 是一个开放级，可在产品规范中规定

表中给出的是未经调制的信号场强，在正式试验时要用**1kHz**的正弦波对未调制信号进行深度为**80%**的幅度调制。

● 如果产品只需要满足某些特定国家的使用要求，则对**1.4GHz ~ 2.0GHz**的试验范围可缩至只满足当事国数字电话所采用的具体频段，但在试验报告中要反映出这一决定。

● **800MHz**以上的干扰主要来自无线电话系统，对工作于该频段内的其他系统，如工作在**2.4GHz**的无线局域网，其功率很小（ $\leq 0.1W$ ），一般不会出现明显问题。

● 有关专业标准化技术委员会应对每个频率范围规定合适的试验等级。在上述两张表格所述的频率范围内仅需对其中较高的试验等级进行试验。（标准原文：**Product committees shall specify the applicable test level for each of the frequency ranges. In the frequency range mentioned in both table 1 and 2, the test need only be performed at the higher of the two test levels.** 译文准确无误）

## 2.2 试验场地的校准

校准试验场地的目的是为了**确保试验样品周围的场是充分均匀的，以保证试验结果的有效性。在校准过程中不进行调制，以保证传感器指示正常。**

在旧版标准中只讲到在新版标准中所谓的“恒定功率校准方法”。

在新版标准中提到了两种校准方法，即“恒定功率校准方法”和“恒定场强校准方法”，标准认为这两种方法的校准结果是等价的。

新版标准还规定采用未调制的载波分别对水平和垂直两种极化进行校准，校准场强为所施场强的**1.8倍**（这一要求在旧版标准中没有提到），以确保放大器能处理调制信号，且不致饱和。

### 3 脉冲群抗扰度试验

国家标准: **GB/T 17626.4** 《电磁兼容 试验和测量技术  
电快速瞬变脉冲群抗扰度试验》

老标准出版的年份: **1998**; 新标准出版的年份: **2008**

等同的国际标准: **IEC 61000-4-4** 《**Electromagnetic  
compatibility (EMC) -Part 4-4 : Testing and techniques-  
Electrical fast transient/burst immunity test**》

老标准引用的版本: **1995**; 新标准引用的版本: **2004**

下面给出新、老国标中不同的部分。

### 3.1 脉冲群发生器的特性参数

由于当代脉冲群发生器无一例外都采用高压电子开关。这一改变，对提高脉冲群发生器工作的稳定性，及提高试验频率起到了关键作用。因此新一代脉冲群发生器与早期的脉冲群发生器的特性参数有了一些不同点，主要体现在以下两方面：

① 给出了两种不同负载条件下（**50 Ω**和**1000 Ω**）的输出波形要求（发生器的输出阻抗仍为**50 Ω**）。

② 脉冲重复频率去除了**2.5kHz**这一档。新标准不分试验的严酷度等级，统一取**5kHz**或**100kHz**作为试验脉冲的频率。

详见下表：

## 新标准对脉冲群发生器特性参数的要求:

极性	正/负
输出形式	同轴, 50Ω
直流隔直电容	10nF±20%
重复频率	在所选的试验等级上±20%
与电源关系	异步
脉冲群持续时间	在5kHz时为15ms±20%; 在100kHz时为0.75ms±20%
脉冲群周期	300ms±20%
脉冲群的波形 在50Ω负载上 在1kΩ负载上 试验负载阻抗	<p>上升时间<math>t_r = 5ns \pm 30\%</math>, 持续时间<math>t_d</math> (50% ~ 50%处) <math>50ns \pm 30\%</math>, <math>V_p</math>值见相关表格所示, <math>\pm 10\%</math></p> <p>上升时间<math>t_r = 5ns \pm 30\%</math>, 持续时间<math>t_d</math> (50% ~ 50%处) = 35 ~ 150ns, <math>V_p</math>值见相关表格所示, <math>\pm 20\%</math></p> <p>50Ω±2%; 及1kΩ±2%, 并联电容 ≤ 6pF, 共两种。</p> <p>电阻是在直流状态下测试; 电容是普通电容测试仪在低频状态下测试。</p>

从新标准对脉冲群发生器特性参数的要求和新标准中的脉冲重复频率和试验等级的关系可以看到:

① 新标准对脉冲的重复频率要求有了提高。原先第4级的**2.5kHz**频率没有了，代之以脉冲频率全部是**5kHz**或**100kHz**。

② 脉冲的重复频率提高并不会造成对受试设备注入能量的增加，这是因为重复频率自**5kHz**提高到**100kHz**（频率提高了**20**倍），但脉冲群的持续时间却从**15ms**缩减到**0.75ms**（持续时间缩减到原来的二十分之一），因此注入受试设备的脉冲总量没变（仍为**75**个），注入受试设备的干扰能量也就没变，只是单位时间内的脉冲密集程度有了增加。

③ 考虑到国外专家对脉冲群试验的故障机理解释为是干扰脉冲对线路结电容的充电，因此，脉冲频率越高，单位时间内的脉冲个数越多，对结电容的电荷积累也越快，越容易达到线路出错的阈限。故新标准把测试频率提高，其本质上是将试验的严酷程度有了提高。

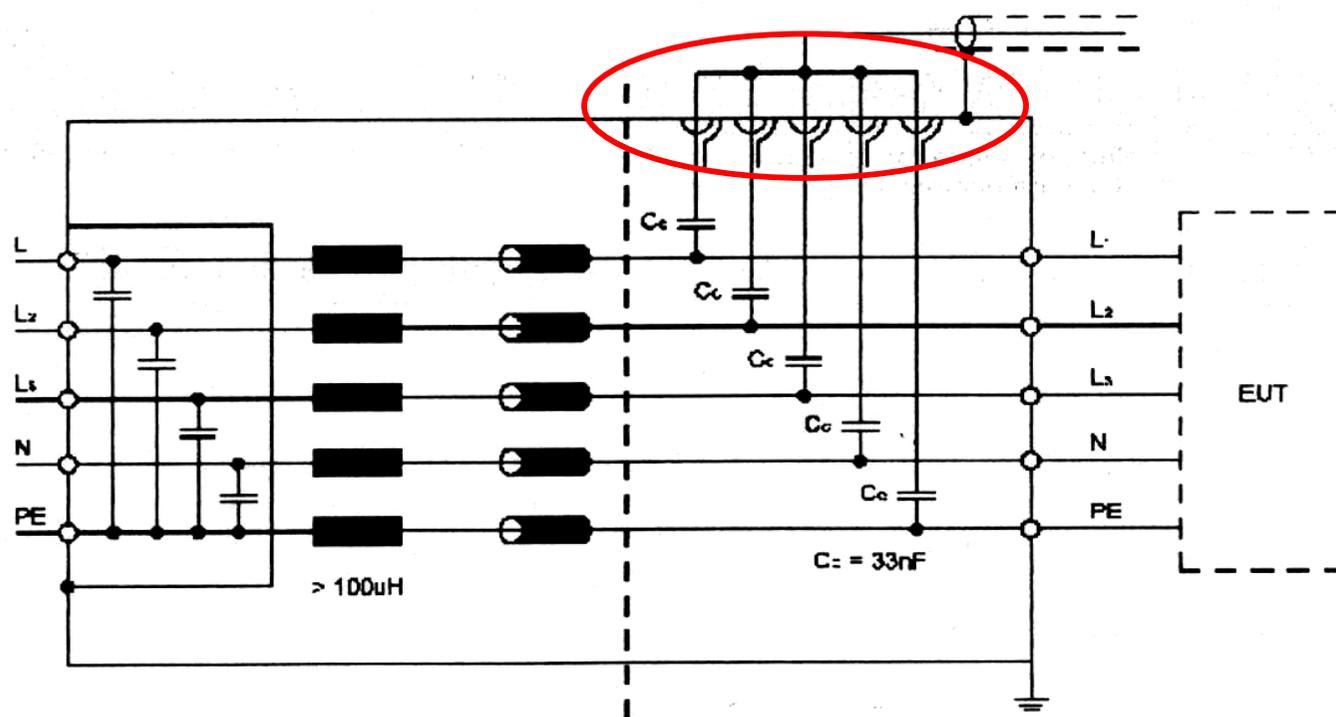
另外，从表中可以看到，必须对发生器的性能进行校验，以便对所有参与做试验的试验发生器的性能建立一个共同依据。校验可采用下列步骤：

在试验发生器的输出端依次分别接入**50 Ω**和**1k Ω**的同轴衰减器，并用示波器加以监测。其中**50 Ω**是试验发生器的匹配负载；**1k Ω**试验负载则体现了发生器的一个复合负载。不同品牌的试验发生器只有在两种极端的负载条件下拥有相同特性，才能保证在实际的抗扰度试验中有相互可比的试验结果。

## 3.2 耦合/去耦网络

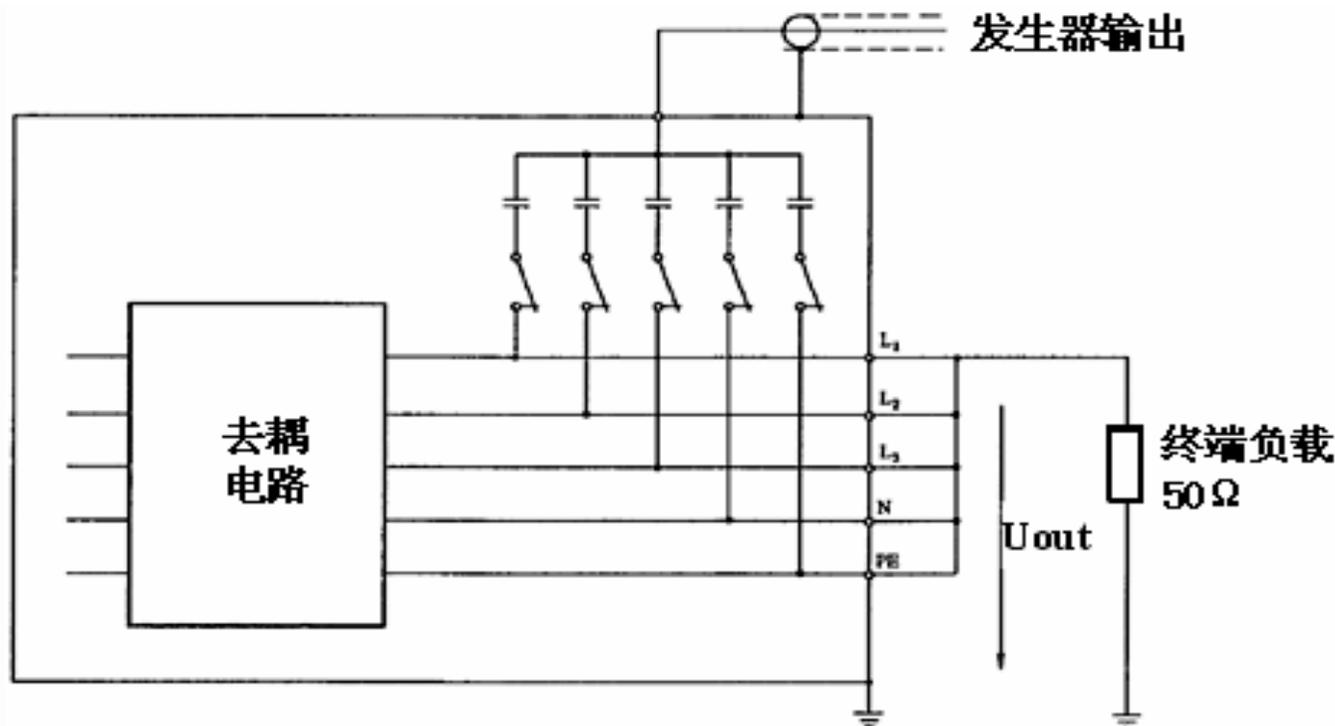
新老标准的又一个不同点是，做电源线抗扰度试验时所用的耦合/去耦网络。

老标准是对电源线逐根做共模抗扰度试验；新标准则对所有电源线路同时做共模抗扰度试验。后者更加符合共模干扰的特点。



为了保证在交流/直流电源端口试验中使用的耦合/去耦网络性能合格，光有上述基本要求是不够的，还必须对耦合/去耦网络的共模输出波形进行校验。

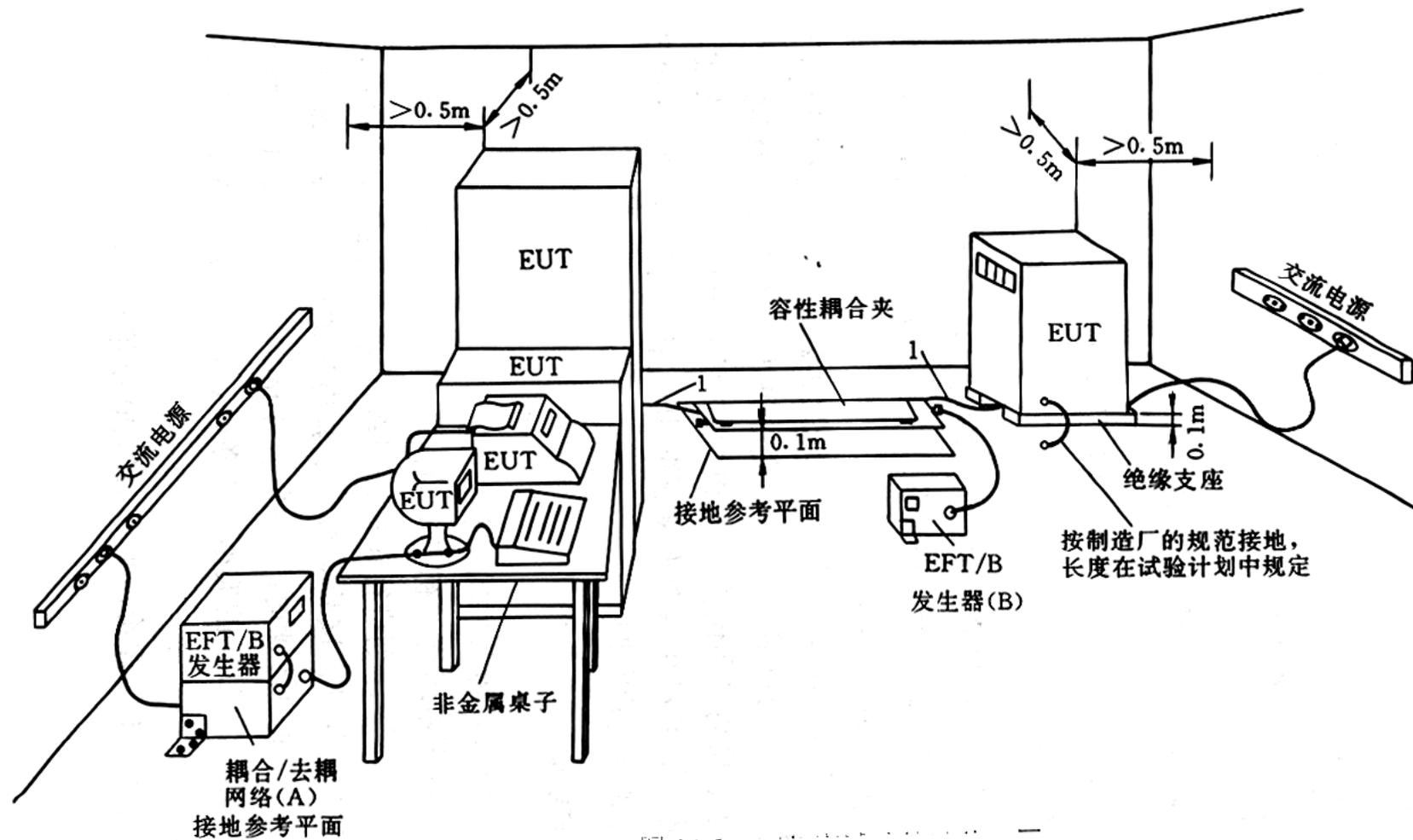
校验时发生器的输出电压设置为4kV。发生器的输出接耦合/去耦网络的输入；耦合/去耦网络的所有输出短路，并接一个单一的50Ω负载，记录峰值电压和波形。



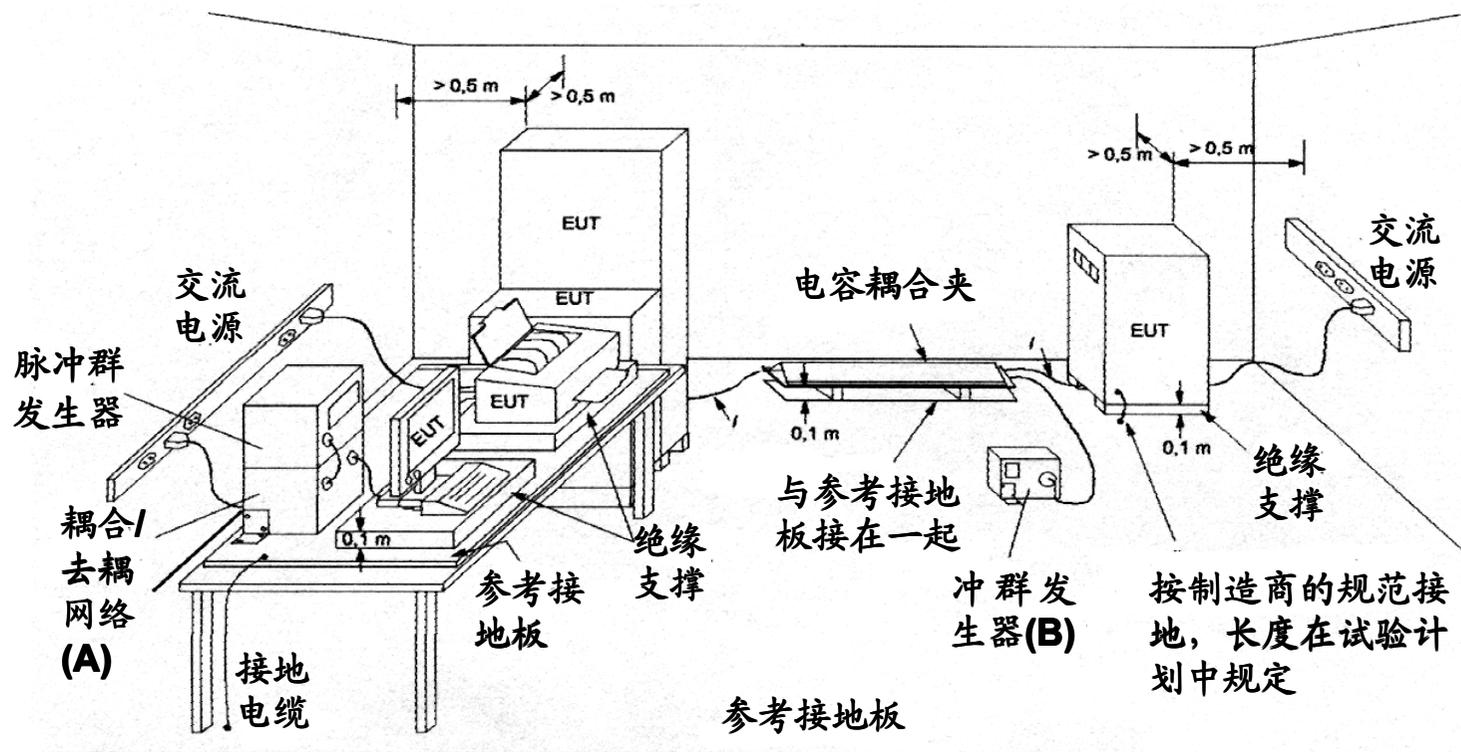
新标准对经过耦合/去耦网络后的输出波形校验结果的一致性规定有重要意义，因为耦合/去耦网络是发生器的第一个负载，事实上只有经过耦合/去耦网络输出的试验波形在大体一致的话，才能代表输入到被试设备中的试验波形的谐波成分含量的一致性，只有这样，才能保证采用不同试验发生器时的试验结果大体一致。

### 3.3 实验室型式试验的配置

关于实验室型式试验的配置，在**老标准与新标准**里各有一张非常相似的实验室试验配置图，为了说明问题起见，今将新老标准的实验室型式试验配置分别给出在随后两页的插图中。在仔细观察这两张图片的时候，还是能发现这两张图片的细微差别，**最大的不同**出现在这两张图的左侧，这是**关于台式设备的试验配置**。



## 老标准中的试验配置



$l$  = 耦合夹与EUT之间的距离, 为  $0.5\text{m} \pm 0.05\text{m}$ ; (A) = 电源线耦合的位置; (B) = 信号线耦合的位置

## 新标准中的试验配置

按照新标准的配置，无论是地面安装设备、台式设备、以及其他结构形式的设备，都将放置在一块参考接地板的上方。被试设备与参考接地板之间用**0.1m±0.01m**厚的绝缘支撑物隔开。由于配置方式相同，对地面设备和台式设备的实际严酷程度也是相同的，不存在哪一种配置方式更容易通过的问题。

新标准规定，凡是安装在天花板上或是墙壁上的设备都按台式设备来做试验。

新标准还规定，试验发生器和耦合/去耦网络也直接放在参考接地板上，并与参考接地板保持低阻抗连接。

新标准规定，在耦合装置与被试设备之间的电源线和信号线的长度为  $0.5\text{m} \pm 0.05\text{m}$ （而不是老标准规定的  $\leq 1\text{m}$ ）。新标准这一规定对试验结果的可比性、一致性特别重要（不同的线长意味着被试设备最终所受到的传导干扰和辐射干扰的比例是不同的，也就没法保证试验结果的可比性）。

新标准还规定与被试设备连接的所有电缆要放在离地高度为  $0.1\text{m}$  的绝缘支架上。明确这一点也很重要，因为被试设备的连接电缆与参考接地板之间构成了一个分布电容，不一样的离地高度，意味着有不一样分布电容，这对于脉冲群中高频谐波从连接电缆上的逸出情况也是不一样的，会直接影响试验结果。

### 3.4 试验方法

关于试验计划中的试验时间，在老标准中只写不低于**1分钟**。而在新标准写道，选择试验时间为**1分钟**是为了加速试验，然而为了避免试验中发生与脉冲同步的情况（在现实环境中，脉冲群干扰是个独立事件，它与被试设备的信号是不同步的），试验中可以将时间分割成**6**个有脉冲群干扰的**10秒钟**，而在两群脉冲之间暂停**10秒钟**。

产品标准的制定委员会也可以选择其他的试验持续时间。

对于新标准的这一观点，作者并不完全认同。如果说国外专家对脉冲群试验造成被试品失效曾经提出的机理是正确的（脉冲群试验是利用干扰对线路结电容充电，当其能量积累到一定程度，就可能引起被试品出错。这就是说在造成被试品出错之前，实际上有一个能量的积累过程。在平时做试验时，我们也发现，对脉冲群的施加，被试品不是一上来就出错的，而是要工作一段时间之后，例如，经过半分钟，或接近1分钟之后，被试品的出错情况才能显现出来，而且越来越严重。这较好地应证了国外专家对被试品失效机理的分析）。那么，把试验时间分割成施加**6**个**10**秒的脉冲群，中间每次间隔暂停**10**秒钟的做法，实际上是使被试品得到了一个“喘息”机会，在暂停施加脉冲的**10**秒钟内，存在结电容上的能量便能得到一定程度的释放，从而使被试品不太容易出错了。

其实脉冲群与被试设备的信号同步，特别是与电源信号的同步问题，不应当是一个重点提出的问题，对**50Hz** 电源来说，每周波所占的时间为**20ms**（对**60Hz** 电源来说，每周波所占的时间为**16.6ms**），与**5kHz** 的脉冲群一群所占用的时间是相当的，亦即一群脉冲的发生过程必定会经历一个周波电压的峰值、谷值和过零点，所以刻意追求与电源信号的不同步并没有太多的实际意义。

## 4 浪涌抗扰度试验

国家标准: **GB/T 17626.5** 《电磁兼容 试验和测量技术  
浪涌(冲击)抗扰度试验》

老标准出版的年份: **1999**; 新标准出版的年份: **2008**

等同的国际标准: **IEC 61000-4-5** 《**Electromagnetic  
compatibility (EMC) -Part 4-5 : Testing and techniques-  
Surge immunity test**》

老标准引用的版本: **1995**; 新标准引用的版本: **2001**

下面是新、老国标中主要的不同部分。

## 4.1 电源线耦合/去耦网络EUT端口的电压波形和电流波形的要求

新版标准与旧版标准在综合波发生器的基本参数上没有什么不同。两个标准的一个重要差异是新版标准提出了要在耦合/去耦网络的受试设备端口上来校验电压和电流波形（包括波形的前沿和半峰值持续时间）。

波形校验时，浪涌发生器的输出和耦合网络的输出端子要接到有足够带宽、且有足够电压容量的测量系统去，以便监视开路电压的波形。

电源线耦合/去耦网络输出端的开路电压波形与耦合模式（线-线或线-地）有关。耦合电路的参数是：线-线（差模试验）为 $18\ \mu\text{F}$ ；线-地（共模试验）为 $9\ \mu\text{F} + 10\ \Omega$ 。

网络中的去耦电感由浪涌发生器的制造商选择，但在额定电流下，耦合/去耦网络在被试设备端口处的电源压降应小于10%。同时，去耦电感的值不应超过1.5mH。

为了避免在耦合/去耦网络上不希望产生的电压降落现象出现，当电流  $> 25\text{A}$  时，耦合/去耦网络中的去耦元件（去耦电感）的值要适当减小，因此，开路电压波形的半峰值时间允许按照表1和表2中所规定的参数进行变化（在耦合/去耦网络的输出端对波形的下冲或过冲没有限制）：

表1. 在耦合/去耦网络的被试设备端口处的电压波形

开路时的浪涌电压波形		耦合阻抗	
		$18\mu\text{F}$	$9\mu\text{F} + 10\Omega$
前沿时间		$1.2\mu\text{s} \pm 30\%$	$1.2\mu\text{s} \pm 30\%$
半峰值时间	电流额定值 $< 25\text{A}$	$50\mu\text{s} + 10\mu\text{s} / -10\mu\text{s}$	$50\mu\text{s} + 10\mu\text{s} / -25\mu\text{s}$
	电流额定值在 $25 \sim 60\text{A}$	$50\mu\text{s} + 10\mu\text{s} / -15\mu\text{s}$	$50\mu\text{s} + 10\mu\text{s} / -30\mu\text{s}$
	电流额定值在 $60 \sim 100\text{A}$	$50\mu\text{s} + 10\mu\text{s} / -20\mu\text{s}$	$50\mu\text{s} + 10\mu\text{s} / -35\mu\text{s}$

\* 浪涌电压波形的参数是在耦合/去耦网络电源端口为开路的情况下测试的。

表2. 在耦合/去耦网络的被试设备端口处的电流波

短路时的浪涌电流波形	耦合阻抗	
	$18\mu\text{F}$	$9\mu\text{F} + 10\Omega$
前沿时间	$8\mu\text{s} \pm 20\%$	$2.5\mu\text{s} \pm 30\%$
半峰值时间	$20\mu\text{s} \pm 20\%$	$25\mu\text{s} \pm 30\%$

新版标准中提出上述内容是非常重要的：当耦合/去耦网络与发生器配合使用时，耦合/去耦网络在一定程度上也成了发生器的负载。由于发生器产生的波形相对缓慢，电压波为  $1.2 \mu\text{s} / 50 \mu\text{s}$ ，电流波为  $8 \mu\text{s} / 20 \mu\text{s}$ ，意味着这些波形所包含的谐波成分不算太高，因此，去耦网络中由电感形成的感抗值也有限，这必然使耦合/去耦网络成为发生器负载中不可忽视的部分，而且这个负载将同时参与综合波中的电压和电流波形的形成。很显然，这与单独由发生器去形成电压波和电流波是完全不同的两个概念，因此，在耦合/去耦网络的被试设备端口处的波形发生变化是不可避免的。新版标准中表1和表2给出了波形变化的允许范围，这实际规范了不同品牌仪器在制作上的误差；同时也增加浪涌试验时试验结果的可比性和重复性。

值得一提的是，新标准对于耦合/去耦网络电源输入端的残余电压，以及未加浪涌这几条线路的串扰电压的要求没有发生变化。这两个要求实际成为制造商选择去耦电容的依据。

新版标准中的这些内容对仪器制造商和仪器的操作人员来说都是至关重要的，它增加了这个标准的可操作性。

## 4.2 用在互连线试验上的耦合/去耦网络

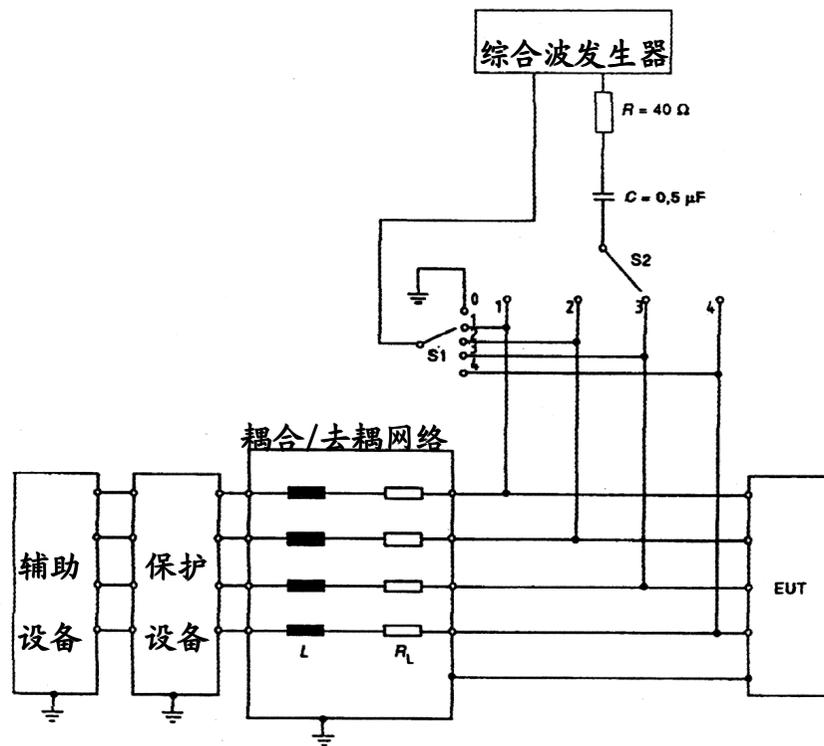
用在互连线试验上的耦合/去耦网络，耦合方式应根据被试电路的功能和运行情况来加以选择，具体的选择应当在产品的技术条件或产品标准中作出规定。

对于电容耦合不能使用的场合（可能是因为功能方面的问题；也可能是耦合电容对互连线所起的负载作用），应当采用放电管来作为耦合电路。在新版标准与旧版标准最大的不同是去掉了并联在气体放电管上的电容。另外，在新版标准中还增加了采用雪崩装置的耦合/去耦网络。

采用电容耦合的耦合/去耦网络，与采用放电管耦合的耦合/去耦网络，可以有不同的试验结果。究经选用何种耦合方式，由产品标准规定，但在试验报告中应当加以记录。

此外，如果信号线是对称的，则在去耦网络中可以使用电流补偿电感。

对于非屏蔽的不对称I/O线路，当耦合电容对该线路的功能没有影响时，可以采用此法。耦合线路中的去耦电路为 $R=40\ \Omega$ ， $C=0.5\ \mu\text{F}$ ；去耦电感 $L=20\text{mH}$ 。如无特殊规定，在被试品与耦合/去耦网络之间的连线长度不应超过2m。



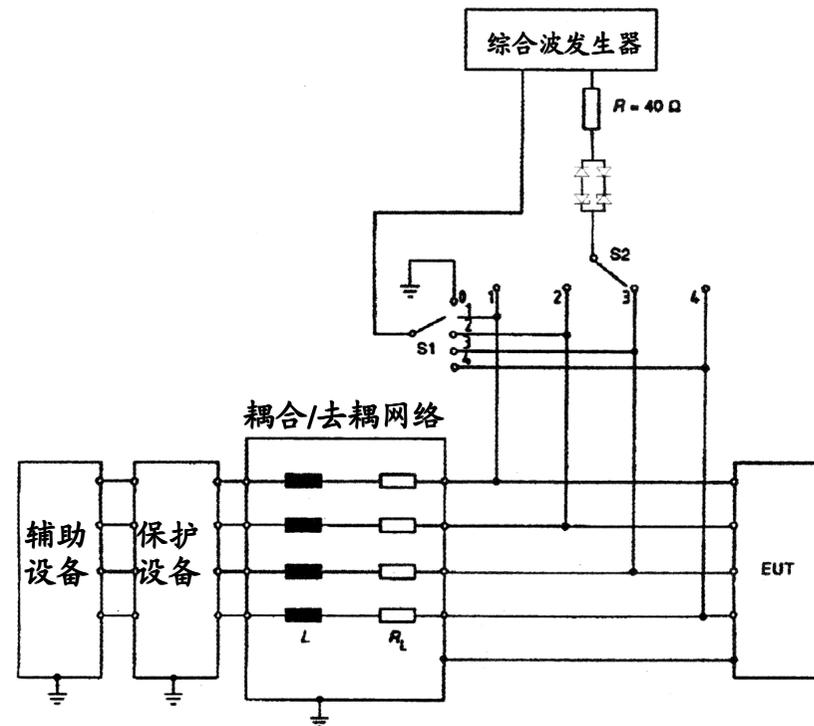
共模试验时S1接0；差模试验时S1接1~4。S2在试验时接1~4，但与S1不在同一位置

用于非屏蔽不对称I/O线路的电容耦合/去耦网络

当线路有较高的信号传输速率时，耦合电容会对线路的功能造成影响，电容器就不能使前图的耦合电容。图中这些电容很小的箝位元件，能用于许多I/O线路上。要注意，箝位元件的箝位电压必须足够低（刚大于被试线路的最大工作电压）。试验的连线长度不应超过2m。

耦合/去耦网络中的参数是：耦合电路的阻抗为 $R=40\Omega$ ，再加上所选箝位元件本身的阻抗；去耦电感 $L=20mH$ 。

在试品处的脉冲波形取决于脉冲幅度、箝位元件本身的特性，故无法规定波形的值及其容差。



共模试验时S1接0；差模试验时S1接1~4。  
S2在试验时接1~4，但与S1不在同一位置

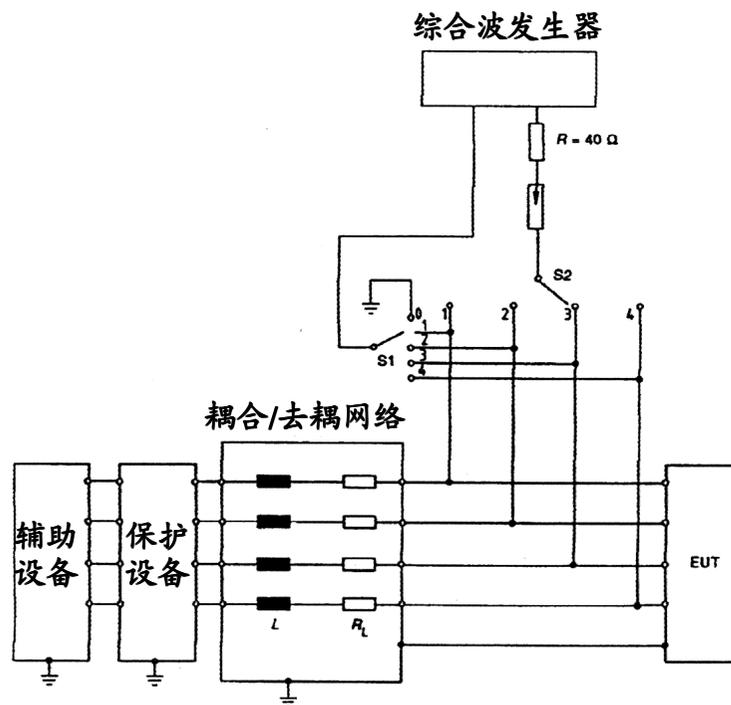
用于非屏蔽不对称I/O线路经由箝位元件耦合的耦合/去耦网络

另一个替代电容耦合线路的方案是使耦合/去耦网络。

由于硅雪崩元件或气体放电管只到放有很多小的寄生电容，考虑到以气用体放有大管着的火电压很高，涌浪的管压被选得尽量低一点，但试验连线路长度不应超过2m。

耦合/去耦网络中的参数是：耦合电路的阻抗为  $R=40\ \Omega$ ，再加上所选放电管（充气的，或固体的）的阻抗；去耦电感  $L=20\text{mH}$ 。

试品处的脉冲波形取决于脉冲的幅度，及雪崩元件本身的特性，所以无法规定波形的值及容差。



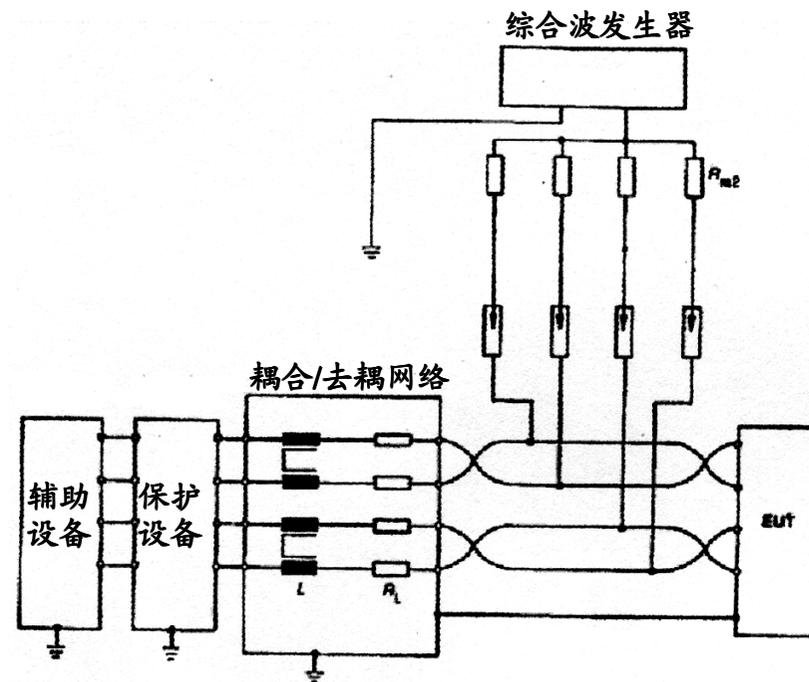
共模试验时 **S1**接**0**；差模试验时 **S1**接**1~4**。**S2**在试验时接**1~4**，但与**S1**不在同一位置

用于非屏蔽不对称I/O线路经由气体放电管耦合的电容

经由放电管的耦合/去耦网络（通信线）来说是一种非常好的耦合方式。

耦合网络同时负有将浪涌电去流分配到多对多芯的导线上来的任务。这里  $R_{m2}$  是耦合网络中的电阻，对  $n$  芯的导线来说， $R_{m2} = n \times 40 \Omega$  ( $n$  等于或大于 2)。  $R_{m2}$  不超过  $250 \Omega$ 。耦合/去耦网络中的参数是：耦合电路的阻抗为  $R_{m2}$  再加上所选放电管的阻抗；去耦电感  $L = 20mH$ 。试验的连线长度不应超过  $2m$ 。

试品处的脉冲波形取决于脉冲幅度，以及放电管的特性，无法规定波形的值及其容差。



用于非屏蔽对称互连线（通信线）经由放电管耦合的共模试验配置

注意，对于对称互连/通信线路，通常不使用电容耦合的方法，而采用气体放电管耦合。但试验中不能对气体放电管触发点以下的试验等级作规定（例如对  $90V$  气体放电管此值约为  $300V$ ），这一原理同样适用上一线路。

### 4.3 针对高速通信线路的耦合/去耦网络

由于结构的原因，大多数耦合/去耦网络在频率达到**100kHz**时使用是受到限制的，在这种情况下，将没有合适的耦合/去耦网络可供商业应用。为此，在新版标准里提出卸掉通信线（对于某些被试品，可以考虑在数据或通信线卸掉的时候，在被试品的内部关断或松开通信端口），**不经过耦合/去耦网络，而将浪涌直接加到通信端口上**（在这个试验中，被试品的功能应当保持。如有可能，在整个试验期间，应考虑采取必要措施以保持数据或通信端口的有效性）。**在浪涌试验结束后，再重新测试该端口的功能。**

由此可见，耦合方式的选择，实际上是受到线路的功能、工作条件等因素制约的，需要在产品的技术条件中加以说明。

对于像**ISDN**和**XDSL**等高速通信线路，为了能正常工作，去耦网络的通路必须是低阻抗的。新版标准中提出的一个合适的耦合/去耦网络的例子见下图所示。该线路只能工作在**1.2 / 50  $\mu$  s**和**8 / 20  $\mu$  s**的综合波情况下，因为对**10/700  $\mu$  s**波形来说，电感器会发生饱和。



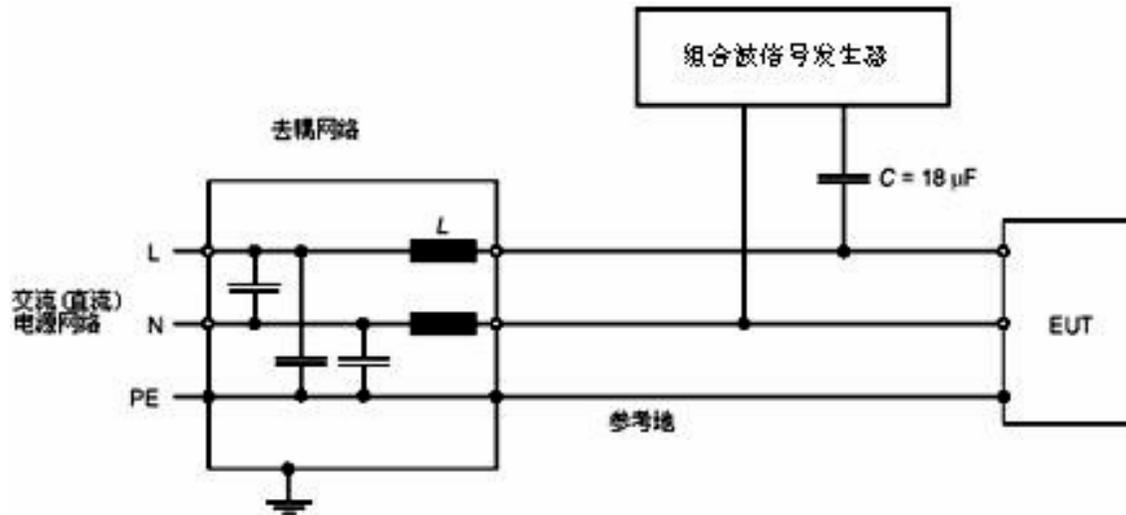
## 4.4 新版标准中增加了对金属接地参考平板的要求

新版标准提到了参考接地板的使用：对高频工作的情况（通常是采用气体放电管来进行耦合），以及随后用来对屏蔽线进行试验情况是必须要采用参考接地板的。另外，在正式安装使用时必须要连接参考地的被试品，它们在做浪涌试验时就一定要连接参考接地板。

## 4.5 对于标准执行中可能遇到的几个问题

### ① 安装浪涌测试设备后实验室的跳闸问题

图示为电源线耦合/去耦网络，由于浪涌波的脉冲比较宽（含有的谐波成分比较低），浪涌波发生器的内阻又比较低，因此对浪涌波的去耦比较困难，标准上规定去耦电感为 $1.5\text{mH}$ （电流小于 $25\text{A}$ 时），对去耦电容没有规定，仅指出残余电压小于所施电压的 $15\%$ ，通过这一要求来选择去耦电容，因此实际浪涌测试设备的共模和差模去耦电容都选得比较大，例如选用 $10\ \mu\text{F}/1000\text{V}$ ，这样每（火线）-地之间的泄漏电流（对 $220\text{V}$ 线路来说）要达到 $0.67\text{A}$ ，远大于实验室漏电开关的动作电流（一般是 $30\text{mA}$ ），所以浪涌设备引起实验室跳闸是必然的。



解决这一问题的方法:

(1) 拆掉实验室的漏电开关。优点: 简单、易行。缺点: 安全性差。

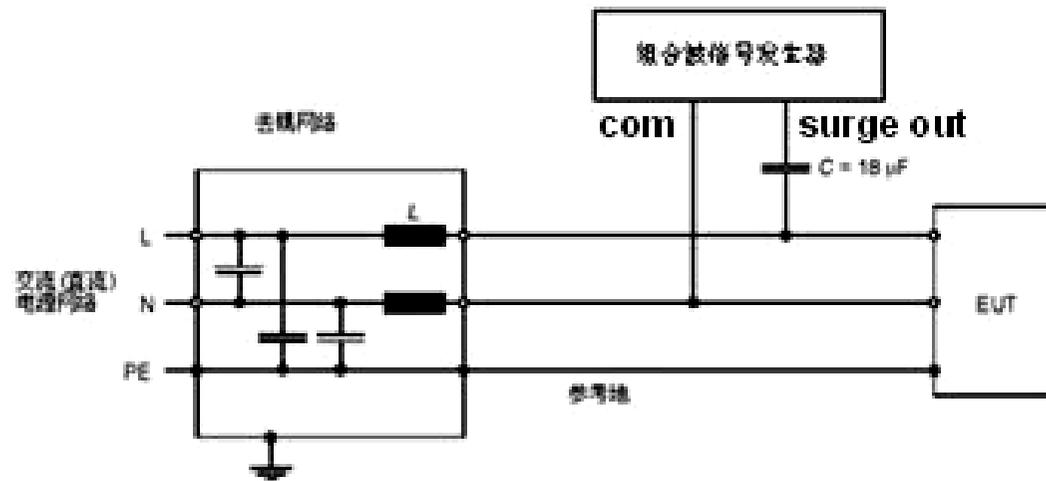
(2) 在浪涌设备的电源线耦合/去耦网络之前加装一台隔离变压器。优点: 安全性好。缺点: 代价较大, 特别是当被试设备的容量较大时, 为了匹配隔离变压器与负载的电流容量, 应当选用容量较大的隔离变压器, 需要花费较大的设备费用和实验室场地。

隔离变压器的最小容量要能提供电源线耦合/去耦网络的去耦电容的泄漏电流, 否则将使隔离变压器遭受损坏。

## ② 浪涌输出与浪涌发生器机壳浮空的问题

在新标准6.1.1节中指出“应该使用输出端浮地的信号发生器”。关于这个问题的解释依然看浪涌试验的信号源差模耦合/去耦网络线路。在这个线路中，如果浪涌的输出与发生器外壳不浮空，即发生器的com端与发生器的外壳是连在一起的，在这种情况下，做差模试验时，如果com端与输入电源的火线相连时，则浪涌发生器的外壳要与输入电源的火线等电位，带来的后果是设备外壳带电。

解决方案：(1) 设备外壳不能接地，否则造成实验室电源短路，但设备外壳带电对试验人员安全受到威胁。(2) 另一个办法是加接隔离变压器。(3) 第三个办法是发生器浮空。



### ③ 壳绝缘设备的共模试验问题

经常见到客户在电度表等外壳绝缘设备进行共模试验时，不知道浪涌发生器的**com**端子接在哪里，通常会把**com**端子接到外壳的外露金属零件上，由于这个零件与内部线路几乎没有联系，因此共模试验等于没做，起不到任何作用。

对此，建议用户在做这类设备的浪涌共模试验时，应当加一块参考接地板，利用设备内部线路与参考接地板之间的分布电容（在被试设备与参考接地板之间要垫适当厚度的绝缘支座，例如**10cm**的绝缘支座，保证分布电容的值适当，且不变），以便将共模电压加到所施线路上。

#### ④ DC/DC变换器的浪涌试验问题

有客户反映，浪涌发生器不能用在DC/DC变换器上做DC/DC变换器的浪涌抗扰度试验。研究其原因，DC/DC变换器也是开关电源中的一种，只不过它是用直流电源作为其工作电源，DC/DC变换器的工作仍是开关状态，工作频率为几十kHz到几百kHz，这就是说它对工作电源的吸收电流是一个个脉冲电流，脉冲电流的工作频率同样是几十kHz到几百kHz。我们知道DC/DC变换器如果要做直流电源输入端的浪涌试验，必然要在直流电源和DC/DC变换器之间插入电源线耦合/去耦网络，通过电源线耦合/去耦网络，浪涌发生器将浪涌迭加到直流电源的输入线上。由于电源线耦合/去耦网络的去耦作用主要是由电感完成的，因此DC/DC变换器的电源输入电流要在耦合/去耦网络的电感上形成压降，这样直流电源的输出电压就不能全部作用到DC/DC变换器的电源输入端，而要扣除因DC/DC变换器的电源输入电流要电感上产生的压降，亦即输入电压要低于直流电源的输出电压。而且DC/DC变换器的工作频率越高，DC/DC变换器的吸收电流越大，形成的压降也越大，造成DC/DC变换器不能正常工作。

## ⑤ 被试设备的浪涌电压施加问题

考虑到被试设备电压-电流转换特性的非线性，试验电压应该逐步增加到产品标准的规定值，以避免试验中可能出现假象（在高试验电压时，因为被试设备中可能有某个薄弱器件击穿，旁路了试验电压，致使试验得以通过。而在低试验电压时，由于薄弱器件未被击穿，因此试验电压以全电压加在试验设备上，反而使试验无法通过）。

浪涌要加在线-线或线-地之间。如果要进行的是线-地试验，且无特殊规定，则试验电压要依次加在每一根线与地之间。但要注意，有时出现标准要求将干扰同时叠加在2根或多根线对地的情况，这时脉冲的持续时间允许减小一些。

由于试验可能是破坏性的，所以决不要使试验电压超过规定值。

另外，浪涌试验的施加速率为1次/min，这主要考虑到自然界的雷击发生的速率通常不会比此值来得更高。而且设备中的浪涌保护器件也需要在两次浪涌发生的间隔中有足够的时间让吸收浪涌所产生的热量得到耗散。

## 5 电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度试验

国家标准: **GB/T 17626.11** 《电磁兼容 试验和测量技术 浪涌 (冲击) 抗扰度试验》

老标准出版的年份: **1999**; 新标准出版的年份: **2008**

等同的国际标准: **IEC 61000-4-11** 《**Electromagnetic compatibility (EMC) -Part 4-11 : Testing and techniques- Voltage dips, short interruptions and variations immunity test**》

老标准引用的版本: **1995**; 新标准引用的版本: **2004**

下面是对标准执行中可能遇到的几个问题的说明

① 在标准的6.1.1节的发生器性能和特性中提到  
100%输出, 在0~16A时输出电压变化小于5%;  
80%输出, 在0~20A (5s) 时输出电压变化小于5%;  
70%输出, 在0~23A (3s) 时输出电压变化小于5%;  
40%输出, 在0~40A (3s) 时输出电压变化小于5%;  
从上面的特性看, 要求试验发生器有恒定的功率输出能力。

另外, 对发生器还要求有最大峰值冲击电流的能力, 相对250V~600V的电源, 要求 $\leq 1000\text{A}$ ; 相对220V~250V的电源, 要求 $\leq 500\text{A}$ ; 相对100V~120V的电源, 要求 $\leq 250\text{A}$ 。

作者认为这一切都是针对开关电源的工作特点来提出要求的, 在开关电源输出功率不变的情况下, 另外再假定开关电源的效率为100%, 那么随着输入电压的降低, 输入电流要相应增大, 保持输入为恒功率。

其次, 发生器的输出的最大峰值冲击电流的能力也和开关电源的工作特点有关, 在开关电源开启的一刹那时间, 开关电源输入端的滤波电容相当于是短路的, 由此引入了峰值冲击电流的概念, 很明显输入电压越高, 引起的输入冲击电流也越大。

② 普通的电压跌落设备原则上可适用于**50Hz**和**60Hz**的电源，因为普通的电压跌落设备是通过对正弦电压波形过零检测来实现的。

③ 普通的电压跌落设备是通过电子开关切换两台调压器的输出电压来实现的。因此电压跌落设备使用的两台调压器相对变频电源来说是一个很大的电感性负载。在这种情况下与**60Hz**的变频电源配合时可能会出现问题，因为现时的变频电源都是**PWM**方式实现的，电源输出端要通过滤波来保证输出电压波形的正弦，如果变频电源的输出接了一个电感性的负载，有可能会影响变频器的的工作，这一点值得注意。如果要**做60Hz**的电压跌落，最好要用**60Hz**的发电机来进行试验。

**谢谢您的关注！**