

# 浪涌抗扰度试验的 要点及其对策

钱振宇

浪涌抗扰度试验是许多重要的抗扰度试验标准中的一种。但在标准的执行中也出现了试验结果的不一致性，究其原因，有发生器的问题，也有耦合/去耦网络和试验方法的问题。本文除了介绍现行的国家和国际浪涌抗扰度试验标准外，还着重介绍国际浪涌抗扰度试验标准在这些方面的最新进展，以及浪涌抗扰度试验的对策。

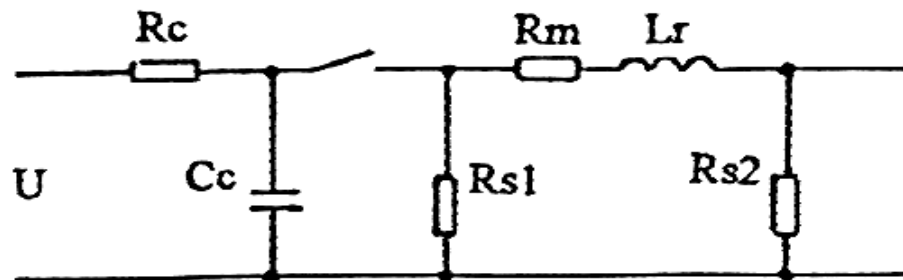
浪涌抗扰度试验的国际标准是IEC61000-4-5:1995，与之对应的国家标准是GB/T17626.5-1999，属基础性的电磁兼容标准。凡在产品标准中涉及雷击浪涌抗扰度试验的，均按这两个标准所提供的方法进行。

但自从浪涌抗扰度试验标准发布以来，在执行过程中也曾发现过一些问题，如波形的校验，特别是带了耦合/去耦网络之后的波形校验问题；以及在高速数据线路上的浪涌波耦合问题等等。为此，国际上也陆续出现了一些修订该项标准的意见。本文根据最近一次得到的标准修订稿（2004年版，CDV文件），介绍浪涌抗扰度试验标准化的最近动态，希望引起业内人士的兴趣。

# 1. 综合波发生器

## 1.1 综合波发生器的由来

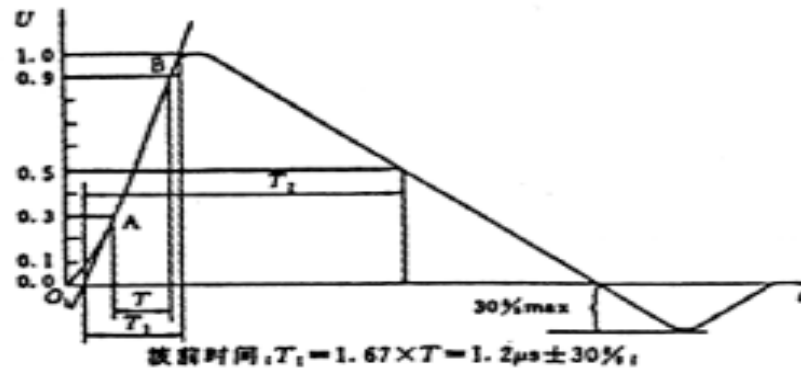
能在同一台发生器中产生 $1.2/50 \mu s$ 的浪涌电压波（发生器输出为开路）和 $8/20 \mu s$ 的浪涌电流波（发生器输出为短路），发生器的等效输出阻抗为 $2 \Omega$ 。发生器的输出阻抗决定了开路输出电压峰值与短路电流峰值的比值。由于是在同一个发生器里产生符合标准要求的电压和电流两个波形，标准把这个发生器称为综合波发生器。



U 高压电源， $R_s$  脉冲持续期形成电阻，  
 $R_c$  充电电阻， $R_m$  阻抗配电阻，  
 $C_c$  储能电容， $L_r$  上升时间形成电感

图1 综合波发生器的电原理图

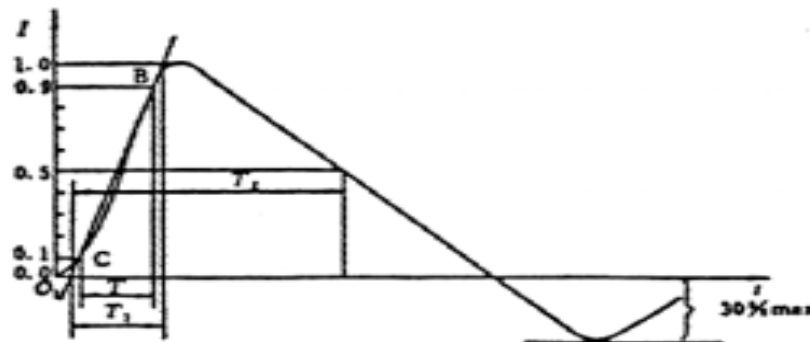
# 电压和电流波形的定义方法和要求：



波前时间,  $T_r = 1.67 \times T = 1.2 \mu s \pm 30\%$

半峰值时间,  $T_{1/2} = 50 \mu s \pm 20\%$

a) 综合波发生器的开路电压波形



波前时间,  $T_r = 1.25 \times T = 8 \mu s \pm 30\%$

半峰值时间,  $T_{1/2} = 20 \mu s \pm 20\%$

b) 综合波发生器的短路电流波形

图2 综合波的电压和电流波形定义

综合波发生器中电压和电流波形是被试品输入阻抗的函数。当浪涌信号加到被试品上，由于被试品中安装的保护器件动作，或者被试品输入端产生飞弧和击穿，使得被试品输入端的阻抗可能产生变化，为了评价被试品的性能，确保综合波发生器所特有的1.2/50  $\mu$ s电压波和8/20  $\mu$ s电流波是必须的。此外，标准规定开路输出电压波和短路输出电流波的幅度误差均为 $\pm 10\%$ 。以上这些这是对综合波发生器的考核依据。

## 1.2 用于交/直流电源线的耦合/去耦网络

耦合/去耦网络中的耦合部分用来将综合波发生器的浪涌信号传送到被试品的交/直流电源线上，进而进入被试品的电源部分。去耦部分则用来防止施加在被试品上的浪涌信号进入电网，影响电网中的其他用电设备的工作。

从图3和图4图可见，耦合/去耦网络的额定参数是：耦合电容 $C$ 为 $18\mu\text{F}$ （用于差模试验）或 $9\mu\text{F}$ （另外再串联 $10\Omega$  的电阻，用于共模试验）；去耦电感 $L$ 为 $1.5\text{mH}$ 。

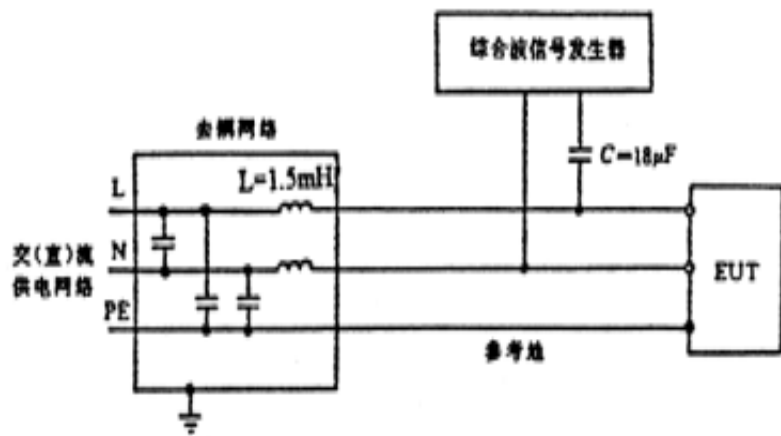


图3 差模试验配置

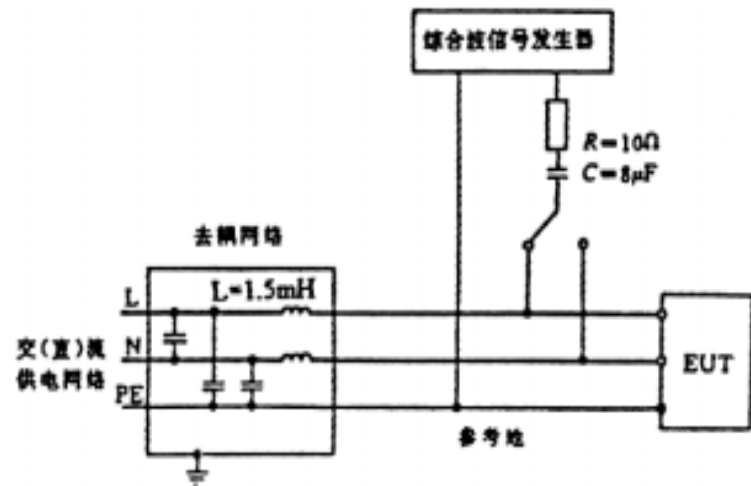


图4 共模试验配置

关于耦合/去耦网络置入后对波形发生器的影响，在IEC61000-4-5：1995标准的6.3.1节中指出：“除了浪涌发生器本身的输出外，还有耦合/去耦网络的输出，其所有波形的定义以及试验发生器的其他参数均由6.1.1节来规定”。在同一标准的6.1.1节中又指出：“对于专门的试验条件应包括附加的电阻（10 或40 ）以增加要求的等效源阻抗”。“这时和耦合/去耦网络相连的开路电压波和短路电流波不再是1.2/50  $\mu$ s和8/20  $\mu$ s（综合波）波形了”。在该标准6.3.1节的注释中进一步指出：“当信号发生器阻抗根据配置要求从2 增加到12 或42 时，耦合网络输出的试验脉冲持续时间可能会明显变化”。



对于耦合/去耦网络的去耦性能，在IEC61000-4-5：1995标准中只提到：“当被试品没有与去耦网络连接时，在未加浪涌线路上的残余浪涌电压不应超过最大所施加电压的15%”。“当被试品、供电网络未与耦合/去耦网络连接时，在去耦网络电源输入端上的残余浪涌电压不应超过所施加电压的15%，或电源电压峰值的两倍，两者中取大者”。标准的这两段话实际上是浪涌试验设备制造商对去耦电容选择的依据（标准没有规定共模和差模电容的实际值）。

### 1.3 对波形的校验问题

从对综合波发生器及耦合/去耦网络的叙述，可得出如下结论：

1. 标准对发生器的输出波形有明确规定，开路状态下的电压波为 $1.2/50 \mu\text{s}$ ；短路状态下的电流波为 $8/20 \mu\text{s}$ 。通过发生器的内阻将电压波峰值与电流波峰值联系起来，发生器内阻为 $2 \Omega$ 。
2. 由于耦合/去耦网络的参入，特别是在耦合电容支路中串联电阻后（如按图4要求进行共模试验），在耦合/去耦网络输出端的波形会有明显变化。

事实上，标准还是忽略了耦合电容担负的隔直电容的作用，以及它对耦合/去耦网络输出端波形的影响（因为标准从来没有确切提到在耦合/去耦网络输出端波形参数的允许范围）。从图1的综合波发生器简图可以看出，它的开路电压波和短路电流波都是通过储能电容 $C_C$ 直接对电阻和电感放电来形成的，所以波形中必然含有直流分量。而耦合电容的隔直作用却阻止了直流分量的通过，因此在耦合/去耦网络输出端的波形（相对于发生器的直接输出波形）发生变化是肯定的，只是在耦合电容支路中串进电阻以后的波形变化更加明显。

## 1.4 综合波经过耦合/去耦网络后对输出波形的新规定

就发生器和耦合/去耦网络来说，在标准修订稿中最关键的一点是提出了要在耦合/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）。这时在发生器的输出端（注意，不是在耦合/去耦网络的输出端上）可以有30%的负冲。试验时，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。在AC和DC电源线配置的耦合/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。上述耦合电路的参数是：线-线（差模试验）为 $18\ \mu\text{F}$ ；线-地（共模试验）为 $9\ \mu\text{F} + 10$ 。

去耦电感由模拟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：

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
前沿时间		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 ~ 60A	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 ~ 100A	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
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 $\mu\text{s} \pm 30\%$

在标准修订稿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。草案中表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，标准修订稿对于耦合/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。总之，标准修订稿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IEC61000-4-5标准的可操作性。

## 2. 10/700 $\mu$ s发生器

对于10/700  $\mu$ s发生器的描述，修订稿除了与IEC61000-4-5：1995标准一样，对开路输出电流的波形参数有要求外（见表3），还首次提出了对开路输出电压与短路输出电流关系的要求，见表4，从数据不难看出，电压与电流参数之比，实质上还是体现了发生器的内阻问题（40  $\Omega$ ）。

表3 10/700  $\mu$ s发生器的波形参数（表中定义对IEC 61000-4-5标准均适用）

定义	按国际电信联盟，蓝皮书第10卷的要求		按IEC60469-1标准的要求	
	前沿， $\mu$ s	半峰值时间， $\mu$ s	上升时间（10% ~ 90%）， $\mu$ s	持续时间（50% ~ 50%）， $\mu$ s
开路电压	10	700	6.5	700
短路电流	-	-	4	300

表4 峰值开路电压与峰值短路电流之间的关系

开路输出电压的峰值 $\pm 10\%$	短路输出电流的峰值 $\pm 10\%$
0.5kV	12.5A
1.0kV	25A
2.0kV	50A
4.0kV	100A

### 3. 用于通信线路和I/O线路试验的耦合/去耦网络

事实上标准修订稿与IEC 61000-4-5：1995标准还有一个比较大的不同点，主要就体现在对通信线路和I/O线路的耦合/去耦网络上。

去耦网络的串联阻抗常常成为限制数据传输有效带宽的主要因素。对于能够容忍容性负载的场合，担当耦合的元件可以是电容，否则可以采用箝位元件或放电管来担当（见本文3.1.2和3.1.3）。顺便指出，当浪涌波耦合到被试线路之后，由于耦合电路本身的耦合机理，波形会有一定程度的畸变。

### 3.1 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看加以选择，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（例如是因为功能方面的问题；或者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。

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。

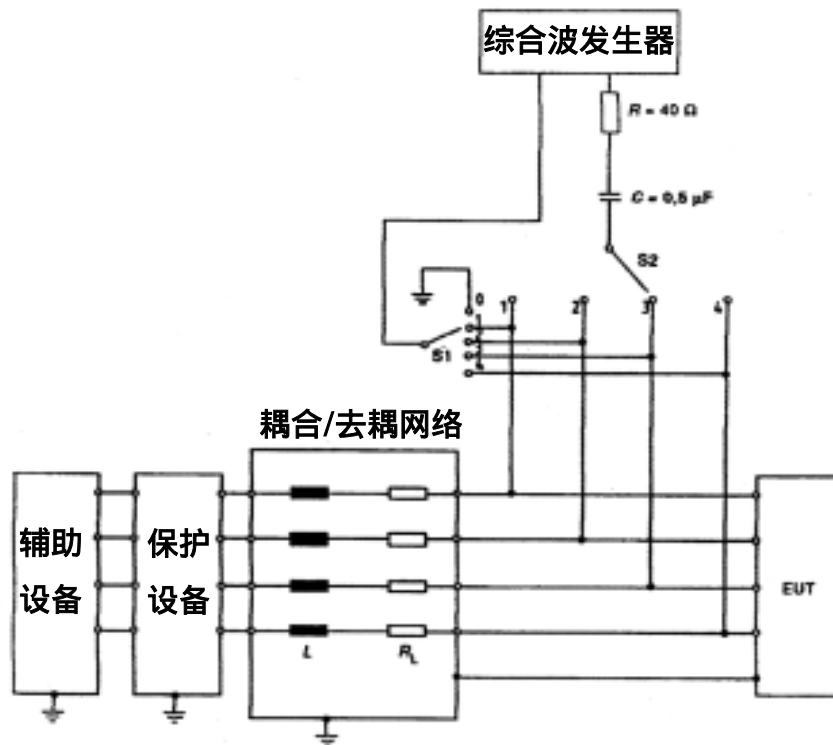
此外，如果信号线是对称的，则在去耦网络中可以使用电流补偿电感。



### 3.1.1 使用电容器的耦合/去耦网络

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。

耦合线路见图5所示。线路中的去耦电路为 $R = 40 \Omega$ ， $C = 0.5 \mu F$ ；去耦电感 $L = 20mH$ 。

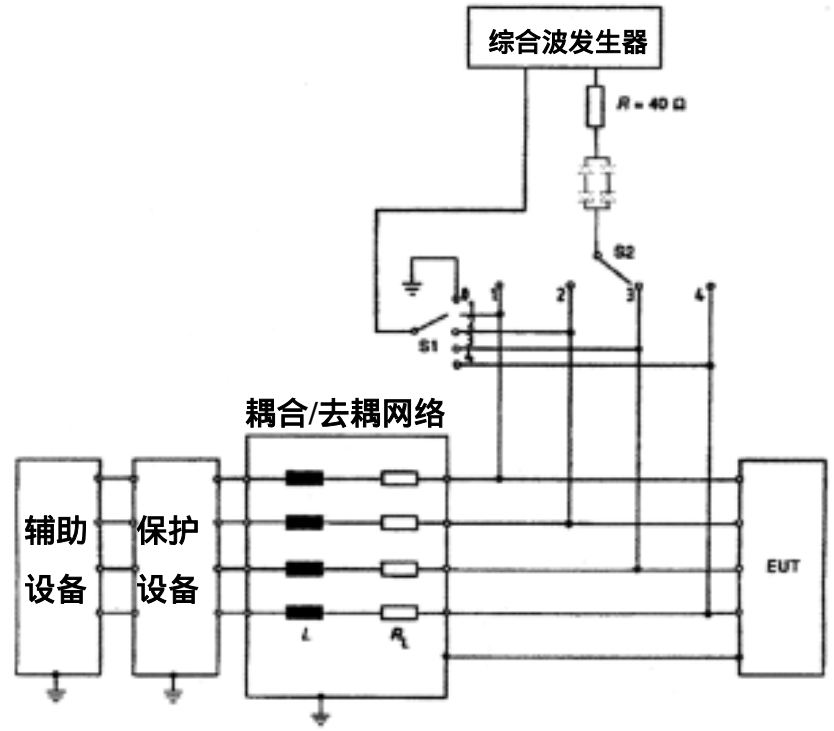


共模试验时 $S1$ 接0；差模试验时 $S1$ 接1~4。 $S2$ 在试验时接1~4，但与 $S1$ 不在同一位置

图5 用于非屏蔽不对称I/O线路的电容器耦合/去耦网络

### 3.1.2 使用箝位元件的耦合/去耦网络

网络耦合电容会对线路的功能造成影响，而应采用图6推荐的方案（用箝位元件代替了图中这些耦合电容）。图中这些元件要压住线路的最大工作电压。耦合/去耦网络中的参数是：电路的阻抗为 $R = 40$ ，所选箝位元件本身的阻抗；去耦电感 $L = 20\text{mH}$ 。在脉冲幅度、箝位元件及其容差。



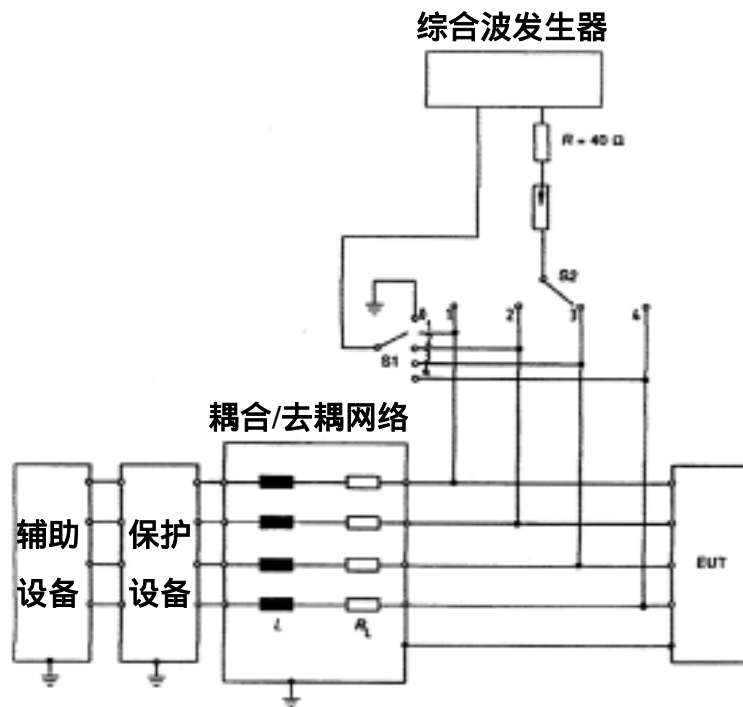
共模试验时S1接0；差模试验时S1接1~4。S2在试验时接1~4，但与S1不在同一位置

图6 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

3.1.3 使用硅雪崩元件和气体放电管的耦合/去耦网络。另一个替代电容耦合线路的方案见图7，（电容器因对线路的功能于很小，以至于难以造成影响，不能使用）。

雪崩元件或气体放电管只用于很小的浪涌电压。它们的大多数I/O线路上去耦电容的容量在几微法到几百微法之间。在耦合/去耦网络中的参数是：耦合电路的阻抗为  $R = 40 \Omega$ ，再放上的阻抗；去耦电感  $L = 20 \text{mH}$ 。

在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

图7 用于非屏蔽不对称I/O线路经由气体放电管耦合的电容

### 3.2 在对称线路上采用放电管的耦合/去耦网络

对非屏蔽的对称线路（通信线）来说，经由放电管的耦合是一种非常好的耦合方式，参见图8所示。

耦合网络同时负有将浪涌电流分配到多对多芯电缆上去的任务。这里  $R_{m2}$  是耦合网络中的电阻，对  $n$  芯的导线来说， $R_{m2} = n \times 40$ （ $n$  等于或大于 2）。 $R_{m2}$  不超过 250。

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  $L = 20\text{mH}$ 。

在试品处的脉冲波形取决于脉冲的幅度，以及放电管本身的特性，所以无法规定波形的值及其容差。

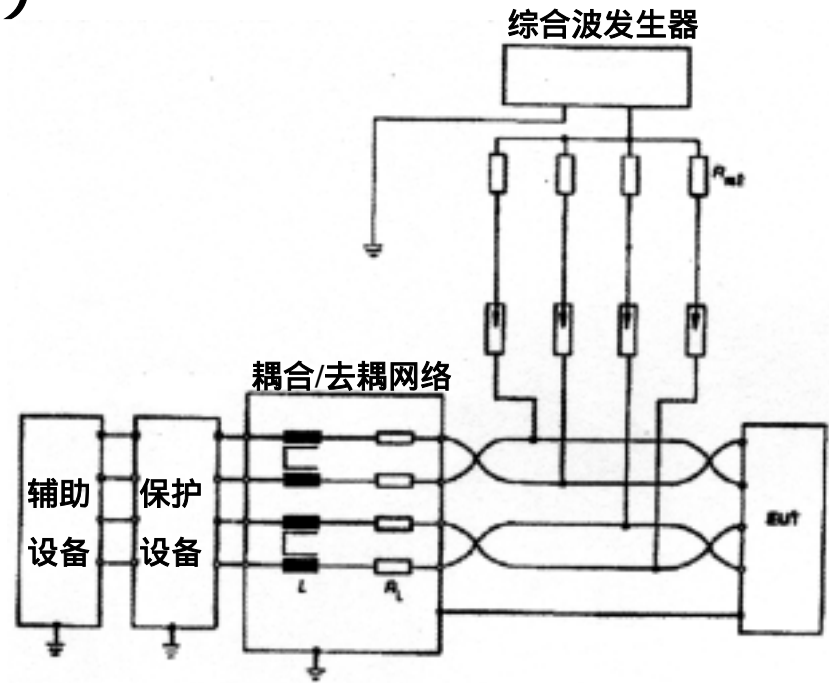


图8 用于非屏蔽对称互连线（通信线）经由放电管耦合的共模试验配置

例1. 对 $1.2/50 \mu s$ 浪涌， $n = 4$ ， $R_{m2} = 4 \times 40$ ，加上发生器的内阻 $R_{m1}$ 后，内阻总值近似为42。

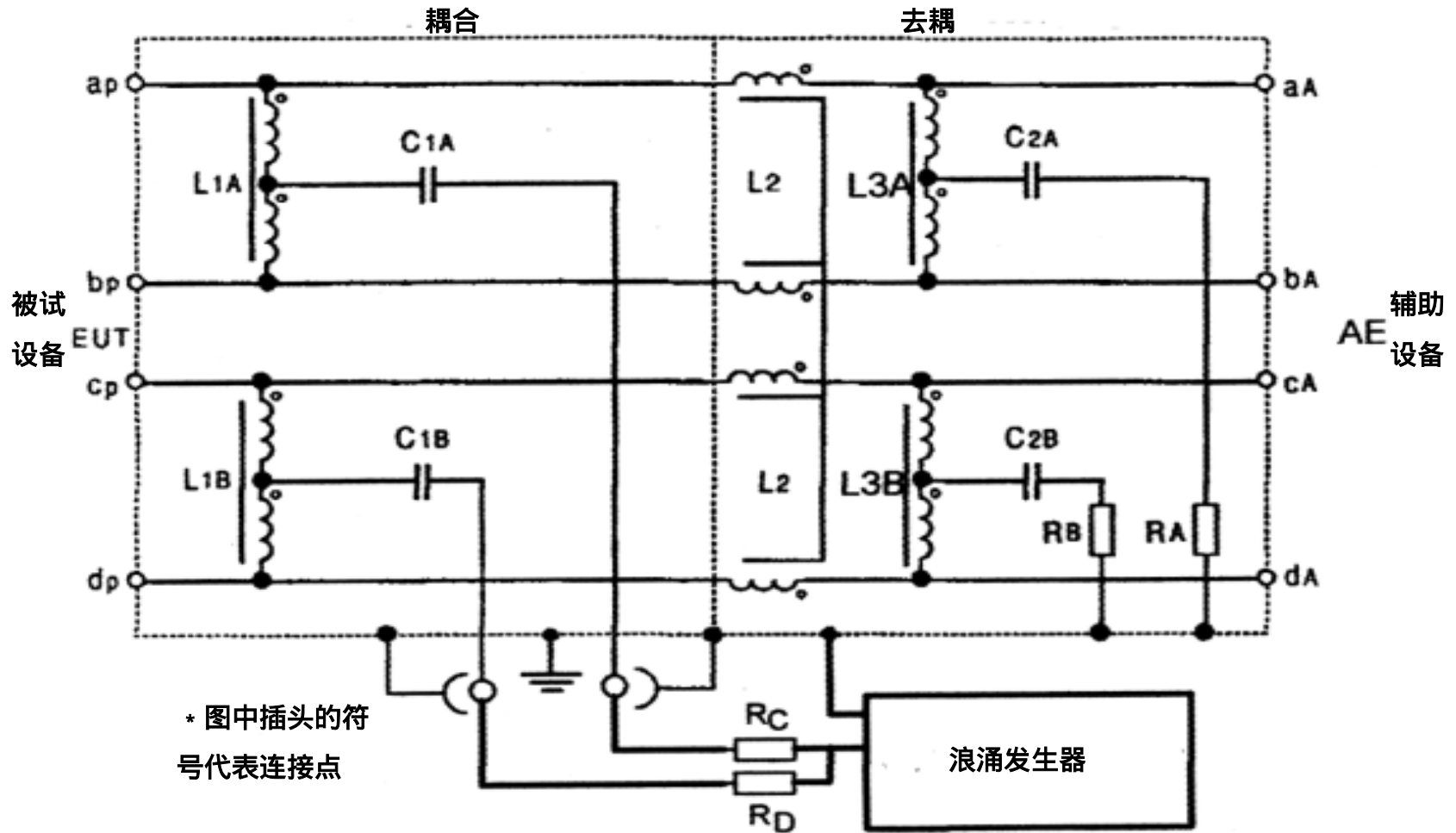
例2. 对 $10/700 \mu s$ 浪涌， $n = 4$ ， $R_{m2} = 4 \times 25$ ，加上发生器的内阻 $R_{m1} = 15$ 后，当发生器里的开关 $S_1$ 闭合时，内阻总值近似为40。

### 3.3 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，浪涌将直接加到被试的高速数据端口上。

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。一个合适的耦合/去耦网络的例子见图9所示。该线路只能工作在综合波的情况下，因为对10/700  $\mu$ s波形来说，电感器会发生饱和。



RA和RB的值要尽量低，用于抑制振荡或振铃；RC和RD作为隔离电阻，阻值为40  $\Omega$ ；L2是一个有4线圈的电流补偿扼流圈，用以避免在电源功率输送的过程中发生饱和，L2有低的电阻值（远小于1  $\Omega$ ），若将电阻与L2并行连接时，可以降低总电阻值。

图9 高速通信线路的耦合/去耦网络（由于电感饱和的原因，不推荐用于10/700  $\mu s$ 试验）

## 4. 试验配置

标准修订稿在通信线路和I/O线路的耦合/去耦网络上与IEC 61000-4-5：1995标准有较大不同，所以在试验配置上，标准修订稿与IEC 61000-4-5：1995也有所不同。

### 4.1 试验设备

下列设备是试验配置中的一部分：

- 被试品（EUT）
- 必要的辅助设备（AE）
- 电缆（要说明其型号和长度）
- 耦合/去耦网络
- 试验发生器（综合波或10/700  $\mu$ s浪涌波发生器）
- 去耦网络/保护器件
- 参考接地板。对高频工作的情况（通常是采用气体放电管来进行耦合），以及用4.6.1节及图11来对屏蔽线试验情况是必须采用参考接地板的。此外，在正式安装时需要连接参考地的被试品，在做浪涌试验时要接参考接地板。



## 4.2 用在被试品电源端子上的试验配置

对1.2 / 50  $\mu$ s的浪涌波来说，是通过电容耦合网络加至被试品电源端子的，为避免对同一条供电线路上的其他设备施加浪涌，必须要有足够大的去耦阻抗以阻止浪涌进入这些设备。这样，试验就只是对被试品来进行的。

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。

### 4.3 用在非屏蔽不对称互连线上的试验配置

通常是按照图5方式，经过电容耦合将浪涌加到被试线路上去，这时耦合/去耦网络将不影响被试线络所规定的功能要求。

当线路有较高的信号传输速率时，可采用图6这种经过放电管耦合方式的配置。这是根据传输频率所决定的容性负载来作出选择的。

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。

## 4.4 用在非屏蔽对称互连通信线上的试验配置

对于对称互连通信线路（图8），通常不采用电容耦合方式，而选用经过气体放电管的耦合方式。这时，试验电平不能够低于耦合用气体放电管着火电压（对90V的气体放电管，其着火电压大约是300V），否则是不能使浪涌耦合到被试线路上去的。

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。

## 4.5 用在高速通信线路上的试验配置

此配置用于对高速数据传输线络的试验。

一旦端口的功能确定了，就卸掉数据线，不经过耦合/去耦网络，而将浪涌直接加到通信端口上。在浪涌试验结束后，再重新测试该端口的功能。

在松开端口的浪涌试验中，被试品的功能应当保持。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。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。



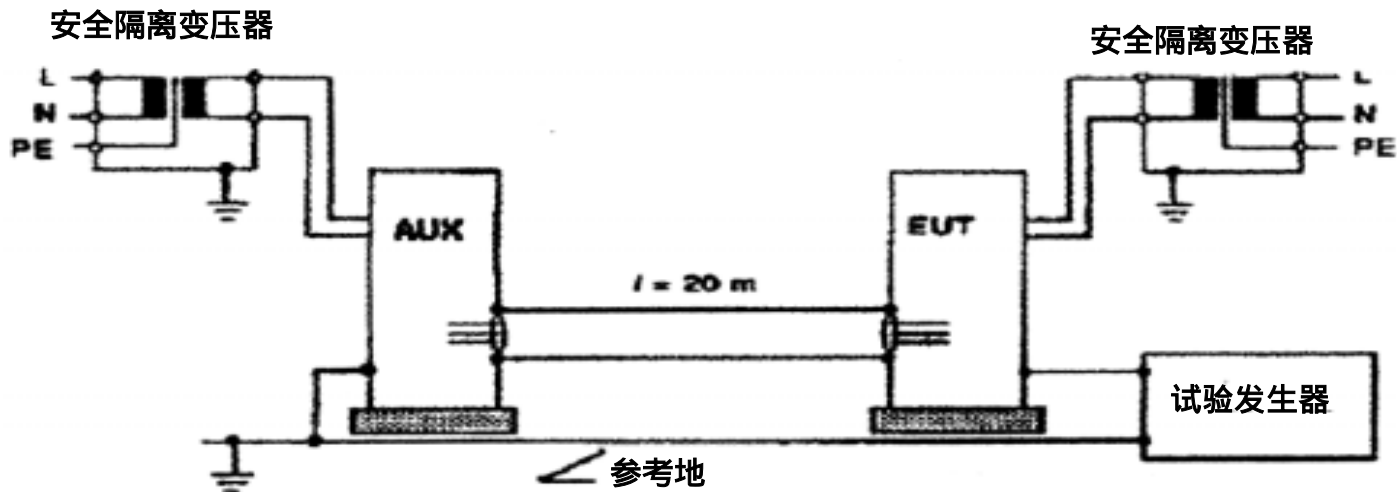


图10 屏蔽线试验和施加电位差的试验配置示例，传导耦合

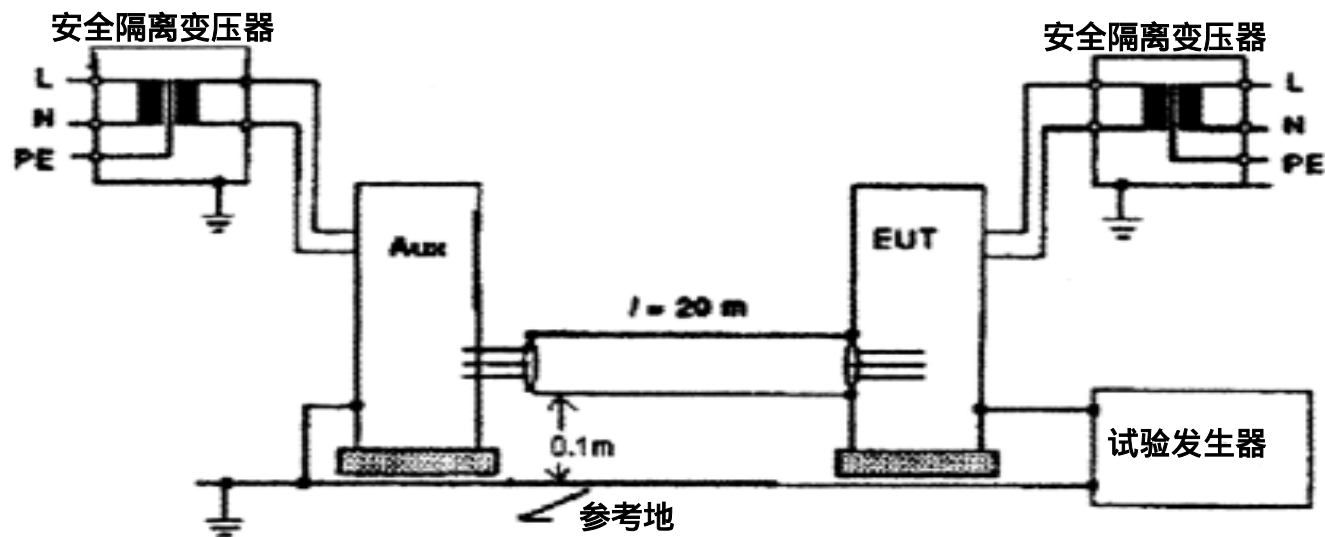


图11 非屏蔽线和仅在一端接地的屏蔽线，以及施加电压差的试验配置示例，传导耦合



被试端口和附着在电缆另一端设备之间的电缆线长度应使用被试品所规定使用的最大长度，否则用20m。当长度超过1m时，电缆的超长部分应在电缆靠近中央的地方按30cm至40cm的长度进行捆扎。如果因为电缆的尺寸和硬度，使电缆不宜捆扎时；或者要在用户安装条件下来做此试验时，则超长部分的布局要精确地记录在试验报告里。

对于经由非屏蔽线连接的系统，按图11的试验配置进行试验，除非电缆屏蔽和电缆分布电容不存在。



## 4.7 施加电位差的试验配置

如果必须施加电位差来模拟在系统中可能出现的电压时，对屏蔽线的试验应当按照图10方式进行，以模拟带屏蔽线的系统（屏蔽层两端接地）；对非屏蔽线，以及屏蔽线单端接地的系统，应按图11方式进行试验。

## 4.8 其他试验配置

如果试验配置中所规定的某种耦合方式由于功能原因而不能使用时，那么产品标准应当规定出可以替代的方法（适合于特殊情况），同时将相应的试验结果写进产品或产品族标准，并制定性能的判据。

## 4.9 试验条件

试验时的工作状态和安装条件应当根据产品的技术规范来做，其中包括对试验布局（硬件）和试验程序（软件）的要求。

## 5. 试验方法

关于浪涌抗扰度试验的方法，标准修订稿与IEC 61000-4-5：1995标准本身没有大的不同。在标准修订稿里对浪涌的施加次数规定：

- 在直流电源端口和互连线上施加5次正的和5次负的浪涌脉冲。
- 对交流电源端口，要在 $0^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $180^\circ$ 和 $270^\circ$ 等特定的电角度上各施加5次正的和5次负的浪涌脉冲。

## 6. 试验结果评估和试验报告

关于试验结果评估和试验报告，在IEC 61000-4-5：1995标准里合为一节，而在标准修订稿里分成两节。

其中关于试验结果评估两者叙述的内容基本一致，例如试验结果分成四个等级（性能正常；试验中出现性能下降或功能丧失，试验后能自动恢复；试验中和试验后都有性能下降和功能丧失现象，需人工干预或系统复位才能恢复；因硬件或软件损坏，或数据丢失，性能下降及功能丧失情况不能消除）；对试验结果的验收应在产品标准或产品技术条件中给出。

关于试验报告，在标准修订稿里独立成为一节，强调了在试验报告应当包含的信息，有：

- 在试验计划中列入有关试验方法所要求的项目；
- 试品和辅助设施的概略，如商标名称、产品型号、系列号；
- 试验进行所必须的环境条件，例如屏蔽室；
- 特定的工作条件，如电缆的类型和长度、屏蔽与接地、试品工作条件等；
- 试验进行所必须的其他条件；
- 性能等级分类；
- 性能的判据；
- 试品在试验期间所观察到的现象；
- 试验的结论（通过或失败）。

标准修订稿这一节内容的重要性在于，试验报告中的上述信息将为试验的可追溯性提供必要的信息。

## 7. 浪涌的抑制

浪涌干扰的最大特点是干扰源的内阻特别低，而干扰的能量又特别大，因此普通的滤波器和抗干扰磁芯对于浪涌干扰的抑制将是无能为力，而必须选用浪涌抑制器（SPD）。

常用的浪涌抑制器有气体放电管、金属氧化物压敏电阻、硅瞬变电压吸收二极管和固体放电管等几种。

尽管各种瞬变电压吸收器件功能相似，但性能上仍有较大差异，也就决定了它们的不同应用面，下面是一些简单的比较。

器件名称	气体放电管	压敏电阻	硅瞬变电压吸收二极管	固体放电管
工作方式	能量转移	箝位吸收	箝位吸收	能量转移
泄漏电流	零	低	非常低	非常低
静电容	最小	较大	较大	较小
电流吸收能力	大	视外形尺寸定 可以做得很大	较小	一般
箝位电压或残余电压	低	较高	一般	非常低
对脉冲的响应速度	低	高 (ns级)	极高 (< 1ns)	高 (ns级)
标准电压及分档情况	75V ~ 1000V 约8 ~ 10个档次	几十伏 ~ 1kV 其间档次较多	几伏 ~ 400V 其间档次极多	10V ~ 30V 分10档左右
应用	一次粗保护。	不同的容量可 以用在不同地 方。	比较适合于做 设备的板级 (或 线路板) 保护 。	适合于做自网 络到设备的一 般保护。



**气体放电管**：由于响应速度低、有后续电流、离散性大、档次稀疏，适合于做一次粗保护。在交流或直流电源系统中使用时，必须要采取克服后续电流的有害影响。

**压敏电阻**：不同的容量可以用在不同地方（自一次粗保护至组合式保护器中的一次或二次保护）。但因静电容大，不宜用在高频电路。此外，还有过载老化问题（残压比提高及漏电流增加），使用中要注意。

**硅瞬变电压吸收二极管**：因电流荷载能力较差，但电压档次密，比较适合于做设备的板级（线路板）保护。在多级保护中，常作为最后一级精细保护使用。由于有静电容，在高速电路中使用应有特殊措施。

**固体放电管**：适合于做自网络到设备及部件一级的一般保护。

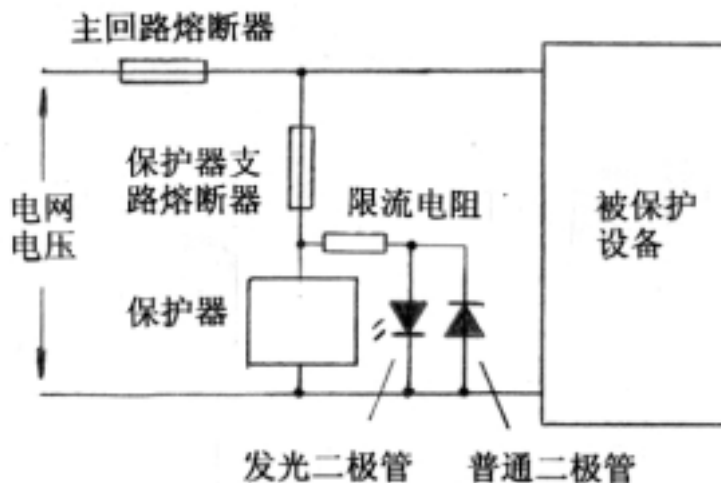
各种保护器件在性能上各有差异，吸收能力大的（如气体放电管），响应脉冲信号的速度太低，档次也太少，离散性大，只适宜于做一次粗保护。而速度快，限压精度高的（如硅瞬变电压吸收二极管），吸收能力又太弱。这样就促使人们想到了利用各种保护器件固有的特点，把它们组合在一个保护器里，取长补短，发挥各自最大效能，这种想法个促成了组合式保护器的诞生。

## 应用时的注意事项：

针对不同的过电压场合，保护方案不能千篇一律：如在建筑物外，可能遭受直接雷击，上述任何器件都不能使用，必须采用避雷器作为建筑物的保护。在建筑物内，又分成两级，一级是建筑物内的主配电柜，可能遭受感应雷击和电网开关动作而引入的高能量切换瞬度，常用大容量的压敏电阻保护；另一级是楼层内的二次配电柜，经常遇到的是建筑物内开关切换和静电放电引入的瞬变较小的情况，也用压敏电阻进行保护，但容量比前一种要小。针对设备的保护，则经常采用组合式保护器，尽管瞬度的能量较小，但重点解决精细限压和快速响应这两个要求，确保设备万无一失。

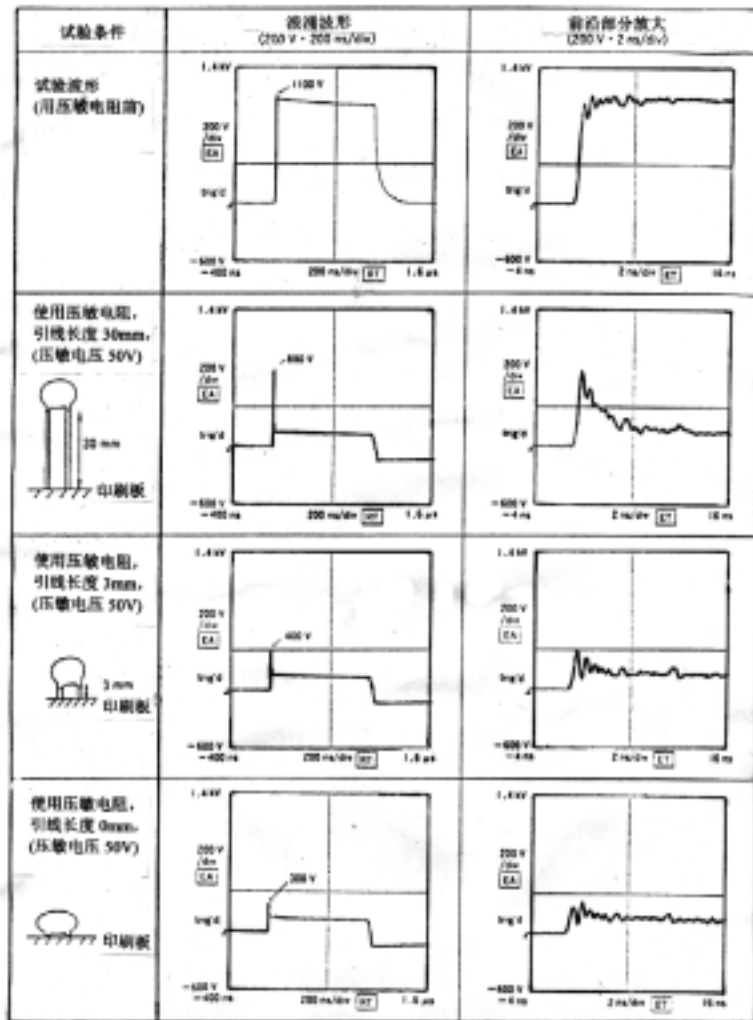
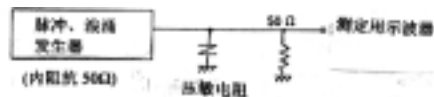
保护器要装在电源线的开关和熔断器的后面，以便对开关切换和熔断器熔断时产生的瞬变也能起到保护。

为了避免保护器在吸收冲击电流时，可能使主回路熔断器熔断，使被保护设备被迫断电，建议在保护器支路中附加一个熔断器，它与主回路熔断器的电流容量比值为1 : 1.6。这样冲击电流首先熔断的将是保护回路的熔断器，而让主回路能保护连续供电。下图是一个可能采取的方案。保护回路熔断器正常时，熔断器正常导通，故图中的发光二极管点亮，代表保护回路正常。一旦保护回路熔断器熔断时，发光二极管的通路给断开，故发光二极管熄灭，告诉值班人班要及时更换熔断器，避免浪涌干扰再次发生时，让被保护设备受损。



# 响应速度问题（特指压敏电阻和硅瞬变电压吸收二极管）

压敏电阻和硅瞬变电压吸收二极管的动作延时很小，一般认为是ns级的。故它们对瞬变干扰的箝位几乎可以看成是没有延迟的。但是这些器件的引线电感会掩盖其高速响应的特点。器件引线电感引起的感应电压与器件引线电感量及器件箝位瞬间吸收电流的变化率（ $di/dt$ ）成正比。其中电流变化率与器件本身的特性，干扰源的内阻有关，是定数，不由使用的人员改变。因此，感应电压的大小主要取决于引线的长度。右图是一个用压敏电阻做试验的实例。此图表明，使用中应该将压敏电阻的引线剪得越短越好。



高能量瞬变会在电源线上产生非常大的电流瞬变，为避免它与被保护设备间的电磁耦合，保护器应装在电源入口处，并远离其他布线，如条件不许可时，应加电磁屏蔽措施。另外，保护器的接线要粗，要确保保护器有低阻抗的接地通路。