

前 言

本标准在编制中参考了 CISPR-22《信息技术设备的无线电干扰极限值和测量方法》(1995)、CISPR-22《信息技术设备的无线电骚扰极限值和测量方法》的第二修订版、ITU-K.43《电信设备抗扰性要求》、ITU-K.pf《电信网络设备系列产品的电磁兼容要求》等技术资料。

本标准由邮电部电信科学研究规划院提出并归口。

本标准由邮电部通信计量中心起草。

本标准主要起草人：陆冰松、赵 刚。

通信电源设备电磁兼容性
限值及测量方法

YD/T 983 1998

Limits and methods of measurement of electromagnetic
compatibility for telecommunication power supply equipment

1 范围

本标准规定了通信电源设备(以下简称 TPE, 不包括发电机和电池)产生的电磁骚扰的限值和 TPE 对抗扰性的要求, 同时规定了电磁骚扰及抗扰性的测量方法。

本标准适用于电信交换设备、电信传输设备、电信终端设备及无线通信设备的电源设备。可作为通信电源设备产品设计、制造、使用及质量检验的依据。

2 引用标准

下列标准所包含的条文, 通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时, 所示版本均为有效。所有标准都会被修订, 使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

- GB 3907—83 工业无线电干扰基本测量方法
- GB 9254—88 信息技术设备的无线电干扰极限值和测量方法
- GB/T 4365—1995 电磁兼容术语
- GB/T 6113.1 1995 无线电干扰和抗扰度测量设备规范
- IEC-61000-3-2:1995 电磁兼容 限值谐波电流发射限值(设备每相输入电流 $\leq 16\text{A}$)
- IEC-61000-3-3:1994 电磁兼容 限值低压供电系统电压起伏和闪烁限值(设备额定电流 $\leq 16\text{A}$)
- IEC-61000-4-2:1995 电磁兼容 试验和测量技术静电放电抗扰性试验
- IEC-61000-4-3:1995 电磁兼容 试验和测量技术辐射(射频)电磁场抗扰性试验
- IEC-61000-4-4:1995 电磁兼容 试验和测量技术电快速瞬变脉冲群抗扰性试验
- IEC-61000-4-5:1995 电磁兼容 试验和测量技术浪涌(冲击)抗扰性试验
- IEC-61000-4-6:1996 电磁兼容 试验和测量技术对射频场感应的传导骚扰的抗扰性
- IEC-61000-4-11:1994 电磁兼容 试验和测量技术电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰性试验
- ITU-T 0.41(10/94) 电话型电路噪声计的使用

3 定义

3.1 A 级 TPE

A 级 TPE 是指满足 A 级骚扰极限值要求, 但不满足 B 级骚扰极限值要求的通信电源设备。

3.2 B 级 TPE

B 级 TPE 是指满足 B 级骚扰极限值要求的通信电源设备。

3.3 耦合面

一块金属片或金属板。对该金属片或金属板放电, 用来模拟对受试设备附近物体的静电放电。

3.4 半电波暗室

除地板以外,其余内表面均装有吸波材料的屏蔽室。

3.5 电波暗室

在所有内表面均装有吸波材料的屏蔽室。

3.6 各向同性

在所有方向上表现出相同的性质。

3.7 极化

辐射场电场向量的方向。

3.8 耦合钳

在与被测回路没有任何电连接的情况下,以共模形式将骚扰信号耦合到被测回路的具有规定尺寸和特性的一种装置。

3.9 共模阻抗

在某一端口的共模电压与共模电流之比。

3.10 宿主单元

TPE 系统或 TPE 单元的一个组成部分。它可能含有射频源并可为其他 TPE 提供配电。在宿主单元和模块之间,或宿主单元和其他 TPE 之间的电源供电方式可以是交流、直流或交直流。

4 缩略语

以下缩略语适用于本标准。

AE	辅助设备
AMN	人工电源网络
CDN	耦合/去耦合网络
EFT	电快速瞬变脉冲群
EMC	电磁兼容性
EMI	电磁干扰
EMS	电磁敏感性
ESD	静电放电
EUT	受试设备(在本标准中指通信电源设备)
HCP	水平耦合面
NSA	归一化场地衰减
TPE	通信电源设备
UPS	不间断电源
VCP	垂直耦合面

5 电磁骚扰限值及测试方法

5.1 传导骚扰限值

5.1.1 电源端口传导骚扰限值

通信电源设备通过电源线的传导骚扰,应满足表 1 或表 2 规定的限值。即应同时满足准峰值和平均值限值。当采用准峰值检波测试仪所测试的骚扰值不大于平均值限值时,则认为受试单元满足了两种极限值,就不必再用平均值检波测试仪进行测试。

如果测试仪上所示读数在极限值附近波动,则读数的观察时间应不少于 15s,记录最高读数,孤立的瞬间高值读数忽略不计。

表1 B级 TPE 电源端口传导骚扰限值

频率范围, MHz	限值, dB μ V	
	准峰值	平均值
0.15~0.50	66~56	56~46
0.50~5	56	46
5~30	60	50

注

- 1 在衔接频率点应采用较低的限值。
- 2 在 0.15~0.50MHz 内, 限值随频率呈对数线性减少。

表2 A级 TPE 电源端口传导骚扰限值

频率范围, MHz	限值, dB μ V	
	准峰值	平均值
0.15~0.50	79	66
0.50~30	73	60

注: 在衔接频率点应采用较低的限值。

5.1.2 信号/控制端口的传导骚扰限值

TPE 信号/控制端口的传导骚扰限值待定。

5.2 辐射骚扰限值

TPE 通过空间的辐射骚扰应满足表 3 或表 4 规定的限值。如果测试仪上所示读数在极限值附近波动, 则读数的观察时间应不少于 15s, 记录最高读数, 孤立的瞬时高值读数忽略不计。

表3 B级 TPE 在 10m 测试距离的辐射骚扰限值

频率范围, MHz	准峰值限值, dB(μ V/m)
30~230	30
230~1000	37

注

- 1 在衔接频率点应采用较低的限值。
- 2 当出现外界骚扰时, 可能需要采取附加措施, 见 5.5.2.6。

表4 A级 TPE 在 10m 测试距离的辐射骚扰限值

频率范围, MHz	准峰值限值, dB(μ V/m)
30~230	40
230~1000	47

注

- 1 在衔接频率点应采用较低的限值。
- 2 当出现外界骚扰时, 可能需要采取附加措施, 见 5.5.2.6。

5.3 骚扰测试结果的统计评定

辐射发射和传导发射限值的测试结果, 应按照 GB 3907 中 8 的规定的抽样统计方法进行评定。测试结果应满足下式:

$$\bar{X} + KS_n \leq L \dots\dots\dots (1)$$

式中： \bar{X} —— n 个样品在某测试频率点上的测试值的算术平均值。

K ——系数，其值与取样数 n 相关。在 80% 的样品低于限值且在 80% 的置信度的条件下，系数 K 的值见表 5。

表 5 系数 K 的值

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
K	2.04	1.69	1.52	1.42	1.35	1.30	1.27	1.24	1.21	1.20

S_n —— n 个样品在某测试频率点上的测试值的标准离差：

$$S_n = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \dots\dots\dots (2)$$

X_i ——第 i 个样品在某测试频率点上的测试值。

L ——规定的限值。

X_i 、 \bar{X} 、 S_n 和 L 均用电压的对数表示，即为 dB(μ V)，dB(μ V/m) 或 dB(pW)。

大批量生产的产品，当取一个样品进行测试时，则干扰电平应比规定的限值至少低 2dB，该批产品才判为合格。

5.4 测试条件

5.4.1 测试场地环境

测试环境噪声电平，以确定测试场地能从环境噪声中分辨 TPE 的电磁骚扰。环境噪声电平应比本标准规定的限值至少低 6dB。

如果某些频带内的环境噪声电平不低于规定限值 6dB，则可以采用 5.5.2.6 规定的方法来判断 TPE 是否符合规定的限值。

当环境噪声和 TPE 的电磁骚扰二者的组合值不超过规定限值时，则无须将环境噪声电平降低到比规定的限值低 6dB。在此情况下，可认为 TPE 的辐射骚扰满足规定限值。

当环境噪声和 TPE 的电磁骚扰二者的组合值超过规定限值时，则不能判定 TPE 是否符合规定限值。必须进一步确认，在超过限值的任何测试频率上，能够满足下列两个条件，才能判定 TPE 不符合规定限值：

- a) 环境噪声电平至少应比 TPE 的电磁骚扰加上环境噪声的电平低 6dB。
- b) 环境噪声电平至少应比规定的限值低 4.8dB。

5.4.2 测试布置

布置 TPE，使与典型的应用情况相一致，并使 TPE 的发射达到最大。

接口电缆(电源线、信号/控制线)应连接到适用的端口处，观察电缆位置变化后所产生的影响，以找到产生最大发射的布置。

连接电缆应符合产品说明书中所规定的型号和长度。如果长度规定为可变，则应选用会产生最大发射的长度。

电缆的超长部分应在电缆中心附近折叠捆扎，折叠长度为 30~40cm。如果由于电缆体积过大或不易弯曲，或由于在用户安装场所进行测试而无法这样做，则应在测试报告中准确的注明对电缆超长部分所作的安排。

如果 TPE 有多个同类型的接口端口，则只要能证明添加电缆不会明显影响测试结果，就可仅将一根电缆接到该类端口中的某一端口上。

任何一组测试结果，都须附有关于 TPE 和电缆方位的完整说明，以便使测试结果具有重现性。

在单一 TPE 中,每种类型的模块都应有一个处于工作状态。在系统 TPE 中,应包括该系统配置中所可能包含的每种类型的 TPE 各一个。

当 TPE 在功能上与其他设备或单元(包括其电源端口依附于宿主单元的任何设备或单元)发生交互作用时,为了提供有代表性的工作条件,可以连接实际相连的设备或单元,也可以连接模拟器(只要该模拟器的影响可被隔离和识别)。如果 TPE 被设计成是其他设备或单元的一个宿主单元,则应接上该设备或单元,以便使该 TPE 能在正常条件下进行工作。

用来代替实际连接的设备或单元的任何模拟器,应能正确代表相连的设备或单元的电器特性,特别是射频信号和阻抗特性。遵循这一规定,将使单独的 TPE 的测试结果,也能适用于系统应用以及该 TPE 与其他已测设备或单元(包括由不同生产厂家生产和测试的设备或单元)相组合的应用情况。

TPE 与接地平板的相对关系,应与实际使用情况相同,即地面安装的设备应放在接地平板上,或者放在靠近接地平板的绝缘地板上;便携式 TPE 应放在非导电的实验台上。电源电缆和信号电缆相对于接地平板的走向应与实际情况相同。

除非产品说明书有特别规定,TPE 应连接阻性负载。

UPS 的测试应在输入交流电源供电和不供电的两种情况下分别进行。

信号或控制端口应使用必要的 AE 或标称电阻正确连接。

测试应在输入端输入标称电压的情况下进行。

5.5 测试方法

5.5.1 传导骚扰测试方法

5.5.1.1 电磁骚扰测试仪

应采用带有准峰值和平均值检波器的电磁骚扰测试仪进行测试。测试时,交替使用准峰值和平均值检波器。

带有准峰值检波器的电磁骚扰测试仪应符合 GB/T 6113.1 中第 4 章的规定;带有平均值检波器的电磁骚扰测试仪应符合 GB/T 6113.1 的第 6 章的规定。

5.5.1.2 人工电源网络(AMN)

为了能在电源馈线两端的端子电压测试点上提供规定的高频阻抗,以及使 TPE 和电网上的环境射频能量隔离开来,需要在两者间接入一个 AMN,如图 1 所示。

具有标称阻抗($50\Omega/50\mu\text{H}$)的 AMN,应符合 GB/T 6113.1 中第 10 章的规定。

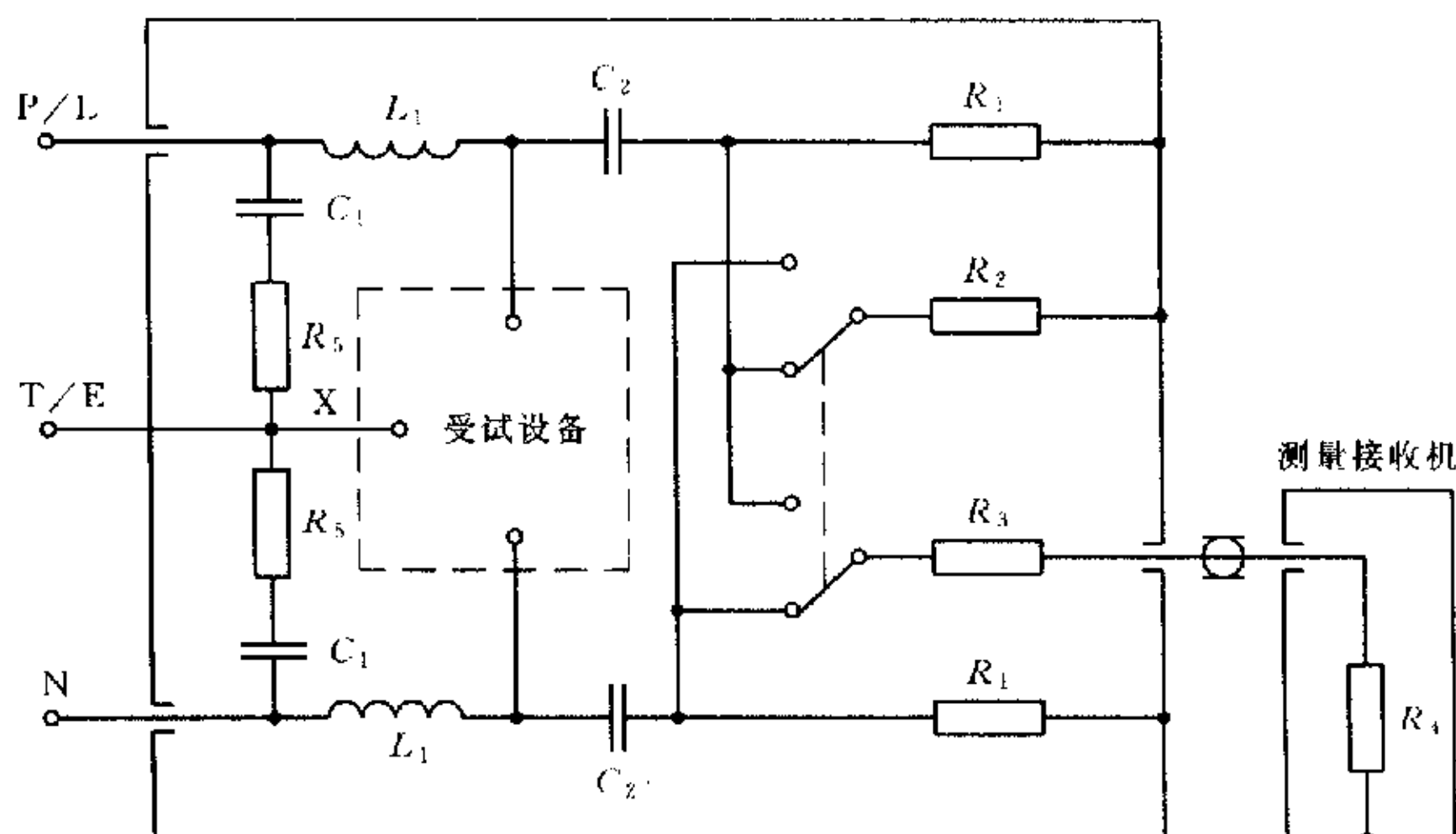


图 1 $50\Omega/50\mu\text{H}$ V 型 AMN 电路示意图

TPE 应和 AMN 相连。TPE 的边框与 AMN 最靠近的表面之间的距离为 80cm。

TPE 所提供的电源软线,一般应为 1m 长。如果超过 1m,则应在电缆中心附近将其超长部分来回折叠,折叠长度不超过 40cm。

如果在产品说明书中对电源电缆的类型有规定,则应在 TPE 和 AMN 之间接该类型的电源电缆,长度为 1m。

按产品说明书中的规定布置 TPE,并用按规定端接的电缆将它们连接起来。

在相线与参考地之间及中线与参考地之间测试传导骚扰。两项测试值应在限值之内。

为安全所需的接地线应接到 AMN 的大地参考点上,除 TPE 另外提供接地线或产品说明书另有规定外,该接地线应为 1m 长;其走线应平行于电源线,二者间隔不超过 10m。

由产品说明书规定、需接到与安全接地连线同一终点的其他接地线(例如为 EMC 所需的接地线),也应连接到 AMN 的大地参考点上。

由于从本地广播设施耦合过来的传导环境噪声的影响,可能使得在某些频率上无法进行测试。此时,可在 AMN 和供电电源之间插入一个合适的辅助射频滤波器,或可在一个全屏蔽的装置内完成测试。构成辅助射频滤波器的元件应封闭在一个金属网罩里,该金属网罩直接连到测试系统的参考地上。接上辅助的射频滤波器后,AMN 的阻抗在测试频率上仍应满足要求。

如果 TPE 是一批带有一个或多个宿主单元的 TPE,而且每个 TPE 都有它自己的电源线,则 AMN 的连接点应根据下列规则确定:

- a) 端接到标准电源插座上的每根电源线都应分别测试。
- b) 产品说明书未指定要通过一个宿主单元进行连接的电源线或端子均应分别测试。
- c) 产品说明书指定要通过一个宿主单元或其他电源供电设备进行连接的电源线或现场接线端子应按规定连接。该宿主单元或其他电源供电设备的端子或电源线则要接到 AMN 并进行测试。
- d) 当规定有其他特殊的连接时,产品制造方应提供用于这一测试的必要的连接附件。
- e) 当受试设备具有多条电源线的时候,未进行测试的电源线暂接于复合接线插板,该接线插板应接到与正在被测试的电源线连接的 AMN 不同的另一个 AMN 上。

5.5.1.3 接地平板

如果 TPE 为台式设备,则该 TPE 应放在离垂直参考接地平板 40cm 处,并应与其他不属于该 TPE 组成部分的任何金属面或接地平板保持至少 80cm 的距离。参考接地平板是一块面积至少为 2m×2m 的垂直放置的金属平板。如果在一个屏蔽室里进行测试,则上述 40cm 距离可以是距屏蔽室某一面墙壁的距离。如果在开阔场或在屏蔽室里进行测试,则 40cm 的距离也可以从水平接地平板算起。

地面安装的 TPE 应放在一水平放置的接地平板上。接触的各点应和正常使用情况相一致,但不得和接地平板形成金属接触。金属地板可以代替接地平板。接地平板应至少比 TPE 的边框大 50cm,且其最小尺寸为 2m×2m。

应使用尽可能短的导线,将 AMN 的参考接地点连接到参考接地平板上。

5.5.1.4 传导骚扰测试设备的安装

TPE 的安装应符合图 2~图 9 的要求。

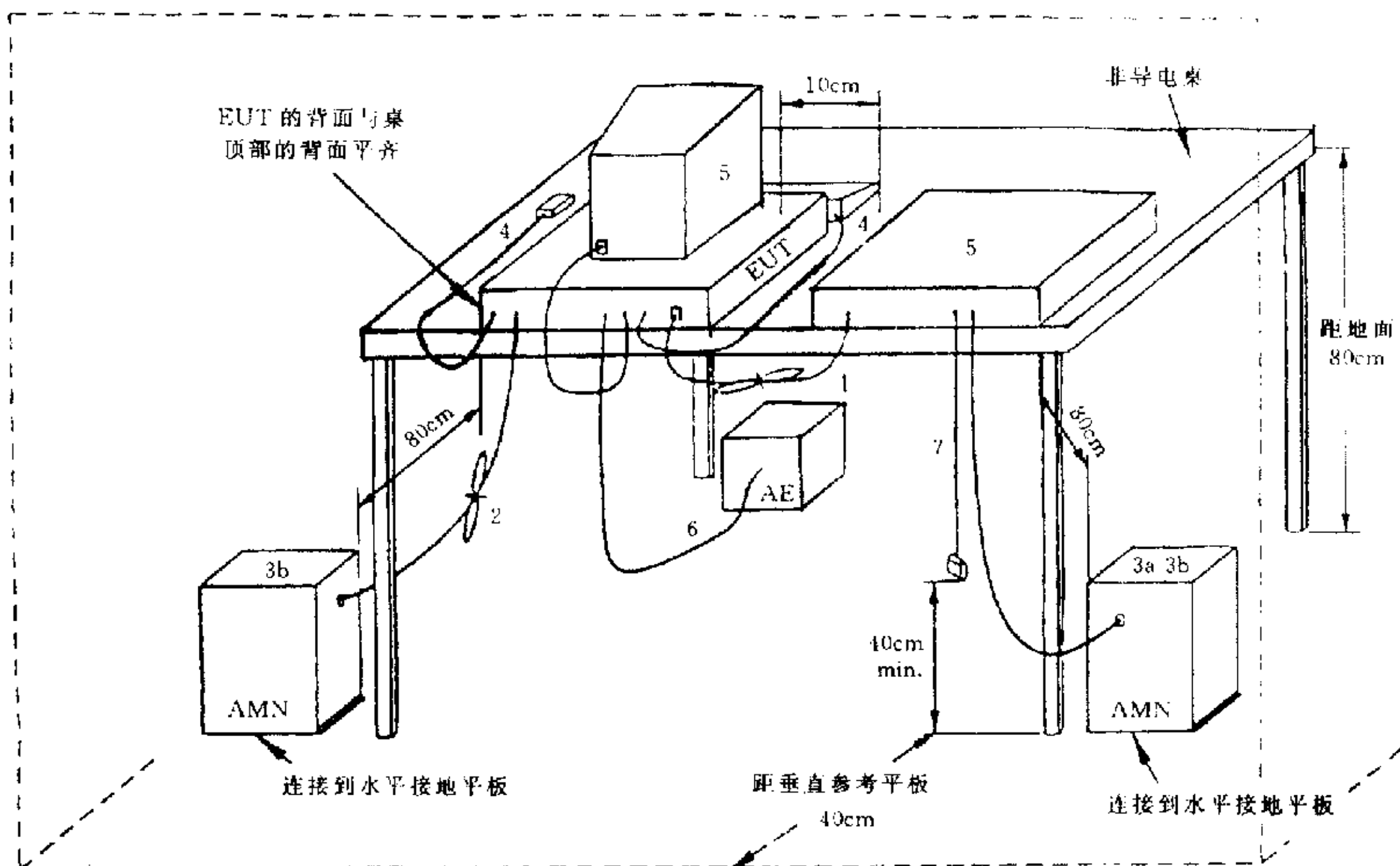
台式 TPE 应置于水平接地平板之上 80cm 高的非导电桌子上。该台式 TPE 应距与连接到水平接地平板的垂直接地平板 40cm;作为替代方式,可采用 40cm 高的非导电桌子放置台式 TPE,见图 5。

被设计成台式和立式两种形式工作的 TPE,仅按台式布置进行测试。除非立式布置为典型的方式,则另行布置。

安装在墙上的 TPE,应作为台式 TPE 进行测试。其设备布置应与正常工作方式一致,所连接的电源端口,经由它的电源线连至 AMN。

5.5.1.5 传导骚扰测试记录

传导骚扰的测试应在电源输入口、电源输出口上进行。



注

- 1 如果悬垂距水平金属接地平板距离 $<40\text{cm}$ 的电缆不能截短到合适的长度,超长的部分应捆扎形成 $30\sim 40\text{cm}$ 的线束。
- 2 超长的电源线应在中心捆扎或截短到合适的长度。
- 3 EUT 连接到一个 AMN 上,所有的 AMN 可以接到垂直参考平板或接到金属墙上(见图 3 和图 4)。
 - a) 由第二 AMN 给系统的所有其他单元供电。
 - b) AMN 距 EUT 80cm ,并且距其他单元和其他金属板至少 80cm 。
 - c) 电源线和信号线应放置在离垂直参考平面 40cm 处。
- 4 手动操作设备如键盘、鼠标等的电缆应做通常使用状态放置。
- 5 如图中所示安装实例,监视器可以直接放置在控制器的顶部,外围设备之间的距离以及距控制器的距离应为 10cm 。
- 6 I/O 信号电缆用于向外扩展连接。
- 7 如果有要求,未连接到 AE 的 I/O 电缆端应用匹配阻抗连接。

图 2 测试布置:台式 TPE(传导骚扰测试)

应至少记录 $(L-20)\text{dB}$ 以上的传导骚扰。这里 L 是骚扰电平限值。应记录 TPE 的电源端口骚扰电平的 6 个最高骚扰电平的频率。

5.5.2 辐射骚扰的测试方法

5.5.2.1 测试仪表

在 $30\sim 1\,000\text{MHz}$ 频率范围内,用带有准峰值检波器的电磁骚扰测试仪进行测试。电磁骚扰测试仪应符合 GB/T 6113.1 的相关规定。

5.5.2.2 天线

a) 天线类型

天线应为一对称偶极子天线。当频率 $\geq 80\text{MHz}$ 时,天线长度应为谐振长度,当频率 $< 80\text{MHz}$ 时,其长度等于 80MHz 的谐振长度。详细内容见 GB/T 6113.1 的第 14 章。

注:只要测试结果能以可接受的精度与对称偶极子天线的测试结果相换算,则可以使用其他类型的天线。

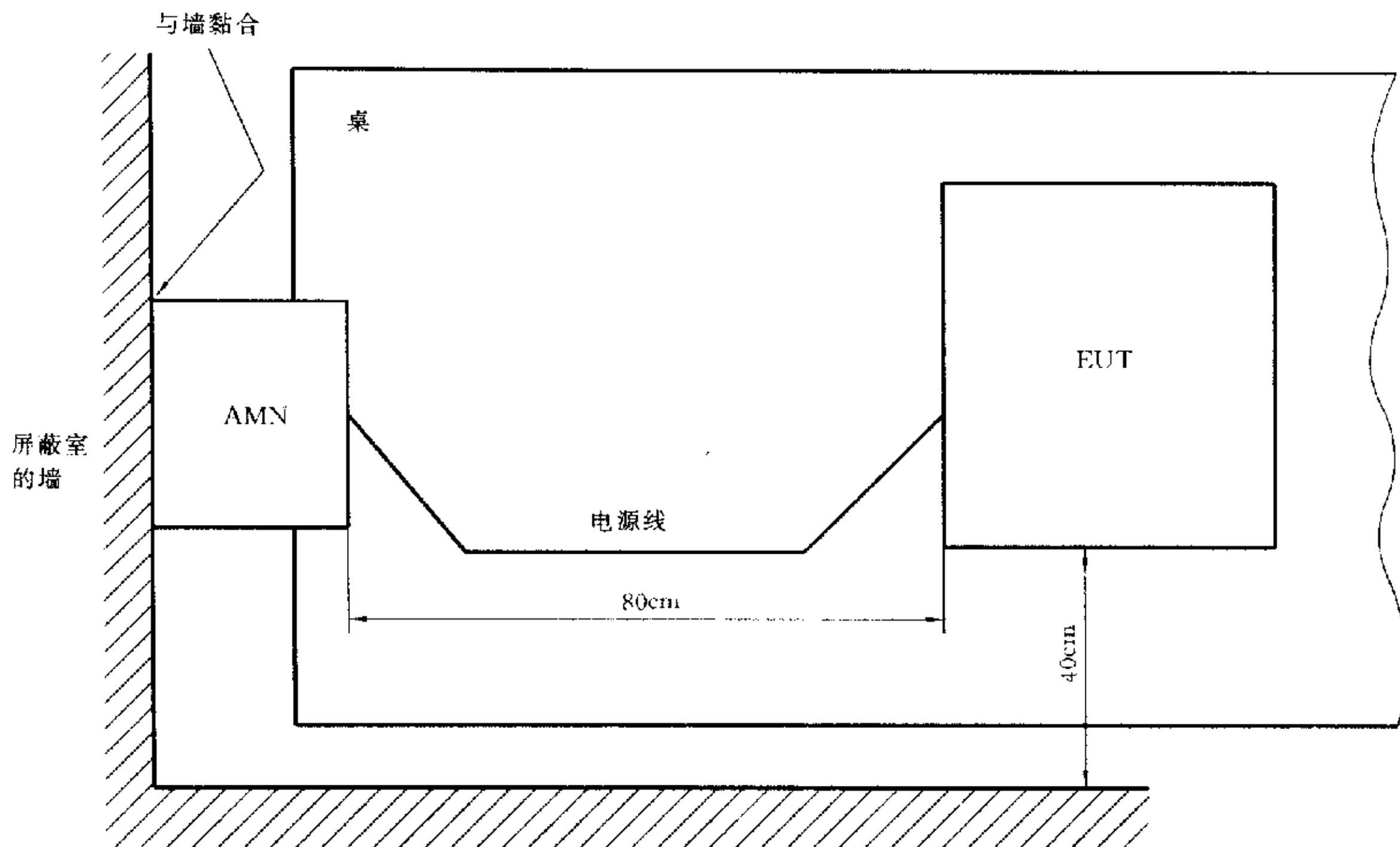


图 4 可替换测试布置:台式 TPE(传导骚扰测试)——平面图

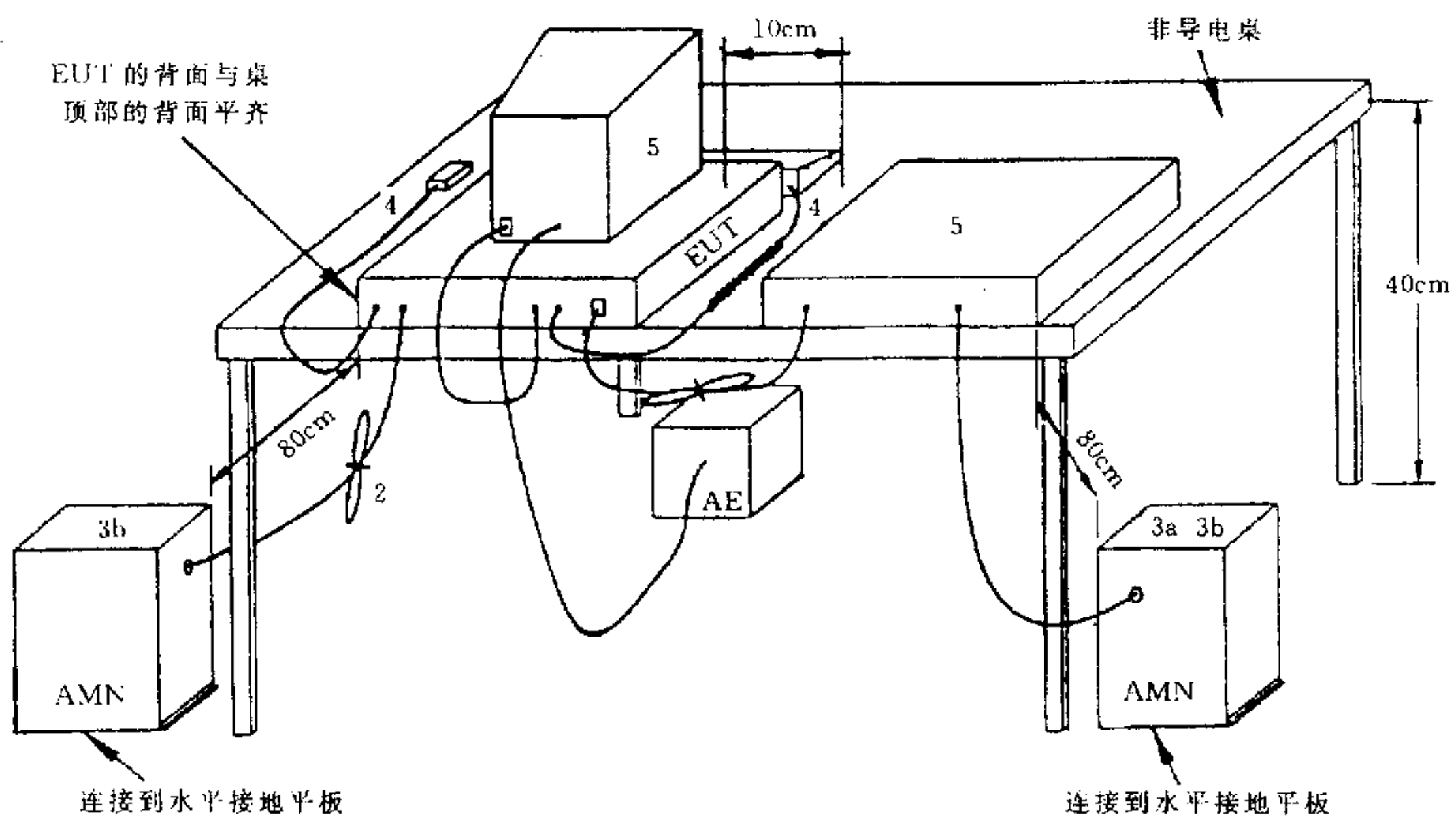


图 5 测试布置:台式 TPE(在辐射骚扰测试场地中的传导骚扰测试)

5.5.2.3 辐射骚扰测试场地

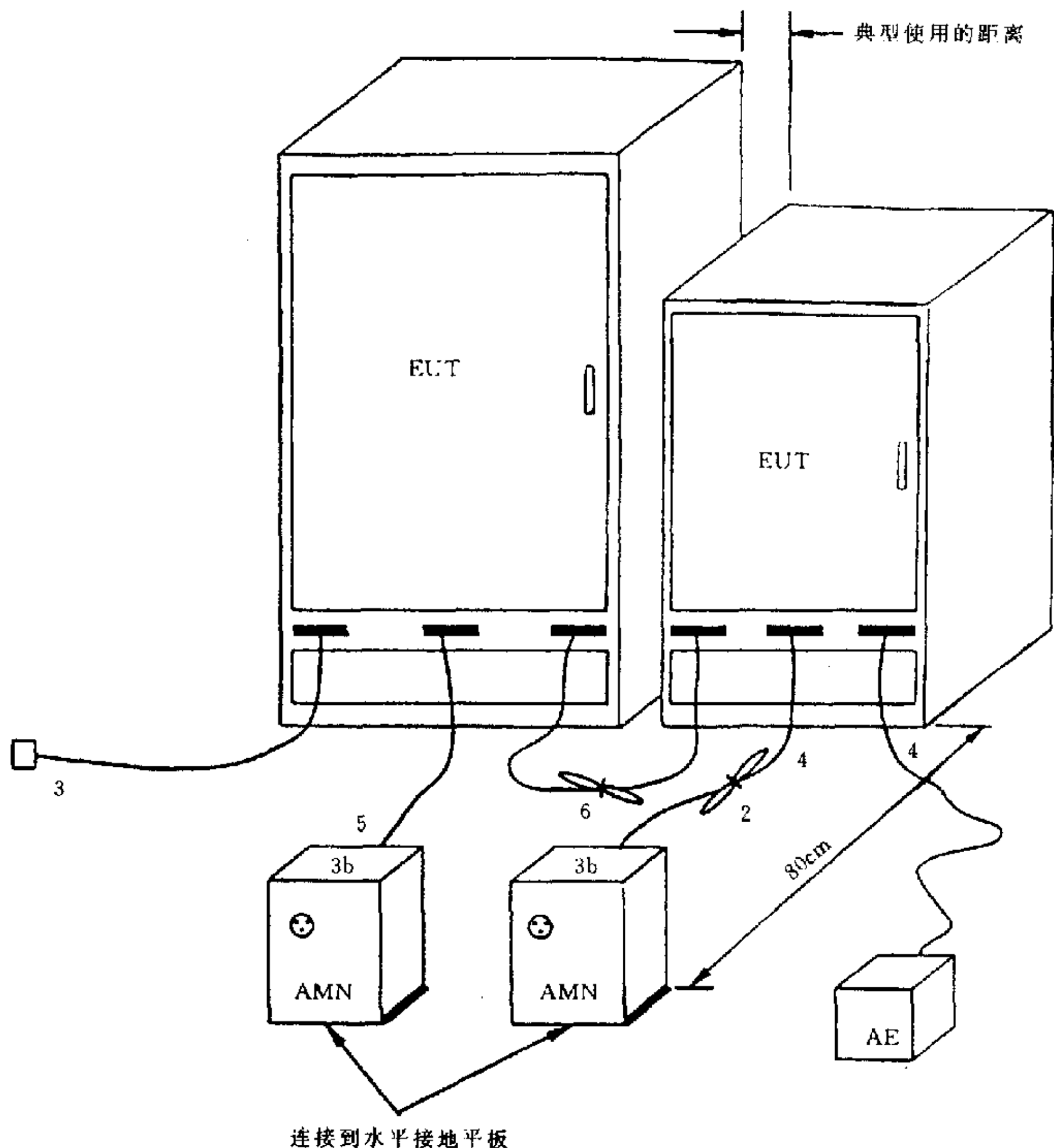
a) 对于测试场地,应在 30~1 000MHz 的频率范围内,使水平极化和垂直极化两种场强的场地衰减测试均为有效。

发送和接受天线间的距离应与 TPE 辐射骚扰测试所用的距离相同。

b) 场地衰减测试

如果水平和垂直场地衰减测试值均在理想场地的理论场地衰减±4dB 之内,则该测试场地有效。

c) 开阔测试场地



注

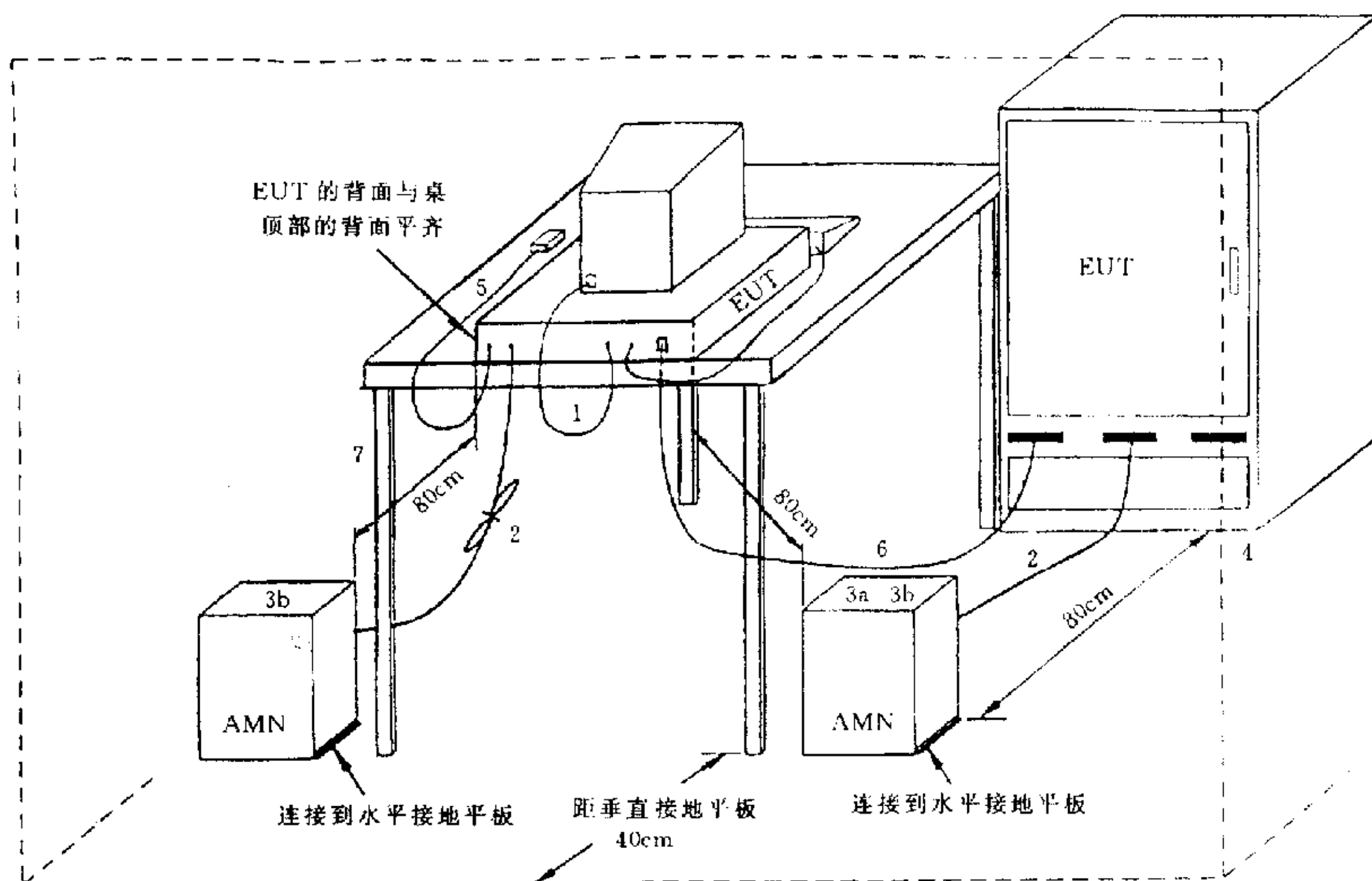
- 1 如果电缆不能截短到合适的长度,超长部分应捆扎成 30~40cm 的线束。如果不能捆扎,则电缆应螺旋状布置。
- 2 超长的电源线应在中心捆扎或截短到合适的长度。
- 3 如果有要求,未连接到 AE 的 I/O 电缆端应用匹配阻抗连接。
- 4 EUT 和电缆应与水平接地平板绝缘。
- 5 EUT 连接到一个 AMN 上。AMN 可以放置在水平接地平板的顶部或紧贴在它的下面放置。
- 6 所有其他设备由第二 AMN 或附加 AMN 供电。

图 6 测试布置:立式 TPE(传导骚扰测试)

该测试场地应平坦、无架空线、附近无反射物。场地应足够大,以便在规定距离处安放天线,并在天线、TPE 及反射物之间提供充分的间隔。反射物定义为基本上具有导电性的建筑材料。该测试场地内应具有 d) 中所描述的水平接地平板。

d) 接地平板

接地平板至少应展现出距 TPE 和最大测试天线四周 1m 的范围,并覆盖 TPE 和测试天线间的全部面积。该金属平板不应有大于最高测试频率波长 1/10 的孔洞和缝隙。如果测试场地的场地衰减要求不能满足,则可进一步要求较大尺寸的接地平板。



注

- 1 如果悬垂距水平金属接地平板距离 $<40\text{cm}$ 的电缆不能截短到合适的长度,超长的部分应捆扎形成 $30\sim 40\text{cm}$ 的线束。
- 2 超长的电源线应在中心捆扎或截短到合适的长度。
- 3 EUT 连接到一个 AMN 上,所有的 AMN 可以接到垂直参考平面上。
 - a) 由第二 AMN 或附加的 AMN 给系统的所有其他单元供电。
 - b) AMN 距 EUT 80cm ,并且距其他单元和其他金属板至少 80cm 。
- 4 EUT 和电缆应与水平接地板绝缘。
- 5 手动操作设备如键盘、鼠标等的电缆应做通常使用状态放置。
- 6 连接到立式设备的 I/O 电缆悬垂到接地平板,超长部分捆扎。不能接触到地板的电缆应悬垂到连接器的高度或截短到 40cm 的高度。
- 7 对于台式 TPE 图 3 或图 5 的布置都可以使用。

图 7 测试布置:立式 TPE 和台式 TPE(传导骚扰测试)

e) 替换测试场地

测试也可在无 a)和 d)所述物理特性的其他场地进行。但应获得这种替换场地能够产生有效结果的证明。

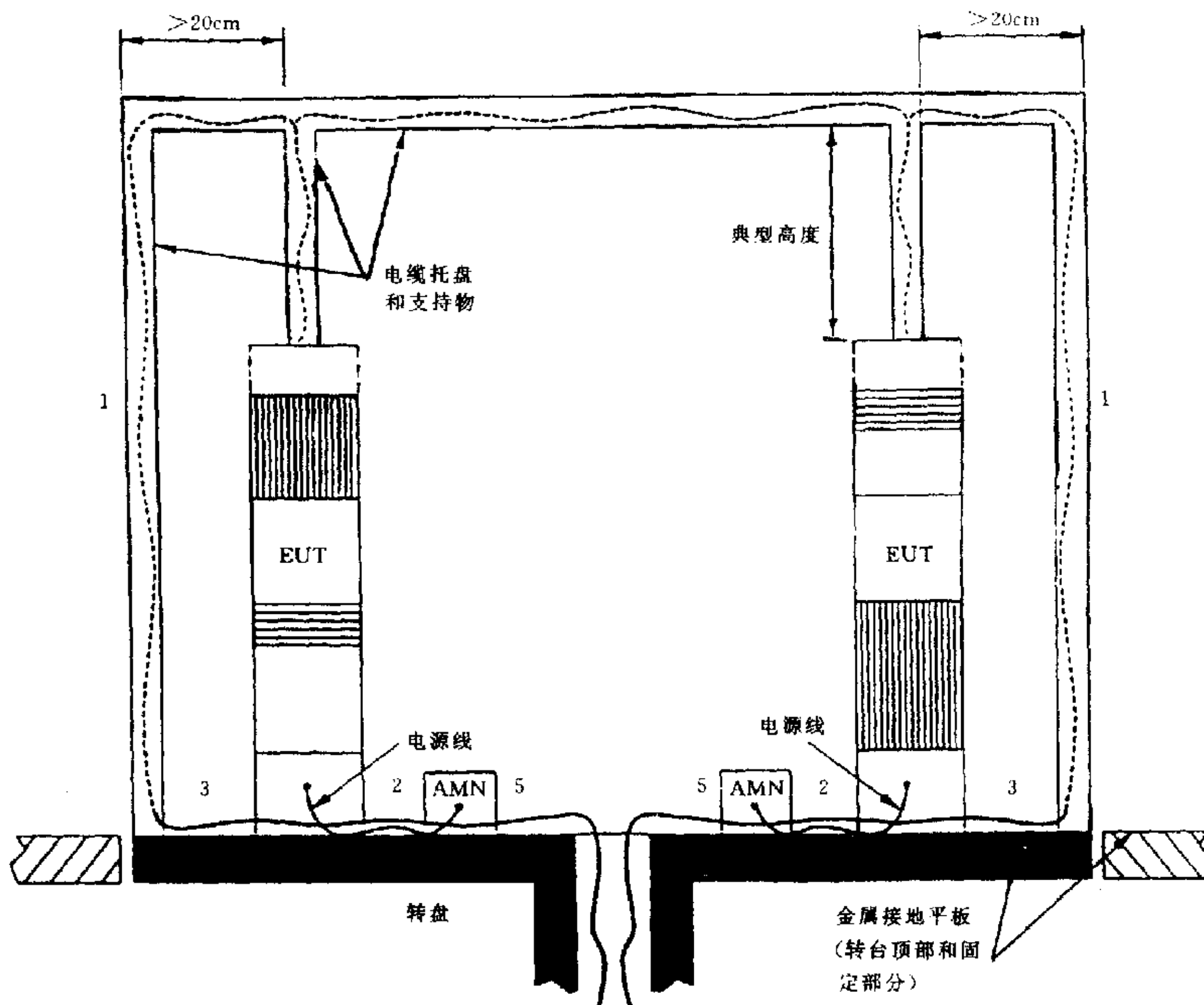
半电波暗室是替换场地的一个例子。

注:本标准的附录将替代 GB 6113 中规定的校准法。

f) 用户安装场地测试

当需要在用户安装场地对 A 级 TPE 进行测试时,这些测试最好在用户场地的边界进行。如果用户场地的边界离 TPE 的距离小于 10m ,则应在离 TPE 10m 处测试。

由于场地特性对测试有影响,因此上述形式所作的证实合格与否的测试,仅对该安装现场有效。在该 TPE 之外可以增加形式试验合格的 TPE,此时测试结果仍然有效。



连接到远端外围设备和/或辅助设备的 I/O 电缆如果需要,可以用正确的阻抗终结。

注

- 1 典型的受试系统可只使用一个垂直竖板。
- 2 超长的电源线应在中心捆扎或截短到合适的长度。
- 3 EUT 和电缆应与水平接地平板绝缘。
- 4 被测量的电源线连接到一个 AMN。所有其他电源线通过其他 AMN 供电。
- 5 对于传导骚扰测试,AMN 可以放置在接地平板上面,或黏和在其下面。对于辐射骚扰测试,如果使用 AMN,则应放置在接地平板下面。
- 6 测试布置应符合实际安装情况。

图 8 测试布置:立式 TPE(架空电缆,侧视图)

5.5.2.4 辐射骚扰测试设备的安装

按照图 10、图 11、图 12 的要求进行安装。图 8、图 9 标出了使用架空电缆的立式 TPE 的布局。

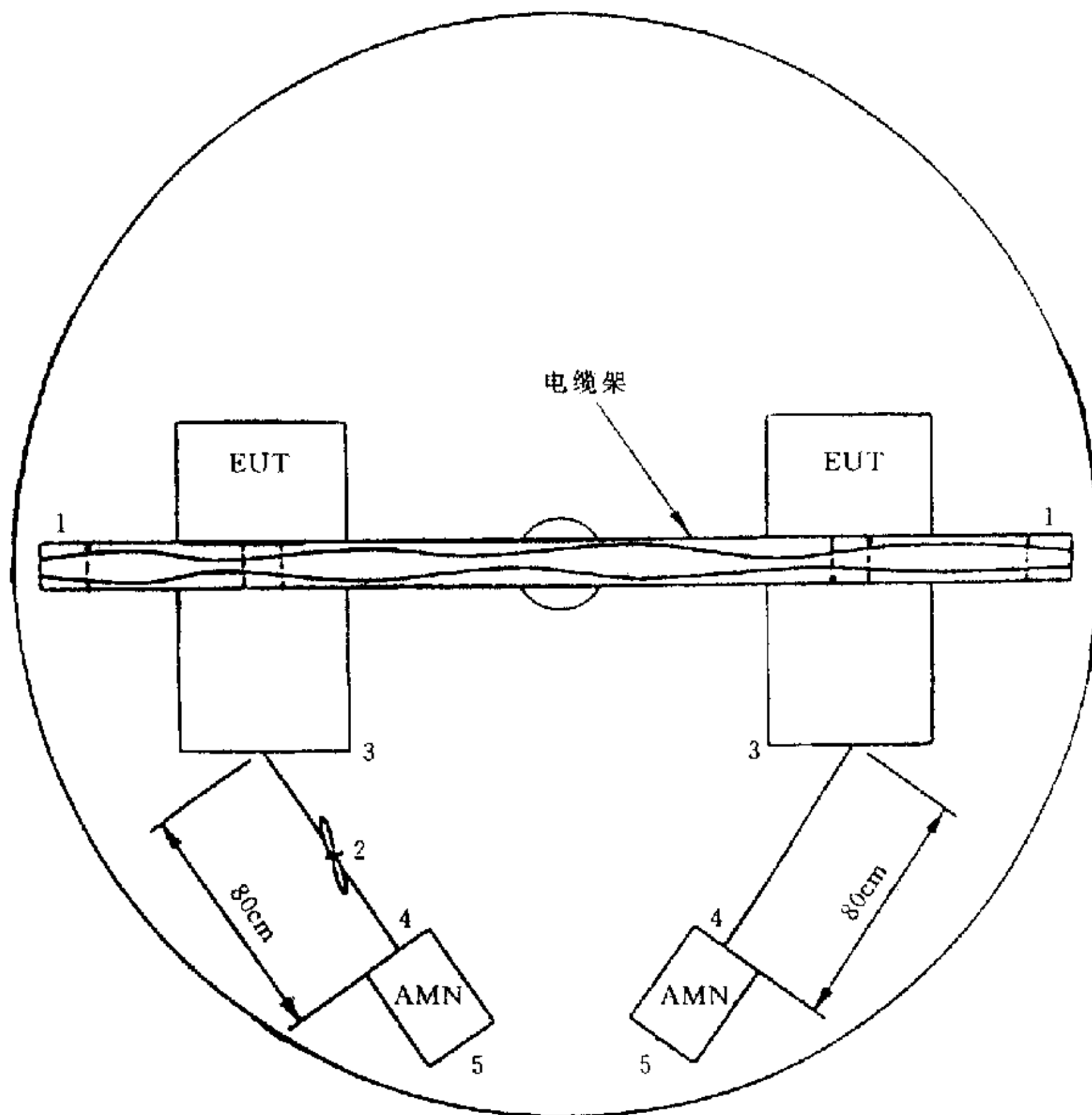
台式 TPE 应置于水平接地平板之上 80cm 的非导电桌子上。立式 TPE 可置于水平接地平板之上,但与接地平板之间应有至少 12mm 的绝缘间隔。

被设计成台式和立式两种形式工作的 TPE,应仅按照台式布置进行测试。除非立式为 TPE 的典型布置形式。

安装在墙上的 TPE,应作为台式 TPE 进行测试。其设备的布置应与正常工作状态一致。

5.5.2.5 辐射骚扰测试记录

应至少记录 $(L-20)$ dB 以上的辐射骚扰。这里 L 是对数单位的骚扰电平限值。应记录 TPE 的骚扰电平和 6 个最高骚扰电平的频率,以及记录各骚扰值的天线极化方向。



注

- 1 典型的受试系统可只使用一个垂直竖板。
- 2 超长的电源线应在中心捆扎或截短到合适的长度。
- 3 EUT 和电缆应与水平接地平板绝缘。
- 4 被测量的电源线连接到一个 AMN。所有其他电源线通过其他 AMN 供电。
- 5 对于传导骚扰测试,AMN 可以放置在接地平板上面,或黏和在其下面。对于辐射骚扰测试,如果使用 AMN,则应放置在接地平板下面。
- 6 测试布置应符合实际安装情况。

图 9 测试布置:立式 TPE(架空电缆,平面图)

5.5.2.6 出现高环境噪声时的测试

通常,环境信号不应超过限值。但由于本地广播设备,其他人造设备以及自然界噪声源所产生的环境噪声场的影响,有可能在测试地点的某些频率上无法测试来自 TPE 辐射发射。

如果在规定距离处测试时环境噪声场强很高,则可以采用下列方法证明 TPE 是否合格:

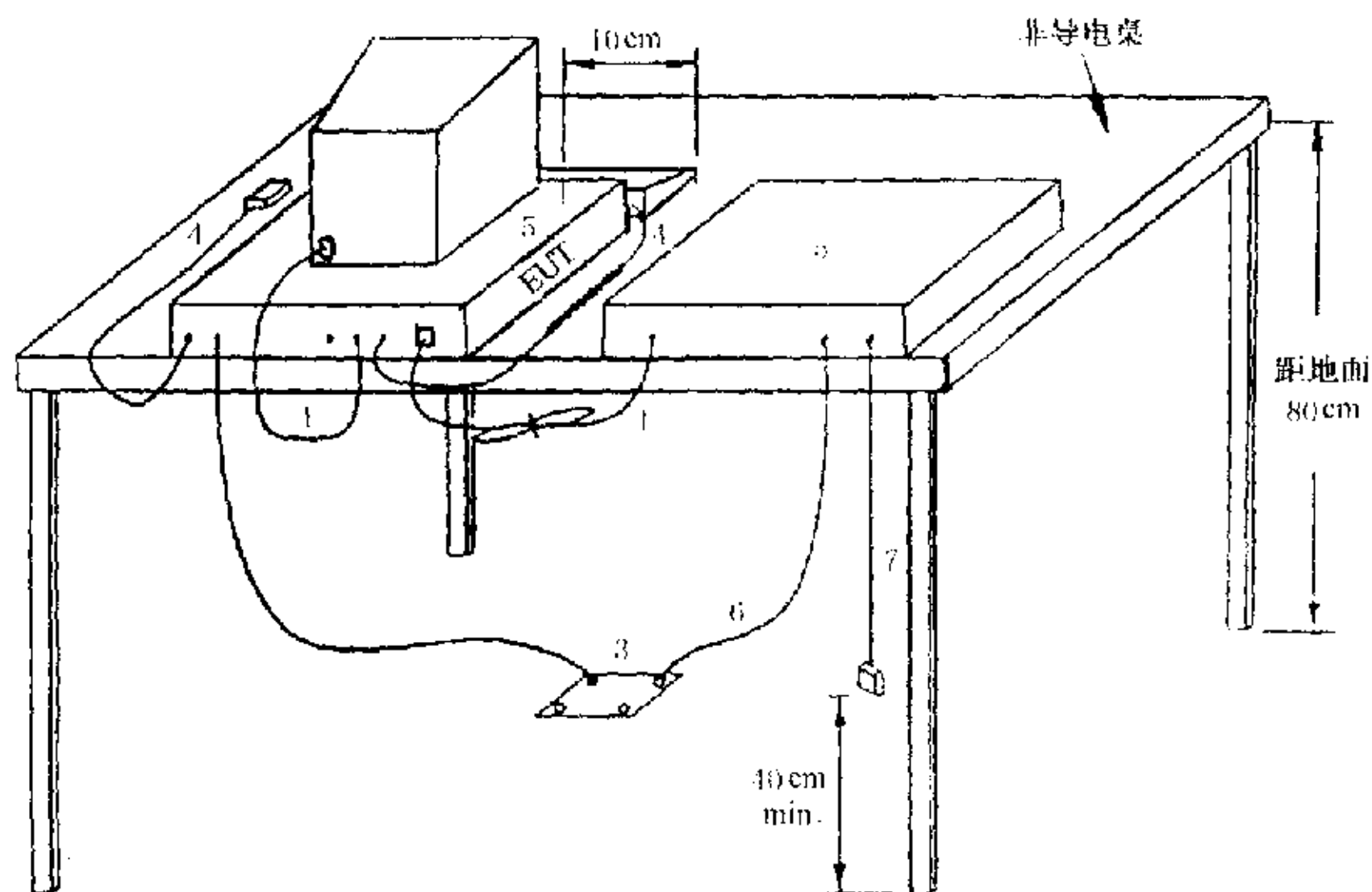
a) 用下列关系式确定与近距离 d_2 相应的限值 L_2 :

$$L_2 = L_1(d_1/d_2) \dots\dots\dots (3)$$

式中: L_1 是距离为 d_1 时规定的限值($\mu\text{V}/\text{m}$)。

以 L_2 作为距离为 d_2 时的新限值,按照 5.4 的规定来确定可允许的环境条件以及合格性测试的条件。

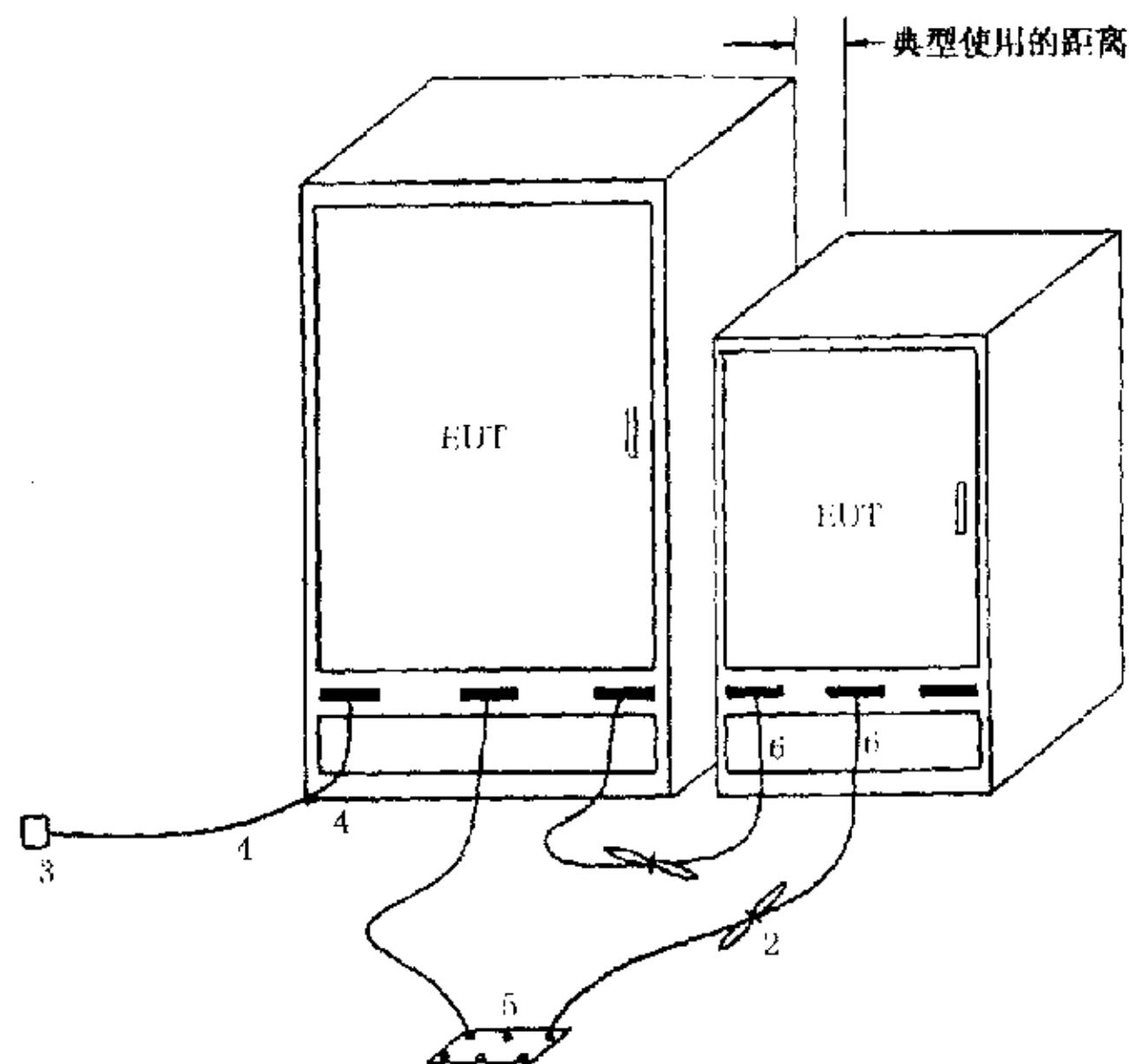
b) 环境噪声超过 5.4 中的规定时(应比限值低 6dB)的频带内,TPE 的骚扰值可由相邻骚扰值的内插值决定,该内插值应在由该频带内环境噪声相邻处的骚扰值构成的连续函数的曲线上。



注

- 1 如果悬垂距水平接地平板距离小于 40cm 的电缆不能截短到合适的长度,超长的部分应捆扎成 30~40cm 的线束。
- 2 如果正确操作要求,则没有连接到外围设备的 I/O 电缆的末端应连接正确的终端阻抗。
- 3 电源盒应紧贴和黏附在金属接地平板上(如果使用 AMN,则该 AMN 应放置在水平金属接地平板下面)。
- 4 手动操作设备如键盘、鼠标等的电缆应按通常使用状态放置。
- 5 如图中所示安装实例,监视器可以直接放置在控制器的顶部,外围设备之间的距离以及距控制器的距离应为 10cm。
- 6 电源线应悬垂至地板,然后接至插座。插座和电源线之间不应使用其他的连线。

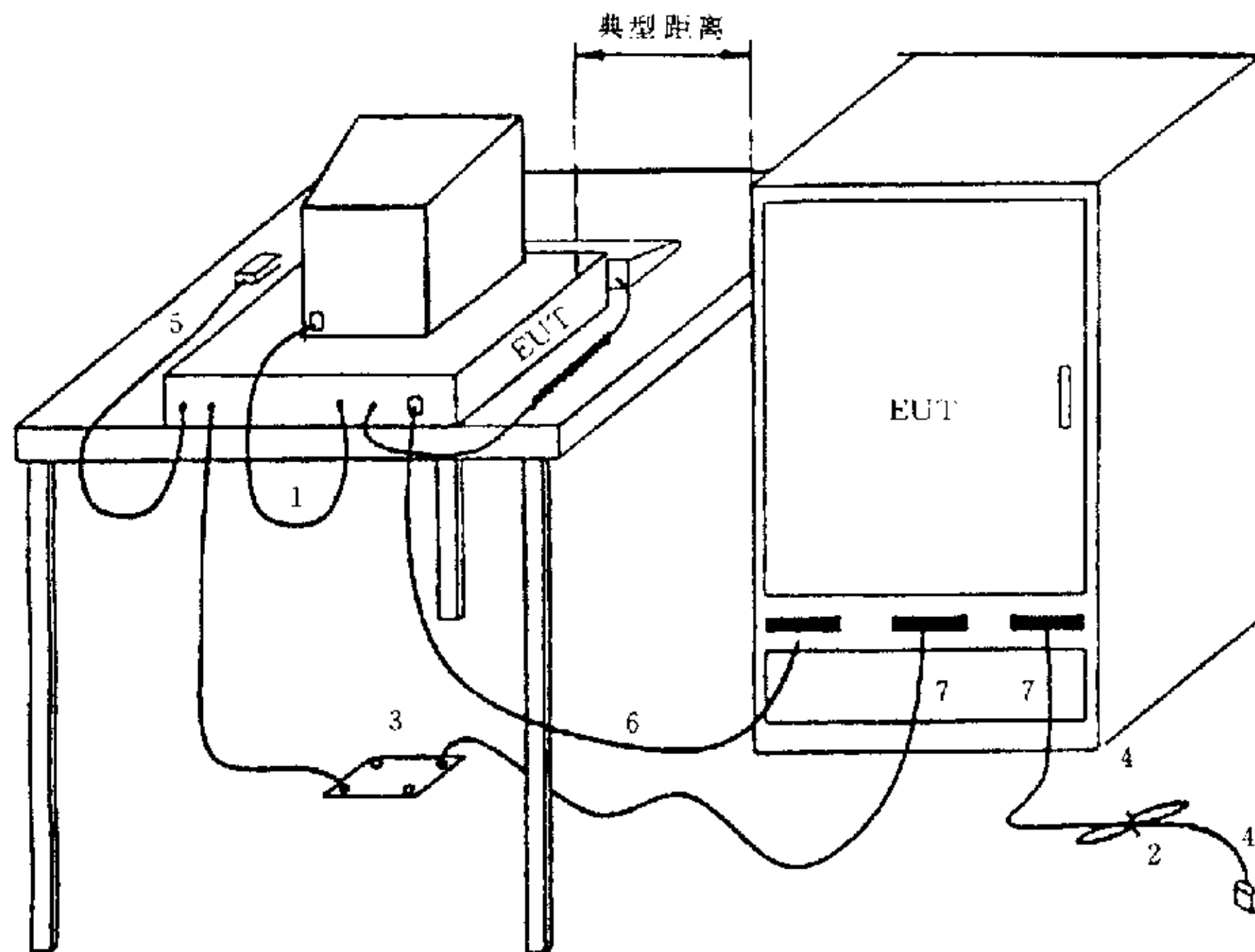
图 10 测试布置:台式 TPE(辐射骚扰测试)



注

- 1 如果电缆不能截短到合适的长度,超长的部分应捆扎成 30~40cm 的线束。如果不能捆扎,则电缆应螺旋状布置。
- 2 超长的电源线应在中心捆扎或截短到合适的长度。
- 3 如果正确操作要求,则没有连接到外围设备的 I/O 电缆的末端应连接正确的终端阻抗。
- 4 EUT 和电缆应与水平金属接地平板绝缘。
- 5 电源盒应紧贴和黏附在金属接地平板上(如果使用 AMN,则该 AMN 应放置在水平金属接地平板下面)。
- 6 电源线应悬垂至地板,然后接至插座。插座和电源线之间不应使用其他的连线。

图 11 测试布置:立式 TPE(辐射骚扰测试)



注

- 1 如果电缆不能截短到合适的长度,超长的部分应捆扎成30~40cm的线束。如果不能捆扎,则电缆应螺旋状布置。
- 2 超长的电源线应在中心捆扎或截短到合适的长度。
- 3 如果正确操作要求,则没有连接到外围设备的I/O电缆的末端应连接正确的终端阻抗。
- 4 EUT和电缆应与水平金属接地平板绝缘。
- 5 电源盒应紧贴和黏附在金属接地平板上(如果使用AMN,则该AMN应放置在水平金属接地平板下面)。
- 6 电源线应悬垂至地板,然后接至插座。插座和电源线之间不应使用其他的连线。

图12 测试布置:立式和台式TPE(辐射骚扰测试)

6 谐波电流、电压起伏和闪烁的限值 and 测试方法(设备每相输入电流 $\leq 16A$)

6.1 谐波电流限值

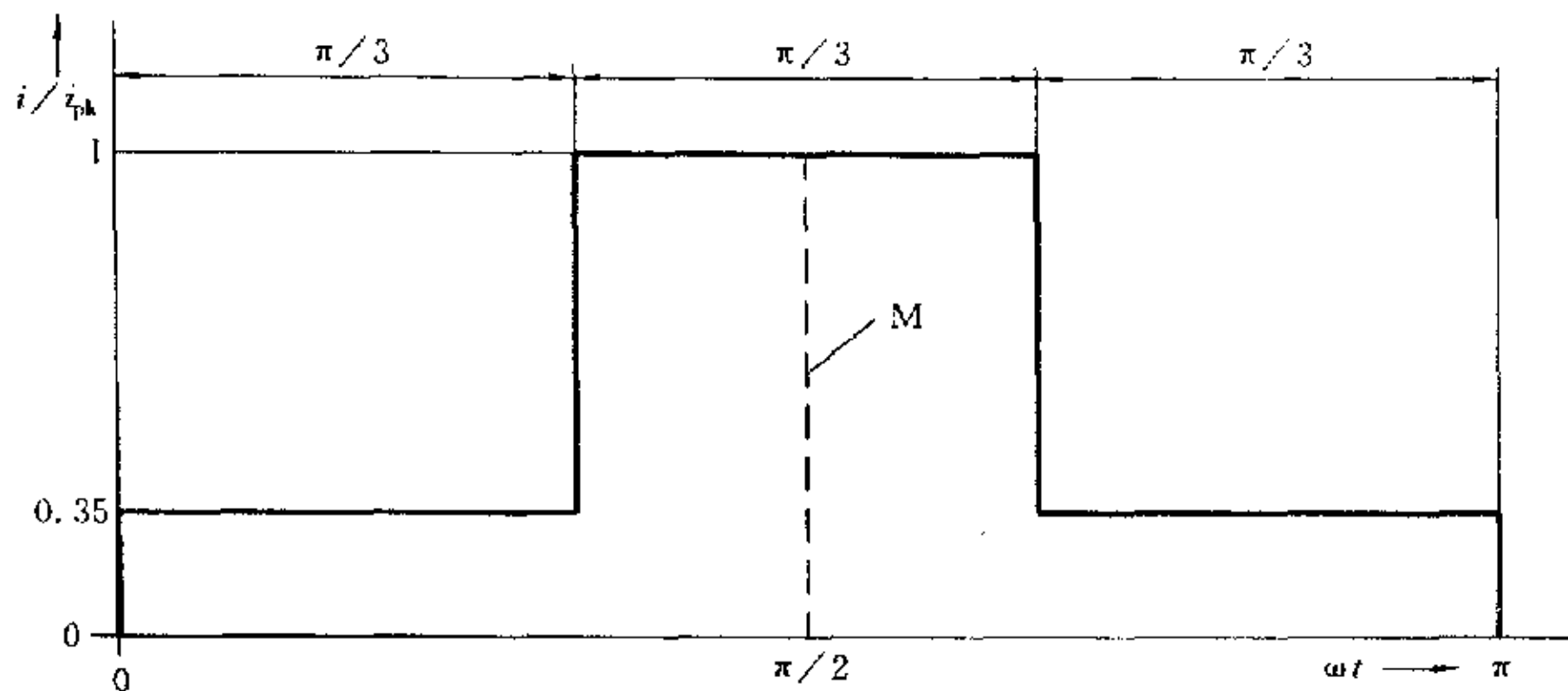
6.1.1 对于谐波电流发射限值的TPE分类

A类:平衡三相TPE和不属于B类、D类的其他TPE。

B类:便携式TPE。其谐波电流限值为A类设备谐波电流限值的1.5倍。

D类:具有特殊输入电流波形的TPE。其输入有效功率 $75W < P \leq 600W$ 。特殊输入电流波形的定义如图13所示。

注: C类设备是指照明设备,与通信电源设备无关。



注：每半周期输入电流波形——以峰值电流 i_{pk} 归一化——至少 95% 的波形应处于上图所示的包络中。

如果输入电流波形有部分小的尖峰超出上图的包络，也可以认为该波形符合要求。中心线 M 定位于电流波形的峰值处。符合上述情况的 TPE，可定义为 D 类 TPE。

图 13 D 类 TPE 特殊输入电流包络

6.1.2 谐波电流限值

谐波电流限值见表 6、表 7。

表 6 A 类 TPE 谐波电流限值

谐波 n	最大允许谐波电流(A)
奇次谐波	
3	2.30
5	1.14
7	0.77
9	0.40
11	0.33
13	0.21
$15 \leq n \leq 39$	$0.15 \times \frac{15}{n}$
偶次谐波	
2	1.08
4	0.43
6	0.30
$8 \leq n \leq 40$	$0.23 \times \frac{8}{n}$

表 7 D类 TPE 谐波电流限值

谐波 n	每瓦最大允许谐波电流(mA/W)	最大允许谐波电流(A)
3	3.4	2.30
5	1.9	1.14
7	1.0	0.77
9	0.5	0.40
11	0.35	0.33
$13 \leq n \leq 39$ (仅定义奇次谐波)	$\frac{0.85}{n}$	与表 6 相同

6.2 电压起伏和闪烁限值

电压起伏和闪烁限值见表 8。

表 8 电压起伏和闪烁限值

项 目	限 值
短期闪烁(P_{st})	≤ 1.0
长期闪烁(P_{lt})	≤ 0.65
相对稳态电压变化(d_c)	$\leq 3\%$
最大相对电压变化(d_{max})	$\leq 4\%$
相对电压变化[$d(t)$]	在电压变化持续时间 $>200ms$ 时, $\leq 3\%$

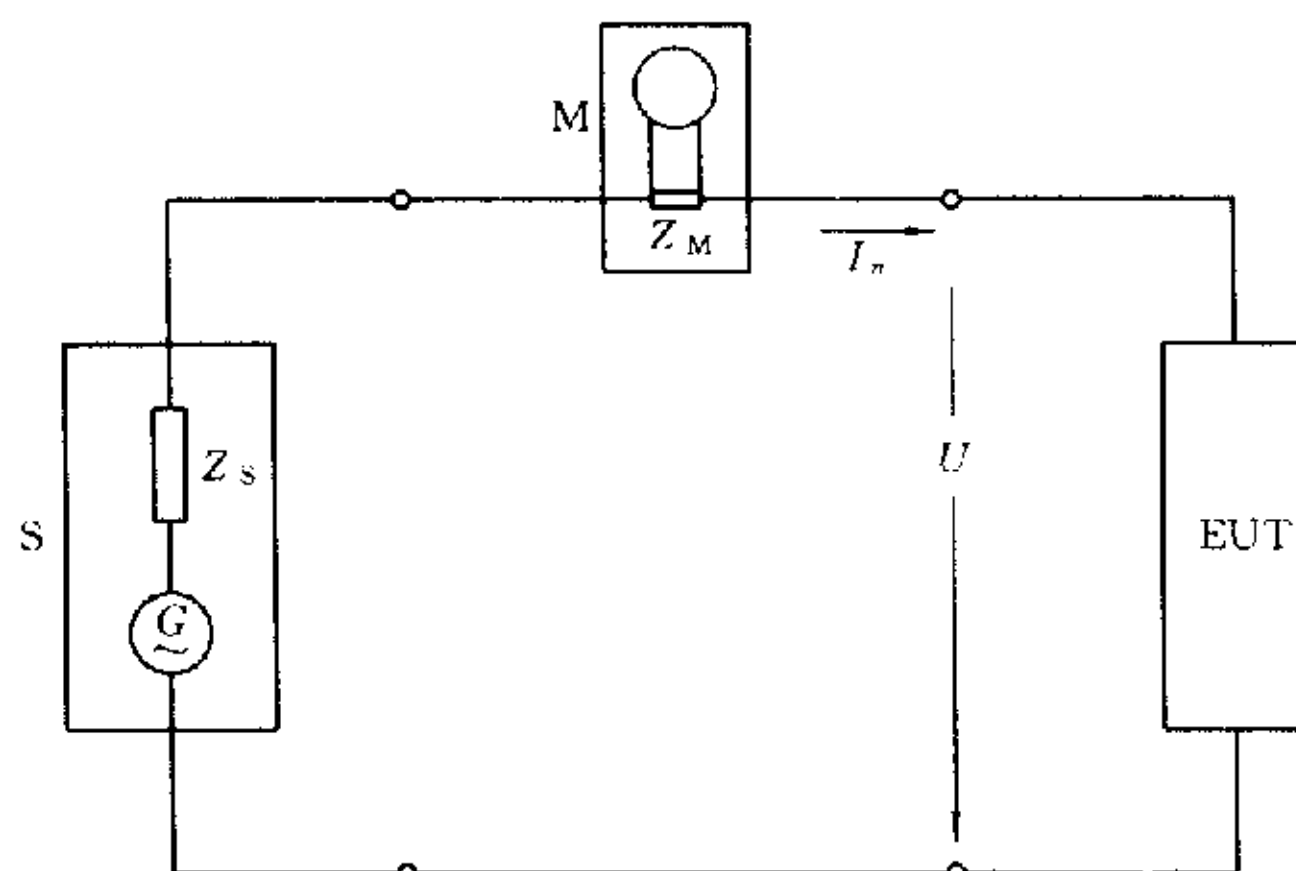
6.3 谐波电流测试方法

6.3.1 测试设备

谐波电流测试设备应符合 IEC 1000-3-2 中附录 A 和附录 B 的要求。

6.3.2 测试方法

测试连接图如图 14 和图 15 所示。

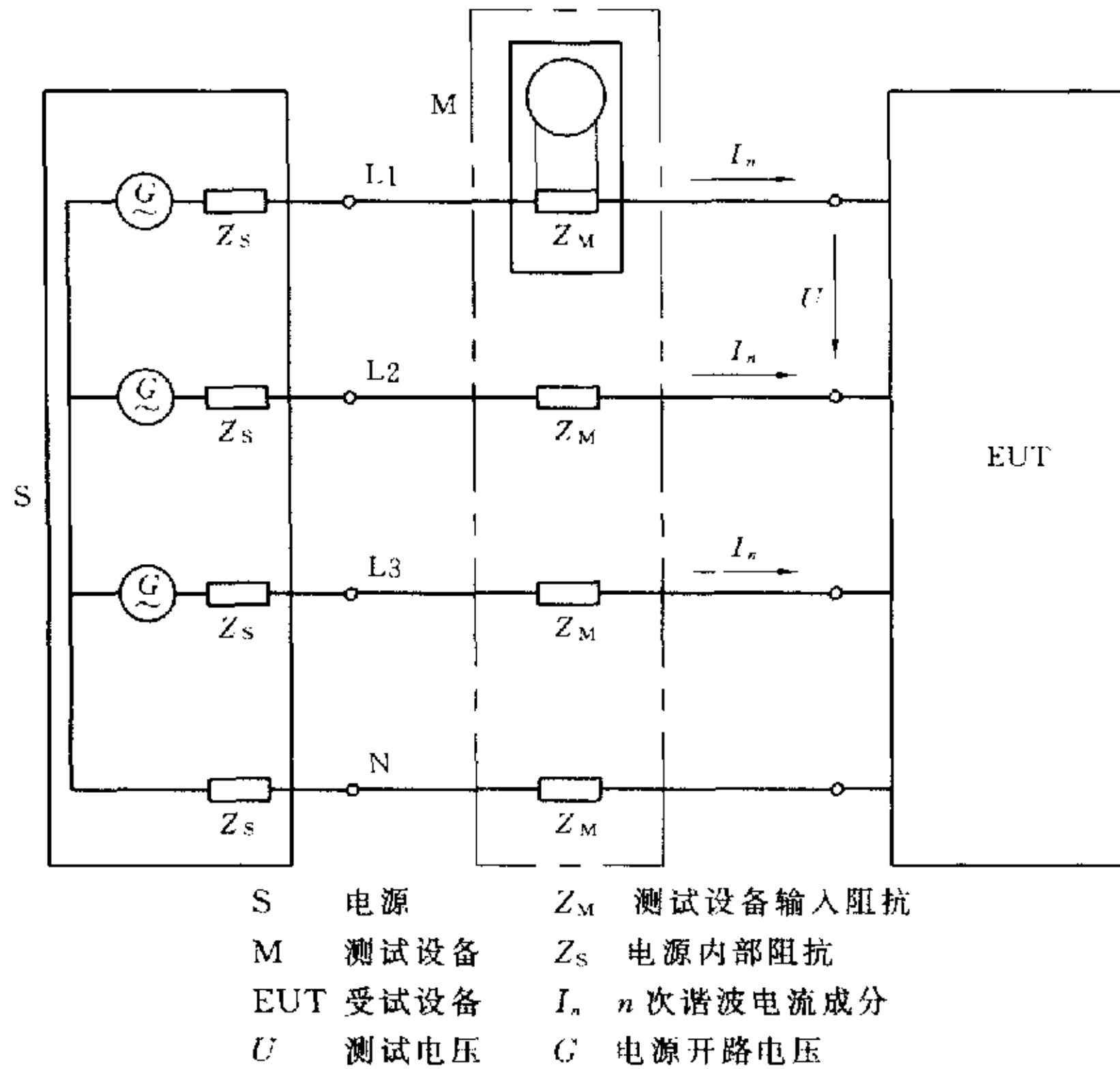


- S 电源
- M 测试设备
- EUT 受试设备
- U 测试电压
- Z_M 测试设备输入阻抗
- Z_s 电源内部阻抗
- I_n n 次谐波电流成分
- G 电源开路电压

注

- 1 Z_M 和 Z_s 没有特别规定,但应足够小,以满足测试需要。
- 2 在一些特殊情况下,应注意避免电源的电感和 EUT 的电容之间发生的谐振。

图 14 单相 TPE 测试电路



注

- 1 Z_M 和 Z_s 没有特别规定,但应足够小,以满足测试需要。
- 2 在一些特殊情况下,应注意避免电源的电感和 EUT 的电容之间发生的谐振。

图 15 三相 TPE 测试电路

TPE 应在额定电流下工作。

对于 19 次以上的谐波,如果谐波频谱包络呈单调下降趋势,则只需测到 19 次谐波。

忽略小于输入电流 0.6% 或小于 5mA 的谐波电流分量。

当谐波电流限值是以 TPE 的有效输入功率或基波电流的函数形式给出的,则 TPE 输入功率和电流应在同样条件下测试。

对于瞬态谐波电流,测试时应考虑:

- a) 当通过人工或自动操作,使 TPE 开始或停止工作时,忽略持续时间不超过 10s 的谐波电流。
- b) 对于其他在测试中出现的瞬态谐波电流,表 6、表 7 中规定的限制均适用。
- c) 对于瞬态的 2~10 次偶次谐波电流和 3~19 次奇次谐波电流,在任意 2.5min 观察时间的 10% 的期间内,谐波电流可为限值的 1.5 倍。

安装在机架或机箱中的 TPE 的各个独立的设备,可被认为是单独连接到电源。不需将机架或机箱作为整体进行测试。

6.4 谐波电流测试记录

应按照表 6 或表 7 中给出的谐波阶次及 6.3.2 中的相关规定记录谐波电流数值。并按照表 6 或表 7 中的限值和 6.3.2 中的相关规定判定测试结果。

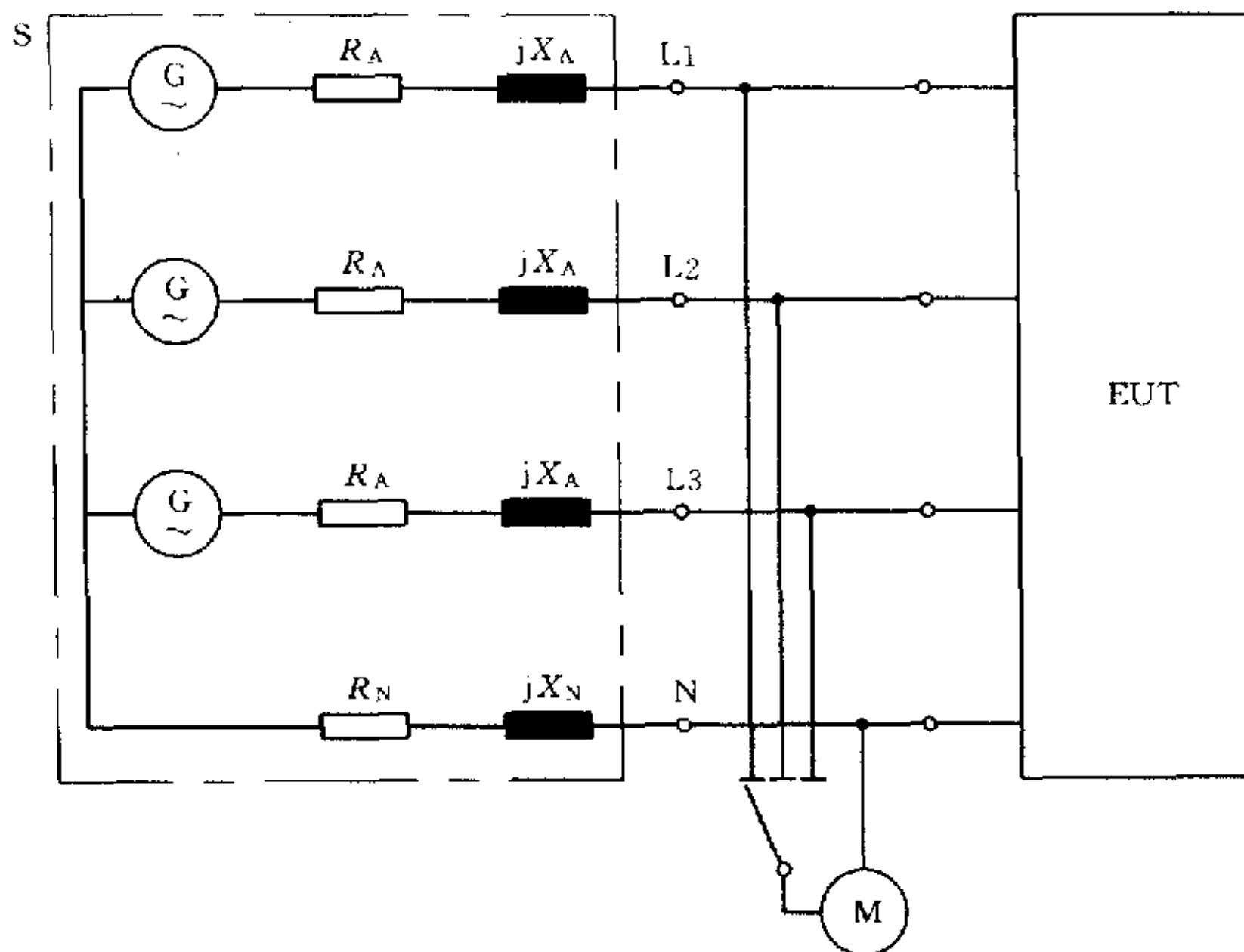
6.5 电压起伏和闪烁测试方法

6.5.1 测试设备

电压起伏和闪烁测试设备应符合 IEC 61000-3-3 中 4 和 6 的要求。

6.5.2 测试方法

测试连接图如图 16 所示。



EUT 受试设备

M 测试设备

S 由电压发生器 G 和参考阻抗 Z 组成的电源

$$R_A = 0.24\Omega \quad jX_A = 0.15\Omega (50 \text{ Hz})$$

$$R_N = 0.16\Omega \quad jX_N = 0.10\Omega (50 \text{ Hz})$$

参考阻抗 Z 应包括实际情况下发生器的阻抗。

G 电压发生器

注：一般情况下，三相负载是平衡的，在中线中没有电流， R_N 和 X_N 可被省略。

图 16 由三相四线制供电推导出的单相和三相 TPE 测试参考图

TPE 应工作于可产生最坏电压变化的工作状态。

如果电压变化是由于手动开关 TPE 引起的，或发生频率小于每小时一次，则 P_{st} 和 P_{lt} 不需测试， $d_c, d_{max}, d(t)$ 的限值应为表 8 中数值乘 1.33。

表 8 中的限值不适用于 TPE 在紧急情况下的开关或中断所产生的电压起伏和闪烁。

闪烁测试的测试时长 T_P 应为

$$\text{对于 } P_{st} \quad T_P = 10\text{min}$$

$$\text{对于 } P_{lt} \quad T_P = 2\text{h}$$

测试时长应包括在 TPE 的整个工作周期内，TPE 产生最坏的电压变化的时段。

对于 P_{st} 测试，TPE 工作周期应不断重复。若 TPE 在工作周期结束后自动停止工作，但测试时长未到时，TPE 应在最短的时间内重新启动。

对于 P_{lt} 测试，若 TPE 的工作周期 $< 2\text{h}$ ，同时在正常情况下不再继续工作，则 TPE 工作周期不应重复。

6.6 电压起伏和闪烁测试记录

按照表 8 中所列的项目记录测试电压起伏和闪烁，并按照表 8 的限值和 6.5.2 的相关规定判定测试结果。

7 抗扰性要求及测试方法

7.1 设备布置及测试条件

7.1.1 测试环境

所有测试的实验室环境，均应符合基础标准 IEC 1000-4 系列的相关规定。实验室的电磁环境应不

影响测试结果。

7.1.2 测试布置

所有测试均应在 TPE 正常安装条件下进行。电源线及信号线的分布、接地、电缆的互连及测试系统的物理布置均应模拟典型的、实际的应用状态,并应符合产品说明书的规定。

对进行抗扰性测试的 TPE,应接通电源并在正常方式下工作。测试应在规定的配置、典型的负载配置(包括硬件、软件和操作程序)及充分运行等条件下进行。

应选择能使抗扰性减至最小的配置。必须考虑在正常使用的范围内可能的布置。

测试应在输入端输入标称电压的情况下进行。

除非产品说明书有特别规定,TPE 应连接阻性负载。

信号或控制端口应使用必要的 AE 或标称电阻正确连接。

测试时,TPE 可以工作在较小的输出功率状态下(建议 50%的输出功率)。TPE 在测试中的实际输出功率应在测试报告中注明。

UPS 的测试应在输入交流电源供电和不供电的情况下分别进行。

传导抗扰性测试应在电源输入口、电源输出口以及 TPE 上每种控制端口的其中一个端口上测试。

不超过 3m(根据产品说明书的规定)的电源线和控制线不须进行传导抗扰性测试。但是,连接到外部网络的电缆应进行测试。

同一 TPE 各单元之间的内部连接电缆不需测试。

为检验 TPE 对工作失灵和毁坏的承受能力,应在测试前和测试后,对其设计功能进行检查。

应在测试报告中详细记录 TPE 所选择的布置情况,并说明选择特殊布置的理由。

7.1.3 测试设备

测试设备及其附件均应充分去耦,以便减少对设备抗扰性测试结果的影响。

7.2 抗扰性判定准则

在测试期间被监测的 TPE 端口可分为以下几类:

- a) 二级电源直流端口:指直流不停电电源端口(基础电源直流端口)。
- b) 二级电源交流端口:指交流不停电电源端口(基础电源交流端口)。
- c) 三级电源端口:指通信设备中的电源设备端口(机架电源端口)。
- d) 控制信号接口

7.2.1 判定准则 A

a) 设备在进行 EMC 测试期间,TPE 输出电压应符合正常工作范围。

b) 设备在进行测试期间和测试后,TPE 应正常工作,不应产生报警、误报警指示(供电故障、保护性故障等等)或者误显示指示。

7.2.2 判定准则 B

a) 设备在测试后,TPE 应正常工作。输出电压应立即符合正常工作范围。

b) 设备在测试后,TPE 应正常工作,不应产生报警、误报警指示(供电故障、保护性故障等)或者误显示指示。

7.2.3 判定准则 C

设备允许监视和报警功能丧失。但是,设备在测试后,所有的功能应恢复正常,输出电压应符合正常工作范围。

7.2.4 特殊判定准则

特殊判定准则用于二级直流输出端口和二级交流输出端口。

7.2.4.1 二级直流输出端口

判定准则 A。

二级直流输出端口的最大宽带噪声电平不大于 10mV。使用符合建议 ITU-T O. 41 的噪声计测量

噪声。

7.2.4.2 二级交流输出端口

判定准则 A。

设备在进行 EMC 测试期间,电压起伏应小于标称电压的±10%。

7.3 抗扰性测试等级

抗扰性最低测试等级和判定准则见表 9。

表 9 抗扰性最低测试等级和判定准则

适用环境	测试等级	单位	判定准则	备注
外壳端口				
辐射电磁场	1	V/m	A	80~1 000MHz(注 1)
静电放电	4(接触和空气放电)	kV	B	接触和空气放电
室外通信端口				
射频场感应的传导骚扰	1	V	A	0.15~80MHz(注 2,注 3)
浪涌(冲击)	0.5(线对线) 1.0(线对地)	kV	B	10/700 μ s(注 4)
电快速瞬变脉冲群	0.25	kV	B	使用容性耦合钳
	0.5		C	
室内通信端口				
射频场感应的传导骚扰	1	V	A	0.15~80MHz(注 2,注 3)
浪涌(冲击)	0.5(线对线) 1.0(线对地)	kV	B	1.2/50(8/20) μ s(注 4)
电快速瞬变脉冲群	0.25	kV	B	使用容性耦合钳
	0.5		C	
直流电源端口				
射频场感应的传导骚扰	1	V	A	0.15~80MHz(注 2,注 3)
电快速瞬变脉冲群	0.25	kV	B	使用容性耦合钳
	0.5		C	
交流电源端口				
射频场感应的传导骚扰	1	V	A	0.15~80MHz(注 2,注 3)
浪涌(冲击)	0.5(线对线) 1.0(线对地)	kV	B	1.2/50(8/20) μ s(注 4)
电快速瞬变脉冲群	0.5	kV	B	使用容性耦合钳
	1.0		C	
电压暂降	>95%	下降 周期	B	
	0.5			
	30% 25	下降 周期	C	

表 9(完)

适用环境	测试等级	单位	判定准则	备注
电压短时中断	95% 250	下降 周期	C	

注 1:测试起始频率可低于 80MHz,但是不能低于 27MHz。
注 2:测试频率 >10MHz 时,可使用较低的测试级别,这种特殊测试级别正在研究中。
注 3:测试级别可定义为输入 150Ω 的等效电流。
注 4:当有合适的 CDN 时,进行这项测试。

7.4 抗扰性测试方法

7.4.1 静电放电抗扰性测试方法

7.4.1.1 实验室的环境

实验室的气象条件应在下述范围:

环境温度:15~35℃。

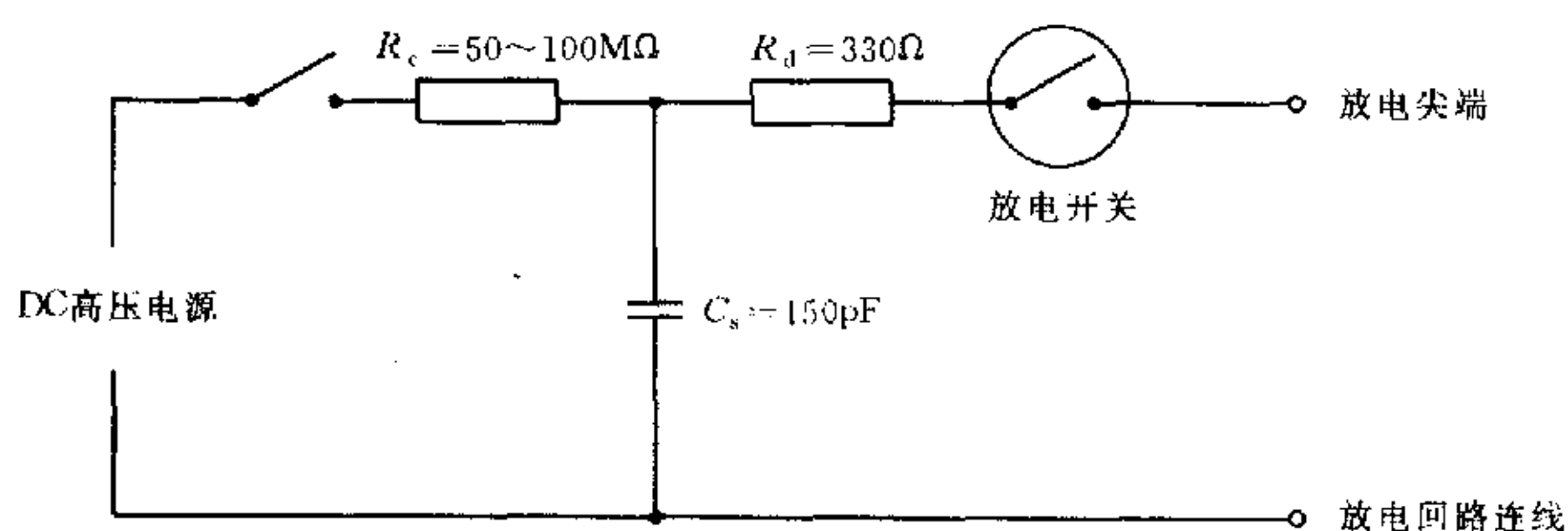
相对湿度:30%~60%

大气压力:86(860)~106kPa(1 060mbar)

实验室的电磁环境应不影响实验结果

7.4.1.2 测试设备

静电放电发生器的性能应符合 IEC 1000-4-2 中 6 的规定,原理图见图 17。



注:图中省略了存在于发生器与 EUT、GRP 以及耦合面之间的分布电容 C_A ,因为此电容在整个发生器上是分布的,因此在这个回路中不可能标明。

图 17 静电放电发生器电路简图

7.4.1.3 测试布置

TPE 与实验室墙壁和其他金属结构之间至少应有 1m 的间距。

静电放电发生器的放电回路电缆应连接到参考接地平板上,电缆总长度一般为 2m。

台式设备应放在距接地参考平板 80cm 的非导电桌上,详细布置见图 18 的实例。

立式设备应经厚度为 10cm 的绝缘垫与接地参考平板隔开,详细布置见图 19 的实例。

7.4.1.4 测试方法

静电放电施放点仅适用于在正常使用时人员可能接近 TPE 的点和面。

对 TPE 内部,除了产品说明书规定有使用静电放电保护措施明确指示外,静电放电施放点仅适用于允许用户维护的点和面。

如果 TPE 具有面板和门,则首先应在面板设置处于正常状态和门关闭时进行测试。

如果 TPE 正常工作时门可以打开,则应在门的边缘和门的内表面确定一些点。

对于用户可能接触的元器件,如控制面板、磁带盒、磁盘、光盘驱动器等,应将门打开或将面板移开后选择放电点。

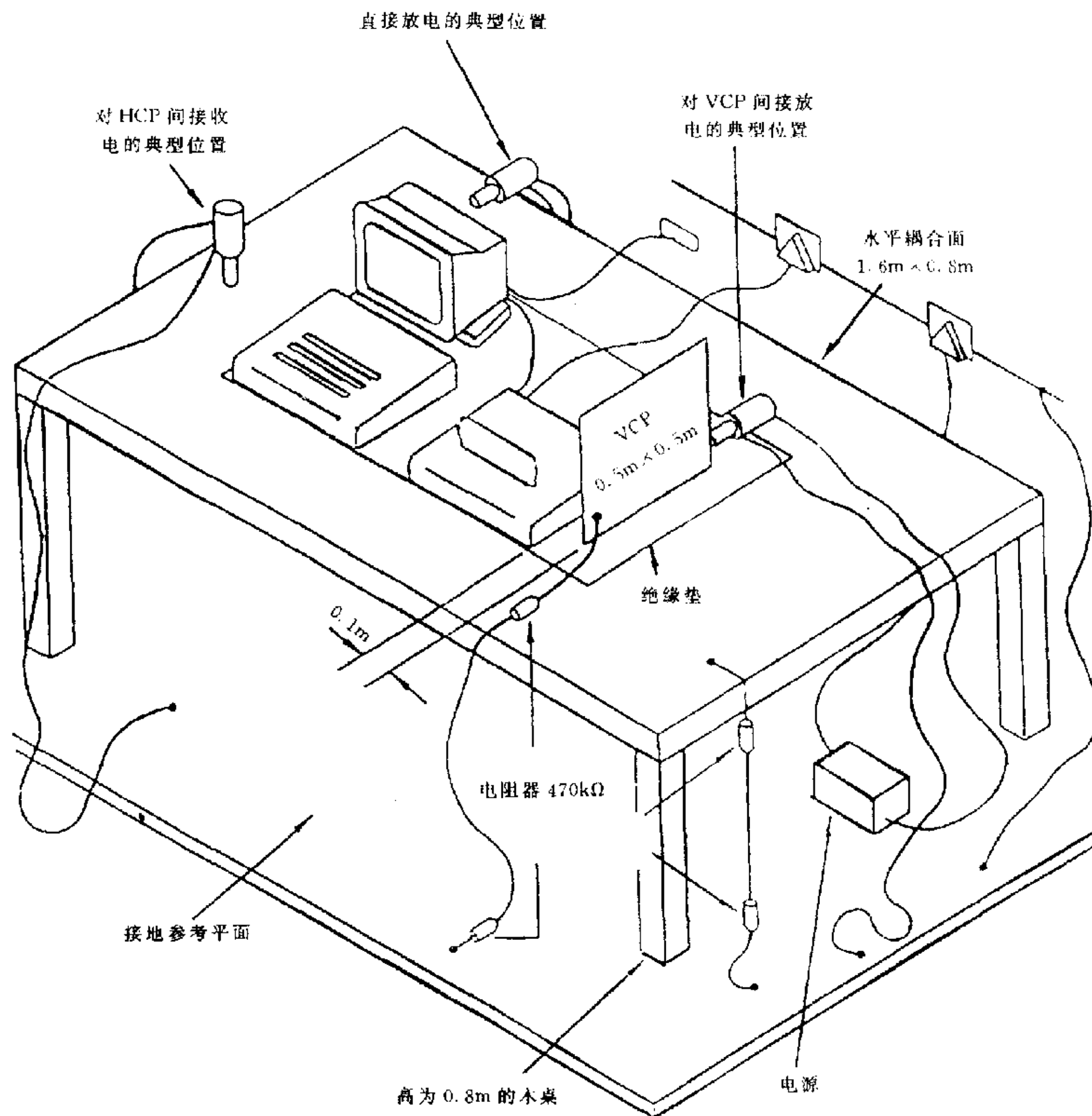


图 18 测试布置：台式 TPE（静电放电测试）

静电放电发生器应保持与进行放电的表面垂直，以改善实验结果的重复率。

放电时，静电放电发生器的放电回路电缆与 TPE 的距离，至少应保持 20cm。

对于位于或安装在 TPE 附近的物体的放电，应采用静电放电发生器对耦合面接触放电的方式进行模拟。

对导电表面采用直接接触放电的方式；对耦合平面采用间接接触放电方式；对绝缘表面采用空气放电方式。

测试应以单次放电的方式进行，在选定的点上，至少施加 10 次单次放电（最敏感的极性）。

放电幅值应从最小值逐渐增大到规定值。采用单次放电的方式，相邻两次放电的时间间隔至少 1s。

7.4.1.5 静电放电测试结果

按照 7.3 中的表 9 中规定的抗扰性测试等级和抗扰性判定准则对静电放电抗扰性测试结果进行判定。

7.4.2 辐射电磁场抗扰性测试方法

7.4.2.1 实验室环境

实验室环境应保持 TPE 产品说明书规定的气候条件，温度、相对湿度应在测试报告中记录。

7.4.2.2 测试设备

a) 测试场地

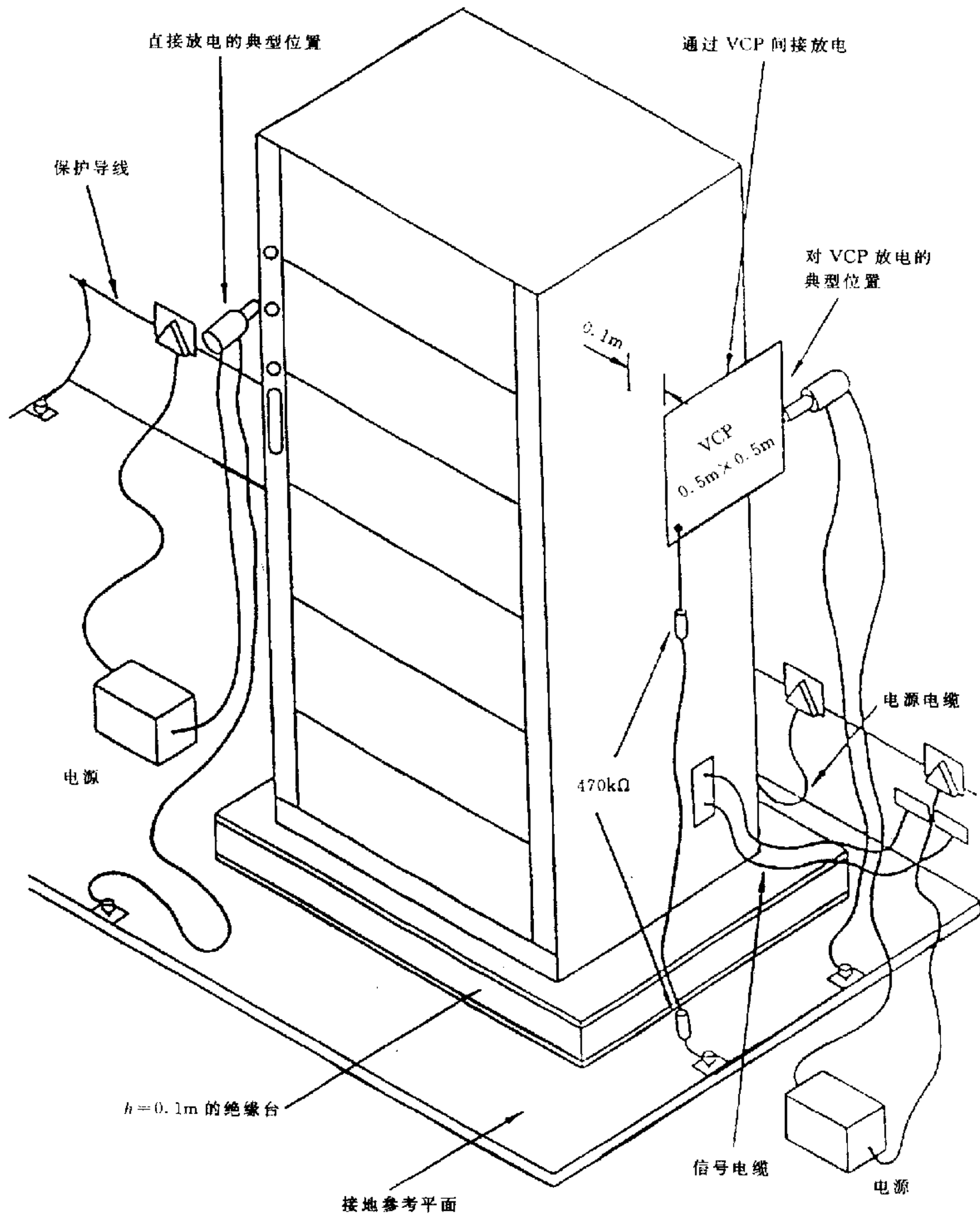


图 19 测试布置:立式 TPE(静电放电测试)

辐射抗扰性测试应在电波暗室、半电波暗室或其他符合要求的测试场地进行。

b) 射频信号发生器

能覆盖 80~1 000MHz 的频带,并能被 1kHz 的正弦波进行调制度为 80% 的幅度调制,具有 1.5×10^{-3} 十倍频程/s 或更慢的自动扫描能力,或者在射频合成器的情况下,能够按照频率决定的步长和停留时间来预置。射频信号发生器应可以手动设置。

c) 功率放大器

放大未调制和已调制的信号并驱动天线输出以达到需要的场强。功率放大器产生的谐波功率应小于载波功率 15 dB。

d) 天线

双锥天线,对数周期天线或其他满足频率要求的线性极化天线系统。

e) 电磁场监视系统

水平和垂直极化或各向同性的场强测量天线(电场探头),采用长约10cm或更短的偶极子。其前置放大器和光电转换器对被测电磁场具有足够的抗扰性。具有连接到室外指示器的光缆。可以采用充分滤波的信号连接。

7.4.2.3 辐射电磁场的校正

辐射电磁场的校准如下:

a) 将电场探头依次放于图20的方格中16个点的任意点上。

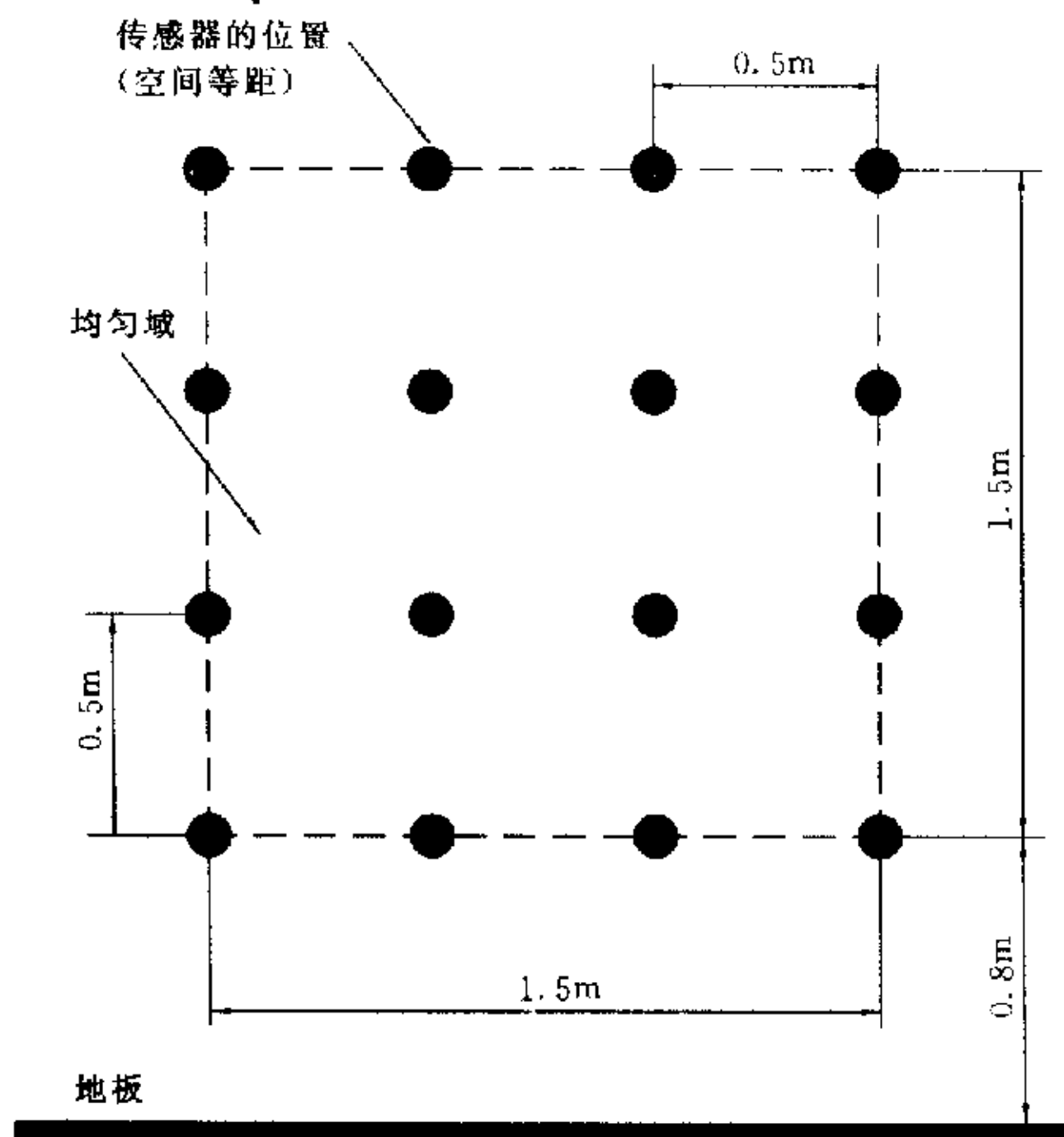


图20 场校正、均匀域的尺寸

b) 对场发射天线施加适当的发射功率,以得到 $3\sim 10\text{V/m}$ 的场强,并记录功率读数和场强读数,在同样的发射功率下,测量并记录图20中其他15点的场强和功率。

c) 删除16点结果中25%最大偏差的数据点,保留12点。

d) 保留的12点的场强应在 $\pm 3\text{dB}$ 范围内。

e) 在保留点中,定出最低场强的位置做参考,以保证满足 $0\sim 6\text{dB}$ 的要求。

f) 根据输入功率和场强的关系,推算出所需场强和功率的关系,应作出记录。

g) 在垂直极化和水平极化的情况下,都要以不高于10%的起始频率的步长重复a)~g)。

h) 保留用于校正场的天线和电缆,并记录确切位置,以便测试时采用同一位置和同一天线和电缆。

i) 为了对必须接近参考平面放置或尺寸大于 $1.5\text{m}\times 1.5\text{m}$ 的TPE及其连线确定其严酷性,应在距参考接地平板40cm处及在TPE边缘处测量并记录场强,并且在实验报告中说明。

j) 发射天线放置位置应能使 $1.5\text{m}\times 1.5\text{m}$ 校正域处于发射天线的主波瓣宽度之内。若 $\text{TPE} > 1.5\text{m}\times 1.5\text{m}$,则有必要对不同发射天线位置进行校正,以便使TPE表面在一系列试验中均可覆盖。

7.4.2.4 测试布置

按照产品说明书的规定布置和连接TPE。

台式TPE应放置在80cm高的非导电桌上。立式TPE应放置在高于地面10cm的非导电的支撑物上。

图21为台式设备的典型布置。图22为立式设备的典型布置。

7.4.2.5 测试方法

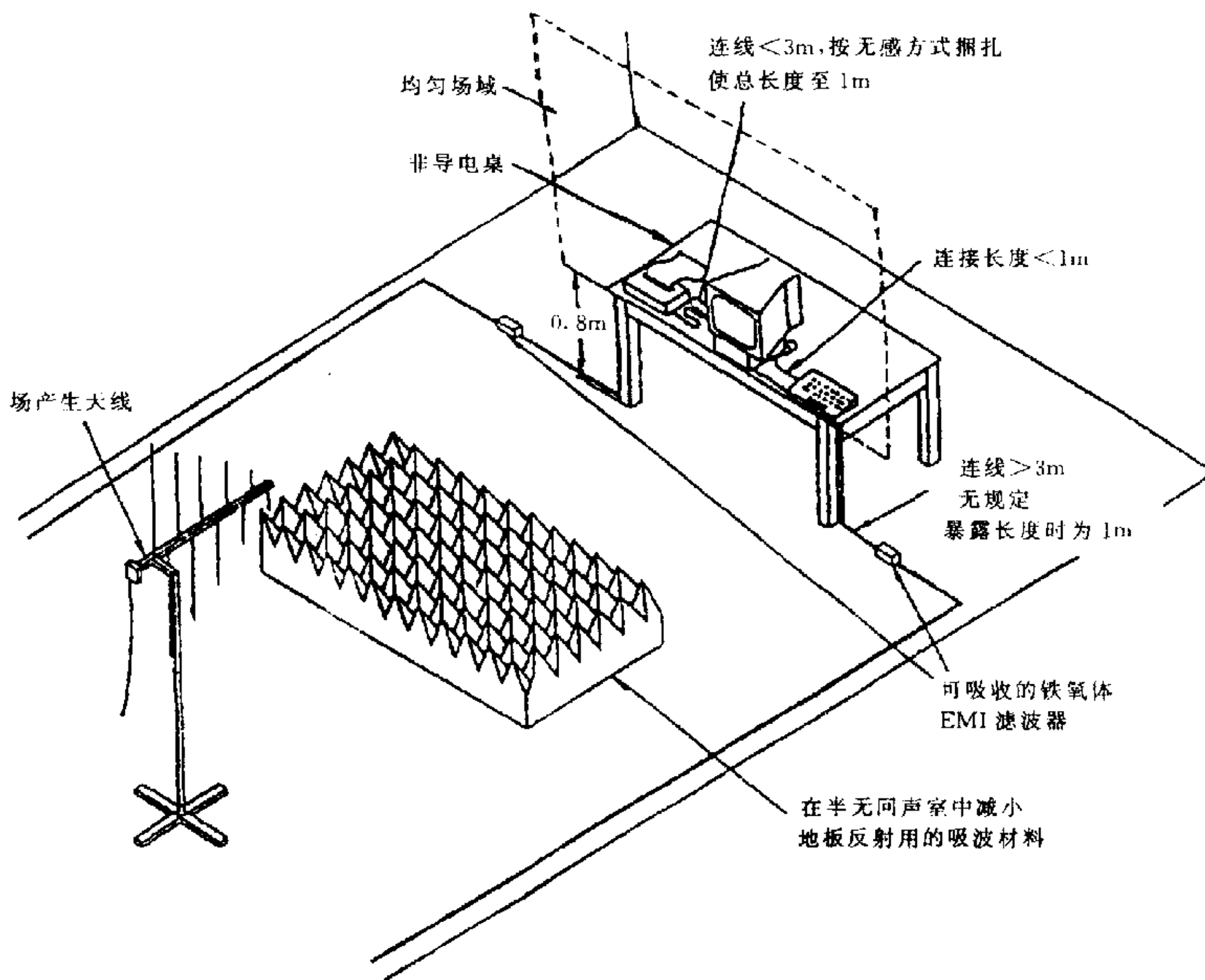


图 21 测试布置:台式 TPE(辐射抗扰性测试)

- a) 校准辐射场,保证辐射场的有效性。
- b) 测试时,应使 TPE 的一个平面与校正面位置重合。
- c) 扫描频率范围为 80~1 000MHz,用 1kHz 的正弦波进行调制度为 80% 的幅度调制,扫描速率不超过 1.5×10^{-3} dec/s,在频率增大的扫描中,扫描步长不超过基波的 1%,且在两校准点之间采用线性插值。
- d) 在每个频点应停留足够长时间,以便使 TPE 可对该频点的辐射电磁场发生反应。
- e) 分别对 TPE 的 4 个面进行同样的测试。
- f) 频率变化速率和在每个频点上的停留时间应在测试报告中记录。

7.4.2.6 辐射电磁场抗扰性测试结果

按照 7.3 中的表 9 中规定的抗扰性测试等级和抗扰性判定准则对辐射电磁场抗扰性测试结果进行判定。

7.4.3 电快速瞬变脉冲群抗扰性测试方法

7.4.3.1 实验室环境

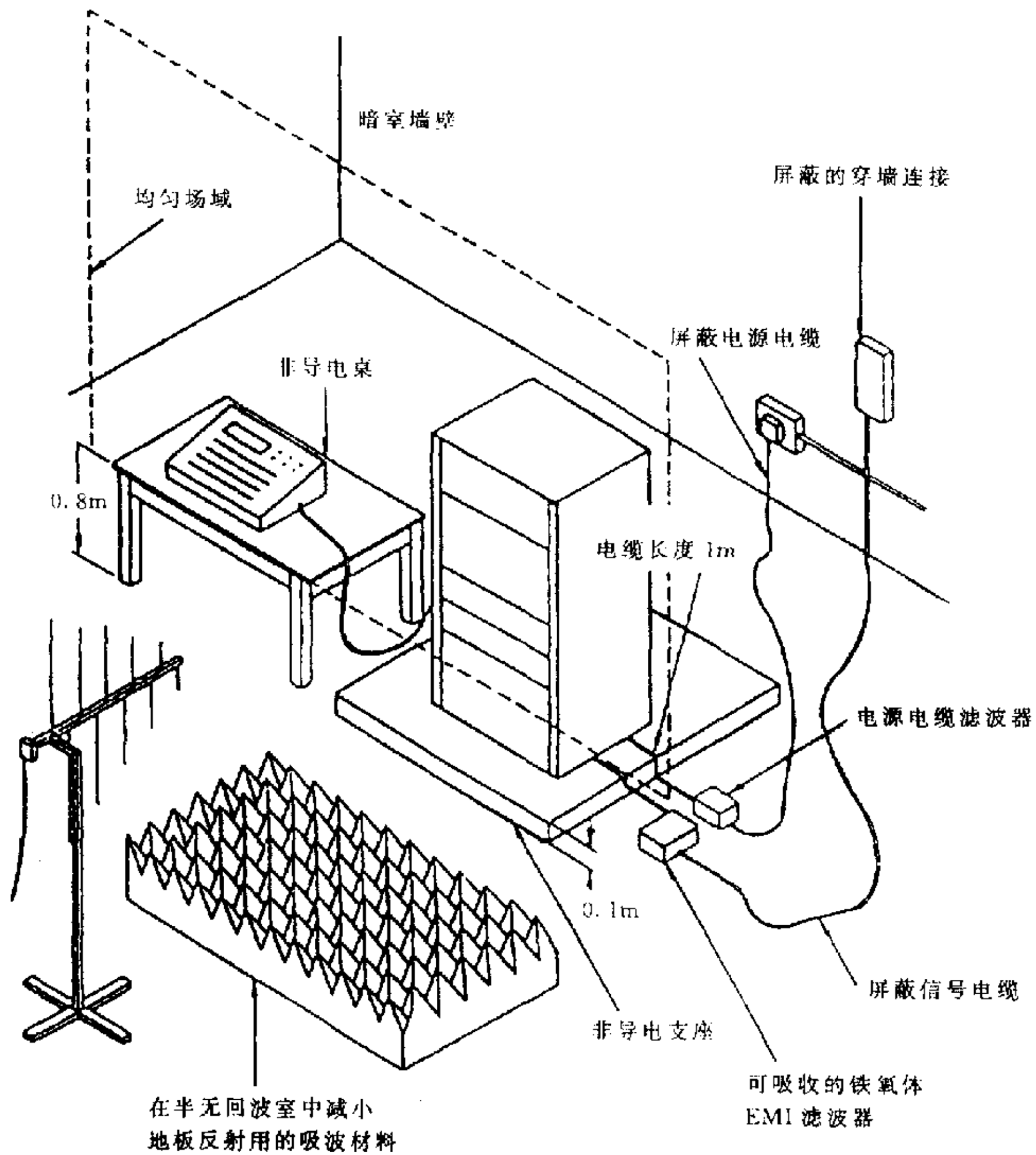
实验室的气象条件应在下述范围:

环境温度:15~35℃

相对湿度:25%~75%

大气压力:86(860)~106kPa(1 060 mbar)

实验室的电磁环境应不影响实验结果。



注：为了简明而省略了墙上的吸波材料。

图 22 测试布置：立式 TPE(辐射抗扰性测试)

7.4.3.2 测试设备

a) 电快速瞬变脉冲群发生器的电路简图如图 23 所示；发生器产生的脉冲群如图 24；单个脉冲的波形如图 25。

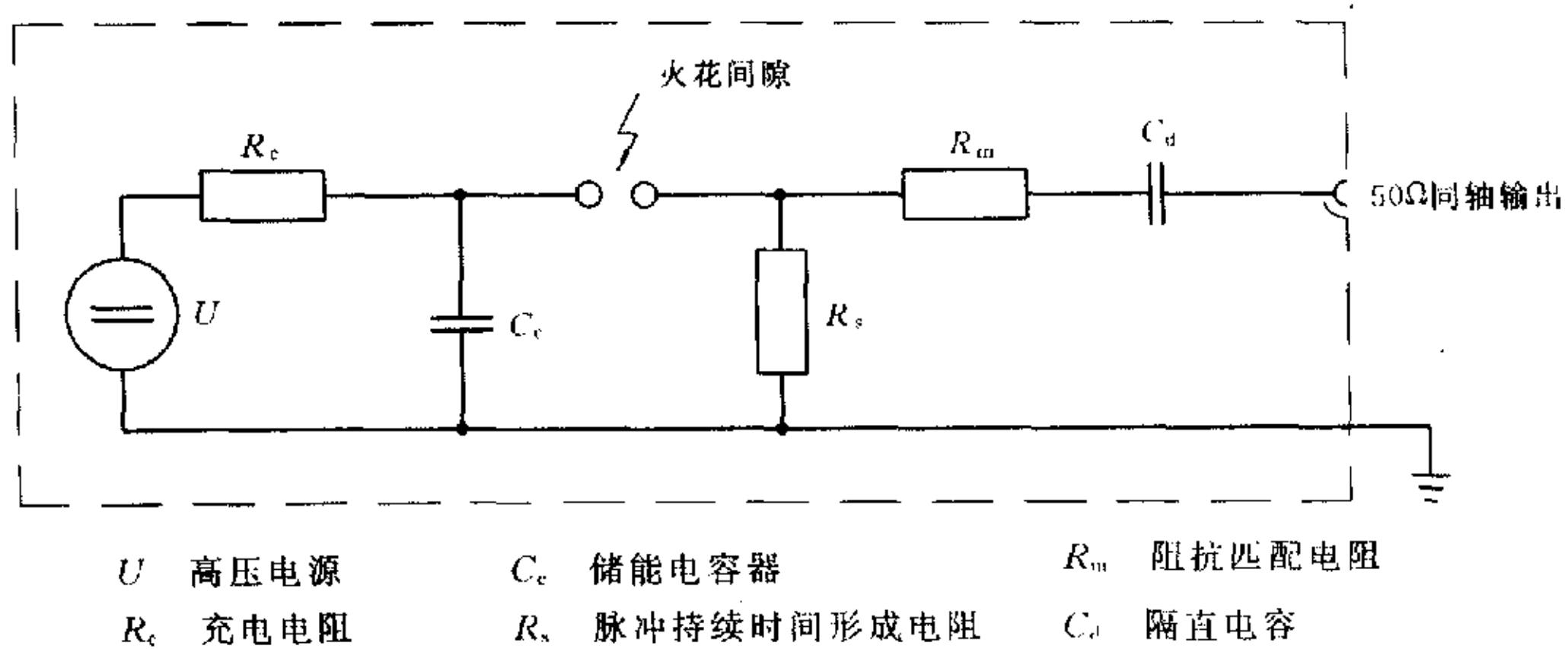


图 23 电快速瞬变脉冲群发生器电路简图

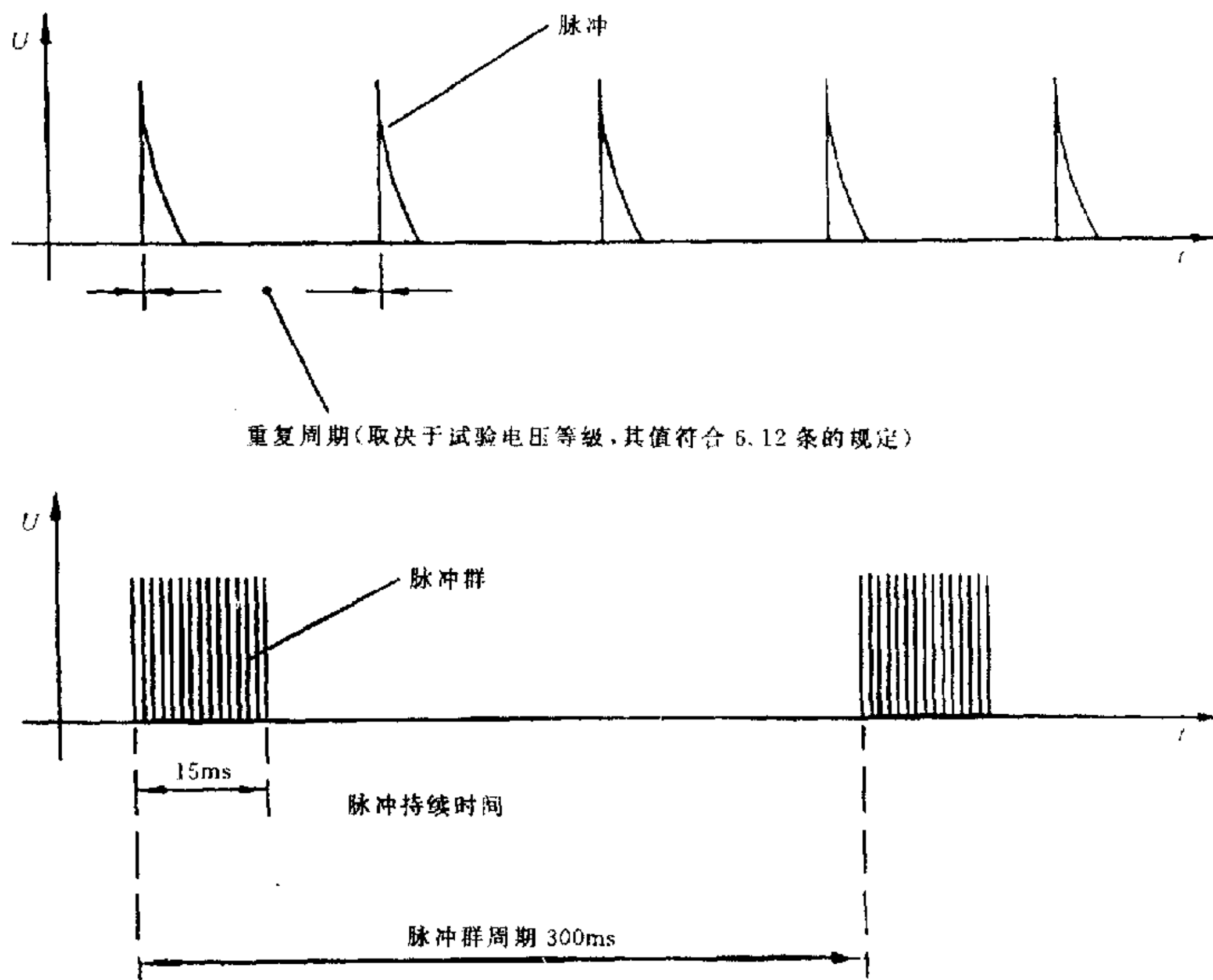


图 24 电快速瞬变脉冲群概略图

b) 电源端口耦合/去耦合网络(CDN)

提供在不对称条件下(共模)将试验电压施加到 TPE 的电源端口的能力。

电路图(以三相电源为例)如图 26 所示,特性参数应符合 IEC 1000-4-4 中 6.2 的规定。

发生器的性能特性应能符合 IEC 1000-4-4 中 6.1 的规定。

c) 容性耦合钳

容性耦合钳可以在其与 TPE 端口、屏蔽电缆或 TPE 的任何其他部分没有任何电连接的情况下,将电快速瞬变脉冲群耦合到被测回路的能力。

推荐的容性耦合钳的结构如图 27。

耦合钳的特性参数应符合 IEC 1000-4-4 中 6.3 的规定。

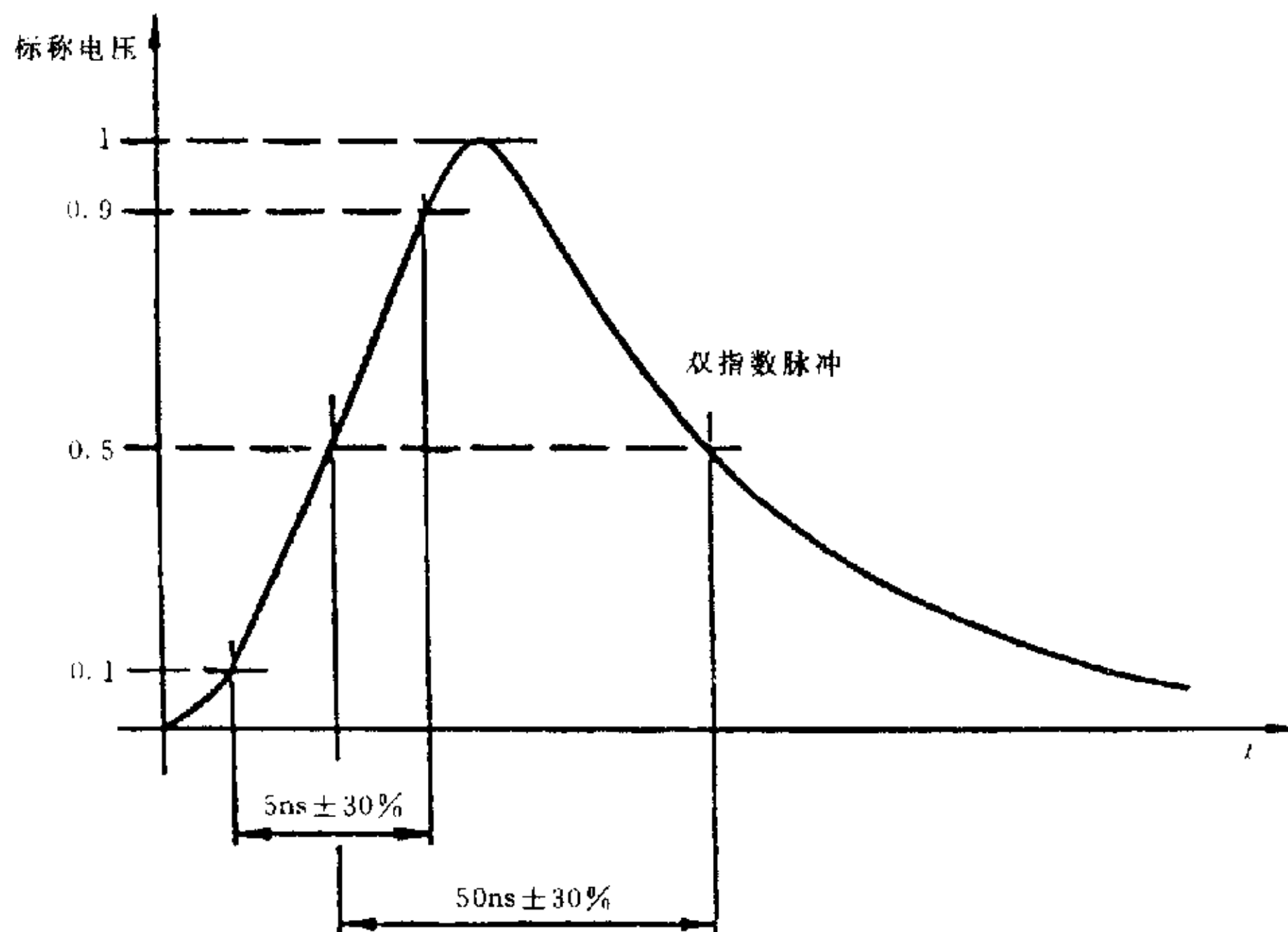
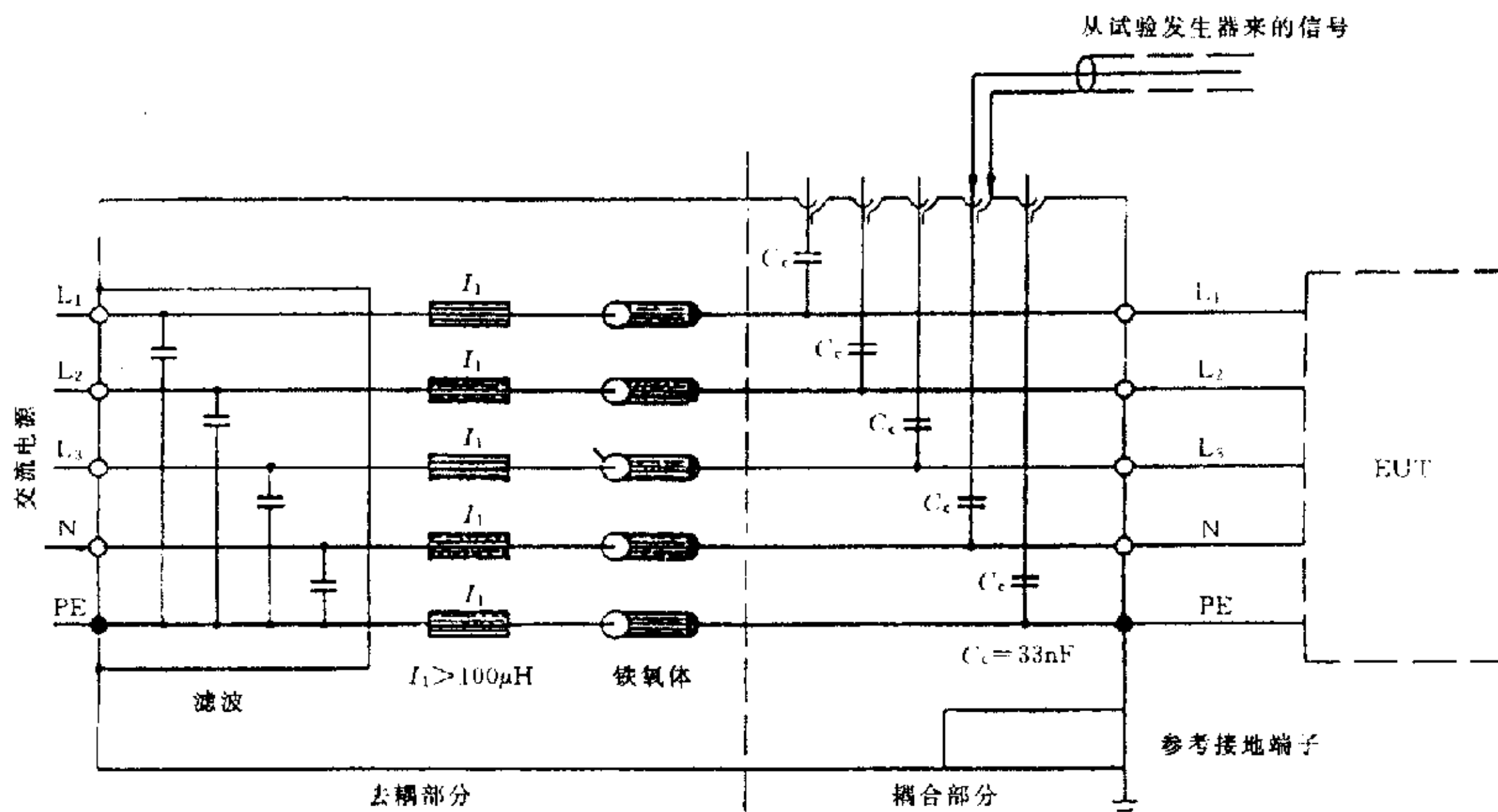
图 25 接 50Ω 负载时单个脉冲的图形

图 26 交/直流电源端口用的耦合/去耦合网络

d) 参考接地平板

最小厚度为 0.25mm 的铜或铝的金属板。当使用其他金属材料时,其最小厚度应为 0.65mm 。最小尺寸为 $1\text{m} \times 1\text{m}$,其实际尺寸与 TPE 的大小有关,至少应伸出 TPE 的四周 10cm 。参考接地平板应与保护地相连接。

7.4.3.3 测试布置

按照产品说明书的规定布置和连接 TPE。

若 TPE 为台式设备,则应将之置于高 80cm 的非导电桌上。若 TPE 为立式设备,则应用厚度为 10cm 的绝缘支撑将之与参考接地平板隔开。

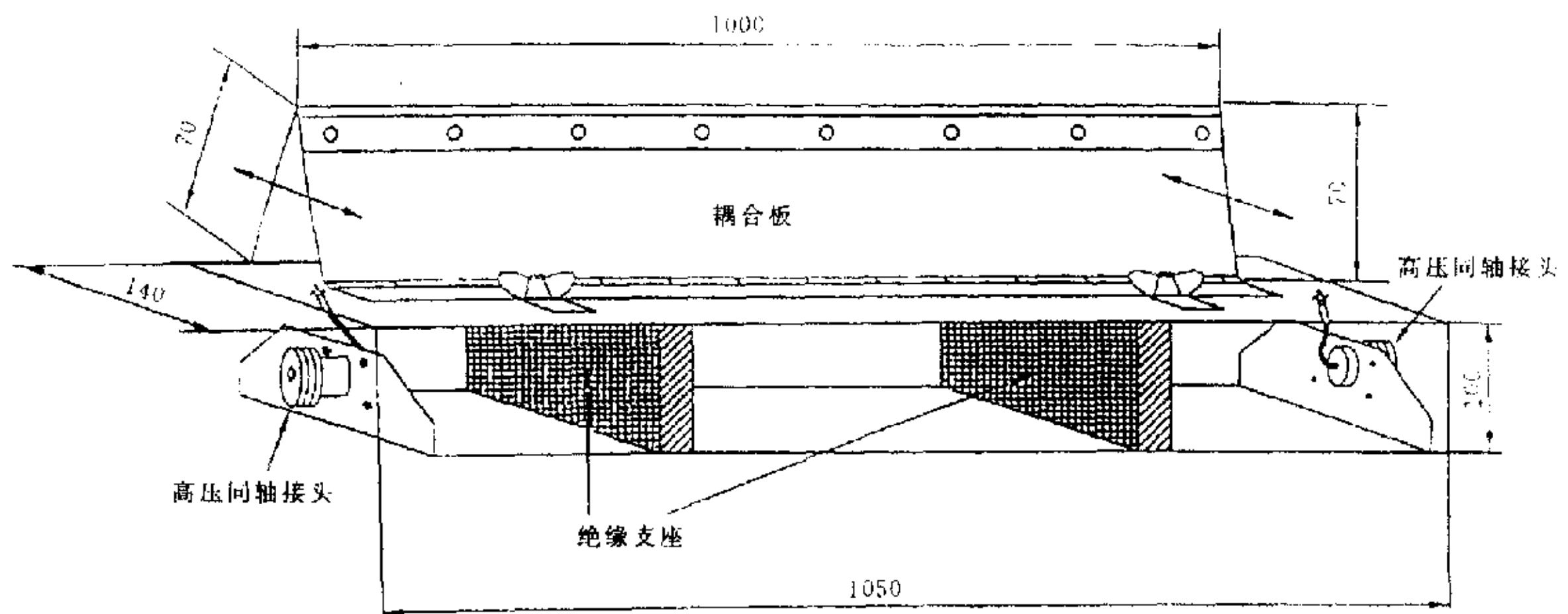
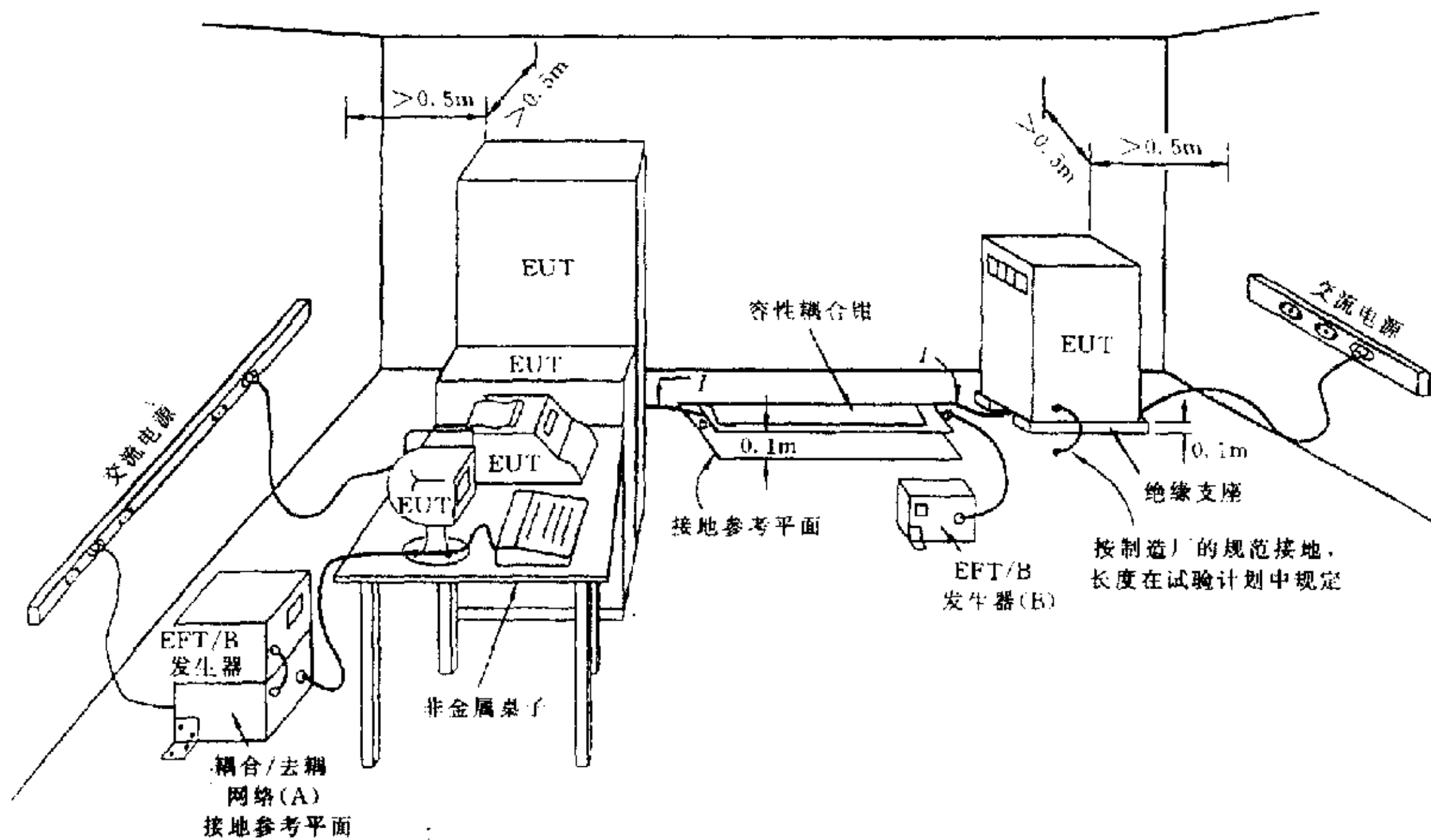


图 27 容性耦合钳结构图

除了位于 TPE 下方的接地平板外, TPE 与其他导电结构之间的最小距离应 $>50\text{cm}$ 。测试布置可参见图 28。



注: I—耦合钳与 EUT 之间的距离不大于 1m; (A)—电源线耦合处; (B)—信号线耦合处。

图 28 电快速瞬变脉冲群抗扰性测试图

7.4.3.4 测试方法

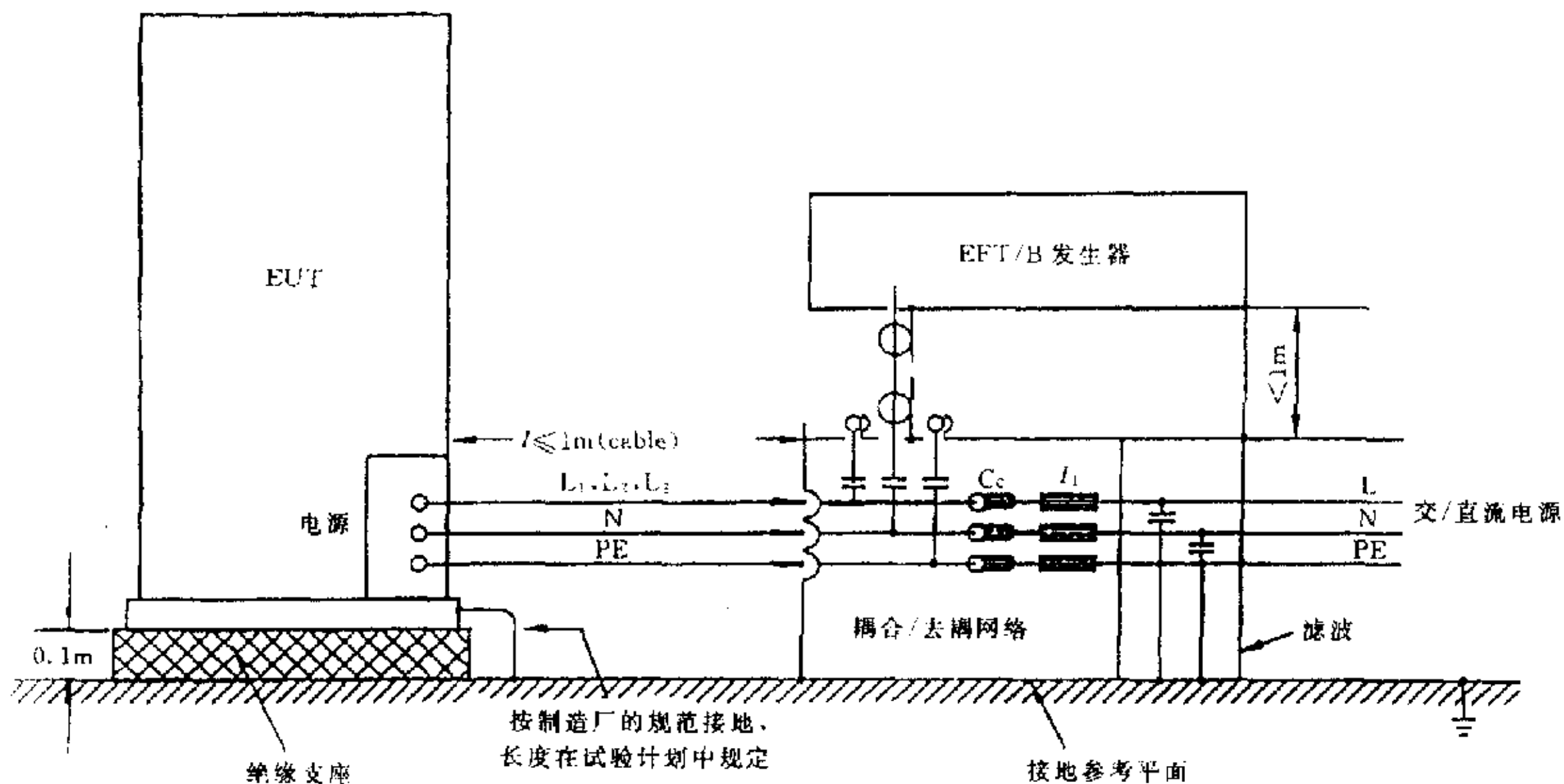
TPE 应处于正常工作状态。

测试电压经耦合/去耦合网络直接耦合到交流或直流电源端口的配置如图 29 所示。

当线路电流大于 100A 时, 应经过一个 33nF 的耦合电容将测试电压施加到 TPE 上, 如图 30 所示。

使用容性耦合钳把测试电压施加到信号/控制端口见图 28 和图 31。

如果有多个同种类型的端口, 则每种类型只需测试其中一个端口。

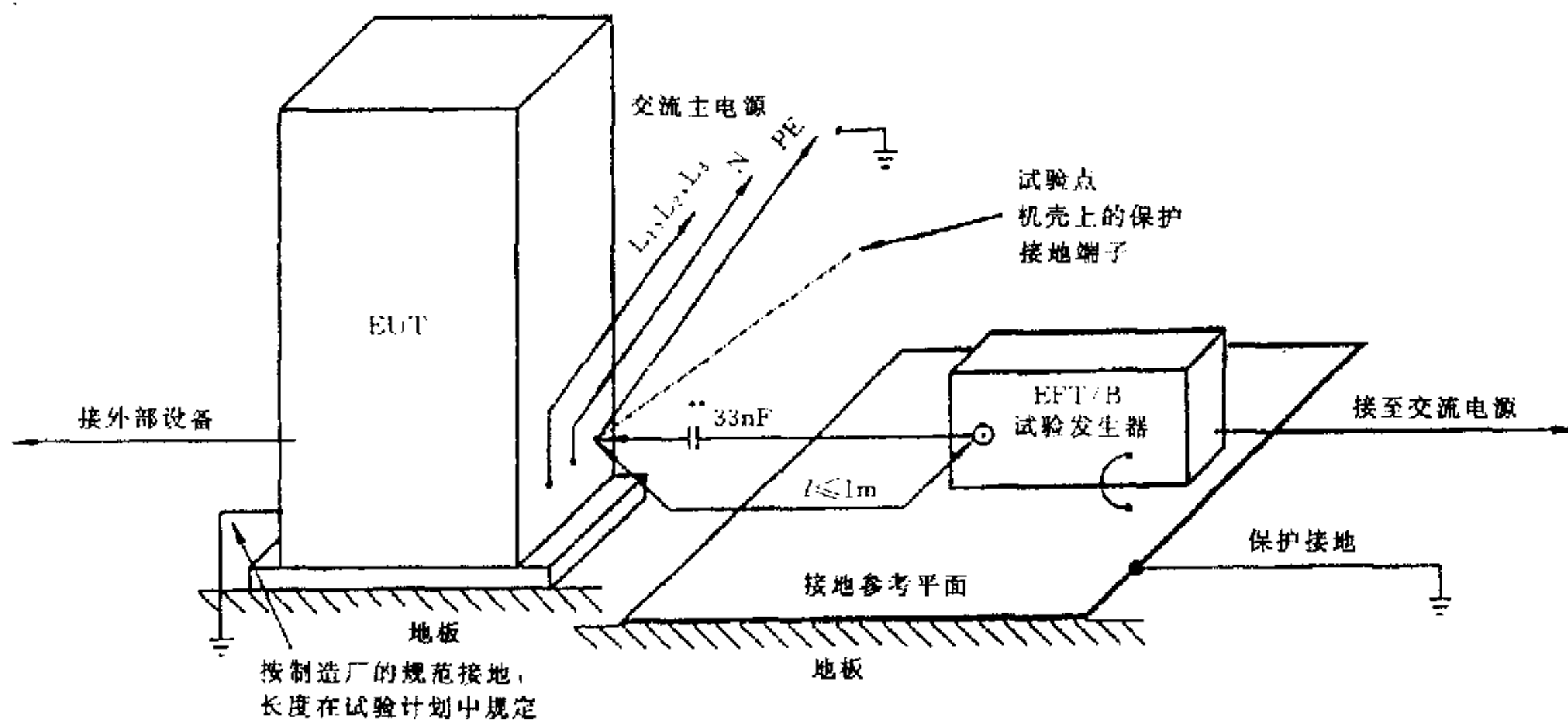


PE—保护接地; N—中性线; L₁, L₂, L₃—相线;

耦合电容 C_c = 33nF; 去耦电感 I₁ > 100μH

直流接线端子按同样方法处理

图 29 测试电压经耦合/去耦网络直接耦合到交流或直流电源端口的配置

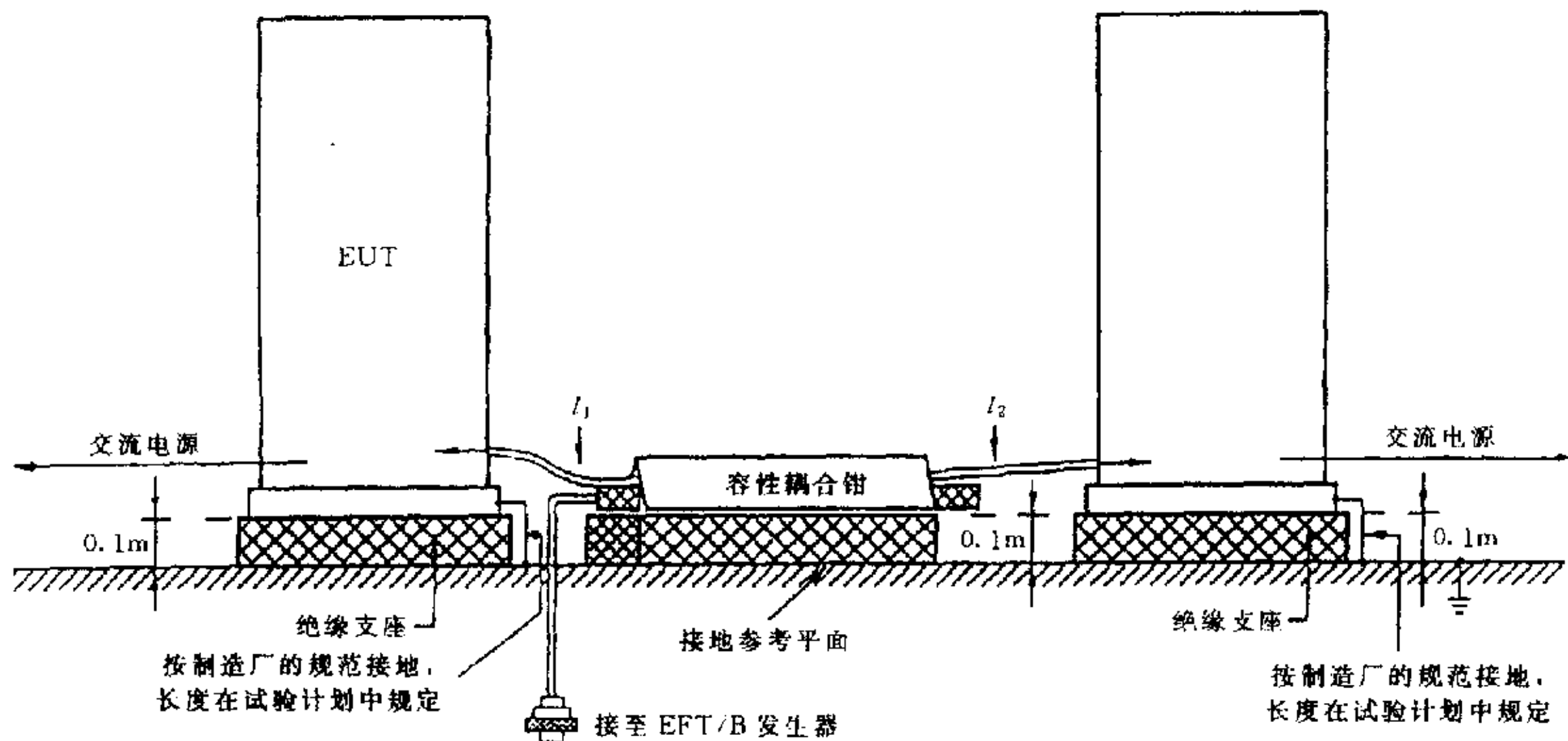


直流接地端子按同样的方式处理, 必要时使用隔直电容

PE—保护接地; N—中性线; L₁, L₂, L₃—相线

图 30 线路电流 > 100A 时, 经过一个 33nF 的耦合电容将测试电压施加到 TPE 上的方法

对于多芯电缆, 测试时应将测试信号同时加到各电缆芯上, 在这项测试中, 不能将电缆芯分组分别测试。



注:

当两台 EUT 同时进行试验时, EUT 与耦合钳的距离 $l_1 = l_2 \leq 1\text{m}$;

当只有一台 EUT 进行实验时, 为了去耦的目的, l_2 最小 $\geq 5\text{m}$ 或 $l_2 > 5 \times l_1$ 。

图 31 利用容性耦合钳进行测试的试验配置实例

根据产品说明书的规定, 连有不超过 3m 的短数据线的接口端口不需要测试。

因为电快速瞬变脉冲群测试信号或信号发生器发射的电磁场有可能影响 AE 并导致该设备发生错误, 所以必须验证 AE 可以不受电快速瞬变脉冲群测试信号的影响或 AE 通过滤波器和/或屏蔽室去耦。

在交流和直流电源端口及信号/控制线端口上, 按照 7.3 中表 9 规定的测试等级, 施加电快速瞬变脉冲群信号。测试的持续时间应不小于 1min。

记录设备失去其功能或性能的时间间隔。

记录操作现场的环境条件。

7.4.3.5 电快速瞬变脉冲群测试结果

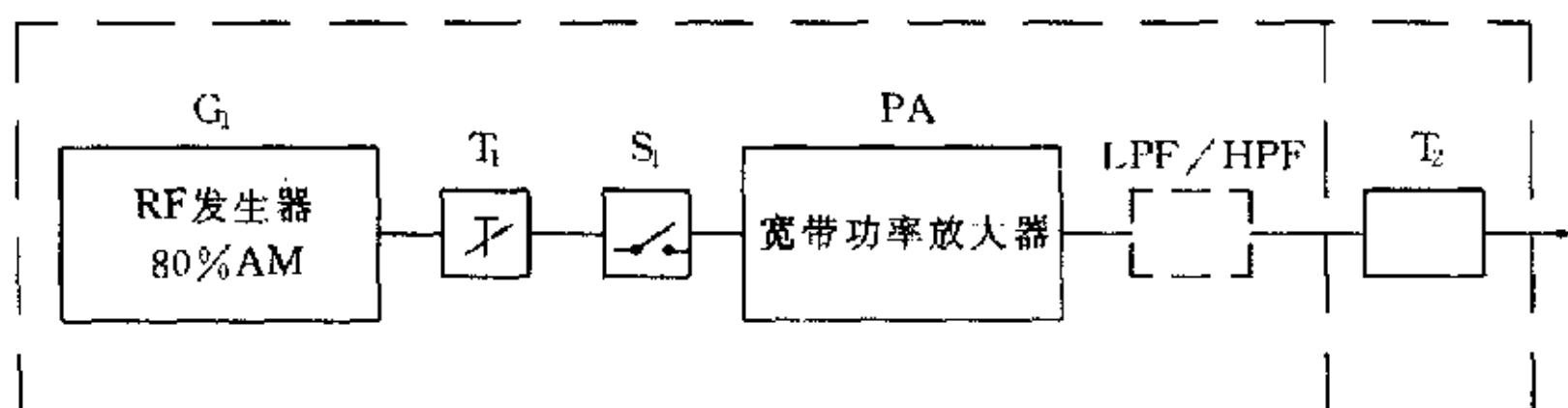
按照 7.3 中表 9 规定的测试等级和性能判定准则对电快速瞬变脉冲群的测试结果进行判定。

7.4.4 射频场感应的传导骚扰抗扰性测试方法

7.4.4.1 测试设备

a) 信号发生器系统

信号发生器系统的电路简图如图 32 所示, 信号发生器系统的性能见表 10。



G_1 RF 发生器 T_1 可调衰减器

PA 宽带功率放大器 T_2 固定衰减器(6dB)

LPF/HPF 低通滤波器或高通滤波器 S_1 RF 开关

图 32 射频场感应的传导骚扰抗扰性信号发生器电路简图

表 10 射频信号发生器的特性

输出阻抗	$50\Omega, VSWR \leq 1.2$
谐波和失真	低于载波电平 15dB
幅度调制	内部调制或外部调制 调制频率: $1\text{kHz} \pm 10\%$ 正弦波 调制深度: $(80 \pm 5)\%$
输出电平	足以覆盖测试等级

信号发生器系统的性能应能符合 IEC 1000-4-6 中 6.1 的规定。

射频信号发生器应能覆盖很宽的频带,如 $0.15 \sim 80\text{MHz}$,可用 1kHz 的正弦波对载频进行调制深度为 80% 的幅度调制,具有自动或手动控制的 $\leq 1.5 \times 10^{-3}\text{dec/s}$ 的扫描能力。

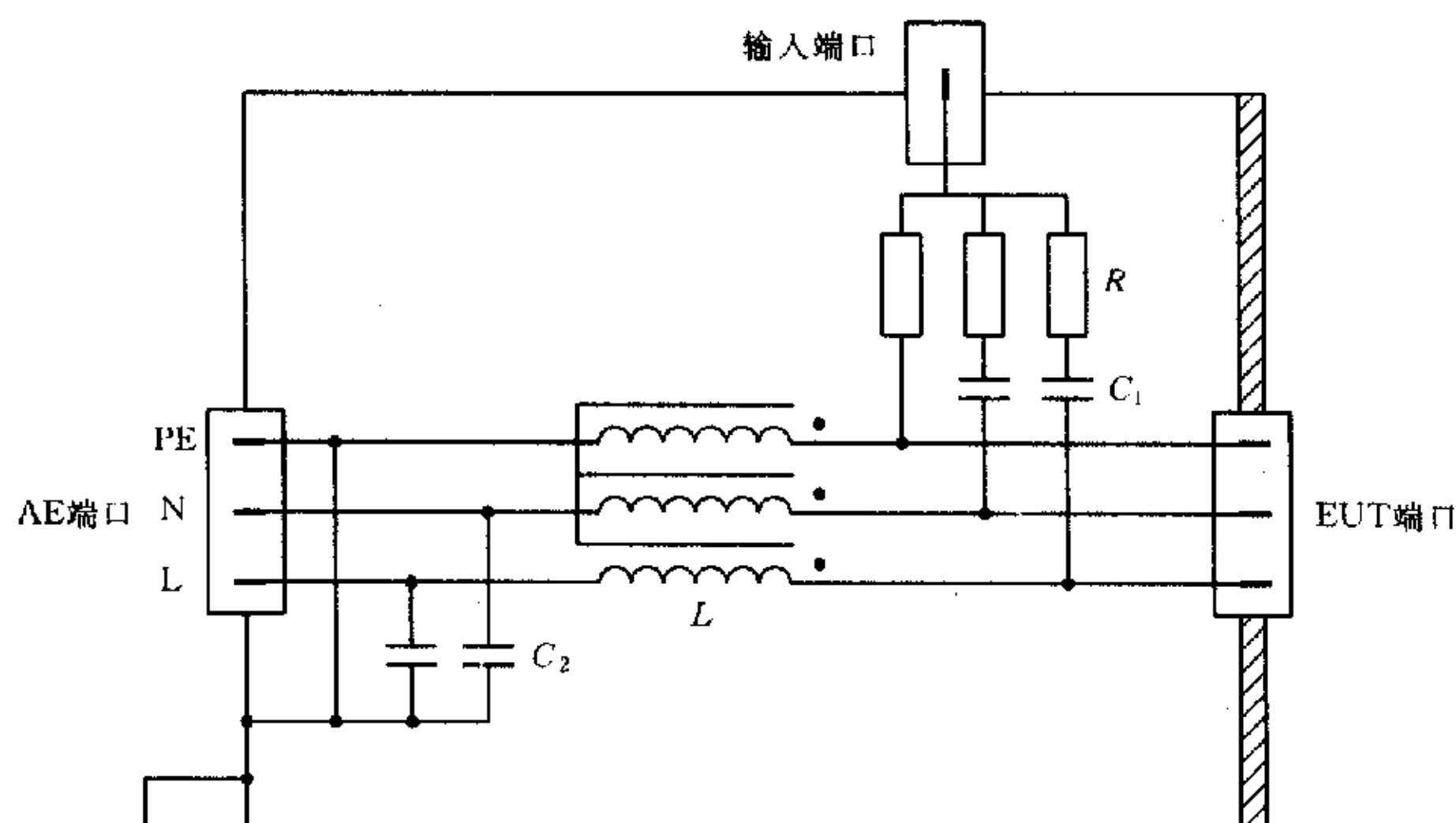
b) 耦合/去耦合网络

耦合/去耦合网络的主要参数见表 11。

表 11 耦合/去耦合网络的主要参数

频 带	$0.15 \sim 26\text{MHz}$	$26 \sim 80\text{MHz}$
$ Z_{oc} $	$150\Omega \pm 20\Omega$	$150\Omega \pm \frac{60}{45}\Omega$

采用非屏蔽电源线路的 CDN-M1/-M2/-M3 的电路简图如图 33 所示。



注:

CDN-M3, $R = 300\Omega$, 在 150kHz , $C_1(\text{typ}) = 10\text{nF}$, $C_2(\text{typ}) = 470\text{nF}$

CDN-M2, 在 150kHz , $L \geq 280\mu\text{H}$, $C_1(\text{typ}) = 10\text{nF}$, $C_2(\text{typ}) = 47\text{nF}$, $R = 200\Omega$

CDN-M1, 在 150kHz , $L \geq 280\mu\text{H}$, $C_1(\text{typ}) = 22\text{nF}$, $C_2(\text{typ}) = 47\text{nF}$, $R = 100\Omega$

图 33 采用非屏蔽电源线路的 CDN-M1/-M2/-M3 电路简图

在测试时,可采用其他类型符合表 11 阻抗参数的耦合/去耦合网络。

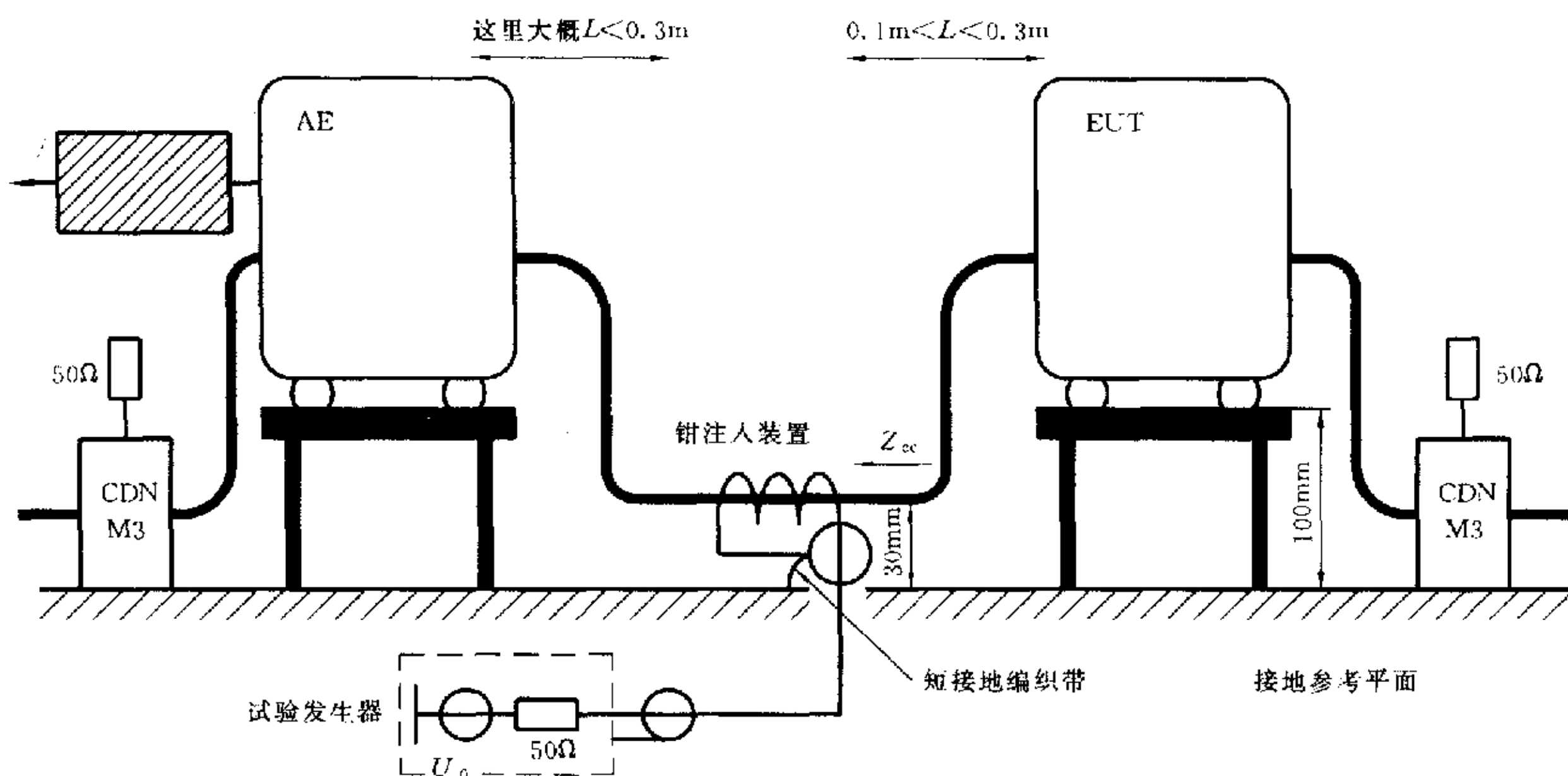
c) 钳注入装置(电流钳及电磁钳)

对于钳注入装置耦合,耦合和去耦合功能是独立的,耦合功能是由钳合式装置提供的,而共模阻抗和去耦合功能是在辅助设备建立的。因此,辅助设备成为耦合去耦合装置的一部分。

电流钳对连接到 TPE 的电缆建立一感性耦合。当使用电流钳时,信号发生器产生的高次谐波不应比在耦合装置的 TPE 端口处基波水平更高,电缆要放置在通过电流钳的中心位置,以使电容耦合最小。

电磁钳对连接到 TPE 的电缆建立容性耦合和感性耦合。

图 34 为钳注入方法的耦合和去耦原理图。



注：连接到 AE 的 CDN，如连接到专用接地终端的 CDN-M1 或 CDN-M3，应在输入端口（见 7.2）端接 50Ω，没有端接的 CDN，等价于去耦网络。

图 34 钳注入耦合/去耦原理图

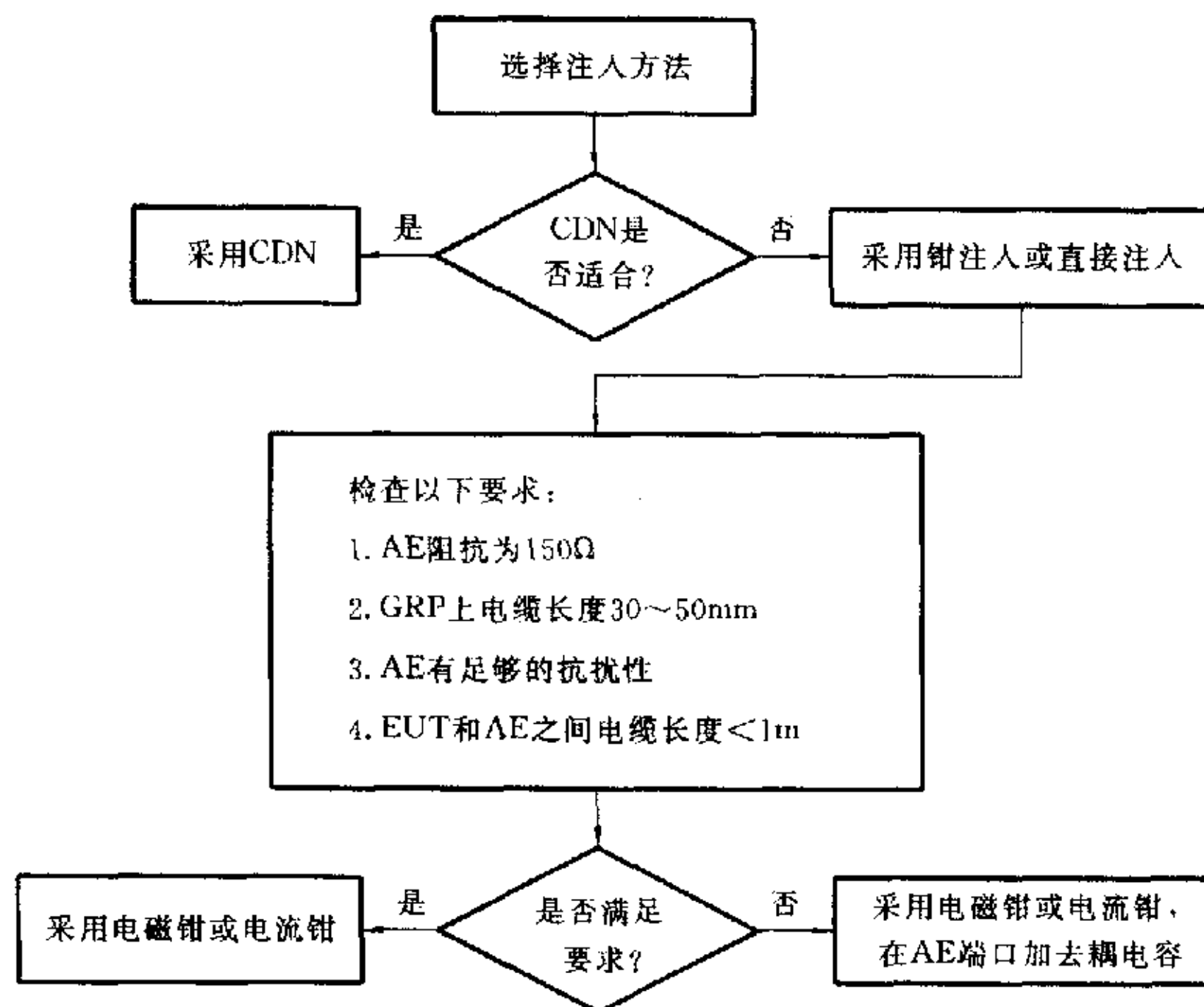
7.4.4.2 测试布置

TPE 应置于离地参考平板 10cm 的绝缘支架上。

CDN 的电缆与参考接地平板上 EUT 的投影几何尺寸之间应有 10~30cm 的距离。

当无法使用 CDN 时，可选择使用电流夹或电磁夹进行夹注入。

图 35 提供了选择注入方法的规则。



注：只适用于屏蔽电缆。

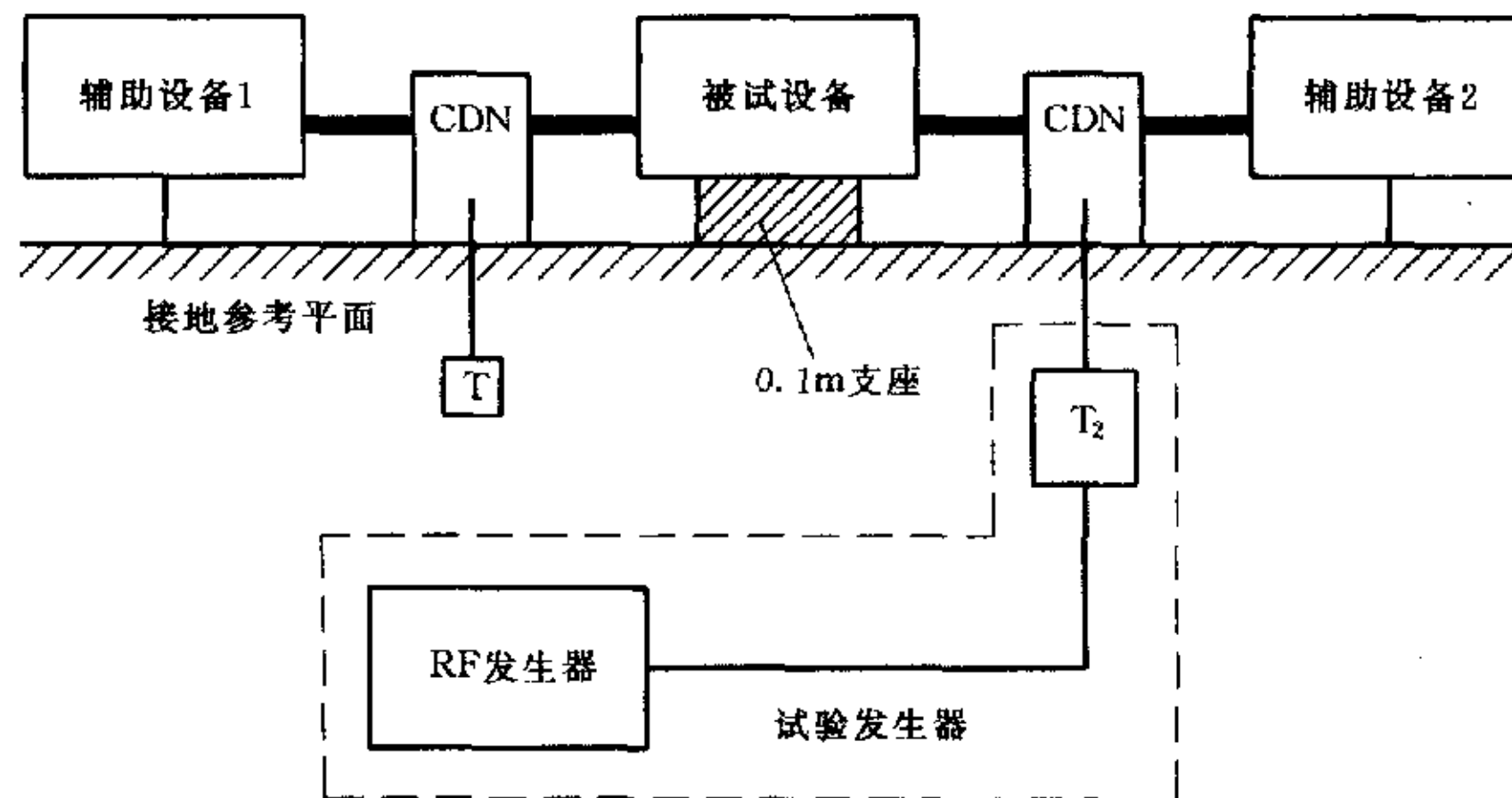
图 35 注入方式举例

7.4.4.3 测试程序

将信号发生器依次连接到耦合/去耦合装置的每一个输入端口上进行测试,这时,其他端口应接入 50Ω 电阻。测试连接如图 36 所示。

按照 7.3 规定的测试等级对 $0.15\sim 80\text{MHz}$ 的频率范围进行扫描,并且用 1kHz 的正弦波进行调制深度为 80% 的幅度调制。扫描速率不应超过 $1.5\times 10^{-3}\text{dec/s}$ 。在扫描频率增加时,扫描步长不超过起始频率的 1% ,此后不超过前一频率的 1% 。

在每个扫描频率的停留时间应不小于 TPE 操作和能够作出响应所必须的时间,对谐波等主要频率应分别进行测试和分析。



注: T— 50Ω 终端; T_2 —功率衰减器(6dB); CDN—耦合和去耦网络。

图 36 射频场感应的传导骚扰抗扰性测试配置

7.4.4.4 射频场感应的传导骚扰抗扰性测试结果

按照 7.3 中的表 9 中规定的抗扰性测试等级和抗扰性判定准则对射频场感应的传导骚扰抗扰性测试结果进行判定。

7.4.5 浪涌(冲击)抗扰性测试方法

7.4.5.1 实验室环境

实验室气象条件应在下述范围:

环境温度: $15\sim 35^{\circ}\text{C}$

相对湿度: $10\%\sim 75\%$

大气压力: $86(860)\sim 106\text{kPa}(1080\text{mbar})$

实验室的电磁环境不应影响测试结果。

7.4.5.2 测试设备

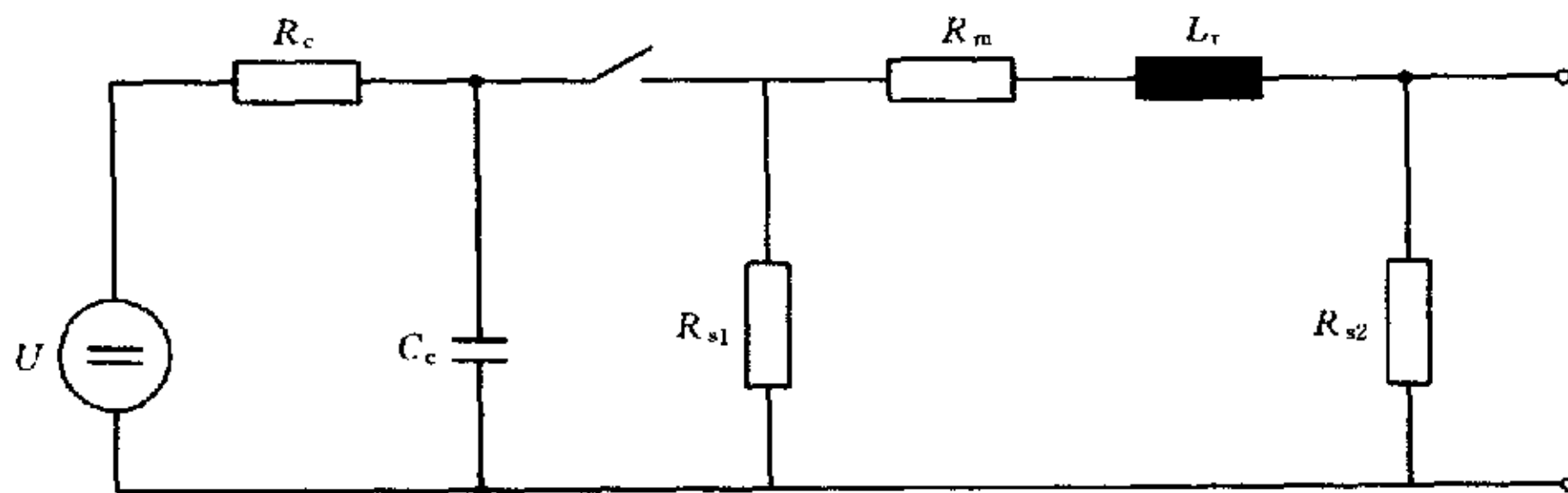
a) 信号发生器

组合波形发生器($1.2/50\sim 8/20\mu\text{s}$)的电路简图如图 37 所示。组合波形发生器产生的浪涌(冲击)电压和浪涌(冲击)电流的波形图如图 38 和图 39 所示。

组合波形发生器的性能特性应符合 IEC 61000-4-5 中 6.1 的规定。

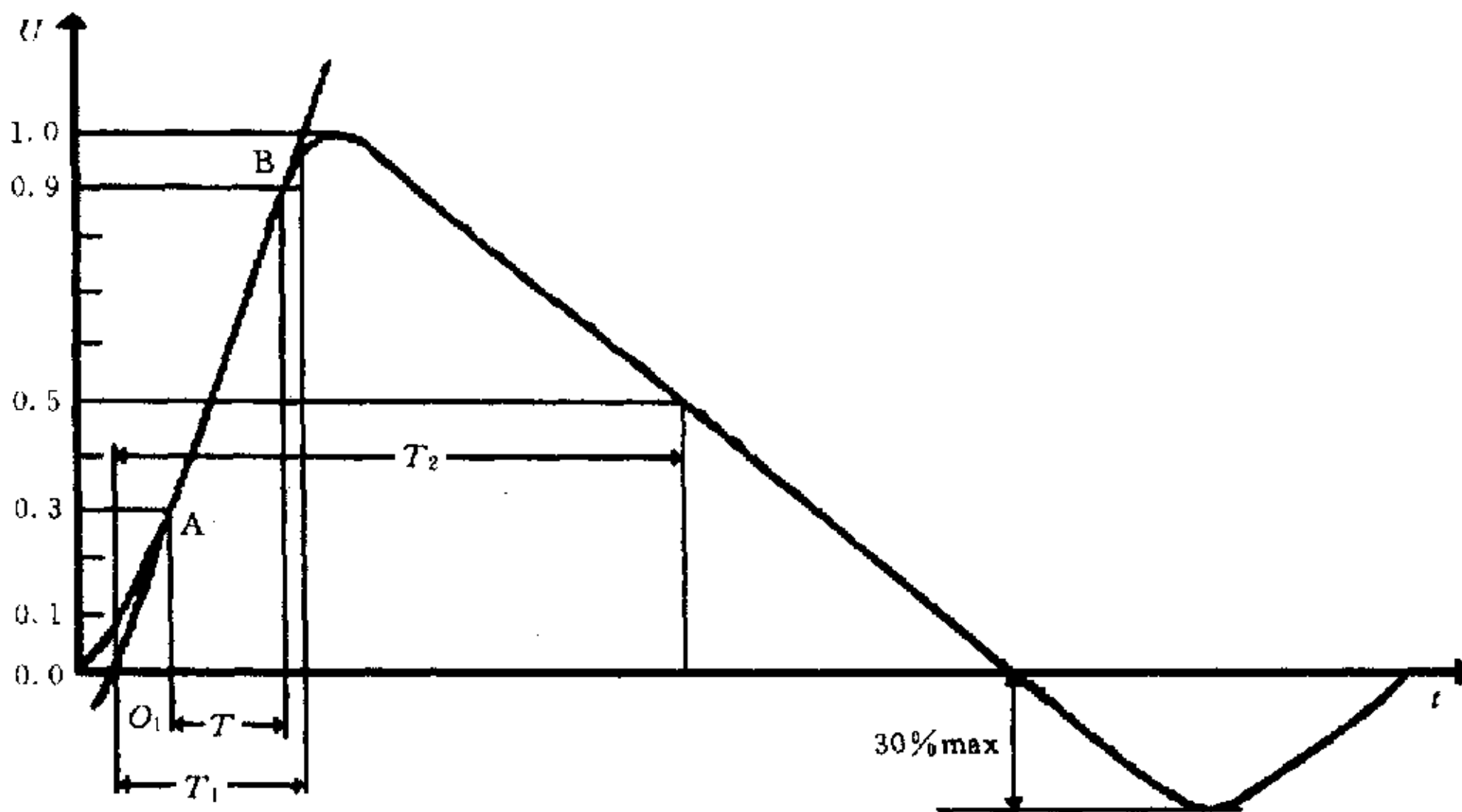
可发出 $10/700\mu\text{s}$ 测试信号的信号发生器应符合 IEC 61000-4-5 中 6.2 的规定。该仪器的电路简图如图 40 所示。该信号发生器产生的浪涌(冲击)电压波形如图 41 所示。

该信号发生器的性能应符合 IEC 61000-4-5 中 6.2 的规定。



U : 高压电源 R_c : 充电电阻 C_c : 储能电容 R_s : 脉冲波形时间保持
 R_m : 阻抗匹配电阻 L_r : 上升时间形成电感

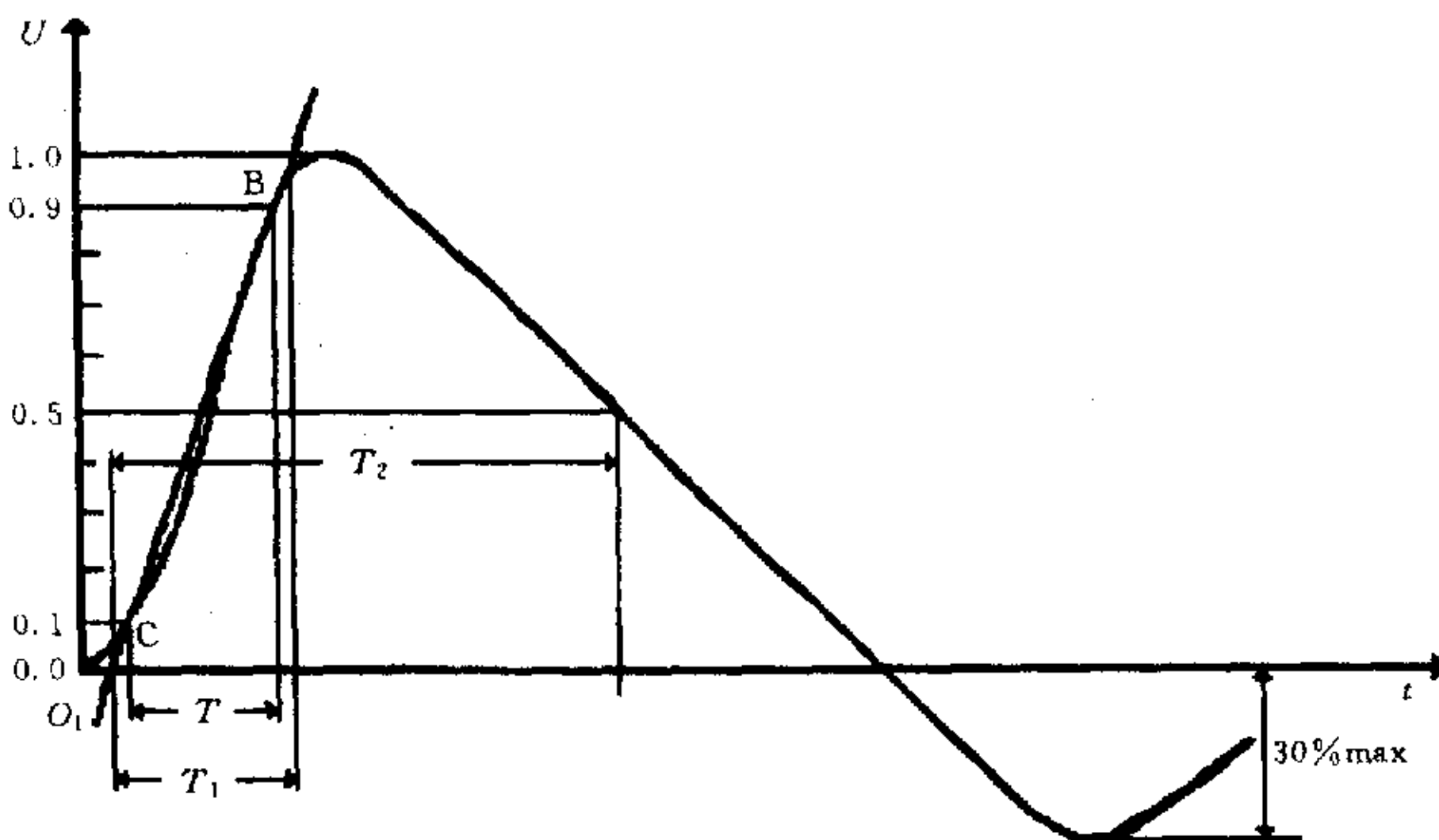
图 37 组合浪涌(冲击)发生器电路简图



波头时间: $T_1 = 1.67 \times T = 1.2 \mu s \pm 30\%$

半峰值时间: $T_2 = 5 \mu s \pm 20\%$

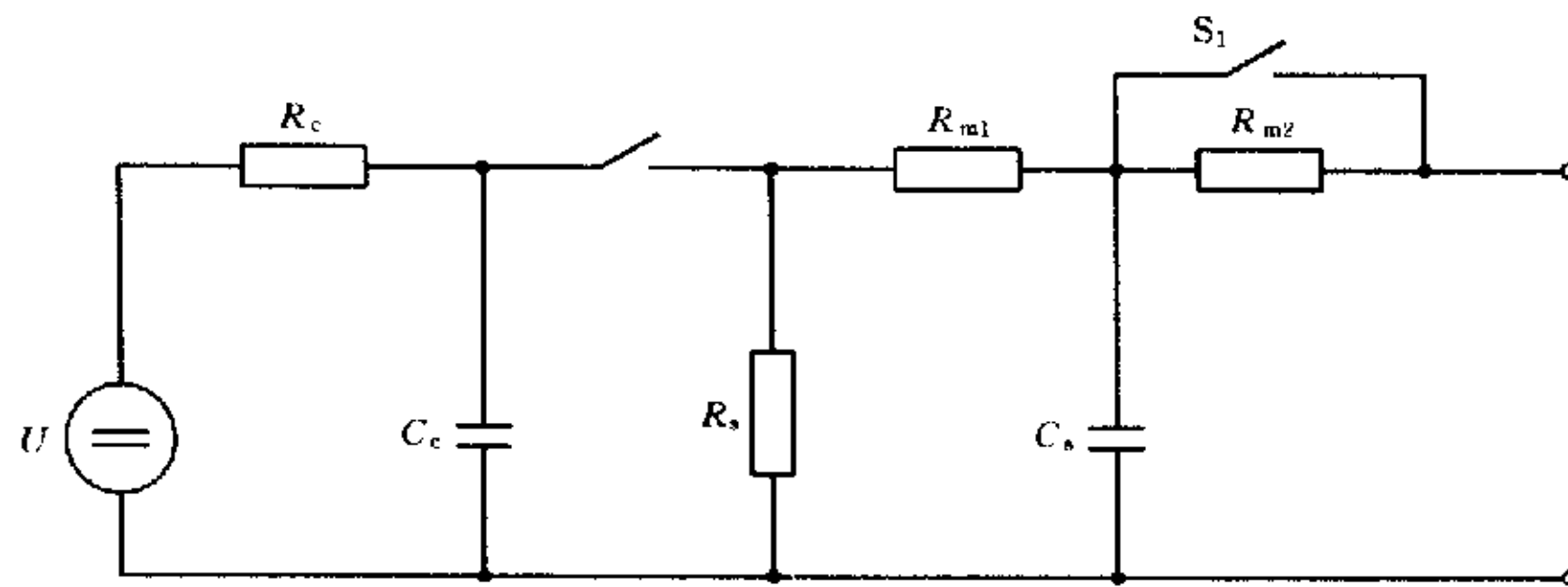
图 38 开路电压波形(1.2/50 μs)



波头时间: $T_1 = 1.25 \times T = 8 \mu s \pm 20\%$

半峰值时间: $T_2 = 20 \mu s \pm 20\%$

图 39 短路电流波形(8/20 μs)



U: 高压电源 R_c : 充电电阻 C_c : 储能电容 ($20\mu\text{F}$) R_p : 脉冲持续时间 (50Ω)
 R_m : 阻抗匹配电阻 ($R_{m1} = 15\Omega, R_{m2} = 25\Omega$) C_s : 上升时间形成电容 ($0.2\mu\text{F}$)
 S_1 : 使用外部匹配电阻时, 开关合上

图 40 10/700 μs 浪涌(冲击)发生器电路简图

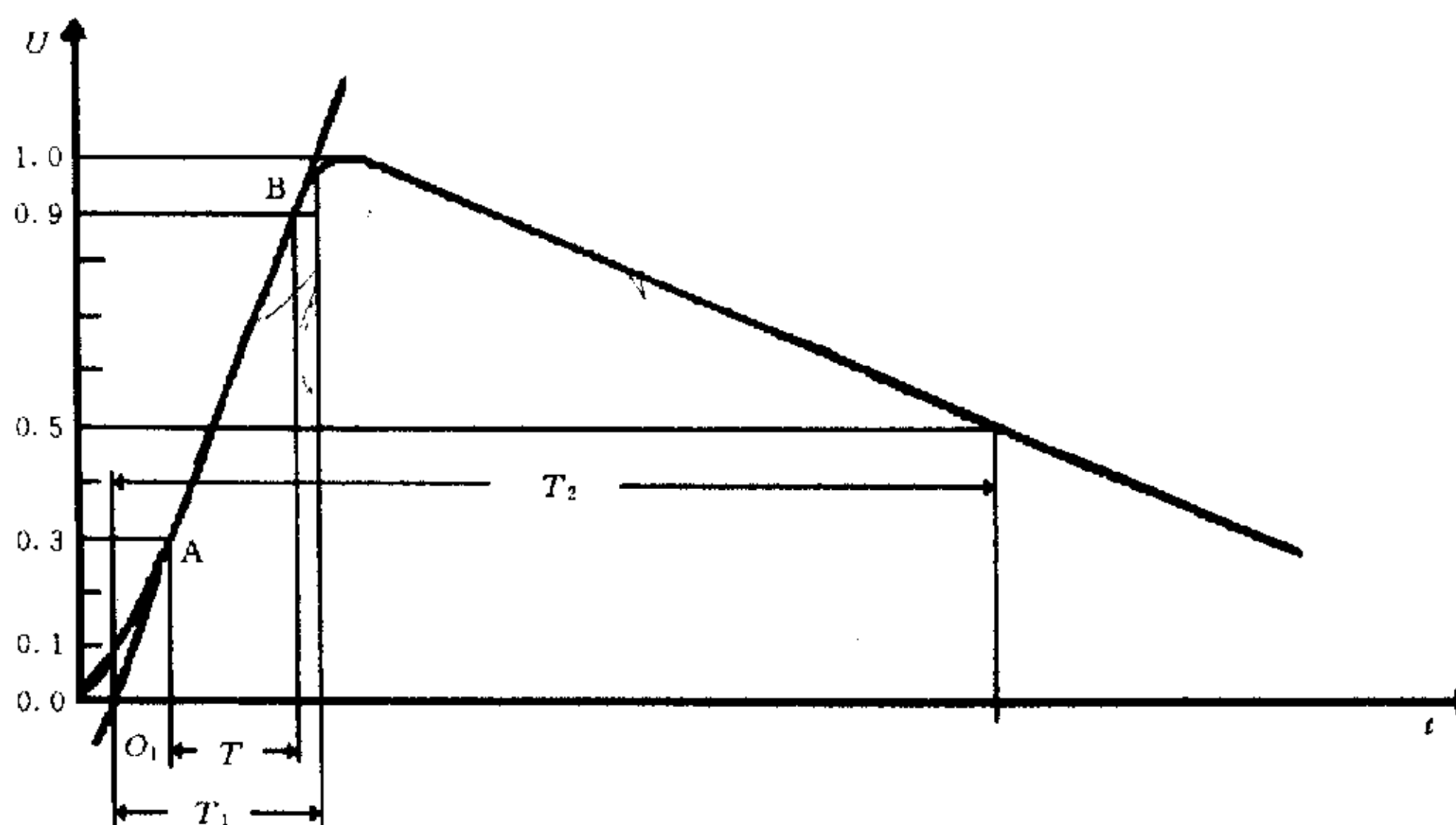


图 41 开路电压波形 (10/700 μs)

b) 耦合/去耦合网络

耦合/去耦合网络对发生器的参数不应有明显的影 响, 如开路电压、短路电流应在规定的误差范围内。例如: 经避雷器的耦合。

1) 用于交/直流电力线路的耦合/去耦合网络 (仅适用于组合波形发生器)

电源线路的电容耦合:

当电源去耦网络接入时, 就可以通过电容耦合在线间或线对地施加测试电压, 单相系统如图 42、图 43 所示, 三相系统如图 44、图 45 所示。

非冲击线路上的残余冲击电压不应超过 TPE 未连接时最大测试电压的 15%。

当 TPE 和电源网络未接入时, 去耦网络电源输入上的残余冲击电压不应超过所施加测试电压的 15% 或电源电压峰值的 2 倍, 无论哪一个高。

电源线路的耦合/去耦合网络:

电源供电线路的耦合/去耦合网络正在考虑中。

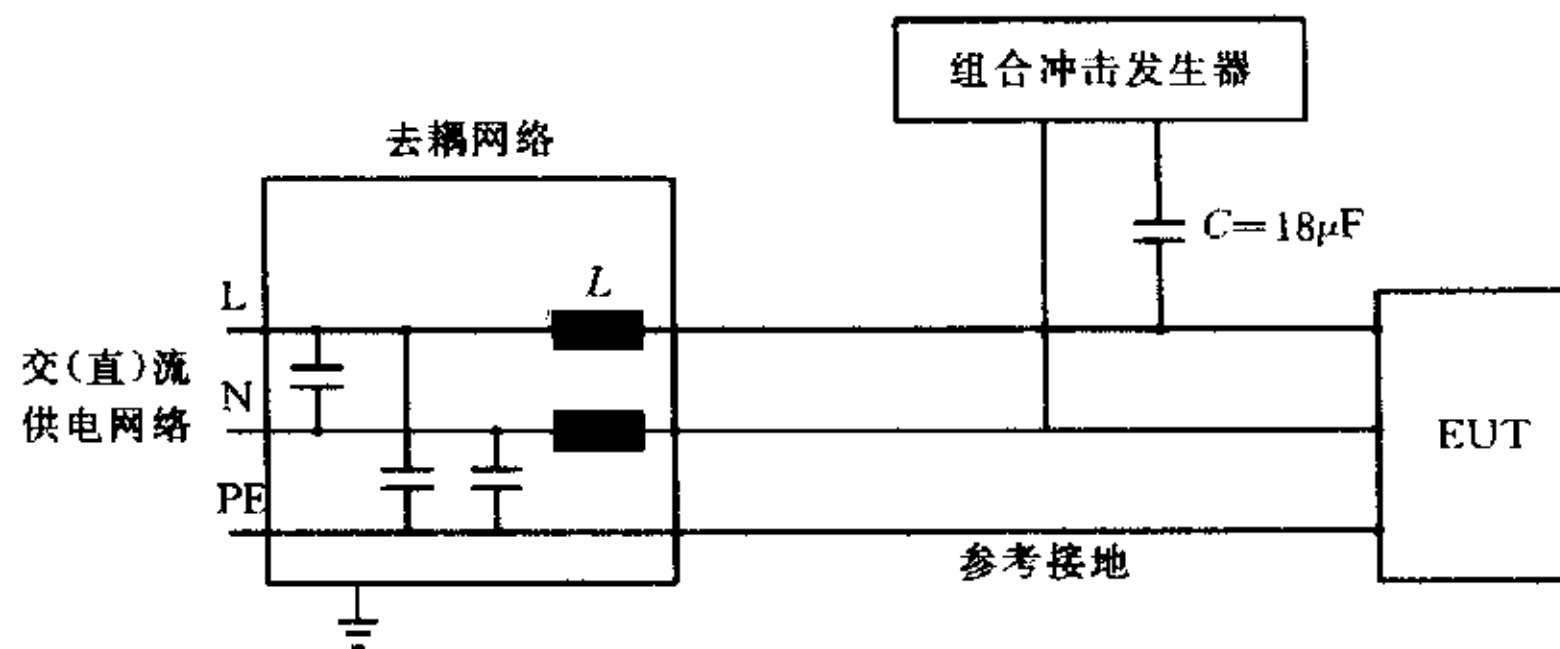


图 42 交直流线路容性耦合的测试配置:线—线耦合

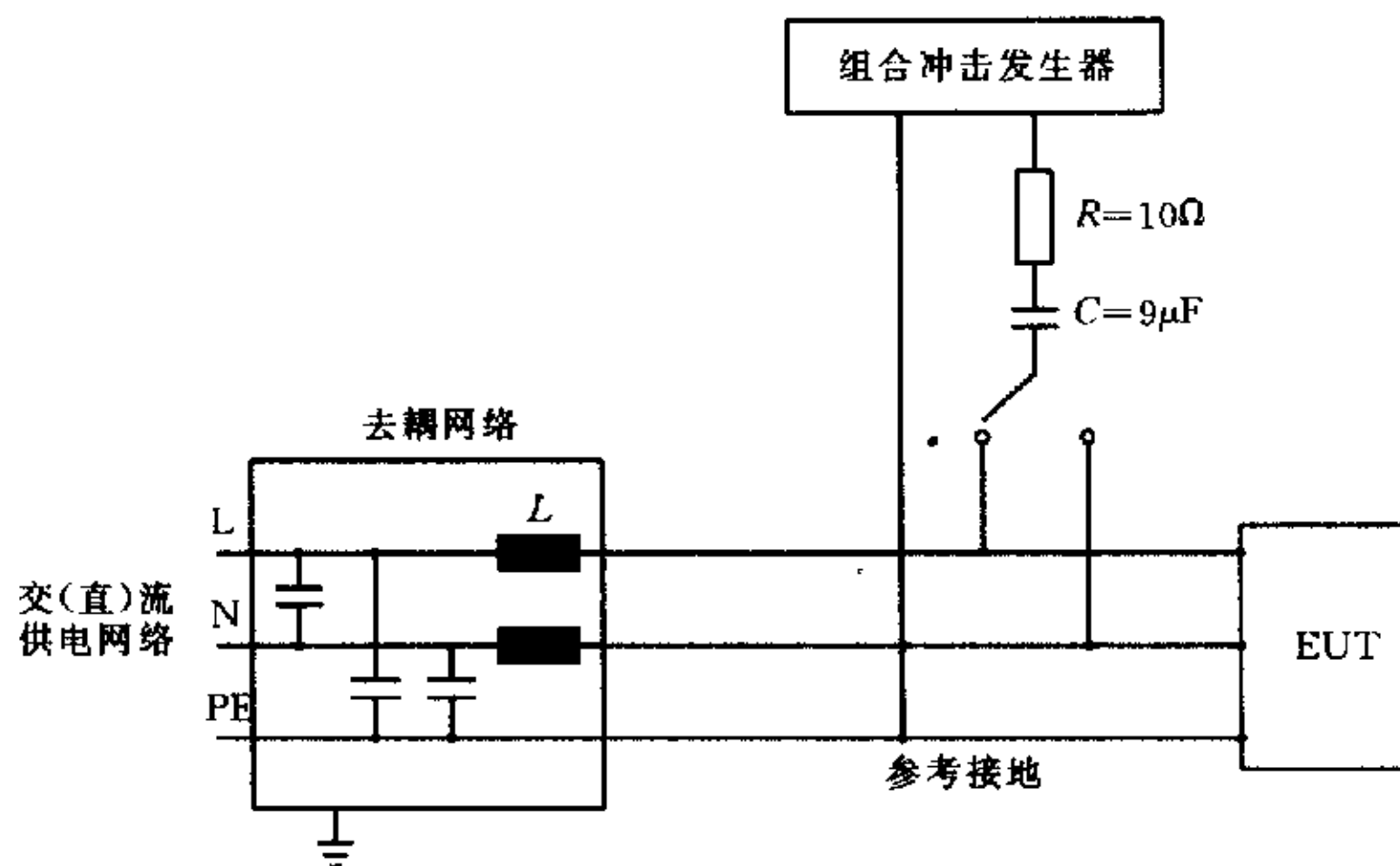


图 43 交直流线路容性耦合的测试配置:线—地耦合

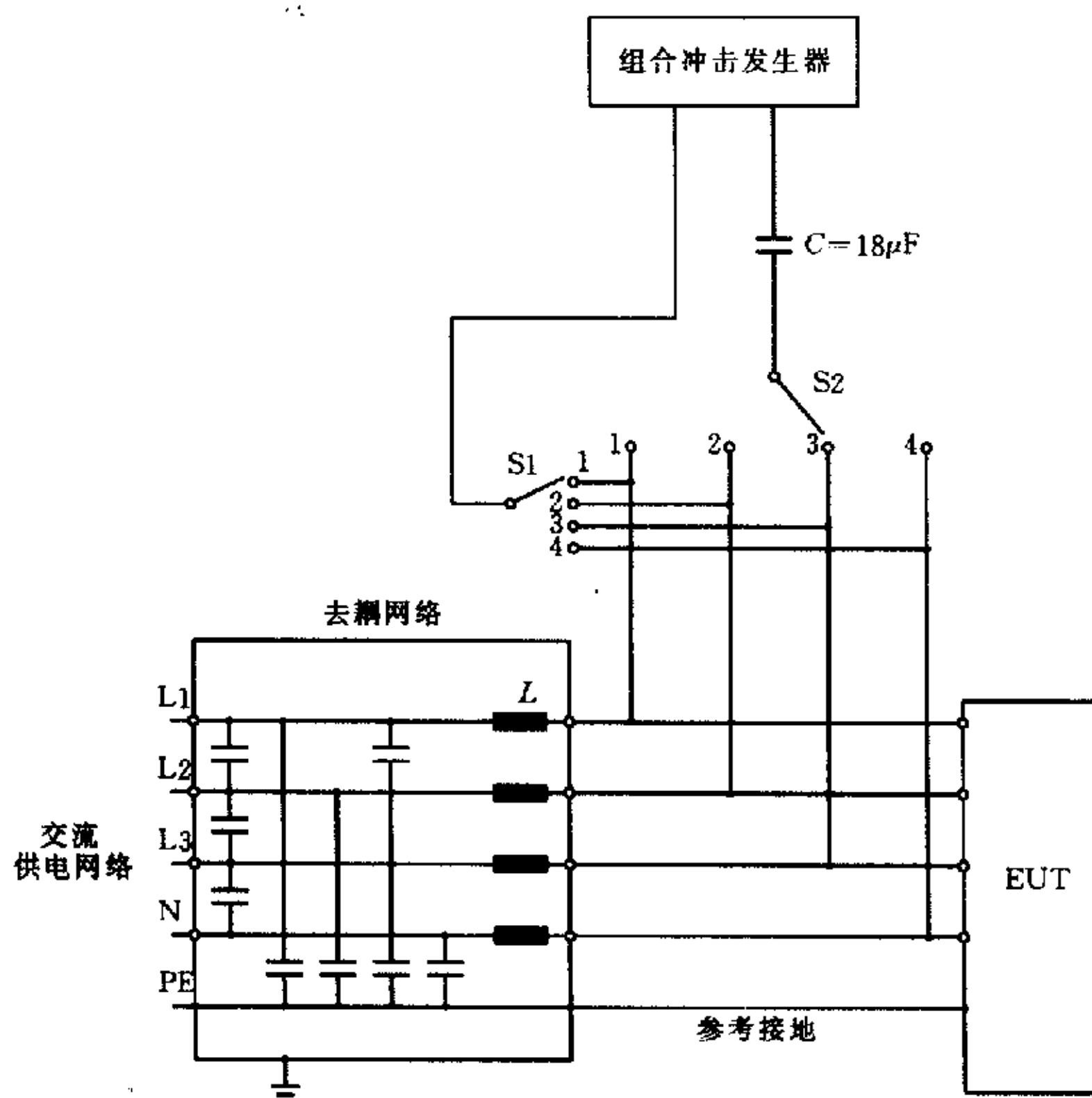
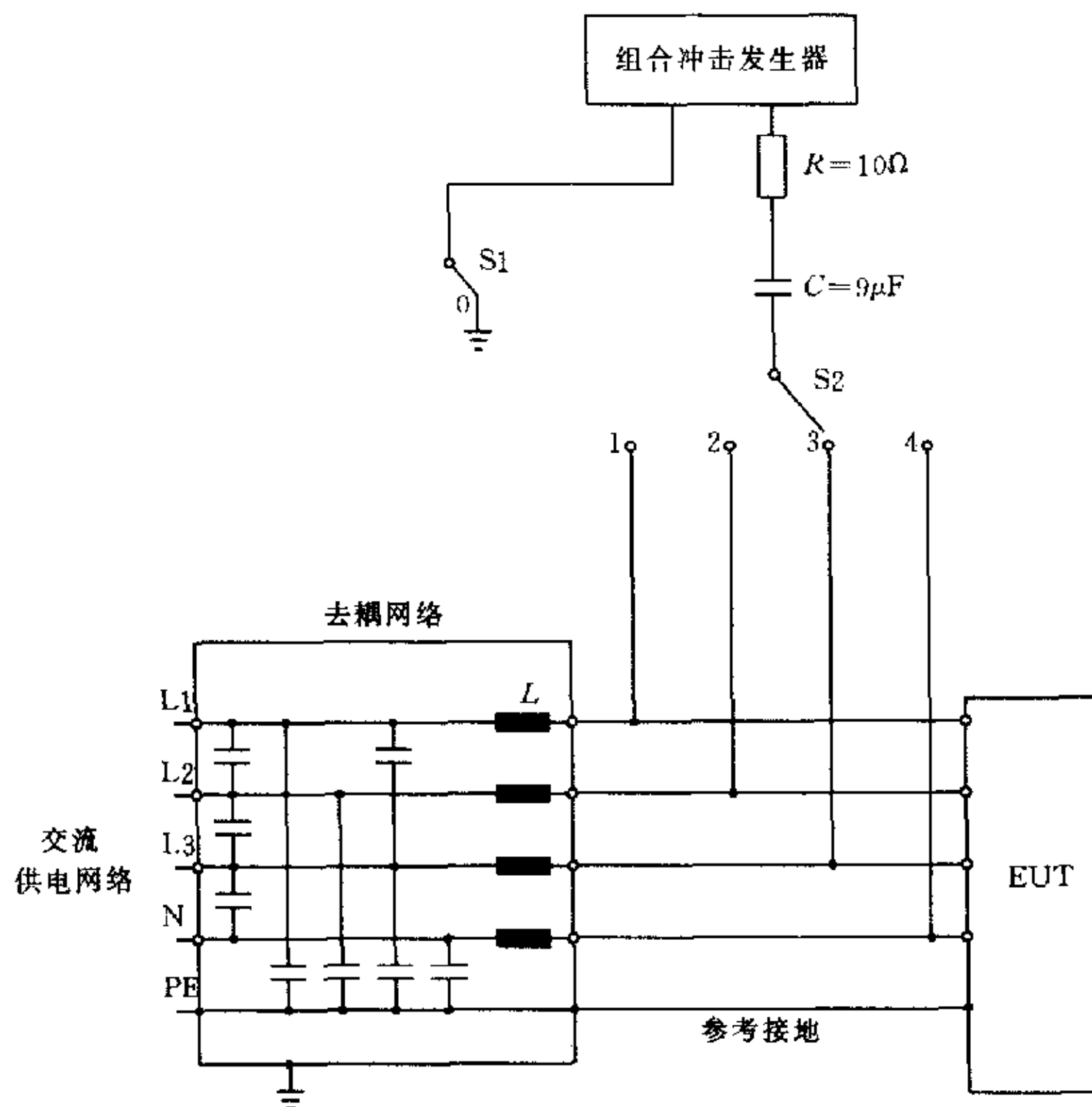


图 44 交流线路(三相)容性耦合试验配置:线 L3—线 L1 耦合



- 1) 开关 S1: 线一地时, 置于 0 处
- 2) 开关 S2: 试验时, 置于 1~4 处

图 45 交流线路(三相)容性耦合试验配置: 线 L3—地耦合

II) 互联线路的耦合/去耦合网络

电容耦合:

当对无屏蔽非平衡的 I/O 线路无影响时, 电容耦合是它的最佳方法, 其应用如图 46 所示。

避雷器耦合:

对无屏蔽平衡线路来说, 经避雷器耦合是最好的耦合方法, 如图 47 所示。

当与 TPE 相连的电容引起功能问题, 而不能使用容性耦合时, 也可使用本方法, 如图 48 所示。

7.4.5.3 测试布置

a) 电源测试的测试配置

浪涌(冲击)经电容耦合网施加于 TPE 电源端上。为了避免对由同一线路供电的非被试设备产生不利影响, 需要去耦网络, 同时向浪涌(冲击)波提供足够的去耦阻抗, 使得规定的波形可在被试线路中形成。

如果没有特殊规定, TPE 和 CDN 之间的电源线或信号/控制线应 $\leq 2\text{m}$ 。

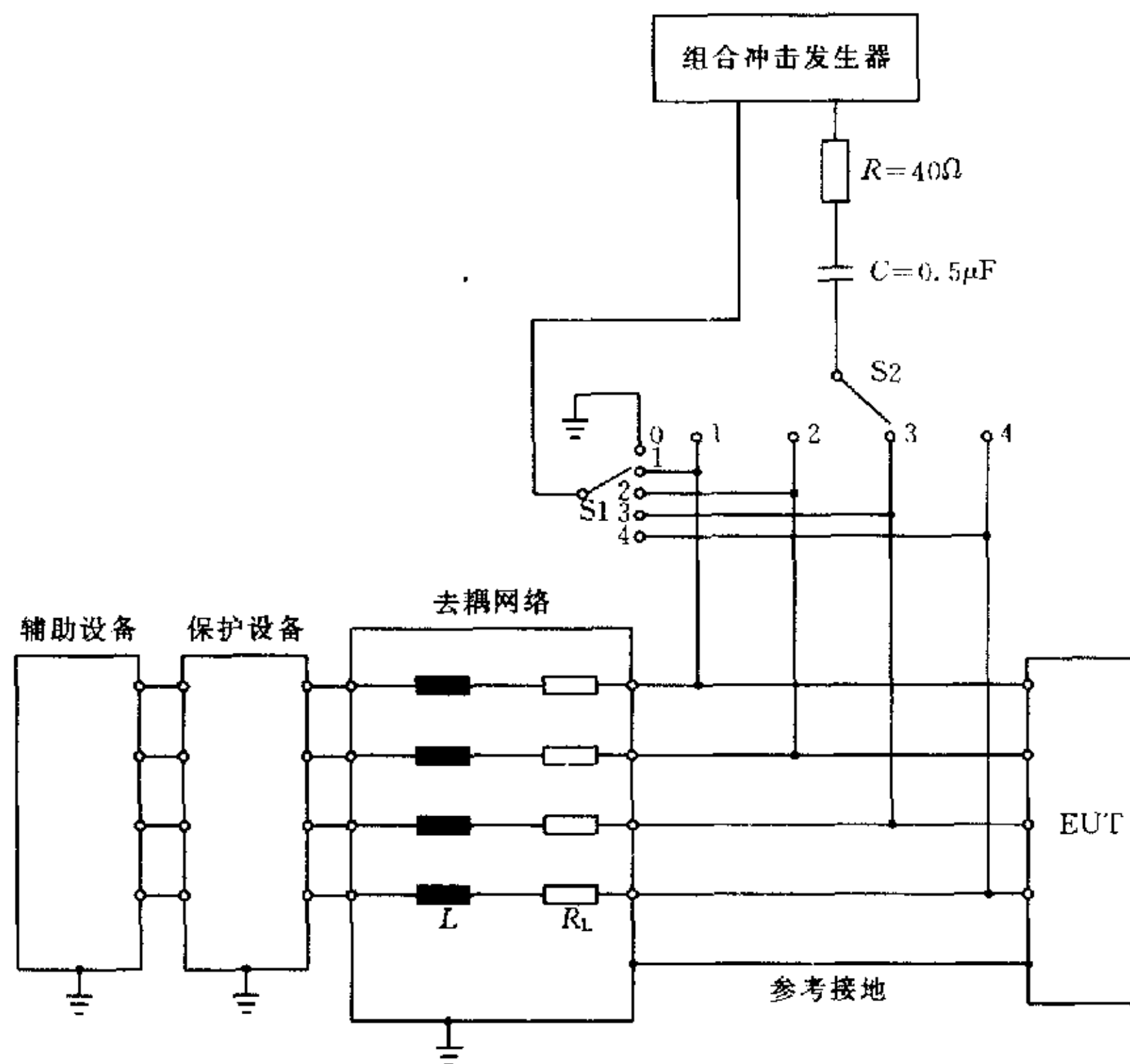
为模拟典型的耦合电阻, 在测试中可以使用另加的一些特定的电阻。

b) 无屏蔽非平衡线路的测试配置

一般而言, 按图 46 经电容耦合向电路施加冲击, 耦合/去耦合网络对测试线路的指定功能条件不应有影响。

交流测试配置(经避雷器耦合)在图 48 中给出, 线路的信号传输率较高, 应根据与传输频率有关的容性负载选择确定。

如果没有特殊规定, TPE 和 CDN 之间的电源线或信号/控制线应 $\leq 2\text{m}$ 。



- 1) 开关 S1: 线—地时, 置于 0; 线—线时, 置于“1~4”。
- 2) 开关 S2: 试验时, 置于“1~4”, 但与 S1 不在相同位置。
- 3) $L=20\text{mH}$, R_L 为 L 的电阻部分。

图 46 无屏蔽互连线路测试配置: 线—线/线—地耦合(经电容器耦合)

c) 无屏蔽平衡互联线/通信线的测试配置

如图 47 所示。对于平衡互联/通信线路, 正常情况下不能使用电容耦合方法, 这时耦合是由气体避雷器来完成的。

如果没有特殊规定, TPE 和 CDN 之间的电源线或信号/控制线应 $\leq 2\text{m}$ 。

7.4.5.4 测试程序

TPE 的输入口和输出口均应测试。

浪涌(冲击)电压和浪涌(冲击)电流速率最多为 1 次/min。

在选择测试点上, 最少应进行 5 次正极性和负极性的浪涌(冲击)测试。

如果没有特别的规定, 浪涌(冲击)电压和电流应和交流电压波形的零点和峰值点同步。

浪涌(冲击)电压和浪涌(冲击)电流的测试应对线线之间和线地之间进行测试。

在测试时, 应考虑 TPE 的非线性电压电流特性。在这种情况下, 测试电压应步进到测试等级。

7.4.5.5 浪涌(冲击)抗扰性测试结果

按照 7.3 中的表 9 中规定的测试等级和抗扰性判定准则对浪涌(冲击)抗扰性的测试结果进行判定。

7.4.6 电压暂降、电压短时中断抗扰性测试方法(设备每相输入电流 $\leq 16\text{A}$)

7.4.6.1 实验室环境

实验室的气象条件应在下述范围:

环境温度: $15\sim 35^\circ\text{C}$

相对湿度: $25\%\sim 75\%$

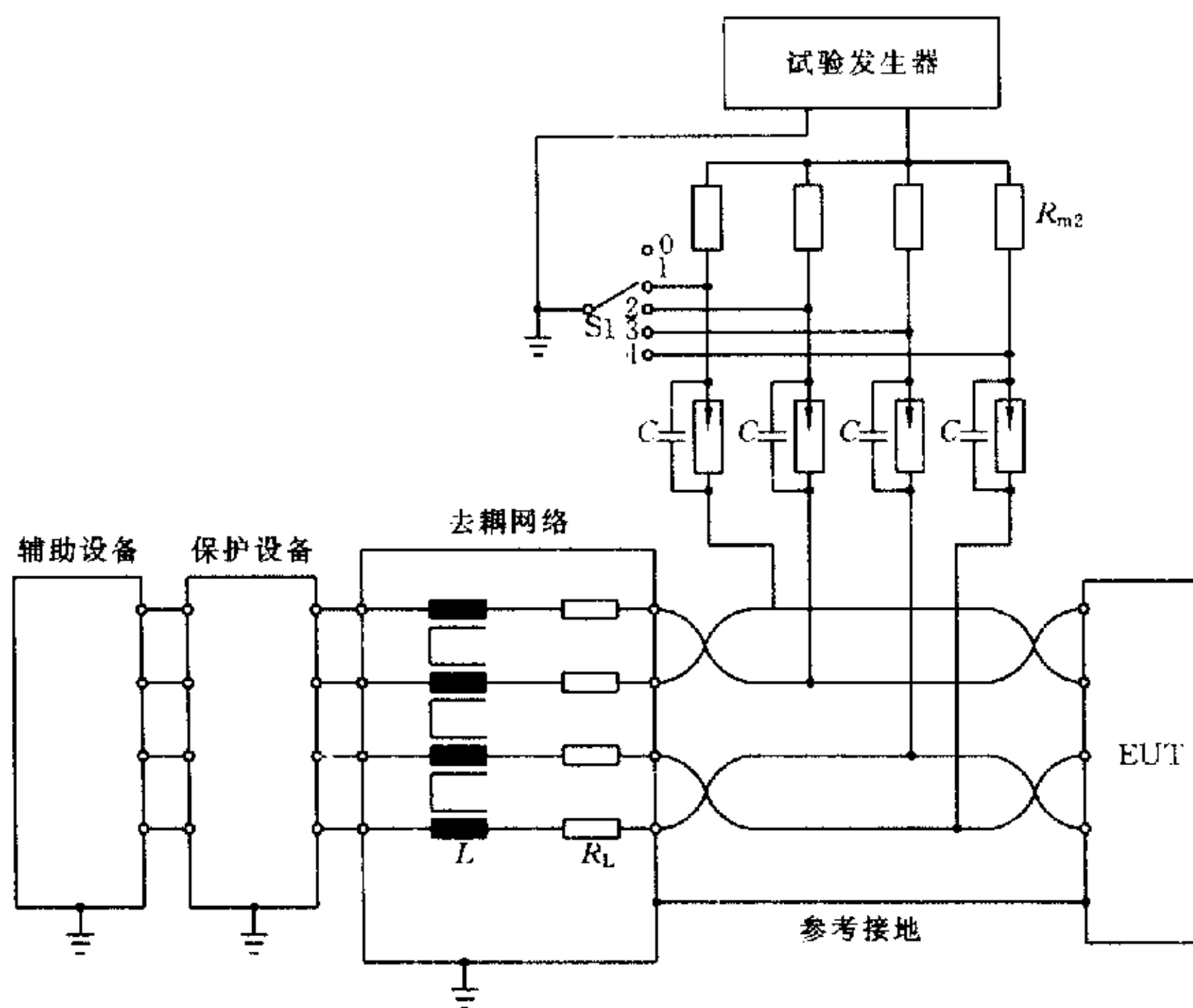
大气压力: $86(860)\sim 106\text{kPa}(1060\text{mbar})$

实验室的电磁干扰环境应不影响测试结果。

7.4.6.2 测试设备

测试信号发生器的电路简图如图 49 所示,该设备产生的信号如图 50 所示。

测试设备的性能应符合 IEC 1000-4-11 中 6 的规定。



a) 开关 S1: 线—地时, 置于“0”; 线—线时, 置于“1~4”(1 线依次接地)。

b) 使用 CWG(1.2/50 μ s 发生器)时, R_{m2} 的计算:

例如: $n=4$

则 $R_{m2}=4 \times 40\Omega=160\Omega$, 最大 250 Ω 。

使用 10/700 μ s 发生器时, R_{m2} 的计算:

内部匹配阻抗 R_{m2} (25 Ω) 由外部匹配阻抗决定。

$R_{m2}=n \times 25\Omega$ 代替(对于 n 个导体, $n \geq 2$)。

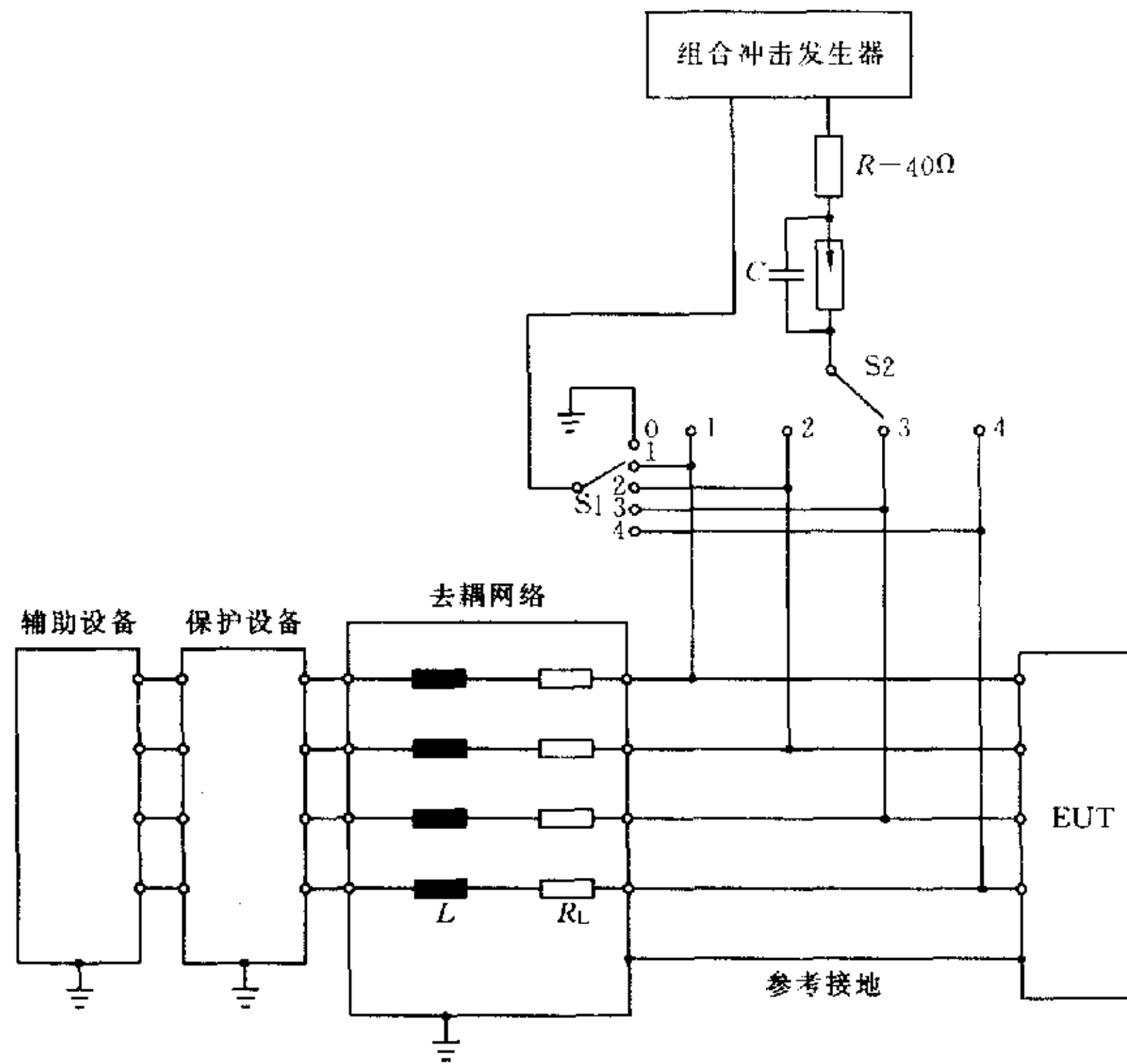
例如: $n=4$

$R_{m2}=4 \times 25\Omega=100\Omega$, R_{m2} 不应超过 250 Ω 。

c) 传输信号频率在 5kHz 以下时, $C=0.1\mu$ F。

d) $L=20$ mH, R_L 与传输信号的衰减有关。

图 47 无屏蔽平衡线路(通信线路)测试配置: 线—线/线—地耦合(经避雷器耦合)



- 1) 开关 S1: 线—地时, 置于“0”; 线—线时, 置于“1~4”。
- 2) 开关 S2: 试验时, 置于“1~4”, 但与 S1 不在相同位置。
- 3) $L=20\text{mH}$, R_L 为 L 的电阻部分。

图 48 无屏蔽非平衡线路的测试配制: 线—线/线—地耦合(经避雷器耦合)

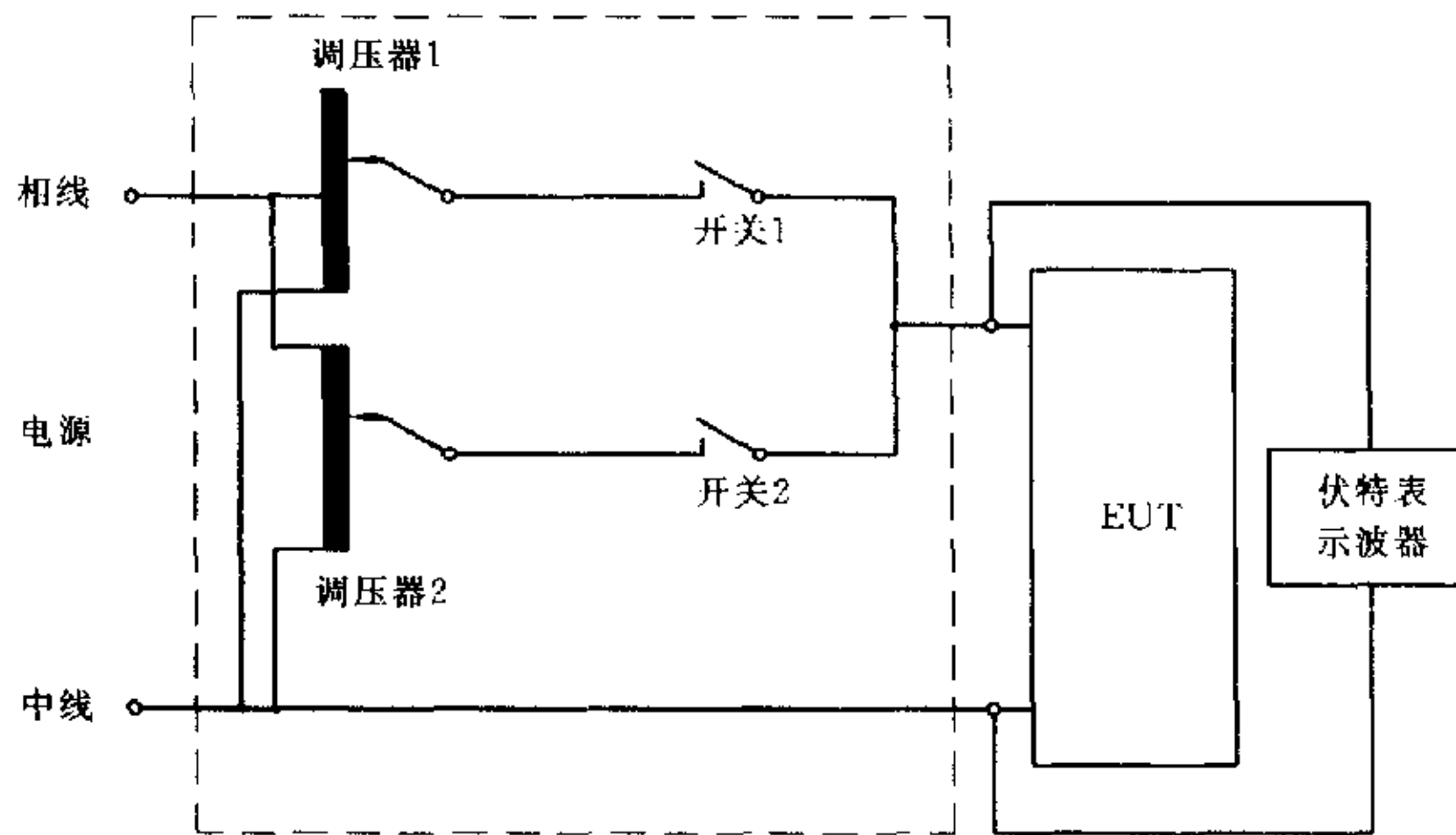


图 49(a) 采用可变变压器和开关进行电压跌落和中断的测试设备简图

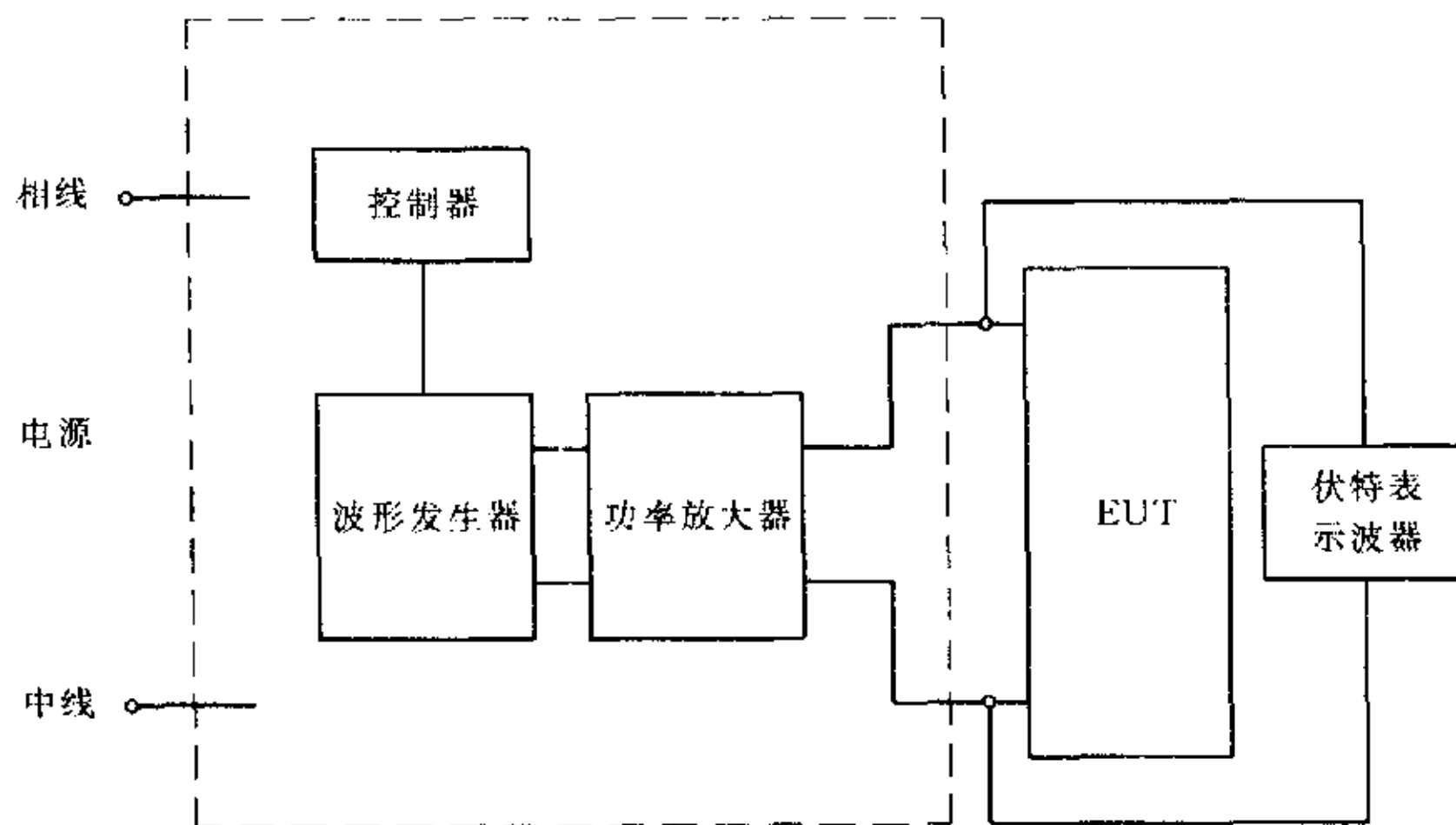
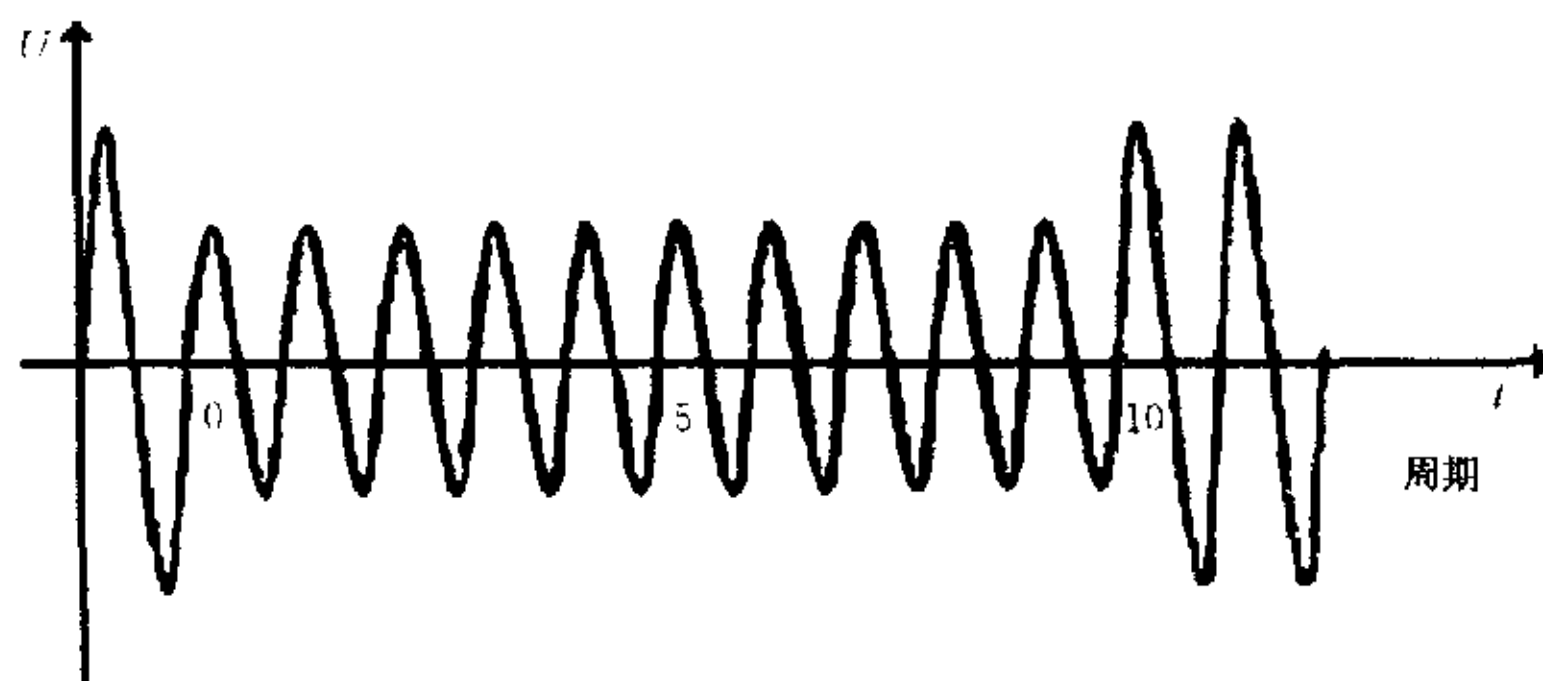


图 49(b) 采用功率放大器进行电压跌落和中断的测试设备简图



注：电压减小到 70% 后，持续 10 个周期，在过 0 处跃变。

图 50 电压暂降

7.4.6.3 测试布置

测试时，TPE 应该用由产品说明书规定的尽可能短的电源线和测试信号发生器相连。如果产品说明书没有规定电缆长度，则应采用尽可能短的适合 TPE 工作的电缆。

对于三相 TPE，应同时采用三套设备同时将电压加到电缆上，进行测试。

7.4.6.4 测试程序

在测试期间，测试的电源电压应用准确度为 2% 的监视设备进行监视。测试信号发生器的过零控制必须有 $\pm 10^\circ$ 的准确度。

测试时，应按规定的测试水平和持续时间的组合下，进行一组 3 次测试，测试时间间隔最小为 3s。

在测试中，电源电压的突变应发生在电压的过零点，或者在 45° 、 90° 、 135° 、 180° 、 225° 、 270° 和 315° 关键相角处进行选择。

对于三相系统，优选相对相测试，在某些情况下，三相应同时测试，在同时将电压暂降或电压中断加到三根相线的情况下，电压过零点控制只在一相实现。

7.4.6.5 电压暂降和电压短时中断抗扰性测试结果

按照 7.3 的表 9 中规定的测试等级和抗扰性判定准则对电压暂降、电压短时中断抗扰性的测试结果进行判定。

附录 A

(标准的附录)

替换测试场地的场地衰减测量

A1 场地衰减测试法

发送天线应在一定空间内在水平和垂直极化方向移动,如图 A1 所示。所建议的最小空间(如图 A2 所示)应包括当测试桌表面绕其中心转动时由 $1\text{m} \times 1.5\text{m}$ 桌面形成的侧面位置以及由立式设备和桌上 1.5m 的台式两种设备典型被测件(EUT)高度所决定的垂直方向顶端的位置。某些测试场地要求其空间大于所建议的由典型被测设备的尺寸所决定的最小值。

对于这些测量应采用宽带天线,而其测量距离应以天线中心之间的距离为准。发送和接收天线应与测量轴线正交,因此天线元总是平行的。

A1.1 垂直极化

在垂直极化时发送天线的高度应距天线中心为 1m (应保持发送天线底端与地面间的最小净空为 25cm)。

在下列任一条件下测量应在发送高度为 1.5m 下进行:

- a) 预期的被测件高度大于 $1.5 \sim 2\text{m}$ 。
- b) 当被测件高度为 1m 时发送天线顶端不超过被测件顶高度的 90% 。

对于垂直极化来说,发送天线应置于下列适当高度的 4 种位置:

- 1) 转台的正中心(见注 1)。
- 2) 面向接收天线距转台中心正前方 0.75m (位于由转台中心向接收天线划线的测量轴线上)。
- 3) 远离接收天线位于转台中心后方 0.75m ,除非这一位置与最近的垂直电介质表面距离 $> 1\text{m}$ (见注 2)。
- 4) 在中心两侧的 0.75m 位置(位于通过转台中心并由转台中心向接收天线间所画直线的垂线上)。

归一化场地衰减(NSA)垂直极化测量应用发送与接收天线间隔,应依照表 A1 保持恒定,接收天线应移动到保持适当距离的最近位置,该移动应沿着面向转台中心的直线上。

假定最大被测件高 1.5m ,要求最少在 4 个位置上进行垂直极化测量(4 个位置在同一高度的水平面上)见图 A2(a)。

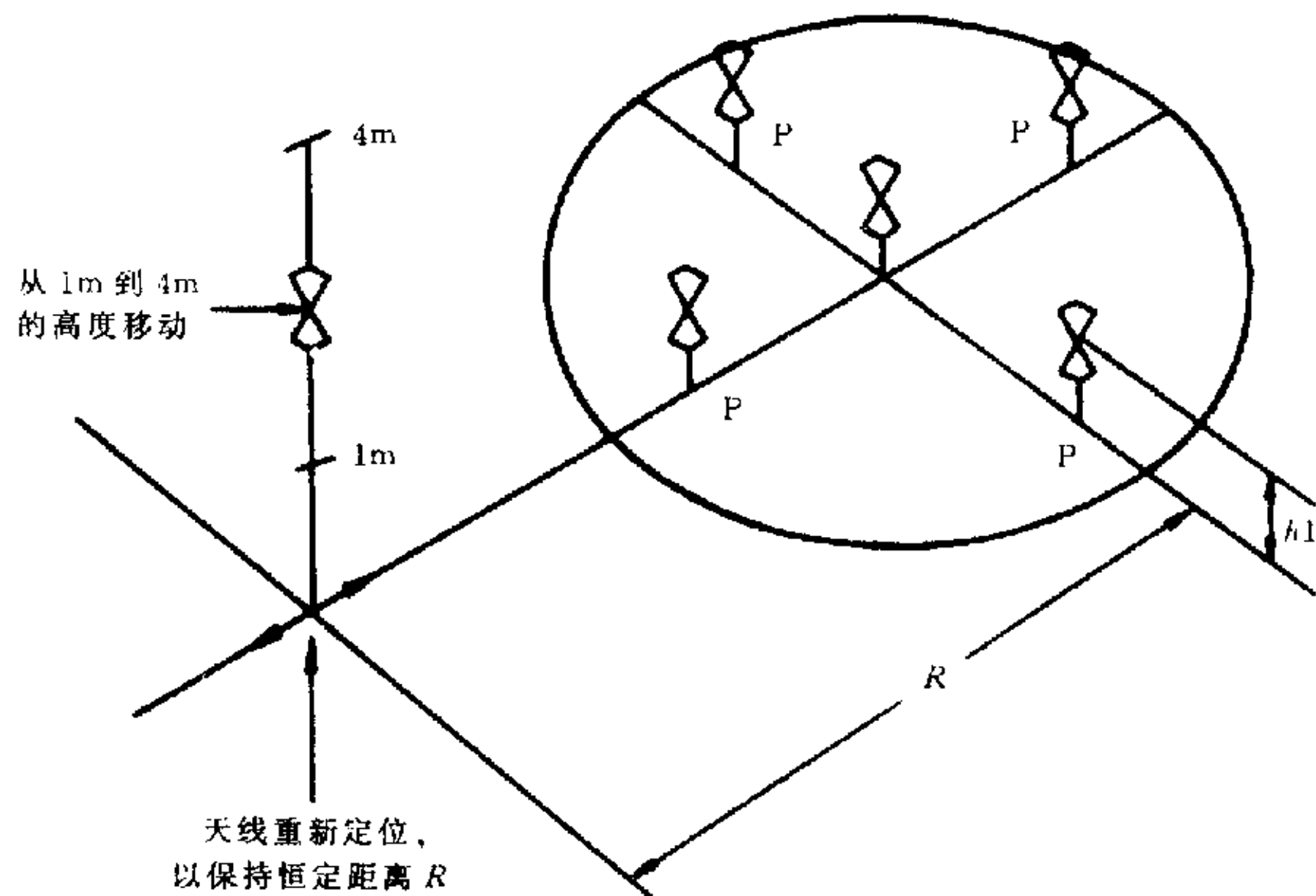
A1.2 水平极化

对于归一化场地衰减的水平极化测量而言,应研究两种发送高度。天线的最低高度应距中心 1m ,而最高应距其中心 2m (见表 A1),在两种高度上应进行下列位置的测量:

- 1) 转台的正中心;
- 2) 面向接收天线转台中心正前方 0.75m ;
- 3) 远离接收天线转台中心后方 0.75m 。除非这一位置距最近垂直介质界面大于 1m (见注 2);

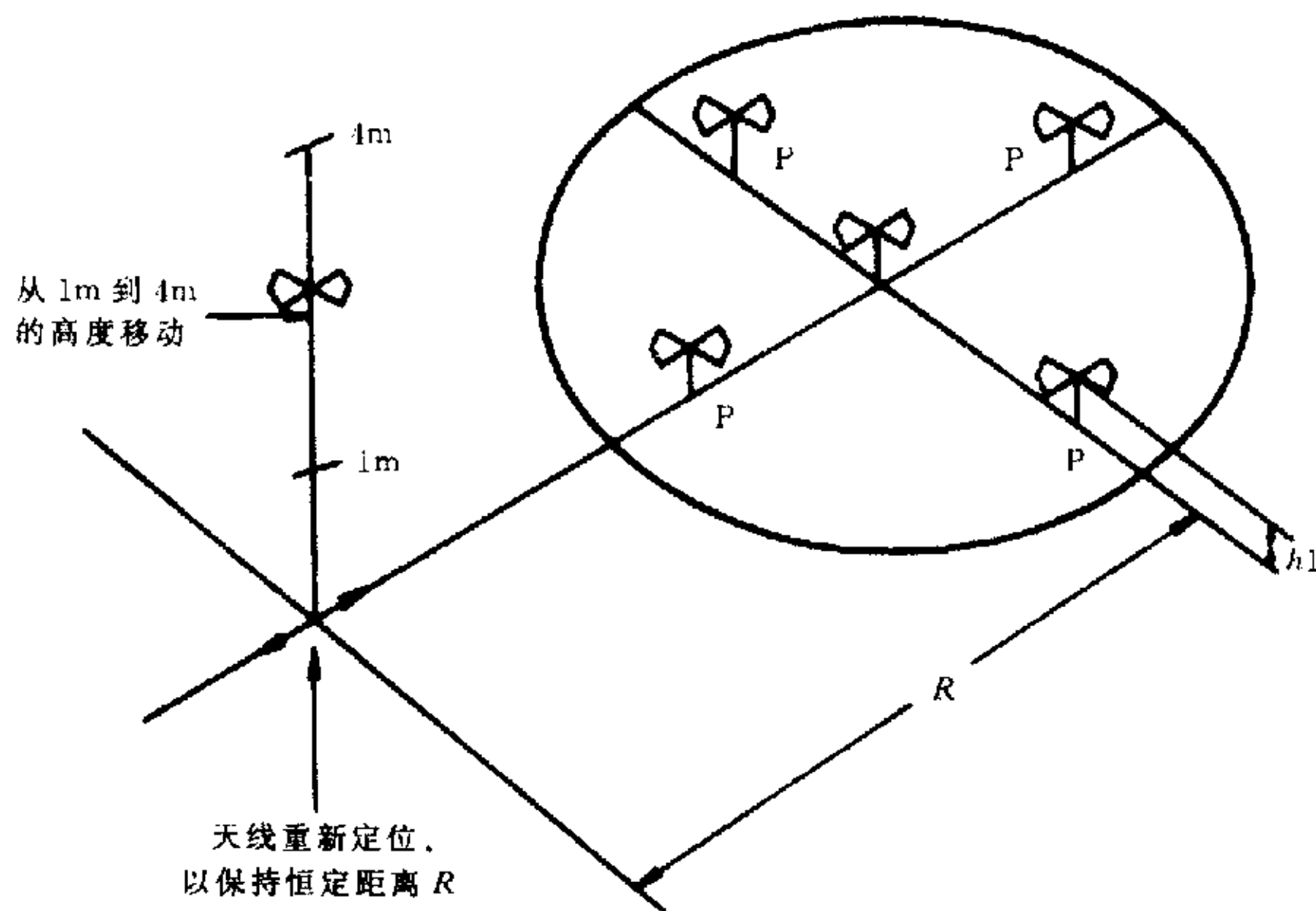
4) 转台中心任一侧的两个位置,就是说将天线顶距中心 0.75m 画出一个空间。当天线位于转台中心时,天线顶位于总空间宽度的 90% 以内则不要求两个位置。如果天线元过长而超过这两个位置,那么就无需测量正中心(位置 1)。

天线高度基于最大产品高度 2m 并且使用典型宽带天线。所测被测件高度若大于 2m 或其占有空间大于由 $1\text{m} \times 1.5\text{m}$ 转动四周形成的范围,则可要求较高的发送高度以及较大的(距转台中心的)天线位移。其标称化场地衰减值异于本标准所提供的数值且需要某些几何计算。



注：P=被测物旋转 360°的界限； $h_1=1\text{m}$ 和 1.5m ； R =发送和接收天线垂直投影中心间所保持的距离。

(a) 替换场地 NSA 测量垂直极化的典型天线位置



注：P=被测物旋转 360°的界限； $h_1=1\text{m}$ 和 2m ； R =发送和接收天线垂直投影中心间所保持的距离。

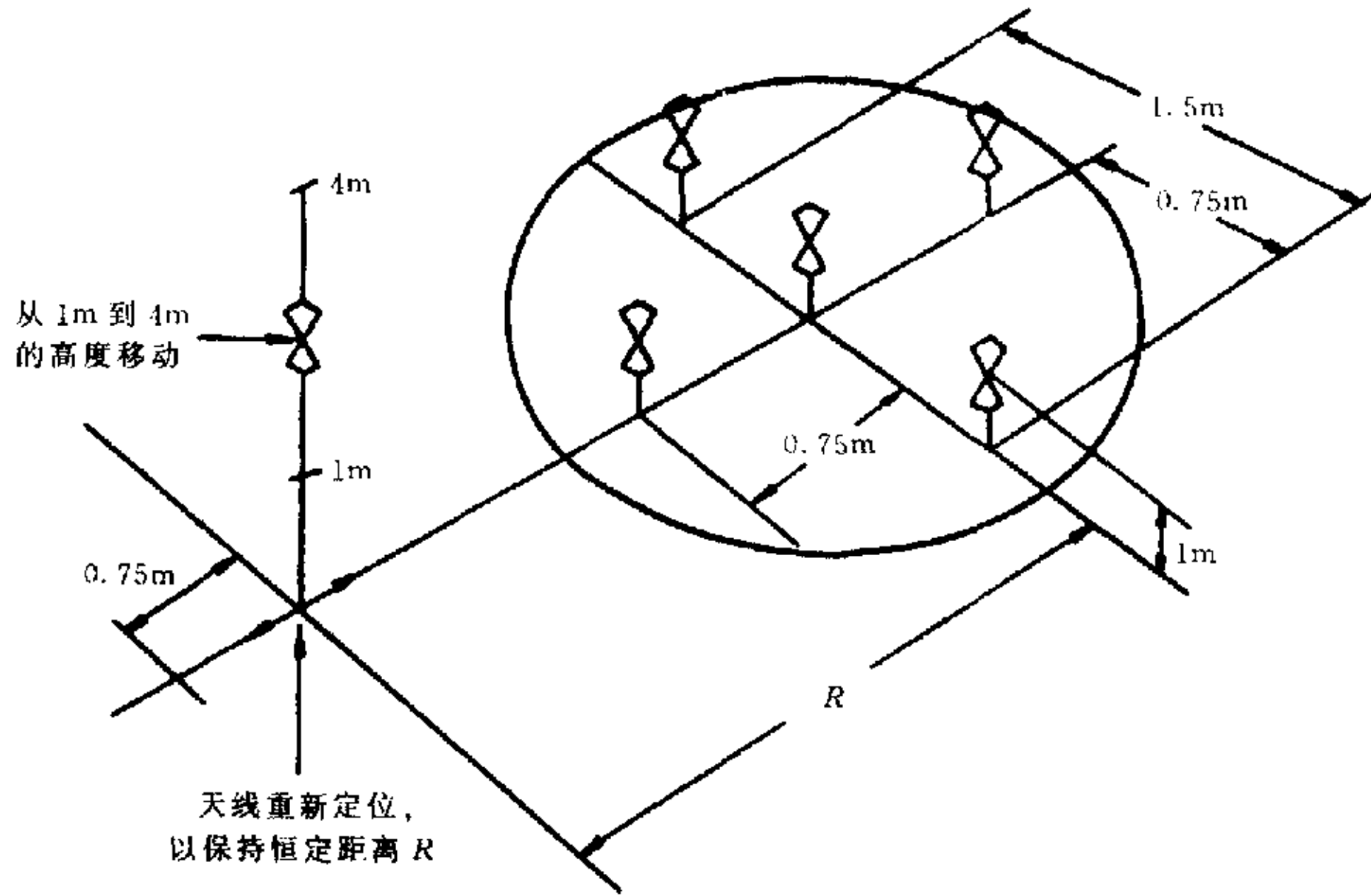
(b) 替换场地 NSA 测量水平极化的典型天线位置

图 A1 替换场地 NSA 测量时的典型天线位置

假定被测件水平最大尺寸超出 1.5m ，则要求水平极化天线的最少测量次数为 4 次（在两种高度同一水平面两种位置）（见图 A2(b)）。

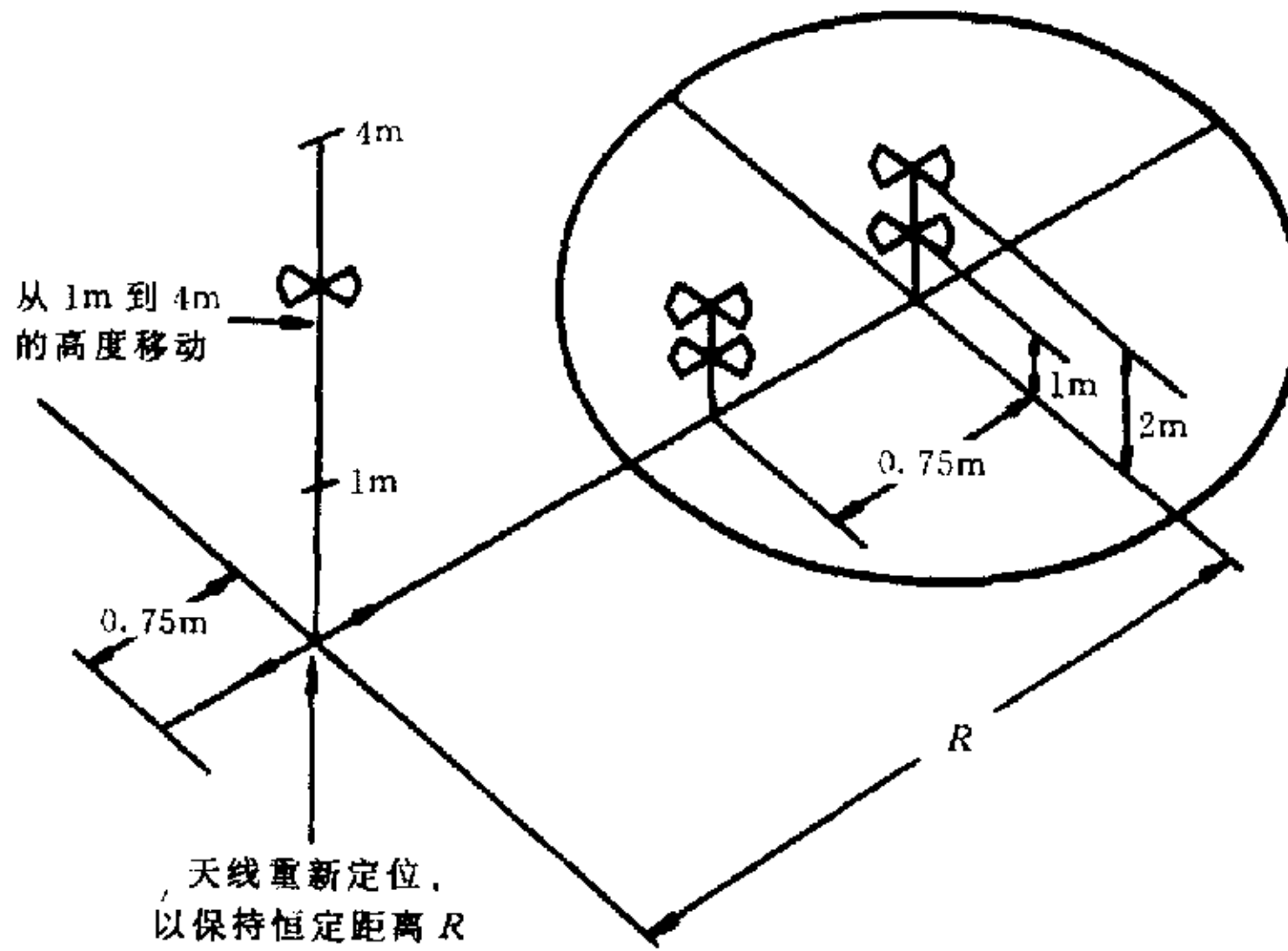
注

- 1 对无转台的场地而言，所有参考“中心”是指 $1\text{m} \times 1.5\text{m}$ 的测试桌面的中心。
- 2 当源位于电介质介面附近时，会表现出电流分布变化而影响到源的辐射性质，当其位置靠近这些介面时，要求进行附加场地衰减测量。



注: R = 发送和接收天线垂直投影中心间所保持的距离。

- a) 某一空间替换场地 NSA 测量垂直极化的典型天线位置。该空间不超过 1m 深、1.5m 宽、1.5m 高, 并且空间的后边沿与最近的可能导致反射的物体间的距离 $> 1m$



注: R = 发送和接收天线垂直投影中心间所保持的距离。

- b) 某一空间替换场地 NSA 测量水平极化的典型天线位置。该空间不超过 1m 深、1.5m 宽、1.5m 高, 并且空间的后边沿与最近的可能导致反射的物体间的距离 $> 1m$

图 A2 最小推荐空间中, 替换场地测量时的天线位置

表 A1 用宽带天线在推荐场地下测得的规一化场地衰减[NSA(dB)]

极化方向	水 平						垂 直				
	3	3	10	10	30	30	3	3	10	10	30
R(m)	3	3	10	10	30	30	3	3	10	10	30
h1(m)	1	2	1	2	1	2	1	1.5	1	1.5	1
h2(m)	1~4	1~4	1~4	1~4	1~4	1~4	1~4	1~4	1~4	1~4	1~4
f(MHz)	NSA(dB)										
30	15.8	11.0	29.8	24.1	47.7	41.7	8.2	9.3	16.7	16.9	26.0
35	13.4	8.8	27.1	21.6	45.0	39.1	6.9	8.0	15.4	15.6	24.7
40	11.3	7.0	24.9	19.4	42.7	36.8	5.8	7.0	14.2	14.4	23.5
45	9.4	5.5	22.9	17.5	40.7	34.7	4.9	6.1	13.2	13.4	22.5
50	7.8	4.2	21.1	15.9	38.8	32.9	4.0	5.4	12.3	12.5	21.6
60	5.0	2.2	18.0	13.1	35.7	29.8	2.6	4.1	10.7	11.0	20.0
70	2.8	0.6	15.5	10.9	33.0	27.2	1.5	3.2	9.4	9.7	18.7
80	0.9	-0.7	13.3	9.2	30.7	24.9	0.6	2.6	8.3	8.6	17.5
90	-0.7	-1.8	11.4	7.8	28.7	23.0	-0.1	2.1	7.3	7.6	16.5
100	-2.0	-2.8	9.7	6.7	26.9	21.2	-0.7	1.9	6.4	6.8	15.6
120	-4.2	-4.4	7.0	5.0	23.8	18.2	-1.5	1.3	4.9	5.4	14.0
125	-4.7	-4.7	6.4	4.6	23.1	17.6	-1.6	0.5	4.6	5.1	13.6
140	-5.0	-5.8	4.8	3.5	21.1	15.8	-1.8	-1.5	3.7	4.3	12.7
150	-6.7	-6.3	3.9	2.9	20.0	14.7	-1.8	-2.6	3.1	3.8	12.1
160	-7.4	-6.7	3.1	2.3	18.9	13.8	-1.7	-3.7	2.6	3.4	11.5
175	-8.3	-6.9	2.0	1.5	17.4	12.4	-1.4	-4.9	2.0	2.9	10.8
180	-8.6	-7.2	1.7	1.2	16.9	12.0	-1.3	-5.3	1.8	2.7	10.5
200	-9.6	-8.4	0.6	0.3	15.2	10.6	-3.6	-6.7	1.0	2.1	9.6
250	-11.7	-10.6	-1.6	-1.7	11.6	7.8	-7.7	-9.1	-0.5	0.3	7.7
300	-12.8	-12.3	-3.3	-3.3	8.7	5.1	-10.5	-10.9	-1.5	-1.9	6.2
400	-14.8	-14.9	-5.9	-5.8	4.5	3.5	-14.0	-12.6	-4.1	-5.0	3.9
500	-17.3	-16.7	-7.9	-7.6	1.8	1.6	-16.4	-15.1	-6.7	-7.2	2.1
600	-19.1	-18.3	-9.5	-9.3	0.0	0.0	-16.3	-16.9	-8.7	-9.0	0.8
700	-20.6	-19.7	-10.8	-10.6	-1.3	-1.4	-18.4	-18.4	-10.2	-10.4	-0.3
800	-21.3	-20.8	-12.0	-11.8	-2.5	-2.5	-20.0	-19.3	-11.5	-11.6	-1.1
900	-22.5	-21.8	-12.8	-12.9	-3.5	-3.5	-21.3	-20.4	-12.6	-12.7	-1.7
1000	-23.5	-22.7	-13.8	-13.8	-4.5	-4.5	-22.4	-21.4	-13.6	-13.6	-3.6

注：这些数据适用于垂直极化方式测试时，中心离地面 1m，整体至少离地面 250mm 的天线。