

中华人民共和国国家标准

GB/T 17626.12—2023/IEC 61000-4-12:2017

代替 GB/T 17626.12—2013

电磁兼容 试验和测量技术 第 12 部分：振铃波抗扰度试验

Electromagnetic compatibility—Testing and measurement techniques—
Part 12: Ring wave immunity test

[IEC 61000-4-12:2017, Electromagnetic compatibility (EMC)—
Part 4-12: Testing and measurement techniques—
Ring wave immunity test, IDT]

2023-03-17 发布

2023-10-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言	III
引言	V
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语、定义和缩略语	1
3.1 术语和定义	1
3.2 缩略语	2
4 概述	3
4.1 现象描述	3
4.2 相关参数	4
5 试验等级	5
6 试验设备	5
6.1 振铃波发生器	5
6.2 耦合/去耦网络	7
6.3 CDN 的校准	13
7 试验布置	16
7.1 试验设备	16
7.2 试验设备的验证	16
7.3 EUT 电源端口的试验布置	16
7.4 非屏蔽不对称互连线的试验布置	17
7.5 非屏蔽对称互连线的试验布置	17
7.6 屏蔽线的试验布置	17
7.7 保护接地	18
8 试验程序	18
8.1 概述	18
8.2 实验室参考条件	19
8.3 试验实施	19
9 试验结果评定	20
10 试验报告	20
附录 A (资料性) 电磁环境信息、安装类别和试验等级	21
附录 B (资料性) 发生器和试验等级的选择	23
B.1 概述	23
B.2 环境分类	23

B.3 端口类型的定义·····	23
B.4 试验等级的选择·····	23
附录 C (资料性) 注释·····	25
C.1 不同的源阻抗·····	25
C.2 试验的应用·····	25
附录 D (资料性) 测量不确定度(MU)的考虑·····	26
D.1 概述·····	26
D.2 振铃波参数的说明·····	26
D.3 振铃波测量不确定度的影响因素·····	26
D.4 发生器输出电压和电流测量的不确定度·····	27
D.5 不确定度在振铃波标准符合性中的应用·····	30
参考文献·····	31

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 GB/T 17626《电磁兼容 试验和测量技术》的第 12 部分。GB/T 17626 已经发布了以下部分：

- | | | | |
|---------------------|------|---------|--|
| —GB/T 17626.1—2006 | 电磁兼容 | 试验和测量技术 | 抗扰度试验总论； |
| —GB/T 17626.2—2018 | 电磁兼容 | 试验和测量技术 | 静电放电抗扰度试验； |
| —GB/T 17626.3—2016 | 电磁兼容 | 试验和测量技术 | 射频电磁场辐射抗扰度试验； |
| —GB/T 17626.4—2018 | 电磁兼容 | 试验和测量技术 | 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验； |
| —GB/T 17626.5—2019 | 电磁兼容 | 试验和测量技术 | 浪涌(冲击)抗扰度试验； |
| —GB/T 17626.6—2017 | 电磁兼容 | 试验和测量技术 | 射频场感应的传导骚扰抗扰度； |
| —GB/T 17626.7—2017 | 电磁兼容 | 试验和测量技术 | 供电系统及所连设备谐波、间谐波的测量和测量仪器导则； |
| —GB/T 17626.8—2006 | 电磁兼容 | 试验和测量技术 | 工频磁场抗扰度试验； |
| —GB/T 17626.9—2011 | 电磁兼容 | 试验和测量技术 | 脉冲磁场抗扰度试验； |
| —GB/T 17626.10—2017 | 电磁兼容 | 试验和测量技术 | 阻尼振荡磁场抗扰度试验； |
| —GB/T 17626.11—2008 | 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度试验； |
| —GB/T 17626.12—2023 | 电磁兼容 | 试验和测量技术 | 第 12 部分：振铃波抗扰度试验； |
| —GB/T 17626.13—2006 | 电磁兼容 | 试验和测量技术 | 交流电源端口谐波、谐间波及电网信号的低频抗扰度试验； |
| —GB/T 17626.14—2005 | 电磁兼容 | 试验和测量技术 | 电压波动抗扰度试验； |
| —GB/T 17626.15—2011 | 电磁兼容 | 试验和测量技术 | 闪烁仪 功能和设计规范； |
| —GB/T 17626.16—2007 | 电磁兼容 | 试验和测量技术 | 0 Hz~150 kHz 共模传导骚扰抗扰度试验； |
| —GB/T 17626.17—2005 | 电磁兼容 | 试验和测量技术 | 直流电源输入端口纹波抗扰度试验； |
| —GB/T 17626.18—2016 | 电磁兼容 | 试验和测量技术 | 阻尼振荡波抗扰度试验； |
| —GB/T 17626.19—2022 | 电磁兼容 | 试验和测量技术 | 第 19 部分：交流电源端口 2 kHz~150 kHz 差模传导骚扰和通信信号抗扰度试验； |
| —GB/T 17626.20—2014 | 电磁兼容 | 试验和测量技术 | 横电磁波(TEM)波导中的发射和抗扰度试验； |
| —GB/T 17626.21—2014 | 电磁兼容 | 试验和测量技术 | 混波室试验方法； |
| —GB/T 17626.22—2017 | 电磁兼容 | 试验和测量技术 | 全电波暗室中的辐射发射和抗扰度测量； |
| —GB/T 17626.24—2012 | 电磁兼容 | 试验和测量技术 | HEMP 传导骚扰保护装置的试验方法； |
| —GB/T 17626.27—2006 | 电磁兼容 | 试验和测量技术 | 三相电压不平衡抗扰度试验； |
| —GB/T 17626.28—2006 | 电磁兼容 | 试验和测量技术 | 工频频率变化抗扰度试验； |
| —GB/T 17626.29—2006 | 电磁兼容 | 试验和测量技术 | 直流电源输入端口电压暂降、短时中 |

断和电压变化的抗扰度试验；

——GB/T 17626.30—2012 电磁兼容 试验和测量技术 电能质量测量方法；

——GB/T 17626.31—2021 电磁兼容 试验和测量技术 第 31 部分：交流电源端口宽带传导骚扰抗扰度试验；

——GB/T 17626.34—2012 电磁兼容 试验和测量技术 主电源每相电流大于 16 A 的设备的电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度试验。

本文件代替 GB/T 17626.12—2013《电磁兼容 试验和测量技术 振铃波抗扰度试验》，与 GB/T 17626.12—2013 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

——增加了关于振铃波波形的数学模型(见 4.1)；

——增加了高速 CDN(见 6.2.3)；

——增加了 CDN 的校准程序(见 6.3)。

本文件等同采用 IEC 61000-4-12:2017《电磁兼容(EMC) 第 4-12 部分：试验和测量技术 振铃波抗扰度试验》。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动：

——为与现有标准协调，将标准名称修改为《电磁兼容 试验和测量技术 第 12 部分：振铃波抗扰度试验》；

——增加了附录 B 发生器和试验等级的选择；

——增加了附录 C 注释；

——增加了附录 D 测量不确定度的考虑。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国电磁兼容标准化技术委员会(SAC/TC 246)提出并归口。

本文件起草单位：中国电子科技集团公司第三研究所、上海市计量测试技术研究院、厦门光莆电子股份有限公司、北京中认检测技术服务有限公司、上海电器科学研究所(集团)有限公司。

本文件主要起草人：徐崑、陈庆梅、田禾箐、赵文晖、霍宏艳、丁少华、邢琳、张晓刚、付兆丰。

本文件于 1998 年首次发布，2013 年第一次修订，本次为第二次修订。

引 言

电磁兼容性是电气和电子设备或系统在其电磁环境中能正常工作且不对该环境中任何事物构成不能承受的电磁骚扰的能力。电磁兼容问题是影响环境及产品质量的重要因素之一,其标准化工作已引起国内外的普遍关注。在这方面,国际电工委员会(IEC)制定的 IEC 61000 系列出版物是制造业、信息产业、电工电气工程及能源、交通运输业、社会事业及健康、消费品质量安全等领域中的通用标准,分为综述、环境、限值、试验和测量技术、安装和减缓导则、通用标准 6 大类。我国已经针对该系列出版物开展了国内转化工作,并建立了相应的国家标准体系。

在该标准体系中,GB/T(Z) 17626《电磁兼容 试验和测量技术》是关于电磁兼容领域试验和测量技术方面的基础性标准,旨在描述传导骚扰、辐射骚扰等电磁兼容现象的抗扰度试验等内容,拟由 39 个部分构成。

- 抗扰度试验总论。目的在于提供电磁兼容标准中有关试验和测量技术的使用性指导,并对选择相关的试验提供通用的建议。(GB/T 17626.1)
- 静电放电抗扰度试验。目的在于建立通用的和可重现的基准,以评估电气和电子设备遭受静电放电时的性能。(GB/T 17626.2)
- 射频电磁场辐射抗扰度试验。目的在于建立电气、电子设备受到射频电磁场辐射时的抗扰度评定依据。(GB/T 17626.3)
- 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验。目的在于建立通用的和可重现的基准,以评估电气和电子设备的供电电源端口、信号、控制和接地端口在受到电快速瞬变脉冲群干扰时的抗扰度性能。(GB/T 17626.4)
- 浪涌(冲击)抗扰度试验。目的在于建立通用的和可重现的基准,以评估电气和电子设备在受到浪涌(冲击)时的抗扰度性能。(GB/T 17626.5)
- 射频场感应的传导骚扰抗扰度。目的在于建立通用的和可重现的基准,以评估电气和电子设备在收到由射频场感应的传导骚扰时的抗扰度性能。(GB/T 17626.6)
- 供电系统及所连设备谐波、间谐波的测量和测量仪器导则。目的在于规定可用于根据某些标准给出的发射限值对设备逐项进行试验,对实际供电系统中谐波电流和电压的测量的仪器。(GB/T 17626.7)
- 工频磁场抗扰度试验。目的在于建立通用的和可重现的基准,以评估家用、商业和工业用电气和电子设备处于工频(连续和短时)磁场中的抗扰度性能。(GB/T 17626.8)
- 脉冲磁场抗扰度试验。目的在于建立通用的和可重现的基准,以评估居住、商业和工业用电气和电子设备处于脉冲磁场中的抗扰度性能。(GB/T 17626.9)
- 阻尼振荡磁场抗扰度试验。目的在于建立通用的和可重现的基准,以评估中、高压变电站中电气和电子设备处于阻尼振荡磁场中的抗扰度性能。(GB/T 17626.10)
- 第 11 部分:对每相输入电流小于或等于 16 A 设备的电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度试验。目的在于建立通用的和可重现的基准,以评估电气和电子设备在经受电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度性能。(GB/T 17626.11)
- 第 12 部分:振铃波抗扰度试验。目的在于建立通用的和可重现的基准,以评估在实验室中居住、商业和工业用电气和电子设备的抗扰度性能,同样也适用于发电站和变电站的设备。(GB/T 17626.12)
- 交流电端口谐波、谐间波及电网信号低频抗扰度试验。目的在于建立通用的和可重现的基准,以

- 评估电气和电子设备对谐波、间谐波和电网信号频率的低频抗扰度性能。(GB/T 17626.13)
- 电压波动抗扰度试验。目的在于建立通用的和可重现的基准,以评估电气和电子设备在受到正和负的低幅值电压波动时的抗扰度性能。(GB/T 17626.14)
- 闪烁仪 功能和设计规范。目的在于为所有实际的电压波动波形显示正确的闪烁感知电平。(GB/T 17626.15)
- 0 Hz~150 kHz 共模传导骚扰抗扰度试验。目的在于建立电气和电子设备经受共模传导骚扰测试的通用和可重复性准则。(GB/T 17626.16)
- 直流电源输入端口纹波抗扰度试验。目的在于建立通用的和可重现的基准,用以在实验室条件下对电气和电子设备进行来自于如整流系统和/或蓄电池充电时叠加在直流电源上的纹波电压的抗扰度试验。(GB/T 17626.17)
- 阻尼振荡波抗扰度试验。目的在于建立通用的和可重现的基准,以评估电气和电子设备在受到阻尼振荡波时的抗扰度性能。(GB/T 17626.18)
- 第 19 部分:交流电源端口 2 kHz~150 kHz 差模传导骚扰和通信信号抗扰度试验。目的在于确认电气和电子设备在公用电网下工作时能承受来自诸如电力电子和电力线通信系统(PLC)等的差模传导骚扰。(GB/T 17626.19)
- 横电磁波(TEM)波导中的发射和抗扰度试验。目的在于给出 TEM 波导的性能、用于电磁兼容试验的 TEM 波导的确认方法、在 TEM 波导中进行辐射发射和抗扰度试验的试验布置、步骤和要求。(GB/T 17626.20)
- 混波室试验方法。目的在于建立使用混波室评估电气和电子设备在射频电磁场中的性能和确定电气电子设备的辐射发射等级的通用规范。(GB/T 17626.21)
- 全电波暗室中的辐射发射和抗扰度测量。目的在于规定在同一个全电波暗室内进行辐射发射和辐射抗扰度的通用确认程序、受试设备的试验布置要求和全电波暗室测量方法。(GB/T 17626.22)
- 第 23 部分:HEMP 和其他辐射骚扰防护装置的试验方法。目的在于通过描述 HEMP 试验的基本原理,以及防护元件试验的理论基础(试验概念)、试验配置、所需设备、试验程序、数据处理等重要概念。(预计为第 23 部分)
- HEMP 传导骚扰保护装置的试验方法。目的在于规定 HEMP 传导骚扰保护装置的试验方法,包括电压击穿和电压限制特性的试验,以及电压和电流快速变化时的残余电压的测量方法。(GB/T 17626.24)
- 第 25 部分:设备和系统 HEMP 抗扰度试验方法。目的在于建立通用的和可重现的基准,用于评估遭受 HEMP 辐射环境及其在电源、天线、I/O 信号线和控制线上产生的传导瞬态骚扰时的电气和电子设备性能。(预计为第 25 部分)
- 三相电压不平衡抗扰度试验。目的在于为电气和电子设备在受到不平衡的供电电压时的抗扰度评价建立参考。(GB/T 17626.27)
- 工频频率变化抗扰度试验。目的在于为电气和电子设备在受到工频频率变化时的抗扰度评价提供依据。(GB/T 17626.28)
- 直流电源输入端口电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度试验。目的在于建立评价直流电气、电子设备在经受电压暂降、短时中断和电压变化时的抗扰度的通用准则。(GB/T 17626.29)
- 电能质量测量方法。目的在于规定 50 Hz 交流供电系统中电能质量参数测量方法及测量结果的解释。(GB/T 17626.30)
- 第 31 部分:交流电源端口宽带传导骚扰抗扰度试验。目的在于建立通用的基准,以评估电气和电子设备交流电源端口在遭受有意和/或无意宽带信号源产生的传导骚扰时的抗扰度。(GB/T 17626.31)

- 第 32 部分:高空核电磁脉冲(HEMP)模拟器概述。目的在于提供国际上现有的系统级 HEMP 模拟器以及它们作为抗扰度试验与验证设备时所需要的相关信息。(预计为第 32 部分)
- 第 33 部分:高功率瞬态参数测量方法。目的在于给出高功率电磁瞬态响应波形的测量方法和特征参数的信息。(GB/Z 17626.33)
- 主电源每相电流大于 16 A 的设备的电压暂降、短时中断和电压变化抗扰度试验。目的在于建立评价电气和电子设备在经受电压暂降、短时中断和电压变化时的抗扰度的通用准则。(GB/T 17626.34)
- 第 35 部分:高功率电磁(HPEM)模拟器概述。目的在于提供国际上现有的系统级 HPEM 窄带(窄谱)和宽带(宽谱、亚超宽谱和超宽谱)模拟器以及它们作为抗扰度试验与验证设备时所需要的相关信息。(预计为第 35 部分)
- 第 36 部分:设备和系统的有意电磁干扰抗扰度试验。目的在于为评估设备和系统对有意电磁干扰源的抗扰度提供了确定试验水平的方法。(预计为第 36 部分)
- 第 37 部分:谐波发射试验系统校准与验证协议。目的在于为制造商、终端用户、独立实验室、其他组织机构提供系统化指导,以规定一定谐波电流发射范围内适用的合规状态。(预计为第 37 部分)
- 第 38 部分:电压波动和闪烁合规测试系统的测试、验证和校准协议。目的在于为由型式试验设备组成的系统提供定期校准和验证的指南和方法。(预计为第 38 部分)
- 第 39 部分:近场辐射抗扰度试验。目的在于建立通用的基准,以评估暴露于近距离源的辐射射频电磁场中的电气电子设备的抗扰度要求。(预计为第 39 部分)
- 第 40 部分:调制或失真信号功率的数字测量方法。目的在于介绍两种适用于波动或非周期负载下功率量测量的数字算法,并说明所提出的算法的工作原理。(预计为第 40 部分)

本次是对 GB/T 17626.12 的修订。修订了振铃波抗扰度试验的方法,有助于建立通用的基准,以评估电气和电子设备对振铃波的抗扰度,供其他产品的技术委员会、通用标准、产品类标准和产品标准引用。

电磁兼容 试验和测量技术

第 12 部分:振铃波抗扰度试验

1 范围

本文件描述了运行状态下的电气和电子设备对公共或非公共网络中低压电源、控制和信号线产生的振铃波的抗扰度要求和试验方法。

本文件的目的是为评估电气和电子设备对振铃波的抗扰度建立共同基准。本文件规定的试验方法描述了评估设备或系统对已定义现象的抗扰度的一致性方法。

注:按照 IEC GUIDE 107 的描述,本文件是为产品标准化技术委员会所用的基础 EMC 出版物。正如 IEC GUIDE 107 声明的,产品标准化技术委员会负责确定是否采用本抗扰度标准,如果采用,他们负责确定适当的试验等级和性能判据。全国电磁兼容标准化技术委员会及其分技术委员会愿与产品标准化技术委员会合作,以评估其产品的特殊抗扰度要求。

本文件规定了:

- 试验电压和电流波形;
- 试验等级的范围;
- 试验设备;
- 试验布置;
- 试验程序。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

IEC 60050(所有部分) 国际电工词汇(IEV)[International Electrotechnical Vocabulary (IEV)]
(可在 www.electropedia.org 查到)

3 术语、定义和缩略语

3.1 术语和定义

IEC 60050(所有部分)界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

ISO 和 IEC 的术语数据库可以通过下述网址访问:

IEC 电子百科:<http://www.electropedia.org/>

ISO 在线阅读平台:<http://www.iso.org/obp>

3.1.1

校准 calibration

在规定条件下,建立标示值和按参考标准的测量结果之间关系的一组操作。

注 1:该术语用于“不确定度”方式。

注 2:原则上,标示值与测量结果之间的关系可以用校准图表示。

[来源:GB/T 2900.77—2008,311-01-09]

3.1.2

耦合 coupling

能量由一个电路传输到另一电路的电路之间的相互作用。

3.1.3

耦合网络 coupling network; CN

将能量从一个电路传送到另一个电路的电路。

3.1.4

耦合/去耦网络 coupling network; CDN

耦合网络和去耦网络的组合。

3.1.5

去耦网络 decoupling network; DN

用于防止施加到 EUT 上的试验电压影响其他非受试装置、设备或系统的电路。

3.1.6

(对骚扰的)抗扰度 immunity(to a disturbance)

装置、设备或系统面临电磁骚扰不降低运行性能的能力。

[来源:GB/T 4365—2003,161-01-20]

3.1.7

端口 port

设备的特定界面,外部电磁环境(IEC 60050-161:1990,161-01-01)耦合到该设备的界面,并通过此界面影响设备。

[来源:IEC 60050-161:1990,161-01-27]

3.1.8

振铃波 ring wave

阻尼时间常数约为一个周期的衰减振荡。

[来源:GB/T 4365—2003,161-02-30]

3.1.9

上升时间 rise time

T_r

脉冲瞬时值首次从脉冲幅值的 10% 上升到 90% 所经历的时间。

[来源:GB/T 4365—2003,161-02-05]

3.1.10

瞬态 transient

在两相邻稳定状态之间变化的物理量或物理现象,其变化时间小于所关注的时间尺度。

[来源:GB/T 4365—2003,161-02-01]

3.1.11

验证 verification

用于检查试验设备系统(如试验发生器和互连电缆),以证明测试系统正常工作的一整套操作。

注 1: 验证的方法可能与校准方法不同。

注 2: 由于本文件为 EMC 基础标准,该定义与 IEC 60050-311:2001 中 311-01-13 给出的定义不同。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AE:辅助设备(Auxiliary Equipment)
 CD:耦合装置(Coupling Device)
 CDN:耦合/去耦网络(Coupling/Decoupling Network)
 CLD:箝位器件(Clamping Device)
 CN:耦合网络(Coupling Network)
 DN:去耦网络(Decoupling Network)
 EMC:电磁兼容性(Electromagnetic Compatibility)
 EUT:受试设备(Equipment Under Test)
 GDT:气体放电管(Gas Discharge Tube)
 MU:测量不确定度(Measurement Uncertainty)
 PDF:概率密度函数(Probability Density Function)
 PE:保护地(Protective Earth)
 RGP:参考地平面(Reference Ground Plane)
 RWG:振铃波发生器(Ring Wave Generator)
 SPD:浪涌保护器(Surge Protective Device)

4 概述

4.1 现象描述

振铃波是一种由于电气网络和电抗负载的切换、电源电路故障和绝缘击穿、或雷击在低压电缆中引起的典型振荡瞬态现象,其波形图见图1。事实上这是出现在供电网络(高压、中压、低压)以及控制、信号线中最普遍的现象。

振铃波是居住和工业设施中广泛存在的电磁环境的一个代表,适合检验设备对上述具有陡波前特性的脉冲现象的抗扰度。在没有滤波器作用时,这些脉冲的上升时间为10 ns到几分之一微秒的量级,持续时间在10 μs~100 μs范围之间。

脉冲的上升时间和持续时间依赖于媒质和路径的传播特性。

由于阻抗失配(线路端接了各自负载或连接了保护装置,输入线路滤波器等)线路中(电源和信号线)波的传播常易发生反射。这些反射产生振荡,振荡频率与传播速度有关。存在的寄生参数(电机、变压器线圈等元件的杂散电容)是额外的影响因素。

传播线路的低通特性会延缓上升时间,此延缓对快速上升时间(10 ns级)有较大影响,而对慢速上升时间(1 μs级)影响较小。

雷击是振铃波的另外一种起因,其本身特征为一单向波形(1.2/50 μs的标准脉冲)。遭受雷击间接影响(线间感性耦合)的电路受主脉冲衍生物和相关的耦合机制的影响产生振荡,由此产生的振铃波的特性取决于接地回路、雷击电流回路中的金属构件,以及低压传输线传播途径的电抗参数。

这种在设备端口上由上述效应引起的现象,是一种瞬态振荡或振铃波。瞬态振荡还存在于IEC 61000-4-18中。0.5 μs上升时间、100 kHz振荡频率的振铃波被定义为典型振铃波,并广泛地用于产品测试。

图1中理想波形 $w(t)$ 的数学模型如式(1)所示:

$$w(t) = A \cdot K \cdot \frac{(t/t_1)^n}{1 + (t/t_1)^n} \cdot \exp(-t/t_2) \cdot \cos(\beta t) \dots\dots\dots (1)$$

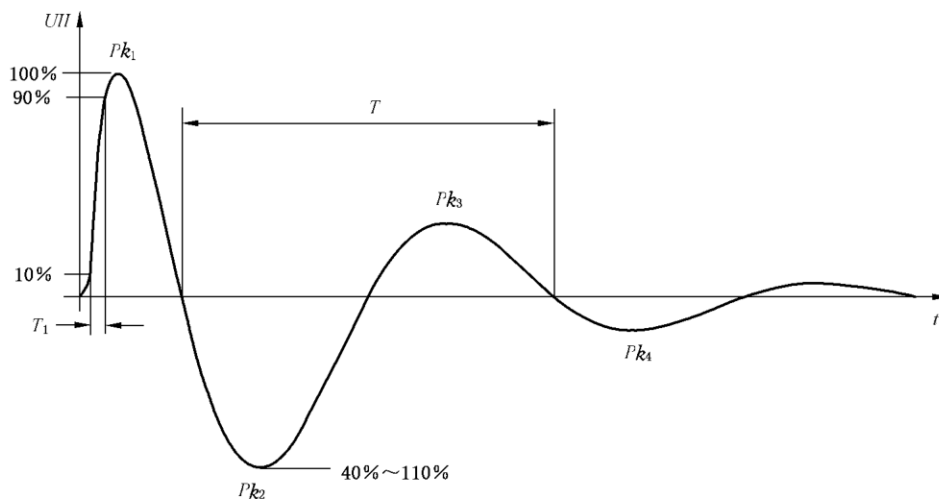
式中:

$$t_2 = \frac{T}{2} \cdot \frac{1}{\ln R} = 7.21 \mu\text{s}, \beta = \frac{2\pi}{T}, T = 10 \mu\text{s}$$

当振荡周期 $T=10\ \mu\text{s}$ 时,参数如下:

$$A=1, K=1.81, n=1.83, t_1=0.507\ \mu\text{s}$$

注: R 是 Pk_2 和 Pk_3 之间,以及 Pk_3 和 Pk_4 之间的比值。 R 的值使 Pk_2 与 Pk_3 、 Pk_3 与 Pk_4 的比值在本文件规定的范围内。 R 的值不能太小,否则 Pk_1 和 Pk_2 的比值将超过规定的允差。选择 $R=2$,调整参数 n 和 t_1 来获得 $T_1=0.5\ \mu\text{s}$ 。



标引序号说明:

T_1 ——上升时间;

T ——振荡周期。

注: 电流波形只规定 Pk_1 值。

图 1 振铃波的波形(开路电压和短路电流)

其他的标准,例如 IEC 61000-4-5 中描述的 $1.2/50\ \mu\text{s}$ 的标准雷击脉冲可认为是本文件中所描述的振铃波的补充。

根据有关现象规定最恰当的试验是有关产品标准化技术委员会的责任。

4.2 相关参数

4.2.1 重复率

瞬态重复率直接与主要现象(雷电和开关)的发生频率有关。当这些现象主要是由控制线负载切换引起的,其重复率高;当由故障和雷击引起时,其重复率低。出现的范围可能从每秒 1 次到每年 1 次。

为减少试验持续时间,可以提高重复率。然而,应根据所包含的用于减缓/抑制瞬变的保护器的特性来选择。

4.2.2 相位角

在供电电源中与振铃波有关的设备故障可能取决于瞬态现象发生时交流电压正弦波的相位角。在振铃波试验中当保护器工作时,可能产生的续流取决于瞬态现象发生时的相位角。续流是从连接的电源通过保护器件流过的电流,或是瞬态现象发生期间和之后 EUT 中的任何电弧所形成的电流。

对于半导体,这种现象可能与振铃波发生时装置的导电状态有关。与之相关的半导体参数包括正向和反向恢复特性及二次击穿特性。

当电源输入电路系统中包含半导体时,装置最有可能发生与相位相关的故障。在被测设备不同位置中的其他装置也可能会出现同样的故障模式。

5 试验等级

施加在设备的电源、信号及控制端口的振铃波的优先选择试验等级在表 1 中给出。试验等级由试验波形中第一个峰值(最大值或最小值)的电压(图 1 中的 Pk_1)来定义。

电源、信号和控制端口可以应用不同的试验等级。

表 1 振铃波试验等级

等级	开路试验电压 kV	
	线对线	线对地 ^b
1	0.25	0.5
2	0.5	1
3	1	2
4	2	4
X ^a	X	X

^a X 可以是高于、低于或在其他等级之间的任何等级。此等级应由产品标准化技术委员会和/或设备规范规定。
^b 对于对称互连线,试验可同时在多条线上对地进行试验,即“多线对地”。

试验等级的信息见附录 A。对于不同接口试验等级的选择,见附录 B。应根据安装条件选择试验等级,安装的类别见附录 C。

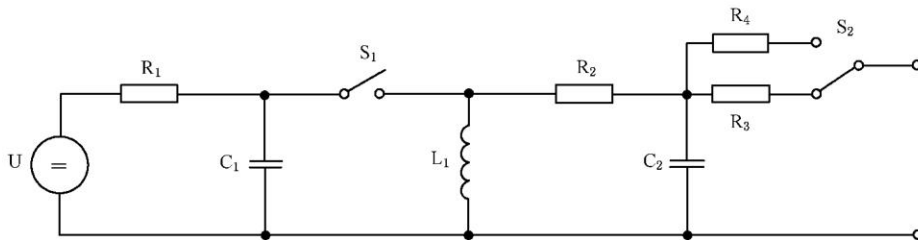
试验应从表 1 中的所有较低等级开始进行,直到规定的试验等级(见 8.3)。

6 试验设备

6.1 振铃波发生器

6.1.1 振铃波发生器电路

试验信号发生器输出应具有在短路情况下工作的能力。典型的振铃波发生器原理图如图 2 所示。



标引序号说明:

- U —— 高压源;
- C₁ —— 储能电容;
- C₂ —— 滤波电容;
- R₁ —— 充电电阻;
- R₂ —— 滤波电阻;
- R₃ —— 30 Ω 电阻器;
- R₄ —— 12 Ω 电阻器;
- L₁ —— 振荡电路线圈;
- S₁ —— 高压开关;
- S₂ —— 输出阻抗选择器。

图 2 振铃波发生器电路原理图举例

6.1.2 阻抗值

按照以下情况选择两种阻抗值(见图 2 中 R_3 和 R_4):

- 交/直流电源端口和屏蔽互连线试验使用 $12\ \Omega$;
- 非屏蔽互连线试验使用 $30\ \Omega$ 。

6.1.3 振铃波发生器特性及参数

应使用具有浮地输出的发生器。

发生器是在其输出端口测得具有以下特性的单次冲击振铃波发生器:

- 电压上升时间(图 1 中的 T_1): $0.5\ \mu\text{s}(1\pm 30\%)$ (开路状态);
- 电流上升时间(图 1 中的 T_1): $0.2\ \mu\text{s}\sim 1\ \mu\text{s}$ (短路状态);
- 电压振荡频率(图 1 中的 $1/T$): $100\ \text{kHz}(1\pm 10\%)$;

注 1: 振荡频率被定义为第一个峰值后第一个和第三个过零点之间的时间的倒数。

- 衰减(仅指电压,见图 1):
 $0.4\leq Pk_2/Pk_1\leq 1.1$,
 $0.4\leq Pk_3/Pk_2\leq 0.8$,
 $0.4\leq Pk_4/Pk_3\leq 0.8$,
 从 Pk_5 开始无要求;

——重复率: 1/min 或更快;

——输出阻抗: 见表 2;

注 2: 用开路电压 U_{Pk1} 除以短路电流 I_{Pk1} 计算输出阻抗。

- 开路电压 U_{Pk1} (见图 1): 从 $0.25\ \text{kV}$ 至要求的试验等级可调;
- 短路电流 I_{Pk1} (见图 1): 见表 2;
- 相移: 相对于 EUT 交流线电压相位角,在 $0^\circ\sim 360^\circ$ 范围之内允差 $\pm 10^\circ$;
- Pk_1 的极性(见图 1): 正和负。

表 2 开路电压峰值和短路电流峰值之间的关系

在发生器输出端的 开路电压峰值($1\pm 10\%$)	在 $12\ \Omega$ 发生器输出端的 短路电流峰值($1\pm 10\%$)	在 $30\ \Omega$ 发生器输出端的 短路电流峰值($1\pm 10\%$)
0.25 kV	20.8 A	8.3 A
0.5 kV	41.7 A	16.7 A
1.0 kV	83.3 A	33.3 A
2.0 kV	166.7 A	66.7 A
4.0 kV	333.3 A	133.3 A

6.1.4 振铃波发生器的校准

应校准试验发生器特性,以确保其符合本文件要求的参数。因此,应采取下列程序。

发生器输出应连接到有足够带宽(最小 $20\ \text{MHz}$)、电压和电流测量能力的测量系统,以监测波形的特性。

发生器的特性应在相同设定电压下分别在开路(负载大于或等于 $10\ \text{k}\Omega$)和短路条件下测量。

在发生器输出端,除相移和重复率以外的所有特性应满足 6.1.3 中的规定。在 CDN 输出端,在一

个极性上应满足 0°、90°、180°和 270°的相移性能。

6.2 耦合/去耦网络

6.2.1 通则

如图 4 至图 10 所示,每个耦合/去耦网络均应包含耦合网络和去耦网络。

注:耦合电容可以是 CDN 或发生器的一部分,也可以是分立的外部元件。

耦合网络的耦合电容应与所选试验信号发生器的阻抗相对应,例如: $\geq 3 \mu\text{F}$ 。

在交流或直流电源线上,对于瞬态振铃波去耦网络提供了较高的阻抗,同时允许电流流向 EUT。此阻抗允许在耦合/去耦网络的输出端产生电压波形,并防止振铃波电流回流到交流或直流电源。高压电容器作为耦合元件,其容量足以允许将完整波形耦合到 EUT。交流或直流电源的耦合/去耦网络的设计,应使开路电压波形和短路电流波形符合表 3 的要求。

对于 I/O 和通信线,去耦网络的串联阻抗限制了数据传输的可用带宽。如果线路能够承受容性负载的影响,耦合元件可以是电容、箝位器件或避雷器。当耦合到互连线时,波形可能因 6.2.3 中描述的耦合机制而失真。

用于非屏蔽互连线的耦合/去耦网络的设计应使开路电压波形和短路电流波形满足表 5 和表 7 的要求。

每个耦合/去耦网络应满足 6.2.2 和 6.2.3 的要求,并满足 6.3 的校准要求。根据图 3 中的流程图来使用它们。

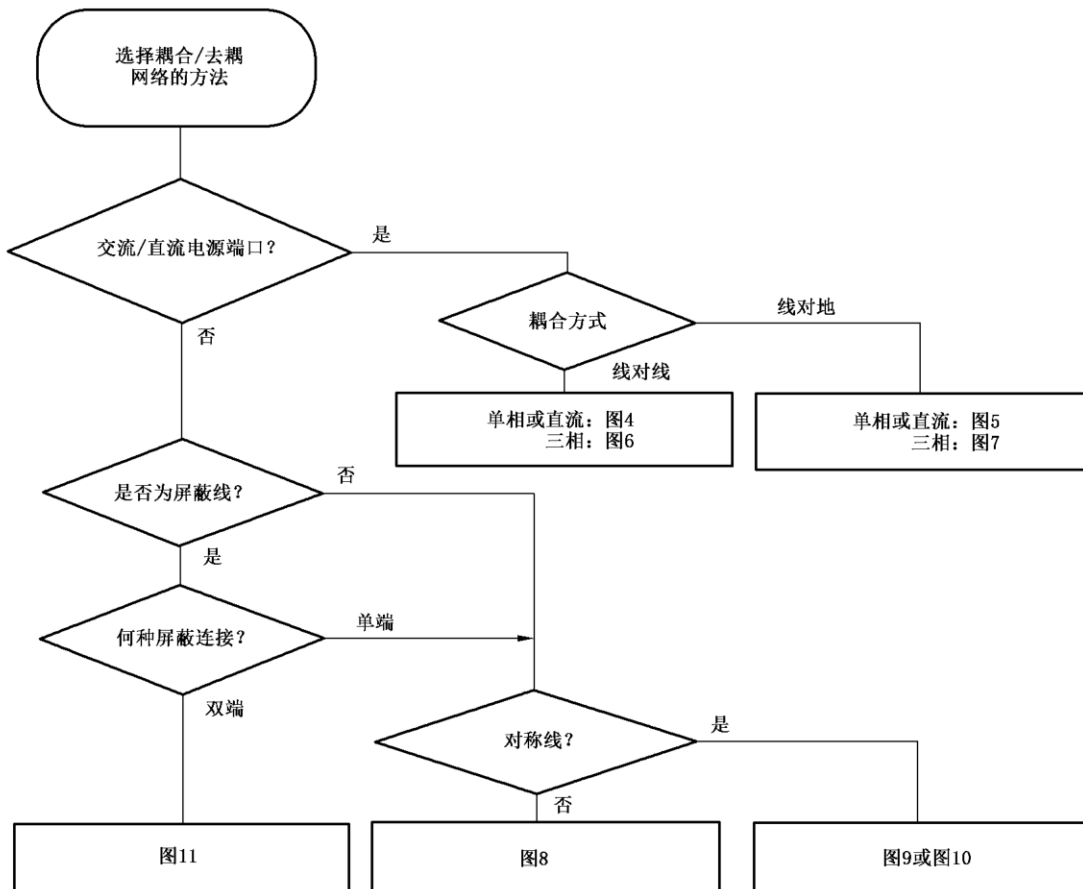


图 3 耦合/去耦方法的选择

6.2.2 用于每线额定电流不大于 63 A 的交/直流电源端口的 CDN

应在电压开路 and 电流短路条件下验证 EUT 端口的峰值 Pk_1 和上升时间,此外还应在电压开路条件下验证振荡周期。在 CDN 的 EUT 端口测得的波形参数取决于发生器,因此仅用特定的发生器/CDN 组合进行试验才有效。CDN 应连接到具有足够带宽、电压和电流容量的测量系统,以监测波形的特性。

注:浪涌和振铃波来自同一骚扰源。振铃波是骚扰源与电源插座之间的电路布线和浪涌保护装置产生的结果。电流大于 63 A 的电路布线形式通常是 EUT 的一部分,因此 EUT 按照 IEC 61000-4-5 进行试验。

去耦电感应由 CDN 的制造商选择,以确保在规定的额定电流下经过 CDN 的压降不超过 CDN 输入电压的 10%,但不宜超过 1.5 mH。

为防止在 CDN 上产生不必要的压降,对于额定电流大于 16 A 的 CDN,应减小去耦元件的值。相应地,峰值电流可以在表 3 所示的允差范围内变化。

表 3 在 CDN 的 EUT 端口的振铃波参数

短路条件下的振铃波参数	峰值电流
峰值电流 I_{Pk_1}	$\pm 10\%$
额定电流 ≤ 16 A	$\pm 10\%$
16 A < 额定电流 ≤ 32 A	$+10\%$
32 A < 额定电流 ≤ 63 A	-25%
注:此额定电流是 CDN 的额定值。	

在 CDN 的输出端,除重复率外的所有性能特性应满足 6.1.3 中的规定。在同一极性的 0° 、 90° 、 180° 和 270° ,应满足相移性能。

上述特性适用于单相系统(相线、中线、保护地线)和三相系统(三相线、中线和保护地线)。

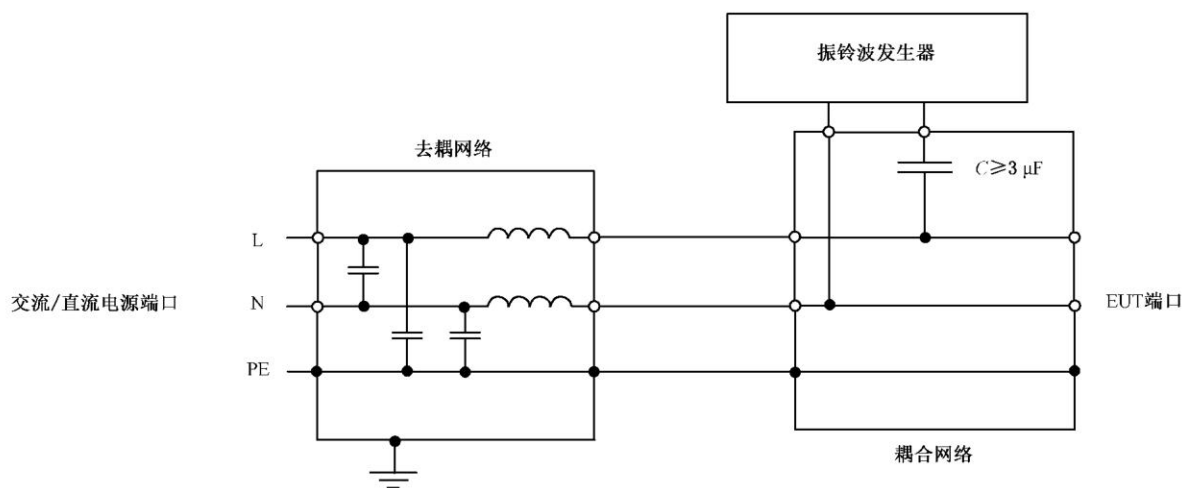


图 4 用于交流/直流线的电容耦合的 CDN 示例:线-线耦合

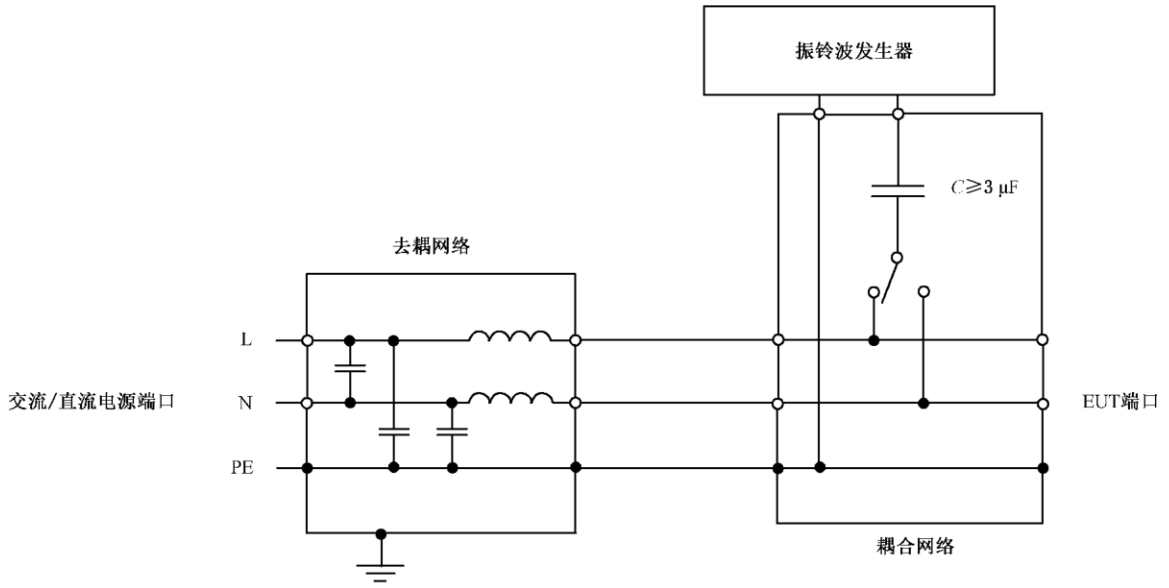
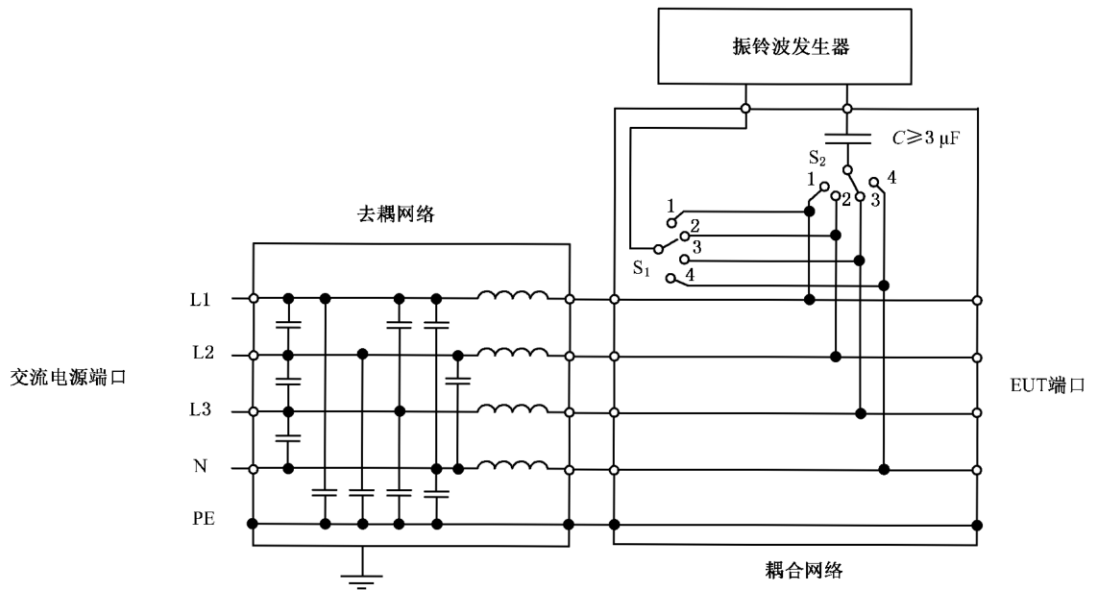
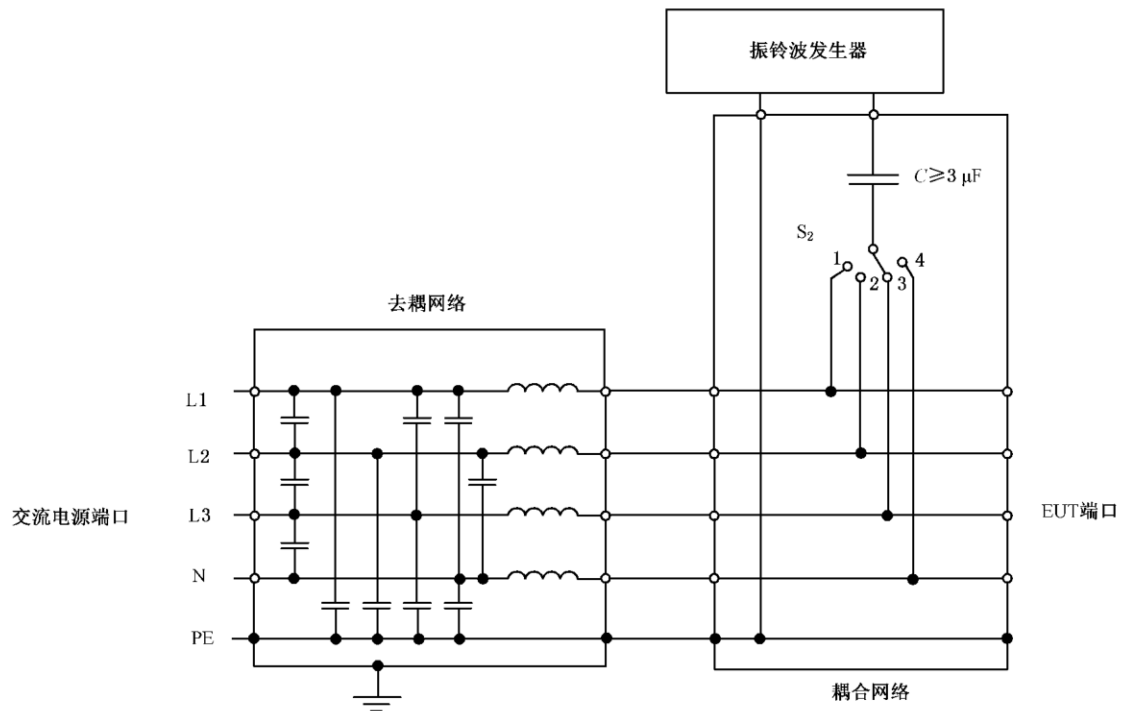


图5 用于交流/直流线的电容耦合的 CDN 示例:线-地耦合



开关 S_1 和 S_2 用于选择不同的被测线。
 试验期间,开关 S_1 和开关 S_2 的位置不同。

图6 用于交流线(三相)的电容耦合的 CDN 示例:线 L3-线 L2 耦合



开关 S_2 用于选择单独的被测线。

图 7 用于交流线(三相)的电容耦合的 CDN 示例:线 L3-地耦合

6.2.3 用于互连线的 CDN

6.2.3.1 通则

应依据产品说明书或产品标准中采用的互连电缆类型、电路以及工作状态来选择耦合方法。

对于非屏蔽线,需使用可确保互连线和振铃波发生器之间有足够隔离,且允许振铃波脉冲有效转移的耦合装置(CD)进行耦合。

可使用如电容器或气体放电管(GDT)等任何能够满足耦合及隔离要求的耦合装置。

使用电容耦合能保持波形的完整,但可能对高速数据传输产生滤波作用。

雪崩器件如 GDT,有较低的寄生电容,允许连接到大多数类型的互连线。所选耦合装置的击穿电压尽可能低,但应高于被测线的最大工作电压。

所有 CDN 均应满足 6.3 的校准要求。

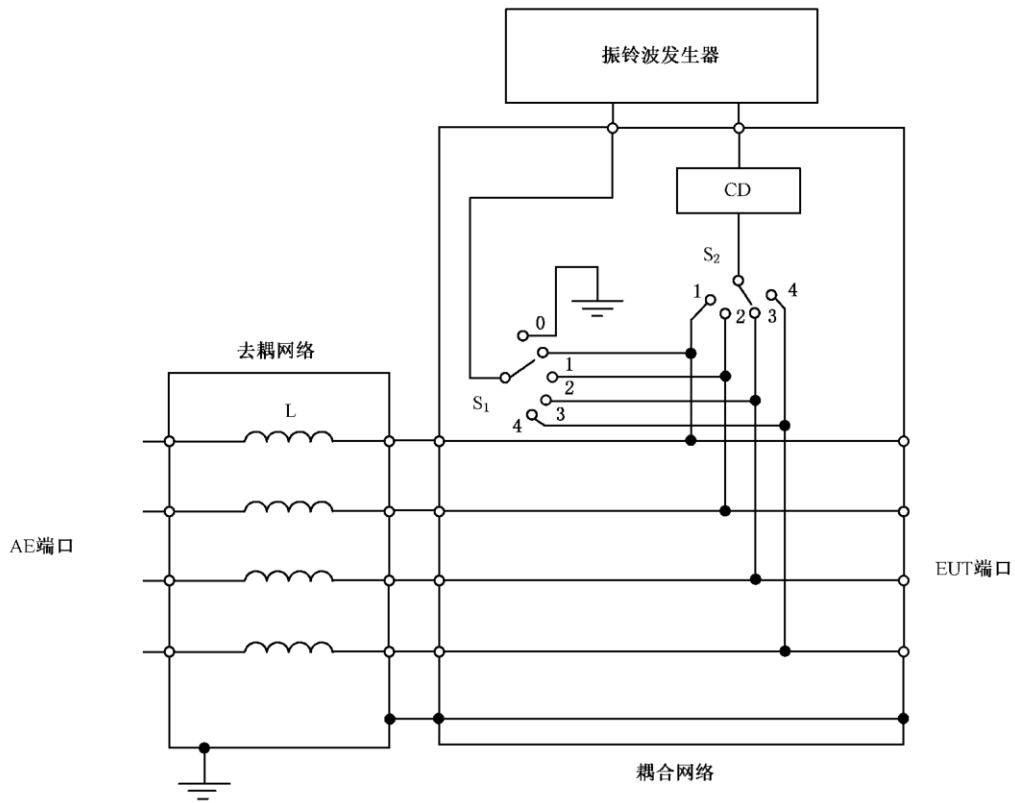
如果信号线是对称的,则应在去耦网络中使用电流补偿电感器。

AE 侧所需的去耦性能取决于应用规范并决定了所用去耦元件(电感、电阻、电容、GDT、箝位器件等)的值。为了确保最佳的去耦性能和对 AE 的保护,需要对去耦元件的选择进行具体分析。

6.2.3.2 施加于非屏蔽不对称互连线的振铃波的耦合/去耦

非屏蔽不对称互连线的耦合既可以是线对线,也可以是线对地。在每线上用一个去耦扼流圈进行去耦。

非屏蔽不对称互连线的耦合/去耦网络示例见图 8。



- 1) 开关 S_1
 ——线对地:位置 0;
 ——线对线:位置 1 至 4。
 2) 开关 S_2 :位置 1 至 4
 ——试验时,开关 S_2 的位置不同于开关 S_1 。
 注:耦合装置的详细资料见表 5。

图 8 用于非屏蔽不对称互连线的 CDN 示例:线-线/线-地耦合

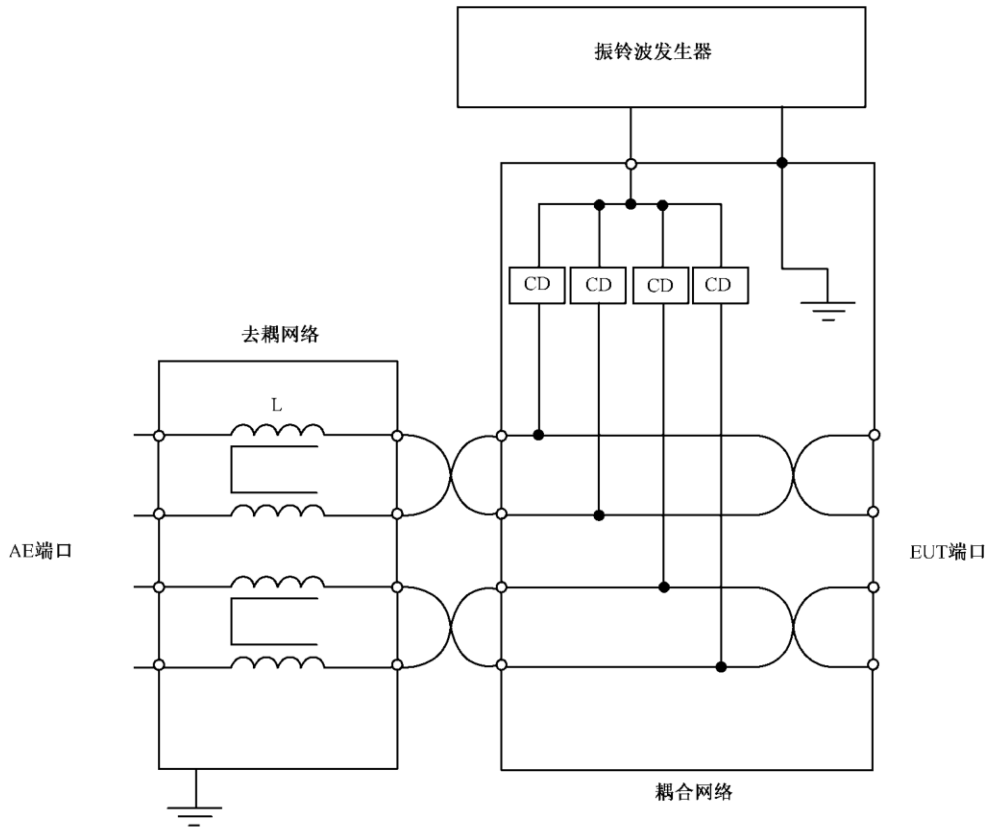
6.2.3.3 施加于非屏蔽对称互连线的振铃波的耦合/去耦

由于非屏蔽布线的特性,对称互连线(双绞线)的耦合总是以共模方式即所有线对地耦合的方式进行。

通常认为从振铃波发生器到 EUT 的能量转移是与电缆内线数量无关的常量。CDN 的选择应符合电缆中存在的线/对线的数量;然而,多于八线/四对线的电缆应被分开,并通过数个八线/四对线 CDN 连接。

用共模扼流圈进行去耦,可允许高速数据传输并确保有效的共模去耦。

非屏蔽对称互连线的耦合/去耦网络示例见图 9。



带电流补偿的 L 可以包含所有四个线圈或只是起作用的线对(如图 9 所示)。

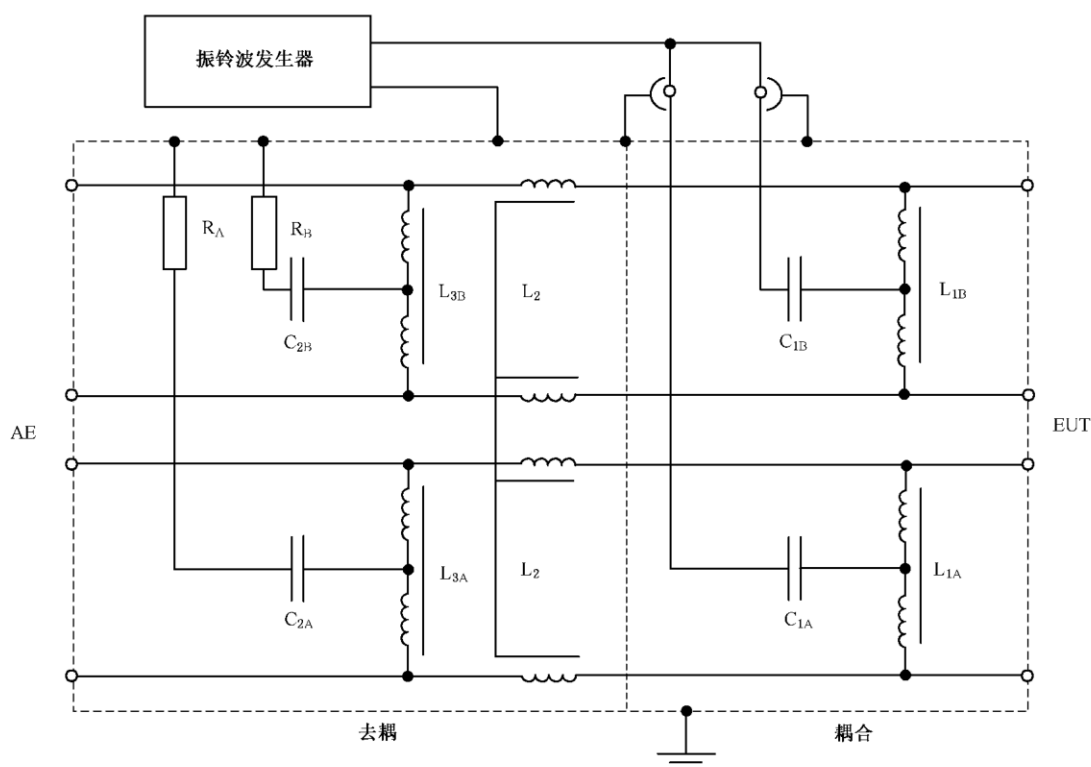
注：耦合装置的详细资料见表 7。

图 9 用于非屏蔽对称互连线的 CDN 示例：所有线-地耦合

对于高速互连线，可使用图 9 和图 10 列举的 CDN。

为了避免耦合和去耦电容器对数据传输产生滤波作用，需要采用耦合电容与耦合扼流圈相结合的平衡高频设计。

用于两对对称互连线的耦合和去耦网络示例见图 10。具有类似设计的四对对称互连线耦合和去耦网络允许进行互连速度达 1 Gbit/s(以太网)的试验。



$R_A, R_B, C_1, C_2, L_1, L_2, L_3$: 选择所有组件, 以便满足指定的脉冲参数。

注: 对于两对线或多对线发生器阻抗是 30Ω 。

图 10 用于非屏蔽对称互连线的 CDN 示例: 所有线-地耦合, 用电容耦合

若 CDN 对 EUT 的影响会使其无法实现正常功能, 产品标准化技术委员会应指定适当的运行状态或无振铃波试验要求。

6.3 CDN 的校准

6.3.1 通则

为了比较来自不同 CDN 的试验结果, 应定期校准 CDN。因此, 需要按下列程序测量 CDN 的最基本特性。在 CDN 的 EUT 端口测得的波形参数取决于发生器源, 因此该参数仅适用于特定的被测发生器/CDN 的组合。

用于校准 CDN 的测量设备与校准发生器所用测量设备具有相同的要求(见 6.1.4)。

6.3.2 用于每线电流不超过 63 A 的交流/直流电源端口的 CDN 的校准

应在同一电压下在开路条件(负载大于或等于 $10 \text{ k}\Omega$)和短路条件(负载小于 0.1Ω)测量 CDN 的特性。

在不连接 EUT 和电源的情况下, 在耦合线和去耦网络交流/直流电源端口的地之间测得的残余振铃波电压不应超过最大试验电压 15% 或 CDN 额定电压峰值两倍中的较高值。

在不连接 EUT 和电源的情况下, 在非耦合线和地之间测得的非预期振铃波电压不应超过最大试验电压 15%(开路)。

注: 由于耦合/去耦网络的结构, 在线对地耦合期间试验电压的一些有效部分可表现为线对线电压。在 EUT 为高阻抗的情况下, 此电压可能高于相应的线对线试验等级(进一步的信息见 7.3)。

当交流/直流电源端口处于开路状态时,在 CDN 的 EUT 端口所有性能特点应满足 6.2.2 表 3 的规定。

6.3.3 用于互连线的 CDN 的校准

6.3.3.1 概述

使用与进行试验相同的配置(安装相同的耦合和去耦元件)来校准用于互连线的 CDN,可满足要求并加以推荐。

在断开 EUT 端和 AE 端所连接设备的情况下,在 CDN 的 AE 端测量并记录耦合线路和接地线路之间的残余振铃波电压,以便 CDN 的使用者可以确定,对于使用某特定 AE 是否具有足够的保护。

6.3.3.2 用于不对称互连线的 CDN 的校准

将脉冲施加到耦合路径上进行测量,每次施加一条路径。

应依据表 4 在 EUT 端口测量 CDN 在额定脉冲电压时的峰值电压、上升时间、振荡周期和峰值间比率。

应依据表 4 在 EUT 端口测量 CDN 在额定脉冲电压时的峰值电流和上升时间。

测量 EUT 端口的脉冲电压和脉冲电流时, DN 在 AE 侧的输入端应与 PE 短路。

残余电压值取决于 AE 的保护需求。因此本文件中未给出限制。

表 4 用于不对称互连线的 CDN 的校准程序一览

	耦合	测量	AE 侧	EUT 侧
EUT 侧的振铃波电压	单根线对地	单根线 峰值电压、上升时间、电压振荡周期、峰值间比率	所有线短 接到地	开路
EUT 侧的振铃波电流	单根线对地	单根线 峰值电流、上升时间	所有线短 接到地	短路
EUT 侧的振铃波电压	单根线对线	单根线 峰值电压、上升时间、电压振荡周期、峰值间比率	所有线短 接到地	开路
EUT 侧的振铃波电流	单根线对线	单根线 峰值电流、上升时间	所有线短 接到地	短路
AE 侧(包括保护元件)的残余电压	单根线对地	每根线依次对地 峰值电压	开路	开路

此校准程序的目的是确认元件的正常功能,如去耦线圈的饱和、DN 部分的去耦效果、电流容量以及 CN 部分的耦合效果等。上述耦合方法对电压和电流波形有影响。用于校准的参数在表 5 中规定。

表 5 用于不对称互连线的 CDN 的 EUT 端口上振铃波波形规范

耦合方法	振铃波发生器 输出电压 ^{a,b,c}	在 CDN 的 EUT 端口上的 U_{Pk_1} ($1\pm 10\%$)	电压上升时间 T_1 ($1\pm 30\%$)	电压振荡 周期 T ($1\pm 10\%$)	在 CDN 的 EUT 端口上的 I_{Pk_1} ($1\pm 10\%$)	电流上升时间 T_1
线-地 $CD \geq 3 \mu\text{F}$	4 kV	4 kV	0.5 μs	10 μs	133.3 A	0.2 $\mu\text{s} \sim 1.0 \mu\text{s}$
线-地 $CD = \text{GDT}$	4 kV	4 kV	0.5 μs	10 μs	133.3 A	0.2 $\mu\text{s} \sim 1.0 \mu\text{s}$
线-线 $CD \geq 3 \mu\text{F}$	4 kV	4 kV	0.5 μs	10 μs	133.3 A	0.2 $\mu\text{s} \sim 1.0 \mu\text{s}$
线-线 $CD = \text{GDT}$	4 kV	4 kV	0.5 μs	10 μs	133.3 A	0.2 $\mu\text{s} \sim 1.0 \mu\text{s}$

^a 宜在最大额定脉冲电压下校准 CDN。因为这将最大限度减少 CLD 和 GDT 所产生的噪声带来的影响。表中所示的值用于发生器设置为 4 kV 和 30 Ω 的情况。当 CDN 的最大额定脉冲电压是其他值时,则校准应在此最大额定脉冲电压下进行。应相应调整短路峰值电流规范。例如,如果最大电压为 1 kV,本表所示的短路电流值应乘以 1/4。

^b 通过气体放电管、箝位器件或雪崩装置耦合会在脉冲波形中引入一些开关噪声。工作在尽可能高的冲击电压下可最大限度地减少它们对测量的影响,测量上升沿和持续时间时宜忽略开关噪声。

^c 本表所示的值是振铃波发生器的理想值。如果振铃波发生器的参数值接近允差,则 CDN 的附加允差可能使振铃波发生器和 CDN 的组合产生的值超出允差。

6.3.3.3 用于对称互连线的 CDN 的校准

应在表 6 所示的 CDN 额定脉冲电压下进行测量。应在 EUT 端口按表 6 测量峰值电压和电流、上升时间和振荡周期。

在测量 EUT 端口的电压和电流时, DN 在 AE 侧的输入端应与 PE 短路。

残余电压值取决于 AE 的保护需求。因此本文件中未给出限制。

注:也可以测量不同对线之间的开路电压。当 EUT 对网络平衡度要求很高时,导线之间的差模电压会使 EUT 产生故障误报。差模电压值的允差取决于 EUT 的设计,本文件没有给出限制。

表 6 用于对称互连线的 CDN 的校准程序一览

	耦合	测量	AE 侧	EUT 侧
EUT 侧的振铃波电压	共模(所有线-地)	所有线之间短接 峰值电压、上升时间、电压振荡 周期、峰值间比率	所有线短接 到地	开路(所有线连 接在一起)
EUT 侧的振铃波电流	共模(所有线-地)	所有线之间短接 峰值电流、上升时间	所有线短接 到地	短路
AE 侧(包括保护元件)的 残余电压	共模(所有线-地)	每根线依次对地 峰值电压	开路	开路

此校准程序的目的是确认元件的正常功能,如去耦线圈的饱和、DN 部分的去耦效果、电流容量以及 CN 部分的耦合效果等。上述耦合方法对电压和电流波形有影响。用于校准的参数在表 7 中规定。

表 7 用于对称互连线的 CDN 的 EUT 端口上振铃波波形规范

耦合方法	振铃波发生器 输出电压 ^{a,b,c}	在 CDN 的 EUT 端口上的 U_{Pk1} $\pm 10\%$	电压上升时间 T_1 $\pm 30\%$	电压振荡 周期 T $\pm 10\%$	在 CDN 的 EUT 端口上的 I_{Pk1} $\pm 10\%$	电流上升时间 T_1
共模 CD ^d	2 kV	2 kV	0.5 μ s	10 μ s	66.7 A	0.2 μ s~1.0 μ s

^a 宜在最大额定脉冲电压下校准 CDN。因为这将最大限度减少 CLD 和 GDT 所产生的噪声带来的影响。表中所示的值用于发生器设置为 2 kV 和 30 Ω 的情况。当 CDN 的最大额定脉冲电压是其他值时,则校准应在此最大额定脉冲电压下进行。应相应调整短路峰值电流规范。例如,如果最大电压为 4 kV,短路电流值应乘以 2。

^b 通过气体放电管、箝位器件或雪崩装置耦合会在脉冲波形中引入一些开关噪声。工作在尽可能高的冲击电压下可最大限度地减少它们对测量的影响,因此在测量峰值时宜忽略开关噪声。

^c 本表所示的值是 30 Ω 振铃波发生器的理想值。如果振铃波发生器的参数值接近允差,则 CDN 的附加允差可能使振铃波发生器和 CDN 的组合产生的值超出允差。

^d CD 可以是电容器、气体放电管、箝位器件、雪崩器件或任何允许 EUT 所需的数据功能正常并同时满足本表脉冲波形参数的方法。

7 试验布置

7.1 试验设备

以下设备是试验布置的一部分:

- EUT;
- 辅助设备(需要时);
- 线缆(特定类型及长度);
- 耦合/去耦网络;
- 振铃波发生器;
- 7.6 及图 11 所述的屏蔽线缆试验用参考接地平面。

7.2 试验设备的验证

验证的目的是确保进行了正确的试验布置。试验布置包括:

- 振铃波发生器;
- CDN;
- 试验设备的内部连接线。

为了验证系统功能的准确,需要检查以下信号:

- CDN 输出端口的振铃波。

EUT 无需接入系统,使用合适的测量设备(例如示波器)验证任何等级的振铃波,只要有波形出现即可。

注:实验室可以规定一个内部控制参考值作为该验证程序的指定值。

7.3 EUT 电源端口的试验布置

振铃波经容性耦合网络施加到 EUT 的电源端口(见图 4、图 5、图 6 和图 7)。为避免对同一电源供

电的非 EUT 产生不利影响,并为振铃波提供足够的去耦阻抗,同时将规定的振铃波施加到受试线缆上,需要使用去耦网络。

对于表 3 中要求的 CDN 的选择应满足 EUT 的额定电流要求(例如,额定电流 5 A 的 EUT 应采用一个额定电流 16 A 的 CDN)。对于额定电流相对较低的 EUT,任何高于其额定电流的 CDN 都可以使用,只要该 CDN 满足表 3 中规定的要求(例如,额定电流 63 A 的 CDN 可以用于额定电流 5 A 的 EUT 的试验,只要该 CDN 满足额定电流 16 A 的 CDN 的要求)。

如果没有其他规定,EUT 和耦合网络之间的电源线长度不应超过 2 m。

本文件规定,只有直接连接到交流或直流电源系统(配电网)的端口才被认为是电源端口。

产品标准化技术委员会可以决定,对不连接到配电网的电源端口是否采用 6.3.3 规定的 CDN 进行试验。

直流电源振铃波试验施加在线-线之间(例如,0 V 与 -48 V 之间)和线-地之间(例如,0 V 与地之间,-48 V 与地之间)。

对于双重绝缘产品(即产品没有任何专门的接地端子),不施加线-地的振铃波。

对于有除 PE 外的其他接地端子的双重绝缘产品,产品标准化技术委员会可以决定是否进行线-地振铃波试验。

7.4 非屏蔽不对称互连线的试验布置

CDN 不应影响受试线路规定的功能状态。

图 8 为耦合网络的示例。

如果没有其他规定,EUT 和 CDN 之间的互连线长度不应超过 2 m。

对于双重绝缘产品(即产品没有任何专门的接地端子),不施加线-地的振铃波。

7.5 非屏蔽对称互连线的试验布置

适用于对称互连线的耦合网络的示例见图 9 和图 10。

注:如果使用避雷器耦合,不能对避雷器触发点(对额定电压为 90 V 的气体放电管约为 300 V)以下的试验等级作规定。

如果没有其他规定,EUT 和 CDN 之间的互连线长度不应超过 2 m。

对于高速互连线的振铃波试验,当 EUT 由于 CDN 的影响而不能正常工作时,不应施加振铃波试验。

对于双重绝缘产品(即产品没有任何专门的接地端子),不施加线-地的振铃波。

7.6 屏蔽线的试验布置

EUT 与地绝缘,振铃波直接施加在 EUT 的金属外壳;受试端口的终端(或辅助设备)接地。该试验适用于使用一根或多根屏蔽线的设备(见图 11)。

注 1: 图 11 提到的参考地是一个低阻抗基准,可采用专用电缆或接地平面实现。

除受试端口,所有与 EUT 连接的端口都应通过合适方法如安全隔离变压器或合适的去耦网络与地隔离。

对于双重绝缘产品(即产品没有任何专门的接地端子),不施加线-地的振铃波。

受试端口与连接到该端口的电缆的另一端的装置(图 11 中的 AE)之间的电缆长度应是:

——20 m(首选长度);或

——超过 10 m 的最短长度,为由制造商提供的在安装中使用的预制电缆。

对于制造商规定的长度 ≤ 10 m 的电缆不进行振铃波试验。

EUT 与 AE 之间的电缆应采用非感性捆扎或双线绕法,并放置在绝缘支撑上。

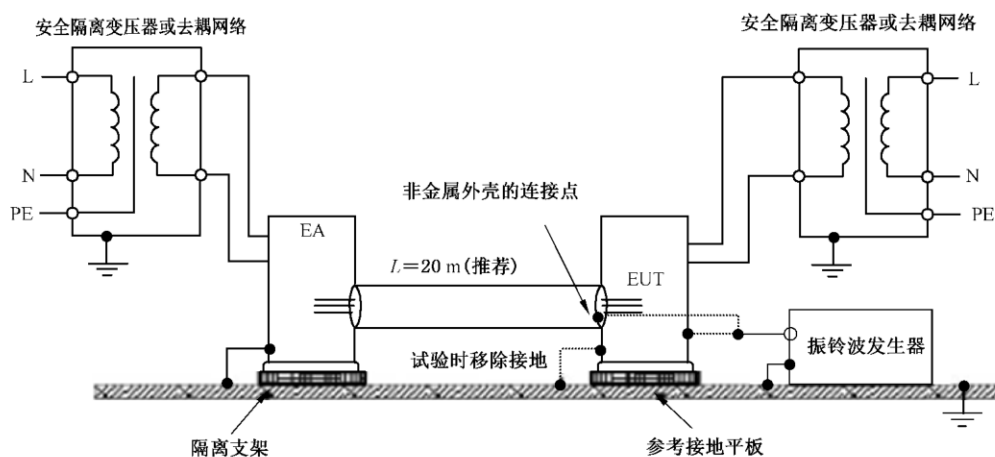
屏蔽线施加振铃波的规则：

- a) 双端接地的屏蔽线
——按图 11 进行试验。
- b) 单端接地的屏蔽线
——应按 7.4 或 7.5(见图 3)进行试验,因为此类屏蔽对由磁场感应的振铃波不能提供任何防护。

注 2: 在这种情况下,振铃波试验不适用于此类屏蔽。

对于没有金属外壳的 EUT,振铃波直接施加到 EUT 侧的屏蔽电缆上。

天线端口不进行振铃波试验(见表 B.2)。



允许不经过上图所示的隔离变压器而通过去耦网络为 EUT 和/或 AE 供电,但此时,EUT 的保护地不宜连接到去耦网络。

直流供电的 EUT 或 AE 宜通过去耦网络供电。

需要将 AE 与振铃波信号隔离时,受试线缆 AE 侧的接地连接可以通过直接连接到屏蔽层而实现,而不用连接到 AE 的机壳。如果需要进一步隔离,且线缆可以在不影响屏蔽完整性(例如,采用同轴连接器或以太网屏蔽电缆连接器)的情况下延伸,则可以通过扩展连接器的屏蔽来实现地连接。在这种情况下,受试线缆的长度是指 EUT 和扩展连接器之间的长度而非 EUT 和 AE 之间的长度。扩展连接器和 AE 之间的线缆长度不作硬性要求。

图 11 用于屏蔽线的试验布置

7.7 保护接地

为了满足安全方面的规范,可以在不使用 RGP 的情况下进行振铃波试验,但可能会影响重复性。当不使用 RGP 进行试验时,重要的是尽量减小与试验配置以外导体(包括保护接地导体)和设备的耦合。

为此,每个单元(试验发生器,耦合/去耦网络和 EUT)的保护接地(PE)被连接到耦合/去耦网络的 PE 输入端。

试验发生器的机壳应连接到 PE,但发生器的输出端应浮地。

8 试验程序

8.1 概述

试验程序包括：

- 根据 7.2 验证试验设备；

- 建立实验室参考条件；
- 确认设备的正确运行；
- 实施试验；
- 试验结果的评定(见第9章)。

8.2 实验室参考条件

8.2.1 气候条件

除非负责制定通用标准和产品标准的专业标准化委员会另有规定,实验室气候条件应在 EUT 和试验设备各自制造商所规定的运行范围内。

如果相对湿度过高以至于在 EUT 或试验设备上造成了结露,则不能进行试验。

8.2.2 电磁环境

实验室电磁环境应确保 EUT 正确运行,保证试验结果不受影响。

8.3 试验实施

应进行验证。宜在试验前进行验证(见 7.2)。

试验应根据详细说明试验配置的试验计划进行实施,它包括:

- 试验等级；
- 脉冲数量(对每个耦合路径)；
除相关标准中另有规定,振铃波脉冲数量应：
 - 对于 DC 电源端口和互连线,应施加正极性和负极性各 5 次的振铃波脉冲；
 - 对于 AC 电源端口,应分别在 0°、90°、180° 和 270° 相位施加正、负极性各 5 次的振铃波脉冲；
- 连续脉冲之间的时间:1 min 或更少；
- EUT 的典型工作条件；
- 受试的 EUT 端口；
- 试验发生器和每个试验所选择的内阻抗；
- 应用的试验等级。

电源端口(AC 或 DC)可以是输入端口或输出端口。

在振铃波可能通过输出端口(例如,大功率负载的切换)进入到 EUT 内部的应用条件下,宜在输出端口施加振铃波。

当测试三相系统时,同步相位角应取自相同的被测线,例如,当在 L2 和 L3 之间施加振铃波脉冲时,相位角应与 L2 和 L3 之间电压的相位同步。

如果耦合线缆之间没有电源电压,则不实施同步,例如,TN-S 电源分配系统的 N 与 PE 之间。在这种情况下,应施加五个正脉冲和五个负脉冲。

对于低压 DC 输入/输出端口(≤ 60 V),当次级电路(与 AC 电源相隔离)不承受瞬态过电压时(例如,可靠接地、容性滤波的 DC 次级电路,其峰-峰纹波小于 DC 分量的 10%),不施加振铃波。

注 1: 在有几个相同电路的情况下,只需选择一定数量的电路进行典型测量即可。

如果重复率比 1/min 更快的试验会使 EUT 发生故障,而按 1/min 重复率进行试验时 EUT 能正常工作,则使用 1/min 的重复率进行测试。

注 2: 产品标准化技术委员会可以选择不同的相位角,如果其产品适合时可增加或减少每个相位的振铃波的数量。

注 3: 对于常用的浪涌保护装置,尽管它们的峰值功率或峰值能量指标能经受大电流,但是它们的平均功率较低。因此两次振铃波的时间间隔取决于 EUT 内置的保护装置。

注 4：试验应用的更多信息在 C.2 中给出。

在线对地试验时，当没有其他说明时，线缆应依次分别试验。

试验程序也考虑了 EUT 的非线性电流-电压特性，因此，应进行所选试验等级以及所有更低等级（见表 1）的试验。

对于测量不确定度的考虑，见附录 D。

9 试验结果评定

试验结果应依据 EUT 的功能丧失或性能降级进行分类。相关的性能等级由设备的制造商或试验的需求方确定，或由产品的制造商和买方双方协商同意。宜按如下要求分类：

- a) 在制造商、需求方或买方规定的限值内性能正常；
- b) 功能或性能暂时丧失或降低，但在骚扰停止后能自行恢复，不需要操作者干预；
- c) 功能或性能暂时丧失或降低，但需操作者干预才能恢复；
- d) 因设备硬件或软件损坏，或数据丢失而造成不可恢复的功能丧失或降低。

制造商的技术规范中可以规定一些对 EUT 产生了影响但被认为是不重要的因而是可以接受的效应。

这个分类可以作为指南供负责通用标准、产品和产品类标准的委员会使用，用来规定性能判据；或在没有合适的通用、产品或产品类标准时，也可以作为制造商和买方之间协商性能判据的框架使用。

10 试验报告

试验报告应包含能重现试验的全部信息。特别是下列内容：

- 第 8 章要求的试验计划中规定的内容；
- EUT 和辅助设备的标识，例如商标名称、产品型号和序列号；
- 试验设备的标识，例如商标名称、产品型号和序列号；
- 任何进行试验所需的专门的环境条件，例如屏蔽室；
- 确保试验进行所需的任何特定的条件；
- 制造商、需求方或买方规定的性能等级；
- 在通用标准、产品标准或产品类标准中规定的性能判据；
- 在骚扰施加期间及以后，观察到的对 EUT 的任何影响，及其持续时间；
- 判定试验合格/不合格的理由（依据通用标准、产品标准或产品类标准规定的性能判据或制造商和买方达成的协议）；
- 为达到符合性要求而采用的任何特殊条件，例如电缆长度或类型，屏蔽或接地，或 EUT 运行条件。
- 试验配置（硬件），包括使用的耦合方法；
- 试验配置（软件）。

附录 A

(资料性)

电磁环境信息、安装类别和试验等级

振铃波现象用于抗扰度试验的相关性取决于预期操作设备的电磁环境。根据代表相关电磁环境的通用安装惯例,可基于以下分类给出选择振铃波试验等级的指南。根据对振铃波现象的描述(见 4.1),考虑了开关切换和雷击的影响。

0 类

——保护良好的电气环境,通常在一个特殊的房间内。所有引入电缆都有过电压(初级和次级)保护。电子设备的各个单元通过良好设计的接地系统相互连接,不受电力装置或雷击的影响。电子设备有专用电源(见表 B.1)。

1 类

开关切换:

——EUT 的电源端口连接到受保护的本地电源(例如不间断电源系统、电源转换器)。EUT 输入/输出端口的电缆与此类电力电缆平行敷设。

雷击:

——设备的电源、输入/输出端口安装在部分保护区域(例如控制室),表 1 中的试验等级 1 涵盖了此类要求。

2 类

开关切换:

——EUT 的电源端口直接连接到居住区的公用电源分配系统,或通过隔离变压器、保护装置等与专用电源分配系统断开连接。EUT 输入/输出端口的电缆与该类电力电缆平行敷设。

雷击:

——电源、输入/输出端口与屏蔽电缆相连。表 1 中的试验等级 2 涵盖了此类要求。

3 类

开关切换:

——EUT 的电源端口连接到电气和工业设备的专用配电系统。EUT 输入/输出端口的电缆与此类电力电缆并行运行。

雷击:

——电源端口与非屏蔽电缆连接,电源、输入/输出端口与室外电缆的连接有缓解措施(如金属电缆槽)。如表 1 所示,试验等级 3 涵盖了此类要求。

4 类

开关切换:

——EUT 的电源端口连接到切换大容量感性负载的电气和工业设备的电源。EUT 输入/输出端口的电缆与此类电力电缆平行敷设。

雷击:

——电源、输入/输出端口与室外电缆连接,无屏蔽规定。表 1 中的试验等级 4 涵盖了此类要求。

5 类

开关切换:

——与非人口密集地区的通信电缆和架空电力线路相连的电子设备。

雷击:

——所有通信电缆和架空电力线路都有过电压(初级)保护。电子设备外部没有广泛的接地系统

(裸露设备)。雷击(电流高达 100 kA)产生的干扰电压可能非常高。如表 1 所示,4 级试验涵盖了该等级的要求。

X 类

——骚扰源与设备电路、电缆、线路之间有较弱或较强的电磁隔离,以及考虑安装性质可能需要使用比上述更高或更低的试验等级。这可能需要个案评估。

应注意,与较高试验等级的电磁环境相关的设备线路(如电缆、母线、架空线路)可能接入到分配给较低试验等级环境的位置。在这种情况下,应根据较低试验等级环境的位置重新评估与之对应的合适的试验等级。

制造商应根据规定的试验等级对其设备进行试验,以确认设备级抗扰度,例如,在 EUT 的端口进行 0.5 kV 的二次保护。设备用户或安装负责人应采取必要的措施(如屏蔽、连接、接地保护),以确保开关切换引起的骚扰电压不超过所选的抗扰度等级。

上述参考电磁环境选择试验等级的做法只是一种指南。在某些情况下,可能会将某个位置指定为上述电磁环境中的一种,但由于相关设备的特性或其他情况,与参考电磁环境所选择的试验等级相比,可能另一种试验等级会更合适。相应的评估应由相关方(如产品标准化技术委员会)完成。

附 录 B

(资料性)

发生器和试验等级的选择

B.1 概述

试验等级推荐根据安装情况来选择,也可在产品标准或产品类标准中规定。如果没有规定试验等级,表 B.1、表 B.2 和附录 A 中给出的信息推荐一起使用。这些值仅用于示例而不是建议或要求。选择的值仅出于解释说明目的,不是实际应用的建议。

B.2 环境分类

环境分类如下:

- 0 类:保护良好的电气环境,通常在一间专用的房间内;
- 1 类:有部分保护的电气环境;
- 2 类:电缆隔离良好,甚至短走线也隔离良好的电气环境;
- 3 类:电缆平行敷设的电气环境;
- 4 类:互连线作为户外电缆沿电源电缆敷设并且这些电缆被作为电子和电气线路的电气环境;
- 5 类:在非人口稠密区电子设备与通信电缆以及架空电力线连接的电气环境;
- X 类:产品技术要求中规定的特殊环境;

为了证明系统级抗扰度,宜采取与实际安装情况有关的其他措施,例如一次保护。其他资料在附录 C 中给出。

B.3 端口类型的定义

定义了如下端口:

系统内端口:

——连接到同一系统其他端口的端口。

内部端口:

- 仅连接到同一建筑物内电缆上的端口;
- 不用来提供直接户外连接服务的端口;
- 不会经由传导方式连接到通过其他设备(例如,通过分离器)离开建筑物线缆的端口。

外部端口:

- 直接连接到离开建筑物线缆上的端口;
- 经由传导方式连接到通过其他设备(例如,通过分离器)离开建筑物线缆的端口。

B.4 试验等级的选择

表 B.1 和表 B.2 给出了试验等级选择的示例。

表 B.1 电源端口:试验等级的选择(取决于安装情况)

安装类别	试验等级/kV							
	AC 电源和 a.c.I/O 外部端口 ^a		AC 电源和 a.c.I/O 内部端口 ^{a,d}		DC 电源和 d.c.I/O 外部端口 ^a		DC 电源和 d.c.I/O 内部端口 ^{a,d}	
	耦合方式		耦合方式		耦合方式		耦合方式	
	线-线	线-地	线-线	线-地	线-线	线-地	线-线	线-地
0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1	NA	0.5	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2	0.5	1.0	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3	1.0	2.0	1.0	2.0	NA	NA	NA	NA
4	2.0 ^b	4.0 ^b	2.0 ^b	4.0 ^b	2.0 ^b	4.0 ^b	2.0 ^b	4.0 ^b
5	c,b	c,b	2.0 ^b	4.0 ^b	2.0 ^b	4.0 ^b	2.0 ^b	4.0 ^b

^a 不宜对实际使用长度小于或等于 10 m 的电缆进行试验。
^b 在预计总是使用一次保护的端口,在有一次保护的情况下进行试验,从而保证与带保护元件的情况一致。如果端口要求有一次保护,但并未安装时,试验也宜在安装典型一次保护器的条件下按照指定一次保护的最高让通电平进行。
^c 取决于当地电力系统的等级。
^d 系统内端口通常不要求试验。

表 B.2 电路/线路:试验等级的选择(取决于安装情况)

安装类别	试验等级/kV											
	非对称工作的电路/线路 ^{a,c,e}				对称工作的电路/线路 ^{a,c,e}				屏蔽的电路/线路 ^{a,d,e}			
	外部端口		内部端口		外部端口		内部端口		外部端口		内部端口	
	线-线	线-地	线-线	线-地	线-线	线-地	线-线	线-地	线-线	线-地	线-线	线-地
0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1	NA	NA	NA	0.5	NA	NA	NA	0.5	NA	NA	NA	NA
2	NA	NA	0.5	1.0	NA	NA	NA	1.0	NA	NA	NA	1.0
3	NA	NA	1.0	2.0	NA	NA	NA	2.0	NA	NA	NA	2.0
4	2.0 ^b	4.0 ^b	2.0 ^b	4.0 ^b	NA	4.0 ^b	NA	4.0 ^b	NA	4.0 ^b	NA	4.0 ^b
5	2.0 ^b	4.0 ^b	2.0 ^b	4.0 ^b	NA	4.0 ^b	NA	4.0 ^b	NA	4.0 ^b	NA	4.0 ^b

^a 不宜对实际使用长度小于或等于 10 m 的电缆进行试验。
^b 在预计总是使用一次保护的端口,在有一次保护的情况下进行试验,从而保证与带保护元件的情况一致。如果端口要求有一次保护,但并未安装时,试验也宜在安装典型一次保护器的条件下按照指定一次保护的最高让通电平进行。
^c 线-线瞬态(横向)可能发生在与地之间连接了浪涌保护器(SPD)的网络中。此类振铃波不在本文件范围内。此现象可以通过确定的一次保护元件施加共模振铃波来模拟。
^d 连接到天线的端口不在本文件范围内。
^e 系统内端口通常不要求试验。

附录 C

(资料性)

注 释

C.1 不同的源阻抗

发生器源阻抗的选择取决于电缆、导体、线路的类型(交流电源、直流电源、屏蔽互连或非屏蔽互连线等),也取决于与电源(如发电机、变压器等)的接近程度决定的供电网络预期阻抗(见 6.1.2)。

C.2 试验的应用

C.2.1 设备级抗扰度

在实验室对单个 EUT 进行试验。对该 EUT 试验得出的抗扰度为设备级抗扰度。

表 B.1 和表 B.2 给出了试验等级优选范围。振铃波试验仅适用于外部连接(即机柜、外壳外部的连接)。

试验电压不超过 EUT 绝缘耐高压的规定电压。

如果可以进行系统级试验(见 C.2.2),则无需进行设备级试验,尤其在屏蔽互连线是保护措施一部分的情况下。

C.2.2 系统级抗扰度

在实验室进行的试验是对 EUT 而言的,但 EUT 的抗扰度并不足以保证包含 EUT 在内的更大系统的抗扰度。故推荐开展系统级的试验,以便尽可能模拟实际安装情况,确保系统的抗扰度。该模拟装置将包含各单个 EUT,如系统使用说明书或系统/网络运营商有要求,还包含保护装置(浪涌保护装置 SPD)。互连线的长度和类型会影响整个系统的保护等级,宜使用实际的互连线长度和类型。

附录 D

(资料性)

测量不确定度(MU)的考虑

D.1 概述

EMC 试验的复现性依赖于许多影响试验结果的因素或影响量。这些影响量可以分为随机的或系统的。通常通过一系列测量来确认实际骚扰量是否符合本文件规定的骚扰量(例如通过使用电压或电流探头用示波器测量脉冲的上升时间)。由于测量仪器不完善以及被测量本身的不可重复性,每个测量结果包含一定量的测量不确定度(MU)。

为了评估 MU,有必要:

- a) 明确不确定度的来源,包括测量设备以及被测对象;
- b) 明确影响(输入)量和测量(输出)结果之间的函数关系(测量模型);
- c) 得到输入量的估计值和标准不确定度;
- d) 得到包含被测量真值且具有高置信度区间的估计值。

在抗扰度试验中,对骚扰量参数(例如上升时间、峰值和振荡周期)进行评估和不确定度计算。这些参数描述了实际的骚扰量与本基础标准中所描述的骚扰量的一致程度。

从特定骚扰量导出的估计值和不确定度评定,并不能描述本基础标准中定义的模拟电磁现象与实验室外部真实世界中的电磁现象之间的一致程度。

由于骚扰量参数对 EUT 的影响是不可预知的,并且在大多数情况下 EUT 表现为非线性状态,所以既不能为骚扰量规定一个单一估计值,也不能为其规定不确定度来源的数量。因此,骚扰量的每个参数将伴随相应的估计值和不确定度。这将产生多个不确定度报告。

D.2 振铃波参数的说明

T_1 ——振铃波的上升时间(电压或电流,10%~90%);

T ——振铃波的周期(电压,在初始峰值后的第一个和第三个过零点之间的时间间隔);

Pk_1 ——振铃波的第一个峰值(电压或电流);

Pk_2 ——振铃波的第二个峰值(电压);

Pk_3 ——振铃波的第三个峰值(电压);

Pk_4 ——振铃波的第四个峰值(电压)。

注: IEC TR 61000-1-6 中给出了 $u(x_i)$, c_i , $u_i(y)$, $u_c(y)$, $U(y)$ 和 y 的含义及相互关系。

D.3 振铃波测量不确定度的影响因素

下面罗列了评估测量仪器和试验配置对不确定度的影响量:

- 峰值读数;
- 测量系统的带宽;
- 测量系统的脉冲响应波形;
- 示波器垂直轴测量误差;
- 测量系统、被测量和测试配置的重复性(A类);
- 示波器的校准;
- 电压和电流探头的校准。

D.4 发生器输出电压和电流测量的不确定度

D.4.1 概述

在振铃波抗扰度试验中,骚扰量是由试验发生器加上 CDN 组合产生并施加给 EUT 的脉冲电压和电流。如 D.1 所述,每个骚扰量的测量参数都需要提供不确定度报告。这些骚扰量的参数是(开路)电压和(短路)电流波形的上升时间 T_1 、电压和电流波形的第一峰值幅度 Pk_1 、电压波形频率 $1/T$ 、电压波形的衰减(Pk_2 和 Pk_1 、 Pk_3 和 Pk_2 、 Pk_4 和 Pk_3 之间的比值)和波形重复频率。尽管需要,但对电压波形频率、电压波形衰减和波形重复频率的测量不确定度的评估要求并不苛刻。因此,重点关注波形上升时间和峰值(电压和电流)。

D.4.5 和 D.4.6 中描述了评定脉冲 MU 采用的方法。表 D.1 和表 D.2 分别给出了第一个峰值幅度和上升时间参数的不确定度报告的示例。表 1 和表 2 包含本示例中认为最关键的输入量、MU 的每个影响因素的详细信息(数值、概率密度函数的类型等),以及确定不确定度报告所需的计算结果。

D.4.2 振铃波的上升时间

使用以下函数关系计算振铃波开路电压和短路电流的上升时间:

$$T_1 = \sqrt{(T_{90\%} - T_{10\%} + \delta R)^2 - T_{MS}^2}$$

式中:

$$T_{MS} = \frac{\alpha}{B}$$

$T_{10\%}$ ——达到第一个峰值幅度 10% 时的时间;

$T_{90\%}$ ——达到第一个峰值幅度 90% 时的时间;

δR ——非重复性的修正系数;

T_{MS} ——测量系统阶跃响应的上升时间(10%~90%),单位为微秒(μs);

B ——测量系统的-3 dB 带宽,单位为千赫(kHz);

α ——系数,其值为 360 ± 40 。

表 D.1 振铃波上升时间 T1 的不确定度评定的示例

符号	估计值	单位	误差范围	单位	概率密度函数	除数	$u(x_i)$	c_i	单位	$u_i(y)$	单位
$T_{10\%}$	0.07	μs	0.005 0	μs	三角	2.45	0.002 0	-1.001	1	0.002 0	μs
$T_{90\%}$	0.64	μs	0.005 0	μs	三角	2.45	0.002 0	1.001	1	0.002 0	μs
δR	0	μs	0.025	μs	正态($k=1$)	1.00	0.025	1.001	1	0.025	μs
α	360	$\mu s \cdot kHz$	40	$\mu s \cdot kHz$	矩形	1.73	23.1	-1.58×10^{-6}	1/kHz	0.000 04	μs
B	20 000	kHz	500	kHz	矩形	1.73	288.7	2.84×10^{-8}	$\mu s/kHz$	0.000 01	μs
合成标准不确定度 $u_c(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$										0.025 2	μs
扩展不确定度 $U(y) = 2u_c(y)$										0.05	μs
y										0.57	μs

$T_{10\%}$, $T_{90\%}$: 在第一个峰值幅度 10% 或 90% 处的时间读数。误差范围通过假设采用一台采样率为 100 MS/s 且具有轨迹内插能力的示波器(三角概率密度函数)获得。若不是这种情况,则假设是一个矩形概率密度函数。此处只考虑由采样率引起的 MU 的不确定度影响因素,对于其他影响因素,见 D.4.5。读数假定为 $T_{10\%} = 0.07 \mu s$ 和 $T_{90\%} = 0.64 \mu s$ 。

T_{MS} : 计算得到的测量系统阶跃响应的上升时间。系数 α 取决于测量系统的脉冲响应波形,其取值

范围 360 ± 40 代表了一大类系统,虽然每个系统具有不同的脉冲响应波形(见 D.4.5 和表 D.3)。测量系统的带宽 B ,可以通过实验方法获得(直接测量带宽)或根据测量系统的每个组成部分(本质上是电压和电流探头、电缆和示波器)的带宽 B_i 利用下式计算得到。

$$\frac{1}{B} = \sqrt{\left(\frac{1}{B_1}\right)^2 + \left(\frac{1}{B_2}\right)^2 + \dots}$$

假设 B 的估计值为 20 MHz,其矩形概率密度函数的误差范围为 500 kHz。

δR : 10%~90% 上升时间的非重复性修正系数。它量化了 $T_{10\%} \sim T_{90\%}$ 的测量中由测量仪器、测量布置和振铃波发生器自身特性引起的重复性不足。它通过实验方法确定。这是一种基于 n 次重复测量 q_j 样本的实验标准差 $s(q_k)$ 公式的 A 类评估,公式如下:

$$s(q_k) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2}$$

式中, \bar{q} 是 q_j 值的算术平均值。假设误差范围 $s(q_k) = 25 \text{ ns}$ (正态概率密度函数的 1 倍标准差),估计值为 0 ns。

注:可类似地得到开路电压和短路电流的不确定度计算。计算电压波形时, T_{MS} 包含电压探头的带宽,计算电流波形时, T_{MS} 包含电流探头的带宽。这两种情况的函数关系是相同的。

D.4.3 振铃波的峰值

使用以下函数关系式计算振铃波第一个峰值的短路电流:

$$Pk_1 = \frac{V_{Pk_1}}{Z_T} \cdot \frac{1 + \delta R + \delta V}{1 - (\beta/B)^2}$$

式中:

- V_{Pk_1} —— 脉冲电压峰值读数;
- Z_T —— 转移阻抗(或灵敏度)或电流探头或分流器;
- δR —— 非重复性的修正系数;
- δV —— 示波器的直流垂直准确度;
- B —— 电流测量系统的 -3 dB 带宽;
- β —— 系数,其值为 $142 \text{ kHz} \pm 16 \text{ kHz}$ 。

表 D.2 振铃波短路电流峰值(I_{Pk_1})的不确定度报告示例

符号	估计值	单位	误差范围	单位	概率密度函数	除数	$u(x_i)$	c_i	单位	$u_i(y)$	单位
V_{Pk_1}	0.321	V	0.000 6	V	三角	2.45	0.000 26	1 000	1/ Ω	0.256	A
Z_T	0.001	Ω	0.000 05	Ω	矩形	1.73	0.000 03	3.21×10^5	A/ Ω	9.267	A
δR	0	1	0.03	1	正态 $k=1$	1.00	0.030	321.0	A	9.630	A
δV	0	1	0.02	1	矩形	1.73	0.011 6	321.0	A	3.707	A
β	142	kHz	16	kHz	矩形	1.73	9.238	2.3×10^{-4}	A/kHz	0.002 11	A
B	20 000	kHz	500	kHz	矩形	1.73	288.7	-1.6×10^{-8}	A/kHz	0.000 47	A
合成标准不确定度 $u_c(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$										13.87	A
扩展不确定度 $U(y) = 2u_c(y)$										27.7	A
y										321	A
用 321 A 的 % 表示										8.6	%

V_{Pk_1} : 电流探头输出端或电流分流器两端的电压峰值读数。误差范围通过假设示波器有 8 位垂直

分辨率和插值功能(三角形概率密度函数)获得。

Z_T : 电流分流器或探头的转移阻抗(或灵敏度)。假设估值为 0.001Ω 且误差范围为 5% (矩形概率密度函数)。

δR : 量化测量设置、试验布置和测量仪器的非重复性。这是一种基于实验标准差公式的 A 类评估。它用相对量表示,假设估计值为 0% ,误差范围为 3% (1 倍标准差)。

δV : 量化示波器的直流幅度测量误差。假设误差范围为 2% (矩形概率密度函数),估计值为 0 。

β : 系数,取决于测量系统的脉冲响应波形和标准脉冲波形峰值附近的形状(参见 D.4.6)。(142 ± 16) kHz 的区间代表了一大类系统,虽然每个系统具有不同的脉冲响应波形。

B : 测量系统的带宽 B ,可以通过实验方法获得(直接测量带宽)或根据测量系统的每个组成部分(本质上是电流探头或分流器、电缆和示波器)的带宽 B_i 利用下式计算得到:

$$\frac{1}{B} = \sqrt{\left(\frac{1}{B_1}\right)^2 + \left(\frac{1}{B_2}\right)^2 + \dots}$$

假设 B 的估计值为 20 MHz ,其矩形概率密度函数的误差范围为 500 kHz 。

注:可通过类似的函数关系得到振铃波电压峰值的不确定度,其中 Z_T 用电压探头衰减的倒数代替, B 是电压测量系统(电压探头、电缆和示波器)的带宽。

D.4.4 与时间测量相关的更多的 MU 影响因素

时基误差与抖动:可采用示波器的技术参数作为误差范围(矩形概率密度函数)。通常这些影响可以忽略。

垂直分辨率:此因素取决于垂直幅度分辨率 ΔA 和轨迹的斜率 dA/dt 。其不确定度与分辨率的半宽有关,即 $(\Delta A/2)/(dA/dt)$ 。如果执行了轨迹插值(参见示波器使用手册),则使用三角概率密度函数,否则使用矩形概率密度函数。通常此影响可以忽略。

D.4.5 测量系统阶跃响应的上升时间和频率响应的带宽

通过式(D.1)将 T_{MS} 定义为测量系统阶跃响应的上升时间:

$$T_{MS} = \sqrt{2\pi \int_0^{\infty} (t - T_s)^2 \cdot h_0(t) dt} \quad \dots\dots\dots (D.1)$$

式(D.1)中, $h_0(t)$ 为测量系统具有归一化面积的脉冲响应,如 $\int_0^{\infty} h_0(t) dt = 1$; T_s 为延迟时间,由式(D.2)给出。

$$T_s = \int_0^{\infty} t \cdot h_0(t) dt \quad \dots\dots\dots (D.2)$$

从数学的角度考虑,式(D.1)要比通常基于 $10\% \sim 90\%$ 的阈值电平更容易处理。尽管如此,在技术应用中通常采用 $10\% \sim 90\%$ 的上升时间定义。在给定制系统 -3 dB 带宽时,两种定义可得到可比较的上升时间。事实上,如果定义:

$$\alpha = T_{MS} B \quad \dots\dots\dots (D.3)$$

可以发现,由两种定义得到的 α 值差别不大。对不同脉冲响应的不同波形 $h(t)$ 的形状,表 D.3 对应给出了 α 值。从表 D.3 中可明显看出,确定一个固定的 α 值是不可能的,因为 α 值既取决于所采用的上升时间[例如基于阈值或式(D.1)]的定义,也取决于测量系统脉冲响应的形状。合理的 α 的估计值可用表 D.3 中给出的最小值 321×10^{-3} 和最大值 399×10^{-3} 的算术平均值表示,即 360×10^{-3} 。进一步可假设,如果除了测量系统的带宽外没有其他的可用信息,则 α 值可均匀分布在 $321 \times 10^{-3} \sim 399 \times 10^{-3}$ 的区间内。换言之,可假设 α 为在 $321 \times 10^{-3} \sim 399 \times 10^{-3}$ 范围内服从矩形概率密度函数的随机变量。 α 的标准不确定度量化了:

- a) 与采用数学模型定义上升时间的无关性;

b) 与系统脉冲响应波形的无关性。

表 D.3 相对于相同系统带宽 B , 不同单向脉冲响应波形对应的 α 因子 [式 (D.3)]

α 的值乘以 10^3	高斯	I 阶	II 阶(临界阻尼)	矩形	三角形
α ; 式(D.1)	332	399	363	321	326
α ; 10%~90%	339	350	344	354	353

D.4.6 由测量系统的带宽限制产生的脉冲峰值及脉冲宽度失真

测量系统输出的失真的冲击脉冲波形 $V_{out}(t)$ 由式 (D.4) 的卷积积分给出:

$$V_{out}(t) = \int_0^t V_{in}(\tau) h(t - \tau) d\tau \quad \dots\dots\dots (D.4)$$

式(D.4)中, $V_{in}(t)$ 为输入脉冲波形, $h(t)$ 为测量系统的脉冲响应。注意 $A \cdot h(t) = h_0(t)$, A 为测量系统的直流衰减值。输入波形可以近似表示为它在输入达到峰值 V_p 时刻, 时间常数 t_p 的泰勒级数展开。

$$V_{in}(t) = V_p + \frac{V''_{in}(t_p)}{2}(t - t_p)^2 + \frac{V'''_{in}(t_p)}{6}(t - t_p)^3 + \dots \quad \dots\dots\dots (D.5)$$

应注意, 由于 $V'_{in}(t_p) = 0$, 所以在式(D.5)中省略了一阶项。此外, $V''_{in}(t_p) < 0$, 因为是向下凹点(最大), 而 $V'''_{in}(t_p) > 0$, 因为此处的标准波形的上升时间小于下降时间。将式(D.5)代入式(D.4)并化简, 当测量系统的带宽相对于输入信号带宽足够大时(幂级数阶数大于 2 的项可以忽略), 可得到:

$$V_{pd} = \frac{V_p}{A} \left[1 - \left(\frac{\beta}{B} \right)^2 \right] \quad \dots\dots\dots (D.6)$$

式(D.6)中, V_{pd} 为输出脉冲峰值, A 是测量系统的直流衰减。

$$\beta = \alpha \sqrt{\frac{|V''_{in}(t_p)|}{4\pi V_p}} \quad \dots\dots\dots (D.7)$$

注意参数 β 取决于标准输入波形的二阶导数以及由 D.4.5 中定义和导出的参数 α 。4.1 给出了标准振铃波的数学表达式且数值计算的 β 值为 $\beta = 142 \text{ kHz} \pm 16 \text{ kHz}$ 。

D.5 不确定度在振铃波标准符合性中的应用

为了证明所产生的振铃波符合本文件的要求, 校准结果应与本文件所规定的允差进行比较, 允差不能减去 MU。

详细介绍在 IEC TR 61000-1-6:2012 第 6 章中给出。

参 考 文 献

- [1] GB/T 2900.77—2008 电工术语 电工电子测量和仪器仪表 第1部分:测量的通用术语
 - [2] GB/T 4365—2003 电工术语 电磁兼容
 - [3] IEC 60068-1 Environmental testing—Part 1:General and guidance
 - [4] IEC 60816 Guide on methods of measurement of short duration transients on low voltage power and signal lines
 - [5] IEC TR 61000-1-6:2012 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 1-6:General—Guide to the assessment of measurement uncertainty
 - [6] IEC TR 61000-4-1 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-1:Testing and measurement techniques-Overview of IEC 61000-4 series
 - [7] IEC 61000-4-5 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-5:Testing and measurement techniques-Surge immunity test
 - [8] IEC 61000-4-18 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-18:Testing and measurement techniques—Damped oscillatory wave immunity test
 - [9] IEC 61010-1 Safety requirements for electrical equipment for measurement, control and laboratory use—Part 1:General requirements
-

