ICS 29.240.10
K 30

中华人民共和国国家标准

GB/T 18802.12—2014/IEC 61643-12:2008
代替 GB/T 18802.12—2006

低压电涌保护器(SPD)
第12部分:低压配电系统的电涌保护器选择和使用导则

Low-voltage surge protective devices—Part 12:Surge protective devices connected tolow-voltage power distribution systems—Selection and application principles

(IEC 61643-12:2008,IDT)

2014-06-24 发布　　2015-01-22 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会　发布

目　次

前　言

GB/T 18802《低压电涌保护器(SPD)》分为以下几个部分：

——GB 18802.1　低压电涌保护器(SPD)　第1部分：低压配电系统的电涌保护器　性能要求和试验方法；

——GB/T 18802.12　低压电涌保护器(SPD)　第12部分：低压配电系统的电涌保护器　选择和使用导则；

——GB/T 18802.21　低压电涌保护器　第21部分：电信和信号网络的电涌保护器(SPD)　性能要求和试验方法；

——GB/T 18802.22　低压电涌保护器　第22部分：电信和信号网络的电涌保护器(SPD)　选择和使用导则；

——GB/T 18802.311　低压电涌保护器元件　第311部分：气体放电管(GDT)规范；

——GB/T 18802.321　低压电涌保护器元件　第321部分：雪崩击穿二极管(ABD)规范；

——GB/T 18802.331　低压电涌保护器元件　第331部分：金属氧化物压敏电阻(MOV)规范；

——GB/T 18802.341　低压电涌保护器元件　第341部分：电涌抑制晶闸管(TSS)规范。

本部分为GB/T 18802的第12部分。

本部分代替GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本部分代替GB/T 18802.12—2006《低压配电系统的电涌保护器(SPD)　第12部分：选择和使用导则》。

本部分与GB/T 18802.12—2006相比，除编辑性修改外主要技术变化如下：

——调整了规范性引用文件；

——增加了6个名词术语；

——增加了本部分所用符号一览表；

——对标准正文的条款及部分图例进行了修订；

——增加了附录M～附录P。

本部分使用翻译法等同采用IEC 61643-12:2008《低压电涌保护器　第12部分：低压配电系统的电涌保护器　选择和使用导则》。

与本标准中规范性引用的国际文件有一致性对应关系的我国文件如下：

——GB 16916.1—2003　家用和类似用途的不带过电流保护的剩余电流动作断路器(RCCB)　第1部分：一般规则(IEC 61008-1:1996,MOD)

——GB 16917.1—2003　家用和类似用途的带过电流保护的剩余电流动作断路器(RCBO)　第1部分：一般规则(IEC 61009-1:1996,MOD)

——GB/T 16927.1—2011　高电压试验技术　第1部分：一般定义及试验要求(IEC 60060-1:2010 MOD)

——GB 18802.1—2011　低压电涌保护器(SPD)　第1部分：低压配电系统的电涌保护器　性能要求和试验方法(IEC 61643-1:2005,MOD)

——GB/T 28547—2012　交流金属氧化物避雷器选择和使用导则(IEC 60099-5:2000,NEQ)

本部分由中国电器工业协会提出。

本部分由全国避雷器标准化技术委员会(SAC/TC 81)归口。

本部分主要起草单位:西安高压电器研究院有限责任公司、上海电器科学研究院、上海市防雷中心。

本部分参与起草单位:深圳市盾牌防雷技术有限公司、华为技术有限公司、四川中光防雷科技股份有限公司、德力西电气有限公司、北京突破电气有限公司、魏德米勒电联接(上海)有限公司、艾默生网络能源有限公司、深圳市铁创科技发展有限公司、施耐德电气(中国)有限公司上海分公司。

本部分主要起草人:王新霞、颜沧苇、赵洋、周岐斌、黄勇、马勋、王碧云、常超、郭亚平、戴传友、雷成勇、倪向宇、杨建峰、陶俊、孟奇、何亨文、刘振良。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为:

——GB/T 18802.12—2006。

引　言

0.1　总则

本部分中提到的电涌保护器(SPD)是在规定条件下,用来保护电力系统和设备免受各种瞬态过电压(例如雷电过电压和操作过电压)和冲击电流损坏的一种保护电器。

应依据环境条件及设备和 SPD 可接受的失效率来选择 SPD。

本部分对用户提供有关 SPD 选择和使用的典型资料。

本部分参照 GB/T 21714.1—2008～GB/T 21714.4—2008 和 GB 16895,所提供的资料是用来评估在低压系统使用 SPD 的必要性。这些标准提供 SPD 选择和配合的资料,同时考虑其使用的所有环境条件。例如:被保护的设备和系统性能、绝缘水平、过电压、安装方法,SPD 的安装位置、SPD 的配合、失效模式和设备损坏后果。

本部分也提供进行风险分析的导则。

GB/T 16935.1—2008 提供了产品绝缘配合的指导要求。GB 16895 提供安全(火、过流和电击)和安装需要。

GB 16895 对 SPD 安装者提供直接资料。IEC/TR 62066 提供了更多有关电涌保护的科学背景资料。

0.2　理解本部分内容的说明

下列章节总结了本部分的结构,并且提供了每一章节和附录所含资料的摘要。主要章节提供了有关选择和使用 SPD 要素的基本资料。需要对第 4 章～第 7 章所提供的资料有更详细了解的读者,可查阅相应的附录。

第 1 章规定了本部分的范围。

第 2 章列出了本部分可以找到附加说明的引用标准。

第 3 章提供了理解本部分所用的定义。

第 4 章介绍了与 SPD 有关的系统和设备的参数,另外还讲述了由雷电产生的电应力,以及由电网本身产生的暂时过电压和操作过电压引起的电应力。

第 5 章列举了选择 SPD 所使用的电气参数及其相关说明,这些参数涉及的数据在 IEC 61643-1 中给出。

第 6 章是本部分的核心,讲述了来自电网的电应力(在第 4 章论述)和 SPD 特性(在第 5 章论述)之间的关系。它描述了 SPD 的安装模式如何影响其保护性能,给出了选择 SPD 的不同步骤,包括在一个装置中使用多个 SPD 之间的配合问题(附录 F 中详细给出了配合的要点)。

第 7 章是风险分析的简介(考虑何时使用 SPD 是有益的)。

第 8 章是信号和电源线之间的配合(正在考虑中)。

附录 A 论述了投标需要的资料并解释了 IEC 61643-1 中采用的试验程序。

附录 B 提供了 SPD 两个重要参数之间的关系示例,即 ZnO 压敏电阻的 U_c 和 U_p,同时还列举了 U_c 和电网标称电压之间关系的示例。

附录C补充了第4章给出的低压系统中电涌电压的资料。

附录D论述了不同接地系统之间的雷电流分配的计算。

附录E论述了由高压系统故障引起的暂时过电压的计算。

附录F为第6章中关于一个系统使用多个SPD时配合原则的补充资料。

附录G给出了本部分使用的具体示例。

附录H给出了风险分析应用的具体示例。

附录I是第4章中有关系统电应力的补充资料。

附录J是第5章中SPD选择标准的补充资料。

附录K是第6章中关于在各种低压系统中SPD应用的补充资料。

附录L是第7章中关于风险分析中所使用的参数的补充资料。

附录M讨论了抗扰度与绝缘耐受的不同之处。

附录N是在一些国家中配电盘上安装SPD的实际示例。

附录O讨论了当设备具有信号端口和电源端口时的配合问题。

附录P提供了短路后备保护和电涌耐受相关信息。

低压电涌保护器(SPD)
第12部分:低压配电系统的电涌保护器
选择和使用导则

1 范围

GB 18802的本部分适用于连接到交流50 Hz～60 Hz、电压不超过1 000 V,或直流电压不超过1 500 V的SPD的选择、运行、安装位置和配合原理。

注1:对特殊应用,如电力牵引等需提出附加要求。

注2:应注意GB 16895和GB/T 21714.4—2008也适用。

注3:本部分只论述SPD,而不涉及含在设备内部的SPD元件。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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。

GB 4208—2008 外壳防护等级(IP代码)(IEC 60529:2001,IDT)

GB/T 16895.10—2010 低压电气装置 第4-44部分:安全防护 电压骚扰和电磁骚扰防护(IEC 60364-4-44:2007,IDT)

GB 16895.21—2011 低压电气装置 第4-41部分:安全防护 电击防护(IEC 60364-4-41:2005,IDT)

GB 16895.22—2004 建筑物电气装置 第5-53部分:电气设备的选择和安装 隔离、开关和控制设备 第534节:过电压保护电器(IEC 60364-5-53:2001 A1:2002,IDT)

GB/T 16935.1—2008 低压系统内设备的绝缘配合 第1部分:原理、要求和试验(IEC 60664-1:2007,IDT)

GB 17464—2012 连接器件 电气铜导线 螺纹型和无螺纹型夹紧件的安全要求 适用于0.2 mm^2以上至35 mm^2(包括)导线的夹紧件的通用要求和特殊要求(IEC 60999-1:1999 Ed.2,IDT)[1)]

GB/T 17626.5—2008 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌(冲击)抗扰度试验(IEC 61000-4-5:2005,IDT)

GB/T 18802.21—2004 低压电涌保护器 第21部分:电信和信号网络的电涌保护器(SPD)——性能要求和试验方法(IEC 61643-21:2000,IDT)[1)]

GB/T 18802.22—2008 低压电涌保护器 第22部分:电信和信号网络的电涌保护器(SPD) 选择和使用导则(IEC 61643-22:2004,IDT)[1)]

GB/T 21714.1—2008 雷电防护 第1部分:总则(IEC 62305-1:2006,IDT)

GB/T 21714.2—2008 雷电防护 第2部分:风险管理(IEC 62305-2:2006,IDT)

GB/T 21714.4—2008 雷电防护 第4部分:建筑物内电气和电子系统(IEC 62305-4:2006,IDT)

IEC 60060-1 高电压试验技术 第1部分:一般定义和实验要求(High-voltage test techniques—Part 1:General definitions and test requirements)

1) IEC原文中遗漏,本次国家标准修订补充列出。

IEC 60099-5 避雷器 第5部分:选择和使用导则(Surge arresters—Part 5: Selection and application recommendations)[2)]

IEC 61008-1 家用和类似用途的不带过电流保护的剩余电流动作断路器(RCCB) 第1部分:一般规则(Residual current operated circuit-breakers without integral overcurrent protection for household and similar uses(RCCBs)—Part 1:General rules)

IEC 61009-1 家用和类似用途的带过电流保护的剩余电流动作断路器(RCBOs) 第1部分:总则(Residual current operated circuit-breakers with integral overcurrent protection for household and similar uses (RCBOs)—Part 1: General rules)

IEC 61643-1 低压电涌保护器(SPD) 第1部分:低压配电系统的电涌保护器 性能要求和试验方法(Low-voltage surge protective devices—Part 1:Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems—Requirements and tests)

3 术语和定义、缩略语

3.1 术语和定义

IEC 61643-1 界定的以及下列术语定义适用于本文件。

3.1.1

电涌保护器 surge protective device

SPD

用于限制瞬态过电压和泄放电涌电流的电器,它至少包含一个非线性的元件。

[IEC 61643-1,定义 3.1]

3.1.2

持续工作电流 continuous operating current

I_c

在最大持续工作电压(U_c)下,流过 SPD 每种保护模式的电流值。

3.1.3

最大持续工作电压 maximum continuous operating voltage

U_c

可连续地施加在 SPD 保护模式上的最大交流电压有效值或直流电压。

[IEC 61643-1,定义 3.11]

3.1.4

电压保护水平 voltage protection level

U_p

表征 SPD 限制接线端子间电压的性能参数,其值可从优选值的列表中选择。该值应大于限制电压的最高值。

[IEC 61643-1,定义 3.15]

3.1.5

限制电压 measured limiting voltage

U_m

施加规定波形和幅值的冲击时,在 SPD 接线端子间测得的最大电压峰值。

[IEC 61643-1,定义 3.16]

---

2) IEC 原文中遗漏,本次国家标准修订补充列出。

3.1.6

残压　residual voltage

U_{res}

放电电流流过 SPD 时，在其端子间产生的电压峰值。

[IEC 61643-1，定义 3.17]

3.1.7

SPD 暂时过电压试验值　temporary overvoltage test value of the SPD

U_T

施加在 SPD 上并持续一个规定时间的试验电压，以模拟在 TOV 条件下的应力。

注 1：采纳 IEC 61643-1 中 3.18，并增加注 2。

注 2：U_T 是制造厂宣称的电压值，在该电压下，SPD 在给定时间内具有规定的特性（这表示施加暂时过电压后性能无变化，或者这种故障对人、设备或装置无伤害）。

3.1.8

电力系统暂时过电压　temporary overvoltage value of the power system

U_{TOV}

在电网给定区域，持续时间相对较长的工频过电压。TOV 是由 LV 系统（$U_{TOV(LV)}$）或 HV 系统（$U_{TOV(HV)}$）内部故障产生的过电压。

注：暂时过电压，典型持续时间可达几秒钟，通常是由开关操作或故障（例：甩负荷、单相接地故障等）引起的和/或由非线性（铁磁共振效应、谐波等）引起的。

3.1.9

标称放电电流　nominal discharge current

I_n

流过 SPD 具有 8/20 波形的电流峰值，用于Ⅱ类试验的 SPD 分类以及Ⅰ类、Ⅱ类试验的 SPD 的预处理试验。

[IEC 61643-1，定义 3.8]

3.1.10

冲击电流　impulse current

I_{imp}

由三个参数来定义：电流峰值 I_{peak}、电荷量 Q 和比能量 W/R。其试验应根据动作负载试验的程序进行，用于Ⅰ类试验的 SPD 分类试验。

[IEC 61643-1，定义 3.9]

3.1.11

复合波　combination wave

复合波由冲击发生器产生。开路时施加 1.2/50 冲击电压，短路时施加 8/20 冲击电流。提供给 SPD 的电压、电流幅值及其波形由冲击发生器和受冲击作用的 SPD 的阻抗而定。开路电压峰值和短路电流峰值之比为 2 Ω；该比值定义为虚拟阻抗 Z_f。短路电流用符号 I_{sc} 表示。开路电压用符号 U_{oc} 表示。

[IEC 61643-1，定义 3.24]

3.1.12

8/20 冲击电流　8/20 current impulse

视在波前时间为 8 μs，半峰值时间为 20 μs 的冲击电流。其中：

——波前时间根据 IEC 60060-1 的定义为 $1.25\times(t_{90}-t_{10})$，$t_{90}$ 和 t_{10} 指波形上升沿中峰值的 90% 和 10%的点。

——半峰值时间指视在原点至下降沿中峰值的 50%点的之间时间。视在原点指波形上升沿中经过峰值的 10%和 90%二点画的直线后与 $I=0$ 直线的交点。

[IEC 61643-1，定义 3.23]

3.1.13

1.2/50 冲击电压　1.2/50 voltage impulse

视在波前时间为 1.2 μs，半峰值时间为 50 μs 的冲击电压，其中：

——波前时间根据 IEC 60060-1 的定义为 $1.67\times(t_{90}-t_{30})$，其中 t_{90} 和 t_{30} 指波形上升沿中峰值的 90%和 30%的点。

——半峰值时间指视在原点至下降沿中峰值的 50%点之间的时间。视在原点指波形的上升沿中经过峰值的 30%和 90%二点画的直线与 $U=0$ 直线的交点。

[IEC 61643-1，定义 3.22]

3.1.14

热崩溃　thermal runaway

当 SPD 承受的功率损耗超过外壳和连接件的散热能力，引起内部元件温度逐渐升高，最终导致其损坏的过程。

[IEC 61643-1，定义 3.25]

3.1.15

热稳定　thermal stability

在引起 SPD 温度上升的动作负载试验后，在规定的环境温度条件下，给 SPD 施加规定的最大持续工作电压，如果 SPD 的温度能随时间而下降，则认为 SPD 是热稳定的。

[IEC 61643-1，定义 3.26]

3.1.16

SPD 的脱离器　SPD disconnector

把 SPD 从电源系统断开所需要的装置(内部的和/或外部的)。

注：这种断开装置不要求具有隔离能力，它防止系统持续故障并可用来给出 SPD 故障的指示。

可具有多于一种的脱离器功能，例如过电流保护功能和热保护功能。这些功能可以组合在一个装置中或由几个装置来完成。

[IEC 61643-1，定义 3.29]

3.1.17

型式试验　type tests

一种新的 SPD 设计开发完成时所进行的试验，通常用来确定典型性能，并用来证明它符合有关标准。试验完成后一般不需要再重复进行试验，除非当设计改变以致影响其性能时，才需重新做相关项目试验。

[IEC 61643-1，定义 3.31]

3.1.18

常规试验　routine tests

按要求对每个 SPD 或其部件和材料进行的试验，以保证产品符合设计规范。

[IEC 61643-1，定义 3.32]

3.1.19

验收试验　acceptance tests

经供需双方协议，对订购的 SPD 或其典型样品所做的试验。

[IEC 61643-1，定义 3.33]

3.1.20

外壳防护等级（IP 代码）　degrees of protection provided by enclosure（IP code）

外壳提供的防止触及危险的部件、防止外界的固体异物进入和/或防止水的进入壳内的防护程度（见 GB 4208—2008）。

[IEC 61643-1，定义 3.30]

3.1.21

电压降（用百分数表示）　voltage drop（in per cent）

$$\Delta U = [(U_{输入} - U_{输出})/U_{输入}] \times 100\%$$

式中：

$U_{输入}$——输入电压；

$U_{输出}$——同一时刻在连接额定阻性负载条件下测量的输出电压，该参数仅适用于二端口 SPD。

[IEC 61643-1，定义 3.20]

3.1.22

插入损耗　insertion loss

在给定频率下，连接到给定电源系统的 SPD 的插入损耗定义为：电源线上紧靠 SPD 接入点之后，在被试 SPD 接入前后的电压比，结果用分贝表示。

注：其要求和试验正在考虑中。

[IEC 61643-1，定义 3.21]

3.1.23

二端口 SPD 的负载端电涌耐受能力　load-side surge withstand capability for a two-port SPD

二端口 SPD 输出端子耐受其下游负载侧产生的电涌的能力。

[IEC 61643-1，定义 3.19]

3.1.24

耐受短路电流　short-circuit withstand

SPD 能够承受的最大预期短路电流值。

注 1：采纳 IEC 61643-1 中 3.28，并增加注 2。

注 2：本定义指直流和 50/60 Hz 交流。对二端口 SPD 或输入/输出分开的一端口 SPD，两种耐受短路电流可以定义为：一种相当于内部短路电流（内部带电部分旁路），另一种相当于直接在输出端的外部短路电流（负载失效）。在 IEC 61643-1 中，耐受短路电流试验仅为内部短路，外部短路试验待定。

3.1.25

一端口 SPD　one-port SPD

SPD 与被保护电路并联。一端口能分开输入端和输出端，在这些端子之间没有特殊的串联阻抗。

注 1：采纳 IEC 61643-1 中 3.2，并增加注 2。

注 2：图 1 为一些典型的一端口 SPD 和一端口 SPD 的示意图（图 1c）。一端口 SPD 可并联，如图 1a；或和电源线连接，如图 1b。第一种情况是负载电流不流过 SPD。第二种情况是负载电流流过 SPD 且在负载电流作用下，它的温度会上升，相关的最大允许负载电流或许同一个二端口 SPD 一样。图 3b 和 3d 为各种类型的一端口 SPD 对复合波发生器施加的 8/20 冲击的响应波形。

3.1.26

二端口 SPD　two-port SPD

有两组输入和输出接线端子的 SPD，在这些端子之间有特殊的串联阻抗。

注 1：采纳 IEC 61643-1 中 3.3，并增加注 2。

注 2：输入端限制电压可能比输出端电压高。因此，被保护设备应和输出端相连接。图 2 为典型的二端口 SPD。图 3e 和图 3f 为二端口 SPD 对复合波发生器施加的 8/20 冲击的响应波形。

3.1.27

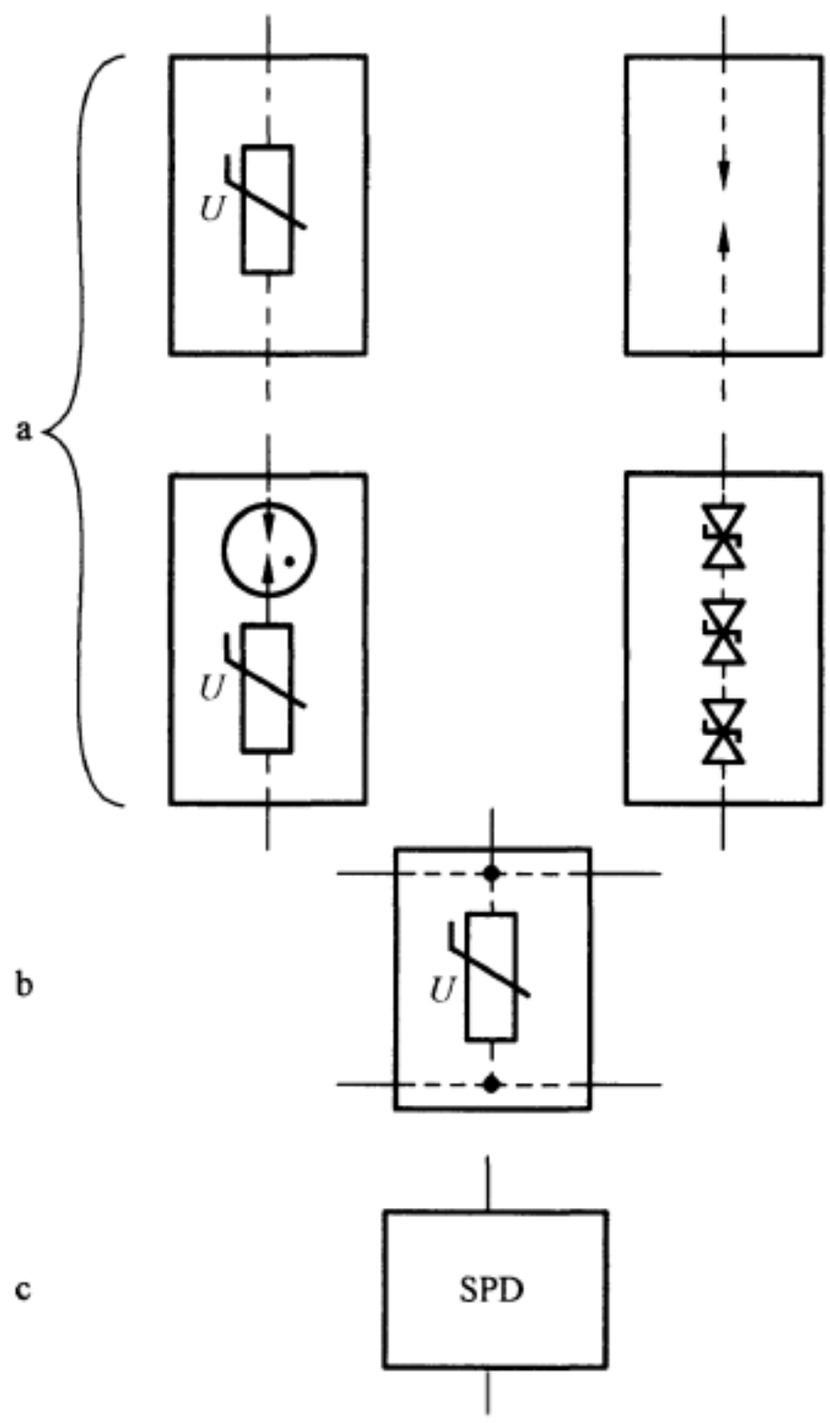
电压开关型 SPD　voltage switching type SPD

没有电涌时具有高阻抗，当对电涌电压响应时能突变成低阻抗的 SPD。

注 1：电压开关型 SPD 常用的元件有放电间隙，气体放电管(GDT)，晶闸管(可控硅整流器)和三端双向可控硅开关元件。

注 2：采纳 IEC 61643-1 中 3.4，并增加注 3。

注 3：电压开关型元件有不连续的 *U-I* 特性，图 3c 为典型的电压开关型 SPD 对复合波发生器施加的冲击的响应波形。



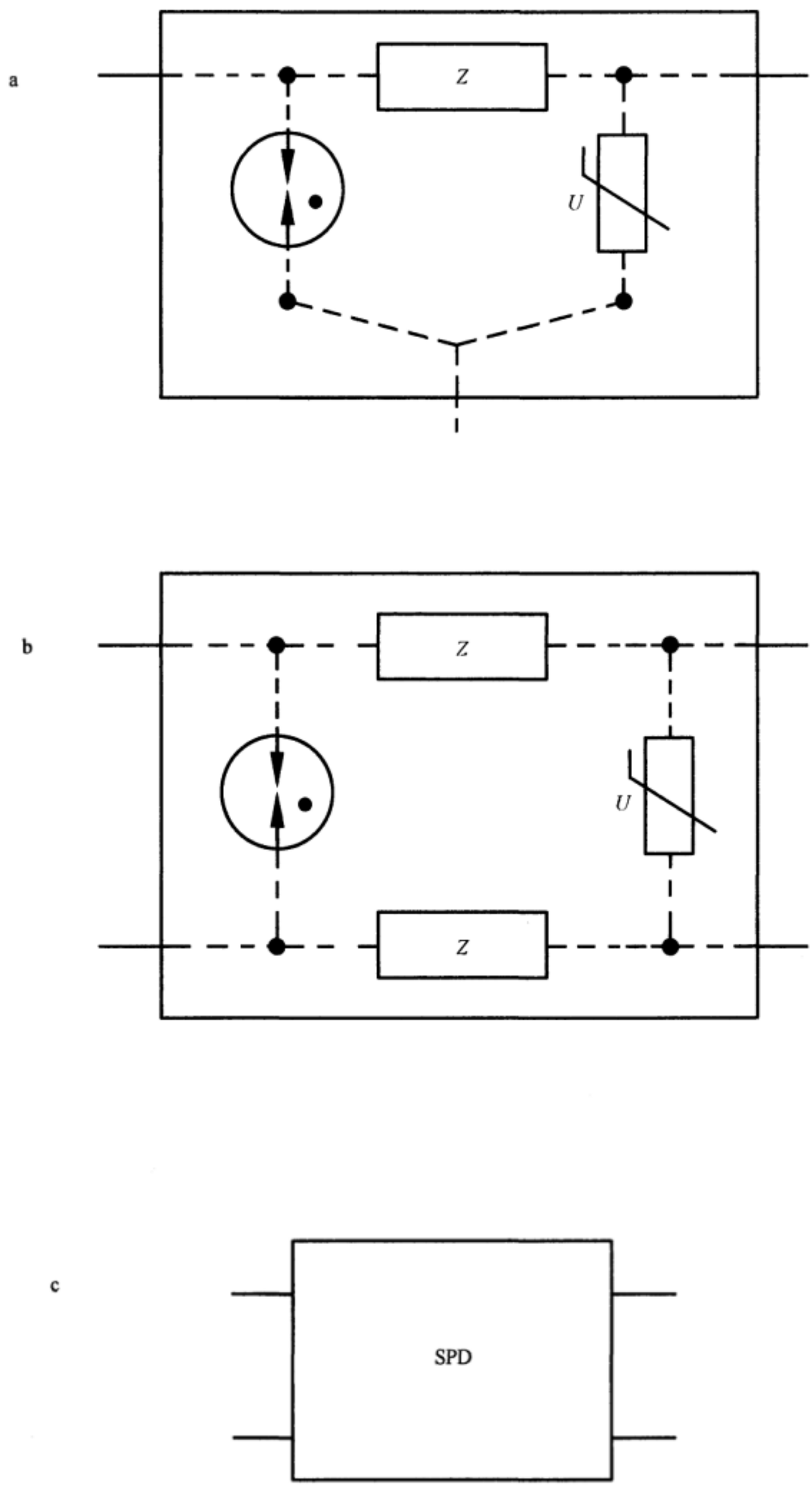
说明：

a ——口 SPD；

b ——输入/输出分开的一端口 SPD；

c ——一端口 SPD 的通用符号。

图 1　一端口 SPD 的示例



说明：

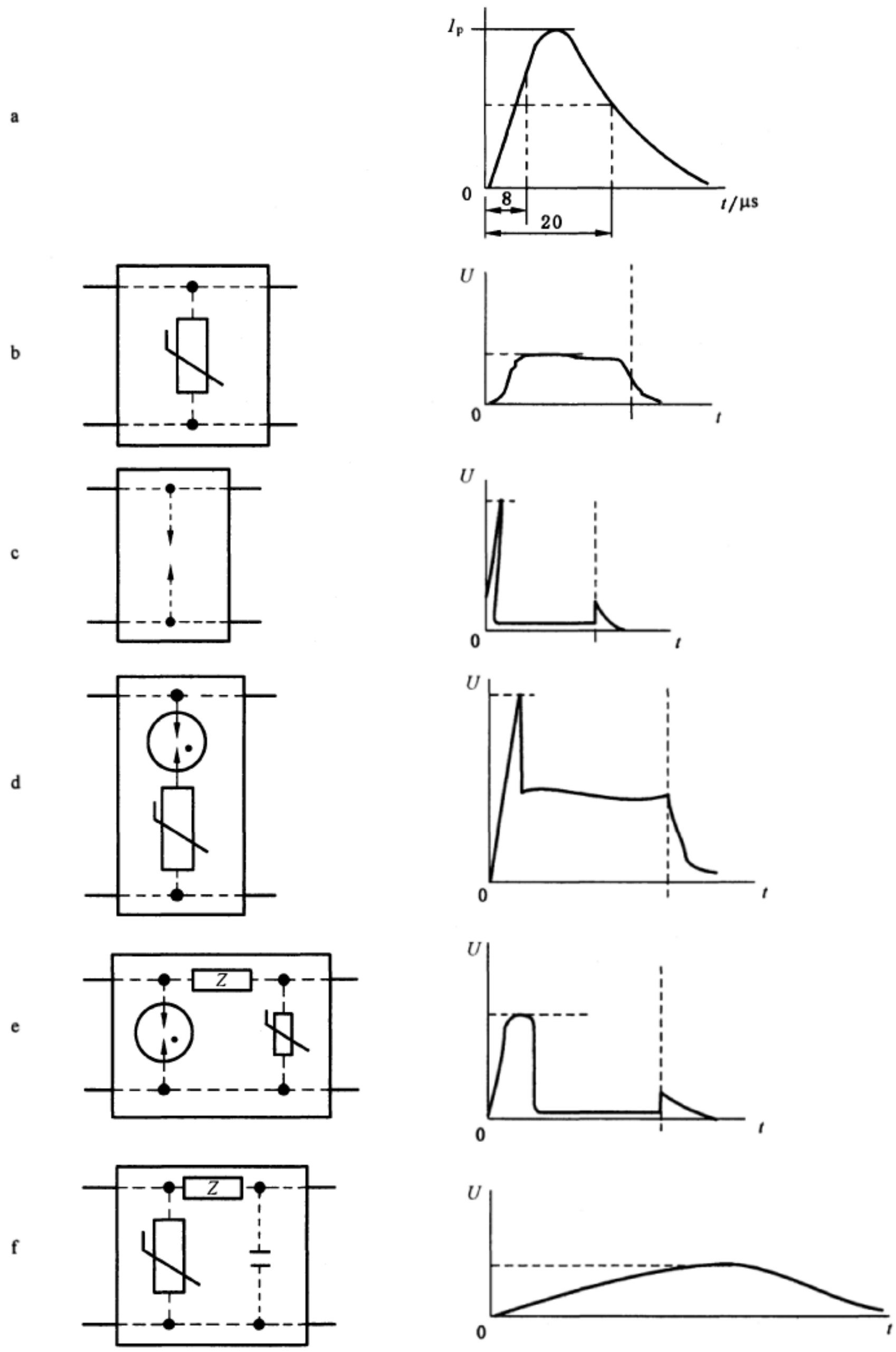
a——三端子二端口 SPD；

b——四端子二端口 SPD；

c——二端口 SPD 的通用符号；

Z——输入端和输出端之间的串联阻抗。

图 2　二端口 SPD 的示例



说明：

a——施加的电流波；

b——电压限制型 SPD 的响应；

c——电压开关型 SPD 的响应；

d——复合型一端口 SPD 的响应；

e——复合型二端口 SPD 的响应；

f——带滤波器的二端口电压限制型 SPD 的响应。

注：电压水平仅是示意而不是实际值。

图 3　一端口和二端口 SPD 对复合波冲击的响应波形[3)]

3）　IEC 原文中 8/20 波形有误，本次国家标准中已改正。

3.1.28

电压限制型 SPD　voltage limiting type SPD

没有电涌时具有高阻抗，但是随着电涌电流和电压的上升，其阻抗将持续地减小的 SPD。

注 1：常用的非线性元件是：ZnO 压敏电阻和抑制二极管。这类 SPD 有时也称作“箝位型 SPD”。

注 2：采纳 IEC 61643-1 中 3.5，并增加注 3。

注 3：电压限制型元件具有连续的 U-I 特性，图 3b 是一个典型的电压限制型 SPD 对复合波发生器产生的冲击的响应。

3.1.29

复合型 SPD　combination type SPD

由电压开关型元件和电压限制型元件组成的 SPD，其特性随所加电压的特性可以表现为电压开关型、电压限制型或两者皆有。

注 1：采纳 IEC 61643-1 中 3.6，并增加注 2。

注 2：图 3d 和图 3e 是不同典型的复合型 SPD 对复合波冲击的响应。

3.1.30

保护模式　modes of protection

SPD 保护元件可以连接在相对相、相对地、相对中线、中线对地及其组合。这些连接方式称作保护模式。

[IEC 61643-1，定义 3.7]

3.1.31

续流　follow current

I_f

冲击放电电流以后，由电源系统流入 SPD 的电流。续流与持续工作电流 I_c 有明显区别。

[IEC 61643-1，定义 3.13]

3.1.32

Ⅱ类试验最大放电电流　maximum discharge current for class Ⅱ test

I_{max}

流过 SPD，具有 8/20 波形电流的峰值，其值按Ⅱ类动作负载的程序确定。I_{max} 大于 I_n。

[IEC 61643-1，定义 3.10]

3.1.33

劣化　degradation

由于电涌，使用或不利环境的影响造成 SPD 原始性能参数的变化。

注 1：采纳 IEC 61643-1 中 3.27，并增加注 2。

注 2：劣化是对 SPD 在设计寿命期内环境耐受能力的一种测量方法，劣化用两种型式试验方法考核，一个是动作负载试验，另一个是老化试验，两个方法也可以结合起来进行。

动作负载试验是对 SPD 施加规定次数规定电流波形的试验，SPD 性能变化的允许范围见 IEC 61643-1。

老化试验是在特定温度下，在一个规定时间内，对 SPD 施加规定幅值的电压，本部分给出了 SPD 性能允许变化范围（该试验待定）。

根据以下内容确定 SPD 预期使用寿命：

——替代方式；

——使用场合和可行性；

——可接受的失效率；

——运行经验。

3.1.34

剩余电流装置　residual current device

RCD

在规定的条件下，当剩余电流或不平衡电流达到给定值时能使触头断开的机械开关电器或组合电器。

[IEC 61643-1,定义 3.37]

3.1.35

系统标称电压　nominal voltage of the system

系统或设备标明的电压,某些工作特性与该电压有关(如 230/400 V)。

注 1:在系统标称条件下,供电端的电压可能不同于标称电压,由供电系统的偏差来决定,本部分允许有±10%的偏差。

注 2:相对地系统标称电压称为 U_n。

注 3:系统标称的相对中性线的电压称为 U_0。

3.1.36

冲击试验分类　impulse test classification

3.1.36.1

Ⅰ类试验　class Ⅰ test

按 3.1.9 定义的标称放电电流(I_n)、3.1.13 定义的 1.2/50 冲击电压和 3.1.10 定义的Ⅰ类试验的最大冲击电流 I_{imp}进行的试验。

3.1.36.2

Ⅱ类试验　class Ⅱ test

按 3.1.9 定义的标称放电电流(I_n)、3.1.13 定义的 1.2/50 冲击电压和 3.1.32 定义的Ⅱ类试验的最大放电电流 I_{max}进行的试验。

3.1.36.3

Ⅲ类试验　class Ⅲ test

按 3.1.11 定义的复合波(1.2/50,8/20)进行的试验。

注:采纳 IEC 61643-1 中 3.35。

3.1.37

额定负载电流　rated load current

I_L

能提供给连接到 SPD 保护输出端的负载的最大持续额定交流电流有效值或直流电流。

注 1:采纳 IEC 61643-1 中 3.14,并增加注 2。

注 2:仅适合输入/输出分开的 SPD。

3.1.38

过电流保护　overcurrent protection

位于 SPD 外部的前端,作为电气装置的一部分的过电流器件(如断路器或熔断器)。

[IEC 61643-1,定义 3.36]

3.1.39

SPD 安装点电力系统最大持续工作电压　maximum continuous operating voltage of the power system at the SPD location

U_{cs}

在 SPD 安装点,SPD 可能受到的最大工频电压有效值或直流电压。

注 1:仅考虑了电压调节和电压降低或升高,U_{cs}也称为视在最大系统电压,与 U_0 有直接联系(见图 6)。

注 2:该电压不考虑谐振、失效、TOV 或瞬态条件。

3.1.40

电压开关型 SPD 的放电电压　sparkover voltage of a voltage-switching SPD

在 SPD 的间隙电极之间,发生击穿放电前的最大电压值。

注 1:采纳 IEC 61643-1 中 3.38,并增加注 2。

注 2:电压开关型 SPD 可以基于元件(例如硅元件)而不仅是间隙。

3.1.41

雷电保护系统　lightning protection system;LPS

用来保护建筑物及其内部设备免受雷击影响的完整系统。

3.1.42

多用途 SPD　multiservice SPD

在同一外壳内具有两种或更多保护功能的电涌保护器,例如,在电涌条件下,可对电源、电信和信号提供保护,这些保护共用一个参考点。

3.1.43

残流　residual current

I_{PE}

SPD 按制造厂的说明连接,施加最大持续工作电压(U_c)时,流过 PE 接线端子的电流。

[IEC 61643-1,定义 3.42]

3.1.44

供电电源的预期短路电流　prospective short-circuit current of a power supply

I_p

在电路中的给定位置,如果用一个阻抗可忽略的连接短路时可能流过的电流。

[IEC 61643-1,定义 3.40]

3.1.45

额定断开续流值　follow current interrupting rating

I_{fi}

SPD 本身能断开的预期短路电流。

[IEC 61643-1,定义 3.41]

3.1.46

Ⅰ类试验的比能量　specific energy for class Ⅰ test

W/R

冲击电流 I_{imp} 流过 1 Ω 单位电阻时消耗的能量。

3.1.47

额定冲击耐受电压　rated impulse withstand voltage

U_W

由设备制造单位对设备或设备的一部分规定的冲击耐受电压,它代表了设备的绝缘耐受过电压的能力。

注:本部分仅考虑在带电导线和接地之间耐受电压。

3.2　本部分所用符号及缩略语一览表

符　号	
E_{max}	最大能量耐受
I_c	持续工作电流
I_f	续流
I_{fi}	额定断开续流值
I_{imp}	Ⅰ类试验冲击电流
I_L	额定负载电流

符　号	
I_{max}	Ⅱ类试验的最大放电电流
I_n	标称放电电流
I_p	供电电源的预期短路电流
I_{peak}	冲击电流峰值
I_{PE}	残流
I_{sc}	CWG 的短路电流
N_g	落雷密度
N_k	雷暴日水平
U_c	最大持续工作电压
U_{cs}	电源系统的最大持续工作电压
U_m	限制电压
U_n	系统的相对地的标称电压
U_0	系统标称的相对中性线的电压
U_{oc}	Ⅲ类试验开路电压
U_p	电压保护水平
U_{ref}	ZnO 压敏电阻的参考电压
U_{res}	残压
U_T	暂时过电压
U_{TOV}	电力系统暂时过电压
$U_{TOV(HV)}$	高压系统内的网络暂时过电压
$U_{TOV(LV)}$	低压系统内的网络暂时过电压
U_W	耐受电压
ΔU	压降(用百分数表示)
Z_f	虚拟阻抗

缩写列表	
ABD	雪崩击穿二极管
dB	分贝
CWG	复合波发生器
EMC	电磁兼容性
GDT	气体放电管
HV	高压
IP	外壳防护等级
L	电感

缩写列表	
LPS	雷电防护系统
LPZ	雷电防护区
LTE	通过能量
LV	低压
MEB	总等电位连接
MOV	金属氧化物压敏电阻
HVA	高压 A(中压,<50 kV)
MV	中压
PE	保护地线
Q	冲击电流的电荷量
RCD	剩余电流装置
TOV	暂时过电压
SPD	电涌保护器
W/R	比能量
ZnO	氧化锌

4 被保护的系统和设备

当评估使用 SPD 的设施时,需要考虑两方面因素:

——使用 SPD 的低压配电系统的特性,包括预期过电压、电流的类型和水平;

——被保护设备的特性。

4.1 低压配电系统

低压配电系统由系统接地的型式(TN-C、TN-S、TN-C-S、TT、IT)和标称电压(见 3.1.35)来表示,可能产生各种型式的过电压和过电流,本部分将过电压分为三类:

——雷电过电压;

——操作过电压;

——暂时过电压。

4.1.1 雷电过电压和电流

大多数情况下,雷电冲击强度是选择 SPD 试验类型和相关电流或电压值(I_{imp}、I_{max} 和 U_{oc} 见 IEC 61643-1)的主要因素。

要选择合适的 SPD,需要评估雷电涌的波形和电流(电压)幅值,确定 SPD 的电压保护水平是否足以保护在这种环境中的设备是相当重要的。

对于建筑物的雷电防护系统,有关雷电流的幅值和波形的说明参见 GB/T 21714.1—2008。

注:例如,雷电频繁区域安装的 SPD 要求耐受 I 类或 II 类试验。

一般来说,建筑物外部的电气装置受到的雷电冲击较高(例如,架空线遭受直击雷或雷电感应的情况),在建筑物外部,从装置的入口到内部电路,雷电冲击逐渐减小,这是由回路配置和阻抗变化引起的。

雷电防护的必要性取决于:

——当地落雷密度 N_g(建筑物所在地区年平均落雷密度,每年每平方公里的雷闪次数),现代的雷电定位系统可以提供相当精确的 N_g 数据;

——电力设备的外露部分,包括内部设备。一般认为地下系统比架空线系统暴露少。

即使由地下电缆供电,也可推荐使用 SPD 进行保护。为了确定是否需要电涌保护器,应考虑以下几方面:

——装置的附近有无雷电保护系统;

——电缆的长度是否足以提供网络的架空线到装置之间足够的距离(衰减);

——连接到装置的变压器的 MV(中压)侧的架空线易出现高的雷电过电压;

——在高土壤电阻率地区的地下电缆可能受到直击雷的影响;

——当由电缆供应电力的建筑物的规模和高度增大到一定程度,受到直击雷的危险性将显著增加,其他进(出)线(电话线、天线系统等)受到的直击雷将影响电力系统和设备;

——存在其他架空设施。

当许多建筑物由同一个电源系统供电时,没有安装 SPD 的建筑物的电力系统可能会产生较高的过电压。

对于外部具有雷电防护系统,内部具有 SPD 保护的建筑物,(在建筑物有直击雷的情况下),使用直流接地电阻值(例如:建筑物和配电系统、管等的接地)进行计算,用以确定通过 SPD 分配的电流值,一般认为是充分的。

GB/T 21714.1—2008 附录 E 给出了不同的雷击点(直击建筑物或其附近,直击导线或其附近)和不同情况下电流幅值和波形的估算值,该值是雷电保护水平的函数。

更多关于雷电冲击的资料见附录 C 和附录 I。

4.1.2 操作过电压

操作过电压的电流和电压的峰值通常比雷电过电压小,但持续时间较长。在某种情况下,在建筑物的内部深处或者接近操作过电压源的地方,操作过电压高于雷电过电压,需要知道操作过电压的能量,以便选择合适的 SPD。操作电涌(包括由于故障和熔断器动作产生的暂态电涌)的持续时间,会比雷电电涌持续的时间长得多。

通常情况下,SPD 额定参数的选择基于雷电冲击的强度。

更多关于操作冲击的资料见附录 C 和附录 I。

4.1.3 暂时过电压 U_{TOV}

4.1.3.1 概述

SPD 在其寿命期内可能会受到比电力系统最大持续工作电压高的暂时过电压 U_{TOV} 的影响。

暂时过电压有两个要素:幅值和时间。过电压持续时间主要取决于电力系统的接地情况(包括高压电力系统和接有 SPD 的低压系统)。在确定暂时过电压时,应考虑系统的最大持续工作电压(U_{cs})。

更多关于暂时过电压的资料见附录 E 和附录 I。

4.1.3.2 标准值

GB/T 16895.10—2010 给出了低压电网中预期的 U_{TOV} 的最大值(这些值的详细计算参见附录 E)。

较低的 U_{TOV} 取决于许多因素,如 SPD 的安装位置、电网型式等。

表 1 给出了变压器安装点(见表 1 的注 2)用户侧设备处 U_{TOV} 最大值(见图 4)。

表 1　GB/T 16895.10—2010 给出的最大 TOV 值

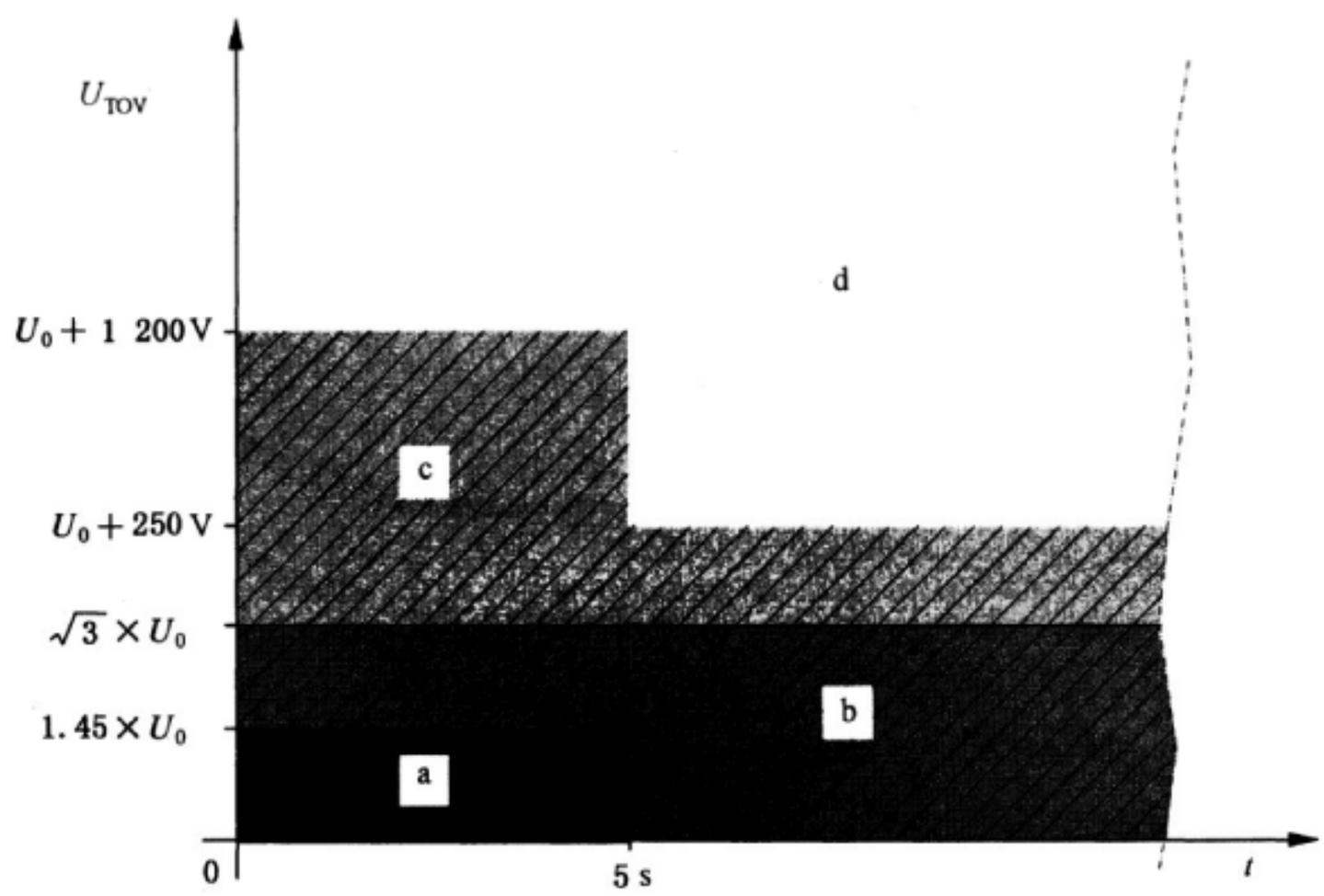
U_{TOV}发生处	系　　统	$U_{TOV(HV)}$最大值
相-地	TT、IT	U_0+250 V,持续时间>5 s
		U_0+1 200 V,持续时间≤5 s
中线-地	TT、IT	250 V,持续时间>5 s
		1 200 V,持续时间≤5 s
以上数值是与高压电网故障有关的极端值,可根据附录 E 按电力系统类型计算出		
U_{TOV}发生处	系　　统	$U_{TOV(HV)}$最大值
相-中线	TT 和 TN	$\sqrt{3}\times U_0$
以上数值与低压系统的中线断线有关		
相-地	IT 系统 (TT 系统见注 1)	$\sqrt{3}\times U_0$
以上数值与低压系统的相导线意外接地有关		
相-中线	TT、IT 和 TN	1.45×U_0,持续时间≤5 s
以上数值与相线和中线短路有关		

注 1:在 TT 系统中,持续时间≤5 s 时,已证明也会出现这样高的 TOV,详见附录 E。GB/T 16895.10—2010 中无相关规定。

注 2:在变压器安装点,最大的 TOV 值可能与上表不同(高或低)。详见附录 E。

注 3:选择 SPD 时不考虑中线断线。

更进一步的资料详见附录 E。



说明:

a——LV 装置故障(短路)时,TT、TN 和 IT 系统中相对中线间的 $U_{TOV(LV)}$ 区域;

b——LV 装置故障(单相导体意外接地)时,IT 系统(TT 见表 1 中注 1)相和地之间 $U_{TOV(LV)}$ 区域和 LV 装置故障时(中线断线)TT 和 TV 系统相和中线之间 $U_{TOV(LV)}$ 区域;

c——HV 系统产生故障时,TT 和 IT 系统中在用户的装置相和地之间最大 $U_{TOV(HV)}$ 值区域;

d——未定义区域。

图 4　依据 GB/T 16895.10—2010 的 U_{TOV}最大值

4.2 被保护设备的特性

瞬态条件下被保护设备的特性由以下两种试验确定：

——依据 GB/T 16935.1—2008 对设备进行冲击耐受试验，该试验仅为绝缘配合试验，试验期间设备不施加工作电压；

——依据 GB/T 17626.5—2008 对设备进行冲击抗扰度试验，该试验评估设备抗冲击干扰能力，对于不同级别，采用复合波发生器(1.2/50，8/20)进行试验，试验能够发现施加工作电压时设备产生的故障、缺陷和失效。

通过被使用设备在瞬态环境条件下的冲击耐受试验和冲击抗扰度试验的比较，确定了 SPD 的潜在需求，更进一步的资料详见附录 M。

注：所选择的 SPD 的保护水平 U_p 应比设备冲击耐受水平低，或者在某些情况下，设备持续运行是关键的，U_p 低于设备的冲击抗扰性。U_p 的选择应依据 6.2.2 和 6.2.5。另外，由于受试设备和发生器的可能的相互作用，设备的抗扰度不仅是 U_p，也是施加电涌波形的函数。

5 电涌保护器

5.1 SPD 基本功能

本部分考虑的 SPD 安装在被保护设备的外部。

其功能如下：

——电力系统无电涌时，SPD 不应对其所应用的系统工作特性有明显影响；

——电力系统出现电涌时，SPD 呈现低阻抗，电涌电流主要通过 SPD 泄放，把电压限制到其保护水平，电涌可能引起工频续流通过 SPD；

——当电力系统出现电涌时，SPD 在电涌过后及熄灭任何可能出现的工频续流以后，恢复到高阻抗状态。

规定 SPD 的特性，使其在正常使用条件下能满足以上功能。正常使用条件包括：电力系统电压频率、负载电流、海拔高度(即气压)、空气湿度和环境温度。

5.2 附加要求

根据 SPD 的应用情况，或许要补充如下要求：

——SPD 免直接接触的保护(见 GB 16895.21—2011)；

——SPD 失效时的安全性。

当电涌大于 SPD 所设计的最大吸收能量和放电电流时，SPD 可能失效。在本部分中，SPD 的失效模式分为开路模式和短路模式。

在开路模式下，被保护系统不再受保护，由于失效的 SPD 对系统几乎没有影响，所以难以被发现。为保证下一个电涌到来之前更换失效的 SPD，就需要有一个指示功能。

在短路模式下，失效的 SPD 严重影响系统，系统中短路电流通过失效的 SPD，短路电流导通时使能量过度释放可能引起火灾，IEC 61643-1 短路电流耐受能力试验就涵盖了该问题，如果被保护系统没有合适的装置将失效的 SPD 从系统中脱离，使用具有短路失效模式的 SPD 需配备一个合适的脱离器。

5.3 SPD 分类

5.3.1 SPD：分类

电涌保护器依照 IEC 61643-1 分类如下：

端口数:一或二;

设计类型:电压开关型、电压限制型、复合型;

Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类试验;

使用地点:户内或户外;

可触及性:可触及的、不可触及的;

安装模式:固定的或可移动的;

脱离器:位置(外部的、内部的、内外都有、没有)和保护功能(热、泄漏电流、过电流);

过电流保护:规定或不规定;

SPD 外壳提供的防护等级(IP 代码);

温度范围:正常范围或超过正常范围的。

依据定义,户外是指封闭空间以外,这类 SPD 易受外部环境条件影响。户内指封闭空间以内。这类 SPD 易受户内环境条件影响。不可触及的指不用工具或其他设备就不能接触到带电部件。

以上选择与制造工艺有关,由制造厂规定。

5.3.2 典型设计和布局

SPD 的主要保护元件分为两类:

——限压型元件:ZnO 压敏电阻、雪崩二极管或抑制二极管等;

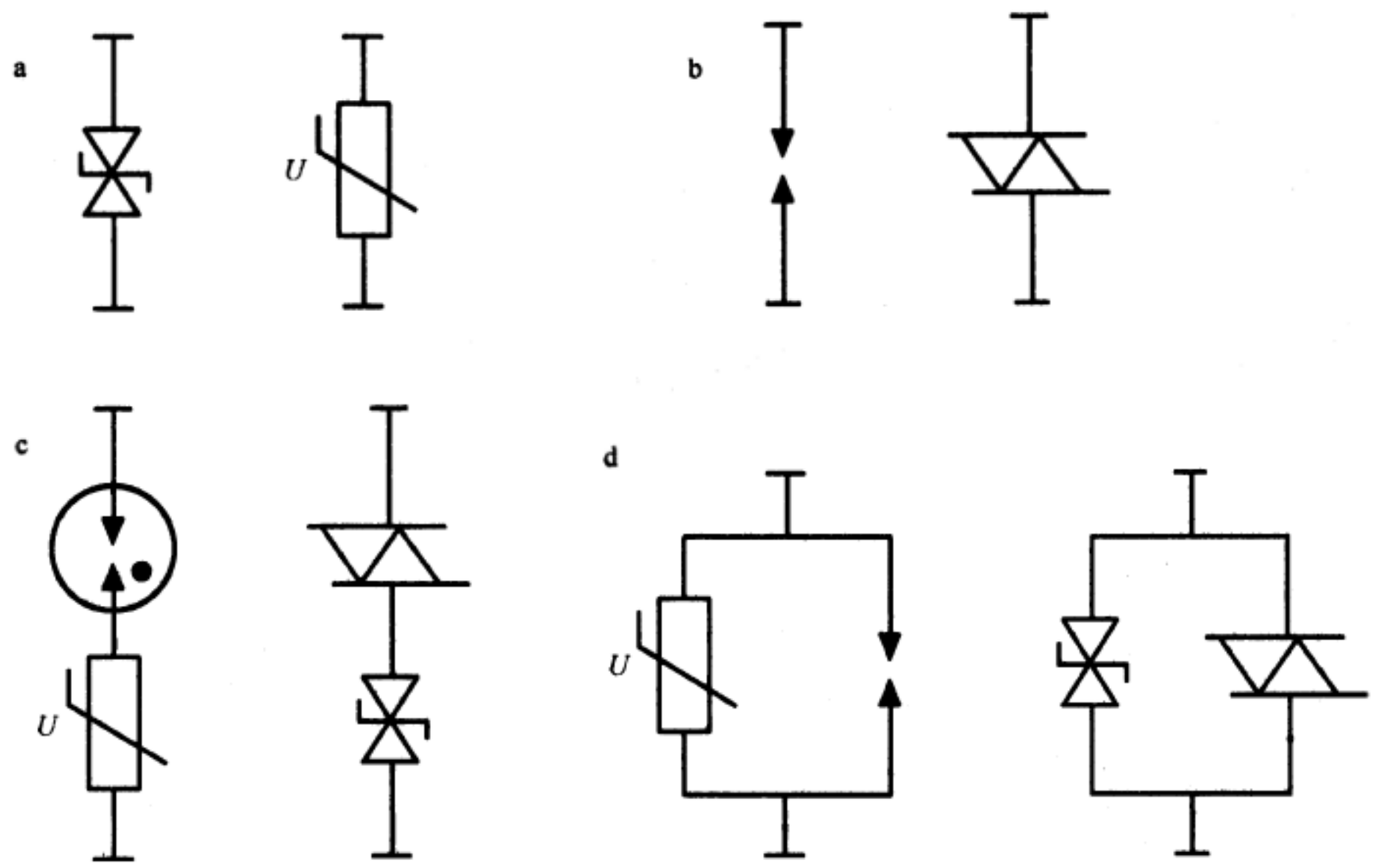
——开关型元件:空气间隙、气体放电管、晶闸管(可控硅整流器)、三端双向可控硅开关等。

基于这些元件,典型 SPD 设计分类如下(见图 5):

——仅电压限制型元件(图 5a):限压型 SPD;

——仅电压开关型元件(图 5b):开关型 SPD;

——限压型和开关型元件组合(图 5c 和图 5d):复合型 SPD。



说明:

a——限压型元件;

b——开关型元件;

c——限压型和开关型元件串联;

d——限压型和开关型元件并联。

图 5 元件及组件示例

不是所有的 SPD 都是基本元件的简单排列，可以增加指示器、脱离器、熔断器、电感、电容和其他元件。

此外，SPD 可设计为：一端口 SPD（见 3.1.25）和二端口 SPD（见 3.1.26）。

5.4 SPD 特性

5.4.1 IEC 61643-1 规定的使用条件

正常使用条件：

——频率主要在 48 Hz 和 62 Hz 之间的交流电源或直流电源；

——海拔不超过 2 000 m；

——工作温度：正常范围为－5 ℃～＋40 ℃，极限范围为－40 ℃～＋70 ℃；

——室温条件下相对湿度在 30%～90%之间。

注 1：用户决定 SPD 的使用场所（户内、户外等），并确定环境温度条件是在正常范围内或在扩展范围内。

注 2：IEC 61643-1 也给出了最大持续工作电压的数值。见本部分 6.2.1。

注 3：通常产品的存储温度范围大于工作温度的范围。

异常使用条件：

对处于异常使用条件下的 SPD，在设计和使用时需要作特殊考虑，并应引起制造厂重视。

阳光辐射：大多数 SPD 不经受阳光辐射，通常型式试验不考虑阳光辐射，对于暴露于阳光辐射下的 SPD 应考虑并且要进行相应的试验。

注 4：通常，SPD 外壳的防护等级应高于 IP2X，某些场合（例如，户外型 SPD）可能使用其他防护等级。

5.4.2 选择 SPD 所需的参数清单

以下是用户正确选择 SPD 所需要的常用参数清单：

注：其中一些参数是对指定保护模式规定的。

a) U_c：最大持续工作电压；

b) 暂时过电压特性；

c) I_n：标称放电电流（仅对Ⅰ类和Ⅱ类试验）；

d) Ⅱ类试验的 I_{max}、Ⅰ类试验的 I_{imp} 和Ⅲ类试验的 U_{oc}；

e) 电压保护水平 U_p；

f) 失效模式；

g) 短路电流耐受能力；

h) I_{fi}：额定断开续流（电压限制型 SPD 除外）；

i) 额定负载电流 I_L（对二端口 SPD 或输入/输出分开的一端口 SPD）；

j) 电压降（对二端口 SPD 或输入/输出分开的一端口 SPD）；

k) I_{PE}：残流（可选择的）。

图 6 给出 U_p、U_o、U_c 和 U_{cs} 之间关系。

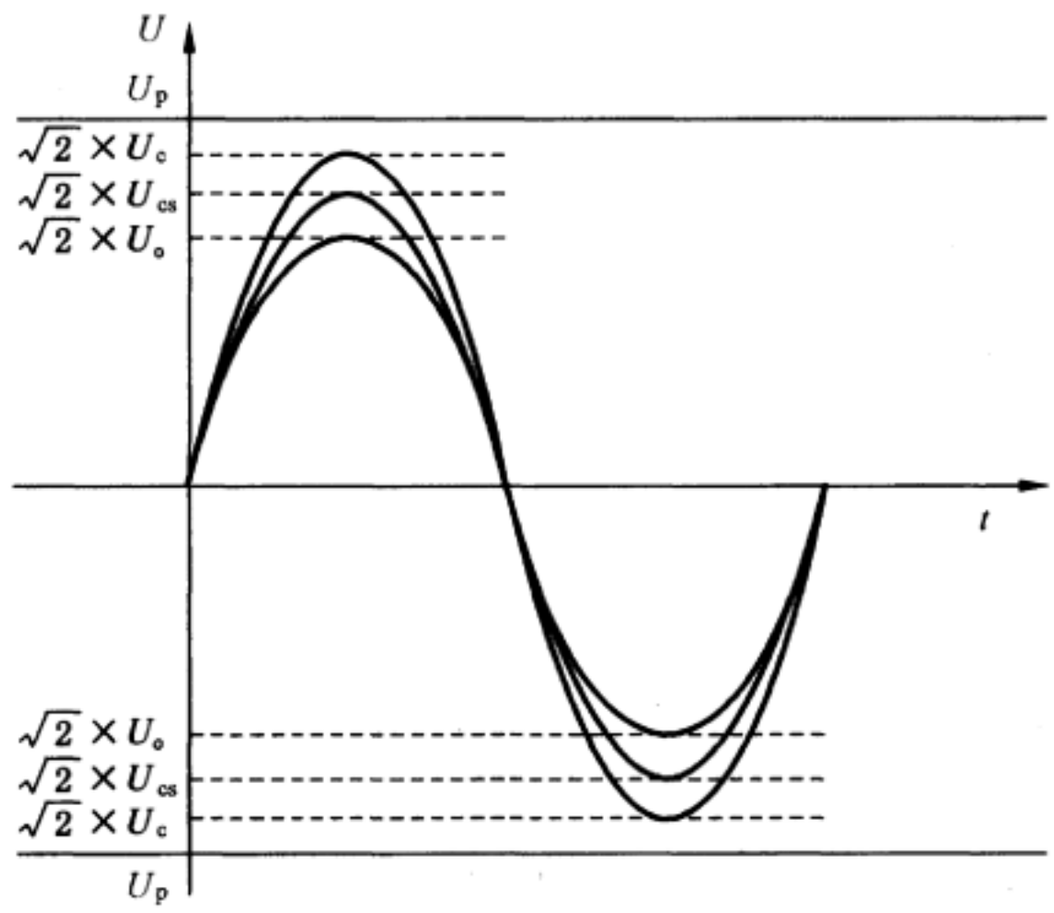


图 6　U_p、U_o、U_c 和 U_{cs}之间关系

5.5　SPD 特性的补充资料

5.5.1　与工频电压有关的资料

5.5.1.1　U_c 和 I_c:最大持续工作电压和持续工作电流

在正常条件下 U_c 的选择应使 SPD 的特性(老化、热崩溃等)在正常条件下变化最小。

I_c 是指施加 U_c 时通过 SPD 的电流值。流过接地端(PE)的电流就称为残流 I_{PE}。在选择 SPD 时要考虑残流 I_{PE},以避免过电流保护器或其他保护器(例如,RCD)误动作(见 GB 16895.22—2004)。

关于系统的配置如何影响过电流保护器或其他保护器工作的进一步资料见附录 J。

5.5.1.2　暂时过电压特性

用几组工频(或直流)过电压-时间(几秒以下)关系的数值足以表征 SPD 的暂时过电压的特性。

SPD 应耐受 TOV 试验而其特性没有发生不可接受的变化,或者以可接受的方式失效。

按照 GB 16895.22—2004 规定,安装的 SPD 应能耐受由低压系统故障引起的 TOV(见表 5 中持续时间为 5 s 的 TOV 值)。按照 CT2 连接方式(见图 11)安装在中性线和 PE 间的 SPD 也应能耐受由高压系统故障引起的 TOV(见表 5 中持续时间为 200 ms 的 TOV 值)。

IEC 61643-1 所考虑的 TOV 持续时间限于 200 ms 和 5 s,这两个持续时间所对应的试验电压值为 U_T。

制造厂应按照 IEC 61643-1 的规定提供产品的在暂时过电压下的特性。

注: 在要求 SPD 保持与被保护设备保持协调的前提下,可能很难选择既有高暂时过电压耐受能力又有低电压保护水平的 SPD。

用户可通过比较 SPD 在暂时过电压下耐受特性和电力系统产生的暂时过电压(U_{TOV})来选择最合适的 SPD。表 5 给出了 SPD 试验用的标准值。

5.5.2　与电涌电流相关的资料

下面讨论的内容与电压、电流和电涌波形的时间特性有关。根据 SPD 预期承受能力,采用不同的电涌波形和幅值水平进行试验。

在 IEC 61643-1 的引言中给出了选择 SPD 合适试验类别的导则,规定如下:

——Ⅰ类试验用于模拟部分传导雷电流冲击的情况。符合Ⅰ类试验方法的 SPD 通常推荐用于高

暴露地点，例如：由雷电防护系统保护的建筑物的进线。

——Ⅱ类或Ⅲ类试验方法试验的 SPD 承受较短时间的冲击。这些 SPD 通常被推荐用于较少暴露于直接受冲击的地方。

选择 SPD 时应考虑其试验类别和规定的冲击幅值。

注 1：Ⅱ类试验对 SPD 施加外加电流。Ⅲ类试验对 SPD 施加电压，所产生的电流与 SPD 的特性有关。

注 2：标注在 SPD 铭牌上的试验类别通过方框内的 T 表示："T1"表示Ⅰ类试验，"T2"表示Ⅱ类试验，"T3"表示Ⅲ类试验，或者用文字写出"试验类别"。

5.5.2.1 标称放电电流 I_n(8/20)(对于进行Ⅰ类、Ⅱ类试验的 SPD)

此电流用来作为一个试验参数，以确定Ⅰ类和Ⅱ类试验的 SPD 的限制电压。此电流也用于Ⅰ类和Ⅱ类动作负载试验的预处理(施加 15 次)。

I_n 较 I_{max} 低，并相当于装置中预期相当频繁出现的电流。

I_n 优选值：0.05 kA、0.1 kA、0.25 kA、0.5 kA、1.0 kA、1.5 kA、2.0 kA、2.5 kA、3.0 kA、5.0 kA、10 kA、15 kA 和 20 kA。

5.5.2.2 I_{imp} 和 I_{max}(对于进行Ⅰ类和Ⅱ类试验的 SPD)

I_{imp} 和 I_{max} 分别为Ⅰ类和Ⅱ类动作负载试验的试验参数。这些参数与最大放电电流值有关。在系统中安装 SPD 的场所，很少出现预期最大放电电流。I_{max} 用于Ⅱ类试验而 I_{imp} 用于Ⅰ类试验。

根据 IEC 61643-1，I_{imp}(I_{peak}、Q)优选值见表 2。

表 2 I_{imp} 的优选值

I_{peak}/kA	Q/C	W/R/(kJ/Ω)
20	10	100
12.5	6.25	39
10	5	25
5	2.5	6.25
2	1	1
1	0.5	0.25

注 1：通常 I_{imp} 比 I_n 的波形更长。

注 2：10/350 波形是满足表 2 要求的一种示例波形。

5.5.3 与电压保护水平相关的资料

5.5.3.1 限制电压的测量

a) Ⅰ类和Ⅱ类试验

限制电压的测量可由两个试验来确定：

——使用 8/20 波形测量各种电流值下的残压；

——使用 1.2/50 波形测量放电电压。

限制电压是下列电压的最高值：

——或者对应下列电流范围的残压；

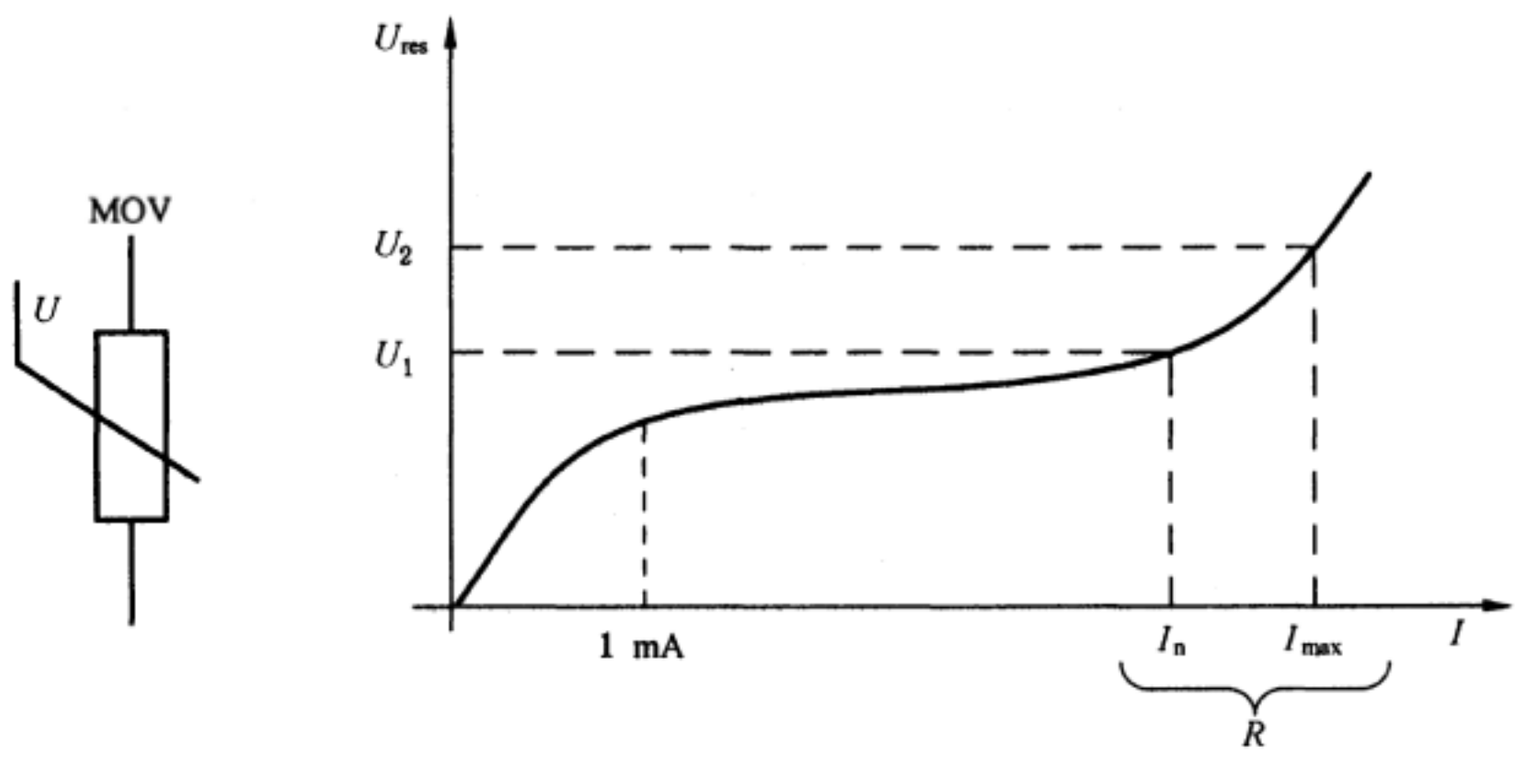
Ⅰ类试验，从 $0.1\times I_n$ 直到 I_{peak} 或 I_n，取其中较高值；

Ⅱ类试验，从 $0.1\times I_n$ 直到 $1.0\times I_n$。

——或者用 1.2/50 波形测得的波前放电电压。

- 对于具有限压型元件的 SPD

图 7 给出了 ZnO 压敏电阻 U_{res}-I 的典型曲线。图中说明在 I_{max}下 SPD 的残压也应考虑。如果该残压比电压保护水平高，特别是比被保护设备的冲击耐受电压还高时，虽然 SPD 能承受这样的电应力，但设备将不被保护。因此应适当地选择 SPD 的电压保护水平和冲击电流耐受能力。



说明：

U_1——I_n 下的残压；

U_2——I_{max}下的残压；

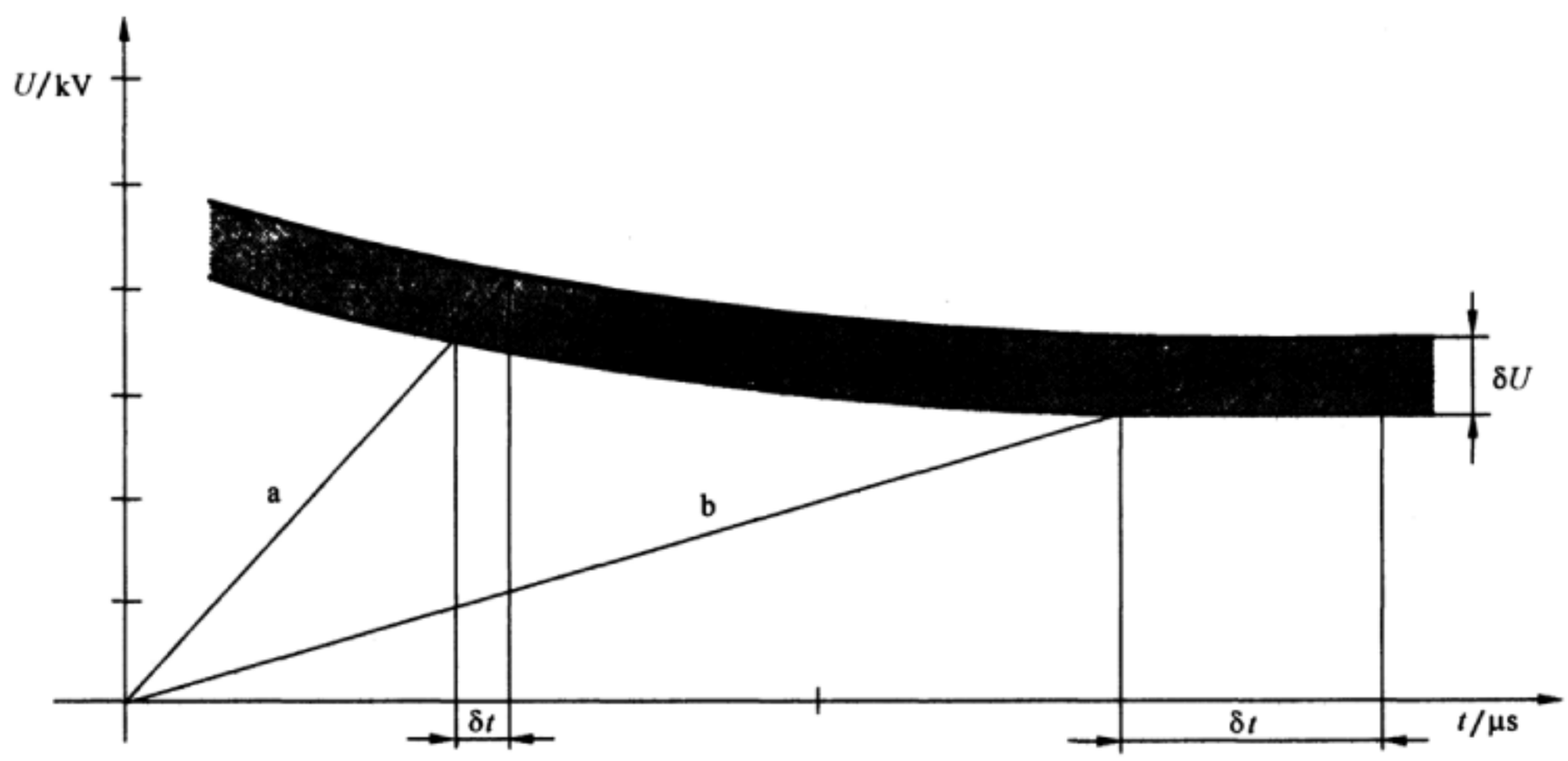
R ——几 kA 电流的范围。

图 7 ZnO 压敏电阻 U_{res}-I 典型曲线

- 对于具有限压开关型元件的 SPD

具有火花间隙的器件(气体放电管等)的冲击放电电压与所施加的瞬态过电压的上升率(dU/dt)有关。

一般来说，瞬态电压上升率(dU/dt)增加会导致冲击放电电压增加。在规定的 dU/dt 下，冲击放电电压是一个统计值，因此测量值具有一定的分散性(见图 8)。



说明：

a ——较高上升率——10 kV/μs；

b ——较低上升率——1 kV/μs；

δt ——放电时间分布；

δU——放电电压分布。

图 8 放电间隙典型曲线

b) Ⅲ类试验

按Ⅲ类试验的 SPD,采用复合波发生器。试验过程中测量的最大值作为限制电压值。

5.5.3.2 电压保护水平 U_p

U_p 由制造厂提供。按定义,该值应等于或大于实测限制电压的最高值,制造厂确定该值时应考虑制造偏差。

电压保护水平优选值:0.08 kV、0.09 kV、0.10 kV、0.12 kV、0.15 kV、0.22 kV、0.33 kV、0.4 kV、0.5 kV、0.6 kV、0.7 kV、0.8 kV、0.9 kV、1.0 kV、1.2 kV、1.5 kV、1.8 kV、2.0 kV、2.5 kV、3.0 kV、4.0 kV、5.0 kV、6.0 kV、8.0 kV、10 kV。

附录 B 给出了典型的系统标称电压与 ZnO 压敏电阻 SPD 的电压保护水平的关系。

5.5.4 与 SPD 失效模式相关的资料

失效模式决定了 SPD 与其他设备的兼容性、自身应用的兼容性和与 SPD 连接的其他电器的兼容性。

SPD 失效模式取决于电涌电流和电压的幅值、次数和波形、电力系统的短路能力和失效时 SPD 上施加的电压值。本部分认为 SPD 有两种失效模式:

——短路或低阻抗;

——开路或高阻抗。

有时,SPD 在某一时段处于一个不确定状态,该状态吸收能量,并最终导致(自身或与脱离器或过电流保护)开路或短路状态。本部分认为,这个状态是暂时的,不予讨论。

关于系统配置如何影响过电流或其他保护装置动作的详细资料见附录 J。

失效模式的 SPD 特性变化不予考虑,但在 5.5.7 中解释。

5.5.5 与短路耐受能力相关的资料

SPD 本身或与其脱离器和过电流保护器一起能够耐受制造厂宣称的短路耐受电流,且试验过程中不应有燃烧、熔化物质的炭化或迸出、外壳开裂。必须确保 SPD 使用场所的预期短路电流不高于其短路耐受电流,同时必须确保有制造厂推荐的脱离器和/或过电流保护器并能工作。

对非电压限制型的 SPD,也需要检查其额定断开续流能力 I_{fi} 要高于安装点的预期短路电流 I_p。

5.5.6 与负载电流 I_L 和电压降(二端口 SPD 或输入/输出分开的一端口 SPD)相关的资料

对于连接到电源的二端口 SPD 和一端口 SPD,必须确保设备的负载电流不超过 SPD 的额定负载电流 I_L。

注:需考虑负载的类型。如一些负载,其涌流可能高达有效值的 3 倍。这样高的电流会使两端口 SPD 内串联的元件发热。

必须检查安装了二端口 SPD 或输入/输出分开的一端口 SPD 以后,不会导致输出端设备出现不可接受的电压降。这由电压降 ΔU 来表征。

5.5.7 与 SPD 特性变化相关的资料

某些 SPD 在受到高于标准试验规定的电应力时,可能处于一个中间状态。在这种情况下,SPD 的某些特性可能偏离设计值,例如,U_p、I_n、I_c 等,尤其是并联带电部件的 SPD,在承受电涌以后,带电部件中的一个可能会断开。这时,用户可能不知道这些特性变化。在设计 SPD 时应避免任何这种中间状态,除非出现这种状态时有一个清晰的指示。

6 SPD 在低压配电系统的应用

6.1 SPD 的安装和保护效果

当对风险分析(见第 7 章)完成之后,就可以规定系统的电应力(见第 4 章)及 SPD 的特性(见第 5 章)。

SPD 在配电系统中应用时,可采用图 9 的流程图。

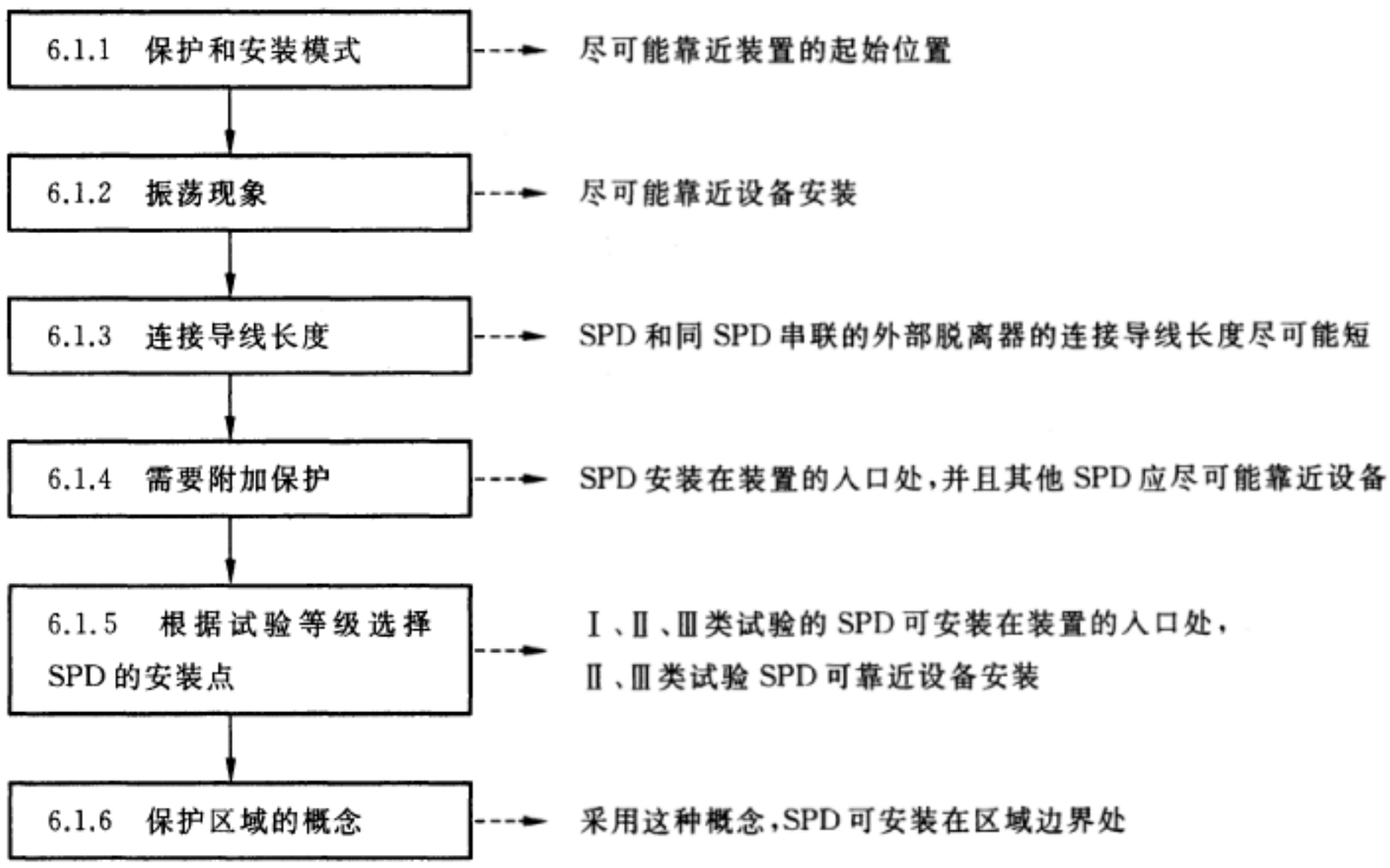


图 9 SPD 应用的流程图

SPD 实际安装示例见附录 N。

在入口处,可根据侵入的电涌应力选择符合Ⅰ类、Ⅱ类或Ⅲ类试验要求的 SPD。考虑电涌电流所引起的电应力大小是正确选择 SPD 的关键。特别当存在雷电防护系统时,可参见 GB/T 21714 系列标准中的附加说明。依据Ⅱ类试验和Ⅲ类试验测试的 SPD 也适用于被安装在靠近保护设备的位置。

6.1.1 可能的保护模式及安装

当要保护的设备有足够的过电压耐受能力或其靠近主配电盘,使用一个 SPD 可能就足够了。在这种情况下,SPD 的安装应尽可能靠近被保护装置的起始点。在这个位置,SPD 应该有足够的冲击耐受能力。图 K.1～图 K.5 给出了在不同系统类型上位于被保护装置的起始点的 SPD 的典型连接。图 K.5 为一个 TN C-S 系统中的具体示例。

位于或靠近被保护装置的起始点的 SPD 应至少被连接在以下几点之间:

a) 如果在或接近被保护装置的起始点处中性线和 PE 有直接连接,或没有中性线:

在每条相线和总接地端子之间或保护导线之间,以连接线较短为优先原则;

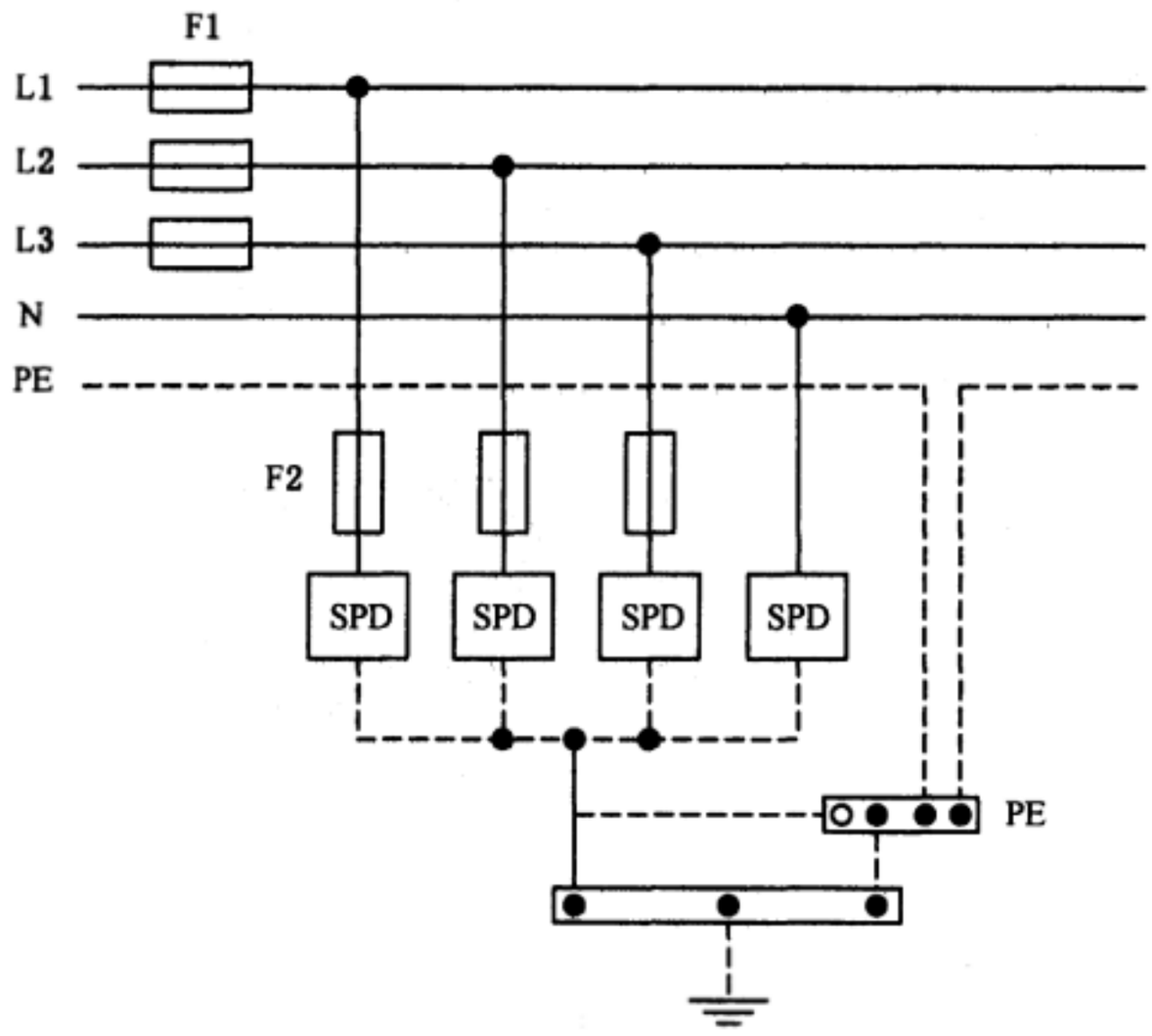
注 1:在 IT 系统上,连接中性线和 PE 的阻抗不认为是一个连接。

b) 如果在或接近被保护装置的起始点处中性线和 PE 没有直接连接:

连接类型 1(CT1)——在每条相线和总接地端子之间或保护导线之间,在中性线和总接地端子之间或保护导线之间,以连接线较短为优先原则,见图 10。

连接类型 2(CT2)——在每条相线和中性线之间，在中性线和总接地端子或保护导线之间，以连接线较短为优先原则，见图 11。

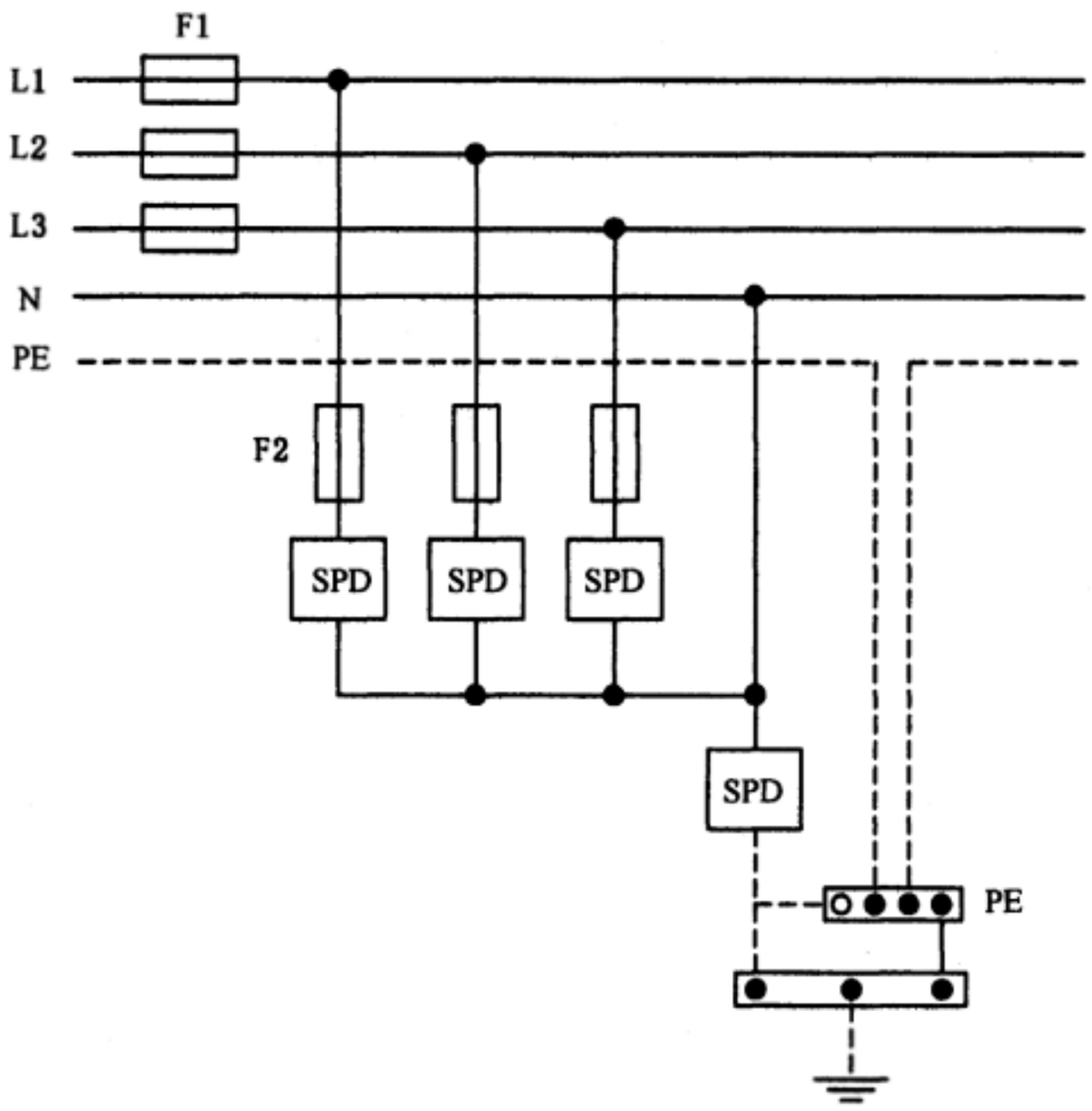
注 2：如果某根相线接地，其即被认为相当于 b)款中的中性线。



说明：

F1——熔断器。

图 10　连接类型 1(CT1)



说明：

F1——熔断器。

图 11　连接类型 2(CT2)

表 3 列出了各种低压系统可能需要的保护模式。

注 3：如果在相同导线上连接有两个以上的 SPD，有必要确保它们之间的协调。

注 4：保护模式的数量取决于被保护设备的类型（例如，如果设备没有接地，相线对地或中心线对地的保护可能就没有必要），由各种保护模式下设备的耐受能力、电气系统的结构、接地以及侵入电涌的特点而定。例如，一般在相线/中性线和 PE 导线之间或在相线和中性线之间施加保护一般就足够了，而不用再在相线和相线之间施加保护。

注 5：安装在供电部门计量表前的 SPD 装置必须经供电部门同意。

表 3　各种 LV 系统可能的保护模式

SPD 连接位置	SPD 安装位置的系统结构							
	TT		TN-C	TN-S		IT 带中线		IT 不带中线
	安装方式			安装方式		安装方式		
	CT1	CT2		CT1	CT2	CT1	CT2	
相和中线之间	+	*	NA	+	*	+	*	NA
相和 PE 之间	*	NA	NA	*	NA	*	NA	*
中线和 PE 之间	*	*	NA	* 见注 1	* 见注 2	*	*	NA
相和 PEN 之间	NA	NA	*	NA	NA	NA	NA	NA
相相之间	+	+	+		+	+	+	+

*：必须的；
NA：不适用；
+：可选的，除了必须的 SPD 以外；
CT：连接类型。

注 1：当 SPD 和 PE-N 等电位体之间距离过短（典型的不足 10 m）时，可以不安装 SPD。

注 2：采用 CT2 连接方式时，比较设备的耐受电压 U_W 应与串联的两个 SPD（L-N、N-PE）的保护水平相比较，这可能不同于两个 SPD 的 U_P 的简单相加。

建议进入被保护结构的电力和信号网络互相接近并将其互相联结在一个共用的等电位排上。这对于非屏蔽材料建造的结构（木、砖、混凝土等）特别重要。

更进一步的资料见附录 K。

6.1.2　振荡现象对保护距离的影响

当 SPD 被用来保护特定设备或当 SPD 装在主配电盘上而不能为某些设备提供足够的保护时，SPD 应尽可能地靠近被保护设备。如果 SPD 和被保护设备之间的距离太长，设备端产生的振荡电压值普遍高至两倍的 U_p，在一些情况下，甚至超过这个水平。因此尽管装有 SPD，振荡现象仍能引起被保护设备失效（见图 K.8～图 K.10），适合的距离（称为保护距离）取决于 SPD 型式、系统类型、侵入电涌的陡度和波形及连接的负载。实际上，如果设备的阻抗高或设备内部断开，就有可能产生两倍的振荡电压。图 10 给出了在这种条件下，振荡现象产生两倍电压的示例。

一般情况下，距离不到 10 m 的震荡可以被忽略。有时设备有内部保护元件（例如，ZnO 压敏电阻），这将显著降低即使在长距离上的震荡。在最后这种情况中需要注意避免出现 SPD 和设备内部保护元件的配合问题。

注：由于雷电流在 SPD 和被保护设备之间的回路上直接感应引起的电压，保护距离可能要缩短。

更进一步资料见附录 K。

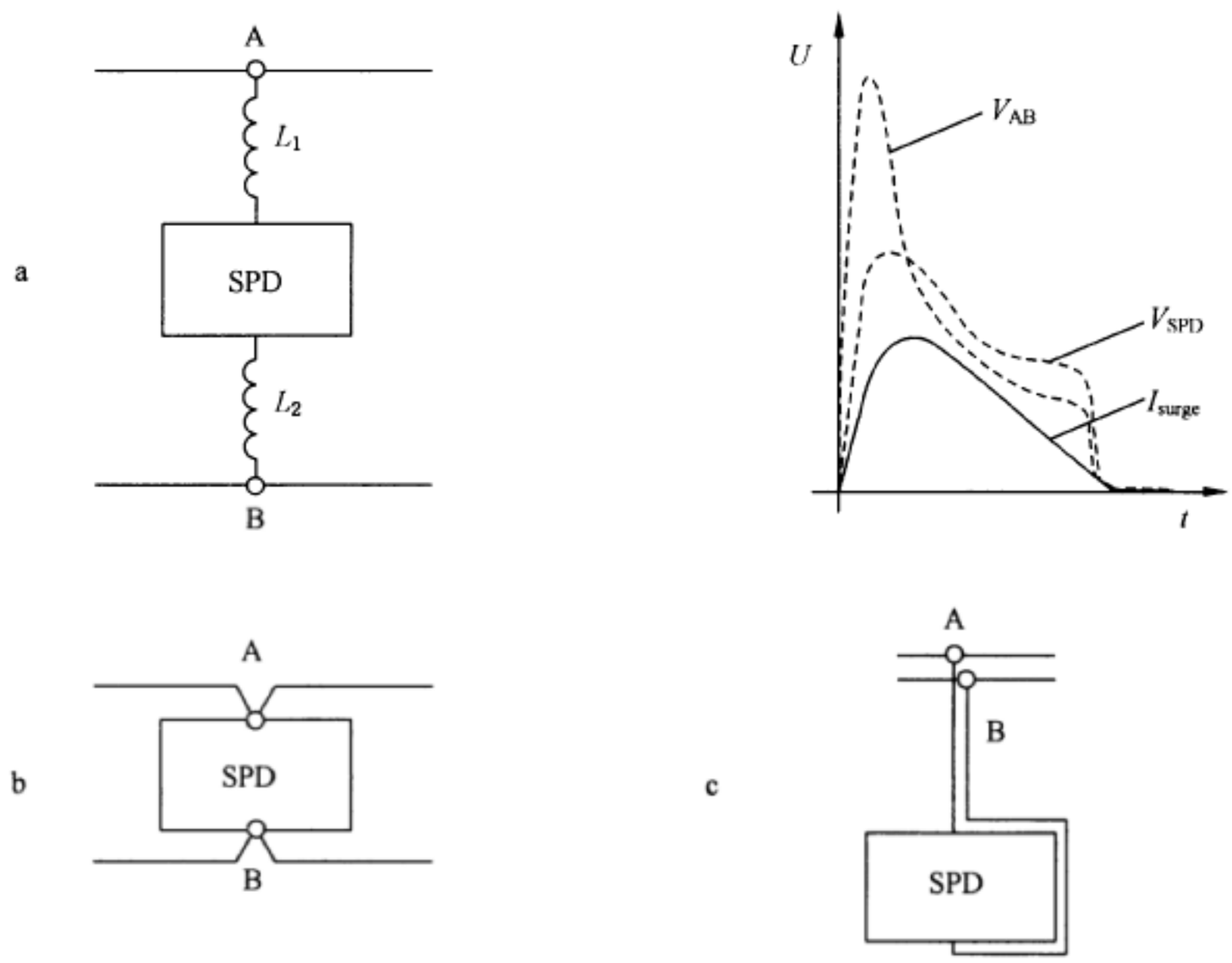
6.1.3 连接导线长度的影响

为了实现最佳的过压保护，SPD 的连接导线应尽可能短。长的连接导线将使 SPD 的保护能力降低。因此，可能需要选择一个有更低电压保护水平的 SPD 来提供有效的保护。传送至设备的残压为 SPD 的残压和沿导线感应电压降之和，这两个电压可能并不在同一时刻到达峰值，但出于实用目的，可以简单地相加；图 10 给出在冲击放电电流下，连接导线的电感对各 SPD 连接点测得电压的影响。

一般来说，假定导线的电感是 1 μH/m。当冲击波上升率为 1 kA/μs 时，电感沿导线长度的电压降大约为 1 kV/m。而且，如果 di/dt 的陡度更大，电压降值会更高。

最好尽可能地使用图 12 中的方案 b，这种方案的电感效应将会显著降低。当不能使用方案 b 时，可以应用使用了绞合导线的方案 c。尽可能避免使用方案 a，因为增加 SPD 连接导线的长度会降低过电压保护的有效性。当 SPD 连接导线的长度尽可能地短（总引线的长度最好不要超过 0.5 m）以及没有形成任何环路的情况下，使用方案 a 才可能获得最佳电压保护。

注： 如果导线相互紧靠而使回流路径导体与入流导体产生磁耦合，其电感将降低（见图 12 中方案 c）。



说明：

a L_1、L_2——导线 l_1、l_2 的相应电感；

I_{surge} ——电涌电流-时间的曲线；

V_{SPD} ——通过电涌时，SPD 端子间的电压；

V_{AB} ——A 点和 B 点之间通过电涌时的电压＝V_{SPD}＋电感（L_1+L_2）上的电压降；

特别是当 L_1 或 L_2 较大时，应避免采用这种形式；

b 推荐首选形式；

c 当 b 方式不适合时，可采用这种方式。

图 12 SPD 连接导线长度的影响

进一步资料见附录 K。

6.1.4 附加保护的必要性

在一些情况下，一个 SPD 就能满足条件，例如，建筑物进线处电应力较低时，将 SPD 安装在电源进线处效果更好（见 6.1.1）。

在一些特殊情况下，可能需要在尽可能靠近被保护的设备处增加附加的保护器件，例如：

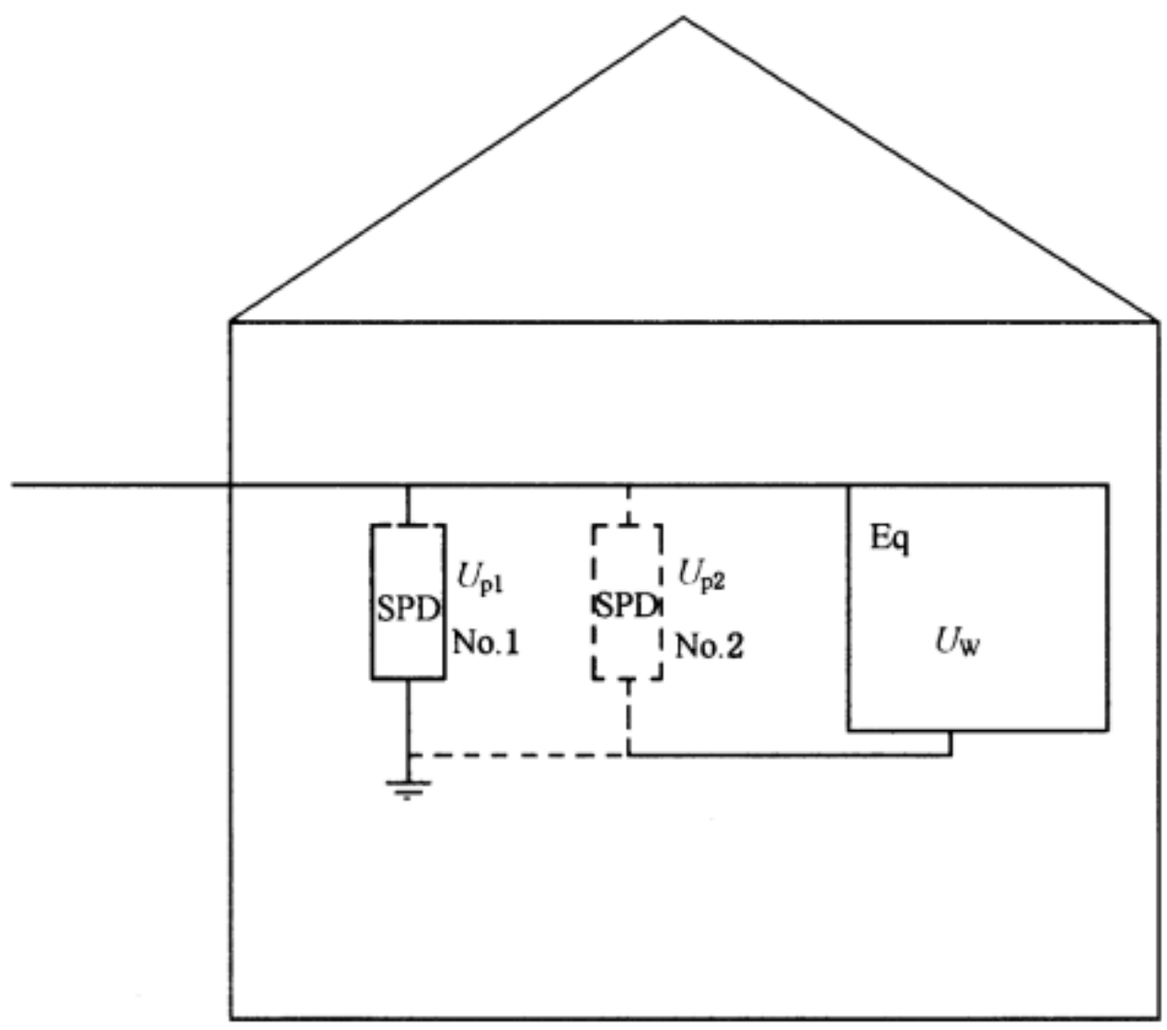
——存在很敏感的设备（电子设备，计算机）；

——位于入口处的 SPD 和被保护设备之间的距离过长（见 6.1.2）；

——由雷电冲击和内部干扰源引起的建筑物内部的电磁场。

有必要考虑系统中需保护的最敏感设备的电压耐受值（U_W，见 GB/T 16935.1—2008），或者设备的抗冲击水平，尤其当该设备的持续运行是非常关键时。下文所示的例子中设备不是很关键，可仅考虑 U_W，在最靠近设备处安装的 SPD 电压保护水平 U_{p2} 应至少比该设备的电压耐受值低 20%。如果安装在入口处的 SPD 的保护水平（U_{p1}）包含在 6.1.2 所描述的效果中，由于 SPD 和设备之间的距离导致终端设备上的电压低于 $0.8\times U_W$，那么在该设备的附近不需要再加装 SPD（见图 13）。

进一步资料见 K.1.2 和图 K.9。



说明：

如果 $U_{p1}\times k<0.8\times U_W$，仅需要 SPD No.1（安装在进线处）；

如果 $U_{p1}\times k>0.8\times U_W$，除 SPD No.1 外还应安装 SPD No.2（$U_{p2}<0.8\times U_W$）；

Eq 是被保护设备，其耐受电压 U_W 的定义见 GB/T 16935.1—2008；

k 是可能产生振荡的系数（$1<k<2$，见 6.1.2）。

图 13　附加保护的必要性

注：GB/T 17626.5—2008 定义的设备抗扰度不同于 GB/T 16935.1—2008 定义的耐受电压（U_W）。其原因是 GB/T 17626.5—2008 使用复合波发生器进行试验，且部分的电涌电流可能流过设备（尤其是设备呈现低阻抗时），在这种情况下，要求适当地进行配合（见 6.2.6）。附录 M 给出了抗扰度和绝缘耐受之间对比的附加信息。应该注意的是，尽管 GB/T 16935.1—2008 描述了如何获得 U_W，但是获得每一种类型的设备在实际情况下的 U_W 值可能比较困难。

在建筑物内操作电涌可产生潜在的损坏，在这种情况下可能需要附加的 SPD。

在同一电路中使用两个 SPD 时，两者之间应该可以协调。

6.1.5　根据试验类别选择 SPD 的位置

应依照侵入电应力不同，来选取符合Ⅰ类、Ⅱ类或Ⅲ类试验要求的 SPD。考虑包含于电涌中的电应力因素是正确选择 SPD 的关键。Ⅱ类、Ⅲ类试验的 SPD 也适用于靠近被保护设备安装。

6.1.6 保护区域概念

若是为了设计及合理应用电涌保护器，有必要考虑保护区域的梯度，详见 GB/T 21714.4—2008。

这一概念假定：由配电系统的分合或直击雷和感应雷引起的传导危险参数从未保护环境传至被保护的敏感设备时逐级减小（每一级之间的距离由 6.1.2 决定）。

关于建筑物中配电系统细分的保护区域以及 SPD 的安装位置的示例见图 K.11。

6.2 SPD 的选择

SPD 的选择依据图 14 中从 6.2.1～6.2.6 六个步骤。

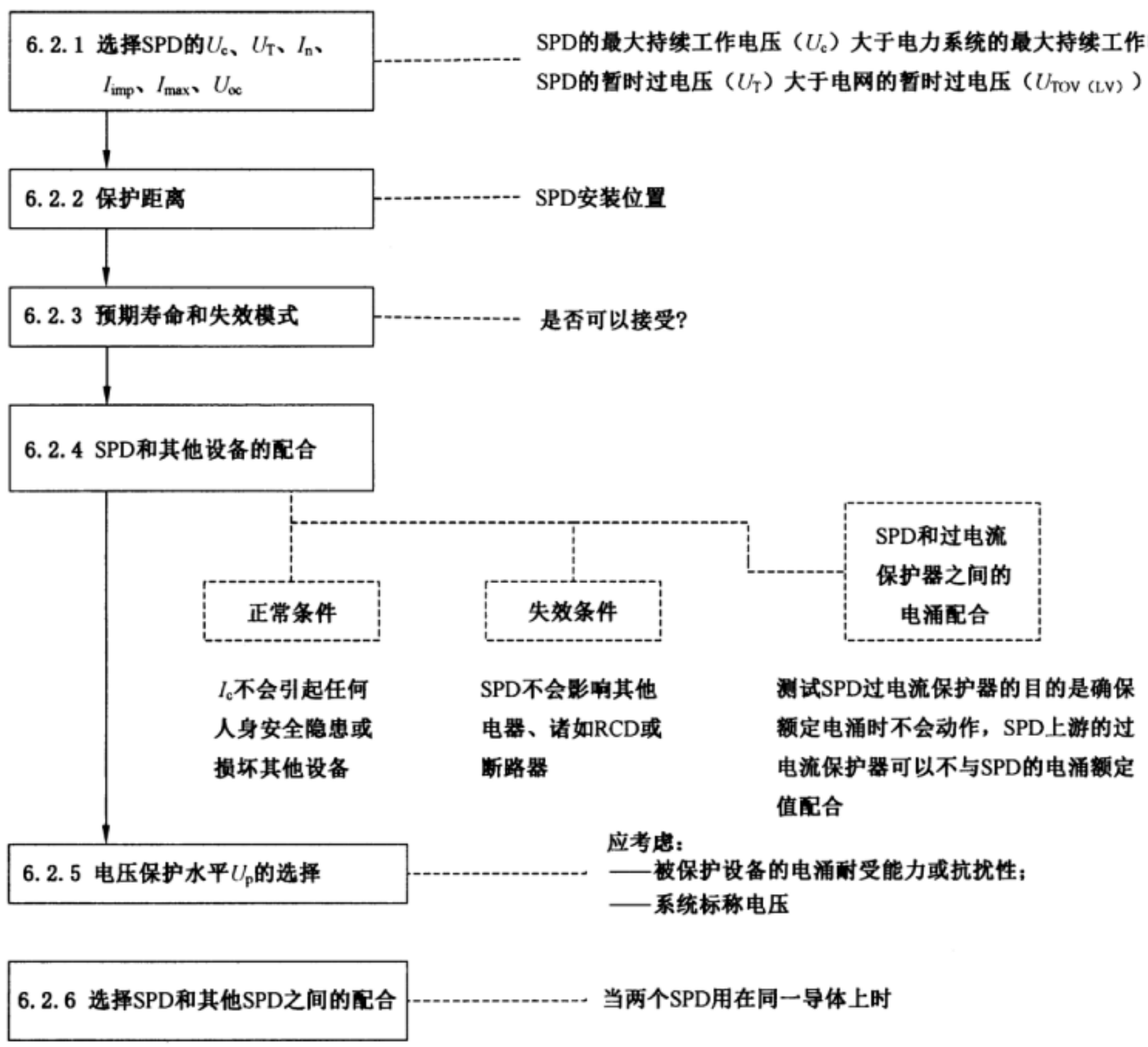


图 14 选择 SPD 的流程图

6.2.1 选择 SPD 的 U_c，U_T、I_n、I_{imp}、I_{max}、U_{oc}

6.2.1.1 SPD 的最大持续工作电压 U_c

SPD 的 U_c 值应该满足以下准则：

U_c 应该比系统中可能产生的最大持续工作电压 U_{cs}（$=k\times U_0$）要高（见附录 J，建议值见附录 B）。

$$U_c > U_{cs}$$

注：另外，对于 IT 系统，U_c 应该足够高能耐受首次故障状态。表 4 给出的值已覆盖这种故障状态。

具体要求如下（见 GB/T 16895.22—2004）：

表 4　对于各种电力系统推荐的 U_c 最小值

SPD 连接位置	配电网的系统结构				
	TT	TN-C	TN-S	IT 带中线	IT 不带中线
相和中线之间	$1.1\times U_0$	NA	$1.1\times U_0$	$1.1\times U_0$	NA
相和 PE 之间	$1.1\times U_0$	NA	$1.1\times U_0$	$\sqrt{3}\times U_0$（见注 3）	线对线电压（见注 3）
中线和 PE 之间	U_0（见注 3）	NA	U_0（见注 3）	U_0（见注 3）	NA
相和 PEN 之间	NA	$1.1\times U_0$	NA	NA	NA

注 1：NA 表示不适用。

注 2：U_0 是低压系统的相电压。

注 3：这是最严重故障情况下的值，因此没有考虑 10%公差。

注 4：在扩展的 IT 系统中，需要更高的 U_c 值。

6.2.1.2　SPD 的暂时过电压的评估 U_T

U_T 的值应该高于由于低电压系统出现故障在被保护装置上预期出现的暂时过电压（TOV），如图 15 所示。

$$U_T > U_{TOV(LV)}$$

注 1：持续时间超过 5 s 的 $U_{TOV(LV)}$ 应被认为是最大持续工作电压 U_c。如在 IT 系统中，接地故障将会持续很长时间（几个小时），则连接在相和地之间 SPD 的 U_c 值至少等于最大的系统相-相电压（$U_0\times\sqrt{3}$）。

注 2：表 5 满足 GB/T 16895.22—2004 给出的要求。因此，$U_{cs}=1.1\times U_0$。

注 3：没有按照相关安装规则的不同电网和接地可能与表 5 中给出的值不同。

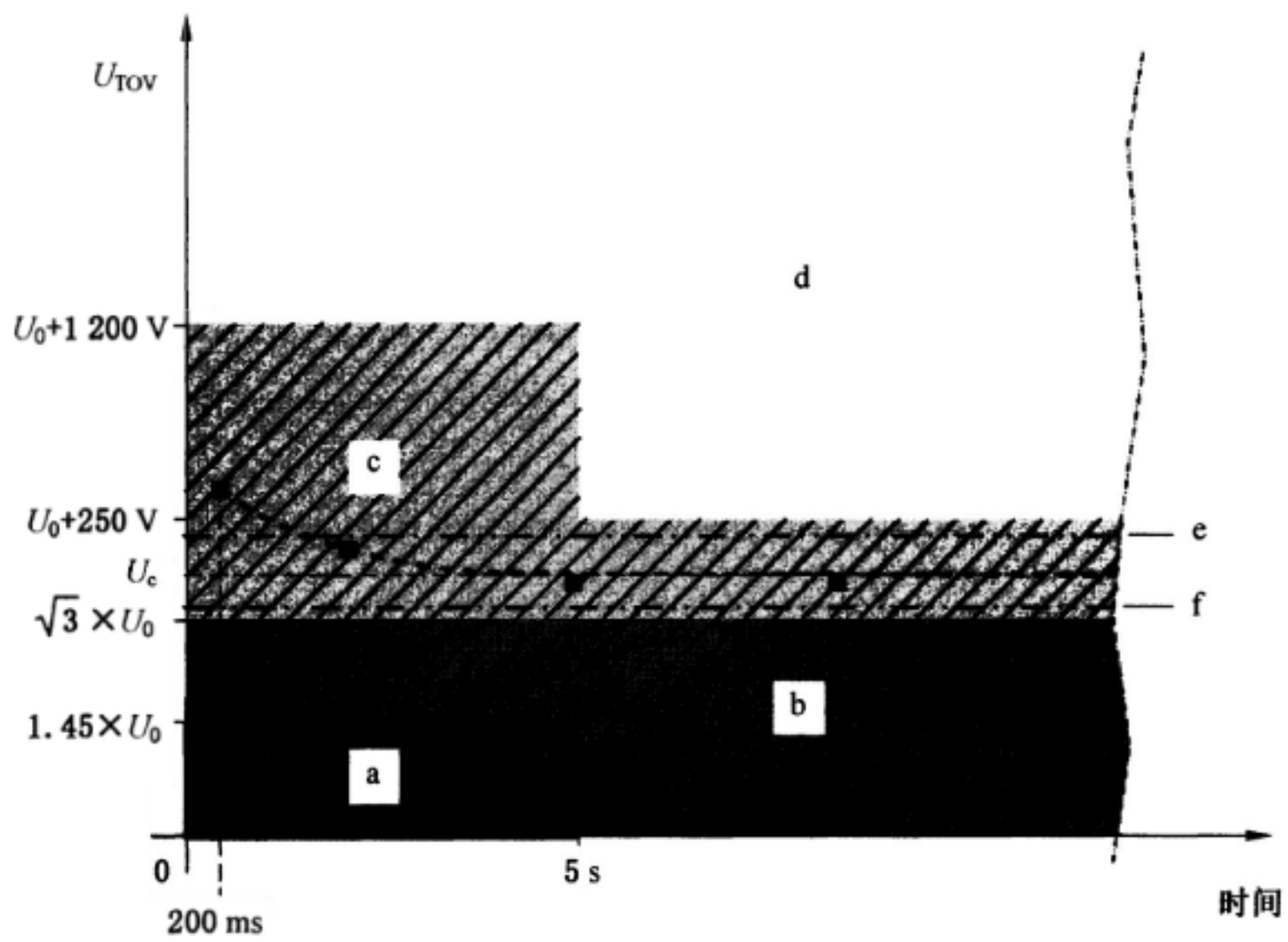
表 5　典型的 TOV 试验值

实际应用	TOV 试验值 U_T/V	
持续时间	5 s	200 ms
SPD 连接到：		
TN 系统		
L－(PE)N 或 L－N	$1.32\times U_{cs}$	
N－PE		
L－L		
TT 系统		
L－PE	$1.55\times U_{cs}$	$1\ 200+U_{cs}$
L－N	$1.32\times U_{cs}$	
N－PE		1 200
L－L		

表 5（续）

实际应用	TOV 试验值 U_T/V	
持续时间	5 s	200 ms
IT 系统		
L—PE		1 200+U_{cs}
L—N	1.32×U_{cs}	
N—PE		1 200
L—L		
TN、TT 和 IT 系统		
L—PE	1.55×U_{cs}	1 200+U_{cs}
L—(PE)N	1.32×U_{cs}	
N—PE		1 200
L—L		

在 TOV 的幅值很高的情况下，可能很难找到一个可以对设备提供电涌保护的 SPD，如果发生的概率足够低，可以考虑使用一个不能耐受 TOV 过压的 SPD，在这种情况下，必须使用合适的脱离设备。



说明：

a ——LV 装置故障时（短路），在 TT、TN 和 IT 系统相-中线之间的 $U_{TOV(LV)}$ 区域；

b ——LV 装置故障时（偶然接地），IT（TT）系统相-地之间的 $U_{TOV(LV)}$ 作用区域和 TT 和 LV 装置故障（中线断线），TN 系统相-中线之间 $U_{TOV(LV))}$ 的区域；

c ——在 HV 系统发生故障时，在 TT 和 IT 系统中，用户端相-地之间的 $U_{TOV(HV)}$ 最大值；

d ——未定义区域；

e ——$U_{TOV(LV)}$ 用于使用在 3W+G（三线+地线）、单相和 120/240 V 的系统上的 SPD；

f ——$U_{TOV(LV)}$ 用于使用在 4W+G（四线+地线）、三相和 120/208 V、277/480 V、347/600 V 系统上的 SPD。

注：北美用 e 和 f。

■ SPD 的 U_T 值。

图 15 U_T 和 U_{TOV}

注 4：如图 15 所示，可根据下列特性选择一个 SPD：

$$U_T = U_c \geqslant U_{TOV(LV)max}$$

尤其是在 IT 系统中的情况。

当选择的 SPD 的电压保护水平满足要求时，还应该考虑其在各种 TOV 情况下的特性（耐受特性或故障模式）。

如果发生的概率足够低，可以使用不能耐受 TOV 应力，但可以用 IEC 61643-1 规定的形式失效的 SPD，以达到所需的保护水平。

如果故障模式不能接受，在选择电压保护水平可满足要求的 SPD 前，应采取额外的措施来限制各种 TOV。

6.2.1.3 I_n，I_{max}，I_{imp}

I_n与保护水平 U_p 有关，I_{max}和 I_{imp}则由安装点需要耐受的能量来决定。

选择 SPD 的能量耐受（根据试验类别选择 I_{imp}、I_{max}或 U_{oc}）必须基于风险分析（见第 7 章）。它比较了电涌发生的概率、被保护设备的价格和可接受的事故率。当使用多个 SPD 时，需完成配合分析。

注 1：如果有必要的话，可选用比 5.5.2.1 和 5.5.2.2 提供的优选值更高的值。

如果需要 SPD 来保护雷电电涌，在被保护设施起始点处每种所需保护模式的额定放电电流 I_n 应不小于 8/20，5 kA。

依据连接类型 2 的安装（见图 11），在被保护设施起始点处连接在中性线和 PE 之间的电涌保护器的额定放电电流 I_n，在三相系统中应不小于 8/20，20 kA，在单相系统中应该不小于 8/20，10 kA。

如果有可能发生直击雷的雷电保护系统需要 SPD 时，应评估雷电冲击电流（见附录 I）。对于这个评估，安装在 SPD 上游的部件（熔断器，电线截面等）应该考虑，因为这些部件可能限制了整个系统的过载能力，因此也限制了 SPD 上的最大应力。如果可能没办法评估，每种所需的保护模式的 I_{imp}值不得小于 12.5 kA。

根据类型 2 的安装，连接在中性线和 PE 之间的电涌保护装置的雷电脉冲电流的计算应该与 GB/T 21714.4—2008 一致。如果不能估计电流值，I_{imp}的值在三相系统中应该不小于 50 kA，在单相系统中应该不小于 25 kA。

注 2：进一步的信息参见 GB/T 21714.1—2008 附录 E。

当用同一个 SPD 来防护雷电电涌和直击雷时，I_n 和 I_{imp}的评定应该与上面的值相一致。

附加 SPD 的 I_n 和 I_{max}选择应基于 6.2.6 中的配合规则。

注 3：一般情况下，I_n 已经足够表征Ⅱ类试验 SPD 的特性，I_{max}仅用于特殊情况。I_{max}给出了能量耐受的指标，因此给出了特定位置上的预期寿命的指示。

6.2.2 保护距离

为了决定 SPD 的位置（在入口处、靠近设备等），有必要知道保护距离，也就是 SPD 和 SPD 能提供充分保护的被保护设备之间的可接受的距离。

这一距离取决于 SPD 的特性（U_p 等）、SPD 在建筑物中的安装（导线长度等）以及系统特性（导线的长度和类型等），还有设备的特性（过电压耐受能力等）。更进一步的解释见 6.1.2 和 6.1.3，其均对所包括的现象作了详述。

注：要设计保护区域，必须注意到 SPD 和被保护设备之间的保护距离（见 6.1.6）。

6.2.3 预期寿命和失效模式

6.2.3.1 预期寿命与实际寿命

SPD 的预期寿命主要取决于超过 SPD 最大放电能力的电涌发生的概率。

SPD 的实际寿命可能会短于或长于预期寿命，这取决于电涌实际发生的频度。

例如，某个 SPD 的最大放电流通过是通过适当的风险评估后确定，但安装好后很快就遭受了超过 I_{max}值的电涌时，SPD 就可能出现故障。在这种情况下，它的实际寿命就会非常短。这种极端的情况表明制造者给出的任何预期寿命仅是一个统计数据，它绝不可能成为实际寿命的保证。

考虑到预期寿命仅是一种可能性。当异常电涌电流出现时，如果 SPD 的 I_{max}远低于冲击电流时，

就会造成破坏，即使这种情况发生在安装后的几秒内。这种情况下，I_{max}比异常电涌电流低 10 倍或仅低 2 倍已经无关紧要。可是在一个特定的应用情况下，指定的较高 I_{max}的 SPD 的预期寿命总是长于那些类似的但 I_{max}较低的 SPD，只要不超过 SPD 耐受的极限值。

选择 SPD 的要点归纳如下：

——应考虑 U_{TOV}，预期的电涌和其他 SPD 之间的必要配合。

——当 SPD 失效时不会引起像着火或电击这样的危险。

6.2.3.2 失效模式

失效模式本身取决于电涌和过电压的类型。如果想避免供电受干扰或中断，SPD 有必要和任何上一级的后备保护器件相配合。

6.2.4 SPD 和其他设备的配合

参阅 GB 16895 有关本条款的叙述。

6.2.4.1 正常状态

持续工作电流(I_c)不得造成任何人身安全方面的危害(间接接触等)或干扰其他设备(例如 RCD)。

注 1：I_c 应比 RCD 的 1/3 的额定剩余续流($I_{\Delta n}/3$)小，SPD 和其他设备的积累效应也应考虑；

注 2：如果 SPD 安装在 RCD、熔断器或断路器的负载侧上，那么 SPD 对该电器在故障跳开、误动作及由于电涌产生的冲击损坏方面不能提供任何保护。

6.2.4.2 故障状态

SPD 可安装必要的脱离器，以便不干扰其他保护设备，如 RCD、熔断器和断路器。

SPD 耐受的短路电流(SPD 故障的情况下)和保护装置规定的相关的过载电流(内部或外部)应等于或高于安装点上预期的最大短路电流，SPD 制造商应考虑保护装置规定的最大过载电流。

此外，当制造商已经声明额定断开续流值时，它的值应等于或高于安装点上预期的短路电流。

当 SPD 连接在 TT 或 TN 系统的中性线和 PE 之间时，其动作后会流过工频续流(例如，火花间隙)，该类 SPD 的额定断开续流值 I_{fi}应大于或等于 100 A。

在 IT 系统中，连接在中性线和 PE 之间的 SPD 的额定断开续流值应与连接在相线和中性线之间的 SPD 的值相同。

6.2.4.3 SPD 和 RCD 或过电流保护器，如熔断器或断路器之间的电涌配合

在网络中使用的过电流保护器和漏电保护器 RCD 的耐受能力不作规定，除了 S 型 RCD 根据自己的标准(IEC 61008-1 和 IEC 61009-1)规定，应耐受 3 kA 8/20 的电流而不断开。

当 SPD 和过电流保护器或 RCD 配合时，在标称放电电流 I_n 下，建议过电流保护器或 RCD 应不动作。

然而，当电流比 I_n 大时，过电流保护器动作是可以的。对于可复位过电流保护器，例如一个断路器，不应被这种电涌损坏。

在这种情况下，由于这种过电流保护器的响应特性，即使过电流保护器动作，全部的电涌都将流过 SPD。因此，SPD 应具有足够的能量耐受能力。由于这种现象引起的 RCD 或过电流保护器的动作被认为不是 SPD 的失效，因为这种装置仍被保护。如果用户不接受供电中断，应使用特别的配置或过电流保护器。

注 1：在能遭受大电流的地方，例如雷电保护系统或架空线，如果 I_n 大于过电流保护器所在位置的实际耐受能力，过电流保护器件动作电流可比 I_n 低。在这种情况下，SPD 标称放电电流的选择仅取决于电涌性能。

注 2：如果一个电压开关型 SPD 产生放电，电力供应服务的质量可能会降低。通常，续流会引起一个过电流保护器的动作，除非电压开关型 SPD 是自熄型，否则需要和上一级的 SPD 过电流保护器配合。

6.2.5 电压保护水平 U_p 的选择

在选择 SPD 合适的电压保护水平值时，应考虑被保护设备的电涌耐受（或关键设备的冲击抗扰度）和系统的标称电压。电压保护水平值越低，其保护性能越好。考虑到 U_c 和 U_T 的限制，SPD 的劣化和与其他 SPD 配合，见 6.1.2 和 6.1.3。

电压限制型 SPD 的电压保护水平与规定的Ⅰ类试验中的 I_n 和 I_{peak} 及Ⅱ类试验中的 I_n 有关。Ⅲ类试验中电压保护水平由组合波测试确定（U_{oc}）。

电压开关型 SPD 或复合型 SPD 的电压保护水平也和放电电压有关。

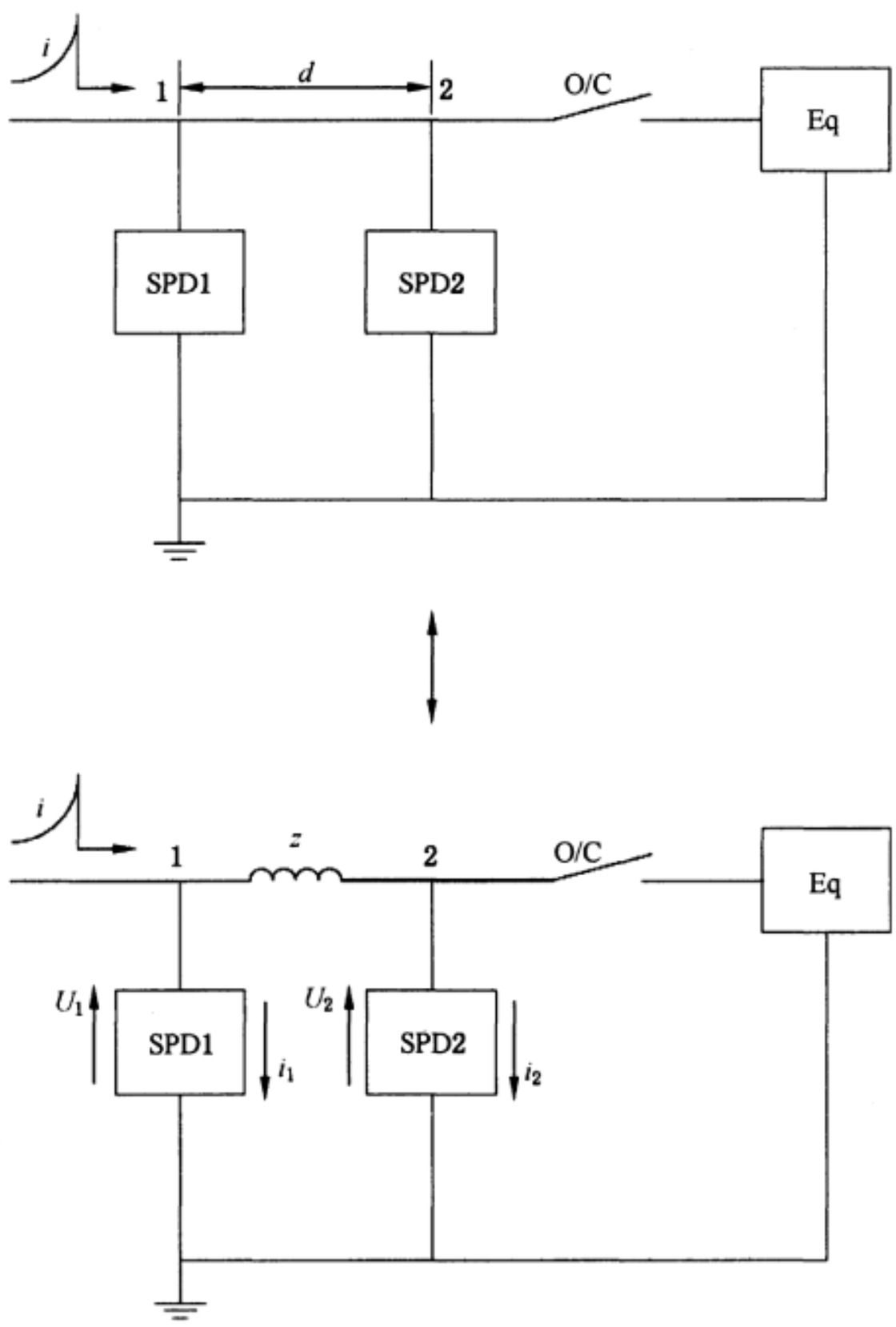
6.2.6 选择 SPD 和其他 SPD 之间的配合

6.2.6.1 概述

如上所述，某些应用场合需要两个（或更多）SPD 以便使被保护设备的电应力减到一个可接受的值（较低的电压保护水平），并且减低该建筑物内的瞬态电流。

依据两个 SPD 的能量耐受值，为了获得可接受的电应力分配，有必要进行配合。

图 16 给出了示例。



说明：

Eq ——正常工作时的被保护设备；

O/C ——开路（设备从供电系统断开）；

i ——侵入电涌。

图 16 两个 SPD 的典型应用——电路图

两个 SPD 之间的阻抗 Z(通常是一个电感)是一个物理阻抗(插在导线上的特殊元件,可促进两个 SPD 之间能量的分配)或代表两个 SPD 之间电缆长度的电感(通常我们认为 1 μH/m)。当 Z 代表一个物理阻抗,导线的电感可以忽略,因为和 Z 比较起来,导线的电感很低。Z 代表两种情况,并用图解的方式表示在图 16 中。

注 1:图 16 显示了设备没有连接的最严重的情况。没有任何的电流流过设备,两个 SPD 分配了所有的压力。如果电涌来自于 SPD 的终端和负载之间,应该需要进一步考虑。

注 2:本示例中连接导线被忽略。实际上,它们对两个 SPD 之间的电应力分配可能有影响。

注 3:在导线进出比较紧密的地方,回路比较小,那么其电感比 1 μH/m 小,可低至 0.5 μH/m。

注 4:1 μH/m 的值已经包含了进出线导线电感。

6.2.6.2 配合问题

配合问题可初步归纳为以下问题:当进入电涌电流为 i 时,其中有多少流入 SPD1,有多少流入 SPD2? 此外,两个 SPD 能否耐受这些电应力?

如果两个 SPD 之间的距离相对于电涌持续时间很短,那么电感的影响可忽略,则 SPD2 可能承担较多的电应力。

选择合适的 SPD 应考虑两个 SPD 之间的阻抗,把 i_2 的值降低到可接受的水平,以达到良好的配合。当然,这个工作也能把第 2 个 SPD 的残压降低到期望的值。

应避免以下配合:

——SPD2 过于安全的设计;

——如果 i_2 过高,一些 EMC 干扰就会在建筑物引起一些麻烦。

可是依据电流处理它们之间的协调并不是很充分。有必要依据能量处理它们之间的协调。

为了确保两个 SPD 都很好地配合,有必要满足以下的要求,即能量判据。

如果电涌电流在 0 和 I_{max1}(I_{peak1})之间取任意值时,通过 SPD2 耗散的能量小于或等于其最大能量耐受值(E_{max2}),能量配合就可实现。

更多的信息参考附录 K。

6.2.6.3 应用情况

配合研究可能会复杂,如果所有 SPD 由同一制造厂生产,最简单的办法是根据所选的 SPD 之间的距离或阻抗向制造厂提出要求进行合理配合。

否则,有必要进行配合研究并且提供 4 种可能性:

——用长波和短波两种波形从 0 开始到相当于 E_{max1} 雷电流范围内进行几次试验,要记住每一部件的公差对试验结果都有很大影响(试验待定);

——进行模拟时应考虑到实际安装线路的特殊性,注意应具有 SPD 特性的精确数据;

——当两个 SPD 属于电压限制型时,应对其 U-I 曲线进行分析研究;

——使用另一种叫通过能量(LTE)的方法,在大多数情况下,可给出一个保守的结果。

更多有关这种现象的解释、分析研究和 LTE 方法见附录 F 和附录 K。

6.3 辅助器件的特性

6.3.1 切断装置

一个单独的脱离器可能具有 3 个基本的脱离功能(热保护、短路保护和间接接触保护),或者有必要使用 1～3 个脱离器。

它们被安装在 SPD 里面或与 SPD 连接。通过系统的后备保护来考虑某些功能,后备保护安装在 SPD 的指定位置处,脱离器是装在 SPD 回路中还是主要连接线上,取决于与过电流保护器的配合,也取

决于是否需要持续保护还是持续供电两者之间的平衡(见 J.2)。

可能也需要脱离器具有一些其他的功能,例如在很高的暂时过电压的情况下。

脱离器可能是一个熔断器、断路器、RCD 或一个具有这些用途的器件。

6.3.2 事件计数器

这种计数器通常能给出检测到的电涌次数,有时也能给出有关电涌幅值和波形的信息。事件计数器也可用来判断 SPD 安装位置的严酷程度或是否需要更换。一些复杂的事件计数器给出了一些统计数据,例如发生的频率、时间和日期及所含的能量等。

注 1:用户应该知道起始水平太低就会存在一个危险,即由这种器件给出的信息可能是错误的。

注 2:目前没有 IEC 标准含有这种器件。

6.3.3 状态指示器

连接在脱离器上的状态指示器是用来为用户提供 SPD 的有关信息,根据其结构显示 SPD 是在工作状态还是已经失效。它可用来提醒用户更换 SPD。一些状态指示器是在线的,一些是远距离的,它们可提供电的、可视的或听得见的报警。

7 风险分析

可进行两种类型的风险分析:基本分析是用来确定是否需要使用 SPD,第二种类型的分析用来确定设备入口处或紧靠设备处 SPD 的能量耐受值(其他 SPD 的能量耐受值可通过 SPD 间的配合的研究确定)(见附录 L)。

是否使用 SPD 的决定取决于范围很大的参数,这些参数由用户来决定,应考虑的参数列于附录 L。如果确定使用 SPD,就应根据暴露水平确定 SPD 的安装位置和等级。

GB/T 21714.2—2008 给出了在雷电电涌情况下进行风险评估的一种方法。在一些情况下,可使用基于 GB/T 21714.2—2008 的简化方法。例如 GB/T 16895.10—2010 中的例子,见附录 H。

注:当需要进行一个完整建筑物的分析时,尤其不仅要考虑进线,而且要考虑建筑物自身和内部时,建议使用 GB/T 21714.2—2008。

8 信号和电源线之间的配合

正在考虑中。

附 录 A
（资料性附录）
需方和供方给出的典型资料及试验程序的解释

A.1 需方给出的资料

A.1.1 系统数据：

——U_0、U_{cs}；

——频率；

——暂时过电压 U_{TOV}；

——被保护设备的绝缘水平；

注：用户应知道绝缘耐受水平随过电压的陡度和持续时间而变化。例如：耐受 4 kV 1.2/50 的器件仅能耐受 1 kV 较长波的电压。

——在 SPD 安装点，系统的短路电流；

——配电系统的类型(IT，TT，TN 等)。

A.1.2 SPD 应用需考虑：

a) 连接：
- 相对地；
- 中线对地；
- 相对中线；
- 相对相。

b) 被保护设备的类型：
- 变压器；
- 电机；
- 包括电子器件；
- 其他设备；
- 电缆(型号和长度)等。

c) SPD 和被保护设备之间导线的最大长度(保护距离)。

注：保护距离应尽可能短。

d) SPD 和所有导线(相，中线，地)之间从 SPD 顶端算起的最大导线长度。

A.1.3 SPD 的特性：

——最大持续工作电压 U_c；

——电压保护水平 U_p；

——试验类别：Ⅰ类、Ⅱ类和Ⅲ类；

——SPD 失效情况下耐受的短路电流；

——SPD 安装环境(户外、户内等)；

——端口数量；

——外壳防护等级(IP 代码)；

——标称放电电流 I_n(Ⅰ类和Ⅱ类试验)；

——最大持续负载电流(如果需要)；

——I_{imp}、I_{max}或 U_{oc}(分别为Ⅰ类、Ⅱ类和Ⅲ类试验)；

——TOV 特性 U_T；

——失效模式。

二端口 SPD 附加特性：

——最大持续负载电流(如果需要)I_L；

——电压降百分数。

A.1.4 附加设备和安装：

——安装类型；

——安装方位；

——如果需要，可安装 SPD 脱离器；

——连接导线的截面。

A.1.5 任何特殊的非正常条件：

例如很频繁地动作。

A.2 供方应给的资料

所有条款来自 A.1.4 和 A.1.5。

另外，依赖于下述技术：

——TOV 特性 U_T；

——残压-电流的曲线；

——可能的安装、钻孔位置、绝缘基座、支撑；

——SPD 端子的类型和允许的导线尺寸；

——尺寸和重量。

A.3 用于 IEC 61643-1 试验程序的解释

A.3.1 依据Ⅰ类和Ⅱ类试验来确定 SPD 的 U_{res}

测量残压时要求使用 8/20 波形发生器，该发生器序列幅值为 $0.1\times I_n$、$0.2\times I_n$、$0.5\times I_n$、$1.0\times I_n$ 和 $2\times I_n$，并且有两种极性。最后，至少一种冲击 I_{max} 或 I_{peak}(如果 I_{max} 或 I_{peak} 比 I_n 要高)被加到 SPD 的电极上，产生比先前试验更高的残压。

第一序列在一个极性上，第二序列在相反的极性上，以便检查 SPD 是否有累积效应。

因为是作为比较值来使用，无论是Ⅰ类试验还是Ⅱ类试验，波形总为 8/20。常用的选择 SPD 的方法是比较它的保护特性和被保护设备的冲击耐受电压。对Ⅰ类试验，典型的波形是由 I_{peak} 和 Q 所定义的 I_{imp}，但是它的波形和 8/20 波形在电流上升率方面不同。因此，8/20 波形被用作比较 SPD 保护性能的一般依据。

在 $0.1\times I_n\sim 2\times I_n$ 之间可使用很多值，因为有必要找出任何可能产生的盲点(盲点就是较低的电流值产生一个较高的残压值)。应注意在 I_n 时的残压值是一个常规值，该值也可能不是最高值(例如，如果 SPD 有盲点)，这一点很重要。

铭牌上打印的 U_p 值不足以用来做绝缘配合和 SPD 之间的配合。残压的曲线或图表应由制造厂在技术文件中提供。

在 I_n 和 I_{max} 或 I_{peak} 之间应做足够的测量(至少一次)，以便用足够的点给出残压和 I_{max} 或 I_{peak} 的曲线。

A.3.2 用于 U_{res} 评价的冲击波形

8/20 波形用于一端口 SPD 试验时，允许电流过冲量为 5%，这种过冲量对一端口 SPD 的 U_{res} 无影响。

而对于二端口 SPD，通常有一些串联阻抗，例如，去耦电感。另外，在设备电感边上的并联电容产生一个低通滤波器作用。在这种情况下，过冲波将根据过冲幅值有效地改变 U_{res}。由于这个原因，二端口 SPD 试验时，允许的过冲量限制在 5% 以内。

A.3.3 反向滤波器对 U_{res} 确定的影响

当一个反向滤波器和二端口器件一起使用时，其相互作用使得 U_{res} 产生偏移，并且可能产生一个误导。

以低通滤波器形式的二端口器件在施加脉冲波尾时将产生峰值 U_{res}。同样，反向滤波器将起作用并且在脉冲波尾时反向储能。这种组合波和电压的峰值依赖于试验时反向滤波器和器件的参数。

为了确定最坏情况下 U_{res} 的值，试验脉冲应采用交流系统最大值，并且还应是同极性。即使在这种情况下，试验条件下器件内部所有元件均处于 U_{max}。U_{res} 值是 U_{max} 和由于施加的脉冲产生增大的电压的总和。这个值由电压为 U_{max} 的二极管的直流电压决定。在二极管和二端口器件之间施加脉冲。取决于二端口器件的设计，有必要提供一个交流电源来起动内部工作或提供一个诊断器件。

注：这项试验不适合含有隔离变压器的 SPD。

A.3.4 SPD 的动作负载试验

动作负载试验由预处理试验和动作负载试验组成。预处理试验的目的是为了确保器件在冲击应力下无劣化。动作负载试验的目的是确保器件在运行条件下的热稳定性。

无论是Ⅰ类试验还是Ⅱ类试验，试验的严酷程度取决于 I_{imp}（各自的 I_{max}）的幅值以及 I_n 与 I_{imp} 之间的比值。在 I_{imp}（各自的 I_{max}）给定的情况下，比值越大则越严格，对于Ⅲ类试验，试验的严酷程度与 U_{oc} 有关。

预处理试验是指对 SPD 施加 15 次波形为 8/20 的标称放电电流，模拟其使用中预期的最小电应力。

Ⅲ类试验的预处理试验与Ⅰ类和Ⅱ类试验相同，除了用制造商宣称的 U_{oc} 来代替标称放电电流，并且试验中用到复合波发射器。预处理试验所施加的电压为 U_c。每个冲击与 50/60 Hz 之间保持同步，从 0°角开始叠加冲击，每次冲击增加 30°，这样做的原因是一些 SPD，例如火花间隙，对这些角度敏感，特别是对工频续流敏感。Ⅲ类试验适当的耦合是很重要的，它决定于发生器的结构和施加的 U_c 能起到避免电涌流入发生器的作用。

15 次冲击被分成 3 组，每组 5 次。两组间的间隔时间（30 min）应足以使试品冷却。

预处理试验后，为了找出可能的盲点，应在以下电流值追加冲击：$0.1\times I_{imp}$（或 I_{max}）、$0.25\times I_{imp}$（或 I_{max}）、$0.5\times I_{imp}$（或 I_{max}）、$0.75\times I_{imp}$（或 I_{max}）和 I_{imp}（或 I_{max}）。每次冲击之间有一个热冷却。盲点对应于一个比 I_{imp}（或 I_{max}）低的电流值，这个电流值能使在 I_{imp}（或 I_{max}）正常工作的 SPD 失效。典型的示例是在一个 ZnO 压敏电阻上，并联一个火花间隙，如果间隙不击穿，全部电涌便加在 ZnO 压敏电阻上，而 ZnO 压敏电阻或许不能耐受和间隙相同的电应力，导致失效。

Ⅲ类试验的动作负载试验需要使用一个开路电压为 U_{oc} 的复合波发生器。

A.3.5 TOV 失效试验

这是一个强制性试验。这个试验是考虑在 HV 系统发生故障产生的 TOV 时，提供 SPD 失效模式的信息。这个试验只适用于 TT 或 IT 系统，并且不适用于那些连接在相与中性点或者相与相之间的

SPD。TOV 的工作条件在表 1 中被描述。

注：虽然这个试验根据 IEC 61643-1 是非强制性的，但在 GB/T 16895.22—2004 中，这个试验是需要进行的。

SPD 是包围在一个木制的立方体盒子中。试验本身将会产生一个持续 200 ms 的 TOV。持续时间限定在 200 ms 是模拟故障的切除时间。发生器的短路电流能力设置为 300 A 以模仿典型情况。试验过后，SPD 可能失效但并不引起其他危害。

A.3.6 Ⅰ类、Ⅱ类和Ⅲ类试验在试验环境上的不同之处

Ⅰ类试验是模拟部分传导雷击电流冲击的情况。Ⅰ类试验的 SPD 通常用于与雷电保护系统相连接的大电流保护区域。这些 SPD 通过连接 LPS 和电源线来实现他们之间的等电位。Ⅰ类试验所使用的脉冲电流持续时间比Ⅱ类和Ⅲ类试验长的多。

Ⅱ类和Ⅲ类试验模拟感应过电压、远距离的雷击电压和操作过电压。根据Ⅱ类和Ⅲ类的 SPD 试验并不用来连接 LPS 实现等电位。

对于Ⅰ类和Ⅱ类试验，有特定的电流通过 SPD，而Ⅲ类试验中通过 SPD 的电涌电流的大小则决定于 SPD 的性质。

Ⅲ类试验是通过发电机的开路电压 U_{oc} 来确定的。而短路电流 I_{sc} 则由 U_{oc} 和 2 Ω 的虚拟阻抗得到的。发生器阻抗模拟了装置的阻抗。Ⅲ类试验的最大电流是 10 kA，研究显示，入口处的绝缘击穿电压水平限制了进入装置的电涌水平。这些 SPD 将装入设备中。对于Ⅲ类试验，试验中通过 SPD 的电流会较短路电流 I_{sc} 低，原因是 SPD 拥有与短路不同的特性。

A.3.7 短路耐受能力试验与过电流保护(如果有)的配合

该试验提供 SPD 在故障状况下，内部的连接是否具有承受短路电流的能力，而不至于造成火灾、爆炸或闪络之类的灾害。

短路水平耐受值是由厂家提供的。

该试验的目的是为了检查 SPD 内部连接的性能。为了实现这个目的，保护元件(MOV、GDT、间隙等)用与试品体积相似的仿制品代替，以确保与原样品一致的特性。由于 SPD 具与保护装置并联，短路电流试验的次数应与并联电流路径的数相等，每不同的电流路径都按照其对应的短路电流容量进行试验。这样试验的目的是为了模拟少数元件失效的所有可能的失效条件。

短路电流应该在 5 s 内终止。5 s 被认为是具有代表性的最大的故障切除时间。

附 录 B
（资料性附录）
在某些系统中 U_c 和标称电压之间的关系示例及 ZnO 压敏电阻 U_p 和 U_c 之间的关系示例

B.1 U_c 和系统标称电压之间的关系

表 B.1 给出了 U_c 和系统标称电压之间的关系。

表 B.1 U_c 和系统标称电压之间的关系

依据 GB/T 16935.1—2008 的系统标称电压		GB/T 16895.22—2004 给出的 U_c 值示例			
三相四线制，中线接地	三相三线制或三相四线制，中线不接地	在 TN 系统[a]中，SPD 安装在相和 PE 或 PEN 之间或在 TT 系统[a]中 SPD 安装在相和中线之间 U_c 最小值	在 TT 系统[a]中 SPD 安装在相和地之间或中线和地之间 U_c 最小值	在 IT 系统中 SPD 安装在相和地之间或中线和地之间 U_c 最小值	在 TT、TN 或 IT 系统中，SPD 安装在相和相之间 U_c 最小值
TT 和 TN 系统	IT 系统	电压调整率等于 10%的情况	$1.5\times U_0$ 的值已被使用的情况	$\sqrt{3}\times U_0$ 的值已被使用的情况	电压调整率等于 10%的情况
V	V	V	V	V	V
120/208		132	180		229
127/220	220	140	191	220	242
	230,240			240	264
	260,277,347			347	382
220/380,230/400	380,400	253	345	400	440
240/415,260/440	415	286	390	415	484
277/480	440,480	305	416	480	528
[a] 在某些情况下可能需要较高的值(例如，在 TT 系统中中线断线)。					

B.2 ZnO 压敏电阻 U_p 和 U_c 之间的关系

在描述 SPD 的特性方面，U_p/U_c 之值是一个重要参数，这个比值取决于所使用的元件。表 B.2 给出了 ZnO 压敏电阻元件的 U_p/U_c 的典型值，该值与元件的大小及所施加的电流 I_n 有关。

表 B.2 ZnO 压敏电阻的 U_p/U_c

I_n(8/20) kA	等效直径 mm	U_p/U_c
1	14	3.3
2.5	20	3.8
5	32	4.1
10	40	4.6
20	60	4.6

更低和更高的比值可通过其他技术获得。制造厂可提供它们特殊产品的比值。

注：其他参数(例如电涌耐受)也随生产工艺的不同而发生变化。

附 录 C
（资料性附录）
环境—LV 系统中的电涌电压

C.1 概述

三种情况会引起低压系统中产生电涌过电压：

——自然现象，如雷击，通过直击或感应产生过电压；

——人为因素，如在输变电系统或低压系统终端用户进行的负载或电容器操作；

——非人为因素，如电力系统的故障和恢复或电力系统与信号/通信系统不同系统之间互相作用产生的过电压。

本部分中考虑的冲击过电压是超过两倍峰值工作电压(2.0 p.u.)，持续时间从微秒级到毫秒级。低于两倍峰值工作电压的过电压或者由于电力设备的操作及设备的损坏引起的持续时间较长的过电压同样不在考虑范围内。因为普通的电涌保护器不对这类低幅值和持续时间长的电涌起作用，它们需用与本部分讨论所不同的保护方式进行保护。

本附录介绍和总结了 IEC/TR 62066 中低压系统的电涌电压的重要信息，方便使用本标准。

C.2 雷电过电压

雷电是不可避免的事件，它会通过几种机理影响低压系统(包括电力系统和信号/通信系统)。最明显的干扰是系统受到直击雷。但其他耦合机理也会引起系统电压升高，在此将讨论引起低压系统过电压的三种耦合方式。在讨论过电压时，也考虑与过电压相关的过电流情况，由过电压引起的初始电流也是本附录一个重要方面，三种类型如下：

a) 直击于电力系统，发生于 MV/LV 配电变压器的原边侧、LV 配电系统(架空的或隐埋的)，同时也侵入到个别建筑物中；

b) 非直接闪络：雷击附近物体，通过感应耦合或公用路径耦合在 LV 配电系统中产生过电压。虽然非直接闪络产生的过电压和电流低于直接闪络所产生的过电压和电流，但其出现的频率更大；

c) 直击到防雷系统或最终用户建筑物的外部(建筑物的钢件及水管、暖气管、升降梯等非电气部分)，这会产生两种影响：一是雷电流通过建筑物外部产生感应耦合；二是雷电流从建筑物注入到 LV 系统，从而不可避免地在 LV 系统中导体和地或装置等电位排之间要用 SPD。对一个闪络，在最终用户使用电器时出现的过电压将反映耦合路径的性能，例如闪络点和终端用户之间的距离及接地情况、接地电阻、SPD 的数量及配电系统的分支。

C.2.1 由 MV 传输到 LV 系统的电涌

在 MV 系统中，由于雷击发生的过电压注入到 LV 配电系统有两种不同的方式：

——通过 MV/LV 变压器的电容和电感耦合；

——通过接地耦合。

传递的电涌幅值依赖于很多参数：

——LV 接地方式(TT、TN、IT)；

——LV 线路和负载的特性；

——LV 过电压保护装置；

——MV 和 LV 接地间的耦合状况；

——变压器的结构。

如果雷电直击 MV 线路，避雷器动作或火花间隙击穿使电涌电流转移到接地系统，并且在 MV 和 LV 系统之间产生阻性的耦合，从而导致过电压进入 LV 系统中。根据接地阻抗的不同，通过变压器的过电压幅值可能远高于容性耦合的情况。

在 TN 系统中，如果用户装置内的中性点接地，将会产生轻度的过电压。值得注意的是，这种类型的电阻耦合可以通过在变压器的 LV 侧安装一个独立的接地系统来避免。

通过容性耦合和感性耦合输入到 MV/LV 侧的过电压其典型的取值是相和中性线间相对地电压的 2%，是相和地间电压的 8%。这些值对于负载 LV 电路是相对典型的。当变压器的 LV 侧开路或者轻载时，这个值会显著的升高，决定于 LV 系统。

感应雷在 MV 系统中产生的电涌(通常小于 1 kA)比直击雷要小得多，并且实际中过电压输入到 LV 系统仅仅是通过容性耦合，其值不会超过几千伏。在这种情况下，LV 系统(至少是在距离雷击不远的部分)所直接感应的过电压一般比从 MV 侧输入的要高。如果有一个 SPD 动作或者放电发生，电流将会较小，相应的阻性耦合的情况也被忽略。

C.2.2 直击于 LV 配电系统引起的过电压

由于雷电流通道的有效阻抗较高，因此实际上可认为雷电流为一理想的电流源。因此，产生的过电压由雷电流通道的瞬态有效阻抗的大小决定。

导线遭受雷击，第一时刻的电压取决于导线的特征阻抗(电涌阻抗)，电流(I)最初分为两部分，且电涌电压(U)为：

$$U = Z \times I/2$$

式中：

U ——电涌电压；

Z ——线路的电涌阻抗；

I ——电涌电流。

假设电流为 10 kA，电涌路径阻抗为 400 Ω 时，很显然，预期的电涌电压为 2 000 kV。因此，大多数情况下闪络通常会在导线和地之间发生。发生闪络后，有效阻抗以一定数量下降，其下降程度取决于接地电阻。假设雷电流为 10 kA，阻抗低至 10 Ω 时，导线上电压为 100 kV。

在架空线与电缆联合系统中，由于电缆电涌路径阻抗比架空线低，从而其产生过电压略有降低，其降低程度依电流持续时间和系统的对地电容量而定。然而降低的程度不能完全避免低压系统中超过标称绝缘水平的过电压。因此，直击雷将会对系统造成损坏。

C.2.3 LV 配电系统中的感应过电压

由于闪络会使电磁场发生改变，电涌被引入到离闪络点相当大范围内的架空线上。可从下面公式粗略估计导线上产生的过电压(U)：

$$U = 30 \times k \times (h/d) \times I$$

式中：

I ——雷电流；

h ——导线离地高度；

k ——系数，取决于雷电流反击的速率；

d ——发生闪络点到导线距离。

参数 k 的变化很小(1.0～1.3)。

对于电流为 30 kA 的中等程度的雷电流，当架空线距地面高度为 5 m，1 km 范围内的瞬时过电压将超过 5 kV。在这种情况下，即使距离为 10 km 时，100 kA 的电流产生的电压为 1.8 kV。

C.2.4 雷击防雷系统或一个邻近的区域而引起的过电压

当雷击建筑物，该建筑物采用 LV 配电系统并联供电方式时，雷电流通过可利用的不同路径流入大地。这些路径本地接地点（建筑物接地），同样也包含通过金属相连接的远距离接地，主要是电缆馈线。

来自于雷电保护系统接闪端的电涌电流通过引下线输入接地系统。这样，雷电流至少被分成了两部分，一部分流入建筑物的接地系统，另一部分通过电缆线路流向远方接地（电流通常也可能沿着其他路径，例如金属管道和其他传导装置），电流的分配与阻抗成反比，冲击电流起始阶段，电流的分配取决于电感的分配，随后电流变化率低时，电流的分配取决于电阻的分配。

当几个建筑物电气上有连接时，有效电阻值降低，雷电流从建筑物本身输入到 LV 系统的电流将随着连接到一起的建筑物的数量的增加而增加。

不同国家，中性点的连接方式不同，所以雷电流的传播方式也不尽相同。在设计系统时应该考虑这些不同。

在可以利用的路径中，电流的传播将会引起过电压，特别是在导线和接地之间。取决于 LV 装置的设置以及 SPD 的使用与否，这些过电压可以被放大或者降低。试验结果基本符合先前的叙述，并且显示出了入端中点接地的优越性，以及考虑阻抗、电感和相互之间耦合的重要性。

同样值得注意的是，由于直击雷落在建筑物或某部分上而导致的接地点电位上升，超过了低压装置的绝缘耐受水平，从而引起闪络，同时应注意，过电压将会传播到与其连接在同一个的低电压配电网的相邻建筑物（设备），除非该建筑物（设备）安装有等电位的 SPD 装置。

同样的，即使一个建筑物没有直接遭受雷击也可能产生过电压，这是通过配电网络传播所导致。除此之外，如果已经给出了一个地域的雷电密度，现有的高大建筑物虽然降低了雷击直击附近低矮建筑物的概率，但却不可避免地增加了传导过电压的概率。

接地体和导线之间的过电压作用在与其连接设备的绝缘上，这些设备通常都会根据 GB/T 16935.1—2008 具有足够的耐受水平。电力设备的工作元器件会承受到导线之间出现的过电压。乍一看上去，最坏的情况可能是过电压施加到电力设备的工作元器件，这可能也是正常的情况。然而，对地过电压会带来一些问题，它不仅作用于电力设备绝缘，而且会改变电力系统和可能连接到设备的通讯系统之间的参考电位。

C.3 操作过电压

操作冲击产生的过电压、电流及其持续时间通常比雷电冲击产生的电压、电流及持续时间低。然而，在某些情况下，特别是在建筑物内部或接近操作过电压起始处，操作冲击产生的电应力将会高于雷电冲击产生的电应力。必须知道操作冲击产生的能量，以便选择合适的 SPD。包括故障和熔断器瞬态动作在内的操作持续时间比雷电冲击持续时间更长。

通常在一个电气装置内任何开关动作、故障开始、中断等，总会伴随着暂时过电压的产生。在一个系统中发生的突变将会引起高频阻尼振荡（由网络的谐振频率决定），直到系统再次稳定到一个新的状态。

操作过电压的幅值取决于许多参数，如回路类型、操作种类（关、开、重燃）、负载、断路器或熔断器。

操作产生的振荡频率由系统特性和谐振特性决定，在这种情况下，可能引起很高的过电压。通常，操作与系统工频发生谐振的可能性很小，然而，如果系统开关频率特性接近系统中一个或多个谐振频率，将会发生瞬态谐振。

C.3.1 综述

操作电涌的典型波形取决于低压装置的响应。在大多数情况下，会产生鸣震波，其频率通常为每微秒几十万赫兹。上升最大速率为每微秒几千伏。电涌持续时间范围较大。如果由熔断器动作引起的操作过电压被排除，典型的持续时间（到半峰值）从 1 μs～50 μs。统计显示，产生高幅值和持续时间很长（大于 100 μs）的电涌的可能性较低。

C.3.2 断路器和开关操作

断路器和开关广泛用于每个电气装置和控制设备中，以便在过载或短路情况下断开电气设备或由开关控制设备动作来对电气设备进行保护和控制。开关操作的频率依其使用的场合而定，在工业上其使用频率较高，在家庭中其使用频率相对较低。

阻性负载的操作电流是在电气设备的额定电流范围内。而对于使用开关模式进行供电的设备，设备的操作电流高于额定电流。因此，如对于一个功率为 100 W 的电视机，其额定电流为 0.4 A，而涌入的电流约为 20 A，高达 50 倍。

无论对于手动开关或电动开关，每次操作过程中都会产生电弧。由于电感和电容相互作用使电压发生改变，从而引起高频振荡。该振荡会使线路之间以及线路与地之间的电压改变，电气设备绝缘总电压由导体部分和其他回路承担。与经由公共配电网进入用户的过电压相比，由用户装置开关操作引起的过电压不经过衰减，其瞬态幅值反而会更高一些。

C.3.2.1 在用户室内的断路器和开关操作

与合闸相比，分闸会产生更高幅值的电压。在分闸时，在负载侧比在线路侧有更高的电涌幅值。无论如何，这点对于设备的设计，尤其是绝缘方面的设计是个关键的问题。如果有与其并联的设备，该设备也将承受电应力。由于线路侧与整个系统及其他设备相联，故与负载侧相比，线路侧的过电压更应考虑。

C.3.2.2 在供电系统（LV 和 HV）中断路器和开关的操作

在每一个供电系统中，电气设备上都能观察到瞬态过电压。在地下供电系统中，几乎所有的瞬态过电压都是机械操作引起的。

在高压和低压装置中，具有电感性的设备，如变压器、阻抗线圈、接触器线圈和继电器等与电源并联，设备的操作都会引起振荡，产生高达几千伏的过电压。因为有线路的自感，这种情况也存在于纵向电感线圈中，例如，导体线圈和纵向阻抗线圈中，或系统自身的开断中。

在电源侧，操作过电压由开关操作、旋转电机的刷状电弧、电机或变压器负载突然下降以及功率因数补偿电容器组的操作引起。

在极少数情况下，这种过电压的频率和能量比雷电过电压在低压装置上的频率和能量要高。

低压电源操作引起的瞬态过电压，幅值可能达到数千伏。低压系统操作时，一定条件下，过电压最大值可以被限制，可通过电源系统安装保护电器来限制过电压，预期最大幅值为 6 kV 的电压，一般不超过低压用户内部装置耐受值。

与操作过电压对应的另一些现象是高压供电系统发生短路和接地故障。接地故障可以在无故障导线上引起线一地过电压，范围在线电压之间。而且，同时也产生瞬态过电压，这种瞬态过电压会从高压电源侧传递到低压电源侧。

C.3.3 熔断器动作（限流熔断器）

熔断器广泛被用于配电系统和电力装置，用来保护过流并断开短路回路。例如，如果熔断器动作，

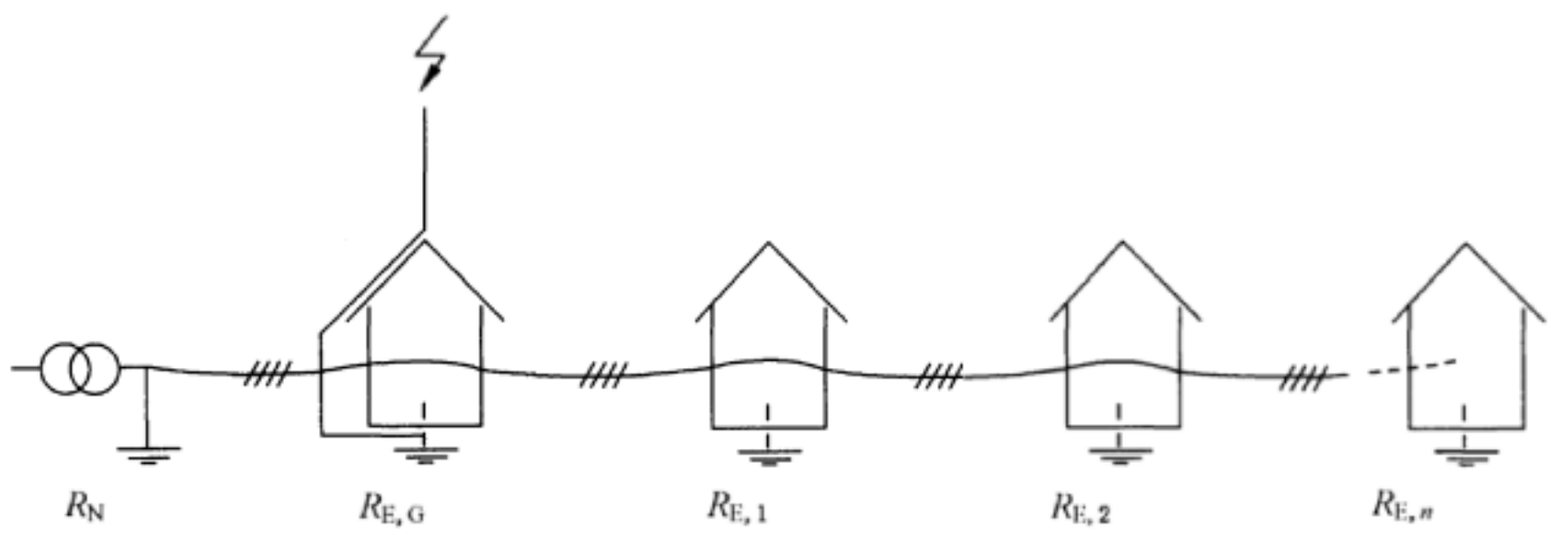
配电系统断开一个短路的回路，该动作产生近似于三角波的一个过电压，频率相对较低。过电压发生在系统的线线间，也可能出现在线和保护地线之间，取决于接地的中性导体，或者取决于一个 IT 系统，或者取决于接地电容。因此，该过电压也作用于裸露导电部件绝缘和其他回路。当然，相对于由动作电流开断引起的过电压，这种过电压很少发生。过电压通过母线也会传输到同一配电系统的其他用电设备中。

和开关动作引起的其他电涌相比，熔断器动作引起电涌的概率较少。但此时断开短路的回路，可能产生强烈的电涌，影响因素主要有短路电流的上升率、熔断器的额定电流及特性、回路的电感。

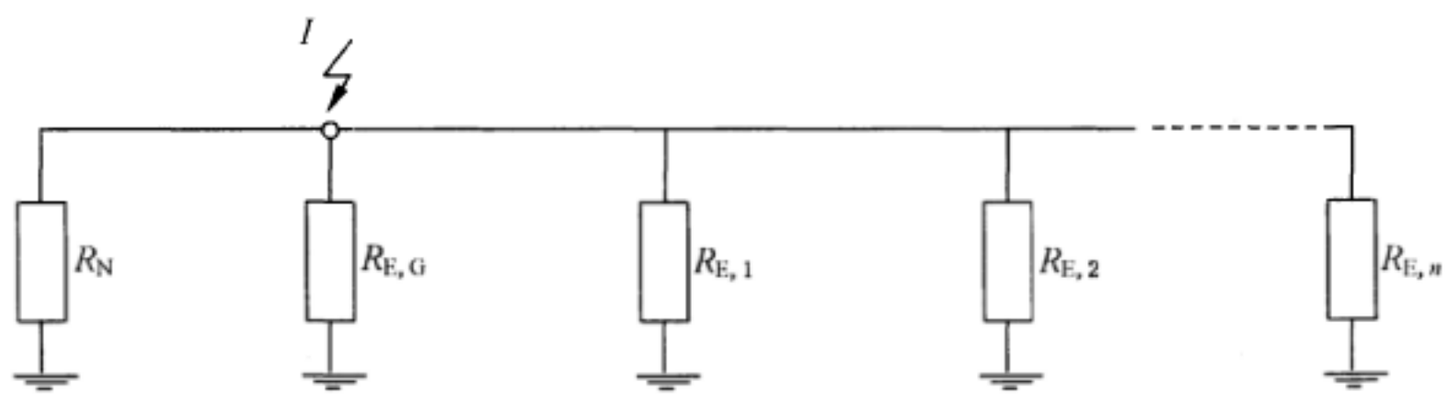
由安装在靠近母线排的熔断器断开配电系统馈线的短路是非常重要的，因为由熔断器动作产生的过电压会影响到与同一母线排相连的其他一些用电设备。实际的统计情况表明，在低压公共供电系统中，发生此种故障是非常少见的。然而，当考虑工业配电系统时，这种类型的故障具有一定的代表性，发生此种短路并非少见。

附 录 D
（资料性附录）
部分雷电流计算

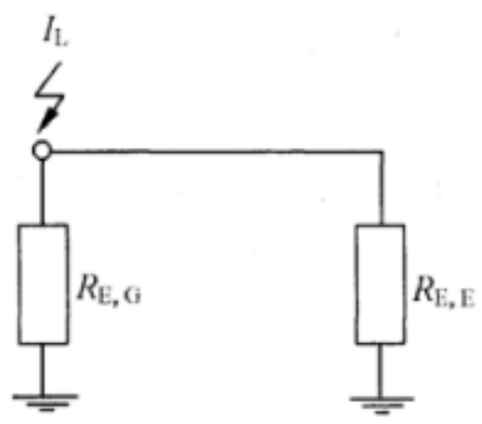
根据图 D.1，一个带有 LPS 系统的建筑物遭受雷击。雷击电流 I_L 将会沿着避雷针流入被击建筑物的接地系统。这将导致电压潜在升高，继而产生闪络或者 SPD 的动作，所以雷电流 I_L 部分进入了系统的 4 条线路中。



a）



b）



c）

$$R_{E,E} = \frac{1}{\frac{1}{R_N} + \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{E_{E,i}}}$$

$$I_M = \frac{I_L}{1 + \frac{R_{E,E}}{R_{E,G}}}$$

说明：

R_N ——中线接地电阻；

$R_{E,G}$ ——被击建筑物的接地电阻；

$R_{E,i}$ ——第 i 个建筑物接地电阻；

$R_{E,E}$ ——除建筑物的接地电阻以外的总接地电阻；

I_L ——被击建筑物的雷电流；

I_M ——进入电源系统的雷电流。

注：这种计算，临近建筑物的接地电阻 $R_{E,E}$ 等于或小于建筑物雷击的接地电阻 $R_{E,G}$。

图 D.1 进入配电系统部分雷电流总和的简易计算

经过分配的部分电流 I_m 会在系统和设施中产生过电压，并作用在绝缘和相连的仪器设备上。因此，不仅受到雷击的建筑物有危险，与建筑物相邻的建筑物或设施也存在危险。

简化网络[图 D.1 b)和 c)]可用于简单计算流入配电系统的部分电流 I_m。

注：该计算只对能量分配有效(雷电流的波尾)。

SPD 在电涌的条件下承受的应力是许多复杂且相关联的参数的函数，包括：

——建筑物中 SPD 的位置：它们位于主配电盘或者是二级配电盘的设施内，甚至是在最后一级用户的设备前边；

——SPD 上游的元件：例如熔断器、导线横截面积等，都可能会限制整个系统的电涌承受能力和 SPD 所承受的最大电应力；

——设备与雷击的耦合路径：例如，是经过雷电直击建筑物的雷电防护系统，还是由于附近的雷击感应到建筑物配线上；

——雷电流在建筑物中的分布：例如，雷电流中有多少进入了接地系统，剩下多少雷电流通过配电系统和等电位连接的 SPD 寻找路径流向远处的大地；

——配电系统的类型：中性线的接地方式会显著影响雷电流在配电系统的分布。例如，中性线多重接地的 TN-C 系统可提供一条比 TT 系统更直接和更低阻抗的泄放雷电流的路径；

——与设备相连的其余导电装置：它们将分流一部分雷电流，从而减少了通过等电位连接 SPD 而流入配电系统的雷电流。应注意到由于这些导电装置可能被非导电物体代替，这部分分流功能可能会消失；

——波形类型：在产生电涌的情况下，不能仅简单地考虑 SPD 传导的电流峰值，还必须考虑电涌的波形。

人们已经做了大量的尝试来定量分析电气环境和设施内不同位置的 SPD 将经受的“威胁等级”。GB/T 21714.4—2008 已经基于雷电保护水平通过考虑 SPD 上可能出现的最大电涌幅值来阐述这个问题。例如，该标准假设在 I 类雷电保护水平下，直接击中建筑物雷电防护系统的雷电流幅值可高达 10/350 200 kA。如果达到这个水平，它发生的统计概率仅为 1%。换言之，99%的情况下放电电流将小于假设的 200 kA 峰值电流水平。

另外，假定电涌电流中的 50%是通过建筑物的接地系统泄放，50%通过连接到三相四线配电系统的等电位 SPD 泄放。假设没有其他的导电装置存在，这意味着初始 200 kA 的雷电流分配到每个 SPD 中的电流都是 25 kA。

电流分布的简化假设对确定 SPD 可能承受的威胁等级是十分有用的，但要注意考虑假设条件。在上述例子中，已经考虑一个 200 kA 的雷电放电。进而可知在 99%的情况下，等电位 SPD 的威胁水平将小于 25 kA。另外，这种流过 SPD 的电流分量的波形与初始放电电流的波形相同，然而实际电流波形可能由于建筑物内线缆的阻抗而发生改变。

基于长时间的现场经验积累，许多标准考虑了运行中的 SPD 可能经受的威胁等级。例如 IEEE 标准 C 62.41.1 和 C 62.41.2，给出了不同 SPD 安装位置的暴露水平。

从上可知，合适的 SPD 参数 I_{max} 和 I_{imp} 的选取，很显然取决于许多复杂和相互关联的参数。用户不仅要考虑到注入的电流是如何在建筑物以及配电系统中传播的，还要考虑到与放电电流的幅值和波形相关的概率统计问题。

必须注意到，通过电力线路、电话线以及数据线进入建筑物的电涌对建筑物内电子系统造成破坏的概率远大于雷电直击建筑物本身造成破坏的概率。

有些建筑物没有或可能不需要 LP 系统，这样的话，也许不需要高电流的 I 类 SPD，而采用低保护水平 U_p 的 II 类 SPD。

由于上述问题的复杂性，应牢记选择 SPD 最重要的一点是在预期电涌发生时 SPD 限制电压的性能，而不是其所能耐受的能量大小(I_{imp}、I_{max} 和 U_{oc})。一个具有低限制电压的 SPD，可以确保对设备提供足够的保护，而一个具有高耐受能量的 SPD 仅能延长其运行寿命。

附 录 E
（资料性附录）
由高压系统和地之间故障引起低压系统的 TOV

E.1 概述

在 HV/LV 变压器高压侧发生故障时(例如,变压器内部失效或一个间隙放电,见注),就会有电流 I_m 流过变压器的接地电阻 R。由于接地电阻与低压网络的连接,一个高 $U_{TOV(HV)}$ 会出现在低压网络,持续时间等于高压网络故障清除的时间(大约 10 ms 到数小时)。

注:变压器 LV 侧暂时过电压,可能来自于:

——HV 裸露的导电部分的电位极度提升导致 HV 和 LV 之间的绝缘损坏;

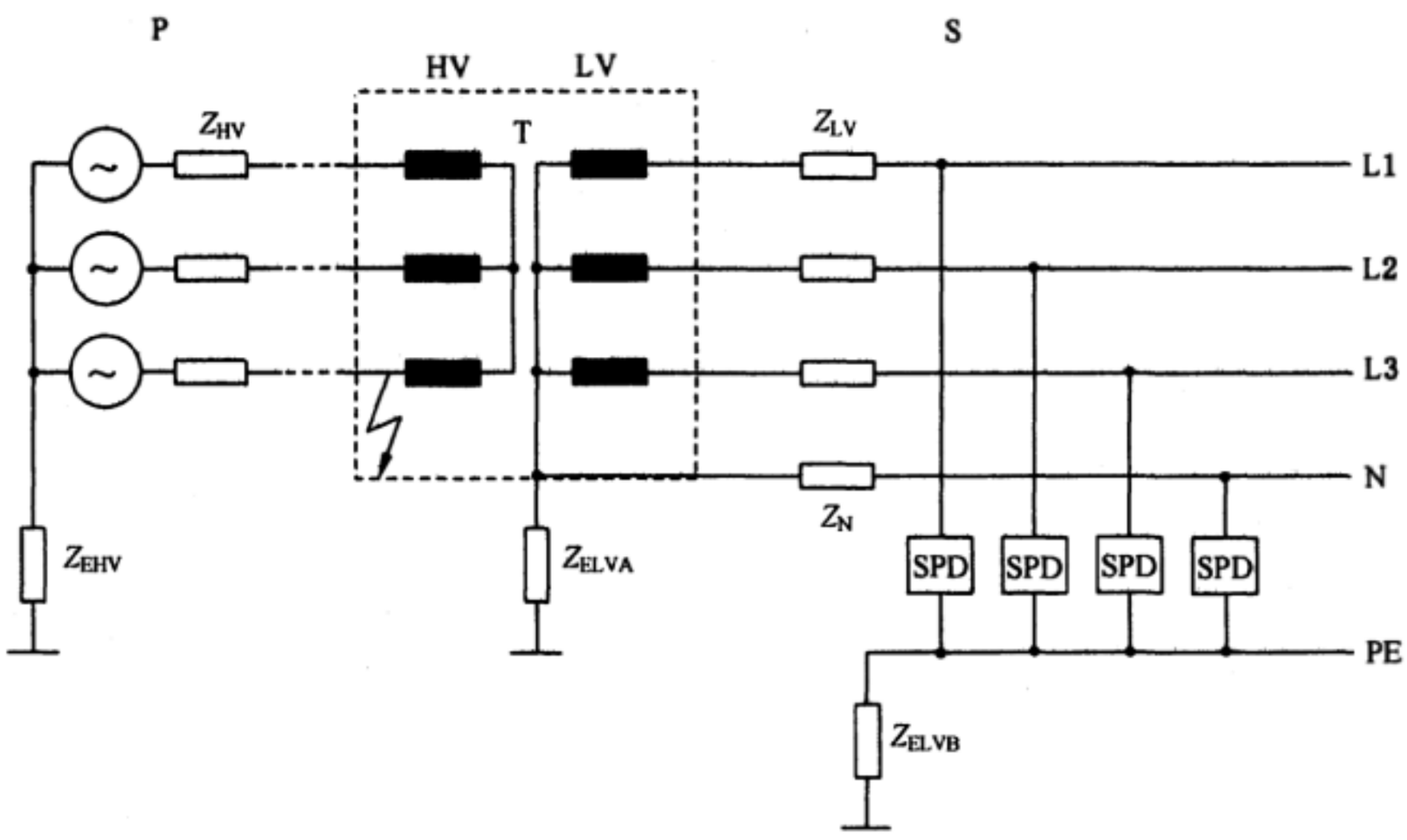
——HV/LV 变压器的内部故障或者高压导线掉落在低压线导致 HV 和 LV 直接接触;

——通过接地连接之间的耦合导致在 LV 中性点和 LV 导线上,甚至在用户接地连接或者附近通信系统上产生过电压。

潜在的暂时过电压情况更详细的讨论见 GB/T 16895.10—2010,在这种情况下,连接在带电导线和地之间的 SPD 会过载而无法承受这种电应力。以下 TT 系统的示例就说明了这一点,此种情况也发生在 TN 或 IT 系统(见下面其他的示例)。

E.2 TT 系统的示例——可能的暂时过电压的计算

E.2.1 高压系统由接地故障引起的低压装置可能出现的电应力



说明:

P ——HV 系统;

S ——LV 系统;

T ——变压器。

图 E.1 由高压系统接地故障引起的暂时工频过电压

阻抗的定义：

Z_{EHV}——高压系统的接地网阻抗(取决于高压系统星形点的处理)；

Z_{ELV}——低压系统的接地网阻抗(为 Z_{ELVA} 与 Z_{ELVB} 之和)；

Z_{LV}、Z_N——线路阻抗、中线阻抗。

如果变压器低压侧的星形点接地(如图 E.1)，HV 系统的接地故障就会影响 LV 系统的电压。而且，即使两个变压器星形点的公共接地线不存在，接地故障(变压器的一个气隙被击穿或者是内部故障)也会引起 LV 星形点电压上升。高压系统的接地电流流经阻抗 Z_{ELVA} 引起变压器星形点电压上升。因此，Z_{ELVA} 和接地电流值决定 LV 系统的暂时工频过电压。

E.2.2 高压系统的特性

E.2.2.1 带有限制接地电流的高压系统

由于 HV 系统采用了消弧线圈接地，接地电流被限制到 $I_{earth}=5$ A～10 A，以保证电弧自己熄灭。

阻抗 $Z_{ELV}=100\ \Omega$～$500\ \Omega$，因此，高压系统接地阻抗残压和接地电流仅由 Z_{EHV} 决定，与短路功率、接地阻抗 Z_{LVA} 和 Z_{LVB} 无关。

E.2.2.2 中线低阻接地的高压系统

对于完全地下系统，接地电流的限制已不再有接地电流自熄的机会(在电缆中绝缘故障损坏绝缘)。因此，高压系统会随中线低阻接地，其动作次数增多。通常，接地电阻应将接地短路电流限制到 $I_{earth}\approx 2$ A。

对于额定电压为 $U_n=20$ kV 的 HV 系统，此时适合这种要求的接地电阻为 $Z_{EHV}\approx 5\ \Omega$，小电站的变压器常常无昂贵的过电流保护，因此，熔断器用于断开短路电流，断开时间取决于熔断器的额定电流，大约为 100 ms。

E.2.3 由高压系统故障引起的低压系统的 TOV

E.2.3.1 有限制接地电流的高压系统

由有限制接地电流的高压系统供电的 LV 系统，变压器的接地阻抗为 2.5 Ω～5 Ω。接地电流 $I_{earth}=50$ A，中线和地之间的电压上升到 $U_{TOV(HV)}=125$ V～250 V。在 TT 系统，如果装有过电压保护元件，在中线和地之间，通过安装的过电压保护元件，由 $U_{TOV(HV)}$ 引起的最大电流被限制到小于 50 A 以下。因此在中线和地之间的放电间隙应能断开较小的工频电流。

注：在某些地区，接地电阻 Z_{ELVA} 的阻值高达 10 Ω，所以其 $U_{TOV(HV)}$ 可高达 500 V。

E.2.3.2 中线经小电阻接地的高压系统

假设典型的 20 kV 系统给定的参数如下：

$Z_{EHV}=5\ \Omega$，$P_{short\ \ ciruit}=100$ MVA，$U_n=20$ kV。

其 LV 系统特性为：

$Z_{ELVA}=1\ \Omega$，$U_n=230$ V。

$Z_{ELVB}=5\ \Omega$，$Z_{LV}=Z_N=150$ mΩ。

在 Z_{ELVA} 产生的 TOV 为 $U_{TOV(HV)}\approx 1\ 200$ V。

通过安装在中线和地之间的过电压保护元件的最大电流取决于 Z_{ELVA} 与 Z_{ELVB} 和 Z_N 之和的比值，

在本例中，可以计算的电流≈200 A。

E.2.4 结论

——具有限制接地电流的高压系统引起的 LV 系统暂态工频过电压 $U_{TOV(HV)}$ ≈250 V，时间不确定；

——因 $U_{TOV(HV)}$ 引起的通过中线和地之间的过压元件最大电流是 50 A；

——中线经低阻接地的高压系统引起 LV 系统暂时过电压可上升到 $U_{TOV(HV)}$ ≈1 200 V；

——通过接在中线和地之间的过压元件由 $U_{TOV(HV)}$ 引起的电流，取决于配电变压器接地阻抗与配电变压器外面的 LV 系统中线接地阻抗之比值，该电流在数百安范围内。

E.3 根据 GB/T 16895.10—2010 确定的暂时过电压的值

在特殊应用时，用户需要知道关于暂时过电压的系统参数，以便评估设备保护和 SPD 潜在失效之间的最佳平衡。IEC 61643-1 论述了这一点，并且可选择的暂时过电压试验被推荐在 SPD 上进行，以便检查如果 SPD 损坏，不会导致一个危险的情况。

$U_{TOV(HV)}$ 的值取决于故障电流 I_m 和变压器的接地电阻 R。在多点接地系统，该电阻为从故障点观察到的接地网络的电阻。其最大值由 GB/T 16895.10—2010 定义为：

U_0 + 250 V r.m.s，持续时间超过 5 s

这种情况涉及 HV 系统较长的断开时间，例如，高压系统中电感接地。

注：在某些地区，其值高达 U_0+500 V，持续时间超过 5 s。

U_0 + 1 200 V r.m.s，持续时间到 5 s

这种情况涉及 HV 系统较短的断开时间，例如高压系统固定接地。

下列符号适用于本附录（直接来自于 GB/T 16895.10—2010）：

I_m：在高压系统中，流过配电变压器裸露导体接地电极的接地故障电流；

R：配电变压器裸露导体接地电极的电阻；

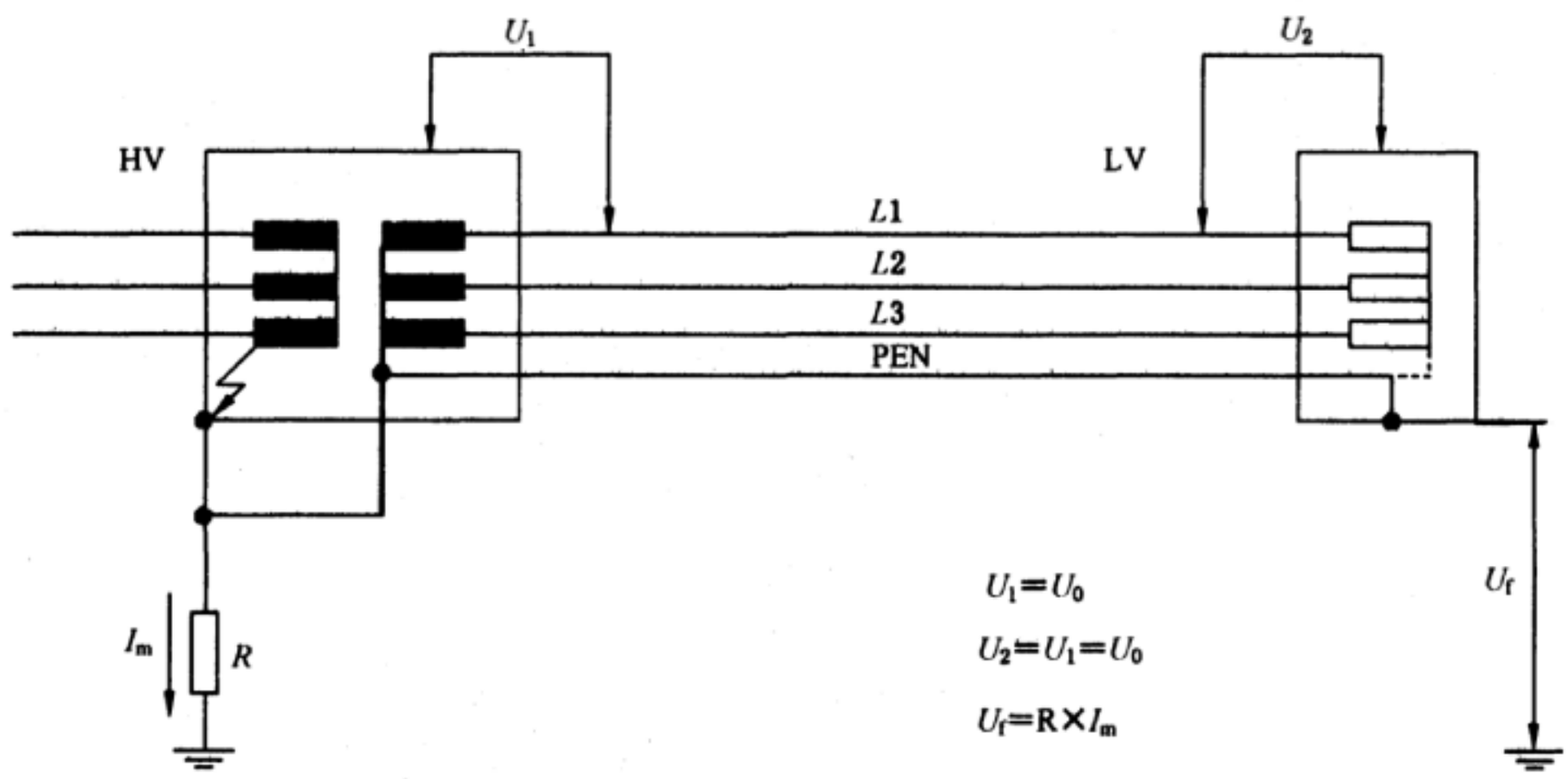
U_0：低压系统的线—中线电压；

U_f：LV 系统裸露导体部件和地之间的故障电压；

U_1：配电变压器 LV 设备的电压；

U_2：用户系统 LV 设备的电压。

条款 E.3 和图 E.11 的计算来自于 GB/T 16895.10—2010。图 E.2～图 E.10 说明的是在美国使用的典型情况。


U_1
U_2
HV
LV
L1
L2
L3
PEN
I_m
R
$U_1=U_0$
$U_2=U_1=U_0$
$U_f=R\times I_m$
U_f
TN—a

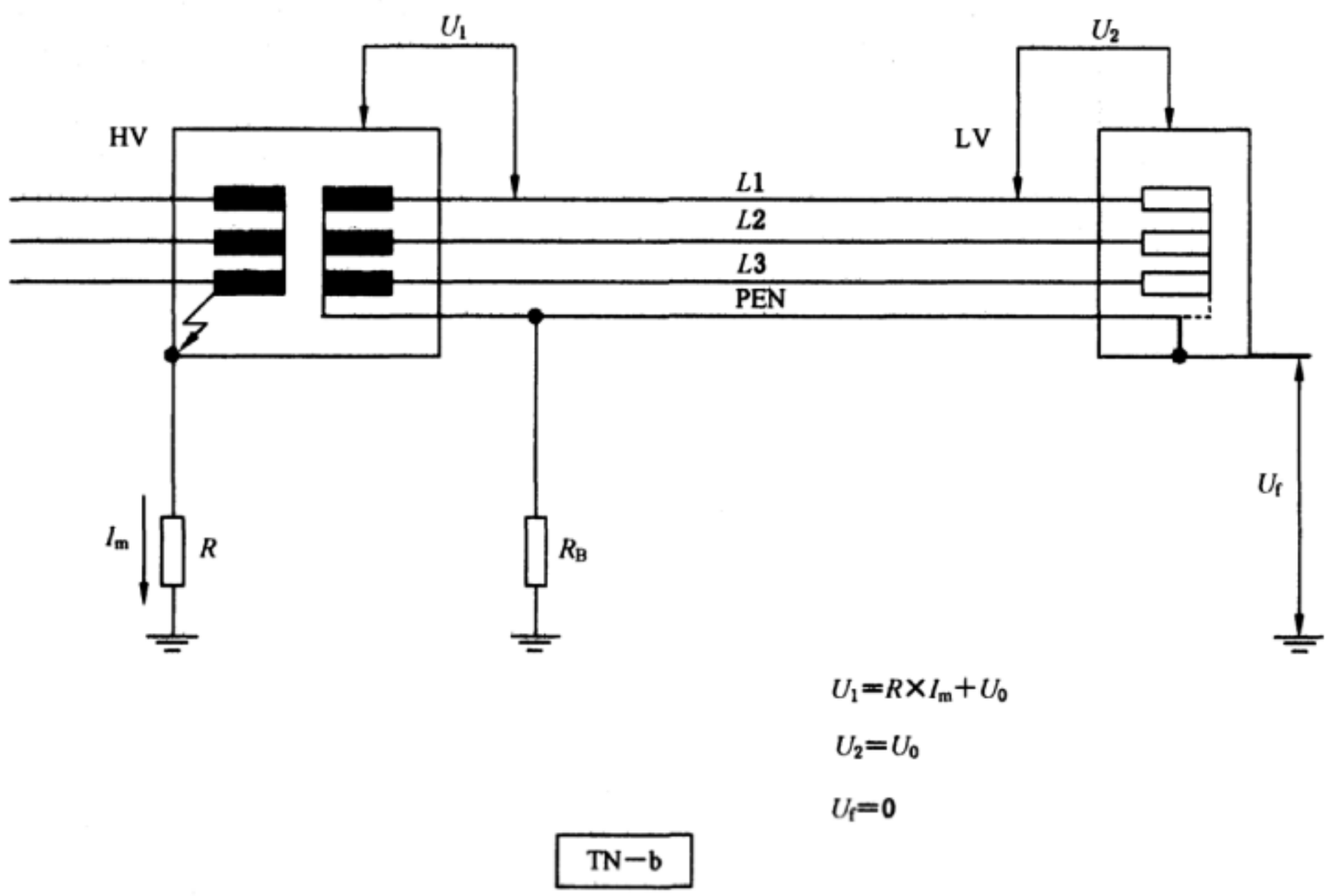
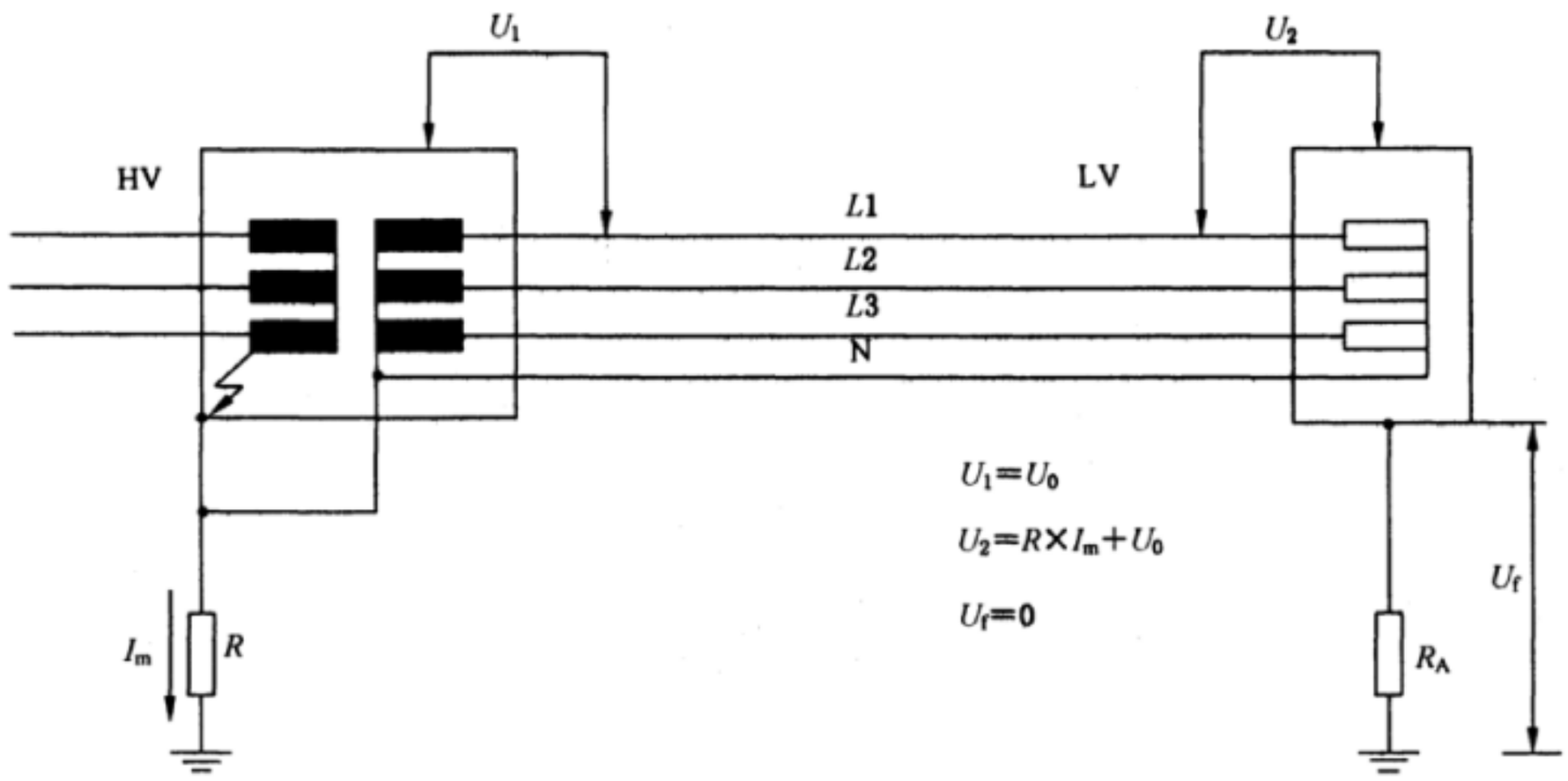

U_1
U_2
HV
LV
L1
L2
L3
PEN
I_m
R
R_B
U_f
$U_1=R\times I_m+U_0$
$U_2=U_0$
$U_f=0$
TN—b

图 E.2 TN 系统


U_1
U_2
HV
LV
L1
L2
L3
N
$U_1=U_0$
$U_2=R\times I_m+U_0$
$U_f=0$
I_m
R
R_A
U_f
TT—a

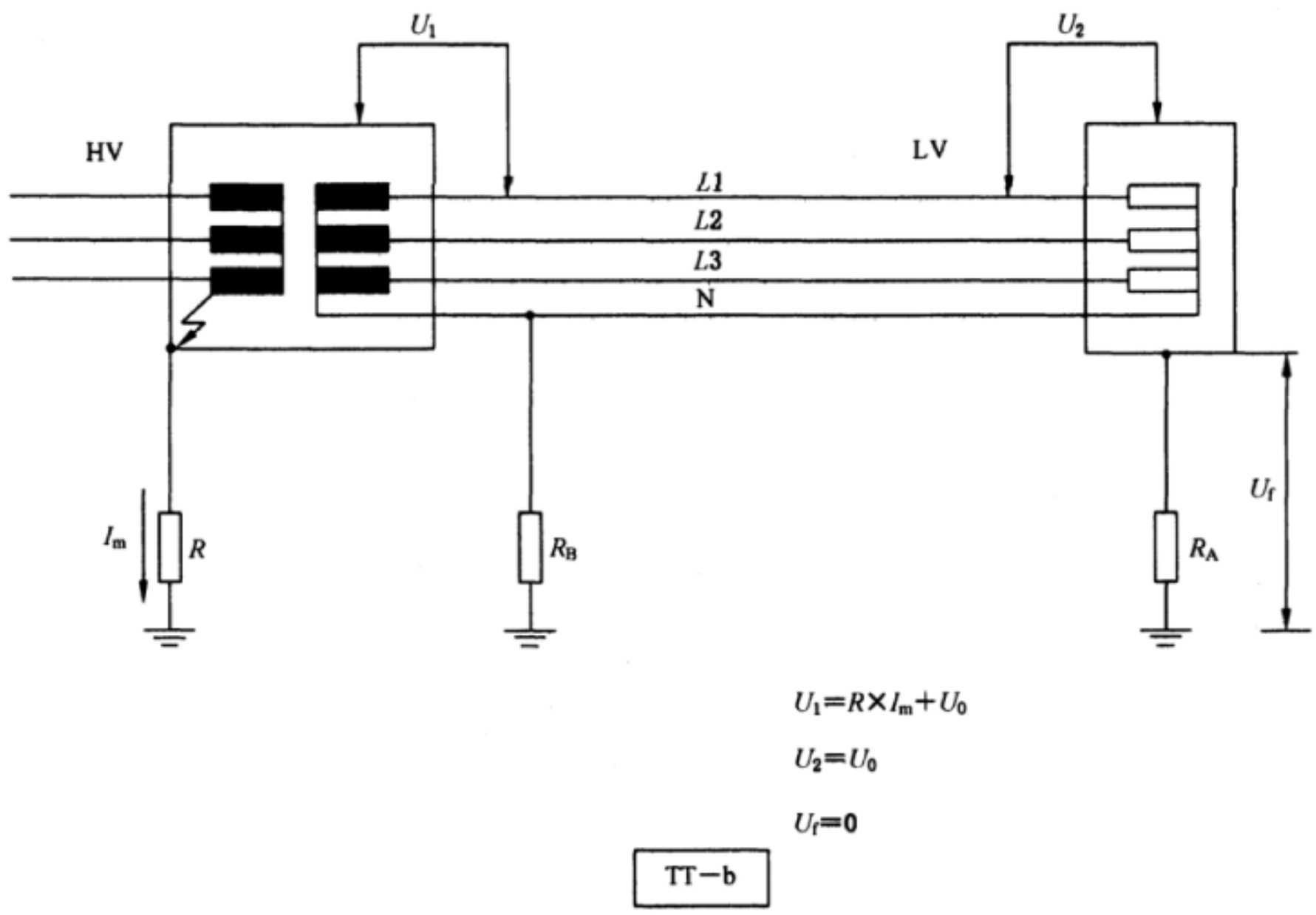
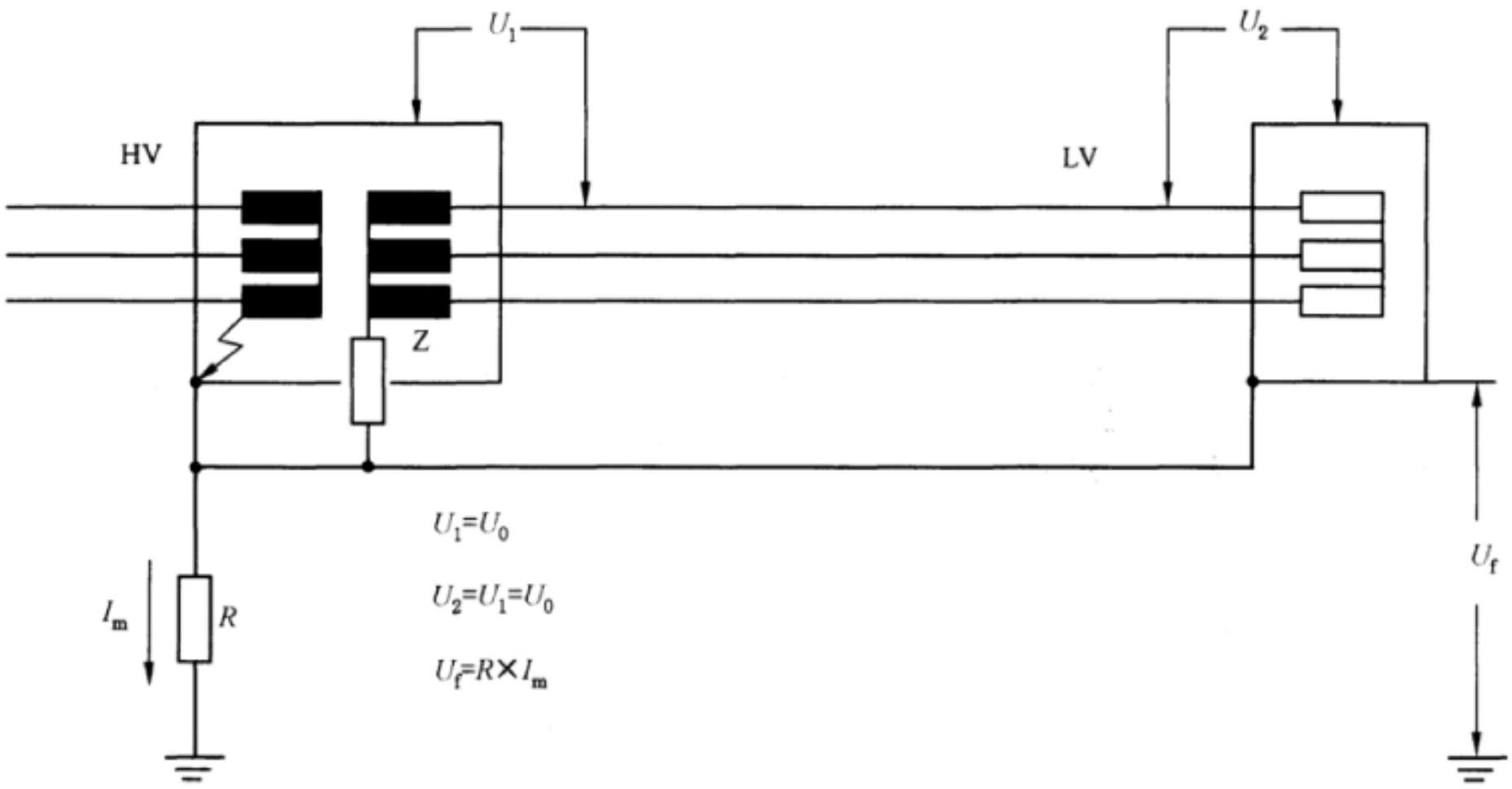
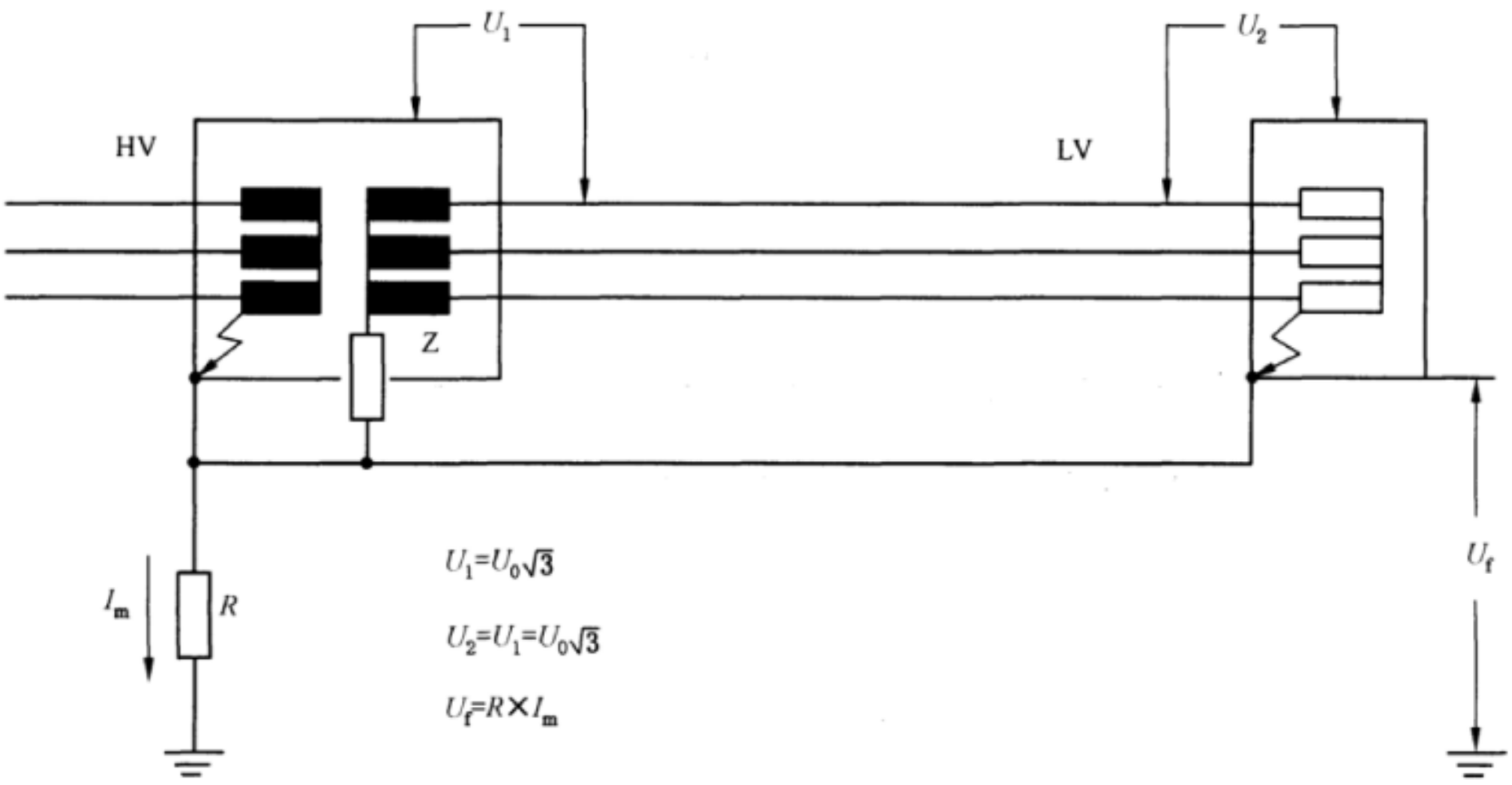

U_1
U_2
HV
LV
L1
L2
L3
N
I_m
R
R_B
R_A
U_f
$U_1=R\times I_m+U_0$
$U_2=U_0$
$U_f=0$
TT—b

图 E.3 TT 系统

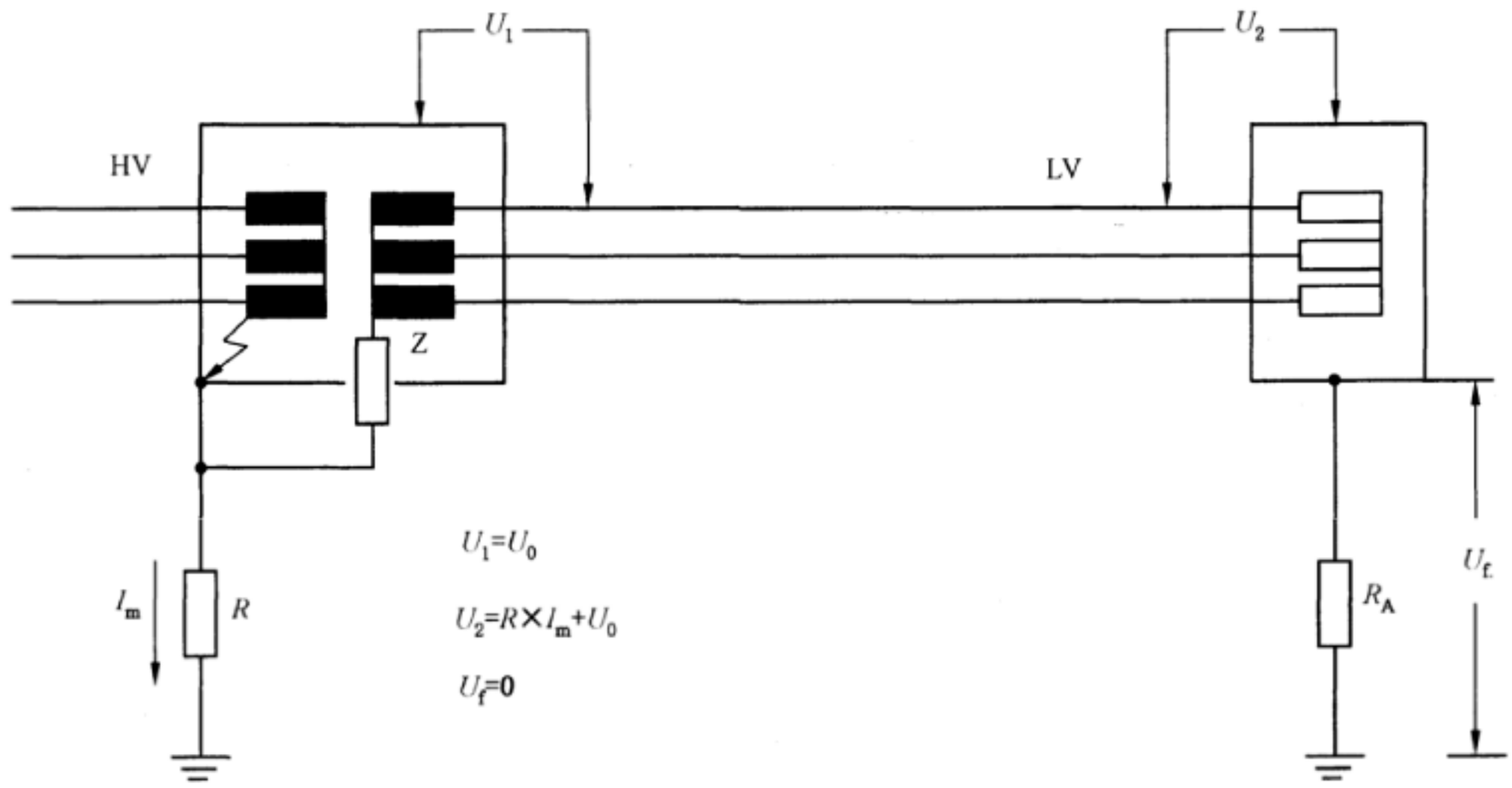


1. LV系统无故障存在

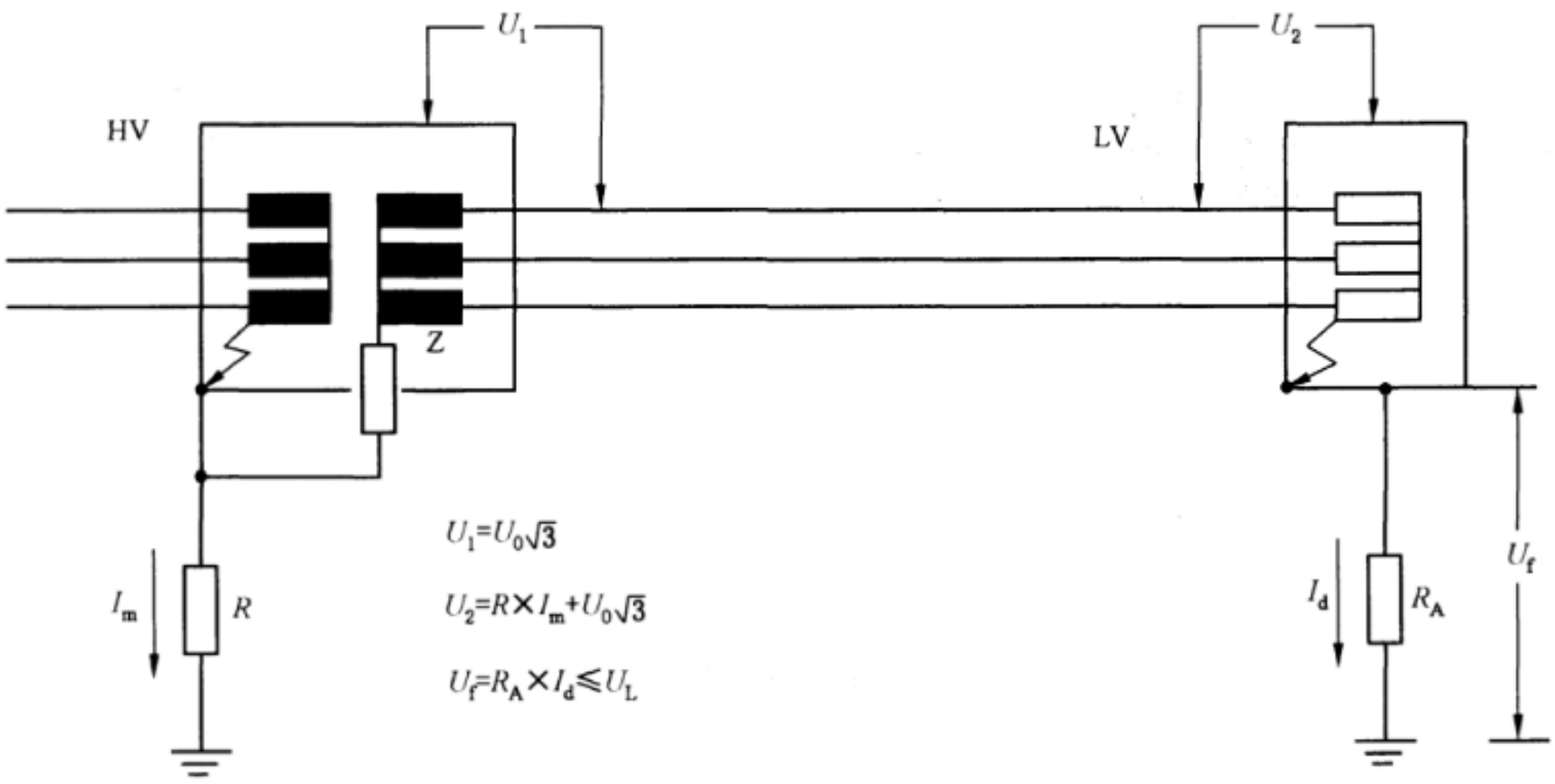


2. LV系统存在主要故障

图 E.4 IT 系统，例 a

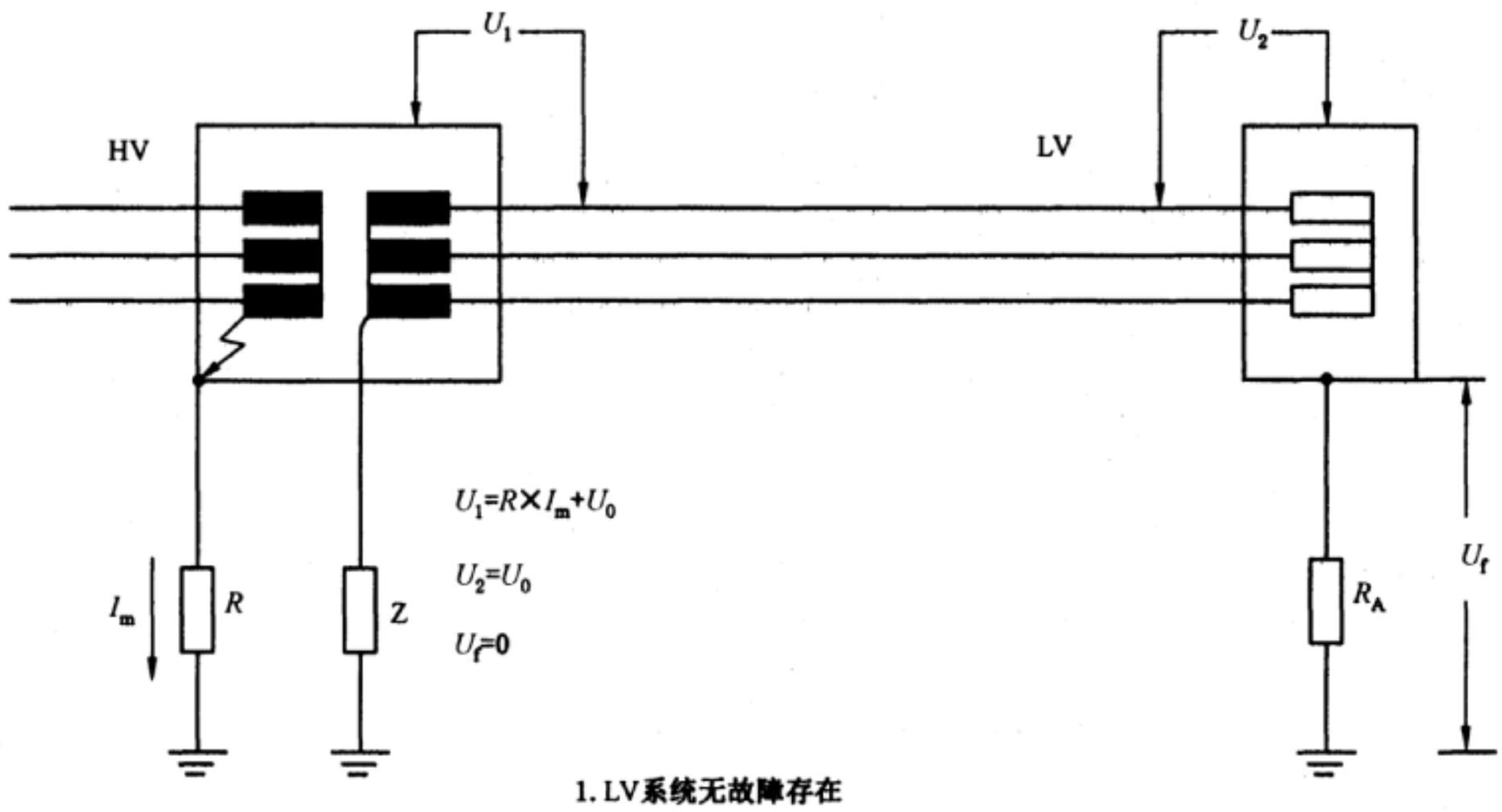


1. LV系统无故障存在

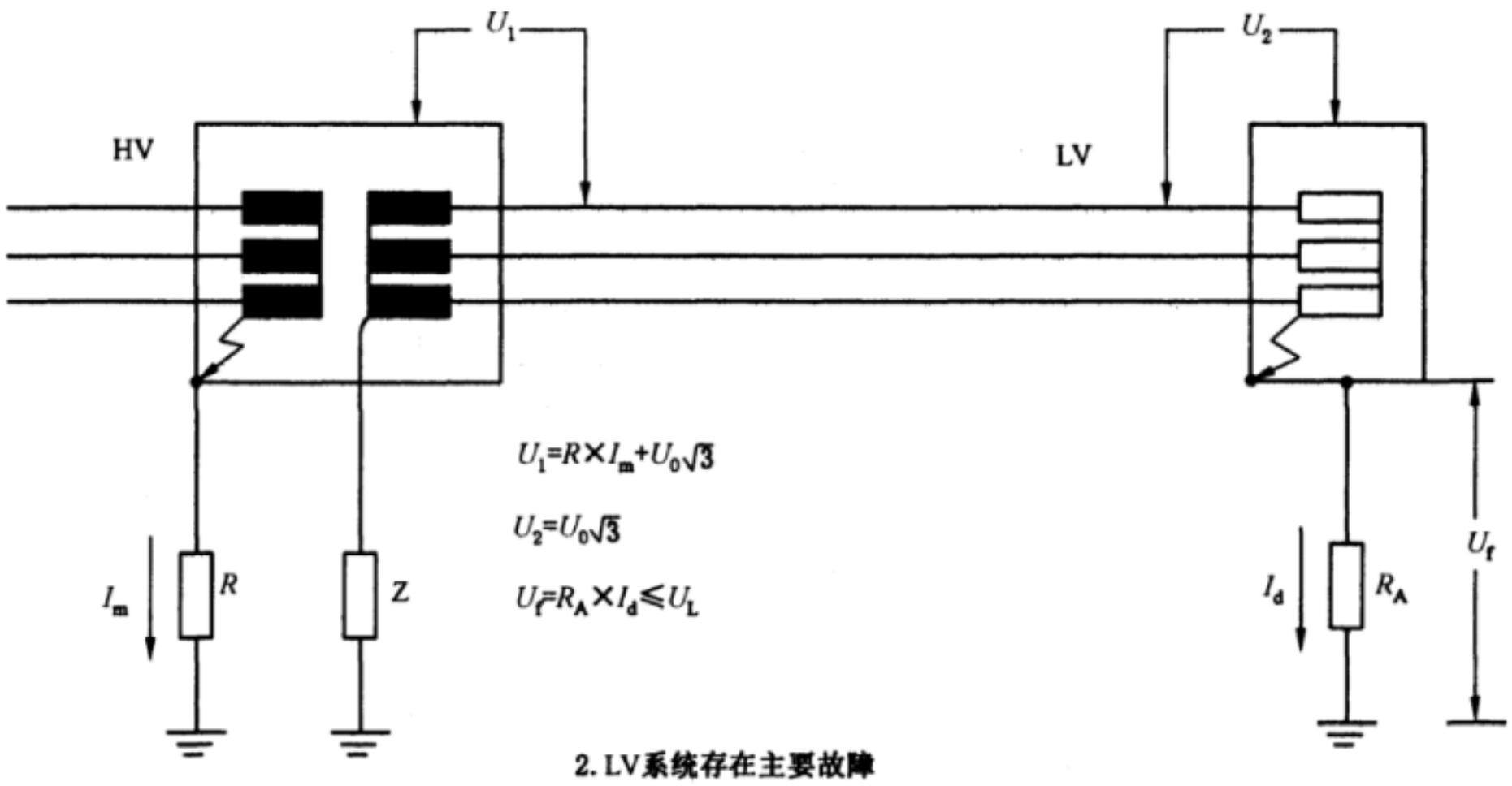


2. LV系统存在主要故障

图 E.5 IT 系统，例 b

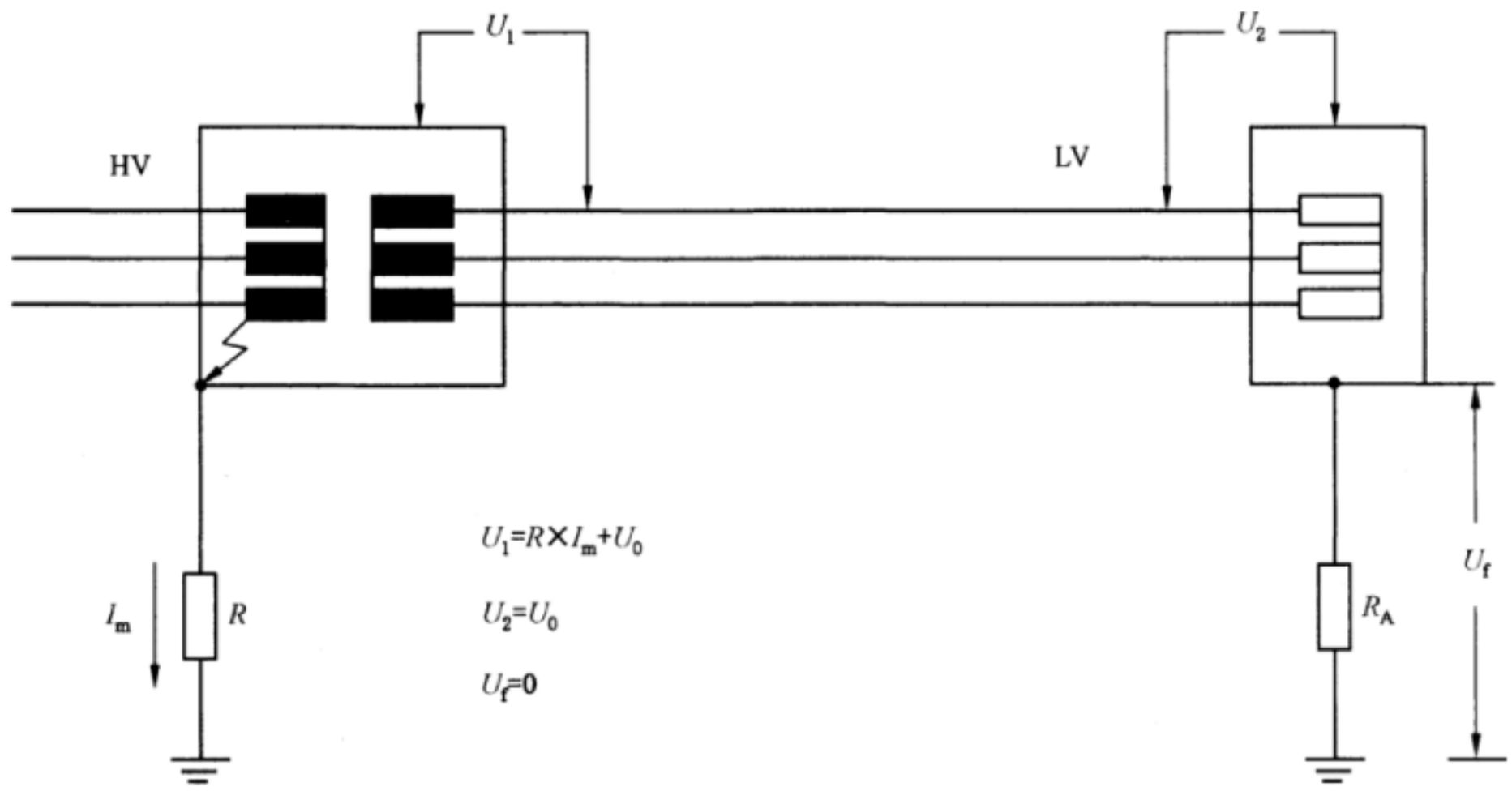


1. LV系统无故障存在

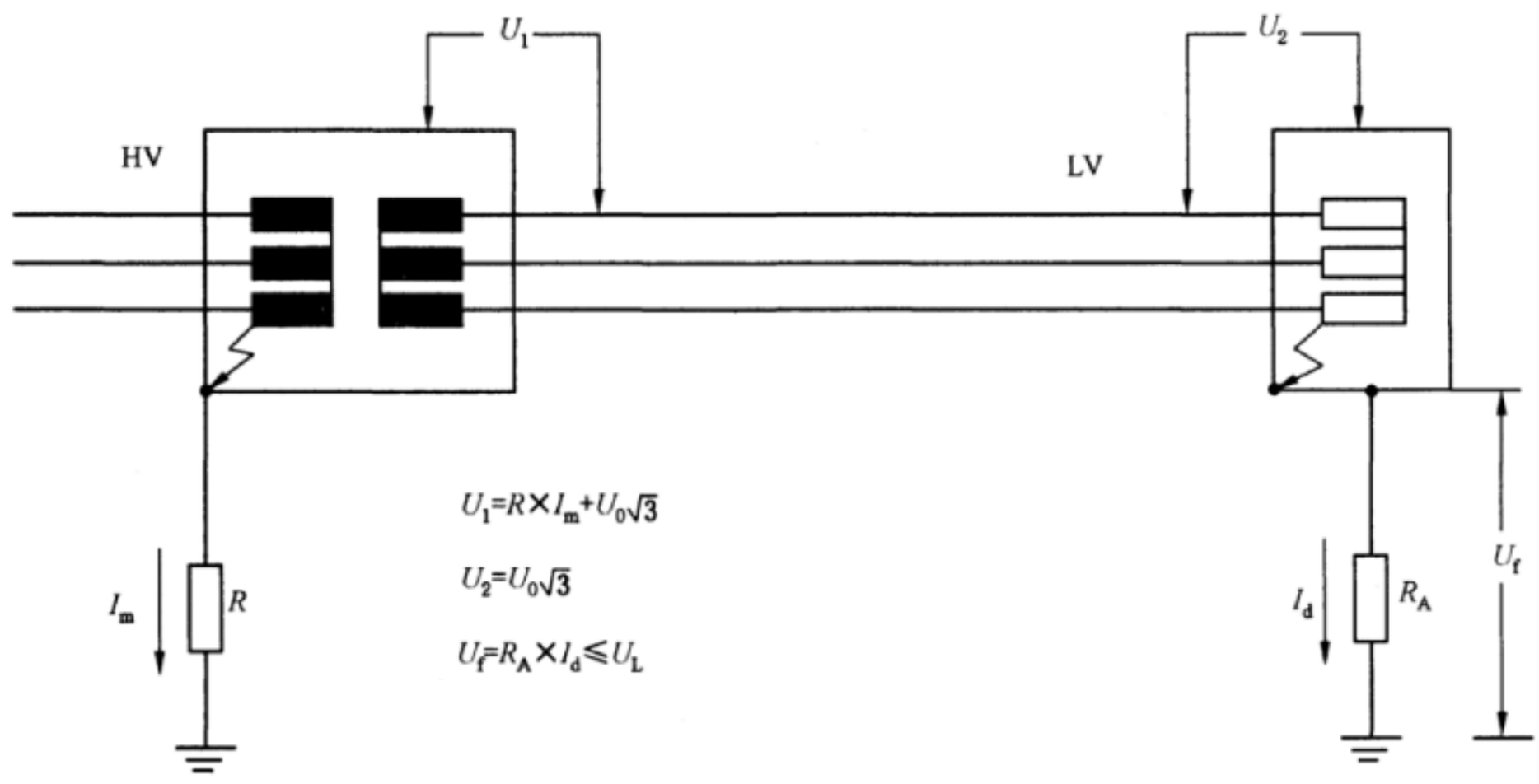


2. LV系统存在主要故障

图 E.6 IT 系统，例 c1

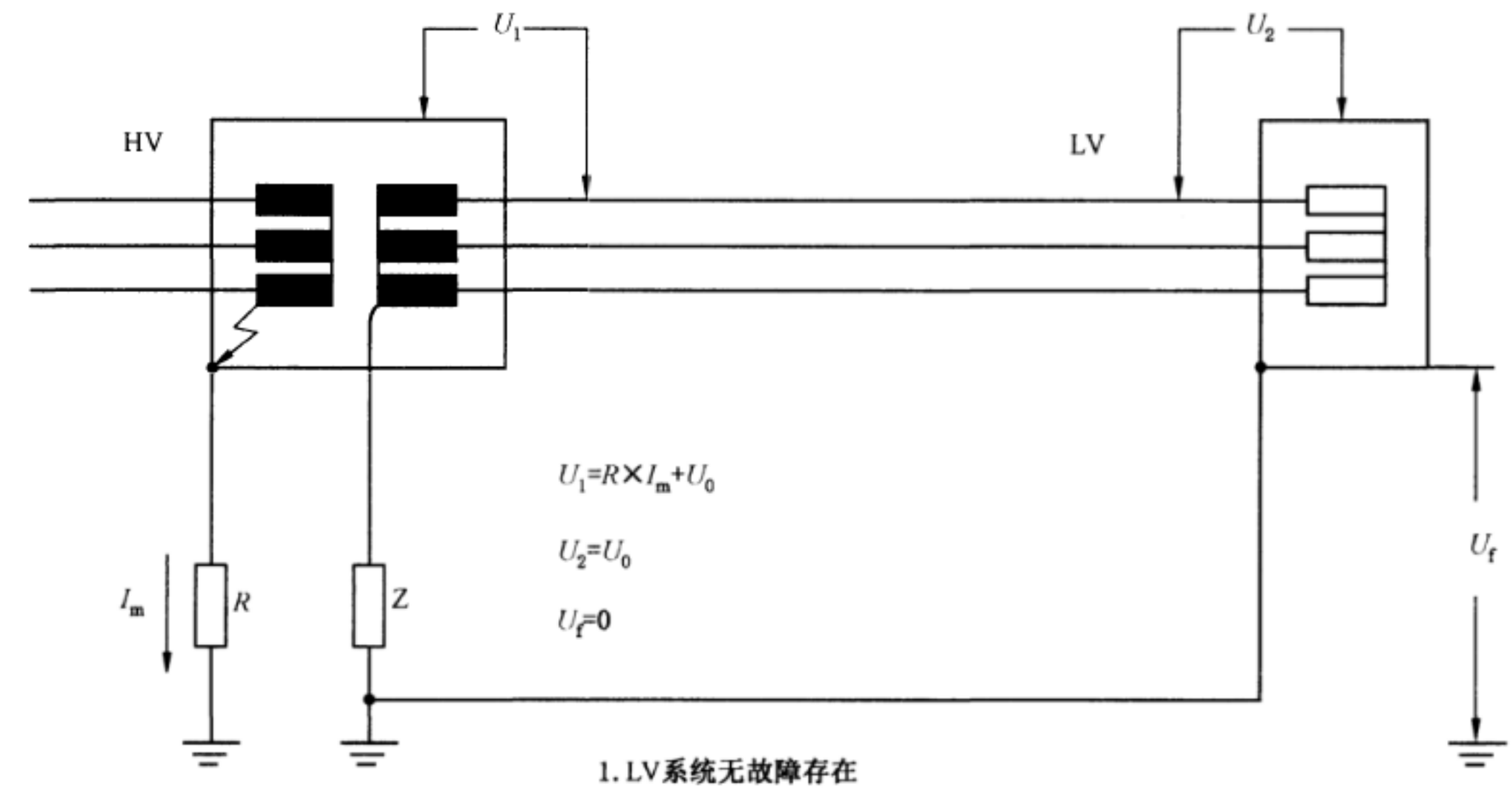


1. LV系统无故障存在

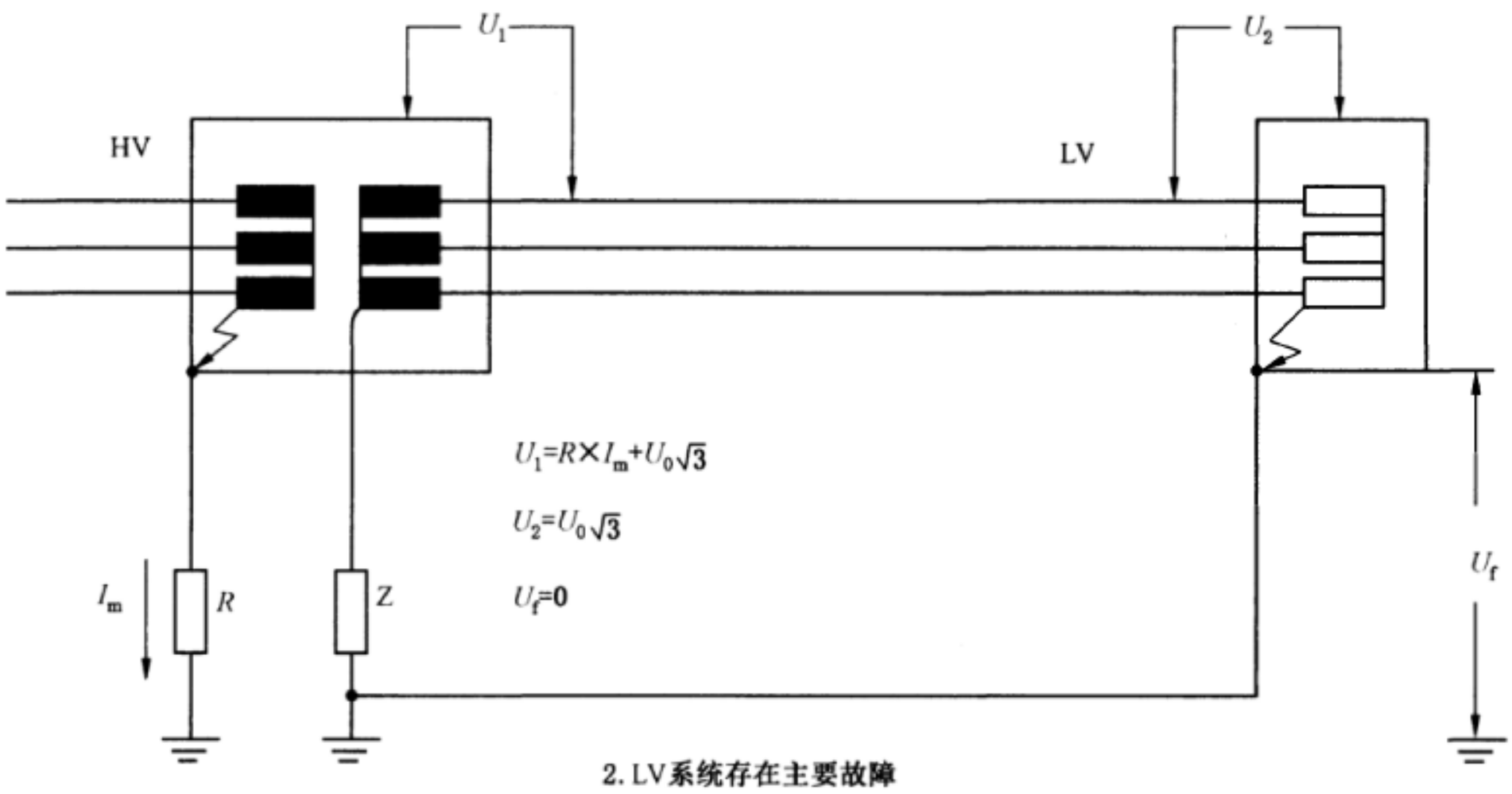


2. LV系统存在主要故障

图 E.7 IT 系统，例 c2

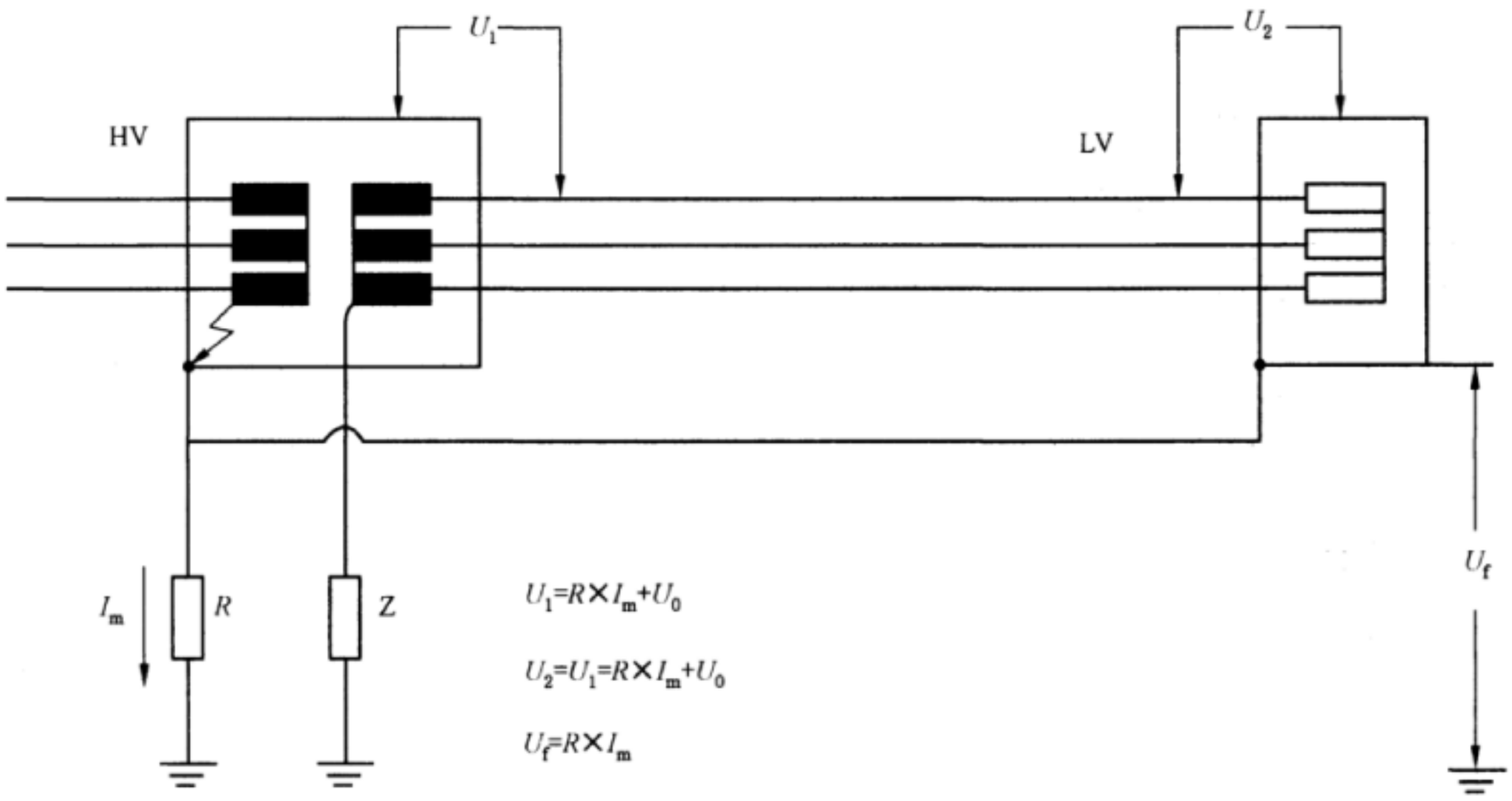


1. LV系统无故障存在

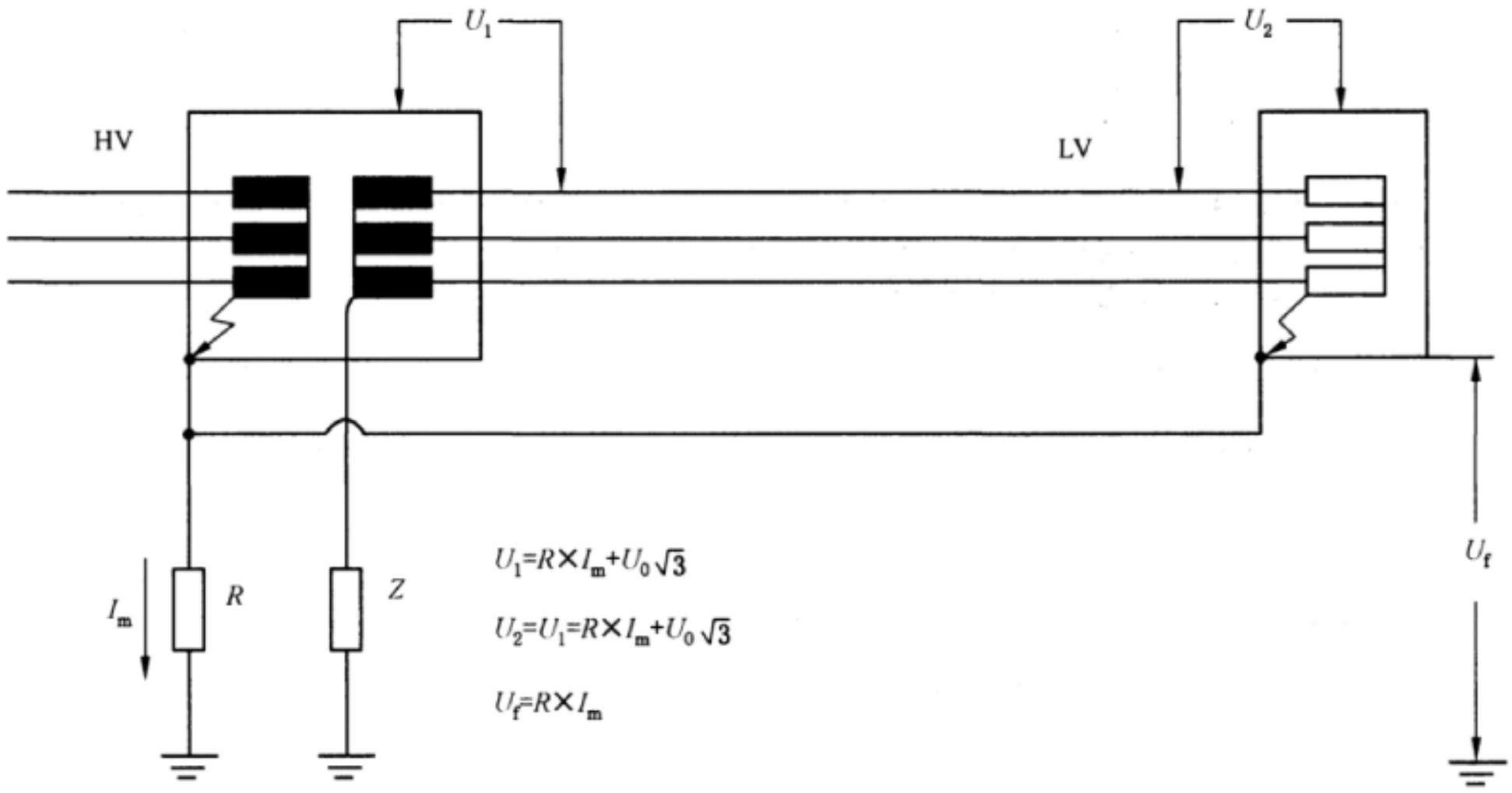


2. LV系统存在主要故障

图 E.8 IT 系统，例 d

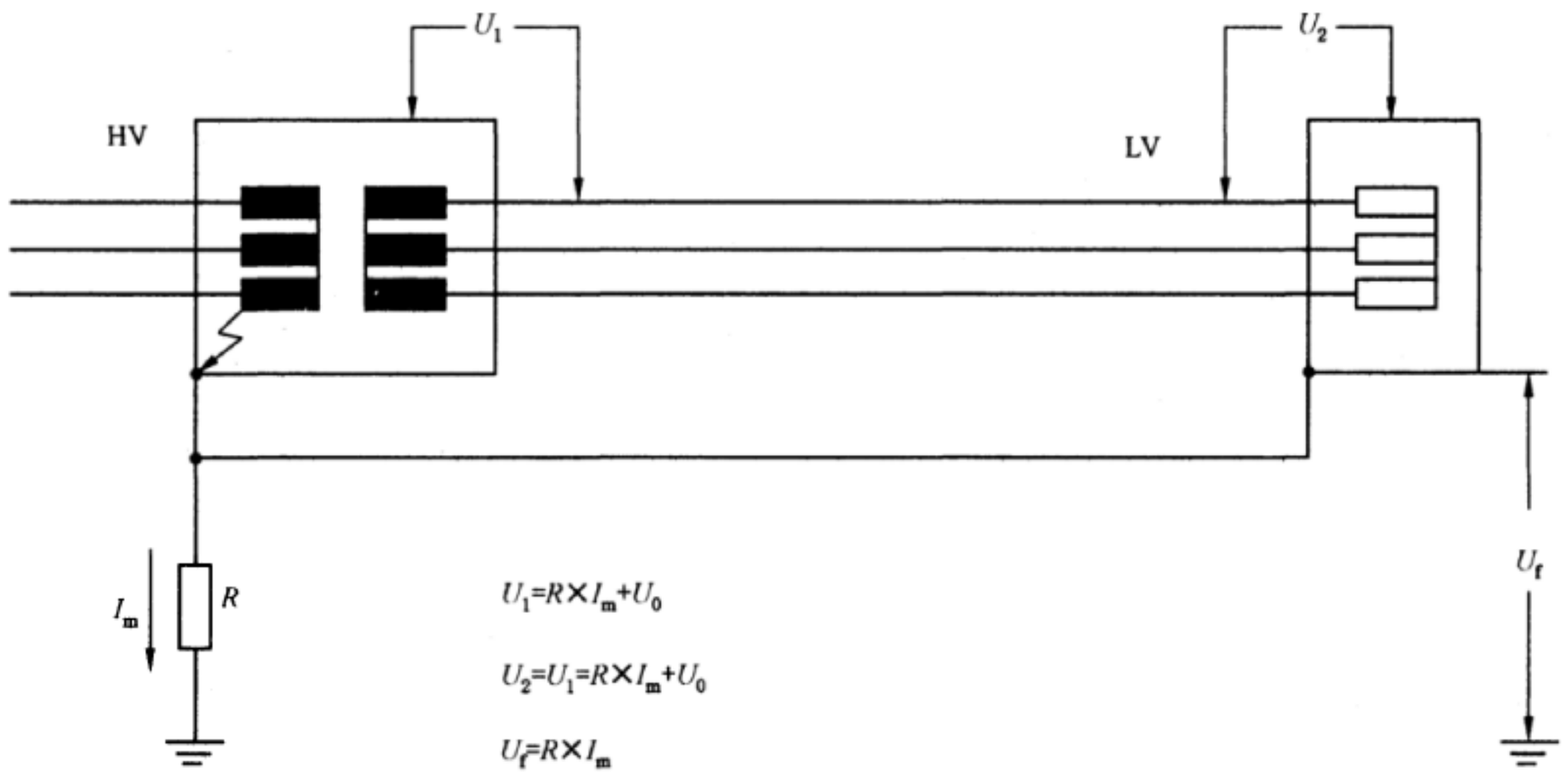


1. LV系统无故障存在

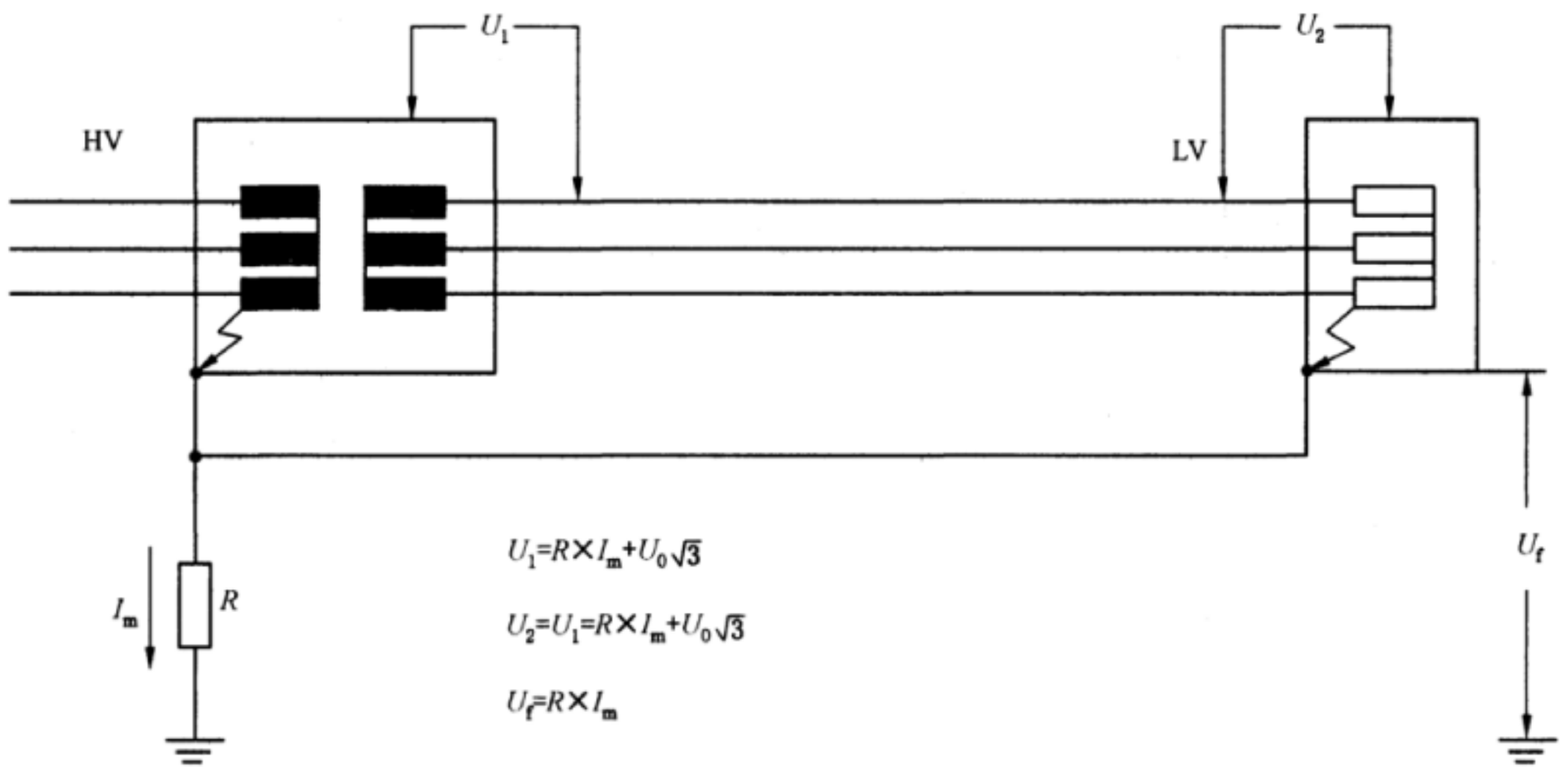


2. LV系统存在主要故障

图 E.9 IT 系统，例 e1



1. LV系统无故障存在



2. LV系统存在主要故障

图 E.10 IT 系统，例 e2

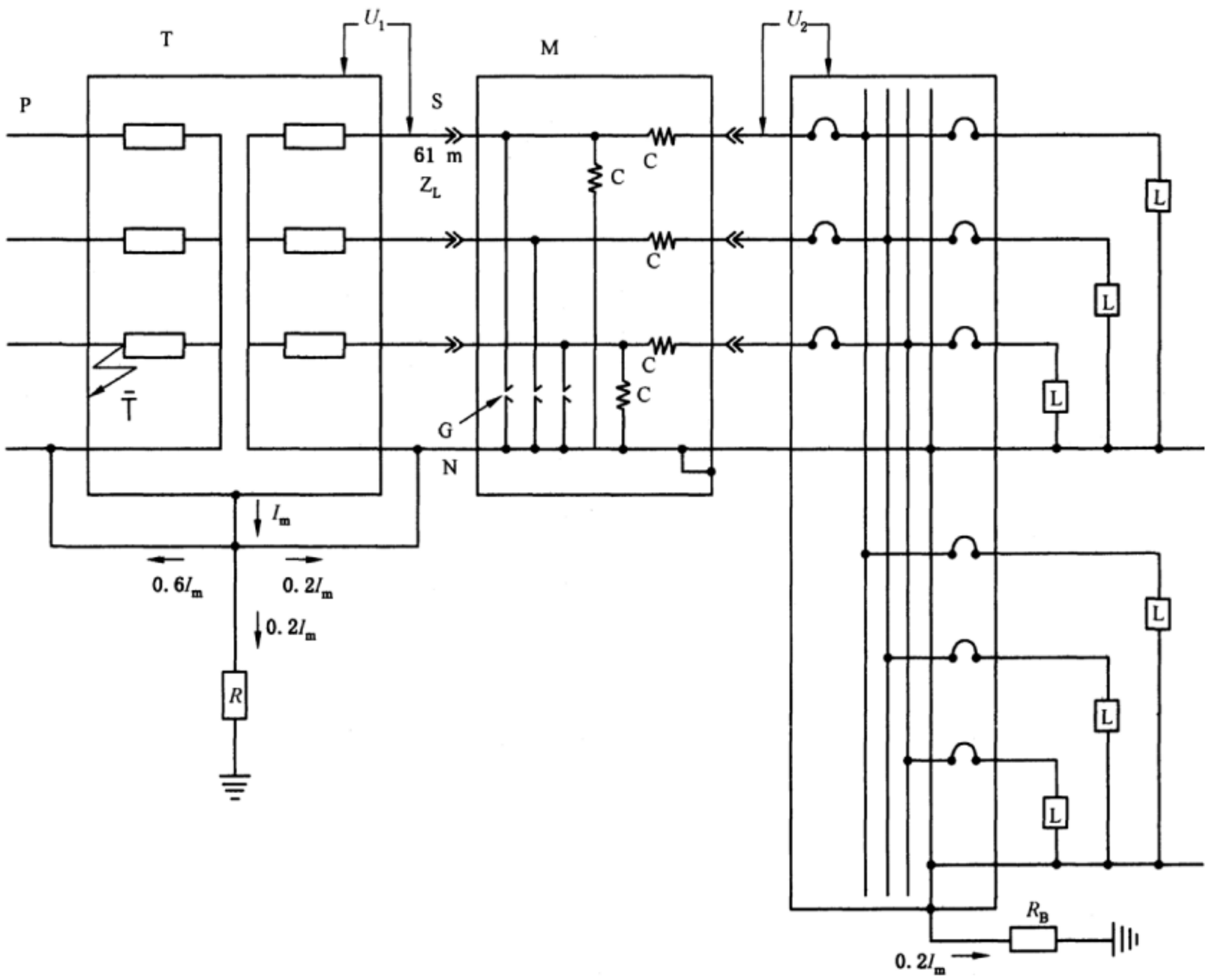
E.4 美国 TNC-S 系统暂时过电压值

下面的讨论基于图 E.11。该图所示为配电变压器高压侧故障时的工频续流的分配。在本例中，假定变压器和用户引入线的接地电阻是 15 Ω。

$U_1=U_0$，这里 U_0 是二次侧最大工作电压。

Z_L 是变压器和用户配电柜之间的导线的阻抗。

电表间隙具有 1 500 V～2 500 V 的冲击放电电压。



说明：

P——HV；

S——LV；

T——变压器；

M——电表；

C——线圈；

G——放电间隙；

L——负载。

图 E.11　美国 TN-C-S 系统

以北美 23 kV/13.2 kV Y 型配电回路典型情况为实例，其最大的故障电流(I_m)为 10 kA。阻抗(Z_L)为 0.041 Ω 的典型三绕组次级导体用于 3 kVA～25 kVA 三相安装的单相架空线配电变压器。距离大约 60 m 的 4/0 AWG(根据 GB 17464—2012，其等效值为 25 mm²)铜用于计算。故障电流分配的假设是基于计算和在阶段故障条件下，现场测量多点接地配电回路。

例如，$U_0=132$ V；$U_1=U_0=132$ V；

$U_2=U_0+0.2\times I_m\times Z_L=132+0.2\times 10\ 000\times 0.04=214$ V。

虽然这表明过电压是系统正常电压的 1.78 倍(1.78 p.u)，如果假定 $R\gg R_B$，则表明，在上述同样故障条件下，所得到的值 $U_2=294$ V 或者是系统正常电压的 2.45 倍(2.45 p.u.)，其暂时过电压(TOV)将持续到由熔断器熔断或前方的断路器断开或自动重合闸而清除故障。这些器件将根据故障隔离器件的特性在 0.016 s～1.5 s 之间动作。降低用户导线的长度和减小故障电流可以降低严酷的条件。

该示例虽然表明一次故障能产生 2.45 倍系统正常电压的过电压，但这是极少见的情况。配电回路有 10 kA 的故障电流是非常罕见的。大部分的故障电流小于 4 kA，因此，TOV 将会大大减少。较长距离的二次侧用户是不常见的，较短距离的用户过电压较低。通常二次侧用户不超过 30 m，因此，如果故障电流是 4 kA，并且二次侧用户小于 30 m，其 TOV 大约是 1.24 倍的系统标称电压或者是 148.4 V。

附 录 F
（资料性附录）
配合规则和原则

F.1 概述

如 6.2.6 所述，SPD 间的配合是为了满足能量要求的判椐，这取决于下一个 SPD 的最大能量耐受。然而，该能量有时取决于波形及试验类别，如 IEC 61643-1 所述。一般仅用一种波形试验（例如Ⅱ类试验波形为 8/20）。因此最好且也很容易直接从制造厂得到 E_{max} 值（大多数情况下印刷在其技术文件中）。

为了满意地定义 SPD 能量耐受，需要定义两个数值：

——$E_{max\,S}$ 为对应短持续电流波形，例如，8/20（Ⅱ类试验）；

——$E_{max\,L}$ 为对应长持续电流波形，例如，Ⅰ类试验的波形。

在某些技术条件下 $E_{max\,S}$ 和 $E_{max\,L}$ 可能相等。

于是 SPD 可由两个特征电流来表征，即短波（用于Ⅱ类试验）电流 I_{max} 和长波电流（用于Ⅰ类试验）I_{imp}，相应的能量耐受为 $E_{max\,S}$ 和 $E_{max\,L}$。因此，一个简单的 SPD 可按照Ⅰ类和Ⅱ类试验进行试验。

有必要用相应电涌波形的最大能量耐受 E_{max} 对 SPD1 和 SPD2 进行配合。这就意味着有必要处理两种情况：

——长波的配合；

——短波的配合。

通常，短波形配合比较容易完成。

注：对于开关型 SPD，有必要考虑长波前时间。该项工作在 IEC/TC 81 中待定。

F.2 分析研究：用于两个基于 ZnO 压敏电阻的 SPD 的配合简例

F.2.1 概述

下面的考虑仅适用于进行Ⅰ类和Ⅱ类试验的一端口限压型 SPD，其 $U_{res}(I)$ 的曲线已知。该曲线用 8/20 波测量，并由制造厂在 SPD 技术文件中给出。Ⅲ类试验和二端口 SPD 需特殊考虑（待定）。

下面的示例有助于理解配合的过程。首先，SPD1 和 SPD2 是由 ZnO 压敏电阻组成，才可能进行分析研究。应注意，这种分析研究仅基于电流分配。为了确保满足能量判椐，或许要另外进行计算，这通常很困难。

——如果两个 ZnO 压敏电阻片直径相同（因而有相同的标称放电电流 I_n 和相同的能量耐受；相同的 I_{max} 和 I_{imp}），但有不同的电压保护水平 U_{p1} 和 U_{p2}（不同的厚度），则有下面的计算公式：

$$I_{n1} = I_{n2}$$

$$I_{max1} = I_{max2}$$

$$I_{imp1} = I_{imp2}$$

那么 $U_{res}(I)$ 可能的曲线如图 F.1 所示。如果 $U_{p1} > U_{p2}$，此时，曲线 a 对应于 SPD1，曲线 b 对应于 SPD2。

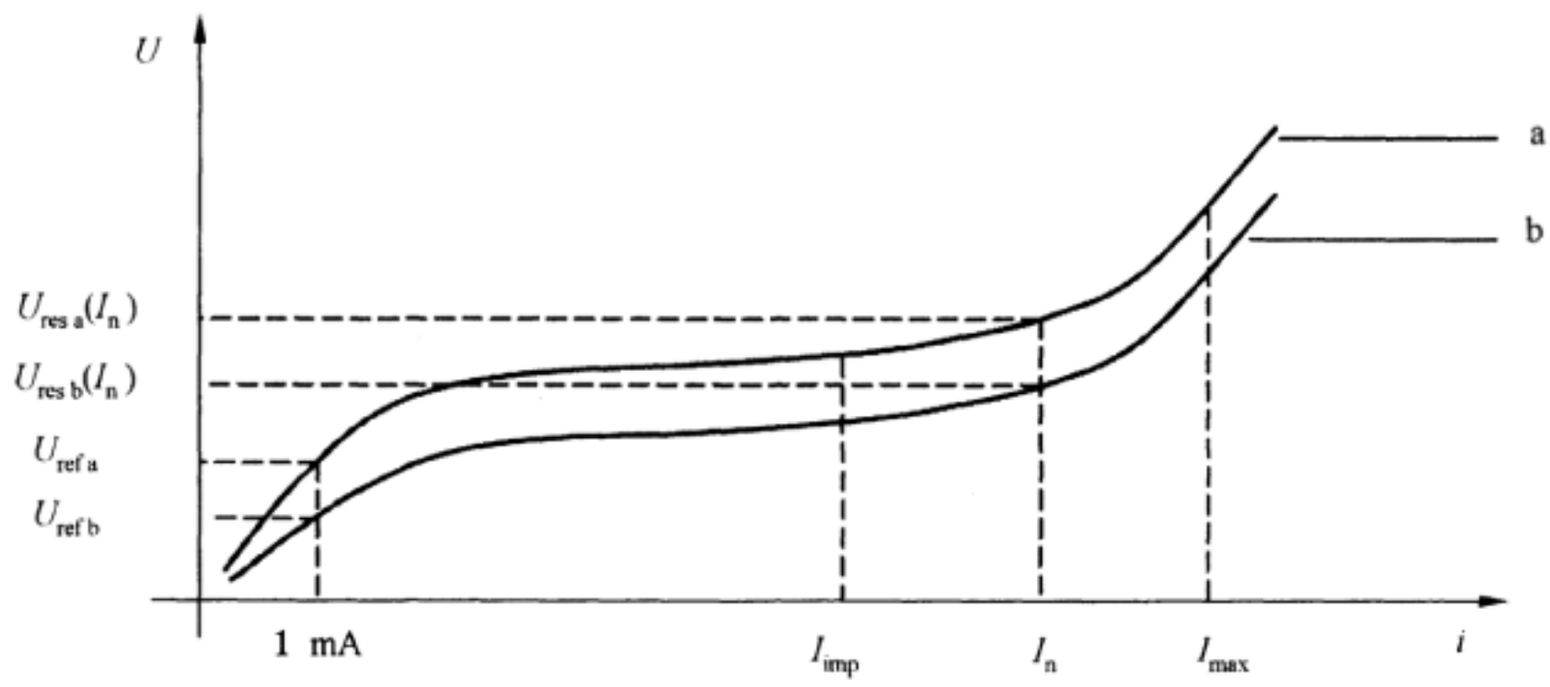


图 F.1 具有相同的标称放电电流的两个 ZnO 压敏电阻

如果 l 大于数米(典型的在 5 m～10 m),通常用短波进行配合。

在长波情况下,去耦合效应降低,因此,SPD2 应耐受总的侵入电涌,SPD2 能耐受与相同设计的 SPD1 相同的电应力。

如果 $U_{p1}<U_{p2}$,此时曲线 a 对应于 SPD2,曲线 b 对应于 SPD1,大部分电流将流过 SPD1。这时,通过第二个 SPD 的电流小于侵入电流。

在上述两种情况下,两个 SPD 具有相同的通流能力,能满足能量判据。

讨论第一种情况是为了解释原理,尽管很少能获得具有相同的能量耐受能力的两个 SPD。

——如果两个 ZnO 压敏电阻有不同的标称放电电流:

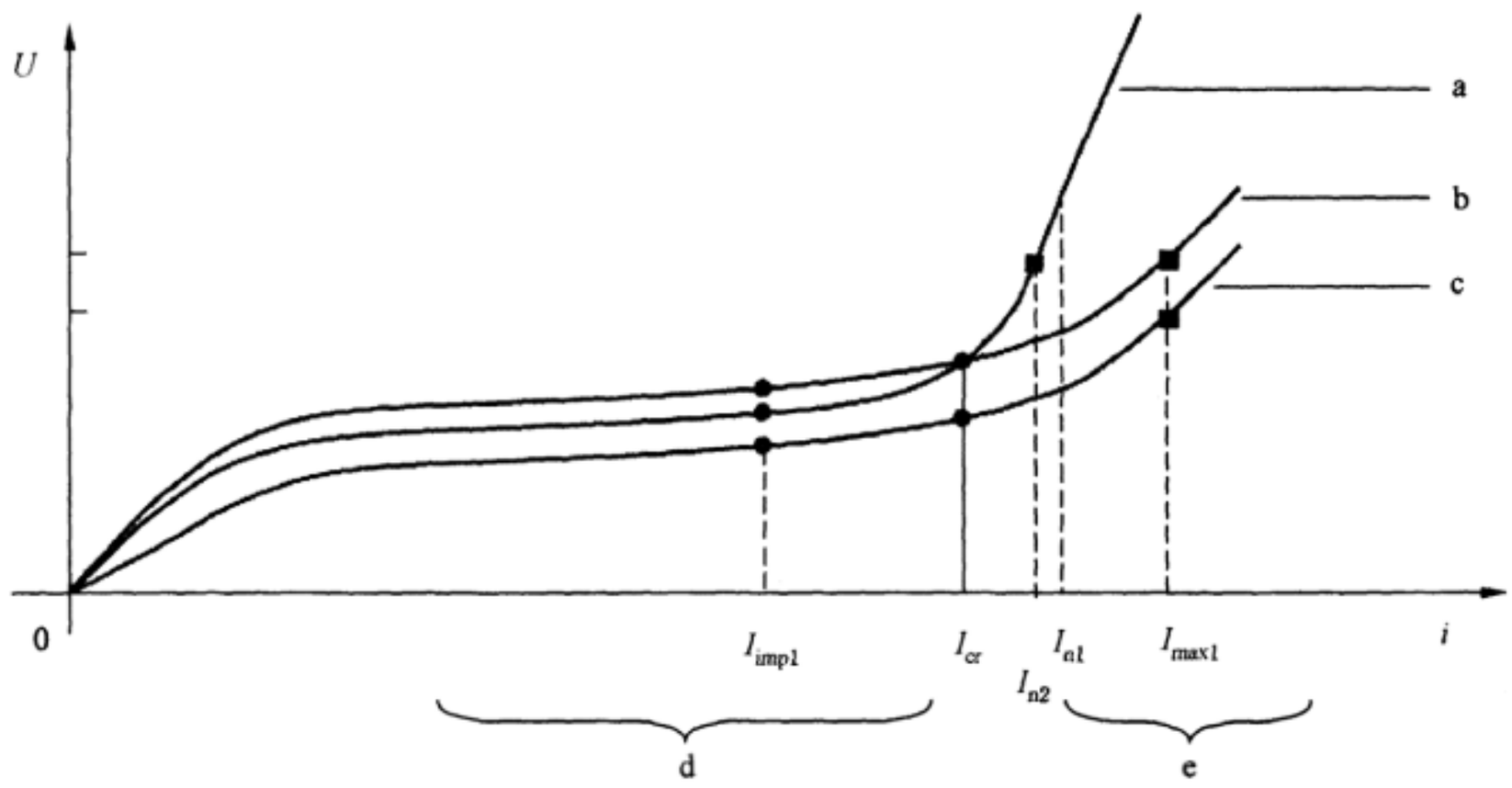
对应于此的实际应用情况是 $I_{n1}>I_{n2}$ 和 $E_{max1}>E_{max2}$。此外,SPD1 和 SPD2 还具有 $U_{res1}(I_{n1})>U_{res2}(I_{n2})$的特性。因此,$U_{res}(I)$曲线如图 F.2 所示,图中未表明阻抗,因为很难对它进行分析研究。此时,图 F.2 可以看作为短波配合,大部分电流将流过第一个 SPD。但确定长波配合较为困难。要用一个长波波形且幅值比两条曲线交叉点(见图 F.2)低的侵入电流值进行配合,很难完成。如 U_{res2}曲线所示,大部电流都通过 SPD2,因为在这个电流水平下,U_{res2}的曲线比 U_{res1}的低。为此有必要在两个 SPD 之间加入一个电感。

因此,有必要在 I 从 $0.1\times I_{n2}$～I_{max1}之间比较 $U_{res}(i)$-I 曲线,而不是比较由制造厂在技术文件中给出的 $U_{res1}(I_{n1})$和 $U_{res2}(I_{n2})$(分别与 U_{p1} 和 U_{p2} 对应),以检查它们是否彼此相交。交点(如果有)的电流值 I_{cr}应尽可能低。

此时,能量判椐实现的概率很高,较低的 I_{cr}成功的概率更大。如果有任何疑问,通过第二个 SPD 的能量计算是必要的,应考虑 SPD 之间的阻抗和长波。这种能量计算不易用分析方法来做。

如果因为信息不充分而无法得到这些曲线,或者由于需要简单而快速的结果,则有必要在同一水平比较曲线 U_{res1} 和 U_{res2}。此时,较易且较佳的配合条件是 $U_{res1}(I_{n1})<U_{res2}(I_{n2})$。当然,保守的曲线(如图 F.2 所示)适合这种情况,但是这种 ZnO 压敏电阻或许有不必要的裕度。此外,该 ZnO 压敏电阻在耐受来自于网络暂时过电压时可能会有问题。

即使第二个 SPD 电流较低,也不可能满足长波下的能量判椐,有必要计算通过第二个 SPD 的能量。而且,检查被保护设备是否仍能被保护也是必要的(因为 ZnO 压敏电阻的非线性,SPD2 中低电流也可能引起高电压)。



说明：

a——SPD2 对应曲线；

b——SPD1 对应曲线(与 SPD2 曲线相交)；

c——SPD1 对应保守曲线(与 SPD2 曲线不相交)；

d——长波电涌电流范围；

e——短波电涌电流范围。

图 F.2　具有不同标称放电电流的两个 ZnO 压敏电阻

F.2.2　结论

任何情况下，需要配合的两个 ZnO 压敏电阻，应按下列 5 个步骤进行：

a)　确认在没有任何 SPD 的情况下可能出现的过电压，应区分长波和短波；

b)　选择合适 SPD1 以耐受这种过电压，如果从步骤 a)得不到信息，用一个有足够裕度的 SPD(见第 7 章)，并从厂方得到 I_{max1} 和 I_{imp1} 的值，然后把这些值与步骤 a)中所给数据综合考虑；

c)　然后根据保护特性的期望选择 SPD2；

d)　比较曲线 $U_{res}(I)$ 中 I 的值，从 $0.1\times I_{n2}\sim I_{max1}$ 的部分，决定交叉点 I_{cr}，如果 I_{cr} 足够小，(典型值为 $0.1\times I_{n2}$)，就不必计算第二个 SPD 中的能量。无论 SPD 之间的距离如何，能量配合都可满足。如有任何疑问，考虑 SPD 之间的阻抗，计算通过第二个 SPD 中的能量并检验能量配合判据，如果得不到这样的曲线，则用下列简化方法选择 SPD2；

若 SPD2 有相同的标称放电电流：$U_{res1}(I_n)<U_{res2}(I_n)$；

若 SPD2 有较小的标称放电电流：$U_{res1}(I_{n2})<U_{res2}(I_{n2})$；

最好再计算 SPD2 中的能量，以验证能量判据且检查设备仍能得到保护。

e)　重复各步骤直到步骤 c)，给出一个满意的结果。

注 1：小电流下的电压值(通常称参考电压)不适合配合。

注 2：在任何情况下(有或无 ZnO 压敏电阻)，考虑 EMC(电磁兼容)要求流过 SPD2 的电流应尽可能小。

注 3：$U_{res}(I)$ 是最大值曲线，有必要考虑由于制造公差带来的曲线变化范围。

注 4：前面的研究可以被推广到两个以上的 SPD。

F.3　分析研究：带空气间隙的 SPD 和带 ZnO 压敏电阻的 SPD 间的配合

F.3.1　概述

另一个常用情况是用间隙代替 SPD1，SPD2 为 ZnO 压敏电阻，见图 F.3。当在 SPD2 过载之前，就

发生火花放电，这样的情况下就完成配合了。

在火花放电前，有

$$U_1 = U_{res2}(i) + L \times di/dt$$

通常，当 $U_{res2}(i)$ 的值未知，下列公式给出一个保守的结论：

$$U_1 = U_{ref2}(i) + L \times di/dt$$

U_{ref2} 是 ZnO 压敏电阻 2 的参考电压，参考电压是电阻片的特性参数，它非常接近 $U-I$ 特性曲线的拐点电压。

只要 U_1 超过间隙动态放电电压（U_{dyn}）时，配合便完成了，并且只有很小一部分电流流经第二个 SPD。这取决于 ZnO 压敏电阻（SPD2）的特性、间隙（SPD1）的动态放电电压、侵入电涌的上升率和幅值、i 及 SPD 之间的距离 d（电感 L、阻抗 Z 的阻性分量 R 可忽略）。

F.3.2 间隙和 ZnO 压敏电阻间的去耦电感估算值计算示例

如一个现代蜂窝式通讯基站，由于内部物理空间的限制，其后方 SPD 的 MOV 可将瞬态电压降到远低于前方 SPD 的间隙的触发电压，这将阻止间隙动作，并允许所有故障能量到达 SPD 的 MOV。在较大的空间里，SPD 之间的电缆距离要长一些，这样可提供足够大的电感而使间隙放电。

总是存在这样的可能性：侵入的瞬态电涌可通过并联回路进行疏散，使得电压降低到不足以使间隙放电的程度。这时，下游的 SPD 应具有足够的额定通流能力，独自吸收所有能量。

当有很高的能量时，间隙不动作将使过高的能量到达下游的的 SPD，并将使之破坏。级间配合可通过两者之间足够的串联去耦电感来保证在超过下游 SPD 所承受能量范围之上的所有过电压能量下间隙能够动作来实现。

要求确保配合的电感值可经过简单计算得到。首先，要知道间隙的参数，火花间隙典型的放电电压低于 4 kV，时间在 200 ns 以内。

其次，下游的 SPD 参数应知道，一个交流 275 V 的典型部件，大约 430 V 开始限制电压，在 8/20 的Ⅱ类试验时，I_n 为 5 kA。

然而应该知道，间隙是按Ⅰ类试验，采用 10/350 波或等效长尾波。下游 SPD 的峰值电流必须降格至能承受这类脉冲带来的额外能量。降格因数假设为 4∶1，因此，峰值电流额定值将从 5 kA 降至 1.25 kA，10 μs 上升时间将产生 125 A/μs 的 di/dt。

确保间隙的可靠动作的电感值可以用如下公式计算：

$$U = L \times di/dt + I \times R$$

式中：

U ——火花间隙放电电压；

di/dt ——脉冲的上升率；

$I \times R$ ——下游 SPD 的电压降（注意 R 是非线性值）。

由上式可得出

$$L = \frac{U - I \times R}{di/dt}$$

假定间隙在 200 ns 内放电，通过后方的 SPD 的电流为：

$$I = 0.2/10 \times 1\ 250\ \text{A} = 25\ \text{A}$$

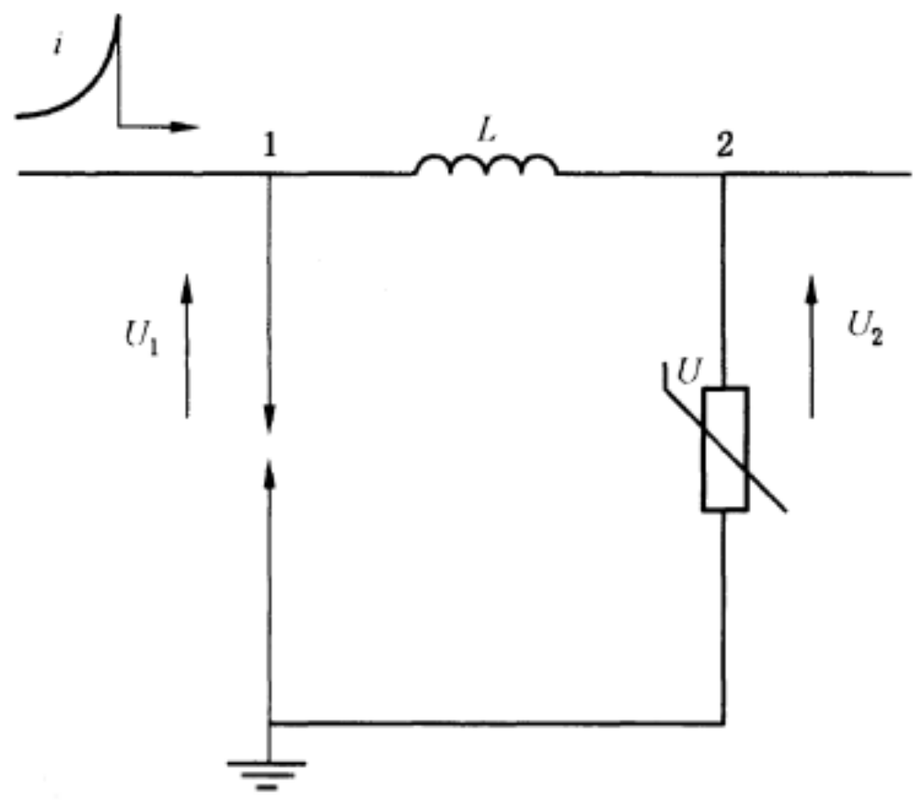
电压 $I \times R$ 在 600 V 时：

$$L = \frac{4\ 000 - 600}{125 \times 10^{-6}}$$

或

$$L = 27.2\ \mu\text{H}$$

电感可以是一个单一的集中电感，或是 27.2 m 长的电力电缆并假定其电感为 1 μH/m，或者是一段电缆和小电感的组合。



说明：

L——电感。

图 F.3　带间隙的 SPD 和带 ZnO 压敏电阻的 SPD 的配合示例

通过这个示例，可以获得设计这种配合的一般条件。

F.3.3　结论

若选择带间隙的 SPD1，则 SPD2 必须满足以下要求。

——与Ⅰ类试验波形有关的侵入电涌：

$$U_{dyn} < U_{ref2} + L \times I_{peak2}/10$$

——与Ⅱ类试验波有关的侵入电涌：

$$U_{dyn} < U_{ref2} + L \times I_{peak2}/8$$

这些规则给出一个的结果偏于保守。当必须采用一个较小值的 L 时，需用计算机模拟来检查配合是否实现。

注：其他情况可给出更严格的结果。尤其是用正待考虑的长波，IEC/TC 81 目前正在研究更长的波前时间：100 μs。

F.4　分析研究：两个 SPD 的常规配合

通过对两个 ZnO 压敏电阻或间隙-ZnO 压敏电阻的研究，证明了配合问题的复杂性。考虑到 $u-i$ 曲线不易获知，而实际中存在较大偏差，分析研究仅采用简单的示例。当通过第二个 SPD 的能量必须考虑时，进行模拟是更容易的。上述分析方法的主要目的在于让用户更好地理解这一现象。

无论 SPD 技术如何，上述所给出的一般性规则尤其是 6.2.6 中所述能量判据仍可利用。

为达到一个可接受的配合，通常要求制造厂或用户进行模拟或试验，或使用下述简化的方法。

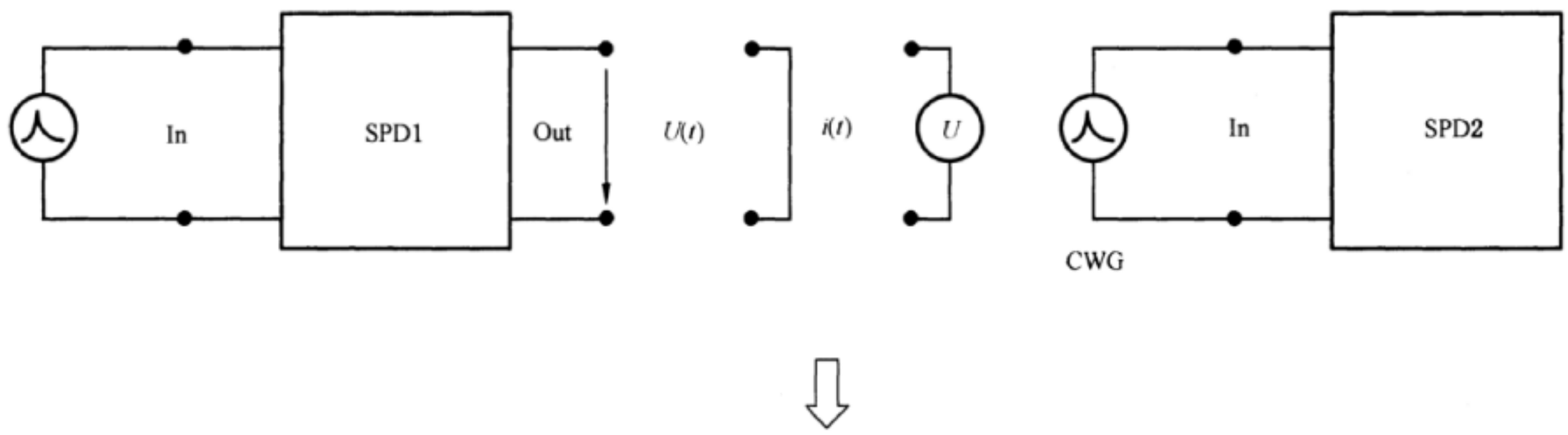
有可能在设备中安装了一个特性未知的 SPD。因为设备在其寿命内可变化，应该注意在缺少配合时该 SPD 不会过载。

F.5　能量通过方法

F.5.1　概述

如 GB/T 21714.4—2008 所述，标准冲击参数的配合是选择和配合 SPD 的过程，这种方法的主要优

点是可把 SPD 看成是一个黑箱(见图 F.4)。这里,对于在输入端口给定的电涌,不但开路电压,而且输出电流(例如进入短路)均可确定("允许能量通过"原则)。输出特性转化成等值"2 Ω-复合波"电应力(开路电压 1.2/50,短路电流 8/20),这种方法的优点是对 SPD 的内部设计不必具备专门的知识。



说明:

U ——负载电压。

图 F.4 LTE—标准脉冲参数的配合方法

配合方法的目的是将 SPD2 的输入值(如放电电流 和 SPD1 的输出值(如保护电压水平)进行比较。

对于分级保护,必须考虑能够通过下级 SPD 放电(而没有损坏)的等效输入综合冲击应等于或高于前级 SPD 的等效输出综合冲击。

为了可靠的配合,等效综合冲击应由最坏情况决定(I_{max}、U_{max}、允许通过能量)。

设计去耦合元件的最严情况是短路回路,但对于配合的目的而言,是太严酷了。比较实际的作法是在其中引入一个"负载侧电压"(以下称为"反电压")。

火花间隙下游的 SPD 通常包含 ZnO 压敏电阻,这样一个 SPD 的残压在任何情况下都比一个系统标称电压的峰值要高(例如,在一个交流系统中标称电压为 240 V,其峰值电压为 $\sqrt{2}\times240=340$ V,低于安装的 SPD 的参考电压)。这个系统标称电压的峰值相应于 SPD 的最小残压,因此系统标称电压峰值可看成最小的反电压。用短路代替一个假设的反电压,会导致选出的去耦合元件尺寸过大。

注 1:在 SPD1 的特性与 SPD2 的特性差别很大时,这种方法可提供较理想的结果。当 SPD1 的特性与 SPD2 的特性差别很大时,以致于在 SPD2 上的电涌状态是类似侵入电流状态。例如在一个火花间隙和 MOV 配合时,即满足上述状态。

注 2:使用该方法的限制条件如下:

——为了确保得到一个保守的结果,在这个方法中去耦合元件应作为第二个 SPD 的一部分;

——为了确保得到一个保守的结果,当次级 SPD 包括一个开关元件时,反电压取为 0;

——由于该方法无法真实确切地模拟开关元件,当第二个 SPD 包括一个开关元件时,有可能结果偏低;在这种情况下,应谨慎使用这种方法;

——侵入到装置入口的电涌的波形,必须把电流波和电压波看成是同样波形(10/350 或 8/20),电涌电流的幅值通常是可知的,而电涌电压幅值的大小取决于系统的波阻抗;

——研究必须考虑 SPD 特性曲线的公差。

F.5.2 方法

下面讨论的方法可给出两个 SPD 之间去耦合元件(阻抗)的保守值。这意味着,如果这样的阻抗装在两个 SPD 之间,配合将比计算预期的要好。

方法：基础的方法是把每个 SPD 的输出表示为一个等值的复合波发生器，由空载电压 U_{oc} 1.2/50 和一个短路电流 I_{sc} 8/20 决定，发生器的阻抗为 2 Ω($U_{oc}=2\times I_{sc}$)。

根据Ⅲ类试验的 SPD 试验，已由这样一个 CWG(复合波发生器)测试。对于Ⅱ类试验的 SPD 的试验，有必要认为 $I_{sc}=I_{max}$。

就直击雷而言，上一级的 SPD 可根据Ⅰ类试验测试，或根据Ⅱ类试验测试。

每个 SPD 的输出电压，通常会有一个波形，该波形与 1.2/50 及 8/20 的波形没有直接关系。有必要规范实际波形以便转变为 1.2/50 和 8/20 波形。

可通过下列值的计算来进行：

u 的峰值 $=\hat{u}$，$\int u\,dt$ 和 $\int u^2\,dt$；

i 的峰值 $=\hat{i}$，$\int i\,dt$ 和 $\int i^2\,dt$。

注：公式和表格中的单位应该一致。

这些值用于表 F.1。

表 F.1

电压	$\hat{u}$	$\int u\,dt$	$\sqrt{\int u^2\,dt}$
电 流	$\hat{i}$	$\int i\,dt$	$\sqrt{\int i^2\,dt}$

同样的表格，对幅值为 1 V(表 F.2)的 CWG 是：

表 F.2

电压	1	70×10^{-6}	6×10^{-3}
电流	0.5	12×10^{-6}	2×10^{-3}

因此，用表 F.1 中每个单元除以表 F.2 中相应的值，得到表 F.3。

表 F.3

电压	$\hat{u}$	$\int u\,dt/(70\times10^{-6})$	$\sqrt{\int u^2\,dt(6\times10^{-3})}$
电流	$\hat{i}\times2$	$\int i\,dt/(12\times10^{-6})$	$\sqrt{\int i^2\,dt(2\times10^{-3})}$

表 F.3 中给出了 $U_{oc(CWG)}$ 的 最大值，与 CWG 的 U_{oc} 等效的值相当于 SPD 的输出。

一旦下级的 SPD 用一个开路电压为 $U_{oc\ test}$ 的 CWG 按照Ⅲ类试验进行了试验，(或在Ⅱ类试验时用一个等效的 CWG)，就可以立刻说配合是否满意。只要核实 $U_{oc\ test}>U_{oc\ CWG}$ 就足够了。

当输入参数给定时，SPD 的输出值可用模拟软件来计算。不必每次进行计算，由于这些值可由制造厂来计算。对每一个产品，对一个给定的电应力，制造厂可算出等效 CWG 脉冲的输出(I_{imp} 对Ⅰ类试验或 I_{max} 对Ⅱ类试验或 $U_{oc\ max}$ 对Ⅲ类试验)，同时应注意 SPD 特性曲线的公差和任何盲点(有时，SPD 输出端的最重要的应力不是由 I_{imp}、I_{max} 和 $U_{oc\ max}$ 的最大值决定，而是由较低的值决定)。

附 录 G
（资料性附录）
应用示例

注：本附录为 SPD 在家庭、工业设施以及无线塔上的应用提供了假设的系统。本附录仅在有限的情况下，为演示本部分包含的应用准则，试图提供有关 SPD 选择的资料，而不是给出所有设备或系统中的唯一配置。

G.1 家庭的应用

MV 电网：架空线 10 km。

LV 电网（230/400 V）：架空线 1 000 m，地下电缆 200 m。

N_g：2 次/km^2/年（见 4.1.1）。

被保护建筑物位置：平原。

电气装置的构成：由一个 S 型 RCD 在入口处保护（耐受 3 kA 8/20，见 6.2.4.3），装置入口处短路电流为 3 kA，在房子入口处（地面）有一个主配电盘和在第一层有辅助配电盘。

被保护建筑物接地电阻：50 Ω。

LV 网的接地系统：TT 系统；配出一相和中线。

被保护电器的特性：电气洗衣机、电脑、入口处的警报器、录像机和电视机等。

根据风险分析（见第 7 章），使用 SPD 可能有好处（N_g 的较高值，变压器 MV 和 LV 侧的架空线电子电器等）。

由于是架空线，中等强度的雷电流预期为⇨入口处每根导线标称放电电流（I_n）≥5 kA 8/20。

入口处，警报器需要保护（敏感元件）⇨ U_p≤1.5 kV。这可由一台一端口 SPD 完成，它由 Ⅱ 类试验来测试，U_p=1.5 kV。

入口处，短路电流 3 kA（r.m.s）⇨SPD 的短路耐受电流≥3 kA r.m.s（见 5.5.4）。对此，制造厂建议使用一个熔断器或者一个有短路断开特性的 RCD 断路器（后备保护）。如果入口处用的是一个 S 型 RCD，当侵入的电涌超过 3 kA 8/20 时，就不能保证入口处保护的连续性。

由于有 RCD 存在，不需要附加的间接接触保护。在 SPD 内有一个热脱离器。

由于是一个 TT 系统，为避免相与中线之间产生太高的过电压，建议一个 SPD 有三种保护模式（相对中线、中线对地及相对地，见 6.1.1）。

其他需要保护的电器仅需要在相与中线之间保护，因为它们不接地。除非出于安全目的把洗衣机接地，在这种情况下，相与地和中线与地之间的保护可能是必需的。

注：若电视天线接地，则需额外增加保护。

在入口处 SPD 和其他电器之间的距离，尤其在第一层，是很长的（分别为 10 m 和 20 m），紧靠被保护电器的其他 SPD 是必须的（6.1.2）。一个应该靠近洗衣机安装，一个靠近录像机机和电视机。另一个接在第一层的配电盘上，也可直接与电脑插头相连（计算机与配电盘之间的距离很小）。

其他的 SPD 可认为电涌电流较低，I_n = 2 kA，Ⅱ 类试验已经足够。在制造厂的资料中建议 U_p=0.8 kV。

20 m 的距离足够使装在入口处的 SPD 与第一层的 SPD 之间产生解耦，但 10 m 的距离对入口处 SPD 和其他地面上的 SPD 由于低的 U_p 值=0.8 kV，不足以充分解耦。对其他地面上的 SPD 最好选择另一个 U_p 的 SPD，例如 U_p=1.5 kV。

对这些 SPD，安装处短路电流较低，制造厂已安装了必要的脱离器（热敏式和短路式）。见图 G.1。

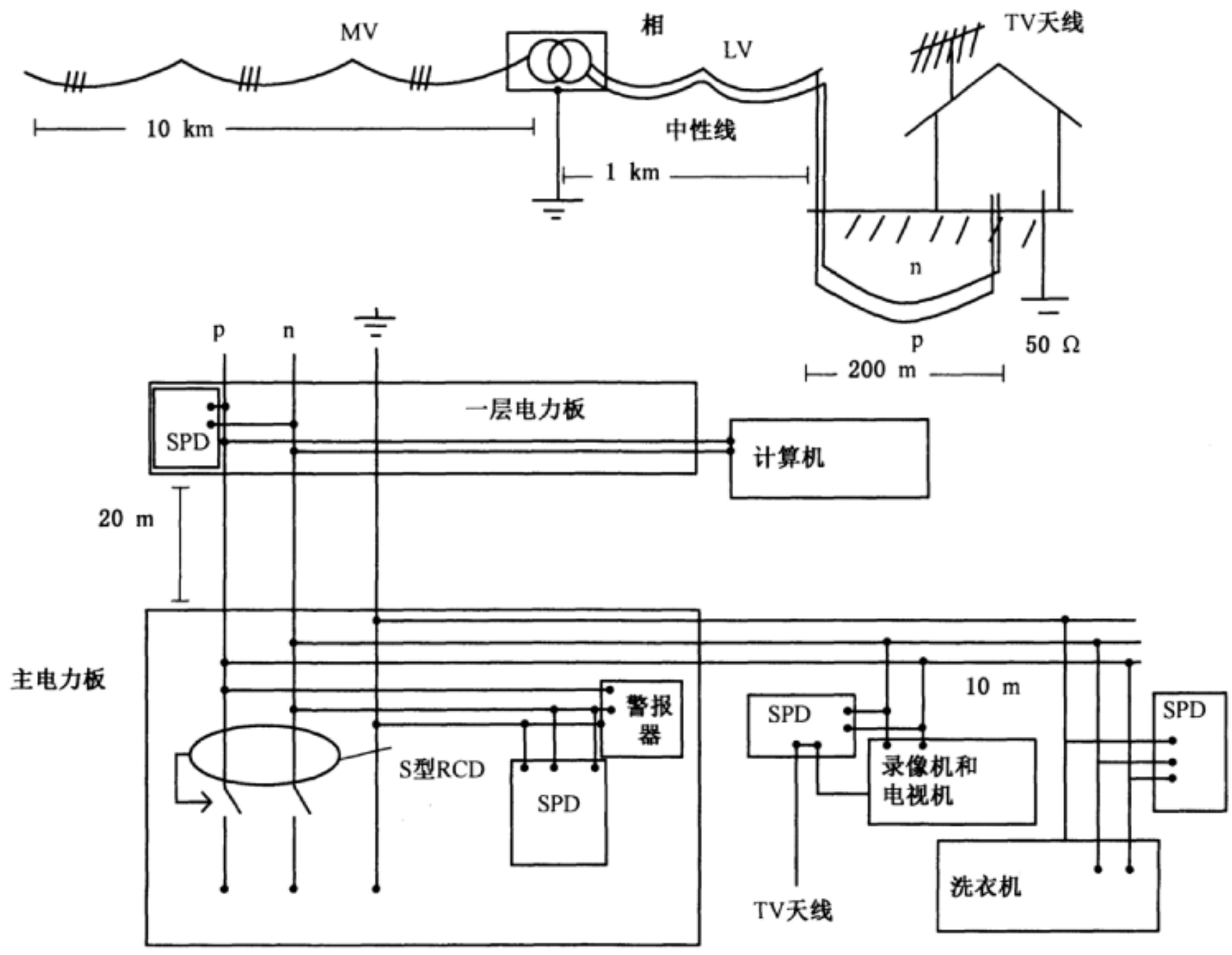


图 G.1 家庭的安装

G.2 工业应用

MV 网:架空线路 10 km。

LV(230/400 V)电网:2 根 100 m 长的地下电缆。

N_g:0.5 次/(km^2 · a)(见 4.1.1)。

被保护建筑物的位置:平原。

电气装置的构成:MV/LV 变压器在主建筑 MB 内部。

LV :TN-C 配电系统为主体建筑 MB 中的主配电盘 MDB 提供三相电。以 TN-C 系统和 TN-C-S 系统分别为独立建筑物 B1 和建筑物 B2 提供三相电。B1 和 B2 与主体建筑 MB 都相距约 100 m。

被保护的设备:

主建筑 MB——电源(MV/LV 变压器)向工业制造设备供电,包括空调、工厂照明、工业电动机控制器、变速驱动以及数控(CNC)机床。

建筑物 B1——一般的办公设备,包括影印机、传真机、局域网、离 DB1 很近的电话交换机(PABX)。

建筑物 B2——过程控制设备,包括用于工厂管理的可编程逻辑控制器(PLC)、管理控制和数据采集系统(SCADA)、称重设备、监视器、一般距 DB2 50 m。

建筑物的接地:主体建筑 MB 的接地电阻测量是 11 Ω,建筑物 B1 和 B2 的接地电阻分别是 49 Ω 和 51 Ω,当通过 TN-C 系统的 PE 导体连接时,整个接地系统的接地电阻大约是 7 Ω。MB、B1 和 B2 建筑物中分别设有 EB,EB1 和 EB2 等电位连接排。

风险分析(见第 7 章):虽然设备未暴露在直击雷影响的区域内,但是 MV/LV 变压器的 MV 侧需要用 MV 避雷器进行防护(因为 MV/LV 变压器必须使用 MV 架空线路)。因为变压器的地电位上升,电涌电流也可以流过当地接地系统,所以需要在建筑物 B1 和 B2 的入口处和变压器的 LV 侧安装

LV SPD。

保护原则:在风险分析中对这种需要连续工作的工业设备分类为典型的具有“重要性”的对象。这样用一套分布式电涌保护,既为主配电盘 MDB 提供了入口点保护,也为建筑物 B1 和 B2 中的独立配电盘 DB1 和 DB2 提供保护。

主建筑:主配电盘内的 SPD 连接到各相和主等电位排 EB 之间。这些 LV SPD 应该用Ⅱ类试验进行测试。例如,一个标称放电电流 I_n 为 10 kA(与 MV 避雷器 I_n 相同),其电压保护水平 $U_{p1}\leqslant 1.2$ kV 的 SPD,可安装在该位置以确保与后级 SPD 协调。

SPD 的短路耐受能力(以及开关型 SPD 的额定断开续流)需和 MDB 处的预期短路电流配合。这通过安装脱离器来实现,脱离器是由制造厂商指定的外部串联连接过流装置(如熔断器、断路器等),或者是 SPD 内部的脱离器。

在建筑物内部有许多不同类型的具有不同电压耐受能力的设备,包括敏感性设备(根据 GB/T 16935.1—2008电压耐受能力 $U_W=1.5$ kV)。这种设备离安装在设备入口处的 SPD 相距 30 m。这可能会导致电压振荡(见 6.1.4)。

在这样情况下,设备的最大电压可能达到 $2\times U_{p1}$,其中 U_{p1} 是入口处 SPD 的保护水平。在这样的一个例子里,描述了一种最严酷的情况,按照 6.1.4,U_{p1} 应小于 1.5 kV×0.8/2(即 600 V)。由于可能存在的 TOV,如此低的保护水平会增加 SPD 失效的概率。于是设计者宁愿选择有更高 U_p 的 SPD(对 TOV 不够敏感的),例如 $U_{p1}=2.5$ kV 的 SPD。这种情况下,在设备的前端可能需要一个附加的 $U_{p2}\leqslant$ 1 200 V($0.8\times U_W$)的 SPD。由于已经很接近这种敏感性设备性能,不需要再除以 2。

若使用的是较低电压保护水平 U_{p1}($U_{p1}\leqslant 600$ V)的 SPD,不需要再使用第二级的 SPD。这个过程强调的是设备的电压耐受 U_W(绝缘配合)。

可能需要较低电压保护水平 U_p(如果使用的是两级 SPD,则为 U_{p2};如果使用的是单级 SPD,则为 U_{p1})用以避免设备故障(见 6.1.4,考虑了冲击抗扰度)。

连接在 SPD1 和 EB 之间的线路长度不满足 6.1.3 的规定。由于这个原因,需要在 SPD1 和 PEN 之间附加一个导体。而 SPD2 和 PEN 之间的线路能满足 6.1.3 的规定,因而不需要附加导体。

数据和控制回路的保护应符合 GB/T 18802.22—2008。

建筑物 1:建筑物 B1 和主体建筑 MB 之间的给定距离是 100 m,在各相和等电位排之间安装Ⅱ类试验的 SPD(SPD3)。假定安装的 SPD 的标称放电电流 I_n 为 5 kA,电压保护水平 $U_p\leqslant 1$ kV(根据安装在 B1 内的敏感性设备,$U_p\leqslant 1$ kV 是必要的。因为建筑物很小,而设备离 DB1 很近,不需要考虑 2 倍电压效应,见 6.1.4)。这部分强调的是设备的电压耐受 U_W(绝缘配合)。可能需要较低的电压保护水平 U_p 以避免设备的故障。

连接到 SPD3 和 EB1 之间的线路长度满足 6.1.3 的规定,因而不需要附加导体。

数据和控制回路的保护应符合 GB/T 18802.22—2008。

建筑物 2:B1、B2 和主体建筑 MB 之间都相距 100 m,因而在各相和 PE 导体/排、PEN 导体/排之间都需安装 SPD(SPD4)。这些 LV SPD 应通过Ⅱ类试验测试。假定 SPD 的标称放电电流 I_n 为 5 kA,电压保护水平 $U_p\leqslant 1.2$ kV。

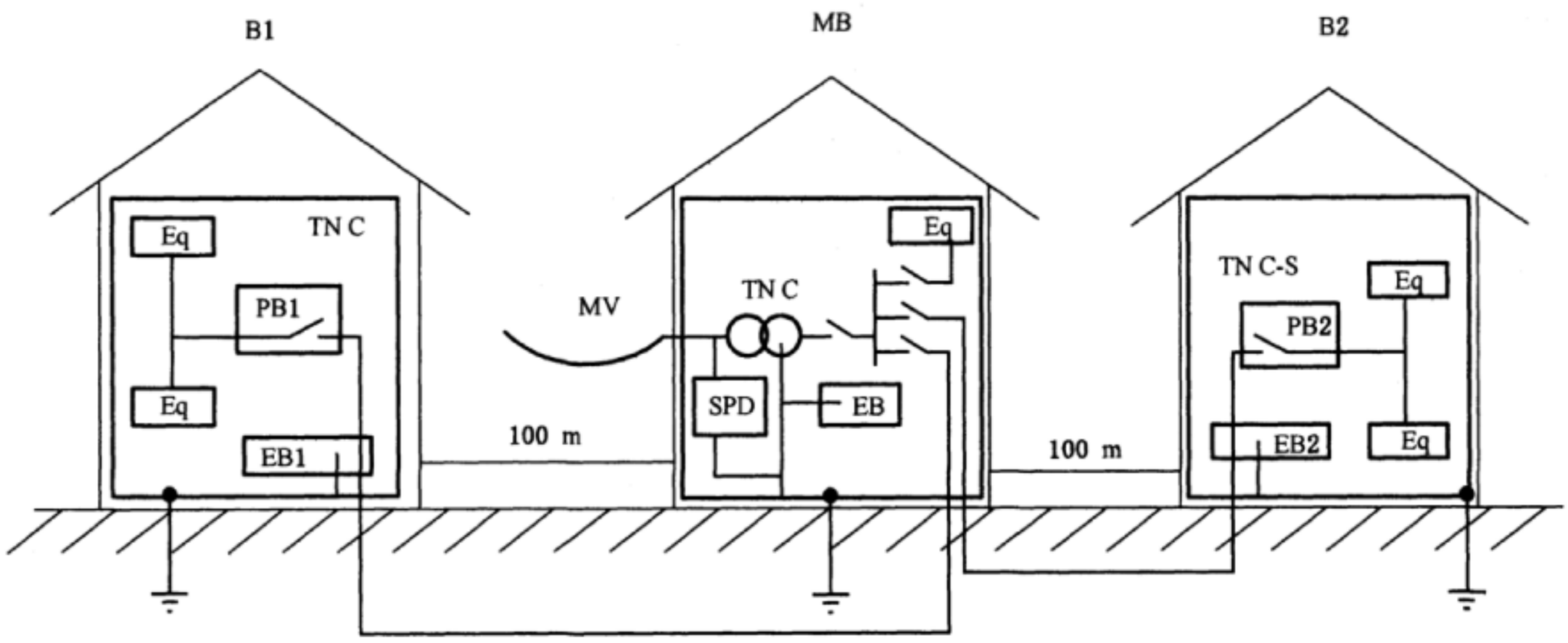
在建筑物内部有许多不同类型的具有不同电压耐受能力的设备,包括敏感性设备(根据 GB/T 16935.1—2008 电压耐受能力 $U_W=1.5$ kV)。这种设备离安装在设备入口处的 SPD 相距 50 m。这会导致振荡(见 6.1.4)。在这种最严酷的情况下,设备的最大电压水平可能是 $2\times U_{p1}$,其中 U_{p1} 是入口处 SPD 的保护水平。按照 6.1.4,U_{p1} 应该小于 1.5 kV×0.8/2(即 600 V)。应像建筑物 1 一样考虑暂时过电压。入口处 SPD(SPD4)的电压 U_{p1} 可能高达 1.2 kV。这种情况下,需要在设备 Eq 前端安装一个 U_{p2} 小于或等于 1 200 V($0.8\times U_W$)的 SPD(SPD5)。若使用的 SPD 的 $U_{p1}\leqslant 600$ V,则不需要使用第二级的 SPD。这部分强调的是设备的电压耐受 U_W(绝缘配合)。可能需要较低电压保护水平 U_p(如果使用的是两级 SPD,则为 U_{p2};如果使用的是单级 SPD,则为 U_{p1})用以避免设备故障(见 6.1.4 的注)。

若需在可移动设备附近安装一个附加的 SPD(SPD5),则这个 SPD 应能在各相与中线之间以及中线与 PE 级之间提供保护。这要求是考虑设备距离在 DB2 中与 NPE 等电位联结点达到 50 m 而引起中线的电位上升的风险,见图 K.5。

SPD4 和 EB2 之间线路长度以及连接 SPD5 中线到 PE 级之间的线路长度满足 6.1.3 的规定,因而不需要另外的导体。

数据和控制回路的保护应符合 GB/T 18802.22—2008。

见图 G.2 和图 G.3。



说明:

B1、B2——建筑物 1、2;

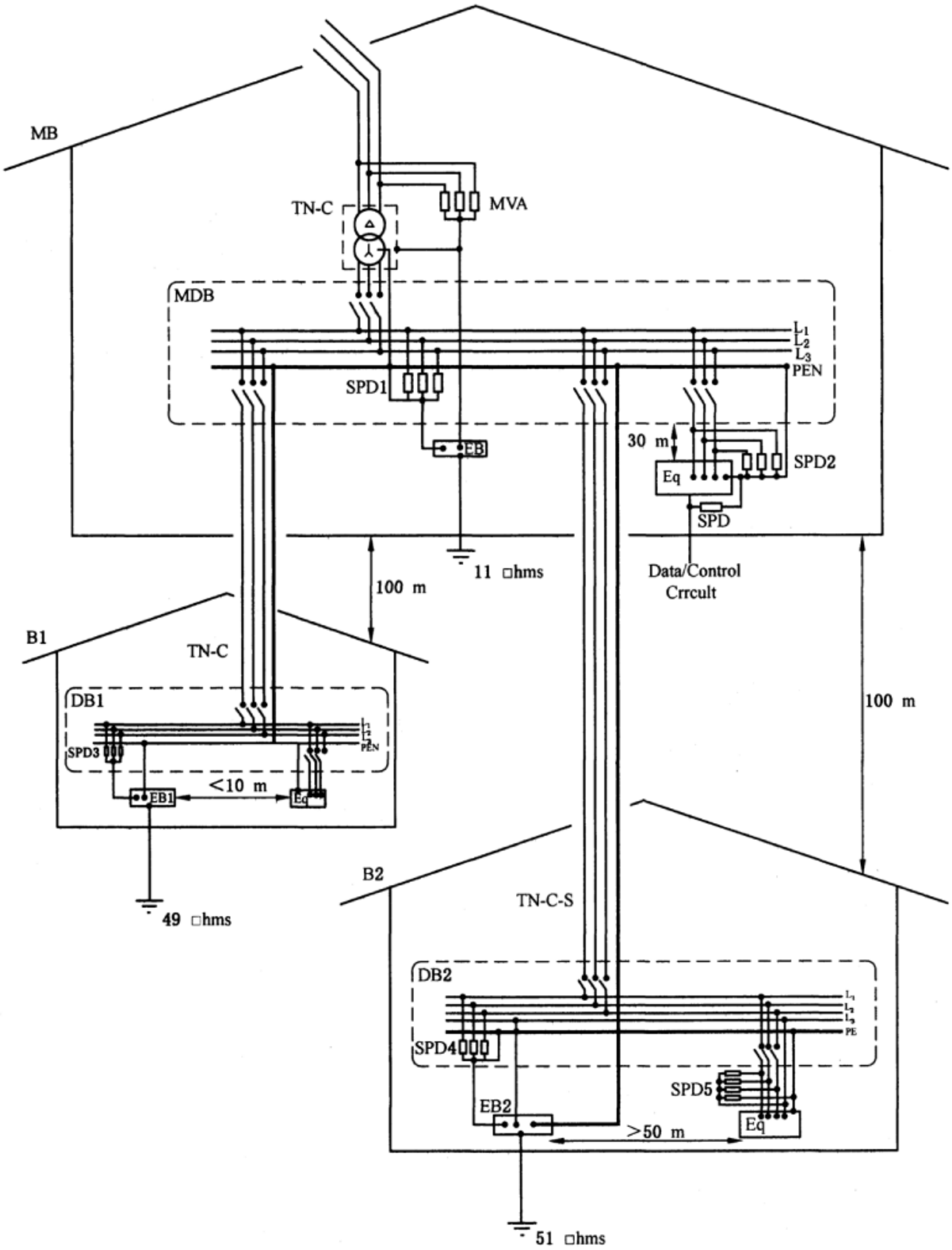
MB ——主体建筑;

EB ——等电位连接;

DB ——配电盘;

Eq ——负载设备。

图 G.2 工业装置



说明：

B1、B2——建筑物 1、2；

MB ——主建筑；

EB ——等电位连接；

MDB ——主配电盘；

Eq ——负载设备；

DB ——配电盘；

MVA ——中压避雷器。

图 G.3 工业装置电路

G.3 具有雷电保护系统的情况

无线塔装有一个雷电保护系统。

MV 网:架空线 10 km。

LV 网:架空线 500 m。

N_g:6 次/(km^2 · a)。

被保护建筑物的位置:山顶。

电气装置的构成。

中线在山脚下接地。

设备接地局部保护接地处接地。

被保护建筑物的接地电阻:10 Ω。

MV/LV 变压器接地电阻:10 Ω。

LV 网接地系统:TT 系统;一相和中线配置。

被保护设施的特性:电子设备。

根据装置的重要性(风险分析见第 7 章),安装符合Ⅰ类试验的 SPD 是必要的。SPD 被安装在相线对地,中线对地和相线对中线之间。如果没有计算电流分布,这些 SPD 都需依据Ⅰ类试验进行测试,并且 SPD 的通流容量为 25 kA,因为塔顶会有直击雷的危险(见附录 D),架空线的另一侧需要安装具有相同通流容量的 SPD,以保护变压器。例如,靠近敏感性设备 SPD 的预期电压保护水平应小于或等于 1.5 kV(可能需要能包括冲击抗扰度的较低值)。靠近变压器端的 SPD 的电压保护水平可以提高到6 kV(典型的变压器绝缘耐受基于绝缘配合)。

也可以在变压器 MV 侧安装避雷器,这已在 IEC 60099-5 中强调过。

见图 G.4。

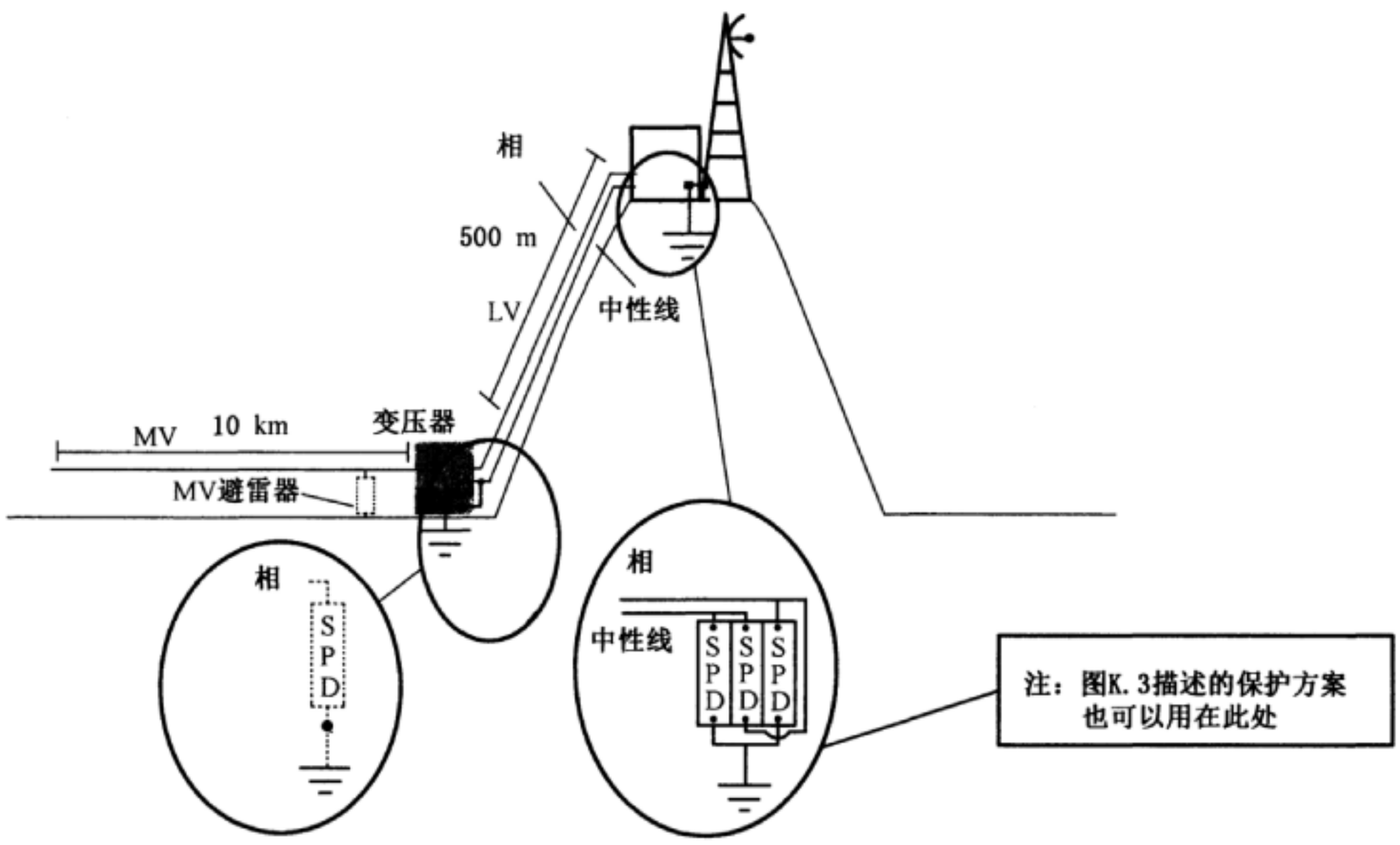


图 G.4 一个雷电保护系统示例

附 录 H
（资料性附录）
风险分析的应用示例

GB/T 16895.10—2010 描述的简化风险分析方法如下，基本有两种情况：

——在年均雷暴日大于 25 d 的区域，且设施包含架空线路或由架空线路供电，应在入口处安装 SPD。

——如果上述的条件有一条不满足（例如年均雷暴日小于 25 d 或地下电缆）时，按下列几种情况考虑雷击损害后果：

- A：与人身安全相关的（雷击直接影响生命，如安全设施、医院的医疗设备）；
- B：与公共设施相关的（失去对大量人群的服务或国家文物损失，如 IT 中心、博物馆）；
- C：与商业或工业活动相关的（生产损失、经济损失等，如旅馆、银行、工厂、商业市场、农场）；
- D：与人群相关的（对雷击人身安全没有直接影响，如大的住宅、教堂、办公楼、学校）；
- E：与个人相关的（对雷击人身安全没有直接影响，如住宅、小办公室）。

A～C 的情况应在设施入口处安装 SPD。

D～E 的情况应根据计算结果安装 SPD。按下面的计算公式来确定惯用长度 d。

如果 $d > d_c$，推荐采用保护。

d：所考虑的建筑物的电源线的惯用长度，单位为 km，最大值为 1 km。这段距离与第一个节点相关，节点处至少有两个分叉线，在这里电应力减小了。在连接盒处安装的 SPD 也认为是一个节点。

d_c：临界长度；

D 中的 $d_c = 1/N_g$，以 km 为单位；

E 中的 $d_c = 2/N_g$，以 km 为单位。

这里 N_g 是地面落雷密度。

注：每年 25 个雷暴日相当于每年每平方公里 2.24 的雷闪次数，可由下面的公式推导出来：

$$N_g = 0.04 T_d^{1.25}$$

式中：

T_d——每年的雷暴日。

$$d = d_1 + d_2/4 + d_3/4$$

一般 d 小于 1 km。

式中：

d_1——连接到建筑物的 LV 架空线长度，小于 1 km；

d_2——建筑物未屏蔽的 LV 地下电缆长度，小于 1 km。考虑到地下电缆的阻尼效应，需除以 4。在架空线—地下线缆的连接处通常安装 SPD，这样减小电应力的倍数可能大于 4 倍；

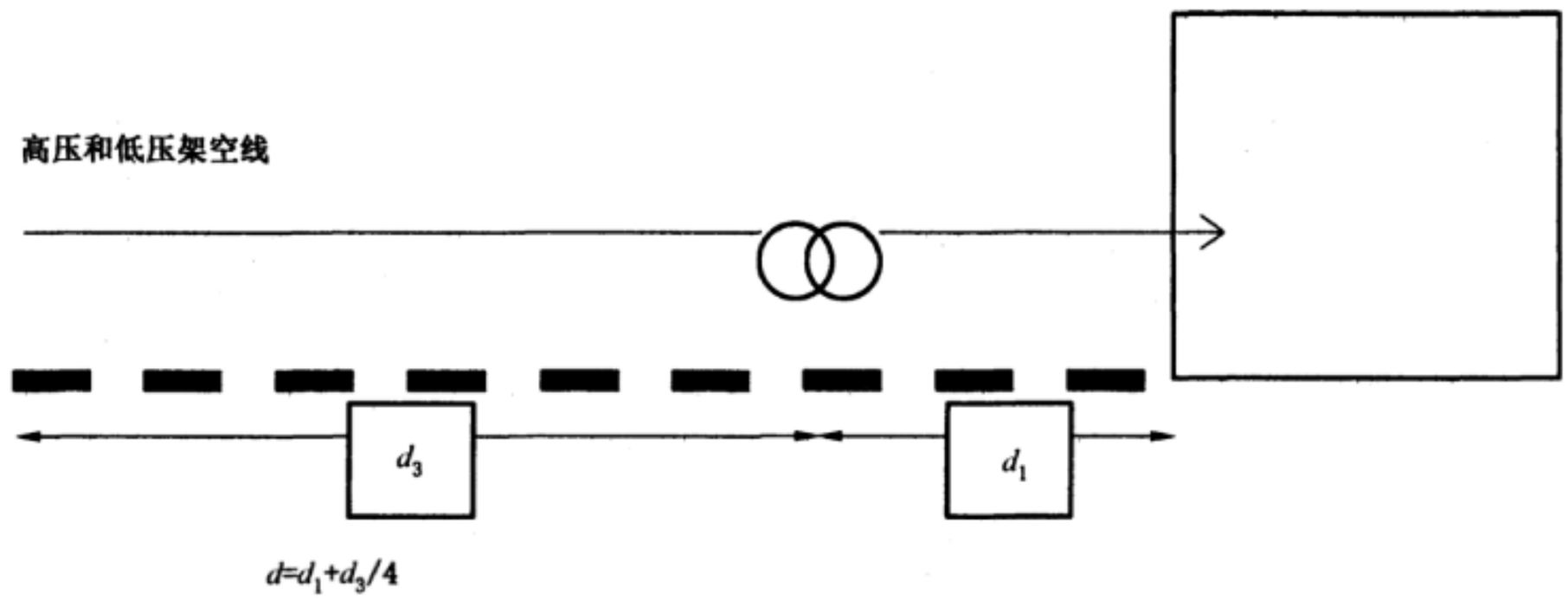
d_3——建筑物的 HV 架空线长度，小于 1 km。考虑到变压器的衰减效应，需除以 4。根据对一些变压器的试验结果，这个数字是相对保守的。

HV 地下电缆的长度可以忽略。

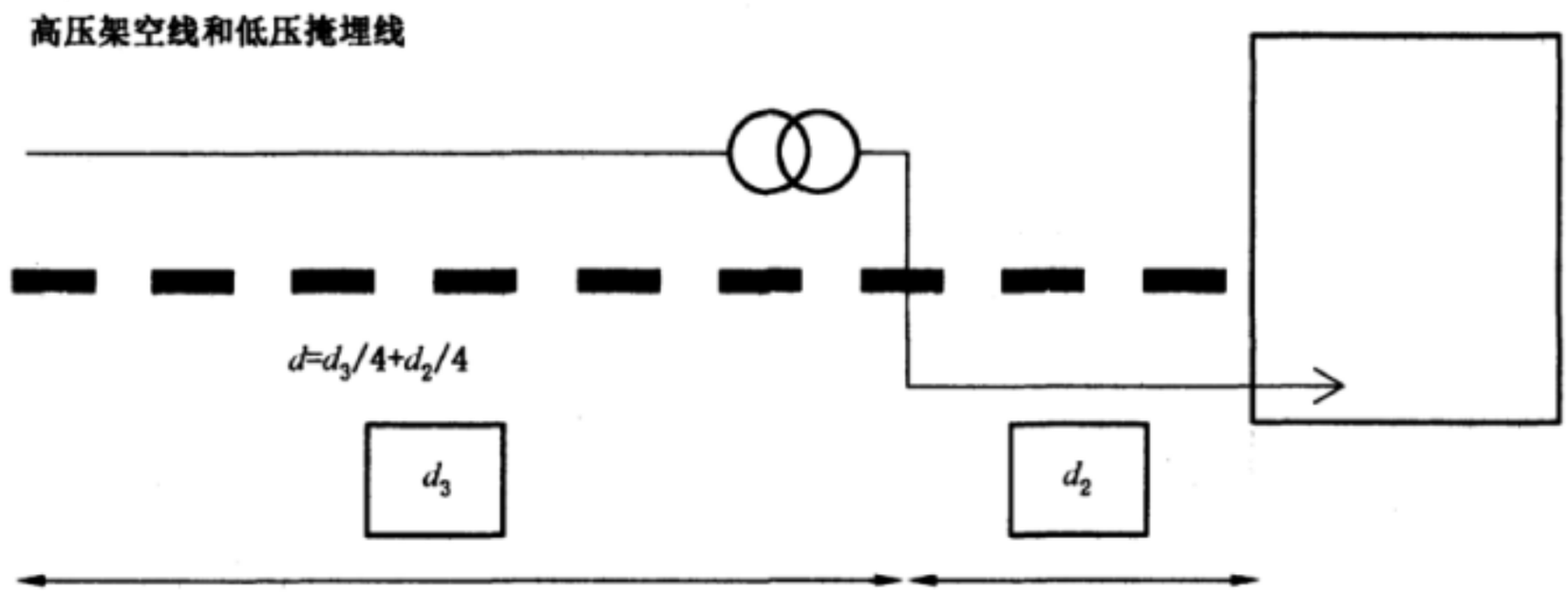
屏蔽的 LV 地下电缆长度可以忽略。

以下给出了这种方法的应用以及确定 d 的示例。

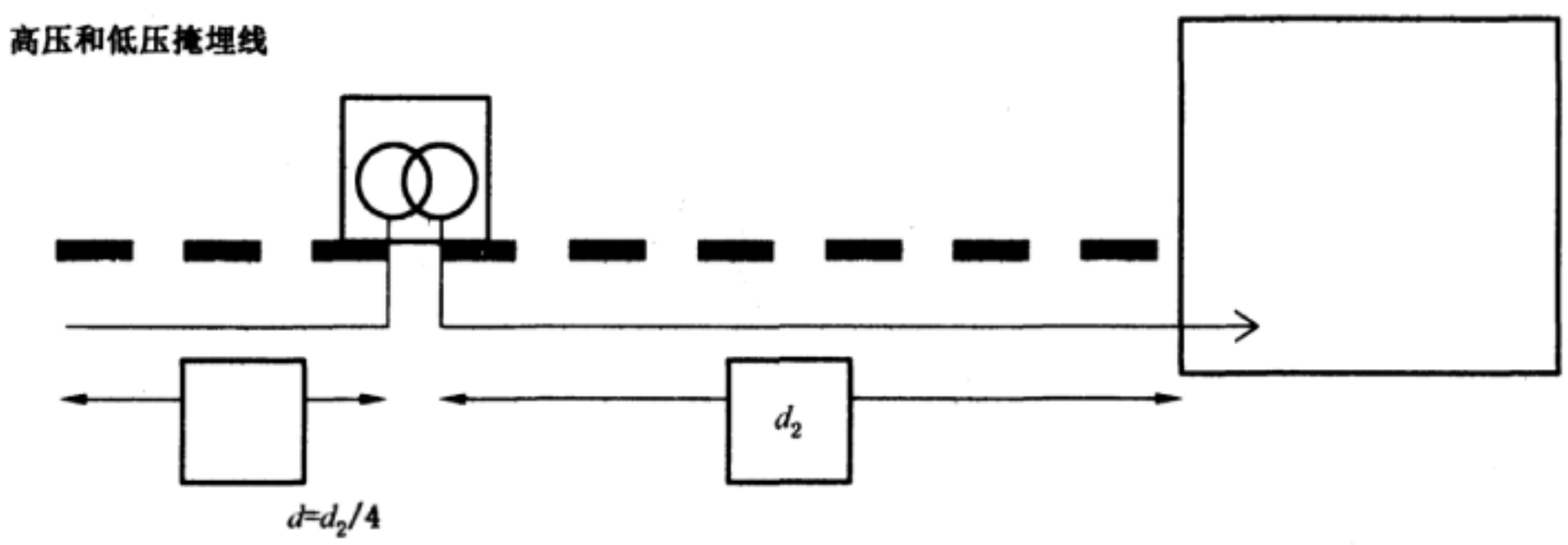
下图中的粗虚线表示地面。它上方的线表示架空线，下方的线表示地下电缆。方框代表所考虑的建筑物，两个圆形符号代表变压器。

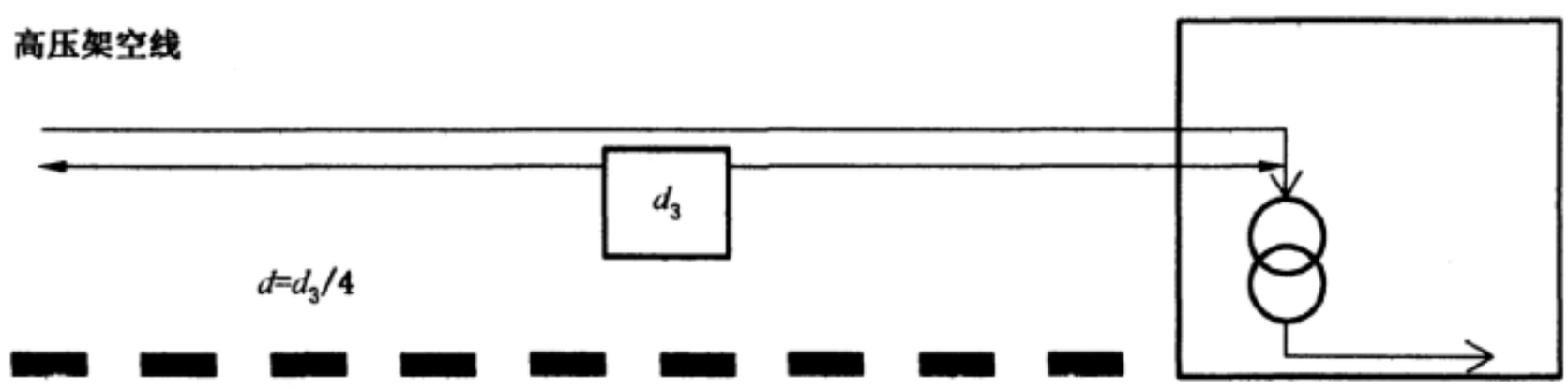


建筑由 LV 架空线供电，配电变压器离建筑物的距离小于 1 km。



建筑由 LV 地下电缆供电，配电变压器离建筑物的距离小于 1 km。





建筑由 LV 地下电缆供电，配电变压器位于建筑物内。

示例 1:博物馆。将 HV/LV 变压器和博物馆电气入口用 500 m 长的地下电缆连接起来,给博物馆供电。雷暴日为 20 d。

即使使用了地下电缆且雷暴日低于 25 d,由于属于情况 B,仍推荐安装 SPD。

示例 2:将 HV/LV 变压器和电气入口用 200 m 长的架空线连接起来给私人住宅供电。雷暴日为 27 d。

由于连接了 LV 架空线以及雷暴日大于 25 d,推荐安装 SPD。

示例 3:雷暴日为 20 d 的学校(根据 $N_g=1.7$)。这由直接位于建筑物内部的 HV 变压器供电,HV 架空线 750 m 长。属于情况 D。

雷暴日小于 25 d,需根据实际长度 d 的计算来评估使用 SPD。

$$d=d_1+d_2/4+d_3/4=0+0+0.187\ 5=0.187\ 5$$

$$d_c=1/N_g=0.59$$

由于 $d<d_c$,所以不需要安装 SPD。

示例 4:雷暴日为 20 d 的教堂(根据 $N_g=1.7$)。由将 HV 变压器和教堂电气入口处用 500 m 长的架空线供电,HV 架空线长 2 km,属于情况 D。

雷暴日小于 25 d,需根据实际长度 d 的计算来评估是否使用 SPD。

$d=d_1+d_2/4+d_3/4=0.5+0+0.25=0.75$ （d_3 限制在 1 km 之内）

$d_c=1/N_g=0.59$

由于 $d>d_c$,所以推荐安装 SPD。

示例 5:雷暴日为 20 d 的小办公室(根据 $N_g=1.7$)。这段距离不清楚。属于情况 E。

雷暴日小于 25 d,需根据实际长度 d 的计算来评估是否使用 SPD。由于距离未知,所以采用最严酷的情况进行计算。如 $d_1=1$ km,$d_2=1$ km,$d_3=1$ km,则

$d=d_1+d_2/4+d_3/4=1+0.25+0.25=1.5$ （根据规定,限制在 1 km 之内）

$d_c=1/N_g=0.59$

由于 $d>d_c$,所以推荐安装 SPD。

附 录 I
（资料性附录）
系统电应力

注：本附录是第 4 章的扩充，如果信息与前面的特定条款有关，会标识在后面的[]中。

I.1 雷电过电压和电流[4.1.1]

I.1.1 影响 SPD 需要的配电系统方面的因素

GB/T 16895.10—2010 中 443 说明，若装置采用地下电缆或架空线供电但雷暴日在 25 d 以下时，没有必要用 SPD，除非按装置用途考虑的允许风险值非常低。

选择导则是考虑一般情况的装置，如果正在考虑的装置的具体因素是异常的，可能对于电涌保护有更大的需求。上述因素在 I.1.1.1 和 I.1.1.2 中考虑到了。

应该进行基于侵入电涌的可能性和保护与结果之间的经济平衡进行的风险分析。

GB/T 16895.10—2010 中 443 关于风险分析正在修订。

I.1.1.1 雷击活动

决定雷击于装置时危险程度的最重要的数据是当地落雷密度 N_g。当 N_g 未知时，从雷暴日水平（从雷区分布图中得出每年雷暴日的 N_k 数）可得到粗略的估计，可用特定公式 $N_g=0.04\times N_k^{1.25}$ 来计算。

N_g 提供了关于雷电活动的精确估计的高度地方化的信息，从而使在特定的地点和沿着进入电气装置通道的风险得到精确估计。同时它也考虑了由于年份和电涌的大小而引起的变化。决定 N_k 时这些因素未包括在内，因此，$N_k=25$ 就不能用于决定 SPD 是否需要。

I.1.1.2 装置的暴露

采用地下电缆供电时，电缆并不总能够保护设备，尤其是直击雷或雷击其附近时，这在 GB/T 16895.10—2010 中并没有考虑。这就是为什么地下电缆供电不能单独用来决定 SPD 的需求的原因。

I.1.2 建筑物内部电涌电流的分配

图 I.1 给出了雷直击于建筑物的情况下电涌电流分配的典型示例。更详细的情况见附录 D。

注 1：雷电冲击电流包括两个关键参数，第一个是快速上升时间，用于决定由于电感效应引起的电压值。第二个是长持续时间，主要与冲击能量有关。高频效应在后一阶段没有体现，因此可用欧姆律电阻来计算电流分布。

在单独估算（例如，通过计算）是不可能的情况，假设 50%的总雷电流（I）通过给定建筑物的雷电保护系统的接地端入地，剩余 50%电流（I_s）分散在进入建筑物服务管线中，如外部的导电部分，电源和通信线等。在每个设备中流动的电流值（I_i）可用 $I_i=I_s/n$ 来估计，n 为设备个数。

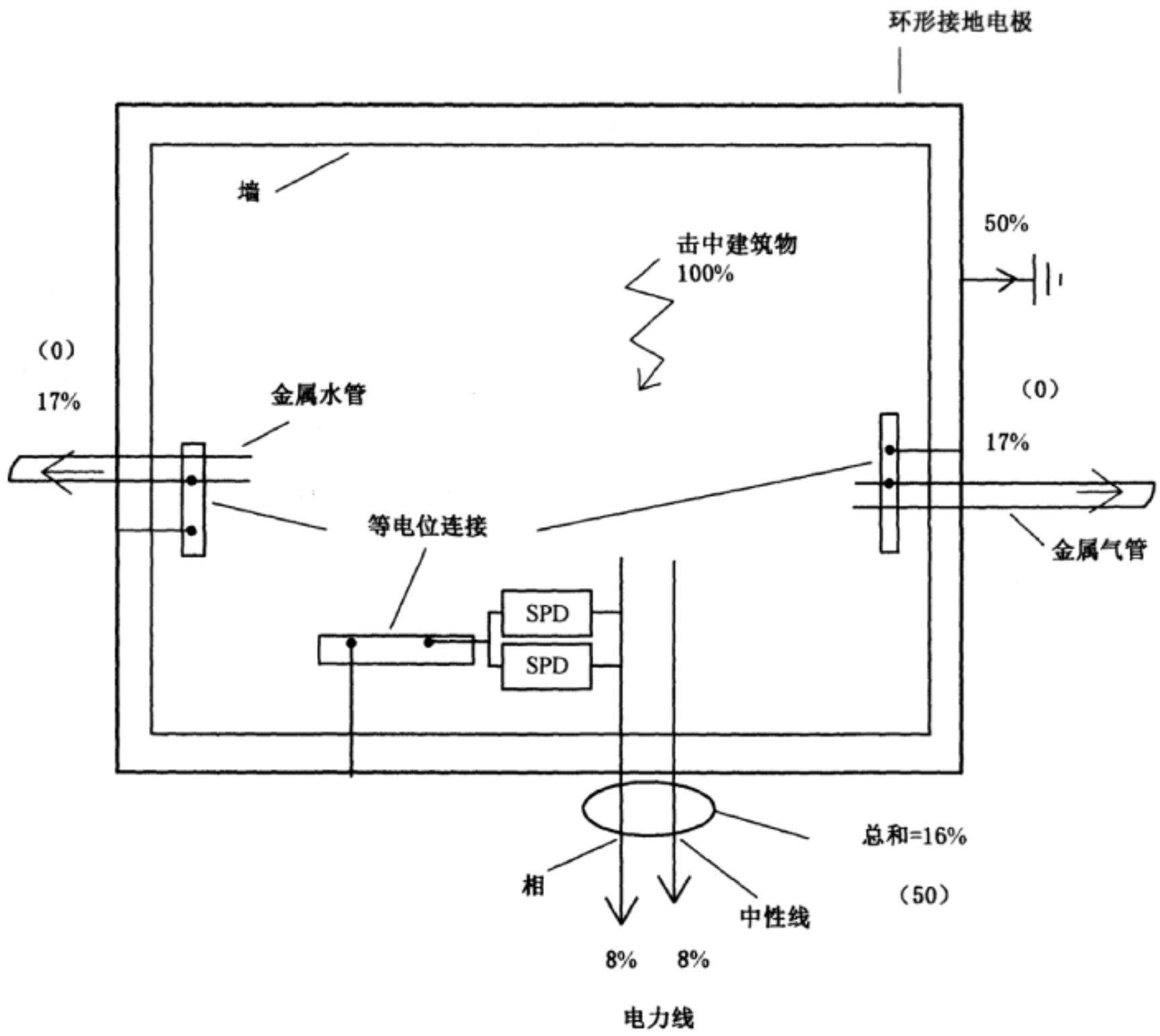
对单个导体中流过电流的估计为 I_V。在没有屏蔽的电缆中，电缆电流 I_i 根据导体数 m 来分配。$I_V=I_i/m$。

在电缆有屏蔽层的情况下，两端必须直接接地或经过 SPD 接地，在这种情况下，电缆中大部分的雷电流流入屏蔽层（通常 50%），小部分雷电流进入内部导体，在所有情况下 SPD 应尽可能安装在屏蔽层的连接点附近。

注 2：SPD 的 I_{peak} 或 I_{max} 的优选值对应于 I_V。

注 3：雷直击架空线的情况可用一个相似的方法来考虑。

注 4：括号中的值是在没有金属管时使用的。



注：当未用金属管时采用括号中数值。

图 I.1 进入外部设施(TT 系统)的雷电流分配示例

图 I.1 给出了典型情况，即 50%的总电流通过建筑物接地流入地下，而另外 50%通过外部设施分流。

I.2 操作过电压[4.1.2]

由操作电涌引起的过电压的更多资料可参照 C.3。

I.3 暂时过电压 U_{TOV}[4.1.3]

在 LV 系统由于故障引起的暂时过电压可通过两个参数定义：

—— k_1 是最大电压和系统标称电压之比，通常在 1.05～1.1，这包含了电压水平的正常调节。

$$U_{cs} = k_1 \times U_0$$

—— k_2 是系统最大过电压和电力系统的 U_{cs} 之比。当一个三相低压系统故障时，非故障相电压可升至额定值的 1.25 倍到理论上的$\sqrt{3}$倍。

注 1：在单相、三线(分相)系统，k_2 可高至 2。

总的暂时过电压可表示为：

$$U_{TOV(LV)} = k_1 \times k_2 \times U_0 = k_2 \times U_{cs}$$

注 2：暂时过电压通常由事故引起，比如低压配电系统的故障，电容器动作和电动机停机、起动，这些过电压是短时的。由三相供电系统故障引起的暂时过电压持续时间从 0.05 s 到最大 5 s。单相电动机起动，若中线连接不好，将会引起很大的过电压。典型情况是它将达到 5 s。因此，暂时过电压持续时间根据本部分来选择，从 0.05 s～5 s；

注 3：在某些网络中，有必要考虑一个短时（低于 5 s）暂时过电压，由高压系统故障引起（$U_{TOV(HV)}$），它为 U_0＋1 200 V（见 GB/T 16895.10—2010）。这么高的电压值将会导致 SPD 失效。在这些情况下，就要做适当的试验以确保这一失效不会引起对人员、设备和设施的任何危险。U_0＋1 200 V 的值是最大持续时间为 5 s 的暂时过电压的最大值，根据低压装置和高压系统中接地系统的不同类型，此值有可能有或没有（见附录 E）。另外，暂时过电压可能持续时间长于 5 s 的情况由 GB/T 16895.10—2010 决定，而且可能由于持续时间长导致失效。

本部分中，由 LV 系统中的故障产生的 TOV，用 $U_{TOV(LV)}$ 表示。而 HV 系统中，则用 $U_{TOV(HV)}$ 表示。

在上面所给公式的基础上，如果有可能的话，在理论上绘一条网络中 U_{TOV} 和时间的变化曲线。实际上，尤其是在 SPD 的安装地点不知道该曲线。在这种情况下，仅知道很少的典型点，很难绘制上述曲线。

通常仅知道一些标准化的最大值，曲线就退缩为某几个点。对 SPD 选择有特别意义的时间值为 200 ms 和 5 s。

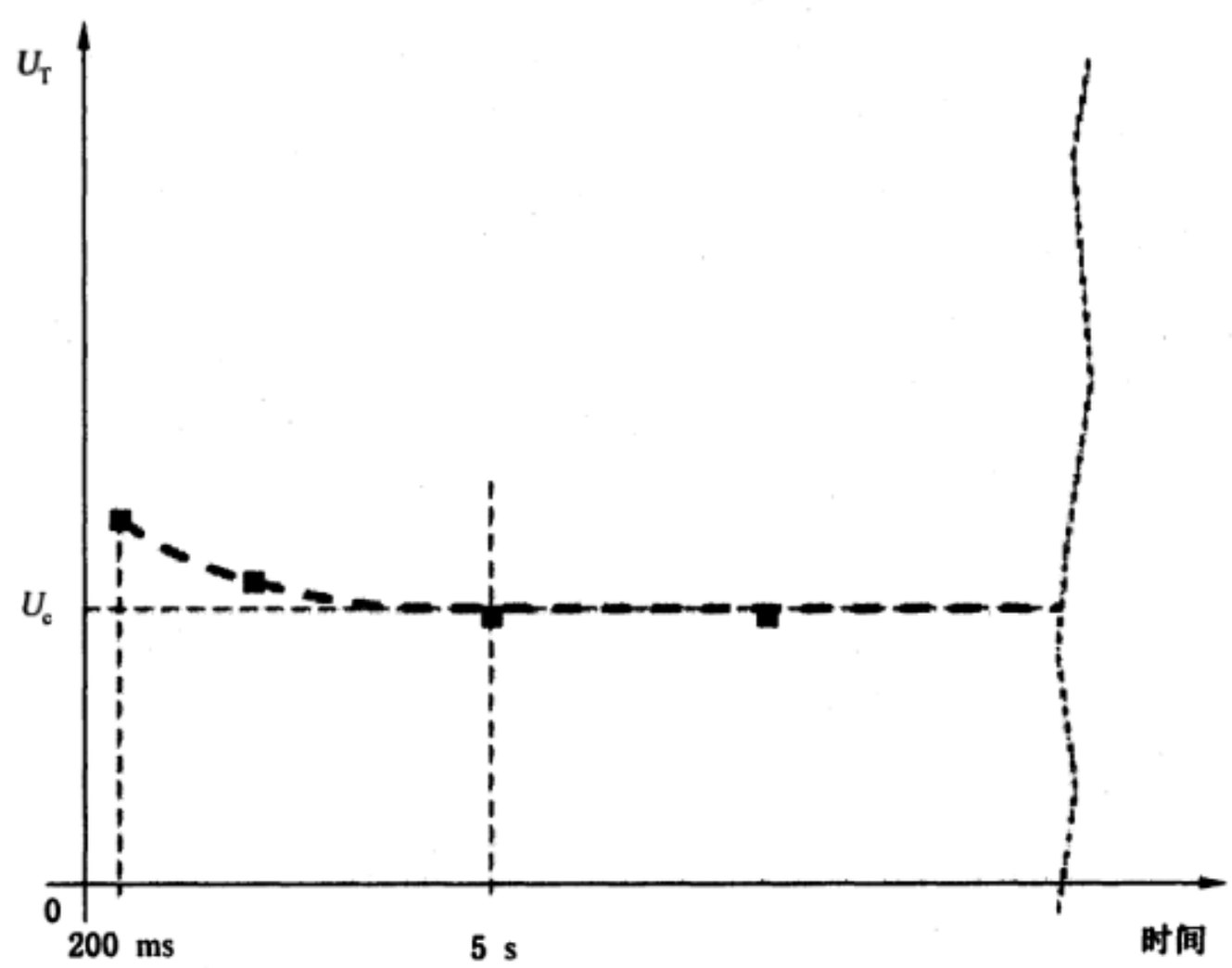
U_{TOV} 最大标准值见图 4。

附 录 J
（资料性附录）
选择 SPD 的判据

注：本附录是第 5 章的扩充，如果信息与前面的特定条款有关，会标识在后面的[]中。

J.1 U_T 暂时过电压特性[5.5.1.2]

SPD 暂时过电压 U_T 的典型曲线见图 J.1。



注：暂时过电压可能有几秒的持续时间，当暂时过电压持续时间超过 5 s 时被认为是对 SPD 的永久作用，对时间超过 5 s 的曲线对应值相当于 U_c 的恒定值。

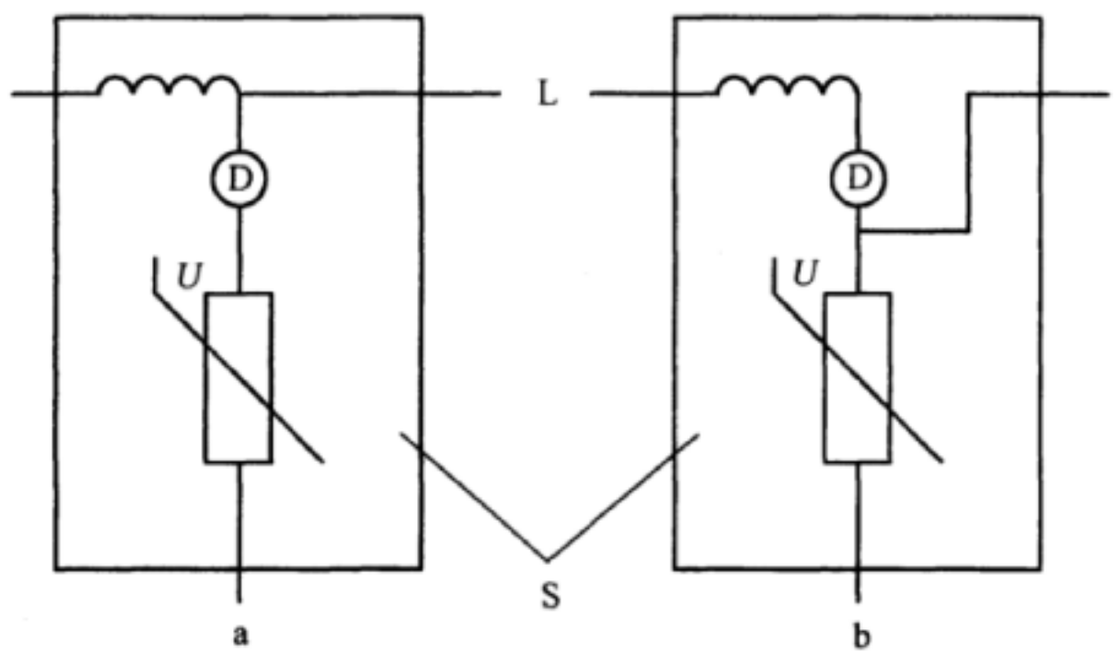
图 J.1 SPD 的 U_T 典型曲线

J.2 SPD 失效模式[5.5.4]

如 5.5.4 所讨论的那样，当 SPD 处于失效模式时，失效模式对装置的影响必须考虑。

若一个 SPD 的失效模式是开路（由 SPD 本身的一个非线性元件提供，或与 SPD 串联的内部或外部脱离器提供，且与供电系统是断开的），这样就保证了在 SPD 失效时供电的连续性。然而在系统后备保护动作之前，必须特别注意 SPD 的断开能力，仔细研究 SPD 脱离器及后备保护之间的配合。

对二端口 SPD 或与干线相连的一端口 SPD，如图 J.2 中分别所示的情况 a 和 b，该 SPD 的内部脱离器依据其 SPD 中的位置决定了其能否提供连续供电。



说明：

D——脱离器；

S——SPD；

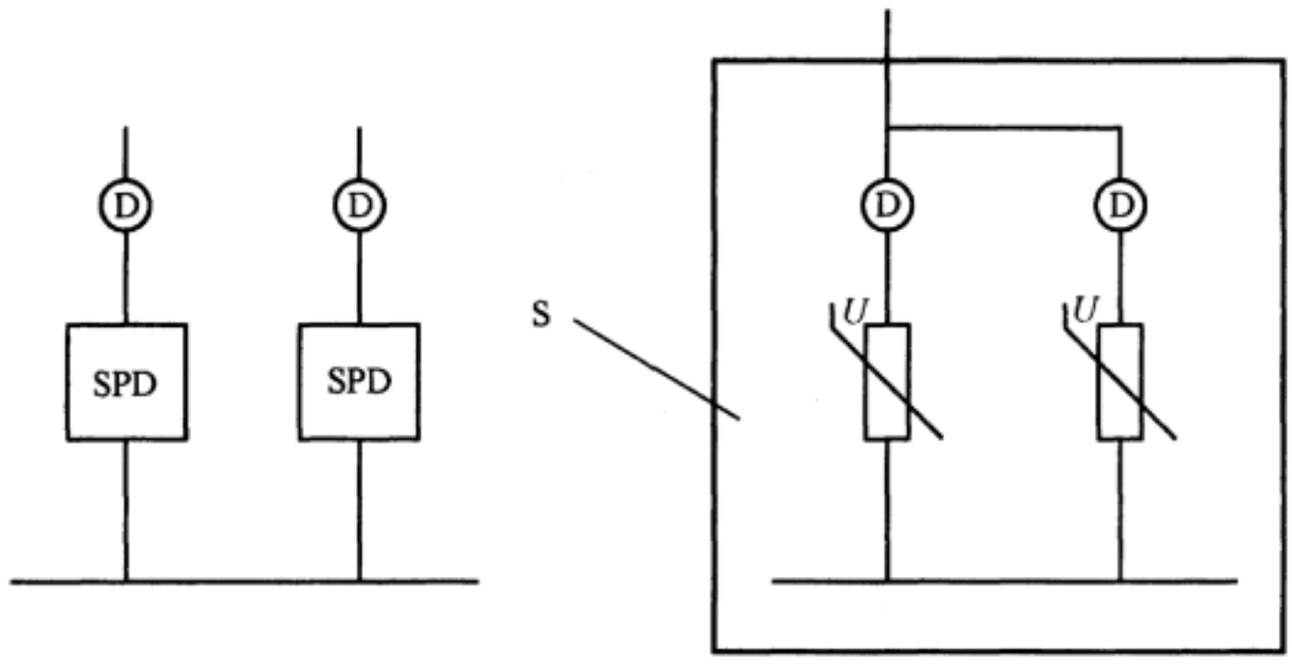
L——连接线。

图 J.2 二端口 SPD 中的内部脱离器

在情况 a 时的主要特点是脱离器动作后，设备仍在工作。但是，设备就不再受到保护了。若未用一个故障指示器(远程的和/或现场的)来给一个断开信号，用户就不知道设备不再受保护，这样将更易受到侵入电涌。

在情况 b 时的主要特点是脱离器动作后设备和电源断开，但和电涌的主要来源也断开了。

为了减少缺乏保护或与电源断开的危险，将配备了脱离器的 SPD 并联使用，如图 J.3 所示。



说明：

D——脱离器；

S——包括两个保护元件(ZnO 压敏电阻)和两个脱离器的完整的 SPD。

图 J.3 并联 SPD 的使用

若 SPD 的失效模式属于短路模式(由于 SPD 自己或是由于附加电器)，引起后备保护跳闸，其状况与上述情况 b 类似。

除非制造厂表明了一个特定的失效模式，可假定 SPD 可能是上述任意失效模式。为了得到失效模式的单一模式(短路或开路条件)，就要用一个附加电器(如用一个过流脱离器，见图 J.3)。

在 SPD 失效时，存在一个暂时的、不确定的状态，为了得到 SPD 失效后的确定状态(开路或短路)，需要采用附加电器(如热熔式脱离器)。

注：GB 16895.21—2011 描述了安全应用准则。

附 录 K
（资料性附录）
SPD 的应用

注：本附录是第 6 章的扩充，如果信息与前面的特定条款有关，会标识在后面的[ ]中。

K.1 SPD 的安装和保护效果[6.1]

K.1.1 保护和安装的可能模式[6.1.1]

图 K.1～K.5 给出了各种接地的替代选项（见 5a 和 5b）

注 1：最好的是使用两种方式来保持较低的保护水平和在安装时的最小应力。SPD 应保持共同接地点与 PE 连接线尽可能的短。

合理的安装应遵循以下 5 个步骤：

注 2：下面的步骤适用于连接在线或中线与地之间的 SPD，其他的 SPD 可能需要另外的规则。

a） 确定放电电流路径。

b） 标识设备端子上能产生附加电压降的导线[图 K.6a）和 K.6b）]。

注 3：在图 K.6 中，U_{res} 是 SPD 根据类别Ⅰ和类别Ⅱ试验得到的残压或限制电压。

c） 合理安排每一设备导线的路径，从而避免产生不必要的电感耦合，见图 K.6c）、图 K.6d）和图 K.7。

注 4：如果不可能有一个单独的接地点，就必须装两个 SPD，像图 K.6d）。

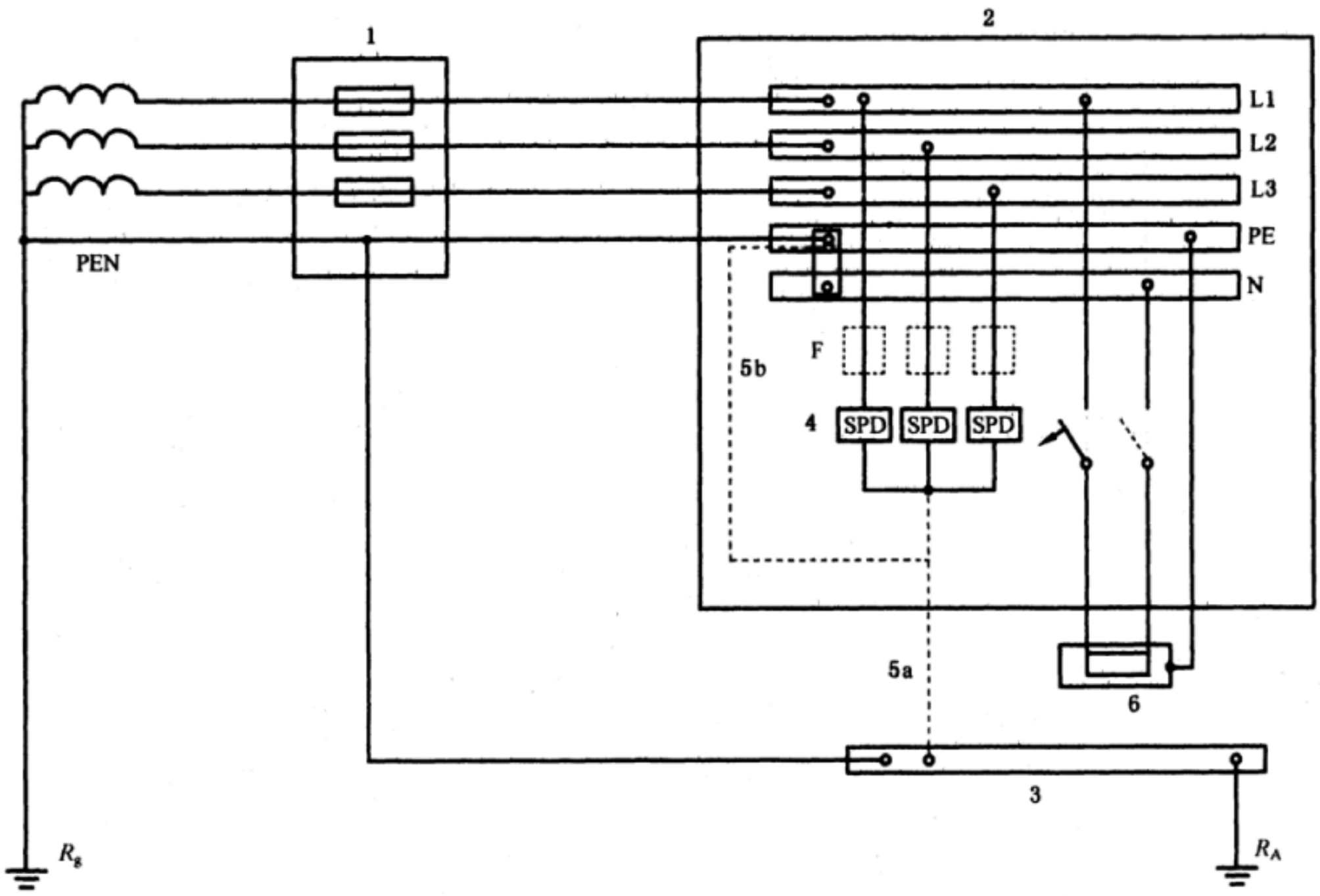
d） 设备和 SPD 之间应等电位联接。

e） 应依据配合的需求选择 SPD。

应采取措施降低装置未保护部分和保护部分的电感耦合，通过分离施感源和干扰电路、限制回路面积和选择一定回路角度都可以减少互感（见图 K.7），当电流传输线是回路面积的一部分，使其靠近电缆能够降低感应电压[见图 K.7a）]。

通常，较好的方法是将保护线从非保护线中单独分离出来，采取措施避免电源和通信电缆之间的瞬态交叉干扰[见图 K.7b）]。

图 K.7 是考虑 EMC 方面的 SPD 安装。



说明：

1 ——装置的电源入口；

2 ——配电盘；

3 ——总接地端子或排；

4 ——电涌保护器；

5 ——SPD 的接地，5a 或 5b 处；

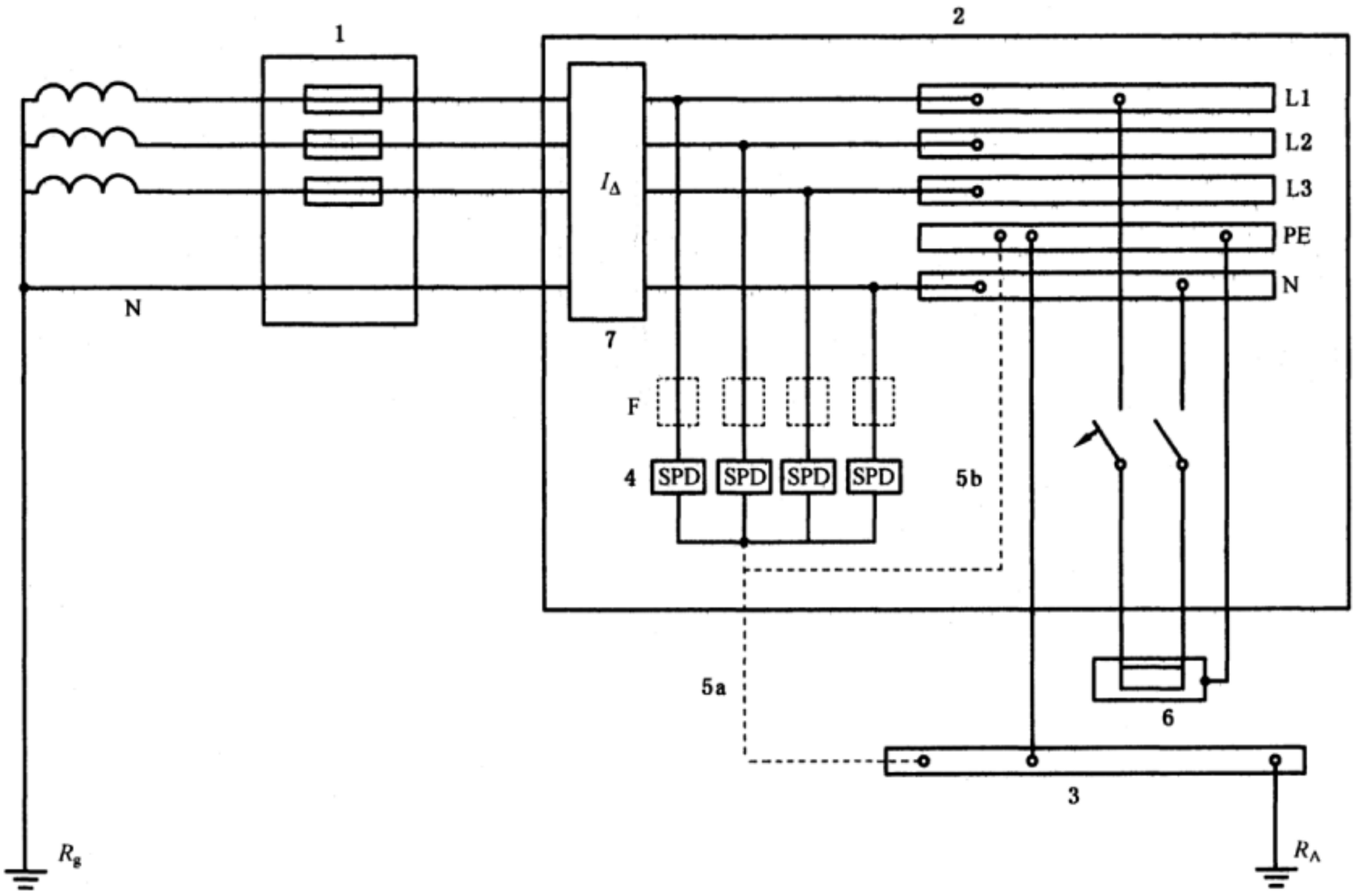
6 ——被保护设备；

F ——SPD 制造厂要求装设的保护器（例如熔断器、断路器、RCD）；

R_A——装置的地电极（接地电阻）；

R_g——供电系统的地电极（接地电阻）。

图 K.1 SPD 在 TN 系统中的安装



说明：

1 ——装置的电源入口；

2 ——配电盘；

3 ——总接地端子或排；

4 ——电涌保护器；

5 ——SPD 的接地，5a 或 5b 处；

6 ——被保护设备；

7 ——剩余电流保护装置(RCD)；

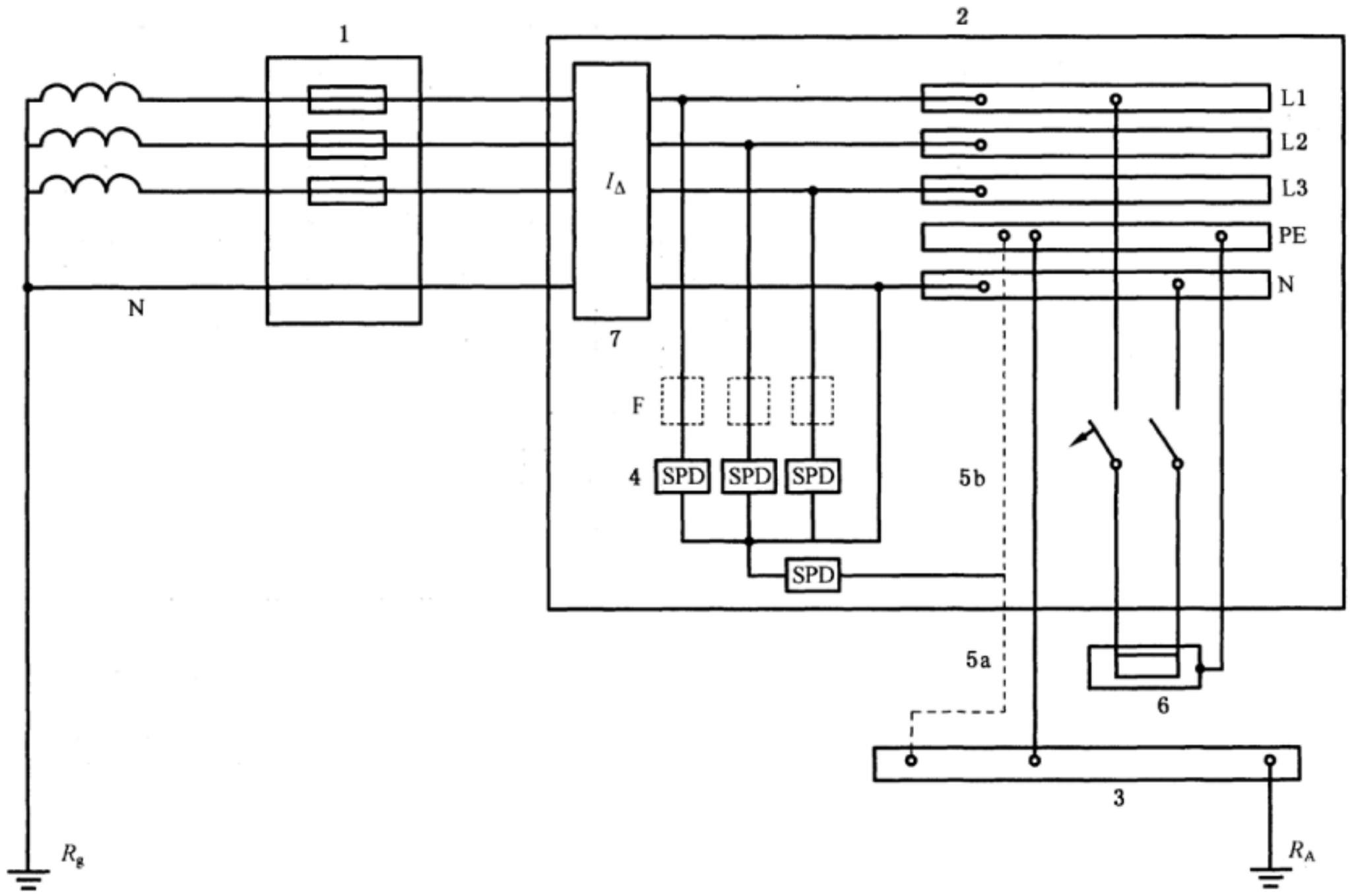
F ——SPD 制造厂要求装设的保护器(例如，熔断器、断路器、RCD)；

R_A——装置的地电极(接地电阻)；

R_g——供电系统的地电极(接地电阻)。

a) 连接类型 1

图 K.2 SPD 在 TT 系统中的安装
(SPD 在 RCD 的后方)



说明：

1 ——装置的电源入口；

2 ——配电盘；

3 ——总接地端子或排；

4 ——电涌保护器；

5 ——SPD 的接地，5a 或 5b 处；

6 ——被保护设备；

7 ——剩余电流保护装置(RCD)；

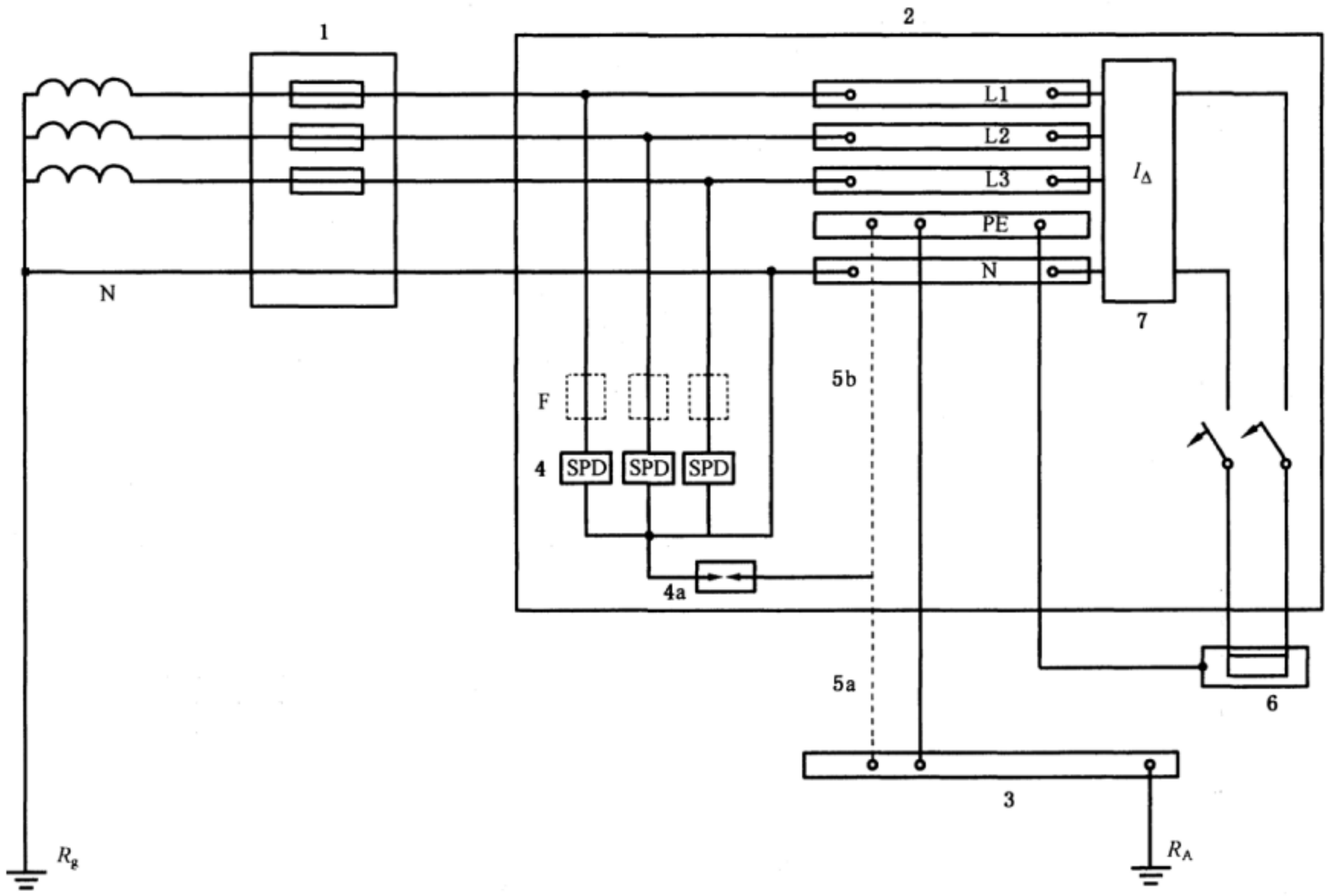
F ——SPD 制造厂要求装设的保护器(例如，熔断器、断路器、RCD)；

R_A——装置的地电极(接地电阻)；

R_g——供电系统的地电极(接地电阻)。

b) 连接类型 2

图 K.2（续）



说明：

1 ——装置的电源入口；

2 ——配电盘；

3 ——总接地端子或排；

4 ——电涌保护器；

4a ——依照 GB 16895.22—2004 所述的 SPD 或火花间隙；

5 ——SPD 的接地，5a 或 5b 处；

6 ——被保护设备；

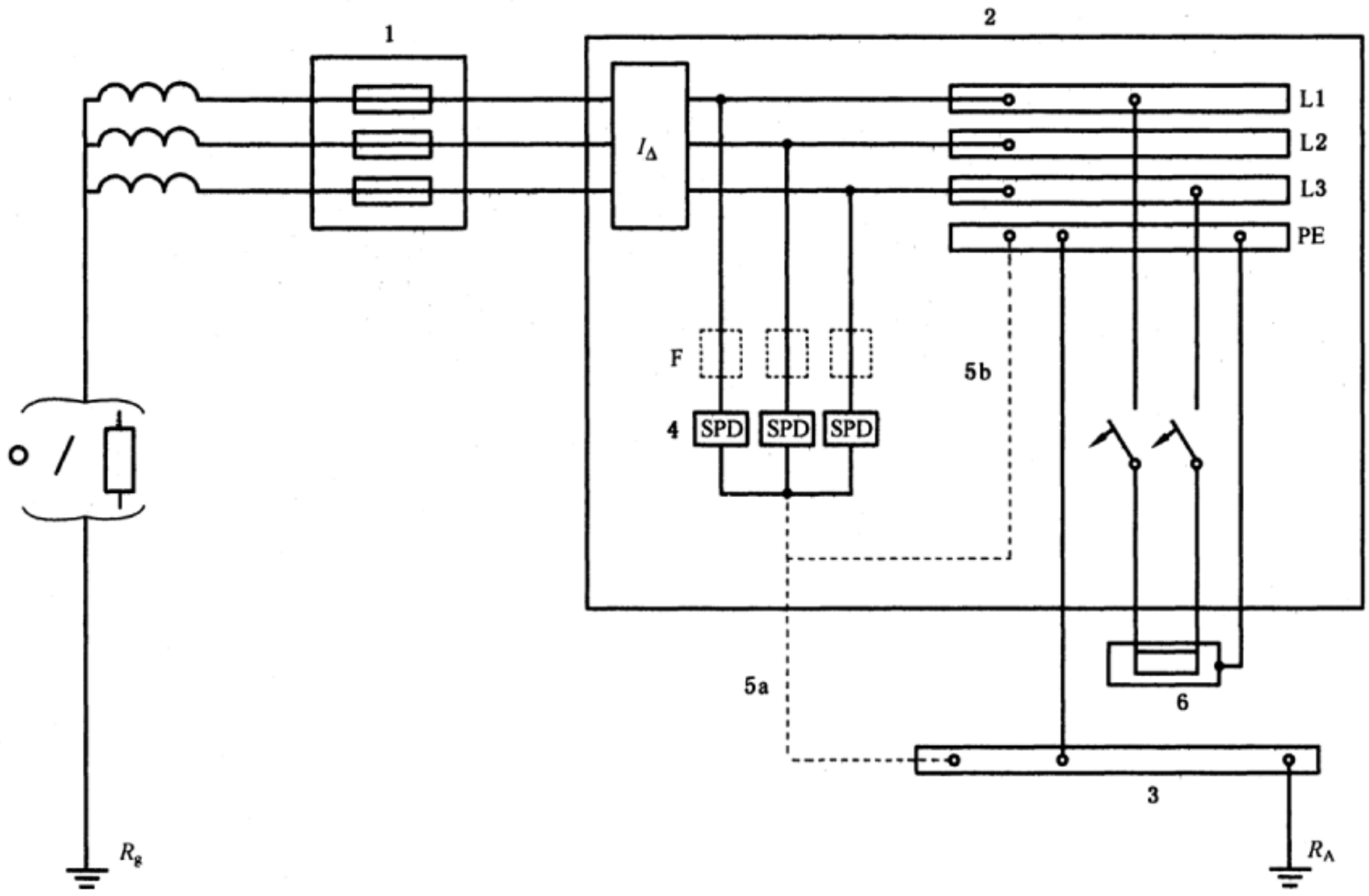
7 ——剩余电流装置(RCD)；

F ——SPD 制造厂要求装设的保护器(例如，熔断器、断路器、RCD)；

R_A——装置的地电极(接地电阻)；

R_g——供电系统的地电极(接地电阻)。

图 K.3 SPD 在 TT 系统中的安装(SPD 装在 RCD 的前方)



说明：

1 ——装置的电源入口；

2 ——配电盘；

3 ——总接地端子或排；

4 ——电涌保护器；

5 ——SPD 的接地，5a 或 5b 处；

6 ——被保护设备；

7 ——剩余电流保护装置(RCD)；

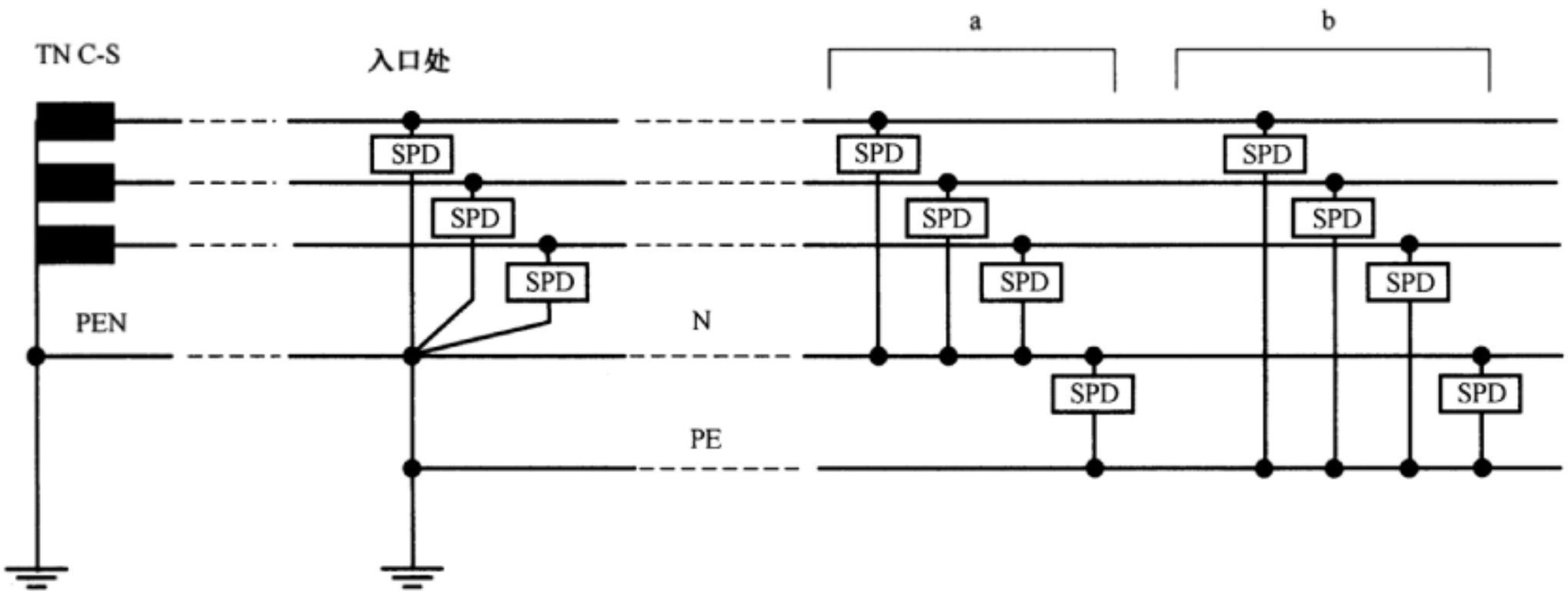
F ——SPD 制造厂要求装设的保护器(例如，熔断器、断路器、RCD)；

R_A——装置的地电极；

R_g——供电系统的地电极；

O/——开路或阻抗。

图 K.4 SPD 在没有中线 IT 系统中的安装



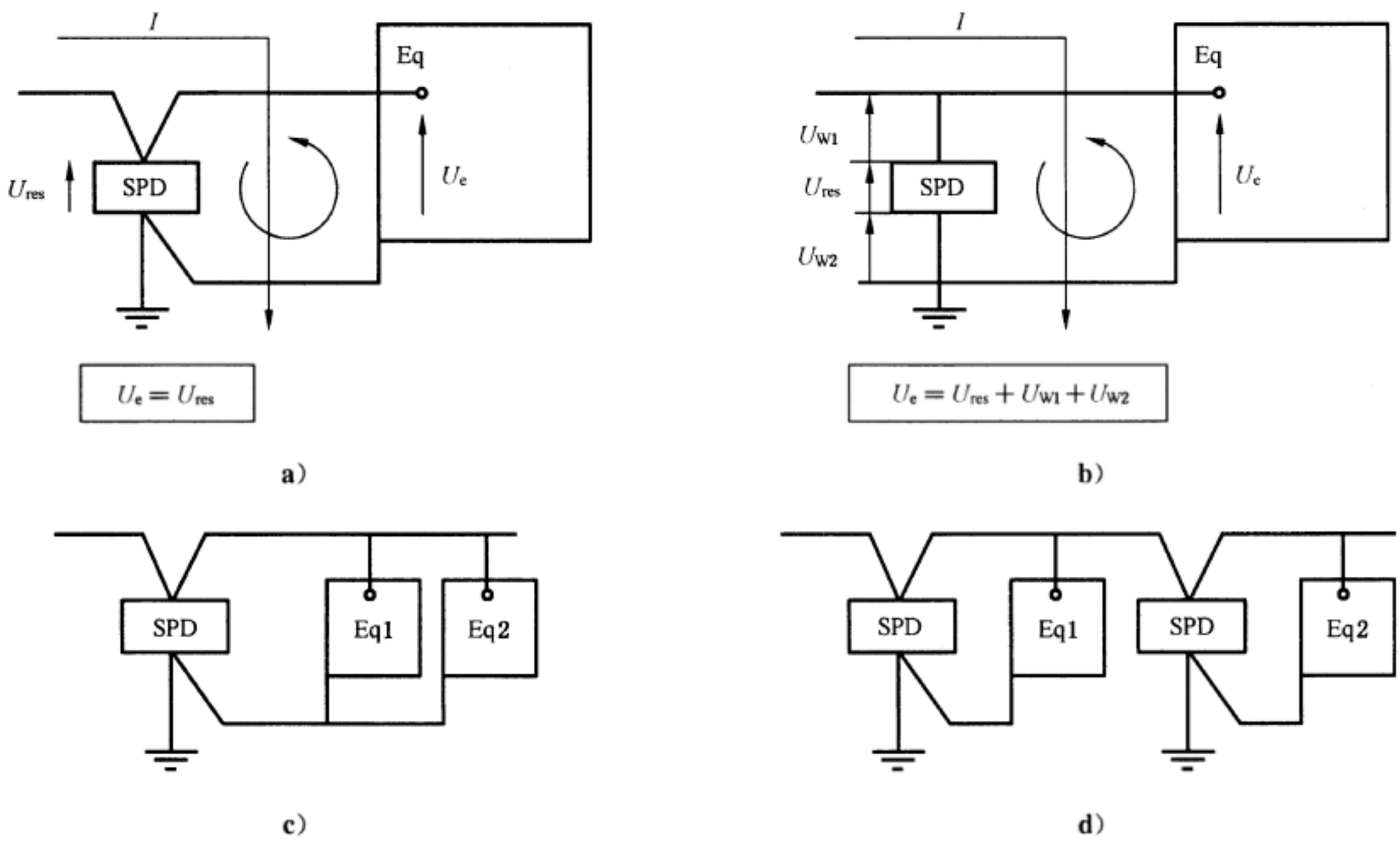
说明：

如果设备和安装入口处之间的距离太大(见 6.1.4)，可能要连接额外的 SPD：

a——连接 L-N 和 N-PE 间的 SPD；

b——连接到 L-PE 和 N-PE 间的 SPD。

图 K.5　在 TN C-S 系统中装置进线处 SPD 的具体安装模式



说明：

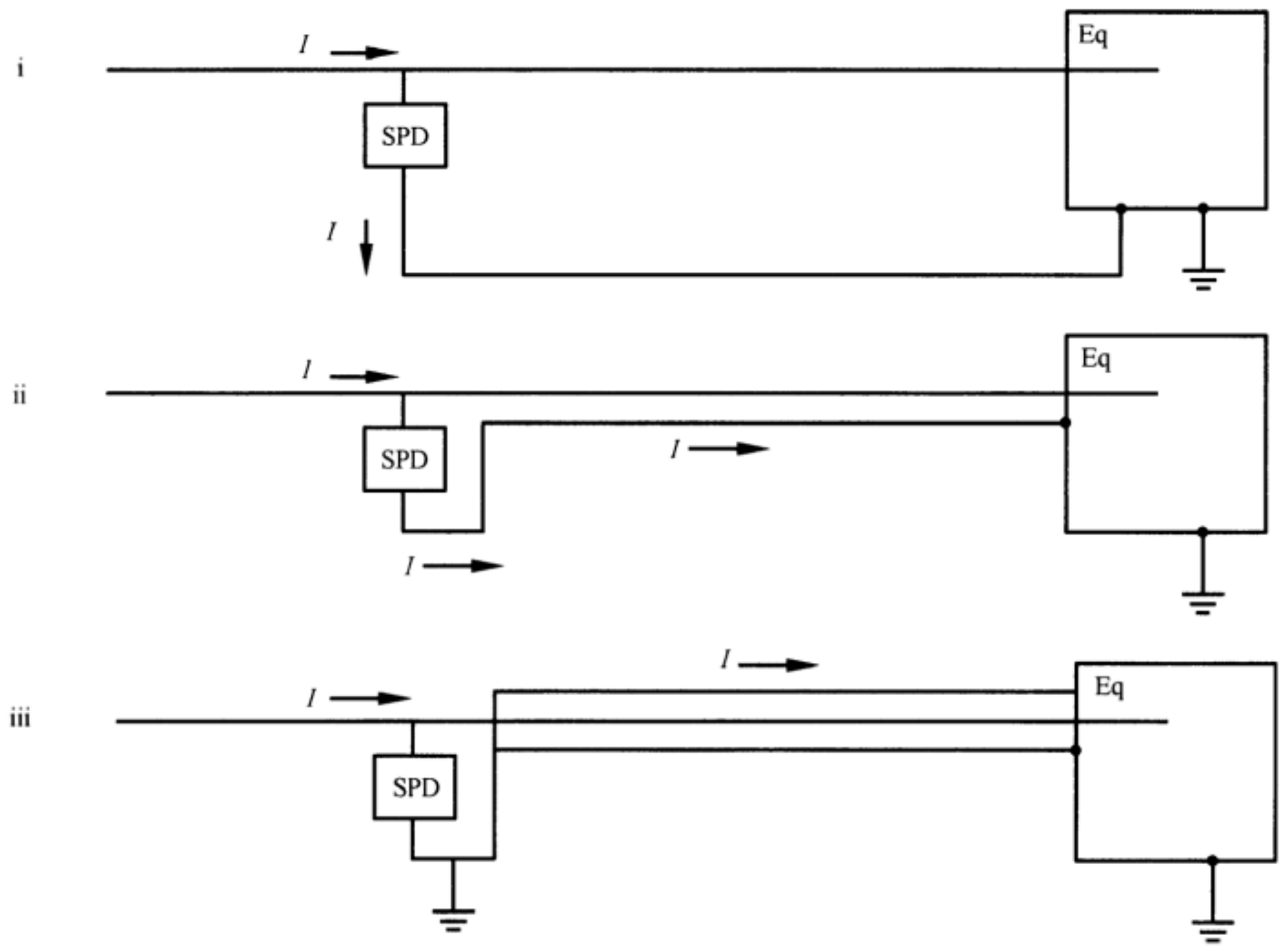
Eq——设备；

a)、c)、d)接线图是可接受的；

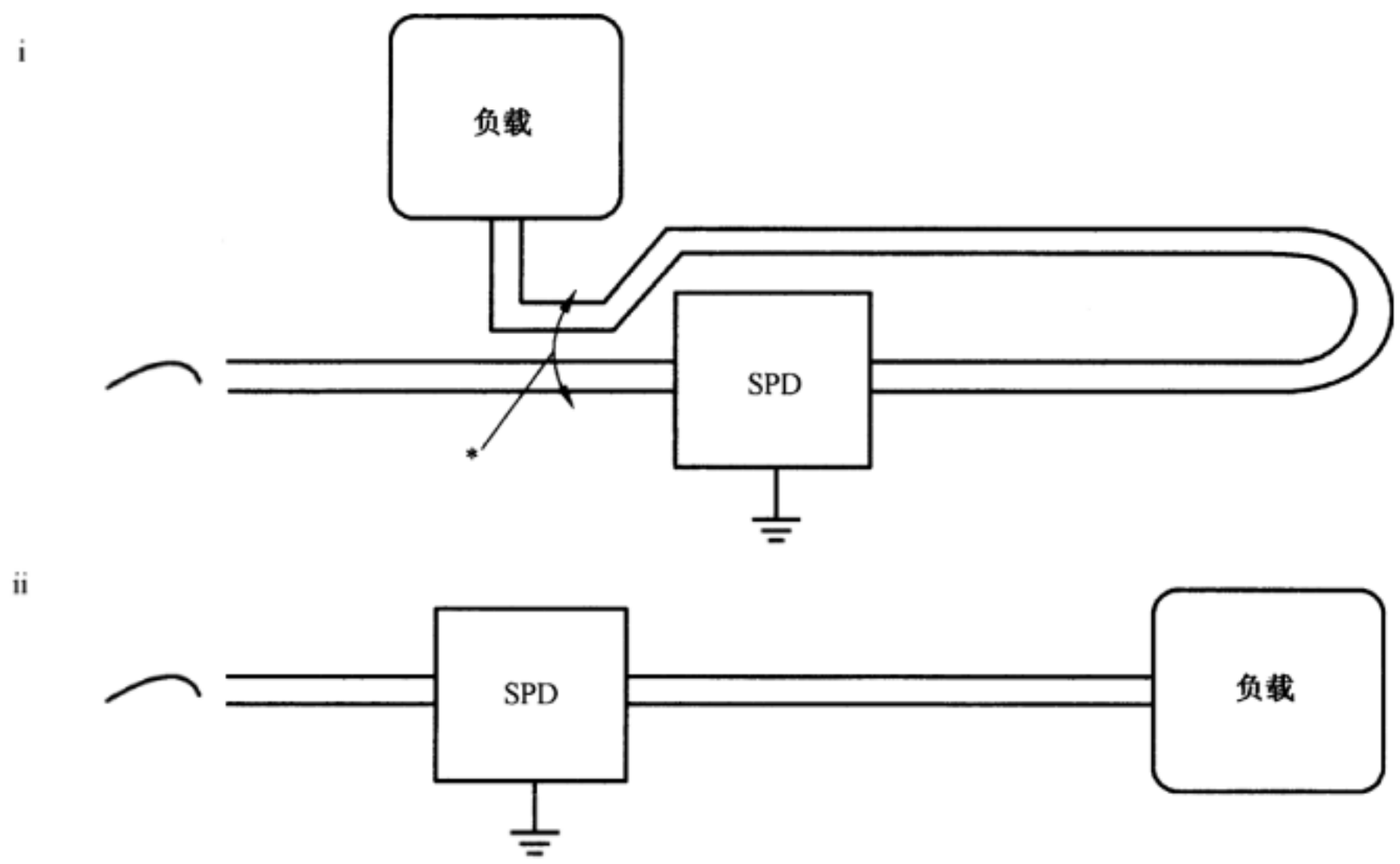
假如 U_{W1} 和 U_{W2} 电压足够低，b)的接线图也是可以接受的。

注：当电流 I 流过 SPD，由于电流进入导线和电极形成的回路产生磁场，它将会产生感应电压加到 SPD 上，这个合成电压将会出现在设备端子上。

图 K.6　安装一端口 SPD 的通用方法



a)



b)

说明：

a) 电磁耦合：

i 不好的方法——巨大的回路面积会由 di/dt 引起 $d\phi/dt$ 增高；

ii 较好的方法——小的回路面积，$d\phi/dt$ 较低；

iii 最好的方法——电缆的屏蔽使屏蔽内部 $d\phi/dt \approx 0$。

b) 感应耦合：

i 不好的安装模式——感应将发生在 * 处；

ii 好的安装模式——SPD 将电缆前、后端很好地隔离开。

图 K.7 关于 EMC 方面 SPD 可接受的和不可接受的安装示例

K.1.2 振荡现象对保护距离的影响[6.1.2]

通常,使用一个靠近保护设备的 SPD 是不够的。由于 EMC 原因,SPD 最好安装在装置入口处(它可以较好的转移电流,以避免由于电涌电流引起的电磁干扰),以保护装置(避免导体间闪络等),如果设备不在安装在入口处 SPD 的保护距离之内,必要的话,需要在靠近设备处安装另一个 SPD。同时有必要研究两者之间的配合(见 6.2.6)。

需要附加的 SPD 的原因是由电涌冲击引起的振荡或行波可能会比出现在被保护设备处的预期电压要高得多。图 K.8 就是这种系统物理的和电的表述。

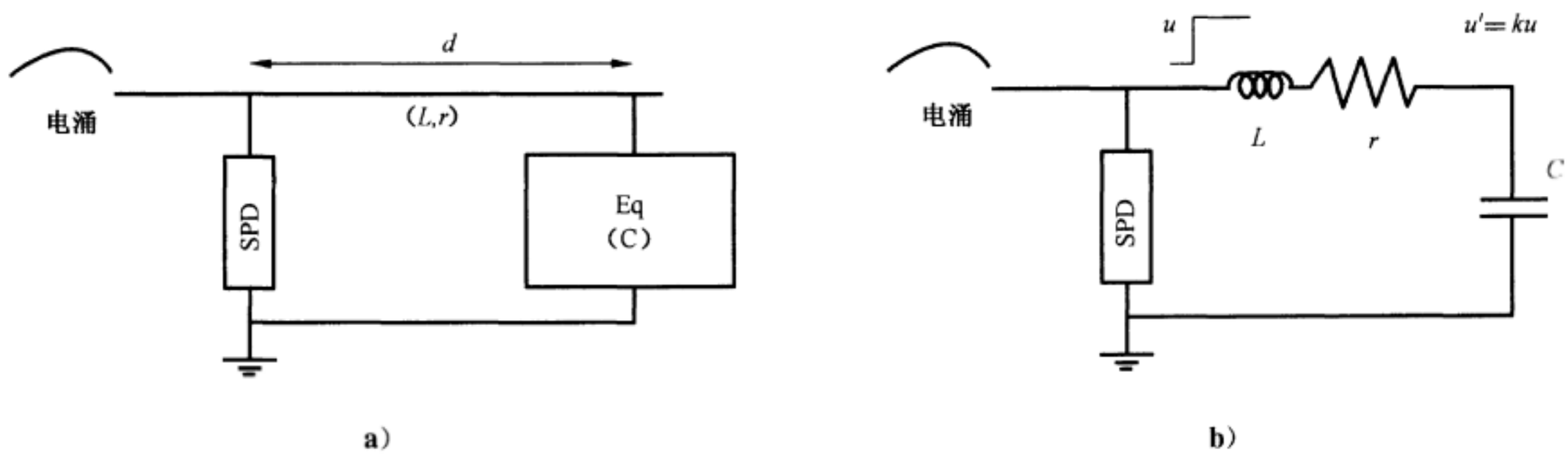


图 K.8 SPD 保护设备的物理和电的等效图

设备上出现的电压取决于电涌的频率和导体的长度。取决于 r 值,L 和 C 之间的振荡将设备端电压从 U' 提升到 kU。k 值取决于许多参数,实际上,当设备是一个高阻抗回路时,k 小于 2。

图 K.9 给的电路相当运用一个 5 kA 8/20 的脉冲电源加在 ZnO SPD 上,它与一个具有 5 nF 负载电容的设备是分开的。对这个电路进行了模拟,产生的响应见图 K.10。它展示了被保护设备端电压如何会较在 SPD 上的过电压高两倍。

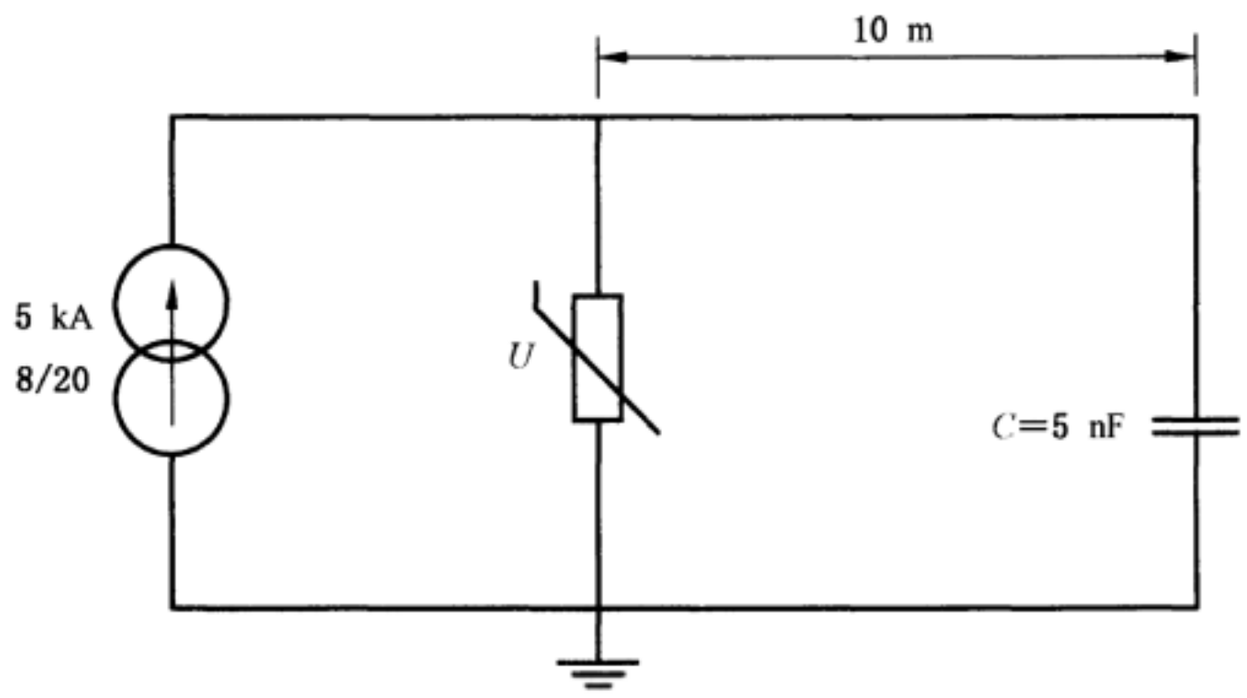
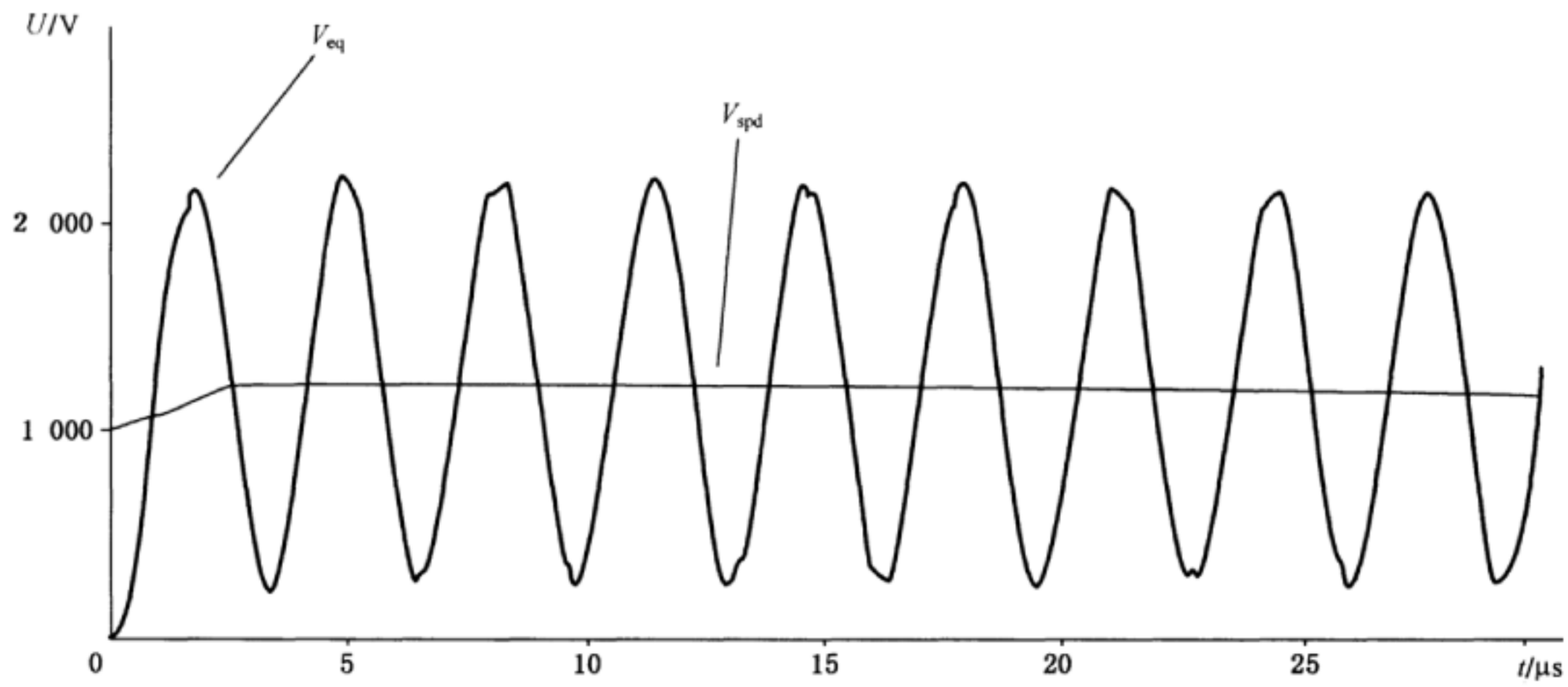


图 K.9 介于 ZnO SPD 和被保护设备之间可能的振荡



说明：

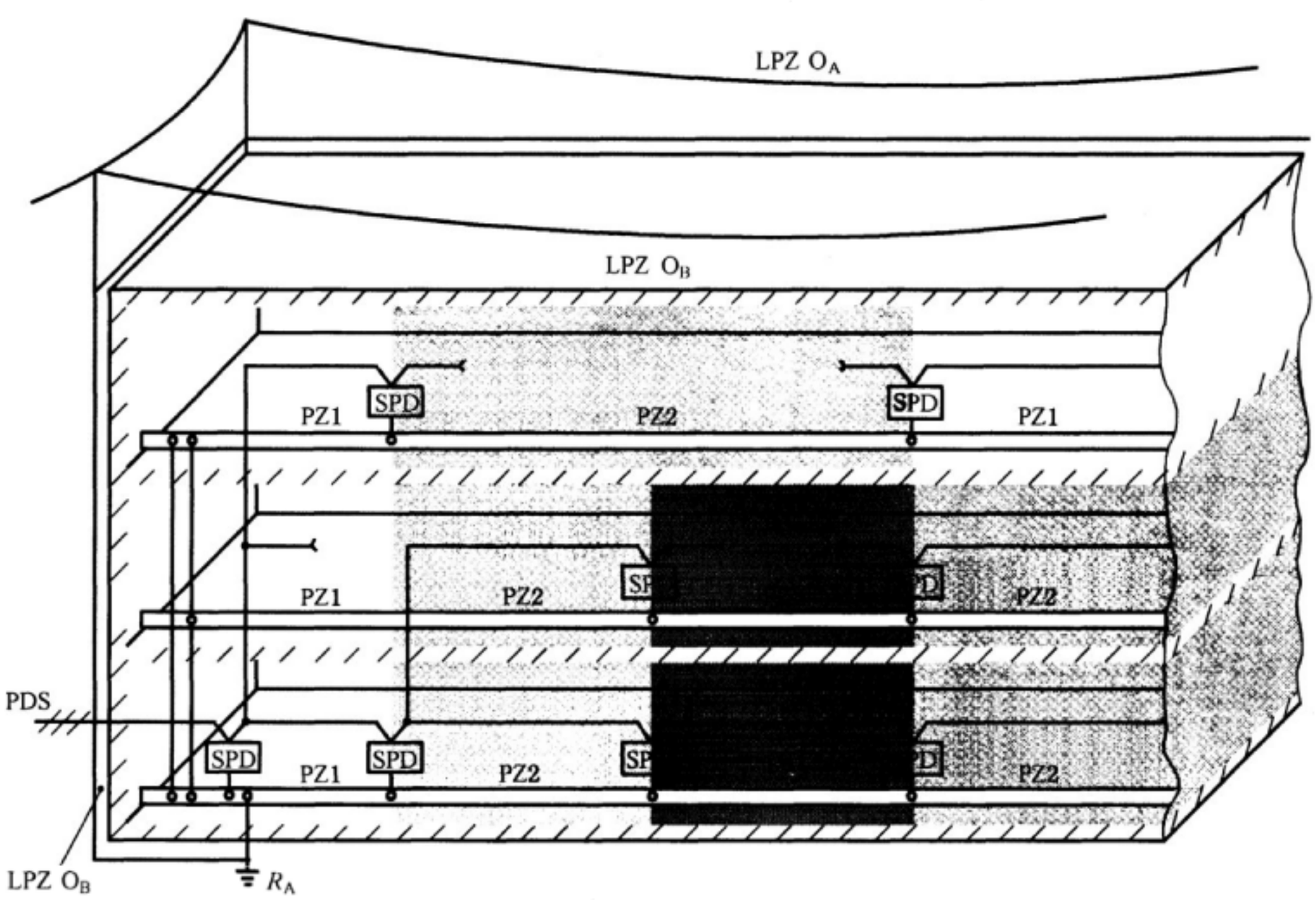
V_{spd}——SPD 上的电压；

V_{eq}——设备端子上的电压。

图 K.10　两倍电压的示例

K.1.3　保护区域概念[6.1.6]

图 K.11 根据 GB/T 21714.4—2008 直击雷防护要求，展示一个保护区内建筑配电系统和防雷保护电器的详细分布。



说明：

LPZ——雷电保护区；

PZ　——保护区；

PDS——电力配电系统；

SPD——电涌保护器。

图 K.11　建筑物内部保护区的细分

保护区定义如下：

——雷电保护区 O_A(GB/T 21714.4—2008)

遭受直击雷的区域，因此可能会承担全部雷电流。在此区域出现的电磁场。

——雷电保护区 O_B(GB/T 21714.4—2008)

不会遭受直击雷的区域，但会出现未衰减的电磁场。可能传导未衰减的雷电流和操作电涌电流。

——保护区 1

遭受到部分直击雷的区域，传导的雷电流和/或操作电流跟保护区 O_A或 O_B相比是较小的。

——保护区 2

跟保护区 1 相比其残余雷电流和/或操作电涌电流有所减小。

——保护区 3

振荡引起的电涌、耦合电磁场和内部操作电涌相对保护区 2 有所减小。

在保护区边界安装 SPD 将使传导来的威胁参数降低，SPD 之间的配合按 6.2.6 进行。这些电器的性能参数应和装置安装点的传导来的威胁参数相配合(见 6.2.1 和 6.1.5)。

注：假如根据 GB/T 21714.4—2008 要用 I 类试验的 SPD，则它应当安装在保护区 1 和 LPE OB 区的边缘。

根据 6.1.4 每安装一个 SPD，就创建了一个新的保护区。

K.2 SPD 的选择

K.2.1 U_c 的选择[6.2.1]

对大多数 SPD 来说，当暂时过电压持续时间超过 5 s 时，应当被视为永久性电压。因此，U_c 的选择应根据正常条件和超过 5 s 的故障条件(暂时过电压)来确定。

a) 正常条件

1) 相线和中线之间

在相线和中线之间 SPD 的 U_c 应比 U_{cs}高(通常为 $1.10\times U_0$，即 10%的电压调整率，假如考虑由于 SPD 的老化和其他不正常状况，再增加 5%的系数，则应取 $1.15\times U_0$)。

2) 相线之间

相间 SPD 的 U_c 应比 U_{cs}高(即为 $1.10\times\sqrt{3}\times U_0$)。

注 1：在某些情况下，根据电压调整限度(例如在巨大建筑，电压调整以入户表计为准)，U_{cs}可能大于上述限值(分别为 10%和 $10\%\times\sqrt{3}$)。

有时电压调整波动较小(如 5%)，这种情况下，取较低的值就足够(例如，U_c 可能仅比 $1.05\times U_0$ 高(相应于 $1.05\times\sqrt{3}\times U_0$)。

3) 相地之间或中线与地之间

- 对 TT 和 TN 系统，介于相和地或中线和地之间的 SPD 的 U_c 应比 U_{cs}高(通常 $1.10U_0$)；
- 对 IT 系统，见下面所述的不正常条件：

注 2：假如电压来自一个二次带中间抽头的变压器，则 U_c 有两个值，一个 U_c 为 $1.0\times U_{cs}$，另一个为$\sqrt{3}/2\times U_{cs}$。

由于存在谐波，工作电压的峰值也会增高，因此有必要提高 U_c 的值，使其比没有谐波时 U_c 的值高。

b) 非正常条件(故障条件)

有时在选择接在相和地之间 SPD 的 U_c 时，有必要考虑到具体的故障条件，这样做可以避免当系统故障时，损坏过多的 SPD。对于 IT 系统，注意这种故障条件是很重要的。

TT 和 TN 系统在接地故障条件下，相和地间的电压可能会超过 U_{cs}，这是由于高压系统或低压系统的故障条件下，电压最大幅值取决于接地情况。与此相关的资料见 4.1.3.2。那么 U_c 的选择就应根据故障条件下的实际电压值。它不可能用一个足够高的 U_c 去保证系统故障时不损坏 SPD，因为这样的话，保护水平将会很差。一般情况下，合适的 U_c 值比 $1.5U_0$ 高，与系统布局无关。

对于 IT 系统的接地故障，相和地之间的电压为$\sqrt{3}\times U_0$，这种故障在低压系统中由于持续时间较长可能被当做一个永久状况考虑。

此种状况，建议 U_c 高于相-相电压。

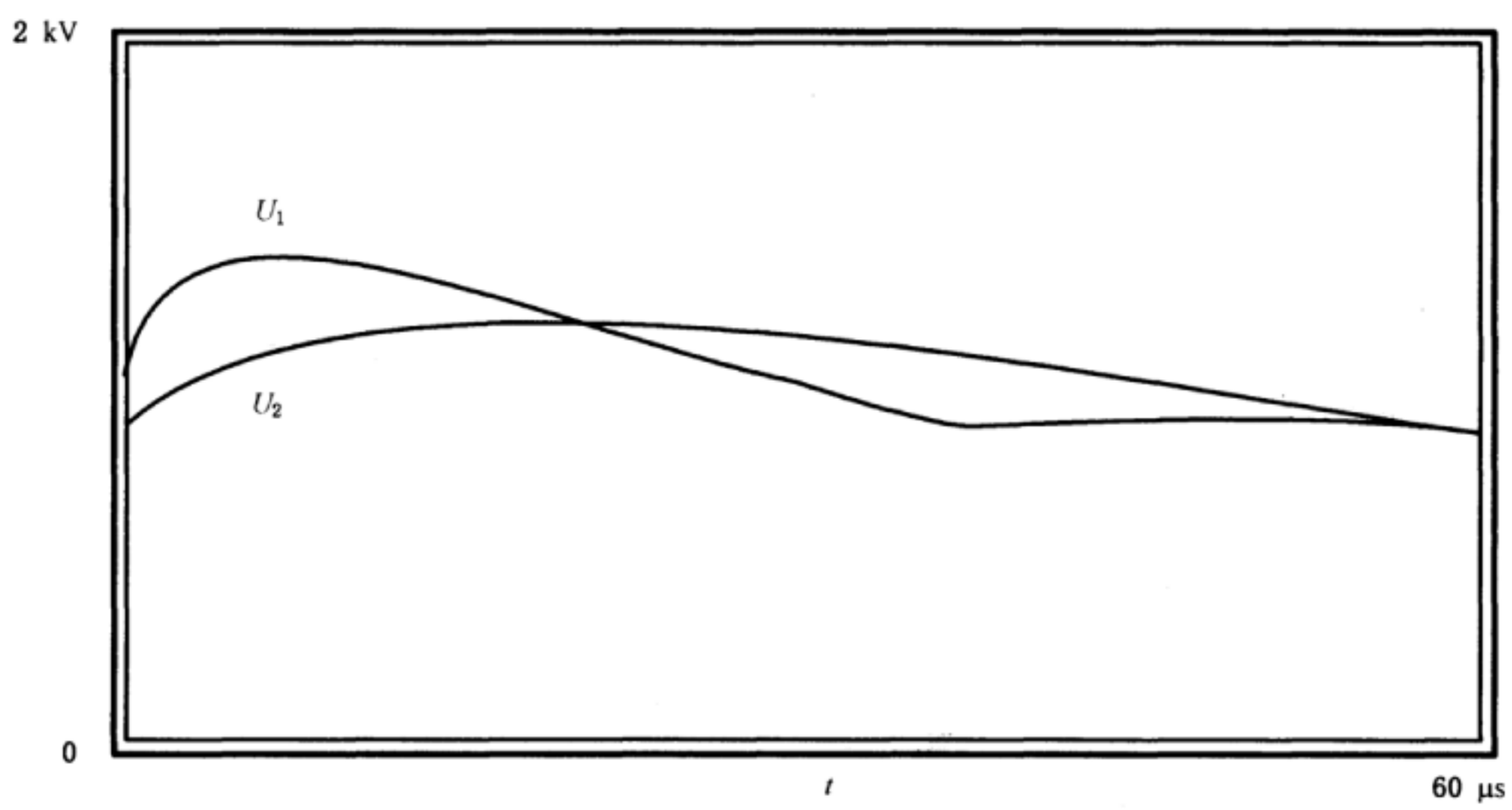
SPD 的 U_c 和电力系统标称电压之间的关系示例见附录 B。

K.2.2 配合问题[6.2.6.2]

为了较好地解释这个问题，图 K.12 是一个典型的用电感分隔两个 ZnO 压敏电阻的配合示例。SPD2 具有较低的 U_p 和 I_n 值。由于电感的作用，在电涌波前大部分电涌电流都流过了 SPD1，SPD2 的电流将逐渐增加，增长快慢与电感和 SPD2 的特性给出的时间常数有关。这样，越来越多的总电流将随着时间的推移流过 SPD2。

图 K.12 表示的是全电流和通过 SPD1 和 SPD2 的电流和 SPD1 和 SPD2 上的电压。

——在这个应用中最大能量耐受 E_{max}是指 SPD 能够耐受而不劣化的最大能量，它能通过试验结果获得（Ⅰ类试验 I_{imp}或Ⅱ类试验 I_{max}的动作负载试验中的能量测量）或根据制造厂资料如 I_{max}（Ⅱ类试验）或 I_{peak}（Ⅰ类试验），$U_{res}(I_{max})$或 $U_{res}(I_{peak})$计算得出。



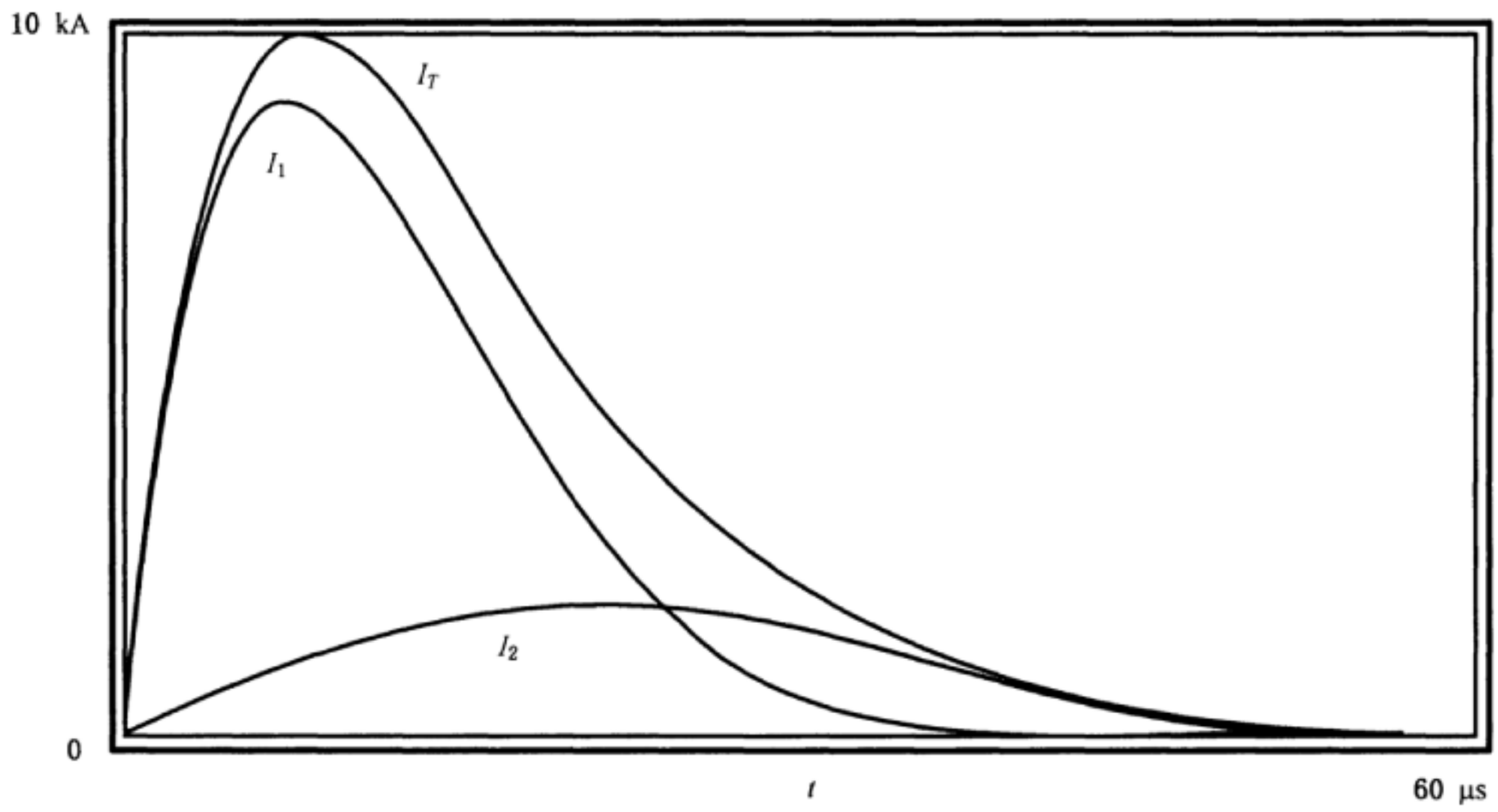
说明：

U_1——第一级 SPD 端残压；

U_2——第二级 SPD 端残压。

a） ZnO 压敏电阻残压

图 K.12 两级 ZnO 压敏电阻的配合



说明：

I_T ——总电流；

I_1 ——第一级 SPD 端电流；

I_2 ——第二级 SPD 端电流。

b） 两级 ZnO 压敏电阻之间电流分配

图 K.12（续）

两个 SPD 之间的线路距离为 d，其相对应的阻抗 Z 可以当作一个去耦元件。

——对于限压型 SPD，去耦合阻抗通常仅影响短波（如 8/20）。对长波（如 10/350）这种由于线路造成的去耦阻抗几乎没有影响。可能需要附加的去耦元件来提供适当的协调。

——如果前级 SPD 是开关型，必须考虑下列两种特性：

- 可能会有一个盲点，该处电流低于 I_{imp}，间隙端子间电压很低，以至于间隙不放电，因此它就不能保护第二个 SPD，间隙在电涌波前时段放电是很重要的；
- 对长波前时间，去耦合元件所起作用不如在 8/20 或 10/350 下有效，目前 TC 81 正在研究长波前时间情况。

通常有必要处理两种电涌的配合问题：

——长波电涌的配合（例如对 Ⅰ 类试验）；

——短波电涌的配合（例如对 Ⅱ 类试验）。

注：应当强调，两个配合的 SPD 最大能量耐受至少等于两个 SPD 中较低的能量耐受值。当一个新 SPD（SPD2）连接到一个已有 SPD（SPD1）的系统时，必须保障两者正确配合。

K.2.3 应用情况[6.2.6.3]

在一个装置中，整体配合总是比上述简单示例复杂的多，事实上：

——导线长度或像脱离器这样的附加器件的存在可给系统叠加一个电感。多个 SPD 之间电流的分配也需要研究⇨需要了解实际的安装方案。

——因 SPD 中元件性能的差异可导致在任何特定电流下残压的实际值不确定。另外，通常从制造厂中获得的值是保护水平 U_p，使用时应考虑一个裕度，即：实际电压可比标称值低约 25%。

——对长波和短波，SPD 的能量耐受 E_{max} 是不同的。通常，这个值仅由试验类别给出（Ⅰ 类⇨长波，Ⅱ 类⇨短波）。有时，能量耐受没有明确给出，需要计算。

附 录 L
（资料性附录）
风 险 分 析

如果保护的成本（如下 E 组所定义）小于因电涌造成设备（如下 A 组～D 组）损坏的维修，建议使用 SPD。

L.1 A 组——环境

A1 雷击方式和密度 N_g（每年地面着雷密度，数值为雷击次数/(km^2 · a)，见 4.1.1 和 1.1）

——直击建筑物雷电保护系统（LPS）或电源和通信线路；

——电阻或电感的耦合。

风险分析需要考虑所有类型的直击和绕击雷引起的感应能量，包括进入雷电保护系统、电力线，金属电话线、数据电缆、射频电缆、波导管和进入非电力导体如水管。假若无金属导体穿过保护区，光纤电缆通常不受影响。

A2 电源——开关方式及频率

接近或在同一回路上的作为电源开断的电子设备，如发动机控制器，同样会因瞬态载荷可能会损坏或劣化，另外，由于电源使用的操作，系统故障或负载处的内部干扰也会产生瞬态过电压。

A3 暴露和与周围建筑的 LPS 的耦合

损坏会通过雷电流瞬态偶合施加到周围建筑或设施的 LPS，包括地电位升高伴随着电流的消耗。通常，通过电缆线路来分配能量，并不受用户控制，能量的消耗是与当地网络接地电阻的大小有关。

A4 设施或建筑物的位置

——地形；

——相邻建筑和树的屏蔽作用。

在小丘或高山上面或旁边的设施比在山谷或较低位置相同的设施更容易遭受直击雷，类似地，装在高通讯塔上的装置同样有引雷危险，较小和较低位置的设施更容易得到相邻较高的物体的保护，然而这种保护不能阻止能量通过电缆进入设施。

L.2 B 组——设备和设施

B1 设备冲击耐受种类和抗扰水平

制造厂可以对电的和电子设备设计不同的冲击电压耐受水平。越低的保护水平，危险就越大。除非制造厂另有建议，否则最好的办法是假定设备没有任何专门的抗扰措施。正确的保护设计是希望最大能量转移到在电缆入口处和最少的能量向前传送到设备。

B2 接地系统

——接地电阻和阻抗；

——布局和邻近；

——联接到另一个接地系统。

最重要的是通过电流或 SPD 接地棒组成的等电位接地系统。

分开的接地系统应慎重考虑。

B3 电力系统布局

——架空的；

——地下的；

——两者都有。

虽然埋设 LV 电缆比架空线有较少雷击危险，但雷直击地下电缆附近时也能引起较大的过电压，高阻值的土壤中尤为明显。设计者应考虑埋设电缆的长度，无论是电缆离雷击位置有一定架空距离，还是离 MV 电力公用网络有一定的架空距离。对于 LV 和 MV 电力线，总长度和重量是一个相关的参数，较长较高的线遭受雷击的危险更大，并会将雷电能量传入设施或建筑物。

L.3 C 组——经济和服务中断

C1 服务劣化或服务损耗

破坏和损坏使业务难以进行。服务劣化可能有一个定性要素，即对直接的财政损失是额外的。例如：大范围使用自动化和计算机化是解决人工操作的一个办法，但实际上是不可能的。

C2 工作损耗

这包括设备、计算机、通讯和信息技术系统无效服务的实时费用及营业税收和/或商业生产力有关的损失。临界系统例如紧急装置，某个中央信息系统可以有与工作损耗有关的非常高的直接或间接的费用。

商业企业系统停工时，会损失收入，在期望时间内修复和恢复操作将依靠职员的能力、备用品、程序和信息。

C3 设备或设施的修理和替换

物理损坏的花费包括设备替换和直接、间接的重新安装费。设备部件的逐渐劣化可能会由于低幅值持续脉冲引起设备表面随机故障。在失效时不可能立即伴随或有直接的雷电冲击或者操作事件。用于例行的或预防的保养维修费用的增加归结为这种累积作用。

C4 紧急措施

当出现设备损坏或人身伤害时应采用紧急措施，例如消防车、救护车或警察等，公司、个人或社会团体会遭受损失。火警系统和紧急通信系统的损坏必定降低这种装置的效率。通常，要求紧急措施的保护处在一个高水平。

L.4 D 组——安全

使用 SPD 时应考虑由绝缘损坏引起的人身安全问题。

设计者和安装者都应以人的安全为本，每个国家都应意识到职业健康和安全制度的重要性。

L.5 E 组——保护的成本

——装置的设计；

——材料和电器；

——SPD 的安装。

保护的成本包括 SPD、工程设计、管理和电力装置。

GB/T 21714.2—2008 提出了雷电电涌风险评估的方法。由设备开关操作产生的电涌的风险评估方法正在考虑中。

附 录 M
（资料性附录）
抗扰度与绝缘耐受

GB/T 17626.5—2008 描述了用来测试电子设备和电子系统对于电涌电压和电流的抗扰度的试验。这些被测试的设备或系统被当作是一个黑盒子，测试的结果根据以下标准进行判定：

a） 性能正常。

b） 功能的暂时丧失或者不需要操作人员就能恢复的性能暂时退化。

c） 功能的暂时丧失或者需要操作人员才能恢复的性能暂时退化。

d） 设备的永久损伤引起的功能丧失（意味着测试失败）。

然而，GB/T 17626.5—2008 的测试探究了相对较低的电涌对电子设备和电子系统的全部影响，包括设备与系统的永久损伤和破坏。还有一些其他的相关测试标准，这些标准没有这么关注功能的暂时性丧失，却更关注设备的实际损伤或破坏。GB/T 16935.1—2008 关注低压系统中的设备的绝缘配合，IEC 61643-1 是低压配电系统的电涌保护器测试标准。另外，这两个标准都关注暂时过电压对设备的影响。GB/T 17626.5—2008 和 GB 17626 系列中的其他标准并不考虑暂时过电压对设备和系统的影响。

永久性的损伤往往是不允许的，因为它会导致系统的停机并花费昂贵的修理或者更换费用。这种类型的故障往往是因为电涌保护不充分或者没有电涌保护，并因此导致高电压或者过电流侵入设备的电路中，造成运行的突然中断、组件故障、永久的绝缘击穿以及起火、冒烟或者电击的危险。然而，任何的功能丧失或设备和系统的性能退化也是不希望发生的，特别是在电涌影响下必须运行的关键设备或系统。

对于在 GB/T 17626.5—2008 中所描述的测试，施加电压测试水平的幅值（安装类别）和得到的电涌电流和对设备的响应有着直接的影响。简而言之，电涌电压等级越高，功能丧失或退化的可能性就越高，除非设备已经设计有合适的抗电涌能力。

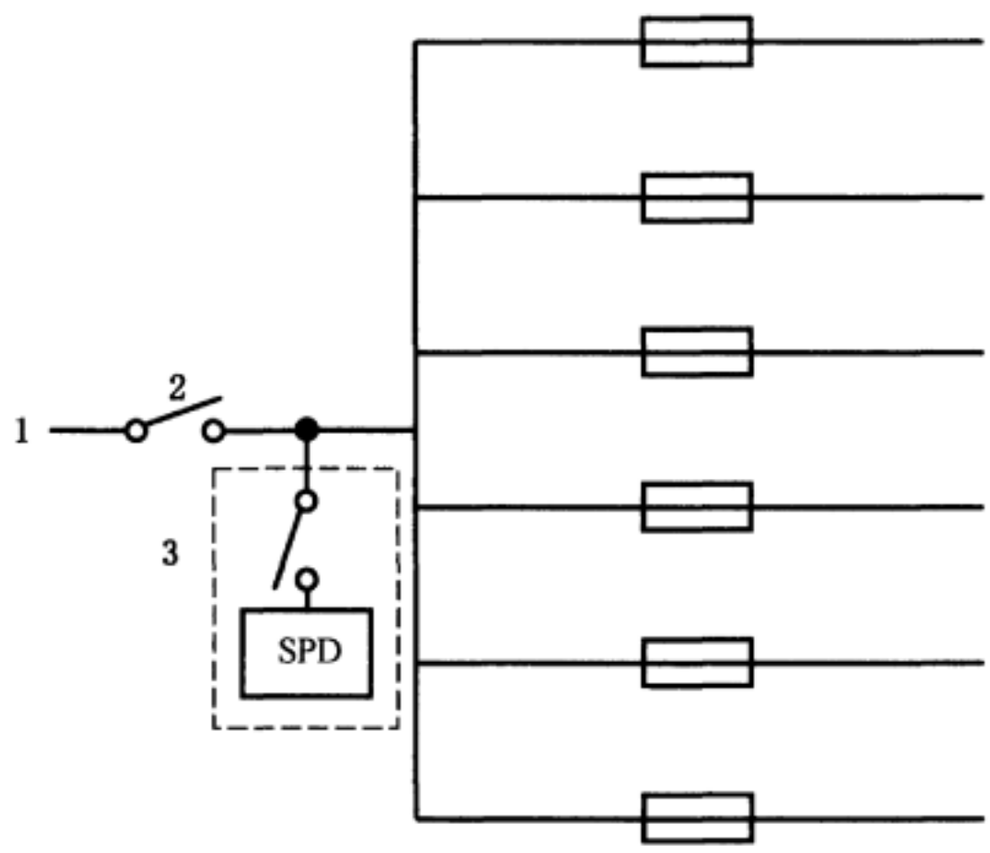
为了测试用于低压电力系统中电涌保护器（SPD），IEC 61643-1 的Ⅲ类试验指定了一个带有 2 Ω 虚拟阻抗的组合波发生器，能产生一个 8/20 的短路电流波形和一个 1.2/50 的开路电压波形。GB/T 17626.5—2008 使用相同的组合波发生器来对加电设备和系统进行抗冲击测试，但使用不同的耦合元件，有时也串联一个额外的阻抗。这个标准的电压测试水平（安装类别）的含义和 IEC 61643-1 的开路电压 U_{oc} 的峰值是等效的。这个电压决定发生器端口的短路电流的峰值。由于测试方法的不同，测试结果不能直接进行比较。

设备或系统的抗电涌能力可以通过内置的电涌保护元件或电涌保护器（SPDs），或者外部的 SPD 获得。选择 SPD 最重要的准则之一为 IEC 61643-1 所定义和描述的电压保护水平 U_p。这个参数应该与 GB/T 16935.1—2008 中设备的耐受电压 U_w 相配合，而且应该是在特定条件下所测试的 SPD 端子间所期望的最大电压值。在这个标准中 U_p 只是用来与设备的耐压 U_w 相配合。在相关电应力下电压保护水平的值应该低于在 GB/T 17626.5—2008 中测试的设备的相关电应力下的电压抗冲击等级的值，但是现在不能进行阐述，因为在两个标准之间的波形并不具有可比性。

总体上说，GB/T 17626.5—2008 中设备的抗冲击等级要比 GB/T 16935.1—2008 中的绝缘耐受等级低，然而要考虑 GB/T 16895.10—2010 中暂时过电压对有过低防护等级的 SPD（或内置的冲击防护元件）的影响。因此，非常有必要选择一个用来防护设备发生故障，保持设备在电涌影响下正常运行和耐受大部分暂时过载状况的 SPD。

附　录　N
（资料性附录）
在一些地区中配电盘上安装 SPD 的示例

图 N.1～图 N.5 描绘了一些国家中配电盘上的 SPD 的典型安装。正如本部分的前述，确保导线最短和 SPD 的耐受短路电流与配电盘安装位置的预期短路电流 I_{sc} 相适应是十分重要的。



说明：

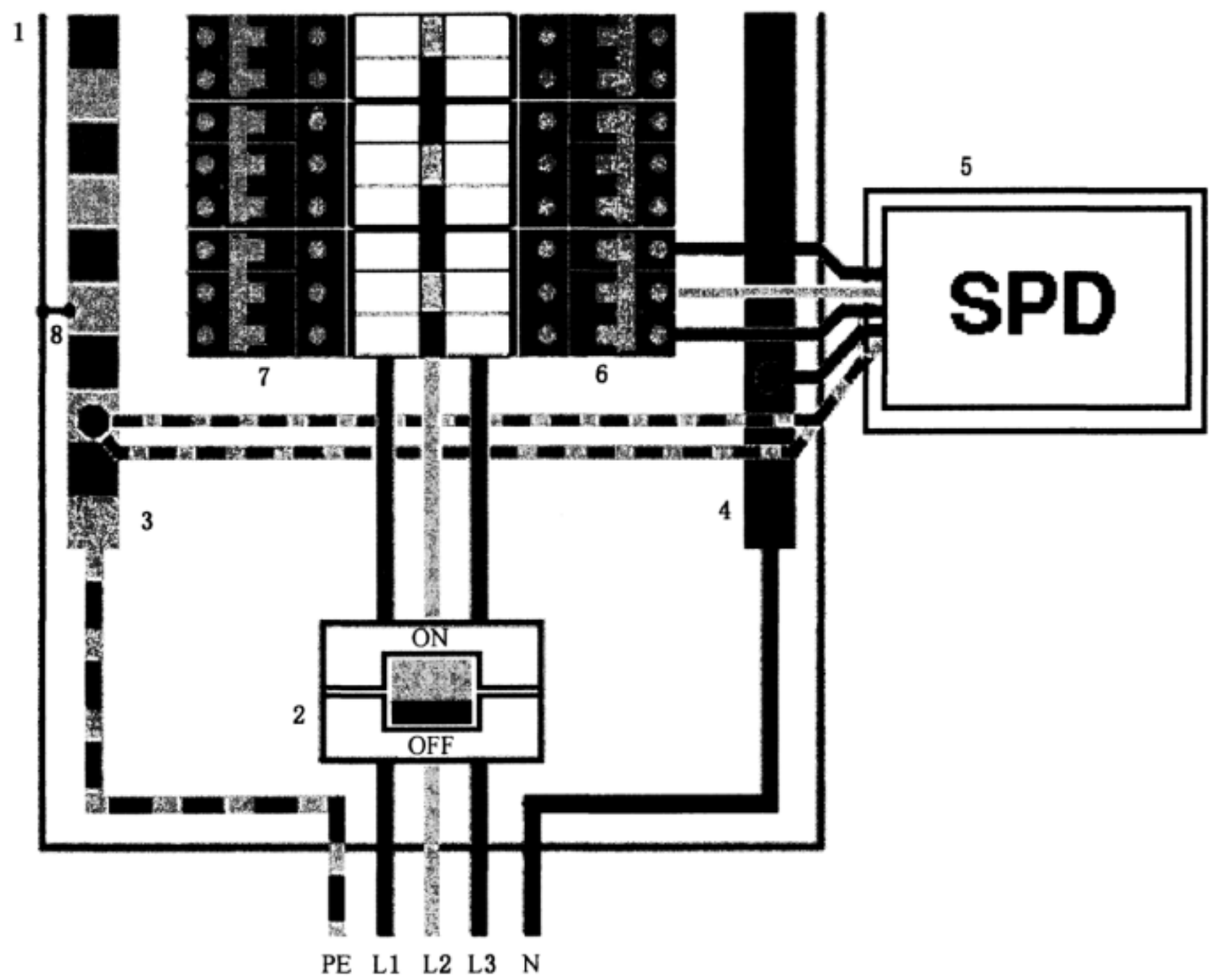
1——供电进线；

2——主开关（在某些国家叫隔离开关）；

3——SPD 及其脱离器（可能安装在 SPD 内部）。

图 N.1　通过单独隔离开关（可安装在 SPD 壳体内）连接至总开关负载侧的 SPD 的电路图

使用这样的一个脱离器是很实用的，因为它不用断开主开关就可以把 SPD 脱离出来，例如当进行装置的绝缘耐受试验（一些国家也称作闪络试验）时 SPD 就需要被脱离出来。



说明：

1——配电盘；

2——主开关(主隔离开关或主电路断路器(MCB))；

3——主接地端；

4——中性点端子；

5——SPD 壳体；

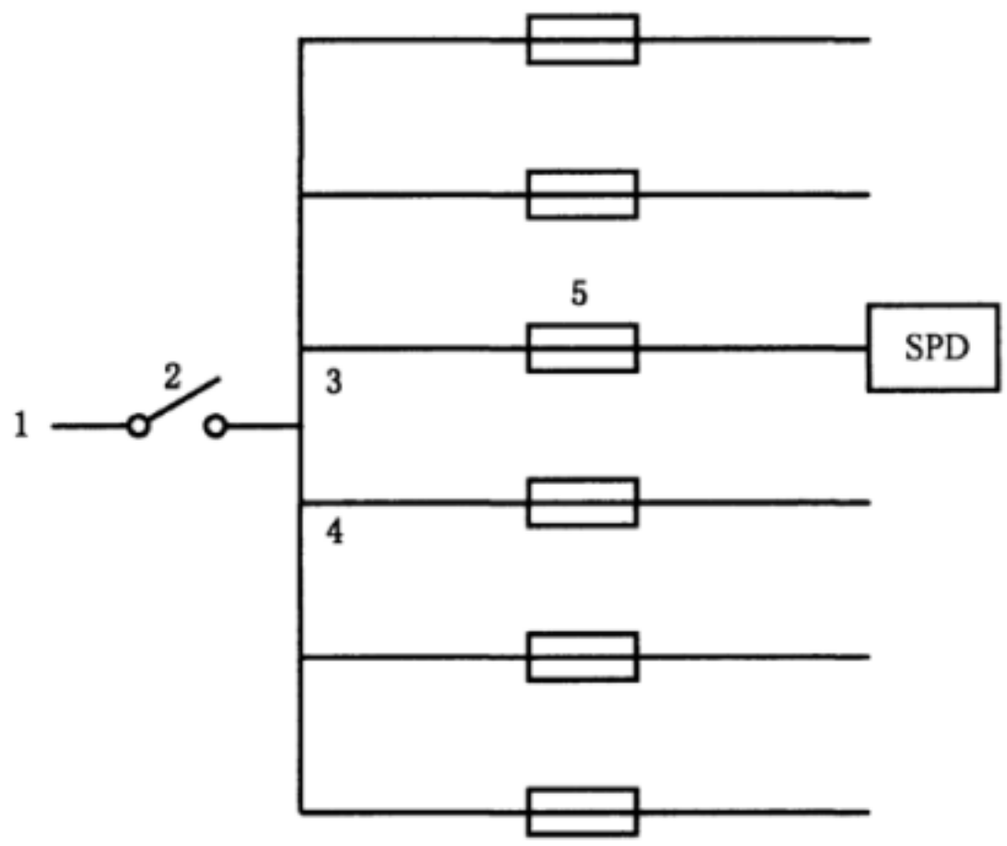
6——下端第一个熔断器盒；

7——可选择的下端第一个熔断器盒；

8——配电箱底座的交联。

图 N.2　与最近的可用 MCB 相连接的 SPD 连接至输入电源(在英国常见的典型 TNS 装置)

MCB 也提供了一种非常方便的方式来保护 SPD,同时也提供了一种隔离的方式。如果配电盘上没有足够的空间,那么考虑到电气安全,SPD 可安装在一个分开的壳体内。这个壳体应该直接安装在配电盘旁边,从而确保连接导线尽可能短。制造一个附加的接地线来进一步最小化连接导线上的电压降。



说明：

1——输入电源；

2——主开关(主隔离开关或主电路断路器,MCB)；

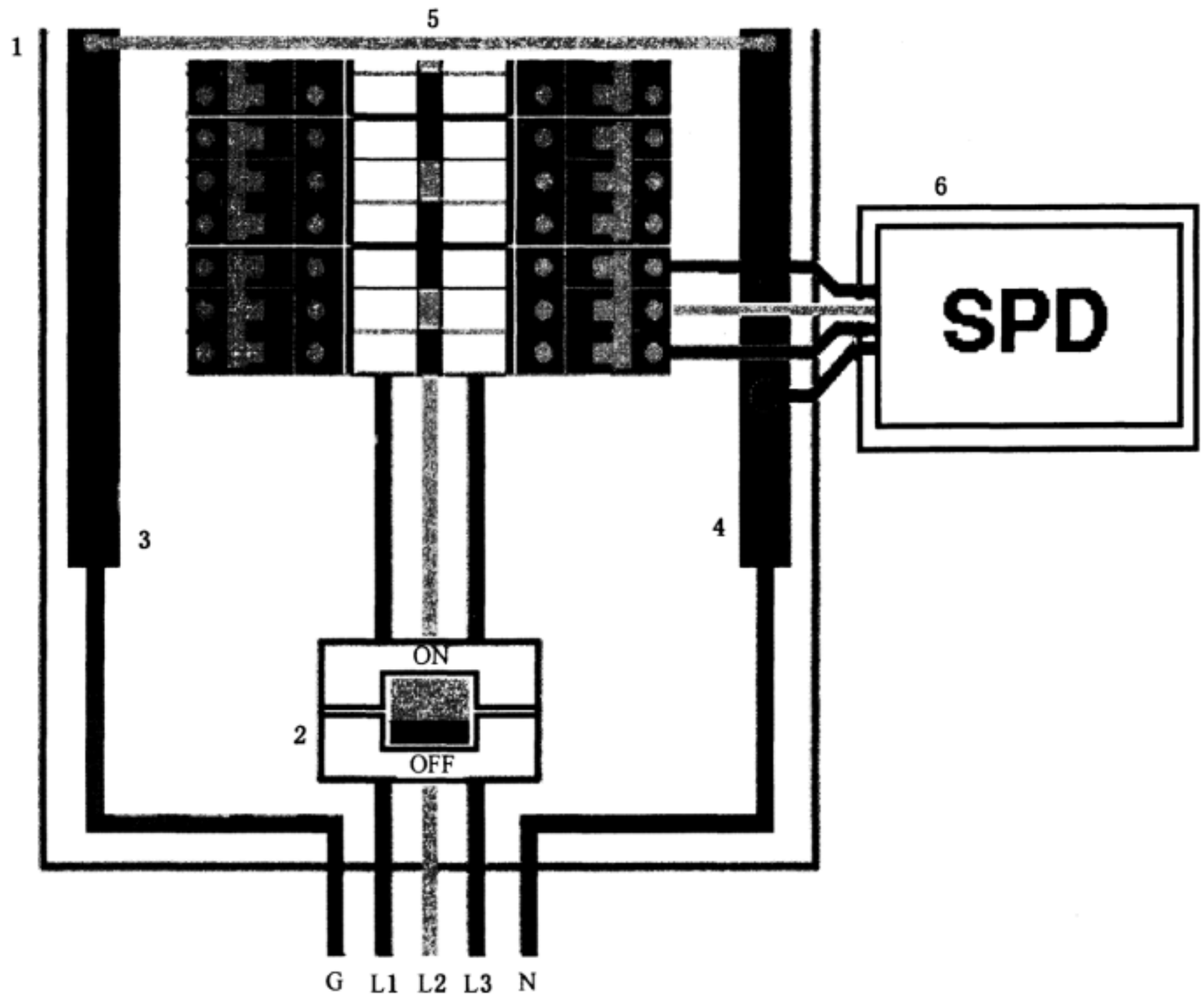
3——下端第一个熔断器盒；

4——可选择的下端第一个熔断器盒；

5——熔断器(或 MCB)。

图 N.3　在单相电路中 SPD 通过熔断器(或 MCB)并联在配电盘的第一条外接电路上的接线图

使用合适的熔断器(或 MCB)对于 SPD 的安装和使用都是非常方便的,因为它允许不断开主开关就可以将 SPD 脱离,例如 SPD 需要脱离出来进行绝缘耐受试验。熔断器的规格选择不应削弱 SPD 的冲击电流耐受能力,并与输入电源熔断器相配合。



说明:

1——主配电盘;

2——主电路断路器;

3——主接地排;

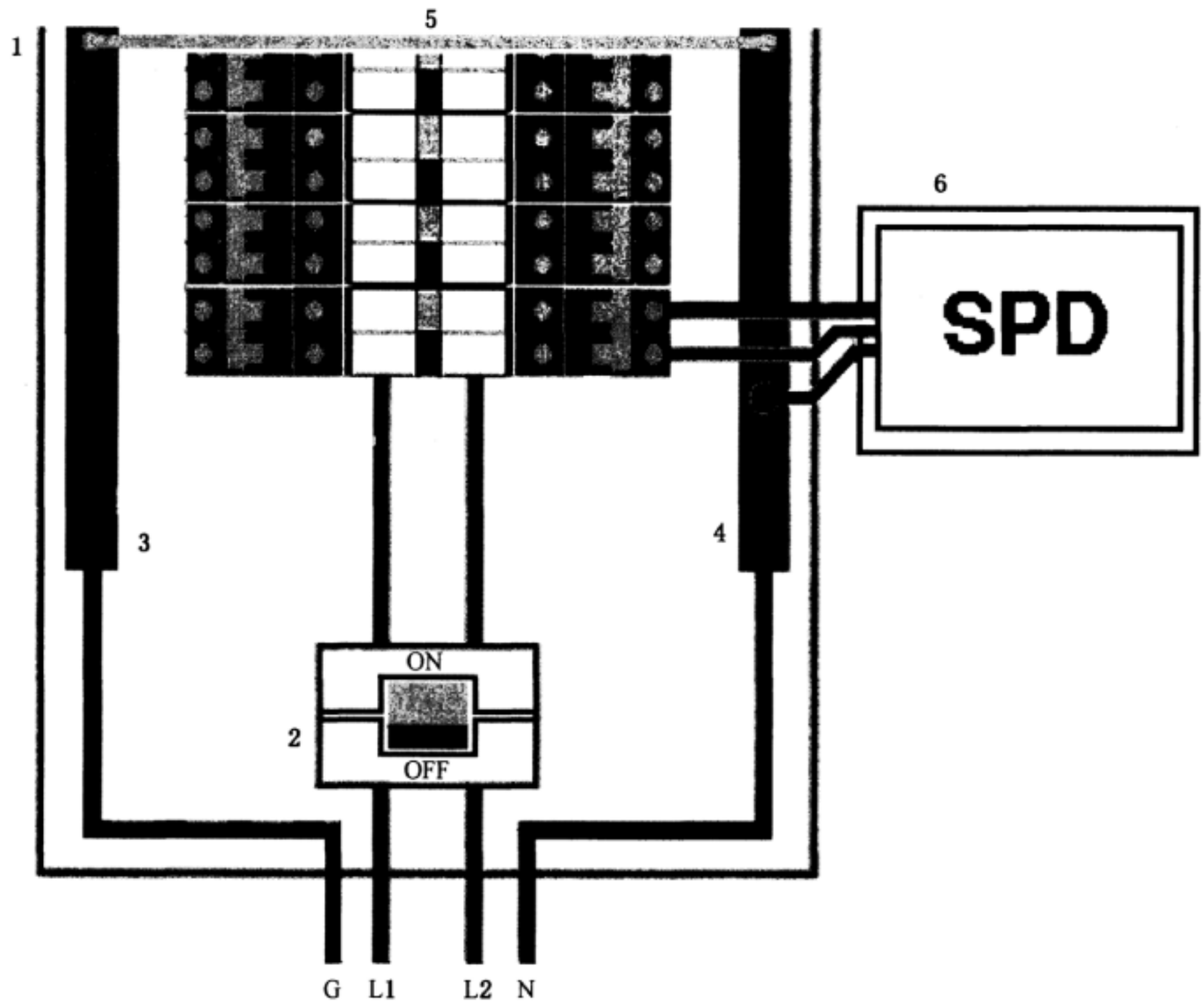
4——中性线排;

5——G-N(PE-N)连接点;

6——SPD 壳体。

图 N.4 SPD 与输入电源上最近的可用断路器相连接(美国三相 4W+G,TN-C-S 装置)

MCB 的负载端也提供了一个非常方便的连接点来通过熔断器连接 SPD。这样的布置也提供了维护中的一种隔离方式。如果配电盘内没有足够的空间,那么考虑到电气安全,SPD 可安装在一个单独的壳体内。这个壳体应该直接安装在配电箱旁边,从而保证连接的导线尽可能短。



说明：

1——主配电箱；

2——主电路断路器；

3——主接地排；

4——中性线排；

5——G-N(PE-N)连接点；

6——SPD 壳体。

图 N.5 SPD 与输入电源上最近的可用断路器相连接(美国单相(分离的)3W+G，120/240 V 系统——居民住宅和小型办公室的典型应用)

MCB 的负载端也提供了一个非常方便的连接点来通过限流熔断器连接 SPD。这样的布置也提供了维护中的一种隔离方式。如果配电盘内没有足够的空间，那么考虑到电气安全，SPD 可安装在一个单独的壳体内。这个壳体应该直接安装在配电箱旁边，从而保证连接的导线尽可能短。

在美国，根据国家电气规程(NEC)，NEC 定义的 SPD 的额定短路电流必须与在安装处预期故障电流相配合。

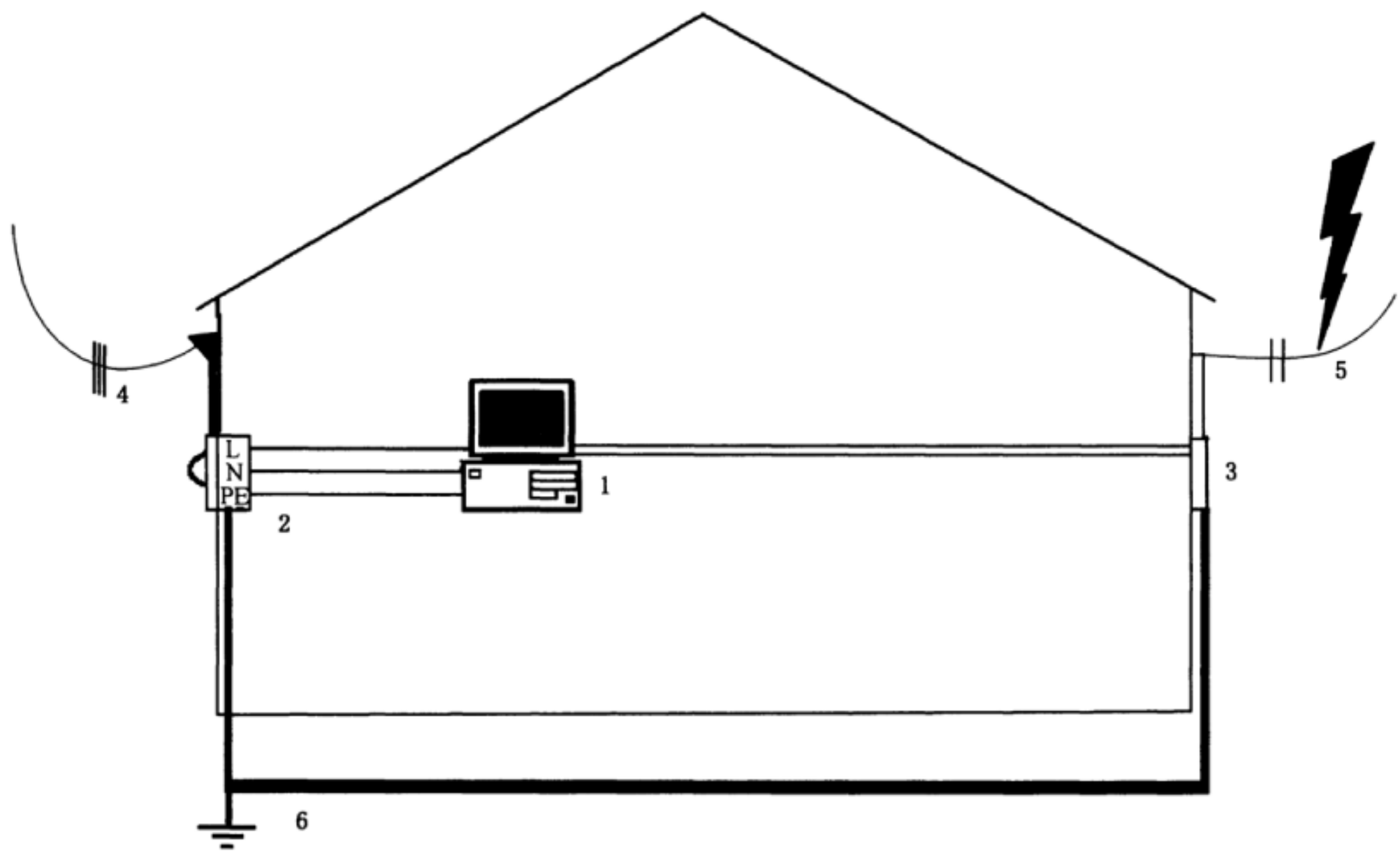
附　录　O
（资料性附录）
当设备具有信号端口和电源端口时的配合

为了描述当保护一个具有两种端口的设备的 SPD 未配合时可能出现的问题，举一个安装有调制解调器的个人计算机为例予以说明。

一个典型的系统可能由未配合的子系统组合而成，这些子系统因为电涌保护未配合而存在风险。尽管每个电源和通信系统可能包括了电涌保护，但是在电涌保护系统之间流动的电涌电流可能会造成个人计算机的电源和通信端口之间的电位差。取决于个人计算机/调制解调器的性能和抗冲击能力，该电位差有可能会导致个人计算机/调制解调器的损坏或者引起设备的操作失败。

第一个例子展示了问题是怎么发生的。这个例子是基于电源和远程通信系统。

在图 O.1 中一台个人计算机配备了一个调制解调器，调制解调器是通过连接一个包括接地导线的三线插座的支路供电。这个接地导线建立了电源面板上的底座的稳定参考电位。调制解调器的远程通信端口连接在自身位置处的一个金属通讯插座。这个插座连接着一个远程通信界面终端。这个终端面板一般位于建筑物的入口处并包含了远程通讯的 SPD。



说明：

1——带调制解调器的电脑或有分开的电源端和通信端的类似装置；

2——主配电盘，包括断路器和电源 SPD；

3——包含电信 SPD 的电信接口终端；

4——单相，3 线电源线；

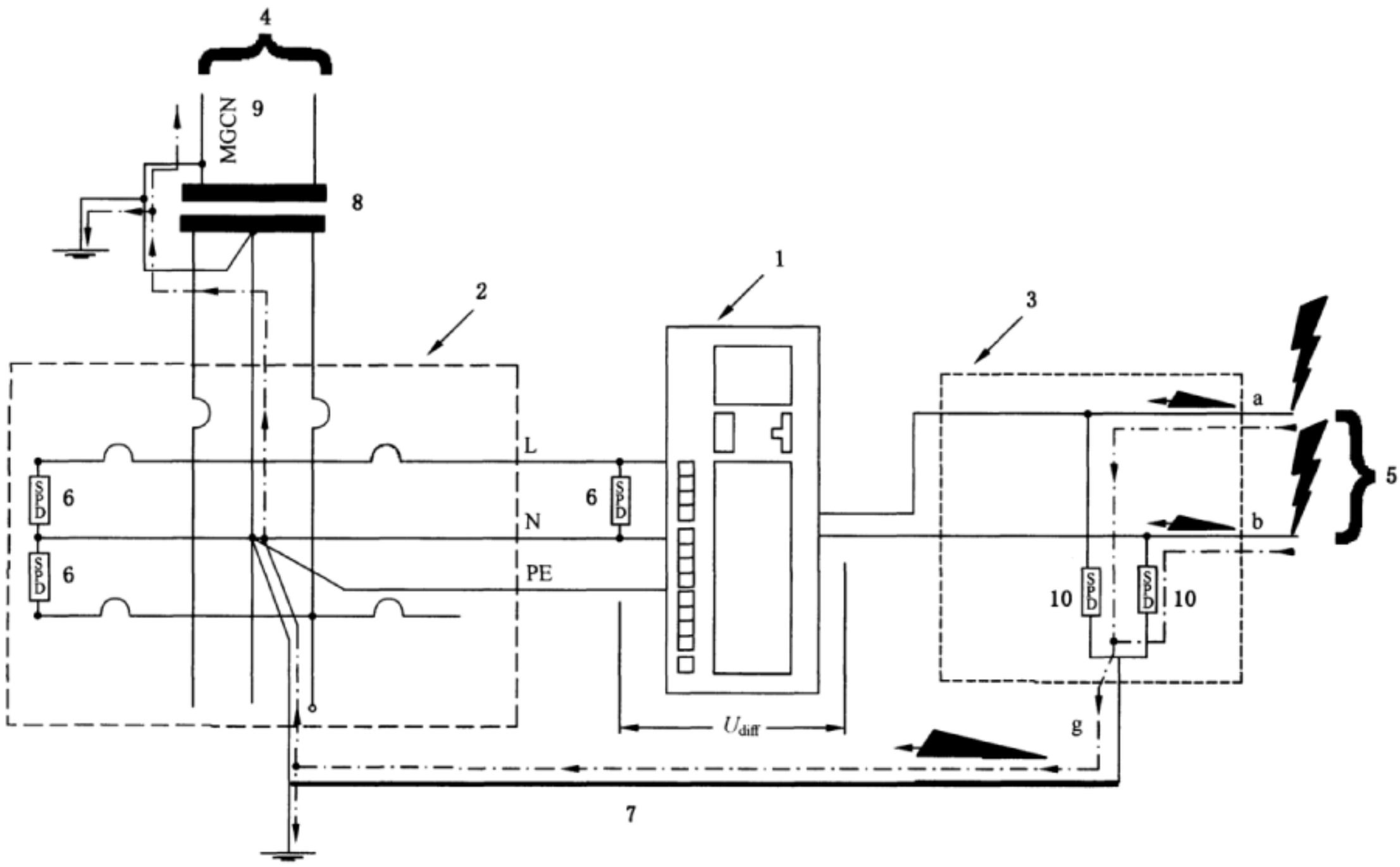
5——架空电信线路；

6——等电位连接系统。

图 O.1　美国电源和通信系统，带调制解调器的 PC 的例子

为了展示为电涌保护配合的效果和提出的解决方案的好处，在房间布线系统的全尺寸复制品上进行测量，包括在图 O.2 中展示的电源、通讯和等电位连接系统。通讯线以典型的方式进行走线，与等电

位连接系统保持一定的距离。



说明：

1 ——配备有调制解调器或者类似电子设备的计算机，调制解调器或者类似电子设备具有电源和远程通信系统有分开的端口；

2 ——主配电盘，包括断路器和电源 SPD；

3 ——包括了远程通信 SPD 的远程通信界面终端；

4 ——单相三线电源线路；

5 ——架空远程通信线路；

6 ——电源 SPD 元件：ZnO 压敏电阻；

7 ——等电位连接系统；

8 ——配电变压器；

9 ——MGCN：多点接地的公共中性点；

10——远程通信 SPD 元件：GDT。

图 O.2　用于试验性测试的电路原理图

图 O.2 给出了由于在电信接口部分的气体放电管动作，在通信电路中如何产生了一个电涌，导致产生加在 PC 上一个电压（电位差）U_{diff}。正如所看到一样，当电信接口部分的气体放电管动作时，电涌电流流入等电位接地系统，导致在通讯端口和 PC 电源端口之间产生了电位差。这是由于电涌电流 I_{surge} 流过水管时，水管电感 L 产生了电位差。产生的压降可以用以下公式计算：

$$U = R \times I_{surge} + L \times dI_{surge}/dt$$

式中：

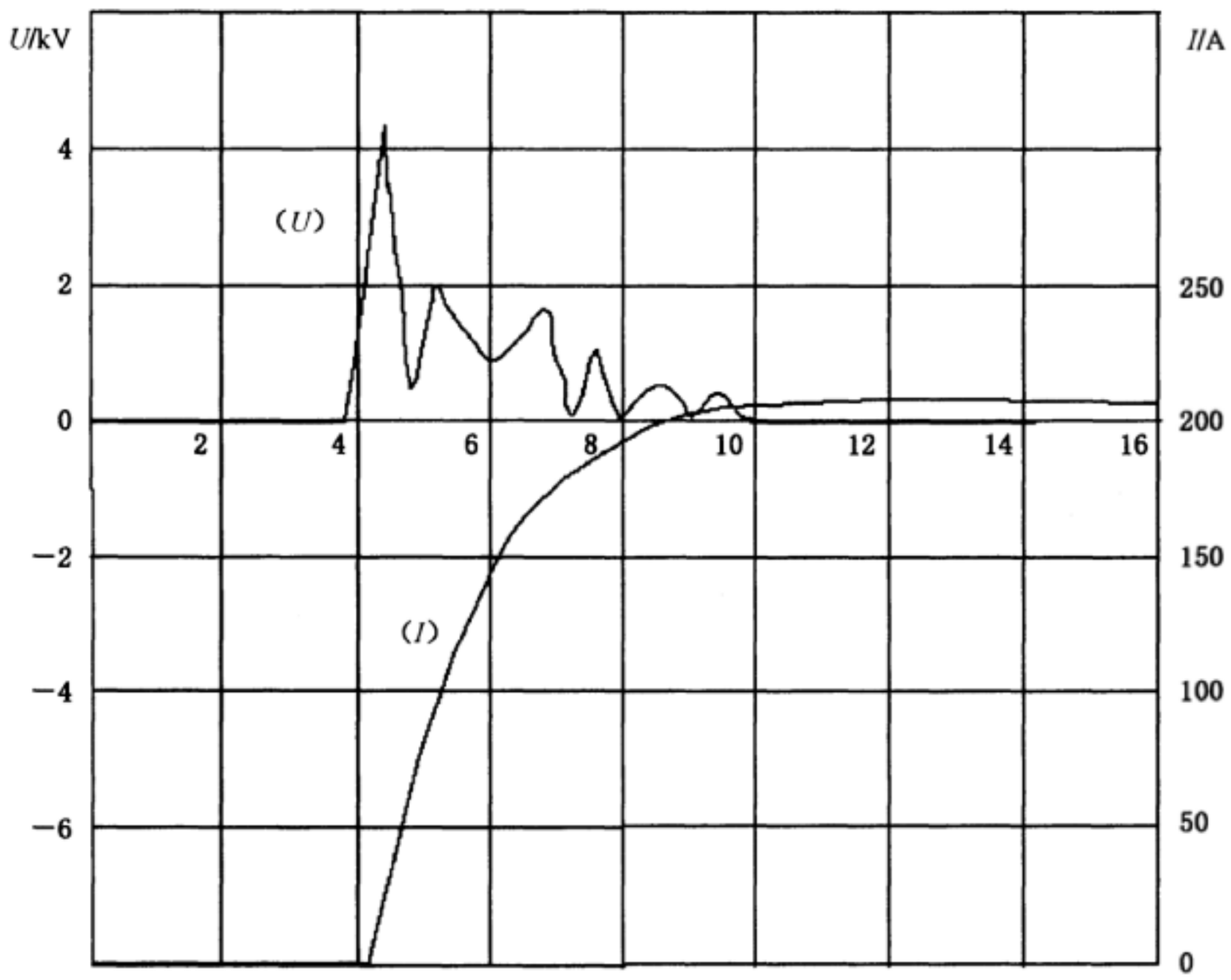
dI_{surge}/dt ——流经水管的电流的时间变化率；

L ——水管电感加通信端口和等电位接地系统之间的接地电缆的电感。

图 O.3 显示了当从通信接口注入通讯业标准指定的冲击时得到的记录。对于 75 A/μs 的电涌电流变化率，回路中可感应得到峰值为 4.3 kV 的电压。这个感应电压会出现在个人计算机的两个端口之间（但是当然不能将计算机用于试验，这个回路应保持开路以便进行测量，没有必要把个人计算机放在

试验中的危险情况中)。

注：8/20 不是在通讯业使用的唯一标准脉冲。ITU 利用 10/700 电压脉冲和 5/300 的电流脉冲(100 A)，这可产生 10 A/μs 的电流变化率为。GB/T 18802.21 也使用许多不同的波形。



说明：

I ——通讯 SPD 上的电流：50 A/div，di/dt=75 A/μs；

U——通讯端口和保护接地导线(PE)之间的电压：2 kV/div，最大 4.3 kV。

水平时基：2 μs/div。

图 O.3 电涌过程中个人计算机/调制解调器的参考点之间所记录的电压

图 O.4 中描述了第二种实例。这描述一个电源(TT、相和中性点)提供了连接通讯线路的装置。对于两个网络等电位连接到本地的接地点，SPD 被安装在这些线路的入口处。为了研究这种情况，对一个实际的事例进行了仿真。这个事例中，两个连接点是不同的，而且被一个电感(相当于这两点之间的距离)所分开。另一个 SPD(二极管)也被直接连接在设备前面的通讯线路上。L2 是气体放电管 GDT 和二极管之间的距离，L1 是通讯线路连接点和电源线连接点之间的距离。

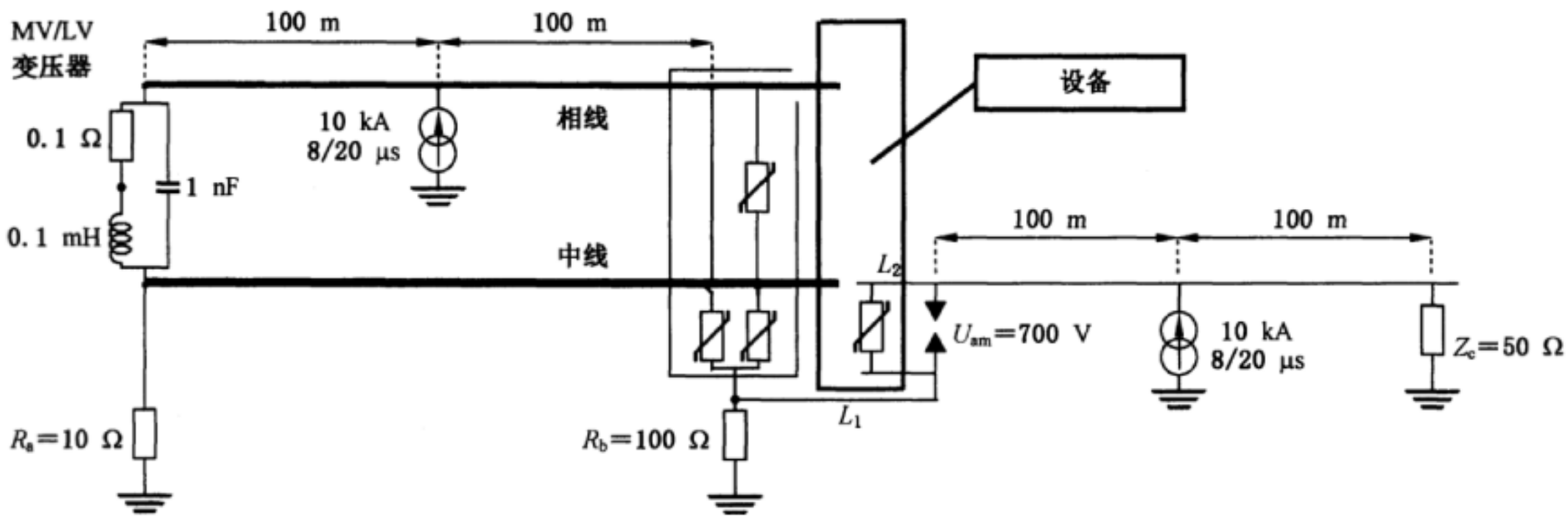


图 O.4 用于仿真的典型的 TT 系统

电涌电流对图 O.2 中远程通讯电路的影响已经通过计算机仿真进行了分析，而且已经得到了与实际测试相同的结果。变压器的高频模型和线路（两条线路都是 200 m）上的传播效应都被采用。电源的 SPD 是 ZnO 压敏电阻类型（限压元件），远程通信线路的 SPD 是一个气体放电管（开关元件）。

接地阻抗 R_b 和气体放电管的放电电压（U_{am}）是这次研究用到的参数。电源的 SPD（三种保护模式）标称放电电流为 10 kA 的，电压保护水平为 1.5 kV。

可得到以下结果：当 $L_1=L_2=10$ m，雷电击中电力网络时，长度为 L_1 的导线上有 12.5 kV 的电压降，当雷电击中通讯网络时，会有 35 kV 的压降。这个压降水平足以导致设备内产生闪络。

因此，即使两个网络都被 SPD 保护并且这两个网络都被连接到相同的接地系统上，也可能发生内部闪络。

为了使这些结果能够更通用，仿真的时候也要在两个网络上添加一些负载，结果是相同的。另外，也进行带有其他类型的网络（TN 和 IT）和不同电涌波形的仿真。

结果被归纳在表 O.1 中。

表 O.1 仿真结果

TN 系统	10 kA 8/20 浪涌侵入电源系统	10 kA 8/20 浪涌侵入通信线路
L_1 上的电压降	12 kV	35 kV
IT 系统，中相阻抗＝1 000 Ω	10 kA 8/20 浪涌侵入电源系统	10 kA 8/20 浪涌侵入通信线路
L_1 上的电压降	8 kV	35 kV
TT 系统	10 kA 8/20 浪涌侵入电源系统	10 kA 8/20 浪涌侵入通信线路
L_1 上的电压降	8 kV	23 kV

可以看出，关于设备闪络风险的结果与所有类型的电源系统相同。设备的最大耐受能力通常为 2.5 kV 左右，所以轻微冲击（只有 10 kA）产生的电压（8 kV～35 kV）大大超过了电涌耐受能力。

注：10 kA 10/350 对于通讯线路来讲是不切实际的。当冲击电流为 2 kA 时，线路就会融化，通讯网络的测量值大约为 100 A，但是使用 10 kA 的值主要用于电源方面和通讯方面的比较。

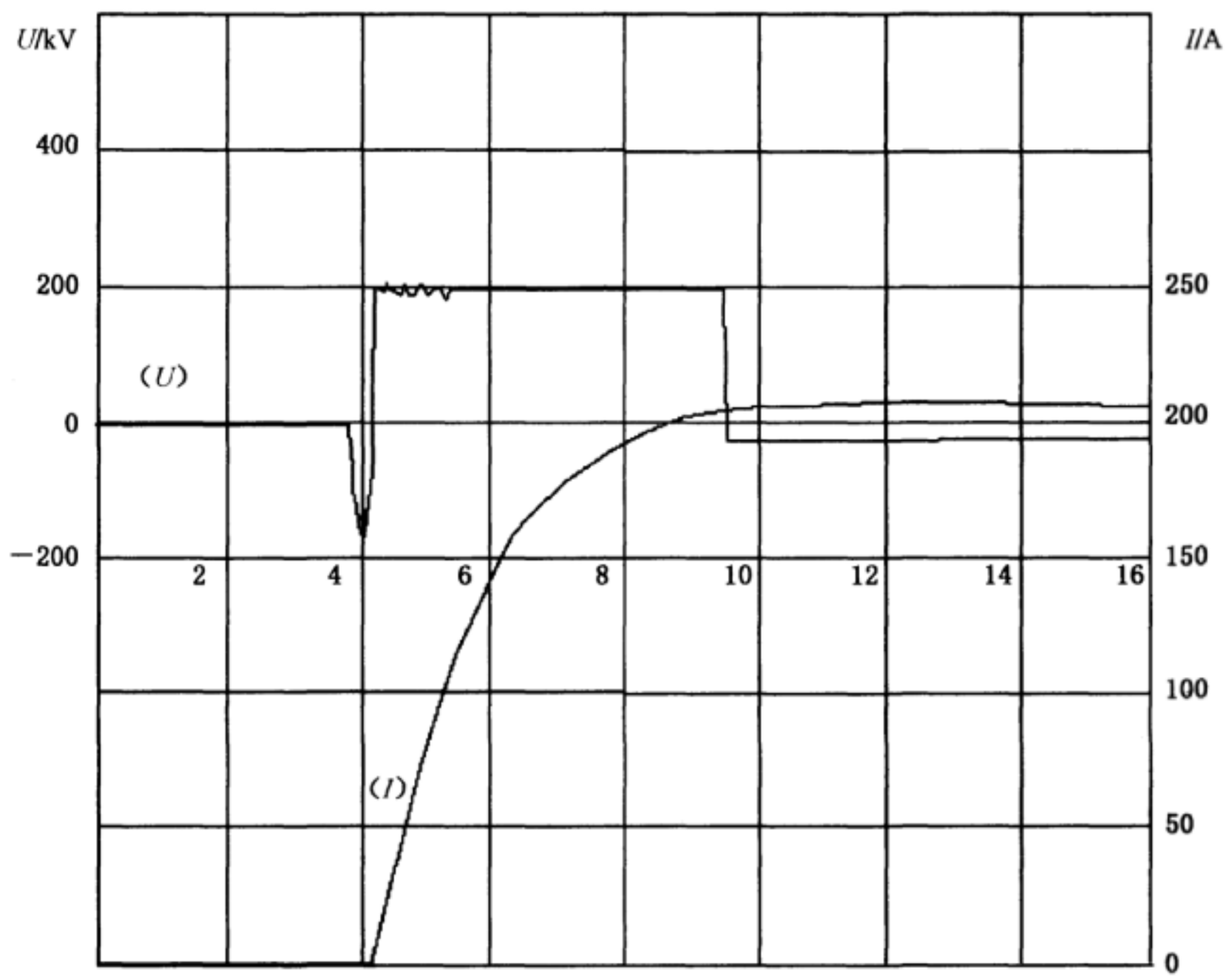
合理的解决方法

为了避免以上的问题，有两种可能的解决方法：

——找到电缆线路的另一种路径，从而减少各种的线路（上述例子中所描述的远程通信和电源线）之间的回路尺寸，同时也降低了电感 L。但是对于已经存在的建筑物来说，不是一件简单的事情。对于新建筑来说，单一入口连接点当然是最好的解决方法。

——在位于电源系统端子和共同连接点之间的设备的附近安装一个 SPD，在另一个系统（例子中的远程通信系统）终端和这个共同连接点之间的设备附近也安装一个 SPD。一般情况下，在一个单一方案中，这些设备包括电源 SPD 和远程通信 SPD，有时也称作“多用途的 SPD”。这样一个组合型的 SPD 包括对连接设备的所有线路的电涌保护，设备将用非常短的引线连接公共连接点。公共连接点必须连接到 PE 上。若公共连接点连接到 PE 上，则这个公共连接点可以是被保护设备的外壳。

图 O.5 展示了图 O.1 中描述的试验中的 SPD 的效果。图 O.5 应该与图 O.3 进行比较。



说明：

I ——侵入电信 SPD 的电流　$di/dt=75\ A/\mu s$；

U——保护体(PE)和电信端口之间的电压：200 V/div　最大 200 V。

水平扫描：2 μs/div。

图 O.5　多用途 SPD 应用于图 O.1 的电路时的电压和电流波形

附 录 P
（资料性附录）
短路后备保护和电涌耐受

P.1 简介

电涌电流不仅会流过 SPD，也会流过线路上的其他设备。这些其他设备包括后备过流保护设备和其他类型的故障电流保护设备。可能发生不希望的跳闸或熔断。了解这些设备的耐受能力对于防止这些元件限制装置的电涌处理能力是有用的。在本附录中，只给出了与熔断器有关的信息。对于其他的技术，实际的电涌耐受能力过于依赖于设备的类型。这就是为什么机械式断路器（CB）不在本附录的考虑之中，但是 SPD 或 MCB 的制造厂可提供与 SPD 相关的其他设备的信息，例如断路器（MCB，MCCB，RCD 等）。

P.2 8/20 和 10/350 单次电涌下熔断器的耐受性

用 I^2t 进行波形计算并且与熔断器生产厂商提供的 I^2t（1 ms）比较，是推测熔断器单次电涌耐受能力的一种可能的方法。

通过知道冲击的峰值就能够估算出冲击的 I^2t，见以下公式：

——对于 10/350 波

$$I^2t = 256.3 \times I_{crest}^2$$

——对于 8/20 波

$$I^2t = 14.01 \times I_{crest}^2$$

这里，I_{crest} 的单位为 kA，I^2t 的单位为 $A^2 \cdot s$。

例如：

——为了耐受 8/20，9 kA 电涌电流的单次冲击，后备保护熔断器必须有一个最小的弧前值，该值必须大于：

$$I^2t = 14.01 \times 9^2 = 1\ 134.8\ A^2 \cdot s$$

注：对于 32 A 的 gG 型圆管式熔断器的典型弧前值为 1 300 $A^2 \cdot s$。

——为了耐受 10/350，5 kA 的冲击电流的单次冲击，后备保护熔断器必须有一个最小的弧前值，该值必须大于：

$$I^2t = 256.3 \times 5^2 = 6\ 407.5\ A^2 \cdot s$$

注：对于 63 A 的 gG 型 NH 熔断器的典型弧前值为 6 500 $A^2 \cdot s$。

——一个具有 24 000 A^2t 的弧前值的新熔断器（100 A gG 型圆管式熔断器）能够耐受的 8/20 单次冲击电流为：

$$I_{crest} = \sqrt{\frac{24\ 000}{14.01}} = 41.4\ kA$$

P.3 预处理和动作负载试验的熔断器影响因素（降低系数）

在 IEC 61643-1 中描述的试验方法中，熔断器不仅要耐受单次冲击，还要耐受一个完整的序列（预处理试验和动作负载试验）。这些冲击能够降低熔断器的性能，从而降低了它们相对于单次冲击下的耐

受能力(见 P.2)。

为了能够通过所有的预处理试验和动作负载试验,试验显示中要在单次冲击耐受值的基础上乘以0.5～0.9 的降低系数。

需要考虑的三个主要因素:

——I_n 与 I_{max}或 I_{imp}之间的比例

预处理试验预处理是在 I_n(15 次冲击)下进行,而动作负载试验是在 I_{max}或 I_{imp}(0,1;0,25;0,5;0.75 和 1 倍 I_{max}或 I_{imp})的情况下进行。如果 I_n 值低于 I_{max}或 I_{imp}的峰值,由在 I_n下进行的预处理试验引起的老化与 I_{max}或 I_{imp}应力相比可以忽略。相反,如果 I_n 值接近或者高于 I_{max}或 I_{imp}的峰值,预处理试验的冲击不能够被忽略。

——与熔断器单次冲击耐受能力相比的绝对值

当 I_n、I_{max}或 I_{imp}值接近最大值 I_{crest}(见图 O.2)时,每次冲击熔断器性能就会降低;反之,如果它们与最大值 I_{crest}相差比较大,影响就可以被忽略。

——熔断器的偏差

熔断器生产厂家应该根据熔断器标准给出产品的偏差。这个偏差与真实的电涌耐受能力无关,也不能用于与之相关的计算。

P.4 熔断器单次冲击耐受能力降低系数估计范围的特殊示例

一个圆管式柱状 100 A 的 gG 熔断器假设能有 41.4 kA 8/20 波形的单次冲击耐受。

对于一个具有 I_{max}=40 kA 和 I_n=20 kA 的Ⅱ类试验的 SPD,经验显示这个熔断器不能够通过全部的预处理试验和动作负载试验。

正确的后备熔断器应是一个熔断值最小为 40 000 $A^2 \cdot s$ 的 125 A gG 的熔断器。从 P.2 中可以看出,一个最小熔断值为 40 000 $A^2 \cdot s$ 的熔断器能够耐受 53.4 kA,8/20 波单次冲击。

在这个示例中,熔断器的单次 8/20 冲击电流耐受最大值和通过全部测试的实际耐受值的比例为0.75。

在表 P.1 中,给出了一些遵循相同的分析得出的特征值,其中对于Ⅱ类试验 SPD,I_{max}是 I_n 的两倍;对于Ⅰ类试验 SPD,I_n 等于 I_{imp}。

表 P.1 单次冲击耐受能力和通过全部预处理/动作负载试验的耐受能力的比值的示例

熔断器的典型额定电流/A	典型弧前值,由 P.2 中的简化公式得到的电流峰值和实际试验值							
	Cyl gG				NH gG			
	弧前值	计算值	试验值	比率	弧前值	计算值	试验值	比率
	$I^2t/(A^2 \cdot s)$	8/20	8/20		$I^2t/(A^2 \cdot s)$	10/350	10/350	
25	800	7.6	5	0.66				
32	1 300	9.6	7	0.73				
40	2 500	13.4	10	0.75				
50	4 200	17.3	15	0.87				
63	7 500	23.1	17	0.73				
80	14 500	32.2	25	0.78				
100	24 000	41.4	30	0.72	20 000	8.8	5	0.57

表 P.1（续）

熔断器的典型额定电流/A	典型弧前值，由 P.2 中的简化公式得到的电流峰值和实际试验值							
	Cyl gG				NH gG			
	弧前值	计算值	试验值	比率	弧前值	计算值	试验值	比率
	$I^2t/(A^2 \cdot s)$	8/20	8/20		$I^2t/(A^2 \cdot s)$	10/350	10/350	
125	40 000	53.4	40	0.75	33 000	11.3	7	0.62
160					60 000	15.3	10	0.65
200					100 000	19.75	15	0.76
250					200 000	27.93	20	0.72
315					300 000	34.21	25	0.73

参 考 文 献

注：与引用相关的条款标识在下面的[ ]中。

[1] IEC 60038, IEC standard voltages.

[2] IEC 60364-4-42, Electrical installations of buildings—Part 4-42: Protection for safety—Protection against thermal effects.

[3] IEC 60364-4-43, Electrical installations of buildings—Part 4-43: Protection for safety—Protection against overcurrent.

[4] IEC 60999-1, Connecting devices—Electrical copper conductors—Safety requirements for screw-type and screwless-type clamping units—Part 1: General requirements and particular requirements for clamping units for conductors from 0,2 mm^2 up to 35 mm^2 (included).

[5] IEC/TR 61000-5-6:2002, Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 5-6: Installation and mitigation guidelines—Mitigation of external EM influences, under consideration.

[6] IEC/TR 62066:2002, Surge overvoltages and surge protection in low-voltage a.c. power systems—General basic information.

[7] IEEE C62.41.1, IEEE guide on the surge environment in low-voltage (1 000 V and less) AC power circuits.

[8] IEEE C62.41.2, IEEE recommended practice on characterization of surges in low-voltage (1 000 V and less) AC power circuits.

[9] IEC 61643-21, Low-voltage surge protective devices—Part 21: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks—Performance requirements and testing methods.

[10] IEC 61643-22, Low-voltage surge protective devices—Part 22: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks—Selection and application principles.

[11] Sharing of the current in case of direct strike to the structure [Annex I, I.1.2]

A. ROUSSEAU, P. AURIOL, A. RAKOTOMALALA, Lightning distribution through earthing systems, Hobart Lightning Protection Workshop, 1992.

H. ALTMAIER, D. PELZ, K. SCHEIBE, Computer simulation of surge voltage protection in low voltage systems, ICLP, 1992.

[12] Temporary overvoltages [4.1.3]:

M. CLEMENT, J. MICHAUD, Overvoltages on the low voltage distribution networks, CIRED, 1993.

[13] Surge coordination between SPDs and RCDs or overcurrent devices [6.2.4.3]:

J. SCHONAU, F. NOACK, R. BROCKE, Coordination of fuses and overvoltages protection devices in low voltage mains. Fifth International Conference on Electrical Fuses and their Applications, 1995.

[14] Coordination of SPDs [6.2.6]:

P. HASSE, P. ZAHLMANN, J. WIESINGER, W. ZISCHANK, Principle for an advanced coordination of surge protective devices in low voltage systems, ICLP 1994.

A. ROUSSEAU, T. PERCHE, Coordination of surge arresters in the low voltage field, INTELEC, 1995. F. MARTZLOFF, J. S. LAI, Coordinating cascaded surge protective devices: high-low versus low-high, IEEE IAS, 1991.

J. HUSE et al., Coordination of surge protective devices in power supply systems: need for a sec-

ondary protection, ICLP, 1992.

[15] Risk analysis [Clause 7]:

A.ROUSSEAU, Choice of low voltage surge arresters based on risk analysis, Power Quality, 1995.

General advice on protection of electronic equipment within or on structures against lightning, BS6651 Informative Appendix C, British Standards Institution, 1992.

[16] Information [Annex A]:

IEC 60099-4:2004, Surge arresters—Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c.systems, 1998.

[17] Environment [Annex C]:

IEEE Recommended practice on surge voltages in low-voltage a.c.power circuits C 62-41, 1991.

[18] Application principles [Annex G]:

IEC 60099-5, Surge arresters—Part 5: Selection and application recommendations, 1995.

[19] IEC 62305-3, Protection against lightning—Part 3: Physical damages to structures and life hazard.

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
低压电涌保护器(SPD)
第 12 部分:低压配电系统的电涌保护器
选择和使用导则
GB/T 18802.12—2014/IEC 61643-12:2008
*
中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100029)
北京市西城区三里河北街 16 号(100045)
网址 www.spc.net.cn
总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235
读者服务部:(010)68523946
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销
*
开本 880×1230 1/16 印张 7.75 字数 211 千字
2014 年 12 月第一版 2014 年 12 月第一次印刷
*
书号:155066·1-50090 定价 98.00 元

GB/T 18802.12-2014