

0 (1152x1606x2 bmp)



IEC 1312—3

(TC81—WG3—TF3—16)

雷电电磁脉冲的防护

第三部分：电涌保护器的要求

国际电工委员会(IEC) 1996.10

广东省防雷中心

北京华云克雷雷电防护工程技术有限责任公司

编译

一九九七年八月

引 言

本标准是对由 IEC SC37A/4/所标准化的电涌保护器(SPD)提出的要求。这些 SPD 是按照 IEC1312—1/1/所定的防雷区概念安装的。

此外,本标准还涉及诸电涌保护器之间以及其与需要保护的设备之间的能量配合的基本问题。

对有效的配合,必须考虑每一个电涌保护器的特有特性及其相应的安装地点的闪电威胁值。要验证安装在一个系统中的所有电涌保护器的配合是很复杂的,并需要化费相当大的费用。从原始的有关威胁值出发,本标准给出确定每一个电涌保护器的承受值的导则。

确定每一个电涌保护器的承受值能使很复杂的系统转化为简单的基本布置。

1 总则

1.1 适用范围

按照 IEC1312—1 防雷区(LPZ)的概念,当电气线路穿过两防雷区交界处时要求安装电涌保护器。这些电涌保护器必须很好配合,以便按照它们耐能量的能力在各电涌保护器之间分配可接受的承受值和原始的闪电威胁值有效地减至需要保护的设备的耐电涌能力。

1.2 引用标准

/1/ IEC1312—1; 1995—02

《雷电磁脉冲的防护》第一部分:一般原则(通则)

/2/ IEC1024—1 1990—03

《建筑物防雷》第一部分:通则

/3/ IEC1000—4—5;

《电磁兼容性·EMC》第四部分:试验和测量技术第5章冲击抗扰性试验

/4/ IEC SC37A/44/CDV;(IEC1643—1)

《接至低压电力配电系统的电涌保护器》第一部分:性能要求和测试方法。

/5/ IEC664—1:1992

《低压系统内设备的绝缘配合》第一部分:原则、要求及测试

/6/ ITU—TS:

《抗干扰保护 K 序列推荐》:“室外装置的电缆和其它设备的建设、安装及保护”。K20,“电信开关设备对过电压和过电流的抗力,1996。”K21,“用户终端设备对过电压和过电流的抗力,1996”。

/7/ IEC SC37A/47/CD;(IEC1643—2)

《接至低压电力配电系统的电涌保护器》第二部分:接至低压电力配电系统的 SPD 的选择和应用原则。

/8/ IEC1000—5—6(IEC 77B/157/CDV): 1995—08

《电磁兼容》第五部分:调节方法和安装指南第6章:外部影响的调节。

2 相关威胁值—雷电流参量

原始闪电威胁值有以下三类电流成分:

- 首次雷击
- 后续雷击
- 长时间雷击

(引用标准/1/图2)

不同防护级别的雷电流参量列于引用标准/1/中的表1至表3。¹⁾

用于不同目的所需的特性值(如波形、能量)需从这些参量推导出来。

所有三类电流成分作为外加电流都是有效的。但涉及顺序安装的SPD的配合问题时,“首次雷击”是决定因素,因为“后续雷击”的 W/R 、 Q 和 I_{peak} 都相对较低,电流的波头时间也较短²⁾。“长时间雷击”对电流型避雷器(SPD1)来说,只是一个附加因素,所以在涉及配合问题时,就能将它舍去不计。

注:

1)表中各参量是对雷电流威胁值的描述,在每个SPD上只会被加上全部雷电流的一部分。

2)如果SPD专用于承受“首次雷击”的威胁值,则后续雷击对这些SPD不会产生附加的威胁问题。如果采用电感作去耦元件,则较短的电流上升时间将使配合较容易做到。

如果采用电阻作去耦元件(如通常设在用于通信和信号网络的SPD内的去耦电阻则需要考虑允许的 I_{peak} 。

用于分析目的的雷电流分析函数和方程式中的诸参量见引用标准/1/(附录B)。

3 定义

所有术语和定义规定于/1/、/2/和/4/中。本标准还要用到以下的术语和定义。

◇SPD 电涌保护器,见引用标准/4/中的规定。

电压开关型SPD,如放电间隙、气体放电管、闸流晶体管(见引用标准/4/中的规定)。

这种SPD当没有电涌时为高阻抗,但一旦响应电压电涌时其阻抗就突变为低值。用作这类非线性装置的常见例子有放电间隙、气体放电管和闸流晶体管(可控硅)和三端双向可控硅开关。这类SPD有时称为“克罗巴型”SPD。

限压型SPD,如压敏电阻、抑制二极管(见引用标准/4/中的规定)。

这种SPD当没有电涌时为高阻抗,但随电涌电流和电压的增加其阻抗会不断减小。通常用作这类非线性组件的例子是压敏电阻和抑制二极管。这类SPD有时称为“箝压型”SPD。

联合型SPD(见引用标准/4/中的规定)。

这种SPD将电压开关型部件和限压型部件联合组装在一起。根据二者的“联合参数”和应用电压特性可组装成具有电压开关、限压或这两种特性兼有的联合型SPD。

◇ SPD 的 I 级测试

对安装在 LPZ0A/1 交界处的电流型避雷器,其测试程序规定于引用标准/4/。其它的 SPD 是顺序安装的。

按照本级测试的 SPD 要做脉冲电流 I_{imp} 的工作制测试。

用于配合目的,规定 I_{imp} 的波形为 10/350 μ s(按照/1/)。

◇ SPD 的 II 级测试

过压避雷器的测试程序规定于引用标准/4/。

按照本级测试的 SPD 要做最大放电脉冲电流 I_{max} 的工作制测试。

◇ SPD 的 III 级测试

过压避雷器的测试程序规定于引用标准/4/。

按照本级测试的 SPD 要做联合波的工作制测试。

◇ U_c 最大连续工作电压规定于引用标准/4/

◇ U_{res} 残压/4/

一个 SPD 在放电电流通过期间或正在此之后的瞬间其接线端之间的电压峰值。

◇ I_{imp} 脉冲电流

它规定为一峰值电流(I_{peak})和电荷(Q)。按照工作制测试的测试顺序进行测试。这用于对 I 级测试的 SPD 进行分类/7/。

用于配合目的,其波形规定为 10/350 μ s。

注:较长的波形上升时间(波头时间)的定义在考虑中。

◇ I_{max} 最大放电电流

通过 SPD 的电流峰值,该电流的波形为 8/20,其大小按 III 级工作制测试的测试顺序而定/7/。

4 防雷区内的 SPD 的布置

4.1 防雷区

应将需要保护的空间划分为多个防雷区,以规定各部分空间不同的 LEMP 的严重程度。穿过防雷区交界处的金属服务设施必须在每一穿过点做等电位连接。

4.2 防雷区的定义

防雷区是按照引用标准/1/(见/1/中 3.1 及图 3 至图 5)定义的。

一需要保护的空间划分为不同防雷区的一般原则示于图 1a、1b 及图 2。

注:

图 2 示出一个无屏蔽的建筑物,那里的电磁场减小仅仅由于在外部防雷装置中的分流和由于距离效果。

4.3 在防雷区交界处布置 SPD

图 2 示出在防雷区概念下在电力配电系统中应用 SPD 的一例。诸 SPD 是顺序安装的。

它们的安装位置是根据穿入点的要求选择的。建议将电力和信息网络相互靠近进入需要保护的空间,并一起连到共用的等电位连接带上。这点对于用非屏蔽材料(木料、砖块、混凝土……)盖成的建筑物(或被保护空间)是特别重要的。

所选用的诸 SPD 及它们与需要保护空间内的全部电气系统组成的整体应确保分雷电流大部分从 LPZ0_A/1 交界处的接地装置流走。

一旦分雷电流的初始能量大部分已被散逸,随后的各 SPD 仅需按应付 LPZ0_A 和 LPZ1 交界处的剩余威胁值加上 LPZ1 区内电磁场产生的感应效应设计就可以。¹⁾

所以,需要每个 SPD 的等电位连接导体有低的阻抗。²⁾

注:

1)如果所安装的 SPD 是电压开关型,则后续的各 SPD 所承受的值还必须考虑到 SPD 达不到其工作阀的条件(即盲点)。

2)为了得到最佳的过压保护,SPD 的所有连接导线、引线、电缆应尽量短,连接导体是这样的导体,即从线路导体接至 SPD,再从 SPD 接至主接地端子或保护导体的导体。

5 SPD 工作特性要求

应从防雷区概念导出对每个 SPD 工作特性的要求。

5.1 从 LPZ0_A 过渡到 LPZ1

从 LPZ0_A 穿到 LPZ1 的线路荷载相应的分雷电流。

SPDI 应在本交界处将这些电流的大部分导走(即导入大地)。

需要取作 SPDI 承受值的分雷电流参量将由以下因素确定。

根据引用标准/1/所要求的“保护级别”。

表 1 首次雷击的雷电流参数 (译注:本表为引用标准/1/的表 1)

| 雷电流参数 (见引用标准/1/的图 1) | 保 护 级 别 | | |
|---|---------|-----|-----|
| | I | II | III |
| 幅值电流 I (KA) | 200 | 150 | 100 |
| 波头时间 T ₁ (μs) | 10 | 10 | 10 |
| 半值时间 T ₂ (μs) | 350 | 350 | 350 |
| 短时雷击电荷 Q _s ¹⁾ (C) | 100 | 75 | 50 |
| 单位能量 W/R ²⁾ (MJ/Ω) | 10 | 5.6 | 2.5 |

注 1)因为全部电荷的大部分 Q_s 包括在首次雷击中,故所规定的值考虑合并了所有短时雷击的电荷。

2)因为单位能量的大部分 W/R 包括在首次雷击中,故所规定的值考虑合并了所有短时雷击的单位能量。

• 接地阻抗以及引入需要保护空间的所有金属服务设施(如水管、煤气管、通信和电力电缆)的阻抗。

• 交流供电电源的形式(TN, TT, IT……)及网络构形在这些参数的基础上,能够计算出相关的分雷电流(详见附录 A)。

按照电力装置绝缘配合的要求(按照 IEC 664/1/)和需要保护的**设备耐脉冲电压的能力**,所采用的 SPD 的电压保护水平必须保持在一个最高值以下,并总是**低于需要保护设备的耐压能力**。如果不知此值,则应采用所定的耐电涌水平。保护敏感的信息系统可能必须采用较低的耐压值(见引用标准/3/和/6/)。

5.2 从 LPZ0_B 过渡到 LPZ1

在 LPZ0_B 区中,由雷电流引发的电磁场起支配作用。不考虑直接雷击。

在此情况下,这种感应效应可藉一个波形为 $8/20\mu\text{s}$ 的电涌电流或按照引用标准/4/采用一个适当的联合波试验来模拟。

按照电力装置绝缘配合的要求/5/和需要保护的**设备耐脉冲电压的能力**,所采用的 SPD 的电压保护水平必须保持在一个最高值以下。保护敏感的信息系统可能必须采用较低的耐压值(见引用标准/3/和/6/)。

5.3 从 LPZ1 过渡到 LPZ2

从 LPZ0 过渡到 LPZ1 区后的剩留威胁值和在 LPZ1 区内电磁场的感应效应规定对安装在 LPZ1 和 LPZ2 交界处的 SPD 的要求。如果不可能详细分析这种威胁,则主要的承受值可藉一个 $8/20\mu\text{s}$ 波形的电涌电流或按照引用标准/4/采用一个适当的联合波试验来模拟。如果 SPD1 是一开关型设备,则也要考虑 $10/350\mu\text{s}$ 的试验波形,直到触发放电间隙为止(考虑“盲点”)。对于一个相应的 SPD,所需要的电压保护水平必须低于按 IEC 664/1/中提到的最高值和需要保护的**设备耐脉冲电压的能力**。

保护敏感的信息系统可能必须采用较低的耐压值(见引用标准/3/和/6/)。

6 能量配合

6.1 能量配合的一般目的

在一需要保护的系统中所安装的 SPD 的数量取决于防雷区概念的要求和需要保护的设备的易损性。

当采用多于一套 SPD 去保护设备和当已经核对这些 SPD 的保护及其安装地点与需要保护的**设备是协调时**,就需研究这些 SPD 和该设备的配合问题。

配合的一般目的是借助于诸 SPD 将总威胁值减到需要保护的**设备的耐受能力**。各个 SPD 荷载电涌电流的额定能力不应被超过。要确信两个 SPD 是良好配合,这必须满足下面要求/7/:

如果对 0 和 $I_{\text{max}} - 1(I_{\text{peak1}})$ 之间的每一电涌电流通过 SPD2 消散的能量部分低于或等于 SPD2 的**最大耐受能量**,这样就实现了能量的配合(对去耦元件也是如此)。

这个最大耐受能量定义为该 SPD 能耐受的最大能量而不至于降级。它能从测试结果获得对 I 级测试为在 I_{imp} 工作制下或对 II 级测试为在 I_{max} 工作制下所量得的能量或者能从

考虑制造厂资料的 I_{\max} (I 级测试) 或 I_{peak} (I 级测试) 和 $U_{\text{res}}(I_{\max})$ 或 $U_{\text{res}}(I_{\text{peak}})$ 计算出来 [7]。

基本上判断 SPD 能量配合的准则能由示于图 3 的一相基本线路图说明之。

6.2 基本配合原则

6.2.1 一般规定

从技术上选用下列两个一般原则之一以实现 2 个 SPD 之间的配合：

1. 除所敷设的电线外，在不加任何去耦元件下基于稳态电流/电压特性的配合。本原则适用于限压型 SPD (如金属氧化物压敏电阻或抑制二极管)。

2. 采用去耦元件的配合

为配合目的采用电感或电阻作去耦元件是合理的，这类元件应有足够的耐电涌能力。

电感件主要用于电力系统。

电阻件主要用于通信系统。

注：去耦元件可采用分立设备，也可采用防雷区界面和设备之间的电缆的自然电阻和电感。

6.2.2 限压型 SPD 的配合

在不用去耦元件下两个 SPD 的能量配合可用它们在有关电流范围内的稳态电流/电压特性实现之。本方法对电流波形不很敏感。

如用电感作去耦元件则必须重视电涌电流的波形 (如 $10/350\mu\text{s}$, $8/20\mu\text{s}$) (见图 4a)。

对长半值时间的波形 (如 $10/350\mu\text{s}$)，电感的去耦效果不是很有效的。如可能，应用电阻去耦元件 (或应用电缆的自然电阻) 来实现配合是有用的。

详细情况见 [7]。

关于这类 SPD 的配合要考虑，必须想到两个 SPD 要用于各自的电涌电流波。该电流波的时间长度与侵入电流相比不会明显缩短 (图 4b, 4c)。

6.2.3 电压开关型和限压型 SPD 之间的配合

图 5a 示出这种配合方案的基本电路图。

放电间隙 (SPD1) 的放电取决于金属氧化物压敏电阻 MOV (SPD2) 两端间的残压 (U_{res}) 和去耦元件两端的动态电压降 (U_{DE})。在触发放电之前，这两个 SPD 之间的电压分配遵循下式 (1)：

$$U_{\text{SG}} = U_{\text{res}} + U_{\text{DE}} \quad (1)$$

一旦 U_{SG} (放电间隙两端间的电压) 超过放电间隙的动态火花放电电压，本配合就实现了。这点仅取决于：

- MOV 的特性
- 进入的电涌的上升速率和大小
- 去耦元件的性质 (如电感或电阻) [7]。

当用一电感作去耦元件时,必须考虑电涌电流的上升时间和峰值(如 $10/350\mu\text{s}$ 、 $8/20\mu\text{s}$)。 $\frac{di}{dt}$ 越大,去耦所要求的电感越小。

这点必须到两个基本情况:

- 放电间隙不出现火花放电(“盲点”);

全部电涌电流将通过 MOV。该 MOV 必须按此电涌电流的能量定规格尺寸(图 5b、5d)。

- 放电间隙出现火花放电:

放电间隙的火花放电改变了加在下流 MOV 上的电涌波形。从图 5c 和图 5d 看出, MOV 上电流上升的时间比“盲点”情况下大为减少。当采用有低残压的间隙时,对与之配合的随后的 MOV,选择其 U_c 并不重要。

去耦元件必需值的确定:

在低压电力供电的情况下,用短路条件来设计去耦元件是最坏情况(见图 6)。但对配合目的,这不是切题的。更实际的做法是,用“负荷侧电压”(反向电压)的条件来设计去耦元件才是最坏的情况。在放电间隙下流的 SPD 通常由 MOV 或串接有间隙的 MOV 组成。这类 SPD 的残压在任何情况下都要高于电力供电额定电压的峰值(如在交流额定电压 240V 的系统中,其峰值电压是 $\sqrt{2} \times 240\text{V} = 340\text{V}$,此值低于所按装的 SPD 的基准电压)。这个额定电力供电电压的峰值相应于 SPD 可能的最低残压。所以这个峰值电压必须用作可能的最小反向电压。用一个短路电流代替设定的反向电压,其结果可能使去耦元件的规格尺寸过大。图 6 示出下流相应于 SPD 不同负荷下的电感值(需要使放电间隙 SG 产生火花放电的值)。

6.2.4 电压开关型 SPD 之间的配合

必须采用动态工作特性用于放电间隙之间的配合。

在放电间隙 2 发生放电之后,藉去耦元件来实现配合。为确定去耦元件所需的量值,可用短路代替放电间隙 2,为使放电间隙 1 放电,去耦元件的动态电压降必须交于放电间隙 1 的工作电压(见图 6b)。

如果采用电感作去耦元件,必须考虑波形(特别是 $\frac{di}{dt}$ 值)。

如用电阻作去耦元件,电涌电流的峰值对确定去耦元件所需的阻值起决定性作用。在选择设备的脉冲额定参量时,应当顾及到电涌电流在电阻器上产生的电压降。

在放电间隙 1 产生放电之后,将按照各个元件的稳态电流/电压特性分配全部能量。

6.3 保护系统的基本配合方案

现今有 4 种保护系统的配合方案。前 3 种方案基于两端 SPD 的现行技术。方案 IV 是应与其内组合有去耦元件的四端 SPD。采用这些配合方案时还必须考虑可能组合在需要保护的的设备内的 SPD。

方案 I

全部 SPD 的残压 U_{res} 值相同,全部 SPD 都具有连续的电流/电压特性(如压敏电阻、二极管)。

这种 SPD 和需要保护设备的配合通常是用他们之间的线路阻抗来实现的(图 7)。

注:组件的容许取值偏差可能对配合结果造成影响。

方案 I

全部 SPD 具有连续的电流/电压特性(如压敏电阻、二极管)。

SPD 的残压配接成台阶式,从第 1 个 SPD 向后续的 SPD 逐个升高(图 8)。

本配合方案应用于供电系统。

注:要考虑到最后一级 SPD(图 8 SPD3)的电压保护水平,它必须低于需要保护的设备耐冲击电压的能力。

本方案要求,装在需要被保护设备内的保护组件的残压要高于直接安装在该设备之前的 SPD 的残压。

方案 II

SPD1(图 9)包含一个具有不连续电流/电压特性的组件(开关型 SPD,如放电间隙),后续 SPD 的组件具有连续的电流/电压特性(限压型 SPD)。

本方案的特性是运用第 1 个 SPD 的“开关特性”实现使原来的 $10/350\mu\text{s}$ 脉冲电流的半值时间减少。这就给后续的 SPD 相当大的减荷。

注:关于信号线路的另外资料见 6/。

方案 IV

制造这样的四端 SPD 是合理的,即在其内部用一串联阻抗或滤波器配合好的两个 SPD 联合成串级组合件。

这种成功的内部配合意味着向下流的 SPD 或设备输送最小的能量。这些 SPD 必须与本系统中的其它 SPD 相应地按照方案 I、II、或 III 完全配合(图 10)。

6.4 按照“容通能量(LTE)”的配合方法

运用标准脉冲参量进行的配合是一个选配 SPD 的程序。这种方法的主要优点是能将一个 SPD 看作一个黑箱(见图 11)。因此,对在输入端加一个给定的电涌,在输出端不仅可确定开路电压,而且还可确定输出电流(如输出短路电流)按“容通能量”原理,这些输出特性被转换为一个“ 2Ω 联合波”的等效承受值(开路电压 $1.2/50\mu\text{s}$,短路电流 $8/20\mu\text{s}$)。这种方法的优点是无需对这些 SPD 的内部设计详情专门的知识。

注:当 SPD1 对 SPD2 无反应时,则证明本方法的结果是良好的。当 SPD1 的电流电压特性不同于 SPD2 的电流电压特性,而使得 SPD2 的电涌条件是拟所加的电流条件时,如:一个放电间隙与一个金属氧化物压敏电阻或硅二极管之间的配合就满足本条件。

本配合方法的目的是要使 SPD2 的输入值(如放电电流)可与 SPD1 的输出值(如电压保护水平)相比较。在阶梯式分步保护下应考虑到,能被后续的 SPD 放电在该 SPD 不会损坏

之下的等效输入混合脉冲等于或高于其前一级 SPD 的等效输出混合脉冲。

为使配合可靠,必须以承受值(I_{\max} 、 U_{\max} 、容通能量)的最坏情况确定等效混合脉冲。

注:关于配合方法的另外资料见/7/。

6.5 SPD 与需要保护的设备之间的配合

6.5.1 SPD 的选择

直接安装在需要保护设备输入处的 SPD 与该设备本体这二者之间的配合必须顾及它们的特性。

本配合必须做到在任何有关参量下不要超过需要保护设备的耐受能力。

关于设备接线端的耐受能力的细节参阅下列有关标准

——IEC 1000—4—5/3/

——ITU—TS K.20,K.21/6/ (ITU—T)原 CCITT 国际电信协会

——IEC 664—1/5/

6.5.2 安装地点

即便一个正确的能量配合,如果未将 SPD 靠在需要保护的设备或在其附近安装,设备接线端也可能受到损坏,这是由于在 SPD 和需要保护的设备之间的导体上的反射现象所引起的。

注:安装附加的 SPD 将产生更多的防雷区界面。

应注意到可以在设备的内部装设多个 SPD 来达到符合上述标准,并应注意到,这样做的这类设备的参量可能影响或改变正在考虑的配合原理。

关于这些反射现象的附加资料见附录 B。

7 概要

实现安装在一个系统中的全部 SPD 包括需要保护的设备的能量配合,对保护的效率具有决定性意义。

SPD 的生产者必须公布每个 SPD 供配合用的基本参量,实现配合可用以下方法证实之:

• 配合试验

用 SPD 的三种基本方案(见图 4a、5a、6)有可能通过试验证实实现了配合。

• 计算

在不同的精度下,有可能用计算证实实现了配合。借助于计算机模拟也能有效地检查复杂系统。应用相互配合好的 SPD“同类产品”对用户说来也是最低费用的方案,在这种情况下生产 SPD 的厂家应保证这一配合。

• 按照:“容通能量”的配合方法

用“容通能量”的计算证实实现了配合(见 6.4)

文献目录

编制本标准的参考文献

- | | |
|---------------------------|--|
| Rakotomalala, Auriol | Lightning distribution through earthing systems |
| Rousseau: | IEEE 1994 |
| | 《流过诸接地系统的雷电流分配》 |
| | 电气和电子工程师协会 1994 年 |
| Birkel, Hasse, Zahlmann: | System convenient use of arresters in low voltage mains |
| | etz 17/1994, S. 964—971 |
| | 《在低压电源中系统地正确使用避雷器》 |
| Hasse, Wiesinger, | Principle for an advanced |
| Zahlmann, Zischank: | coordination of surge protective devices in low voltage systems |
| | 22. Intern. Conf. on Lightning Protection, Budapest 1994 |
| | 《低压系统中电涌保护器的优化配合原则》 |
| | 布达佩斯 1994 年第 22 届闪电保护国际会议 |
| Lai, Martzloff: | Coordinating cascaded surge protection devices: High—Low versus Low—high |
| | IEEE Transaction LAS—29. No. 4 |
| | July/August 1993, pp 680—687 |
| | 《串接电涌保护器的配合:高一低与低一高的对比》 |
| | 电气和电子工程师协会会刊 1993, (IAS—29), 7/8 月号 |
| | (No. 4), 第 680—687 页。 |
| Draft documents | |
| IEC AJWG 64 | |
| /Convenor/13: | Surge overvoltages and Surge protection |
| 草案文件 | 《电涌过压与电涌保护》 |
| (IEC AJWG 64/Convenor/13) | |
| Altmeier, Pelz, | Computer simulation of surge voltage |
| Scheibe: | protection in low—voltage systems |

21. Intern. Conf. on Lightning protection,
(Ref. Number 7.08) Berlin 1992

《低压系统中电涌电压保护的计算机模拟》

1992 年柏林第 21 届闪电保护国际会议(参考资料号 7.08)

Birkel, Hasse, Zahlmann: Investigations of the interaction of lightning currents with
low-voltage installations and their related lightning threat
parameters 23. Intern. Conf. on Lightning protection.

Firenze 1996

《雷电流与低压装置及其有关的雷电流威胁参量相互影响的研究》

1996 年弗伦斯堡第 23 届闪电保护国际会议

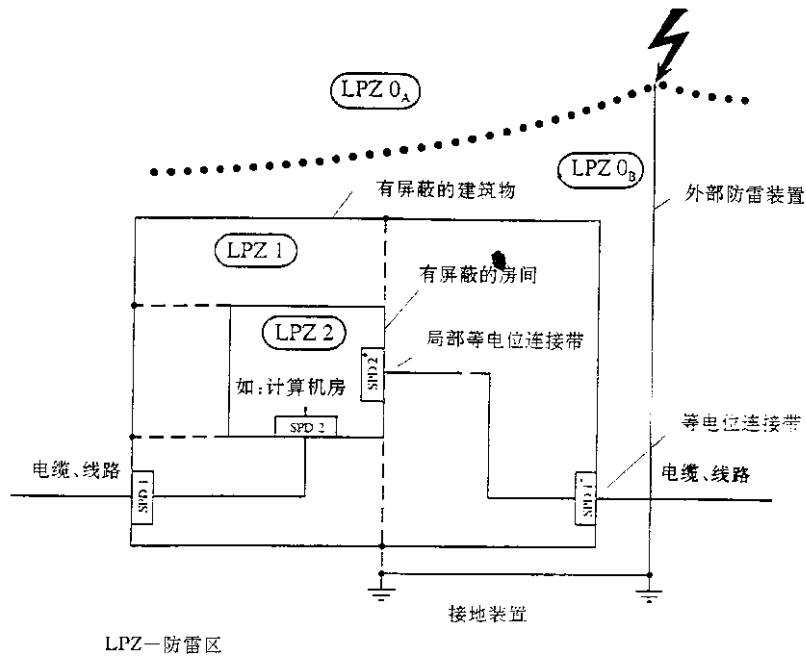


图 1a 将一建筑物划分为几个防雷区和做符合要求的等电位连接的实际状况的例子

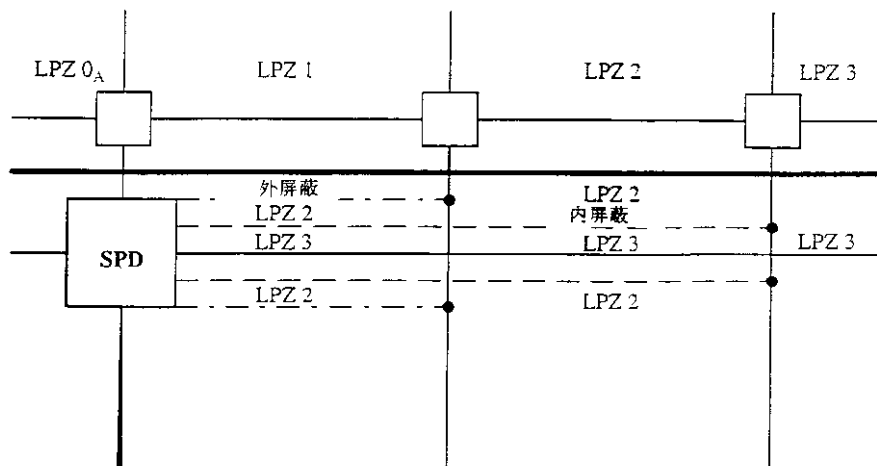


图 1b 用单一SPD和一根双层屏蔽电缆用于多个防雷区的设计例子

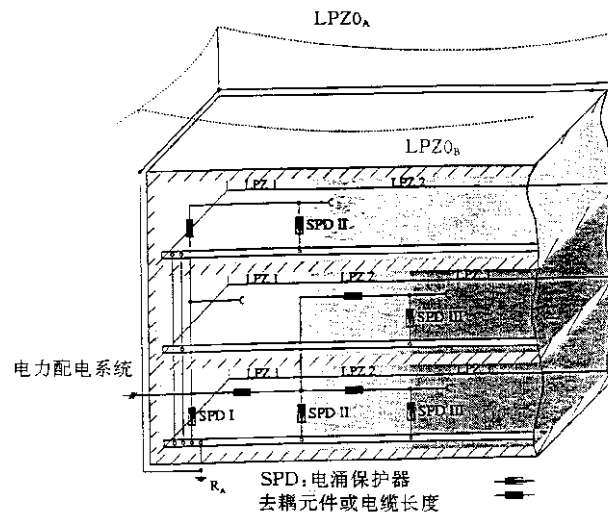


图 2 将一建筑物划分为几个防雷区和做符合要求的等电位连接的例子

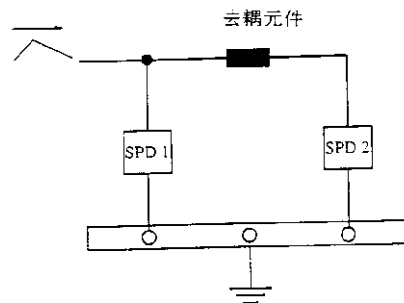


图 3 SPD 能量配合的基本模式

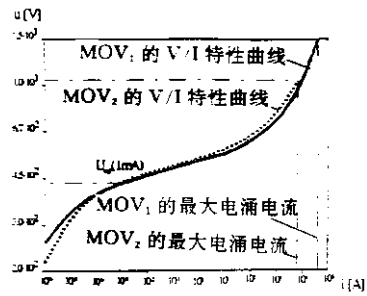
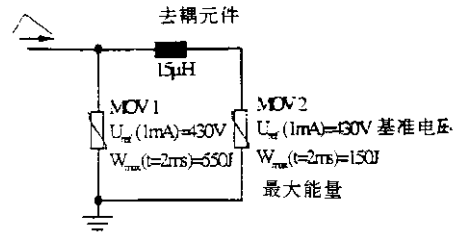
图 4a MOV₁ 和 MOV₂ 的 V/I 特性

图 4b 两个 SPD 限压型的基本组合

注：从本例可看到，仅了解 MOV 的基准电压对配合来说是不够的

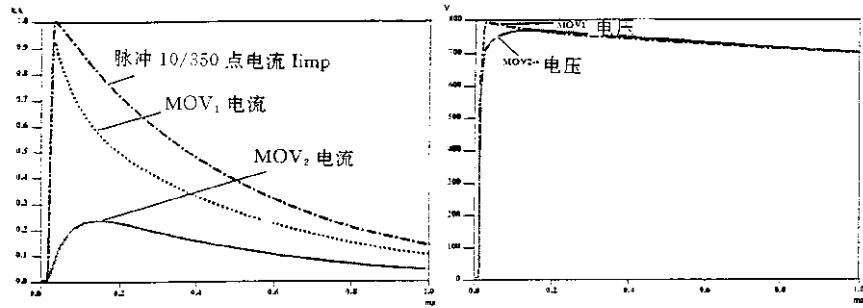


图 4c 两个限压型 SPD 组合的电流电压特性

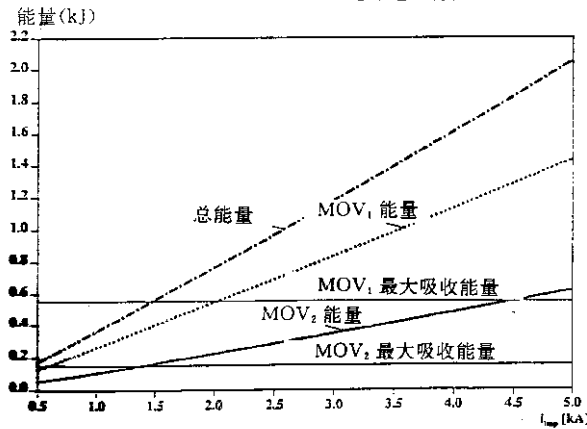


图 4d 两个限压型 SPD 的组合随雷电流增加在系统内的能量分配

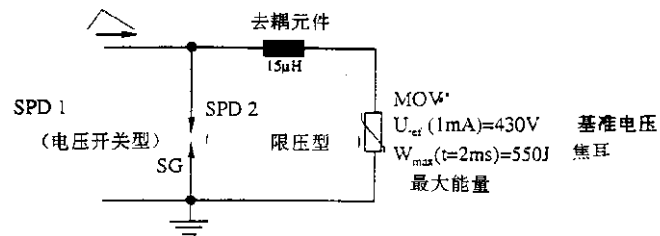


图 5a 2 个 SPD(一个电压开关型 SG 和一个限压型 MOV)之间的配合例子

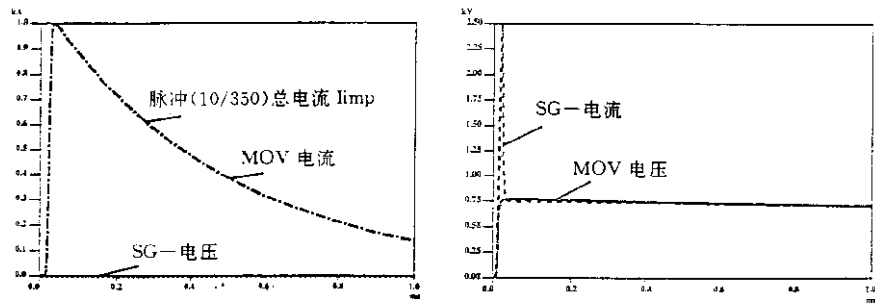


图 5b 一个电压开关型 SPD 和一个限压型 SPD 组合下的电流电压特性:SG 没有放电

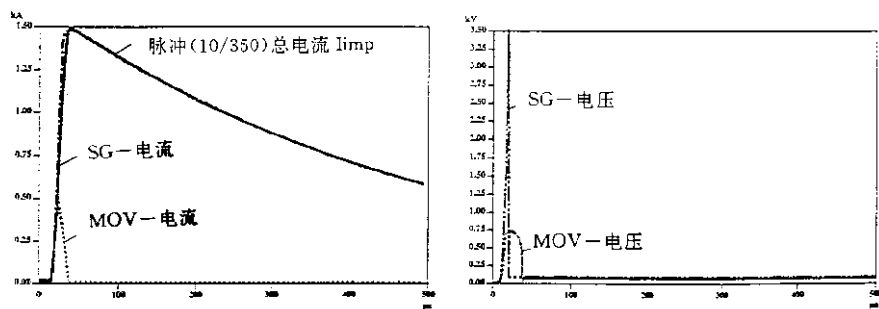


图 5c 一个电压开关型 SPD 和一个限压型 SPD 组合下的电流电压特性:SG 放电

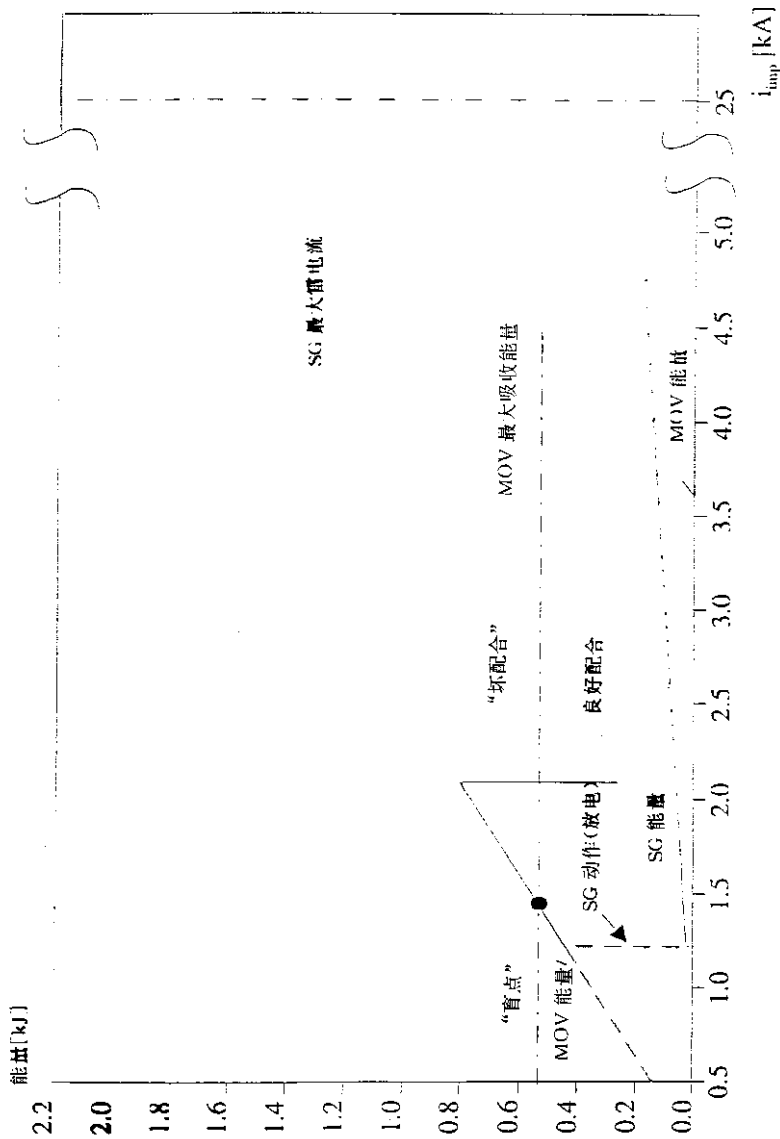
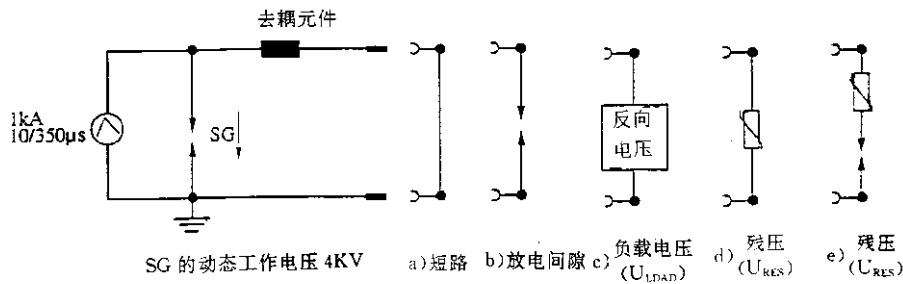


图 5d 在电压开关型(SG)SPD 和限压型(MOV)SPD 的组合下，
随雷电流的增加在系统内的能量分配



| 负载情况 | 用计算机模拟确定的电感值 | 粗略估算的电感值(*注) |
|---|--------------|--------------|
| a) 短路 | 30μH | 40μH |
| b) 放电间隙 (电弧电压=30V) | 30μH | 40μH |
| c) 反向电压 (1.41U _N) | 24μH | 37μH |
| d) 基准电压 (MOVU _{ref} (1mA)=430V) | 19μH | 32μH |
| e) 基准电压 (MOVU _{ref} (1mA)=180V) | 22μH | 36μH |

注:

$$U_{SG} = L \cdot \frac{di}{dt} + U_{Load/Res}$$

粗略估算:

$$\frac{di}{dt} \cong \frac{i_{peak}}{t_{rise}} = \frac{1kA}{10\mu s}$$

$$\text{情况 a): } L = U_{SG} \cdot \frac{t_{rise}}{i_{peak}} = 4kV \cdot \frac{10\mu s}{1kA} = 40\mu H$$

$$\text{情况 b): } L = (U_{SG} - U_{Arc}) \cdot \frac{t_{rise}}{i_{peak}} = (4kV - 0.03kV) \cdot \frac{10\mu s}{1kA} = 40\mu H$$

$$\text{情况 c): } L = (U_{SG} - U_{Load}) \cdot \frac{t_{rise}}{i_{peak}} = (4kV - 0.3kV) \cdot \frac{10\mu s}{1kA} = 37\mu H$$

$$\text{情况 d): } L = (U_{SG} - U_{RES(1kA)}) \cdot \frac{t_{rise}}{i_{peak}} = (4kV - 0.8kV) \cdot \frac{10\mu s}{1kA} = 32\mu H$$

$$\text{情况 e): } L = (U_{SG} - U_{RES(1kA)} - U_{Arc}) \cdot \frac{t_{rise}}{i_{peak}} = (4kV - 0.8kV - 0.03kV) \cdot \frac{10\mu s}{1kA} = 36\mu H$$

图 6 不同负载情况下去耦元件电感值的确定

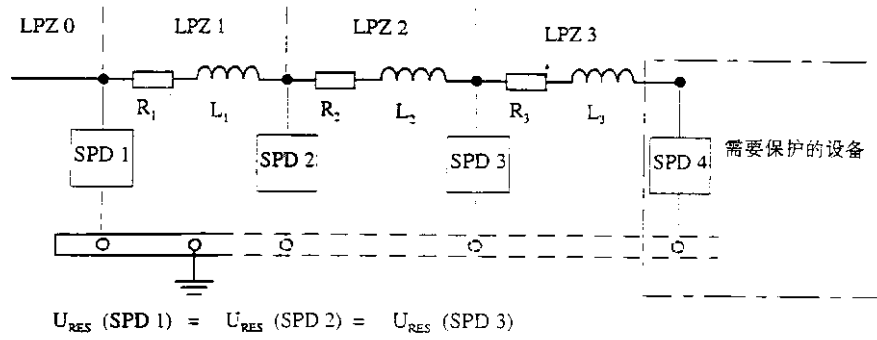


图 7 按方案 I 的配合原则

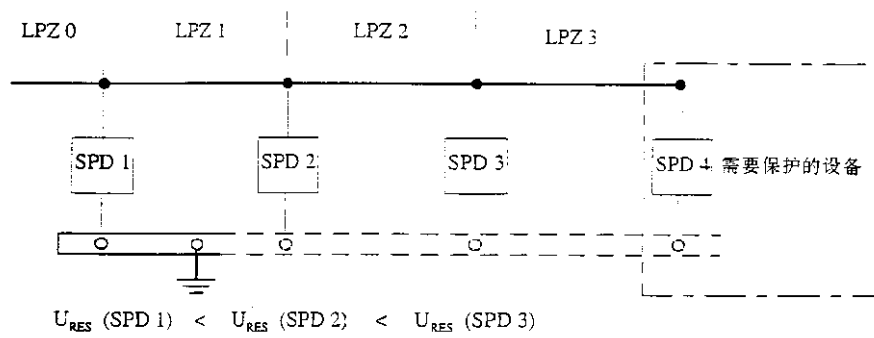


图 8 按方案 II 的配合原则

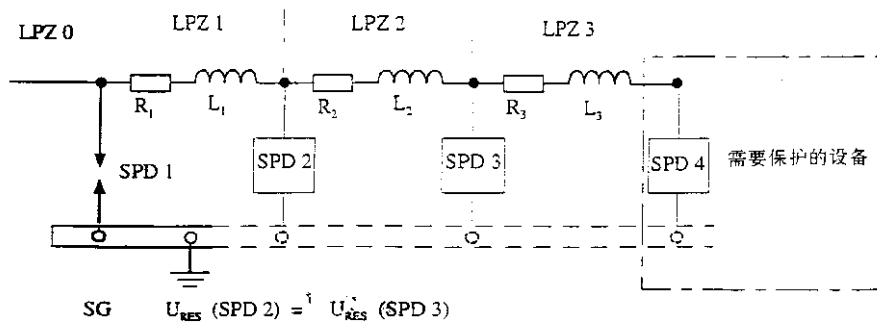


图 9 按方案 III 的配合原则

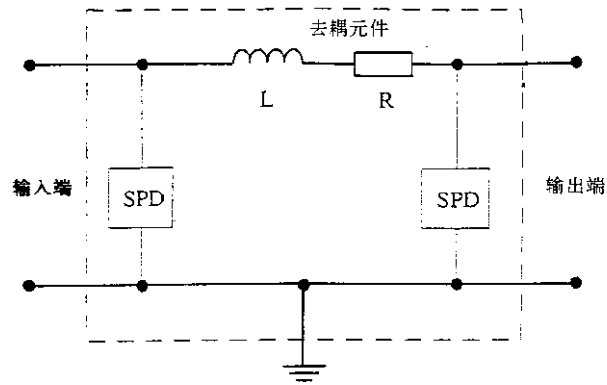


图 10 按方案 N 的配合原则

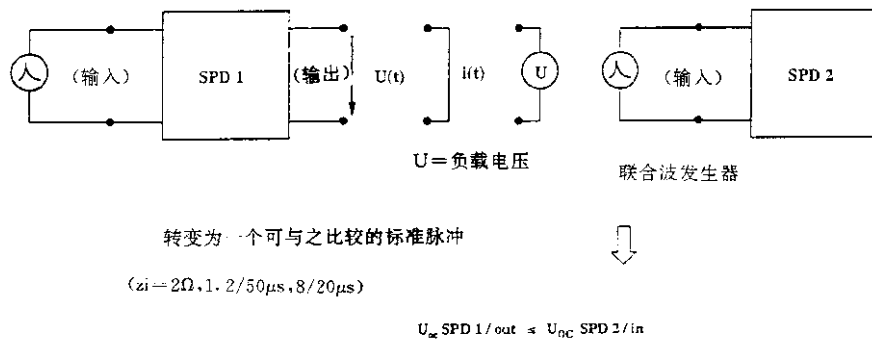


图 11 用标准脉冲参量的“容通能量”配合方法

附录 A

1. 低压系统中影响雷电流分配的因素

从规定于 1/1 中的原来的有关赋值开始, 下面各节将要说明, 在一需要保护的系统中对雷电流分配起不同影响的各个因素之间的基本关系。

为此目的, 将规定一个通常有效的例子(图 A1)。

对这样一个全面布置, 基本上能阐明各影响因素的作用。供计算用的等数电路图示于图 A2。

注: 这些检查所必须的计算将借助网络分析程序(如 PSPICE, EMTF)进行之。

所采用的电缆接地体和变压器等等的各部分模型符合本领域的工程情况。所选用的模型是在这里所追求的避雷需配合所必要的精确度的基础上开始的。在这些模拟中所用的各元件的所有阻抗值都设定作为典型值, 为了解明问题, 供电电缆采用 50 米、500 米和 1000 米的不同长度。在特殊情况下, 这些值可能与模拟中用到的相应值有所不同。对这种模拟给出一个复杂系统内的过电压保护的例子。

1.1 供电电缆的影响

1.1.1 供电电缆长度对流经电力线路的分雷电流的时间特性的影响

图 A3 表明长输电线路对该系统内雷电流分配的影响原理和对电力线路中各分雷电流上升率的效应。对所有这些被检查的事例, 规定所加的电涌雷电流为 200kA、10/350 μ s。

在此简化试验中, 略去线路上水管和电话线的接地电阻。由于长电缆而延长了电力线路中雷电流的波头时间, 这取决于该系统内 L/R(电感/电阻)的关系。

$$\text{波头时间(电力系统)} \sim \frac{\text{电感(电力系统)}/\text{电阻(电力系统)}}{\text{电感(接地系统)}/\text{电阻(接地系统)}} \quad (2)$$

注: 在本上下文中, 对“波头时间”与“上升率”之间加以区别是重要的: “波头时间”随不同的 L/R 而变, “上升率”则附加地随电涌电流的幅值而增减而变。

在脉冲电流的最初阶段, 电流的分配决定于系统的感性阻抗 $\frac{\text{电感(电力系统)}}{\text{电感(接地系统)}}$ 。由于脉冲尾部电流以低速率变化, 电涌电流将按系统内下列条件分配:

$$\frac{\text{电流(接地系统)}}{\text{电流(电力系统)}} \sim \frac{\text{电阻(电力系统)}}{\text{电阻(接地系统)}} \quad (3)$$

1.1.2 供电电缆长度对电流在导线间分配的影响。

随着变压器与供电系统之间供电电缆长度的增加, 该变压器阻抗的影响会减小, 这样在诸导线中就会有平衡的分电流(见图 A4)。

在图 A4 中, 与中压线之间的不平衡电流分配仅发生于短电缆长度或中性阻抗很大的情况下。这样的系统中的电流分配示于图 A5。

1.2 变压器的影响

如 1.1.2 所述, 变压器的阻抗对电流分配的影响取决于电缆长度。

此外,必须考虑到,在变压器绕组上由于电涌电流通过将会产生过电压。为了避免变压器受损,可用安装在变压器处的 SPD 来限制过电压。这些 SPD 工作时可略去变压器有效阻抗的影响。

1.3 接地系统的影响

变压器处接地系统的电阻值与用户侧接地系统的电阻值的关系对雷电流的分配起决定性作用。

降低变压器处的接地电阻将使低压系统中的电流增加(参见图 A6)。

1.4 并联用户的影响

安装实践中的多数情况是存在着并联用户系统。这方面的基本线路图示于图 A7。由于并联而使用户系统的有效阻抗下降,这导致增加低压系统内的分雷电流。如图 8 所示,在一幢建筑物的情况下,流入低压系统的分雷电流约占 50%。在并联用户系统的情况下,该值将增加到 70%。

因此,在高度成网状相互连接的地区,雷电流的主要部分将流入低压系统。

1.5 简化计算方法

在装有外部防雷装置的建筑物遭到直接雷击的情况下,为了确定流经诸 SPD 的电流分配,通常采用各接地(如该建筑物的接地系统、水管、电力配电系统的接地系统等)的欧姆电阻供计算用就是足够精确了。

确定各分雷电流的简化计算方法示于图 A9。

随后是一个简化计算方法的应用实例:图 A10 是其电路联接模型。

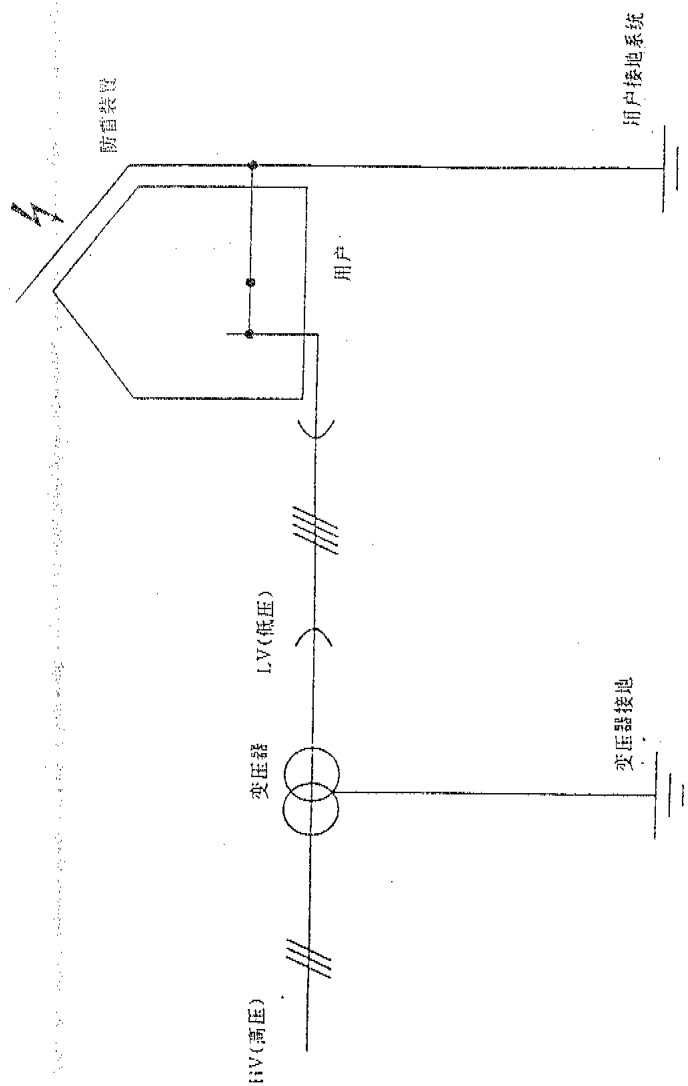


图 A1 雷电流分配的基本模型

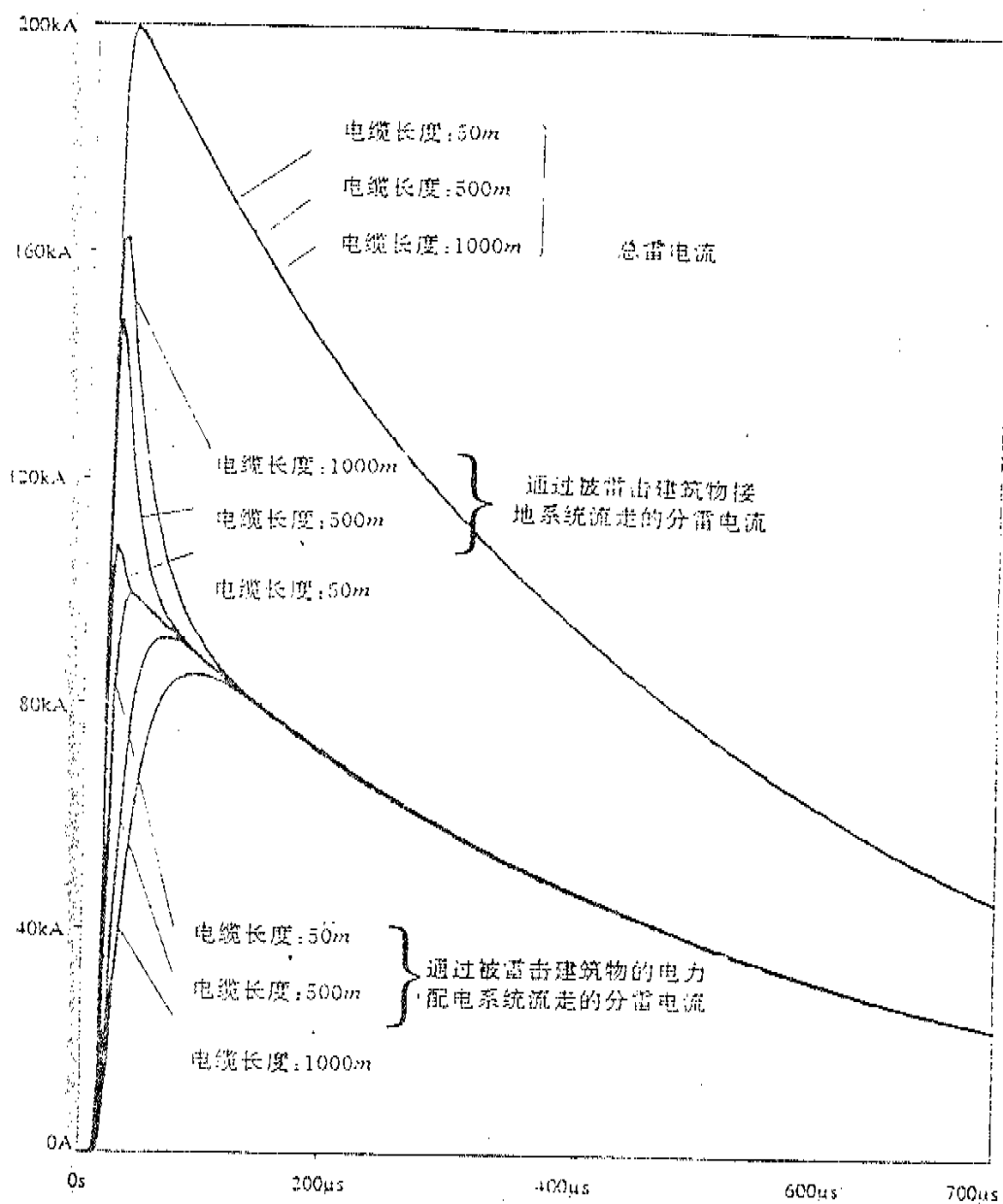


图 A3 在接地和配电系统间取决于连接电缆长度的雷电流分配(参阅图 A2)

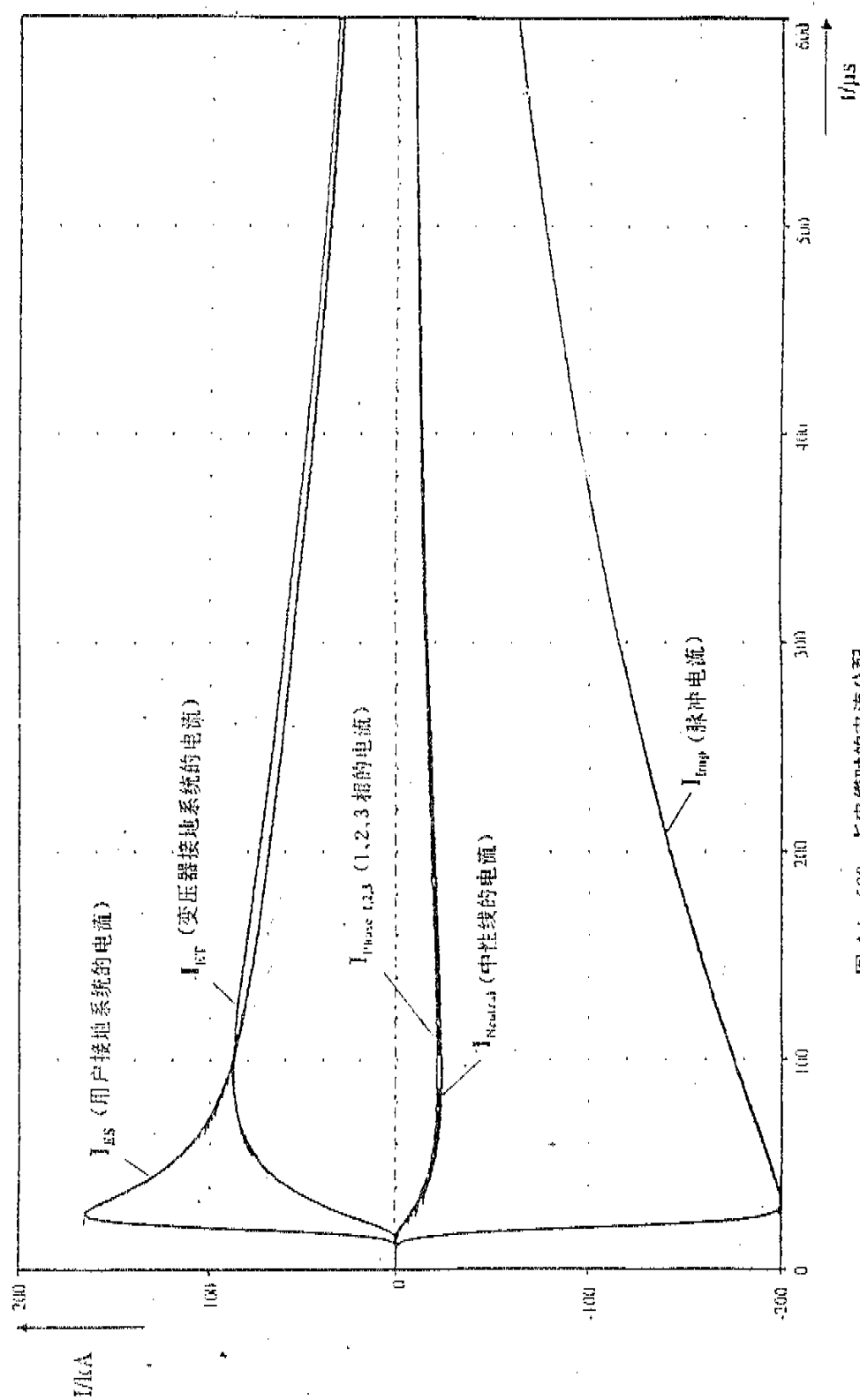


图 A4 500m 长电缆时的电流分配

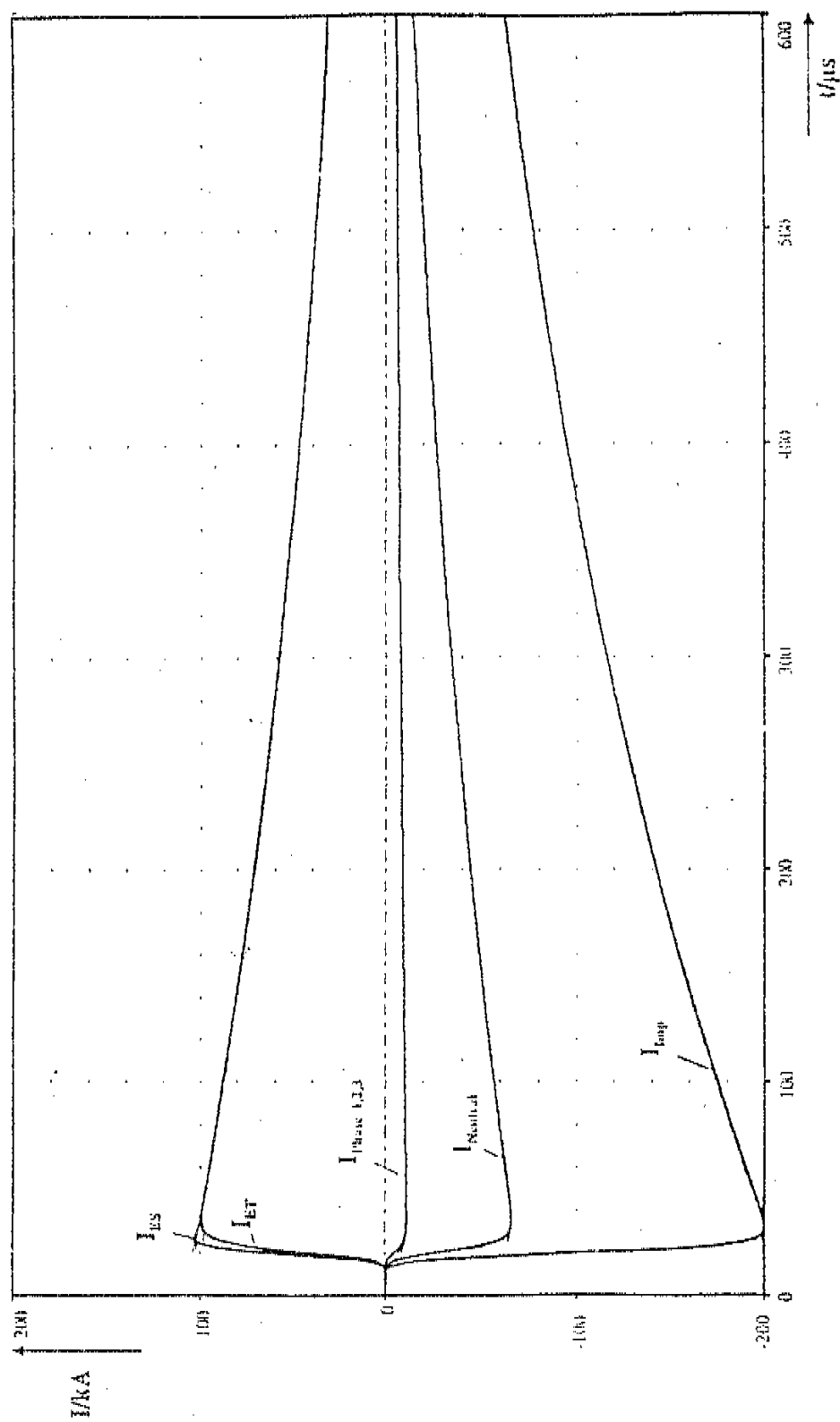


图 5A 50cm 长电缆时的电流分配

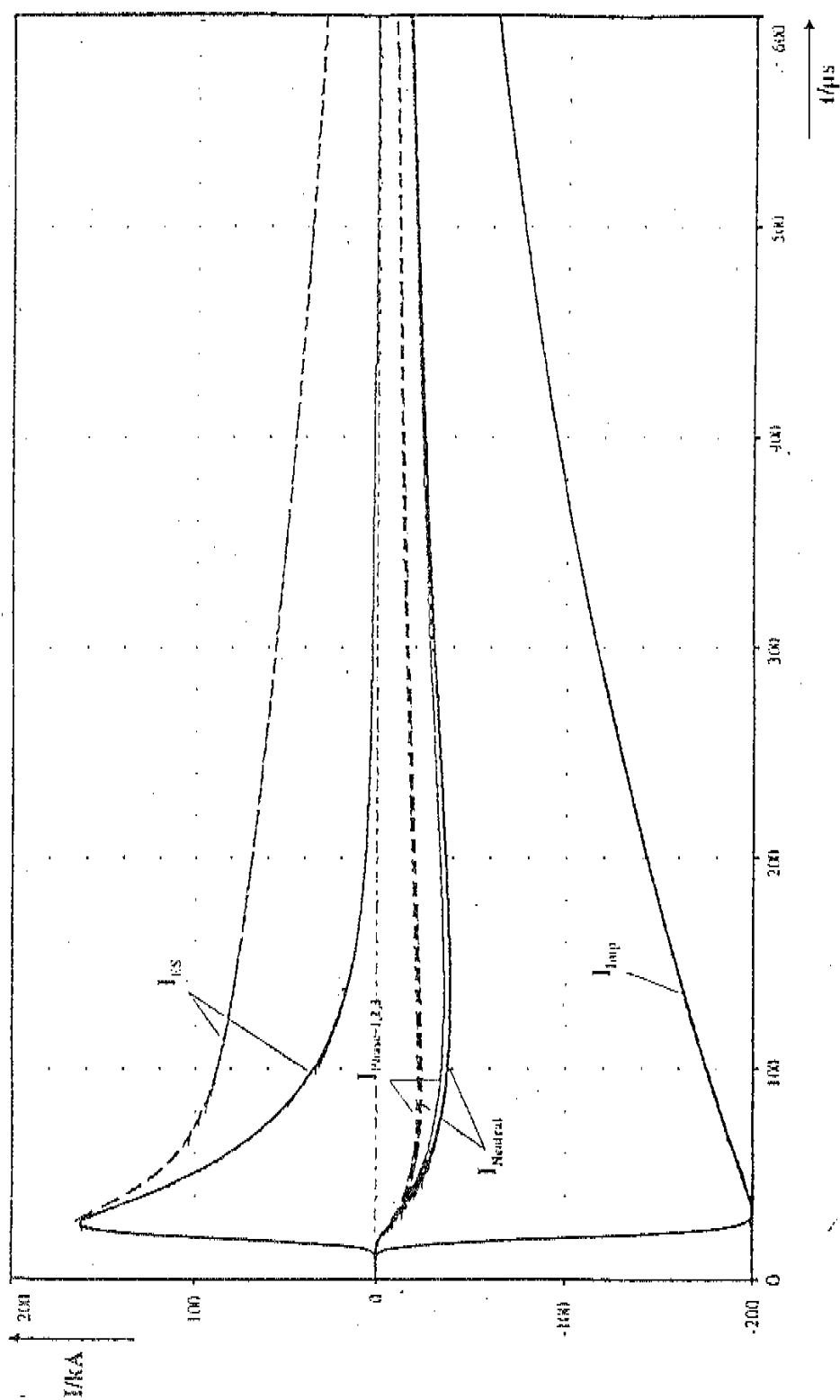


图 6A 不同的变压器接地阻抗时的电流分配

(电缆长度为 100m)

$\alpha: (- - -) R_{E1} = 1.0 \Omega; R_{ES} = 3 \Omega$
 $\alpha: (—) R_{E1} = 0.3 \Omega; R_{ES} = 3 \Omega$

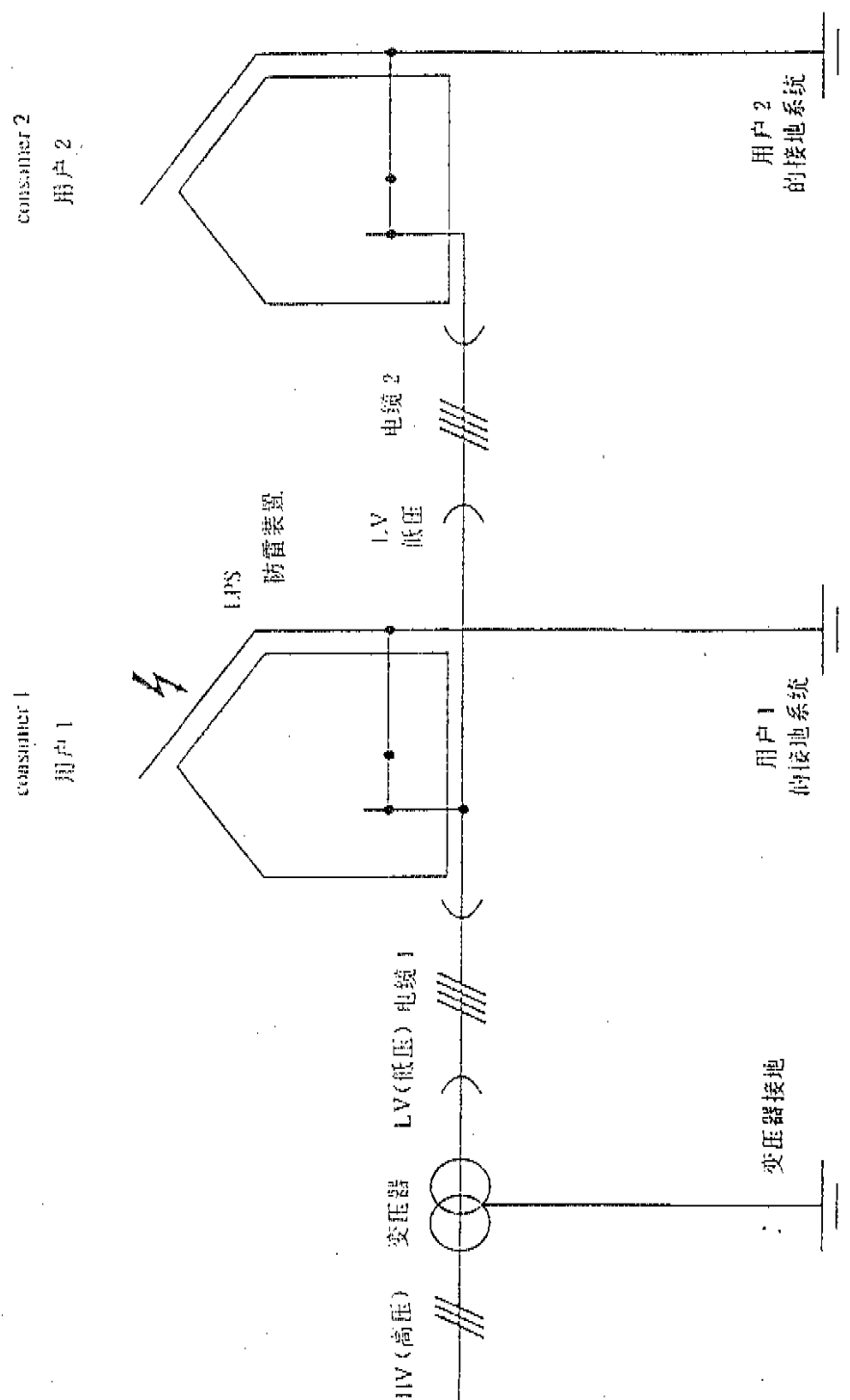


图 7A 并联用户情况下雷电流分配模型

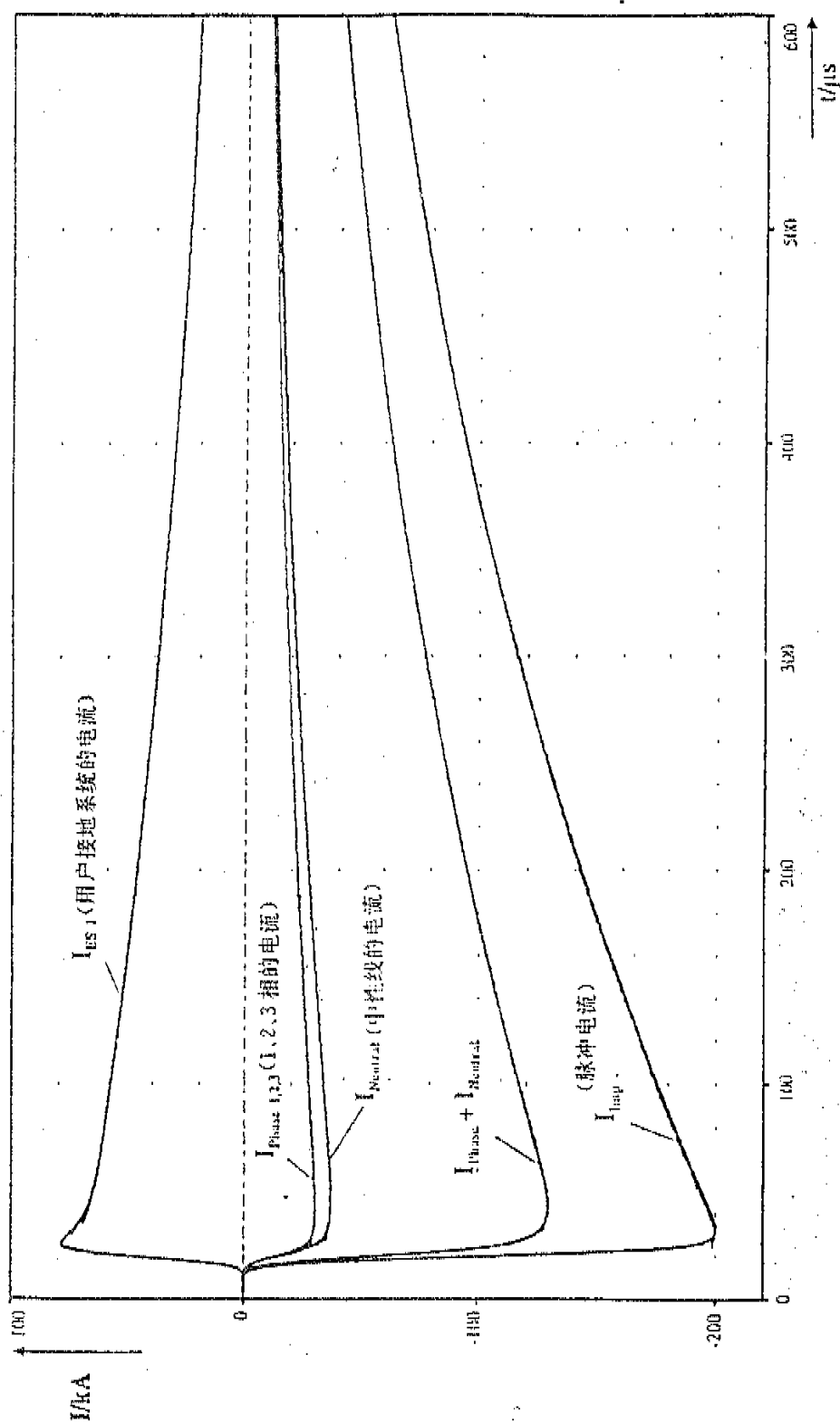
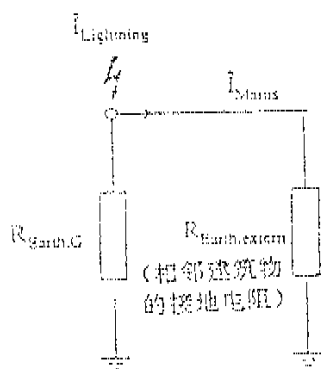
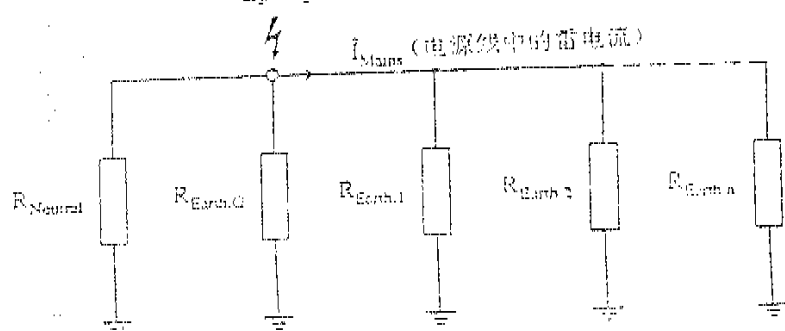
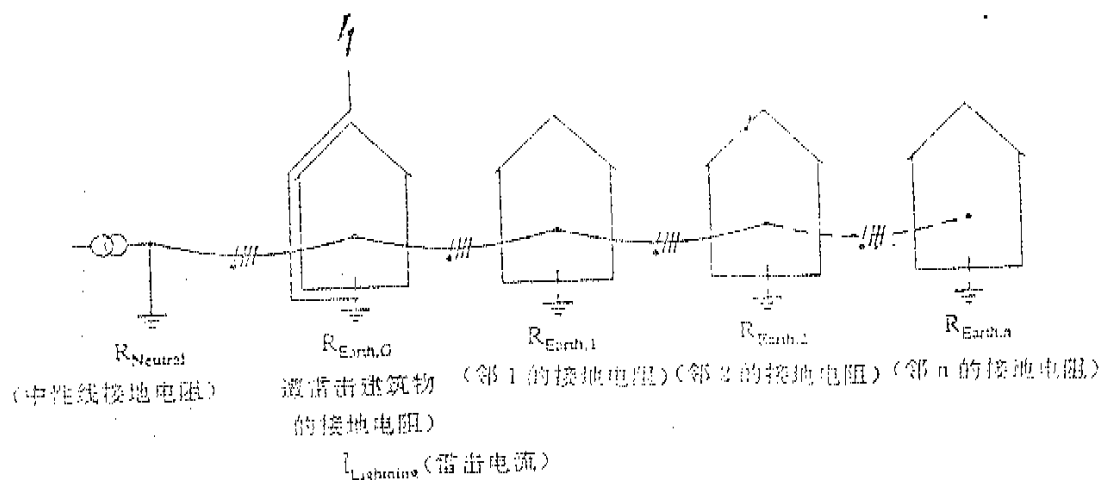


图 8A 附加一个用户情况下的电流分配



$$R_{Earth,exterm} = \frac{1}{\frac{1}{R_{Neutral}} + \sum_{m=1}^n \frac{1}{R_{Earth,m}}}$$

$$I_{Mains} = \frac{I_{Lightning}}{1 + \frac{R_{Earth,exterm}}{R_{Earth,G}}}$$

本计算中相邻建筑物接地系统的电阻 $R_{Earth,exterm}$ 应等于或低于遭雷击建筑物的接地系统的电阻 $R_{Earth,G}$

图 9A 进入电力配电系统的分雷电流总量的简单计算

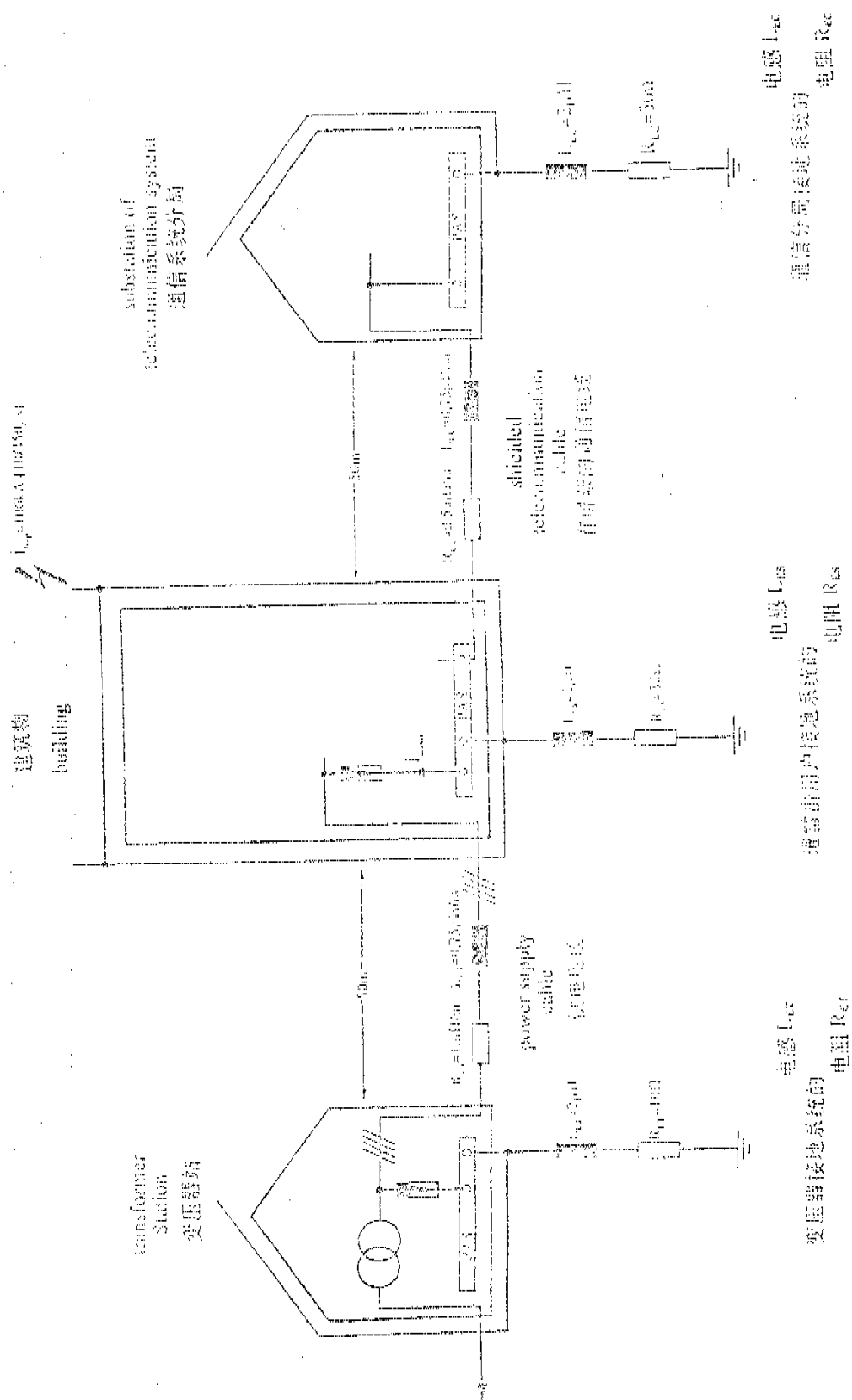


图 10A 雷电流分配模型(另见图 A1D)

对 SPD 要求的简化计算

原来的雷电流参数: 保护级别 II (IEC 1312-1, 表 1, 表 C. 1)
100kA (10/350μs)

因为有 3 个并接的接地系统, 故有雷电流的分配问题

计算:

R 电阻 L 电感

| | | |
|--------------|---|--|
| 变压器站接地系统: | : | $R_{ET} \approx 10\Omega$, $L_{ET} = 2\mu H$ |
| 另加 50m 电缆阻抗: | : | $R_{CT} = 12.5m\Omega$, $L_{CT} = 9.375\mu H$ |
| 通信分局接地系统: | : | $R_{EC} = 30\Omega$, $L_{EC} = 2\mu H$ |
| 另加 50m 电缆阻抗: | : | $R_{CC} = 25m\Omega$, $L_{CC} = 37.5\mu H$ |
| 避雷击建筑物的接地系统: | : | $R_{ES} = 30\Omega$, $L_{ES} = 2\mu H$ |

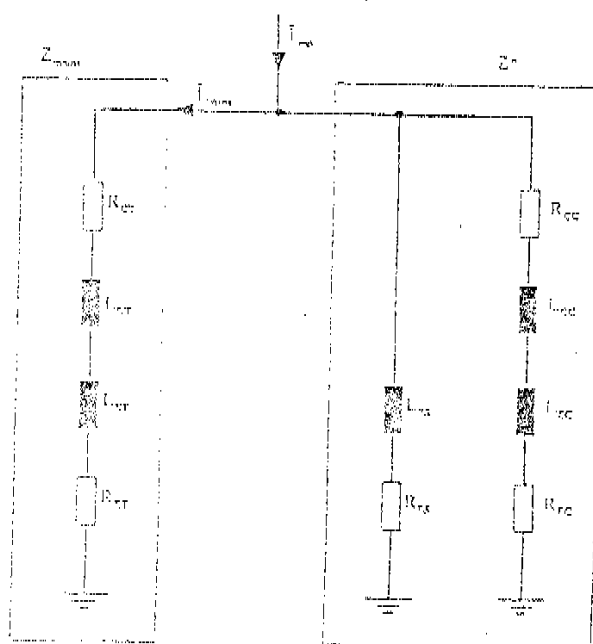
$$I_{main} = \frac{I_{imp}}{Z_{main}}$$

$$I = \frac{Z_{main}}{Z^*}$$

$$I_{main} = 60kA$$

$$I_{SPD} \approx I_{main} / 4 \approx 1.5kA \text{ per phase/line}$$

每相/线



注: 用于近似计算, 采用接地系统和电缆的欧姆电阻 - 通常这已足够精确。

用于本计算的各元件的所有阻抗值设定为典型值

图 11A 简化的等效电路 (另见图 A10)

附录 B

安装地点

如果不考虑防雷区概念就安装 SPD, 则可能发生由于不正确的能量配合, 需要保护的
设备将遭到损坏。造成这种事故的原因是: 在 SPD 和需要保护的设备之间的电缆上有反射
电压所致。

在临界导体长度的情况下, SPD 特性和需要保护的设备的输入阻抗具有重要性。图 B1
是一个简化线路的例子, 说明不同安装地点、不同电缆长度和不同负载下的效应。图 B2—B4
显示在连接电缆的末端, 可能有高振荡电压, 这取决于上述的安装条件。

注: 为用一个网络分析程序来模拟这些效应, 需要有一连接电缆的混合模型 (如传递模
型、有足够集中线路段的 R—L 模型。) 在这些考虑中不必去模拟与频率相关的效应, 如集肤
效应或介质损失。

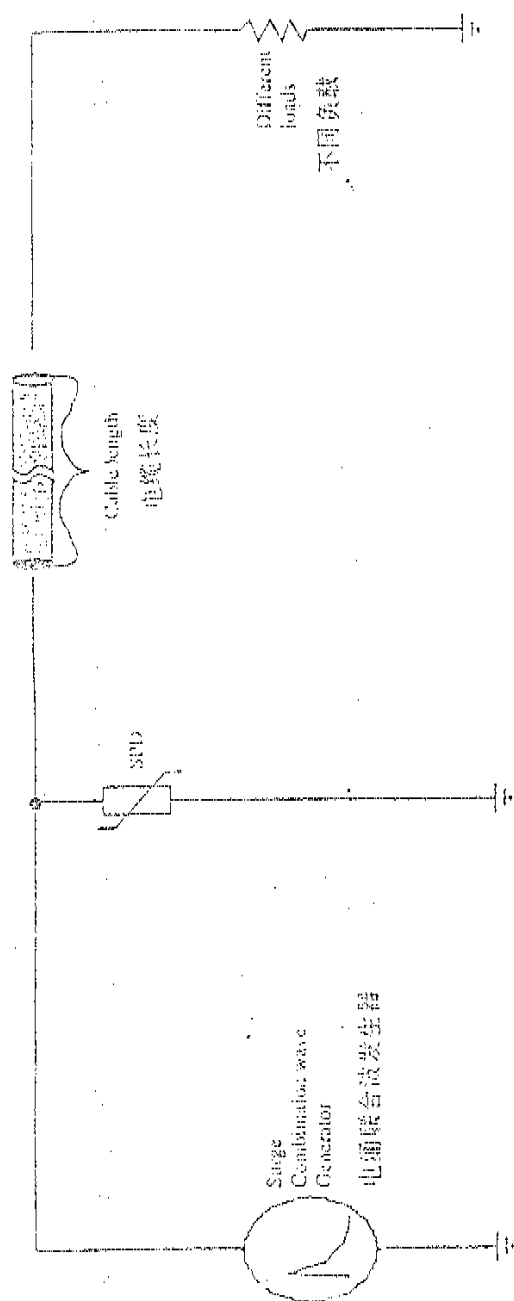


图 11 模拟 SPD 和用不同电缆长度连接不同负载的测试线路

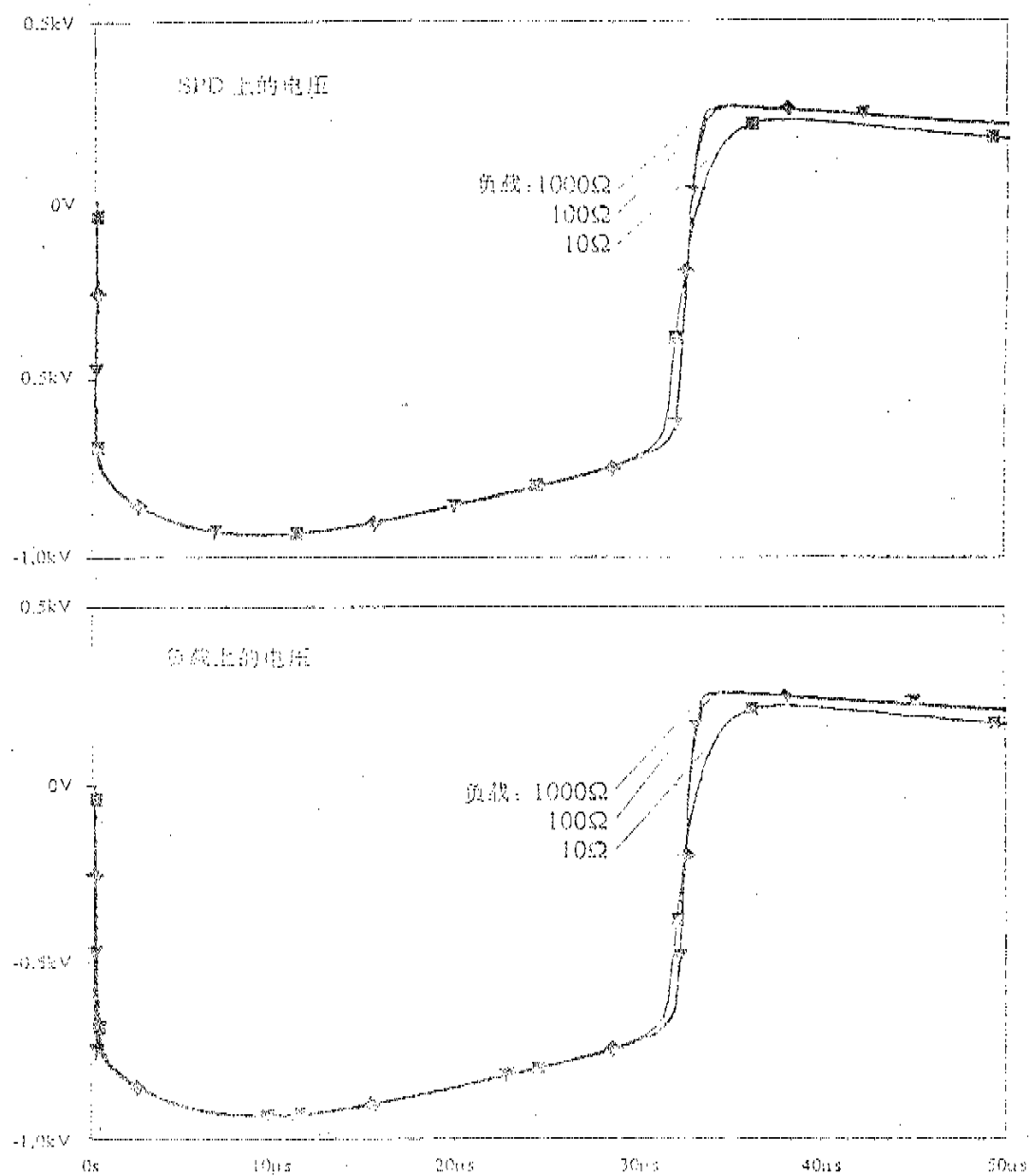
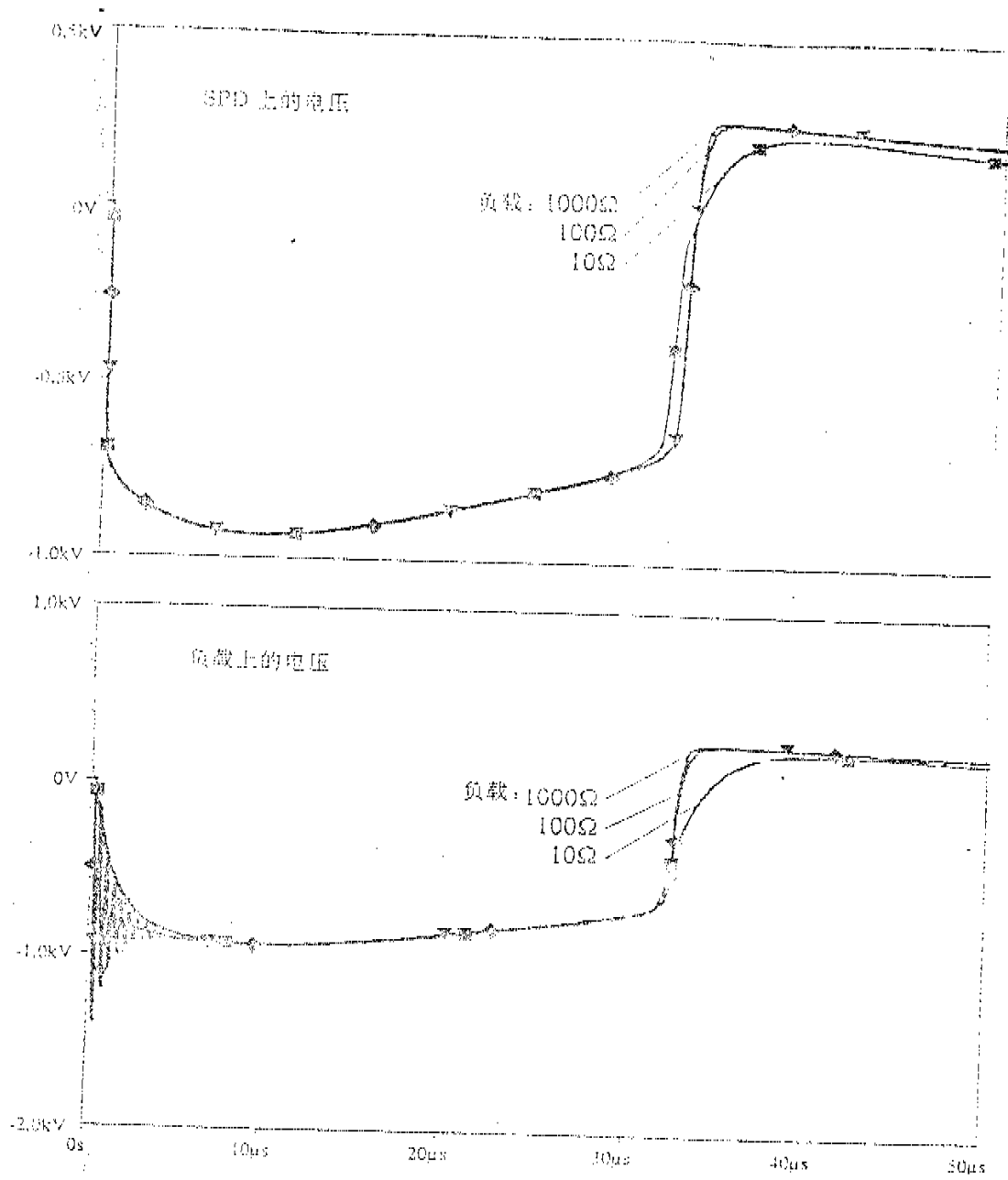


图 B2 SPD 和负载上的电压(6m 长的连接电缆参见图 B1)



注意: 最强的振荡是由于负载上最大的阻抗引起

图 B3 SPD 和负载上的电压 (10m 长的连接电缆参见图 B1)

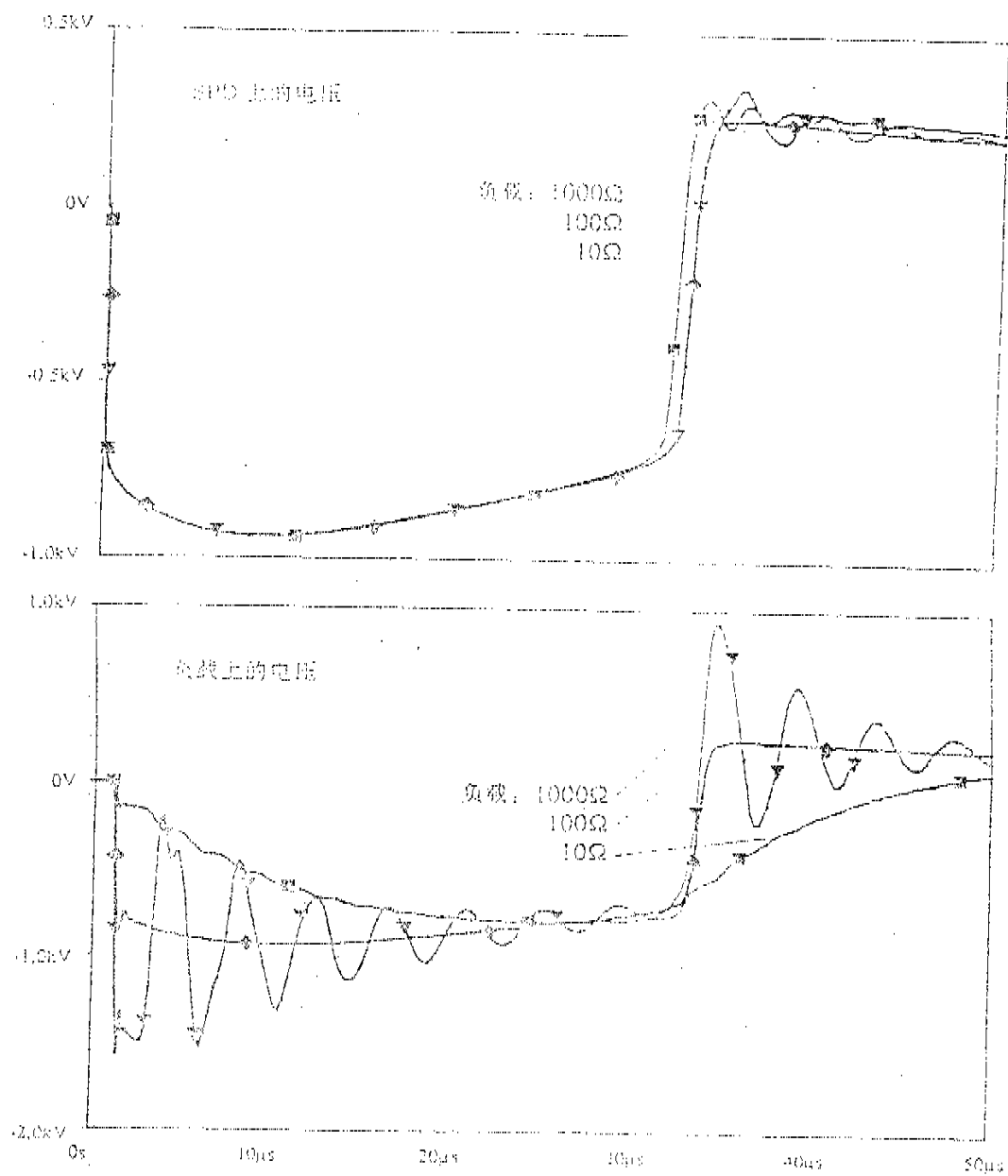


图 B4 SPD 和负载上的电压(100m 长的连接电缆参见图 B1)