

多分支系统中 SPD 配合的研究

张 栋, 傅正财, 孙 伟, 赵 刚
(上海交通大学 电气工程系, 上海 200240)

摘 要: 通过理论分析和软件仿真, 研究了低电压系统中多分支电路对开关型 SPD 和限压型 SPD 之间的配合, 及限压型 SPD 间配合的不同影响。研究表明, 各支路波阻抗的并联效果有利于设备的保护, 使 MOV 型 SPD 间的配合效果提高, 但开关型和 MOV 型 SPD 配合时, 易造成开关型 SPD 不动作, 在工程实践中应予以注意。

关键词: 过电压; 多分支电路系统; 浪涌保护器; 配合

中图分类号: TM 862 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-5531(2008)07-0012-04



张 栋 (1974—), 男, 博士, 研究方向为低压配电系统中雷电过电压保护。

Study on the Coordination of SPD in Multi-Line Low Voltage AC Power Systems

ZHANG Dong, FU Zhengcai, SUN Wei, ZHAO Gang

(Department of Electrical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: By theoretical analysis and software simulation, the influences of the outgoing multi-line in low-voltage AC power system on the coordination between voltage switching type SPD and voltage limiting type SPD, as well as the coordination between voltage limiting type SPDs were studied. Research results show that for the coordination of two voltage limiting type SPDs, the parallel effects of wave-impedance of connecting lines are helpful to the protection of electrical equipments and can improve the coordination effects of SPDs, but for the coordination of voltage switching type SPD and voltage limiting type SPD, it is possible to cause coordination failure and should pay more attention to it in practices.

Key words: overvoltage; multi-line circuit system; surge protective devices (SPD); coordination

0 引 言

低压电源系统是各种形式的雷电过电压进入弱电系统的重要传播途径。随着敏感电子设备的广泛应用, 出现的过电压问题也越来越多, 低压电源系统的过电压防护也更受重视。国内外已开展了较多的低压电源系统的 SPD 配合研究^[1~5], 但这些工作都是针对单一出线系统, 即首级 SPD 只与一个次级 SPD 进行配合, 对这种理想化模型的分析, 虽然在研究 SPD 的动态配合机理方面具有通用性, 但电路模型太过简单, 难以较好地模拟和反映实际情况。此外, 这些文献大多以仿真分析为主, 理论分析很少。本文通过理论分析和软件

仿真研究了多分支电源系统的多级 SPD 配合问题。

1 问题的提出

图 1 为 IEC 61643-12^[5]中给出的对建筑物内进行防雷保护区的划分以及 SPD 配置示例图。图中: PZ (Protection Zone) 为保护区; PDS (Power Distribution System) 为配电系统。由图可见, 在电源入口处的 SPD 及 PZ₁/PZ₂ 交界面上的 SPD 后面有多条出线和多个 SPD。实际工程中, 建筑物越大或配电系统越复杂, 这种现象越普遍。因此, 与单一线路的 SPD 配合问题相比, 研究多分支电源系统的 SPD 配合问题更具实际意义。

傅正财 (1966—), 男, 教授, 博士生导师, 博士, 研究方向为电力系统过电压与防雷保护、电磁环境与电磁兼容。

孙 伟 (1963—), 男, 高级工程师, 硕士, 研究方向为高电压、大电流试验设备和防雷器件测试。

赵 刚 (1972—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为高电压试验设备和高电压测试理论。

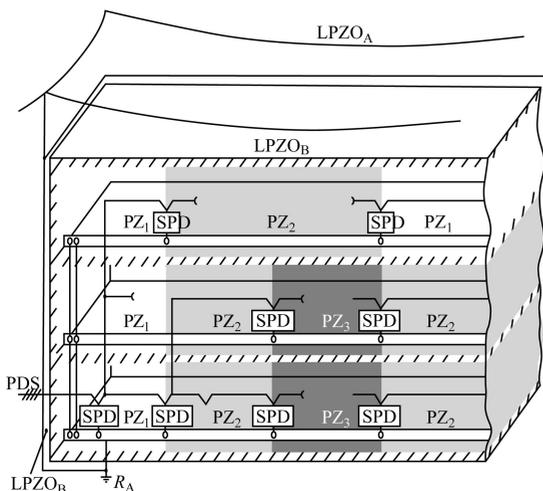


图 1 建筑物内防雷保护区的再划分

2 理论分析

多分支系统的 SPD 配合电路如图 2 所示。

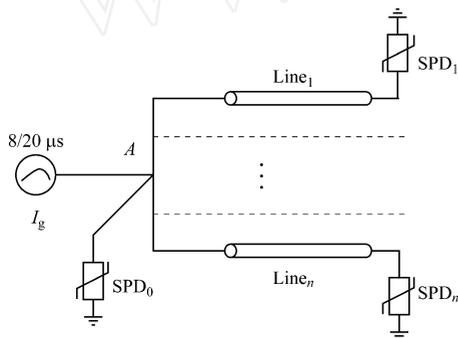


图 2 多分支电路系统的 SPD 配合示意图

图 2 电路中, 设外加冲击电源 I_g 直接作用在 A 点, SPD_0 为限压型或开关型 SPD, $SPD_1 \sim SPD_n$ 都为 MOV 型 SPD。下面对这种多分支电路系统中的 SPD 配合问题进行分析。

2.1 SPD 导通前

在 SPD_0 未导通时, SPD_0 近似开路。当各分支线路上的反射波未到达 A 点时, 根据彼得逊法则, 进入各支路的电流为

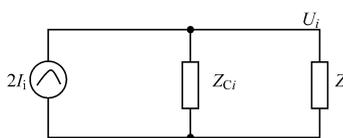


图 3 支路 i 的集中参数等值电路

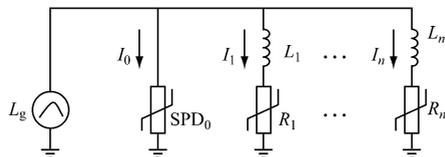


图 4 SPD 导通后的等值图

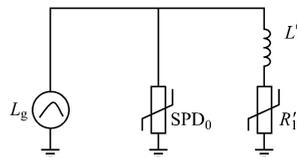


图 5 SPD 配合的简化等值电路

$$I_i = \frac{Z_{CS}}{Z_{Ci}} I_g \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

式中, $Z_{CS} = Z_{C1} \dots Z_{Cn}$, 即各分支线路波阻抗的并联。

SPD_0 上的电压为

$$U_0 = I_i Z_{Ci} = Z_{CS} I_g \quad (2)$$

很明显, SPD_0 后面并联的分支线路越多, 线路波阻抗的并联值 Z_{CS} 就越小, 进入每一分支线路的电流波 I_i 就越小, SPD_0 上的电压 U_0 的上升速度就越小, SPD_0 导通所需要的时间就越长。

对于负荷电压的建立, 根据彼得逊法则, 支路 i 的集中参数等值电路如图 3 所示。

支路 i 的末端负荷电压为

$$U_i = \frac{2Z_{Li}Z_{Ci}}{Z_{Li} + Z_{Ci}} I_i = \frac{2Z_{Li}}{Z_{Li} + Z_{Ci}} U_0 \quad (3)$$

由式 (3) 可见, 负荷电压与 U_A 成正比, 上升速率和 U_A 一样被降低了。

当各支路上的反射波到达 A 点时, 在线路具有一定长度的情况下, 由于外加冲击电源波远大于反射波, 反射波引起的 U_0 小波动基本可以忽略, 不影响 U_0 和 U_i 的变化趋势。

2.2 SPD 导通后

(1) SPD_0 为 MOV 型 SPD。在 SPD_0 和 SPD_i 都导通后, 各分支线路可用线路电感近似表示, SPD_i 用导通电阻 R_i 表示, 如图 4 所示。

由图可见, $I_0 = I_g - \sum_{i=1}^n I_i$, 由于各分支线路的并联分流作用, 流过 SPD_0 的电流减小, SPD_0 的残压会降低。

假设各分支线路参数和各 SPD_i 都相同, SPD_i 残压相等, 即 $U_{r1} = U_{r2} = \dots = U_m$, 根据电路原理的等电位原则, 图 4 可等效为图 5。

图中, $L_1 = L_1/n$, $R_1 = R_1/n$ 。显然, 分支线路越多, 线路的等值电感越小, SPD 的等值导通电阻越小, 各分支线路分流的雷电流就越大, 流过 SPD_0 的电流减小, SPD_0 的残压降低。

若用理想电压源表示导通后的 SPD₀, 系统可分为 n 个独立的单分支电路系统的 SPD 配合问题。由于 SPD₀ 的残压降低, 进入各支路的电流减小, SPD _{i} 的残压降低, 各支路的配合情况要比单分支电路系统中有所改善。

(2) SPD₀ 为开关型 SPD。当各分支线路参数和外加冲击电流幅值足够大时, SPD₀ 先于各分支线路末端 SPD 导通。由于开关型 SPD 导通后的开关特性, SPD₀ 将泄放全部雷电流; 而当各分支线路参数和外加冲击电流幅值较小时, 各分支线路末端 SPD 先于 SPD₀ 动作, 由于 SPD _{i} 的导通阻抗远小于线路波阻抗, 因此电流反射系数接近于 0。此外, 由于 SPD _{i} 的限压作用, 其残压变化较小, 导通的 SPD _{i} 可以用等效电压源 U_{ri} 代替。由图 5 和图 4 可知, SPD₀ 的电压为

$$U_0 = L \frac{dI_g}{dt} + U_{ri} = L_i \frac{dI_i}{dt} + U_{ri} \quad (4)$$

由式 (4) 可见, 在多分支线路系统中, 由于各支路分流的雷电流减小, 线路承担的电压降减小, U_0 减小, 容易造成 SPD₀ 不动作。

3 仿真

对图 2 所示的电路建立 ATP-EMTP 仿真电路模型, 如图 6 所示, 单一出线 SPD 配合电路的仿真模型如图 7 所示。图 7 中的线路和 SPD 情况与图 6 中的线路 1 完全相同。

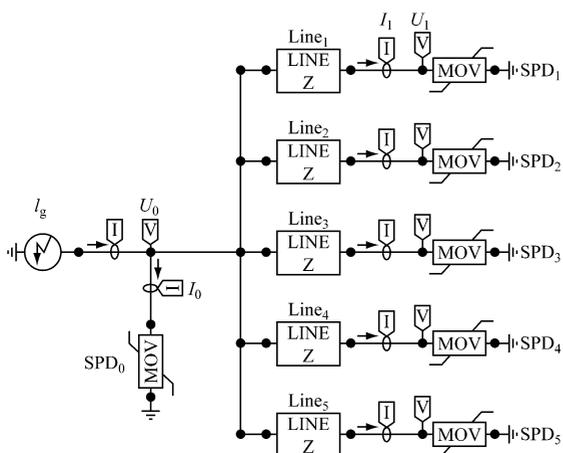


图 6 多分支电路系统 SPD 配合仿真电路

对不同 SPD₀ 情况下的配合仿真分析如下：

(1) SPD 都选用 MOV 型 SPD, SPD₀ 的压敏电压 $U_{1mA} = 580 \text{ V}$, SPD _{i} 的压敏电压 $U_{1mA} = 450 \text{ V}$

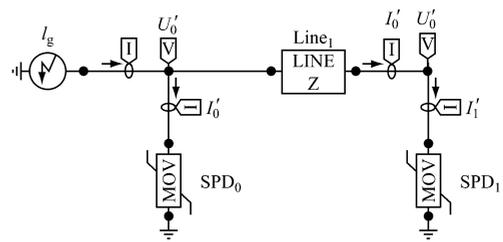


图 7 单一出线 SPD 配合仿真电路

V, 各条出线选用截面为 10 mm^2 的 VV-22 电缆, 长度 20 m, 施加幅值 2.3 kA 的 $8/20 \mu\text{s}$ 冲击电流。图 8 为 SPD 配合的电流分配, 图 9 为电压波形图, 图 10 为 SPD₀ 的电压波前图。

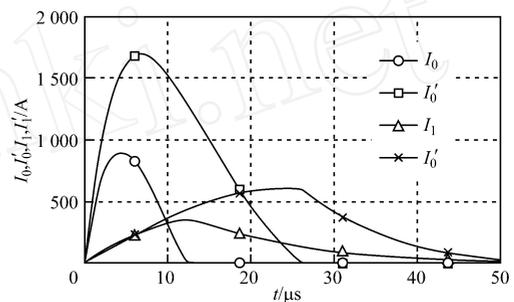


图 8 SPD 配合的电流分配

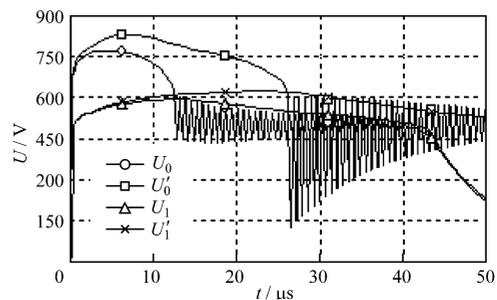


图 9 电压波形图

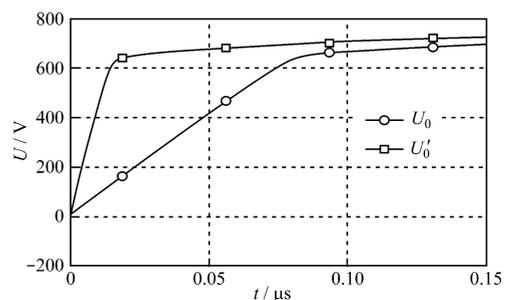


图 10 SPD₀ 的电压波前图

由图 8、9 可见, 在多分支电路系统中, 外加冲击电流由多条出线分流, 各出线上 SPD 分流的冲击电流变小, SPD 残压值变小, SPD 的保护情况比

单分支电路系统要好。由图 10 可见,多分支电路系统中 SPD₀ 上电压的上升速度明显减慢。

(2) SPD₀ 选用开关型 SPD,其他 SPD 选用 MOV 型 SPD,SPD₀ 的启动电压为 880 V,忽略伏秒特性上的导通延迟。SPD_i 的压敏电压 $U_{1mA} = 450$ V,各条出线电缆截面 10 mm^2 ,长度 5 m,外加幅值 2.3 kA 的 $8/20 \mu\text{s}$ 冲击电流。图 11 和 12 分别为电压、电流波形,图 13 为 U_1 波的电压波形,图 14 为 SPD₁ 上的电流波形。

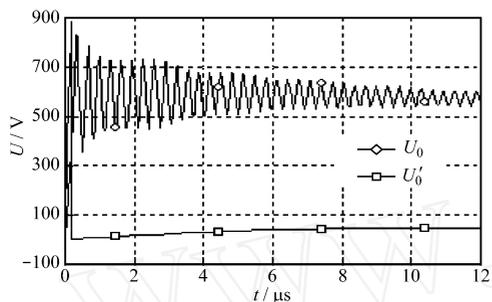


图 11 SPD₀ 上的电压波形

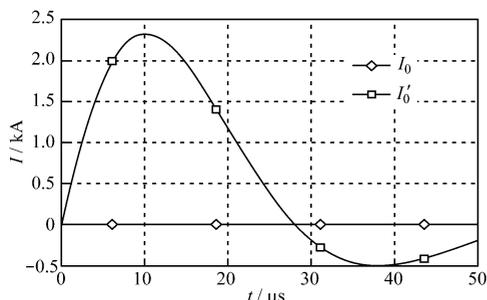


图 12 SPD₀ 上的电流波形

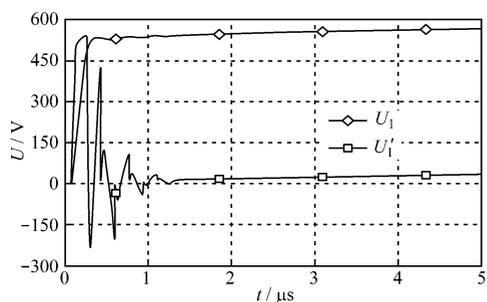


图 13 U_1 的电压波形

由图 11~14 可见,在线路较短和雷电流幅值较小的情况下,由于各分支线路的并联作用,多分支线路系统中的 SPD₀ 未导通,各支路 SPD 分流了全部雷电流。

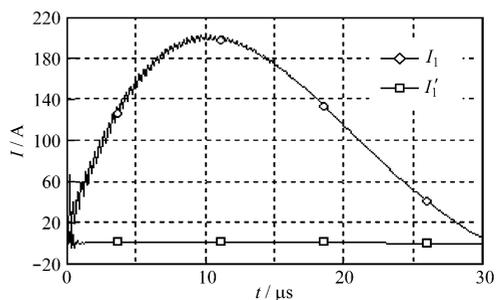


图 14 SPD₁ 上的电流波形

4 结 论

(1) 多分支电路系统中,由于各支路波阻抗的并联效果,SPD₀ 上电压的上升速度降低,各分支电路的入波波头陡度变缓,有利于设备保护。

(2) 对于 MOV 型 SPD 间的配合,由于多分支线路的并联分流作用,一方面降低了 SPD₀ 的残压,另一方面降低了进入各分支线路的冲击电流值,使 SPD 配合效果得到提高。

(3) 对于开关型 SPD 和 MOV 型 SPD 间的配合,由于多分支线路的并联效果以及各支路 SPD 的限压特性,使线路承担的电压降减小,易造成开关型 SPD 的不导通,由后级 SPD 分担冲击电流。

【参考文献】

- [1] ROUSSEAU A, PERCHE T. Coordination of Surge Arresters in the Low Voltage Field[C]// Telecommunications Energy Conference NTELEC '95, 17th International, 1995: 119-125.
- [2] 莫付江,阮江军,陈允平. 电源回路中多级电涌保护器间参数配合的研究[J]. 电磁避雷器, 2003(2): 25-29.
- [3] LAIJ S, MARTZLOFF F D. Coordinating Cascaded Surge Protection Devices: High-Low Versus Low-High[J]. IEEE Trans on Industry Application, 1993, 29(4): 682-687.
- [4] MARTZLOFF F D. Coordination of Surge Protectors in Low-Voltage AC Power Circuits[J]. IEEE Transactions on PAS-99, 1980: 129-133.
- [5] IEC 61643-12 Surge Protective Devices Connected to Low-Voltage Power Distribution Systems-Selection and Application Principles[S]. 2002.

收稿日期: 2007-09-01