

500 kV 变电站等电位连接铜缆方式研究

李 飞¹, 崔文杰¹, 黄 欣²

(1. 河北省邯郸供电公司, 河北 邯郸 056035; 2. 湖南电网公司郴州供电局, 湖南 郴州 423000)

摘要: 利用 ATP-Draw 暂态仿真软件, 根据事故发生情况建立模型, 对曲江变电站等电位连接铜缆一点和多点接地进行仿真分析, 并通过实验对仿真结果进行验证。最后分析其电缆接地方式的弊端, 提出了等电位连接铜缆多点接地的方法。

关键词: ATP-Draw; 金属氧化物避雷器; 等电位连接

中图分类号: TM86

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2009)04-0052-03

Research on Equipotential Bonding of Copper Cable in 500 kV Substation

LI Fei¹, CUI Wen-jie¹, HUANG Xin²

(1. Hebei Power Network Company of Handan Power Supply Company, Handan 056035, China;

2. Hunan Power Network Company of Chenzhou Power Supply Bureau, Chenzhou 423000, China)

Abstract: In this paper, using ATP-Draw transient simulation software, basing on the accident, establishes the model, simulates and analyzes one point earthing and multipoint earthing of the equipotential bonding copper cable in Qujiang 500 kV Substation, and verifies the simulation results through experiments. The disadvantage of the earthing way of the cable has been analysis. The method of multipoint earthing of the equipotential bonding copper cable is presented.

Key words: ATP-Draw; MOA; equipotential bonding

0 引言

500 kV 曲江变电站地处广东省韶关市, 是粤北地区第一个 500 kV 变电站, 是粤北电网的重要枢纽, 担负着粤北电网与省网的连接和功率交换, 对粤北乃至整个广东省电网的安全、稳定运行起着十分重要的作用。

2006 年 09 月 09 日 00:45 分, 曲江变电站附近强烈的雷电活动打坏了该站的通信 CAN 网。根据现场勘查情况, 曲江变虽有比较完善的低压防雷保护措施, 但接地系统却存在严重问题。曲江变电站在执行《国家电网公司十八项电网重大反事故措施》继电保护专业重点实施要求时, 敷设了专用等电位连接铜网, 并将各控制屏柜铜排用铜缆连接起来一点接地, 实际上这种做法存在很大的问题^[1,2]。笔者针对此现象进行了精确的仿真分析, 并通过实验对仿真结果进行进一步的验证。

1 事故分析

图 1 为曲江变电站微机系统接地简图。在这种

情况下, 根据保护室的大小不同, 用于连接接地铜排的铜缆前后绕行最少 200 m, 不能忽视铜缆在雷电流作用下的电感值。所以当雷击变电站等有高频干扰的情况下, 由于接地点相距较远造成的地电位差, 屏柜与其内部芯片将处于不同的电位, 其电位差为低压避雷器动作的残压和铜缆的等效电感上的电压之和^[2], 即

$$U_d = U_r + L \frac{di}{dt} \tag{1}$$

式(1)中, U_d 为在微机内部产生的电位差, U_r 为避雷器残压, i 为流过铜缆的电流值, L 为电缆在雷电流作用下的电感值^[3]。

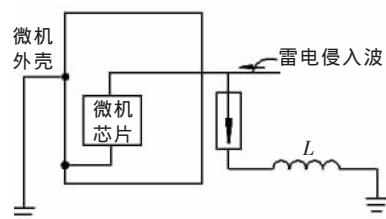


图 1 曲江变电站微机系统接地简图

可以看出, 曲江变电站的这种一点接地等电位

收稿日期: 2008-08-05; 修回日期: 2008-12-14

作者简介: 李 飞(1982), 男, 工程师, 研究方向为电力系统过电压与防雷。

连接方法,用于等电位连接的铜缆长度太长,由于地电位差异,在微机系统内产生的电位差将随着铜缆电感值和雷电流陡度的增加而增加^[4]。对于一些尖峰脉冲,其 di/dt 值很大,这样 U_d 就会远远高出微机的耐压水平,导致其失灵和损坏。这种接法实际上反而引入了高电位,当有雷电侵入,避雷器不动作时,说明冲击电压尚在微机的承受范围内。一旦避雷器动作,由于上述两部分电压的影响,很容易引发二次设备误动作甚至击穿。

2 仿真研究

2.1 模型建立

采用国际通用的电磁暂态计算程序 ATP-Draw 进行仿真。根据曲江变电站具体情况,设计仿真参数。曲江变电站在控制室电缆间内等电位连接铜缆的长度约为 200 km,接地铜缆在雷电流流过时等效电感为 $0.5\sim 0.8\ \mu\text{H}/\text{m}$,文中取 $0.6\ \mu\text{H}/\text{m}$,则 $L=0.12\ \text{mH}$ 。低压配电变压器的变比为 26,仿真选用雷电侵入波为标准 $1.2/50\ \mu\text{s}$ 雷电波^[5],金属氧化物避雷器其伏安特性见表 1,参考电压 $U_{\text{ref}}=0.35\ \text{kV}$,线路带 $50\ \Omega$ 负载,仿真计算假设 A 相电缆作用雷电波。

表 1 金属氧化物避雷器伏安特性

电流/A	电压/V	电流/A	电压/V
10^{-2}	264	10^2	365
10^{-1}	283	10^3	450
10^0	303	10^4	746
10^1	325		

ATP 等效仿真图见图 2。在 1 点(二次设备前端)测得的为侵入低压二次系统的冲击电压波形,2 点(接地铜缆前端)测得的铜缆等效电感上的电压波形^[6]。表 2 为在不同幅值雷电冲击电压作用下,作用在负载上的冲击电压峰值 U_1 和电感上的电压值 U_2 。

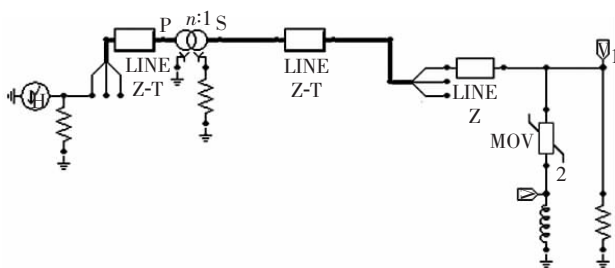


图 2 ATP 等效仿真图

2.2 一点接地仿真结果分析

在 HEIDLER 型冲击源模块中分别设置 10、50、100、150、200、250 kV 的雷电过电压值,对其进行仿真。从表 2 可以看出,在 A 相上,当加 10 kV 的雷电冲击电压时,避雷器没有动作,电感上的电压几乎为零。当雷电压达到 50 kV 时,A 相上的避雷器动

作,此时,在 A 相 1 点上测得的冲击电压峰值为 381.2 V,其中有 105.3 V 为 2 点铜缆等效电感在冲击电压作用下产生的压降,占总电压值的 28%。随着所加雷电波峰值的增加,电感上的冲击电压对侵入低压系统总的过电压的影响越来越大。当施加 250 kV 雷电冲击电压时且对低压系统的过电压达到峰值 1 861.6 V 时,电感对其的影响值就达到了 1 555.2 V,达到了总值的 84%。

表 2 一点接地时在 1 点和 2 点测得的过电压峰值

雷电波峰值/kV	相别/V			相别/V		
	U_{1A}	U_{1B}	U_{1C}	U_{2A}	U_{2B}	U_{2C}
10	76.6	26.8	52.2	0.558	0.3	0.3
50	381.2	134.3	134.3	105.3	0.2	0.2
100	757.7	757.7	268.5	465.9	12.1	12.1
150	1 131.2	400.9	400.9	833.0	122.0	122.0
200	1 501.8	532.0	532.0	1 199.9	244.2	244.2
250	1 861.6	662.5	662.5	1 555.2	370.3	370.3

图 3 为对 A 相施加峰值为 100 kV 雷电波时在 1 点和 2 点测得的波形。由以上数据分析可见,曲江变电站这种等电位连接铜缆一点接地的方式,当避雷器不动作时,证明加在负载上的电压在其承受范围之内,不会对其造成很大影响。但是避雷器一旦动作,由于过长的接地铜缆在冲击电压作用下的电感作用,加在负载上的电压将很高,它是避雷器的残压和电感上的电压之和,而电感上所产生的电压占负载上总电压很大比重,冲击电压幅值越高,所占的比重也越高。因此,即使能够把避雷器的残压值限制在一个很低的范围内,如果不改变等电位连接铜缆的接地方式,每当有雷电或是其他冲击电压入侵时,由于连接电缆上所产生的很大的冲击电压会对二次设备进行反击,二次弱电设备仍很可能误动作甚至损坏^[7]。

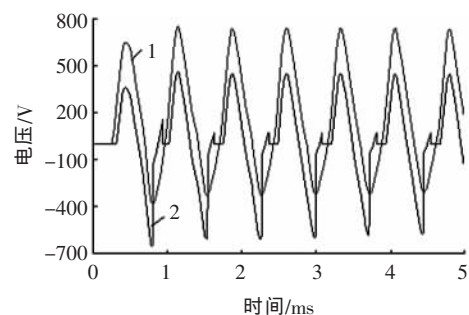


图 3 雷电侵入波对二次系统影响等效波形图

2.3 多点接地仿真结果分析

采用多点接地的方式,机房内环形接地母线就近均匀多点连接,并注意采用短线术,设备间的连接线尽可能采用较短的导线连接,最大限度地减小在冲击电压作用下电缆上雷电感应电压幅值,让加在微机系统上的电压仅为避雷器的残压^[8],即

$$U_d = U_r \quad (2)$$

同样运用 ATP-Draw 对等电位连接铜缆多点接地的方式进行仿真,去掉一点接地模型中的电感,其他的参数均与一点接地时相同。测得 1 点过电压峰值,见表 3。

表 3 多点接地时 1 点测得的过电压峰值

雷电波峰值/kV	相别/V		
	U_A	U_B	U_C
10	76.6	26.9	26.9
50	308.4	134.3	134.3
100	325.7	268.2	268.2
150	336.3	310.9	310.9
200	343.5	319.1	319.1
250	348.3	323.8	323.8

由表 3 可以看出,入口端所加的雷电波峰值从 10 kV 增加到 250 kV,压敏电阻在雷电波峰值达到 50 kV 时开始动作。由于对负载影响的仅为压敏电阻的残压,随着所加雷电压峰值的增加,加在 A 相负载上的电压增大得并不多,始终保持在 350 V 以下,比一点接地时情况有了很大的改善。

3 实验验证

在实验室搭建模型,用冲击电流发生器产生模拟雷电流,试验中所加冲击电流为 10 kA,所用高压避雷器为 HWY16.5/50 kV,低压避雷器为 Y1.5W 0.28/1.3 kV,图 4、5 分别为等电位接地铜缆一点接地和多点接地时示波器上截取的波形。其中:图 4 中的坐标参数为 10 V/格,峰值为 1.6 格,经计算可知负载两端的电压约为 48.3 kV;图 5 中的坐标参数为 2 V/格,峰值有 2 格,经计算可知负载两端的电压约为 16.1 kV。

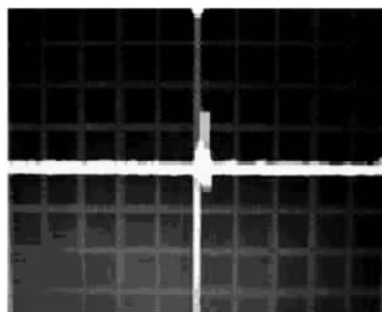


图 4 等电位接地铜缆 1 点接地时波形

单点接地与多点接地试验数据见表 4。实验结果表明,二次系统等电位连接铜缆多点接地时设备上所承受的过电压值要明显小于一点接地时的值。当冲击所加冲击电流为 10 kA 时,多点接地时的过电压值仅为一点接地的 33%。这个结果与仿真结论是一致的。

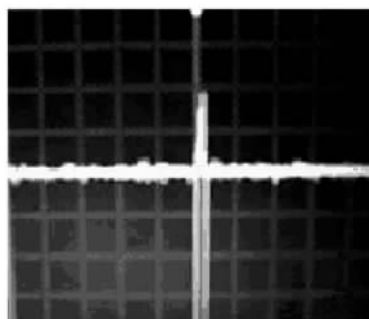


图 5 等电位接地铜缆多点接地时波形

表 4 试验数据

负载上冲击电压大小/V	
单点接地	48 315
多点接地	16 105

4 结语

经过以上的仿真和实验室试验证明,500 kV 曲江变电站对等电位连接铜缆一点接地,不但不能消除地电位差干扰,反而引入了高电位对二次设备造成危害。同时还证明了等电位连接铜缆多点接地方式才能确保雷电流造成的地电位差不会对二次设备产生干扰。这种多点接地方式能够给设备、线缆等产生的干扰电位差、雷电波感应产生的电位差及各种高频杂散电位差提供一条最短的、较建筑物结构钢筋阻抗要小得多的快速泄放通道。这样机房内所有设备地线就近接到等电位连接网上,就能很好地抑制雷电波对二次系统的危害^[9]。

参考文献:

- [1] 国家电力调度通信中心.《国家电网公司十八项电网重大反事故措施》(试行)继电保护专业重点实施要求[R].北京:国家电力调度通信中心,2005.
- [2] 黄欣.500 kV 变电站二次系统等电位连接铜缆的接地方式[J].电瓷避雷器,2008(2):43-46.
- [3] 李宾皓.电力系统二次设备的接地和接地铜排的敷设[J].华东电力,2005(9):60-63.
- [4] 郑曲直变电站自动化系统的过电压防护问题[J].继电器,2000(11):50-54.
- [5] ORLANDI A. Lightning Induced Transient Voltages in Presence of Complex Structures and Nonlinear Loads[J].IEEE Trans. on Electromagn. Compat,1996,38(2):150-155.
- [6] 邓恩宏.500 kV 变电站运行状态分析软件研究[D].重庆:重庆大学,2002.
- [7] 张纬钺,何金良.过电压保护及绝缘配合[M].北京:清华大学出版社,2002.
- [8] 李宾皓.电力系统二次设备的接地和接地铜排的敷设[J].华东电力,2005(9):60-63.
- [9] 贺景亮.电力系统电磁兼容[M].北京:水利电力出版社,1993.