

户外变电站进线避雷器优化布置的研究

根据行波传输理论对户外敞开式变电站进线避雷器采用“T”字型布置时设备上的过电压水平进行分析,给出设备上的过电压与引线长度成线性关系的结论。利用EMTP程序对该结论进行了验证,同时,结合实际500 kV变电站工程数据,对2种不同的布置形式进行仿真计算,结果表明采用“一”字型布置时可降低设备上9.6%的过电压水平。

郭宜果 朱 毅/国网山东省电力公司经济技术研究院
魏 鑫 徐希霖/国网山东省电力公司枣庄供电公司



郭宜果/工程师

雷击是输电线路安全可靠运行的主要危害,雷害事故一般占电力系统事故40%~70%^[1]。雷击线路以后,雷电波随着线路侵入变电站,对站内设备的绝缘带来巨大考验。对于采用架空进线的户外变电站来说,一般在进线侧安装避雷器对雷电侵入波过电压进行防护。另外,考虑到变电站主接线的特点,进线避雷器与电压互感器组合布置,布置形式通常有“T”字形布置和“一”字形布置两种,如图1所示。

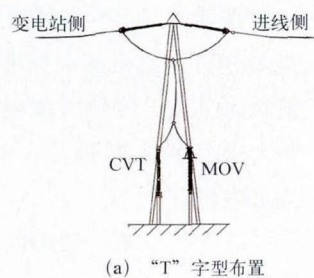
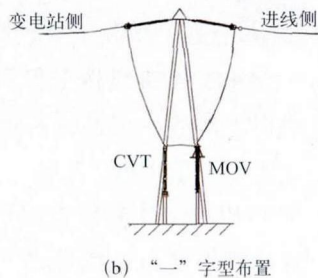


图1 户外变电站进线避雷器的布置

文献[2-3]指出,避雷器的接入方式应尽量避免分支引线“T”字型接入,避雷器的引线越短,保护效果越好,当引线长度为0 m时,避雷器的保护效果最佳,但是未对“T”形引线长度的影响进行更为普遍且准确的定量分析。本文将运用导线中行波折反射理论,定量分析“T”形接线引线长度对侵入波过电压的影响,同时结合EMTP程序对定量分析结果进行验证。

理论分析

由于电力系统是三相系统,某一相落雷雷电波随导线侵入变电站内时,其余两相导线的互阻抗将降低侵入波的幅值和陡度。偏严格考虑^[4],同时为了简化分析过程,一般在研究雷电侵入波过电压的影响时,仅对落雷相设备及连接导线进行分析,不考虑另外两相的影响。

行波传输理论指出^[5],雷电波在导线上的传播可用以下4个行波方程解释

$$\begin{cases} u = u_q + u_f \\ i = i_q + i_f \\ \frac{u_q}{i_q} = Z \\ \frac{u_f}{i_f} = -Z \end{cases} \quad (1)$$

画出侵入波经避雷器进入变电站内的传输路径,如图2所示。

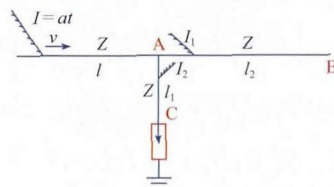


图2 雷电流传播示意图

关键词/Keywords

避雷器 ·
优化布置 ·
侵入波过电压 ·
EMTP ·

为简化避雷器引下线对侵入波过电压影响的分析过程,将系统作出如下假定:

- 1) 雷电流为一个斜角波 $I = at$ 。
- 2) 连接导线的波阻抗均相等。
- 3) 暂不考虑电容器的影响。
- 4) 避雷器引下点A到避雷器距离为 l_1 , A点到变电站设备距离为 l_2 , $l_2 > l_1$ 。

下面对雷电波的作用过程进行分析。

当 t_1 时刻,雷电流到达A点时,由于AB、AC段波阻抗相等,因而进入两端导线雷电流大小相等,此时雷电波尚未到达传输线末端,未发生折反射,流过线路AB、AC上的电流均为前行波。假设该时刻为零时刻,则流过线路AB、AC上的电流为

$$I_{1q} = I_{2q} = \frac{1}{2}at \quad (2)$$

对应传输线AB、AC上的电压为前行波电压为

$$U_{1q} = U_{2q} = \frac{1}{2}atZ \quad (3)$$

对雷电流在AC导线上的传播进行分析,如图3所示。

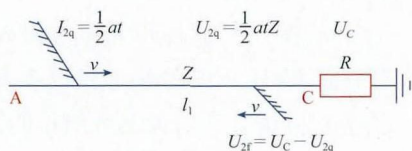


图3 雷电波在AC段导线上传播示意图

随着时间的推移,雷电流到达避雷器,并在 t_2 时间避雷器上的电压超过其动作电压,避雷器动作。根据避雷器的伏安特性曲线,动作点处避雷器阻值很低,相当于一个小电阻。设避雷器动作后,避雷器上的残压为 U_C ,对于C点电压 U 有

$$\begin{cases} U = U_{2q} + U_{2f} \\ U = U_C \end{cases} \quad (4)$$

则

$$U_{2f} = U_C - \frac{1}{2}a(t-t_2)Z \quad (t \geq t_2) \quad (5)$$

此时可认为从避雷器发出了一个幅值为 U_C 的反行波,假设 t_3 时刻,该反行波到达A点,则A点电压为

$$U_A = U_{2q} + U_{2f} = U_C + \frac{1}{2}a(t_3-t_2)Z \quad (6)$$

又由

$$t_3 - t_2 = 2L \quad (7)$$

则

$$U_A = U_C + a\frac{l_1}{v}Z \quad (8)$$

对雷电流在AB段传输线上的传播过程进行分析。假设 t_4 时刻雷电流到达B端,B端电压为

$$U_B = \frac{1}{2}a(t-t_4)Z \quad (9)$$

再经过一段时间, t_5 时刻,由C点产生的反行波到达B点时,类似上面的分析过程可得B端电压为

$$U_B = U_C + \frac{1}{2}a(t_5-t_4)Z = U_C + a\frac{l_2}{v}Z \quad (10)$$

由此可见,侵入变电站雷电波幅值与避雷器引下点雷电波幅值相同。

综上所述,采用MOA防范雷电侵入波过电压保护时,避雷器引线的距离对侵入波过电压具有重要影响,避雷器动作后,侵入波过电压的幅值与避雷器引线长度呈线性关系,同时与雷电波的陡度以及引线波阻抗均有关系。

EMTP仿真验证

按照典型500 kV变电站的参数利用EMTP进行仿真分析,雷电流取标准的1.2/50 μ s双指数波,幅值为10 kA。传输线波阻抗取370 Ω ,避雷器采用一个非线性电阻模拟,非线性电路伏-安特性曲线如表1所示。

表1 避雷器的伏安特性曲线

I/kA	1	3	5	9	10	20	30	40
U/kV	880	940	975	1 035	1 045	1 145	1 180	1 220

各段连接线按工程实际情况进行考虑,避雷器引下点到变电站设备距离取40 m,避雷器引线长度分别取4 m、8 m、12 m、16 m和20 m,采用ATPDraw绘制仿真图形,对应不同的引下线长度,测得变电站内设备上的最大电压值与避雷器引线长度的对应关系如图4所示。

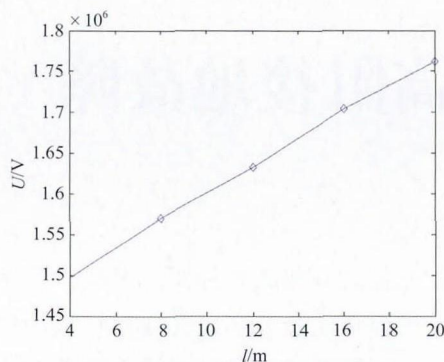


图4 过电压值与避雷器引线长度的关系

图中随着引线长度变化, 侵入波过电压幅值与之呈线性关系, 进行最小二乘拟合后所得 $U = 1.65 \times 1041 + 1.43 \times 106$ V, 根据以上的推导得到的仿真计算结果与拟合结果较为接近, 可见以上分析是正确的, 缩短避雷器引线长度对降低变电站侵入波过电压水平效果显著。

在以上仿真计算的基础上, 同时考虑变电站内其他设备的影响, 分别验算进线避雷器“一”字形布置与“T”字形布置, 计算时以雷击1#杆塔发生反击这种较严重的过电压形式为例计算。变电站内各设备上的过电压如表2所示。

表2 不同布置形式时各设备上的最大电压对比

布置形式	各电气设备最高雷电侵入波过电压幅值/kV					
	电压互感器	断路器	电流互感器	刀开关	变压器	套管
“一”字形布置	1 282.09	1 302.46	1 303.36	1 314.68	1 142.89	1 299.53
“T”字形布置	1 405.15	1 421.41	1 420.50	1 425.48	1 211.79	1 415.04
降低过电压的百分比 (%)	9.60	9.13	8.99	8.43	6.03	8.89

计算表明, 避雷器的布置形式对设备上过电

压影响巨大。MOV与CVT采用“一”字形布置时, 可降低电压互感器9.6%的过电压水平, 断路器上9.13%的过电压水平。推荐户外敞开式变电站避雷器布置时采用“一”字形布置。

结束语

对于户外敞开式变电站, 进线避雷器采用“T”字形布置时, 站内设备上的过电压值与避雷器的引线长度大致呈线性关系。

改变户外敞开式变电站进线避雷器的布置形式, 将其呈“一”字形布置在进线回路中, 尽可能缩短避雷器引线长度对于降低变电站内设备上的雷电侵入波过电压水平具有十分积极的意义。根据EMTP仿真计算结果, 可降低500 kV变电站电压互感器9.6%的过电压水平, 同时站内其他设备上的过电压水平也有明显降低。

参考文献

- [1] 张颖, 高亚栋, 杜斌, 等. 输电线路防雷计算中的新杆塔模型 [J]. 西安交通大学学报, 2004, 38 (4): 365-369.
- [2] 张纬钺. 大型水电工程变电站雷电波保护和绝缘配合的研究 [J]. 水力发电, 1995 (3): 41-45.
- [3] 李妮, 文习山. 500 kV GIS 电站仿真计算的影响因素研究 [C]. 中国电机工程学会高压专委会2007年学术年会论文集, 2007.
- [4] 袁兆祥, 周洪伟. 500 kV HGIS变电站雷电侵入波的计算分析 [J]. 高电压技术, 2007, 33 (6): 71-75.
- [5] 周泽存, 沈其工, 等. 高电压技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.

(收稿日期: 2015-04-07) EA

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告