

Lightning Protection Grounding Design of a Certain 110kV Substation

Xu Zhu

China Railway Nanchang Bureau Group Co., Ltd. Fuzhou Power Supply Section, Fuzhou, Fujian, 350012, China

Abstract

Substation in the power system is an important part. If a lightning strike occurs, there will be a large-scale power outage, which will seriously hinder production operations and daily life. It should pay attention to the protection of lightning in the substation. In the operation of the substation, overvoltage may occur. Overvoltage refers to a sudden increase in voltage that is abnormal to the insulation of electrical equipment. Atmospheric overvoltage and internal overvoltage are classified according to the cause. The internal overvoltage can be divided into operating overvoltage, resonant overvoltage and arc grounding overvoltage. The lightning overvoltage is atmospheric overvoltage, which is divided into induced lightning overvoltage, lightning intrusion wave and direct lightning overvoltage. The purpose of overvoltage protection is to prevent electrical insulation from being damaged by overvoltage.

Keywords

traction substation; lightning protection grounding; lightning discharge; lightning current

某某 110kV 变电所防雷接地设计

朱旭

中国铁路南昌局集团有限公司福州供电段, 中国·福建 福州 350012

摘要

电力系统中的变电所是重要组成部分, 假如发生雷击事故, 就会有大面积的停电, 严重阻碍生产运作和日常生活, 应当关注牵引变电所雷电的防护。运行中的变电所, 可能发生过高电压的危害。过电压是指对电气设备绝缘有异常的忽然升高的电压, 大气过电压和在内部过电压两大类是按产生原因的分类。在内部过电压可分为操作过电压、谐振过电压和弧光接地过电压。雷电过电压是大气过电压, 它又分成感应雷过电压、雷电侵入波和直击雷过电压。而过电压保护的目的是为了防止电气配置绝缘受到过电压的损坏。

关键词

牵引变电所; 防雷接地; 雷电放电; 雷电流

1 绪论

雷电发生极其频繁, 雷电过电压产生时可达数千千伏, 电气部设备绝缘结构足够产生闪络和毁坏, 引发停电事故, 所以需要线路输电、变电所和发电厂的电气设备选择防雷保护方式。

1.1 雷电参数及防雷装置

雷电参数常见的有: 雷电流波形、地面落雷密度、雷电流幅值、雷暴日与雷暴小时、雷电流的波头、陡度及波长等。

当前人们抓紧想办法去避免和降低雷电的破坏性, 防雷保护装置的设施是加装电容器组、避雷器、电抗线圈、防雷接地、避雷线、避雷针、主动重合闸等。

1.2 防雷设备

防雷设计中要注意设备的保护方式, 其次考虑其保护范围有哪些。

1.3 避雷器

避雷器在当前使用的主要有四种类型: 保护间隙、管式避雷器、阀式避雷器和氧化锌避雷器。

1.3.1 避雷器的分类及比较

避雷器目前有四种类型: 一是保护间隔雷, 二是排气式避雷器, 三是阀式避雷器, 四是金属氧化物避雷器。普通型阀式避雷器分为雷磁吹型阀式避雷器和金属氧化物避雷器。氧化锌避雷器具备保护性能好、无续流和通流容量大、无间隙等的保护性能。

1.3.2 阀式避雷器电气特性的基本参数

(1) 额定电压 U_{be} : 它是工频电压有效值在避雷器两头之间施加的 (单位为 kV), 即电力系统额定电压。

(2) 灭弧电压: 它是指工频续流电弧被避雷器能可靠地熄灭, 最大工频电压容许在避雷器两头之间的有效值 (单位为 kV)。灭弧电压是阀式避雷器主要的电气参数, 它应该大于避雷器安置点大概出现的最大工频电压, 不然避雷器可能由于不克不及灭弧而爆炸。

(3) 工频放电电压: 它是指受工频电压影响, 产生放电的电压有效值 (单位为 kV)。因为分散性间隔击穿, 下限值和上限值都受工频放电电压规定。

(4) 冲击放电电压 $U_{b(i)}$: 指在避雷器放电的电压受冲击电压作用下的上限值 (单元为 kV)。用于 330kV 及以上体系避雷器, 还需给出准则操作电压作用下的冲击放电电压值。

(5) 残压 U_R : 指避雷器由冲击电流流入时, 降在阀片电阻上发生的电压 (峰值单元为 kV)。因为变电所正常都没有进线保护段, 对雷电波的幅值和坡度都有必需限度功用, 准确地说: 额定雷电冲击电流到避雷器, 小于等于 220kV 取 5kA; 大于等于 330kV 取 10kA, 波形为 8/20 μ s。

(6) 冲击系数: 是指避雷器的冲击放电电压与工频放电电压幅值之比。一般希望系数全体接近于 1, 这样避雷器的伏秒特性就比较平坦, 有利于绝缘配合。

(7) 割断比: 是指避雷器工频放电电压下限值与灭弧电压之比, 这是表现火花间隔灭弧本领的目标。割断比越小, 释放间隔绝缘强度的收复越快, 灭弧本领越强。

(8) 保护比: 是指避雷器中残压与灭弧电压之比。保护比越小, 灭弧电压越大或泄出残压越小。

1.3.3 金属氧化物避雷器电气特性参数

(1) 额定电压 U_{be} ; (2) 最大持续运行电压; (3) 压比; (4) 荷电率。

1.4 避雷针和避雷线

避雷针实质是引雷。四周物体低于避雷针, 当雷云飘下来, 由避雷针构成迎雷先导, 使得雷云对避雷针放电, 继而经过接地装置与避雷针连接的引下线, 地面有泄放的雷电流, 从而使保护范围内的路线、配置和建筑物等免受雷击。

避雷器作用是防止雷电过电压波沿线路侵入变配电所或周围建筑物, 以避免威胁被保护配置的绝缘。

1.5 防雷接地的概述

防雷通道来源三个方面: 一是天上下来的直雷击, 二是感应或引进的感应雷, 三是地下出来的反击雷。一套完善而健全的综合立体防雷系统包括: 架设避雷针、装设线路避雷器、各种金属管线入户处进行接地处理、埋地电缆用金属裸线平行屏蔽、具备良好的接地装置等。接地与防雷接地包含四种方式: 一是工作接地, 二是保护接地, 三是静电接地, 四是防雷接地。

2 冲击电流流经接地装置入地时的基本现象

2.1 土壤中的电位分布

当接地装置流过电流时, 电流从接地体向周围土壤流散, 由于大地不是理想的导体, 它具有一定电阻率, 接地电流将沿大地产生电压降 (图 1)。

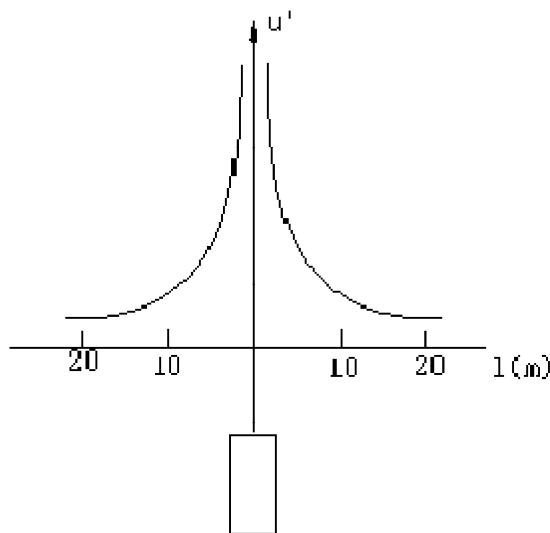


图 1 接地装置在地表面电位分布

接地点电位 u 与接地电流 i 之比为欧姆定律, 即 $u = Ri$, R 称为接地体的接地电阻, 根据接地电流 i 的性质, 若是冲击电流或工频电流, 接地电阻 R 可分别称为冲击接地电阻或工频接地电阻。

2.2 土壤中的电场强度

当冲击电流流经接地装置时, 在接地装置附近的土壤中出现了很大的电流密度, 因而在接地装置附近的土壤中产生很大的电场强度 E , 土壤中的电场强度 E 由下式决定

$$E = \delta\rho \quad (\text{公式 } 1)$$

公式中： δ ——冲击电流在土壤中的密度；
 ρ ——土壤电阻率。

当土壤中的电场强度大于 3~6kV/cm 时，土壤中就可能产生火花击穿，出现火花击穿后，此部分土壤的电阻率就大为下降而成为良好的导体，因而接地装置好像被良好的导电介质包围一样，其作用相当于扩大了接地装置的直径，这样，进攻电流时的冲击接地电阻抵抗流过工频接地电阻，就会使接地装置流过冲击电流时的冲击接地电阻低于流过工频接地电阻。

由公式 1 可推，冲击电流愈大（即 δ 愈大）、土壤电阻率愈大，则土壤中的电场强度也愈大；土壤中的火花击穿程度愈激烈，冲击接地电阻下降得就愈多。

2.3 接地装置的电感效应及利用率

当工频电流流经接地装置时，由于电流频率不高，接地装置利用程度最高；当冲击电流流经接地装置时，由于电流变化很快，接地装置本身电感的功用不能再忽视。

综上所述，流经冲击电流时接地装置的接地电阻 R_{ch} 与雷电流幅值、土壤电阻率和接地装置的长度及其结构形状有关，通常将冲击接地电阻 R_{ch} 与工频接地电阻 R_g 之比 $a_{ch}(=\frac{R_{ch}}{R_g})$ 称为接地装置的冲击系数，由于考虑到雷电流幅值大，土壤中会发生局部火花放电，使土壤电导率增加，接地电阻减小，所以其值一般小于 1；但由于雷电流频率高，对于伸长接地装置因有电感效应，阻碍电流向接地体远端流去，故冲击系数可能大于 1。

2.4 防雷接地装置的形式及其电阻的算法

2.4.1 接地装置的形式

接地装置一般可分为人工接地体装置和自然接地体装置。

2.4.2 接地体的选择

人工接地体的规格，水平铺设的接地体可用于圆钢、扁钢，垂直接地体可用钢管、角钢，接地体和接地引线的截面应不小于下表所列规格。

表 1 钢接地体和接地线的最小规格

种类	规格及单位	地上		地下
		屋内	屋外	
圆钢	直径 (mm)	6	8	10
扁钢	截面 (mm)	48	48	48
	厚度 (mm)	4	4	4
角钢	厚度 (mm)	2.5	3	4

2.4.3 发电厂和变电所的防雷接地

发电场和变电所内需要有良好的接地装置以满足工作、安全和防雷保护的接地要求。

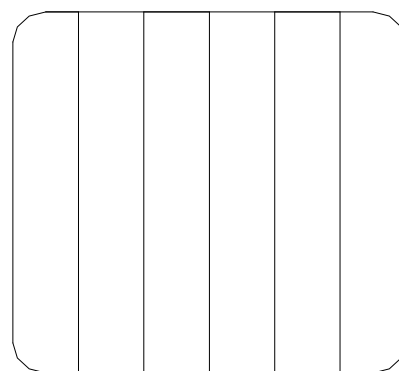
人工接地网的外缘应闭合，外缘各角应做成圆弧形，圆弧半径不宜小于均压带间距的一半。

35kV 以上变电所接地网边缘经常有人出没的走道，为降低跨步电压应铺设砾石、沥青路面或者地下装设两条与地网连接的均压带。

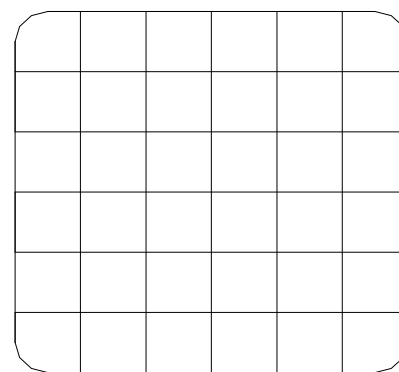
接地网由扁钢水平连接，埋入地下 0.6~0.8m 处，其面积 S 大体与变电所的面积相同，如图 2 所示，这种接地网的总接地电阻可按下式估算：

$$R = \frac{0.44\rho}{\sqrt{S}} + \frac{\rho}{L} \approx 0.5 \frac{\rho}{\sqrt{S}} \quad (\text{公式 2})$$

公式中： L ——接地体(包含水平的与垂直的)总长度，m；
 S ——接地网的总面积。



(a) 长孔



(b) 方孔

图 2 接地网示意图

接地网构成网孔形，主要在于均压。

方形地网。考虑到保持周长不变将圆环变成方框后，占地面积将由原来的 A 缩小为 $\frac{\pi}{4}A$ ，计算圆环或圆盘的接地

电阻公式

$$R = 0.22 \frac{\rho}{\sqrt{A}} (1 + B) + \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4\pi A}{hd} - 0.452 - 5B \right) \quad (\text{公式 3})$$

$$B = \frac{1}{1 + \frac{4.6h}{\sqrt{A}}} \quad (\text{公式 4})$$

公式中的 A 用 $\frac{\pi}{4}A$ 代替, 在考虑方板的修正后, 得方形地网的接地电阻的公式为

$$R_e = 0.213 \frac{\rho}{\sqrt{A}} (1 + B) + \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{A}{9hd} - 5B \right) \quad (\text{公式 5})$$

$$\alpha_1 = \left(3 \ln \frac{l_0}{\sqrt{A}} - 0.2 \right) \frac{\sqrt{A}}{l_0} \quad (\text{公式 6})$$

公式中: A —— 地网面积;

l_0 —— 地网周长;

l —— 水平接地体长度;

d —— 接地体直径;

ρ —— 土壤电阻率;

$$R = \alpha_1 R_e \quad (\text{公式 7})$$

2.5 变电所防雷接地的必要性

变电所是供电系统的枢纽, 担负着电网供电的重要任务。

内部过电压是指由于电力系统内部的原因所引发的过电压。

大气过电压又叫外部过电压。

变电所是电力系统的枢纽, 担负着电网供电的重要任务。

3 110kV 变电所防雷保护和接地设计

发电厂、变电站及输电线是电力系统的重要组成部分, 如果遭受雷击, 会在系统中产生幅值很高的雷电过电压, 从而严重危及路线和电气设备的绝缘。

根据过电压形成的物理进程, 输电线路上的雷电过电压能够分为两种。

发电厂、变电站的雷电过电压有两种, 一是雷直击于发电厂、变电站而形成的直击雷过电压; 二是雷击输电线路后产生的向发电厂、变电站侵入波过电压。

对直击雷的保护, 输电线路一般采用避雷线, 发电厂、变电站一般采用避雷线或避雷针。

3.1 直击雷保护

3.1.1 保护对象

屋外配电装配, 包括组合导线、母线廊道。

3.1.2 保护措施

- (1) 110kV 配电装置装设避雷针或装设独立避雷针;
- (2) 主变压器装设独立避雷针;
- (3) 屋外组合导线装设独立避雷针。

3.1.3 避雷针装设应注意的问题

应妥善采用独立避雷针和构架避雷针, 其联合保护范围应覆盖全所保护对象。110kV 及以上配电装置, 可将线路的避雷线引接到出线门型架上, 35kV 配电装置将线路的避雷线引接到出线门型架上, 但应集中接地装置。

中国规程规定:

- (1) 110kV 及以上的配电装置, 一般避雷针在构架上;
- (2) 35kV 及以下的配电装置应采用独立避雷针来保护;
- (3) 10kV 的配电装置, 在 $500\Omega \cdot m < \rho$ 的区域宜选用独立避雷针, 在 $500\Omega \cdot m > \rho$ 的地区允许采用构架避雷针。

变电站的直击雷防护设计内容主要是选择避雷针的指数、高度、装设位置、验算它们的保护范围、应有的接地电阻、防雷接地装置的设计等。

3.2 雷电侵入波保护

3.2.1 保护措施

避雷器结合进线段保护。

3.2.2 避雷器的设置

参考中国《电力设备过电压保护技术规程》SDJ7-79 中的规定:

第 78 条: 变电站的每相母线上都应装设阀型避雷器, 应以最短的接地线与配电装置的主接地网连接, 同时应在其附近架设集中接地装置。

第 80 条: 大接地短路电流系统中的中性点不接地变压器, 如中性点绝缘按线电压设计, 应在中性点装设保护装置。

第 83 条: 与架空线联络连接的三绕组变压器的 10kV 绕组, 如有开路运行的可能, 应采用防止静电感应电压危害该绕组绝缘的措施。

第85条：变电站3~10kV配电装配应在每相母线和每路架空线上装设阀型避雷器。①110kV, 35kV, 10kV每段母线上均装一组避雷器；②变压器35kV侧每一相上装一个避雷器，10kV侧在一相上装一个避雷器；③110kV中性点为分级绝缘且装有隔离开关，故需装一个避雷器；④35kV架空出线连接处应装设一组避雷器。

3.3 变电站的保护

根据该变电站的实际情况需要设置四只避雷针分布在四周。因为土壤电阻率 $\rho=100\Omega\cdot\text{cm}$ ，仍宜装设独立避雷针，以免发生反击；选择避雷针高 $h=50\text{m}$ ，相邻两针的距离 $D=60\text{m}$ ，对角的两针相距 $D=60\sqrt{2}\text{m}$ ，被保护物高 $h_x=10\text{m}$ 。

当 $h_x=10\text{m}<\frac{h}{2}=25\text{m}$ 时，相邻两针间外侧保护半径为：

$$\begin{aligned} r_x &= (1.5h - 2h_x)p \\ &= (1.5 \times 50 - 2 \times 10) \times 5.5 / \sqrt{5.5} \\ &= 42.78\text{m} \end{aligned}$$

相邻两针间保护范围为：

$$h_0 = h - D / (7 \times P) = 50 - 60 / (7 \times 5.5 / \sqrt{50}) = 39\text{m}$$

相邻两针高 h_x 水平面上的保护范围为：

$$b_x = 1.5(h_0 - h_x) = 1.5 \times (39 - 10) = 43.5\text{m}$$

对角两针间的保护范围为：

$$h_0 = h - \sqrt{2}D / 7P = 50 - \sqrt{2} \times 60 \times \sqrt{50} / (7 \times 5.5) = 34.4\text{m}$$

对角两针高 h_x 水平面上的保护范围为：

$$b_x = 1.5(h_0 - h_x) = 1.5 \times (34.4 - 10) = 36.6\text{m}$$

3.4 110kV 高压输电线路的防雷保护

3.4.1 雷电对输电线路的危害

雷电对输电线路安全运行危害极大，常常造成绝缘子闪络事故，特别在山区、交通不便的地区，给巡视、查找规章增加不少困难。

3.4.2 线路雷击跳闸的主要表现形式

直击雷是指带电云层与大地上某一点之间发生迅猛的放电现象。

3.4.3 线路雷击跳闸分析

(1) 雷电参数

雷电日：每年发生雷暴日的天数。

雷电流幅值：单为KA，可以用磁钢棒测到雷电定位系数。

雷电流幅值概率：雷电流幅值超过I概率P可由下式表现：

$$\lg P = -\frac{I}{88}$$

公式中：p——雷电流幅值概率；

I——雷电流幅值（单位KA）。

当平均年雷暴日在20及以下的地区，雷电流幅值较小，可求得：

$$\lg P = -\frac{1}{44}$$

不同雷电流幅值下，超过该值的概率（表2）。

表2 不同雷电流幅值下，超过该值的概率

I(KA)	120	88	66	44	22	11	5.5
>20 雷电日的P	0.043	0.1	0.178	0.316	0.562	0.750	0.866
≤20 雷电日的P	0.002	0.001	0.032	0.1	0.316	0.562	0.750

(2) 线路雷击次数

对高度小于、等于20米的路线，每年每百公里的雷击次

$$N = \frac{r_x 10h}{1000} \times 100 \times T \text{ 次 / 百千米}$$

公式中：T——每年平均雷电日；

H——输电线路高度(m)；

r——落雷密度，为每平方公里雷电日对地落雷次数。

对于30米高线路，在每年30雷电日地区，每百公里落雷次数为11.7次。

根据新标准，按40雷暴日计，每年每百公里落雷次数为：

$$N = 0.28fb + 4h$$

公式中：b——架空地线间距离；

H——输电线路高度(n1)。

3.4.4 有避雷线的线路雷击跳闸率的确定

(1) 在下列情况下线路将要跳闸

雷击杆塔顶部发生闪络并建立电弧；雷击绕过避雷线击于导线发生闪络并建立电弧。

(2) 耐雷水平的确定

雷绕击导线时耐雷水平中 $U_{50\%}$ 是绝缘子串的 50% 是冲击放电电压； z 是雷击导线处的波阻。

3.4.5 有避雷线线路的雷击跳闸率

$$N = NL\eta L\eta_1 + PaP_2$$

公式中 NL 为每百公里每年线路雷击中次数； η 为建弧率； Pa 是绕击率，山区路线的绕击率约为平坦线路的 3 倍； P_1 是超过雷击顶部的耐雷水平的雷电流概率； P_2 是超过雷绕击导线时耐雷水平的雷电流概率。

3.5 牵引变电所进线段保护

35~110kV 电力系统中要使避雷器能可靠的保护电气设备，必须设法使避雷器电流幅值不超过 5kA（在 330~500kV 级为 10kV），而且必须保证来波陡度 α 不超过一定的允许值。

进线段保护是指在临近变电所 1~2km 的一段线路上加强防累保护措施，如图 3 所示。进线段的耐雷水平如表 3 所示。

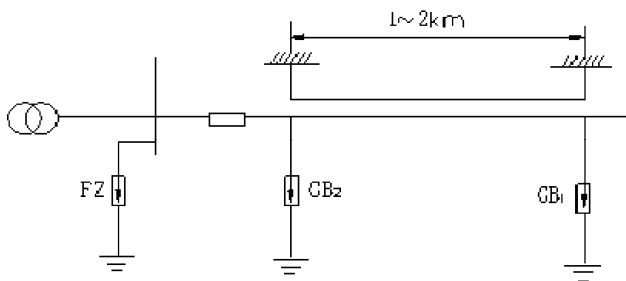


图 3 变电所进线段的保护接线图

表 3 进线段的耐雷水平

额定电压 (kV)	35	60	110	220	330	500
耐雷水平 (kA)	30	60	75	120	140	175

对于沿全线路已架设避雷线的线路也将变电所附近的 2km 长的一段列为进线保护段，此段的耐雷水平也应满足上表的要求，保护角为 20° 左右，以尽量减小绕击的机会。

当变电所进线上有了避雷线保护以后就可以防止在变电所附近的线路导线上落雷。

雷电侵入波经进线段后的电流和陡度的计算。

采取进线段保护以后，能否满足规程规定的雷电流幅

值和陡度的要求，让我们在最不利的情况下计算雷电流和陡度 α 。

3.5.1 进线段首端落雷，流经避雷器电流的计算

最不利情况是在进线段首端落雷，由于进线段波阻抗的作用，流经避雷器的冲击电流减小。

$$2U_{50\%} = I_b Z + U_{cm} \quad (\text{公式 } 8)$$

$$U_{cm} = f(i_b) \quad (\text{公式 } 9)$$

公式中： U_{cm} ——避雷器的残压幅值；

$U_{50\%}$ ——线路的 50% 冲击闪络电压。

不同电压等级的 I_b 如表 4 所示。

表 4 进线段外落雷流经单路进线变电所避雷器雷电流的最大值

额定电压 (kV)	避雷器型号	路线绝缘的 $U_{50\%}$ (kA)	I_b (kA)
35	FZ—35	350	1.4
110	FZ—110J	700	2.6
220	FZ—220J	1200~1400	4.35~5.38
500	FCZ—500	2060~2310	8.63~10

上述说明，当采取进线段保护后，35~220kV 流过避雷器电流不会超出 5kA。

3.5.2 进入变电所的雷电波陡度的计算

可以认为，在最不利的情况下，出现在进线段首端的雷电侵入波的最大幅值为线路绝缘的 50% 冲击闪络电压 $U_{50\%}$ 且具有直角波头。

$$a = \frac{u}{\Delta\tau} = \frac{u}{(0.5 + \frac{0.008u}{h_d})l} \quad (\text{公式 } 10)$$

$$a' = \frac{a}{v} = \frac{a}{300} \quad (\text{公式 } 11)$$

公式中： h_d ——导线平均悬挂高度（单位 M）；

l ——进线段长度（单位 km）；

a' ——侵入波计算陡度（单位 kV/M）。

在最不利的情况下，计算出的变电所侵入波陡度如表 5 所示。

表 5 变电所侵入波计算陡度

额定电压 (kV)	侵入波陡度 (kV/M)	
	1km 进线段	2km 进线段或全线有避雷线
35	1.0	0.5
60	1.1	0.6
110	1.5	0.75

3.6 牵引变电所内变压器的防雷接地保护

3.6.1 双绕组变压器的防雷保护

双绕组变压器在正常运行时, 高压侧与低压侧断路器都是闭合的, 两侧都应该装设避雷器。

3.6.2 三绕组变压器的防雷保护

110kV 以上的变电所都采用三绕组变压器, 即具有高压、中压和低压三个绕组。

3.6.3 自藕变压器的防雷保护

自藕变压器除有高中压自藕绕组外, 还采用三角形连接的低压非自藕绕组, 以减小零序阻抗和改善电压波形。

自藕变压器过渡过程如下: 当无穷长直角波 U_0 加在高压端 A 点时, 由于中压开路, 电位起始分布、稳态分布以及最大包络线都和中性点接地的绕组相同, 如图 4 所示。

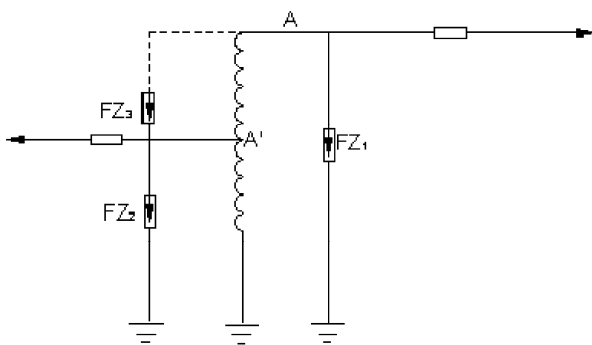


图 4 自藕变压器的防雷保护接线图

当中压侧有出线时, 由于出线才波阻抗较变压器要小的多, 当高压侧有雷电时, A' 端相当与接地, 雷电波大部分加在自藕变压器绕组的 AA' 之间, 可能使其绝缘破坏, 同理, 当高压侧有出线时, 而中压侧有侵入波时也有类似的情况, 这种情况在变比越小的自藕变压器中越严重。

3.6.4 变压器中性点的防雷保护

(1) 中性点绝缘水平

中性点绝缘水平可分为全绝缘和分级绝缘两种。

(2) 不同电压等级的中性点保护

① 60kV 及以下的电网中变压器

中国 60kV 及以下的电网, 变压器的中性点是非直接接地的。35~60kV 中性点雷害之所以较少, 是由于以下几方面的原因:

- 流过避雷器的雷电流小于 5kV, 一般只有 1.4~2.0kV;
- 实际上变电所进线不只是一条, 它是多路进线, 一条线的来波可由其他的线路流走一部分电流, 这就减少了流经避雷器的雷电流;
- 大多数来波是以路线远处袭来的, 其陡度很小;
- 变压器绝缘有一定的裕度;
- 避雷器到变压器的距离实际值比允许值近一些;
- 三相来波的概率很小。

因此中国有关标准规定, 36~60kV 变压器中性点一般不需要保护。

对于多雷区、单路进线的中性点非直接接地的变电所, 宜在中性点上加装避雷器保护。

② 110kV 及以上电网

中国 110kV 以上的电网的中性点一般是直接接地, 但为了继电保护的需要, 其中一部分变压器的中性点是不接地的, 如中性点采用分级绝缘且未装设保护间隙, 应在中性点加装避雷器, 且宜选变压器中性点金属氧化物避雷器。这些保护装置应同时满足下列条件:

- 其冲击放电电压应低于中性点冲击绝缘水平;
- 避雷器的灭弧电压应大于因电网一相接地而引起的中性点电位升高的稳态值, 以免避雷器爆炸。
- 保护间隙的放电电压应大于电网一相接地而引起的中性点电位升高的暂态最大值, 以免继电保护不能正确动作。

对 110kV 分级绝缘变压器中性点来说, 如选用 FZ-35 或 FCZ-35, 则其灭弧电压低于电网单相接地时中性点的电位升高稳态值, 因此一般不可采用, 应考虑选用 FZ-40 阀型避雷器或氧化锌避雷器。

4 结论

本文首先论述了变电所防雷接地的必要性, 并对中国防雷接地的发展情况进行了概述。

通过对上述内容的研究分析, 可得出以下结论:

(1) 变电所是供电系统的关键, 于是变电所一朝产生雷击变乱时, 即大概形成供电运输系统的瘫痪, 给出产和光影

造成损失，应十分的注重牵引变电所的防雷接地。

(2) 要实现有效的防雷安全，则要建立一套完善而健全的综合立体的防雷系统。

(3) 变电所直击雷的防护应在变电所范围内架设避雷针，使变电所的全面积都在避雷针的保护范围之内。

(4) 变电所感应雷的防护应在的进线段、变压器的高压侧和低压侧和馈线段装设避雷器，并在进线段 1~2km 处装设避雷线。

(5) 地网的工频接地电阻值应小于 0.5Ω ，若由于环境因素不能达到这一要求，应综合采用敷设外延地网和换土等方法降低接地网的工频接地电阻值。

(6) 为了保护变电所电气设备的安全运行，在装设避雷器时一定要限制避雷器的残压，也就是对流过避雷器的电流

必须加以限制，使之不大于 5kA，同时要限制入侵波的陡度。

(7) 要使所有的设备到避雷器的电气距离都在保护范围内。

参考文献

- [1] 哈辉, 孙永革等. 高电压应知必会 [M]. 北京: 华夏电力出版社, 2014:3-40.
- [2] 刘建民, 张毅. 电力工程电气设计必备手册 [M]. 北京: 水利电力出版社, 2009:5-41.
- [3] 张一尘. 高电压技能 [M]. 北京: 华夏电力出版社, 2017:4-48.
- [4] 贾明汉, 赵朝蓬. 高电压百解 [M]. 北京: 华夏水利水电出版社, 2014:3-49.
- [5] 王祖峰. 高电压实践 [M]. 北京: 华夏电力出版社, 2016:4-52.
- [6] 王宝国. 变电所电气接线攻略 [M]. 北京: 华夏电力出版社, 2014:5-53.