

接地装置暂态特性分析

杨琳¹, 田晓菲², 李建明¹

(1 四川电力试验研究院, 四川 成都 610071; 2 四川电力物流集团公司, 四川 成都 610041)

摘要:对接地装置暂态特性概率进行了详细分析, 为工程技术人员了解接地装置冲击电流作用下暂态特性提供理性认识。

关键词:接地装置; 暂态特性; 接地阻抗

Abstract: In order to make a rational imaging for the engineers a comprehensive and objective approach is presented to analyze the transient characteristic probability of earthing device when it is subjected to lightning currents

Key words: earthing device; transient characteristic; impedance of grounding connection

中图分类号: TM862 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2010)03-0001-02

0 引言

雷击是影响电网安全运行的重要因素之一。当雷击电力系统设备时, 如果接地装置接地电阻较大, 将会造成输电线路反击、接地系统本身局部电位异常升高等事故, 严重危及系统设备及人员安全。

接地装置起着将雷电流快速经大地泄流, 维护电力系统安全可靠运行、保障电气设备与运行人员安全的重要作用。接地装置暂态特性决定因素较多, 决定于接地装置结构尺寸、土壤电阻率、雷电流参数等因素。接地装置工频特性已为广大工程技术人员所熟知, 下面对接地装置暂态特性概率进行了详细分析, 为工程技术人员了解接地装置冲击电流作用下暂态特性提供理性与感性认识。

1 接地装置散流特性

一般而言, 接地系统由三部分组成: ①连接闪器与接地体的金属引线; ②接地体; ③包围接地体的土壤。单位长度接地体电路模型可定义为电感、电阻、电容、电纳二端回路^[1], 如图 1 所示, 散流电流可由泄散到土壤的横向电流 I_r 和传递到接地体远端的纵向电流 I_l 组成。纵向电流将产生接地体内电阻热损失并在接地体内及周围建立磁场, 图 1 中电阻 R 及电感 L 代表这一现象, 两个参数都将在电流流过时产生电压降。此外, 纵向泄漏电流在接地体周围建立

起电场(由媒质的电阻率 ρ 及介电参数 ϵ 决定), 媒质的影响将由图 1 中电容 C 和电纳 G 决定。电容电流与传导电流的比值与接地体几何形状无关, 只决定于 $1/2\pi\rho\epsilon$ ^[2]。

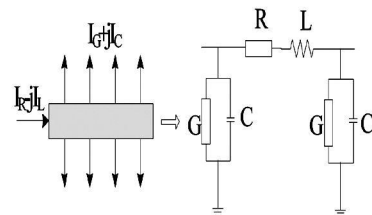


图 1 单位接地体等效电路图

以上接地体的电路模型只适用于单位长度接地体, 为了对整个大尺寸接地装置(地网、伸长接地体等)进行建模, 需考虑接地元件间的电磁耦合(互阻、互感、互容), 并以单位接地体电路模型建立拓扑结构的接地系统。整个接地系统的接地阻抗由注入点电流引起的电位升与注入电流之比决定。

由电磁耦合角度可将接地体散流现象理解为接地阻抗, 但工程应用中及接地阻抗测试国家标准(DL/T 621-1997 交流电气装置的接地)中将其表示为接地电阻。这是因为在低频电流作用下, 接地体电抗部分可以忽略, 恒定电流下接地体可由一系列电阻组成, 故接地电阻为一确定值, 可由 $R_T = V_T / I_T$ 表示。

通常接地系统由接地阻抗表示, 对频域内每一精确的频率下, 复杂的接地阻抗可精确地表示为 $Z(\omega) = V(\omega) / I(\omega)$ 。图 2 为埋设于电阻率 $2500 \Omega \cdot m$ 土壤中 50 m 长接地体各频率下接地阻抗。

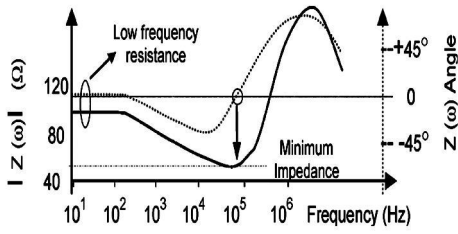


图 2 伸长接地体频率电阻

2 接地体雷电作用下暂态特性

为了表述清楚接地体雷电作用下暂态特性,必须理清两个概念:①注入电流电磁作用下土壤的放电特性;②接地体各元件间电磁耦合及波过程。第一种影响主要由土壤性质决定,第二种主要受接地体几何尺寸影响。准确计算两种作用是非常复杂的,下面将对以上基本概念进行详细讨论。

2.1 土壤频率特性

土壤可视为具有一定导电能力的介电媒质,在缓变电流及低土壤电阻率情况下,电容引起的位移电位通常被忽略。但在瞬变电流,尤其在低土壤电阻率情况下,位移电流能达到与电阻引起的泄漏电流相比拟的幅值。实验表明雷电流等值频率电流作用下,泄漏电流与位移电位之比变化很大^[3]。由图 2 知,当频率增加时,接地阻抗曲线由于电容位移电位影响偏离低频电阻值。随着频率继续增加,电感电流将起作用,并使接地阻抗继续降低,在电感电流与电容电流相互补偿时,接地阻抗值降至最低。频率继续增加时,电对电流传播起主要作用,进而导致接地阻抗值持续上升。

2.2 接地体上波过程

当电流或电压波作用于较大尺寸接地装置上时,相应的电磁波将在接地装置上传播,接地装置可视为埋于有损介质中的传输线。当电磁波在接地体上传播时,能量损耗将使波的幅值衰减。此外,波的衰减随频率与土壤电阻率增加而增加,由于不同频率分量的波传播速度不一样,其衰减程度也不一样。简言之,电流、电压波沿接地体传播时,其波幅将衰减且波形畸变,波头陡度亦随之减小,如图 3 所示。

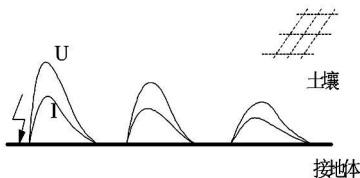


图 3 电压、电流波在接地体上传播

由于接地体一般都是有限长的,因此接地体电流注入点处电场磁场将最强,整个接地体电位分布将不相等。此现象在多个接地元件联接在一起时更为明显,如多个接地扁铁联结而成的地网。伸长接地体及地网存在有效散流长度及区域的概念,此散流长度及区域外接地对散流没有贡献,如图 4 所示。

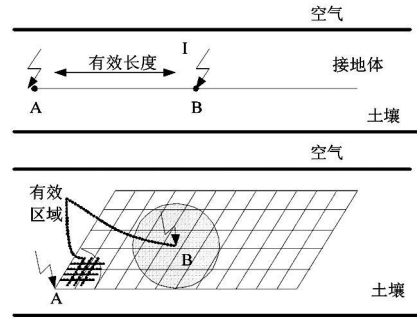


图 4 接地装置等效散流区域

2.3 火花放电效应

电流通过接地体散流时,在很大范围电流密度内土壤呈现线性散流现象,即电压与电流之比为恒值。但当较大幅值雷电流作用于集中接地体时,由于接地体周围电流密度将达很高幅值,接地体周围土壤电场强度 $E = J\rho$ 将超过土壤临界击穿值,土壤将发生火花放电,如图 5 所示。土壤临界击穿值由土壤密实程度、电阻率、湿度等因素决定,实验测得 E_c 达 $0.2 \sim 1.7 \text{ MV/m}$ ^[4-5]。火花放电造成土壤放电通道呈很强的导电性,可视为纯导体,相当于接地体等效放电半径增大,因此在接地体电压、电流峰值部分,接地电阻等效降低了。图 6 为实测不同幅值冲击电流作用下接地体电压、电流波形。

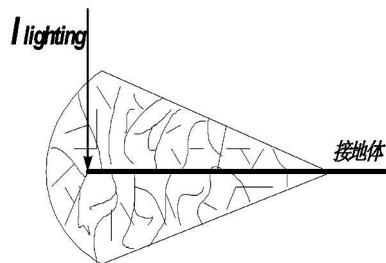


图 5 接地体火花放电示意图

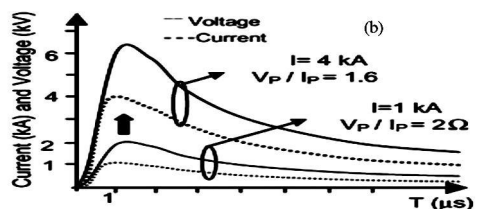


图 6 接地体冲击电压、电流图

(下转第 52 页)

电干扰。

(4)适应带电检修的要求。

对于“V”型串而言,合成绝缘子与盘型绝缘子的链接不同,合成绝缘子上没有铰接点,刚性容易显现,两端球头与碗头连接处容易形成球头与 R 销的挤压,造成 R 销变形,导致绝缘子脱落。目前采取的防球头脱落措施虽然在一定程度上限制了“V”型合成绝缘子串脱落,但仍存在缺陷。若从根本上解决导线合成绝缘子“V”型串球头脱落问题,必须取消合成绝缘子上的球头、碗头联结结构,换以环、环联结形式,消除球头对 R 销的挤压问题。如果将合成绝缘子的导线侧端部修改为环,或采用单板碗头,通过两个 U 型环与联板连接,增加铰接点,使其不受弯矩影响,从根本上杜绝球头局部应力集中疲劳断裂事故。对于双联和多联绝缘子,由于导线联板和绝缘子球头间有多个铰接点不存在单联球碗联接的问题,不用进行改动,按常规设计即可。

两方案各有优缺点,修改绝缘子导线侧端部,将球头改为环形结构,其优点是不增加连接环节,“V”

型串的串长不增加,因此塔头尺寸不增加,但是合成绝缘子厂家需重新进行金具设计;在不改动绝缘子的情况下,增加铰接点,也可从受力上解决受压问题,但是需要增加绝缘子串的长度,以 210 kN 绝缘子串为例,“V”绝缘子串单肢长度需增加 220 mm,但对于超、特高压铁杆塔尺寸来说,影响很小。

5 结 论

综上所述,在同等条件下,输电线路采用“V”型串悬挂方式,铁塔结构尺寸紧凑,“V”型串受力科学合理,开角稳定,防雷性能优良,可有效防止绝缘子串污闪、冰闪、雨闪等事故,还具有节约土地资源、减少房屋拆迁、降低林木砍伐量,减少水土流失等经济效益、环境效益和社会效益。超、特高压输电线路采用“V”型串悬挂方式既体现了国网公司建设“两型三新”输电线路的设计理念,又符合节约型社会发展的需求。

(收稿日期:2010-03-10)

(上接第 2 页)

3 讨论与结语

就工程应用而言,接地体暂态特性应注意以下几个方面。

(1)接地体散流作用应视为接地阻抗,只有在特殊条件下,如低频电流作用(工频、直流)下可将其视为接地阻抗。此外,一些学者采用瞬时接地电阻或动态接地电阻概率描述接地全暂态特性是不太合适的,因为它隐藏了接地装置的本质参数阻抗的作用。采用冲击系数概念表述冲击接地电阻的方法于工程应用是十分有效的,它既避免了现场工程应用人员去测量复杂且难以准确测量的接地阻抗,又能大概了解雷电流作用下,接地体最大电位升。

(2)接地装置等电位电路模型只适用于低频电流作用下散流特性分析,高频电流情况下,波传播过程及由接地体电感、电阻引起的电位降将对接地电位分布造成很大影响。

(3)接地体暂态电流作用下,接地体将呈有效散流区域,如高土壤电阻率地区采用埋设伸长接地体以降低接地电阻,这一措施对降低工频接地电阻很有效,但对降低冲击接地电阻效果甚微。因此,工程设

计时应计算接地体暂态电流作用时有效散流区域,以降低不必要的材料浪费。

参考文献

- [1] Silverio Visacro A Comprehensive Approach to the Grounding Response to Lightning Currents[J]. IEEE Transactions On Power Delivery, 2007, 22(1).
- [2] A. M. Mousa The Soil Ionization Gradient Associated with Discharge of High Currents into Concentrated Electrodes [J]. IEEE Trans Power Del, 1994, 9(3); 1669-1677.
- [3] A. C. Liew and M. Darveniza Dynamic Model of Impulse Characteristic of Concentrated Earths [J]. Proc Inst Elect Eng, 1974, 121(2); 123-135.
- [4] S. Visacro and C. Portela Soil Permittivity and Conductivity Behavior on Frequency Range of Transient Phenomena in Electric Power Systems [C]. the Symp High Voltage Engineering Braunschweig Germany 1987.
- [5] S. Visacro and C. Portela Modeling of Earthing Systems for Lightning Protection Applications Including Propagation Affects [C]. in Proc Int Conf Lightning Protection Berlin Germany 1992; 129 - 132.
- [6] 杨琳, 李建明. 冲击接地电阻测量装置的研制 [J]. 电力系统自动化, 2008, 32(11); 93-96.
- [7] 张宝平, 何金良, 康鹏, 等. 冻土冲击特性的试验研究 [J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(16); 143-147.

(收稿日期:2010-01-26)