

输电线路杆塔冲击接地阻抗测量

何云峰¹, 赵若涵², 张榆³, 李建明⁴

(1. 广元电业局, 四川 广元 628000; 2. 西华大学电气信息学院, 四川 成都 610039;
3. 四川大学电气信息学院, 四川 成都 610016; 4. 四川电力科学研究院, 四川 成都 610072)

摘要: 对冲击电流下输电线路杆塔的接地阻抗特性进行了论述, 并选取其中3种影响冲击接地阻抗感性分量的因素做了图表分析, 最后利用基于冲击接地法的频谱法分别进行实验室模拟试验和巴中江城输电线路部分杆塔接地体的现场试验, 取得了理想的测量效果。实践表明该方法对今后接地阻抗的测量工作有指导性意义。

关键词: 杆塔接地; 测量装置; 冲击接地阻抗; 频域

Abstract: The characteristics of earthing impedance of poles and towers in transmission line under surge current are discussed. Three kinds of influencing factors for inductive component of impulse earthing impedance are selected for chart analysis. Finally, the laboratory simulation experiment and the field test for earthing electrode of some poles and towers in transmission line in Jiangcheng of Bazhong are carried out with spectral method based on impulse earthing method, and the ideal measurement results are obtained. The practice shows that the proposed method has the guidance significance for the future measurement of earthing impedance.

Key words: tower earthing; measuring device; impulse earthing impedance; frequency domain

中图分类号: TM835 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2012)05-0085-04

0 引言

随着近年来电网向超高压、大容量、远距离输电方向的发展, 对于接地系统的安全、经济和稳定运行变得越来越重要。电力系统接地是直接关系到人身、设备和系统安全的重要问题, 而输电线路杆塔又是电力系统中分布最广、遭受雷击概率最高的电力设备, 其接地阻抗的大小是影响雷击跳闸率的主要因素之一。在雷电冲击作用下, 只有冲击接地阻抗才能真实地反映杆塔接地状况的好坏, 加之当前接地体长度的增大和土壤电阻率的降低, 电抗分量中的感性影响已不可忽略。而像传统的摇表法, 电压-电流法、四极法等不能测量出地网中感性分量值。

对冲击电流下输电线路杆塔的接地阻抗特性进行了论述, 并选取其中4种影响冲击接地阻抗感性分量的因素做了图表分析, 最后利用基于冲击接地法的频谱法分别进行实验室模拟试验和巴中江城输电线路部分杆塔接地体的现场试验, 取得了理想的测量效果。实践表明该方法对今后接地阻抗的测量工作有指导性意义。

1 接地电阻与接地阻抗的差异

通常所说的接地电阻并不是接地装置的纯电阻, 而是含有电抗分量在内的接地阻抗。工频电流向大地散流时, 接地网的感性分量占接地阻抗的比例较小, 一般就将接地阻抗称为接地电阻。但在接地体较长、土壤电阻率较低的情况下发生高频冲击电流放电时, 接地阻抗中的感性分量就不可忽略, 称为冲击接地阻抗或接地阻抗。

冲击接地阻抗区别于工频接地阻抗的特性如下。

①由于冲击电流本质是高频高幅冲击波, 所以抛除引下线、接地极、接触电阻、土壤杂散电阻等固有电阻的影响外, 接地体电感和对地电容对冲击阻抗的影响已变得越来越明显。其取决于接地装置的规模、电流注入点的位置、接地体的结构、冲击电流的波形和幅值等。也正由于如此多的因素作用冲击阻抗, 所以高频大电流下的接地体表现出明显的非线性时变特性, 使得传统测量方法不能有效的测量冲击接地阻抗。

②不同于工频接地阻抗下的电性能参数和可以

近似为常数,冲击电流下的这两个参数在很大程度上向减小的方向变化。

③冲击电流作用下,接地极附近电场强度很大,会发生局部放电,即火花放电,这相当于增大了接地极的有效散流直径。

④由于冲击电流的频率很高,很大的导体感抗阻碍冲击电流向接地体的远端流动,接地体没有被充分利用。

2 感性分量对冲击特性的重要影响

接地阻抗的感性分量一般以阻抗角来表示。改变影响接地阻抗的各种因素进行模拟计算,了解这些因素对接地阻抗角的影响程度。现选其中的土壤电阻率、接地体长度和电流注入点3种因素进行图表分析。

如图1所示。可以看出随土壤电阻率的减小,接地网感抗的影响越来越明显,冲击接地阻抗也越大。

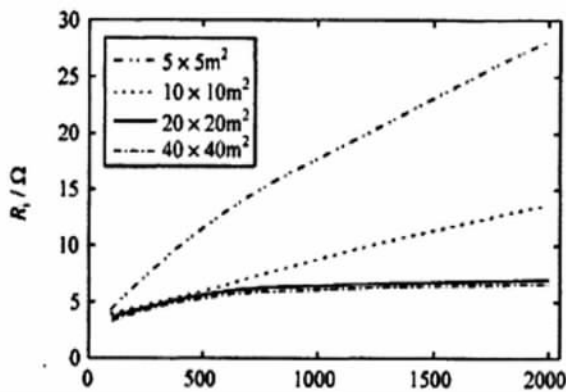


图1 土壤电阻率对冲击接地阻抗的影响

图2所示为接地网面积对接地阻抗的影响^[1]。由图2可知,随接地体长度的增大,冲击接地阻抗减小得越来越慢。这是由于接地体的感性作用使得接地极附近的电压降很大,电流被限制在一个有限的长度内散流,没有充分利用整个接地体。

图3是电流注入点对冲击接地阻抗的影响。对于同一接地体,端部注入的冲击接地阻抗比中心注入的值要高得多。这是因为从端部引入冲击电流时,由于其感性作用的影响,将明显阻碍电流向远端运动,使得接地体得不到充分利用。

由上述图表可知,接地阻抗的概念是包含电感性分量的复阻抗,它对输电线路杆塔接地装置有很重要实际意义;随着接地体长度的增加,土壤电阻率

的降低和接地极自身的原因,接地阻抗中感性分量的影响已越来越大,冲击电流下的接地体必须考虑感性作用的影响。

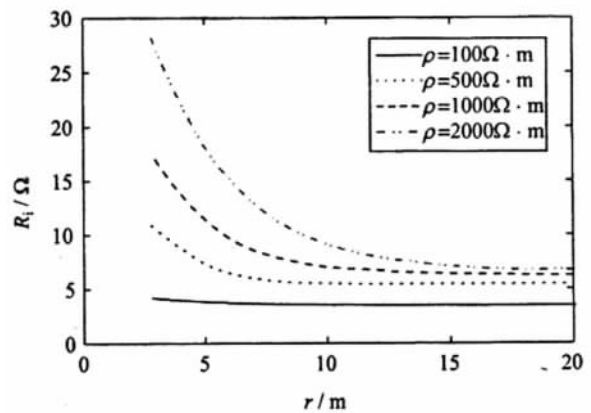


图2 冲击接地阻抗与接地体长度的关系

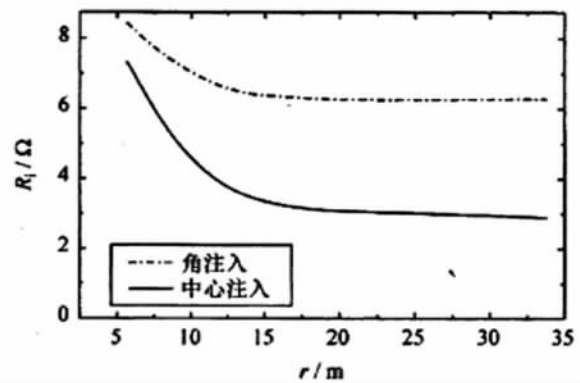


图3 电流注入点对冲击接地阻抗的影响

3 输电线路杆塔接地装置的冲击特性

可知,雷击塔顶时,塔顶电位 $V_t = (1 - \beta) R_1 i + L \frac{di}{dt}$,即雷击塔顶时,塔顶电位与冲击接地电阻 R_1 密切相关。在其它因素一定时, R_1 越小, V_t 也就越小,线路反击闪络的概率也就越低。因此在线路杆塔的设计中,线路杆塔接地装置的冲击接地电阻取值,直接影响到线路的防雷效果。

接地装置冲击特性试验研究方法分为真型试验和模拟实验。真型试验是对实际中采用的接地装置进行冲击试验。这种方法的优点是可以直接得到接地装置的真实冲击特性。但在技术上改变与接地装置有关的参数,如改变土壤的电阻率等也是不可能的,很难对接地极进行全面系统的研究。模拟试验很容易改变土壤电阻率、接地装置的几何尺寸、雷电流参数及接地装置的埋深等相关参数,可严格控

表2 接地阻抗杆塔现场测量值

	江城44杆		江城43杆		江城6杆		江城5杆		江城1杆	
	1侧	2侧	1侧	2侧	1侧	2侧	1侧	2侧	1侧	2侧
电阻/ Ω	—	0.959	0.8958	—	1.01	2.85	3.578	3.606	2.125	3.044
电感/ μH	—	14.89	10.85	—	28.28	49.42	43.21	45.55	32.33	47.4
冲击接地电阻 Ω	—	0.9868	1.5146	—	1.997	2.927	3.929	3.984	3.902	6.993

制住试验对象的主要参数而不受外界条件的影响,使实验结果及反映的规律比较准确。国内外的研究表明,如果严格按照模拟实验的理论来进行模拟实验,其结果是比较准确的,基本是可信的^[1]。

雷电流流经接地装置,在地中的散流是相当复杂的。不仅接地装置的冲击特性与其结构尺寸、土壤电阻率、接地装置的埋深及雷电流参数等因素有关,而且频率很高的雷电流在地中散流时,电荷具有宏观的运动特性,它们在空间的分布随时间的变化而变化,具有时变场的特性,其暂态过程要用理论分析的方法来进行研究是比较困难的。到目前为止,国内外学者进行了很多关于接地极冲击特性的研究。但都是基于一些假设条件下,对于一些比较简单的水平接地极和垂直接地极建立了简化数学模型,如大多没有考虑火花效应,显然这些研究得到的结论只能是接地极冲击特性的近似估计。

4 输电线路杆塔实测及数据分析

冲击电流法测量接地电阻是采用冲击电流发生器模拟雷电流,产生最大幅值2 kV、波头时间低于10~70 μs 、放电时间的冲击电流,作为测试电流注入接地体,数据采集装置经测量回路得到接地体电压、电流信号进行计算分析。由频谱法算出的数值与实际数据的比较如表1所示

表1 接地阻抗实验测量值

冲击电流参数		频谱法计算值		真实 / Ω
幅值/A	波形/ μs	电阻/ Ω	电感/ μH	
174.94	7/67	4.56	50.41	4.5
185.09	7/72	4.58	49.05	4.5
74.64	9/31	1.074	59.39	1
130.04	9/35	1.072	59	1

用冲击电流法实测110 kV输电线路杆塔冲击接地阻抗时得到电压和电流波形(图4)。由电压和电流波形可以看到杆塔放电波形良好,电压波形高

频震荡时间较长,电流上升沿时间只有1 μs ,且放电时间很长,接近5 000 μs 。根据测量数据基本判断为:杆塔接地电阻合格,但是接地网受限地形影响造成冲击阻抗较大。

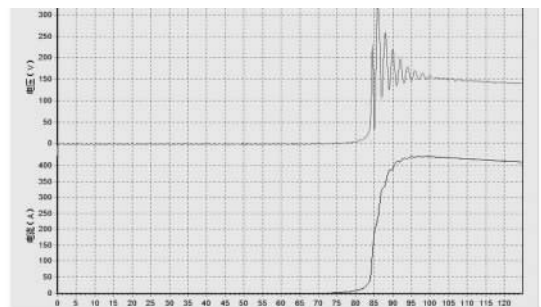


图4 冲击电流法测量杆塔接地阻抗时的电压电流波形

对四川巴中的部分线路杆塔进行了接地阻抗参数测量。这条线路是三江水电站送往巴中城区的江城输电线路,该线路已建成20多年,线路杆塔的接地存在着不同程度的问题,因此这条线路很有典型性,用基于冲击电流法的频谱法进行测量和计算。得到的接地参数如表2。

从表2可以看出,冲击电流法测出的冲击接地电阻值比接地体的纯阻抗值都要大,而杆塔接地体的纯电阻值与其工频接地阻抗值相差很小,可近似等于工频接地阻抗值。一般理论上杆塔的冲击系数 α 小于1,即冲击接地电阻应比工频接地阻抗小,但实验所测结果相反。杆塔的冲击接地电阻的大小受土壤火花放电和接地体自身电感的影响,小冲击电流测量时电感效应超过火花效应,冲击电流大时火花效应超过电感效应。从测量结果看,接地体自身电感的影响导致冲击接地电阻的变大。

5 结 语

(1) 接地阻抗的概念是包含电感性分量的复阻抗,它对输电线路杆塔接地装置有很重要的实际意义;而随杆塔接地体长度的增大以及土壤电阻率的降低,接地阻抗中感性分量的作用越来越明显,输电

线路杆塔接地装置必须考虑其感性作用。在杆塔接地存在不同程度腐蚀的情况下,冲击接地阻抗比工频接地阻抗大。此时,不能把杆塔接地体看作单一的集中接地体,而是要考虑冲击电流流过时的波过程,电感对冲击接地电阻的影响显然比土壤火花放电的影响要大。

(2) 频谱法可利用两个频率点的数据,将接地阻抗的阻性和感性分量分别求得,并且通过频域内计算有效的避免电压电流数据采集不同时带来的麻烦。缺点是傅里叶变换会产生频谱泄漏而导致误差。另外,其计算精度需要通过现场试验进一步验证。

参考文献

[1] 崔宇,李建明,戴玉松. 基于冲击电流法测量接地电阻

的装置[J]. 电力学报, 2009(4): 299 - 302.

[2] 李建明,朱康. 高压电气设备试验方法[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.

[3] 孙家营. 杆塔冲击接地阻抗测量系统的研制[D]. 成都: 西华大学, 2007.

[4] 张振军. 用冲击电流法测量接地网阻抗系统的设计[D]. 成都: 西华大学, 2008.

[5] DL 475 - 92, 接地装置工频特性参数的测量导则[S].

[6] 孙家营,戴玉松,等. 冲击电流法测量接地电阻研究[C]. 中国电机工程学会第九届青年学术会议论文集, 2006.

[7] Che Yunping, Zha Xiaoming, Zhao Lei. The Measurement of Impulse Grounding Resistance and Inductance of Grounding Network [C]. IEEE. Catalogue No: 98EX137, 1998.

(收稿日期: 2012 - 08 - 20)

(上接第40页)

载全部失压的后果,达到迅速、有选择性将故障隔离的目的,确保了供电可靠性以及系统运行的稳定性。

为进一步提高供电可靠性,可以在确保主变压器2B不过载、不发生与小电源非同期并列等有关条件下,主变压器1B所供的失压负荷可以通过备用电源自动投入装置自动转移给2B供电(备用电源自动投入装置动作后将中、低压侧母线分段断路器自动投入来实现)。

当主变压器1B差动与母线I段差动保护同时动作时,就能说明故障在河石坝110 kV 1M范围内,可以重点检查达到省时的目的。当1B差动动作、而母线I段差动保护未动作,则说明故障在1B本体及其中、低压侧的范围内,调度员在拉开1B高压侧隔离开关后,可将110 kV系统恢复环网运行,从而降低开环运行可能带来的元件过载或者发电机“窝电”问题。

最重要的是,“零秒”切除故障,确保了发电机组的安全运行。文献[1]中快速切除故障在提高系统暂态稳定性方面起着首要的、决定性的作用。

3 结 语

无专用母线保护装置的110 kV内桥接线,在正常运行情况,当某段母线故障时,可利用主变压器差动保护快速且有选择性地动作;在上述特殊运行方

式下,当某段母线故障时,因主变压器差动保护不能够动作,则需要通过输电线路对侧II段保护越级动作才能切除故障,这势必导致切除故障的时间较长,严重降低系统的稳定性,甚至可能引起发电机失去同步而导致更严重的系统影响。

内桥接线方式下,配置专用的微机母差保护,有利于提高母线故障时继电保护的快速性与选择性;此外,母线保护装置具备完善的充电保护功能,所以在对检修后的母线段充电时,它能够灵敏、快速地反映各种故障,同样提高了系统运行的稳定性。

需要指出的是,当变电站在系统中处于联络地位时,建议主接线的设计不宜采用桥形接线;若因土地、配电装置结构等条件所限,则应安装母线保护。

参考文献

[1] 刘天琪,邱晓燕. 电力系统分析理论[M]. 北京: 科学出版社, 2005.

[2] 贺家李,宋从矩. 电力系统继电保护原理(3版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 1994.

[3] 《中国电力百科全书》编辑委员会. 中国电力百科全书电力系统卷[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000.

作者简介:

曾 明(1978),男,本科,助理工程师,研究方向为电网运行。

(收稿日期: 2012 - 04 - 18)