

同杆双回输电线路感应电压电流计算分析

严伟佳, 华玉良, 倪卫良, 沈 嵘
(苏州供电公司, 江苏 苏州 215000)

摘要:给出了同杆架设输电线路感应电压、电流的计算公式,并列出了回路间电感电容的计算公式。同时,分析了影响感应电压电流大小的因素。以一条500 kV同杆双回线路为例,对其感应电压电流进行了电磁暂态仿真计算和现场实测,理论计算与实测结果较为一致。

关键词:双回输电线路;感应电压;感应电流;静电感应;电磁感应

中图分类号:TM726

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2010)01-0019-03

随着我国经济的飞速发展,线路通道所需的土地成本不断增加,为有效减少线路通道及建设费用,同杆并架双回线路甚至是多回线路的应用已经越来越普遍。如苏州地区大部分220 kV及以上电压等级线路都为同杆架设线路。同杆架设多回线路将成为我国输电线路发展的一种趋势^[1],但由此带来的感应电压电流问题也显得日益突出^[2]。因此,本文计算分析运行回路在停电检修线路上产生的感应电压电

收稿日期:2009-10-19;修回日期:2009-11-25

流,为在实际运行中采取相应的检修作业方式及安全防护措施提供依据^[3]。

1 感应电压电流概述

感应电压根据产生原理的不同分静电感应电压和电磁感应电压^[4]。静电感应是当导体处于外电场中时,该导体会因电容耦合效应而带上一定的电荷,可知由于停运导线与运行导线之间存在的电容耦合效应,依靠运行导线电压产生的电场,停运导线上即可感应出一定的对地电位。电磁感应电压是当导线

从图4中可以看出,X线在A站运行时,消弧线圈的电流较大。通过快速傅里叶变换(FFT)分析得出,在1支线投入时,在A站和B站运行时其直流分量分别为0.7 A和0.1 A。这个直流电流将通过消弧线圈和压变进行分流。在A站运行时直流电流大,对压变影响大,在B站运行时影响较小,这和实际情况也相符。

3 结束语

本文针对一起10 kV母线电压异常事故进行了介绍,解释了事故过程中的各种现象,分析了事故的原因。对稳态的电压不对称问题进行了公式推导和分析,对其中的暂态过程进行了仿真研究。通过推导

分析和仿真研究所得到的结果都分别与事故过程中产生的现象相符,证明了分析的正确性和合理性。文中的分析对电力系统运行过程中相同和相关问题的处理具有一定的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 解广润.电力系统过电压[M].北京:水利电力出版社,1983.
- [2] 平绍勋.电力系统内部过电压保护及实例分析[M].北京:中国电力出版社,2006.
- [3] 李润先.中压电网系统接地实用技术[M].北京:中国电力出版社,2001.

作者简介:

伏祥运(1977-),男,江苏赣榆人,博士,从事电力系统调度运行、电力系统分析、无功功率补偿和谐波抑制等方面工作。

Brief Analysis of an Abnormal Voltage Accident on 10 kV Bus

FU Xiang-yun

(Lianyungang Power Supply Company, Lianyungang 222004, China)

Abstract:In the low-current grounding power system, asymmetry parameters could cause offset of the neutral point voltage, and even produce virtual earth phenomenon, which is similar to a single-phase grounding fault. Moreover, when the system capacitance to earth is changed, the charging change redistributes to achieve another new steady state. In this electromagnetic transient process, the current path to earth forms through PT and arc suppression coils. The direct current component leads to the PT saturation and voltage abnormality. Based on principles of these two aspects, this paper introduces an abnormal voltage accident caused by poor contact of insulating clamp on 10 kV bus. Reasons of the phenomenon are analyzed as well, which will have a certain referential significance to similar cases in the power dispatch.

Key words:over voltage; asymmetry parameters; unbalanced voltage; electromagnetic transient; Magnetic saturation

流过交流电流时,在其周围产生一个交变磁场,当停电线路与其交链,则会在停电线路上感应出一个纵电势,沿导线方向分布,当停电导线与地形成回路情况下会产生相应的电磁感应电流。

2 感应电压电流计算方法

对同杆双回线路间感应电压和感应电流的计算研究,对线路检修和运行是非常必要的。感应电压电流计算已有多篇文献有过介绍^[5-7],本文以输电线路电压电流向量方程为基础,推导了感应电压电流计算公式^[8]。

2.1 输电线路电压降方程

架空线路电压降的向量方程形式为

$$\begin{bmatrix} \frac{dV_1}{dx} \\ \frac{dV_2}{dx} \\ \dots \\ \frac{dV_n}{dx} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1n} \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots & Z_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{n1} & Z_{n2} & \dots & Z_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \dots \\ I_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

简写为

$$-\left[\frac{dV}{dx} \right] = [Z][I] \quad (2)$$

式中: V_i 为导线*i*对地电压向量; I_i 为导线*i*的电流向量; Z_{ii} 为导线*i*与大地形成回路的单位长度串联自阻抗; Z_{ik} 为导线*i*与导线*k*间单位长度的互阻抗; x 为导线长度。

Z_{ii} 、 Z_{ik} 可通过卡松(Carson)公式来精确计算,但是其计算较为复杂,Gary,Deri则提出较为简单的计算公式,其在工频范围内有很高的精度。

2.2 输电线路电压与电荷方程

交流稳态情况下,线路上电压与电荷方程为

$$\begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \dots \\ Q_n \end{bmatrix} = -\frac{1}{j\omega} \begin{bmatrix} \frac{dI_1}{dx} \\ \frac{dI_2}{dx} \\ \dots \\ \frac{dI_n}{dx} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ C_{n1} & C_{n2} & \dots & C_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \dots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

简写为

$$\left[\frac{dI}{dx} \right] = -j\omega[C][V] \quad (4)$$

式中: V_i 为导线*i*对地电压向量; I_i 为导线*i*的电流向量; C_{ii} 为导线*i*单位长度电容; C_{ik} 为导线*i*与导线*k*间单位长度互电容; x 为导线长度。

2.3 感应电压电流公式推导

式(1)、式(3)完整地描述了多根导线在交流稳态下的性能。现以三相导线(编号1,2,3)对一临近

停运导线4的感应电压电流计算为例,推导感应电压电流计算公式。

2.3.1 静电感应电压计算

导线两端开路情况,推导导线4静电感应电压计算公式。式中,黑体字母表示向量。根据式(3)电流微分方程, $I_4=0$, $dI_4/dx=0$,可得

$$V_4 = -(C_{41} \times V_1 + C_{42} \times V_2 + C_{43} \times V_3) / C_{44} \quad (5)$$

2.3.2 电磁感应电压电流计算

导线两端断开时,推导电磁感应电压电流计算公式。根据微分方程式(1),其中 $I_4=0$,得

$$dV_4/dx = -(Z_{41} \times I_1 + Z_{42} \times I_2 + Z_{43} \times I_3) \quad (6)$$

设线路上各点电压均匀分布,则

$$V_4 = -L \times (Z_{41} \times I_1 + Z_{42} \times I_2 + Z_{43} \times I_3) \quad (7)$$

导线两端接地时,接地电阻为 Z ,电磁感应电流为

$$I_4 = U_4 / (Z_{44} + 2Z) \quad (8)$$

3 影响感应电压电流因素

从推导出的静电感应电压公式可以得出影响其大小的因素。静电感应电压和线路电压等级成正比;静电感应电压与架空线线路同相邻带电线路之间距离成负相关;静电感应电压和相邻带电线路电流无关;静电感应电压和同杆架设线路长度无关。

从推导出的电磁感应电压电流公式可以得出影响其大小的因素。

电磁感应电压电流和线路负荷电流成正比;电磁感应电压电流和线路电压无关;电磁感应电压电流与架空线线路同相邻带电线路之间距离成负相关;电磁感应电压和线路同杆架设长度成正比;全线同杆架设线路的电磁感应电流和线路长度无关,和线路接地电阻负相关;部分线路同杆架设时,随着线路非同杆架设长度的增加,电磁感应电流随之减小。

4 实例计算及分析

文章对同杆双回线路500 kV 5213/5214 苏车线的感应电压电流进行了电磁暂态仿真计算和现场实测。500 kV 苏车线线路全长73 km,导线型号为4×LGJ630/45,其中全线塔型以其中一直线塔塔型为代表,塔型尺寸如图1所示。图1中绝缘子平均长度以5 m计算,导线弧垂平均以10 m计算。其中,5213 苏车线停电检修,5214 苏车线负荷电流1300 A。

	横担高度	横担宽度	
65 m	—	—	10.8 m
53 m	—	—	12.2 m
42 m	—	—	11.3 m

图1 塔型尺寸图

仿真计算采用了电磁暂态仿真计算程序 EMTP, 计算线路静电感应电压电流和电磁感应电压电流, 如表 1 所示。其中, 感应电压为线路中端处测得的值。

表 1 感应电压电流仿真计算结果

项 目	静电感应			电磁感应		
	上相	中相	下相	上相	中相	下相
两端开路电压 /kV	27.9	8.7	11.5	1.13	0.146	0.994
一端接地电压 /V	74.0	67.7	67.1	2 260	291	1 987
两端接地电流 /A	1.45	1.00	1.31	93.1	12.7	94.2

利用 5213/5214 苏车线一回停电检修的机会, 对其两端接地后的感应电流进行了实测。实测感应电流为上相 89.2 A、中相 13.4 A、下相 88.6 A。

实测电磁感应电流与理论计算感应电流相比, 有一定的误差, 其主要是由于塔型、弧垂、土壤电阻率等方面造成的, 但两者误差在 6% 之内, 可见仿真计算数据还是较为可靠。

静电感应电压在停电线路两端开路情况下很大, 可达几十千伏, 但只要一端接地, 静电感应电压立刻大大降低, 只有几十伏。因此通过接地来降低停运线路静电感应电压是十分有效的措施。两端接地情况产生的静电感应电流较小, 只有数安培。

电磁感应电压在线路两端开路情况下可达近千伏, 相比静电感应电压则小很多; 当一端接地后, 另一端感应电压上升为原来的 2 倍。而当两端接地形成回路后, 电磁感应电流可达近百安培, 因此在连接或开断接地线时, 有拉弧放电的可能, 所以要特别注意做好绝缘工作。

从理论计算可见停运线路两端开路静电感应电压和两端短路电磁感应电流数值较大, 在实际线路运行维护中需要进行重点关注。

5 结束语

文章以输电线路电压电流向量方程为基础推导了静电感应电压、电磁感应电压电流的计算公式, 并

由此得出了影响电磁感应电压电流的因素。对一条 500 kV 实例线路进行了仿真计算, 计算结果与实测电磁感应电流相比误差不大。通过计算可得两端开路静电感应电压和两端短路电磁感应电流数值较大, 在实际线路运行维护中需要进行重点关注。对于静电感应可以通过加装接地线来有效降低静电感应电压; 对于电磁感应电流, 在断开或接通停运回路时, 一定要注意绝缘工作。在现场的检修工作中, 可以根据线路感应电压电流的实际大小制定相应的防感应电措施, 保障检修作业的安全。

参考文献:

- [1] 胡毅, 张俊兰, 张丽华. 500 kV 双回路铁塔带电作业研究[J]. 电力设备, 2002, 3(3): 54-60.
- [2] 胡毅, 聂定珍. 500 kV 同塔双回线路感应电压的计算及安全作业方式[J]. 中国电力, 2000, 33(6): 45-47, 77.
- [3] 施围. 电力系统过电压计算[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1988.
- [4] 张文亮, 谷定燮, 方文弟, 等. 洪龙 500 kV 带高抗同杆双回线路间的感应作用研究[J]. 高电压技术, 2002, 28(2): 10-12.
- [5] 韦钢, 李海峰. 同杆并架多回线下方的电场强度和感应电压[J]. 中国电力, 1999, 32(3): 37-40.
- [6] 韩彦华, 黄晓民, 杜秦生. 同杆双回线路感应电压和感应电流测量与计算[J]. 高电压技术, 2007, 33(1): 140-142.
- [7] 尤爱秀. 输电线路感应电压分析与计算[J]. 山西电力技术, 2000, 95(6): 14-16.
- [8] Dommel. 电力系统电磁暂态计算理论[M]. 李永庄, 译. 北京: 水利水电出版社, 1991.

作者简介:

- 严伟佳(1981-), 男, 江苏常熟人, 工程师, 从事电力系统电磁暂态仿真及输电线路运行检修等方面的研究工作;
- 华玉良(1962-), 男, 江苏苏州人, 工程师, 从事输电线路运行检修等方面的研究工作;
- 倪卫良(1976-), 男, 江苏苏州人, 工程师, 从事输电线路运行检修等方面的研究工作;
- 沈嵘(1983-), 男, 江苏苏州人, 助理工程师, 从事输电线路运行检修等方面的研究工作。

Calculation and Analysis of Induced Voltage and Current on Double Circuit Transmission Line

YAN Wei-jia, HUA Yu-liang, NI Wei-liang, SHEN Rong
(Suzhou Power Supply Company, Suzhou 215000, China)

Abstract: This paper deduces the calculation formulas of induction voltage current, as well as the induction and capacitance between lines. The factors affecting induction voltage and current are analyzed. The induction voltage and current of a 500 kV double-circuit transmission line is calculated using electromagnetic transient simulation. Results of simulation, theory calculation are consistent with scene measurement.

Key words: double circuit transmission line; induced voltage; induced current; static induction; electromagnetic induction