

一种估计小电流系统线路对地电容的新方法

王磊¹, 贾清泉², 蔡国伟¹

(1. 东北电力学院, 吉林 吉林 132012; 2. 燕山大学, 河北 秦皇岛 066004)

摘要: 中性点绝缘系统的接地电容电流, 是电力系统的重要参数之一。通常采用附加电容法和金属接地法进行测量和计算, 但前者测量方法复杂, 并且附加电容对测量结果的影响较大, 而后者试验中又具有一定的危险性。为此, 提出了一种利用单相接地故障数据估计小电流系统对地电容电流的新方法。该方法适用于对误差要求不很严格并且工作量较大的场合, 经过仿真表明, 结果基本准确。

关键词: 小电流系统; 单相接地; 电容电流

中图分类号: TM711 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)03-0029-03

0 引言

系统电容电流是调度和运行单位要了解的系统参数之一, 是设计单位选择补偿设备的依据, 故研究该项工作具有重要意义。目前, 电容电流的测量方法主要有单相金属接地法、相对地附加电容法及中性点附加电容法。

采用单相金属接地法, 易造成两相对地短路及铁磁谐振过电压, 危险性较大。采用相对地附加电容法, 其安全隐患主要发生在附加电容本身上, 例如测量电缆线路时, 附加电容一般放置在开关柜附近, 在测量过程中附加电容如存在缺陷发生爆炸, 可能危及其它配电柜, 造成重大事故; 另外在测量 35 kV 系统电容电流时, 因系统电压较高, 附加电容容量较大, 有的试验单位可能并不具备合适的电容器。采用中性点附加电容法, 如在测量过程中系统出现单相接地, 中性点电压上升到相电压, 将危及运行人员及仪器仪表的安全, 而且测量误差大。

在实际运行中, 对于出线数较多、线路较长或包含大量电缆线路的配电系统, 当其发生单相接地故障时, 对地电容电流会相当大, 接地电弧如果不能自熄灭, 极易产生间隙性弧光接地过电压或激发铁磁谐振, 持续时间长, 影响面大, 线路绝缘薄弱点往往还会发展成两相短路事故。因此, DL/T 620-97《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》规定: 3~10 kV 钢筋混凝土或金属杆塔的架空线路构成的系统和所有 35 kV、66 kV 系统, 当单相接地故障电流大于 10 A 时应装设消弧线圈; 3~10 kV 电缆线路构成的系统, 当单相接地故障电流大于 30 A, 又需在接地故障条件下运行时, 应采用消弧线圈接地方式。

消弧线圈一般为过补偿运行(即流过消弧线圈

的电感电流大于电容电流), 也就是说装设的消弧线圈的电感必需根据对地电容电流的大小来确定, 以防止中性点不接地系统发生单相接地而引起弧光过电压。而实际情况是, 现场运行人员对系统的接地电容电流值究竟有多大了解的并不详实, 或者是掌握的数据仅凭经验而得, 或者是数据过于陈旧, 不足为凭。

所以, 针对研究该问题的重要性以及以往方法的种种不利之处, 本文提出一种利用单相接地故障数据估计小电流系统对地电容电流的新方法。

1 方法介绍

对于一个中性点绝缘系统, 发生单相接地故障时的等值电路如图 1 所示。由于配电网线路中各相对地的泄漏电导比线路对地电容的导纳小得多, 所以分析时忽略了泄漏电导, 并认为三相对地电容相等。

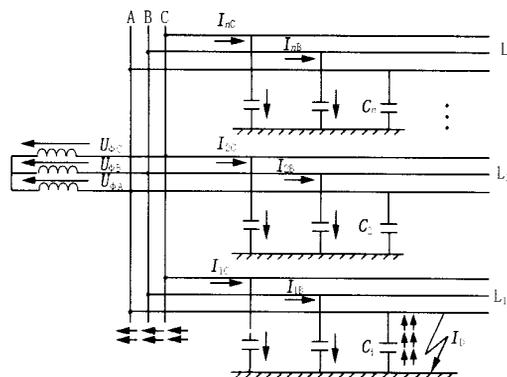


图 1 小电流系统单相接地电路图

Fig. 1 Single phase grounding system with indirectly earthed neutral

接下来利用单相接地故障的零序电压和零序电流数据来估计系统对地电容值。由于电流波形比较

杂乱,利用公式 $j C = \frac{I}{U}$ 求电容会不可避免的造成较大误差,所以,本方法利用零序电压和零序电流的瞬时值来求电容。由公式 $i^* = C \frac{du}{dt}$,将其写成离散化形式,为:

$$i^*(k) = C \frac{u(k) - u(k-1)}{t}, k = 2, 3, 4, \dots, n,$$

t 是采样间隔时间(秒)。

如此可以得到 $i^*(2), i^*(3), \dots, i^*(n)$:

$$i^*(2) = C \frac{u(2) - u(1)}{t},$$

$$i^*(3) = C \frac{u(3) - u(2)}{t},$$

...

$$i^*(n) = C \frac{u(n) - u(n-1)}{t}.$$

接下来利用 $i^*(2), i^*(3), \dots, i^*(n)$ 去拟合采样所得电流 $i(2), i(3), \dots, i(n)$,由误差最小二乘原理求取电容 C 值,使得 $F = \sum_{k=2}^n [i^*(k) - i(k)]^2$ 最小。

由于 F 的每一项 $[i^*(k) - i(k)]^2$ 都可以展开成电容 C 的多项式:

$$[\frac{u(k) - u(k-1)}{t}]^2 \times C^2 - 2 \times \frac{u(k) - u(k-1)}{t} \times$$

$i(k) \times C + [i(k)]^2$,即: $u^2 C^2 + vC + w$ 形式。从 $k=2$ 至 $k=n$ 逐项相加合并同类项,可得: $F = UC^2 + VC + W$,由于 U 大于 0,所以,在 $F=0$ 处的电容 C 值可使 F 取得最小值,此时 $C = -\frac{V}{2U}$ 。

这样,当系统的某一条出线 $i(i=1, 2, \dots, n)$ 发生单相接地故障时,利用系统零序电压与故障线路零序电流可求出该系统除了故障线路以外的其它线路对地电容值之和 $C = \sum_j C_j$;利用零序电压与任一条非故障线路 $k(k=1, 2, \dots, n, k \neq i)$ 的零序电流可求出该非故障线路的对地电容值 C_k ;并且对同一次故障在数值上有 $C = \sum_k C_k$ 。对于长线路计算结果可认为准确,对于短线路,计算误差稍大,可通过一些具体途径改进,本文不作详细叙述。

这样,利用两组发生在不同线路上的故障数据就可求出该系统中各线路的对地电容,且随着故障次数的增多,还可利用多次的故障数据对系统对地电容进行修正。系统对地电容值求出后,由公式 $I = j CU$ 可以很容易就估计出系统电容电流的有效值,以此可以决定系统是否需要安装消弧线圈以及

消弧线圈电感值的大小。

2 EMTP 仿真验证

接下来对一个 10 kV 系统进行 EMTP 仿真,验证该方法。系统为一个有五条出线的变电所,基波频率 $f = 50$ Hz,采样频率 $f_s = 5000$ Hz。仿真采用三相分布参数集中电阻线路模型,已知各出线长度分别为 $l_1 = l_4 = l_5 = 10$ km, $l_2 = 30$ km, $l_3 = 6$ km;线路参数分别为: $R_0 = 0.23$ /km, $L_0 = 1.72$ /km, $C_0 = 4.175 \mu$ /km; $R_1 = 0.17$ /km, $L_1 = 0.28$ /km, $C_1 = 5.715 \mu$ /km,当 $t = 0.0075$ s 时在第一条出线的 A 相线路中间发生单相金属接地故障(见图 2)。取 $0 \sim 0.04$ s 的两个周波 200 个点的数据进行分析。

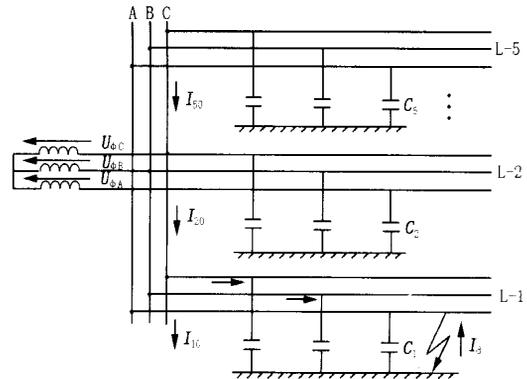


图 2 有五条出线的 10 kV 变电所单相接地电路图

Fig. 2 Single phase grounding diagram of 10 kV substation with five outgoing lines

对上述方法用 Matlab 编程,对仿真数据进行分析,求解系统对地电容值。考虑到噪声污染以及各种随机干扰的存在,先对故障数据进行数字滤波,将高次谐波去除后再对仿真或实测数据进行运算。本例所得由电容所计算电流与滤波后电流拟合波形如图 3 所示(本文对数据滤波时采用的是巴特沃思滤波器,除去 9 次谐波以上的高次谐波)。

由零序电压和故障线路零序电流求得的对地电容为: $C_{\Sigma} = -0.75462 \mu F$,由零序电压和非故障线路 2、3、4、5 的零序电流求得的电容分别为:

$$C_2 = 0.40880 \mu F;$$

$$C_3 = 0.08576 \mu F;$$

$$C_4 = 0.13003 \mu F;$$

$$C_5 = 0.13003 \mu F.$$

其中, C_{Σ} 为负是因为故障线路零序电流和非故障线路零序电流反相的缘故。

由此可得: $C_2 + C_3 + C_4 + C_5 = 0.75462 \mu F$,可见其数值上与 C_{Σ} 相等。并且,由系统参数 $C_0 =$

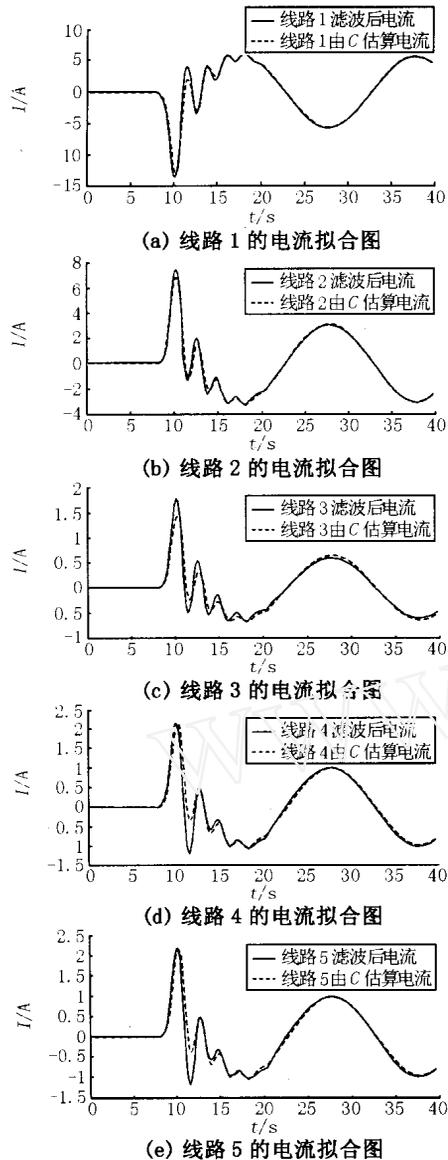


图3 利用所求电容值估算的电流与滤波后电流的拟合图

Fig. 3 Simulation waveforms of current between estimated value and filtered value

4.175 $\mu\text{S}/\text{km}$ 可推出 $C_0 = 4.175/314 = 0.013296 \mu\text{F}$, 则由 $C_i = C_0 \cdot l_i$ 可得: $C_2 = 0.39888 \mu\text{F}$, $C_3 = 0.07978 \mu\text{F}$, $C_4 = 0.13296 \mu\text{F}$, $C_5 = 0.13296 \mu\text{F}$, 可见, 这些值和利用本方法估计出的各线路对地电容值相差甚微。

利用该方法对同一系统进行 EMTP 仿真, 进一步验证该方法。 $t = 0.0075 \text{ s}$ 时在第一条出线的 A 相线路中间发生单相电阻性接地, 接地电阻 100Ω , 同样取 0.04 s 的 2 个周波 200 个点的数据进行分析。 $C_{\Sigma} = 0.75899 \mu\text{F}$, $C_2 = 0.40533 \mu\text{F}$, $C_3 = 0.08353 \mu\text{F}$, $C_4 = 0.13507 \mu\text{F}$, $C_5 = 0.13507 \mu\text{F}$ 。

3 结论

传统测量电容电流的方法可分为直接法和间接法两种: 直接法是使线路接地, 直接测量接地电容电流, 此方法操作及接线复杂, 而且有可能危及非接地相绝缘薄弱处的绝缘造成两相异地短路, 对操作人员与配电系统都不安全, 因而一般很少采用。目前广泛采用的是间接法, 即在线路上外加一个电容, 测量电压的变化, 从而间接计算出电容电流值。这种方法虽能较准确地测量电容电流值, 但测量时仍需与一次侧打交道, 人员与设备安全仍得不到保证。另外, 由于要涉及一次设备, 因此操作繁琐, 准备工作时间长, 工作效率低, 通常大部分时间耗费在等待调度命令、开工作票、倒闸操作及安全措施准备上, 工作效率非常低^{[2][3]}。

本文介绍的方法, 简单易行, 仅仅利用系统单相接地时的故障数据进行计算, 不必利用仪器进行现场实地测量, 不影响电网正常运行, 免除了麻烦且避免了危险。该方法适用于对误差要求不很严格并且工作量较大的场合, 经过仿真表明, 结果基本准确。

参考文献:

- [1] 马朝正, 阎春雨, 刘晓冬 (MA Chao-zheng, YAN Chun-yu, LIU Xiao-dong). 一种新的测量系统电容电流的试验方法——相对地减电容法 (A New Method to Measure Capacitive Current Based on Decaying Phase to Ground Capacitance) [J]. 河北电力技术 (Hebei Electric Power), 1999, 18 (6): 37-38.
- [2] 刘力, 孙结中 (LIU Li, SUN Jie-zhong). 一种测量配电网电容电流的新方法 (A New Method to Measure Capacitance Current in Distribution Network) [J]. 电网技术 (Power System Technology), 2001, 25 (5): 63-65.
- [3] 刘力, 孙结中 (LIU Li, SUN Jie-zhong). 无电源中性点配电系统电容电流的简易测量法 (A Simple Method of Measuring Capacity Current in Non-neutral Distribution System) [J]. 中国电力 (Electric Power), 2001, 34 (11): 46-49.

收稿日期: 2003-05-16;

修回日期: 2003-09-04

作者简介:

王磊 (1977 -), 女, 硕士研究生, 主要研究配电系统故障选线及其相关问题;

(下转第 38 页 continued on page 38)

型的三次谐波电压型定子接地保护的動作特性及整定计算进行了分析,总结出的整定计算方法,考虑到了发电机运行方式及运行工况的变化,而整定计算所用到的几个主要参数 $E_{3\max}$ 、 $E_{3\min}$ 、 k_1 、 k_2 、 k_0 只须在发电机运行中进行实测即可得到,不需要对机组的对地阻抗进行复杂的计算,具有一定的实用性。

参考文献:

[1] 王维俭(WANG Wei-jian). 发电机变压器继电保护应用(Application of the Protection of Generator and Transformer) [M]. 北京:中国电力出版社(Beijing: China Electric Power Press),1998.

- [2] 史世文(SHI Shi-wen). 大机组继电保护(Protection of Large Generator) [M]. 北京:水利电力出版社(Beijing: Hydraulic and Electric Power Press),1987.
- [3] 王春,张为民,何镇(WANG Chun, ZHANG Wei-min, HE Zhen). 漫湾电厂发电机3 定子接地保护调试(Testing of Generator Stator Ground Protection Based on Third-harmonics in Manwan Hydropower Plant) [J]. 继电器(Relay), 2001,29(4):63-66.

收稿日期: 2003-01-30; 修回日期: 2003-09-26

作者简介:

郭爱军(1965 -),男,高级工程师,从事继电保护方面的工作。

Discussion on the setting calculations of stator ground protection based on the third-harmonic voltage criterion

GUO Ai-jun

(Jiangxi Wan 'an Hydropower Plant, Wan 'an 343800, China)

Abstract: The changes of generator power and generator's operation modes can influence the stator ground protection which is based on the third-harmonic voltage. This paper illustrates how to analyse these effects on setting calculations, and makes analysis and evaluations of the operation characteristics of stator ground protection based on the third-harmonic voltage criterion of various operation equations.

Key words: stator ground protection; operation characteristics; setting calculation

(上接第 31 页 continued from page 31)

贾清泉(1970 -),男,副教授,硕士生导师,博士,主要从事

事配网故障检测与配电自动化方面的研究;

蔡国伟(1968 -),男,副教授,硕士生导师,博士,主要从事电力系统稳定与控制等方面的研究。

A new method to calculate grounding capacitance of system with indirectly earthed neutral

WANG Lei¹, JIA Qing-quan², CAI Guo-wei¹

(1. Northeast China Institute of Electric Power Engineering, Jilin 132012, China;

2. Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: The grounding capacitive current is one of the most important parameters of ungrounded neutral system. Usually this parameter is obtained with the method of additional capacitor or metal grounding. However, the former is complicated and the additional capacitor has negative effects on measurement results, and the later is dangerous when used in testing. In view of that, the paper proposes a new method to calculate grounding capacitance based on the data of single-phase grounding faults in power system with indirectly earthed neutral. The simulation results show that this method is accurate basically.

Key words: system with indirectly earthed neutral; single phase grounding; capacitive current

欢迎访问继电器杂志社网站: www.re-press.com
欢迎采用电子邮件投稿: deps@xjgc.com