

电力电缆绝缘在线监测测量方法及判据设计

陈天翔^{1,2}, 段建东¹, 陈天韬¹, 陈广³

(1. 西安交通大学电气工程学院, 陕西 西安 710049; 2. 甘肃省电力公司, 甘肃 兰州 730050;

3. 兰州石化公司, 甘肃 兰州 730060)

A New Approach to On-line Insulation Monitoring of Electric Power Cables Based on Capacitive-current Measurement and Its Criteria

CHEN Tian-xiang^{1,2}, DUAN Jian-dong¹, CHEN Tian-tao¹, CHEN Guang³

(1. School of Electrical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; 2. Gansu Electric Power Company,

Lanzhou 730050, China; 3. Lanzhou Petrol-chemicals Company, Lanzhou 730060, China)

摘要: 为了寻求简易而又实用的鉴别电缆故障的方法,提出了双端接地单相电力电缆、三相电力电缆以及多接地点单相和三相电力电缆接地电容电流的测量方法及绝缘状况的判定依据,设计了测量装置并已制成样机。此外,为了验证该方法及判据的有效,详细介绍了仿真模型。

关键词: 电力电缆; 电容电流; 在线监测

中图分类号: TM85

文献标识码: A

Abstract: For the sake of identifying the fault of electric power cables easily and practically, this paper presents a new method to measure capacitive current of single-phase/three-phase power cable with two-terminal earthed or multi-points earthed, on the basis of comprehensive analysis of common used on-line insulation monitoring approaches of power cables. Corresponding criteria of insulation condition are given and prototype of measurement device is also designed and realized. Furthermore, in order to verify the effectiveness of the method and criteria, simulation model is detailed in this paper.

Key words: electric power cable; capacitive current; on-line monitoring

1 引言

随着经济的发展、城市美化规划的要求以及人们对更高的供电可靠性的要求,电力电缆在电力系统和广大用电客户中使用越来越多,监测电力电缆绝缘状态,确保电缆安全运行的任务也越来越重。电力电缆传统的停电预防性试验方法,由于需要对电缆及电缆的供用电客户停电,耗费大量的人力物力,试验周期长,而且试验方法的有效性、灵敏性较差,

且直流耐压试验有累积效应,已日益不适应社会和企业的要求。电力电缆的绝缘在线监测技术日益受到人们的关注,国内外都进行了大量研究。文[1]介绍了国内外已采用的或较有前途的直流叠加法,直流成分法, $\tan\delta$, 局部放电, 低频重叠法等在线检测方法。国内实践证明,在现场要实现上述几种电缆的在线检测,有时还有不少困难。例如测局部放电时,背景干扰相当大;测 $\tan\delta$ 方法复杂,由于 $\tan\delta$ 值很小,难以测准, $\tan\delta$ 对一些关键的局部较集中的缺陷反映不灵敏。因此往往建议改用在在线检测通过接地线的电容电流观察其变化的方法来检测电力电缆绝缘状况。由于较高精度智能型微电流传感器技术的发展,在现场可以很容易实现接地电容电流的在线检测。文[1]通过加速老化试验验证了电缆交流击穿电压与接地线电流增量 Δi_0 有很高的相关性,可以综合分析判断电力电缆绝缘状况。笔者根据实际运行电缆的状况,提出用传感器在线测量电缆多接地点电容电流,提出了通过多接地点电流的变化与电力电缆绝缘故障的定性假设,提出了寻找接地电容电流与电缆绝缘状况关联关系的仿真模型,拟通过仿真试验,指导试验验证,从而确定接地电容电流与电力电缆绝缘状况的相关判据。

2 电力电缆接地电容电流与电缆绝缘状况的假设模型

电缆绝缘良好或老化受潮等状况的判断在绝缘预防性试验中有明确标准规定,这些判据如电容变化率、介损等,在线检测可以参照。目前,电缆在线检测对绝缘优劣的判断主要考虑检测信号变化量及不平衡量,需要积累现场运行经验,对在线检测测量得出的绝缘有问题的初步结论,还需要用预防性试验

方法来检查验证。

2.1 单相电力电缆两端屏蔽层接地模型及假设

对单相电缆而言,流过接地点的电流剔除磁感应环流就是电缆对地电容电流。单相电力电缆两端屏蔽层接地电流测量模型见图1。

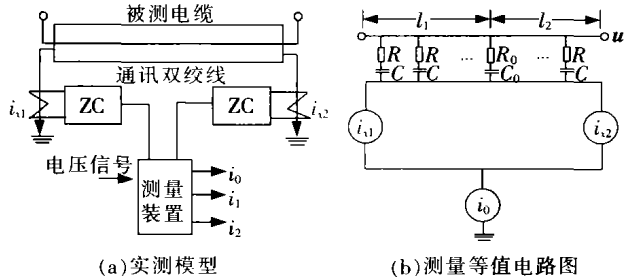


图1 单相电力电缆两端屏蔽层接地电容电流测量模型

图1中,ZC为智能传感器,可采用固定的单匝或便携的开口型传感器。根据检测电流的大小选择不同测量范围的电流传感器,测得的信号可采取就地A/D转换处理或在电缆电源侧共用一个A/D处理装置,而负荷侧可就地A/D转换,通过双绞屏蔽线传输数据。由于电缆接地电容电流一般较大,用于集中型电容型电力设备绝缘在线监测装置的传感器均可以满足电力电缆绝缘在线监测的需要。ZC可以把测量的电流信号的幅值、角度、频率、波形等直接转化为数字信号,与主机通讯后由主机显示。

$i_0=i_{x1}-i_{x2}; i_0=i_{i1}+i_{i2}$ 。其中: i_{i1}, i_{i2} 是剔除了磁感应环流的接地电容电流。 i_{i1}, i_{i2} 既可以通过信号处理电路获得,也可切除电缆负荷,通过空载电缆运行测得。通过 $i_{x1}-i_{x2}$,剔除了接地电流中的磁感应环流。这一模型的假设如下:

- (1) 电缆绝缘良好: $i_{i1}=i_{i2}, \Delta i_0 \approx 0$ 。
- (2) 电缆整体老化或受潮: $i_{i1}=i_{i2} > i_{i0}$ 或 $i_{20}(i_{i0}, i_{20}$ 为 i_{i1}, i_{i2} 初始值), Δi_0 增大。
- (3) 电缆局部绝缘故障(水树枝、电树枝、局部放电、电缆端头绝缘不良、表面脏污): i_{i0}, i_{i1}, i_{i2} 增大; i_{i1} 与 i_{i2} 增大的幅度取决于局部绝缘故障的位置,故障位置靠近哪一侧,哪一侧增量变大, i_{i1}/i_{i2} 与故障点与两端的距离 l_1, l_2 有关, $i_{i1}/i_{i2} = l_1/l_2$,与故障性质无关, $i_{i1}/i_{i2}=1$ 时,故障在电缆中间位置(即 $l_1=l_2$ 处)。
- (4) 电缆屏蔽层对地绝缘不良: i_{i0}, i_{i1}, i_{i2} 减小; i_{i1}, i_{i2} 减小的幅度及 i_{i1}/i_{i2} 与故障点距离 l_1, l_2 有关, $i_{i1}/i_{i2}=l_1/l_2$ 。

2.2 三相电缆两端屏蔽层接地电流测量模型及假设

对三相电力电缆而言,流过接地点的电流剔除磁感应环流后就是文[2]所介绍的三相不平衡电流,它是反映绝缘灵敏有效的一个参数。三相电力电缆两端屏蔽层接地电流测量模型见图2。

图2中, $i_0=i_{i1}-i_{x2}$,通过差分回路剔除了接地电流中的磁感应环流, i_{i1}, i_{i2} 也是剔除了磁感应环流后的真正接地电容电流。 i_{i1}, i_{i2} 获得方法同2.1。该模型假设如下:

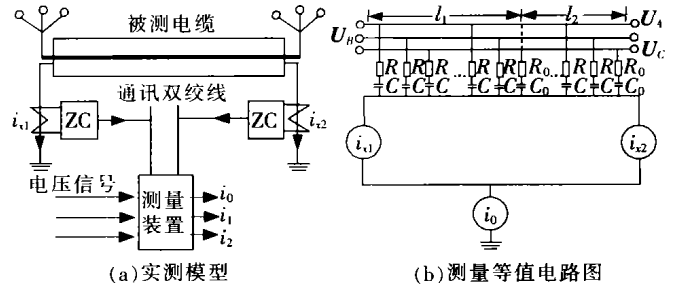


图2 三相电力电缆两端屏蔽层接地电流测量模型

- (1) 电缆绝缘良好: $i_{i1}=i_{i2}, \Delta i_0 \approx 0$ 。
- (2) 电缆绝缘整体均老化或受潮: $i_{i1}=i_{i2} > i_{i0}(i_{20})$, Δi_0 增大。
- (3) 电缆相对地局部故障(水树枝、电树枝、局部放电、电缆头绝缘不良或沿面脏污): i_{i0}, i_{i1}, i_{i2} 增大; i_{i1}, i_{i2} 增大的幅度取决于局部绝缘故障的位置,故障位置靠近哪一侧,哪一侧电流更大一些, i_{i1}/i_{i2} 与故障点的距离 l_1, l_2 有关, $i_{i1}/i_{i2}=l_2/l_1$,与故障性质无关, $i_{i1}/i_{i2}=1$ 时,故障点在 $l_1=l_2$ 处。
- (4) 电缆屏蔽层对地绝缘不良: i_{i0}, i_{i1}, i_{i2} 均减小; i_{i1}/i_{i2} 与故障点距离 l_1, l_2 有关, $i_{i1}/i_{i2}=l_1/l_2$ 。

2.3 多接头多接地点的单相和三相电力电缆接地电容电流测量模型及假设

图3(a)示出了单相三接地点电力电缆接地电容电流测量模型示意图。

图3中: $i_0=i_{x1}-i_{x2}-i_{x3}; i_{01}=i_{i1}-i_{x2}; i_{02}=i_{x2}-i_{x3}$ 。 i_{i1}, i_{i2}, i_{i3} 分别为剔除了 i_{x1}, i_{x2}, i_{x3} 中相应的磁感应环流后的3个接地点接地电容电流。

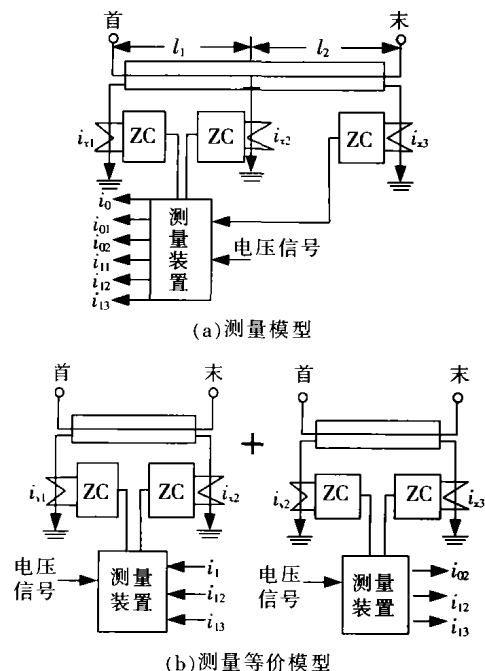


图3 单相三接地点电力电缆接地电容电流测量模型

图3(a)所示的测量模型等价于图3(b)所示两段两端接地电缆的测量模型。同样的思路可用于三点以上接地点单相电力电缆接地电容电流的测量及三相电力电缆3点及以上接地点电力电缆接地电容

电流的测量。由于多点接地电力电缆可看作是多个电缆的组合,因此接地电容电流的判定可根据分段电缆分别判定,判定依据同前2.1,2.2中假设。

3 测量方法及装置的实现

图4示出了可以实现图3测量模型的测量装置的原理图。图4中:电缆接地电容电流因超前电压信号 U_s 90° , U_s 经移相器前移 90° 后得 U_{s0} (与接地电容电流分量同相), U_{s0} 经放大后与 i_x 一起送入差分放大器,将 GU_{s0} 与 i_x 相减,并由乘法器等组成的自动反馈跟踪,使 $i_x - GU_{s0}$ 差值最小,即接地电容电流全部被补偿掉,此时的 GU_{s0} 即为接地电容电流值, $i_x - GU_{s0}$ 为磁感应环流。

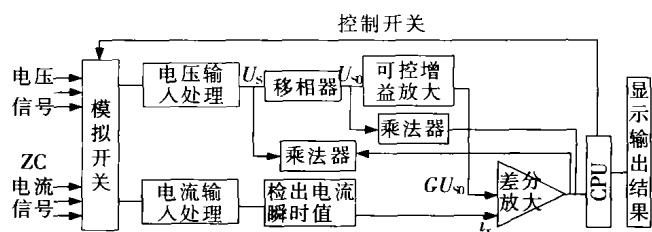


图4 测量装置原理图

4 测量方法的仿真设计

对图1(a),图2(a)测量模型可按图1(b),图2(b)所示等值回路在计算机上或通过等效电路仿真模拟,通过仿真观察 i_0, i_1, i_2 以及 i_1/i_2 反映电力电缆故障的灵敏有效性及相关性,仿真时模拟电缆空载运行,即磁感应环流为零。可从以下几方面进行仿真计算:①单相电力电缆整体老化受潮程度与 i_0, i_1, i_2 的关系。②按不同故障类型及故障性质的严重程度,仿真计算局部故障与 $i_0, i_1, i_2, i_1/i_2$ 的关系。③根据故

障在不同的位置仿真计算故障位置与 $i_0, i_1, i_2, i_1/i_2$ 的关系。④在仿真过程中设计和发现其它有价值的反映故障缺陷的参数。

5 结语

设计了用接地电流的在线监测来实现对电力电缆的绝缘状况监测的模型及判据。在丝毫不改变电缆运行状况的情况下,对电力电缆接地点电流的测量不仅能反映电力电缆的故障,而且还能对 $i_0, i_1, i_2, i_1/i_2$ 等参数进行分析,对部分故障的性质及故障部位进行确定。研究了该测量方法实现的可能性及测量装置的原理,并且提出了对该设计进行仿真模拟计算的设想。

值得一提的是,近年来电力电缆生产运行部门为了避免电缆运行中磁感应环流的影响,大部分高压电力电缆一般采用一点接地,多点装设用于限制电缆屏蔽层出现高电位的电缆保护器(实质是一压敏电阻),电缆的这种运行方式及接地方法更有利于采用接地电流测量,笔者的假设仍可用于确定故障的位置。另外,系统出现单相接地故障时,电缆接地电流测量会突然间出现跳跃式变化,由于系统会显示单相接地故障,因此对跳跃式变化可结合系统变化综合判断。

参考文献:

- [1] 严璋. 电气绝缘在线检测技术[M]. 北京: 水利电力出版社, 1995.
- [2] 斯维. 高电压设备的绝缘监测[M]. (张仁豫, 朱德恒译), 北京: 水利电力出版社, 1998.

作者简介: 陈天翔(1966-), 男, 博士研究生, 高级工程师, 研究方向为电力市场及绝缘在线监测技术。

中国农网科技发展论坛

简讯

该论坛是由国家电网公司农电工作部、中国电机工程学会农电分会、中国电力企业联合会标准化中心主办, 中国电力科学研究院农村电气化研究所承办的一次高级别研讨会议, 旨在推动农网科技发展。会议将邀请国家电网公司、中国电机工程学会、中国电力企业联合会等单位的有关领导、国内外著名专家学者到会。欢迎电气生产企业单位踊跃参加。会议时间另行通知。

论坛主题: ①我国电力工业发展的战略方向和当前形势; ②我国农网的发展方向和当前形势; ③农电发展科技规划; ④输、变电设备的生产、发展和在农网中的运行情况; ⑤低压成套设备的生产、发展和在农网中的运行情况; ⑥我国能源情况和农网节能工作; ⑦农网安全生产技术及供电可靠性; ⑧农网配网自动化的现状与发展; ⑨新产品和节能产品介绍。

大会秘书组: 组长: 徐腊元、黄迺元; 副组长: 郭炳庆、盛万兴、于渤海、庞腊成。

组员: 刘凯、林翠英、左军英、王江涛。

联系电话: 010-62934802, 62930094, 82414392。

传真: 010-62930094, 62937349。

联系人: 黄迺元、王江涛(0)13311032552。