

35 kV 线路故障定位的系统研究和实现

成艳¹, 宋丽君², 王文³, 郜竹金⁴, 杨以涵¹, 戚宇林¹

(1. 华北电力大学, 北京 102206; 2. 焦作电力设计有限责任公司, 河南 焦作 454100;

3. 焦作电厂, 河南 焦作 454100; 4. 焦作电力勘察设计有限责任公司, 河南 焦作 454100)

摘要: 对 35 kV 线路故障定位的系统研究进行了详细的阐述, 并最终实现了 35 kV 线路的故障定位。首先分析了 35 kV 线路特征, 对其进行了模拟仿真。针对 C 型行波法计算速度快、误差大, S 注入法检测速度慢、但精度高的这些特点, 将这两种方法有效地结合起来, 进行故障定位时分两步进行, 首先用 C 型行波法定出大概距离, 然后用 S 注入法准确确定出故障位置并确定分支, 这在很大程度上提高了故障定位的效率、准确性和可靠性。简要地介绍了 C 型行波法和 S 注入法的硬件装置。脉冲信号发生器可以是产生并发送一定幅值的不同周期和脉宽的脉冲信号。用 S 注入法定位的关键是硬件设备, 包括 S 信号发生器和信号探测器。信号发生器可以产生并发送 220 Hz 的信号电流, 信号探测器可以有效地接受并反应信号发生器的 220 Hz 信号。

关键词: 故障定位; 配电网; C 型行波法; S 注入法; 信号发生器

Systematic research and realization of fault location of 35 kV lines

CHENG Yan¹, SONG Li-jun², WANG Wen³, HAO Zhu-jin⁴, YANG Yi-han¹, QI Yu-lin¹

(1. North China Electric Power University, Beijing 102206, China; 2. Jiaozuo Electricity Power Design Company, Jiaozuo 454100, China; 3. Jiaozuo Power Plant, Jiaozuo 454100, China; 4. Jiaozuo Electricity Power Reconnaissance Design Company, Jiaozuo 454100, China)

Abstract: The paper researches and realizes fault location of 35 kV line. First, the paper analyzes characteristics of 35 kV lines and simulates it. C-Travelling wave location is quick while the error is big, and S injected signal is slow while the error is small. The proposed fault location scheme combines them and locates the fault with two steps. Firstly the fault distance is calculated assumably by C-Travelling wave method. Secondly, the fault location is made sure by S injected signal method. So the efficiency, the exactitude and the credibility are proved in the most degree. At the same time, this paper shows the hardware equipment of C-Travelling wave method and S injected signal method. Pulse signal generator produces and sends out the pulse signal of different cycles and pulse width in the same breadth. The hardware equipment of S injected signal method includes S signal source and a signal detector. S signal source can send out 220Hz signal current, and signal detector can receive the signal and respond to it effectively.

Key words: fault location; distribution network; C-Travelling wave method; S injected signal method; signal generator

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2007)08-0016-05

0 引言

在我国, 6~35 kV 配电网大都采用小电流接地系统方式运行, 即变压器中性点不直接接地系统方式运行。小电流接地系统的优点是: 当系统发生单相瞬接地故障时, 可以自行熄灭电弧; 发生单相永久接地时, 负荷可以不必立即停电。小电流接地系统的缺点是: 发生单相永久接地故障时, 很难确认是哪一条线路故障。由于故障会引起其它相电压升高, 对系统绝缘有威胁, 造成相间短路, 从而扩大事故。传统上一般都采用逐线拉路的办法选出故障线路, 但这样会造成未发生接地故障的线路因拉路而瞬间停电, 供电可靠性受到影响。当确定接地线路后, 由人工沿线路寻找故障点。用传统的巡线

方法找出具体故障点的位置非常困难, 少则几小时, 甚至数十小时, 不仅耗费了大量人力物力, 而且延长了停电时间, 影响供电可靠性。尤其是在气候严寒的冬季或雨雪天气、路况艰难, 现有找故障点的方法劳动强度非常大, 难以适应当前生产的需求。因此开展配电网线路故障定位技术的研究具有重大意义。

1 35 kV 线路特征

本文将着重对 35 kV 线路的故障定位进行系统的研究和实现。35 kV 线路作为配电网的一种, 具有以下特点:

(1) 网络接线简单, 一般的 35 kV 线路没有分

支,某些 35 kV 线路具有分支,但分支节点最多两个。

(2) 10 kV 配电线路上有很多配电变压器,但对于 35 kV 线路只有在终端才有配电变压器,当线路发生接地故障时,线路处于停电状态,35 kV 线路终端的配电变压器将被切除,但是 10 kV 线路由于线路上配电变压器多,一个个切除很麻烦。鉴于在离线情况下 35 kV 线路无配电变压器,所以我们可以按分布参数来考虑。

(3) 35 kV 线路相对于输电线路短,其行波传输的衰减和异化可不予考虑,鉴于这些忽略,可把它看成理想的无损耗分布参数电路,对其可进行仿真和模拟。

大兴 35 kV 线路的实验线路如图 1 所示。

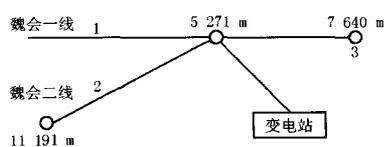


图 1 实验线路示意图

Fig.1 Schematic diagram of experiment lines

2 定位的具体实现

目前国内外流行采用的故障测距方法有:阻抗法,单端行波定位法,信号注入法等。

阻抗法的故障测距原理是假定线路为均匀线,在不同故障类型条件下计算出的故障回路阻抗或电抗与测量点到故障点的距离成正比,从而通过计算故障时测量点的阻抗或电抗值除以线路的单位阻抗或电抗值得到测量点到故障点的距离。阻抗法具有投资少的优点,但受路径阻抗、线路负荷和电源参数的影响较大,它只适合于结构比较简单的线路,对于配电网它还是无能为力的。行波法具有不受系统参数、系统运行方式变化、线路不对称及互感器变换误差等因素的影响^[1]。S注入法是一种解决低压树状配电网故障定位问题的行之有效的方法。与传统定位方法相比,它具有明显的优势,能广泛适用于树状配电网,且定位准确、通用性好、接线简单、不受分布电容的影响,大大提高了故障定位效率^[2]。

C型行波法定位速度快,但精度不高,而S注入法定位速度慢,但精度高,本文采用的定位方案是结合二者的优点,先采用C型行波法进行粗定位,再采用S注入法进行细定位,判断分支,进而实现精确定位。

2.1 C型行波法

C型行波法是在离线的条件下,从母线始端注

入一个高压脉冲信号,再由采集卡采集反射回来的波形和记录数据,经过对波形的分析和对数据的处理,来计算出大概的距离。这个距离的误差范围为 100 m。具体的实验连接图如图 2 所示,由电脑控制脉冲信号发生器的开合,同时采集卡会将采集到的数据和波形传到电脑里,利用电脑中设置的 DELPHI 程序进行自动数据处理、分析和计算,从而得到一个距离值。

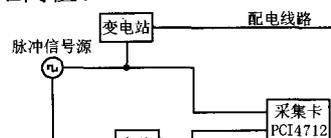


图 2 实验连接图

Fig.2 The chart of experiment connected lines

2.1.1 C型行波法原理

C型行波定位方法是利用故障产生的行波进行单端定位的方法。在线路发生故障时,故障点产生的电流(电压)行波在故障点与母线之间来回反射,根据行波在测量点与故障点之间往返一次的时间和行波的波速来确定故障点的距离。下面以金属性接地为例,说明C型行波定位的原理。

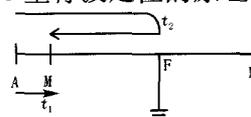


图 3 C型行波定位原理示意图

Fig.3 C-Traveling wave method

图 3 中,设在 $t=0$ 时刻线路上 F 点发生金属性接地故障,故障点的电压行波 u_f 以波速 v 向两侧传播,行波在 t_1 时刻到达检测端母线 M,即在检测端 M 观测到的电压 u_f 延迟了 t_1 ,由于检测端母线为波阻抗变化点,因此在母线处出现了反射波,设该点反射系数为 K 。则反射波 $K \times u_f$ 由母线向故障点方向传播。当反射波到达故障点时,由于该点为金属性短路,发生全反射,这时反射系数为 -1 ,入射波全部被反射,并改变了极性,返回检测端 M,在 t_2 时刻到达 M 点。设故障点到信号检测点 M 的距离为 X_L ,则故障点的计算公式为:

$$X_L = \frac{v \times (t_2 - t_1)}{2}$$

其中: X_L 为故障点至测量点的距离; v 为波速,架空裸导线中的波速与光速接近,约为 $300 \text{ m}/\mu\text{s}$ 。

2.1.2 脉冲信号发生器

本文中脉冲发生器的功能是产生并发送一定幅值的不同周期和脉宽的脉冲信号。如图 4 示,注入

220 V 交流信号, 经整流、滤波、升压后送入故障线路。其中通过单片机控制 IGBT 的触发时间来发送不同周期和脉宽的脉冲信号, 高压是通过升压来得到的, 如图 5 所示是它的原理结构图。

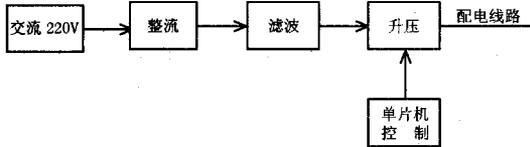


图 4 脉冲信号发生器的组成

Fig.4 Configuration of pulse signal generator

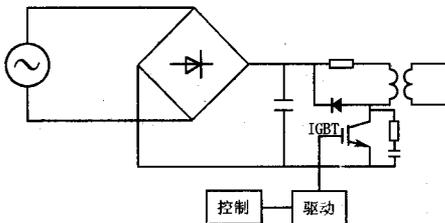


图 5 脉冲信号发生器的原理图

Fig.5 The method of pulse signal generator

2.1.3 故障距离的计算

本文讲通过从现场实际采到的一次故障点实验来说明故障点的计算。

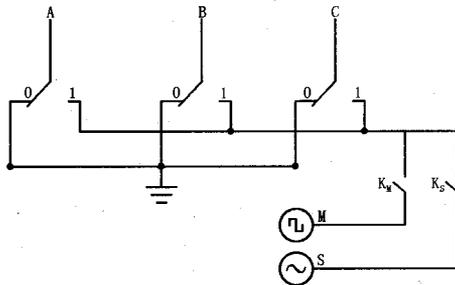


图 6 变电站内母线处分布图

Fig.6 Distributing chart of generatrix in transformer substation

在变电站内, 首先如图 6 所示将母线处线路连接好, 其中三个双向开关“0”端表示这相接地, “1”端表示这相接入脉冲源或 S 信号源, 两个单相开关 M 处表示脉冲信号源, N 处表示 S 信号发生源。然后如图 6 所示将各种装置连接好, 测其某相开路时, 将让其它两相短路掉。如图 7 是实测开路的波形。人为在配电线路某一点设置一个短路点, 当通过分析确定出某相发生故障后, 将在这相加入脉冲信号发生器, 图 8 是这点短路波形图。

对上述两个图形进行电脑程序的自动分析、处理得到故障距离为 2 078 m。

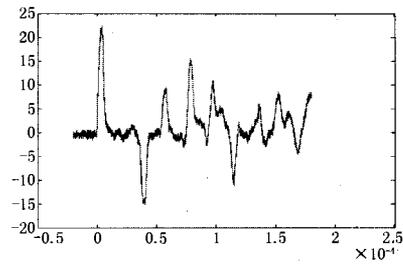


图 7 实测开路波形

Fig.7 Waveform of actual open circuit

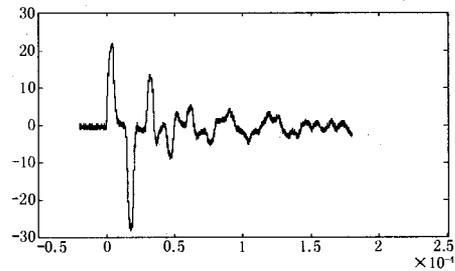


图 8 故障点波形

Fig.8 Waveform of fault point

2.2 S注入法

2.2.1 S注入法原理

本方法是人为地通过母线 PT 向接地线的接地相注入信号电流, 其基波频率处于工频 n 次谐波与 $n+1$ 次谐波之间, 然后由工作人员手持专用的信号电流探测器查找故障线路和故障点。

系统发生单相接地故障时, 故障线路从系统中隔离出来, 如图 9 所示^[3]。

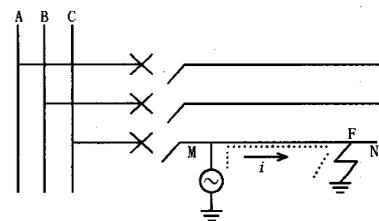


图 9 停电后故障线路和信号注入示意图

Fig.9 Sketch map fault line after power cut

C 相发生短路时, 向 C 相线路注入信号电流。此电流仅沿 C 相线路流动并经接地点入地, 并在接地支路沿线产生特定频率的交变电磁场。因此, 可通过检测跟踪此交变电磁场来确定接地故障点 F^[2]。

2.2.2 S 信号发生器

信号发生器的作用是产生并发出 220 Hz、5 A 的信号电流, 此信号发生器功率可达 300 W, 可满足接地故障时经电阻接地功率消耗大的情况, 注入信号经过 PT 感应到原边后, 电流可达到 50 mA。

如图 10 所示, 首先产生高精度正弦信号, 经过滤波、功率放大、电压放大后送入线路, 通过线路反馈回来的电流调节电压来达到恒流的功能。

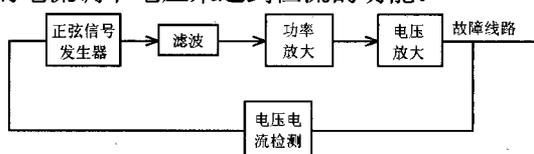


图 10 信号发生器

Fig.10 Signal source

信号发生器的设计中, 包括主回路和控制回路两部分。

主回路的主体思想是由 220 V 交流电源经整流器整流转换成直流, 再由如图 10 所示的半桥逆变电路转换成所要求频率的交流电源。图 10 中, 令分压电容 C_{O1} 、 C_{O2} 足够大且 $C_{O1} = C_{O2}$, 以致开关器件通、断状态改变时电容电压保持为 $V_D/2$ 不变。 T_1 、 T_2 交替地处于通、断状态, 即 T_1 、 T_2 的驱动信号 V_{G1} 、 V_{G2} 互补: $V_{G1} > 0$ 时, $V_{G2} = 0$; $V_{G2} > 0$ 时, $V_{G1} = 0$ 。如果在 $0 \leq \omega t < \pi$ 期间, T_1 有驱动信号处于通态, T_2 截止, 这时 $v_{an} = +V_D/2$; 在 $\pi \leq \omega t < 2\pi$ 期间, T_2 有驱动信号处于通态, T_1 截止, 这时 $v_{an} = -V_D/2$ 。则逆变器输出电压 v_{an} 为 180° 的方波, 幅值为 $V_D/2$ 。输出电压瞬时值表达式为:

$$v_{an} = \frac{2}{\pi} V_D (\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \dots)$$

式中: $\omega = 2\pi f$ 为输出电压基波角频率, $f = 1/T$ 。其基波分量的有效值为

$$V_1 = \frac{2V_D}{\sqrt{2}\pi} = 0.45V_D$$

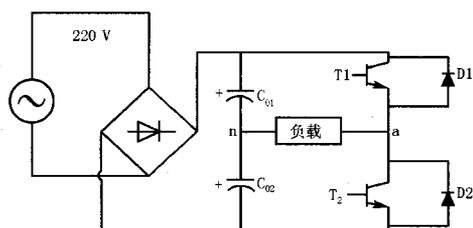


图 11 信号发生器主回路原理图

Fig.11 Method of signal source

逆变电路输出电压波形是由开关管的驱动脉冲信号确定的, 这个控制 T_1 、 T_2 的即为控制回路。控制回路的核心就是 PWM (Pulse Width Modulation) 技术。PWM 技术就是控制半导体元件

的通断时间比, 通过调节脉冲宽度或周期来实现控制输出电压的一种技术。由于它可以有效地进行谐波抑制, 动态响应好, 所以在频率、效率方面有明显的优势。本文中, 我们选用了 TL494 来完成 PWM 控制电路。

2.2.3 信号探测器

信号探测器对信号发生器发出的信号灵敏度高, 可以有效地接受并反应信号发生器的 220 Hz 信号。信号检测装置的具体组成如图 12 所示。

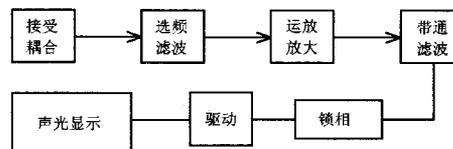


图 12 信号探测器

Fig.12 Signal detector

2.2.4 S 注入法定位

当由 C 型行波法判断出故障相, 测出距离后, 把 K_s 断开接入 K_M , 由 PT 二次侧向故障相注入交流信号电流, 此时 PT 一次侧处必然会感应到电流, 在通过上述 C 型方法得出大概距离的情况下, 沿已知的这一段线路对注入信号电流进行寻踪, 注入信号电流的消失点就是接地故障点。在遇有分支线路的情况下, 只要离开分支点 10 m, 对每一分支进行探测, 探测到有信号电流的分支即为有故障的分支线路, 沿故障分支继续探测, 遇信号电流的消失点即找到分支上的故障点。注入交流信号电流频率的选取方法为: 为了防止现场 50 Hz 工频及其谐波的干扰, 注入信号电流的基波频率 f_0 处于工频 n 次谐波与 $n+1$ 次谐波之间, 即 $n \cdot 50 < f_0 < (n+1) \cdot 50$ 。图 13 配电网中, 当分支 1 发生接地故障时, 由于注入信号只在分支 1 中流过 (如图 13 虚线所示), 对每一分支进行探测, 只要离开每一个分支 10 m, 探测到信号电流的分支即接地点所在分支, 然后再按 C 型测出的大概距离在一段范围内查找, 从而定出准确位置^[2]。

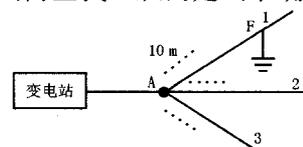


图 13 S 注入法分支确定

Fig.13 Fault localization of complex tree

3 结论

本文将 C 型行波测距法和 S 注入定位法有效的结合起来。C 型行波法利用了一套完整的电脑程序和采集卡, 原理简单, 计算快; S 注入法定位准确、通用性好、接线简单, 探测器体积小重量轻,

方便携带。这两种方法的结合使故障定位的效率、精度、可靠性都得到了大大的提高,而且本文对各种装置和计算机的连接,通过对计算机的控制,实现了自动投切、自动分析计算,减轻了工作人员的劳动力,避免了人为误操作带来的不良后果,提高了电力生产效率。这套一体化的智能装置已经在现场做过大量的实验,得到了较好的评价。

参考文献

- [1] 季涛,孙同景,薛永端,等.配电网故障定位技术现状与展望[J].继电器,2005,33(24):32-37.
JI Tao, SUN Tong-jing, XUE Yong-duan, et al. Current Status and Development of Fault Location Technique for Distribution Network[J]. Relay, 2005, 33(24): 32-37.
- [2] 马佳,余文辉,车伟扬,等.基于改进的S注入法的新型树状配电网故障检测装置[J].继电器,2002,30(10):51-54.
MA Jia, YU Wen-hui, CHE Wei-yang, et al. A Novel Fault Localizer of Tree Form Distribution Networks Based on an improved S Injection Method[J]. Relay, 2002, 30(10): 51-54.
- [3] 张慧芬,潘贞存,桑在中.基于注入法的小电流接地系统故障定位新方法[J].电力系统自动化,2004,28(3):64-66.
ZHANG Hui-fen, PAN Zhen-cun, SANG Zai-zhong, et al. Injecting Current Based Method for Fault Location in Neutral Isolated Power System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(3): 64-66.
- [4] 王慧,范正林,桑在中.“S注入法”与选线定位[J].电力自动化设备,1999,19(3):35-39.
WANG Hui, FAN Zheng-lin, SANG Zai-zhong. The “S Signal Injection Method” and Its Application in Single Phase to 2 Earth Fault Line Identification and Fault Point Location[J]. Electric Power Automation Equipment, 1999, 19(3): 35-39.
- [5] 李学鹏,全玉生,徐铁鹰,等.基于数学形态学的输电线路精确故障定位[J].现代电力,2006,23(1):34-39.
LI Xue-peng, QUAN Yu-sheng, XU Tie-ying, et al. Accurate Fault Location of Transmission Lines Based on Mathematical Morphology[J]. Modern Electric Power, 2006, 23(1): 34-39.
- [6] 郭俊宏,谭伟璞,等.电力系统故障定位原理综述[J].继电器,2006,34(3):76-81.
GUO Jun-hong, TAN Wei-pu, et al. Summary on Fault Location Principle in Power System[J]. Relay, 2006, 34(3): 76-81.
- [7] 李友军,王俊生,郑玉平,等.几种行波测距算法的比较[J].电力系统自动化,2001,25(7):36-39.
LI You-jun, WANG Jun-sheng, ZHENG Yu-ping, et al. Comparison of Several Algorithms of Travelling Wave Based Fault Location[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(7): 36-39.
- [8] 全玉生,杨敏中,王晓蓉,等.高压架空输电线路的故障测距方法[J].电网技术,2000,24(4):27-33.
QUAN Yu-sheng, YANG Min-zhong, WANG Xiao-rong, et al. A Fault Location Method for Overhead High Voltage Power Transmission Lines[J]. Power System Technology, 2000, 24(4): 27-33.

收稿日期:2006-11-01; 修回日期:2007-03-19

作者简介:

成艳(1982-),女,硕士研究生,研究方向为电力系统分析与控制;E-mail:yan2004cheng@126.com

宋丽君(1976-),女,学士,研究方向为电力系统继电保护;

王文(1966-),男,高级工程师,研究方向为电力系统继电保护与自动远动技术。

许继荣获 2006 中国制造业“信息化支撑管理创新”最佳实践奖

3月16日,由中国制造业信息化门户网(www.e-works.net.cn)主办的“首届中国制造业CIO年会暨2006中国制造业信息化岁末盘点颁奖典礼”在京举行。经过网上公开投票和专家委员会的综合评定,许继集团公司荣获2006中国制造业“信息化支撑管理创新”最佳实践奖,集团公司副总裁程利民被评为2006中国制造业信息化杰出CIO。

据悉,“2006中国制造业信息化岁末盘点”活动是由中国制造业信息化门户网连续第四年组织进行的评选活动。本活动自2006年12月启动以来,对过去一年中国制造业信息化领域进行了最权威的剖析和回顾。本次评选历时3个多月,经过推荐和自荐、网上投票及评审专家组综合评定最终确定评选结果。本届活动获得了制造企业积极参与,最终获得奖项的制造企业共有105家,其中获奖的CIO有71人。

在颁奖大会上,中国工程院院士李培根回顾了2006年中国制造业信息化的特点,e-works第三次发布了“中国制造业信息化年度报告(PLM/ERP领域)”,以帮助制造企业了解我国制造业信息化各领域的应用现状和发展趋势,为制造企业实施信息化提供参考依据。与会专家及企业代表就“信息化如何支撑企业管理创新”、“产品创新数字化技术的应用”、“企业发展战略与信息化建设的相互关系”以及行业信息化特点和信息化工作体会等进行了广泛交流。