

# 无接触数据传输技术在配电网故障定位的应用

刘强强<sup>1</sup>, 李岩松<sup>1</sup>, 杨以涵<sup>1</sup>, 于浩<sup>2</sup>, 齐超<sup>1</sup>

(1. 华北电力大学电气与电子工程学院, 北京 102206; 2. 三河发电有限责任公司, 河北 廊坊 065201)

**摘要:** 配电网停电会造成很大经济损失, 因此需要及时准确地故障定位以排除故障, 减小损失。介绍了直流结合交流的综合离线故障定位法, 针对故障定位中直流注入存在读取测量值的困难, 提出了应用于配电网故障定位电流检测的无接触传输技术: 红外技术、射频无线技术。给出了它们的硬件设计电路及特点, 并且分析了在保定市固城供电所 10 kV 线路定位试验中应用无接触传输技术得到的数据, 证明了无接触技术在故障定位中的有效性。

**关键词:** 配电网; 故障定位; 无线传输; 红外; 射频

## Technology of data transmission without contact supplied in distribution fault location

LIU Qiang-qiang<sup>1</sup>, LI Yan-song<sup>1</sup>, YANG Yi-han<sup>1</sup>, YU Hao<sup>2</sup>, QI Chao<sup>1</sup>

(1. North China Electric Power University, Beijing 102206, China;

2. Sanhe Power Generation Co. Ltd, Langfang 065201, China)

**Abstract:** Failure of distribution network can cause huge economic loss and thus prompt and precise fault location is needed urgently to reduce this loss. This paper introduces the technology using AC and DC method for fault location. As to the difficulties of reading DC current in fault location using DC method, the untouched transmission technology-infrared technique and RF technique are proposed for current detection. The hardware circuit and technical features are presented with the databases from fault location experiment using untouched transmission technique in a substation 10 kV line. It is proved its feasibility.

**Key words:** distribution networks; fault location; wireless transmission; infrared; radio frequency

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)12-0089-05

## 0 引言

我国中低压配电网大多采用中性点非有效接地方式(俗称小电流接地系统), 配电线路故障的快速、准确定位, 不仅对修复线路和保证可靠供电, 而且对保证整个电力系统的安全稳定和经济运行都有十分重要的作用。

目前, 国内外对配电线路故障定位的研究按原理可以分为: 行波法<sup>[1-4]</sup>、S注入法<sup>[5,6]</sup>和故障指示器法<sup>[7-9]</sup>。行波定位法<sup>[1-3]</sup>的基本思想是: 记录行波到达线路一端或两端的时间, 然后利用波速和时间计算故障距离。该方法的关键是捕捉故障点反射行波波头, 可是在配电网中, 行波波头辨识困难<sup>[4]</sup>。S注入法的原理是通过母线 PT 向配网母线注入交流电流, 其基波频率处于工频  $n$  次谐波与  $n+1$  次谐波之间, 然后利用专用的信号电流探测器查找故障线路和故障点<sup>[5,6]</sup>。S注入法的关键是使注入电流尽可能多的流向故障点, 而不被或者较少被线路电容分流。所以低接地电阻, 短线路情况下, S注入法适

用。可是, 对于线路较长的配电网, 在高电阻接地时, 电容对注入电流的分流作用可能超出 S注入法的允许范围, 如果在某个分支处, 其下游的分支线路中只要有两条分支的电流信号差别不明显, 该方法就无法判别故障方向。故障指示器通过检测配电线路故障电流, 指示故障所在的出线、分支和区段, 给寻找故障提供了极大的方便。但是, 鉴于小电流接地系统的自身特点, 发生单相接地故障尤其是高阻接地故障时, 所产生的故障信号本身较弱, 并且受到电磁干扰和谐波污染, 导致获得的信号失真, 这些都直接影响了故障指示器的选择性和准确性<sup>[8]</sup>。目前短路故障指示器的准确度尚不能达到 100%, 何况接地故障指示器<sup>[9]</sup>。

通过对影响故障定位的各种因素的研究, 笔者所在课题组提出直流结合 60 Hz 交流的综合离线故障定位方法<sup>[10]</sup>, 以期能够克服高电阻和线路电容的影响, 从而通用于配电网接地故障定位。

该方法被现场多次证明很有效。但是, 在应用直流定位法时, 由于检测电流用的钳形电流表是通

过绝缘杆夹在高压线路上的(直流电压一般会达到1~3 kV)。高空、高压使得现场读取电流值非常困难。为此,需要将钳形电流表测量值从线路高压端传送下来,方便工作人员读取。若使用有线通信方式,显然绝缘问题需要考虑,操作也不方便<sup>[11]</sup>。

为此,笔者所在的课题组通过以下两种无接触技术解决了上述困难,分别是红外技术和射频无线技术。红外技术,价格便宜,能隔离高压,安全,实现简单,但易受干扰;无线射频技术,安全可靠,应用灵活,传输距离远。以上两种方案,解决了故障定位中读取数据的困难,方便了工作人员读取钳形电流表测得的电流值。

### 1 直流结合交流的综合离线故障定位法

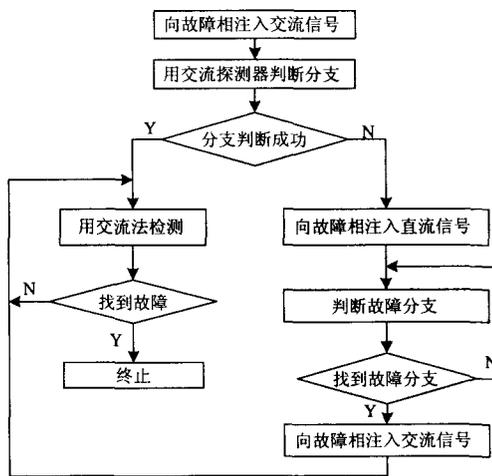


图1 交、直流综合法故障定位流程

Fig.1 Process of AC and DC method for fault location

笔者所在课题组在进行了充分的理论研究和现场试验后提出了直流结合60 Hz交流的综合离线故障定位法(简称交直综合法),目前已推出产品,逐步应用于实践。

交直综合法的流程如图1,首先应用交流法,如果能判断故障分支并找到故障,则直接应用交流法;当判断分支失败,则改用直流法,找到故障分支,确定故障区段,然后再用交流法,将故障定位到点。

#### 1.1 直流法确定故障区段

直流法的主要思路是从变电站或故障分支向故障相注入直流电流信号80~200 mA(如图2)。注入直流后,直流电流沿故障线路流向故障点,故障点后的直流电流为零。通过钳形表测线路上的直流电流值判断出故障分支和故障点。根据分析和试验,选择注入的直流信号一般为直流80~200 mA即可,信号太大则要求直流信号发生器功率较大,太小不

利于沿线路检测。

直流法的优点是衰减小、无论接地电阻多大,注入直流电流都将全部流过接地点,准确测量。缺点是需登杆检测,操作较为复杂。

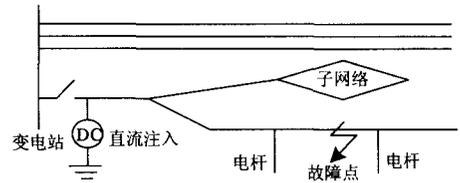


图2 直流法注入示意图

Fig.2 Process of AC and DC method for fault location

#### 1.2 交流法定故障点

交流法故障定位的主要思路是从变电站或故障分支向故障相注入60 Hz的交流信号(注入方法类似直流注入),电流一般选择为100~200 mA,然后手持60 Hz信号检测器沿线路进行地面巡测。信号检测器主要检测交变磁场,当测得线路有电流时,说明故障点在测量点的下游,若无电流,说明故障点在测量点的上游。在故障点前后检测器的指示有明显的大幅度变化,根据指示器的明显变化判断故障点所在。

交流信号不同于直流信号在于交流电流产生同频交变磁场,能感应出电动势,从而能实现远距离(如地面)的检测。交流频率的选择则有如下考虑,频率越高,线路对地电容的分流作用越大,且注入端交流信号注入功率越大;频率过低则不利于地面检测,且变压器体积就要求较大。同时要求避开周围工频50 Hz的影响,综合各种因素,我们选择60 Hz交流电流信号注入。交流信号的大小则考虑线路电容电流影响、信号发生器功率和手持检测器检测,根据仿真和多次试验选择100~200 mA合适。

交流法优点是方便,不用登杆、地面检测。缺点是易受线路电容电流影响,对长线路,高阻接地不便使用。

可见,交直综合法离线定位的过程就是,在直接应用交流法进行故障定位不成功时,采用直流法判断出故障分支,确定故障区段,然后再采用交流法,由于此时直流法已将故障范围缩小到某一无分支的小区段内,因此线路电容和配电变等对交流法已无影响,交流法可以判断出故障点。

#### 1.3 直流法应用中存在的困难

直流法中,由于注入直流电流,线路上直流电压可达到1~3 kV,现场人员需要通过绝缘杆将钳型电流表夹在线路上进行测量,如图3。高空和高

压造成读取电表值困难, 顺利读取测量电流值也成为定位成功的关键。为此本文采用无接触传输技术, 解决了这个困难。将线路上的钳型电流表测得的电流值分别通过红外无线和射频无线技术传输传送到地面人员的手持设备上, 显示出测量值。

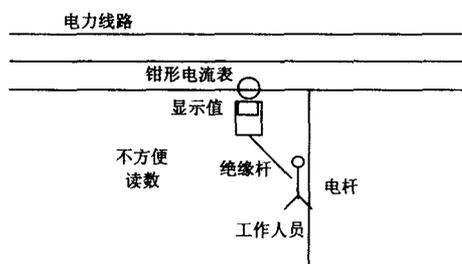


图3 直流法故障定位中读取测量值困难

Fig.3 Difficulties of reading current value in DC

## 2 配电网故障定位的无接触数据传输技术

应用无接触传输技术实现直流法定位中数据的传输装置如图4, 图中左边装置采用了红外技术传输数据; 右边则采用无线射频技术。可见, 装置分两部分, 发射端和接收端。发射端与钳形表相连, 钳形电流表夹在高压线路上, 将测得的线路电流转化成 $0\sim 3\text{ V}$ 的电压信号作为发射端单片机的AD输入。接收端则接收发射端的数据, 并显示测量结果。

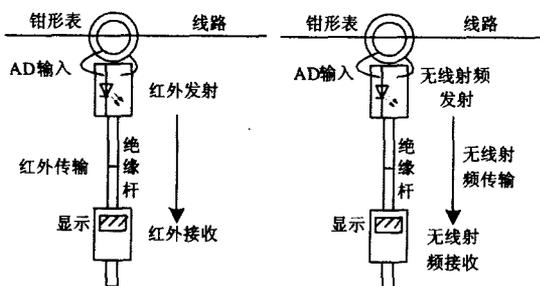


图4 无接触传输技术的应用—红外、射频传输装置

Fig.4 Application of non-contact technology-equipment for transmission used infrared and RF technique

### 2.1 红外无线传输技术

红外通信是以红外线为载体而传送数据信息的, 它作为无线通信的一种。与无线电波相比, 它因具有传播范围受局限的特点<sup>[12~14]</sup>, 而不必就频谱资源问题向有关部门进行申请和登记; 且不易受空间电磁波的干扰; 在中短距离通信方面, 与微波、激光等其他通信方式相比, 更具有制作简单、易于产生和调制等优势。因而, 在因环境因素或工作条件制约无法采用有线通信的场合, 用红外线作为媒

介进行数据交换已成为一种方便且经济的选择。

#### 2.1.1 红外传输硬件设计

发射和接收端单片机都选用美国 Silabs 公司推出的混合信号片上系统(SOC)C8051F310, 它自带AD 采样和串行通信功能。红外发射管和接收管分别采用 Vishay 公司的 TSAL6200 和 HS0038B。

#### 2.1.2 红外传输发射端设计

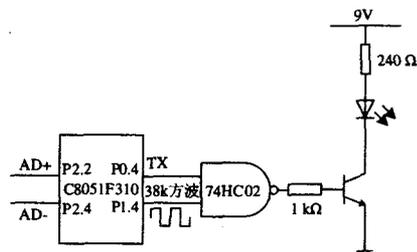


图5 红外发射电路图

Fig.5 Circuit diagram of infrared emission

发射部分如图5, 采样AD值通过单片机的P2.2和P2.4输入。单片机处理后将采样值通过串口P0.4输出, 此输出信号和由单片机产生的占空比为50%, 频率为38K的方波通过“或非门”电路74HC02“或非”后来控制三极管导通或截止, 以实现红发射管是否发射红外光的控制。

#### 2.1.3 红外传输接收端设计

接收部分如图6, HS0038B 已经对所接收信号封装处理好, 它对外有三个管脚, 其中“1”为接收信号输出 Out, 它输出 TTL 电平, 可以直接输出至接收单片机的串口接收端(RX)。接收端单片机再将串口接收的数据处理并显示。

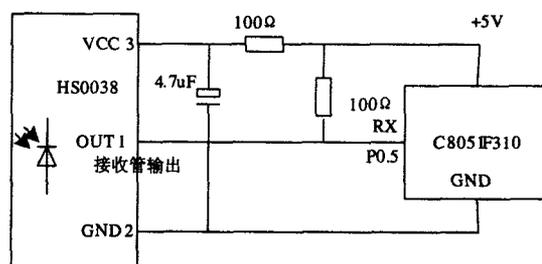


图6 红外接收电路图

Fig.6 Circuit diagram of infrared receiver

### 2.2 射频无线传输技术

发射端和接收端单片机仍然选用 C8051F310, 无线通信模块采用 nRF2401 芯片, 与单片机的硬件接口如图7所示。

nRF2401 是一个单片集成接收、发射器的芯片<sup>[15]</sup>, 工作频率范围为全球开放的 2.4 GHz 频

段, 125 个频道。采用 GFSK(Gauss Frequency Shift Key) 调制时的数据速率最高速率 1 Mbps, 高于蓝牙, 具有高数据吞吐量。nRF2401 发射功率、工作频率等所有工作参数全部通过软件设置完成。1.9~3.6 V 低电压供电, 满足低功耗设计需要。在不增加任何功率放大的情况下, 传输距离 100 m。

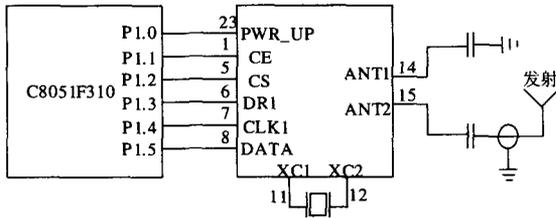


图 7 射频发射电路图

Fig.7 Circuit diagram of RF emission

对 nRF2401 的配置接口由 CE、PWR、CS 组成, 可以配置的模式有 4 种, 如表 1。

选择 nRF2401 工作在 ShockBurst™ 收发模式下, 此时配置字有 15 个字节 120 位。单片机初始化时先进入配置模式, 将配置字从最高位到最低位在 CLK1 下降沿时通过 DATA 依次送入 nRF2401, 完成配置后, 则进入备发送状态。单片机完成数据采集后, 启动 nRF2401 的收发模式, 把接收机的地址和要发送的数据按时序在 CLK1 的上升沿最高位开始依次送入 nRF2401 中, 再将 CE 置低, 激发 nRF2401 进行 ShockBurst™ 发射。

表 1 nRF2401 工作模式表

Tab.1 Working mode of nRF2401

工作模式	PWR	CE	CS
收发模式	1	1	0
配置模式	1	0	1
空闲模式	1	0	0
关机模式	0	x	x

接收模块的配置与发送端的配置方法一样。只是启动的条件不同, 接收采用查询方式, 当查询到 DR1 为 1 时启动接收。接收数据是通过 DATA、CLK1 输入单片机的。

### 2.3 红外与射频无线传输技术的比较

采用红外传输方式, 价格便宜, 硬件结构简单, 软件编程容易。但是, 红外传输则因为光的指向性, 在传输方向上收到限制, 现场只能直线传输; 另外, 由于红外光易受可见光及热敏物的影响, 也使红外传输易受干扰; 再则, 红外受到传输功率的限制, 传输距离较短, 但是已经可以满足现场的使用。

射频无线技术采用 nRF2401 芯片, 价格相对较

贵, 硬件也较红外复杂。由于要对无线芯片进行配置和发射接收是按位进行的, 因此软件编程较复杂; 另外, 由于受到外界电磁干扰等影响, 可能会对传输值有干扰。但是, 无线的传输距离较远, 不进行任何功率放大一般也能传输 100 m, 而且可以向任何方向传输, 接收装置可以在地面手持, 较方便现场读取测量值。

### 3 现场试验结果与分析

图 8 是固城变 517 线路图, 故障点在图中线路分支 D, 首先采用直流法确定故障区段, 运用红外和无线传输技术得到测量电流值如表 2。C 点是关键点, B~C 段电流值较大, C~D 段电流值也较大, 但“C 以北”的电流值基本为 0, 可以判断, 故障在 C~D 段, 与实际相符。其次, 采用交流法, 向系统注入 60 Hz, 180 mA 电流, 用交流检测器在地面检测, 精确找到了故障点。

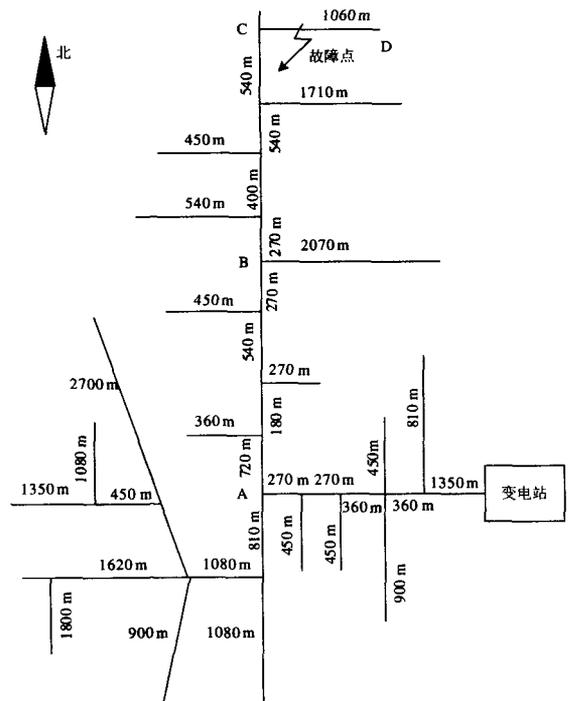


图 8 保定固城 10 kV 线路 517

Fig.8 10 kV line in Baoding Gucheng 517

从表 2 中可以看出, 红外和射频无线传输得到的电流值有一定的抖动范围, 这是测量电表输出电压的抖动、AD 采样的偏差等原因造成的。另外, 无线传输时外界电磁干扰也是造成值偏差的原因。但是, 由于故障定位过程中, 不要求测得的电流十分精确, 只要能判断电流值的明显变化就可以。由此看出, 无接触技术——红外及无线传输技术在整

个故障定位过程中发挥了关键作用。

表2 现场试验数据

Tab.2 Test data in field

线路段	A~E	A~B	B~C	C 向北	C~D
红外值/mA	0~5	84~98	84~96	1~8	80~91
无线值/mA	0~7	79~110	78~111	0~12	77~103

### 参考文献

- [1] Thomas D W P, Carvalho R J O, Pereira E T, et al. Field Trial of Fault Location on a Distribution System Using High Frequency Transients[A]. In: Power Tech, 2005 IEEE Russia[C].2005.1-7.
- [2] ZENG Xiang-jun, LI K K, LIU Zheng-yi, et al. Fault Location Using Traveling Wave for Power Networks[A]. In: Conference Record of the 2004 IEEE on Industry Applications Conference, 39th IAS Annual Meeting[C]. 2004.2426-2429.
- [3] 严凤, 杨奇逊, 齐郑, 等. 基于行波理论的配电网故障定位方法的研究[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(9): 37-43.  
YAN Feng, YANG Qi-xun, QI Zheng, et al. Study on Fault Location Scheme for Distribution Network Based on Traveling Wave Theory[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(9): 37-43.
- [4] 方力谦, 李晓明, 黄斌. 输电线路行波故障定位装置研究现状与展望[J]. 高压电器, 2005, 41(5): 377-400.  
FANG Li-qian, LI Xiao-ming, HUANG Bin. Current State and Prospects on the Traveling Wave Fault Location of Transmission Line[J]. High Voltage Apparatus, 2005, 41(5): 377-400.
- [5] 桑在中, 潘贞存, 丁磊, 等. “S注入法”选线定位原理及应用[J]. 中国电力, 1997, 30(6): 44-45, 62.  
SANG Zai-zhong, PAN Zhen-cun, DING Lei, et al. The Principle and Application of “S Injection Method” [J]. Electric Power, 1997, 30(6): 44-45, 62.
- [6] 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. Injecting Current Based Method for Fault Location in Neutrally Isolated Power System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(3): 64-66.
- [7] 徐容明. 一种基于故障指示器的配电线路故障自动定位系统[J]. 电力设备, 2005, 6(10): 66-67.  
XU Rong-ming. An Automatic Location System of Distribution Line Fault Based on Fault Indicator[J]. Electrical Equipment, 2005, 6(10): 66-67.
- [8] 卢兴旺. 线路故障指示器的分类及应用[J]. 电器设备, 2006, 1: 60-61.  
LU Xing-wang. The Classification and Application of Electrical Line Fault Indicator[J]. Electric Equipment, 2006, 1: 60-61.
- [9] 张斌, 袁钦成, 袁月春, 等. 配电线路故障指示器现状分析[J]. 供用电, 2005, 22(5): 29-30.  
ZHANG Bin, YUAN Qin-cheng, YUAN Yue-chun, et al. Actuality of Distribution Lines Fault Indicator[J]. Distribution & Utilization, 2005, 22(5): 29-30.
- [10] 杨鹏, 杨以涵, 司冬梅, 等. 配电网单相接地故障定位技术试验研究[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(9): 104-107.  
YANG Peng, YANG Yi-han, SI Dong-mei, et al. Experimental Research on Single-phase-to-ground Fault Location in Distribution Network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(9): 104-107.
- [11] 张煦. 现代通信技术的发展方向[M]. 西安: 电子科技大学出版社, 2004.
- [12] 张志成. 一种基于 C8051F 单片机的红外通信设计[J]. 通化师范学院学报, 2006, 27(6): 34-36.
- [13] 徐淦卿, 等. 红外物理与技术[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1989.
- [14] 丁广文, 陈工, 王志良. 一种基于 PIC 单片机的红外遥控器系统[J]. 河北工业大学学报, 2003, 32(2): 40-43.  
DING Guang-wen, CHEN Gong, WANG Zhi-liang. A Kind of Remote Control System Using Infrared Technology Based on PIC Micro-controller[J]. Journal of Hebei University of Technology, 2003, 32(2): 40-43.
- [15] 陈丽娟, 常丹华. 基于 nRF2401 芯片的无线数据通信[J]. 电子器件, 2006, 29(1): 248-250.  
CHEN Li-juan, CHANG Dan-hua. Wireless Data Communication Based on nRF2401[J]. Electron Devices, 2006, 29(1): 248-250.

收稿日期: 2008-07-21; 修回日期: 2008-09-03

作者简介:

刘强强 (1982-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统自动化, 配网自动化; E-mail: liuqiangqhd@yahoo.com.cn

李岩松 (1970-), 男, 副教授, 研究方向为电力系统运行与控制, 光学互感器;

杨以涵 (1927-), 男, 教授, 博导, 研究方向为电力系统运行与控制, 配网自动化。