

基于横联线电流比原理的全并联 AT 牵引网故障测距装置

郭明杰, 林国松, 陈小川

(西南交通大学电气工程学院, 四川 成都 610031)

摘要: 全并联 AT(Auto-transformer)供电牵引网发生故障后,能够快速准确判断出故障类型,标定故障点位置对确保电气化铁路安全可靠运行是至关重要的。通过分析全并联 AT(Auto-transformer)供电牵引网各种故障线路满足的电量方程,得到故障测距用横联线电流比原理。以典型的全并联 AT供电方案为例,详细讨论了由工程实际中能测量到的电气量计算出测距公式中所需物理量的方法,提出了装置起动及数据同步原理,给出了故障测距的系统实现方案,基本上解决了各种故障类型的判断,故障点标定问题。

关键词: 横联线电流比; 全并联 AT供电; 电流分布; 故障测距; 自启动; 数据同步

中图分类号: TM76 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)22-0036-04

0 引言

全并联 AT供电方式因其性能优良,在客运专线的牵引供电系统中得到应用^[1]。全并联 AT供电,是在变电所、AT所、分区所等处将上下行接触网并联起来的供电方式。“AT中性点吸上电流比原理”^[2]仍可应用于全并联 AT牵引网故障测距问题^[3],但难以解决以下问题:

1) 在接触导线(T)和正馈线(F)间发生短路故障时,因AT中性点吸上电流为零,“AT中性点吸上电流比原理”不再适用。

2) 不论上行还是下行发生故障,AT中性点都将得到相同的吸上电流,“AT中性点吸上电流比原理”无法判别故障是发生在上行方向还是下行方向。

3) “AT中性点吸上电流比原理”受AT漏抗及故障过渡电阻等因素的影响,即使对测距方法进行修正,误差也较大。

本文简要介绍了横联线电流比原理,深入探讨了基于这一原理的故障检测装置在全并联 AT供电方式下的系统实现方案。

1 横联线电流比原理简介

图1为全并联 AT供电牵引网 T-R 短路故障电流分布图。设 T线、F线及钢轨的单位自阻抗及互阻抗为: Z_T 、 Z_F 、 Z_R 、 Z_{TF} 、 Z_{TR} 、 Z_{FR} 。

在发生短路故障的网孔区段,上行和下行的 T_1 与 T_2 、 F_1 与 F_2 、 R_1 与 R_2 分别形成了三个闭合回路,可以列出三个回路电压方程:

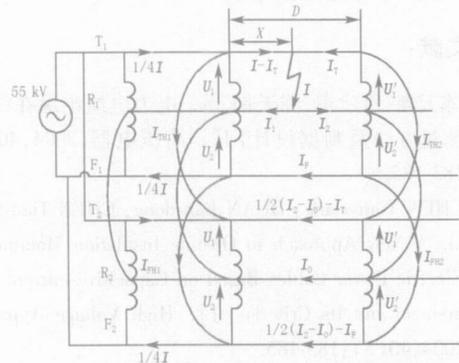


图1 T-R 短路故障电流分布图

Fig 1 Current distributing diagram of "T-R" short circuit fault

$$\left\{ \begin{array}{l} X(I - I_T)Z_T - (D - X)I_T Z_T - XI_1 Z_{TR} + \\ (D - X)I_2 Z_{TR} - DI_F Z_{TF} = \\ D \left[- \left(\frac{I_2 - I_0}{2} - I_F \right) Z_T - I_0 Z_{TR} - \left(\frac{I_2 - I_0}{2} - I_F \right) Z_{TF} \right] - \\ I_1 X Z_R + (D - X)I_2 Z_R + (I - I_T)X Z_{TR} - \\ (D - X)I_T Z_{TR} - DI_F Z_{RF} = \\ - D \left[I_0 Z_R + \left(\frac{I_2 - I_0}{2} - I_T \right) Z_{TR} + \left(\frac{I_2 - I_0}{2} - I_F \right) Z_{RF} \right] - \\ DI_F Z_F + X[(I - I_T)Z_{TF} - I_1 Z_{RF}] + (D - X) \cdot \\ (-I_T Z_{TF} + I_2 Z_{RF}) = \\ D \left[- \left(\frac{I_2 - I_0}{2} - I_F \right) Z_F - \left(\frac{I_2 - I_0}{2} - I_T \right) Z_{TF} - I_0 Z_{RF} \right] \end{array} \right. \quad (1)$$

解方程组(1)得 I_F 、 I_0 、 I_T :

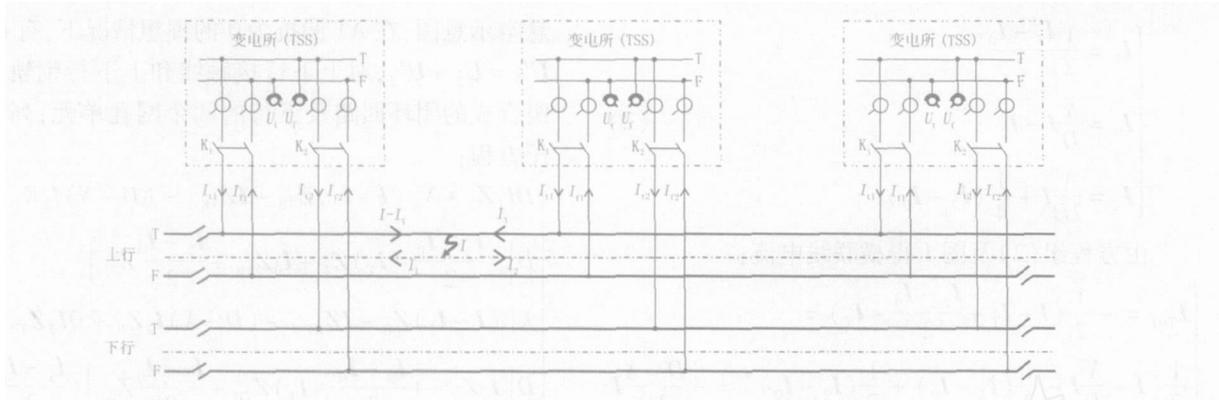


图 3 典型全并联 AT 牵引网供电方案示意图

Fig 3 Schematic diagram of all - paralleling AT traction power supply system

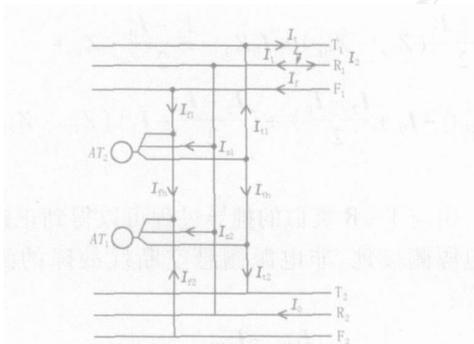


图 4 横联线电流的计算

Fig 4 Calculation of paralleling lines current

2.1 复线 AT 牵引网故障测距

在实际接触网线路中,上下行线路一般都为对称形式,这样除故障区段两侧外的其它横联线电流都基本为 0,从而可以很方便地识别故障区段,进行准确的故障测距。

发生 F - R、T - R、T - F 故障时,取故障发生时所有横联线电流中相邻两个最大的电流应用公式 (4) 进行计算,标定故障位置。由公式的推导过程可以看出,发生 T - R 故障时, $I_{FH} = 0$; 发生 F - R 故障时, $I_{FH} = 0$; 发生 T - F 故障时, $I_{FH} = 0$ 且 $I_{TH} = 0$ 。

F 线电源侧接地、非电源侧悬空断线故障应用公式 (6)。判断发生这种故障的依据是:

- 1) 故障发生在 TSS - PP 区段时,在变电所 $I_f = I_{fmax}$ (正常情况下 F 线最大负荷电流) 且在变电所及分区所有 $I_f = 0$;
- 2) 故障发生在 PP - SP 区段时,在变电所及 AT 所有 $I_f = I_{fmax}$ 且在分区所有 $I_f = 0$;

F 线非电源侧接地、电源侧悬空断线故障应用公式 (7)。判断发生这种故障的依据是:

- 1) 故障发生在 TSS - PP 区段时,在变电所 $I_f = 0$ 且在 AT 所及分区所有 $I_f = I_{fmax}$;
 - 2) 故障发生在 PP - SP 区段时,在变电所及 AT 所有 $I_f = 0$ 且在分区所有 $I_f = I_{fmax}$ 。
- T 线断线故障与 F 线断线故障类似。

2.2 单线 AT 牵引网故障测距

单线方式下要运用 AT 吸上电流比法进行故障测距。假设图 4 中 K_2 断开,
$$\begin{cases} I_1 = I_{d1} + I_{n1} \\ I_2 = I_{d1} + I_{n1} \end{cases}$$
 I_1 、 I_2 为各

处 AT 吸上电流, $X = \frac{I_2}{I_1 + I_2} D$; 若 K_1 断开, 将有

$$\begin{cases} I_1 = I_{d2} + I_{n2} \\ I_2 = I_{d2} + I_{n2} \end{cases}$$

测距公式不会变。

3 系统实现方案

横联线电流比原理适用于上下行全并联 AT 供电方式下横联线不解裂的情况。当上行 (或下行) 出现较长时间的故障时,存在组织反向行车的可能性,故障测距装置必须考虑此种情况,辅以 AT 中性点吸上电流比原理。横联线电流比原理及 AT 中性点吸上电流比原理,都需要变电所 (TSS)、AT 所 (PP) 及分区所 (SP) 处的电流量、电压量及开关位置信息,为取得这些电气量,必须在 TSS、PP、SP 等处安设相应的硬件装置。不同地点的故障测距装置完成电气量的采集、存储工作,通过远动通道传送数据,在变电所处装置内进行故障判断、计算以标定故障位置。装置的启动采用软件自启动和继电器保护动作信号外启动,各处数据采用失压同步。

3.1 模拟量、开关量统计

U_t 、 U_f 为 T 线、F 线母线电压; I_{t1} 、 I_{f1} 为上行馈线 T 线、F 线电流; I_{t2} 、 I_{f2} 为下行馈线 T 线、F 线电

流; K_1 、 K_2 为上下行馈线断路器位置信号。

3.2 自启动元件

故障时,变电所处装置优先接受继电保护动作给出的启动信号,实现外启动。而当保护因自身原因拒动或故障装置接收保护启动信号电路故障则测距装置判断下式成立自启动。

$$\begin{cases} |I| = \left| \frac{I_{l1} + I_{l2} - I_{f1} - I_{f2}}{2} \right| & I_{zd} = K_k I_{fmax} \\ \left| \frac{I^{(2)}}{I} \right| & K_{zd} = 20\% \\ |U_t - U_f| & U_{zd} = 0.6 - 0.7 U_n \end{cases} \quad (8)$$

式中: U_t 、 U_f 分别为 T 线、F 线母线电压; $I^{(2)}$ 为负荷电流的 2 次谐波值; I 为负荷电流; I_{zd} 为过电流整定值; U_{zd} 为低电压整定值; K_{zd} 为二次谐波制动比,防止励磁涌流误动; K_k 为可靠系数; I_{fmax} 为最大负荷电流; U_n 为额定电压值。

3.3 变电所数据召喚

作为一个命令,通过远动管理机向 3 个装置发布接收数据的信号,各装置收到信号后,按照协议将数据通过远动通道上送。

3.4 AT所、分区亭启动元件

故障时,馈线断路器跳闸,故障测距装置判断下式成立:

$$|U_t - U_f| < 0.1 U_n \quad (9)$$

启动,停止数据采集并做好数据上传准备。上传的数据是检测到失压时刻前 50 ms(根据实际情况确定)的电流模值。

3.5 故障区域、运行方式识别

开入量可以判断出运行方式(单线、复线),当 K_1 (K_2) 打开而 K_2 (K_1) 闭合时,运行在单线情况下,这种情况在全并联 AT 供电的高速铁路中很少使用,但不排除极端情况下组织反向行车的情况。

运用横联线电流比原理标定故障位置可以方便地判断出故障方向(上、下行)。设上行线发生故障时,故障点两侧 ($I_{FH} - I_{TH}$) 与 ($U_t - U_f$) 的相角为 α ; 则下行线发生故障时 ($I_{FH} - I_{TH}$) 与 ($U_t - U_f$) 的相角为 $\alpha + 180^\circ$ 。从而可以判断故障发生在上行线还是

下行线。

4 结束语

对于采用全并联 AT 牵引供电方式的高速铁路而言,不存在“V 停运行方式”^[4],运用横联线电流比原理可以精确地标定 T-R、F-R、T-F 故障;断线故障及故障方向也可方便地标定,配以 AT 中性点吸上电流比原理即可方便地完成单线情况下的故障测距,基本上解决了各种故障点标定问题,是解决目前我国客运专线故障测距问题的理想方案。

参考文献:

- [1] Courtois C. Why the 2 × 25 kV Alternative [A]. IEE Colloquium on 50 kV Autotransformer Traction Supply System - French Experience (Part IV). 1993.
- [2] 藤江宏使. AT 吸上电流比方式故障点标定 システム [R]. 铁道技术研究报告, 1976.
- [3] 王继芳, 高仕斌. 全并联 AT 供电牵引网短路故障分析 [J]. 电气化铁道, 2005, (8): 20-24.
WANG Ji-fang, GAO Shi-bin. Analysis on Short Circuit Fault of All-parallel AT Traction Power Supply System [J]. Electric Railway, 2005, (8): 20-24.
- [4] 赵丽珍, 赵映莲, 杨岳勤, 等. 高速铁路综合维修“天窗”开设形式与行车组织协调问题的研究 [J]. 中国铁道科学, 2002, 23(2): 127-131.
ZHAO Li-zhen, ZHAO Ying-lian, YANG Yue-qin, et al. Ways of Opening Comprehensive Maintenance "Window" and Its Coordination with Traffic Organization for High-speed Railway [J]. China Railway Science, 2002, 23(2): 127-131.

收稿日期: 2006-07-07; 修回日期: 2006-07-31

作者简介:

郭明杰 (1977 -), 男, 助工, 硕士研究生, 研究方向为牵引供电系统继电保护; E-mail: aijiake1116@126.com

林国松 (1974 -), 男, 讲师, 主要从事牵引供电系统继电保护与测距的研究;

陈小川 (1963 -), 男, 教授, 主要从事微机保护及自动化的研究。

Fault locator of all-parallel AT traction power supply based on the theory of the current ratio of paralleling lines

GUO Ming-jie, LIN Guo-song, CHEN Xiao-chuan

(College of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

(下转第 48 页 continued on page 48)

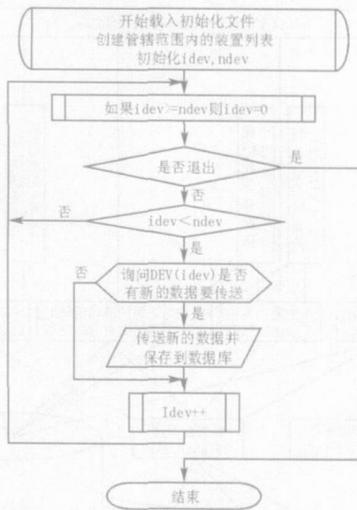


图3 信息采集程序的流程

Fig 3 Flow of information collection program

系统一定要采用标准通信规约,以便维护、扩展、升级和数据交换,决不可因强调应用的特殊性或专用性而自定规约,否则会产生无穷后患。

4 结语

故障录波系统为继保工作者提供了方便快捷、

安全可靠的录波数据传输和初步分析手段,提高了工作效率,为更先进更高效的继保管理提供了技术支持。故障录波系统建设和应用必将在电力体制改革的大潮中为电力工业的发展发挥重要作用。

参考文献:

- [1] 张承学,龚庆武,胡志坚,等.基于GPS同步采样装置的研制及其应用[J].电力系统自动化,2000,24(10):49-52
ZHANG Cheng-xue, GONG Qing-wu, HU Zhi-jian, et al Study of GPS-Synchronized Sampling Unit and Its Application [J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(10): 49-52
- [2] 罗毅.分布式故障录波系统[J].电力系统自动化,2001,25(20):59-62
LUO Yi Distributed Fault Recording System [J]. Automation of Electric Power System s, 2001, 25(20): 59-62

收稿日期: 2006-06-19; 修回日期: 2006-07-16

作者简介:

杨志勇(1972-),男,硕士,工程师,主要从事电力系统继电保护管理工作。E-mail: young_zhi_yong@yahoo.com.cn

Software framework of distributed fault recording system

YANG Zhi-yong

(Zhaoqing Power Corporation Branch, Zhaoqing 526060, China)

Abstract: As the key of analysing the fault and the running condition of power system, how to share and put out the information of fault recorder are very important. This paper presents the software framework of the distributed fault recording system in Zhaoqing Power Corporation Branch and the distributed idea of designing. Considering of the variety of communicating stimulation, it is applauded for the modularization of the communication design.

Key words: fault recording; distributed; software framework; modularization

(上接第39页 continued from page 39)

Abstract: After faults of all-parallel AT traction power supply system occur, that the type of fault can be judged and the place of fault can be located quickly and exactly is important for ensuring safety, reliability to the traction power supply. By analyzing the electric equations on the condition of various fault of all-parallel AT traction power supply systems, and then the theory of the current ratio of paralleling lines is obtained for fault locating. As an example, the typical all-parallel AT traction power supply concept is mentioned. Based on concept, the method of necessary data acquisition by that value measured easily in meter is detailed, and the theory of starting device and data synchronization is presented. At last, judgement of fault type and location of fault can be basically solved.

Key words: the current ratio of paralleling lines; all-parallel AT traction power supply system; current distributing; fault location; self-starting; data synchronization