

一种新型小电流接地综合选线装置

陈忠仁¹, 李微波¹, 吴维宁²

(1. 中山职业技术学院 电子信息工程系, 广东 中山 528404;

2. 国电自动化研究院, 江苏 南京 210003)

摘要: 考虑到配电网单相接地情况复杂, 单一的选线方法适应性差, 对各种选线方法进行了研究, 认为零序电流基波分量幅值最大且稳定, 基于基波分量的几种选线方法可用同一硬件平台实现; 并详细分析了其中的有功分量法和电流增量法, 证明了这 2 种选线方法的可行性和实用性。在此基础上, 将这几种选线方法有机结合在一起, 运用模糊综合决策理论, 选出故障线路, 可大幅度提高选线准确率及装置的适应能力。给出了选线装置的软、硬件设计及电磁兼容设计。实验室模拟电网试验和现场挂网结果表明, 装置运行稳定, 选线准确, 适应性强。

关键词: 小电流接地; 选线; 装置; 消弧线圈

中图分类号: TM 711

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2007)05-0114-04

0 引言

我国的配电网多采用中性点不接地或经消弧线圈接地的方式, 在单相接地时, 流经故障点的电流较小, 故称为小电流接地系统。在发生永久性单相接地时, 为了防止因非故障相电压升高而导致故障扩大, 需选出故障线路并加以切除。传统的方法是手动逐条试拉线路, 不仅影响供电的可靠性, 还可能导致一些人为的事故。近年来, 随着各种微机选线装置的出现, 多种选线方法得到了应用。这些选线方法有的利用零序电流基波作为判据, 如零序电流比幅比相法^[1]、零序电流有功分量法^[2-3]、零序电流增量法^[4]; 有的利用谐波作为判据, 如 5 次谐波法^[5]; 还有的利用暂态信号作为判据, 如首半波法、小波法^[6-7]。由于配电网单相接地情况复杂, 每种选线方法都有自己的应用条件, 不能适用所有的故障情况, 故单一方法的选线准确率较低^[8]。可考虑在同一硬件平台的基础上, 优选出几种方法, 将其有机结合在一起, 构成小电流综合接地选线装置, 并运用模糊控制综合决策, 选出故障线路。

1 选线方法的综合应用

配电网在单相接地时, 零序电流的谐波分量较小, 而且不同电网的谐波含量也不同, 过渡电阻对谐波还有较大的影响。暂态故障电流的首半波自由分量的大小与故障瞬间的初始电压的大小和相位有关, 受过渡电阻的影响也较大, 且不稳定。而零序电流基波分量最大, 也很稳定, 故选择基波分量作为选线的判断依据。考虑到自动跟踪补偿消弧线圈在配

电网的广泛使用, 为使装置既能运行在中性点不接地电网, 又能运行在谐振接地电网, 采用群体比幅比相法、电流有功分量法以及电流增量法等构成综合判据。这几种方法可用同一硬件结构实现, 区别仅在于软件中数据分析的算法不同, 故构成综合选线装置是可行的。

1.1 群体比幅比相法

在中性点不接地电网, 发生单相接地时, 非故障线路的零序电流从母线流向线路, 故障线路的零序电流从线路流向母线, 且等于所有非故障线路零序电流之和, 故数值上应是最大。为了防止误判, 采用基波群体比幅比相法, 先选出几个幅值较大的作为候选, 然后将它们进行相位比较, 如果某条线路的方向和其他线路不同, 则为故障线路, 如果同相位, 则为母线故障^[9]。综合选线装置如装在中性点不接地电网, 可运用此法判断接地线路; 或者变电所母线分裂运行时, 未装设消弧线圈的母线及所带馈线的接地选线也可应用此种方法。

1.2 零序电流有功分量法

对于串联限压电阻的预调式消弧线圈, 为增大有功分量, 接地后可延迟几秒切除电阻, 以对各条线路的零序电流巡检。一般限压电阻的热容量均可满足 10 s 内电阻的发热要求。在切除电阻之后, 再进行零序电流增量法的数据采集。

设补偿电网有 n 条出线, 三相线路参数对称。设第 i 条出线的 A 相接地, 其零序等效网络如图 1 所示。图中, U_0 为零序电压, R 为限压电阻, C_k 为第 k 条出线的三相总电容, g_k 为其泄漏电导, 泄漏电导的大小和线路的绝缘情况有关^[3-4]。

非故障线路零序电流的有功分量为 ($1 \leq i \leq n$)

$$I_{0kr} = U_0 g_k \quad k = 1, 2, \dots, n \text{ 且 } k \neq i \quad (1)$$

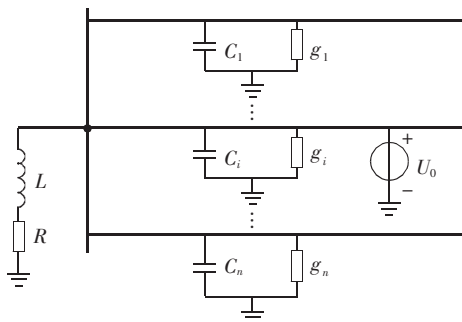


图1 补偿电网零序等效网络

Fig.1 Zero-sequence equivalent network of compensated power network

忽略消弧线圈绕组的电阻,将消弧线圈支路电感和电阻的串联化为等效的并联形式,其零序电流的有功分量为

$$I_{0Lr} = U_0 g_R \quad (2)$$

式中 g_R 为限压电阻的等效并联电导。

则故障线路的零序电流有功分量为

$$I_{0ir} = -U_0 (g_R + \sum_{k=1}^n g_k) \quad (3)$$

比较式(1)和式(3)可知,非故障线路的有功分量和故障线路的有功分量方向相反。再比较它们的幅值大小。为分析方便计,令各支路的泄漏电导均等于 g ,则故障线路与非故障线路的有功分量的幅值比 K_1 为

$$K_1 = \frac{I_{0ir}}{I_{0kr}} = \frac{g_R + (n-1)g}{g} = \frac{ng_R}{ng} + (n-1) = \frac{n \frac{g_R}{\omega C}}{n \frac{g}{\omega C}} + n-1 \quad (4)$$

上式中, C 为系统总电容, ng 为系统总的泄漏电导,由文献[10]知:

$$\frac{ng}{\omega C} = d_0, \quad \frac{g_R}{\omega C} = \frac{R}{\omega L} = d_R$$

d_0 为系统的阻尼率,通常架空线路的 d_0 约为 3%~5%,电缆线路的 d_0 约为 2%~4%,即 $2\% \leq d_0 \leq 5\%$ 。而 d_R 为限压电阻 R 所产生的阻尼率,一般将 R 配置为消弧线圈感抗 ωL 的 10% 左右。由此得 K_1 的取值范围为

$$3n-1 \leq K_1 \leq 6n-1 \quad (5)$$

延迟切除限压电阻大幅度增加了故障线路的有功分量(幅值比 K_1 约增加 2~5 倍),由此可将故障线路和非故障线路显著地区分开来,从而大幅提高了选线的准确率。实用时,取有功分量幅值最小的一条线路(非故障线路)作为基准,比较其他线路的有功分量和基准线路有功分量的比值,将比值较大的几条线路作为候选,再结合其他方法综合判断。因比较的是有功分量幅值的相对值,判据不受过渡电阻的影响。

而对中性点不接地系统和中性点经随调式消弧线圈接地系统故障支路,因无限压电阻的作用,有功分量稍小,可作为辅助的判据使用。

1.3 零序电流增量法

对于零序电流增量法,在单相接地后,调整消弧线圈改变补偿位置,消弧线圈支路的阻抗随之发生改变,零序电压亦将发生变化。设消弧线圈调整前、后的零序电压分别为 U_0 和 U'_0 ,定义第 m 条线路的零序电流增量^[4]:

$$\Delta I_{0m} = I'_{0m} \frac{U_0}{U'_0} - I_{0m} \quad (6)$$

对于非故障线路,电流的增量为零;而对于故障线路 i ,调挡前、后的零序电流分别为

$$I_{0i} = -U_0 [-j/(\omega L) + \sum_{k=1, k \neq i}^n (g_k + j\omega C_k)] \quad (7)$$

$$I'_{0i} = -U'_0 [-j/(\omega L') + \sum_{k=1, k \neq i}^n (g_k + j\omega C_k)] \quad (8)$$

电流的增量为

$$\Delta I_{0i} = I'_{0i} \frac{U_0}{U'_0} - I_{0i} = U_0 \left(\frac{1}{j\omega L} - \frac{1}{j\omega L'} \right) \approx I_L - I'_L \quad (9)$$

电流的增量约等于消弧线圈调整前、后补偿电流的差值。这个差值可根据需要调整,一般约为数安培,这样就可以将故障线路和非故障线路显著地区分开来。

2 选线装置硬、软件设计

2.1 硬件设计

硬件组成如图2所示。系统可分5个模块:嵌入式PC模块、数据采集模块、人机接口模块、通信模块、跳闸输出模块。数据采集模块包括信号调理输入电路、低通滤波电路、多路开关电路、采样保持电路、A/D转换电路等,主要完成零序电压和零序电流的检测工作;人机接口模块包括键盘接口、液晶接口、打印机接口、指示灯接口等,主要功能是设定参数(定值)、将检测得到的数据及选线的结果显示、打印出来,重要结果同时用指示灯显示;继电器跳闸模块包括I/O输出接口电路和继电器跳闸电路,这部分电路可选,主要是将选线的结果输出跳闸,和以继电器接点的形式输出报警;通信模块可提供RS-232、RS-485 2种形式的通信接口。

选用嵌入式PC主要是基于应用开发的方便,开发周期短,易于控制成本,模块结构也便于电磁兼容处理。嵌入式PC带有较大容量的电子盘(32 M),为

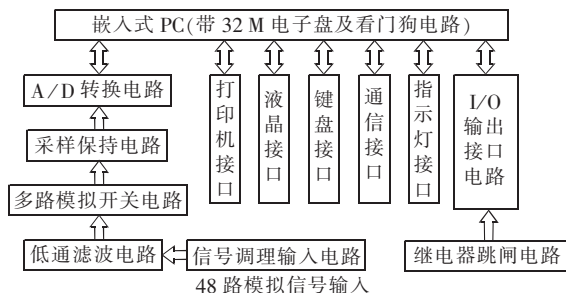


图2 选线装置硬件组成框图

Fig.2 Hardware block diagram of fault line selection device

大量采集数据存储提供了方便。此外,内置看门狗电路可提供系统死机后的重置,提高了可靠性。

数据采集系统是装置的核心部分。考虑到有功分量法需在数秒内采集几十条线路的零序电流,数据采集的间隔时间短,需要转换速度较高的 A/D 转换器。本装置采用高速并行 12 位逐次比较式 A/D 转换器 AD 578,转换时间 $3\ \mu\text{s}$ [11],可满足装置对数据采集时间的要求。

由于装置运行在变电站中,电磁干扰比较严重,对装置电磁兼容的全面设计十分重要。特别要考虑的是在系统单相接地时,故障点由于接触不好往往会产生电弧,所产生的能量较大的高频干扰可能沿着电缆、地线进入到装置内部,形成强烈的传导干扰。这种传导干扰有 2 条引入路径,一是电源,二是装置的信号输入、输出环节。针对此类强干扰,在装置结构设计时,采取了在面板上设计金属隔离仓,在隔离仓上安装馈通滤波器、滤波连结器和滤波阵列等措施,很好地解决了电源、信号传输与接地、屏蔽等之间的矛盾,有效消除了高频干扰的耦合 [12-13]。

2.2 软件设计

软件的核心是如何将这 3 种选线方法有机结合在一起,以避免单一方法的局限性,扬长避短,大幅度地提高选线的准确率。选线方法综合使用时,利用模糊数学工具,给这 3 种选线判据设定隶属度函数,在单相接地后,将各种方法得到的选线结果代入其隶属度函数,得到不同方法选线结果的隶属度,即可信度,将不同方法的可信度分别乘以权重系数后累加,累加结果最大的即为综合选线的结果,次之的作为参考 [14-15]。选线方法的选用可根据应用场合,通过菜单选择确定,并根据具体情况设定不同选线方法的权重系数。如应用在中性点不接地场合,则可选用群体比幅比相法和有功分量法,根据实际情况为 2 种方法分别设置权重系数;如和自动调谐式消弧线圈配合使用,则可选择有功分量法和电流增量法,也要根据实际情况为 2 种方法设置权重系数。选线装置和消弧装置配合时,无需相互通信,可以零序电压作为同步信号,这样可提高装置的灵活性。对于一些特殊场合,如配电网有的母线段装设消弧线圈,有的母线段由于电容电流小而未装设消弧线圈的情况,如分段运行,则这 3 种方法都应选用。主程序框图如图 3 所示。

3 模拟试验及现场运行

小电流接地综合选线装置研制完成后,通过了 IEC61000 电磁兼容等型式试验;还在实验室进行了模拟试验。试验在实验室搭建的模拟电网进行,电网电压 380 V,为单母线 8 条出线。试验分别验证了中性点不接地时,即选用群体比幅比相法结合有功分量法时装置的选线结果,和中性点通过消弧线圈接地时,即选用有功分量法结合电流增量法时装置的

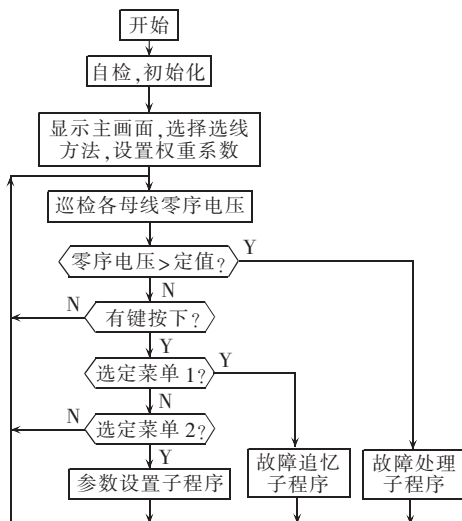


图 3 主程序框图

Fig.3 Flowchart of main program

选线结果。在这 2 种情况下将 8 条出线逐一进行金属性接地和弧光接地,装置选线结果全部正确。后在福建某变电站挂网运行。该变电站 10 kV 系统共有 25 条出线,2 段母线,平时为并联运行。统计表明,从 2005 年 9 月起的一年时间内系统共发生 7 次单相接地,装置正确选线 7 次,选线准确率为 100%。

4 结语

在同一硬件平台的基础上,将群体比幅比相法、零序电流有功分量法、零序电流增量法有机结合在一起,构成小电流接地综合选线装置;在系统单相接地发生后,由上述方法得出初步的选线结果,再采用模糊控制、综合比较判断的方法,得出最终的选线结果,大幅度地提高了选线的准确率。采用综合选线,不仅使装置适用于中性点不接地系统,而且适用于中性点经消弧线圈接地系统,灵活性和适用性很强,成本也低。模拟试验和挂网运行的情况表明,装置选线的准确率达到 100%,结果令人满意。

参考文献:

- [1] 郝玉山,杨以涵,任元恒,等. 小电流接地微机选线的群体比幅比相原理[J]. 电力情报,1994(2):15-19.
HAO Yu-shan,YANG Yi-han,REN Yuan-heng,et al. Colony amplitude and phase comparison method of grounding faulted line automation detection in small current neutral grounding network[J]. Information on Electric Power,1994(2):15-19.
- [2] 薛金娃. 零序有功选线与消弧线圈接地系统单相接地故障处理过程优化[J]. 继电器,2004,32(2):61-63.
XUE Jin-wa. Fault line detecting with zero sequence active power and optimization of single phase grounding fault disposing process with neutral grounding via arc extinguishing coil system [J]. Relay,2004,32(2):61-63.
- [3] 牟龙华. 零序电流有功分量方向接地选线保护原理[J]. 电网技术,1999,23(9):60-62.
MOU Long-hua. Principle of selective grounding fault protection based on active component direction of zero-sequence current [J]. Power System Technology,1999,23(9):60-62.
- [4] 蔡旭,李仕平,杜永忠,等. 变阻尼调匝式消弧线圈及接地选线装

- 置[J]. 电力系统自动化,2004,28(10):85-90.
- CAI Xu,LI Shi - ping,DU Yong - zhong,et al. An integrated controller of multi - tap arc - suppression with variational damp and detection of earth fault feeder [J]. Automation of Electric Power Systems,2004,28(10):85-90.
- [5] 徒有锋,何俊佳,周志成,等. 基于零序功率及谐波相位综合法的小电流接地系统微机选线装置[J]. 高压电器,2006,42(3):190-193.
- TU You - feng,HE Jun - jia,ZHOU Zhi - cheng,et al. NUGS choosing earth-fault line device based on zero sequence power method and harmonic phase method[J]. High Voltage Apparatus,2006,42(3):190-193.
- [6] 吴军基,杨敏,杨伟,等. 暂态高频分量能量法小电流接地故障选线[J]. 电力自动化设备,2004,24(6):14-17.
- WU Jun - ji,YANG Min,YANG Wei,et al. Fault line detection using transient high frequency energy for small current ground - ding system [J]. Electric Power Automation Equipment,2004,24(6):14-17.
- [7] 齐郑,陈炯聪,杨奇逊. 基于小波变换和 LMS 自适应滤波器的单相接地选线方法[J]. 电力系统自动化,2004,28(9):58-61.
- QI Zheng,CHEN Jiong - cong,YANG Qi - xun. Selection of single - phase to ground fault line based on wavelet transform and LMS adaptive filter[J]. Automation of Electric Power Systems,2004,28(9):58-61.
- [8] 齐郑,杨以涵. 中性点非有效接地系统单相接地选线技术分析[J]. 电力系统自动化,2004,28(14):1-5.
- QI Zheng,YANG Yi - han. Analysis of technology of fault line selection for single - phase - to - earth faults in neutral point non - effectively grounded system[J]. Automation of Electric Power Systems,2004,28(14):1-5.
- [9] 要焕年,曹梅月. 电力系统谐振接地[M]. 北京:中国电力出版社,2001.
- [10] 陈忠仁,吴维宁,陈家宏,等. 补偿电网阻抗率及脱谐度问题研究[J]. 继电器,2005,33(4):36-39.
- CHEN Zhong - ren,WU Wei - ning,CHEN Jia - hong,et al. Study on damping rate and out - of - resonance degree of power compensation network[J]. Relay,2005,33(4):36-39.
- [11] 李华. MCS-51 系列单片机实用接口技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1996.
- [12] 吴维宁. 电力测控系统硬件抗干扰技术的研究[J]. 高电压技术,1997,23(4):30-32.
- WU Wei - ning. Study on the anti - interference technique for the hardware in the power measuring and control system[J]. High Voltage Engineering,1997,23(4):30-32.
- [13] 吴维宁,张文亮,吴峡. 电力系统中电子设备抗干扰技术研究与应用[J]. 电力自动化设备,2001,21(6):20-22.
- WU Wei - ning,ZHANG Wen - liang,WU Xia. The research and application of anti - interference technique for electronic device in power system[J]. Electric Power Automation Equipment,2001,21(6):20-22.
- [14] 叶雷. 模糊数学在配电网故障选线中的应用[J]. 大众科技,2005(2):46-47.
- YE Lei. Application of fuzzy mathematics for fault line selection in distribution network[J]. Popular Science & Technology,2005(2):46-47.
- [15] 刘树杰,陈辉,许文. 模糊控制在配电网单相接地故障选线中的研究[J]. 山东冶金,2005,27(3):44-45.
- LIU Shu - jie,CHEN Hui,XU Wen. Study on fuzzy control of fault line selection for single phase grounding in distribution network[J]. Shandong Metallurgy,2005,27(3):44-45.
- [16] 赵青春,刘沛,林湘宁,等. 基于综合判据的小电流接地选线装置研制[J]. 电力自动化设备,2006,26(5):84-87.
- ZHAO Qing - chun,LIU Pei,LIN Xiang - ning,et al. Development of fault line selection device based on integrated criterion for indirectly grounding power system[J]. Electric Power Automation Equipment,2006,26(5):84-87.
- [17] 李富贵. 新型小电流接地选线装置的开发与应用[J]. 工矿自动化,2006(3):48-50.
- LI Fu - gui. The development of a new device with line selected protection in small - current - grounded system and its application[J]. Industry and Mine Automation,2006(3):48-50.
- [18] 张帆,潘贞寸,张慧芬,等. 基于零序电流暂态极大值的小电流接地选线新判据[J]. 电力系统自动化,2006,30(4):45-48.
- ZHANG Fan,PAN Zhen - cun,ZHANG Hui - fen,et al. New criterion of fault line selection in non-solidly earthed network based on the maximum of zero sequence transient current[J]. Automation of Electric Power Systems,2006,30(4):45-48.

(责任编辑:李玲)

作者简介:

陈忠仁(1971-),男,河南信阳人,工程师,硕士,长期从事配网自动化技术的研究(E-mail:chenzhen0520@163.com)。

Integrated fault line selection device for small current grounding network

CHEN Zhong-ren¹,LI Wei-bo¹,WU Wei-ning²

(1. Zhongshan Polytechnic,Zhongshan 528404,China;

2. Nanjing Automation Research Institute,Nanjing 210003,China)

Abstract: Conditions of single-phase grounding fault in distribution network are complicated and the fault line selection with any sole method is not practicable. Various methods of grounding fault line selection are analyzed and the conclusion is that;the fundamental component amplitude of zero - sequence current is big and steady,and different selection methods based on it may be implemented on same hardware platform. The active component method and the zero - sequence current increment method are analyzed in detail and their feasibility and practicability are demonstrated. The fuzzy integrated control theory is used to integrate these fault line selection methods in one device to enhance its correctness rate and practicability. The software and hardware designs,as well as the electromagnetic compatibility design,are provided. Experimental results and site operations verify its stability,veracity and applicability.

Key words: small current grounding; fault line selection; device; arc-suppression coil