

# 基于模块化结构的消弧接地一体化装置研制

陈芳靖, 陈忠仁, 桂存兵

(中山职业技术学院电子信息工程系, 广东 中山 528404)

**摘要:** 研制了基于模块化结构的消弧接地一体化装置, 将消弧线圈和接地选线做成完全独立的两个模块, 以提高应用的灵活性和可靠性, 模块之间无需相互通信, 以零序电压作为同步信号, 消弧线圈配合接地选线协调动作, 使选线的准确率得到大幅度的提高。实验室模拟电网接地试验和现场挂网运行情况表明, 一体化装置电容电流测量、补偿准确, 选线结果正确, 应用灵活, 运行可靠。

**关键词:** 消弧线圈; 接地选线; 模块化结构; 一体化装置

## Development of an incorporate device of arc-suppression coil and grounding fault line selection

CHEN Fang-jing, CHEN Zhong-ren, GUI Cun-bing

(Zhongshan Polytechnic Institute, Zhongshan 528404, China)

**Abstract:** A new incorporate device of automatic arc-suppression coil and grounding fault line selection based on module structure is developed to improve its application flexibility and reliability. Arc-suppression coil and fault line selection are designed to be two absolutely independent modules. When single-phase grounding fault occurs, the modules are not synchronized by communication between them but by system zero-sequence voltage. And arc-suppression coil module operates to match fault line selection module in harmony when grounding fault occurs. Then their independent hardware and grounding fault subprograms in which the two part cooperation is considered are given. Grounding experiment results in simulate network and site operations show that the incorporate device measures and compensates system capacitor current accurately, selects fault line rightly, applies flexibly and operates reliably.

**Key words:** arc-suppression; grounding fault line selection; module structure; incorporate device

中图分类号: TM76 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2008)23-0056-04

## 0 引言

我国的配电网多为中性点经消弧线圈接地(谐振接地)方式。上世纪90年代,自动消弧线圈出现并得到了广泛的应用,现已基本取代了老式消弧线圈。自动消弧线圈的应用使得单相接地发生时,流经故障点的残流可以控制在理想范围,大大降低弧光接地过电压的发生几率,保证了供电的安全性和可靠性。一个时期以来,判断故障线路采用人工拉路的办法,不仅牺牲了非故障线路的供电可靠性,频繁的分、合闸也给系统造成了冲击。随着我国电力工业的发展和国民经济对供电可靠性要求的日益提高,加上无人值守变电站的日渐增多,能够在接地时自动选出故障线路,避免对非故障线路停电的微机接地选线装置应运而生并逐渐推广应用。考虑到自动消弧线圈和接地选线装置都是应用于配电网,都有保证可靠供电的作用,常常要配合动作,且在安装时为节约占地面积,用户往往要求将二者

装在一个控制屏内,故将二者做成一体化装置既有理论依据又有实际意义。

然而,国内已有的消弧接地一体化装置多采用工业控制计算机结构<sup>[1,2]</sup>或者双CPU结构<sup>[3]</sup>,消弧线圈的调谐和选线数据量的采集、结果的判断或者由单CPU执行,或者由双CPU组成主、从机来完成,消弧线圈和接地选线要么占用同一计算机资源,要么在软硬件上融合在一起,优点是可实现资源的最大利用,缺点是消弧线圈和接地选线之间的依存度过高、独立性过差,如计算机出现故障,二者都将陷入瘫痪,故可靠性不高;如果消弧线圈退出运行,选线也将无法运行,应用的灵活性也差。

## 1 一体化装置的开发

### 1.1 设计思路

从提高可靠性和应用的灵活性出发,在结构上可将消弧线圈和接地选线设计成相互独立的两大模块,分别由两套计算机系统进行控制,二者的硬件

独立, 不分主从机, 无需相互通信, 由零序电压作为二者的同步信号, 在约定的时间相互配合动作。这样消弧线圈和选线之间的独立性很强, 应用的灵活性也高。一个模块发生故障或退出不影响另一个模块的运行, 并且模块之间可以任意组合。消弧线圈可采用调匝式结构, 和阻尼电阻串联后接地; 接地选线采用综合选线判据, 将几种基于零序电流基波分量的选线方法, 如群体比幅比相法、有功分量法、零序电流增量法等糅合在一起, 在同一硬件平台上构成综合选线判据, 如做成一体化装置, 由菜单选择后两种方法, 消弧线圈和选线之间配合动作, 如果消弧线圈退出运行, 或者选线装置应用在中性点不接地电网, 可选用第一种方法, 第二种方法参考; 选线模块做成独立的装置后亦可与其他厂家的消弧线圈配合使用, 故应用的灵活性较高。

由于二者的硬件相互独立, 可分别进行开发设计, 仅在接地故障处理子程序里考虑相互之间的配合动作。

### 1.2 消弧线圈测控系统的硬件设计

消弧线圈模块由接地变压器、调匝式消弧线圈、测控系统、阻尼电阻等组成。其测控系统在整个模块中居于核心的地位, 其性能的好坏, 直接关系到电容电流的测量精度、残流的控制精度以及正确的调谐, 是消弧装置厂家不断改进技术的关键所在。

测控系统的硬件组成如图 1 所示。选用嵌入式 PC, 一可满足数据计算及控制的要求; 二是基于应用开发的方便, 嵌入式 PC 体积小, 重量轻, 开发周期相对较短。数据采集电路主要完成中性点电压、中性点电流等两路模拟量的实时快速采样, 由此可以计算出系统的电容电流。有载开关挡位信号的输入及光电隔离功能由开关信号输入电路完成。有载开关的调挡主要是由控制信号电路输出调挡升降信号, 控制交流接触器使电机正反转来实现。人机接口由液晶显示器和键盘组成, 可输出中文界面, 中文菜单选择。此外, 测控系统还具有 RS232 和 RS485 通信接口, 可将消弧线圈的数据传送到变电站综合自动化系统或者调度自动化系统。

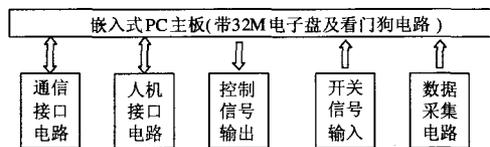


图 1 消弧线圈测控系统的硬件组成框图

Fig.1 Hardware diagram block of measuring and control system for arc-suppression coil

### 1.3 接地选线测控系统的硬件设计

硬件组成如图 2 所示。选线的测控系统可分五大部分, 嵌入式 PC 主板, 数据采集电路, 人机接口电路, 接口电路, 跳闸输出接口电路。数据采集电路包括信号调理输入、低通滤波、多路开关电路、采样保持电路、A/D 转换电路等, 主要完成配电网零序电压和零序电流的采样测量工作, 零序电压由各母线段 PT 开口三角引入, 最多可引入 4 路母线零序电压; 零序电流由装在各条出线的零序电流互感器的二次引入; 人机接口电路包括键盘接口、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; 继电器跳闸电路包括 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执行跳闸动作, 并以继电器触点的形式输出报警。模块可提供 RS232、RS485 两种形式的接口。

选线模块和消弧线圈模块采用相同的 PC 主板, 主要是应用开发的方便, 由图 1、图 2 可见, 两者的硬件完全独立, 相互之间没有任何联系。

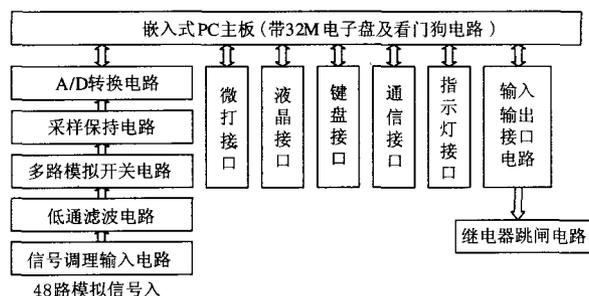


图 2 选线测控系统硬件组成框图

Fig.2 Hardware diagram block of measuring and control system for grounding line selection

### 1.4 软件设计及配合方案

选线测控系统软件的核心是如何将群体比幅比相法、有功分量法以及零序电流增量法等有机结合在一起, 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或者在消弧线圈退出的场合, 可选用群体比幅比相法和有功分量法, 根据实际情况为两种方法分别设置权重系数; 如和消弧线圈配合使用, 则可选择有功分量法和零序电流增量法, 并设置相应的权重系数。

在一体化装置中, 消弧线圈和选线的配合至关重要。选线采用有功分量法和零序电流增量法综合比较判断, 都需要消弧线圈的动作配合。在单相接

地发生时，消弧线圈首先要延迟一段时间（一般为数秒钟）切除（短接）阻尼电阻<sup>[4,3]</sup>，在延迟的时间内对各条线路的零序电流巡检。由文献[6]知，阻尼电阻的延迟切除大幅度地增加了故障线路的有功分量，由此可将故障线路和非故障线路显著地区别开来；延迟时间一到，立即将阻尼电阻切除，然后再用零序电流增量法分析故障线路：使消弧线圈调整一档，根据残流的大小确定消弧线圈上调还是下调，如残流在一档补偿电流范围内，上调一档，否则则下调，这样可保证调挡之后的残流亦能满足<10 A 的要求。调挡完毕后，再进行各线路零序电流的巡检，根据调挡前后零序电流增量的有无可将故障线路和非故障线路显著地区别开来。可见，消弧线圈的正确配合是选线成功的关键。

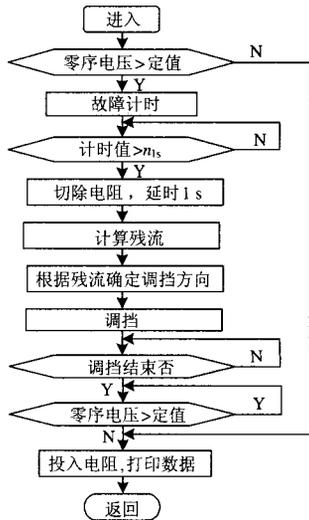


图3 消弧线圈接地故障处理子程序框图

Fig.3 Grounding disposal subprogram of arc-suppression coil

消弧线圈模块和选线模块相互之间不进行通信，采用零序电压作为同步信号。在零序电压大于整定值时刻起，两模块的软件同时开始计时，进入各自的接地故障处理子程序，在计时的一段时间（即延迟切除电阻的时间，设为  $n_1$  s）内，选线的测控系统对零序电流进行巡检，计算出各线路的有功分量，判断出故障线路；在  $n_1$  s 后，消弧线圈切除电阻，然后调整一档，调挡大约需要 10~15 s 的时间，加上裕量，将调挡的时间设为  $n_2$  ( $n_2 > 15$  s)， $n_1 + n_2$  s 后调挡完毕，对各出线的零序电流再巡检一次，由零序电流增量原理判断出故障线路。将两种方法判断出的选线结果代入各自的隶属度函数进行综合分析判断，从而得出最终的选线结果<sup>[7]</sup>。

消弧线圈的补偿作用使得瞬时性单相接地在几秒钟之内可自行消除，故障持续时间很短，选线不

输出结果；而对于永久性接地故障，约在  $n_1 + n_2$  s 之后方能输出结果。消弧线圈的补偿作用可使系统带故障运行两小时而不致发生相间短路，故选线的时间虽然稍长，亦不会产生不良后果<sup>[8]</sup>。二者的单相接地故障处理子程序框图如图 3、图 4 所示。对比可见消弧线圈模块和接地选线模块的动作配合情况。

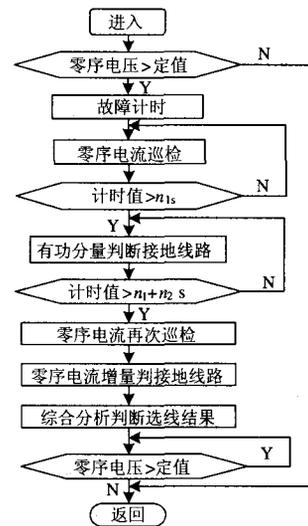


图4 选线模块接地故障处理子程序框图

Fig.4 Grounding disposal subprogram of grounding line selection

## 2 一体化装置的应用

消弧接地一体化装置研制成功后，在实验室进行了模拟试验。用调压器、升压变压器和高压电容器建立了等效的模拟电网，如图 5 所示，以电容器（集中参数）模拟线路分布电容，设三条出线，在出线处装有零序电流互感器 LH。消弧线圈 L 装在 1 号线路上，和阻尼电阻 R 串联后接地，阻尼电阻的投切由接触器 KC 控制。3 号出线的某一相（设为 A 相）装有断路器 DL，DL 的另一端接地。当 DL 合上时，模拟电网 A 相金属性接地，由此可以考核一体化装置中消弧线圈的补偿效果、选线的检测结果以及二者的协同动作情况。在模拟电网的反复试验表明，单相接地时，消弧线圈能够迅速补偿系统的电容电流，切除电阻的时间准确，有载开关调挡到位，消弧线圈和选线的动作配合协调，选线检测的结果正确，将 DL 移至其他出线进行单相接地试验，亦能得到正确的选线结果。

后将一体化装置安装在重庆的某无人值守变电站。该变电站共有 3 段母线，一段母线有 16 条出线，

二、三段母线分别有 8 条出线, 选用的一体化装置内包含有 2 台消弧线圈模块和一台选线模块, 选线模块可接 4 段母线, 44 条出线, 能够满足此站的需要。该装置于 2007 年元月份投入运行, 至 2007 年 7 月共发生瞬时性接地 13 次, 瞬时性接地在消弧线圈测控系统可查到相关的记录(或打印数据), 其持续时间最大 5 s, 最小 2 s。由于瞬时性接地在消弧线圈的作用下自行消失, 选线测控系统不需记录; 发生永久性接地 7 次, 其接地情况二者皆有记录, 从记录来看, 消弧线圈动作正常, 选线结果通过通信送入调度自动化系统, 经调度指挥跳开相应的线路后, 接地故障得到了解除, 说明选线的结果正确无误。

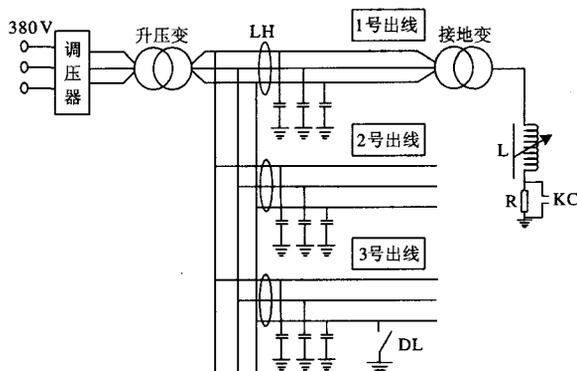


图 5 模拟电网单相金属性接地试验

Fig.5 Single-phase grounding test in simulated network

### 3 结论

所研制的消弧接地一体化装置采用模块化结构, 消弧线圈模块和选线模块由独立的硬件构成, 模块之间可任意组合, 避免了同类产品二者之间依存度过高而独立性不足的缺点, 大大提高了装置的可靠性和使用的灵活性; 且两个模块之间不需通信联系, 仅靠零序电压信号启动, 消弧线圈配合选线动作, 使得采用有功分量法和电流增量法的综合选线准确率大幅度提高。一体化装置在模拟电网试验和现场运行的结果准确, 效果良好, 可以进一步推广应用。

### 参考文献

[1] 裴善鹏, 连鸿波, 李万彬, 等. 快速调匝式消弧线圈及接地选线一体化装置研究[J]. 现代电力, 2006, 23 (1): 20-24.  
PEI Shan-peng, LIAN Hong-bo, LI Wan-bin, et al. Research on the Incorporate Device of Quick Multi-tap Arc-suppression Coil and Detection of Earth Fault Feeder[J]. Modern Electric Power, 2006, 23 (1): 20-24.

[2] 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.

[3] 崔伟. 调容式自动跟踪接地补偿及接地选线成套装置[J]. 电气时代, 2002, (8): 61-62.  
CUI Wei. An Incorporate Device of Auto Tracking Compensation Arc-suppression Coil with Adjustable Capacitor and Grounding Fault Line Selection[J]. Electric Age, 2002, (8): 61-62.

[4] 杜丁香, 徐玉琴. 消弧线圈接地电网的有功选线[J]. 继电器, 2002, 30 (5): 33-35.  
DU Ding-xiang, XU Yu-qin. Faulted Line Detecting with Active Power in Auto-compensated Distribution Network[J]. Relay, 2002, 30 (5): 33-35.

[5] 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.

[6] 陈忠仁, 李微波, 吴维宁. 一种新型小电流接地综合选线装置[J]. 电力自动化设备, 2007, 27 (5): 114-117.  
CHEN Zhong-ren, LI Wei-bo, WU Wei-ning. Integrated Fault Line Selection Device for Small Current Grounding Network[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27 (5): 114-117.

[7] 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.

[8] 李福寿. 中性点非有效接地电网的运行[M]. 北京: 水利电力出版社, 1993.  
LI Fu-shou. Operation of Electric Power System with Neutral Ineffective Grounding[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Publishing Company, 1993.

收稿日期: 2008-03-18; 修回日期: 2008-06-17

作者简介:

陈芳靖(1973-), 女, 硕士, 讲师, 研究方向为电气自动化技术; E-mail:Fangjing2628@163.com

陈忠仁(1971-), 男, 硕士, 副教授, 长期从事配网自动化技术的研究;

桂存兵(1974-), 男, 硕士, 工程师, 研究方向为电气自动化技术。