

基于双 CPU 系统的综合选线装置设计

马姗姗¹, 张帆¹, 潘贞存¹, 张慧芬², 郑 罡¹

(1. 山东大学 电气工程学院, 山东 济南 250061;

2. 济南大学 控制科学与工程学院, 山东 济南 250022)

摘要: 基于单种判据的小电流单相接地故障选线成功率普遍较低, 提出一种基于模糊理论的综合选线装置, 通过对选取的各暂、稳态判据进行隶属度函数设计, 形成各判据选线结果的模糊集, 通过加权处理得到完备的选线结果。在硬件方面, 利用 uPSD3334D 的系统功能和接口能力及 TMS320VC33 的数据处理能力, 组成双 CPU 系统。装置具有组网功能及友好的人机交互界面, 较好地满足了配网自动化的要求。该装置已通过实验室实验并取得了较好的选线效果。

关键词: 小电流接地系统; 综合选线; 双 CPU 系统

中图分类号: TM 713

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2007)07-0080-04

0 引言^[1]

我国 6~35 kV 中低压配电网主要采用中性点不接地和经消弧线圈接地方式, 少数采用经高电阻接地方式, 均属于小电流接地系统。对于小电流接地系统, 接线形式复杂多变, 接地故障时可用的故障信息较少, 目前选线装置的正确选线率还比较低, 单一判据难以实现 100% 选线^[2-4]。基于注入法的选线装置^[5-6]已在现场得到了广泛应用, 但其自动化程度低, 需要人工探测, 已不能适应配电网自动化的发展。

现提出了通过零序电流互感器(TA)提取注入信号, 并结合零序电流有功功率(或有功分量)增量法^[7]和基于零序电流暂态极大值的故障选线原理^[8]组成了新的综合选线判据, 能较好地克服单一选线判据的不足, 大幅度提高选线成功率, 但是对硬件提出了更高的要求。现提出以 uPSD3334D 单片机^[9]和 TMS320VC33^[10]为核心的双 CPU 硬件平台, 数据采集模块采用高速同步采样芯片 AD73360, 为注入信号和暂态信号的提取提供了保证。本硬件平台较好地实现了基于模糊理论的综合选线方案、友好的人机交互以及满足监控网络化的通信方式。

1 选线原理

本装置的选线方案定为基于模糊理论的综合选线方案。首先建立模糊模型, 选择适合的判据, 并对每种选线方法用隶属函数表示其不确定性, 故障后根据配电网的中性点接地方式、接线方式进行分类, 各种选线方法对不同类别选取不同的权重(隶属度), 然后进行模糊逻辑运算, 得出综合的故障选线模糊结果, 再进行清晰化处理, 得到最终的故障或非故障的判断结果^[11-12]。

1.1 判据分析和模糊模型的建立

从适应不同接地方式、抗过渡电阻和不稳定弧光接地能力以及反映瞬时性故障能力等方面考虑, 选择如下 3 种选线判据作为综合选线的依据: 注入法、零序电流有功功率(或有功分量)增量法、基于零序电流暂态极大值的选线方法。

a. 注入法。 利用单相接地时原边被短接、暂时处于不工作状态的故障相电压互感器向系统注入一特殊信号电流。根据注入信号电流沿接地线路经接地点返回的特点, 用寻迹原理实现选线。隶属度函数定义如下^[12-13]:

$$\mu_1 = \begin{cases} 0 & x < a_1 \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \left[\frac{\pi}{a_2 - a_1} \left(x - \frac{a_1 + a_2}{2} \right) \right] & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 0 & x > a_2 \end{cases} \quad (1)$$

式中 x 为测量到的注入信号电流值; a_2 为实际注入感应到一次系统的计算值; a_1 为注入信号感应到一次系统的阈值, 可以取 $a_2/3$ 。

b. 零序电流有功功率(或有功分量)增量法。 利用中性点经消弧线圈接地系统中故障线路零序电流的有功功率(或有功分量), 要比非故障线路零序电流中有功功率(或有功分量)大的特点, 判断故障线路。将隶属度函数定义如下^[12-13]: x 为故障零序电流的有功分量, a_1 是一个对应系统参数的计算阈值, 可以取为 $a_2/3$, a_2 可以通过式(2)计算。

$$\mu_2 = \begin{cases} 0 & x < a_1 \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \left[\frac{\pi}{a_2 - a_1} \left(x - \frac{a_1 + a_2}{2} \right) \right] & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1.0 & x > a_2 \end{cases} \quad (2)$$

计算得:

$$a_2 = U_A / [\sqrt{3} (r_L + R_n)] \quad (3)$$

式中 U_A 是线电压; r_L 为消弧线圈的电阻; R_n 为限压电阻。

c. 基于零序电流暂态极大值的故障选线方法。 取出特征时刻所有出线零序电流的值, 根据该点电流

的正负性选择故障线路。在特征时刻故障线路和非故障线路零序电流的符号相反,若所有线路电流符号都相同,则判断为母线故障^[1]。隶属度函数为

$$\mu_3 = \begin{cases} 0 & x \leq 0.5 \\ \frac{10}{3}(x-0.5) & 0.5 < x \leq 0.8 \\ 1.0 & x > 0.8 \end{cases} \quad (4)$$

其中 x 由下式决定: $x = I_{im} / (I_{jm} + I_{km})$, 其中 I_{im} 为第 i 条出线的零序电流暂态极大值, I_{jm} 、 I_{km} 分别为所有出线零序电流暂态极大值的第 1 大值与第 2 大值, 因此其取值范围为 $[0, 1)$ 。

1.2 基于模糊逻辑的复合选线的综合决策^[11-12]

所有变电站的出线所构成的集合形成论域, 即 $U = \{I_1, I_2, I_3, \dots, I_n\}$, n 为线路的序号。当配电网发生故障后, 立刻启动上述方案分别进行运算和判断, 各判据获得的选线结果构成下面的模糊集:

$$A_i = \{\mu_{i1}, \mu_{i2}, \mu_{i3}, \dots, \mu_{in}\} \quad (i=1, 2, 3)$$

其中, i 表示 3 种判据的序号。

取该模糊集 A 的 λ 截集: 取 $\lambda = 0.5$ 的水平集, 然后把剔除的 μ_{ij} 置零得到新的模糊集, 形成新的 $3 \times n$ 模糊矩阵 A' 。

a. 根据已知的系统参数设置条件权重集, 对于中性点不接地的系统权重集可定为 $K=[1, 0, 1]$, 对于中性点经消弧线圈接地的系统可定为 $K=[1, 1, 1]$ 。

b. 由上可得加权后的模糊集 $A'' = A'K^T = [\mu''_1, \mu''_2, \dots, \mu''_n]$ 。则其中 $\{\mu''_i | \mu''_i \in A'', i=1, 2, 3, \dots, n\}$, 值最大的即为故障线路, 次之的亦可作为参考。

2 装置总体设计

本选线装置旨在配电网中发生单相接地故障时快速地检出故障线路, 其总体原理框图如图 1 所示。

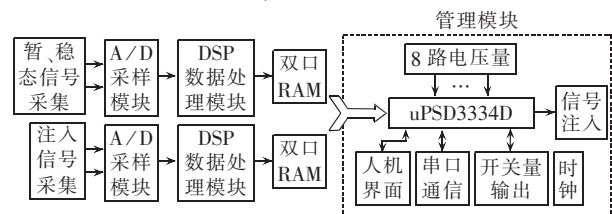


图 1 选线装置原理框图

Fig.1 The block diagram of faulty line selection equipment

采集的数据包括由电压互感器(TV)来的 8 路电压量(两段母线的三相电压和零序电压)以及由零序 TA 来的各路零序电流, 8 路电压量经变换处理后送至 CPU 内部的 A/D 转换, 经过数据处理后, 用于启动故障处理程序和故障相的判断。当零序电压大于阈值时, 保护启动, 根据三相电压值选出故障相, 利用故障相的 TV 注入信号, 母线上的注入信号电压量和每条馈线的 TA 送来的零序电流经滤波、选频放大后, 送至 A/D 转换模块, 转换结果经同步串行通信口送入数字信号处理器(DSP)。DSP 经过数字滤波, 计算出各通道注入信号电流的幅值, 求出

各线路隶属度值送至双口 RAM, 待 CPU 查询。另一路送来另 2 种算法的隶属度值, CPU 通过双口 RAM 获得以上信息后, 根据上述原理选出故障线路送 LCD 显示, 并利用 6 位继电器远传送到跳闸执行模块, 同时上报给主站。

2.1 CPU 管理模块

基于单片机 uPSD3334D 的管理模块主要负责上述 8 路电压量的采集与处理、故障相判断与故障选线、与数据处理模块通信、人机接口处理、串行通信及注入信号源的控制和跳闸模块的执行。

2.1.1 uPSD33XX 系列单片机介绍^[9]

uPSD33XX 系列单片机是 ST 公司推出的一款新型单片机。它以增强型 MCS-51 内核单片机 8032 为基础, 集成了可编程外围器件 PSD (Programmable System Device) 模块, 含有大容量的 Flash 和 RAM 存储器、I²C 和 USB 接口电路及可编程逻辑器件 (PLD) 等。所选用的 uPSD3334D-40U6 型单片机最高频率可达 40 MHz; 拥有 256 K 和 32 K 2 块 Flash 及 8 K 的可选后备电池的 SRAM。

PSD 模块有 DPLD 和 CPLD 功能, 其中 DPLD 为存储器进行译码, 而 CPLD 提供了 3000 多个门电路, 16 个宏单元, 可以实现小规模的组合逻辑和时序逻辑; 内部集成了看门狗和低压检测电路; 多至 46 个 I/O 口; 3 个定时/计数器, 分别可以工作在 4 种工作模式; 通信功能强大, 含有 2 个 UART, 以及 I²C 接口和 SPI 接口; 内部有 8 通道十位的 A/D 转换器; 并且可以通过 JTAG 在系统编程。

2.1.2 uPSD3334D 的外围接口

uPSD3334D 的 I/O 端口资源分配: P1 用于 A/D 转换器的输入, P3 用于串行 RS-232 通信和几个控制信号的输出, P4 用于串行 RS-485 通信和开关量的输出, PA 用于键盘的输入, PB 用于时钟、LCD、双口 RAM 的片选信号和指示灯 LED 的显示, PC 用于 JTAG 调试, PD 用于逻辑输出及控制 DSP 复位。

2.2 数据处理模块^[10]

数据处理模块以 TMS320VC33 为核心, 其原理框图如图 2 所示。

VC33 是 TI 公司推出的一款 32 位浮点型 DSP, 运算速度高达 150 MFLOPS (150×10^6 次/s), VC33 芯片的内部采用程序和数据分开的哈佛结构, 采用 4 级流水线设计, 具有专门的硬件乘法器, 以减少指令执行时间从而增强了处理器的处理能力。该处理

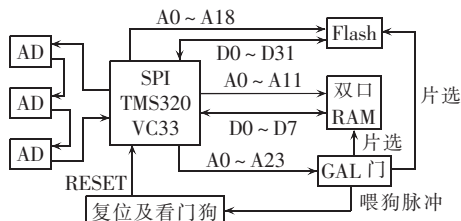


图 2 数据处理模块的原理框图

Fig.2 The block diagram of data processing module

器内部有 34K 的 RAM, 外围接口有 1 个 6 线的同步串口、2 个 32 位的定时器和 1 个 DMA。

2.3 A/D 采样模块

A/D 采样模块以 AD 公司的 16 位 6 通道高速 AD-AD73360 为核心, 工作频率为 16.384 MHz, 6 通道可同时采样。本装置采用 3 片级联, 共 18 路输入, 最多可以级联 6 片, 由于从 TV 和 TA 插件过来的模拟量都是双极性, 但是 A/D 转换器只能接收单极性信号, 所以要把输入信号做一个处理, 变成以参考电压为中心, 上下波动的单极性模拟量。

3 系统软件设计

3.1 系统管理软件

uPSD3334D 在装置中负责管理部分, 其软件流程如图 3 所示, 主程序由 2 段程序组成, 第 1 个程序段完成系统初始化, 第 2 个程序段为主循环。在初始化段内, 完成 CPU 各功能模块及液晶显示器的初始化工作。主循环以查询的方式检测系统有无故障、有无按键操作及是否需要进行串口通信等。

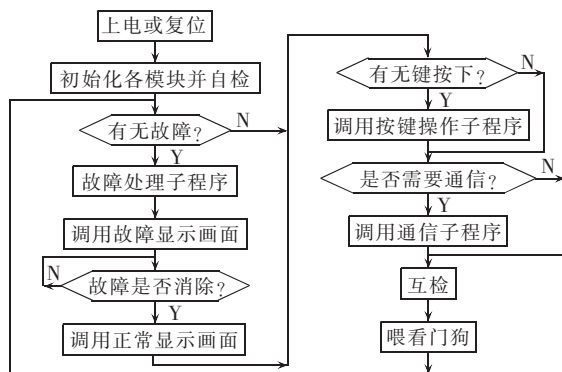


图 3 系统管理软件流程图

Fig.3 The flowchart of administration software

a. 初始化模块。对装置中所有上电或复位后需要进行初始化设置的各模块进行初始化, 主要的初始化对象有单片机的定时/计数系统、串口、A/D 模块、各端口输入输出控制及液晶显示器。

b. 自检模块。开机自检即检验单片机内部存储器工作是否正常, 能否与双口 RAM 通信, A/D 转换的自检等。

c. 中断服务模块。装置中用到的中断源定时器中断、2 个异步串口接收中断。

d. 数据采集模块。负责采集由 TV 来的 8 路模拟量(两段母线的三相电压和零序电压), 当零序电压大于阈值时, 保护启动。在本装置中对电压量的采样频率为 600 Hz。利用半波积分算法计算其幅值, 并以此判断是否发生故障。

e. 故障判断与处理模块。保护启动后, CPU 判断出故障相, 通知信号注入模块利用故障相的 TV 注入信号, 通过与双口 RAM 的通信获取零序电压、电流量和注入信号信息, 利用综合选线判据选出故障线路, 送 LCD 显示, 并利用 6 位继电器远传送到

跳闸执行模块。

f. 人机接口模块。液晶显示以及按键操作构成了人机界面模块, 通过按键操作可设定时钟、设置线路编号、选择接地方式、设置波特率、设置电容电流等。在正常情况下, 显示系统正常运行时的母线各相电压及其零序电压和时间信息; 故障发生后, 根据判断显示故障线路编号, 直至排除故障, 恢复正常显示。

g. 串口通信模块。串口 0 采用 RS-232 通信协议, 用于与调试机通信。调试机可以获得采样数据计算结果、故障历史查询, 并可以设定定值; 串口 1 采用 RS-485 通信协议, 用于在配电系统中与上位机通信, 该装置采用 IEC 60850-5-103 继电保护设备信息接口配套标准。

3.2 数据处理软件^[14]

数据处理模块负责处理从 TV 和 TA 采集的数字量, 包括母线的零序电压、注入信号电压及各出线的注入信号电流和零序电流。经过数字滤波后, 进行各种运算, 最后把运算结果送至双口 RAM, 并把原始采样数据存储于 Flash 中, 作为故障记录。数据处理软件流程图如图 4 所示。

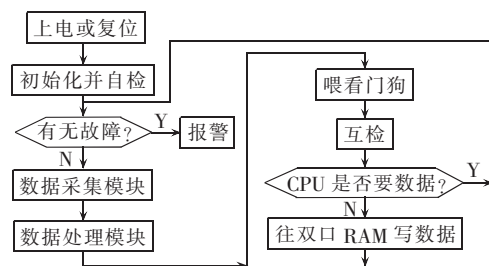


图 4 数据处理软件流程

Fig.4 The flowchart of data processing software

4 结论

利用 3 种选线原理组成了综合选线判据, 有效地克服了单一选线的不足。通过 TMS320VC33 和 uPSD3334D-40U6 搭建通用硬件平台。TMS320VC33 强大的数据处理能力, 为各种信号的采集和处理提供了保证, 而 uPSD3334D-40U6 提供了丰富的硬件资源和方便的调试工具, 其较大的存储空间和丰富的外围接口使得在应用中无需添加较多的外围电路, 可以更方便地应用于控制系统中。将 uPSD3334D-40U6 应用于综合选线装置中, 可以实现更为完善的判据和通信方式以及友好的人机界面。目前, 该装置已通过实验室实验, 并取得了不错的效果。

参考文献:

- [1] 要焕年, 曹梅月. 电力系统谐振接地[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000.
- [2] 陈晓科, 徐玉琴. 小电流接地系统单相接地故障选线新发展[J]. 电力自动化设备, 2002, 22(9): 66-69.
CHEN Xiao-ke, XU Yu-qin. New development of fault line selection method in small current grounding power system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2002, 22(9): 66-69.
- [3] 邢亚辉, 王海军, 吕艳萍. 基于线路零序频率特性的小电流接地系统故障选线[J]. 电力自动化设备, 2006, 26(4): 59-62.

- XING Ya-hui, WANG Hai-jun, LÜ Yan-ping. Faulty line selection in non-solid earthed network based on zero sequence frequency characteristic of transmission lines[J]. Electric Power Automation Equipment, 2006, 26(4): 59-62.
- [4] 杨顺义, 杨宏. 小电流接地系统接地检测(选线)的新判据[J]. 电力自动化设备, 2001, 21(8): 62-64.
- YANG Shun-yi, YANG Hong. The new predications for criterion of the non-effective earthing system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2001, 21(8): 62-64.
- [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, 1999, 30(6): 44-45, 62.
- SANG Zai-zhong, PAN Zhen-cun, DING Lei, et al. The principle and application “S injection method” in fault line selection[J]. Electric Power, 1999, 30(6): 44-45, 62.
- [6] 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): 18-20.
- WANG Hui, FAN Zheng-lin, SANG Zai-zhong. The “S signal injection method” and its application in single phase to earth fault line identification and fault point location[J]. Electric Power Automation Equipment, 1999, 19(3): 18-20.
- [7] 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.
- MU 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.
- [8] 张帆, 潘贞存, 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. A 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.
- [9] 金之诚, 李德领, 马潮. uPSD32XX 高速 SOC51 单片机原理及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [10] 王念旭. DSP 基础与应用系统设计[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001.
- [11] XIAO Jing, PAN Zhen-cun, CONG Wei, et al. The study on selective grounding protection of networks on floating neural based on fuzzy principle[C]//IEEE/CEEE International Conference on Power System Technology Proceedings. Kunming, China: IEEE, 2002: 83-88.
- [12] 申东滨, 潘贞存, 张慧芬, 等. 配电网单相接地故障综合选线方法及其实现[J]. 继电器, 2005, 33(16): 11-14.
- SHEN Dong-bin, PAN Zhen-cun, ZHANG Hui-fen, et al. Comprehensive fault line selection method and its realization for single phase earth fault in distribution networks[J]. Relay, 2005, 33(16): 11-14.
- [13] ZHANG Hui-fen, PAN Zhen-cun, TIAN Zhi-guang, et al. Rough sets and fuzzy logic based earth fault detection in distribution systems[C]//Proceedings of International Symposium on Computational Intelligence and Industrial Applications (ISCIIA2004). [S.l.]: College of Information Science and Technology, Hainan University, 2004: 357-363.
- [14] 黎鹏, 杨奇逊. 基于 DSP 技术的小电流单相接地选线装置[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(3): 50-52.
- LI Peng, YANG Qi-xun. Non-direct-ground system single-phase-to-ground fault identification instrument based on DSP [J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(3): 50-52.
- [15] 张朝平, 周有庆, 王娜. 基波电流注入法实现的单相接地选线[J]. 继电器, 2006, 34(9): 70-72.
- ZHANG Chao-ping, ZHOU You-qing, WANG Na. Single-phase earthing line selection based on first-harmonic current injection[J]. Relay, 2006, 34(9): 70-72.
- [16] 黄志兴, 狄瑞坤, 袁树林. 小电流接地选线技术的分析[J]. 华东电力, 2006, 34(4): 31-32.
- HUANG Zhi-xing, DI Rui-kun, YUAN Shu-lin. Line selection technology for small current grounding systems[J]. East China Electric Power, 2006, 34(4): 31-32.
- [17] 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.

(责任编辑: 汪仪珍)

作者简介:

马姗姗(1984-), 女, 回族, 山东聊城人, 硕士研究生, 研究方向为电力系统继电保护与自动监控技术(E-mail: Mashan.shan_1212@hotmail.com);

张帆(1981-), 男, 山东巨野人, 博士研究生, 研究方向为电力系统继电保护与自动监控技术;

潘贞存(1962-), 男, 山东鄄城人, 教授, 博士研究生导师, 主要研究方向为电力系统继电保护与自动监控技术;

张慧芬(1970-), 女, 山东济宁人, 副教授, 博士, 主要研究方向为电力系统继电保护与自动监控技术;

郑昱(1979-), 男, 山东威海人, 硕士研究生, 研究方向为电力系统继电保护与自动监控技术。

Faulty line selection equipment based on dual-CPU system

MA Shan-shan¹, ZHANG Fan¹, PAN Zhen-cun¹, ZHANG Hui-fen², ZHENG Gang¹

(1. College of Electrical Engineering, Shandong University, Ji'nan 250061, China;

2. School of Control Science and Engineering, Ji'nan University, Ji'nan 250022, China)

Abstract: Since the success rate of faulty line selection based on single criterion for single-phase earthing fault in non-solidly earthed network is normally low, a fuzzy theory based comprehensive faulty line selection equipment is proposed, which designs the membership function for each criterion to form a fuzzy set and then gets a complete line selection by weight processing. A dual-CPU system is designed, which makes use of both powerful system functions and rich peripheral ports of uPSD3334D and the powerful data processing ability of TMS320VC33. The designed equipment has networking capacity and friendly interface, meeting the requirements of distribution automation. It has been verified in lab with satisfying results.

Key words: non-solidly earthed network; faulty line selection; dual-CPU system