

交流二次回路多点接地的解决方案

张志军, 孟庆波

(郑州铁路职业技术学院电气工程系, 河南 郑州 450052)

摘要: 分析了电力系统交流二次回路多点接地产生的原因和危害, 论证了利用嵌入式系统的高实时性, 采用信号注入法实现交流二次回路多点接地在线监测的可行性, 同时介绍了系统硬件配置与软件结构特点。通过理论研究和现场实验测试, 本方案的实施可以对交流二次回路发生多点接地情况进行有效监测, 迅速解决由交流二次回路接地引发的故障, 从而提高电网运行的安全性与稳定性。

关键词: 二次回路; 嵌入式系统; 信号注入; 监测; 接地

Many-place earthing solution of the AC secondary circuit

ZHANG Zhi-jun, MENG Qing-bo

(Department of Electrical Engineering, Zhengzhou Railway Vocational and Technical College, Zhengzhou 450052, China)

Abstract: This paper analyzes the reason and the jeopardy of the many-place earthing of electrical power system AC secondary circuit. It proves the feasibility of using high real-time of embedded system and adopting the signal injection method to implement AC circuit on-line monitor. Simultaneously, it introduces the system hardware configuration and the software architecture characteristic. Through the fundamental research and the scene experiment, this plan can effectively monitor many-place earthing of the AC secondary circuit and solve the earth fault, and thus enhances the electrical network security and stability.

Key words: secondary circuit; embedded system; signal pours into; monitoring; earth

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2009)23-0125-05

1 多点接地产生原因及危害

电力系统的电流和电压二次回路连接设备繁多, 延伸范围广, 而且系统的二次回路大部分在室外, 绝缘损坏的几率大, 因此容易出现在一个电气连接的二次回路中出现多点接地。

1.1 多点接地产生的原因

(1) 主控室内控制屏和保护屏分别接地, 引起两点接地。

(2) 10 kV 开关柜出厂时二次回路接地点已与断路器外壳连接, 在安装中开关柜与接地网连接已有一点接地, 如又在控制室接地将造成两点接地。

(3) 在对变电所的改造中, 将接地点改接在控制室而将户外端子箱接地点解开, 但由于人为疏忽, 造成两点接地。

(4) 二次回路绝缘损坏接地, 造成两点接地。

1.2 多点接地的危害

(1) 二次回路通常是通过电缆连接的, 当接地网上出现短路电流或雷击电流时, 由于电缆屏蔽层

两点的电位不同, 使屏蔽层内流过电流, 可能烧毁屏蔽层。而且当屏蔽层内流过电流时将每个芯线将产生干扰信号。

(2) 在电流二次回路中, 如果正好在继电器电流线圈的两侧都有接地点, 一方面两点接地点和地所构成的并联回路会短路电流线圈, 使通过电流线圈的电流大为减少。另一方面在发生接地故障时, 短路电流 I_K 就可能流过变电所地网, 在二次两接地点间形成电位差 U_K , 这将在电流线圈中产生极大的额外电流。如图 1 所示。

这两种原因会造成通过继电器电流线圈的电流与电流互感器二次通入的故障电流存在极大差异, 导致保护装置动作的不正确和计量装置的不准确, 甚至造成大面积停电事故^[1]。

在实际电网运行中, 由于二次回路多点接地造成的事故具有相当的普遍性。例如, 浙江余杭某变电所因电流回路绝缘不良导致遥测数据异常、电压回路绝缘不良导致电压互感器爆炸; 安徽大唐公司陈村水电站因电压回路绝缘破损造成保护装置拒

动；文山电网由于交流二次回路出现两点接地多次造成保护装置动作不正常。河南、湖南、山西等地上述情况也时有发生。

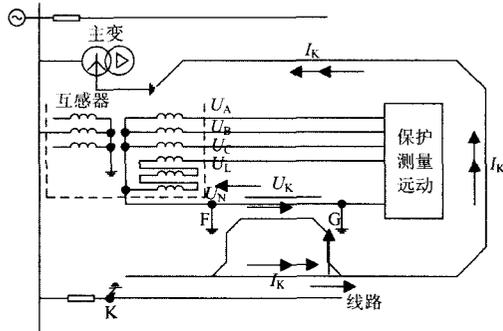


图1 多点接地危害的产生

Fig.1 Many-place earthing jeopardy production

1.3 目前接地故障的检测措施

(1) 断开各支路电源，分段处理人工解线查找故障点。

采用这种方法很可能产生干扰引起保护装置或自动装置误动跳闸，带来的危害是严重的。即使没有干扰，用 500 V 摇表测试绝缘，要将弱电回路全部退出，以防损坏。这种方法操作繁琐，一旦操作不当容易引发新的故障，困难重重。

(2) 采用以微处理器为核心的便携式接地电阻测试仪

通常便携式接地电阻测试仪操作简单、体积小、重量轻、可大容量储存数据，而且便于与微机保护系统进行数据传递。但是不能实现在线监测，自动化程度较低。

(3) 利用电桥平衡原理的在线监测装置

采用这种方法灵敏度较低，一般只能将绝缘电阻限制在 30 kΩ 的水平，而且受环境影响元件老化后容易出现测量不准确甚至错误，对系统正常运行造成危害。

通过调研目前国内解决二次回路多点接地的方法各有利弊，如何在满足检测精度要求的前提下，对交流二次回路多点接地情况进行综合分析判断处理，实现自动在线监测就显得尤其重要。

2 交流二次回路多点接地在线监测原理

2.1 交流二次回路多点接地在线监测原理

采用定时巡检的方式监控交流二次回路，将原二次回路一点直接接地处断开，串入一个定时巡检系统后再接地，具体原理如图 2 所示。正常运行中，通过继电器 J 的两对常闭接点将原二次回路接地点直接接地，巡检系统并未接入回路，对原回路的工作

不造成任何影响。在巡检期间，控制继电器 J 的常闭接点打开，将巡检系统短时接入原交流回路中。巡检系统接入后向回路中注入一个低压交流信号，如回路发生多点接地，就可检测到回路中有电流流过，测量回路中的电流大小，并计算被测回路的绝缘电阻值，以此为依据就可判断二次回路是否存在多点接地及接地的严重程度^[2]。

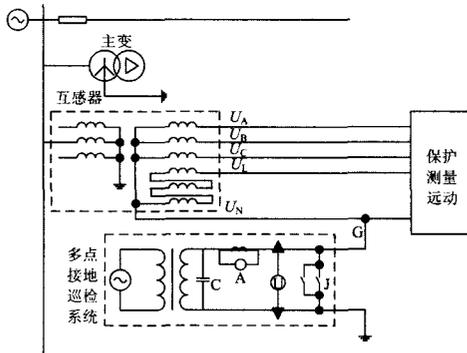


图2 多点接地监测原理

Fig.2 Many-place earthing monitor principle

2.2 定时巡检系统实现依据

定时巡检系统是整个系统的主体，它是以高性能 MCU 为核心的控制系统，实现在线监测主要功能均由其实现。

(1) 低压交流信号的注入

根据系统工作原理，交流二次回路在进行多点接地巡检时需要产生一个信号从二次回路接地点注入二次回路，通过监测回路电流的大小判断是否发生了多点接地。为此可用软件通过 DA 数模转换产生正弦波，只要 MCU 每个周期向 DA 转换传送数据足够多，波形精度就能满足要求。如果需要输出的正弦波周期为 T，幅值为 U，DA 转换为 8 位，MCU 每个周期向 DA 转换送 256 个数据，则 MCU 送入 DA 的第 k 个数据可用公式(1)计算出 D_k 后取整得到。

$$D_k = U \sin(2\pi k + \frac{2\pi k T}{256}) \quad k=0,1,\dots,256 \quad (1)$$

波形的幅值调整可以通过调整送入 DA 转换中的数据来改变，波形的频率调整则可以通过送入 DA 转换数据的间隔来改变，所有的幅频调整都可通过软件进行调整，适应了现场不同的需要。

(2) 时变函数的分析

巡检系统要将采集到的交流模拟信号进行分析判断来确定是否存在接地情况，而 MCU 只能作数值运算，为此可采用傅氏算法求出待分析的时变函数中频率的谐波分量的模值和相位。其基本原理如下：假定被采样的是一个周期性时间函数，根据傅

氏级数的概念, 可将此周期函数分解为不衰减的直流分量和各整次谐波分量^[3]。其表达式为:

$$x(t) = \sum_{n=0}^{\infty} [(b_n \cos \omega_1 t + a_n \sin \omega_1 t)] \quad (2)$$

式中: n 为自然数, $n=0, 1, 2, \dots$; a_n, b_n 分别为各次谐波正弦项和余弦项的振幅; ω_1 为基波角频率。

如果要从信号 $x(t)$ 中求出 n 次谐波分量正弦项和余弦项的振幅, 根据三角函数的正交性可得到:

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \sin n\omega_1 t dt \quad (3)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cos n\omega_1 t dt \quad (4)$$

从而可得:

$$x_n(t) = a_n \sin n\omega_1 t + b_n \cos n\omega_1 t \quad (5)$$

令 $n=1$, 则可得到基波分量, 即:

$$x_1(t) = a_1 \sin \omega_1 t + b_1 \cos \omega_1 t \quad (6)$$

合并公式(6)中正、余弦项, 可得到:

$$x_1(t) = \sqrt{2}X \sin(\omega_1 t + \alpha_1) \quad (7)$$

式中: X 为基波分量有效值; α_1 为基波分量初相角。展开式(3)至(7)得到 X 和 α_1 同 a_1, b_1 之间的关系式:

$$a_1 = \sqrt{2}X \cos \alpha_1$$

$$b_1 = \sqrt{2}X \sin \alpha_1$$

所以可根据 a_1 和 b_1 求出有效值和相角:

$$X = \frac{\sqrt{a_1^2 + b_1^2}}{\sqrt{2}} \quad (8)$$

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \frac{b_1}{a_1} \quad (9)$$

傅氏算法具有滤波特性, 欲从信号中求出某次谐波的幅值和相位, 就可用与待求信号频率相同的正弦函数和余弦函数与待求信号相乘后, 再在一个周期内做积分就可求出虚部分量系数和实部分量系数, 然后用式(8)和(9)即可求出相应谐波幅值及相角。

3 系统软硬件结构特点

3.1 系统硬件结构及特点

本系统主要由电源、MCU 主控单元、功率注入单元、测量单元和输入输出接口电路五部分组成。主要具有以下几个特色:

(1) 电源可靠性高

系统 MCU 单元使用 +5 伏供电, 继电器使用 +24 伏供电, 对要求较高的 A/D 部分使用独立电源

供电, 所有电源出线都加装有滤波装置, 抗干扰能力强。

(2) MCU 主控单元功能强

作为系统的核心单元, 选择美国 Microchip 公司的 PIC18C 系列单片机作为主控芯片。该 MCU 片内集成有多种模块资源, 接口丰富, 便于与微机保护系统相连。集成度高, 数据、地址总线引出 MCU 较少, 同时具有看门狗功能, 满足了系统对实时性和控制安全性的要求^[4]。

(3) 输入输出接口丰富, 电路工作安全可靠

除系统工作必备的输入输出信号, 为方便用户使用, 增加了键盘和 LCD 显示接口, 设置了与上位机的网络通讯与打印接口等。系统工作必备的所有输入输出都使用单独的 I/O 口线并设有光电隔离装置, 确保电路具有足够的抗干扰能力。

3.2 系统软件结构及优化

(1) 软件结构

软件主要完成了三部分的功能: 产生正弦信号、采集检测信号量并进行处理、人机交互界面等。在程序结构安排上, 采样计算、软时钟计数、正弦信号产生等对实时性要求较高的部分作为中断服务程序来处理; 而诸如按键处理、显示处理、打印服务等对实时性要求不高的部分放在主程序中来处理。主程序的软件流程图如图3。

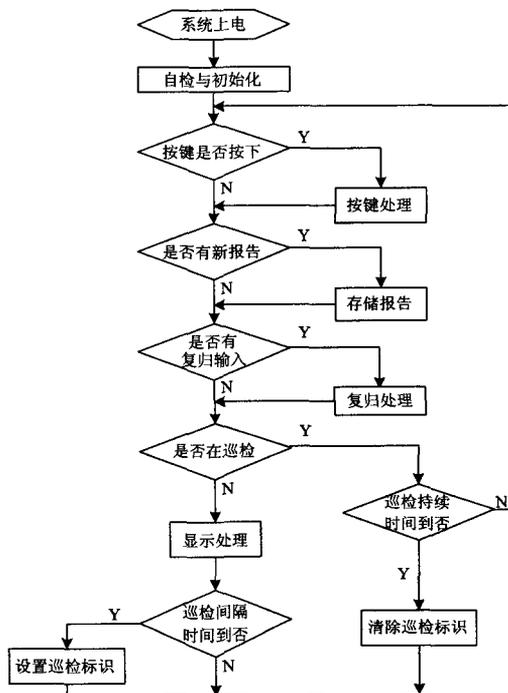


图3 主程序流程图

Fig. 3 Master routine flow chart

D/A 产生波形程序主要完成了二次回路信号的产生,这一功能主要通过定时器通道 1 定时向 D/A 转换送入输入,再通过功率放大回路,向被测回路注入信号,定时器 1 通道在系统中具有最高级别的优先级,从而保证了信号的精度。中断服务程序 1 程序框图如图 4 所示。

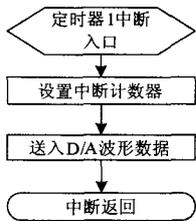


图 4 信号注入程序流程图

Fig. 4 The signal pours into the program flow diagram

A/D 采样功能程序由定时器通道 2 产生,它主要完成二次回路中电压和电流信号的采集数据的采集、实时数据处理和判断接地电阻大小等任务,它的优先级仅低于定时器 1 中断。它定时启动和读取 A/D 转换的结果,再通过相应的算法,求解接地电阻的大小。中断服务程序 2 程序框图如图 5 所示。

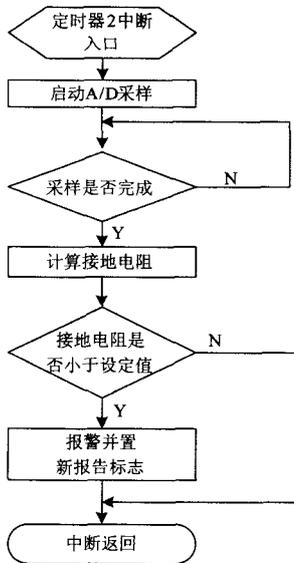


图 5 A/D 采样程序流程图

Fig.5 A/D sampling program flow diagram

(2) 软件优化

在嵌入式系统中,实时性是一个核心问题,所以程序的执行速度是衡量一个嵌入式实时系统优劣的一项重要指标^[5]。在给定硬件条件下,采用以下几个方面来优化软件,使系统性能进一步得到改善。

① 在 C 语言中内嵌汇编语言

为了兼顾程序的结构化和效率,对实时性要求

较高的部分及程序中频繁使用的代码采用汇编语言编写,其它部分则采用 C 语言编写。

② 利用查表、排序等方法提高程序中分支跳转结构的效率

跳转是程序执行中很费时的一个部分,程序优化时首先减少判断语句,可采用预先制作数组,在运行时直接从表中提取数据,避免大量判断。其次对分支循环结构进行优化,在跳转分支结构中,可采用排序的方法,将跳转频率较高的分支放在靠近入口的位置,减少判断次数。

③ 函数和函数调用的优化

程序中使用函数可提高程序的模块化、移植性和可读性,但函数调用牵扯到局部变量的分配单元、保留现场、参数传递、返回等环节,是一个比较占用时间的操作。对调用频繁、函数体较小的函数,利用宏定义或内联函数,通过编译器在函数调用处展开函数体来代替函数调用。减少函数间参数传递,函数间需要传递参数时,使用全局变量、静态变量或直接传送地址。

通过使用上述方法明显提高了程序运行的速度,充分满足了现场时实性的要求。

4 现场测量数据及使用注意事项

将该系统应用在某 10 kV 供电系统中,采用 300 V 左右的交流信号进行巡检,正常情况下测得回路电流只有 135 μ A,在某时刻巡检装置报警,发现该线路有功电能表显示不正常,经运行人员检查发现 A 相电流在 2.4 A 左右,而 C 相却减为 0.7 A。此时在线监测系统测得的回路电流值升至 1.23 A,表明出现了明显的多点接地现象,根据估算应在离正常接地点 2 m 附近还存在有接地情况,于是缩小排查范围,最终发现在开关柜背面的线槽中有一多股软线有破皮现象,导致 C 相电流回路经盖板与地构成回路。

在现场实际应用该系统时,根据《交流电气装置的接地》的规定,凡额定电压 500 V 及以下绝缘等级的产品,交流耐压水平平均要达到 2 000 V。而一般情况下,二次设备接地装置的接地电阻通常在 0.1~4 Ω 之间,为使巡检有足够的准确度,注入的交流信号幅值不宜过小,另外考虑到继电保护的保护特性,设置多点接地电阻报警阻值要适当,避免系统过于灵敏或漏检。由于在正常情况下巡检系统不投入运行,而每次的检测时间相当短,因此注入信号幅值较小的巡检系统对二次系统的影响是微不足道的。

5 结束语

交流二次回路多点接地在线监测系统充分利用PIC18C系列单片机的资源, 实现了硬件电路高度的集成化, 具有极强的抗干扰能力, 使系统能经受电力系统严酷的强电磁干扰, 采用C语言与汇编语言的高效混合编程方式, 解决了系统运行的快速性与多任务之间的矛盾。目前, 在河南、山西电网通过多次试验和现场应用, 证明该系统具有较高的工作稳定性, 大大减少了由于二次回路出现多点接地造成的一系列故障, 具有良好的市场前景。

随着嵌入式微处理器运行速度的不断提高、功能不断完善、可靠性不断增强, 利用嵌入式微处理器控制方案解决交流二次回路多点接地问题是完全可行的, 增加交流二次回路多点接地监控系统不仅提高了供电系统的智能化, 而且也供电系统的安全运行提供了有力保证。

参考文献

[1] 陈广. 继电保护电流回路两点接地的分析处理[J]. 农村电气化, 2004, (12): 49-49.
CHEN Guang. Analysis and Treatment for Two-point Grounding in Relay Protection Current Circuit[J]. Rural Electrification, 2004,(12): 49-49.

[2] 李苇. 变电所电压互感器二次绕组中性点的接地[J]. 电力勘测设计, 2004, (2): 47-49.
LI Wei. Discussion About Secondary Earthing of Voltage

Transformer in High Voltage Substation[J]. Electric Power Survey & Design, 2004,(2): 47-49.

[3] 焦彦军, 于江涛. 衰减直流分量对傅立叶变换快速算法的影响及其消除办法[J]. 华北电力大学学报, 2006, 33 (2): 37-39.
JIAO Yan-jun, YU Jiang-tao. Influence of Decaying DC Component on FFT Fast Algorithm and Its Solution[J]. Journal of North China Electric Power University, 2006, 33 (2):37-39.

[4] 陈瑞森, 郭东辉. 8位高性能低功耗嵌入式MCU的设计[J]. 高技术通讯, 2006, 16 (8): 820-824.
CHEN Rui-sen, GUO Dong-hui. Design of High-performance and Low-power 8-bit Embedded MCU[J]. Chinese High Technology Letters, 2006, 16(8): 820-824.

[5] 陈丽蓉, 熊光泽. 嵌入式软件系统的实时性设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2001, (3): 18-22.
CHEN Li-rong, XIONG Guang-ze. Design of Real-time in Embedded Software System[J]. Microcontrollers & Embedded Systems, 2001, (3):18-22.

收稿日期: 2008-03-25; 修回日期: 2009-09-14

作者简介:

张志军 (1969-), 男, 副教授, 硕士研究生, 研究方向为电力系统及自动化控制; E-mail:zzj311@163.com

孟庆波 (1973-), 男, 讲师, 研究方向为电力电子技术、自动检测、变频技术。

(上接第 121 页 continued from page 121)

XU Jian-yuan, DOU Wen-jun, WANG Ai-hong. On-line Monitoring System of Grounding Line Working Conditions[J]. Electric Power Automation Equipment, 2008, 28(7): 111-113.

[6] 吴玉田, 王瑞光, 郑喜凤, 等. GSM 模块 TC35 及其应用[J]. 计算机测量与控制, 2002, 10(8):557-560.
WU Yu-tian, WANG Rui-guang, ZHENG Xi-feng, et al. GSM Module TC35 and Its Application[J]. Computer Measurement & Control, 2002, 10(8):557-560.

[7] 马潮. 嵌入式 GSM 短信息接口的软硬件设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2003, (7):21-24.
MA Chao. The software and Hardware Design of Embedded Interface for GSM Short Message Service[J]. Microcontroller and Embedded System, 2003, (7): 21-24.

[8] 李从容. 利用 GSM 短消息实现远程监控[J]. 电子工程师, 2005, 31(4):34-25.
LI Cong-rong. Remote Monitoring with SMS[J].

Electronic Engineer, 2005, 31(4):34-35.

[9] 牛于朋. 基于单片机的高精度超声波测距电路[J]. 电子世界, 2005, (5):27-29.
NIU Yu-peng. High Precision Ultrasonic Ranging Circuit Based on SCM[J]. Electronics World, 2005, (5):27-29.

[10] 李爱莲, 解邵峰. 单片机在新型超声波位移传感器中的应用[J]. 电子产品世界, 2005, (6):77-79.
LI Ai-lian, XIE Shao-feng. Application of SCM in the New Ultrasonic Displacement Sensor[J]. Electronic Engineering & Product World, 2005, (6):77-79.

收稿日期: 2008-12-16; 修回日期: 2009-01-20

作者简介:

刘家军 (1967-), 男, 副教授, 硕士生导师, 主要研究领域为电力系统监控与故障检测;

缪俊 (1982-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统监控。E-mail:xiaowu-0909@163.com