

矿井低压电网选择性漏电保护系统总体设计与实现

孙玉坤^{1,2}, 朱志莹², 黄振跃², 唐平²

(1. 南京工程学院, 南京 211167; 2. 江苏大学, 江苏镇江 212013)

[摘要] 设计了一款以 dsPIC30F4012 为主控制器、PIC16F877A 为从处理器的新型主从式选择性漏电保护系统。该系统在总开关处采用附加直流源检测原理检测是否发生漏电, 在分支开关处使用零序功率方向检测原理判断发生漏电故障线路, 给出了保护系统的硬件框图和软件流程图, 并且采用速度更快的 RS-485 总线及光纤传输技术, 实现了矿井低压电网漏电保护的瞬动性。实验结果验证了该保护系统的优越性能。

[关键词] 漏电保护; 选择性; dsPIC30F4012; PIC16F877A; RS-485 总线; 光纤通信

[中图分类号] TD611 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2012)07-0093-05

1 前言

漏电是矿井供电系统的主要故障形式, 约占其总故障的 70%, 它不但导致人身触电事故, 还会形成单相接地, 进而发展成为相间短路, 由此引发的电弧会造成瓦斯和煤尘爆炸。漏电保护主要用来防止漏电火灾造成的经济损失和人身伤亡, 因此得到广泛的研究和应用^[1-3]。

选择性漏电保护是指电网发生漏电故障时, 能够有选择地发出故障信号或切断故障支路电源, 而非故障部分继续工作, 从而减小故障停电范围, 便于寻找漏电故障, 缩短漏电停电时间, 提高供电的可靠性^[3-10]。目前, 我国矿井低压电网的选择性漏电保护系统主要采用单一的保护原理, 从现场运行情况来看, 这类保护装置存在一系列缺陷: a. 动作无选择性; b. 动作电阻值不稳定; c. 易产生误动作; d. 保护拒动。不能很好地完成保护的目。

针对以上问题, 笔者基于附加直流源检测^[10]和零序功率方向^[11]的选择性漏电保护原理, 设计了一款新型漏电保护系统。该保护系统首次提出采用 dsPIC30F4012 作为控制核心、PIC16F877A 为从处

理器的主从式保护结构, 并采用 RS-485 总线及光纤传输技术, 既可完成井下低压电网单相漏电时的横向选择性和纵向选择性保护功能, 又能保证电网漏电保护动作的无级差性。

2 选择性漏电保护原理

煤矿井下低压电网, 尤其在采区变电所, 大多采用辐射式供电, 供电系统如图 1 所示。图 1 中 HVB 为高压真空馈电开关, T 为变压器, GLVB 为干线低压真空开关, LVB_i 为第 i 支路的真空馈电开关, LVC_i 为第 i 支路的传输电缆, GPS 为总馈电开关的保护系统, SPS_i 为第 i 支路分馈电开关的保护系统。其中 GPS 采用附加直流电源保护原理, SPS_i 采用零序功率方向保护原理构成两级漏电保护系统。

图 1 中有 N 条支路 ($F_1, \dots, F_i, \dots, F_N$), 假设 F_i 支路发生漏电故障, 则在电网中产生零序电压 U_0 , 如果规定由母线流向支路为正, 则由支路流向母线为负, 于是对于故障支路 F_i 有:

$$P_0 = -U_0 \cdot \sum_{i=1}^N I_i \quad (1)$$

[收稿日期] 2010-06-14

[基金项目] 江苏省重大成果转化项目子项(BA2006066)

[作者简介] 孙玉坤(1958—), 男, 江苏靖江市人, 江苏大学教授, 博士生导师, 研究方向为电能质量控制技术; E-mail: syk@ujs.edu.cn

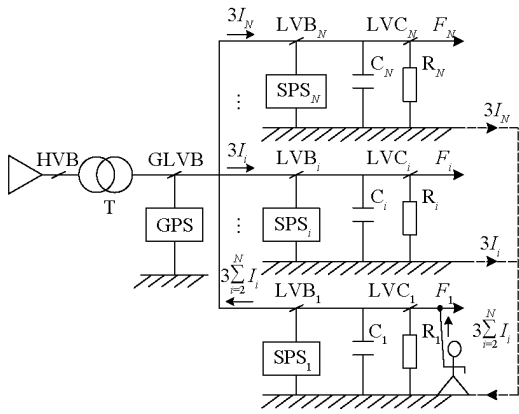


图1 辐射式供电系统框图

Fig.1 Radiation type power supply system block diagram

而非故障支路,如 F_2 有:

$$P_0 = U_0 \cdot I_2 \quad (2)$$

由式(1)和式(2)可得,对应于故障支路总有 $P_0 < 0$,而非故障支路则总有 $P_0 > 0$,且故障支路的 P_0 绝对值较非故障支路大的多,从而可以利用这个判据准确、可靠地判断出故障支路和非故障线路而实现选择性。

3 保护系统总体设计与实现

3.1 硬件系统

图2是基于选择性漏电保护原理设计的矿井选择性漏电保护装置的硬件系统框图。主要包括核心控制器 dsPIC30F4012(位于总馈电开关处)、从处理器 PIC16F877A(位于分支总馈电开关处)、零序电压、电流的采样电路及相关辅助电路。

1)核心控制器 dsPIC30F4012^[12]。位于总馈电开关处的核心控制器要完成对直流取样信号 U_s 、零序电压 U_0 和绝缘电阻的实时采集和检测,还要和上位机及分支开关处的从处理器通信,漏电支路的切除与报警。因此,要实现漏电的及时保护,其核心控制芯片必须具有较高的处理速度、较高可靠性,同时具备通信、中断和 A/D 转换功能。该系统采用 dsPIC30F4012 芯片作为硬件系统的核心部件,它是 Microchip 公司 dsPIC30F 系列的 DSP 型微控制器的一种,它有 1 个 16 位 CPU 和 1 个 DSP 内核,它的中断系统有高达 30 个故障处理源,同时它具有 SPI、I²C 和 URT 三种外围串行通信接口,自带 10 位的 A/D 转换模块,这使其能满足本系统的设计要求。

2)从处理器 PIC16F877A^[13]。传统的集中选线

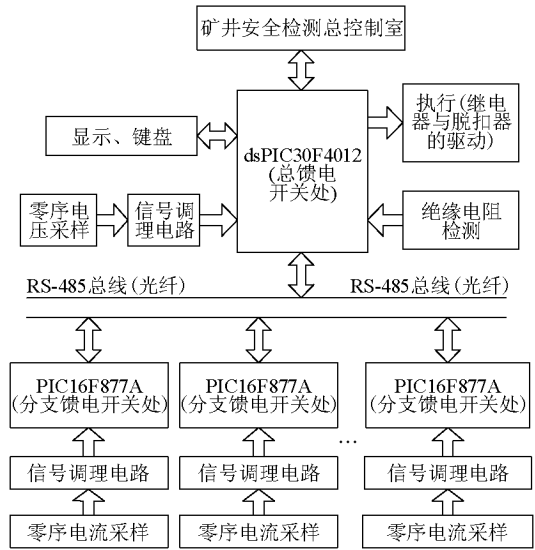


图2 硬件系统框图

Fig.2 Hardware block diagram

方法是由总馈电开关保护装置进行集中选线,增加了总馈电开关漏电保护装置的计算负担,不利于快速保护,而笔者设计从处理器后,当分支线路的任一处发生漏电故障时,总馈电开关处的核心控制器将零序电压的值传给从处理器,并由从处理器负责选线判据的计算,根据选线判据确定出故障支路后,无延时地动作于跳闸,同时向总馈电开关保护装置发出故障信息;总馈电开关保护装置收到故障信息后闭锁其输出信号,若经过预定的延时后,尚未收到分支馈电开关保护装置的動作信号,则其无选择地动作于跳闸,从而起后备保护作用。由此可见,笔者设计的选择性漏电保护系统中的各级保护装置皆为瞬动型,可以实现无级差的漏电保护,使漏电保护系统的纵向选择性更合理、更完善。笔者选用的从处理器是 Microchip 公司生产的 PIC16F877A 芯片,这款单片机外围电路简单,转换精度高,可以满足系统的设计要求。

3)电压检测模块。在该装置中共有两个电压量需要实时测量,用于绝缘检测的 U_s 和零序电压 U_0 。这两个量是在总馈电开关处通过电压互感器的降压再由 A/D 进行采样,具体的模拟量输入原理见图3。由于系统使用的 ADC(ADS7835)是高速的单通道 ADC,所以要先由一个二选一多路选择器对 U_0 、 U_s 分时测量。而电压跟随器的使用主要是起到阻抗匹配、增强带负载能力及电路隔离的作用,这在井下高干扰的环境下是非常必要的。低通滤波器的作用是防止出现频谱的“混叠效应”,滤除输入信

号中高于 1/2 采样频率的高频成分,同时减轻系统对硬件处理速度的要求。



图3 电压测量模块

Fig.3 Voltage measurement module

4) 零序电流采样模块。电流的检测有多种方法,最通用的方法是采用阻性分流器、霍尔元件传感器、隔离电流传感器。阻性分流器工作室与负载串联,无法进行隔离测量;霍尔元件传感器测量精度较高,但输出端需要复杂的调理电路、温度补偿电路和算法。而笔者所使用的是 LEM 推出的 CT 系列电流传感器,此款电流传感器是针对漏电安全检测而设计的,根据毫安级的测量电流输出端是 0~5 V 的直流电压,可以直接由 A/D 进行测量,零序电流测量的框图如图 4 所示。

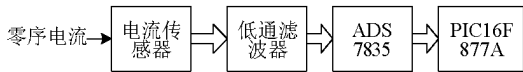


图4 零序电流测量模块框图

Fig.4 Zero sequence current measurement module

5) 通信模块。矿井环境具有高干扰、高湿度特性,传统的通信介质,如双绞线等往往有传输效率低、误码率高、传输距离短等缺点。而光纤传输系统具有损耗低、中继距离长和抗电磁干扰性能好等优点,能够对监测的信号进行无失真传输。近些年随着成本的下降,光纤通信开始在矿井等复杂环境下得到广泛使用。综合考虑控制成本和系统的可靠性,该系统中核心控制器和从控制器通信电路见图 5。采用 RS-485 总线,它采用差分平衡电路,能有效抑制长距离传输中的噪声干扰,能实现可靠的串行通信。图 5 中 MODEL277B 是一款 RS-485 串口转光纤的转换器,它能够向用户提供 RS-485 串口端到端的透明传输。支持零延时自动转发,自动侦测串口速率,判别和控制数据传输方向,最大通信速率 500 kb/s。光纤分多模光纤和单模光纤,多模光纤可选 ST/SC/FC 接口,通信距离达到 2 km,而单模光纤采用 FC/SC/ST 接口,通信距离达到 20 km。

3.2 软件部分

鉴于系统的复杂性和实时性,控制系统软件部分采用汇编语言编写,模块化编程。这不仅提高了控制器的运行效率,而且增加了程序的通用性和可

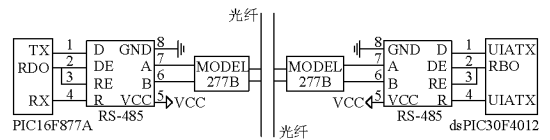


图5 通信电路图

Fig.5 Communication circuit diagram

移植性,有利于系统的维护改进。

整套程序分为主控模块、选线模块、电压检测模块、绝缘电阻检测模块等。主控模块即主程序,它是整个系统软件的“总指挥”,通过对各功能模块的合理调用来完成参数的检测、分析、判断从而实现系统的整体功能。主程序流程图如图 6 所示。

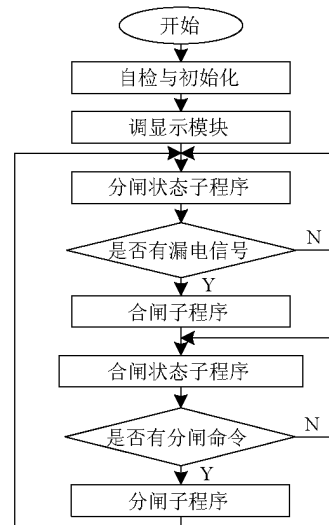


图6 主程序流程图

Fig.6 Master routine

选线模块根据选择性漏电保护原理,首先读取各支路的零序电流和零序电压值,然后计算功率 P_0 , $P_0 < 0$ 的为故障支路, $P_0 > 0$ 的为非故障支路,如图 7 所示。

系统要实时地检测工作电压,以确保工作电压正常,并完成对应的电压显示功能,程序框图如图 8 所示。

为了实现漏电保护功能,总开关要不断地检测电网对地绝缘电阻,从而判断系统是否发生了漏电故障,分开关在合闸前也要进行漏电闭锁试验,同样需要检测电网对地绝缘电阻,绝缘电阻检测模块程序框图如图 9 所示。

3.3 软、硬件抗干扰措施

各检测电流信号和零序电压信号所采集到的模

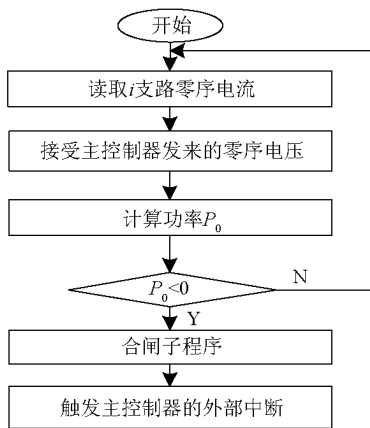


图7 选线模块

Fig.7 Line selection module

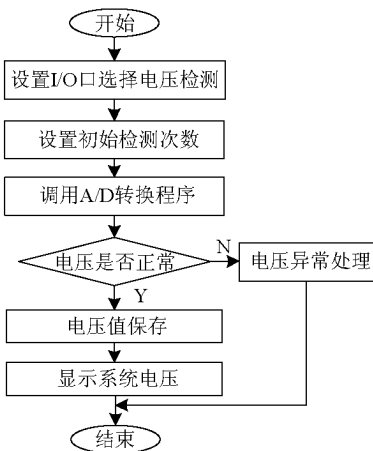


图8 电压检测模块

Fig.8 Voltage examination module

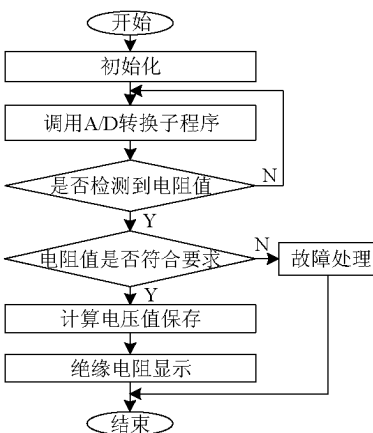


图9 绝缘电阻检测模块

Fig.9 Dielectric resistance examination module

该装置的设计中分别采取了软、硬件抗干扰措施,使得系统更加稳定可靠。硬件方面:在电源和信号输入回路中,设计了低通滤波器以消除周期性干扰;在信号传输回路中,采用光电隔离将模拟量与数字量、开关量的输入与输出相隔离,以减小过程通道的干扰,并设置了硬件自恢复电路,一旦在干扰下程序出错,而软件措施不能解决,就可以通过自恢复电路自动复位。软件方面:对输入数据进行检查,对运算结果进行核对,并且在模块软件上采用自检和程序陷阱,此外还设计了软硬件相结合的“看门狗”电路,保证整个系统的可靠性。

4 试验

下井前对开关进行了地面试验,试验4台,其中1台总馈电开关,3台分支馈电开关,电网额定电压 $V_N = 1140\text{ V}$ 。漏电保护系统的各项技术指标测试数据如表1所示。表中的测试数据均为10次测试的平均值,而且10次中均不出现误动现象。由表1可见,各项技术指标均满足要求,尤其是分支开关的横向选择性漏电动作时间小于30 ms,总开关的纵向选择性漏电动作时间小于200 ms,不仅满足了井下供电的连续性要求,而且保证了人身触电时的安全性,这项指标优于其他同类产品。

表1 漏电保护装置技术性能参数测试结果

Table 1 Test results of technical properties of the leakage protection device

电压	动作电阻 /kΩ		闭锁电阻 /kΩ		分开关 动作时间/ms		总开关 动作时间/ms	
	要求	测试	要求	测试	要求	测试	要求	测试
$0.75 V_N$	22 ± 4	19.7	40 ± 8	40.2	≤ 30	13.5	≤ 200	166
V_N	22 ± 4	21.8	40 ± 8	41.1	≤ 30	19.5	≤ 200	160
$1.1 V_N$	22 ± 4	25.7	40 ± 8	43.1	≤ 30	21.8	≤ 200	174

5 结语

1) 基于附加直流电源与零序功率方向选择性漏电保护判据,以高性能微控制器 dsPIC30F4012 为中央控制单元,设计了一种新型主从结构漏电保护系统,详细阐述了硬件原理和软件部分。

2) 系统的核心处理器与从处理器的通信,以及核心处理器和上位机的通信均采用光纤通信的方式,这种信号传输的方式虽然在成本方面有所提高,

拟信号来自强电回路,所以会有很多的干扰存在,在

但其高的抗干扰性能和高的通信效率可以保证保护装置的瞬动性,有效地避免井下事故的发生。

3) 采用模块化结构软件设计方法,设计了系统的各个模块的程序。具有编程简单、结构清晰、调试方便、运行效率高等优点。

4) 研究了保护装置中主要的干扰,对应于不同的干扰信号制定了相应的硬件和软件抗干扰措施,提高了保护装置的工作可靠性。

参考文献

- [1] 尹伊君,张国军. 矿井低压选择性漏电保护[J]. 辽宁工程技术大学学报,2007,26(6):901-904.
- [2] 王浩,袁振海,李斌,等. 矿井电网选择性漏电保护原理及装置的研究与设计[J]. 微处理机,2006,12(6):114-118.
- [3] 方威. 矿井供电系统选择性漏电保护理论及其应用研究[D]. 江苏:江苏大学,2009.
- [4] 路萍,庞彬,李华. 基于PIC单片机的多选择性漏电保护[J]. 仪器仪表学报,2004,25(4):414-415.
- [5] 胡天禄,王崇林,牟龙华. 矿井高压电网漏电保护装置动作参数分析[J]. 煤炭学报,2003,28(2):205-209.
- [6] 王清亮,刘军良. 基于高频暂态分量相关性的选择性漏电保护[J]. 电力自动化设备,2007,27(9):59-62.
- [7] 李奎,陆俭国,武一,等. 自适应漏电保护技术及其应用[J]. 电工技术学报,2008,23(10):53-57.
- [8] 牟龙华,孟庆海,刘建华. 可通信式智能选择性漏电保护系统的研究[J]. 电工技术学报,2003,18(1):82-86.
- [9] 张勇志,孟庆春. 单片机在选择性漏电保护装置中的应用[J]. 辽宁工程技术大学学报,2005,24(6):149-151.
- [10] 袁振海,沈祥云,王险峰,等. 零序直流选择性漏电保护原理分析[J]. 电工技术学报,2008,23(10):53-57.
- [11] 王彦文,王念彬,杨秀强,等. 基于零序功率方向的选择性漏电保护系统[J]. 煤矿机电,2006,33(1):24-30.
- [12] Microchip. dsPIC30F4011/4012 data sheet, high performance digital signal controllers [R]. Shanghai: Microchip Technology Inc., 2004.
- [13] 刘梅华,汪东,杨艳秋. 基于PIC16F877A矿井低压电网选择性漏电保护的原理及其应用[J]. 重庆工学院学报,2007,21(2):117-120.

Overall design and realization of selectivity leakage protection device in mines

Sun Yukun^{1,2}, Zhu Zhiying², Huang Zhenyue², Tang Ping²

(1. Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China;

2. Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China)

[Abstract] A novel selective leakage protective device in master-slave structure was proposed where dsPIC30F4012 was the master controller and PIC16F877A was the slave processor. The device used the principle of additional DC power supply in main feeding switch to examine the occurrence of the leakage and used the principle of direction of zero sequence power in branch feeding switch to judge the faulty line. The hardware diagram and the software flow chart of protective system were given and RS-485 bus and optical fiber communication technology were adopted. It could improve the action capability and anti-interference capability of the leakage protective device for power supply system in underground, and the experimental results confirmed the protection device proposed had good performance.

[Key words] leakage protection; selectivity; dsPIC30F4012; PIC16F877A; RS-485 bus; optical fiber communication