

基于MSP430单片机的数字式漏电保护器的研制

李开成¹, 刘建锋¹, 黄海煜¹, 张昌华²

(1. 华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074; 2. 湖北民族学院, 湖北 恩施 445000)

摘要: 介绍一种基于MSP430F149单片机的数字式漏电流保护器。保护器能够实时监测当前漏电流值的大小, 可以根据电网运行水平和天气情况自动切换剩余电流档位, 保护动作时具有反时限功能, 具有理想的延时特性, 并具有重合闸功能, 能适应各种复杂的农村电网和多变的气候环境, 能够同时保证用电安全与供电的可靠性。

关键词: MSP430F149; 漏电流保护; 零序电流互感器

Research on digital residual current operated protective device based on single chip microcomputer of MSP430

LI Kai-cheng¹, LIU Jian-feng¹, HUANG Hai-yu¹, ZHANG Chang-hua²

(1. College of Electrical and Electronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

2. Hubei University for Nationalities, Enshi 445000, China)

Abstract: A digital residual current protector based on high performance micro-controller MSP430F149 is introduced in this paper. The device can detect the real-time residual current value, and the residual current operating value can be switched automatically according to the present condition of the power system and climate state. When the protection is occurred, the residual current protective device possesses the inverse time lag function, ideal time delay and the automatic reclosing function. So the residual current protective device can be used in all kinds of complicated rural grids and climatic conditions, and the safety and the reliability of the power supply can be ensured.

Key words: MSP430F149; residual current protection; zero-sequence current transformer

中图分类号: TM86; TM77 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2008)08-0064-04

0 引言

低压配电网中广泛采用的漏电流动作保护装置, 即剩余电流动作保护器(简称RCD-Residual Current Protective Device)用于防止人身触电事故以及防止由漏电引起的电能损耗、电气火灾和电气设备损坏事故^[1]。在应用上, 通过零序电流互感器建立动作判据, 对于防止人身电击事故和保护用电设备, 是最有效的方法之一^[2]。漏电流保护器事关人身财产安全, 其可靠性是一个重要的技术指标, 我国1986年颁布(1995年修改)了第一个关于剩余电流动作保护器各项性能指标的强制性国家标准^[3]。

随着单片机技术的发展, 单片机在电气装置领域也得到广泛应用, 使各种电气设备朝着数字化、智能化的方向发展。漏电保护器是低压电器的一个重要系列产品, 目前对漏电保护的智能化在理论上

和技术上还需要进行深入研究探讨, 以提高其安全性、可靠性^[4]。本文在技术应用方面, 做了一些工作, 针对低压配电网, 设计了一种新型的基于高性能MSP430F149单片机的数字式漏电流保护器。该装置能够实时监测并显示当前漏电流值的大小, 可以根据电网运行状况, 自动切换漏电流档位。保护动作时, 具有反时限功能, 具有理想的延时特性, 并有重合闸功能。能适应各种复杂用电条件下, 低压电网的保护应用。尤其是对正在进行的农村电网改造具有很强的适用性, 能够同时保证用电安全与供电的可靠性^[5]。

在我国农村低压配电网中, 实行的是三级保护。分别是安装在配变低压侧的漏电总保护器、安装在进入集表箱的分支保护器、以及安装在每户电源侧的末级保护器。本文提出的基于MSP430单片机的数字式漏电保护器是装在配电变压器低压侧的总保护。其主要目的是保护变压器和配电线路的运行

安全, 以及在触电的情况下保证人身安全。

1 漏电电流保护器的工作原理

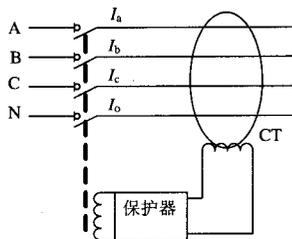


图 1 漏电流保护器的工作原理图

Fig.1 Schematic diagram of RCD

漏电电流保护器的工作原理如图 1 所示。A、B、C 三相电流母线和零线穿过电流互感器的铁心, 当低压电网未发生触电和漏电事故时, 根据电路理论可知, 三相四线电流的相量和等于零, 此时互感器铁心中的磁通相量之和等于零, 互感器 (CT) 的二次侧绕组没有感应电压输出, 线路正常供电。当发生触电或漏电事故时, 三相四线电流的相量和将不等于零, 互感器铁心中的磁通相量和不等于零, 此时 CT 二次侧绕组就有感应电压输出, 经过模拟和数字信号处理, 当故障电流达到规定的数值时, 继电器就推动断路器的脱扣机构动作, 迅速切断电源, 达到漏电保护的目的。

2 硬件设计

2.1 MSP430 系列单片机简介

该装置使用 TI 公司的 MSP430 系列单片机为微处理器。MSP430 系列单片机是美国 TI 公司于 96 年推出的新一代超低功耗 16 位单片机。由于它具有功能完善、超低功耗、开发简便、成本低廉等特点, 特别适用于各种实时检测装置的开发。尤其在便携式仪器仪表、检测、医疗器械以及汽车电子等领域得到广泛应用。我们选用的 MSP430F149 单片机是 TI 公司将 Flash 存储技术引入该系列单片机后, 于 2000 年推出的 Flash 型存储器单片机。MSP430F149 自带有 12 位模数转换模块 (ADC12), 能够实现 12 位精度的模数转换, 具有高速和通用的特点, 采样速度最高可达到 200 ksp/s, 配置有 8 路外部通道与 4 路内部通道, 可以实现对多个测量对象的快速采样。由于其内部存储器为 FLASH 型, 则可以在线对单片机进行调试和程序下载, 且 JTAG 口和 FET (FLASH EMULATION TOOL) 直接相连, 不需另外的仿真工具, 方便实用。在运算速度方面, MSP430 系列单片机能在 8 MHz 晶体的驱动下,

实现 125 ns 的指令周期。具有 6 个 8 位的 I/O 端口 (P1~P6)。所有 I/O 引脚可以被独立编程。P1、P2 端口能够接收外部上升沿或下降沿的中断输入, 可以根据需要灵活配置中断功能^[6]。

2.2 系统结构

系统结构框图如图 2 所示。

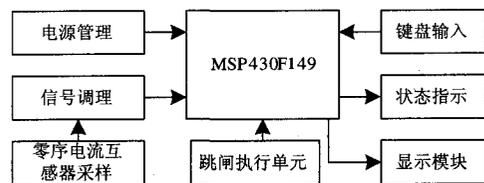


图 2 系统结构图

Fig.2 System structure

保护装置以 MSP430F149 单片机为微处理器, 由数据采集、信号调理、当前参数显示、跳闸执行机构、状态指示、电源管理等模块组成。采用特殊设计的零序电流互感器将漏电电流的大小转换为电压信号, 分成两路进行信号调理。一路经过放大后作为硬件控制跳闸操作部分的输入信号和整定值进行比较并进行后续处理。另一路经过放大部分、滤波等处理后, 直接送到 MSP430F149 单片机的 A/D 通道, 经由 MSP430F149 内部的 A/D 转换器将其转换为数字量, 通过外接的 LED 模块进行显示, 以实现当前漏电流值数字量的实时监控。这为用户提供了一个监视电网漏电情况的手段, 如果用户发现线路的漏电明显增加, 就可以在漏电保护器还没有动作时, 检查线路故障并排除故障, 从而大大方便了用户的使用。

本保护器设计的目的, 是安装在配变低压侧的漏电总保护器, 是配电台区的总保护。并针对三相不平衡泄漏电流较大的农村电网, 用于切除主干线路故障。由于保护的区间大, 为避免停电造成的影响, 设计为中灵敏度的延时型漏电保护器, 其漏电动作电流值的选择, 是以防止间接触电保护和电气设备安全为主, 并在大于电网正常漏电流的前提下尽量选小。

线路漏电流的大小与气候的潮湿情况有关, 潮湿季节与干燥季节的漏电电流不同, 有时相差很大, 为使在漏电电流较大时也能投运, 漏电保护器能够自动调节漏电动作电流, 以满足不同工况的需要。既保障在电网漏电电流较小情况下, 当漏电电流增大时起到保护作用, 也保障在电网漏电电流较大情况下正常投运。该漏电保护器所具有的自动调节漏电动作电流功能, 可以根据 4 个小时内 (可改变设置) 剩余电流的稳定的最大值来自动的选择

跳闸的档位(可改变设置)。一共分为100 mA、300 mA、500 mA三个跳闸的档位,分别对应于不同的运行环境,由软件实现。同时设置有手动进行档位切换的按键,便于操作人员在现场进行手动档位切换,当手动切换档位后,从当前新的档位开始,根据实际运行中漏电流的水平进行自动的档位切换。

3 软件系统设计

为了尽可能的提高供电的可靠性和安全性,该保护装置可以对漏电流保护动作的时间进行设置。根据GB6829—1995《剩余电流动作保护器的一般要求》和中华人民共和国机械行业标准JB8756—1998《剩余电流动作保护继电器》,在保护器中设置了0.5 s和0.3 s两个不同的保护动作时间档位,可供手动进行选择。并且该保护器还具有反时限功能,即保护动作的延迟时间与线路电流超过额定动作值的程度成反比。当漏电流2倍于额定漏电动作电流和5倍于额定漏电动作电流之间时,动作时间为0.2 s。当漏电流大于5倍额定漏电动作电流时,动作时间为0.15 s。在满足以上动作要求的同时,该保护器还具有自动重合闸功能。即在跳闸后30 s进行自动重合闸操作,若再次跳闸则将自动重合闸闭锁,待排除故障后再将保护器复位合闸,以最大限度地满足供电可靠性的要求。

本文所设计漏电保护器的跳闸方式,采用硬件触发、配合软件延时的方法,目的是为了满足不同跳闸时限的要求。由于保护动作有反时限的要求,所以当漏电流过大时要求的动作时间非常短。如果采用根据A/D采样结果和整定值进行比较来进行继电器动作的控制,由于信号调理和A/D转换存在延时,使得动作时间难以满足要求。所以单纯用软件的方法进行控制,具有局限性。而如果采用纯硬件方式进行延时跳闸控制,对于一般的简单开关电路可以起到很好的效果,但是却无法满足反时限和自动重合闸等功能的要求。并且各个延时之间的相互配合比较复杂,尽管在延时时间上采用纯硬件方式也可以实现,但是其可控性较差,需要用到大量的硬件单元。不但增加制造成本,而且易于受到外部干扰而导致误动作。这些对于保护器来说是非常严重的缺陷。基于以上原因,采用了硬件和软件相互配合的方案。用比较器对漏电流进行实时监控,一旦发现漏电流过大,则按照预先设定的不同的漏电流值大小在MSP430相应的I/O口触发中断。然后在软件设计中进行相应时限要求的延时,再由单片机直接输出驱动继电器动作。如果跳闸发生后需

要在30 s后进行自动重合闸,则在单片机定时器控制的30 s延时时间达到之后,通过软件控制的办法,由单片机I/O引脚控制继电器进行重合闸操作。如果通过对I/O口中断的判断发现重合闸之后故障仍未消除,可以通过软件控制I/O口的手段,实现对重合闸功能的闭锁。软件设计流程图如图3所示。

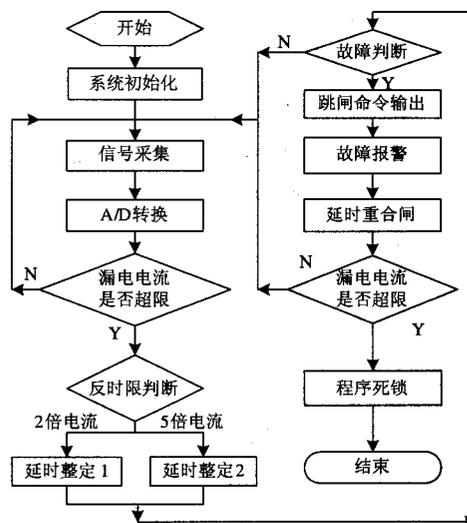


图3 软件流程图

Fig.3 Software flow chart

该保护器还具有节能的特点。其核心思想是采用2个继电器来控制跳闸的线圈回路,跳闸回路在合闸瞬间时,线圈上需要提供一个较大的线圈驱动电流来确保合闸成功。当合闸完成以后,为了保持合闸的状态,仍然需要对线圈提供一个保持电流,但此时仅需要提供一个较小的电流就可以保持住线圈的吸合状态。基于以上的设计思想实现对线圈回路供电的控制,达到节能的目的。

漏电流保护器作为一种安全装置,其动作的可靠性显得尤为重要,需要定期对保护器的动作可靠性进行检测。本保护器中设置了对动作可靠性进行检验的测试功能。提供给用户3个测试按钮,分别对应100 mA、300 mA、500 mA这3个跳闸的档位。每当按下一个测试按钮,通过查看保护器是否可以在对应的档位上实现正确动作来检测保护器的可靠性和有效性。

4 结束语

该数字式漏电流保护器采用低功耗、高可靠性MSP430单片机设计,能够实现漏电保护和漏电流显示,动作特性分档可调,漏电动作状态可以记忆,能实现自动切换档位和保护动作时间反时限功能,

保护器可以在复杂的农村电网和多变的气候条件下保证供电的可靠性,大大方便了用户的使用。通过采用硬件和软件控制跳闸相结合的办法,在发生触电或漏电过大时能及时地进行跳闸操作,避免事故的发生。具有工作性能好,成本低、易普及、可靠性高和操作简便等特点,而且通过采用节能技术,减少了保护器的功耗。因此,该漏电保护器应用前景广阔,能满足市场的需求。

参考文献

- [1] 寇瑞,杨跃军. 剩余电流动作保护装置正确与错误接线分析[J]. 电力学报, 2005, 20(3):300-302.
KOU Rui, YANG Yue-jun. The Analysis on Right and Wrong Wiring of the Residual-current Protecting Equipment[J]. Journal of Electric Power, 2005, 20(3):300-302.
- [2] Mitolo M. Shock Hazard in the Presence of Protective Residual Current Devices[A]. In: ICPS 2007, IEEE/IAS[C]. 2007.1-6.
- [3] GB6829-95, 剩余电流动作保护器的一般要求[M]. 北京: 中国标准出版社, 1995.
GB6829-95, General Requirements for Residual Current Operated Protective Devices[M]. Beijing: Standards Press of China, 1995.
- [4] 李奎,陆俭国,瞿建喜. 智能化漏电保护器的研究[J]. 机床电器, 2002, (4):7-9.

LI Kui, LU Jian-guo, QU Jian-xi. Research of Intelligent Leakage Current Protector Device[J]. Machine Tool Electric Apparatus, 2002, (4):7-9.

- [5] 胡建勋,李开成. 基于MSP430单片机的低压综合智能保护器的研制[J]. 仪器仪表学报(增刊), 2006, 27(6):2532-2533.
HU Jian-xun, LI Kai-cheng. Research on Intelligent Multifunction Switching Protecting Equipment Based on Single Chip Microcomputer of MSP430[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2006, 27(6):2532-2533.
- [6] 沈建华,杨艳琴,瞿晓曙. MSP430系列16位超低功耗单片机原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2003.
SHEN Jian-hua, YANG Yan-qin, QU Xiao-shu. The Principle and Application of MSP430 Family of 16-bit Ultra-low-power Sing-chip Microcomputer[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003.

收稿日期: 2007-10-17

作者简介:

李开成(1962-); 男, 教授, 博士生导师, 博士, 主要从事光纤电流、电压互感器、测控技术及智能仪器、电能质量分析、电磁测量等方面的研究; E-mail: likaicheng@mail.hust.edu.cn

刘建锋(1968-), 男, 博士研究生, 研究方向为光电互感器、电磁测量等。

(上接第63页 continued from page 63)

- ZHOU Ming, REN Jian-wen, LI Geng-yin, et al. Distributed Power System Fault Diagnosis Expert System Based on Fuzzy Inference[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(24): 33-36.
- [2] 束洪春,孙向飞,司大军. 基于粗糙集理论的配电网故障诊断研究[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(10): 73-82.
SHU Hong-chun, SUN Xiang-fei, SI Da-jun. The Study of Distribution System Fault Diagnosis Based on Rough Set Theory[J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21(10): 73-82.
- [3] 束洪春,孙向飞,于继来. 粗糙集理论在电力系统中的应用[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(3): 90-95.
SHU Hong-chun, SUN Xiang-fei, YU Ji-lai. A Survey on the Application of Rough Set Theory in Power System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(3): 90-95.
- [4] 赵冬梅,韩月,高曙. 电网故障诊断的决策表约简新算法[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(4): 63-66.
ZHAO Dong-mei, HAN Yue, GAO Shu. New Reduct Algorithm of Decision Table for Electric Power Grid Fault Diagnosis[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(4): 63-66.
- [5] 李波,赵志彦,王秀峰. 基于互信息和凝义度相结合的知识约简方法[J]. 天津大学学报, 2003, 36(4): 503-506.
LI Bo, ZHAO Zhi-yan, WANG Xiu-feng. A Method of Knowledge Reduction Based on Combination of Mutual Information and Doubtful Measure[J]. Journal of Tianjin University, 2003, 36(4): 503-506.
- [6] 崔巍,程道,石东源,等. 电力系统故障信息综合应用系统的研究[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(5):27-30.
CUI Wei, CHENG Xiao, SHI Dong-yuan, et al. Research on Power Fault Information Integrated Application System[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(5):27-30.
- [7] 陈德树. 计算机继电保护原理与技术[M]. 北京:中国电力出版社, 1998.
CHEN De-shu. Principle and Technique of Computer Protection[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1998.

收稿日期: 2007-08-13; 修回日期: 2008-01-07

作者简介:

王林先(1976-), 男, 工程师, 从事变电站综合自动化系统的研发工作;

李乃永(1981-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统运行与控制。E-mail: guyan1127@163.com