

剩余电流保护断路器动作特性自动测试系统设计

郑荣进^{1,2}, 丁柯婷¹, 黄晓生¹, 孔毅鹏¹, 华捷林¹

(1. 福建工程学院 信息科学与工程学院, 福建 福州 350118;

2. 福建工程学院 福建省汽车电子与电驱动技术重点实验室, 福建 福州 350118)

摘要: 介绍一种用于剩余电流保护断路器的动作特性自动测试系统设计, 通过下位机的微控制器精确采集断路器在漏电流条件下的切断时间, 并将数据传输至所设计的上位机进行记录。详细分析了系统的软硬件设计及其运行流程, 通过实验验证了系统设计的可行性。该系统极大地节约了断路器检测的人工成本, 提高了检测效率。

关键词: 保护断路器; 剩余电流; 微控制器; 自动测试

中图分类号: TP274

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2018)04-0381-05

An action characteristic automatic test system design of residual current protection circuit breaker

ZHENG Rongjin^{1,2}, DING Keting¹, HUANG Xiaosheng¹, KONG Yipeng¹, HUA Jielin¹

(1. School of Information Science and Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China;

2. Fujian Provincial Key Laboratory of Automotive Electronics and Electric Drive, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China)

Abstract: An action characteristic automatic test system design for residual current protection circuit breaker was introduced. The cut-off time of the circuit breaker under leakage current conditions was precisely collected by the microcontroller of the slave computer, and the data was transmitted to the designed host computer for recording. The software and hardware design of the system and its operation procedure were analyzed in detail, and the feasibility of the system design was verified through experimental tests. The system greatly decreases the labor cost of circuit-breaker detection and improves its detection efficiency.

Keywords: protection circuit breaker; residual current; microcontroller; automatic testing

低压剩余电流保护断路器(RCBO)常用于提供间接接触保护,防止触电,并可用于防止因设备绝缘损坏,产生接地故障电流而引起的火灾危险。随着自动化检测技术在低压电器行业的发展,使用自动化手段完成断路器的动作特性检测有助于提高产品质量,提高效率,降低成本,提高经济效益,减轻检测人员的劳动强度。

本系统用于精确测量断路器的漏电流动作特

性,并与上位机进行通讯,实现产品动作特性的记录与检测参数配置。系统采用双核微控制器作为控制核心,其中CPU1用于与上位机进行通讯、系统运行状态监测等非实时功能。而CPU2则作为漏电流注入、测量、断路器精确动作计时等实时功能。采用双核处理器有助于简化系统设计,合理分配实时与非实时系统功能。

收稿日期: 2018-05-15

基金项目: 福建省自然科学基金资助项目(2017J01470); 国网福建省电力有限公司电力科学研究院项目(GY-H-16014); 福州市科技计划项目(2018-G-30)

第一作者简介: 郑荣进(1971-),男,福建漳州人,副教授,硕士,研究方向: 配电自动化、配电安全与可靠。

1 系统原理

断路器漏电流动作特性自动检测系统的基本原理(见图 1),其分为漏电断路器动作信号发生电路、信号处理与记录系统两个部分^[1-2]。当断路器合闸完毕时,主控芯片根据上位机指令触发继电器模组,并产生指定的漏电流。当漏电断路器由于漏电流断开时,相应的电流互感器检测到负载完全断开,并通过信号调理电流传递至主控芯片的 AD 转换模块。最终,主控芯片记录相关漏电流、负载电流信号以及断路器动作时间^[3-8],完成漏电断路器动作特性记录并传递至上位机。

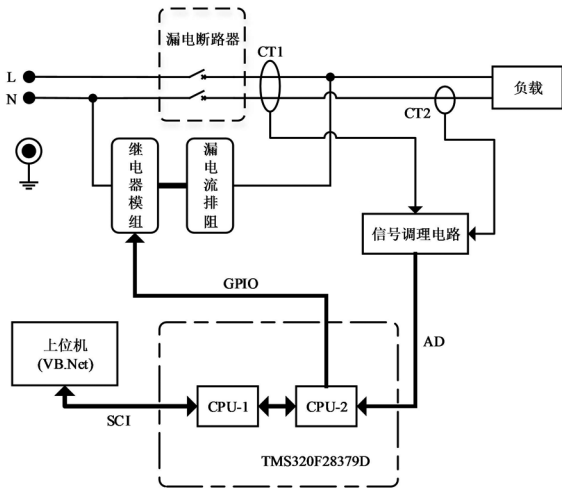


图 1 系统基本原理

Fig.1 Basic principle of the system

2 系统硬件设计

2.1 漏电流触发模块

系统采用继电器模组与电阻列阵的方式构成漏电流触发电路^[7-9],并对主电路与检测控制电路间进行隔离。继电器通过 MCU 的 GPIO 口进行选通控制,从而可产生多种漏电流值。继电器动作本身具有一定延时,因此要准确记录漏电流动作时间应采用实时检测电路。

2.2 漏电流/负载电流瞬时检测电路

当继电器模组选通,并产生漏电流时,需要对实际产生的漏电流进行瞬时检测,以进一步分析断路器动作特性。CT1 用于检测漏电流的瞬态值,其漏电流检测电路^[8]见图 2。

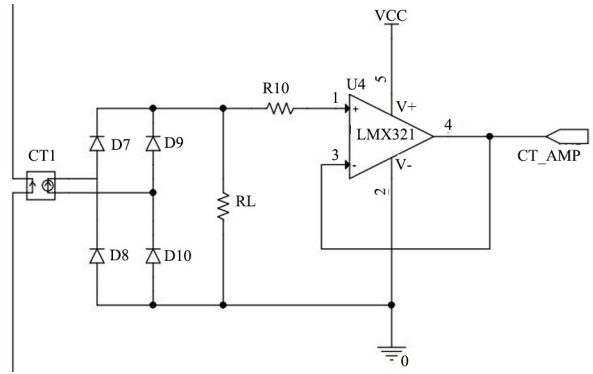


图 2 漏电流检测电路

Fig.2 Leakage current detection circuit

CT1 输出通过全桥滤波后输入至电阻 RL,电流瞬时信号 CT_AMP 通过电压跟随器输入至 MCU 的 AD 模块。LMX321 用于电压跟随器,由图 3 可知其同相比例放大电路模型,由理想集成运放的净输入电流为零,因此:

$i_p = i_n = 0$, 所以 $U_p = U_i$, 且 $i_1 = i_f$, 整理得:

$$\frac{U_N - 0}{R_1} = \frac{U_N - U_0}{R_f} \quad (1)$$

变换后得到:

$$U_0 = \left(1 - \frac{R_f}{R_1}\right) U_N \quad (2)$$

令同相和反相输入端虚短路, N 处的反相输入端电位与同相输入端电位相同,即:

$U_N = U_p = U_i$, 代入式 2 得:

$$U_0 = \left(1 - \frac{R_f}{R_1}\right) U_i \quad (3)$$

整理得电压增益公式:

$$A_u = \left(1 - \frac{R_f}{R_1}\right) = \frac{U_0}{U_i} \quad (4)$$

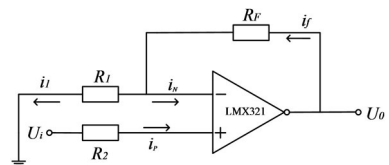


图 3 同相比例放大电路模型

Fig.3 Proportionally amplified circuit model

若令 $R_1 = \infty$ 且 $R_f = 0$, 如图 4 所示,电压放大倍数为 1,由公式 4 知: $A_u = 1$, 即 $U_0 = U_i$ 。电压通过电压跟随器的连接降低信号源的输出阻抗^[4], 这样可以不增加采样时间,同时提高原电路的带

负载能力, 不让前级电路受后级电路负载的影响, 从而保持性能不变, 保证了 AD 电路采样准确性, 类似的, 图 2 的电路也用于检测负载电流信号。其中信号源为 CT2。

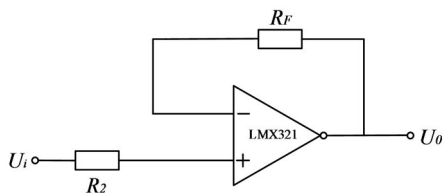


图 4 电压跟随器模型

Fig.4 Voltage follower model

2.3 负载切断信号检测电路

为了使 MCU 准确判断负载切断时刻, 采用如图 5 所示的电路。当负载正常时, CT_PULSE 为高电平。当负载切断瞬间, CT1 输出中断, CT_PULSE 输出跳变为低电平。

其检测原理如下: CT1 输出信号通过全桥进行整流, D5、D6 导通并产生稳定压降。整流桥输出经过 RC 滤波以防止其输出电压过零。C2 上端的电平在负载电流正常时维持在参考电平 V_{Ref_CT} 以上, 而在负载切断时快速下降至参考电平 V_{Ref_CT} 。为了电路设计简便, 采用 LMV321 构成滞回比较器。LMV321 也可用电压比较器代替^[4-6]。其滞回窗口小于 D5、D6 压降之和。因此, CT_PULSE 的输出对应于断路器的漏电流动作脉冲。

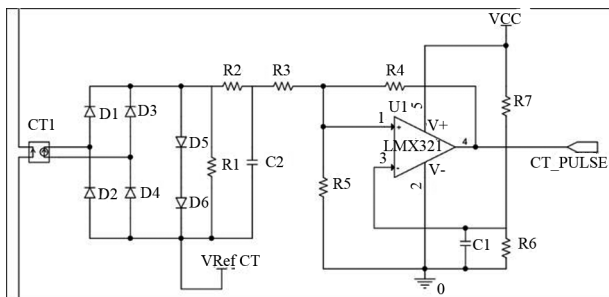


图 5 断路器负载切断检测电路

Fig.5 Circuit breaker's load-cut detection circuit

漏电流瞬时信号以及断路器断开信号波形如图 6 所示, 当负载断开时, 漏电流随即切断, CT_PULSE 与 CT_AMP 信号均传递至 MCU 进行记录, 作为断路器测试参考。MCU 通过自带的 eCAP 模块对 CT_PULSE 的脉冲宽度进行测量, 从而准确的获得漏电流发生至切断间隔, 即断路

器的漏电流动作时间。

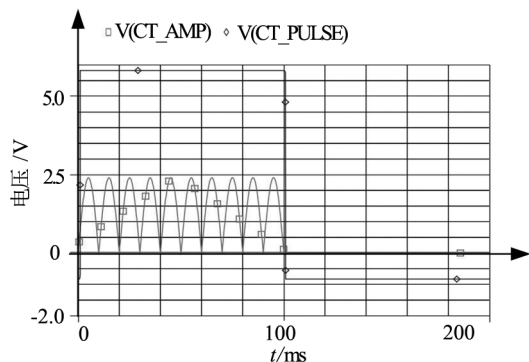


图 6 漏电流与负载断开信号波形

Fig.6 Leakage current and load disconnection signal waveform

2.4 MCU 硬件系统配置

检测系统的硬件配置如图 7 所示。CT_PULSE 信号连接至 P19, 即 eCAP1 通道。并通过捕捉信号上升沿与下降沿间隔记录相应的漏电流动作时间。CT_AMP 实时检测漏电流信号并输入至 ADCINA0 数模转换通道。值得注意的是, 本文仅涉及漏电流动作特性检测功能, 而双核 MCU 还将负责断路器其它功能测试(如大电流瞬态特性, 远程监控等)的检测与控制, 因此断路器检测与记录分别由 CPU2 与 CPU1 承担。MCU 与 PC 上位机的通信通过 SCIA 转 USB 接口实现。其软件部分基于 C 语言的标准输入输出函数, 并将采集数据记入至 PC 硬盘。

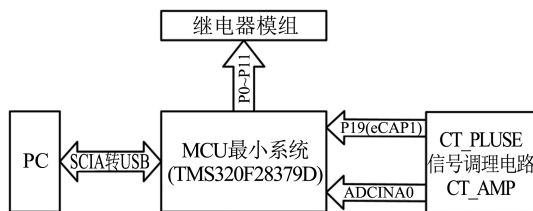


图 7 硬件系统配置

Fig.7 Hardware system configuration

3 模块化电路系统设计

3.1 MCU 软件设计

部分断路器具备自重合闸功能, 而普通家用漏电流断路器则通常需要手动合闸。因此, 下位机在检测到负载电流正常后延时一定时间, 然后 GPIO 口触发继电器模组闭合产生漏电流。MCU 软件主程序流程如图 8 所示。

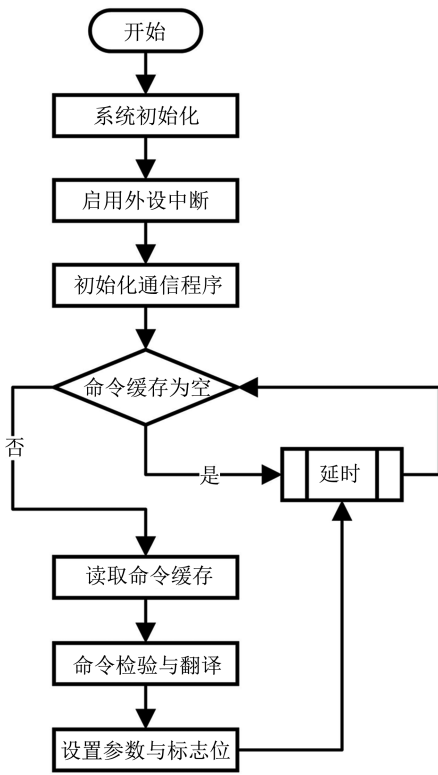


图 8 MCU 主程序循环
Fig.8 MCU main program cycle

其中,主程序轮询上位机通信数据,而定时中断则在接收到漏电流触发命令后启用 eCAP 模块进行断路器的漏电流动作时间检测。为了避免误操作,上位机与 MCU 间的通讯设置了相应的命令格式传输协议,以实现命令校验与匹配。

定时中断函数流程如图 9 所示,当触发命令标志置位时,中断开始进行漏电流动作特性测量。漏电流的动作时间采用 MCU 的 eCap 模块进行上升沿与下降沿的捕捉。为了尽量准确测量动作时间,在进行漏电流动作过程中,关闭与上位机的通讯,直至测量结束。MCU 测量时间点 T1、T2 分别对应 CT_PLUSE 的上升沿与下降沿。

3.2 人机交互软件设计

GUI(Graphical User Interface),即人机交互界面的设计有助于提高检测软件的运行效率。本文采用 VB.Net 编写运行于 PC 上的 GUI 软件,从而可降低系统的硬件成本,并提高软件后期的可维护性。软件主要用于漏电流触发与漏电流动作记录。其主要功能界面见图 10。包含漏电流值设定、漏电流动作时间接收、检测数据记录等功能。

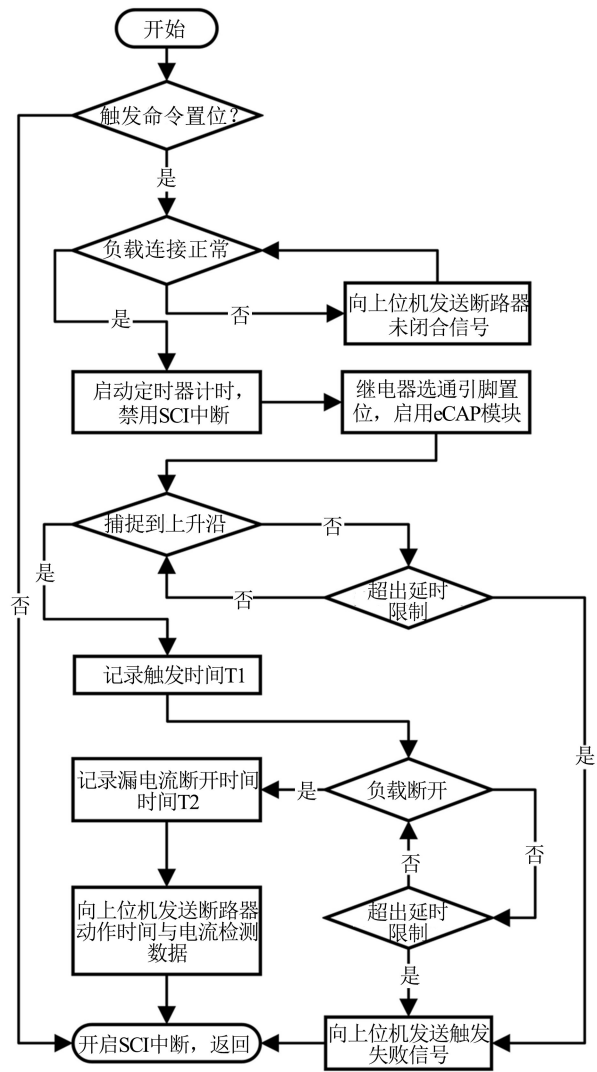


图 9 定时器 Time1 中断函数
Fig.9 Timer Time 1's interrupt function



图 10 上位机软件基本功能

Fig.10 Basic functions of host computer's software

4 样机检测实验

所搭建的实验装置如图 11 所示,其工作流程如上述所述。实验可知,通过采用微控制器进行漏电流断路器的动作特性检测,可以更加快速准确的测量漏电断路器的动作时间。

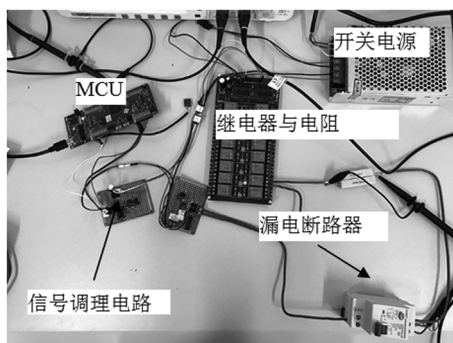


图 11 实验装置

Fig.11 Experimental facility

5 结论

本系统用于精确测量 RCBO 的漏电流动作特性,并与上位机进行通讯,实现产品动作特性的记录与检测参数配置。采用 TMS320F28379D 双核微控制器作为控制核心,实现 RCBO 漏电流特性的检测。通过系统软硬件的设计以及上位机软件的联合调试,验证了本系统设计的可行性与准确性。该系统极大地提高了现有 RCBO 特性检测的效率,节约了人工成本与检测时间。

参考文献:

- [1] 张麦奇,林其友,陈文忠,等. 剩余电流断路器动作特性在线智能检测专机设计[J]. 电器与能效管理技术, 2016(10): 47-50, 55.
- [2] 胡敏,高孝天. B型剩余电流动作断路器测试仪的研究与设计[J]. 电器与能效管理技术, 2016(13): 28-32.
- [3] 朱遵义. 剩余电流监视器的设计与应用[J]. 低压电器, 2007(24): 26-29.
- [4] 张宁. 智能剩余电流断路器通信管理和远程监控技术的研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2013.
- [5] 刘灿. 基于虚拟仪器的智能剩余电流断路器监控系统[D]. 天津: 河北工业大学, 2012.
- [6] 许穗海. 剩余电流断路器的原理及选用[J]. 广东科技, 2009(6): 40-41.
- [7] 苏邯林,郑永刚. 小型剩余电流动作断路器的现状与发展趋势[C]//中国电工技术学会低压电器专业委员会第十六届学术年会论文集, 2012: 63-67.
- [8] 林芳建,李伟泽,许家峰,等. 带载剩余电流动作特性试验方法研究[J]. 电工电气, 2012(4): 50-51.
- [9] 李君,邓天军. 剩余电流检测电路浅析[J]. 河南科技, 2014(10): 107.
- [10] 王文广,吴健,邱书明,等. 具有剩余电流保护功能断路器测试台[J]. 电气传动, 2016, 46(11): 61-64.

(特约编辑:黄家瑜)