

终端用户开关柜多功能微机保护装置

武建文¹, 黄毕尧¹, 张少渤², 廉世军²

(1. 北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院, 北京 100083; 2. 珠海可利电气有限公司, 广东 珠海 519015)

Multifunctional Microcontroller-based Protection Unit for Switchgear of Terminal Users

WU Jian-wen¹, HUANG Bi-yao¹, ZHANG Shao-bo², LIAN Shi-jun²

(1. School of Automation Science and Electrical Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China; 2. Zhuhai Keli Electric Group Ltd., Zhuhai 519015, China)

摘要: 针对12 kV 配电网终端用户变电站、户内外环网柜等进线开关柜的特点, 设计了一种基于16位单片机控制的多功能终端用户开关柜微机保护装置。该保护装置自具电源, 基于热量累积原理实现快速高精度相电流反时限保护方法, 实现对相电流和零序电流三段式保护。根据主回路断相和CT断线故障时相电流符号特征及电流值特点来识别故障类型。故障电流录波, 液晶显示, CAN总线通讯接口与其它保护装置及上位机之间远程通讯。实验结果表明, 动作时间及电流动作值精度在2%以内, 保护装置运行稳定可靠。

关键词: 微机保护; 热量累积; 反时限特性;

开关柜; 终端用户

中图分类号: TM774

文献标识码: A

Abstract: Aiming at the incoming line switchgear cabinet characteristics of 12 kV distribution network terminal substation and main unit, this paper presents a multifunctional digital protection set of terminal user switchgear based on 16-bit microprocessor. The power of the protector is supplied by itself from the CT. Based on thermal cumulate principles, a rapid and high precision inverse-time phase-sequence over-current protection is implemented. Three stages phase-sequence current and zero-sequence current protection can be implemented. Main circuit phase-lack fault and CT wire-break fault can be identified by the current signs and values. Fault current recording is displayed by liquid-crystal and current curve diagram can be transmitted to PC and therefore analyzed. It can communicate with other protection apparatus based on CAN field-bus. Test results show that time duration and current operating value precision are less than 2%, and the functions of the protection device are reliable.

Key words: digital protection; thermal cumulation; inverse-time characteristic; switchgear; terminal user

0 引言

12 kV 配电网终端用户变电站、环网系统开闭所进线开关柜、户内外环网柜及箱式变电站进线开关柜通常采用断路器保护, 出于体积及经济性考虑, 一般不设直流屏和继电保护屏, 要求保护装置自具电源; 在含有架空输电线路时, 为去除瞬时性故障, 要求具有重合闸功能; 随着配电自动化、楼宇自动化的发展, 要求开关柜具有“四遥”功能。传统电磁式过流继电器无需电源, 但功能单一, 可靠性差。目前的综合微机保护装置功能强, 但需要直流屏, 适合中大型变电站的继电保护。文[1]提出的12 kV终端用户微机保护装置自具电源, 采用8位单片机, 实现对相电流、零序电流保护, 但受硬件电路局限, 只能测主回路断相故障, 采用拨码开关设置参数和RS-485通讯方法, 无法适应微机继电保护技术向保护、控制、测量、数据通信和计算机网络一体化方向发展的需要。因此, 设计了一种自具电源、故障诊断功能强、运行维护简单、具有CAN总线通讯接口的多功能终端用户开关柜微机保护装置。

1 保护装置的功能特点

(1) 自具电源和自检功能。城市配电网为节约占地面积, 降低成本, 在不设直流屏和继电保护屏的场合, 要求保护装置自具电源。该装置在所保护电网的0.2~20倍额定电流之间均可正常工作。

(2) 自动重合闸功能。由于架空输电线路发生的故障多为瞬时性故障, 因而在线路短路故障电流被断开之后, 在极短时间后重新合闸, 瞬时性故障被去除, 恢复供电, 可提高供电的可靠性。保护装置可设置两次重合闸功能, 第1次重合闸的最短时间可设定到300 ms。

收稿日期: 2006-07-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50477002); 航空基础科学基金资助项目(05F51021)。

作者简介: 武建文(1963-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为智能电器控制及电力系统配电自动化。

(3) 相序电流保护功能。相序电流保护可设置为三段反时限和定时限过流保护, 定时限、反时限时间整定值和电流整定值均可以连续设置。

(4) 零序电流保护功能。该保护装置采用有源滤波, 利用超微晶材料制成高灵敏零序电流互感器, 实现零序小电流测量保护。

(5) 主回路断相和 CT 断线识别与保护功能。

(6) 液晶完成参数的实时显示和设置。采用低功耗液晶白光光源背光, 电网电流、电压等参量可在液晶屏上实时显示, 参数设置界面友好, 易维护, 易使用。

(7) 通讯功能。CAN 现场总线抗干扰能力强, 实时性好, 装置的 CAN 总线接口可与其它保护装置及上位机之间实现远距离通讯。

(8) 故障录波和回放功能。保护装置可存储最近的 16 次故障电流波形, 通过上位机对波形进行故障分析。

2 硬件原理

2.1 硬件总体结构

控制芯片 CPU 选用 MC9S12DP256 高性能 16 位单片机, 该单片机具有丰富的 I/O 功能, 包括 49 个数字 I/O 信道、两路 SCI 信道、片上集成 CAN 总线控制器、多路定时器及两个 8 通道 10 位的 A/D 转换器等。丰富的 A/D 和 I/O 口满足模拟量测量和开关量采样要求, CPU 内部总线频率可高达 25 MHz。单片机内部有 4 k 字节的 EEPROM, 256 k 字节的 FLASH 和 12 k 字节的 RAM。无需外扩芯片, 可提高保护装置工作的稳定性和可靠性, 满足恶劣电磁环境下的工作要求。保护装置系统硬件结构见图 1, 其中: 输入信号处理包括电流、电压、各种开关信号的采集和硬件滤波处理; 输出驱动电路将微机信号功率放大后驱动断路器分合闸线圈, 实现分合闸; RS-232 通讯实现保护装置与上位机短距离通讯, 对故障电流录波和回放。下面将要介绍其它主要硬件。

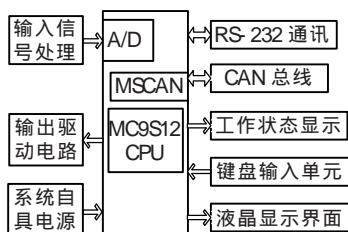


图 1 保护装置硬件结构

2.2 主要硬件

(1) 自具电源

如图 2 所示, 电流互感器 CT₁, CT₂ 和 CT₃ 原边输入接到三相主回路电流互感器的副边输出, 额定电流为 5 A。通过电流互感器 CT₁, CT₂ 和 CT₃ 从电网获取交流电流, 然后通过电流整流电路和 I/V 变换电路处理后, 稳压电路得到 26 V 的稳定直流电压。

采用并联型稳压电路, 负载特性好, 既作为保护装置的电源, 也作为断路器分闸和合闸脱扣器操作线圈的电源。交流 220 V 电源经过变比为 10:1 的降压变压器, 再经电压整流电路和稳压电路获得 26 V 直流电压, 作为保护装置电池的预充电电源, 可以保证关合短路故障时迅速切除故障。保护装置运行时实时检测自身电源, 如果电源异常, 则电源自检指示灯闪烁提示, 停止正常故障判断工作和闭锁输出信号。

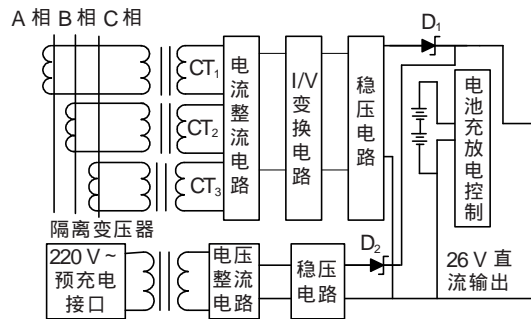


图 2 自具电源原理

(2) 液晶显示

液晶显示具有许多优点, 如显示零辐射、低功耗、体积小、屏幕调节方便、显示画面稳定不闪烁等, 在工控产品中应用广泛。电网电压电流等参量可在液晶屏上实时显示, 采用低功耗白光光源背光技术。保护装置菜单参数设置界面友好, 易维护, 易使用。单片机通过控制信号线和数据地址复用线控制液晶模块, 原理见图 3。

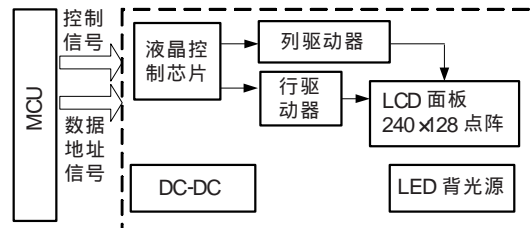


图 3 液晶控制原理

(3) 通讯功能

通常变电站监控系统中主要使用 BIBUS 网和 RS-485 网, 这两种网络上只能有一个主节点, 无法构成多主冗余系统, 导致系统可靠性较差; 数据通信方式是命令式, 从节点只有在收到主节点的命令后才能响应, 一些重要的监测信息得不到及时上送, 致使系统灵活性、实时性差; 另外, BIBUS 网和 RS-485 网的纠错能力差。CAN 总线则能克服以上缺点, 采用多主冗余结构, 纠错能力强^[2]。

单片机内嵌的 CAN 总线控制器 MSCAN 模块符合 CAN2.0A/B 标准, 支持标准模式和扩展模式的数据帧和远程帧。CAN 收发器的设计选用 MC33388, 见图 4。发送时, CPU 将数据送入发送缓冲区, 然后通过设置寄存器发出命令, 数据编码成报文后通过发送引擎送到 TxCAN, 再经收发器送到总线。接收时, 收

发引擎通过外部收发器将总线上的数据位流引入 RxCAN, 经过解码、错误检查、校验和报文过滤后送到接收缓冲区, 并通过中断或者标志通知 CPU。

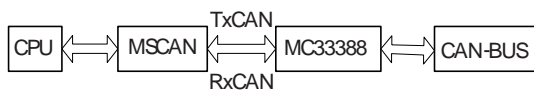


图 4 CAN 现场总线实现原理

CAN 通信模块程序中的接收主要包括分闸、合闸、重合闸等控制命令数据的接收。发送子程序的任务主要是完成各种保护装置之间的工作状态如分闸次数、分闸时间、电压电流等监测数据的共享和工作状态的上传。

3 故障处理

3.1 基于热量累积原理的相序过流反时限特性处理

导体上流过电流时必将伴随有热量的积累, 反时限过流保护本质上是基于负载的热特性的一种过流保护方法。当过流倍数较大时, 保护装置以较短的延时时间动作; 当过流倍数较小时, 保护装置以较长的延时时间动作。其难点在于过流反时限特性实现中, 在计算延时时间时, 电流在不断地变化。反时限电流保护的任务就是使保护特性曲线与负载过流时的热特性曲线以尽可能高的精度匹配, 既不存在过早切除故障而带来的保护选择性变差问题, 也不存在过迟切除故障而烧毁负载。

国内反时限延时保护中主要采用 IEC 255-3 规定的 3 种反时限特性。为了使标准曲线中时间整定值的物理意义直观, 3 条曲线具有统一明确的量化参数, 并与电磁型和晶体管型反时限继电器时间整定值定义一致, 以 10 倍过流对应的动作时限 T_{ps} 为电流整定值。变换后的 3 种反时限特性曲线方程如下:

一般反时限 (MI):

$$t = \frac{0.047}{\left(\frac{I_f}{I_{ps}}\right)^{0.02} - 1} T_{ps} \quad (1)$$

非常反时限 (VI):

$$t = \frac{9}{\left(\frac{I_f}{I_{ps}}\right) - 1} T_{ps} \quad (2)$$

极度反时限 (EI):

$$t = \frac{99}{\left(\frac{I_f}{I_{ps}}\right)^2 - 1} T_{ps} \quad (3)$$

式 (1) ~ 式 (3) 中: t 为保护装置动作时间, s; I_f 为故障电流, A; I_{ps} 为电流整定值, A; T_{ps} 为 10 倍过流时的延时时间整定值, s。

过流故障处理过程为: 当发生故障时, 根据每次 t 时间内的故障电流 I_{fi} , 查表求对应的电流热功率 q_i , 从对应被保护设备可耐受临界热量值 Q_0 中不断

减去 q_i , 直到 Q_0 小于或等于零时分闸。该方法与传统的反时限处理算法^[3-5]相比, 具有处理过程无需乘除法运算, 速度快, 精度高的特点。

3.2 断相断线故障的识别处理

假设 C 相 CT 断线, 则 A, B 两相电流相位差为 120°; 其波形如图 5 所示, 在一个周期内, 见图 5 中的 L_1 和 L_2 之间, A 相电流和 B 相电流符号相同的时间占一个交流周期的 1/3, 符号相反的时间占一个交流周期的 2/3。而当主回路 C 相断相, 则 A, B 两相的波形如图 6 所示, A, B 两相电流相位差为 180°; 见图 6 中的 L_3 和 L_4 之间, A, B 两相电流符号全部相反。

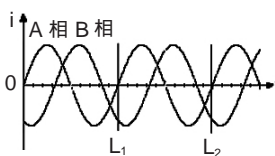


图 5 C 相 CT 断线, A, B 两相电流波形

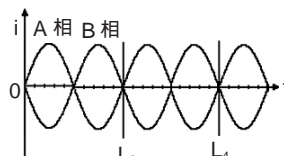


图 6 C 相断相, A, B 两相电流波形

程序判断过程: 首先根据故障相电流为零的特点, 确定主回路断相或者 CT 断线的故障相。然后根据剩余两相的符号特征, 判断最终是主回路断相故障还是 CT 断线故障。

4 主程序流程和试验结果

主程序流程见图 7。程序初始化完成后, 当需要重新设置参数时, 程序进入维护态, 不需要重新设置参数时, 程序进入运行状态。维护态程序任务是擦写 FLASH 和 EEPROM 存储器, 结合液晶显示界面设置参数, 把时间整定值、启动电流值, 整定电流值、反时限类型等存储到 EEPROM 存储器中; 基于热量累积原理, 根据反时限类型、时间整定值以及电流整定值, 计算出故障电流 I_{fi} 与热功率 q_i 间对应关系数据表, 并把数据表写到 FLASH 存储器中。液晶显示运

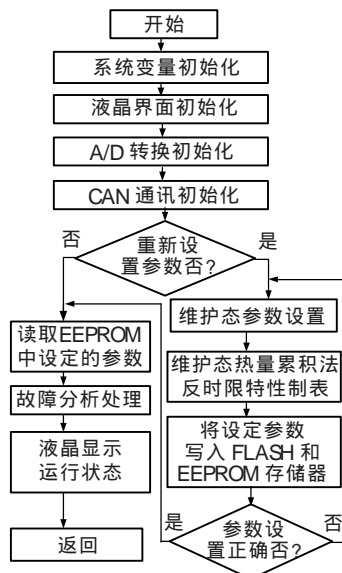


图 7 主程序流程图 (下转第 416 页)

看出, 该方法全面反映了雷电冲击下杆塔的物理特征, 它既反映了杆塔的电感和电容参数特性, 还体现了杆塔的损耗特性(包括传导损耗和介质损耗)。

初步计算了杆塔周围雷击电磁场的分布, 说明电场近区幅值远远大于远区辐射场。

笔者只是初步分析了数值电磁场程序用于分析电力杆塔雷击浪涌响应的效果, 而用该程序分析雷击杆塔时杆塔附近的电磁场分布情况, 进而计算出架空线路的感应过电压, 才是采用数值电磁场方法的最终目的。

参考文献:

[1] Shoory A, Moini R, Sadeghi S H H. Analysis of Lightning Electromagnetic Fields in the Vicinity of a Lossy Ground, Using a New Antenna Theory Model [C]// Power Tech Conference Proceedings, 2003 IEEE Bologna, 2003, 1(6): 23-26.

[2] IEEE Working Group Report. Estimating Lightning Performance of Transmission Lines II, Updates to Analytical Models[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1993, 8(3):1254-1267.

[3] Groev L, Rachidi F. On Tower Impedance for Transient Analysis[J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 2004, 19(3): 1238-1245.

[4] Baba Y, Ishii M. Numerical Electromagnetic Field Analysis on Measuring Methods of Tower Surge Impedance [J]. IEEE

Trans. on Power Delivery, 1999, 14(2): 630-635.

[5] Ishii M, Baba Y. Numerical Electromagnetic Field Analysis of Tower Surge Response[J], IEEE Trans. on Power Delivery, 1997, 12(1): 483-488.

[6] Rachidi F, Janischewskij W, Hussein A. M, et al. Current and Electromagnetic Field Associated with Lightning-return Strokes to Tall Towers [J]. IEEE Trans. on EMC, 2001, 43(3): 356-367.

[7] Pokharel R K, Ishii M, baba Y. Numerical Electromagnetic Analysis of Lightning Induced Over Ground of Finite Conductivity[J]. IEEE Trans. on EMC, 2003, 45(4): 651-656.

[8] Ishii M, Baba Y. Advanced Computational Methods in Lightning Performance. The Numerical Electromagnetics Code [C]// Power Engineering Society Winter Meeting, 2000. IEEE. 2000, 4(1): 2 419-2 424.

[9] Goni M O, Cheng P T, Takahashi H. Theoretical and Experimental Investigations of the Surge Response of a Vertical Conductor [C]// Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002. Asia Pacific. IEEE/pes. 2002 2(10): 699-704

[10] Chowdhuri P, Li S, Yan P. Rigorous Analysis of Back-flashover Outages Caused by Direct Lightning Strokes to Overhead Power Line [J]. IEE Proc-gener. Transm. Distrib. 2002, 149(1): 58-65.

[11] 莫付江, 陈允平, 阮江军. 传输线杆塔模型与防雷性能计算研究[J]. 电网技术, 2004, 28(21): 80-84.

[12] 莫付江, 陈允平, 阮江军. 架空输电线路雷击感应电压过电压耦合机理及计算方法分析[J]. 电网技术, 2005, 29(6): 72-77.

(上接第 412 页) 行态实时电压、电流等电量参数; 故障分析包括相序电流故障、零序电流故障、主回路断相与 CT 断线故障、电源故障的分析; 故障分析处理包括反时限曲线处理、自动重合闸、故障存储、故障录波、CAN 总线通讯。

采用微型继电保护测试装置 PW30 进行模拟实验, 该装置能模拟各种故障, 输出的标准 50 Hz 交流电流有效值可达 90 A。图 8 为变换后的 3 种反时限特性曲线, 电流整定值 $I_{ps}=5$ A, 时间整定值 $T_{ps}=50$ ms, 其中横坐标为过流倍数, 纵坐标为延时时间, 曲线上的点为测试数据点。动作时间及动作电流值精度在 2% 以内。

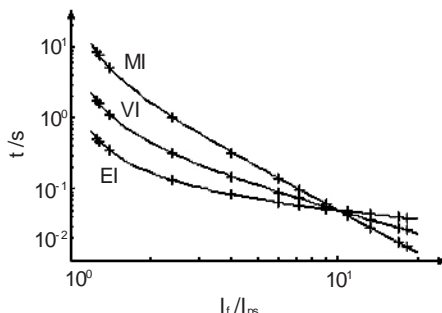


图 8 反时限特性曲线测试数据分布

针对保护装置所处的恶劣的电磁运行环境, 在数据采集通道, 对自具电源和控制面板等容易受到干扰的敏感部位加强了电磁兼容设计, 从而顺利通

过了瞬变脉冲群, 雷击浪涌和静电等抗干扰试验。对该装置的其它功能也做了相应的实验。总体性能均达到预期目标。

5 结语

设计的保护装置基于热量累积原理, 利用 3 种反时限特性对相序电流进行反时限保护, 同时, 可实现对相序和零序电流进行定时限保护, 电流动作值和动作时限精度达到 2%。该保护装置的特点是具有快速高精度的反时限特性处理能力, 故障诊断能力强。采用上位机对故障录波进行分析, 具有电源自具、液晶显示、CAN 总线通讯、电磁兼容性强等特点, 为 12 kV 终端用户开关柜保护和实现配电自动化提供了一种实用的解决方案。

参考文献:

[1] 武建文, 王小波. 一种终端用户开关柜微机保护装置 [J]. 高压电器, 2004, 40(2): 132-134.

[2] 陶 瑜. 三峡-广州直流输电工程 CAN 总线设计特点[J]. 电力设备, 2005, 6(6): 31-33.

[3] 徐厚东, 黄益庄. 微机反时限过流保护算法 [J]. 清华大学学报(自然科学版), 2006, 46(1): 1-4.

[4] 严支斌, 尹项根. 新型微机反时限过流保护曲线特性及算法研究[J]. 继电器, 2005, 33(8): 44-46.

[5] Benmouyal G. Design of a Multi-curve Time-overcurrent Relay [J]. IEEE Tans. on Power Delivery, 1990, 5(4):1 725-1 731.