

低压配电线路保护装置的设计

目前安装在低压配电线路上的继电保护装置大都采用传统模拟式继电器,只有比较重要的低压配电线路才装设微机继电保护装置。针对当前存在的因微机继电保护装置价格昂贵而不能普及的问题,设计了一款低成本简单的低压配电线路保护装置。该装置采用高性能单片机和高准确计量芯片,利用傅里叶算法作为数字滤波器和有效值的计算,实现瞬时电流、限时电流速断保护以及欠电压和过电压保护功能,同时可准确测量电网参数。本装置经现场测试,完全满足低压配电线路保护的要求。

于 群¹ 张智宇^{1,2} 于梦瑶¹ / 1. 山东科技大学电气与自动化工程学院
2. 国网山东省电力公司济宁供电公司



于 群/副教授

《低压配电设计规范》第4.1.1条规定:低压配电线路应装设短路保护、过负载保护和接地故障保护,作用于切断供电电源或发出报警信号^[1]。而目前安装在低压配电线路上的继电保护装置大都采用传统模拟式继电器^[2],只有比较重要的低压配电线路才装设微机继电保护装置^[3]。针对传统模拟式继电器存在的弊端和普通的微机继电保护装置价格昂贵而不能普及的问题,本文利用低成本高性能的元件设计了一款低压配电线路保护装置,实现了低压配电线路保护功能的专一化,进而推动低压配电网的智能化发展。

关键词/Keywords

低压配电线路·
继电保护·
傅里叶算法·
单片机·
计量芯片·

本装置采用高性能的C8051F021单片机作为保护单元控制器,高准确的ATT7022EU计量芯片作为测量单元以及性价比高的STC15L2K60S2单片机作为人机接口单元控制器,利用傅里叶算法实现数字滤波器和有效值的计算,来实现瞬时电流、限时电流速断保护,欠电压和过电压保护功能,同时可准确测量并显示当前电网的电压、电流、有功功

率和无功功率等参数,实现电能计费、峰谷平计量功能,并可通过RS 485或者CAN总线上传用户数据。

设计方案

传统模拟式继电器结构简单,测量、整定误差较大,操作烦琐,不便于安装在对保护动作可靠性要求较高的线路上。虽然微机继电保护装置有很多优点,但其价格偏高,使其应用范围受到限制。这是因为现在的微机继电保护装置控制器都是采用运算速度快、高性能的单DSP或者单ARM,其价格昂贵;模拟量采集单元用外置高准确度的ADC芯片,造成外围电路设计复杂;由于采用单处理器结构,使得编写和调试软件程序比较烦琐。

而本装置采用多单片机结构,每个单片机执行某一项功能,通过SPI总线互连单片机,利用单片机片上系统自带的ADC实现模拟量采集功能。与传统模拟式继电器和微机继电保护装置相比,本装置结构简单,器件利用率高,可以很好地保护用户用电安全,同时计量准确度也达到相应标准。

低压配电线路保护装置结构框图如图1所示,由电网模型单元、电压形成电路、保护单元、测量单元和人机接口单元组成。其中,C8051F021作为保护单元控制器计算故障电流;ATT7022EU作为测量单元计量芯片实时测量电网中电参量;STC15L2K60S2作为人机接口单元控制器实现参数输入、电参量显示功能。

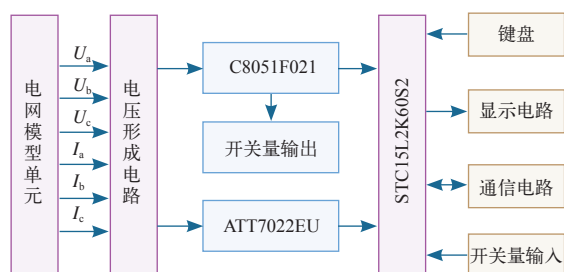


图1 结构框图

硬件设计

1. 电压形成电路

将电网中的高电压、大电流信号转换为小电压的方法有两种：一种是互感器隔离法；另一种是电阻取样法。其中，电阻取样法所需电路简单，但不具备将高压与低压侧信号隔离的功能，很容易因高压侧过电压而造成控制电路损坏。因此，本文采用互感器隔离法，将电网中高电压、大电流信号经过一次TV、TA和数据采集板上的二次小TV、TA变换后，再通过信号调理电路传至ADC中^[4]。

图2为本装置的模拟量采集电路，保护单元与测量单元共用一个微型电流互感器（二次小TA）。选用型号为元星电子生产的TA22B11，其额定输入电流为5~80 A，匝比为2 000:1。其中，测量用微型电流互感器额定电流为5 A，而保护用微型电流互感器选取的额定准确限制一次电流一般为8倍的额定电流，则保护用微型电流互感器的额定准确限制一次电流为40 A。因此，所选的微型电流互感器能够满足保护和测量的要求。微

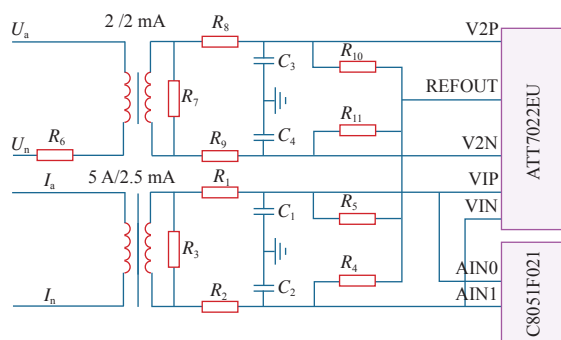


图2 模拟量采集电路

型电压互感器（二次小TV）选用型号为元星电子生产的TV31B，其输入/输出额定电流为2/2 mA，互感器一次侧需要串入110 kΩ（1 W）的限流电阻。

2. 保护单元

保护单元模块控制器选用Silicon Labs公司生产的C8051F021单片机，该单片机有以下优点。

1) C8051F021的ADC包括9通道的可编程模拟多路选择器，可编程增益放大器，100 KS/s、12 bit分辨率的逐次逼近寄存器型ADC，其可编程模拟多路选择器可以配置为单端输入或者差分输入。

2) C8051F021使用Silicon Labs的专利CIP-51微控制器内核，与标准的MCS-51指令集完全兼容。CIP-51采用流水线结构，与标准的8051结构相比指令执行速度有很大的提高。

3) C8051F021内部含有64 KB可在系统编程的Flash程序存储器和（4 096+256）B的数据存储器。硬件实现SPI接口，利用SPI总线不仅可以缩短数据交换时间，还能提高数据交换的稳定性。

其中，速度和准确度是选择ADC的关键因数，本装置单相ADC的速度为600 S/s，三相的速度即为1 800 S/s，速度上满足要求。因为额定准确限制一次电流为40 A对应单片机ADC的最大值为0x07FF，通过计算得最小分辨率为0.019 A，因此在准确度方面满足本装置保护和测量的要求。

3. 测量单元

电能表的计量芯片按原理结构分为两种：①模拟型乘法器；②数字型乘法器。前一种主要分为时分割和吉尔波特变跨导乘法器两类，后一种则根据ADC变换原理不同分成双积分型数字乘法器、逐次比较型数字乘法器和Σ-Δ型数字乘法器。其中，Σ-Δ型数字乘法器电能计量芯片因计算其准确度高、转换速度快而占据了较大的市场份额。

因此，本文选用炬泉光电公司的一款高准确度三相电能专用计量芯片ATT7022EU。内置六路二阶Σ-Δ转换器，能够计量有功功率、无功功率、视在功率、有功能量以及无功能量，同时还能测量各相电流、电压的有效值。在输入动态工作范围为1 000:1时，其非线性测量误差小于

0.1%，同时，本芯片为单+3.3 V供电，并且具有SPI接口，方便与外部MCU通信。

4. 人机接口单元

控制器选用宏晶公司生产的STC15L2K60S2型单片机，其内部含有60 KB Flash程序存储器和2 048 B数据存储器，指令系统与标准的MCS-51指令兼容；集成SPI硬件电路，在主模式下速度可以达到3 MB/s；片内含有1 KB的E²PROM，方便保存设置的参数。

软件设计

1. 计算方法

低压配电线路保护装置在得到模数变换后的电流、电压量数据后，需要利用继电保护算法，进一步计算其幅值，将得到的实时值与E²PROM中保存的整定值进行比较，从而判断是否发生故障。

而继电保护算法有很多种，如基于准确正弦模型算法、基于非正弦周期模型算法、随机函数模型算法和小波分析算法等。其中，在微机继电保护中傅里叶算法作为计算电压、电流信号幅值被广泛采用，计算公式为

$$a_n(m) = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N x(i+m-N) \sin\left[\frac{2\pi}{N} n(i+m-N)\right] \quad (1)$$

$$b_n(m) = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N x(i+m-N) \cos\left[\frac{2\pi}{N} n(i+m-N)\right] \quad (2)$$

式中， $a_n(m)$ 、 $b_n(m)$ 分别为第 n 次谐波分量在 $t=mT_s$ 采样时刻计算的正、余弦项的幅值； $x(i+m-N)$ 为 $t=(i+m-N)T_s$ 时刻的采样值； N 为每周期采样点数； $T_s=2\pi/N$ 为采样间隔。

衰减的非周期直流分量对傅里叶算法影响较大，因此在基于文献[5]介绍的傅里叶算法基础上，通过增加改进的差分算法

$$y(n) = x(n+1) - hx(n) \quad (3)$$

式中， h 为常数，与直流分量的衰减常数有关。根据式(3)来消除衰减的非周期直流分量对有效值计算准确度的影响。如图3所示，与傅里叶算法相比，采用改进差分傅里叶算法后其有效值摆动幅度减小，且有效值趋于稳定的时间也大大缩短。

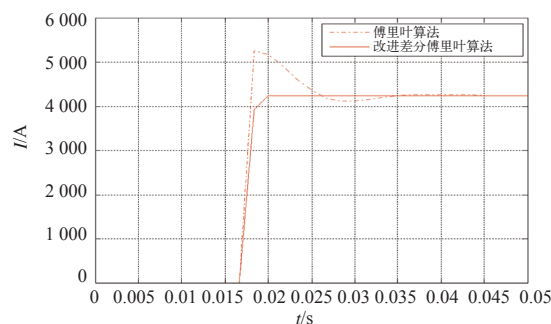


图3 Matlab算法仿真图

2. 流程图

本低压配电线路保护装置的软件设计流程图分为保护流程图和监控流程图两部分，如图4所示，C8051F021执行本装置的保护功能，STC15L2K60S2执行本装置的监控功能。

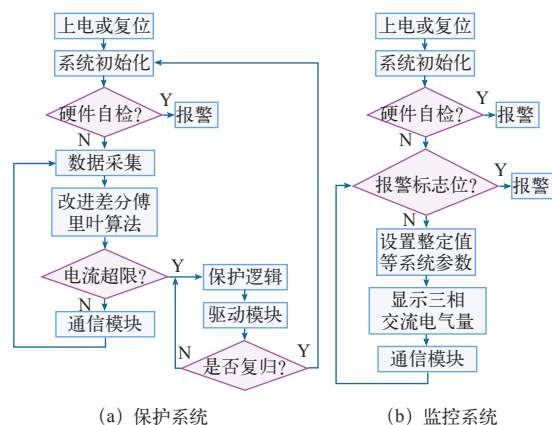


图4 系统流程图

保护系统流程图如图4a所示，装置上电或复位后进行系统初始化，然后进行硬件自检，自检通过后进行电流数据采集，利用改进差分傅里叶算法快速、准确地计算电网实时值，并将实时值与整定值进行比较，如果检测到故障则驱动继电器跳闸并发出警报。监控系统流程图如图4b所示，装置上电或复位后进行系统初始化，然后进行硬件自检，自检通过后进行报警标志位判断、设置整定值等系统参数及显示三相交流电气量。保护和监控软件设计采取程序结构化、功能模块化、设置软件陷阱和冗余设计来提高装置的抗干扰的能力。

实验测试

本文对设计的低压配电线路保护装置的速断

动作值、动作时间、电压、电流和有功功率进行试验测试。按照《继电保护及其自动化装置基本试验方法》^[6]的规定,在电流整定值为5 A的情况下测量5组电流动作值、保护动作时间,所得数据如表1所示。

表1 继电保护特性动作测试

序号	1	2	3	4	5	Ave.
I_{act}/A	5.008	5.053	5.057	5.038	4.994	5.03
T_{act}/ms	25.4	47.2	26.5	49.1	47.6	39.16
I'_{act}/A	5.008	5.039	4.994	5.053	4.991	5.017
T'_{act}/ms	503.1	502.6	511.5	495.6	484.5	499.4

表1中, I_{act} 为瞬时动作值; T_{act} 为瞬时动作时间; I'_{act} 为500 ms限时动作值; T'_{act} 为500 ms限时动作时间。由表1中瞬时动作值、瞬时动作时间可知,其动作平均误差为0.6%,动作特性满足国家标准。同时,陕西银河网电科技有限公司YH3000变电站综合自动化系统微机保护装置技术说明书指出定值准确度:电流保护固有动作时间小于50 ms。而由表1可知,瞬时电流速断平均动作时间为40 ms左右,在考虑避雷器放电时间情况下,满足保护测控装置的基本要求。

且《电子式时间继电器校准规范》^[7]计量特性指出其最大允许误差为 ± 155 ms,由表1中500 ms限时动作值、限时动作时间可知,保护动作时间满足规定的最大允许误差,且其动作特性满足国家标准。

同时,依据《多功能电能表》^[8]规定,低压配电线路保护装置监测电压、电流误差不大于0.1%,有功测量满足0.2 s级。如表2所示,表2中的电压、电流和有功功率测量数据说明该装置满足行业标准。且本低压线路综合保护装置监控系统性能指标比陕西银河网电科技有限公司YH3211线路保护测控装置(电流、电压误差和有功误差均不大于0.5%)高出一个等级。

表2 电压、电流和有功功率测量数据

实际电压/V	测量电压/V	电压相对误差 (%)
80	80.06	0.075
100	100.02	0.02
120	119.98	0.016

(续)

实际电流/A	测量电流/A	电流相对误差 (%)
4	4.001	0.025
5	5.002	0.04
6	5.999	0.016
实际功率/W	测量功率/W	功率相对误差 (%)
320	320.04	0.013
500	500.02	0.004
720	719.8	0.027

结束语

通过分析当前存在的微机继电保护装置因价格昂贵而不能普及的问题,本文研制了一套低压配电线路保护装置。通过分析测试数据可知,其瞬时速断动作特性、限时速断动作特性和计量电量参数准确度均达到行业标准。因此,由于本装置能够以低成本同时实现保护的快速性和监测的准确性,故可在低压配电系统中得到广泛应用。

参考文献

- [1] GB 50054—2011 低压配电设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2012.
- [2] 吴德刚,赵利平,李佳滨. 基于简单电路实现的一种新型反时限过流保护器[J]. 电测与仪表,2013,50(2): 104-107.
- [3] 郁景礼,周有庆,王洪涛. 基于TMS320F2812的中低压线路保护装置的研制[J]. 电气应用,2007,26(2): 46-49.
- [4] 杜玉宇,于群,史青禾,等. 基于C8051F020多通道交流采样电路设计[J]. 电气技术,2012(8): 95-97.
- [5] 于群,曹娜. 电力系统微机继电保护[M]. 北京:机械工业出版社,2010.
- [6] GB/T 7261—2000 继电器及装置基本试验方法[S]. 北京:中国标准出版社.
- [7] JJF 1282—2011 电子式时间继电器校准规范[S]. 北京:中国质检出版社.
- [8] DL/T 614—2007 多功能电能表[S]. 北京:中国电力出版社,2008.

(收稿日期:2014-06-13) EA