

曲线拟合法在反时限过流继电器中的应用

吴红斌, 丁明, 李生虎

(合肥工业大学电气与自动化工程学院, 安徽 合肥 230009)

摘要: 对通用的三种标准反时限特性曲线的数学模型进行了分析, 提出了一种用曲线拟合的算法, 根据拟合结果研制成的微机线路保护装置, 经测试, 继电器的动作特性较好, 具有较高的工程实用价值。

关键词: 曲线拟合法; 反时限; 微机保护

中图分类号: TM771 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2003)06-0035-03

1 引言

在输电线路保护中, 反时限过流继电器具有自适应功能: 故障点越靠近电源, 故障电流就越大, 动作时间越短; 在远端短路时, 动作时间变长。因此, 一般情况下, 反时限过流保护可以用较短的平均动作时间切除故障; 而定时限过流继电器由于受系统运行方式的影响, 往往不能同时满足灵敏度和动作范围的要求。因此, 反时限过流继电器在继电保护, 特别是终端单电源侧的输电线路中得到了广泛应用^[1-3]。

根据国际电工委员会(IEC255-3)的规定, 输电线路反时限过流继电器一般采用以下三种标准的反时限特性方程:

(1) 一般反时限

$$t = \frac{0.014T_p}{(I/I_p)^{0.02} - 1} \quad (1)$$

(2) 非常反时限

$$t = \frac{1.35T_p}{(I/I_p) - 1} \quad (2)$$

(3) 极端反时限

$$t = \frac{8.0T_p}{(I/I_p)^2 - 1} \quad (3)$$

式(1)、(2)、(3)中: t 为继电器的动作时间; T_p 为时间定值常数; I_p 为反时限继电器启动电流的有效值; I 为故障电流的有效值。

对于上述的三种特性曲线, 后两种的计算比较简单, 但对于一般反时限特性曲线而言, 大多数微机保护装置采用的是分区查表法^[4-5], 而查表法需要占用大量的 ROM 空间, 对装置的硬件提出了更高的要求。

本文从软件的角度出发, 提出一种用二次函数曲线拟合的方法, 从软件上来拟合反时限特性曲线,

文中分析了拟合结果带来的误差, 最后给出了采样处理程序中反时限继电器的程序流程框图。

2 反时限特性曲线的拟合实现

2.1 三种反时限继电器统一动作判据公式

将式(1)~(3)合并为一个统一的公式:

$$t = \frac{T_p'}{(I/I_p)^r - 1} \quad (4)$$

其中:

$r = 0.02$, $T_p' = 0.014T_p$ 时, 为一般反时限;

$r = 1.0$, $T_p' = 1.35T_p$ 时, 为非常反时限;

$r = 2.0$, $T_p' = 8.0T_p$ 时, 为极端反时限。

将公式(4)简化, 可得:

$$t \cdot [(I/I_p)^r - 1] = T_p' \quad (5)$$

将时间 t 进行 n 等分, 每一等分的时间间隔为采样时间间隔 Δt , $\Delta t = 1.25\text{ms}$ (设每周期采样点数为 16 点), 则上式可以进一步简化为:

$$n \cdot \Delta t \cdot [(I/I_p)^r - 1] = T_p' \quad (6)$$

将 Δt 移到等式的右边, 有:

$$n \cdot [(I/I_p)^r - 1] = T_p' / \Delta t \quad (7)$$

用二次函数曲线对 $(I/I_p)^r - 1$ 进行拟合, 即令:

$$(I/I_p)^r = 1 + a + b \cdot (I/I_p) + c \cdot (I/I_p)^2 \quad (8)$$

将公式(8)代入公式(7)中, 并在每一采样间隔 Δt 内, 对式(7)进行累加和, 有:

$$\sum [a + b \cdot (I/I_p) + c \cdot (I/I_p)^2] = T_p' / \Delta t \quad (9)$$

将公式(9)左右两边同时乘以 I_p^2 , 得:

$$\sum [aI_p^2 + bI_p + cI^2] = I_p^2 T_p' / \Delta t \quad (10)$$

从式(10)可得: 当电流 I 大于反时限启动电流 I_p 时, 保护装置 CPU 仅需在采样中断程序中对式(10)的左边进行累加, 当累加值大于等于右边的定值时, 反时限过流继电器动作出口。

因此,保护装置的实际动作方程为:

$$\sum [aI_p^2 + bI_p + cI^2] \geq I_p^2 T_p' / \Delta t \quad (11)$$

2.2 二次曲线系数的求取

对比公式(8),对应于三种不同的反时限特性曲线,其对应的 a 、 b 、 c 三个系数的求取如下:

(1)非常反时限

对比公式(8),可以得到 a 、 b 、 c 三个系数的值为 $a = -1$, $b = 1$, $c = 0$ 。

(2)极端反时限

对比公式(8),可以得到 a 、 b 、 c 三个系数的值为 $a = -1$, $b = 0$, $c = 1$ 。

(3)一般反时限

根据 I/I_p 的比值,将曲线分成七个区段,对应于不同的区段,特性曲线的变化率也不同,为保证拟合的精度,每一区段中步长的选取也不相同,在曲线变化快的区段,选取的步长小,在曲线变化平缓的区段,选取的步长较长。根据最小二乘法原理,应用 Visual C++ 语言编程,对应于不同的区段,利用二次曲线函数(式(8))拟合,最后求得的 a 、 b 、 c 三个系数的值如表 1 所示。

表 1 曲线拟合后求出的 a 、 b 、 c 的值
Tab.1 The value of a 、 b 、 c by curve-fitting

I/I_p	a	b	c
0~1	-12350	28307	-16982
1~2	-4554	5496	-916
2~3	-2430	3260	-324
3~4	-1065	2332	-165
4~5	-50	1819	-100
5~6	760	1492	-67
6~20	2378	999	-29

注: a 、 b 、 c 的值放大了 200000 倍,表 1 中第一区段的数据在装置的软件应用中并没有采用,在此只表示对该算法的数学分析。

2.3 拟合曲线的误差分析

为简化起见,本文只对表 1 中七个区段的中间值进行分析,经过理论计算和拟合计算所得的分析结果见表 2 所示。

从表 2 中可以看出,通过利用二次曲线拟合,并结合最小二乘算法,理论计算值和拟合计算得出的值之间的误差很小。因此,该算法具有较高的计算精度。

表 2 曲线拟合的结果比较

Tab.2 The comparison by curve-fitting

I/I_p	理论计算值	拟合计算值
0.5	0.98623270479	0.98779000
1.5	1.00814227142	1.00814500
2.5	1.01849476242	1.01847500
3.5	1.02537177978	1.02537875
4.5	1.03053856812	1.03055250
5.5	1.03468285666	1.03469625
13.0	1.05263757013	1.05232000

3 装置的硬件及软件设计

根据上述原理设计了包含反时限过流继电器的微机线路保护装置,为了使装置具有通用性,除设置有三种反时限曲线特性的过电流保护外;还设有一段电流定值、时间定值可分别整定的定时限过电流保护;分散的低周减载功能,可以经控制字选择低电压闭锁和滑差闭锁功能;三相一次重合闸,重合闸有保护启动和开关位置不对应启动两种方式;可以用控制字选择的重合闸前加速或后加速功能;同时,为配合变电站综合自动化的需要,保护装置还具有遥测、遥信、遥控等功能。

3.1 装置的硬件设计

保护装置采用以 Motorola 32 位单片机 68F333 作为 CPU,该芯片内部集成 RAM、ROM、定时器等,具有总线不出芯片(All-in-one-chip)的特点,并且 CPU 主板采用四层印制板,大部分的芯片采用贴片式封装,应用波峰焊工艺,使得装置的抗干扰性能得到了极大的提高。

交流输入部分选用高精度的 PT、CT,测量 CT 和保护 CT 分开,A/D 转换器采用 14 位 A/D 转换,具有很高的分辨率。

装置与上位机之间设置有两种通讯接口,RS485 和 CAN-BUS 方式,通讯规约采用 IEC-105-103 规约。

装置的开入、开出部分全部采用光电隔离技术,提高了抗干扰能力。出口部分采用三极管放大回路,提高了出口的驱动能力。

保护装置采用全汉化的液晶界面,人机对话方便。同时还配备有笔记本电脑维护的 RS-232 接口。

3.2 软件设计方案

软件采用模块化的设计思想,整个程序分为主程序、采样中断程序、故障处理程序、通信接口程序。程序具有完善的自检功能,自检程序定时对装置的

硬件进行循环自检,一旦发现装置的硬件故障,闭锁保护出口电源,同时发装置告警信号,并通过网络上传。

装置中设置有硬件和软件 Watchdog 电路,一旦程序由于干扰“跑飞”,通过硬件和软件将程序复位,防止保护装置误动或拒动。

采样中断中反时限过流保护的软件流程框图如图 1 所示。

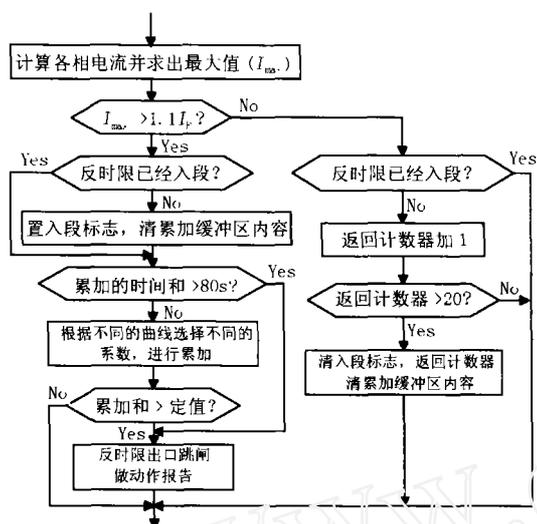


图 1 反时限过流保护程序流程框图

Fig. 1 The block diagram of inverse overcurrent protection program

对于反时限过流保护,在程序的处理上有以下几个需要说明的地方:

(1)反时限计算的电流值为三相电流中的最大值;

(2)反时限的累加计算在中断中进行,每周按照 16 点($\Delta t = 1.25 \text{ ms}$)计算;满足返回条件后,将累加计数器清零立即返回;

(3)当计算得出的最大相电流有效值大于 $1.1I_p$ (启动电流)时,反时限过流继电器才开始累加计时,如果最大相电流有效值小于 $1.1I_p$ 持续 20 次以上,

反时限将累加计数器单元清零后返回;

(4)当 $I/I_p \geq 20$ 时,保护按照定时限过流继电器出口动作;

(5)反时限继电器的最长动作时间为 80 s(满足启动条件后,80 s 仍不动作,立即跳闸)。

4 结论

通过将 $(I/I_p)^r$ 用二次函数进行拟合,从保护软件的计算量来看,并没有增加,但是,利用这种方法却节省了大量的 ROM 空间,通过对利用该原理研制成的微机线路保护装置的测试结果来看,精度较高,在动作时间小于等于 1 s 时,误差在 $\pm 15 \text{ ms}$ 之内;动作时间大于 1 s 时,误差不大于 $\pm 1.5\%$;因此具有较高的工程应用价值。

参考文献:

- [1] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 1997.
- [2] 窦秉国, 彭彪, 赵梦华, 等. 微机式反时限过电流保护整定配合的辅助计算软件[J]. 电力自动化设备, 1998, 18(4)
- [3] 宋斌. 具有不同特性的微机反时限过流继电器的实现[J]. 电力系统自动化, 2001, 25(17): 57-59.
- [4] 祖伟, 姚晴林, 王宝君. 微机反时限过流继电器的研究[J]. 合肥工业大学学报, 1996, 19(3).
- [5] 伍叶凯, 邹东霞. 适用于输电线路的单片机反时限过流保护[J]. 继电器, 1996, 24(4): 21-25

收稿日期: 2002-10-14

作者简介:

吴红斌(1972-), 男, 博士研究生, 讲师, 目前主要从事电力系统稳定、保护与控制的研究和教学工作;

丁明(1956-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事电力系统可靠性、电力市场、电力电子、可再生能源技术等领域的研究和教学工作;

李生虎(1974-), 男, 博士研究生, 讲师, 目前主要从事电力系统可靠性的研究和教学工作。

Application of curve-fitting for inverse time overcurrent relays

WU Hong-bin, DING Ming, LI Sheng-hu

(Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: This paper analyzes in detail the models of three inverse time over-current curves and presents a algorithm by curve-fitting. The protection has been finished by the algorithm based on Motorola 32-bits Microprocessor. It has been tested that the relay has better characteristic and better practicality worth in engineering.

Key words: curve-fitting; inverse time over-current; microprocessor-based protection