

新型微机反时限过流保护曲线特性及算法研究

严支斌, 尹项根, 邵德军, 刘革新
(华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 传统反时限过流特性曲线计算微机反时限保护延时, 存在与定时限保护的配合以及计算延时不准等缺陷。该文提出了对反时限特性曲线进行分段计算处理的方法, 改进了与定时限的配合, 提高了时限的精度。然后针对计算比较困难的一般反时限曲线, 介绍了分区查表和泰勒展开法计算时延累加量的算法。

关键词: 微机保护; 反时限过流; 分区查表; 泰勒展开法

中图分类号: TM771 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2005)08-0044-03

0 引言

在电力系统继电保护中, 反时限电流保护是广泛应用于发电机、变压器、电动机以及输电线路的保护。由于反时限电流保护在原理上与很多负载的故障特性接近, 因此, 在很多场合比定时限电流保护具有更为优越的保护性能。

大多数被保护元件的过电流允许通过时间与其电流值的大小成反比关系, 即电流越大, 所允许通过的时间越短。为了充分发挥被保护元件的效益, 又不导致因长时间过热造成损坏, 定时限保护显然不能满足这种实际需要, 因为定时限保护要么是过早地切除被保护元件, 要么就是元件早已损坏方才动作。因此, 必须安装具有反时限特性的过电流保护^[1]。

随着微机保护技术的发展, 目前微型反时限过电流继电器广泛取代了传统的电磁式反时限过流继电器。由于微型过电流继电器具有多功能特性和良好的特性曲线, 以及其数字硬件成本的不断降低, 近年来得到大量的推广和使用。

目前微机反时限保护的实现是基于时间累加量模型, 但这种模型在电流极大时对应延时极小, 而在过流整定值附近时对应延时极大, 这样对累加时间精度以及与定时限过流保护的配合都存在缺陷, 本文将对此进行详细分析, 并介绍一种新的反时限曲线的模型。针对一般反时限曲线时间难以计算的困难, 介绍分区查表和泰勒展开法两种计算延时累加量的算法。

1 传统反时限曲线模型

1.1 传统反时限曲线特性

反时限过流保护通常基于如下的时间—电流反

时限特性:

$$I \cdot t = K \quad (1)$$

式(1)中的 K 根据保护的不同使用场合而取不同的值: 一般在被保护线路首端和末端短路时电流变化较小的情况下, 常采用定时限过流保护, 定时限可以认为是一种特殊的反时限特性, 即 $r=0$; 而在线路首末端短路时电流变化较大的情况下, 则采用非常反时限特性, 即 $r=1$; 通常输电线路采用一般反时限特性, 即 $0 < r < 1$; 反应过热状态的过流保护, 在与熔断器配合的场合则采用特别反时限特性, 即 $r=2$ 。典型的反时限特性曲线如图 1 所示, 图中 I/I_{opr} 表示电流过流倍数。

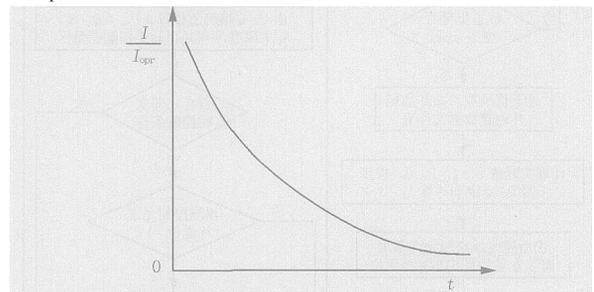


图 1 传统反时限特性曲线

Fig 1 Traditional curve of inverse-time overcurrent

目前普遍应用的基于 BS142 1966 和 IEC255-4 标准的 4 条反时限曲线, 分别为一般反时限、强反时限、超反时限、长反时限, 其通用表达式如下式:

$$t = \frac{k \cdot}{(I/I_{opr})^r - 1} \quad (2)$$

其中: t 为以秒为单位的动作时间; k 为时间系数(整定值); I 为测量电流; I_{opr} 为电流动作定值。

4 条曲线的陡度不同, 其陡度由 r 和 k 共同决定, 详见表 1。

表 1 不同类型曲线的和值

Tab 1 Values of and in different curves

反时限类型		
一般反时限	0.02	0.14
强反时限	1.0	13.5
超反时限	2.0	80.0
长反时限	1.0	120.0

1.2 反时限计算离散模型

由于反时限计算延时,电流在不断的变化,所以必需将表达式进行变形

$$k \cdot t = \int_0^t [(I/I_{opr})^r - 1] dt = \int_0^t [(i(t)/I_{opr})^r - 1] dt = t \cdot \sum_{k=0}^{M-1} [(i(k)/I_{opr})^r - 1] \quad (3)$$

式中:采样周期 $t = 20/N$ ms 为常数 (N 为每工频周期 20 ms 内采样点数); M 为使等式成立时累加的采样周期数,则:

$$\sum_{k=0}^{M-1} [(I/I_{opr})^r - 1] = \frac{k \cdot t}{t} = \text{常数} \quad (4)$$

当电流 I 大于反时限启动电流 I_{opr} 时,即 I/I_{opr} 大于 1 时,在每个采样周期中断中将此周期的 $[(I/I_{opr})^r - 1]$ 累加,当累加值大于 $k \cdot t / t$ 时,反时限累计延时到,保护出口跳闸。

这种曲线方式也存在一定缺陷,那就是当 I/I_{opr} 在 1 附近时,累加量 $[(I/I_{opr})^r - 1]$ 非常小,从而导致累加的采样周期数非常大,由于电流量的测量存在误差,结果致使累加的延时误差非常大。同时在电流非常大时,累加量存在和定时限保护的时间配合问题,因此本文将介绍一种新的反时限曲线实现方法。

2 新型反时限特性曲线及其实现

图 2 为新的改进的反时限特性曲线。新的特性曲线进行了改进,为了与三段式过流保护配合,反时限曲线在电流大于 20 倍整定值后,即用最小定时限直线 1 截断,这样,当电流大于 20 倍整定值时,即为定时限 t_{min} 过流保护特性,并与三段式过流保护时限配合。当电流较小时,由于测量精度的影响,导致累加后的时延误差较大,因此用一条最大定时限直线 2 截断,两者交点处的电流倍数为 M 。另外还有一条电流倍数 K 可整定的直线 3,当电流小于 K 时,被保护元件可长期稳定运行。当整定值 K 小于 M 时,此时若电流过流倍数在 $K \sim I/I_{opr} \sim M$ 之间,即以定时限延时 t_{max} 动作;若电流倍数大于 M 时,即以式 (3) 反时限特性累加延时动作。当曲线 3 的电流倍数整

定值大于 M 为 K 时,如图 2,将没有最大定时限 t_{max} 段,即为当电流倍数小于 K 时,被保护元件可长期稳定运行;当电流倍数大于 K 时,即以式 (3) 反时限特性累加延时动作。

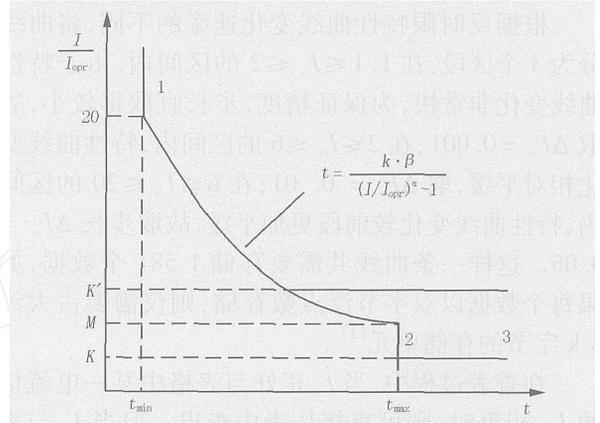


图 2 新反时限特性曲线

Fig 2 New curves of inverse-time overcurrent

遵照 BS 142 1966 的规定,对于一般反时限、强反时限和超反时限、反时限特性曲线电流范围为 2 ~ 20 倍的整定值;而且当电流超过 1.3 倍的定值时,保护启动;当电流不大于 2 倍电流时,按最大定时限动作;当电流大于 20 倍电流时,按最小定时限动作。对长反时限曲线,反时限曲线电流范围为 2 ~ 7 倍的整定值;当电流超过 1.1 倍的定值时,保护启动;当电流不大于 2 倍电流时,按最大定时限动作;当电流大于 7 倍电流时,按最小定时限动作。

在反时限过流保护启动后延时累加过程中,当电流减小到低于 K 倍电流以后,被保护元件可长期稳定运行,这时实际上进入散热过程,可将负值累加量 $m [(I/I_{opr})^r - K]$ 作为散热量,系数 m 一般可取大于 1 的数以加速散热,对于线路可以取为 4。当延时累加 (实际数值在减小) 到 0 时,即停止累加。这样将反时限过流的发热与散热模型通过延时累加量完整地统一起来。

3 反时限算法实现

对于累加量中 $(I/I_{opr})^r$ 的计算,当 r 为 1 或 2 等整数时可直接计算获得,但当 r 为 0.02 时,直接计算比较困难,目前常采用查表法和泰勒展开法等进行计算。

3.1 查表法

对累加量中的 $(I/I_{opr})^{0.02}$,事先计算好,以表格形式存放在 EPROM 中,令 $I_s = I/I_{opr}$ 为故障电流倍数, $t_s = (I/I_{opr})^{0.02} = I_s^{0.02}$ 。令 I_s 在 1.1 到 20 之间

变化(这里假设故障电流的上限为 20 倍动作电流,实际上,当故障电流大于速断定值时可立即跳闸而无需查表),变化步长为 I_s ,即每隔 I_s 计算一次 t_s ,并将算得的 t_s 值按表格形式存入 EPROM 中。

根据反时限特性曲线变化速率的不同,将曲线分为 3 个区段:在 $1.1 I_s \sim 2 I_s$ 的区间内,由于特性曲线变化非常快,为保证精度,步长宜取得较小,故取 $I_s = 0.001$;在 $2 I_s \sim 6 I_s$ 的区间内,特性曲线变化相对平缓,取 $I_s = 0.01$;在 $6 I_s \sim 20 I_s$ 的区间内,特性曲线变化较前段更加平缓,故取步长 $I_s = 0.05$ 。这样一条曲线共需要存储 1 581 个数据,如果每个数据以双字节浮点数存储,则仅需要占大约 3 k 字节的存储单元^[2]。

在查表过程中,当 I_s 正好与表格中某一电流倍数 $I_{s,k}$ 相等时,则可直接从表中查出。但当 I_s 与表中任一电流倍数不相等时,获取 t_s 可以采用线性插值法。

线性插值法就是指当 I_s 处于区间 $(I_{s,k}, I_{s,(k+1)})$ 内时,近似认为在该步长区间的曲线段为一直线段,以对应同一个 I_s 值的直线上的点 A 来代替曲线上的点 B 来获得 t_s 值(如图 3 示),因此 t_s 可由下式求得:

$$t_s = t_{s,k} + \frac{t_{s,(k+1)} - t_{s,k}}{I_{s,(k+1)} - I_{s,k}} (I_s - I_{s,k}) \quad (5)$$

上式中 $t_{s,k}$ 和 $t_{s,(k+1)}$ 分别对应着故障电流倍数为 $I_{s,k}$ 和 $I_{s,(k+1)}$ 时的 $t_s^{0.02}$ 值,通过此方法即可快速求得 I_s 在 $1.1 I_s \sim 20 I_s$ 内任意大小时 $t_s^{0.02}$ 的值,从而快速获得延时累加量。

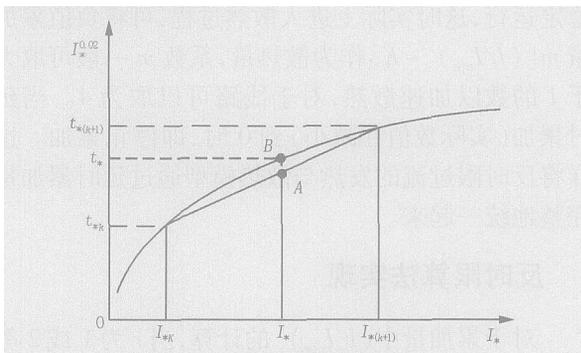


图 3 线性插值算法图示

Fig 3 Illustration of linear interpolation algorithm

3.2 泰勒展开式法

在求取了过流倍数 I_s 后,对 $t_s^{0.02}$ 的求取还可以采用泰勒级数展开法,对于函数 $f(x) = (1+x)^{-n}$,用泰勒级数展开为:

$$f(x) = (1+x)^{-n} = 1 + (-n)x + \frac{(-n)(-n-1)}{2!}x^2 + \dots + \frac{(-n)(-n-1)\dots(-n-1)}{n!}x^n + R_n(x) \quad (6)$$

式中: $R_n(x)$ 为余项,

$$R_n(x) = \frac{(-n)(-n-1)\dots(-n-1)}{(n+1)!} (1+x)^{-n-1} x^{n+1} \quad (|x| < 1)$$

则对 $t_s^{0.02}$ 可进行如下变形:

$$t_s^{0.02} = [M - (M - I_s)]^{0.02} = M^{0.02} [1 - (M - I_s) / M]^{0.02} \quad (7)$$

事实上,配电网输电线路发生故障时,故障电流的倍数 I_s 的最大值不可能超过 20,因为大于 20 倍整定值时,定时限速断保护将动作,所以在保证泰勒展开式的有效性的前提下,可以取 $M = 20$ 等,再按泰勒级数展开即可计算 $t_s^{0.02}$ 的值,级数展开项越多,则精度越高。

$$t_s^{0.02} = [20 - (20 - I_s)]^{0.02} = 20^{0.02} \left[1 - \left(\frac{20 - I_s}{20} \right) \right]^{0.02} = 1.061746 [1 - x]^{0.02} \quad (8)$$

式中: $x = (20 - I_s) / 20$

按照泰勒级数展开,即可以计算得 $t_s^{0.02}$ 值,从而实时求取反时限过流保护的動作时限累加量的值。根据文献 [3],当 $n = 5$ 时,相对误差为 0.44%,足以满足计算的时间精度要求。

这两种计算方法各有特色,查表法计算速度较快,但要占用存储空间存放表格;泰勒展开法计算程序简单,但花费时间比查表法多,在实际应用中可以根据情况选择不同的算法。

4 结论

本文首先介绍传统反时限过流曲线在应用中存在的缺陷,接着介绍了一种新型的分段反时限曲线模型,从而改善了传统曲线特性的不足之处,最后对一般反时限曲线的时延累加量计算的两种方法——查表法和泰勒展开法进行了详细的介绍。

参考文献:

- [1] 徐志林,叶一麟,等.一种微机反时限过流保护的新算法[J].电力自动化设备,1996,25(8):3-6
XU Zhong-lin, YE Yi-lin, et al. A New Algorithm for the Microprocessor-based Inverse-time Overcurrent Relay [J]. Electric Power Automation Equipment, 1996, 25(8):3-6

(下转第 63 页 continued on page 63)

- [2] 王维俭,侯炳蕴.大型机组继电保护理论基础(第二版)[M].北京:水利电力出版社,1989.
WANG Wei-jian, HOU Bing-yun The Theoretical Foundation of Large-scale Generator-transformer Set Relays, Second Edition[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1989.
- [3] Kojovic L A. Rogowski Coils Suit Relay Protection and Measurement[J]. IEEE Computer Application and Electric Power, 1997, 10: 47-52
- [4] 揭秉信.大电流测量[M].北京:机械工业出版社,1987.
JIE Bing-xin Big Current Measurement[M]. Beijing: China Machine Press, 1987.
- [5] Heumann K. Magnetic Potentiometer of High Precision[J]. IEEE Trans on M, 1966, 15(4): 242-250
- [6] 王群峰,刘会金,陈允平,等.混合式光电电流测量系统的研究[J].中国农村水利水电,2002,(12):73-75.
WANG Qun-feng, LU Hui-jin, CHEN Yun-ping, et al The Research of Hybrid Optical Current Measurement System[J]. China Country Water Power Press, 2002, (12): 73-75.

收稿日期: 2004-07-28; 修回日期: 2004-08-09

作者简介:

郑小敏(1979-),男,硕士研究生,从事电力系统运行与控制等方面的研究; E-mail: zxm7985@sohu.com

刘会金(1952-),男,教授,博士生导师,主要从事电能质量和电力系统自动化等方面的研究;

刘霞忠(1979-),男,硕士研究生,从事灵活交流输电系统等方面的研究。

Analysis and countermeasure of transformer differential protection malfunction due to CT saturation

ZHENG Xiao-min, LU Hui-jin, LU Xia-zhong, LU Xiao-fang
(School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: By analyzing the mechanism of transformer differential protection malfunction after current transformer(CT) saturated, on the basis of analyzing various traditional countermeasures of CT saturation, this paper puts forward a new method of using Rogowski coils as sensor to solve the CT saturation problem. The electronic current transformer based on Rogowski coils will become the perfect substitute for the traditional CT differential protection because of its good linearity, no magnetic saturation, wide range frequency, high precision and reliability, etc.

Key words: CT saturation; transformer differential protection; Rogowski coils

(上接第46页 continued from page 46)

- [2] 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.
WU Ye-kai, ZOU Dong-xia SCM-based Inverse Overcurrent Protection Applied in Transmission Line[J]. Relay, 1996, 24(4): 21-25.
- [3] 刘为,范春菊,等.配电网输电线路反时限过流保护探讨[J].继电器,2003,31(3):23-25.
LU Wei, FAN Chun-ju, et al Discussion of Inverse

Overcurrent Protection for Transmission Line in Distribution System[J]. Relay, 2003, 31(3): 23-25.

收稿日期: 2004-07-26; 修回日期: 2004-08-24

作者简介:

严支斌(1978-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统继电保护及安全稳定控制; E-mail: hustzbyan@163.com

尹项根(1954-),男,教授,博士生导师,研究方向为电力系统继电保护,变电站综合自动化及安全稳定控制。

Research on curve characteristics and algorithms of new digital inverse-time overcurrent protection

YAN Zhi-bin, YN Xiang-gen, SHAO De-jun, LU Geming
(College of Electrical & Electronics Engineering, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: To calculate the time delay in inverse-time overcurrent protection, the traditional inverse-time overcurrent curve has disadvantages in cooperating with time delay protection and precisely calculating the progressive time. A new inverse-time overcurrent curve is introduced, which is divided into several sections to calculate each curve respectively. As a result, it is improved in cooperating with time delay protection and progressive time precision. To resolve the difficulty of progressive time calculating in normal inverse-time overcurrent curve, two algorithms of zonal table-lookup and Taylor expansion are put forward.

Key words: digital protection; inverse-time overcurrent protection; zonal table-lookup; Taylor expansion