

# 配电网输电线路反时限过流保护探讨

刘为<sup>1</sup>, 范春菊<sup>1</sup>, 张兆宁<sup>2</sup>, 郁惟镛<sup>1</sup>

(1. 上海交通大学电气工程系, 上海 200030; 2. 中国民航学院空管学院, 天津 300300)

**摘要:** 讨论了传统的反时限过电流保护的实现方法,如分区查表法,插值方法的实现方式及其误差特性;提出了适用于配电网的过电流保护的冷备用方案;论述了一种用 DSP 技术实现反时限特性曲线的新技术,提出了在 DSP 技术下计算动作时限的新方法。该方案能够根据故障电流的大小实时计算出过电流保护的動作时限,所需要的内存较小,且计算速度快,在配电网的自动化技术中,具有较强的实用性。

**关键词:** 反时限保护; 分区查表; 误差特性; 时限计算

**中图分类号:** TM773 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2003)03-0023-03

## 1 引言

根据对继电保护速动性的要求,继电保护装置动作切除故障的时间必须满足系统稳定的要求和保证重要用户供电的可靠性。相电流速断保护就是在保证线路末端故障时具有足够选择性的条件下反映电流增大而瞬时动作的保护。相电流速断保护存在的主要问题是,保护的動作灵敏度受系统运行方式以及故障类型的影响很大。例如,对于相电流速断保护,为了保证保护的选择性,保护定值的整定必须按躲过线路末端三相短路时最大短路电流的条件进行。按照上述条件计算的定值,在系统最小运行方式下或者最不利的短路条件下,保护范围大大降低,甚至失去保护作用。因此,常常只能选择定时限过电流保护作为电流速断保护的后备保护。而定时限过电流保护的動作时限是预先设定的,不能随着故障电流的改变作出自适应的调整。随着配电网技术的不断发展,对配电网自动化、供电可靠性以及供电质量的要求都在不断地提高;原有的电流保护虽然具有结构简单、调试方便和可靠性高等特点,但是也已经显示出它固有的一些缺点。

反时限电流保护的特性与很多负载的故障特性相似,因此在许多场合下比定时限保护的性能更为优越。反时限电流保护在国外已获得较广泛地应用,而国内的中低压配电网中主要以定时限保护为主,这是由于传统的感应型反时限保护与定时限之间难以配合,从而限制了它的应用。

近年来随着集成电路和微机等新技术的发展,反时限保护在我国也逐步得到推广和使用。反时限过流保护通常基于如下的时间—电流反时限特性:

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

式(1)中的  $r$  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,则采用特别反时限特性,即  $r = 2$ 。

## 2 反时限特性曲线

常用的反时限特性曲线有以下 5 种:

(1) 适度反时限曲线

$$\begin{cases} t_p = T_D [0.0226 + 0.0104 / (M^{0.02} - 1)] \\ t_r = T_D [1.08 / (1 - M^2)] \end{cases} \quad (2)$$

其中:  $t_p$  为跳闸时间;  $T_D$  为反时限过电流保护的时间刻度整定值;  $M$  为短路电流与额定电流的倍数;  $t_r$  为电流为零时的复归时间。

(2) 常规反时限曲线

$$\begin{cases} t_p = T_D [0.180 + 5.95 / (M^2 - 1)] \\ t_r = T_D [5.95 / (1 - M^2)] \end{cases} \quad (3)$$

(3) 非常反时限曲线

$$\begin{cases} t_p = T_D [0.0963 + 3.88 / (M^2 - 1)] \\ t_r = T_D [3.88 / (1 - M^2)] \end{cases} \quad (4)$$

(4) 极端反时限曲线

$$\begin{cases} t_p = T_D [0.0352 + 5.67 / (M^2 - 1)] \\ t_r = T_D [5.67 / (1 - M^2)] \end{cases} \quad (5)$$

(5) 短时反时限曲线

$$\begin{cases} t_p = T_D [0.00262 + 0.00342 / (M^{0.02} - 1)] \\ t_r = T_D [0.323 / (1 - M^2)] \end{cases} \quad (6)$$

### 3 传统反时限特性的实现方法

以上 5 种反时限特性的实现过程中,式(3)、式(4)和式(5)比较容易,最难实现的是式(2)和式(6),因为它具有  $M^{0.02}$ 。

早期采用电磁型继电器实现反时限特性,后来使用整流型继电器通过电容的充放电实现。这两种方法均存在精度低、可靠性差等缺点,这在一定程度上限制了反时限保护的应用。由于目前单片机没有指数运算指令,无法直接计算式(1),因此文献[3]采用查表法来实现,即事先将式中的数值计算好,以表格形式存放在程序存储器 EPROM 中。

令  $t_p = T_D \cdot t$ ,则可以进行如下的计算:

令  $M$  从 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  $M$ ,即每隔  $M$  计算一次方程式,并将算得的动作时限  $t$  值按表格形式存入 EPROM 中。在故障处理程序中,根据实测的故障电流  $I$  计算出故障电流倍数  $M$ ,再进行查表查出  $t$  的值,然后根据用户整定的时间常数  $T_D$ ,即可求出动作时间  $t_p$ 。当计算到的电流值并不是表中所存储的点值时,只能采用线性插值法进行计算,不仅计算速度慢,而且,计算精度完全取决于制表时的精度以及曲线的线性拟合度。

### 4 反时限过电流保护动作时限的求取

#### 4.1 $(1+x)^n$ 的泰勒级数展开

仔细观察反时限过电流保护中,保护动作时限求取方程,就可以发现其难点在于求取故障电流倍数  $M$  后,必须求取  $M^{0.02}$  的值。

事实上,对于函数  $f(x) = (1+x)^n$ ,可以采用泰勒级数展开,即

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

式中:  $R_n(x)$  为余项,  $R_n(x) = \frac{a(a-1)\dots(a-n)}{(n+1)!}(1+x)^{a-n-1}x^{n+1}$ 。

以上的展开式在  $|x| < 1$  时总有意义。

#### 4.2 $M^{0.02}$ 的求取

对  $M^{0.02}$  可以作如下的变换:

$$M^{0.02} = [Y - (Y - M)]^{0.02} = Y^{0.02} [1 - (Y - M)/Y]^{0.02}$$

当  $M$  较小时,  $Y$  比较大,如取 100 时,泰勒级数的展开项比较多才能达到一定的精度,这样无法显示出本方法的优越性。

事实上,配电网输电线路发生故障时,故障电流的倍数  $M$  的最大值不可能超过 20。所以,在保证泰勒展开式的有效性的前提下,可以取  $Y = 20$ 。

$$\text{则 } M^{0.02} = 20^{0.02} \left[ 1 - \frac{20-M}{20} \right]^{0.02} = 1.061746 [1-y]^{0.02}$$

式中:  $y = (20 - M)/20$ 。

然后按照泰勒级数展开,即可以实时求取反时限过电流保护的動作时限。按精度最不利情况考虑,假定  $M = 2, y = 0.9$ ,取  $2^{0.02} = 1.013959$ ,则  $M^{0.02} = 20^{0.02} [1 - (20 - M)/20]^{0.02} = 1.061746 [1 - 0.9]^{0.02}$

余项  $R_n(x) = \frac{a(a-1)\dots(a-n)}{(n+1)!} (1+x)^{a-n-1} x^{n+1}$  在  $n=5$  时为 0.004。

按此计算的相对误差为  $0.004/1.013959 \times 100\% = 0.44\%$ ,计算误差很小。

### 4.3 动作时限的实时获得

将求得的  $M^{0.02}$  的值代入式(2)和式(6),即可实时得到反时限电流保护的動作时限。

### 5 冷备用启动

保护能够闭锁瞬时过电流保护并且当检测到冷备用状态时能够提高过电流元件的启动值。在正常运行条件下,馈线的负荷总是低于最大的连接负荷,因为并不是所有的客户都同时需要最大的负荷。当这样的馈线在停运较长时间后再闭合(即投入运行)时,馈线的启动电流(涌流)和电动机的加速电流可能超过某些保护的整定值。对于特定的线路,如果没有历史数据,可以假设初始冷备用电流为正常电流的 500%,1s 后衰减到正常电流的 300%,2s 后为 200%;4s 后为 150%。根据以上的情况,可以画出一条反时限曲线图,如图 1 所示。

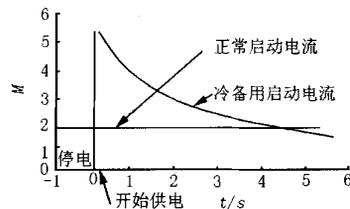


图 1 冷备用启动反时限曲线图

Fig. 1 Inverse curve for cold load pickup

当所有相的电流降低到正常电流的 5 % 的时间大于预先设定的“冷备用负荷启动前的停运时间”时,启动冷备用状态并调整过电流的整定值。冷备用状态的触发可以采用设置逻辑输入“Cold Load Pickup”。在有一相的电流恢复到大于正常电流的 10 % 后,过电流的整定值回到正常值;并且,等于“冷备用启动闭锁时间”的延时计时器停止计时。

可以设定两个继电器,一个为低电流继电器,当电流值低于额定电流的 5 % 时,继电器动作,表明进入冷备用状态;另一个继电器为时间继电器,低电流继电器一旦动作,则马上启动时间继电器进行计时,一旦计时器的时间大于预先设定的冷备用负荷启动前的停运时间,则表明该线路进入冷备用状态,按照上述曲线,自动调整过电流保护的整定值。低电流继电器的返回电流设定为额定电流的 10 %,即一旦检测到的电流值大于额定电流的 10 %,则说明线路回到正常运行状态,电流保护的整定值恢复到原有的线路的整定值。

## 6 结论

本文所提的方案已研制成样机,理论分析与实验表明,该方案具有高精度、高可靠性等优点,由于

采用 DSP 技术,软硬件设计先进,保护装置具有体积小、功能全、抗干扰能力强等特点,适用于中低压输电线路,完全可作为综合自动化系统的一部分。

## 参考文献:

- [1] 姚致清. 集成电路馈线保护装置[J]. 继电器, 1993, 21(1): 25-30.
- [2] 杨仪松. 具有最小定时限特性的反时限过流保护[J]. 电力系统自动化, 1992, 16(4): 27-32.
- [3] 伍叶凯, 邹东霞. 适用于输电线路的单片机反时限过电流保护[J]. 继电器, 1996, 24(4): 21-25.

收稿日期: 2002-06-17

作者简介:

刘为(1971-),男,讲师,从事电力系统及其自动化的研究及教学工作;

范春菊(1967-),女,副教授,博士研究生,从事人工智能在继电保护及综合自动化的研究及教学工作;

张兆宁(1964-),男,副教授,研究方向为小波分析、神经网络及其应用;

郁惟镛(1940-),男,教授,博士生导师,从事人工智能在继电保护及综合自动化的研究及教学工作。

## Discussion of inverse overcurrent protection for transmission line in distribution system

LIU Wei<sup>1</sup>, FAN Chun-ju<sup>1</sup>, ZHANG Zhao-ning<sup>2</sup>, YU Wei-yong<sup>1</sup>

(1. Dep. of electrical engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China;

2. Air traffic management college, Civil aviation university of china, Tianjin 300300, China)

**Abstract:** The traditional implementation methods of inverse overcurrent protection such as zonal table-lookup method, interpolation method and their error characteristic are discussed. On this basis, Cold pick up scheme of the inverse overcurrent protection suitable for the distribution system was proposed. We make full use of DSP technology to implement the inverse curve and propose a new method to calculate the operation time of the protection on the base of DSP. This method can in real time calculate the operation time of the overcurrent protection according to the fault current. The EPROM needed is small; calculation is fast and accurate. This scheme is very practicable in automation technology of distribution system.

**Key words:** inverse overcurrent protection; zonal table-lookup; error characteristic; calculation of time

(上接第 22 页)

## Reactive power optimization of power system based on chaos optimization algorithm

ZHAO Tao, XIONG Xin-yin, WU Yao-wu

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** The chaos optimization algorithm takes advantage of the intrinsic stochastic property and ergodicity of chaos movement to escape from the local minima. The local search ability of linear search can speed up the rate of convergence. Chaos optimization algorithm based on linear search is applied to the reactive power optimization problem in this paper. Optimization result of IEEE6, 14, 30 system show that the algorithm is correct and reliable to solve the reactive power optimization problem.

**Key words:** power system; reactive power optimization; chaos optimization; linear search