

投影值微机采样算法的研究

詹勤辉 姚晴林 合肥工业大学 (230009)

【摘要】 提出了一种投影值的微机采样新算法,其本质是把投影值当作一个整体,用微机采样值进行计算,并以小电流接地系统单相接地故障自动选线保护中原理的“最大投影值法”及“最大投影突变量法”为例,深入阐述这种算法的理论根据.该算法具有新颖、快速、简易、精度高等优点,已成功应用于微机保护装置中,该算法也能应用于某些需计算 $\sin\varphi$ 的场合,有较高的理论及实用价值.

【关键词】 投影法 采样算法

引言

小电流接地系统单相接地故障自动选线保护有不少采用“最大投影法”原理或“最大投影突变量法”原理,该原理把零序电流的大小及方向有机地结合起来,其中“最大投影突变量法”原理可以彻底消除三相电流互感器误差不对称所产生的零序不平衡电流对保护的影响,应用较广泛.

为了深入分析投影值($\sin\varphi$)的微机采样算法,有必要首先介绍上述两种保护原理的动作判据.

“最大投影值法”保护原理为:当系统发生单相接地故障,计算出各线路零序电流在故障线路零序电流的理论方向(滞后零序电压 90° 方向)的投影代数值,即 $3I_0^{(i)}\sin\varphi^{(i)}$, $i=1,2,3,\dots$ 表各线路号码, $\varphi^{(i)}$ 表各线路零序电流滞后零序电压的角度(下同).这些投影值中最大正值所对应的线路为单相接地故障线路.若最大值小于或等于零,则为母线单相接地故障.动作判据的数学表达式为

$$\begin{cases} Q = \text{MAX}[3I_0^{(i)}\sin\varphi^{(i)}] \\ Q > 0 \text{ 对应线路为单相接地故障线路} \\ Q = 0 \text{ 或 } Q < 0, \text{ 则为母线单相接地故障} \end{cases}$$

“最大投影突变量法”原理为:当系统发生单相接地故障,将各线路故障后的零序电流投

影代数值减去其故障前的零序电流投影代数值,得各线路的投影突变量的代数值,其最大正值所对应的线路为单相接地故障线路.最大值小于或等于零,为母线单相接地故障.表达式为

$$\begin{cases} Q = \text{MAX}[3I_{0k}^{(i)}\sin\varphi^{(i)} - 3I_{0(k-1)}^{(i)}\sin\varphi^{(i)}] \\ = \text{MAX}[\Delta I_0^{(i)}] \\ Q > 0 \text{ 对应线路为单相接地故障线路} \\ Q = 0 \text{ 或 } Q < 0, \text{ 则为母线单相接地故障} \end{cases}$$

以上两种原理都有正弦量的计算,正弦量的计算在微机型继电保护中一般采用查表法可得到结果,但由于 $\varphi^{(i)}$ 的不确定,除非建立大量的正弦值表,开销大量的内存,否则精度较低.为此本文提出了计算投影值的微机采样算法.

1 微机采样算法

1.1 最大投影值的采样算法推导

微机保护装置中模拟量经过低通滤波器和数字滤波器后,得到纯基波正弦量.可假设零序电压、零序电流在采样点 k 的值 $3u_{0k}$ 、 $3i_{0k}^{(i)}$ 分别为

$$3u_{0k} = 3U_{0m}\sin\omega_k t \quad (1)$$

$$3i_{0k}^{(i)} = 3I_{0m}^{(i)}\sin(\omega_k t - \varphi^{(i)}) \quad (2)$$

上标 $i=1,2,3,\dots$ 表示各线路号码,下标 $k=1,2,3,\dots$ 表示不同的采样点, $\varphi^{(i)}$ 表示各线路的零序电流滞后零序电压的角度.

前一个采样点 $k-1$ 的 $3u_{0(k-1)}$ 、 $3i_{0(k-1)}^{(i)}$ 采样值,即与 k 点时间相差 Δt 的采样点为

$$3u_{0(k-1)} = 3U_{0m}\sin\omega_{k-1}t = 3U_{0m}\sin(\omega_k t - \omega\Delta t)$$

$$3i_{0k-1}^{(i)} = 3I_{0m}^{(i)} \sin(\omega t_{k-1} - \varphi^{(i)}) \quad (3)$$

$$= 3I_{0m}^{(i)} \sin(\omega t_k - \omega \Delta t - \varphi^{(i)}) \quad (4)$$

式(3)乘以式(2)、式(1)乘以式(4)得

$$3u_{0k-1} 3i_{0k}^{(i)} = 3U_{0m} 3I_{0m}^{(i)} \sin(\omega t_k - \omega \Delta t) \cdot \sin(\omega t_k - \varphi^{(i)}) = \frac{3U_{0m} 3I_{0m}^{(i)}}{2} [\cos(\varphi^{(i)} - \omega \Delta t) - \cos(2\omega t_k - \omega \Delta t - \varphi^{(i)})] \quad (5)$$

$$3u_{0k} 3i_{0k-1}^{(i)} = 3U_{0m} 3I_{0m}^{(i)} \sin \omega t_k \sin(\omega t_k - \omega \Delta t - \varphi^{(i)}) = \frac{3U_{0m} 3I_{0m}^{(i)}}{2} [\cos(\varphi^{(i)} + \omega \Delta t) - \cos(2\omega t_k - \omega \Delta t - \varphi^{(i)})] \quad (6)$$

式(5)减去式(6)得

$$3u_{0k-1} 3i_{0k}^{(i)} - 3u_{0k} 3i_{0k-1}^{(i)} = \frac{3U_{0m} 3I_{0m}^{(i)}}{2} \cdot$$

$$[\cos(\varphi^{(i)} - \omega \Delta t) - \cos(\varphi^{(i)} + \omega \Delta t)] = 3U_{0m} 3I_{0m}^{(i)} \sin \Delta \omega t \sin \varphi^{(i)} \quad (7)$$

由上式得：

$$3I_{0m}^{(i)} \sin \varphi^{(i)} = \frac{3u_{0k-1} 3i_{0k}^{(i)} - 3u_{0k} 3i_{0k-1}^{(i)}}{3U_{0m} \sin \Delta \omega t} \quad (8)$$

$$3I_0^{(i)} \sin \varphi^{(i)} = \frac{3u_{0k-1} 3i_{0k}^{(i)} - 3u_{0k} 3i_{0k-1}^{(i)}}{\sqrt{2} \cdot 3U_{0m} \sin \Delta \omega t} \quad (9)$$

式(9)中 $3U_{0m}$ 为零序电压的幅值,从同一个母线电压互感器开口三角侧得到,对所有线路而言是同一个正值.对于每工频周期采样 12 点而言, $\sin \Delta \omega t = \sin 30^\circ \approx 0.5$,也是正值常数,所以 $3I_0^{(i)} \sin \varphi^{(i)}$ 与 $(3u_{0k-1} 3i_{0k}^{(i)} - 3u_{0k} 3i_{0k-1}^{(i)})$ 成正比.由“最大投影值法”保护选线原理知,只要把 $3I_0^{(i)} \sin \varphi^{(i)}$ 的最大代数值得求出,即把 $3u_{0k-1} 3i_{0k}^{(i)} - 3u_{0k} 3i_{0k-1}^{(i)}$ 的最大代数值得求出即可判断出单相接地故障线路.用这种采样算法,不用求出来 $\varphi^{(i)}$ 角,也不用计算 $\sin \varphi^{(i)}$,只要用两个乘法和—个减法指令计算 $(3u_{0k-1} 3i_{0k}^{(i)} - 3u_{0k} 3i_{0k-1}^{(i)})$ 即可,对于 CPU 80C196 仅需要几个微秒,是很快的.

1.2 最大投影突变量的采样算法推导

“最大投影突变量”保护选线原理从理论上彻底消除零序不平衡电流 $i_{bp}^{(i)}$ 对选线判据的影响,但要记录故障前 $i_{bp前}^{(i)}$ 的矢量数据.为此假设存在一个故障前后相位不受任何影响的参考向量 \vec{U}_r 为

$$u_r = U_m \sin \omega t \quad (10)$$

则第 i 条线路故障前零序不平衡电流为

$$i_{bp前}^{(i)} = I_{bp前}^{(i)} \sin(\omega t - \alpha^{(i)}) \quad (11)$$

$\alpha^{(i)}$ 为 $i_{bp前}^{(i)}$ 滞后 \vec{U}_r 的角度.单相接地故障后,零序电流过滤器二次侧的电流为故障零序电流与不平衡电流的叠加,记作:

$$3i_0^{(i)} = 3I_{0m}^{(i)} \sin(\omega t - \beta^{(i)}) \quad (12)$$

$\beta^{(i)}$ 为 $3i_0^{(i)}$ 滞后 \vec{U}_r 的角度.故障后零序电压为

$$3u_0 = 3U_{0m} \sin(\omega t - \gamma) \quad (13)$$

γ 为 $3u_0$ 滞后 \vec{U}_r 的角度.

$\alpha^{(i)}$ 、 $\beta^{(i)}$ 、 γ 均为滞后 \vec{U}_r 的角度,可求出 $i_{bp前}^{(i)}$ 、 $3i_0^{(i)}$ 滞后 $3u_0$ 的角度,记作:

$$\varphi_{前}^{(i)} = \alpha^{(i)} - \gamma \quad \varphi_{后}^{(i)} = \beta^{(i)} - \gamma \quad (14)$$

由于小电流接地系统单相接地故障时零序电流较小,所以可认为 $i_{bp}^{(i)}$ 在故障前后短期内基本保持不变的,所以 $i_{bp}^{(i)}$ 在故障前后短期内,相位相差 360° 即相隔一个周期的值是不变的.当微机保护装置的故障判别单元一旦判别单相接地故障出现,马上计算前一周期 $i_{bp}^{(i)}$ 的投影值.由式(11)、式(13)以及式(9)得

$$I_{bp}^{(i)} \sin \varphi_{前}^{(i)} = \frac{3u_{0k-1} i_{bpk-1}^{(i)} - 3u_{0k} i_{bpk}^{(i)}}{\sqrt{2} \cdot 3U_{0m} \sin \Delta \omega t} = \frac{3u_{0k-1} i_{bpk-12}^{(i)} - 3u_{0k} i_{bpk-13}^{(i)}}{\sqrt{2} \cdot 3U_{0m} \sin \Delta \omega t} \quad (15)$$

故障后由式(12)、式(13)以及式(9)得

$$3I_0^{(i)} \sin \varphi_{后}^{(i)} = \frac{3u_{0k-1} 3i_{0k}^{(i)} - 3u_{0k} 3i_{0k-1}^{(i)}}{\sqrt{2} \cdot 3U_{0m} \sin \Delta \omega t} \quad (16)$$

式(15)为故障前各线路零序不平衡电流 $i_{bp}^{(i)}$ 的投影值,式(16)为故障后各线路故障零序电流 $3i_0^{(i)}$ 的投影值.

式(16)减去式(15)得投影突变量为

$$\Delta I_0^{(i)} = 3I_0^{(i)} \sin \varphi_{后}^{(i)} - I_{bp}^{(i)} \sin \varphi_{前}^{(i)} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot 3U_{0m} \sin \Delta \omega t} [(3u_{0k-1} 3i_{0k}^{(i)} - 3u_{0k} 3i_{0k-1}^{(i)}) - (3u_{0k-1} i_{bpk-12}^{(i)} - 3u_{0k} i_{bpk-13}^{(i)})] = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot 3U_{0m} \sin \Delta \omega t} [3u_{0k-1} (3i_{0k}^{(i)} - i_{bpk-12}^{(i)}) - 3u_{0k} (3i_{0k-1}^{(i)} - i_{bpk-13}^{(i)})] \quad (17)$$

由于零序不平衡电流 $i_{bp}^{(i)}$ 是从输电线路零序电流过滤器二次侧得到的三倍零序电流,只



不过是接地故障前的三倍零序电流,所以也可以记作 $3I_0^{(i)}$,则式(17)可写成:

$$\Delta I_0^{(i)} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot 3U_{0n} \sin \alpha \Delta t} [3u_{0k-1}(3i_{0k}^{(i)} - 3i_{0k-12}^{(i)}) - 3u_{0k}(3i_{0k-1}^{(i)} - 3i_{0k-13}^{(i)})] \quad (18)$$

$3i_{0k-12}^{(i)}$ 、 $3i_{0k-13}^{(i)}$ 表示故障前一个周期各线路的采样值。

同理,式(18)中 $3U_{0n}$ 从同一个母线电压互感器开口三角侧得到,对所有线路而言是同一个正值;对于每工频周期采样12点而言, $\sin \alpha \Delta t = \sin 30^\circ = 0.5$,也是正值常数,所以 $\Delta I_0^{(i)}$ 与 $[3u_{0k-1}(3i_{0k}^{(i)} - 3i_{0k-12}^{(i)}) - 3u_{0k}(3i_{0k-1}^{(i)} - 3i_{0k-13}^{(i)})]$ 成正比,前者代数值的大小完全可由后者的代数值反映。因此“最大投影突变量法”的动作判据 $Q = \text{MAX}[\Delta I_0^{(i)}]$ 可转化为

$$\begin{cases} Q = \text{MAX}[3u_{0k-1}(3i_{0k}^{(i)} - 3i_{0k-12}^{(i)}) - 3u_{0k}(3i_{0k-1}^{(i)} - 3i_{0k-13}^{(i)})] \\ Q > 0 \text{ 对应线路为单相接地故障线路} \\ Q = 0 \text{ 或 } Q < 0, \text{ 则为母线单相接地故障} \end{cases} \quad (19)$$

由式(19)可知,为求 Q 值,只要用到三个减法指令,两个乘法指令,对于80C196来说,时间还是微乎其微的。

比较式(18)与式(9),可知式(9)实际上是式(18)的一种特殊情况,即使不平衡电流 $I_{bp}^{(i)}$

为零的情况,也就是“最大投影值法”实际上只是“最大投影突变量法”的一个特例($I_{bp}^{(i)} = 0$ 的特例)而已,揭示出“最大投影突变量法”具有彻底消除零序不平衡电流 $I_{bp}^{(i)}$ 对保护的影响的优点。

2 结论

本文提出的采样算法的核心是:计算投影值时把 $3I_0 \sin \varphi$ 当作一个整体来计算,这是它的新颖所在,该算法具有快速、简便、精度高、不占用内存的优点。特别是对最大投影突变量法选线原理的保护装置,在硬件中无需增设另一个电压互感器,参考电压 U_r 只是在算法的理论推导过程中用到,而在微机保护装置的硬件及软件运算中都无需 U_r ,因此本装置简化了硬件,节约了成本,并使软件编制方便,上述算法已在微型小电流接地系统单相接地故障选线装置中得到实际应用,继电保护测试仪测试结果100%通过。

参考文献

- 1 詹勤辉. 小电流接地系统单相接地故障自动选线装置的研制. 合肥工业大学硕士论文.
- 2 陈德树. 计算机继电保护原理与技术. 水利水电出版社.

RESEARCH ON THE DIGITAL SAMPLING ALGORITHM FOR THE PROJECTION VALUE

Zhan Qinhui, Yao Qinglin (Hefei Industrial University, 230009, Hefei, China)

Abstract This paper puts forward a new digital sampling algorithm projection value. The sampled data is used to compute the projection value which looks as a whole. The algorithm based on the maximum projection value selecting principle and the maximum projection surge value selecting principle is described in detail. The algorithm is characterized by its new opinion, high speed, easy realization and accuracy. It has been applied to the microprocessor-based protection device successfully. It is adapted to calculate $\sin \varphi$ too. Thus it is of higher theoretical and practical value.

Keywords projection sampling algorithm