

WXH-14_x 型微机微波保护装置的研究

许昌继电器研究所 檀国彪 袁国勇 华北电力学院 王绪昭 鲍伟廉 杨维娜

摘要 本文介绍了国内首次成功研制的 WXH-14_x 型微机微波数字式分相电流差动保护的工作原理、特点及用途。该保护系统借助光纤数字通信、数字微波通信技术,将被保护线路两侧电流采样数据及有关信息对传,并辅以两侧数据的计算机同步调整而实现。理论分析与动模试验、型式试验及现场试运行结果表明,保护装置原理先进,动作速度快,可靠性高,抗干扰能力强,结构合理,对微波系统误码率指标要求低。装置可以作为 110kV 及以上各级输电线路的主保护和后备保护,尤其适用于同杆并架双回线、短线路及因高频通道拥挤而难以采用高频保护的线路。

关键词 微波保护 光纤数字通信 数字微波通信

1 概况

随着国民经济的飞速发展,电力系统高压、超高压输电线路日益增多,网络结构日臻复杂,高频通道随之拥挤,作为全线速动主保护的高频保护在很多现场的应用遇到困难;与此同时,电力系统数字微波通信系统则已逐步成网。有鉴于此,许昌继电器研究所与华北电力学院合作,研制了国产第一套 WXH-14_x 型数字式微机微波分相电流差动保护装置(以下简称装置)。装置系由 8031 单片机实现的多 CPU 式输电线路成套保护装置,除主保护分相电流差动保护外,还配有后备保护距离保护、零序电流保护及自动重合闸(后备保护及自动重合闸软、硬件同华北电力学院研制的、目前已被广泛应用的 WXH-11_x 型保护完全一致,本文不予赘述)。装置可以作为 110~500kV 各级输电线路的全线速动主保护及后备保护,尤其适用于同杆并架双回线、短线路及因高频通道拥挤而难以采用高频保护的线路。装置已通过了国家继电器质量检验中心的动模试验、型式试验,并于 1993 年 5 月投入天津电力局 220kV 北(郊)——民(生村)线试运行,迄今,运行情况良好。

2 动作判据分析

2.1 国外现有的几种判据

对于双端系统,我国目前已引进了一些国家的微波保护。它们的判据各异。如日本东芝公司数字微波电流差动保护的跳闸判据为

$$|I_M + I_N| > K_1(|I_M| + |I_N|) + K_0 \quad (1)$$

式中: I_M 、 I_N 为 M、N 侧电流相量; K_1 为制动系数; K_0 为定值。

英国 GEC 公司和法国电力公司等欧洲电力部门则将 (1) 式分为

$$|I_M + I_N| > K(|I_M| + |I_N|) \quad (2)$$

$$|I_M + I_N| > I_0 \quad (3)$$

式中: K 为制动系数; I_0 为定值。

显然,上述判据有着不尽理想之处:右端的制动量在区内、区外故障时的表现是一致的。

因此, 制动系数 K 虽使区外故障时有足够的防卫度, 但在区内故障时, 动作灵敏性便会受到影响。换言之, 上述判据防卫度与灵敏度相互影响, 不能兼顾。

2.2 WXH-14x 型装置的判据

WXH-14x 型装置中分相电流差动保护的新判据如下:

$$|I_M + I_N| > K |I_M - I_N| \quad (4)$$

$$|I_M + I_N| > I_0 \quad (5)$$

(5) 式是差动保护第一跳闸判据, 主要用以防止线路空投或空载情况下因某种原因装置误启动而造成可能的误跳闸。

由式 (4) 可见: 区内故障时, I_M 、 I_N 若同相, 动作量为两侧电流大小之和 $I_M + I_N$, 制动量为 K 倍两侧电流之差绝对值 $K |I_M - I_N|$, 区外故障时, 若两侧电流反相, 动作量为 $|I_M - I_N|$, 接近于零, 而制动量为 $K (I_M + I_N)$ 。这就弥补了 (1) 式和 (2) 式的不足。

下面详细分析 (4) 式的防卫能力与灵敏性, 并与传统判据相对照。

A. 区外故障

区外故障时, 设 I_M 、 I_N 反相, 在动作量、制动量相等的边界条件下, (4) 式可写成:

$$|I_M - I_N| = K(I_M + I_N)$$

整理得:

$$\frac{I_N}{I_M} = \frac{1 - K}{1 + K} \quad (6)$$

当 $K=0.6$ 时, $I_N/I_M=1/4$; 当 $K=1$ 时, $I_N/I_M=0$ 。即: 区外故障时, 若 I_M 、 I_N 反相, 保证保护可靠不动作的极限幅度误差 $|I_M - I_N|/I_M$, 当 $K=0.6$ 时, 为 75%, $K=1$ 时, 为 100%。

当 K 取相同值时, (2) 式允许的极限幅度误差与新判据完全一致。

再看 (4) 式的相位特性。

设区外故障时, $I_M=I_N$, 但 I_M 、 I_N 相位上与其反相方向偏移 α 角度 (如图 1)。

根据图 1, (4) 式在动作量与制动量相等的边界线上可改写为

$$I_M^2 + I_N^2 - 2I_M I_N \cos \alpha = K^2 [I_M^2 + I_N^2 - 2I_M I_N \cos(180^\circ - \alpha)]$$

将 $I_M=I_N$ 代入上式, 整理得:

$$\cos \alpha = \frac{1 - K^2}{1 + K^2} \quad (7)$$

当 $K=0.6$ 时, $\alpha=62^\circ$; 当 $K=1$ 时, $\alpha=90^\circ$ 。即: 区外故障时, 若两侧电流幅值相等, 保证保护可靠不动作时两侧电流相位, 在其反相方向上的极限偏移角, 在 $K=0.6$ 时为 62° , 在 $K=1$ 时, 为 90° 。

同理分析 (2) 式相位特性, 其角度允许极限误差为 72° , 稍强于新判据。

B. 区内故障

区内故障时, 令 I_M 、 I_N 同相位, (2)、(3) 式的传统判据动作特性见图 2。

再看 (4) 式新判据。在两侧电流同相条件下, (4) 式可改写成:

$$I_M + I_N > K(I_M + I_N) - 2KI_N \quad (8)$$

图 2 表明, (2) 式传统判据的动作曲线斜率取决于制动系数 K , 而 (4) 式新判据动作斜

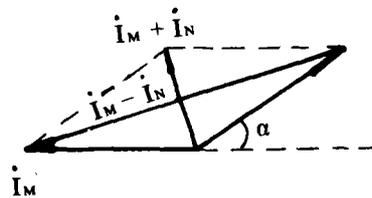


图 1 I_M 、 I_N 偏移反相方向 α 角

率不但受 K 的影响,而且与 $-2KI_N$ 有关。如果两种判据 K 、 I_0 相同,显然新判据的动作斜率低,从而使灵敏度提高。仅当 $I_N=0$ 时(单侧电源系统区内故障), (2) 式与 (4) 式的动作行为才一样。 $I_M=I_N$ 时,新判据最灵敏, I_M 与 I_N 不等时,动作斜率在 0 与 $\lg\theta$ 之间变化,但任何时候新判据灵敏度都高于传统判据。

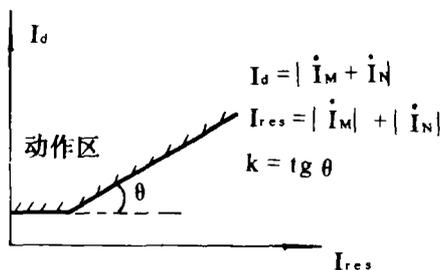


图 2 GEC 判据动作特性

3 动态制动系数

在研究保护软件的算法时,拟予考虑的有两种:一是整周富氏法,另一是半周富氏加一阶差分的方法。两种算法的采样频率都是 300Hz ,即每周 6 个采样点。

整周富氏算法的特点是计算结果精确,但计算量大,数据窗长,不利于快速跳闸;半周差分富氏算法特点则相反,计算结果粗糙,但计算量小,动态过程短。

为了使区内故障能快速跳闸,又能保证区外故障时不误动作, $WXH-14_N$ 中采用了动态算法与动态制动系数。在故障启动后,首先用半周差分富氏算法,并配以防卫能力极高的 $K=1$ 时的判据(此时称保守判据),经过数点的延时后,再切换至整周富氏算法加 $K=0.6$ 时的判据(称为灵敏判据)。保守判据在金属性或小电阻短路时仍有很高的灵敏度,区内故障时可以提高保护的快速性。对于重负荷下高电阻接地故障,可由整周富氏法和高灵敏判据来提高灵敏性。

4 两侧数据的对传及同步调整

国外的数字微波保护,两侧电流的对传有以下两种方式:(1)将电流采样瞬时值发送对侧,由对侧接收后进行计算处理,简称先送后算方式;(2)将电流采样瞬时值经计算处理成相量后再发送对侧,简称先算后送方式。先送后算的方式除要求两侧采样严格同步外,通信中出现一个比特的误码将损失一个工频周期的跳闸时间,因此,该方式对微波通道误码率指标要求较高,如日本东芝公司要求为 10^{-7} 。先算后送方式可以不要求两侧同步采样,且损失一个比特的数据仅损失一个采样周期的跳闸时间,所以相应地对微波误码率指标要求较低,如英国 GEC 要求为 10^{-3} 。鉴于国内微波网络才初步形成、运行经验不足、误码率指标不高的情况, $WXH-14_N$ 采用先算后送的方式。

采用先算后送方式时,两侧是自由采样,它们各自计算出的电流相量不是在同一参考时间座标下的相量,在相量图上反映出不同的零相位线。设 I_M 的零相位线为 OM , I_N 的零相位线为 ON ,两线夹角为 φ_{MN} (如图 3 所示)。可见由于参考相位不同,不能将 I_M 和 I_N 直接进行运算,而需将对侧(如 N 侧)相量旋转一角度 φ_{MN} ,成为 I'_N 后方可代入判据。这一过程称作同步调整。

下面就 $WXH-14_N$ 同步调整的具体方法作一说明。同步调整的过程可用图 4 表示。

图中, $N(P)$ 、 $N(P-1)$ 表示 N 侧保护发送数据的序号为 P 、 $P-1$, $M(i)$ 、 $M(j)$ 、 $M(k)$ 表示 M 侧保护发送数据的序号为 i 、 j 、 k , Δt_1 、 Δt_2 为 N 、 M 侧分别收到对侧数据时距本侧最近一次发送数据的时间。设采样周期为 T_s ,发送周期亦为 T_s , t_A 表示 A 点至 $M(i)$ 时刻的时间间隔,则

$$t_A = [T_s(k-i) + (T_s - \Delta t_1) + \Delta t_2] \cdot \frac{1}{2}$$

整理得：

$$t_A = \frac{1}{2} [T_s(k-i+1) + \Delta t_2 - \Delta t_1]$$

WXH-14_x 中微波保护 T_s 为 $10/3ms$ ，对应的工频角度为 60° 。因此 A 点至 M (j) 点的相角差为：

$$\theta = 60^\circ DEC(t_A/T_s)$$

式中 DEC 指取括号内运算结果的小数部分。将 t_A 时刻 N 侧 N (P) 处发送的电流向量向前旋转 θ 角即与本侧 t_B 时刻的数据对齐，完成同步调整：

$$I_{N(P)} = I_{N(P)} e^{j\theta}$$

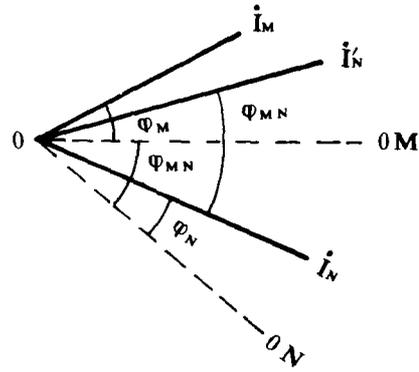


图 3 相位修正关系

5 硬件框图

微波保护硬件框图如图 5 所示。

微波插件完成采样及计算，数据收、发的管理，故障判断，跳闸逻辑判断，自检及告警，整理打印报告等功能。

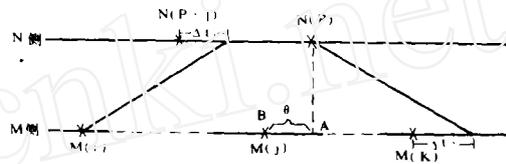


图 4 同步调整

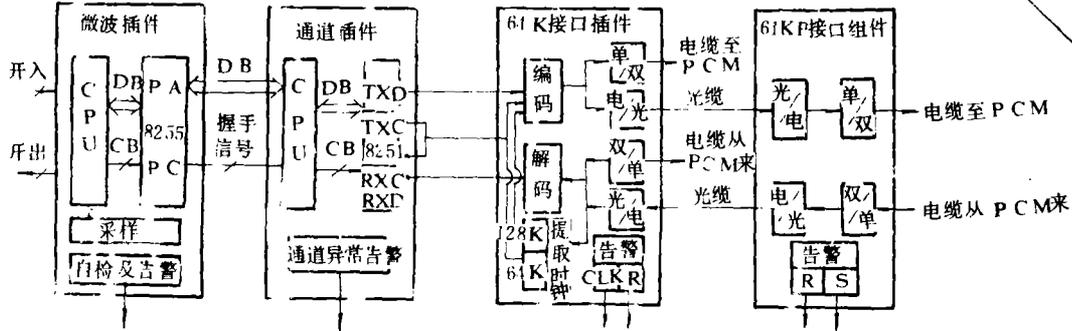


图 5 硬件框图

通道插件完成并行、串行数据的相互转换，同步调整，协调对微波插件的数据收发等功能。

64K 接口插件设计了直接由电缆上微波和通过光缆再上微波的两种方式。该插件完成编码与解码、单极性与双极性、光与电的转换及反转换功能。

64KP 接口组件另装在一小接口盒内，现场安装在微波室。该组件主要完成光与电、单极性与双极性的转换及反转换功能。

6 软件框图

本微波保护有保护、通道两插件设有CPU。微波插件CPU的软件框图包括主程序、中断服务程序、故障处理程序三部分。限于篇幅，本文仅给出其中前两部分框图（图6）。

主程序主要包括两方面内容：自检诊断与打印报告。正常运行时，按P键，即可连续打印两周内本侧电流的瞬时采样值及一周内两侧电流的有效值。每次故障后，除打印故障启动及保护出口（如有出口的话）信息外，还可打印故障前后数周两侧电流的有效值。

主CPU插件每隔 $1.67ms$ 申请一次中断。但相邻两中断服务程序内容不同。第一次（ $ZTZ=0$ ）主要包括从8253读取数值并计算电流相量及故障启动判据。第二次（ $ZTZ=1$ ）中断的任务是与通道CPU交换数据。所以，站在数据采样系统或通道CPU上看，是每 $3.3ms$ 中断一次。

值得一提的是，故障处理程序中还包含了这样的内容：从控制字中查询被保护线路是单侧电源还是双侧电源。双侧电源仅当收到对侧启动信息后，本侧才能出口，以提高保护的可靠性。单侧电源则无此限制。

7 保护的特点

WXH-14x微机微波保护具有如下特点：

(1) 动作速度快。最快动作时间不大于 $15ms$ ，平均动作时间不大于 $25ms$ （均包括出口继电器动作时间）。软件中实现多档算法与制动系数自动切换，既保证了保护的快速性，又满足了灵敏性。

(2) 可靠性高。不仅硬件上能全面自检，实现异常时闭锁保护，发告警信号，软件上对两侧装置数据采样及通信过程的任何出错均设有多重可靠闭锁措施。

(3) 对微波运行误码率指标要求低。采样数据采用先算后送的方式，一旦微波系统出现一次误码，仅损失一个采样点的数据，从而相对地降低了对微波误码率指标的要求，提高了保护速度。

(4) 为WXH-11x系列产品，兼容性好，易为现场人员掌握。

8 结束语

理论分析与动模试验、型式试验及现场试运行结果表明，WXH-14x型微机微波保护装置原理先进，动作速度快，可靠性高，抗干扰能力强，结构合理，对微波系统运行误码率指标要求低。装置已具备投入电力系统实际运行的条件。

藉以微波通信，实现线路两侧数据及有关信息的对传，为微机保护进一步提高性能指标提供了很大的潜力。首先，可以实现理论上无误差的精确测距；其次，引入零序电流差动，可

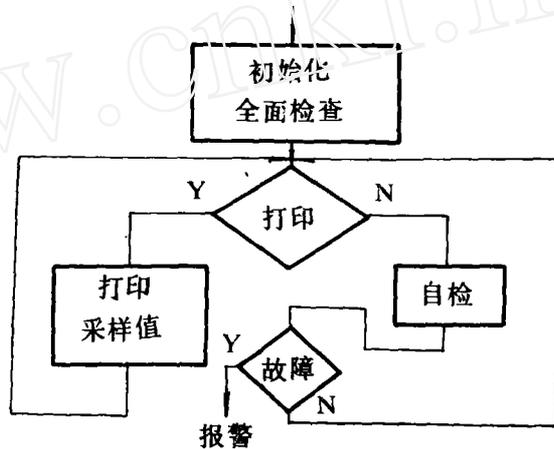


图6(a) 主程序框图

以大大提高保护的灵敏性，使反映接地过渡电阻的能力大为提高（500kV 线路数字仿真结果表明，区内故障 R_g 达 550 Ω 时仍能正确动作）；再次，研究出所谓的“多相重合闸”后，可以实现同杆并架双回线分相跳闸后仍保持“全相运行”。此外，还可以考虑在区内、外故障时，将本测快速方向元件感受到的方向性由微波传送到对侧，实现母需收发信机的快速微波方向保护。所有这些，都是我们继 WXH-14_x 后合作研究方向。

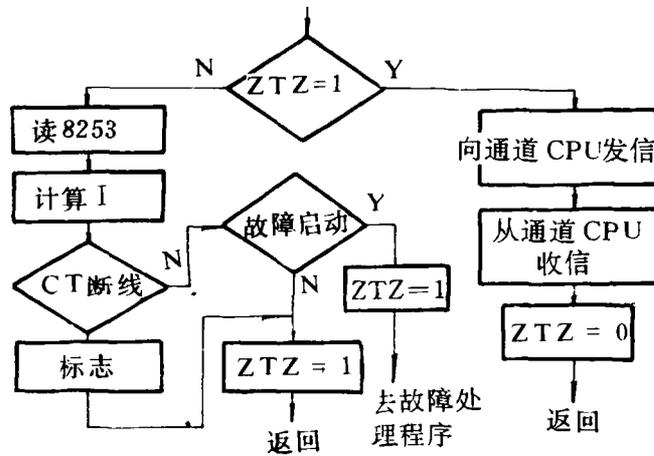


图 6 (b) 中断服务程序框图

参考文献

- 1 王绪昭. 并行处理式单片机微波保护的研究. 华北电力学院博士论文.
- 2 王绪昭、伍叶凯、杨奇逊. 一种适用于双端系统微机微波电流差动保护时跳闸判据. 继电器, 1992, 3
- 3 张新区、杨维娜等. 数字式微波零序电流差动保护判据的研究. 继电器, 1993, 2
- 4 杨维娜、鲍伟廉. PCM 系统传送继电保护数据的信号处理. 电力系统通信, 1992, 2
- 5 东北电力设计院. 微波电路传输继电保护信息设计技术规定(征求意见稿)编写说明. 1992, 3
- 6 许昌继电器研究所. WXH-14_x 型微机微波保护装置使用说明书. 1993, 6

(上接 10 页)

(3) 发生接地故障时，宜先判别单相接地故障，再判两相接地短路故障。

参考文献

- 1 葛耀中. 论微机保护的发展方向. 继电器, 1992, 4
- 2 王梅义等. 高压电网继电保护运行技术. 电力工业出版社. 北京, 1981年6月.