

# 微机分相电流差动保护的应用研究

李保恩 员保记 冯秋芳 李瑞生 张学圈 许昌继电器研究所 (461000)

**【摘要】** 论述了利用光纤通讯技术及计算机技术实现数字式分相电流差动保护的方案, 比较了数字式分相电流差动保护与传统导引线保护、相位比较保护的优点, 指出该保护尤其适用于城网改造的短线路。

**【关键词】** 光纤通信 分相差动 数字式电流差动保护

## 引言

输电线路的纵联差动保护不受负荷电流的影响, 不反应系统振荡, 有良好的选择性, 能快速切除全线故障, 一般情况下也具有较高的灵敏度。过去, 线路纵差保护多采用导引线保护, 相位比较式保护(相差保护); 近年来, 随着计算机保护技术和光纤通信技术的日益成熟, 具有独特优点的数字式分相电流差动保护正在取代传统的电流差动保护, 并且数字式分相电流差动保护软件编程方便灵活, 许多传统差动保护无法实现的辅助功能, 数字式分相电流差动保护都能做到, 从而为现场使用提供了极大的方便。本文从阐述传统差动保护(导引线保护、相差保护)的特点、数字式电流差动保护的特点入手, 分析数字式电流差动保护的优点及应用实例。

## 1 线路纵联差动保护

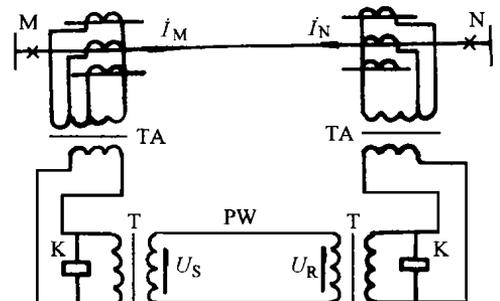
纵联差动保护是线路纵联保护的一种, 纵联差动保护比较的是线路两侧的电流, 有导引线保护, 相位比较式纵联差动保护, 纵联电流差动保护。

### 1.1 导引线保护

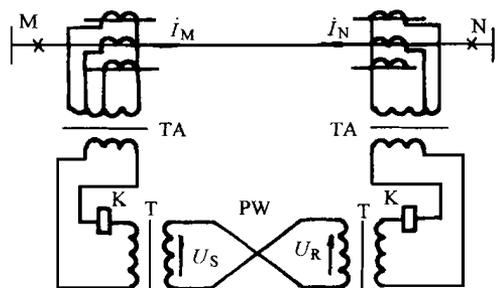
导引线保护原理采用电流差动保护的原理, 利用导引线连接线路两侧的保护, 比较被保护线路两侧的电流。导引线的长度与输电线路相等, 因此仅用于短距离输电线路。利

用导引线做通道传送两侧的电流, 线路的两侧均设有差动继电器, 差动继电器将本侧的电流与对侧传送来的电流进行比较判断来决定是否跳闸。

导引线纵联差动保护中采用环流法和均压法两种接线法。图1给出了两种接线法的原理图。图中TA为综合变流器, 将三相电流变为单相电流, 再经过隔离变压器T和导引线PW将线路两侧保护连接在一起。隔离变压器使导引线电阻归算到一次侧的数值大为降低, 有利于克服导引线电阻的影响。隔离变压器还起着将导引线与继电器隔离的作用, 为实现对导引



(a) 环流法



(b) 均压法

图1 导引线保护原理接线图

线完好性的监视, 各侧还设有监视装置(图中未画出)均压法接线在外部短路时导引线承受高电压; 环流法接线在内部短路时导引线承受高电压。由于两种接线法在运行中隔离变压器都要承受高电压, 并且随着线路长度的增加, 导引线的电阻和电容都不可忽略时, 两种接线法都受导引线参数的影响, 另外, 导引线的敷设受自然条件的限制, 所以, 导引线保护在技术上暴露出不足。

### 1.2 相位比较式纵联差动保护(相差保护)

在线路外部短路时两侧电流相位相差 $180^\circ$ ; 在内部短路时(假设两侧电势相位相同, 线路阻抗角相等)相位相差接近 $0^\circ$ ; 利用高频通道传送的反应对侧电流相位的高频信号和本侧电流相位进行比较, 从而决定保护的动作为, 就构成了高频相差保护即纵联相差保护。

早期由于没有完善的纵联方向保护、纵联距离方向保护和纵联电流差动保护, 相差保护因其具有无复杂的继电器和不受振荡影响等优点而受到青睐。在运行中, 由于相差保护对通道要求高, 且需两侧对调, 安排费事, 再加上运行中出现一些原因不明的误动, 同时随着纵联方向保护和电流差动保护的日趋完善, 纵联相差保护正在逐步减少使用。

### 1.3 纵联电流差动保护

随着计算机技术及微波通信、光纤通信技术的发展, 现在纵联电流差动保护在通道传输

中传送的为经保护处理后的数字量, 由于微波通道和光纤通道不受线路故障型式的影响, 尤其是光纤通道抗电磁干扰的能力强, 短线路保护中光纤纵联电流差动保护正越来越多地被采用, 这项技术也日臻成熟。

纵联电流差动保护按通信调制方式分为三种: 频率调制(FM)电流差动保护, 脉宽调制(PWM)电流差动保护, 脉码调制(PCM)数字纵联电流差动保护。由于当今计算机技术和数字通信技术的发展, 脉码调制(PCM)数字电流差动保护的优越性越来越得到实践的验证, 尤其随着短线路的增多和光纤通信技术的成熟, 脉码调制(PCM)数字电流差动保护正逐渐被电力系统推广应用。下面就这种保护的原理和特点进行论述。

## 2 脉码调制(PCM)数字电流差动保护

现代通信技术都采用脉码调制(PCM)的方式实现多路信息传输, 这种方式抗干扰能力强, 尤其适用于数字式保护, 光纤通信是将电信号变为光信号进行传输, 而光信号与电磁信号隔离, 为纵联差动保护性能的提升提供了强有力的支持。下面以许昌继电器研究所研制的WXH-35微机光纤纵联分相电流差动保护为例阐述电流差动保护的原理。图2为保护的原理框图。

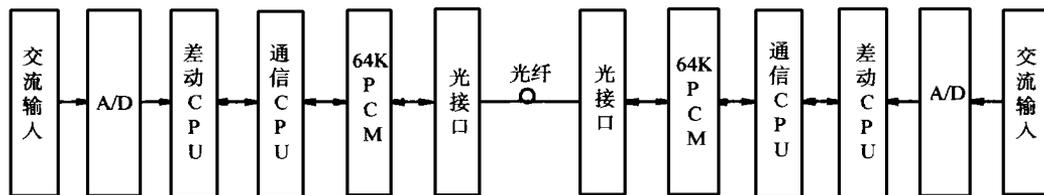


图2 WXH-35微机保护原理框图

图2中经交流采样、模数变换后, 保护CPU单元对信号进行滤波处理, 并将滤波后的电流数字量传送给通信CPU单元, 同时保护CPU单元也将接收通信CPU经同步调整后的对侧电流数字量, 并与本侧电流数字量进行比较判断以决定是否发出口命令。通信CPU单元

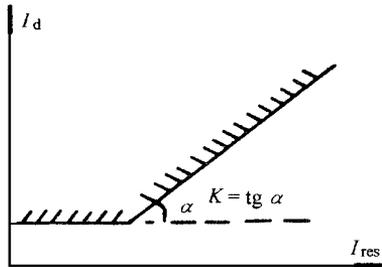
的作用是将本侧的数字量经并/串转换后将信号传向对侧, 并接收对侧的数字量经串/并转换, 同时根据两侧的信息进行电流的同步调整。64K接口的作用即进行PCM的调制/解调, 光接口(E/O)即实现光电转换。

### 2.1 动作判据

动作判据如下(1)、(2)式,两式同时满足程序规定的次数即跳闸。

$$|I_M + I_N| > I_{CD} \quad (1)$$

$$|I_M + I_N| > k |I_M - I_N| \quad (2)$$



其中  $I_d = |I_M + I_N|$   $I_{res} = |I_M - I_N|$

图3 跳闸判据动作特性

式(1)为基本判据,  $I_{CD}$  表示线路电容电流,式(2)为主判据,  $k$  取1和0.6两档,不需整定,由程序在故障启动后自动切换。

式(1)、(2)的动作特性如图3所示,制动量随两侧电流大小、相位而改变,  $I_M = I_N$  时,制动量为零,动作最灵敏,区外故障  $I_M = -I_N$ , 制动量  $\gg$  动作量,保护可靠不动作。

### 2.2 数据同步调整原理

两侧数据的同步调整采用数值调整法,同步调整关系如图4所示,甲为本侧,乙为对侧,“x”表示向对侧发信时间,周期为  $T$ ,  $\Delta t_1$ 、 $\Delta t_2$  分别为两侧收到对侧数据距本侧最近一次发信的时间差,  $T_c$  时刻甲方收到乙方数据,其内容如表1所示。用于调整的两个量为:对侧收到本侧传来的序号  $N$  和  $\Delta t_1$ ,乙侧最近一组发送数据序号名  $M$ ,再考虑到本侧最新一组  $I_N$ 、 $I_c$  的序号为  $P$ ,  $I_s$  和  $I_c$  为电流经傅氏滤波后的电流实

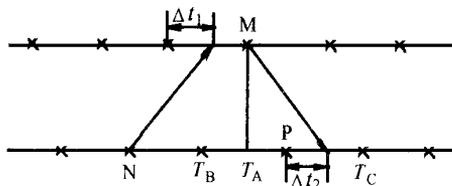


图4 同步调整图

部和虚部,收到对侧数据距本侧最新一次中断发信时间  $\Delta t_2$ ,则可根据公式(3)得时刻  $T_A$

$$T_A = \{T(P - N + 1) + \Delta t_2 - \Delta t_1\} / 2 \quad (3)$$

$T_A$  正是乙方  $M$  时刻数据对应甲方的时间,

但甲方的数据与  $M$  最近的一组序号距  $N$  点为  $T_B$  时刻,两侧时差  $(T_A - T_B)$  所对应的角度  $\theta$ ,  $\theta$  即甲侧数据  $T_B$  采样点与乙侧数据  $M$  采样点所差的角度。所谓同步调整就是将对侧  $M$  点数据  $I_N$ 、 $I_c$  向前移  $\theta$  角,使之与  $T_B$  时刻本侧数据对齐,据(3)式可求得  $T_B$  时刻甲方数据的序号  $S(i)$  和  $\theta$  角。

$$S(i) = N(i) + NT(T_A/T)$$

$$\theta = 60 \text{ DEC}(T_A/T)$$

式中  $NT$  取整数部分

$DEC$  取小数部分

又根据下式将乙侧  $T_A$  时的  $I_N$ 、 $I_c$  调整到  $T_B$  时的  $I_N$ 、 $I_c$ 。

$$\begin{aligned} I_B &= I_A \text{EXP}(j\theta) = (I_s + jI_c)(\cos\theta + j\sin\theta) \\ &= (I_s\cos\theta - I_c\sin\theta) + j(I_c\cos\theta + I_s\sin\theta) \\ &= I_s + jI_c \end{aligned}$$

这种调整方法在收到对侧一帧信息即可完成,对通道依赖不强,非常适合我国使用。

### 2.3 通信原理

线路两侧差动保护每隔 3.3ms 向对侧发一帧数据,帧结构如表1所示:

每帧发送的数据共 19 个字节,其中包括 12 个字节的三相电流向量值的实部、虚部分量,以及用于同步调整、控制等的有关信息,定义如下:

表1 帧结构表

同步字	本侧序号	三相电流 $I_N$ 、 $I_c$	控制字	远动控制字	对侧序号	$\Delta t$	校验码
1个字节	1个字节	12个字节	KZX1	KZX11	1个字节	1个字节	1个字节

同步字——正常运行时,各保护的收信回路处于搜索状态,收到同步字后,立即启动中断服务程序,接收尔后的 18 个字节数据。

本侧序号——本侧电流向量  $I_N$ 、 $I_c$  排列序号,用于同步调整。

对侧序号——本侧收到最新一帧对侧数据的序号,再发回对侧用于同步调整。

控制字——本侧保护根据运行状况,向对侧发出的状态信息。

远动控制字——发送远动信息。

$\Delta t$ ——收到对侧信息距本侧最近一次发信的时间,用于同步调整。

校验码——其值为前 17 个字节的累加和,用于收信误码检验。

数据传送采用“先算后送”的方式,这样一帧数据出错只损失一个采样间隔的跳闸时间,同时亦使装置对通道误码率指标要求不大于  $10^{-3}$ 。

#### 2.4 提高差动保护安全性的措施

在采样中断程序中,设有电流求和自检,对每个采样点都检查判断三相电流之和同  $3I_0$  的采样值是否相等。若持续 20ms 不等,则认为电流采集出错,报 CT 断线报告,并闭锁保护。本侧差动保护退出或硬件故障时,本侧保护在闭锁本侧保护的同时在帧结构中将控制字置为 4EH,对侧收到此控制字信息后亦退出保护以防误动。

### 3 数字式分相电流差动保护的应用

#### 3.1 应用于短线路

随着电网的改造,城市电网愈来愈紧密,高压系统(110kV 以上)短距离输电线路越来越多,对于短距离线路,由于距离保护、零序保护应用不够理想,而采用高频保护又要增加不少辅助设备,所以随着光缆价格降低,敷设方便等优点,使数字式电流差动保护广泛用于短线路成为可能。目前许昌继电器研究所研制的 WXH-35 微机光纤短线路保护已有多套应用于短线路中,其数字式分相电流差动保护运行效果令人十分满意。

##### 3.2.1 线路变压器单元

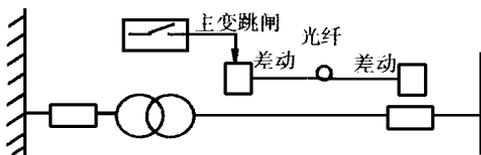


图5 线路变压器单元

目前,如图 5 所示的线路变压器单元接线形式越来越多。变电站中变压器出线短距离即为用户,变电站至用户间距离很短,在许多地方变压器出线处不设断路器,而在用户母线处安

装断路器。对于这种接线的系统,希望当变压器保护动作时将母线处断路器跳开,并且当变压器至母线这段短线路故障也将断路器跳开。对于这种特殊的要求,分相电流差动保护即显示出其它各保护无法比拟的优点。我们可以将主变保护的跳闸触点接至分相电流差动保护的开入端,差动保护在判定主变保护跳闸时,将远动控制字置为一特定的值,母线侧差动保护在收到这一远动控制字后,发跳闸命令,将母线侧开关跳开。另外当变压器至母线这段短线路故障时,差动保护也会跳开母线处断路器。

对于这种系统接线,分相电流差动保护的优势,使系统节省了三个高压断路器,省去大量的资金,具有显著的经济效益和社会效益。

##### 3.2.2 远方跳闸

如图 6 所示系统,由于线路较短,在主变故障时,为避免母线受影响,主变保护动作时既跳开变压器出线断路器,也希望跳开母线处断路器,这时数字式分相电流差动保护的远方跳闸辅助功能即可实现这一目的。同样当母线保护动作时,利用远方跳闸功能也可将变压器出线断路器跳开。实现方法同 4.2.1。

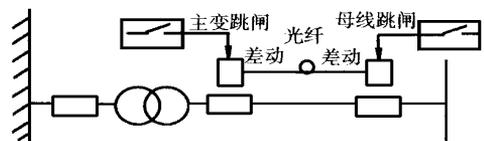


图6 差动保护远方跳闸

### 4 应用实例

湖南涟源变电站至涟源钢厂的 220kV 系统接线与图 5 相似。按要求,希望变压器侧的微机分相电流差动保护能够将 6 个开关量远方传至母线侧,这 6 个开关量包括:主变跳闸、手动跳闸、主变动作信号、主变异常信号、备用开入 1、备用开入 2。要在变压器侧差动保护中传输 6 个远动信号,不可能设 6 个远动控制字,唯一的办法就是根据开入量的不同进行编码,而传送的远动控制字仍是一个字节,这样才不致影响通讯中一帧数据的长度,即不影响通信传输时间。

远动控制软件框图如下:

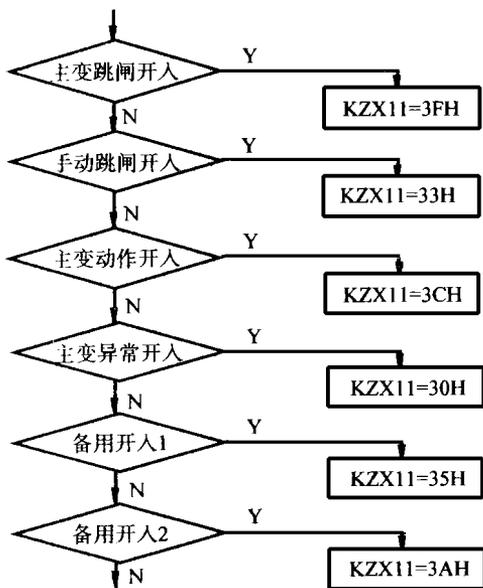


图7 主变侧差动保护远动控制框图

这一工程中，主变侧的差动保护仅具备模拟量、数字量的采集、转换及传送，根据采集到的开关量的不同进行编码，母线侧的微机分相电流保护根据接收到的远动控制字的不同，发出不同的保护命令。

根据以上逻辑设计的保护系统，经过动模试验及实际运行的考验，效果十分满意。这一保护系统为这一工程节省三个高压断路器，具有显著的经济效益和社会效益。

## 5 结束语

从以上对各种纵联差动保护的原理及应

用的分析来看，数字式分相电流差动保护以其独特的优点，必将取代传统的导引线纵联相差保护，并且由于其扩展功能的多样化，以及光纤通信技术的发展，数字式分相电流差动保护必将在线路保护中占据重要的地位。

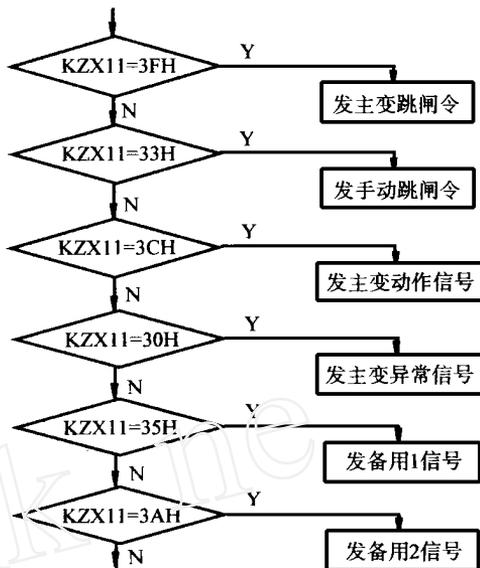


图8 母线侧远动控制软件框图

### 参考文献

- 1 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术. 中国电力出版社, 1995.
- 2 W XH-35 型微机短线保护装置说明书. 许继电气股份有限公司, 1996.

## APPLICATION RESEARCH ON MICROPROCESSOR-BASED PHASE-SPLITTING CURRENT DIFFERENTIAL PROTECTION

Li Baoen, Yun Baoji, Feng Qiuang, Li Ruisheng, Zhang Xuequan (Xuchang Relay Research Institute, Henan, China, 461000)

**Abstract** This paper describes the scheme of digital phase-splitting current differential protection which is realized using fibre-optical and computer technology, compares the advantages of the digital phase-splitting current differential protection with conventional pilot protection and phase comparison protection, and points out that the protection is especially available for short lines in power network improvement.

**Keywords** Fibre-optical communication Phase-splitting differential Digital current differential protection