

# 广东茂名 500kV 变电站 220kV 微机母线保护装置的研究

程利军<sup>1</sup>, 孔伟彬<sup>2</sup>

(1. 华北电力大学, 北京 100085; 2. 广东省电力设计研究院, 广东 广州 510600)

**摘要:** 介绍了自适应式母线保护装置系统结构及功能, 该装置采用多微机、分层式结构, 管理机采用高性能的工业控制计算机系统, 提供了基于 Window 95/98/NT 全汉化的管理功能和人机交互界面。保护机采用基于 intel80386EX、16-bit A/D 的 STD 工业控制计算机系统。采用支持 OSI 的七层协议的 LONWORKS 网络, 实现管理机与保护机的通信。文中还介绍了母线保护、失灵保护的配置、原理及实现。

**关键词:** 微机母线保护; 计算机通信; 保护算法; CT 饱和检测

中图分类号: TM773; TM63

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2000)02-0037-04

## 1 引言

### 1.1 对母线保护的要求

母线保护是电力系统中最重要设备, 其可靠运行直接影响到电力系统的安全、稳定运行。高压及超高压系统母线保护的研究应注重以下几个原则:

a) 外部故障, 即使 CT 完全饱和时应可靠不误动; b) 内部故障快速检测及跳闸, 即使在 CT 完全饱和时应可靠动作。由于 CT 的饱和不是发生在故障瞬间, 如果保护在 CT 饱和之前便完成判别, 保护的正确动作就得到保证, 而且对 CT 的要求相应要降低。根据这个要求, 保护的动作时间在 10ms 左右; c) 自适应能力强; d) 调试、维护和运行简单、可靠。

近年来, 保护技术发展很快, 特别是无人值班的变电站的出现和变电站自动化技术的发展, 对保护下放的要求越来越强烈, 它可以节省投资而且减少外界电磁干扰对保护的影响。

母线保护和失灵保护的就地下放也使得保护分层: 信息采集由每一个间隔(BU)来完成, 然后经通信网络传输到中央单元(CU)进行处理。经过中央单元(CU)完成故障判别后, 再把跳闸命令传输到相应的间隔单元(BU)来跳闸。

从变电站的建设和发展来看, 变电站的最终规模不可以一次完成, 有时母线的接线型式也可能发生变化。例如, 母线的主接线从双母线变成双母线单分段。这类要求对运行的变电站来说是十分麻烦的事。如果母线保护和失灵保护能适应这种要

求, 而且系统扩展很方便, 将对变电站的建设是有很好的。

### 1.2 装置的特点

广东茂名 500kV 变电站 220kV 母线近期采用双母线单分段接线, 规模为 21 个连接元件, 近期为双母线接线。

本装置是针对茂名 500kV 变电站 220kV 母线保护要求而设计, 能满足电力系统的要求, 可作为 110~500kV 各种主接线的成套母线装置, 满足变电站综合自动化的要求。该装置具有以下特点:

a) 采用分布式计算机系统构成高可靠、高稳定的母线保护体系; b) 采用开放式硬件、软件模块化结构, 具有良好的系统扩展能力。采用 LONWORKS 网络, 实现管理机与保护机的通信; c) 具有完善的保护功能, 包含有母差保护、充电保护、断路器失灵保护、电压闭锁、母联(分段)断路器失灵及死区保护; d) 采用“分相差动保护”方案, 并有完善的保护方案; e) 母线内部故障时动作速度极快, 整组动作时间不大于 10ms; f) 具有独特、有效的 CT 饱和检测判据, 母线外部故障时即使 CT 完全饱和, 保护也不会误动; g) 友好的人机界面, 完善的自检、互检功能; h) 完善的事件记录、故障记录, 完善的通信接口。

## 2 系统构成

在分层分布式变电站综合自动化系统中, 本装置位于间隔层中, 通过站内通信网互联, 同变电站层的设备通信。它保留了母线保护就地的所有功能, 立足于常规母线保护应用环境及要求, 兼顾综合自动化的特殊要求, 保证母线保护的独立性。

本装置可分为三层, 如图 1 所示。第一层为保护模块层, 第二层为设备管理层, 第三层为厂、站上

收稿日期: 1999-07-30; 改回日期: 1999-10-05

作者简介: 程利军(1966-)男, 高工, 博士研究生, 主要研究方向为计算机在电力系统继电保护及自动控制中的应用。

位机控制系统。保护层通过常规二次电缆同一次设备相联,第一层与第二层通过 LONWORKS 网络相联,第二层与第三层可根据实际系统配以不同的网络或串行口进行通信,实现变电所保护、控制一体化。

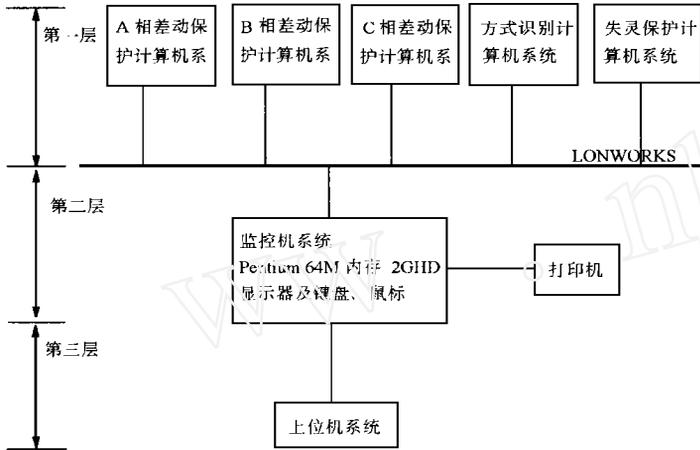


图1 硬件系统框图

## 2.1 保护系统

保护系统包括 A、B、C 三相构成的分相差动系统,主要实现数据采集、信号处理、差动保护、充电保护、失灵保护、CT 饱和检测、交流断线及出口等功能。

方式识别/电压闭锁系统、失灵保护系统分别完成双母线运行方式识别、电压闭锁等功能。

保护系统硬件采用 intel80386EX 32bit CPU STD 工业控制计算机系统,采用 16bit 智能数据采集系统,具有较高的精度。采用面向对象的 C 语言编程,程序运行于 MS DOS 平台上,软件、硬件与 IBM-PC 机完全兼容,具有较好的系统扩展能力。

## 2.2 管理机系统

管理机采用 intel PENTIUM 的工业控制计算机构成工作站系统,其配置为:9in 真彩液晶显示器、一体化键盘、64M 内存、2G 硬盘、3.5in 软驱、鼠标、串行口,并配有 24 针汉字打印机。

采用基于 WINDOW95/98 或 WINDOW NT 下 Visual Basic5.0 语言编程,完成整个系统的 I/O 管理、人机对话、通信管理等功能。它还提供了各种报告的硬拷贝、显示,定值的查询、修改,各保护机 I/O 检查等功能。由于采用全汉化用户界面,易于操作。

## 2.3 网络与通信

通信网络采用美国 ECHELON 公司生产的 Neuron 芯片为核心的 LONWORKS 网络,各保护系统采用 MIP 方式,即将神经元芯片作为通信协处理器,

在 DOS 接口下通过 C 语言函数调用完成 MIP 方式的负载接口,从而使用户在 DOS 环境下方便地使用网络变量进行操作。

监控系统采用 ECHELON 公司 LNS 技术提供的面向对象的编程接口,平台采用 Windows95/98/NT,用 Visual Basic 5.0 中 Active X Control 技术实现。

LONWORKS 网络中神经元芯片固化了支持 OSI 的七层通信协议,具有非常优良的开放性,可与光纤、双绞线、电力载波等多种传输介质互联。改善了 CSMA 媒介控制方法,使网络在负载很重时不会导致瘫痪。网络通信采用网络变量这一面向对象的技术构成通信体系,节点之间数据传送只是通过网络变量互相联接即可完成,大大简化了设计的工作量,又由于硬件芯片的支持,增加了通信的可靠性,实现管理机与保护机通信的实时性及接口的直观、简洁。

在图 1 所示的系统中,A、B、C 相分别处理一相差动计算,方式识别计算机系统承担实时动态跟踪母线运行任务,失灵保护系统实时完成失灵检测。当母线运行方式发生改变时,方式识别计算机系统通过网络及时将母线运行方式改变结果(方式字)送至各个节点,实现双母线直流、交流的自动切换。同时失灵动作信息、各个节点的报告、定值、自检、巡检、管理机对节点的管理均由 LONWORKS 网络完成。

## 3 保护原理及算法

### 3.1 保护配置

根据母线保护要求及现场实际需要,各保护系统从交流电流、电压输入、开关量输入、开关量输出、直流逆变电源等均独立。各保护系统配置如下。

#### 3.1.1 差动保护系统

A、B、C 相差动保护系统含有以下方面:

a) 母线差动保护,包括大差保护,各段母线小差保护;b) 充电保护,包括母联、分段开关的充电保护;c) 失灵保护检测及出口;d) CT 饱和检测及闭锁;e) 交流断线检测及闭锁。

#### 3.1.2 方式识别及电压闭锁系统

a) 电压闭锁,包含相电压、线电压、零序电压和负序电压闭锁,以满足母线保护对各种故障情况下电压闭锁有足够的灵敏度的要求。

b) 方式识别系统,通过隔离刀闸位置接点和一

相电流利用软件实现双母线运行方式的自动识别。

### 3.1.3 失灵保护系统

a) 电压闭锁,包含相电压、线电压、零序电压和负序电压闭锁,以满足失灵保护对各种故障情况下电压闭锁有足够的灵敏度的要求。同时它作为母差保护电压闭锁的后备。

b) 失灵保护系统,通过失灵启动接点实现失灵保护检测。

## 3.2 保护原理及算法

### 3.2.1 差动保护

采用瞬时值比例制动电流差动保护方案,其判据为(1)。

式(1)中, $S$ 为制动系数, $I_{d0}$ 为整定值, $I_1=1, 2, \dots, m$ 。

$$\begin{cases} \left| \sum_{i=1}^m I_i \right| > I_{d0} \\ \left| \sum_{i=1}^m I_i \right| > S \cdot \sum_{i=1}^m |I_i| \end{cases} \quad (1)$$

本装置采用瞬时值算法,以提高保护动作速度,即直接利用电流瞬时值进行计算比较,只要CT能真实传变二次电流,差动保护判据对每个采样点都是有效的。

为了提高保护的可靠性和抗干扰能力,应提高采样率以增加计算比较次数。本装置采样率是16点/周,连续计算、判断6点,如果有4点电流满足式(1),就判为母线内部故障,这样故障检测时间为5~7ms。

对于双母线系统,利用式(1)进行大差和小差电流计算、判断,大差电流计算使用母线上除母联和分段外所有连接元件,作为故障启动元件。小差电流计算用各段母线上所有连接元件,作为故障选择元件。

### 3.2.2 电压闭锁

作为母差保护用电压闭锁,包含相电压、线电压、零序电压和负序电压闭锁。低电压突变判据采用式(2),其中 $U_t$ 分别为相电压、线电压、零序电压, $U_{set1}$ 为定值。

$$U_t - U_{t-T} > U_{set1} \quad (2)$$

相电压、线电压、均采用瞬时值算法,计算低电压,判据为式(3),其中 $U_t$ 分别为相电压、线电压, $U_{set2}$ 为定值。

$$U_t > U_{set2} \quad (3)$$

负序电压根据附录A公式求出实部、虚部值,得到负序电压幅值后,根据式(4),确定电压闭锁动

作。其中 $U$ 为负序电压, $U_{set3}$ 为定值。零序电压也根据式(4)确定电压闭锁动作。

$$U > U_{set3} \quad (4)$$

这样就可以满足母线保护对各种故障情况下电压闭锁有足够的灵敏度的要求。

作为失灵保护用电压闭锁,包含相电压、线电压、零序电压和负序电压闭锁。其中相电压、线电压、零序电压、负序电压均采用全周波富氏算法,求出电压幅值 $U$ 后,根据式(4),确定电压闭锁动作。母线保护、失灵保护用电压闭锁原理、判据及整定原则是不一样的,这样实现了电压闭锁的双重化。

### 3.2.3 CT饱和检测

当母线发生近端外部故障时,CT可能饱和。当CT饱和时,二次电流发生畸变,严重时可能接近于零,此时差动保护将出现较大的差流,差动保护判据将反映为内部故障,母差保护将误动。这种情况对各种类型的母线保护正确动作都有影响。

根据分析,即使CT完全饱和,CT的二次电流在故障开始时至少有3~5ms以上的线性传变区,且饱和时电流有较大的突变。利用该线性区的数据作为CT饱和检测的判据,也有利用饱和时有较大的谐波量作为CT饱和检测的判据。

本装置设有正负半波CT饱和检测器,它采用瞬时值电流比相原理作为CT饱和检测的判据,具体原理如下:

设 $I_i(m)$ 为第 $i$ 个连接元件第 $m$ 时刻的电流采样值, $I_{set}$ 为越限值, $i=1, \dots, N$ 为 $N$ 个连接元件, $B_{pi}(m)$ ,  $B_{ni}(m)$ 为第 $i$ 个连接元件第 $m$ 时刻的电流正负半波越限标志, $S_p(m)$ ,  $S_n(m)$ 母线上所有连接元件第 $m$ 时刻的电流正负半波越限标志和。

其中,

$$S_p(m) = \sum_{i=1}^N B_{pi}(m)$$

$$S_n(m) = \sum_{i=1}^N B_{ni}(m)$$

$$B_{pi}(m) = \begin{cases} 1 & I_i(m) > I_{set} \\ 0 & I_i(m) < I_{set} \end{cases}$$

$$B_{ni}(m) = \begin{cases} 1 & I_i(m) < -I_{set} \\ 0 & I_i(m) > -I_{set} \end{cases}$$

设 $I_{set}$ 整定为躲母线上各个连接元件的最大负荷,则在正常运行方式下, $S_p(m)$ ,  $S_n(m)$ 均为零。

对于母线内部故障,所有连接元件(馈线除外)的电流都是流向故障母线,它们的相位是一致的,则 $S_p(m)$ ,  $S_n(m)$ 必有一个为零,另一个大于或等于1。

对于母线外部故障,所有连接元件(馈线除外)的电流都是流向故障线路,它们的相位是不一致的,则  $S_p(m)$ ,  $S_n(m)$  必有一个为 1,另一个大于或等于 1。

对于母线外部故障,如果故障线路 CT 完全饱和,饱和后故障线路 CT 二次电流可能为零,无法进行比相,但饱和前 CT 线性传变区时可以比相的,则  $S_p(m)$ ,  $S_n(m)$  必有一个为 1,另一个大于或等于 1。

因为母线内部故障和母线外部故障母线 CT 完全饱和时式(1)均成立,满足动作条件。为了区分上述情况,首先根据瞬时值电流差动判据识别出可能的“母线内部故障”,以此时刻为基准向前回退几点,如果  $S_p(m)$ ,  $S_n(m)$  至少有一次为 1,另一个至少有一次大于 1,则可判为母线外部故障 CT 饱和。如果  $S_p(m)$ ,  $S_n(m)$  必有一个为零,另一个至少有一个大于 1,则可判为母线内部故障。

CT 完全饱和后,差动保护将被闭锁一段时间,以躲过故障的非周期分量。对于 330 ~ 500kV 超高压系统,闭锁时间可整定为 100 ~ 150ms,对于 110 ~ 220kV 高压系统,闭锁时间可整定为 60 ~ 80ms。

### 3.2.4 方式识别实现

在变电站、发电厂的主接线中大量采用双母线结构,双母线接线运行十分灵活,但二次回路复杂。母线上各个连接元件在系统运行中需要频繁倒闸操作,因此要求母线保护应可靠地、自动地适应每一次系统的倒闸操作。

a) 运行方式字 运行方式字可以反映母线上连接元件与母线的连接关系。运行方式字中的某一位的值对应于该元件在母线上的投运情况。在多母线系统中,每段母线均设有一个运行方式字。

b) 通过隔离刀闸位置接点判别运行方式(反映二次系统)

计算机根据每个连接元件隔离刀闸位置接点的开入量,形成双母线的运行方式字。

c) 电流平衡法校核运行方式(反映一次系统)  
由 b) 得到的每段母线运行方式字形成小差,如果小差平衡,则表明运行方式字正确,否则运行方式字不正确,发“切换异常”告警。

d) 将得到的正确的运行方式字经网络送至各个保护系统中,重新组织各段母线的电流小差,并组织母差出口回路、失灵保护启动及出口回路,即以运行方式字为中心实现交流、直流回路的切换。

## 4 结束语

本装置是针对最大规模、最复杂的主接线,满足变电站综合自动化的要求而设计的。在硬件结构和保护原理上作了较大的改进和提高。在国家继电器检测中心动模实验室经过了全面的动模试验的考核,保护动作行为正确,运行稳定可靠。现已投入运行。

## 附录 A 负序电压计算公式

1) 利用富氏公式求出 A、B、C 三相电压的实部、虚部  $U_{AR}$ 、 $U_{BR}$ 、 $U_{CR}$ 、 $U_{AI}$ 、 $U_{BI}$ 、 $U_{CI}$ 。

2) 有以下公式求得负序电压的实部、虚部  $U_{2R}$ 、 $U_{2I}$ ,即可求得负序电压值。

$$\dot{U}_A = \dot{U}_{AR} + j \cdot \dot{U}_{AI}$$

$$\dot{U}_B = \dot{U}_{BR} + j \cdot \dot{U}_{BI}$$

$$\dot{U}_C = \dot{U}_{CR} + j \cdot \dot{U}_{CI}$$

$$U_{2R} = \frac{1}{3} [U_{AR} - 1/2 \cdot (U_{BR} + U_{CR}) + 2/\sqrt{3} \cdot (U_{BI} + U_{CI})]$$

$$U_{2I} = \frac{1}{3} [U_{AI} - 1/2 \cdot (U_{BI} + U_{CI}) + 2/\sqrt{3} \cdot (U_{BR} - U_{CR})]$$

$$U_2 = \sqrt{U_{2R}^2 + U_{2I}^2}$$

## 参考文献:

- [1] 魏庆福等著. STD 总线工业控制机的设计与应用. 科学出版社,1992.

## Research on the numerical busbar protection for the 220kV busbar in

### Maoming 500kV substation guangdong province

CHENGLi-jun<sup>1</sup>, KONG Wei-bin<sup>2</sup>

(1. North China Electric Power University, Beijing 100085 China;

2. Electric Power Research Institute, Guangzhou 510600, China)

**Abstract:** The structure and function of the adaptive numerical busbar protection is presents. The multi - CPU, hierarchical structure and high reliability industrial computers are used in the system. The STD industrial computer system based on Intel 80386EX CPU, 16-bit A/D is used in the protection system. Communication among the protection systems and management system is the LONWORKS network supporting OSI seven protocols. Busbar protection, circuit break failure protection are also presented in this paper.

**Key words:** numerical busbar protection; computer communication; protective arithmetic; checking CT saturate