

# 利用工控机实现神经网络式距离保护的研究

段玉倩,毛鹏,贺家李

(天津大学自动化学院电力系,天津 300072)

**摘要:**提出了神经网络式距离保护的新原理,提出基于工控机的微机保护是继电保护发展的一个新方向。对利用工控机实现神经网络式距离保护进行了研究。试验结果表明,利用工控机实现神经网络式距离保护能够满足微机保护的要求。

**关键词:**距离保护;神经网络;工控机

**中图分类号:** TM773

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1003-4897(2000)06-0010-05

## 1 引言

纵观继电保护的发展,所有保护原理都是计算和比较电力系统故障时的某个或某几个特征量,这有限的几个特征量难以全面确定电力系统的故障状态,因而电力系统继电保护领域中的一些难题始终得不到完善而彻底的解决,例如电力系统距离保护中的振荡与短路的判别、系统振荡情况下短路的检测、经高过渡电阻接地短路的检测、大型变压器差动保护中励磁涌流与短路的判别等等,这些问题的存在阻碍着继电保护装置正确动作率的进一步提高。但是,如不改变继电保护的观念、原理和手段,很难突破这些障碍,使继电保护技术继续向前发展。

基于上述分析,本文将电力系统故障作为电力系统运行状态突变来考虑,而不仅仅是看作某些电气量的变化,力图给出电力系统故障状态完整的描述。基于人工神经网络具有强大的模式识别能力和自学习、自组织能力,本文针对电力系统继电保护领域中亟待解决的棘手问题,如:距离保护中存在的振荡与短路的识别、振荡过程中发生短路的识别、过渡电阻对距离保护的影响等等,提出了人工神经网络式距离保护原理。实现该原理的神经网络模型由三个子网络组成。以天津大学动模实验室中的房山到大同的500kV超高压线路的仿真模型为例,利用ATP仿真计算的结果对各子网络分别进行了训练和检验。

为了使神经网络式距离保护达到实用化,本文对利用工控机来实现神经网络式距离保护进行了研究,探讨了以工控机为基础实现继电保护是微机保护发展的一个新方向。微处理器技术的高速发展以及工控机在工业控制领域中日益广泛和成功的应用,为工控机在电力系统微机保护中的应用创造了

良好的条件。

在本文的最后,以工控机为基础作为保护装置,从硬件上来实现本文所提出的神经网络式距离保护,利用汇编语言与C语言混合编程技术对其进行软件编程,并以故障定位子网络为例,进行了静模试验,试验结果令人满意,满足微机保护的精度和速度要求。

## 2 神经网络式距离保护

距离保护长期以来一直是复杂电网中高压输电线路最重要的、也是应用最广泛的保护方案。通过计算保护安装点与故障点之间的阻抗值,来确定故障是否发生在保护区域内。这种保护原理具有很多独特的优点,但是它的性能也存在着某些严重的不足:当系统发生振荡时距离保护可能会误动作;过渡电阻的存在可能会使距离保护误动或拒动等等。

尽管针对距离保护的现状,人们提出了一些改进方案,但是任何一种常规的距离保护都是仅取系统发生振荡时所具有的一种或两种特征来识别系统振荡与正常状态和故障状态。由于系统振荡状态和运行状态的多样性,仅利用上述一、两种特征来检测系统振荡状态是不可靠的。

基于人工神经网络是一种并行处理的非线性映射,具有很强的容错性、鲁棒性和冗余度,被广泛应用于模式识别和模式分类等方面,本文提出了一种神经网络式距离保护原理,综合反应前述各种特征,对电力系统的状态进行综合判断,通过大量样本的训练后,将电力系统输电线的各种运行状态信息记忆在其连接权值中,从而正确地识别系统的各种状态——正常运行、非正常运行或故障。实际上,将神经网络用于从系统各种参数的组合模式来识别故障,在这个意义上,已经无所谓是什么保护原理了,

因为并没有进行测量阻抗的计算或故障方向的判别,也不规定阻抗继电器的动作特征,但是为了与传统的概念相一致,将这种按阶梯型时限特性动作的保护仍称为距离保护。

根据前述距离保护中存在的问题,本文构造了三个相对独立的子网络来实现人工神经网络式距离保护<sup>[1]</sup>。这三个子网络分别是:振荡识别子网络(NN1)、故障检测与选相子网络(NN2)、故障定位子网络(NN3),它们在一起组成了一个并行处理的系统,综合判断三个子网络的输出后,确定系统所处的状态(正常运行状态、振荡状态或故障状态)。对距离保护的一个保护段,需要一个 NN3 子网络。根据各子网络的功能来确定各子网络的结构,即输入层、隐含层和输出层的节点数。

为了使建立的神经网络模型能够实现保护的功能,需要对各子网络进行训练以确定网络的联接权值和阈值。以文献<sup>[1]</sup>中图 3 所示的天津大学动模实验室中大同到房山 500kV 超高压输电线单回线运行的实际模型为例,利用 ATP 进行的大量的仿真计算结果来训练各子网络。对于网络功能简单的网络,如 NN1 和 NN2,选择常规的 BP 算法就足以在训练时间和精度上取得很好的结果;而对于功能复杂的网络如 NN3,由于其需要进行分类的模式种类很多,如果仍采用常规的 BP 算法,将会花费大量的训练时间,同时由于误差曲面的复杂性,可能会陷入局部极小点。为此,本文采用文献<sup>[2]</sup>中所提出的混合训练算法来对 NN3 进行训练。网络训练好之后,利用不同与训练样本的检验样本对各子网络进行检验。训练结果和检验结果见文献<sup>[1]</sup>中的表 1~6。关于这一部分,详见文献<sup>[1]</sup>所述。

上述内容是基于软件仿真来实现神经网络式距离保护。为了使神经网络式距离保护达到实用化,我们利用工控机来实现这一保护原理。

### 3 基于工控机的微机保护

电子计算机应用于工业过程控制,起始于 50 年代。所谓工业控制机是指能够提供各种数据采集和控制功能、能够和工业对象直接接口、能够在苛刻的工业环境中可靠运行的计算机系统<sup>[3]</sup>。随着工业控制机在各个领域的应用,工控机的产品已摆脱了以往那种专用的、非标准的设计方向,逐步走向模块化、标准化、系列化的道路。采用开放式系统概念和标准总线结构正是实现这一目标的最佳途径。目前在工业控制应用中,较为流行的总线产品有 ISA

(PC/AT)总线、STD 总线、VME 总线和 MULTIBUS 总线这四种总线产品。自 80 年代 IBM 公司推出 PC 总线以来,随着 Intel 芯片的迅速发展,PC 的价格日益降低,其性能价格比不断提高,PC 总线已成为一条“共识总线”。从设计角度来说,开发人员希望能够充分利用其巨大的软件资源;从使用角度来说,人们往往愿意用已有的知识来解决遇到的问题。因此,作为 PC 总线产品的工业 PC 一经使用后,很快被广泛推广<sup>[2,1]</sup>。可以说,PC 总线是目前应用较为广泛的工业控制总线,以 PC 总线为基础的模块化组合式工业控制机成为当今国际上中、小型工控机的潮流。

为适应工业现场需要,PC 工控机同普通 PC 相比,采取了如下措施<sup>[4~6]</sup>: 取消了 PC 中的大底板,将其分解为无源总线底板和相应的 CPU 板、I/O 板等等; 由于取消了大底板,将扩充总线变成了一条十几槽的总线,因而大大提高了可插入板的数目; 减小 PC 板的尺寸,增加导轨和紧固措施; 改造其电源,换用独立的工业电源; 防磁。采用全钢结构的密封机箱,能抗强电磁干扰和高频辐射干扰。 防尘。对进入机箱的空气加以过滤,过滤器可方便更换,机箱内由强力风扇进行内部正压送风达到防尘目的。可以采用触摸式或加保护膜键盘,防尘耐用;驱动器加锁,防尘安全; 抑制浪涌。在交直流电源输入端加有电压浪涌抑制装置; 防震。磁盘驱动器加有减震装置,接头、插座加装紧固件,模板加装防震压条; 虚拟磁盘技术。可以采用半导体虚拟磁盘,无需软盘,更适合于工业恶劣环境; 耐高温,有特殊的散热系统。

采取上述措施后,PC 工控机的可靠性有了很大的提高,从而使其能够适应工业现场的苛刻条件。因此,基于 PC 总线的 PC 工控机同其它类型的工控机相比,就具有了明显的优势,可表现为以下几点:

1) 兼容性好,易于升级。PC 工控机完全与 IBM-PC/XT/AT 兼容,系统升级极为方便,只要更换一块 CPU 模板,即可实现。这样就最大限度地方便了硬件升级,节约了用户的投资。

2) 性能与价格比高。随着微处理器的技术突飞猛进,PC 机的价格和 PC 工控机的价格也随之降低,而性能随着 CPU 性能的提高而不断地得到改进。

3) 软件资源丰富。凡在一般 PC 机运行的软件,均可以非常方便地移植到工业 PC 机上。同时熟悉 PC 的工程技术人员遍及世界各地,所以 PC 工控机易于被广大用户所接纳。

4) 通信组网功能强。PC有多种网络适配器构成PC的各种局部网络。PC工控机组网已成为必然趋势,将若干PC工控机构成局部网,通过网桥或网间连接器以及TCP/IP协议进一步形成复杂的系统,可达到集散型系统(DCS)的功能,这就为实现计算机综合自动化系统奠定了坚实的基础。

5) 模块化结构。PC工控机采用模块化结构,且各种功能板齐全,便于用户根据实际情况组成系统。同时,模块化也使系统维修更为简单,只要将不正常的模块换下,即可使系统恢复正常。

6) 可靠性大大提高。上文已述及,PC工控机在PC基础上经过改进后,可靠性大为提高,如抗尘能力、抗冲击振动能力、抗电磁干扰能力、抗腐蚀性气体的能力以及适应更为宽广的环境温度的能力,都大为提高。而且各种功能模板的模块化结构,使其平均无故障时间MTBF大大提高。若再加上实时接口处理,就可以大大提高其实时处理能力。

与基于单片机的微机保护装置比较,基于PC总线的工控机有着其独特的优点及较高的性能价格比。如今的微机保护装置,不再仅仅是实现保护功能就足够了。它现在朝着将保护、控制、测量、数据通讯一体化的方向发展;为了进行长时间故障录波、长期保存事件顺序记录、故障和不正常运行状态信息,同时为了与其它装置进行数据通讯、共享全系统信息等,需要大量的存储空间。目前单片机式的微机保护上仅有的存储空间就显得不够用了;另外,由于与变电站、调度中心进行通信以及通信规模的不断扩大,目前的单片机式微机保护已难于应付。一般来讲,通信接口都与单片机在同一模块上,通信方式一经更改,整个模块将不得不随之更换,这在经济和时间上都是一个很大的浪费。而PC工控机对上述问题可谓应付自如,它可以配置大容量的硬盘、软盘,通过DMA方式将数据、信息传送到磁盘中存储起来,随时可以被工作人员调用;同时前文已述,PC工控机具有很强的组网功能,配有各种通信模块,根据实际需要来选取。它能够适应各种通讯要求。因此综合考虑工控机的各种性能优点,利用工控机作为微机保护装置是使微机保护性能和功能大大提高的重要途径,是一个新的研究发展方向,可实现人们最初的设想,即利用计算机的全部硬件和软件资源来实现高性能的继电保护。

本文在比较了当前国内市场上销售的各种主要系列、类型的PC工控机后,选择了台湾研华公司新近推出的抽拉式模块化工控机(MIC-2000系列)。它

具有前文所述PC工控机所具有的性能、优点,如基于PC总线的无源底板,推拉式双风扇风冷系统,使机箱内产生正气压,防止灰尘进入,保持高效散热,250W的工业级电源,抗振动等特点。另外,它采用前端出线,所有的板卡为前面插拔I/O卡,前面板出线,以及插拔式接线端子排接线,这种类似PLC的可插拔端子接线形式使MTTR(平均维护时间)可以小到几秒钟。MIC-2000系列最容易被继电保护人员所接受的特点莫过于它的抽拉式设计。这一设计与目前电力系统微机保护的结构十分相似。

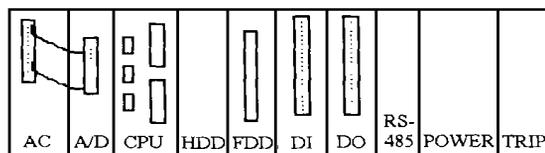


图1 所选用的工控机的结构外形示意图

图1为本文所选用的工控机的整体结构外形示意图,由以下几个模块组成:一体化的486 CPU模块;通信模块(双端口隔离型RS-422/485);开关量输入/输出模块;存储/记忆模块(FDD及HDD)。由于在电力系统继电保护中,要求对交流量(电流、电压)进行同步数据采集,而在目前所售的各种数据采集卡基本上为异步数据采集卡。为此,本文设计、实现了一块智能化的同步数据采集模块来满足实现继电保护的要求。除AC插件和跳闸插件有固定位置需单独引线外,由于所选用的工控机采用基于PC总线的无源底板,所以其它各插件都可以随意排放,没有固定顺序要求,不会出现插件被插错地方而遭到破坏或造成误动的危险。在CPU面板上,有显示器、鼠标、键盘、打印机接口,在调试时可临时接入这些外围设备,非常方便。开入量插件和开出量插件的路数均为32路。根据保护实际所需,配置一块跳闸插件。另外,考虑到与变电站、调度中心的通信,设置了一块RS-422/485串口通信卡。电源安装在机箱上,不仅给PC总线插槽提供 $\pm 5V$ 、 $\pm 12V$ 及GND,同时有5V、GND及12V的接头以备外用。

#### 4 试验结果举例

本文以故障定位子网络NN3为例,基于工控机,采用宏汇编语言与C语言相结合的混合编程技术对保护原理进行编程。为了检验用ATP仿真房山到大同500kV线路各种故障所得样本集对神经网络训练所得权值和阈值矩阵的正确性,首先用图2所示的模拟线路对神经网络进行了校验,结果表明与

用 ATP 仿真样本测试结果相同。

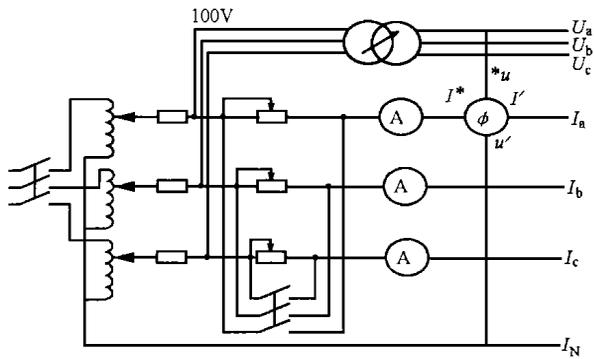


图 2 神经网络式距离保护的试验接线图

对于三相短路内部故障,故障定位子网络的动作结果如下:

- 1. 000000
- 916. 000000
- 920. 000000
- 0. 020833
- 0. 081250
- 0. 052083
- 0. 129167
- 0. 104167
- 0. 120833
- 0. 118750
- 0. 131250
- 0. 131250
- 0. 052083
- 0. 014583
- 0. 018750
- 0. 104167
- 0. 047917
- 0. 081250
- 0. 079167
- 0. 120833
- 0. 104167
- 0. 443503
- 0. 308524
- 0. 390199
- 0. 150454
- 0. 352125
- 0. 260378
- 0. 341317
- 0. 450135

- 0. 410341
- 0. 311471
- 0. 099361
- 0. 212479
- 0. 102923
- 0. 139155
- 0. 019160
- 0. 457627
- 0. 447802
- 0. 468558

beginning :916 ending :920

Calculation takes 3. 3333 ms.

区内三相接地短路,短路前为空载,仅有励磁电流,保护给出动作跳闸时间为23. 33ms;未实现跳闸。其中,

1. 000000 :表示保护动作的结果,即故障定位子网络的计算结果,1表示保护动作;

916. 000000 和 920. 000000 :表示启动后保护开始计算和计算结束的时间计数,单位系数是 5/ 6ms;

接下来的 36 个数值为故障定位子网络的输入层节点值,具体定义见文献<sup>[1]</sup>所述。

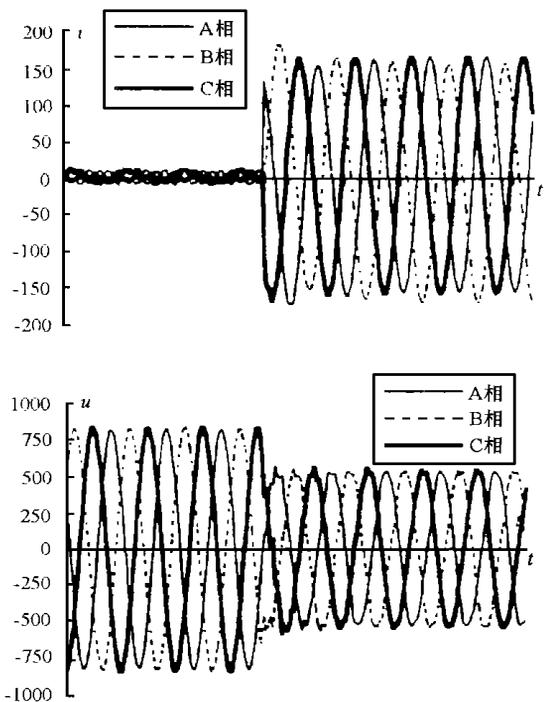


图 3 区内三相接地短路录波图

从试验结果可以看出,故障定位子网络的计算结果正确,计算速度快,保护动作时间约23. 33ms 满足微机继电保护的要求。

## 5 结论

本文在提出了神经网络式距离保护新原理后,为了使其达到实用化,对利用工控机来实现该原理进行了初步探讨,指出基于工控机的微机保护是微机保护发展的一个新方向。通过试验结果可以看出,利用工控机来实现神经网络式距离保护能够满足微机保护的要求。但是要指出的是,本文的工作还处于研究的初级阶段,对基于工控机的微机保护及神经网络式微机保护的实现有待于进一步的深入研究。

### 参考文献:

- [1] 段玉倩,贺家李.基于人工神经网络的距离保护.中国电机工程学报,1999,19(5).
- [2] 段玉倩,贺家李.用于BP网络的混合训练算法机器在神经网络式距离保护中的应用.全国高等学校电力系统及其自动化专业第十四届学术年会.黑龙江省哈尔

- 滨市,1998,10.
- [3] 严寒冰,黄家付.嵌入式工业控制PC机.工业控制计算机,1993,(3):18-20.
- [4] 傅忠良.兼容PC机在工业现场的应用.计算机过程与应用,1998,(5):57-58.
- [5] 唐怀斌.工业PC及其国产化联合开发.计算机世界,1995,(5):120~124.
- [6] 陈勇.工业控制计算机的抗干扰技术.工业控制计算机,1996,(5):31~33.

收稿日期: 1999-12-07

基金项目: 高等学校博士学科点专项基金资助项目(96005604);国家自然科学基金资助项目(59907002)。

作者简介: 段玉倩(1972-),女,博士后,主要从事电力系统继电保护与故障分析、变电站综合自动化、人工智能在电力系统继电保护中的应用等方面的研究; 贺家李(1925-),男,教授,主要从事电力系统继电保护与故障分析、变电站综合自动化、人工智能在电力系统继电保护中的应用等方面的研究。

## Study on NN based distance relay using industrial controlling computer

DUAN Yu-qian, MAO Peng, HE Jia-li

(Dept. of Electrical Engineering Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**Abstract:** A new principle of Neural Network based distance relay protection is presented in this paper. And the feasibility to realize this method using industrial controlling computer is studied. The experiment results are satisfactory and meet the requirements of protection.

**Keywords:** distance relay protection; neural network; industrial controlling computer