

# 地区电网继电保护整定计算智能系统的研究

吴晨曦<sup>1</sup>, 盛四清<sup>1</sup>, 杜振奎<sup>2</sup>, 熊中行<sup>1</sup>

(1. 华北电力大学, 河北 保定 071003; 2. 无极电业局, 河北 无极 052460)

**摘要:** 提出了一种与数据库相结合的继电保护整定计算智能系统。该系统由拓扑分析、短路计算、断点搜索、整定计算四部分组成, 有效地简化了继电保护整定人员的工作量, 解决了保护定值相互配合的复杂问题, 并开发出基于 Visual Basic 6.0 与 Ms-access 相结合的继电保护整定计算软件, 建立了网络参数库、继电保护参数库以及定值管理系统。该系统具有整体功能强、操作简单灵活等特点。

**关键词:** 拓扑分析; 图论算法; 整定计算; 智能系统

**中图分类号:** TM744 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)07-0035-04

## 0 引言

继电保护装置是电力系统最重要的二次设备之一, 它对电力系统的安全稳定运行起着极为重要的作用。因此, 继电保护整定计算是电力工程设计和电力生产运行中一项必不可少的工作。70 年代以前, 继电保护整定计算主要依靠人工计算; 自 70 年代以来, 利用计算机技术提高整定计算工作效率的研究一直受到人们的重视, 经历了整定计算的第一阶段: 从使用数字计算机到使用基于 DOS 操作系统的整定计算软件; 而从 80 年代到 90 年代初期经历了继电保护整定计算的第二阶段: 人工计算 + 电流程序; 到 90 年代进入实现计算机整定计算的全过程自动化时代。随着人工智能技术的兴起, 越来越多的继电保护整定计算软件采用了人工智能技术, 如人工神经网络、模糊算法和专家系统, 尤其以专家系统为多, 其它如遗传算法<sup>[1]</sup>、进化规划<sup>[2]</sup>等也都有其独特的求解复杂问题的能力, 逐渐应用于继电保护当中。值得提出的是, 任何一个问题都不可能用一种方法得到最完美的解决, 今后的一个发展方向将是把人工智能的混合技术和技术组合应用于继电保护中, 可使求解速度更快, 结果更准确, 效率更高。

本系统首先利用人工智能的搜索技术自动进行拓扑分析, 生成短路计算用的支路数据, 然后编写了短路计算程序, 用图论算法结合人工智能的搜索技术对环网进行解环, 找出断点 BPS (Break Point Set) 且生成保护整定配合对 RSS (Relay Sequence Set), 最后用专家系统的方法编写整定计算模块, 具有通用性、可靠性和灵活性等特点。该系统的使用能够大幅度地减轻继电保护整定计算人员的工作量, 保证继电保护装置满足灵敏度、选择性、可靠性和安全

性的要求, 为电力系统安全、稳定运行创造了条件。

## 1 地区电网继电保护整定计算及管理系统模块设计

该智能系统的功能模块以及相互关系如图 1 所示。整个系统是以 MS - Access 为后台数据库, 在 Visual Basic 6.0 环境中编写程序, 用 ADO 技术对数据库操作来读取、存储数据。操作简单, 应用灵活, 且可扩充性较强。

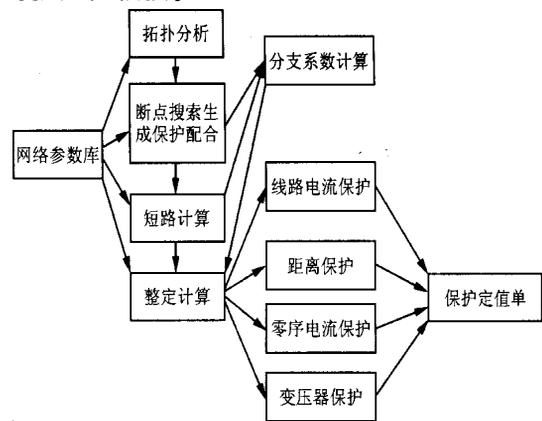


图 1 功能模块关系图

Fig. 1 Relation graph among the modules

## 2 系统功能实现

### 2.1 拓扑分析

#### 1) 网络参数库

在网络参数知识表示上, 本文采用新颖的基于 MS - Access<sup>[1]</sup> 的产生式系统和框架表示法, 用 MS - Access 数据库中的字段和字段值来表示框架的槽、侧面和它们对应的值。全汉字化的符号格式使知识库的开发与维护变得十分简便。表 1 为用

MS - Access 数据库实现的普通开关表,输电线路表则可以用线路名称、首端元件类型、首端元件名、末端元件类型、末端元件名、首端厂站名、末端厂站名、正序电抗、零序电抗和线路状态几个字段来描述。(限于篇幅,变压器表、母联开关表等不再一一赘述)。

表 1 普通开关表

Tab. 1 Table of the common switches

编号	所属厂站	电压等级	所连母线	开关类型	开关状态

## 2) 支路参数的生成

由网络参数库生成短路计算用的数据。以往的拓扑分析多是应用人工智能的深度优先搜索技术,由一个元件开始搜索与其相连的元件直至搜遍全网。根据短路计算的具体要求,有很多可以忽略的问题,所以本文提出了一种新的拓扑分析方法——采用广度优先的搜索技术,遍历所有的相关元件,对每一个元件进行支路编号,由元件的两侧开关连接的母线、结点等确定节点信息,一个个相关元件搜索下去,逐步形成全系统的支路参数。生成的短路计算支路参数表由支路状态、节点 1、节点 2、正序电抗、零序电抗几个字段来表达;节点信息表由节点名称、所属厂站、电压等级和节点编号几个字段来描述。

## 2.2 短路计算

因为该系统是针对 110 kV 电网进行整定计算的,所以根据实际情况作了如下简化:

不计系统元件的电阻,只计元件的电抗,或用阻抗的模式代替电抗; 不计输电线对地电纳; 不计变压器的非标准变比; 不计负荷,或负荷用恒定电抗表示; 发电机次暂态电动势  $E$  的幅值的标么值均为 1,幅角均为零。所以正序网所有节点正常电压均为 1。

继电保护的基础是短路计算,适当选择计算网络的数学模型,对于减少内存,扩大计算网络规模以及提高计算速度是至关重要的。在本系统里采用导纳矩阵,形成并存储正常最大方式下节点导纳矩阵的因子表,用因子表进行回代运算,得到故障点的自、互阻抗,为进行各种参量的计算做准备。

本系统所采用的短路计算程序能够利用已形成的网络拓扑结果及参数数据库,在母线和线路上设置故障点,计算各种运行、检修方式下三相短路、两相短路、单相接地、两相短路接地的故障电流电压,形成短路电流数据库,为分支系数计算等做准备,并

能够以一定格式输出打印。

## 2.3 环网断开点的确定以及保护配合对的形成

随着电力系统规模增大,多环网的结构日趋普遍,保护定值计算和协调也更加复杂。整定时需要解开环网,以免发生互锁现象。早期工作是图论算法<sup>[2,3]</sup>,Madani<sup>[4]</sup>等采用不相关树的搜索,代替简单回路。目前还有一种新的思路是人工神经网络(ANN)的二次规划来求取 BPS,本文采用了文献[5]提出的确定接近最小 BPS 的图论算法,该算法不需要求取网络简单回路,也无需搜索网络分割点或分割支路。而且计算速度较快,占用内存较少。该算法还允许指定未安装保护支路和必须作为断开点保护所在的支路,使算法具有处理 T 接支路的能力。通过与同类算法的比较,该算法得到断开点较少,占用内存少,计算效率高。

本文图论算法的基础是节点一支路关联矩阵的生成,断开点的搜索、相邻保护配合关系和整定计算相对顺序对的形成,都要在节点一支路关联矩阵中进行。

首先可以通过以下方法得到可以断开的所有有向回路的最小断开点集合:

- 1) 把图分割为一组数目最小且互相独立的不相关树;
- 2) 从 1 开始为不相关树编号;
- 3) 断开所有从小号树指向大号树方向支路。

这样图中只存在从大号树指向小号树方向支路,无法构成有向环,即所有有向环已经断开。而所断开支路方向的保护,即组成所求最小的断开点集。

其次可从节点一支路关联矩阵方便地得到相邻保护整定顺序对,在本系统中,为减少程序的存储量,在实际程序处理中,该关系没有事先形成并存储起来,而是在使用时按要求在节点一支路关联矩阵中搜索得到。

最后由断开点和节点一支路关联矩阵即可得到 RSS,其步骤如下:

- 1) 先将全部断开点加入 RSS;
- 2) 按节点排列顺序,对节点一支路关联矩阵中支路对应的保护进行检验,查看该保护要配合的保护是否全部得到整定:若是,则将该保护存入 RSS;否则对下一个保护进行检验;
- 3) 若全部保护都已存入 RSS,计算结束;否则继续步骤 2)。

这样,在断开点保护定值确定之后,即可保证在进行某一保护整定计算时,其要配合的所有保护定

值都已经得到整定,从而保证了保护之间的正确配合。

## 2.4 定值计算

本系统对输电线路的电流保护、距离保护和零序保护以及变压器的过电流保护进行了整定。利用人工智能的专家系统对各种不同类型的整定分别建立规则库,采用规则驱动<sup>[1]</sup>的方法,整定哪一个类型的保护启动哪一个整定规则模块,这样整定计算时直接从对应的知识库中查询规则,可节约时间,提高效率。本文中所述的专家系统的最大优点是可以由推理机去查询规则,进行推理,得出整定结果,也可以人工设置,或是在机器整定过程中人工修改一些信息,最后得出适合待整定系统的定值。

由于任何一个系统都有其各自的特性,所以规则库不可能囊括所有的规则,还需加入人工的干预。有时在整定中可能出现一种情况和多条规则相匹配,这时需人工选择整定规则,确定整定规则后,还可考虑是否将新规则存入规则库或是否对已有的规则进行修改等,这样使规则库不断完善。

本系统采用产生式规则的知识表示方法。产生式规则由规则名、条件和结论三部分组成,用 VB 语言编程,用 if then 语句来实现产生式规则,具有简便、易读、推理快等特点。以电流保护一段为例对本系统中专家系统的应用加以简单说明:

If 线路末端有多条出线或多台变压器 then  $I_{dz.1} =$

$$K_K \cdot I_{d. \max}$$

If 线路无任何出线,仅有变压器 then  $I_{dz.1} = K_K \cdot$

$$n \cdot I_{dz}$$

其中:  $K_K$ 、 $K_K$  为可靠系数;  $I_{d. \max}$  为本线路末端最大三相短路电流;  $n$  为并联变压器台数。

## 3 人机界面

本系统设计了友好简洁的人机界面,对于每一种保护,在界面上输入该保护整定计算所需的信息,确定后启动该保护的整定规则模块,最后输出结果。如在计算电流速断保护的定值时,通过人机界面选择或人工输入待整定保护、可靠系数等前提条件,然后点击确定就可以启动专家系统,搜索与输入条件相匹配的规则,进行计算,最后输出的结果会显示在界面上。其它保护的整定也是同样的。

## 4 算例

图 2 是韩屯变电站的系统正序阻抗图,该站有一个环,松陵—新阳—虎石台—松陵,搜索在新阳站

解环,距离保护整定计算的界面如图 3 所示,用户可以自己填写整定系数、选择整定规则和配合保护,先按躲线路末端故障来整定虎阳线、新阳站的一段距离保护,其定值为:0.076 16,下面以整定松阳线、松陵站保护为例结合界面来说明该软件的使用。

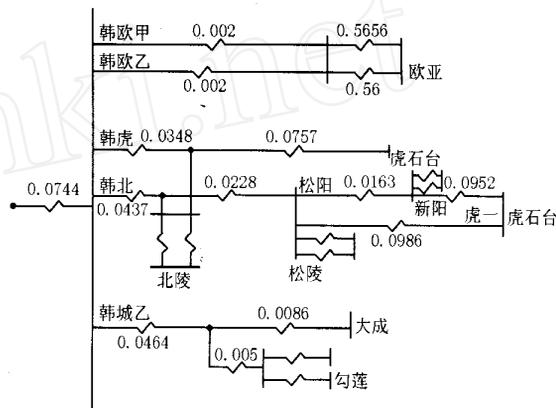


图 2 韩屯站正序阻抗图

Fig. 2 Positive sequence impedance of Hantun substation

松阳线、松陵站保护一段整定所选规则为躲本线路末端故障,二段与虎阳线的新阳站保护配合,三段选躲负荷阻抗来整定。整定系数填写在界面的左侧,结果显示在右侧,如图 3 所示。

## 5 结论

主要的结论归纳如下:

1) 采用了一种新的知识表示方法,即基于 MS—Access 的框架知识表示法。用这种知识表示来建立电网参数库,简单明了,易于维护、修改,在此知识表示基础上进行网络拓扑分析,采用了以电力系统元件分析为主的广度优先搜索的方法,提高了搜索的速度,简化了搜索的过程。

2) 采用 ADO 技术进行编程,这种在 Microsoft 中处理关系数据库和非关系数据库中信息的最新技术提供了更为方便的存取模式,所需的内存更少,对于新工程,应该使用 ADO 作为数据访问接口。

3) 在本系统中,为了解决环网整定的断点搜索与配合问题,采用了图论算法,在寻找最小断点和搜索时间之间做了折中,在较短的时间内可以搜索出接近最少的断点集,并在得到断点集后生成了保护配合对和确定了整定的顺序,为整定计算做了充分的准备。

4) 在整定计算中提出了分块整定的方法进行电网继电保护整定计算的新思想,对各种保护的整定规则进行分类,整定哪一类保护启动哪一个整定模

块,提高了整定的效率和速度。软件对用户是半开放的,可在整定过程中加入人工干预,增加了整定的灵活性。

5)本系统为了增强软件的通用性,将有关整定计算的规则分为两类:一类是整定计算所依据的基本整定规则,如部颁的整定原则,这类规则主要是针

对比较规范的电力系统制定的,可写在程序里作为基本规则,这一部分规则无需改动;还有一些规则是相对不规范的地方电力系统来说,大量适用于地方电网的一些特殊情况的整定规则,这些规则需要知识工程师从整定专家那里取得,这些规则可以改动。



图3 距离保护整定界面

Fig. 3 Interface of distance protection setting

## 参考文献:

- [1] 赖业宁,韦化,文杰,等(LAI Ye-ning, WEI Hua, WEN Jie, et al). 220500 kV 电网继电保护整定计算专家系统(Expert System for the Setting Calculation of Relay Protection on 220500 kV Power Networks) [J]. 继电器(Relay), 2001, 3(29): 31-34.
- [2] Bapaswara Rao V V, Sankara Rao K. Computer Aided Coordination of Direction Relays: Determination of Break Points[J]. IEEE- PWRD, 1988, 3(2): 51-59.
- [3] CHEN Yur-Ping, SHAO Qiu-xiao, et al. The New Graphic Theory Algorithm for Coordination Design of Protective Relays and New Strategy for Real-time Coordination Calculation[Z]. ICPST94. 1374-1379.
- [4] Madani S M, Rijanto H. Protective Coordination: Determination of the Break Point Set[J]. IEE Proc on Gener Transm and Distrib, 1998, 145(6): 717-721.
- [5] 李亚楼(LI Ya-lou). 继电保护整定计算的计算方法的

- 研究及软件开发(The Arithmetic Study and the Software Exploitation of the Setting Calculation of Relay Protection) [Z]. 北京:中国电力科学研究院(Beijing:China Electric Power Research Institute), 2000.
- [6] 涂序颜(TU Xu-yan). 人工智能及其应用(The Artificial Intelligence and Its Application) [M]. 北京:电子工业出版社(Beijing:Publishing House of Electronics Industry), 1988.
- [7] 陈亚民(CHEN Ya-min). 电力系统计算程序及其实现(The Calculation Program and Realization of the Power System) [M]. 北京:水利电力出版社(Beijing:Hydraulic and Electric Power Press), 1995.

收稿日期: 2003-07-21; 修回日期: 2003-12-05

作者简介:

吴晨曦(1978-),女,硕士研究生,主要研究方向为人工智能在电力系统中的应用;

(下转第 44 页 continued on page 44)

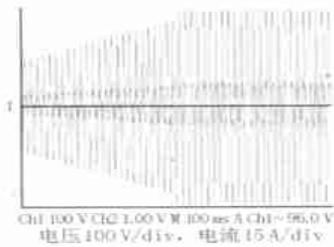


图 18 满载软启动

Fig. 18 Output waveforms of soft start under rated resistive

#### 4) 稳态误差 < 2% (如图 19 所示)

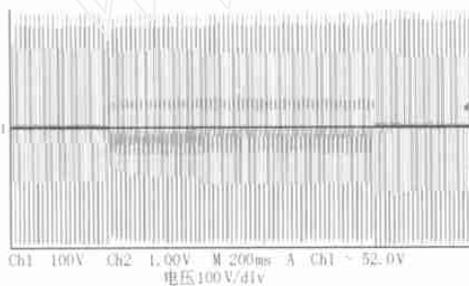


图 19 满载/空载切换电压波形

Fig. 19 Output waveforms operating between rated resistive load and no load

## 4 结论

本文介绍了基于高性能数字信号处理器 (DSP)

### Study of inverter supply device with DSP-based control

CHEN TianJin, YAO Wei-zheng

(XI Power Company Limited, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** This paper presents a full digital control scheme for inverter power supply based on high-performance DSP. The controller inherits the merits of repetitive controller, predictive PID controller and feedforward control and can minimize the harmonic distortions of output voltage resulted from nonlinear cyclic loads and overshooting under step loads. Experimental results for a single-phase SPWM inverter demonstrate the good performance of the adopted control scheme under all types of loads.

**Key words:** DSP; predictive PID; repetitive control; feedforward control

的逆变电源全数字化控制方案,该方案结合了重复控制、预测 PID 控制和前馈控制的优点,能减小逆变电源在非线性周期负载下的输出电压谐波畸变率和阶跃负载时的超调量,并能减小输出电压的稳态误差。通过对 1.6 kVA 逆变电源实验装置的实验,实验结果显示所采用的全数字化控制方案能同时保证逆变电源在各种负载条件下的各项动态和稳态指标满足要求。本方案为基于高性能 DSP 的全数字化设计,能实现 UPS 的智能化控制和逆变器并联控制等复杂控制。

### 参考文献:

- [1] Rech C, Pinheiro H. Analysis and Design of a Repetitive Predictive — PID Controller for PWM Inverters[J]. IEEE Trans on Power Electronics, 2001, 3: 986-991.
- [2] ZHANG Kai, KANG Yong. Repetitive Waveform Correction Technique for CVCF-SPWM Inverters[J]. IEEE Trans on Power Electronics, 2000, 1: 153-158.

收稿日期: 2003-07-29; 修回日期: 2003-09-08

### 作者简介:

陈天锦(1973-),男,工学硕士,现从事电力电子产品的设计开发工作;

姚为正(1967-),男,工学博士,现从事大功率电力电子技术的研究工作。

(上接第 38 页 continued from page 38)

盛四清(1965-),男,副教授,主要研究方向为智能技术

在电力系统中的应用、电力系统故障诊断与事故处理等。

### Study of intelligent system for the setting calculation of relay protection on local power network

WU Chen-xi<sup>1</sup>, SHENG Si-qing<sup>1</sup>, DU Zhen-kui<sup>2</sup>, XONG Zhong-xing<sup>1</sup>

(1. North China Electric Power University, Baoding 071003, China; 2. Wuji Electric Power Bureau, Wuji 052460, China)

**Abstract:** An intelligent system of relay protection setting calculation combined with database is introduced in this paper. It is composed of four modules in the following: topology analysis, short circuit calculation, break point search, and setting calculation. It predigests the workload of the relay protection engineers, settles the matters of the coordination among the protective relays. Based on the Visual Basic 6.0 and Ms-access, the software for setting calculation of relay protection is developed, and the parameters of network and relay protection, and the setting value management system are established. The proposed system is strong as a whole, and is easy to be operated.

**Key words:** topology analysis; graphic algorithm; setting calculation of relay protection; intelligent system