

文章编号: 1006-4729(2008)03-0222-05

# 配电网继电保护整定及特性仿真分析

高亮<sup>1</sup>, 王婷<sup>2</sup>

(1 上海电力学院, 上海 200090 2 太原理工大学, 山西 太原 030012)

**摘要:** 目前较成熟的继电保护整定软件大多用于 110 kV 及以上的高压电力系统, 不能很好地适应电压等级较低的低压配电网. 在借鉴主网保护整定及特性仿真的基础上, 结合配电网自身的特点及现状, 进行配电网继电保护整定及故障状态下动作特性仿真分析方面的应用研究, 并提出一些问题和解决方法.

**关键词:** 配电网; 继电保护整定; 动作特性; 仿真分析

**中图分类号:** TM774 TM77 **文献标识码:** A

## The Relay Setting and the Simulation of Protection in the Distribution Network

GAO Liang, WANG Ting

(1. Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China  
2. Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030012, China)

**Abstract:** Now most mature Relay Setting software is used for power system of 110 kV and above. It is not good to the lower voltage levels smaller radiation distribution network. Referring to main network protection setting and on the basis of the simulator of its own distribution network and the characteristics of the status quo, research of setting distribution network and application under the fault protection action is carried out, putting forward some problems and their solutions.

**Key words:** distribution power network; relay setting; movement characteristic; simulation analysis

在电力系统中, 配电网同电力用户的关系最密切、最直接, 配电网的安全可靠供电直接关系到各行各业的生产、千家万户的生活, 甚至人们的生命安全<sup>[1]</sup>. 当配电网由于自然的、人为的或设备本身的原因在某处发生故障或出现不正常运行状态时, 配电网的继电保护装置必须能够迅速有选择性地切除故障部分, 以最大限度地缩小停电范围, 保护电气设备, 防止事故扩大, 尽可能地保证非故障用户的供电可靠性.

国内外的实例表明, 在电网中涉及停电范围

较广的事故都与继电保护装置的不正确动作有直接或间接的关系. 究其原因有两个方面: 一是装置本身存在问题; 二是定值(动作值和动作时间)的配置不合理<sup>[2]</sup>. 但是, 随着技术的发展, 装置本身的问题已越来越少. 因此, 必须使保护的整定计算更加精确, 并合理地选择保护定值.

现有的针对 110 kV 及以上的高压电力系统特点开发的继电保护整定软件已比较成熟, 而配电网在参数构成、拓扑结构、运行方式和整定方式上都与高压电网有着很大的不同, 且现有的继电

收稿日期: 2008-04-10

作者简介: 高亮(1960-)男, 硕士, 副教授, 山西太原人. 主要研究方向为电站自动化和微机继电保护的应用. E-mail: gaoliangged@126.com

保护整定软件一般不能适应配电网的需要,因此,大多数配电网中的继电保护整定大多采用人工计算。由于配电网继电保护整定软件的开发与应用并不充分,而且在不同运行方式和故障类型下做定值整定及保护动作的仿真分析也很少涉及,因此,利用继电保护仿真,可以在继电保护管理等各个方面起到相当重要的作用,在实际电网运行中也非常实用,它必将在电网的安全稳定运行方面发挥重要的作用。

## 1 我国配网继电保护的现状

### 1.1 我国配电网的特点

我国配点网的特点如下<sup>[3]</sup>。

(1) 配电网系统通常具有环形网络,但为了故障定位和继电保护整定的简单方便,通常要求处于开环状态运行,为辐射状,而输电网为网状或多环状,通常闭环运行。

(2) 与输电网相比,配电网的绝缘水平较低,运行环境恶劣,网络接线结构复杂,检修更新频繁。

(3) 绝大多数配电网属于非有效接地系统,对接地短路故障的判断较为困难。同时,弧光接地过电压、铁磁谐振过电压、工频过电压出现的几率相当高,严重影响了配电网的供电可靠性<sup>[4]</sup>。

(4) 配电网内要求的 FTU 数量通常比输电网多很多,一般是一个数量级以上。配电网的数据库规模也比输电网的数据库规模大一个数量级以上。

(5) 配电系统比输电系统自动化程度低,许多配电现场设备还是手工操作的,而输电网系统中大多是可以遥控的。

由于配电网的上述特点,加之其出线多、支线路多、整定计算量大、精度低,所以各个地区配电网的继电保护整定计算标准目前还没有统一。

### 1.2 我国配电网继电保护的发展状况

广义的继电保护是指电力系统中的电力元件(如发电机、线路等)或电力系统本身发生的故障,在危及其安全运行的情况下,向运行人员及时发出警告信号,或者直接向所控制的断路器发出跳闸命令,以终止这些事件发展的一种自动化措施和设备。在国内,继电保护泛指保护电力元件的

继电保护技术或由各种继电保护装置组成的继电保护系统<sup>[5]</sup>。

20世纪60年代以前,电磁型继电器占主导地位,到70年代,我国广泛采用整流型和晶体管型继电保护装置,到80年代为集成电路保护,直至90年代以后的微机保护,我国继电保护装置取得了长足的进步,现在已基本由先进的微机继电保护所取代<sup>[6]</sup>。

然而对中、低压配电系统来说,由于其保护并不复杂,电磁型保护具有原理直观明确、结构简单牢靠、容易掌握、价格低廉等优点,因此,在配网中电磁型保护及新型微机保护还会并存,但由于数字计算技术的不断进步,尤其是微机技术进一步与数字测量、控制技术、现代通信技术和运动技术相结合,也给保护装置的应用研究带来了更大发展空间和可能<sup>[7]</sup>。

### 1.3 继电保护整定计算软件的现状

整定计算是继电保护工作的重要组成部分,进入20世纪90年代以来,计算机软、硬件技术的发展日新月异,一些新思想、新方法和新技术正逐步影响着电力系统分析软件的发展,例如软件工程的思想、面向对象及组件技术的编程方法、人工智能及自适应技术、数据库技术等<sup>[8-11]</sup>。因此,实现整定计算全过程的自动化,提供方便直观的人机交互界面,完善数据和信息的组织管理模式,已成为新一代整定计算软件的发展方向。

继电保护装置是电力系统安全运行的保证,准确的整定计算对提高保护运行的可靠性具有重要作用,保护装置的灵敏性、选择性和速动性要依靠整定计算获得的合理保护定值来保证<sup>[12]</sup>。因此,做好继电保护整定计算工作对于满足电网对继电保护装置提出的“四性”要求,充分发挥继电保护装置的性能和保证电力系统的安全运行具有重要意义。

然而,继电保护整定计算又是一项十分复杂的工作,需要考虑的因素是多方面的,其中电网的运行方式和接线方式对定值计算的影响最大,电力系统运行方式受负荷变化、设备检修等因素的影响不断变化,而保护定值在运行方式变化过程中保持不变,为了使固定的保护定值适应变化着的运行方式,就必须对各种可能的运行方式和故障情况进行反复周密的计算,但配电系统存在着

众多复杂和不规则的接线方式,如多重互感线路、多重 T 接线路 变压器等,增加了网络拓扑识别和整定配合的难度<sup>[13]</sup>.因此,对配网继电保护动作特性仿真的意义更加重大.

## 2 继电保护仿真分析的应用及发展

### 2.1 继电保护仿真的概念及要求

继电保护仿真是指通过建立模型来客观再现保护的动态特性,继电保护的仿真原理是讨论建立怎样的模型以及如何建立模型来准确描述保护特性的.这里的模型既包括通常的用方程式表示的数学模型,又包括逻辑模型<sup>[14-15]</sup>.

在电网运行中,对继电保护仿真也有其基本的要求,主要是正确性、实时性和适用性<sup>[16]</sup>.

(1)正确性 其内涵随着继电保护仿真的使用环境的变化而变化.例如,调度员培训系统中保护的正确的含义是外部特性与实际保护装置的一致性.而为了测试一套保护装置性能而实现的仿真,其正确性是指内部特性与实际的保护装置具有相同的数学模型.

(2)实时性 为满足实时性要求,保护装置仿真必须选用合适的仿真方法和高效率的算法.它是保护装置仿真在线应用最具挑战性的要求.

(3)适用性 指对于不同的电网结构、不同的运行状态和不同的一次系统仿真环境都能够客观再现各种保护的动态特性.由于配电网中馈线多,结构复杂,运行方式多样,因此这一点也是相当重要的.

根据实际应用,电网中的保护仿真原理主要有两种:逻辑判别法和定值判别法<sup>[5]</sup>.逻辑比较法通过设定从故障点向外围的开关逻辑和继电保护装置动作时延的配合来反映选择性,易于满足速动性的要求,但不能反映保护装置的灵敏性要求.定值判别法来源于微机保护的实现方法,根据故障仿真的计算结果去比较每一继电保护装置的测量值和条件值,以数学模型具有的定值配合和动作时延配合来反映选择性,靠自身的模型来反映灵敏性要求,但难以做到实时.

### 2.2 继电保护动作特性仿真的发展

继电保护的动态特性类型众多,配合关系复

杂,影响保护正确动作的因素很多,故障期间电力系统继电保护的动态性能又极大地影响着电力系统运行的安全性和可靠性,因此,长期以来继电保护工作者希望能够准确地多次再现故障过程,能仔细研究各种保护装置的动态特性对保护性能的影响.

目前,国内外继电保护测试仪都可以测试继电保护装置在电力系统故障时的动态特性,但其共有的缺点是都只能反映保护装置在特定的系统故障情况下是否动作,而不能反映保护系统的各个环节究竟是如何动作、如何配合的,更不能在保护装置设计阶段对保护动作特性的设计方案给予指导和验证<sup>[17]</sup>.

另一种继电保护仿真系统是使用故障再现设备,把故障期间记录的真实数据转化为模拟量并输入到真实的保护装置中,观察其动作行为.其缺点是费用很高,费时费力,灵活性差,只适用于已有的保护装置<sup>[18-21]</sup>.

当系统发生复杂故障时,由于在较短时间内跳闸线路较多,一般已经超过了继电保护能够适应的运行方式,此时保护可能已经处于无配合的状态.此时进行事故恢复,不仅需要考虑一次运行方式的合理性,还需要考虑保护是否可靠并有选择地切除故障.现有的仿真系统却不能观察在特定的故障或运行情况下系统参数与保护配置之间的关系,出现故障以后无法得知故障如何进入保护装置动作范围内.一旦保护装置出现误动、拒动等情况,只能凭借经验进行定值调整,或由经验丰富的保护开发人员通过装置的外在表现来判断保护装置的内部逻辑错误,加大了继电保护工作者的劳动强度与难度.因此,研究能够在实验室中利用计算机对保护系统进行分析校验的方法显得十分必要.

本文提供一种配电网继电保护仿真方法的思路,借助已有的电力系统仿真软件对一定电压等级的配电网进行建模,用采集到的真实故障数据对模拟配电网系统进行故障仿真后,选择所要用的保护动作方程进行校验,特别是对不同运行方式下继电保护的动态特性及时限配合关系进行分析,找出最适当的配置,使配电网继电保护在结构复杂的同时,还能达到较高的稳定性.图 1 为配电网保护装置动作仿真框图.

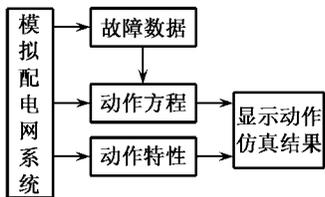


图 1 配电网保护装置动作仿真示意

### 2.3 配电网继电保护仿真的特点

由于配电网是 110 kV 及以下电压等级电网, 其拓扑结构较复杂, 是多馈线、辐射型网络, 其继电保护仿真有其特殊性. 在电力系统稳态仿真时, 保护装置模拟采用逻辑判别法进行<sup>[22]</sup>; 当电网发生故障时, 则根据故障信息、继电保护安装情况和保护原理来处理保护动作. 其特点如下.

(1) 配电网多为中性点不接地或经高阻接地, 由于变压器中性点是不直接接地的, 因而网络中发生单相接地时只在接地点流过不大的电容电流. 因此, 单相接地故障并不破坏系统电压的对称性, 系统还可带电运行 1~2 h 即发生无零序通路的单相接地故障时故障点的电流很小, 逻辑保护不动作.

(2) 配电网一般为辐射状电网, 线路或变压器的负荷侧开关不存在故障电流, 故其后备保护一般不跳负荷侧开关.

(3) 配电网存在 T 接线. 因此, 逻辑保护变得比较复杂. 在模拟时, 需要根据变压器中性点接地刀闸的开合状态来确定变压器的零序通路, 并结合故障信息和电网拓扑信息, 在不进行短路电流计算的情况下, 判断有无故障电流, 并根据保护安装情况及其原理判断保护装置是否需要动作.

(4) 保护参量的计算采用“故障分析型”. “故障分析型”在静态仿真的基础上再考虑故障瞬间的电磁暂态过程, 计算短路电流分布作为继电保护动作的判据. 当电网中发生动态潮流程序无法处理的故障时, 采用定值法模拟保护装置动作, 在保护装置动作和重合闸过程中, 不断调用故障计算模块, 直到电网中故障被切除且保护装置不再动作.

### 3 存在的问题

主网中继电保护仿真的方法和数学模型, 采用不同的保护原理建立保护模型, 其特点是以故

障计算为基础, 以整定值和延时时间为判据, 通过添加不同模型的保护, 并加以组合, 成为一套完整的保护装置. 如果能将主网中的这些成熟的保护整定计算与仿真技术应用到配网中, 就能大大提高配网继电保护的可靠性, 使配电网保护在更加安全和有选择性的情况下运行.

同时, 还有一些问题需要深入探讨.

(1) 在整定计算方面, 现有整定计算软件大多人机交互界面不友好. 如: 图形化功能不够强大, 人机交互不直观, 继电保护整定人员往往还要另外准备系统图纸放在手边, 一方面图纸准备本身需要时间, 另一方面用户需要反复对照图纸进行操作, 从而影响工作效率.

(2) 缺乏专门为配电网而开发的整定计算软件, 特别是缺乏特性仿真分析系统. 配电网在参数构成、网络结构以及整定方式等方面与高压电网相比, 存在一定的差异, 且现有的继电保护整定软件一般不能很好地适应配电网的要求.

(3) 实际电力系统中继电保护装置形式多样, 种类繁多. 因此, 要求继电保护模型应有一个较通用的结构, 具有良好的兼容性和适应性.

(4) 由于定值判断仿真需要建立较准确的继电保护模型, 且对故障仿真计算有较高的要求, 需要有完善的电力系统故障分析仿真软件, 故继电保护的定值判断仿真也是一个需要解决的问题.

### 参考文献:

- [1] 郭晓云. 配电网保护与故障计算[J]. 大众用电, 2005, 9(2): 41-42
- [2] 曾杰. 基于 CS 模式的配电网继电保护整定系统的研究与开发[D]. 武汉: 华中科技大学, 2004.
- [3] 康文祥. 基于 MIS 的配电网继电保护整定[D]. 北京: 华北电力大学, 2002
- [4] 张弓, 宋家焯. 配电网故障计算通用方法[J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(7): 41-48
- [5] 李林. 地区电网 DTS 及继电保护仿真的研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2005
- [6] 李景禄. 实用配电网技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006
- [7] 高友权, 高华, 魏燕. 配电系统继电保护[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005
- [8] RAMASWAMI R, MCGUIRE P F. Integrated coordination and short circuit analysis for system protection[C] // IEEE Transactions on Power Delivery, 1992, 7(3): 1112-1120.
- [9] GILL H S, ILIOVIC-GLIEDJA V F, MOUKADDEM B, et al. Software engineering in power system practices and

- challenges [ J ]. Large Engineering Systems Conference on Power Engineering USA March 2004: 25-30
- [ 10] LU Q inq CHEN Shijie ObjectOriented drive protective relay system [ J ] // IEEE Computer Applications in Power 2000 13 (1): 33-37
- [ 11] CHARLES ROSES RAMASAMY Graphical coordination Paul McGuire program aids system relaying at consumers power [ J ] // IEEE Computer Applications in Power 1990 (3): 30-35
- [ 12] 陈德树, 张哲. 微机继电保护 [ M ]. 北京: 中国电力出版社, 2005
- [ 13] 吴炜琼. 地区电网继电保护整定计算一体化系统的研究 [ D ]. 武汉: 华中科技大学, 2004.
- [ 14] 冯小玲, 郭袅, 谭建成. 继电保护仿真系统的现状及其应用 [ J ]. 广西电力, 2004 (6): 50-56
- [ 15] 陈礼义, 顾强. 电力系统数字仿真及其发展 [ J ]. 电力系统自动化, 1999 23(3): 1-6
- [ 16] 杨晓军. 开放式的继电保护动态特性仿真系统 [ D ]. 天津: 天津大学, 2004
- [ 17] 邹俊雄, 蔡泽祥. 基于图形平台的电力系统继电保护动作逻辑仿真 [ J ]. 电力系统自动化, 2002 26(8): 61-64
- [ 18] 王洲, 张明. 基于 DSI 的继电保护数字化动态仿真测试装置的研究 [ J ]. 电力自动化设备, 2004 (2): 9-11
- [ 19] 王俊奇. 继电保护仿真开发系统 [ J ]. 电力自动化设备, 1993 (1): 37-39
- [ 20] 郭征, 贺家李. 继电保护故障时继电保护装置动态特性的数字仿真 [ J ] // 中国高等学校电力系统及其自动化专业第十七届学术年会论文集, 2004: 158-162
- [ 21] 王美焯, 窦河群. 线路保护的仿真算法与实现 [ J ]. 华北电力大学学报, 2000 27(1): 25-28
- [ 22] 贺仁睦. 电力系统动态仿真准确度的研究 [ J ]. 电网技术, 2000 24(12): 1-4

(上接第 210 页)

对象, 常规控制方法不易达到满意的控制效果. 本文采用了单神经元 PD 解耦控制器对球磨机进行控制. 仿真结果表明, 本控制法具有较好的动态和静态性能, 较佳的解耦性能, 较强的鲁棒性和抗干扰能力, 提高了制粉系统的出力, 降低了制粉电耗, 这对于实现球磨机最佳经济运行工况具有重要参考价值.

#### 参考文献:

- [ 1] 程启明, 王勇浩. 火电厂中储式球磨机制粉控制系统的研究 [ J ]. 华东电力, 2006 34(7): 23-27
- [ 2] 刘长良, 梁伟平, 李长青. 火电厂球磨机制粉系统的自调整模糊控制 [ J ]. 中国电机工程学报, 2004 21(12): 93-96
- [ 3] 孙立明, 李东海, 姜学智. 火电站球磨机制粉系统的自抗扰控制 [ J ]. 清华大学学报: 自然科学版, 2003 43(6): 779-781.
- [ 4] 程启明, 郑勇. 球磨机多模型 PD 型神经网络控制系统 [ J ]. 中国电机工程学报, 2008 28(2): 103-109
- [ 5] 许文稼, 张峰, 赵英凯. 复杂大时滞系统的单神经元 PSD 控制 [ J ]. 计算机仿真, 2007 24(2): 137-140
- [ 6] 游文明. 神经元自适应变结构 PSD 控制算法研究 [ J ]. 仪器仪表学报, 2005 26(6): 640-646
- [ 7] 刘金琨. 先进 PD 控制及其 MATLAB 仿真 [ M ]. 北京: 电子工业出版社, 2003.