

微机距离保护仿真系统的设计与实现

邹贵彬,高厚磊,江世芳

(山东大学 电气工程学院,山东 济南 250061)

摘要: 根据微机距离保护的工作原理和基本组成,设计了微机距离保护动态仿真系统。按照模块化设计,系统由基于 EMTDC 的故障暂态计算模块、启动元件模块、傅里叶算法模块、选相元件模块、阻抗继电器模块和显示模块 6 部分组成。仿真系统将数据格式转换后的故障暂态计算结果作为距离保护动态仿真程序的输入量,通过对输入量进行逐点计算,能同步逐点显示出继电器的测量阻抗和其他各种仿真结果。仿真实例表明,该动态仿真系统既能较好地仿真距离保护在不同工况下的动作行为,为分析距离保护提供依据,而且还可以作为一种有效的软件工具用于继电保护的开发和教学。

关键词: 距离保护; 动态仿真; 继电保护; LabVIEW

中图分类号: TM 773

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2007)09-0088-03

0 引言

目前,所有的继电保护仿真系统并不能完全地仿真继电保护装置,为了测试、分析^[1-4]或者培训目的,它们可以准确地实现继电保护装置的大部分特性或者某些特性,从而为分析和学习继电保护的能与特性提供了依据^[5]。文献[1]的仿真系统是针对测试和分析的目的而研制和开发的。文献[6]是作为培训和教学目的开发的。在这些已有的继电保护仿真系统中,有的是针对某种具体的保护进行仿真,有的是一种综合性的仿真系统,还有的是对某种元件保护进行仿真。这些仿真系统所基于的编程环境也是不一样的,既有在 Visual C++ 中编制的仿真系统,也有在 Matlab 中编制的仿真系统。

在此对微机距离保护进行动态仿真,分析距离保护的動作特性。在 PSCAD/EMTDC 中进行了暂态仿真^{①②},仿真各种故障与振荡情况。同时把 EMTDC 的计算数据经 Matlab 格式转换后作为距离保护仿真的输入,采用数据回放的形式输入到由 LabVIEW^[7]编制的距离保护动态仿真系统中。该仿真系统对输入数据进行逐点计算,并将计算结果逐点显示。距离保护动态仿真系统可以仿真线路中不同地点、不同故障类型的各种故障以及振荡情况下距离保护的变化过程,特别是测量阻抗的变化过程。可以清楚地观察到不同算法、过渡电阻、暂态过程等对距离保护带来的影响。

1 距离保护的工作原理和基本组成

电流、电压保护或方向电流保护,应用在结构简单的电网中,一般能满足选择性、灵敏性和快速性的要求。但在大容量、高电压或结构复杂的电网中就难以满足要求。因此,在结构复杂的高压电网中,

应采用性能较为完善的保护装置,距离保护就是其中的一种。距离保护在任何复杂形式的电网中都可有选择性地切除故障,而且具有足够的灵敏性和快速性。

1.1 距离保护的工作原理

在距离保护中,阻抗继电器(或称阻抗元件)是一个核心元件,它能测量保护安装点到线路故障点间的阻抗,而方向阻抗继电器不仅能测量阻抗而且还能测量出故障点的方向。因输电线阻抗大小即反映线路的长度,故继电器测量到的阻抗也反映了故障点到保护安装点的距离。

距离保护是反映被保护线路始端电压和线路电流的比值而工作的一种保护,这个比值被称为测量阻抗 $Z_j (Z_j = U_j / I_j)$ 。在线路正常运行时的测量阻抗称为负荷阻抗,其值较大。当系统发生短路时,测量阻抗等于保护安装处到短路点的线路阻抗,其值较小,而且故障点愈靠近保护安装处,其值愈小。当测量阻抗小于预先规定的整定阻抗 Z_{set} 时,保护动作,距离保护就是根据测量阻抗的大小来反映故障点的远近。

1.2 距离保护的组成

三段式距离保护装置组成如图 1 所示。

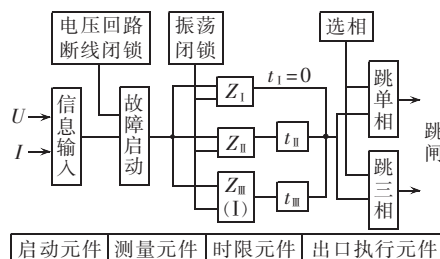


图 1 距离保护原理方框图

Fig.1 Principle diagram of distance protection

① WOODFORD D A. PSCAD user's guide. Manitoba, Canada: Manitoba HVDC Research Centre, 2003.

② WOODFORD D A. EMTDC user's guide. Manitoba, Canada: Manitoba HVDC Research Centre, 2003.

启动元件的作用是反映系统故障参数或故障分量,判别系统是否已经发生了故障。测量元件的作用是反应故障点到保护安装处的距离,它是距离保护中的核心元件。时限元件用以建立保护动作所必需的时限,它根据测量元件的动作结果决定相应的不同时间去发出跳闸脉冲。保护装置在动作后经由出口执行元件去跳闸并且发出信号。

2 微机距离保护动态仿真系统的组成

所研究的微机距离保护动态仿真系统是将微机保护的主要组成部分分别进行模块化设计,然后按照微机距离保护的构成顺序组合成一体。设计该仿真系统不仅可以观察最后的仿真计算结果,验证保护理论,也可以比较方便地观察到距离保护各中间环节在仿真过程中是如何动作的,为进一步的理论分析提供依据。

距离保护动态仿真是按照真实的继电器的数据处理过程进行设计,也可以叫做“软件继电器”。微机距离保护动态仿真系统的结构框图如图2所示,其由3部分组成,分别是基于 EMTDC 的故障暂态计算模块、由 Matlab 实现的数据格式转换程序和基于 LabVIEW 的距离保护动态仿真程序。其各组成部分的执行顺序如下:首先,在读文件部分读入暂态仿真结果,从暂态仿真结果中分离出 u_a 、 u_b 、 u_c 、 i_a 、 i_b 、 i_c ;其次,对三相电压、电流进行计算和显示。在电压、电流同步显示模块中显示三相电压、电流波形,相电流差突变量启动元件利用三相电流值判断是否发生故障,若发生故障则傅氏算法模块对三相电压、电流进行计算得到它们的向量值;利用三相电流向量值进行选相,选相结果输入到阻抗计算模块;阻抗计算模块根据不同的选相结果采用不同的阻抗继电器接线方式计算阻抗;最后在前面板输出计算结果。

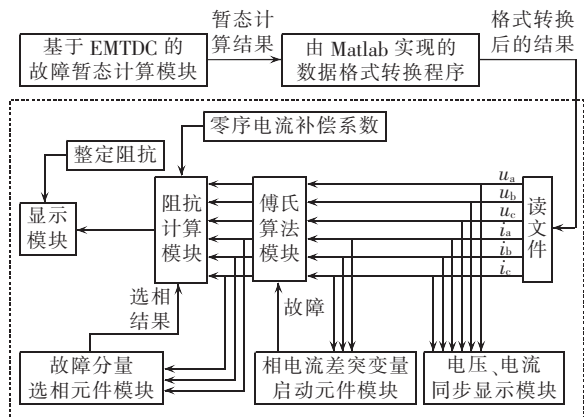


图2 微机距离保护动态仿真系统框图

Fig.2 Dynamic simulation system of microprocessor-based distance protection

2.1 基于 EMTDC 的故障暂态计算模块

为得到可靠的暂态仿真数据,在 PSCAD/EMTDC 中建立一个双端系统仿真模型,见图3。

在此模型中,线路全长 100 km; $U_M = U_N = 230$ kV; 线路的正序阻抗为 $0.035\ 044 + j0.424\ 154\ \Omega/\text{km}$, 零序阻抗为 $0.300\ 354 + j1.143\ 4\ \Omega/\text{km}$ 。两侧电源的参

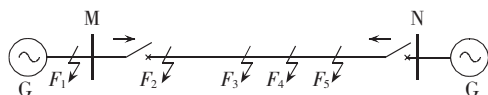


图3 两机系统仿真模型

Fig.3 Simulation model of dual-machine system

数可根据不同的仿真需求在此模型中设置电源电压幅值、初始角、频率、输出的视在功率以及系统阻抗(正序和零序);在线路中设置 5 个故障点,分别为反向故障点 F_1 ,出口处故障点 F_2 ,线路中间 50 km 处的故障点 F_3 ,以及 75 km 和 95 km 处的故障点 F_4 、 F_5 。

2.2 启动元件模块

距离保护装置中的启动元件主要任务是当输电线路发生短路故障时启动保护装置或进入故障计算程序。距离保护中的启动元件,有电流元件、阻抗元件、负序和零序电流元件、电流突变量元件等。本系统采用的是相电流差突变量启动元件。

2.3 傅里叶算法模块

目前的微机继电保护算法中,傅氏算法应用最广泛。在傅里叶算法模块中,设计了 2 种算法,分别为全波傅氏算法和半波傅氏算法。目的是对这 2 种算法进行比较,比较应用不同算法的距离保护的特性有哪些不同,在快速性和计算精度方面又有什么关系。

2.4 选相元件模块

选相元件的选相原理有序电流选相、序电压选相、模故障分量选相、工频变化量选相和行波启动选相等^[8-11]。这里采用的是模故障分量选相元件。由于各模量相互独立,因此当从故障边界条件中推导出各模量等效电源后,就可分别求解各模量的独立网络,以获得保护装设处各模故障分量。

2.5 阻抗继电器模块

阻抗继电器的主要作用是测量短路点到保护安装处的线路阻抗,并与整定阻抗进行比较以确定是否动作。阻抗测量元件的输入为三相电压、电流的向量值以及由选相元件所判断出来的选相结果和零序电流补偿系数。输出为计算出的测量阻抗。

根据选相结果来判断是选用接地阻抗继电器还是相间阻抗继电器。当发生单相接地短路故障和三相短路故障时,选用接地阻抗继电器,此时在计算中需要引入零序电流补偿系数;当发生两相相间短路和两相接地短路故障时,选用相间阻抗继电器。

2.6 显示模块

微机距离保护动态仿真系统界面由参数设定、数据显示和阻抗显示 3 部分组成。

3 距离保护动态仿真实例

距离保护的性能受到很多因素的影响^[12],为了分析影响距离保护的各种因素或者便于直观教学,本系统从 6 个方面对距离保护进行了仿真:

- 暂态分量对距离保护的影响;
- 傅氏算法对距离保护的影响;
- 负荷电流的影响;
- 采样频率的影响;
- 过渡电阻对距离保护的影响;
- 系统振荡。

4 结论

根据微机距离保护的构成原理,借助于电磁暂态仿真软件 EMTDC 和虚拟仪器编程语言 LabVIEW,设计实现了微机距离保护动态仿真系统。在故障发生后的暂态过程中,利用该系统可以按照时间顺序观察距离保护各环节的工作过程,特别是测量阻抗的变化轨迹,这为距离保护的设计和动作行为的分析提供了一种新的手段。该仿真系统能够实现以下功能:

- a. 能够对各种故障类型进行计算;
 - b. 有保护启动功能、选相功能、阻抗计算功能和测距功能;
 - c. 在仿真程序运行过程中,对故障暂态计算结果进行逐点计算,并逐点显示计算结果;
 - d. 可对不同采样频率暂态计算结果进行仿真;
 - e. 能对影响距离保护动作行为的不同因素仿真。
- 微机距离保护动态仿真系统经大量试验验证,仿真结果可靠、操作灵活,达到了预期设计目标。

由于微机距离保护动态仿真系统操作简单,显示直观,也可以作为一种教学工具使用,加强学生对于距离保护原理的理解。

参考文献:

- [1] 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.
YANG Xiao-jun. Dynamic characteristic simulation system of open protective relaying[D]. Tianjin:Tianjin University,2004.
- [2] KIM Chul-hwan,LEE Myung-hee,AGGARWAL R K,et al. Educational use of EMTP models for the study of a distance relaying algorithm for protecting transmission lines[J]. IEEE Transactions on Power Systems,2000,15(1):9-15.
- [3] 刘世民. 一种用于变压器保护装置的仿真测试系统的研制[D]. 北京:华北电力大学,2002.
LIU Shi-min. A research on simulation and testing system applied for power transformer protective device[D]. Beijing:North China Electric Power University,2002.
- [4] 吴俊华. 配电网自动化在线仿真系统技术论述[J]. 电力自动化设备,2006,26(4):50-53.
WU Jun-hua. Technology of on-line simulation system for

- distribution automation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2006,26(4):50-53.
- [5] 赵志民,秦立军,刘世民,等. 继电保护测试技术的现状与发展[J]. 现代电力,2002,19(1):43-48.
ZHAO Zhi-min,QIN Li-jun,LIU Shi-min,et al. Status and developments of relay protection testing technology[J]. Modern Electric Power,2002,19(1):43-48.
- [6] 任莉华. 继电保护装置仿真培训系统的研究[D]. 北京:华北电力大学,2004.
REN Li-hua. Study on simulation and teaching system of protective relaying device[D]. Beijing:North China Electric Power University,2004.
- [7] 杨乐平,李海涛,赵勇,等. LabVIEW 高级程序设计[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
- [8] 葛耀中. 新型继电保护与故障测距原理与技术[M]. 西安:西安交通大学出版社,1993.
- [9] 胡婷,游大海,金明亮. 一种电流突变量选相元件三相短路判据的探讨[J]. 电力自动化设备,2006,26(10):107-109.
HU Ting,YOU Da-hai,JIN Ming-liang. Discussion of three-phase short-circuit criterion of phase selection relay based on delta variable element of phase current differential[J]. Electric Power Automation Equipment,2006,26(10):107-109.
- [10] BENMOUYAL G,MAHSEREDJIAN J. A combined directional and faulted phase selector element based on incremental quantities[J]. IEEE Trans on Power Delivery,2001,16(4):478-484.
- [11] 林湘宁,刘沛,杨春明,等. 基于相关分析的故障序分量选相元件[J]. 中国电机工程学报,2002,22(5):16-21.
LIN Xiang-ning,LIU Pei,YANG Chun-ming,et al. A superimposed phase selector based on symmetrical components and correlation analysis[J]. Proceedings of the CSEE,2002,22(5):16-21.
- [12] 贺家李,郭征,杨晓军,等. 继电保护的可靠性与动态性能仿真[J]. 电网技术,2004,28(9):18-22.
HE Jia-li,GUO Zheng,YANG Xiao-jun,et al. Reliability and dynamic performances simulation of protective relaying[J]. Power System Technology,2004,28(9):18-22.

(责任编辑:李玲)

作者简介:

邹贵彬(1971-),男,山东潍坊人,讲师,博士研究生,主要从事电力系统继电保护和系统模拟仿真的教学、研究工作(E-mail: guibinzou@yahoo.com.cn);

高厚磊(1963-),男,山东滕州人,教授,博士,博士研究生导师,主要从事电力系统继电保护和广域测量的教学、研究工作。

Design and implementation of simulation system for microcomputer-based distance protection

ZOU Gui-bin,GAO Hou-lei,JIANG Shi-fang
(Shandong University, Ji'nan 250061, China)

Abstract: A dynamic simulation system for microcomputer-based distance protection is designed according to its working principle and elementary configuration. As a modularized design, the simulation system is composed of fault transient calculation module based on EMTDC, startup component module, Fourier algorithm module, phase selection module, impedance relay module and display module. Through format transition, the calculated fault transient results are used as the input of the dynamic simulation program. As the input data are calculated point by point, the measured impedance and other relevant simulative results are displayed at the same time. Simulative results show that, this dynamic simulation system can be not only used to properly emulate the behaviors of distance protection under different operating conditions for its analysis, but also used as a powerful software tool for the development and training of relay protections.

Key words: distance protection; dynamic simulation; protective relay; LabVIEW