

电网继电保护动作仿真软件开发

刘 云¹,陈金富¹,杨雄平¹,黄 莹²,粟小华²

(1. 华中科技大学 电气与电子工程学院,湖北 武汉 430074;

2. 西北电网有限公司,陕西 西安 710048)

摘要: 结合电力网的实际结构及运行特点,利用定值判断法,采用面向对象的程序设计思想开发了基于图形界面的电网继电保护动作仿真系统。该系统可模拟电网在实际故障中的保护动作情况,通过调用故障计算模块得到故障下各保护处测量值,与系统保护整定值进行比较判断,得到保护仿真结果,实现对全网保护整定值的校验。提出了面向装置的距离保护整定值校验思想,保证了保护动作仿真功能的正确性和有效性。该系统通用性好、使用灵活,具有较大的实用价值。

关键词: 继电保护动作仿真; 定值判断法; 图形界面; 面向装置

中图分类号: TM 744

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2007)02-0090-03

0 引言

近几十年来,随着电网规模的日益增大,电网结构日趋复杂,其运行方式也随之多样化,从而使得继电保护整定计算工作的复杂程度大幅提高。要保证继电保护整定值在各种运行方式下的正确性和可靠性,往往需要调度人员对保护配置和定值进行校核,以确保实际系统在故障情况下,保护能够正常动作。

目前,校验继电保护定值主要有 2 种方式^[1-3]:一种是针对继电保护全系统的逻辑判断仿真^[4-5],它通过对继电保护装置安装情况、保护原理以及故障信息进行逻辑判断从而得到各保护的動作情况,这种判断方法与故障计算无关,有着实时性好、速度快等优点,但要求厂站主接线比较标准,对于辐射状电网或存在较多 T 接线时,逻辑保护判断将变得十分复杂;另一种是将故障计算得到的电气量与系统的整定值进行比较的定值判断方法^[6-7],它能够真实地模拟电网在故障情况下各装置的保护动作情况,目前这种方法应用比较广泛,可以通过各种事故预想后的装置动作行为考察整定值的正确与否^[8]。

本文提出的图形化继电保护动作仿真系统利用了定值判断方法,提出面向装置的保护仿真思想,综合运用了基于阻抗矩阵以及基于导纳矩阵的故障计算模型,能够在图形界面上准确地模拟各种故障下保护的動作情况,实现电网保护动作的仿真功能。

1 系统总体结构

该继电保护动作仿真软件主要由模块电网拓扑图形及参数管理、故障计算、保护定值管理、保护仿真 4 个模块构成。利用网络数据库作为基本的数据平台,实现各种软件功能模块的充分共享和数据交

换,保证数据的安全性和准确性;在图形界面上进行各种故障的设置及仿真参数设置,通过调用故障计算模块得到故障下各保护处测量值,与系统保护定值进行比较判断,得到保护仿真结果,并能够在图形界面上显示保护的動作信息。系统总体结构如图 1 所示。

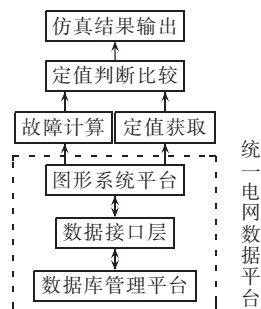


图 1 系统结构框图

Fig.1 System framework

2 关键技术

为完成继电保护动作仿真系统的开发,有下面几个关键问题。

2.1 故障计算模型

故障计算是整定计算和保护动作定值仿真的基础。在整定计算过程中,往往需要进行大批量简单故障计算(少许元件运行方式发生变化),因此采用基于阻抗矩阵的故障计算模型有着较好的速度优势^[9]。但是,考虑到定值仿真的需求,在实际运行中,可能出现较为复杂的故障形式,如多重复杂故障、跨线故障等,采用基于导纳矩阵的故障计算模型其实现则较为简单。因此,作为故障计算、整定计算及定值仿真等模块无缝集成的整个系统,兼顾以上 2 种模型的优点。在整定计算时采用阻抗矩阵计算模型,而在保护定值仿真模块采用基于导纳矩阵的故障计算模型。

电网正常运行状态下的网络方程为

$$\mathbf{Y}^{(0)} \mathbf{U}^{(0)} = \mathbf{I}^{(0)} \quad (1)$$

式中 $\mathbf{U}^{(0)}$ 、 $\mathbf{I}^{(0)}$ 和 $\mathbf{Y}^{(0)}$ 分别为网络节点电压三序列向量、网络节点三序注入电流列向量、网络节点三序导纳矩阵。

电网发生故障瞬间,设其网络方程为

$$\mathbf{Y}^{(f)} \mathbf{U}^{(f)} = \mathbf{I}^{(f)} \quad (2)$$

相应地, $\mathbf{U}^{(f)}$ 为故障时的网络节点电压三序列

向量, $I^{(f)}$ 为故障时的网络节点三序注入电流列向量, $Y^{(f)}$ 为故障时的网络节点三序导纳矩阵。

由于故障瞬间电流不能突变, 故有 $I^{(f)}=I^{(0)}$ 。而导纳矩阵具有可迭加性, 故障时的网络节点三序导纳矩阵 $Y^{(f)}$ 可由正常三序导纳矩阵 $Y^{(0)}$ 和故障修改导纳矩阵 $\Delta Y^{(f)}$ 以及开关动作导致的线路方式变化修改导纳矩阵 ΔY_m 迭加而成, 设故障重数为 n_f , 则有

$$Y^{(f)}=Y^{(0)}+\sum_{k=1}^{n_f}\Delta Y_k^{(f)}+\Delta Y_m \quad (3)$$

解线性方程组 (3) 可求得网络节点三序电压列向量 $U^{(f)}$, 由 $U^{(f)}$ 和各网络元件的阻抗参数即可求得所需的三序电流及电压分布, 从而组合得到故障瞬间的三相电压及三相电流, 进而分析保护的動作情况。

2.2 故障计算中多互感线路考虑

随着电网的发展, 输电走廊日趋紧张, 平行双回线的架设逐渐增多, 而且, 由于线路的长短不一以及走线方式的多样化, 线路之间的互感往往只是部分性的, 即一条线路的某一段与其他短线路的全线或长线路的某一段存在互感, 这种多回互感线路和线路间复杂部分互感结构的正确描述和处理对计算结果的正确性将产生重要影响^[10]。如图 2 所示为线路 L_1 、 L_2 和 L_3 之间的互感关系, 其中 $b_{12}=b_{21}=b_{32}=0$, $e_{12}=e_{23}=e_{32}=100$ 。这样的互感线路建模方式的意义在于, 在互感线路组内线路发生故障特别是多重故障时, 能够准确地进行互感参数的分解处理, 具体处理算法参见文献^[10]。

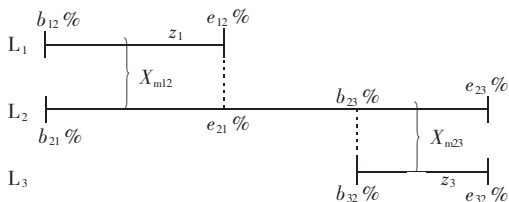


图 2 部分互感线路

Fig.2 Lines with segmental mutual inductance

该系统在故障计算模块中, 考虑了多回线路之间的部分以及全线互感情况, 可以根据实际情况进行设置, 并且考虑了互感线路的挂检、停运等特殊运行方式, 能够满足实际复杂电网的仿真要求。

2.3 距离阻抗测量模型

该系统中, 线路保护包括零序电流保护、相间距离保护、接地距离保护及阶段电流保护 4 种类型, 其中零序电流保护及阶段电流保护由于其所取比较量为单一电流值, 原理较为简单, 而距离保护由于在实际装置中阻抗继电器的工作特性有多种, 包括全阻抗动作特性、方向阻抗动作特性、偏移阻抗动作特性等, 为了更逼真地模拟电网的实际运行情况, 系统采用了面向装置的距离保护测量阻抗计算思想, 针对实际电网中不同的保护装置, 系统提供了多种阻抗元件动作特性供用户自行选择。其中, 系统默认情况下采用方向阻抗动作特性, 动作特性见图 3(A 为保护侧母线, B 为保护线路另一侧母线)。

其中, 阻抗角 $\theta=\arg(Z_{set}-Z_m)/Z_m$, 当 $\theta=\theta_1<90^\circ$

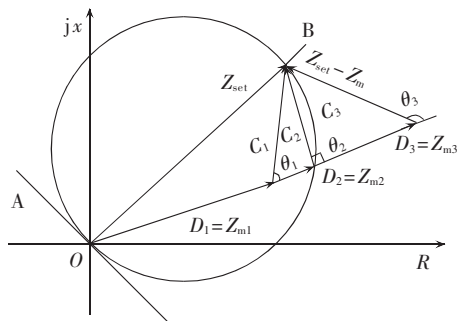


图 3 方向阻抗动作特性图

Fig.3 Action characteristics of directional impedance

时, 方向阻抗继电器动作; 当 $\theta=\theta_2=90^\circ$ 时, 方向阻抗继电器处于临界动作; 当 $\theta=\theta_3>90^\circ$ 时方向阻抗继电器不动作。

2.4 多时刻、多重复杂故障的考虑

考虑到实际电网中可能出现的故障形式, 如某一时刻电网发生多重故障或短时间内相继发生多重故障等, 在保护动作仿真系统的参数设置中, 用户可选择在同一时刻或不同时刻发生多重故障, 只需设置好各个故障发生的时间即可。并且, 在某段线路保护动作之后, 若相邻线路发生过负荷, 也会出现相应的连锁故障, 造成保护动作, 系统将这些保护动作情况等效为线首或者线末的断线故障添加至故障计算数据库中, 并重新进行多重复杂故障的计算。

2.5 搜索范围确定

通常情况下, 某段线路发生故障时, 只有邻近的保护发生动作, 而全网其他线路的绝大多数保护是不动作的。为了更有效地节约保护仿真时间, 用户在设置仿真参数时可根据需要选择搜索全网或只搜索本线路与相邻两级线路, 进行保护动作情况的模拟。

3 系统功能及特点

3.1 图形界面

在保护定值的仿真校核过程中, 经常需要处理保护配置、运行方式、故障位置的选择和确认等问题。这些工作往往都要参照电力系统网络接线图进行, 详细的、与实际电网一致的接线图对于整定人员非常重要。基于此, 系统提供了方便直观的图形界面。

a. 分层、分区管理系统拓扑。由于具备分层、分区及厂站主接线的处理功能, 图形系统可在地理背景图上严格按照实际系统的层次关系管理电网拓扑。

b. 计算条件的图形化设置。可以通过用户在图上操作, 进行各种计算设置。

c. 计算结果的图形化输出。可以将选定的计算结果贴在接线图或通过 Tip 的方式在图形上显示, 供用户简便、直观地查询, 提供动画、闪烁、变色等功能形象地显示动作定值校核结果后保护的動作状态。

3.2 数据库平台

系统数据库平台主要包括以下子数据库模块: 系统原始参数库、系统图形数据库、保护定值库、故障计算信息库及保护仿真信息库。系统原始参数库

存放的数据为系统的所有物理参数,按电力元件的类型分成发电机部分、线路部分、变压器部分等;系统图形数据库存放的为系统接线图图形化显示所需要的信息,若网络的原始参数已经输入,则可建立图形系统与元件原始数据之间的映射关系;保护定值库存放的为系统进行整定计算之后得到的各保护定值结果信息;故障计算信息库中存放系统方式信息、故障状态信息及故障计算结果信息;保护仿真信息库存放保护仿真模块的参数设置信息及保护动作仿真的结果信息。这些功能模块通过数据库接口实现与数据库的开放式交互,完成数据之间的相互传递。

3.3 故障计算

故障计算模块在对复杂电网全面建模的基础上,综合应用了基于阻抗矩阵和基于导纳矩阵的电网故障计算模型和算法,应用动态节点优化编号技术和稀疏技术,实现了可视化的复杂电网故障计算,可以得到全网各母线及线路中的三相电流和电压及正、负、零序电流和电压值。用户可自行定义系统的运行方式,可以处理任何元件的方式变更,使得系统更加接近电网实际,具有灵活性、快速性等特点。

3.4 保护仿真

保护仿真流程图如图4所示。

在图形界面上选择系统运行方式,若用户有特殊需要,也可自行定义所需的运行方式;各种故障信息包括短路、断线、跨线等故障以及仿真参数等都可根据需要进行设置。通过定值比较法将故障计算所得值与系统整定计算得到的保护定值进行比较,判断保护是否达到动作条件。若有保护跳开,则将该保护动作结果等效为该线路末端断线故障,将其加入故障集合中并重新调用故障计算程序,直至故障计算结果显示网络中故障完全切除,则仿真过程结束。

为使用户方便、直观地得到保护仿真的结果,可在电网拓扑图形界面上直接显示保护动作情况,并以属性页的形式显示系统运行方式、故障发生地点、故障类型、保护拒动信息、保护动作信息(包括保护名称、保护定值、动作值、动作时间),也可将结果导出供用户查阅。

4 结论

实现了基于定值比较法的电网继电保护动作仿真系统,系统直观的图形界面可以方便、灵活地指导用户完成系统的各项功能;提出了面向装置的保护仿真思想,使得系统能够更有效地模拟实际电网的

运行特点,达到对继电保护整定值进行校验的目的。

参考文献:

- [1] 张慎明,姚建国. 调度员培训仿真系统(DTS)的现状和发展趋势[J]. 电网技术,2002,26(7):60-66.
ZHANG Shen-ming, YAO Jian-guo. Current situation and development trend of dispatcher training simulator[J]. Power System Technology, 2002, 26(7): 60-66.
- [2] 王为国,代伟,万磊,等. DTS中继电保护和自动装置仿真方法的分析[J]. 电力系统自动化,2003,27(5):58-60.
WANG Wei-guo, DAI Wei, WAN Lei, et al. Study on the simulation methods of protection relay and security automatic equipment in dispatcher training simulator[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(5): 58-60.
- [3] 韩学军,朱涛,韩学山. 供电网继电保护可视化整定计算与动作仿真系统[J]. 电网技术,2004,28(14):28-31.
HAN Xue-jun, ZHU Tao, HAN Xue-shan. Visualized system of setting calculation and action simulation for protective relaying in power supply network[J]. Power System Technology, 2004, 28(14): 28-31.
- [4] 钱华,张良. 新一代地区电网DTS系统中的继电保护仿真[J]. 电力系统及其自动化学报,2002,14(4):72-75.
QIAN Hua, ZHANG Liang. Simulation of relay protection system for new generation dispatcher training simulator of sub-transmission power network[J]. Proceedings of the EPSA, 2002, 14(4): 72-75.
- [5] 邹俊雄,蔡泽祥,孔华东,等. 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.
ZOU Jun-xiong, CAI Ze-xiang, KONG Hua-dong, et al. The operation logic simulation of relay protection of power systems based on graphic platform[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(8): 61-64.
- [6] 杨胜春,王力科,张慎明,等. DTS中基于定值判断的继电保护仿真[J]. 电力系统自动化,1998,22(8):30-32.
YANG Sheng-chun, WANG Li-ke, ZHANG Shen-ming, et al. Simulation of relay protection based on quantitative comparison in DTS[J]. Automation of Electric Power Systems, 1998, 22(8): 30-32.
- [7] 王之栋,房鑫炎,赵杰平,等. 基于图形界面的110kV电网继电保护开关状态仿真系统[J]. 电力自动化设备,2001,21(3):8-10.
WANG Zhi-dong, FANG Xin-yan, ZHAO Jie-ping, et al. The graphic-interface-based breaker status simulation system of 110 kV network protection[J]. Electric Power Automation Equipment, 2001, 21(3): 8-10.
- [8] 刘健,赵海鸣. 继电保护整定计算及定值仿真系统[J]. 继电器,2002,30(9):47-49.
LIU Jian, ZHAO Hai-ming. System of setting calculation and simulation of relay protection[J]. Relay, 2002, 30(9): 47-49.
- [9] 杨雄平,石东源,杨增力,等. 继电保护整定计算中故障计算模型的选择与比较分析[J]. 继电器,2004,32(21):17-20.
YANG Xiong-ping, SHI Dong-yuan, YANG Zeng-li, et al. The research and realization of fast fault calculation method in relay coordination[J]. Relay, 2004, 32(21): 17-20.
- [10] 石东源,李银红,段献忠,等. 电力系统故障计算中互感线路的处理[J]. 中国电机工程学报,2002,22(7):58-61.
SHI Dong-yuan, LI Yin-hong, DUAN Xian-zhong, et al. Treatment of lines with mutual inductance in power system fault calculation[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(7): 58-61.

(责任编辑:李玲)

作者简介:

刘云(1983-),女,安徽泾县人,硕士研究生,主要研究方向为电力系统继电保护整定计算软件开发及相关软件技术(E-mail:lyunhust@163.com);

陈金富(1972-),男,福建莆田人,副教授,主要研究方向为电力系统规划运行及继电保护相关研究。

Development of relay protective action simulation software

LIU Yun¹, CHEN Jin-fu¹, YANG Xiong-ping¹, HUANG Ying², SU Xiao-hua²

(1. Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

2. Northwest China Grid Company Limited, Xi'an 710048, China)

Abstract: Combined with the actual structure and operating features of electric power system, a graphic action simulation system of relay protection is developed, which applies fixed value estimation method and object - oriented technique. The system simulates protective actions on actual faults. Measurements at each fault protection point are derived with fault calculation module, which are compared with setting values of system protections for system-wide verification. An equipment-oriented setting value verification method is put forward for distance protection, which ensures the correctness and effectiveness of protective action simulation. The system is versatile, flexible and practicable.

Key words: action simulation of relay protection; fixed value estimation; graphical interface; equipment - oriented