

调度员培训仿真系统(DTS)继电保护模块的开发

贾宁¹, 常鲜戎^{1,2}

(1. 华北电力大学电子与电气工程学院, 河北 保定 071003;

2. 华北电力大学电力系统保护与动态安全监控教育部重点实验室, 河北 保定 071003)

摘要: 定值比较法和逻辑比较法是调度员培训仿真系统(DTS)中继电保护仿真的主要实现方法, 当前, 单纯的使用其中一种方法很难同时满足继电保护仿真中实时性与逼真性的要求。采用定值比较法, 有些参量(如零序电流, 瓦斯含量等)难以得到; 采用逻辑比较法, 复杂网络线路之间的拓扑关系复杂, 线路主保护与相邻线路后备保护之间的逻辑关系配合难以实现。分析了两种继电保护仿真方法的特点, 形成了以逻辑法为主, 定值法为辅的继电保护仿真设计思想, 并基于该设计思想构建了相应的各类继电保护仿真模块。算例表明, 用该方法设计的DTS继电保护仿真模型, 能较好地满足仿真计算速度和仿真逼真性的要求。

关键词: 调度员培训仿真器; 继电保护; 逻辑比较法; 定值比较法

Development of the simulation module about relay protection in Dispatcher Training Simulator (DTS)

JIA Ning¹, CHANG Xian-rong^{1,2}

(1. Department of Electrical Engineering, North China Electric Power University, Baoding 071003, China ;

2. Key Laboratory of Power System Protection and Dynamic Security Monitoring and Control under Ministry of Education, North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract: The fixed value quantitative judging method and the logic judge method are mostly implementation ways in relay protection simulation in Dispatcher Training Simulator (DTS). Currently, only using one of the ways is very difficult to satisfy the real-time requirements and simulation realistic demands. On one hand, some of the parameters such as zero-sequence current and the gas content are very difficult to get when the fixed value quantitative judging method is used. On the other hand, when engineers just use the logic judge method, it is hard for the logical relationship of the main line protection and the adjacent lines reserve protection to cooperate correctly because of the complex network topology relationships. In this paper, the characteristics of the two methods are analyzed and a new method that is mainly based on the logic judge method together with the fixed value quantitative judging method is proposed. Based on the proposed method, the corresponding various relay simulation modules are established. Examples show that these relay simulation modules can be used to meet the simulation speed and the simulation realistic of the requirements.

Key words: dispatcher training simulator; relay protection; logic judge simulation; quantitative judging simulation

中图分类号: TM743 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2007)23-0019-05

0 引言

随着电力工业的发展, 电网规模的日益扩大, 人们对调度员培训仿真器(DTS)的认识逐渐增强, 对仿真的实用性、逼真性和灵活性的要求也日益提高。继电保护仿真是DTS的重要组成部分, 它对模拟系统在事故情况下的运行状态有着重要的意义。因此, 如何提高继电保护仿真的实用性、逼真性和灵活性是DTS研究开发中需不断探索的课题^[1~4]。

目前应用于DTS的继电保护装置的仿真方法

主要有两种: 定值比较法和逻辑比较法^[5,6]。在电力系统仿真中, 定值法是根据电力系统发生故障时的故障计算得到各元件上的电气量, 即系统发生故障后, 通过故障计算得到故障点及其周围的故障电流、电压等, 并将这些数据和整定值进行比较判断的继电保护动作方式。它的优点是模型简单, 仿真逼真, 但如果电力网较为庞大(如网省级), 利用定值法来实现其继电保护仿真会大量增加计算量, 而且对DTS的故障仿真计算有较高的要求, 需要建立较准确的继电保护模型, 这些问题使定值判别法难以体

现调度员培训的实时性。逻辑法不用进行故障计算,是由故障的信息和继电保护装置安装信息以及保护原理来处理保护动作。它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。它的优点是实时性好,易于满足速动性的要求,但仿真相对不够逼真,另外复杂网络相邻线路之间的逻辑关系的合理配合也不易实现。

本文为解决DTS中继电保护和安全自动装置的实时性和逼真性这一主要矛盾提出了一种设计思想,采用以逻辑比较法为主,并配以定值法的设计思想。根据主要故障类型、已知的保护配置,通过网络拓扑和逻辑判断来触发相应的保护动作,并设置相应保护的拒动、误动或调整保护动作时间等。这种方法既可以免除单纯采用定值比较法时遇到的实时性不好的困难,又可以避免单纯使用逻辑法时的仿真逼真性不够准确以及复杂的拓扑关系所带来的逻辑判断错误。因此,做DTS继电保护仿真时,采用以逻辑比较法为主,定值法为辅的继电保护仿真计算方法可视为一种实用的仿真计算方法加以开发利用。

1 定值比较法与逻辑比较法的特点

单一的利用定值判别法进行电力系统的静态及动态仿真,对电网模型的精度要求极高,而现在的定值仿真最大的问题就是计算精度不够高,因而保护仿真结果可能与实际不符。另外在计算的过程中,不仅需要计算一次系统的正序电压、电流,还要知道负序、零序分量的分布情况,从而增加了系统的计算量^[7,8]。如图1所示网络,假设在9、10节点之间发生接地故障,如图装设高频闭锁距离保护,由定值法根据9、10保护测量值及与整定值的动作判据实现仿真,但为满足定值法要求而添加负序及零序电气量判断环节,使得二次系统判断计算量增加,从而也会相应的增加仿真程序的执行时间。因此难以达到理想的效果。

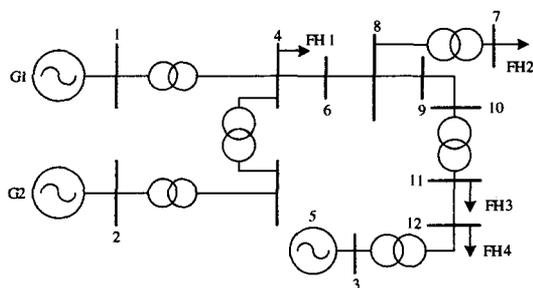


图1 电网接线图

Fig.1 Diagram of power net connection

单一的利用逻辑比较法,用逻辑表达式表示保护的動作条件,而无需测出电气量的值,因而增加了程序的运行速度,实时性好,易于满足速动性的要求,由于不进行故障计算,只能仿真动作结果,无法仿真动作过程(保护启动定值、动作定值、故障方向判别、故障选项等),所以动作原理与实际中的继电保护动作原理存在着差异。例如在图2中,在现实中我们安装了高频速断保护及方向性电流速断保护。假如在节点2、3间线路发生故障,根据故障信息对应的继电保护可以准确快速地动作。但由于逻辑判别法无需测出节点2、3中的故障电流及两端电压,因此12、13装设的高频及方向性速断保护无电流的测量值和整定值,从而难以再现电力系统中继电保护装置的运行及动作过程,使逻辑法缺乏其仿真的逼真度。

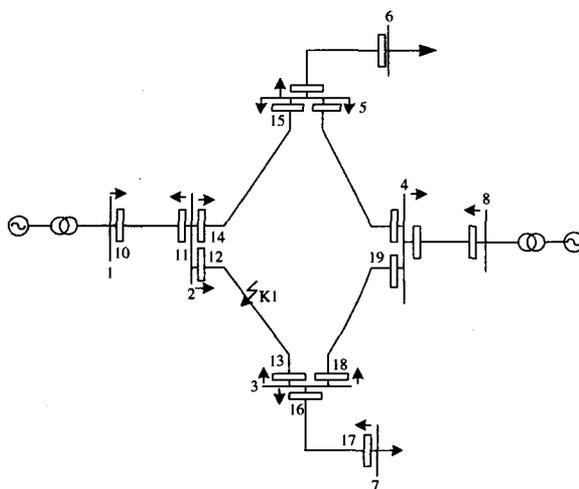


图2 电网接线图

Fig.2 Diagram of power net connection

另外在复杂的网络结构中,逻辑表达式的建立要考虑线路主保护与相邻线路后备保护复杂的配合关系,而且逻辑关系表达式确定后,保护的边界范围也随之确定,一旦因为网络拓扑的改变及运行方式的变化而对动作特性产生影响时,已建立好的逻辑表达式不能准确反映出变化后的情况。如在设置开关或保护拒动后,节点1、2,节点3、4,节点3、7,以及节点2、5都会作为相邻线路而启动相应的后备保护,而实际中并不需要全部的跳开所有的线路。因此逻辑关系变得很烦琐,非常不便于建立。

由此可见,单一的采用定值比较法或者单纯的采用逻辑比较法都不是一个理想的选择。

2 基于逻辑法为主的 DTS 继电保护仿真模型

本模型主要由测量及信息环节、判断环节及动作环节组成。继电保护装置通过测量环节子装置采集必要的或能够获得的电气量, 将其与整定值相比较判断, 故障信息设定好后, 进入判断环节确定故障范围, 其中, 测量环节中故障时的电气量值取自故障计算的结果, 并与预先设定的整定值进行比较; 故障信息包括故障类型和故障地点, 判断环节对故障地点和保护范围的关系进行分析, 并考虑开关拒动和保护拒动的情况, 以确定故障范围。例如, 故障发生在某条线路上时, 那么其它线路和母线的保护不会动作, 只能使本线路保护动作; 当本线路的开关或保护拒动时, 将使同一电压等级的变压器及母线的后备保护动作。两者通过逻辑“与”的关系来实现保护是否启动和动作, 最后再结合延时及外部信号来启动保护动作发跳闸信号。

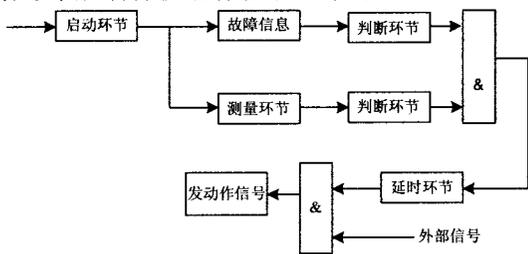


图3 继电保护仿真模型

Fig.3 Simulation model of the relay protection

每套保护装置通过建立相应保护原理的保护模块来实现, 其中保护模块分为线路保护模块、母线保护模块、变压器保护模块和发电机保护模块等, 在电力系统发生线路故障、母线故障、变压器故障、发电机故障时启动相应的保护模块, 以确保电力系统的稳定与安全^[9-11]。

以线路保护为例, 根据继电保护和安全自动装置技术规程, 110 kV 及以下中性点非直接接地的电网, 主要采用过电流保护, 并列运行的平行线路采用横联差动保护作为主保护, 以阶段式电流保护作为后备保护。110 kV 至 220 kV 中性点直接接地的电网, 通常采用距离保护作为主保护, 阶段式或反时限零序电流保护、电流速断保护作为后备保护。220 kV 线路通常装设两套全线速动保护, 采用接地距离保护、阶段式或反时限零序电流保护、电流速断保护等作为后备保护。330~500 kV 中性点直接接地的电网, 采用两套完整独立的全线速动主保护实现主保护的双重化, 要求每一套主保护对全线路内发生的各种故障均能无时限动作切除故障。每条线路都配置有能反应线路各种类型故障的后备保护, 并有双重的后备措施^[14]。鉴于本课题组依据我

国某省电力公司调度中心的数据对 DTS 继电保护装置进行开发, 所以应结合 220 kV 及以上电网在电网稳定及保护配置方面的特点, 来考虑其保护装置的仿真。

实际系统中为了确保故障发生后能迅速将故障元件切除, 以缩小停电范围, 实现继电保护多重化^[12], 在每条线路均装有多重保护, 一般为相差高频保护、高频闭锁距离保护、零序保护、电流速断保护及接地距离保护等, 对于线路故障, 一般均以针对该线路所装继电保护的最短时限动作将故障切除, 这也是线路保护模型的前提假定。

线路发生故障的类型不同, 动作的保护类型也不一样, 如接地故障由零序电流保护动作, 相间故障由相间距离保护动作, 断线故障由零序保护动作, 所以可对故障类型进行划分, 发生故障时调用相应保护动作模块。如图 4 所示。

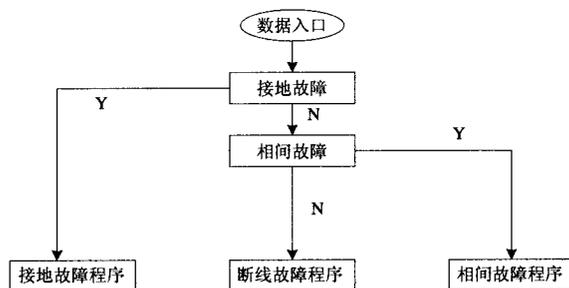


图4 线路故障逻辑关系图

Fig.4 Logic diagram of the line fault

3 线路保护模拟与仿真结果

仿真算例:

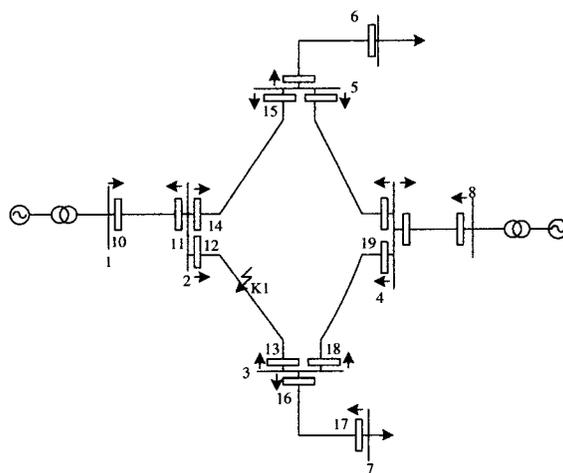


图5 接地故障仿真电路图

Fig.5 Simulation circuit of the grounded fault

为了验证本文设计的模型在实现继电保护仿真功能的正确性和实际开发中的优越性。我们以接地故障保护为例，如图5所示，双机环网系统在节点2、3间的 k_1 点发生接地短路故障，地点位于2、3号母线中间。当主保护设置为正常动作时，调用接地故障程序（包含高频保护和零序电流保护）。读取本侧及对侧的电压、电流的模值和相角、以及故障两侧的二段三段整定阻抗等参数，判断出 θ 角满足 $\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{3\pi}{2}$ 的条件，即判断故障属于线路的区内故障，向12、13号断路器发出动作信号，两断路器同时0 s速动，跳闸断开故障线路（高频保护反应区内各类故障，保护本线路全长，这里认为只要是区内故障，则两侧高频保护同时动作）。零序电流保护根据故障点 k_1 距离断路器长度占本线路总长度的百分比，由逻辑判断决定保护的段别。由于故障点百分比小于85%，所以零序电流保护一段瞬时速动，跳开12、13号断路器（如果大于85%而小于1，则零序电流保护二段延时动作）。当主保护设置为拒动时，通过相邻的四条线路的零序电流保护三段动作切除故障，首先判断线路是否在保护动作范围内，判断结果为四条相邻线路；然后判断线路是否处于电源侧，判断结果为1、2，2、5，3、4母线之间的三条线路；而后读取暂态计算所得到的本侧电压电流的模值与相角，应用功率方向判别法，判别故障方向，发出保护动作跳闸信号，11，14，18号断路器跳开，故障切除。图6为本文设计的线路接地故障时的主保护拒动的保护逻辑关系图。

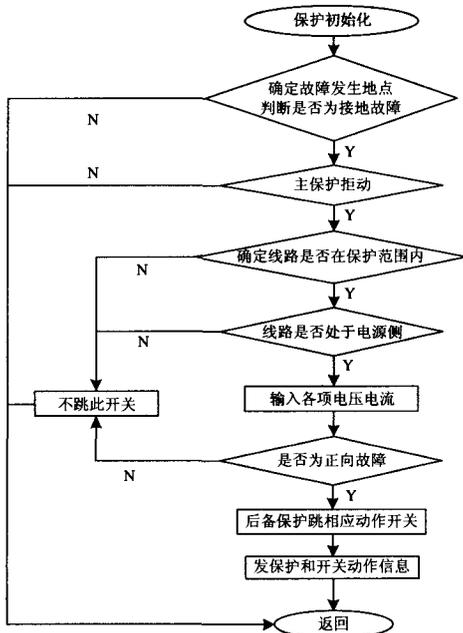


图6 接地故障仿真逻辑关系图

Fig.6 Simulation logic diagram of the grounded fault

仿真结果分析

1) 本文对线路保护中的接地故障、相间故障、断线故障均作了分析计算，保护动作准确及时，由于采用了逻辑法，节约程序的运行时间近15%，相较定值法而言，大大提高了实时性，而且避免了环网逻辑判断的混乱，满足了对调度员的培训要求。

2) 本模型不仅仅适用于线路接地故障时的主保护以及后备保护，对发电机定子接地短路，母联差动及高频方向等保护功能的实现也具有很强的实用性并取得了理想的效果。虽然作为实现方法仍存在一些问题，但在实际的开发和研究中会得到不断完善。

表1 接地故障保护动作一览表

Tab.1 Action schedule of grounded fault relay protection

故障类型	A 相接地		反向	BC 相接地		反向
	正向			区内	区外	
	区内	区外				
零序保护动作情况	+	-	-	+	-	-

注：+：保护动作 -：保护不动作

4 结论

1) 逻辑判断仿真和定值判断仿真是当前DTS继电保护仿真主要的两种方法。单纯使用其中的一种仿真方法难以在实时性和逼真性方面上同时保证，逻辑法以牺牲精度来换取实时性，若只采用逻辑法，对于简单网络来说具有明显的优点，而对于拓扑结构较为复杂的大型网络来说，在逻辑关系的判断以及逻辑关系之间的相互配合的逻辑单元设计上，很难达到理想的效果。本文通过对两种仿真方法各自特点的分析建立了一套以逻辑法为主定值法为辅的继电保护模块，在解决仿真的实时性和逼真性方面上做出了尝试。

2) 本模块在编译过程中，特别是在线路保护中高频保护的起信、发信装置的设计中，引入本侧及对侧的电压、电流的模值和相角、以及故障两侧的二段三段整定阻抗等参数，应用功率方向继电器判别原理，当故障位于保护动作范围内（即 $\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{3\pi}{2}$ ）时，保护两端发出高频保护跳闸信号。这样

在逻辑法的基础上加上了定值比较，大大提高了仿真的逼真性。

3) 逻辑判断法和定值判断法以及本文提出的

模型均具有其特点,尤其是针对某一具体保护的仿真实现方面本文所提出的设计思想有其独特的优势和生命力,因此可根据工程开发的需要进行仿真方法的合理选择使用。

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. The Actuality and the Direction of Development[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, CHE Wan-yi, YANG Li. The Analysis about Relay Protection and Security Auto Mechanism in DTS[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(5): 58-60.
- [3] 孙宏斌,张伯明,吴文传,等.面向地区电网的调度员培训仿真系统[J].电力系统自动化,2001,25(4):49-52.
SUN Hong-bin, ZHANG Bo-ming, WU Wen-chuan, et al. The Dispatcher Training System About Region Electricity Web[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(4): 49-52.
- [4] 姚建国,张慎明.调度员培训仿真系统的功能要求和设计原则[J].电力系统自动化,1999,23(23):15-19.
YAO Jian-guo, ZHANG Shen-ming. The Function Request and the Design Principle in the Dispatching Training System [J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(23): 15-19.
- [5] 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. The New Generation Relay Protection Emulation of Region Electricity Web in DTS [J]. Proceedings of the EPSA, 2002, 14(4): 72-75.
- [6] 孔艳,袁启海.DTS中基于用户自定义的自动装置模拟[J].电力自动化设备,2002,22(6):36-37.
KONG Yan, YUAN Qi-hai. The Auto Mechanism Simulation Bases on the User-defined in DTS[J]. Electric Power Automation Equipment, 2002, 22(6): 36-37.
- [7] 王庆平,陈超英,陈礼义.DTS技术及其展望[J].继电器,2002,30(5):29-32.
WANG Qing-ping, CHEN Chao-ying, CHEN Li-yi. The Technology and Its Prospect in DTS [J]. Relay, 2002, 30(5): 29-32.
- [8] 袁季修.电力系统安全稳定控制[M].北京:中国电力出版社,1996.
- [9] 哈普 H H. 分块法及其在电力系统中的应用[M].北京:科学出版社,1987.
- [10] 丁道齐.现代电网安全稳定运行的三大支柱[M].南京:江苏科学技术出版社.
- [11] 潘哲龙,张毅威,孙宏斌,等.DTS中动态实时仿真研究[J].电力系统自动化,2000,24.
PANG Zhe-long, ZHANG Yi-wei, SUN Hong-bin, et al. The Research of Dynamic Real-time Simulation in DTS[M]. Automation of Electric Power Systems, 2000,24.
- [12] Rafian M, Sterling M J H, Irving M R. Real-Time Power System Simulator[J]. IEEE Proceedings, 1987,134(3).
- [13] Object Constraint Language Specification, version 1.1, 1997.
- [14] 崔佳佩,孟庆炎,陈永芳,等.电力系统继电保护与安全自动装置整定计算[M].北京:中国电力出版社,1997.
- [15] 刘小石,郑淮,马林伟,等.精通 Visual C++ 6.0.清华大学出版社,2000.

收稿日期:2007-05-22; 修回日期:2007-08-06

作者简介:

贾宁(1982-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统稳定、分析与控制;E-mail: timricherd@163.com

常鲜戎(1956-),男,博士,教授,研究方向为非线性系统控制、电力系统分析与稳定控制、电机故障监测与控制等。

作者更正

因本人疏忽,我在《继电器》杂志第22期第27页发表的论文第1节第3~5行“当励磁电流 I_m (或磁场强度 H ,对于低漏磁型互感器,可以认为 $H=NI_m$, N 是绕组匝数)从0上升到 I_a ”应更正为“当励磁电流 I_m (或磁场强度 H ,对于低漏磁型互感器,可以认为 $HL=NI_m$, N 是绕组匝数, L 是铁心平均磁路长度)从0上升到 I_a ”。

由此给读者阅读带来的不便深表歉意!

作者:梁仕斌