

DTS 中自动装置仿真通用算法研究

杨峰, 王乘

(华中科技大学水电与数字化工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 针对 DTS 中传统的自动装置仿真方法扩展性差, 难以维护的缺点, 从自动装置的构成原理出发提出了一种通用的仿真方法, 该方法通过分层模型和将自动装置单元分解为投入条件单元, 动作判别单元, 动作出口单元实现自动装置动作过程的仿真。在 2 个 DTS 系统中的实用表明该方法有很好的灵活性和适应性。

关键词: 调度员培训模拟系统; 自动装置; 仿真

中图分类号: TM774 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)11-0044-05

0 引言

自动装置是在电网运行出现故障时保证系统安全稳定运行, 尽量保证可靠供电的装置^[1], 国内一般将保护元件的设备称为继电保护, 将保护系统的设备称为自动装置。在调度员培训模拟系统中, 自动装置的动作行为模拟是很重要的组成部分。在应用 DTS 进行反事故演习时, 如果不能提供准确的自动装置动作特性, 会导致对事故后电网行为模拟失真, 无法达到培训的效果。

传统的 DTS 中自动装置仿真根据自动装置启动类别分类, 针对不同的类型编制相应的代码, 进行各种自动装置的仿真^[2]。编写方式可以是采用面向过程的传统模型, 也可能采用面向对象的范型, 虽然面向对象范型利用面向对象方法论的封装、继承、多态等技术可以减少代码重复编写的工作量, 但如果增加新的自动装置类型, 仍然需要重新编码。而且, 自动装置类型繁多, 装置结构复杂, 启动环节、闭锁环节很多^[3,4], 如果对象体系设计不完善, 不能达到预期的效果。另一方面, 不同等级的电网管理的自动装置是不同的, 由地调管理的部分自动装置在省调的 DTS 系统中就不需要出现, 即使采用对象模型仍然可能出现对不同系统要维护不同代码的问题。本文通过自定义模型解决常规模拟算法的局限性, 通过对自动装置动作逻辑的抽象构造了一种能适应自动装置特点的通用算法, 对各种自动装置通过数据进行配置, 无需重新编程, 经实用表明该算法具有良好的适应性和可扩展性。

1 基于自定义模型的通用算法

在 DTS 中对保护装置的仿真一般采用如图 1

所示流程。

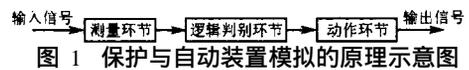


图 1 保护与自动装置模拟的原理示意图

Fig 1 Simulation of protection and automation device

该流程与保护装置动作的实际过程是完全对应的。实际上, 自动装置也是一种保护装置, 只不过它保护整个系统的安全, 自动装置的动作模型与上述流程也是一一对应的, 可以按照该流程建立一种通用的自动装置动作特性模拟算法。

1.1 测量环节的模拟

对于一般的继电保护装置, 测量环节的输入数据一般是电流或电压, 自动装置除了测量电流、电压外, 还可能测量频率和转速或者开关位置信号。对于单个的自动装置, 可以把该装置的测量环节信息保存在一张关系数据表中, 表中记录该装置有几个测量点, 每个测量点的量测类别和对应的量测点名。在 DTS 的计算流程中, 每个计算周期完成后都会给出整个电网中所有量测点的模拟计算数值。在自动装置动作模拟过程中, 可以直接根据该关系表中建立的数据信息容易地获得相关量测的模拟运行数据, 从而实现测量环节。

1.2 逻辑判别环节的模拟

逻辑判别环节的主要目的是根据测量环节采集的测量值判断是否符合装置的动作条件。自动装置的动作条件一般是多个量测量和时间的关系组合, 逻辑判别环节的主要处理就是根据测量环节采集的运行数据判断逻辑关系是否为真, 若真则该装置会动作, 否则不动作。单个装置的多个量测间的逻辑关系保存在数据表中。自动装置动作模拟过程读取该表中存取的逻辑关系进行关系运算, 求出关系表达式的解, 然后和装置的时间整定进行比较判断是

否出口动作。判断流程如图 2 所示。

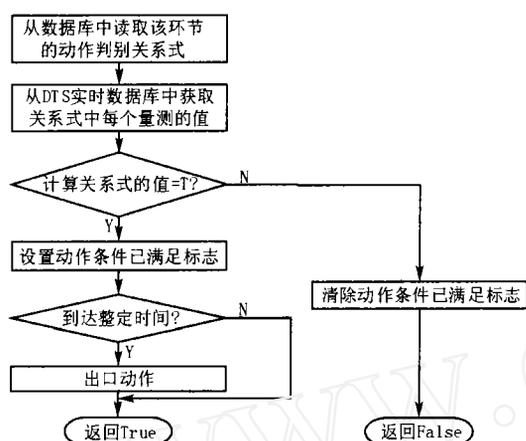


图 2 逻辑判别环节的流程图

Fig 2 Flow chart of logical unit

1.3 动作环节的模拟

自动装置的动作环节一般比较复杂,不像继电保护装置一般动作跳闸或信号出口,自动装置的动作环节的种类多种多样。实际安装在变电站中的自动装置的动作环节可能是跳闸出口,可能是启动发信,可能是通过继电器启动其他设备完成实际动作。但是作为对自动装置特性的模拟,重要的是模拟自动装置动作的最终结果,可以不考虑动作的中间过程,比如启动发信启动远方变电站设备或是启动继电器,而只考虑最终该装置是出口跳闸,是切除负荷,还是切除机组等等。虽然自动装置种类繁多,常见的有低频减载、备用电源自投、联切机、联切负荷、低频解列、高频解列、低压解列、失步解列、振荡解列等,但是仔细分析可以发现实际上大多数动作出口可以归结为开关自动分合闸和元件功率调整。比如远切负荷可能通过切除线路开关实现。又如,由于一般 DTS 不详细模拟发电机开停机过程,自动切机和自动开机可以通过分合发电机出口断路器实现,而低频减载、自动减出力这类装置通过调整负荷和发电机的功率实现。由上所述,可以把自动装置的动作环节归结为分合开关、调整负荷功率、调整发电机功率等几种动作类别及其相关的元件,并把这些数据记录到关系数据表中。自动装置动作模拟过程读取这些信息,对于经过逻辑判别环节确定要动作的装置按照该表中定义的数据执行出口动作。

1.4 自动装置模拟的分层模型

实际电网中的自动装置配置比较复杂,以低频减载为例,整个设备共分 8 轮,每个轮次的整定频率和整定时间都不相同,对不同等级的调度模拟的实

际出口的特性也不同。备用电源自动投入是另一种例子。备用电源有多种模式,比如进线备用自投,主变备用自投,母联备用自投等,每种备用自投动作逻辑判别条件和动作出口都有特定的规律,但不同种类的备用自投的动作条件和出口各有不同。因此,为了能用一种通用的算法模型适应这些复杂性,需要采用一种层次化的组织结构,在层次结构的每个层次中封装不同的复杂性,从而使得整个分层算法结构都能够对自动装置的各种构造正确建模。这种分层算法结构如图 3 所示。

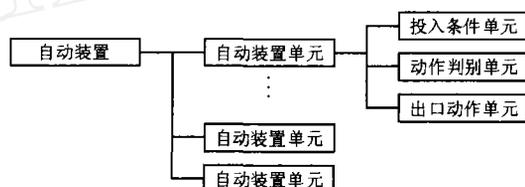


图 3 自动装置模拟的分层模型

Fig 3 Layer model of automatic device simulation

每个自动装置由若干个单元组成,单元间可以为相容或相斥的关系。若为相容关系,各个单元的动作互相完全独立,某个单元是否动作与其他单元无关;若为相斥关系,一个单元动作后,其他单元就不能动作。具体实现时可以把任 2 个单元相容看作是或关系(即任何情况均需对 2 个单元进行动作判断),相斥看作是与关系(若 1 个单元动作看作取布尔值 0,就不再判断另一个单元是否动作)。虽然多个单元间可能构成复杂的与或关系,但实际应用中还没有如此复杂构造的自动装置,所以目前模型中一个自动装置的所有单元要么全为相容,要么全为相斥,这样可以简化程序设计,不需要进行复杂的与或关系判断。每个自动装置保存一个表征是否投用的状态,相当于现场的投退压板,用于自动装置的整组投退。

自动装置单元是完成实际功能的部件,它由投入条件单元,动作判别单元和出口动作单元组成。投入条件单元是一组量测量的逻辑关系,用于反映自动装置的运行方式。实际中的自动装置一般有多种运行方式,比如备用自投,如果 2 段母线并列运行由一条进线供电,那么它工作在进线备用自投模式;如果 2 段母线分列运行,每段母线各由一条进线供电,那么工作在母联备用自投方式。实际运行的装置可能由人工在转换运行方式的时候手工改变自动装置的运行方式,也有一些自动化程度较高的备用自投采用完全自适应的模式自动根据开关状态选择自身的运行方式。在 DTS 实际培训运行过程中,需要运行人员

每次调整电站运行方式后都去手工切换自动装置的运行方式是不现实的,用户会认为操作太烦琐,所以需要设置投入条件单元实现自适应的方式调整,当投入条件单元指定的逻辑关系为真则该单元处于运行状态,否则处于闭锁状态。动作判别单元如 1.2 节所述,由一组量测的逻辑关系和一个整定时间组成,若满足动作条件且延时达到整定时间,该单元触发动作出口。出口动作单元由一组动作组构成,每个动作组有一个投退压板,动作延时和闭锁条件。闭锁条件控制动作组是否能够出口动作,闭锁条件也是由一组量测的逻辑关系组成,比如低频低压闭锁。投退压板可以控制单个的自动装置单元是否出口动作。各个动作组之间也可以是相容或相斥关系,若相容,每个动作组都要判断是否实际出口动作;若相斥,则有一个动作组动作出口之后其余动作组不再动作。一个动作组由一组动作组成,每个动作指定了受控的电气元件和动作类别。

上述的分层结构建立了一种很灵活的自动装置的建模模型,该模型从装置原理上充分考虑了现有各种装置的构成,可以灵活有效地实现各种自动装置的建模。

2 基于自定义模型的通用算法的实现

本文所实现的 DTS 实现了上述的算法模型。在实现自动装置的模拟前首先对系统要仿真的所有自动装置进行分析建模,将建模得到的数据保存在关系数据库中。需要的数据表主要包括:

1) 自动装置描述表,记录自动装置的名称和描述。在 DTS 的实时数据库中记录自动装置的投退状态。

2) 自动装置配置表,记录自动装置包含几个单元及其间的关系。如 1.4 中所述,各单元间或为相容或相斥关系。

3) 自动装置单元投入条件表,记录自动装置的投入条件关系表达式,另用一张表记录表达式中所有的测点信息。

4) 自动装置单元动作判别信息表,记录自动装置的动作判别关系表达式,另用一张表记录表达式中所有的测点信息。

5) 自动装置单元动作组配置表,记录一个单元包含几个动作组,每个动作组的动作时延和各动作组间的关系(相容或相斥)。在 DTS 实时数据库中记录每个动作组的投退状态。

6) 动作组明细表,记录动作组中每项动作的详

细信息如受控元件名称,动作类别,动作值。

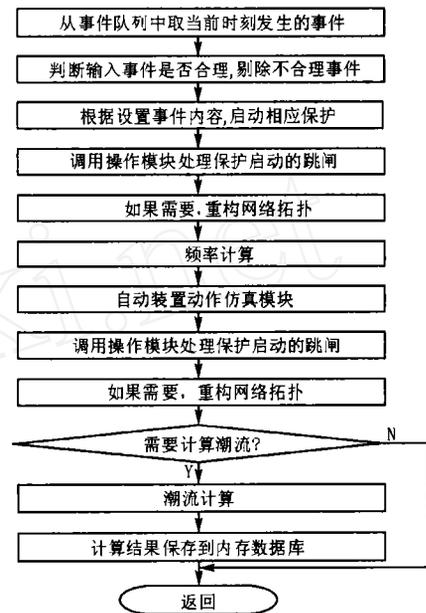


图 4 DTS调用自动装置仿真的流程

Fig 4 Automatic device simulation module called by DTS

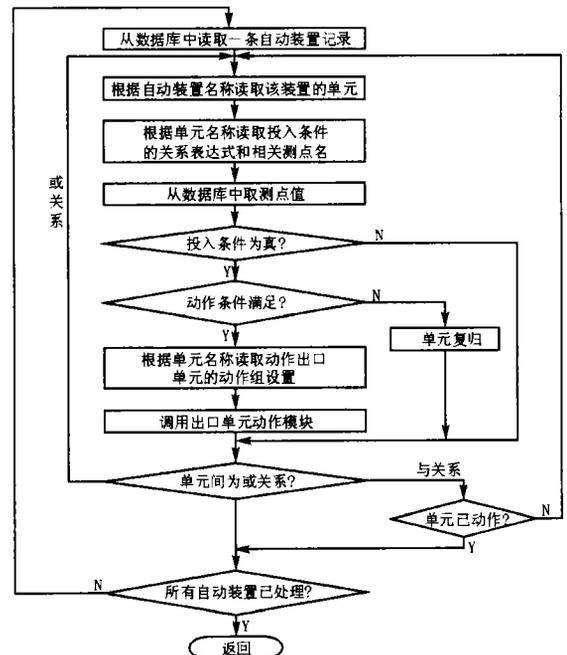


图 5 自动装置动作模拟的流程

Fig 5 Flow chart of automatic device simulation

DTS 中实现自动装置仿真的流程如图 4 所示。因为自动装置包括自动低频减载,所以在调用自动装置仿真模块前需先进行频率计算,而保护动作产生的跳闸可能导致系统解网,解网后各子网频率各不相同,所以频率计算应在保护及操作模块后调用。

自动装置也会产生操作,所以在自动装置仿真模块后还要再次调用操作模块反映自动装置的动作结果。潮流计算一般每 10 个计算周期计算一次,当系统受到扰动后也会马上计算潮流以反映扰动对系统的影响。自动装置仿真的实际流程如图 5 所示,其中如何判断单元的动作判别关系是否满足已在 1.1 节详细描述,这里不再绘出。

3 自动装置建模的实例

应用本文的通用算法模型可以很灵活地建立各种自动装置的模型,整个方案比较复杂,这是由自动装置构成的复杂性决定的,但对于实际中很多装置建立的模型比较简单,因为实际中常见的装置可由 1~2 个单元组成,出口动作环节多数也只有一个动作组,这里本文以自动低频减载和备自投为例介绍装置的建模过程。

3.1 自动低频减载的建模

自动低频减载一般分 8 轮。5 轮短延时,动作于频率快速下降,每轮的动作整定一般为 49.0 Hz, 48.75 Hz, 48.5 Hz, 48.25 Hz, 48.0 Hz, 动作延时 0.15 s, 特 1、2、3 轮延时较长,动作于频率保持在较低频率附近,动作整定一般为 49.25 Hz, 动作延时 10 s, 15 s, 20 s。建模时,每轮对应一个单元,各单元间为相容关系。因为实际上低频减载动作多是由于系统解网,小网频率会下降比较快,可能在相邻 2 个计算时步内,频率变化已经超过每轮 0.15 Hz 的间隔,采用相容关系可以保证每轮都会正确动作。投入条件无,因为低频减载在通常情况下均应投入。动作判别条件以第 1 轮为例:设置系统频率 49.00, 整定时间 0.15 s。算法在判断系统频率时会记录哪些子网满足动作条件。动作出口环节设置比较复杂。对于地调级的仿真,动作环节可以根据调度下达的减载方案设置切除指定变电站的供电线路开关,受控元件为“x x 变 x x 开关”,动作类别为“开关操作”,动作值为“分断开关”。算法在出口动作时会判断本站的频率是否属于已记录的子网,若属于则出口跳闸。而对于省调级的仿真,调度一般只下达每个区域切除的负荷容量,所以动作环节设置为区域切除负荷功率,受控元件为“x x 区域”,动作类别为“负荷功率调整”,动作值为整定的切除负荷值。算法根据区域-变电站关联数据表将待切除的功率平均分配到该区域的各个变电站中,在变电站中再根据负荷数据表把切除功率平均分配到该站的各个等值负荷上,从而保证高压电网的潮流不失真。

该方案在河南省调 DTS 模拟开封地区解网和南阳地调 DT 模拟建西变解网,南阳电厂带小网运行 2 种情况下都给出了正确的动作结果。

3.2 备用电源自动投入的建模

备用电源自动投入是供电变电站在电网发生事故时保证连续供电的重要措施。以南阳电网的孔明变 110 kV 系统的备自投为例(如图 6)。110 kV 配置了进线备自投和母联备自投。进线备自投为南孔线,岗孔线互为备用。母联备自投为陈孔、南孔互为备用。进线备自投可以分为 2 个单元,互斥关系,因为它们的运行方式恰好相斥。单元 1 的投入条件为南孔 2 开关合,110 合,岗孔 2 断,3 项条件为与关系;动作判别条件为孔 110 北母、南母失压,2 项条件为与关系;动作出口为断开南孔 2 开关,闭合岗孔 2 开关。单元 2 的投入条件为南孔 2 开关断,110 合,岗孔 2 合,3 项条件为与关系;动作判别条件为孔 110 北母、南母失压,2 项条件为与关系;动作出口为闭合南孔 2 开关,断开岗孔 2 开关。母联备自投包含 2 个单元,互斥关系。单元 1 的投入条件为陈孔 2 开关合,南孔 2 开关合,孔 110 开关断,与关系;动作条件为孔 110 南母失压;动作出口为断开陈孔 2 开关,闭合孔 110 开关。单元 2 的投入条件为陈孔 2 开关合,南孔 2 开关合,孔 110 开关断,与关系;动作条件为孔 110 北母失压;动作出口为断开南孔 2 开关,闭合孔 110 开关。经过这样设置,不论 110 kV 系统采用并列运行还是分列运行,都有正确配置的备自投装置可以动作,这与孔明变实际安装的自适应的备自投装置是完全一致的。实际培训运行中,改变孔明变的运行方式,在南孔线、岗孔线或陈孔线的电源侧设置故障造成母线失压,备自投装置均动作正确。

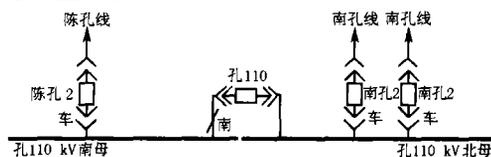


图 6 孔明变 110 kV 备自投示意图

Fig 6 110 kV standby source switching of Kongming substation

4 结语

自动装置是保证电网安全稳定运行和连续可靠供电的重要环节,在 DTS 系统必须正确模拟自动装置的动作才能保证在故障条件下仿真的正确性,本文设计的通用的模拟算法可以有效灵活地对各种自动装置进行建模并在河南省与南阳地区的 DTS 中

得到实际应用,证明了该方法的有效性和实用性。

参考文献:

- [1] 杨冠城. 电力系统自动装置原理 [M]. 北京:水利电力出版社, 1995.
YANG Guan-cheng Theory of Automatic Devices in Power System [M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1995.
- [2] 孔艳, 袁启海, 薛巍, 等. 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): 37-38, 45.
KONG Yan, YUAN Qi-hai, XUE Wei, et al User Defined Automation Devices Simulation in DTS [J]. Electric Power Automation Equipment, 2002, 22(6): 37-38, 45.
- [3] 吴文传, 孙宏斌, 张伯明, 等. 新一代 EMS/DTS一体化系统中基于自定义建模的自动装置模拟 [J]. 电力系统自动化, 2000, 24(4): 57-60.

WU Wen-chuan, SUN Hong-bin, ZHANG Bo-ming, et al Simulation of Automatic Device Based on User-defined Model in Integrated EMS/DTS [J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(4): 57-60

- [4] PAN Zhe-long, SUN Hong-bing, WU Wen-chuan, et al A New Approach to Customize Secondary Device Models in a Dispatcher Training Simulator (DTS) [J]. International Conference on Power System Technology, 2002: 616-620

收稿日期: 2005-10-20

作者简介:

杨峰 (1974 -), 男, 硕士, 讲师, 从事电力系统计算与仿真, 电网调度自动化研究; E-mail: yf2000@sina.com

王乘 (1956 -), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 长期从事大系统仿真, 三维动态仿真研究。

Generic algorithm research for simulation of automatic device in DTS

YANG Feng, WANG Cheng

(College of Hydroelectric and Information Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Traditional method for simulation of automatic device action is hard to extend and it is difficult to maintain simulation program. From the construction principle of automatic device, a generic algorithm is presented in this paper. This method uses layer model and separates automatic device into condition unit, reason unit and action unit to implement simulation process. The practice in two DTS shows that this method is flexible and adaptable.

Key words: dispatcher training simulator (DTS); automatic device; simulation

(上接第 26 页 continued from page 26)

收稿日期: 2005-11-22

作者简介:

张鹏飞 (1978 -), 男, 博士, 研究方向为电力系统运行

与分析控制; E-mail: zhangpf@126.com

罗承廉 (1945 -), 男, 教授级高级工程师, 从事电网技术研究和管理工作;

孟远景 (1957 -), 女, 教授级高级工程师, 副总工程师, 从事电网技术、电力系统调度、生产的研究和管理工作。

Impact of dynamic electric load model proportion on power system stability

ZHANG Peng-fei¹, LUO Cheng-lian¹, MENG Yuan-jing¹, YAN An-he¹, ZHANG Yi-ming¹,
FU Hong-jun¹, ZHANG Yong-bin¹, ZHANG Jing-chao², LI Ku²

(1. State Power Corporation of Henan Province, Zhengzhou 450052, China; 2. School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: The composite electric load model has complex impact on power system transient stability. The transient angle stability margin and critical clearing time are computed by FASTEST under different proportion of dynamic electric load model using in Henan Power Grid. The results show the change of proportions of dynamic electric load model results in conversion of unstable modes. In the two modes, the proportion has different impacts on the transient stability, so such analysis should be confined to specific conditions.

Key words: load model; induction motor; angle stability; stability margin; critical clearing time