

基于动态拓扑的数字化备自投仿真技术

张军华, 金岩磊, 金震
(南京南瑞继保电气有限公司, 江苏 南京 211102)

摘要:提出了一种新的数字化备自投仿真技术,该技术是基于电力系统动态拓扑分析的基础,对数字化备自投装置的动作逻辑进行仿真分析,以验证其逻辑是否合理。以该仿真技术为基础,开发出了基于 Sophic 数据平台的仿真软件,该仿真软件可采用分布式部署,而且在仿真态环境下执行,不影响站内监控系统正常功能。该仿真方案已经在香港翠岭路变电站得到应用,达到了预期效果。

关键词:备用电源自动投入;仿真;拓扑分析;Sophic 数据平台

中图分类号: TM76

文献标志码: A

文章编号: 1009-0665(2015)05-0051-03

备用电源自动投入装置(简称备自投)在低电压变电站中广泛应用,它能够在电网故障发生时保证对用户的不间断供电,提高用户用电的可靠性。传统的备自投装置在变电站建设期间就根据现场的运行方式固定了其动作逻辑,采用人工查验的方式可以确定逻辑是否合理。数字化备自投的动作逻辑可由运行人员根据现场运行情况进行设置,没有硬接线的存在,验证动作逻辑是否合理比较困难。针对数字化备自投的工作特点,提出了基于动态拓扑的数字化备自投仿真技术。该仿真技术采用动态拓扑的思想对数字化备自投的逻辑进行仿真,以验证其动作逻辑是否合理。并在此技术的基础上,开发了基于 Sophic 数据平台的仿真软件,通过在现场的应用结果验证了该技术的有效性。

1 数字化备自投

传统的备自投装置接线复杂,需要通过信号电缆获取进线开关的状态、通过交流回路获取电压电流值,成本较高,而且不利于检修。特别是现场的运行方式发生改变时,需要更改电缆连接线,施工复杂,成本高。近几年,随着 IEC 61850 模型研究的深入,电力系统数字化得到了迅猛发展,出现了数字化备自投,其逻辑设置灵活、方便。在数字化变电站中,可以通过测控装置发出的面向通用对象的变电站事件(GOOSE)信号,获取整个厂站内所有开关刀闸的状态信息和电压电流值。数字化备自投装置就是依靠该 GOOSE 信号获取开关状态和电压电流值,结合运行方式进行逻辑判断,并通过 GOOSE 信号发出操作命令,分合相应的开关,实现备用电源投入^[1]。

如图 1 所示的备自投典型接线,在传统变电站中,进线 1、进线 2、分段开关的状态和电流电压值需要通过硬接线分别连接到进线 1 测控、进线 2 测控、分段测控,并且需要另外一份硬接线连接到备自投装置。另

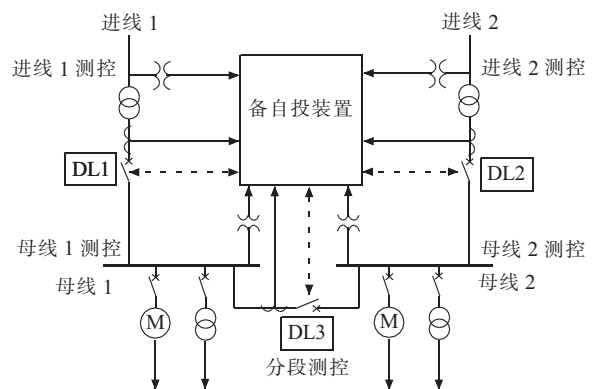


图 1 备自投典型接线

外,各测控装置和备自投的跳合闸信号也需要通过硬接线传送到操作箱,随着现场运行方式的复杂度,接线的复杂度也呈现指数级增长。而在数字化变电站中,传统的硬接线连接为网络连接所取代,由各测控装置完成开关位置的采集,并通过 GOOSE 信号发给数字化备自投装置。同时,通过多模光纤通道经合并单元由电子式互感器引入模拟量。数字化备自投综合这些信号,进行逻辑判断,然后以 GOOSE 方式将执行结果告知给开关对象的智能终端,实现开关的分合操作。

备自投装置一般具备两种最基本的自投逻辑:母联自投和线路互投。以图 1 接线方式为例,其逻辑关系可分别表示为如图 2 和图 3 所示的逻辑图。

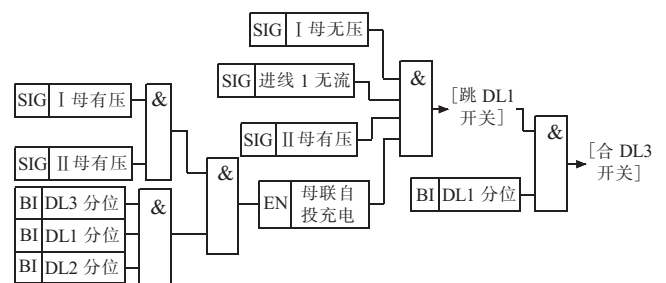


图 2 母联自投逻辑之一

图 1 所示是最基本的接线方式,备自投逻辑非常简单。但是,大多数变电站都有多条进线和多个母线,

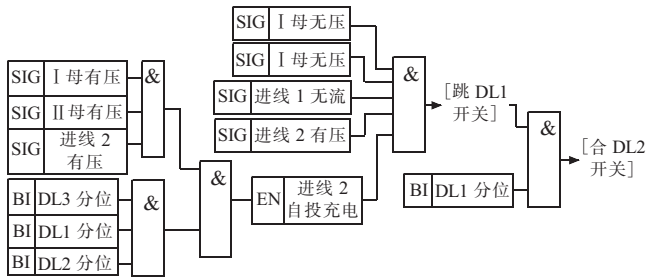


图3 线路互投逻辑之一

备自投逻辑就需要考虑更多的情况,需要保证动作后的运行方式不会造成某个主变超负荷,也不能使某条母线失压。而且数字化备自投的动作逻辑可由运行人员根据现场运行情况进行设置,如果逻辑设置不合理,不但达不到预期目的,而且还会对备用电源网络造成冲击,甚至和故障网络一起崩溃^[2-4]。

2 基于动态拓扑的仿真技术

电力系统的网络拓扑结构是根据各开关状态把各种设备连接关系转换成能用于电力系统分析计算的一种几何模型。该仿真技术就是利用该几何模型,将厂站内的一次设备划分为多个连接子系统,并根据开关刀闸的开断状态,实时分析一次设备拓扑结构,动态更新连接子系统,以判断投切逻辑是否合理。

目前常见的拓扑动态分析算法有:基于堆栈技术的深度优先和广度优先搜索算法、基于关联矩阵的几何划分算法、面向对象的启发式搜索算法。实际运营过程中,电网很少会出现大面积的状态改变,但是局部变化却是常态,若每次都重新拓扑分析,势必造成资源浪费^[5]。该仿真技术初始化数据时采用了深度优先搜索算法,获取一次设备最初的拓扑关系;运行过程中,采用面向对象的启发式搜索算法,通过开关状态改变触发拓扑分析,进行局部修正,利用动态潮流理论对开关变化前后的各种量测数据(包括母线上的电压、网络中的功率分布以及功率损耗等)做估算。具体做法是:

(1) 开关刀闸状态改变,启动动态拓扑,进行局部修正;

(2) 获取厂站下的变压器列表,并重置所有变压器的有功、无功、容量为0;

(3) 取一个变压器,根据设备间连接关系获取该变压器下所有的馈线设备,获取仿真开始时刻的馈线负荷,包括有功和无功;

(4) 取变压器相连的所有馈线有功和无功之和作为当前变压器的总有功 P 和总无功 Q ;

(5) 利用式(1)计算得到变压器的负载容量 S 。

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (1)$$

根据计算结果,则可判断:如果在当前时间点备

自投动作,是否造成某个变压器超容,是否存在某条母线不带电,据此分析备自投的逻辑是否合理。依据该仿真技术,开发了基于 Sophic 数据平台的数字化备自投仿真软件,并在香港翠伶路变电站进行了工程应用。

3 软件设计

3.1 系统架构

数字化备自投仿真软件如图4所示,建立在公司统一的 Sophic 数据平台之上,可以部署在多种硬件平台和操作系统中,可采用分布式部署方案,而且在仿真态环境下执行,不影响站内监控系统正常功能^[6]。总体来说,它具有如下优点:

(1) 基于一个开放式通用平台,符合相关的国际和工业标准;

(2) 支持多种硬件平台和操作系统,支持跨平台二次开发;

(3) 能够保证数据具有很高的实时性和可靠性;

(4) 采用了分布式体系结构,系统可稳定升级。易于和其他应用集成,具有很强的延展性。

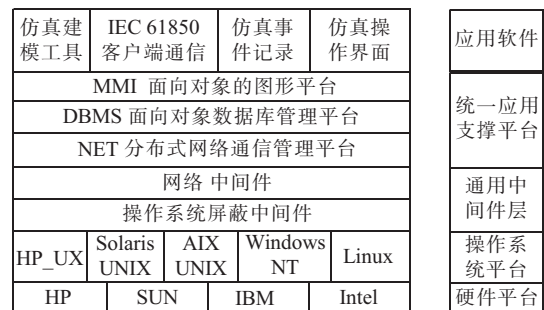


图4 数字化备自投仿真软件系统结构

3.2 工作原理

该仿真软件启动时采用深度优先搜索算法,根据一次设备间的连接关系,结合开关状态,将一次设备划分为多个子系统。运行过程中采用面向对象的启发式搜索算法,实时监测开关状态的变化,对相关子系统进行局部修正和拓扑。开关由合到分时,原有的一个子系统分裂为两个子系统,并修正子系统中一次设备的状态;开关由分到合时,两个子系统合并成一个子系统,并对该子系统重新拓扑,更新子系统中一次设备的状态。

以图1的典型接线为例,在双母分列运行情况下,图中的一次设备根据连接关系分成2个子系统:

(1) 进线1、主变1、DL1、母线1、母线1上负荷;

(2) 进线2、主变2、DL2、母线2、母线2上负荷。

此时,2个主变分别负责提供两条母线上的负荷,其出功假设分别为 P_1, P_2 ,仿真软件进行模拟时以开始时刻的数据断面为基础,模拟进线1失压和无流的情况,根据数字备自投的设定逻辑,模拟跳开DL1开关、

合上 DL3 开关,并触发拓扑分析,对之前的子系统划分进行修正,如下:

(1) 进线 1、主变 1;

(2) 进线 2、主变 2、DL2、母线 2、母线 2 上负荷、DL3、母线 1、母线 1 上负荷。

仿真软件根据新的拓扑关系计算各个主变需要达到的总有功 P_3 和总无功 Q_3 ,并计算获得变压器的负载容量为 S ,若 S 大于变压器的额定容量 S_N ,或者某个有负荷的母线上没有输入功率,则说明备自投的投切逻辑不合理,提醒操作人员修改逻辑定值。

3.3 关键技术及功能实现

该仿真软件启动后自动读取备自投装置上的定值设置,并以图表的方式展示当前的投切策略。根据读取到的投切策略,模拟某条进线故障的情况,依次执行设定的投切策略,结合对站内一次设备拓扑的动态分析,以确认变压器是否会超负荷工作,是否会出现母线空挂的情况,验证逻辑的正确性。数字化备自投仿真软件主要功能模块如下所述。

(1) 仿真建模工具。仿真建模工具根据备自投装置的操作逻辑搭建相应的仿真逻辑,模拟变压器失电的情况下备自投装置依次执行的开关分合操作。该仿真逻辑中包括主变状态,各进线开关、母联开关的操作模式。同时,建模工具搭建站内的基本接线图,以图形化界面设置各个一次设备之间的连接关系,仿真软件根据该连接关系进行动态拓扑分析,以确认备自投逻辑是否合理。

(2) IEC 61850 客户端通信功能。客户端进程负责与变电站内的备自投装置通信,根据数据库中通信配置和模型信息,与备自投装置建立 MMS 连接,逐个使能备自投装置 IEC 61850 模型的报告控制块,接收装置上送的实时报告数据,包括遥测报告、遥信报告、保护动作报告等。同时,客户端进程可以接收仿真操作模块发送的控制命令,把控制命令下发给备自投装置,实现备自投逻辑定值的修改。客户端进程定时检测与装置的通信情况,在 MMS 连接发生中断时,能够自动重新建立连接。

(3) 仿真事件记录功能。对仿真过程中的各种数字量变位和各种操作进行记录和展示,并对仿真过程的诊断结果给出提示,为变电站的运行人员提供实时报警服务,提示运行人员进行及时的处理。

(4) 仿真操作界面。仿真操作界面是整个仿真软件的主体,采用图形化的界面展示当前设备的实时状态。仿真软件主界面分成三部分:主接线图、备自投逻辑窗口和状态监视窗口,如图 5 所示。进行仿真操作时,切换到仿真模式下,主接线图动态显示整个备自投逻辑执行过程中开关的分合操作过程,并进行动态拓

扑着色,显示一次设备的带电状态,根据潮流方向,实时展示变压器的负荷变化情况,使运行人员方便识别当前的备自投逻辑是否合理。对于不合理的备自投逻辑,运行人员可通过该界面修改定值,并通过 IEC 61850 客户端下发到备自投装置中。



图 5 数字化备自投仿真软件主界面

4 工程应用

利用该仿真技术开发的仿真软件已应用在香港翠伶路变电站,配合自主研发的数字化备自投装置 PCS-9651DA-D,实现了对备自投装置的逻辑模拟,能够验证逻辑是否合理。

香港翠伶路变电站共有 3 台主变,其中 TxH3 主变为备用,采用双母双分段的接线方式(如图 5 所示)。该站备自投功能启动的触发条件是变压器从系统中切除,因此备自投仿真软件以变压器对象为索引,读取对应的投切逻辑。投切逻辑中预合的开关用“AC”表示,预分的开关用“AO”表示,不执行操作的开关用“AOFF”表示;退出运行的变压器不需要设置投切逻辑,其相关开关用“Invalid”表示。

仿真软件执行仿真操作时,其显示数据由实时库切换到仿真库,并在仿真库的基础上进行开关的分合操作,拓扑程序进行对应的分析和着色,动态显示整个仿真过程,仿真结束后自动切换到实时库,界面展示当前实时数据。

5 结束语

针对数字化备自投的工作原理提出了基于动态拓扑的数字化备自投仿真技术,并介绍了基于该技术的仿真软件的系统架构、工作原理、功能实现和工程应用。经香港翠伶路变电站工程验证表明,利用该仿真技术能够准确地判断出不合理的数字化备自投逻辑,保证数字化备自投逻辑的正确性,达到了预期目的。

参考文献:

- [1] 李海星,王政涛,王锐,等.基于 IEC 61850 标准的网络化备自投功能[J].电力系统保护与控制,2009,37(14):82-85.
- [2] 冯玲.防止备自投装置动作过负荷方案的实践[J].电力系统

- [3] 许晓彦,杨才建,Janusz Mindykowski. 有源滤波器空间矢量脉宽调制电流跟踪算法的优化[J].电力系统自动化,2012,36(4):80-84.
- [4] 杨勇,阮毅,叶斌英,等.三相并网逆变器无差拍电流预测控制方法[J].中国电机工程学报,2009,29(33):40-46.
- [5] 杨勇,赵方平,阮毅,等.三相并网逆变器模型电流预测控制技术[J].电工技术学报,2011,26(6):153-159.
- [6] 吴勇,徐金榜,王庆义,等.并联有源电力滤波器电流预测控制[J].华中科技大学学报,2008,36(4):99-102.
- [7] 杨旭,王兆安.一种新的准固定频率滞环PWM电流控制方法[J].电工技术学报,2003,18(3):24-28.
- [8] 洪峰,单任仲,王慧贞,等.一种变环宽准恒频电流滞环控制方法[J].电工技术学报,2009,24(1):115-119.
- [9] 曹武,刘康礼,江楠,等.有源滤波波过采样数字滞环电流跟踪控制方法[J].电力系统自动化,2014,38(6):85-90.
- [10] 曹武,赵剑锋,江楠.有源滤波器同步坐标系下的空间矢量滞环电流控制新方法[J].电工技术学报,2013,28(12):173-180.
- [11] 申张亮,郑建勇,梅军,等.基于改进电压空间矢量调制的有源滤波器双滞环电流跟踪控制策略[J].中国电机工程学报,2011,31(15):8-14.
- [12] 王文,罗安,徐先勇,等.有源滤波器双滞环空间矢量离散控制方法[J].中国电机工程学报,2013,33(12):10-17.

作者简介:

- 孙蓉(1979),女,江苏江都人,高级工程师,从事电网稳定分析,电力电子与新能源并网技术工作;
- 袁晓东(1979),男,江苏无锡人,高级工程师,从事新能源并网及主动配电网技术工作;
- 周宇浩(1990),男,江苏苏州人,硕士在读,专业为光伏发电及电能质量治理;
- 葛乐(1982),男,江苏泰州人,副教授,从事新能源与主动配电网研究工作;
- 杨志超(1960),男,江苏常州人,教授,从事电网主设备安全运行、新能源与主动配电网研究工作。

Based on Current Predict of Active Power Filter Hysteresis Control

SUN Rong¹, YUAN Xiaodong¹, ZHOU Yuhao², GE Le², YANG Zhichao²

(1. Jiangsu Electric Power Company Electric Power Research Institute, Nanjing 211103, China

2. School of Electrical Engineering, Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China)

Abstract: In order to reduce the APF control error caused by sampling rate, a method of predictive hysteresis control based on current prediction is proposed. The cause of hysteresis control error is analyzed. On the basis of the active filter dynamics model, output current prediction model is established, the target current is predicted by linear interpolation, and the working principle of this control method is introduced. A controller system is designed based on the CompactRIO. The experimental result comparisons between the proposed method and traditional hysteresis control show that the proposed method is effective in reducing control error.

Key words: active power filter; current predict; hysteresis control; control error

(上接第 53 页)

保护与控制,2006,34(8):19-20.

- [3] 冯迎春,陆圣芝,袁松.基于变电站测控数字量的自适应自投联切装置[J].江苏电机工程,2013,32(6):23-24.
- [4] 许琦,曹建权.防止因备自投动作引起变压器过载跳闸的分析及对策[J].江苏电机工程,2012,31(4):30-33.
- [5] 朱文东,刘广一,于尔铿.电力网络局部拓扑的快速算法[J].电网技术,2006,20(3):30-33.
- [6] 王艳蓉,陆鑫,林庆农,等.新一代电力自动化软件支撑平台的设计和实现[J].Electric Power IT,2010,8(9):42-44.

作者简介:

- 张军华(1980),男,河南周口人,工程师,从事电力系统自动化研发工作;
- 金岩磊(1978),男,河南洛阳人,工程师,从事电力系统自动化研发工作;
- 金震(1977),男,江苏武进人,工程师,从事电力系统继电保护研发工作。

A Digital Spare Power Automatic Switching Simulation Technique

Based on Dynamic Topology

ZHANG Junhua, JIN Yanlei, JIN Zhen

(Nanjing Nari-relays Electric Co. Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: This paper proposes a new simulation technique for digital spare power automatic switching. The technique analyzes the logic of digital spare power automatic switching based on power system dynamic topology. The simulation software based on Sophic platform is developed using the proposed technique. The developed software is deployed in a distributed fashion and is used in the simulation environment which do not affect the normal functions of SCADA. The simulation technique has been applied in Hong Kong Chui Ling Road station, which achieves the expectation.

Key words: spare power automatic switching; simulation; topology analysis; sophic platform