[仿真技术]

MATLAB/Simulink仿真技术在微机五防闭锁系统单相接地故障中的应用

文/李松天
大庆圣泉绿色技术有限公司

微机五防闭锁通过监控系统平台，使用微机结合计算机钥匙、编码锁具技术及通信技术，根据传统电气五防规则，通过软硬件二者结合实现完善的五防功能，达到电气系统防误操作的目的。通过对现代微机五防闭锁的原理进行详细说明，并结合MATLAB仿真软件对高压电气系统单相接地事故进行数值计算和模拟仿真试验，得出所需试验结果。

本文通过对现代微机五防闭锁的原理进行详细说明，并结合MATLAB仿真软件对高压电气系统单相接地事故进行数值计算和模拟仿真试验，得出所需试验结果。系统性地对微机五防闭锁及电气事故仿真作了详细的分析和阐述。近年来我国的微机五防闭锁系统走在时代的前列，但是结合生产实践微机五防系统在电气保护措施上还有很多不足之处需要改进完善。MATLAB软件作为电气系统中常用的分析仿真工具有其自身的优缺点，但结合实际的电气工程，采用MATLAB软件的强大功能仿真电气试验很方便，所得的仿真数值很准确。

微机五防闭锁的原理

五防计算机主机将校验过的合格操作票通过串行接口传送给计算机钥匙，所有的实际操作严格按照预演生成的操作票步骤进行，如操作顺序错误，则报警提示，当计算机钥匙执行操作票完毕后，会把信息传送回五防主机，实现一个简单的单回路反馈防误操作机制。

电气锁原理

现场需要手动操作分合闸时，为防止出现误操作导致电气事故的发生，在分合闸回路中串联了电气回路锁，操作时需要专用的锁具钥匙将电气回路导通才能实现现场操作的目的，这样提高了电气系统的安全性和可靠性。

微机五防闭锁系统的缺点分析

1）柜门用螺丝紧固，易被人为拆卸，增加电气设备接地和漏电的风险隐患。

2）微机五防闭锁系统的程序只有设备厂家人员知晓。一旦程序运行时出现bug，值班或电气维修人员都束手无策，只能等厂家来人维修。

3）微机五防一次接线图中的程序连锁只有纵向闭锁逻辑程序，缺少横向电气闭锁逻辑程序，程序的安全防护性能有待改进提高。

4）微机五防闭锁系统在实际使用中，使用人员为了操作使用方便会将开票五防主机关掉，只保留操作票执行主机端，这样在遥信操作时，虽然提高了应急效率，但因违反电气五防操作规程，所以危

险系数提高。

MATLAB软件和所挂接的Simulink仿真模块的简单介绍

MATLAB是一个集数据分析、矩阵计算、图形显示及模拟仿真等于一体的大型集成化软件，开始由美国的CleveMoler博士创造，最初的目的是为数学中的矩阵运算提供一种简便的数据运算处理工具。随着不断发展变革，MATLAB已经发展成一种在自控、数据分析处理、模拟仿真、化工、图像信息处理及统计分析等各行各业中都有极其广泛应用的数学处理软件。Simulink是MATLAB提供的系统仿真的一个软件包，Simulink集成在MATLAB环境下，以MATLAB自身的对数据运算处理的强大功能为基础，为系统的仿真提供了诸多便利。在Simulink环境中，通过库文件中拖曳添加各种需要使用的电气模块，再经过接口之间的线段连接方式，即可搭建诸多复杂多变的电气仿真系统。

电流接地系统单相接地故障时的现象以及消弧线圈的应用

电流接地系统发生单相接地时，由于故障点的电流很小，且三相间线电压依然保持对称，对供电系统几乎没有影响，所以在通常情况下都可以允许系统继续运行数个小时。为防止故障进一步扩大，需要及时发出信号，便于值班运行人员采取相应措施进行处理。正常情况下，接于中性点与大地之间的消弧线圈没有电流流过，消弧线圈在整个电气系统中没有发挥作用，当接地故障发生后，中性点出现零序电压，由于零序电压的作用，产生的感性电流流入消弧线圈，进入产生接地故障的电气系统中，抵消掉接地故障点流过的电容性接地电流，削弱乃至消除由接地故障引起的接地电弧所产生的电气事故隐患。

中性点接地电气系统仿真模型及主要数值计算

使用Simulink建立一个10 kV中性点接地电气系统的仿真模型。

在该仿真模型中，电源选用“three phase source”无穷大功率三相电源模型，输出的电压选为10.5 kV，内部接线方式设置为星形联结。模型中为方便试验分析只设置一条10 kV输电线路line1，线路长度100 km，线路模型采用“three phase PI section line”仿真模块。

在实际电气工程的10 kV配电系统线路中，单回路架空线路输送电容量取经验值0.2～2 MV·A，输送距离一般取值6～20 km，本文的仿真模型将输电线路长度故意加长，仿真时的故障更加明显，对仿真结果的准确性没有影响。线路负荷使用三相并联负荷模型，有功负荷设置为1.5 MW。其他所需仿真电气模块还有RLC支路双绕组变压器模块、三相电源电压/电流测量模块、示波器模块、三相故障模块及电力系统仿真模块。

如果用$3U$代表零序电压，$3I$代表电气线路中的零序电流，仿真时选择在line线路后1 km处设置发生A相金属性单相接地。

根据以上设置的参数，可以通过计算得到系统在line线路后1 km处发生单相接地时线路始端的零序电流有效值为

$$3I=3U\omega C \tag{1}$$

$$\omega=2\pi f \tag{2}$$

故得到$3I=3U\times 2\pi fC$

$$=3\times(10.5\sqrt{3})\times 10^{3}\times 314\times 7.751\times 10^{-9}\times 100\ \text{A}$$

$$=4.426\ \text{A} \tag{3}$$

所以接地故障点处的电流为4.426 A。

对于电源中性点接消弧线圈，在各级电压网络中，当全系统的电容性电流超过某一定值（3～6 kV电网超过30 A、10 kV电网超过20 A、22～66 kV电网超过10 A）时，要在电气系统中安装消弧线圈。

要使接地故障点的电流近似等于0，所以采取完全补偿的方式时应满足

$$\omega L=1/3\omega C \tag{4}$$

由线路中模块设置参数知

$$C=7.751\times 10^{-9}\times 100F$$

$$=0.775\ 1F \tag{5}$$

可知，若要实现完全补偿，需要$L=4.347\ 8H$。

因为在实际电气工程中采用完全补偿存在串联谐振过电压的弊病，所以取过补偿度为10%，再次精确计算消弧线圈的电感为

$$L=4.347\ 8(1-10\%)H$$

$$=3.913\ 02H \tag{6}$$

按照以上计算所获得的消弧线圈补偿值结合仿真模型，此时在line后1 km处发生单相接地故障时的电流仿真效果如图1所示。

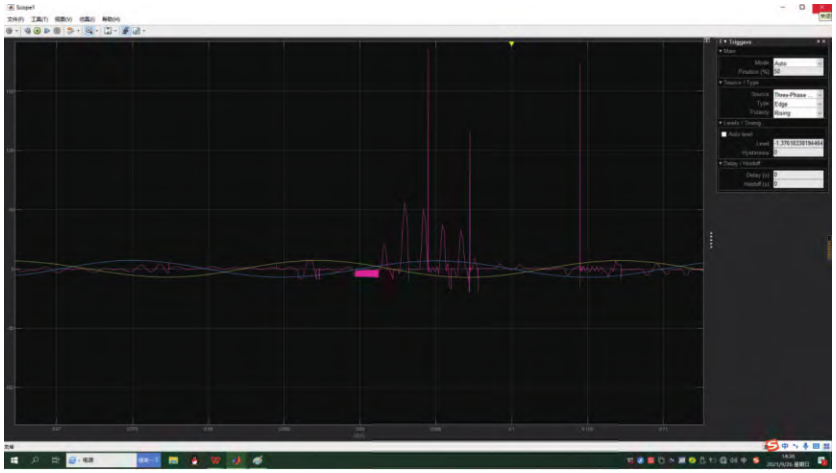

图1　电流仿真效果

单相接地时，电气系统电压仿真效果如图2所示。

事故模块设置单相接地事故动作时间为0.05 s，当单相接地发生时，三相间线电压依然保持对称，所以对供电系统负荷没有影响。本论文着重研究了中性点接地电气系统发生单相接地故障时的模拟仿真，但是如在此基础上加以改进，还可以模拟两相同时接地或者三相短路接地等故障发生时的仿真。由此可见MATLAB在电气仿真中的适用性和便捷性。

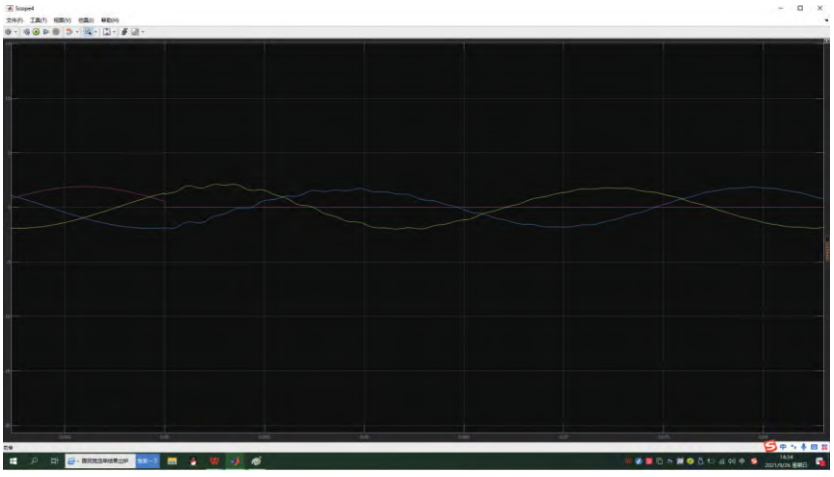

图2　电压仿真效果

结束语

在实际工作中，微机五防闭锁系统突发单相接地报警事故已分闸的微机五防语音报警提示，高压配电室内综保也同时显示接地故障报警信息。报警信号复位后再对全厂各配电回路分闸，然后按照电气五防规范逐级分段合闸送电。最后找到事故原因是厂区内的供水变高压段电缆被乙方土建施工人员的挖掘机挖断，经高压电缆重新压接修复后再次合闸送电，一切正常，单相接地的报警故障彻底修复。EA

（收稿日期：2021-09-26）

参考文献

[1] 陈月卿，邱建斌，林肖斐，等．浅谈电力防误操作系统仿真校核[J]．电子测试，2021(3)：96-97，122．