

交互式串补本体保护与线路继电保护的数字仿真模型的研究与应用

余江¹, 赵曼勇¹, 周红阳¹, 胡玉峰², 尹项根³

(1. 南方电网电力调度通信中心, 广东 广州 510620; 2 广东电网公司佛山分公司调度中心, 广东 佛山 528000;
3 华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 串联补偿电容器能在一定范围内减小输电线路阻抗, 提高输送功率极限, 在高压输电系统中得到越来越广泛的应用。基于 PSCAD/EMTDC平台和工程实际, 建立了串补系统、串补本体保护及线路保护模型, 并以平果串补工程为背景建立了南方电网局部网络电磁暂态仿真模型。所建立的串补本体保护及线路继电保护模型可以用于分析串补本体保护与线路保护配合问题。

关键词: 串联补偿电容器; 电磁暂态仿真; 串补本体保护; 线路保护

中图分类号: TM773 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)06-0014-04

0 引言

随着经济的发展和水平的提高, 对电能的需求日益增加, 对电能质量也提出了要求, 合理地使用能源资源、增加现有输电走廊的输送能力、提高电网的稳定性, 已成为目前电网发展中迫切需要解决的问题。串联补偿电容器(串补)可以有效地降低线路阻抗, 能在提高线路输送能力、增加系统稳定性等方面发挥重要作用。根据装置特性, 可以将串补装置分为固定串补(FSC)及可控串补(TCSC)。目前已投运的串补工程有南方电网的平果 TCSC工程(含 FSC部分及 TCSC部分)和河池 FSC工程, 国家电网公司的三堡 FSC、大房 FSC等工程。

串补设备的投运在改善电网运行的同时也给继电保护提出了更高的要求。虽然经过多年的运行, 在串补线路继电保护方面积累了一定的运行经验。然而, 对于串补输电线路继电保护动作情况的分析, 目前多采用稳态相量分析或阻抗平面分析的方法, 较难真实反应串补本体保护与线路继电保护之间的互动以及暂态过程的影响, 而且这种稳态计算的方法很难适用于带有 MOV 等非线性元件的串补输电线路。因此, 很有必要开发适应工程要求的分析手段, 在串补本体保护和线路继电保护配合方面开展进一步的研究工作。

数字仿真是进行保护配合研究的有力工具之一。目前针对继电保护装置的仿真研究, 大都采用暂态计算加离线分析的模式, 利用电磁暂态计算程序构造出系统模型, 利用其它分析程序编写保护动作判据, 将仿真所得的数据代入到判据中以考察继

电保护的特性。这种离线模式的一个主要缺陷在于不能很好地体现保护动作对一次仿真系统的影响, 在研究故障期间串补本体保护动作后的暂态过程中电气量的特点、分析在此期间线路继电保护的动作为以及串补本体保护和线路继电保护的配合研究方面效率不高。建立包含电网、串补本体保护和线路继电保护的交互式数字仿真模型, 将为开展串补本体保护和线路继电保护配合研究提供强有力的研究手段。

本文就建立交互式串补本体保护与线路继电保护的数字仿真模型进行了初步研究, 建立了串补系统、串补本体保护及线路保护模型以及与平果串补工程相关的南方电网局部网络电磁暂态仿真模型, 分析了建模的关键技术。鉴于 PSCAD/EMTDC 软件在电磁暂态仿真领域的成功应用, 以该软件作为仿真平台建立仿真模型。

1 仿真模型介绍

基于 PSCAD/EMTDC 仿真平台的包含电网、串补本体保护和线路继电保护的统一的数字仿真模型, 如图 1 所示。关于电网及串补一次设备(电容器、MOV、阻尼回路、火花间隙、旁路断路器)都采用软件自带模型, 火花间隙和旁路断路器用开关模型近似模拟, 本文不作展开说明。不作特别说明, 文中所提串补仅表示固定串补, 串补本体保护以平果固定串补本体保护为原型。

1.1 串补本体保护仿真模型

串补本体保护的主要作用是在串补设备本身出现故障或者串补所在线路发生故障期间, 通过火花

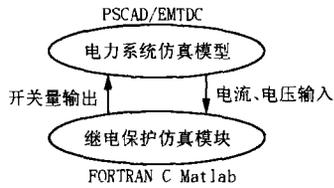


图 1 仿真模型示意图

Fig 1 Diagram of simulation model

间隙放电及合上旁路断路器,迅速旁路串补。串补本体保护包括电容器保护(包括不平衡保护和过负荷保护)、MOV保护(包括大电流保护、温度过负荷保护及温度梯度保护)、平台故障保护、放电间隙保护(包括延迟拒绝触发及自触发保护)、旁路断路器保护(包括辅助触点不一致、三相不一致及失灵保护)以及自动重投功能,对于可控串补(TCSC)还有可控硅阀监视与保护。当串补线路发生故障时,线路保护会给串补发旁路信号,防止带串补跳闸出现断路器断口暂态恢复电压过高的现象。

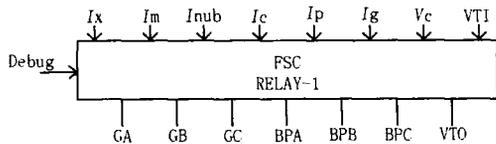


图 2 串补本体保护模型外观图

Fig 2 Appearance of model of FSC protection

间隙及旁路断路器电流和电容电压, YTI 为线路保护发给串补本体保护的旁路信号。模型下方为串补本体保护的输出信号, GA、GB、GC、BPA、BPB、BPC 分别表示发给 A、B、C 三相放电间隙和旁路断路器的动作信号, YTO 是串补旁路断路器失灵保护跳线路断路器信号。

和实际装置一样,串补本体保护模型中的所有本体保护功能都可以通过控制字投退,各保护功能的定值项也和装置一致。图 3 是电容器不平衡保护的定值界面。模型具有报文输出功能,可以查看串补本体保护动作时各电气量的数值。

1.2 线路保护模型

以 PSL-600 系列微机线路保护为原型建立线路保护模型,实现的保护功能主要包括:差动保护,阻抗方向保护、零序方向保护、突变量阻抗、相间及接地距离、零序电流以及后加速元件。图 4 为线路保护模型的外观图。

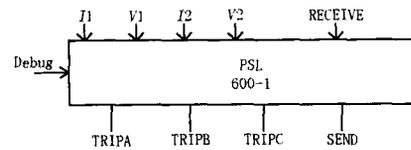


图 4 线路保护模型外观图

Fig 4 Appearance of model of line protection relay

模型上方为保护装置的输入信号, I_1 、 V_1 、 I_2 、 V_2 分别为本侧和对侧的电流和电压量, RECEIVE 是接收到的对侧保护跳闸信号。模型下方为保护装置的输出信号, TRIPA、TRIPB、TRIPC 分别为跳 A、跳 B、跳 C 信号, SEND 是发送到对侧的保护跳闸信号。和实际装置一样,模型中各项保护功能都可以通过控制字投退,各保护功能的定值输入也与实际装置一致。模型具有报文输出功能,可以查看串补本体保护动作时各电气量的数值。

1.3 保护模型的关键技术

要实现图 1 所示的仿真模型,需要解决的关键的技术问题主要有两个方面:一是用户自定义的保护模块,解决继电保护仿真模块的建模问题;二是用户程序与 PSCAD/EMTDC 的接口及数据交换问题,解决继电保护仿真模块与电网模型之间的数据交换问题。

1.3.1 用户自定义保护模块

串补本体保护采用西门子自行开发的逻辑编程语言 SMADYN D,其内部逻辑通过多个计算及逻辑功能模块连接组成,流程清晰、直观。只要建立保护装置内部逻辑中所用到的计算及逻辑功能模块的仿

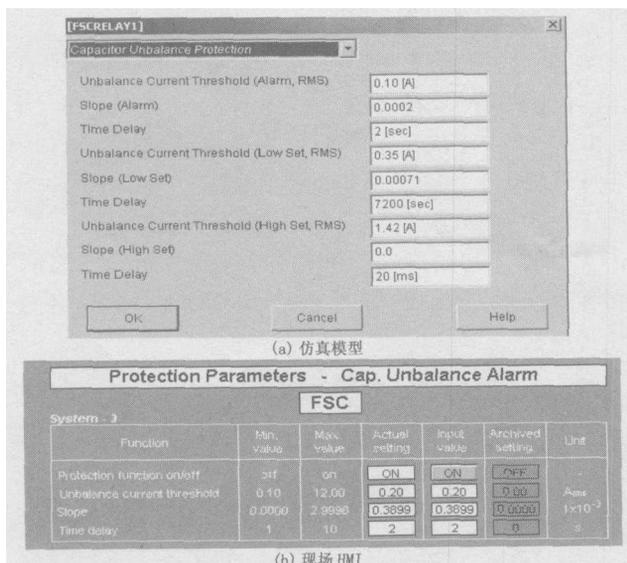


图 3 电容器不平衡保护定值界面

Fig 3 Interface of setting for capacitor unbalanced function

图 2 是串补本体保护模块外观图。模型上方为串补本体保护的输入信号, I_x 、 I_m 、 I_{unb} 、 I_c 、 I_p 、 I_g 、 V_c 分别表示本体保护输入的线路电流、MOV 分支电流、电容器不平衡电流、电容器电流、平台电流、放电

真模型,就可以方便地实现整套保护仿真模型。由于软件流程清晰、直观,软件逻辑也很容易用 C、FORTRAN 等高级编程语言实现。

与串补本体保护相比,线路继电保护具有以下特点:

1)目前实用化保护装置大量使用的诸如突变量距离、带记忆作用的姆欧继电器、带记忆作用的方向继电器等复杂继电器,软件中都没有提供相应的模块。

2)线路继电保护中使用的差分滤直算法、半周傅式算法、微分方程算法、最小二乘算法以及目前出现的小矢量算法等基本算法,软件中都没有提供相应的模块。

3)线路继电保护的实现逻辑、时序关系需要考虑到各种工况的适用性,逻辑及时序关系非常复杂。

基于以上原因,采用软件编程的方式实现线路继电保护的仿真模型。PSCAD/EMTDC 软件并支持 FORTRAN、C 以及 Matlab 三种语言建立的用户自定义仿真模块。FORTRAN 语言具有内嵌性能好、运行效率高、容易实现模块化等优点,用户可以在自定义的库文件中建立模块,并可在仿真工程文件中多次调用该模块。但 FORTRAN 语言的格式限制过多,程序出错后所给出的错误信息不明确,编写大型程序时调试困难。C 语言具有编程形式灵活、库函数多、使用方便等优点,用户必须将编制好的 C 源代码编译成 obj 文件,再与 EMTDC 连接(link)才能使用,因而运行效率较 FORTRAN 语言差。Matlab 具备强大的图形显示功能与数学分析功能,但由于 EMTDC 与 Matlab 接口时,是直接调用 Matlab 运行,故其运行效率最差。综合考虑到程序编写、调试及模型的运行效率,选择 C 语言作为用户自定义模块的开发语言。

1.3.2 数据接口

PSCAD/EMTDC 提供了四类公用数组作为与用户程序的接口部分,分别是 STORI, STORF, STORL 以及 STORC,分别用于与用户程序之间传递整型数、浮点数、逻辑量与字符型数据。用户程序从 PSCAD/EMTDC 中获取数据以及用户程序中的数据传送到 EMTDC 中,都必须借助此数组,实现在用户程序中读取 PSCAD/EMTDC 每一步的计算数据以及将用户程序的计算结果反馈回 PSCAD/EMTDC。接口模式示意图如图 5 所示。

2 应用实例

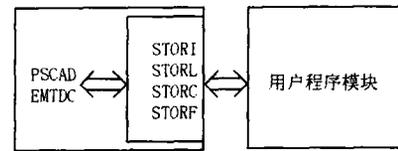


图 5 PSCAD/EMTDC 与用户程序数据交换模式示意图

Fig 5 Data exchange between PSCAD/EMTDC and user defined model

以天平串补输电线路的继电保护系统作为研究对象,在建立电网仿真模型时,考虑了天生桥、平果、岩滩、来宾、马窝、百色以及南宁共七个等值电源点,其网络等值图如图 6 所示。图中各等值电源点之间的连线均为保留线路,参数采用实测值。等值电源点按照恒定阻抗的电压源来考虑,其电源内阻抗依据各母线背后的等值阻抗来确定。各等值电源点之间另有等值支路,图中未显示。

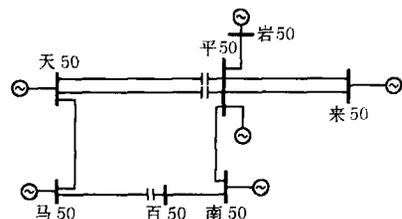


图 6 南方电网仿真计算等值网络

Fig 6 Equivalent network of China Southern Grid

在天平 I 线平果串补出口 7 km 的地方发生 A 相对地故障,故障发生时刻 0.8 s,故障持续时间 0.1 s。天平 I 线平果侧的三相电流、FSC 本体保护及 PSL600 系列线路保护的動作报文分别如图 7~9 所示。利用该仿真模型可以分析多种故障情况下串补本体保护和线路保护的動作情况,分析二者之间的配合关系,详细的仿真分析计算及结果汇总将另文专述。

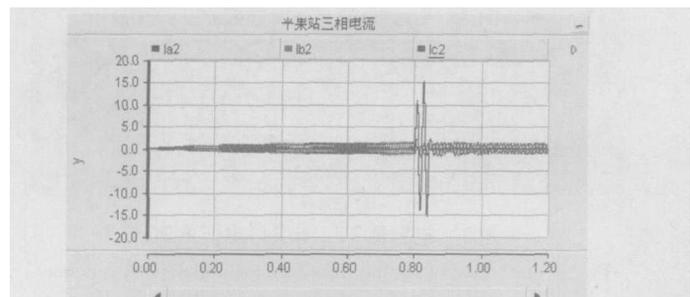


图 7 平果站电流波形

Fig 7 Current curve of Pingguo station

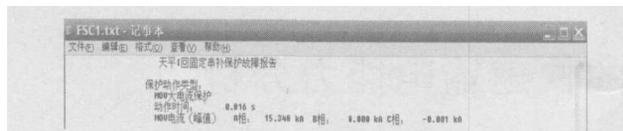


图 8 FSC保护动作报文

Fig 8 Operation report of FSC protection relay

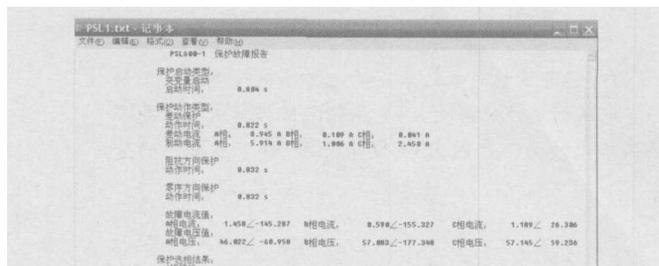


图 9 线路保护动作报文

Fig 9 Operation report of line protection relay

动作时有关的电气量数值,便于对保护装置动作特性进行稳态分析。以现有模型为基础,可以结合实际工程,建立其它串补本体保护及线路保护的仿真模型。

由于对电容器及 MOV 内部故障的发展过程认识有限,该模型还无法模拟电容器及 MOV 内部故障的发展过程,只能用短路和断路近似替代。在下一步工作中将完善仿真模型,以便更好地分析电容器及 MOV 内部故障期间电容器不平衡保护和 MOV 不平衡保护的動作特性。

参考文献:

- [1] Pingguo TCSC Project: Protection Coordination FSC Segment[Z]. Germany: SIEMENS, 2002.
- [2] Pingguo TCSC Project: Protection Coordination TCSC Segment [Z]. Germany: SIEMENS, 2002.

3 结束语

建立包含电网、串补本体保护和线路继电保护的统一的数字仿真模型,为开展串补本体保护和线路继电保护的配合研究提供了强有力的研究手段。本文以平果固定串补的本体保护和 PSL-600 系列微机线路保护为原型分别建立了串补本体保护模型和线路保护模型。模型在输入、输出量的接口上与实际装置一致,输出报文可以清楚地了解保护装置

收稿日期: 2005-08-25

作者简介:

余江(1975-),女,工程师,从事继电保护运行及研究工作;
E-mail: yujiang@csg.net.cn

赵曼勇(1957-),女,教授级高级工程师,从事继电保护生产运行管理及研究工作;

周红阳(1969-),男,高级工程师,从事继电保护生产运行管理及研究工作。

Research and application of integrated digital model of FSC protection and line relay protection

YU Jiang¹, ZHAO Man-yong¹, ZHOU Hong-yang¹, HU Yu-feng², YN Xiang-gen³

(1. Power Dispatching and Communication Center of China Southern Grid, Guangzhou 510620, China;

2. Foshan Power Supply Co., Guangdong Power Grid Corporation, Foshan 528000, China;

3. College of Electronics & Electric Engineering, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: Series capacitor has advantages of decreasing transmission line impedance and increasing transmission capability, and is used more and more widely in high voltage transmission system. Based on PSCAD/EMTDC, the model of Pingguo TCSC project is set up. The whole AC system is simplified to reduce the size. Only stations adjacent to Pingguo station are reserved. The FSC protection and line relay protection employed on those reserved lines are also simulated in the model. Researches on coordination between main protection for FSC and line relay protection can be carried out by this model.

Key words: series compensation capacitor; electric magnetic transient simulation; FSC protection; line relay protection

(上接第 13 页 continued from page 13)

(1. Communication and Automation Center of Sichuan Electric Power Company, Chengdu 610041, China;

2. Chengdu Electric Power Bureau, Chengdu 610041, China; 3. University of Chengdu Power Workers, Chengdu 610041, China)

Abstract: In this paper, a new method to build the mathematics model of relay protection and automatic device in DTS is proposed by slowing down the simulation speed factor of DTS. As a result, the problem of calculation speed of the power flow, frequency and fault in DTS is solved. And it makes the simulation of relay protection and automatic device more practicable. The model has been applied in Sichuan DTS with feasibility and effectiveness.

Key words: DTS; relay protection; security and automatic device; quantitative comparison; VEE