

基于 PSS/ E 27 的大型电力系统故障分析平台

罗中远¹, 张沛超¹, 郁惟镛¹, 茅济春², 陈健民²

(1. 上海交通大学电气工程系, 上海 200240; 2. 华东电力调度通信中心, 上海 200002)

摘要: PSS/ E 是美国 PTI 公司推出的大型电力系统仿真计算软件。PSS/ E 为用户提供潮流、短路、动态模拟仿真(包括长过程稳定)、优化潮流、线性网络及小干扰信号分析等功能, 支持超大规模网络计算, 并提供 IPLAN 二次编程语言, 由用户根据实际需要进行二次开发。上海交通大学和华东电力调度通信局在国内首次完成了 PSS/ E27 软件的实用化开发, 增加了交互式绘图功能及全中文、图形化的操作界面, 实现了一系列高级故障分析功能, 大大提高了分析计算的自动化程度。利用该系统, 华东总调及“三省一市”正在建立 220~500 kV 高压电网统一的系统参数、故障分析、整定计算、网络拓扑库、报表输出等计算分析平台。

关键词: PSS/ E 故障分析; 整定计算; 网络等值; 线路轮断短路计算

中图分类号: TM74 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)09-0057-03

0 引言

PSS/ E 是美国 PTI 公司推出的大型电力系统仿真计算软件。PSS/ E 为用户提供潮流、短路、动态模拟仿真(包括长过程稳定)、优化潮流、线性网络及小干扰信号分析等功能。支持超大规模网络计算, 最大处理能力: 母线数 50 000, 负荷数 100 000, 发电机数 12 000, 支路数 100 000, 变压器数 20 000, 互感组 4 000, 每组互感支路数可达 300。可处理各种对称故障、不对称故障、非全相运行、相继动作以及上述多重组合故障的分析计算, 可处理全线及非全线零序互感, 可以对孤立系统进行处理, 可进行交、直流混合仿真计算。但在具体应用中, PSS/ E 仍具有一些缺点, 阻碍了该软件在国内的进一步推广应用。例如, PSS/ E 缺乏数据库管理能力, 缺乏灵活、方便的图形输出能力; 缺乏直观的图形输入界面, 需记忆大量命令, 用户不能在其熟悉的电网接线图上进行操作, 缺乏适合我国国情的短路分析和继电保护等专业需要的一系列高级故障分析能力等等。为解决上述问题, 华东电力调度通信中心和上海交通大学合作开发了基于 PSS/ E27 的大型电力系统故障分析平台。

1 故障分析平台结构

1.1 平台系统结构图

该平台实现采用 VC6.0 工具, 并采用了多线程技术。在多线程中启动计算后, 计算过程是后台运行, 对前台程序并不产生影响, 用户可以继续进行其它工作。计算过程可自动完成。在遇到冲突时暂

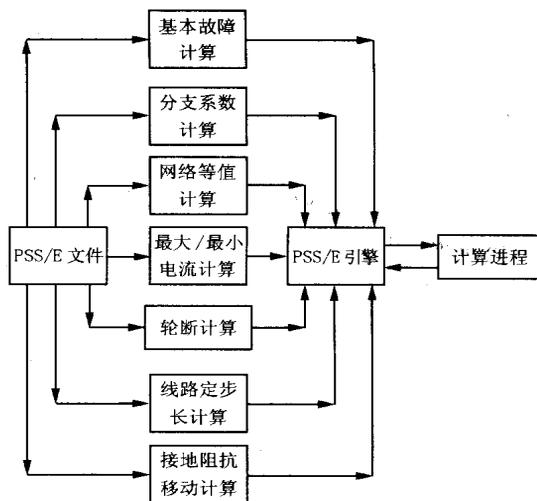


图 1 平台系统结构图

Fig. 1 Configuration of platform system

停, 由用户干预后继续进行。而对于单线程程序, 一旦开始计算, 用户只能等待计算结束。IPLAN 应用程序和 PSS/ E 程序交互进行, 基本数据来自 PSS/ E 文件和用户在界面里设定的数据。

1.2 数据库关系图

数据库关系图如图 2 所示。

系统数据库由各个 IPLAN 程序计算结果数据库和系统参数数据库组成, 其中系统参数数据库处于核心地位。PSS/ E 本身没有数据库, 计算时通过读取文本文件完成数据录入。各个 IPLAN 程序块计算结果数据经过处理保存到各自的数据库中。系统参数数据库可以由 PSS/ E 数据文件读入, 系统参数数据库可以输出到 PSS/ E 数据格式文件, 也可以

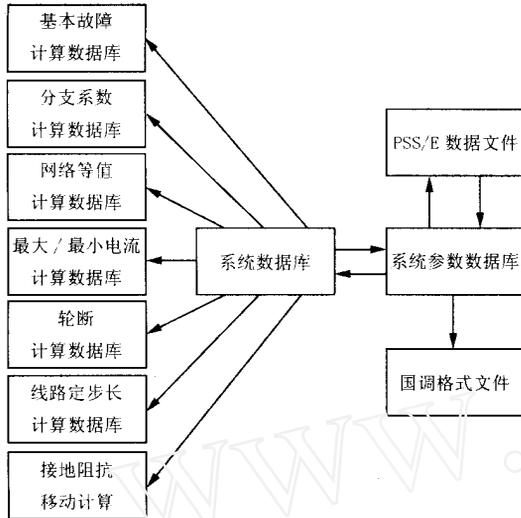


图2 数据库关系图

Fig.2 Relation of database

输出到国调格式数据文件。

2 基本短路分析功能设计

PSS/E 基本故障处理不能够满足实用化的需求^[2],必须利用 PSS/E 已有的基本故障处理来组合处理实际需求。以下情况是针对我国运行实际要求而进行的分析设计。

2.1 对端单跳故障计算

在我国 110 kV 以上电压等级电网多数情况下要求单相故障时单相跳闸,需要计算保护对端单相跳闸前后流过该保护的故障电流。

2.2 含串补线路故障分析

高电压输电电路上为了提高系统的稳定性而安装串补设备,如果串补两侧发生接地故障,串补放电间隙可能击穿。需要分析电容击穿前后流过保护的电流。

2.3 励磁阻抗不是无穷大的变压器处理

PSS/E 变压器模型把变压器励磁阻抗看做无穷大开路处理,而我国现运行的有一些变压器励磁阻抗不为无穷大(如三相三柱式 Y_0/Y_0 变压器),不能开路处理。需要对该类变压器等值阻抗做变换处理。

2.4 线路挂检状态处理

互感线路组中任意一条线路故障,另有一回线路停运时,有两种情况:停运线路挂接地线检修和不挂接地线。如果挂接地线检修,则和互感组中其它线路有互感。这样线路状态有 3 种:运行,停运,挂检。在 PSS/E 中,如果简单的将挂检线路停运,则

PSS/E 将与该线路相关的所有互感都置为零,显然不能满足分析需求,需要另行处理。

3 高级故障分析功能^[1]

由于 PSS/E 程序的短路计算只能在人工干预下单步执行,不能自动进行故障计算来求取最大或最小电流、分支系数等继电保护专业感兴趣的结果。因此开发了适用于继电保护整定的短路电流自动计算功能:

3.1 轮断短路计算

在整定计算过程中,往往需要对某些厂站的线路和变压器元件进行轮停,然后分别进行短路计算,以求取固定线路的最大或最小短路电流;同时观察周围线路投停对该线路故障电流的影响,用来优化分支系数的计算。轮断规则可以由用户设定,以适应不同电网的需要。

3.2 轮流节点故障

继电保护整定人员在进行整定或编制整定方案时,需要进行大量的各种形式的短路计算,本功能使得程序可以进行一些批处理计算。

3.3 线路定步长故障短路计算

线路发生故障时,故障测距对运行值班人员很有用。我们可以事先对线路进行定步长短路计算,画出大致的故障距离与故障电流的曲线图,在需要时,通过曲线图快速找出故障点。

3.4 阻抗定步长故障短路计算

线路上发生接地故障时,该计算用来分析接地阻抗大小对线路保护的影响。

3.5 网络等值计算

在大的互联系统中,由于管辖区域的划分和研究对象的侧重点不同,我们可以把研究系统以外的区域进行等值处理。这样就只保留研究系统及一些边界节点和这些节点上的等值电源、等值接地支路及等值线路。在实际应用中,网络等值可以简化处理。目前,华东地区上下级电网之间通过每年编制短路容量和等值阻抗表来进行数据交流。

3.6 自动生成短路容量和等值阻抗表

通过自动对各条母线进行三相短路计算,所得母线短路电流的倒数即为正序等值阻抗;而对母线进行单相接地故障计算,故障母线上 U_0/I_0 即为零序等值阻抗。

3.7 分支系数计算

整定配合主要就是求取最小正序助增和最大零序分支系数。目前还是穷举法,即把所有要考虑的

运行方式罗列计算,既要考虑大、小方式,又要考虑方式变更,包括对整定和配合线路所在厂站进行轮断,线路末端开断与否,对端单跳或三跳。故障设定也要考虑线路始末和线路中点 3 种情况。

3.8 动态生成 PSS/E 命令

用户操作时,会临时进行设备投切操作。这些操作实际上不存储到 PSS/E 参数文件中而只在本次故障计算中有效。一旦计算结束,所有临时开断自动取消。这样,需要根据用户的临时投切操作,自动生成命令序列,并在计算时作为 $idv^{[3]}$ 文件提交给 PSS/E 自动执行。

4 IPLAN 程序实现

PSS/E 提供一种类似 FORTRAN 语言的 IPLAN 二次开发语言^[4],使用户可以检查 PSS/E 计算结果并修改输入数据;根据计算表达式作各种循环、判断和分支,产生特殊的图表和报告。用户还可以进行功能扩展。IPLAN 语言提供与 FORTRAN 语言类似的逻辑控制功能,并且直接利用 PSS/E 强大的计算引擎,使用户根据需要定制自己的解决方案。虽然 IPLAN 是一种解释性语言,但由于主要的计算工作都是在 PSS/E 中完成的,所以语言的总体性能并没有损失。

IPLAN 程序与 PSS/E 应用程序的通讯是在 IPLAN 程序中使用 PUSH、PUSHX 向 PSS/E 应用程序发送消息,使用 CALL 调用 PSS/E 应用程序的内部函数。

以线路挂检状态为例说明 IPLAN 程序实现方案:

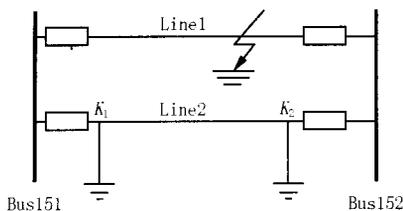


图 3 在线路 2 挂接地检修后线路 1 发生 B 相接地故障

Fig. 3 Line 1 with L-G fault on B-phase after earth overhaul of line 2

线路 1、2 之间存在互感。线路 2 停运时,线路 1 发生故障。有两种情况:

- 1) 线路 2 两侧不挂接地线,则线路 1、2 之间互感为零;
- 2) 线路 2 两侧挂接地线,则线路 1、2 之间互感

不为零。

在 PSS/E 中,如果简单将线路 2 停运,则 PSS/E 自动将与该线路相关的所有互感都置零。显然,对于上述 2) 的情况,这是不能满足实际分析要求的。

IPLAN 程序解决方案:

(a) 利用 LTAP 命令^[3],在线路 2 两侧各增加一个虚拟节点, k_1 、 k_2 。按照 LTAP 命令的说明,此时互感将转移到线路 1 和线路 $k_1 \sim k_2$ 之间;

(b) 利用 CHNG 命令^[3],将支路 151 ~ k_1 以及支路 $k_2 \sim 152$ 停运,而支路 $k_1 \sim k_2$ 仍为投运状态;

(c) 利用 SCMU 命令^[3],在线路 1 上设置故障;

(d) 执行故障计算。

这样就可以解决线路挂接地检修状态问题。

5 结论

该平台具有稳定性好,计算速度快等特点。利用该系统,华东总调及“三省一市”建立了 220 ~ 500 kV 高压电网统一的系统参数、整定计算、网络拓扑绘图数据库。在此基础上,建立了统一的高压电网短路计算、整定计算平台。

参考文献:

- [1] 茅济春,高翔,张沛超,等(MAO Ji-chun, GAO Xiang, ZHANG Pei-chao, et al). 继电保护运行管理专家系统中短路电流计算(Fault Calculation in Expert System of Relay Coordination Management)[J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2001, 25(15): 60-62.
- [2] Power Technologies Inc(PTI). PSS/E - 27 Program Application Guide Online Documentation[Z]. 2000.
- [3] Power Technologies Inc(PTI). PSS/E - 27 Program Operation Manual Online Documentation[Z]. 2000.
- [4] Power Technologies Inc(PTI). PSS/E - 27 IPLAN Language Online Documentation[Z]. 2000.

收稿日期: 2003-07-28; 修回日期: 2003-09-20

作者简介:

罗中远(1973 -),男,硕士,研究方向为电力系统继电保护整定计算理论及相关软件技术研究;

张沛超(1970 -),男,博士,副教授,硕导,研究方向为专家系统在继电保护中的应用;

郁惟镛(1940 -),男,教授,博导,现从事电力系统及其自动化的教学和科研工作。

(下转第 67 页 continued on page 67)

了开断和相继后的修正值; $z_{ij(1)}$ 正序网中 ij 支路的阻抗值。 $Z_{1ij}^{(2)}$ 可以比照式(8)求取, 须注意的是此时用到的应该是正序网的阻抗矩阵和参数。同理, 可得 Z_{0gg} , 它是在零序网中求取的。

将所求元素带入式(6), 求得 I_{ki} 。

5 结语

在电力系统整定计算中, 无论是分支系数计算, 短路电流计算, 还是灵敏度校验, 都会碰到轮停相邻元件, 同时考虑相继动作这种运行方式变化。本文对此进行了一定的探讨, 并提出了一种统一的等效网络模型和相应的算法。该算法已经在安徽电网的故障仿真与整定计算软件中以 C++ 语言实现。实践应用证明了此算法的正确性和可靠性。

参考文献:

[1] 国家电力调度通信中心(State Electric Power Dispatching Center of China). 电力系统继电保护规定汇编(Compilation of Power System Relay Protection Regulation) [M]. 北京: 中国电力出版社(Beijing: China Electric Power Press), 2000.

[2] 张伯明, 陈寿孙(ZHANG Bo-ming, CHEN Shou-sun). 高等电力网络分析(High Electric Power System Analysis) [M]. 北京: 清华大学出版社(Beijing: Tsinghua University Press), 1996.

[3] 程小平(CHENG Xiao-ping). 配合系数与网络结构关系的研究(Study on Relation Between Network Topology and Cooperation Coefficient) [J]. 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2000, 24(9): 52-55.

收稿日期: 2003-06-23; 修回日期: 2003-11-17

作者简介:

孙鸣(1957-), 男, 副教授, 硕士研究生导师, 研究方向为电力系统继电保护及调度自动化;

孔健(1978-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统继电保护及调度自动化;

程小平(1963-), 男, 硕士, 高级工程师, 现从事电力系统继电保护运行整定工作。

Method for running mode varying in setting calculation of power system

SUN Ming¹, KONG Jian¹, CHENG Xiao-ping²

(1. Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 2. Anhui Electric Power Dispatching Center, Hefei 230061, China)

Abstract: The running mode varying will be concerned in setting calculation of power system that an element is cut off, synchronously, another element acting one after the other. Based on the fundamental of modifying impedance matrix by adding the branch, the modifier formula of impedance matrix element is derived when two elements are cut off. And considering the characteristic of this action, a uniform, equivalent network model including the algorithm is put forward.

Key words: setting calculation; impedance matrix; acting one after the other

(上接第 59 页 continued from page 59)

Fault analysis platform of large power system based on PSS/ E 27

LUO Zhong-yuan¹, ZHANG Pei-chao¹, YU Wei-yong¹, MAO Ji-chun², CHEN Jian-min²

(1. Department of Electric Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China;

2. East China Electric Power Dispatch Center, Shanghai 200002, China)

Abstract: PSS/ E is a large power system simulation software developed by America Power Technology Inc. It is an integrated, interactive program for simulating, analyzing, and optimizing power system performance. It makes available to the user the advanced and proven methods in many technical areas, including: power flow, optimal power flow, balanced or unbalanced fault analysis, dynamic simulation, extended term dynamic simulation, open access and pricing, transfer limit analysis, and network reduction. It has ability to treat super largescale network and provide IHLAN language with secondary development. Shanghai Jiaotong University and East China Electric Power Dispatching Center have developed the software package of PSS/ E27 firstly in China, which is increased with interactive painting and visual Chinese operation in interface, has implemented a series of functions to advanced fault analysis. Via this software, East China Electric Power Dispatch Center is developing calculation platform including system parameters, fault analysis, setting calculation network topological library and form report for 220 ~ 500 kV high voltage grid.

Key words: PSS/ E fault analysis; setting calculation; network equivalent; short circuit calculation line-out in turn