

BPA 电网模型自动导入 DIgSILENT 的研究和开发

刘庆¹, 张东英¹, 刘燕华¹, 许晓艳², 黄越辉²

(1. 华北电力大学, 北京 102206; 2. 中国电力科学研究院, 北京 100192)

摘要: 为了实现将 BPA 的电网模型自动导入到 DIgSILENT/PowerFactory 中, 提高在 DIgSILENT 中进行大电网建模的工作效率, 分析了 BPA 和 DIgSILENT 中一次设备的数学模型, 给出了这两种仿真软件在一次设备模型参数间的转换公式。研究了 DIgSILENT 提供的 DGS 接口和 DPL 编程语言的功能和技术特点, 总结了 BPA 电网模型导入 DIgSILENT 的工作步骤。研究确定了 VC6 和 DPL 相结合的技术实现方案, 设计了用于将 BPA 电网模型自动导入到 DIgSILENT 的工具软件的总体结构、功能和流程, 开发实现了该工具软件。最后分别用 3 机 9 节点算例和北京电网等值系统对其测试, 通过对比两个仿真软件的一次设备模型参数和潮流计算结果, 验证该工具软件达到了设计的要求。

关键词: BPA; DIgSILENT; 仿真软件; 数据转换; 模型导入

Research and development of BPA grid model imported to DIgSILENT

LIU Qing¹, ZHANG Dong-ying¹, LIU Yan-hua¹, XU Xiao-yan², HUANG Yue-hui²

(1. North China Electric Power University, Beijing 102206, China;

2. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China)

Abstract: To automatically import the BPA grid model to DIgSILENT/PowerFactory and improve the efficiency of large power grid modeling in DIgSILENT, this paper analyzes the mathematical model of the primary equipment and gives the conversion formula of model parameters between these two simulation software, studies the functions and technical characteristics of DGS interface and DPL programming language provided by DIgSILENT, summarizes the work steps for the BPA grid model imported to DIgSILENT, identifies the VC6 and DPL combining technical implementation and designs the overall structure, function and process of the tool software which is used to import BPA grid model to DIgSILENT, then develops this tool software. At last, this paper uses 3-machine 9-bus system and the equivalent system of the Beijing grid to test the tool software. By comparing the model parameters and power flow calculation results of the primary equipment in BPA and DIgSILENT, this tool software is proved to meet the design requirement.

Key words : BPA; DIgSILENT/PowerFactory; simulation software; data conversion; model import

中图分类号: TM76

文献标识码: A

文章编号: 1674-3415(2014)16-0112-06

0 引言

BPA 是国内拥有众多用户并具有广泛影响的电力系统综合仿真程序, 国内很多电力公司都采用 BPA 进行仿真计算^[1-2]。在研究新能源或新设备并网问题时, 需要在现有的大电网模型基础上建立新元件模型, 但 BPA 不能修改和自定义元件模型。

大型集成化电力系统仿真软件 DIgSILENT/PowerFactory 具有可靠灵活的系统建模能力^[3]。该软件不仅包含了其他电力系统仿真软件中的潮流、短路、机电暂态、电磁暂态等分析功能, 还具有很多独特而实用的优点。它是以图形化操作和数据管

理技术为支撑, 便于调试和结果分析; 具有风力发电、光伏发电等元件模型, 也可由用户自定义各种元件模型。国内已有很多科研人员使用 DIgSILENT 建模和仿真, 为电网分析、决策提供更有利的依据。文献[4-7]均选择 DIgSILENT 作为研究风电场并网运行和控制的仿真平台。

在 DIgSILENT 中搭建实际大电网的模型, 这个工作如果完全人工建模, 工作量巨大。文献[8]为了解决大电网海量数据转换过程中计算任务繁重、易出错等问题, 开发了数据转换程序, 提高了数据转换的速度。

但是由于 DIgSILENT 采用图形化操作模式,

不能像 BPA 那样只依靠数据文件就可进行仿真, 而需要在仿真之前将转换好的数据对应地填入到电网拓扑模型的各个元件中。对于规模较大的电网, 元件的对应以及数据手动导入的过程往往工作量大、出错率高。实现一种 BPA 转 DIgSILENT 工具软件是必要的。本文针对该问题, 研究了一种 BPA-DIgSILENT 模型数据自动导入的通用方法, 并开发了相应的软件。

1 关键技术

1.1 一次设备模型参数由 BPA 转 DIgSILENT 的转换公式

BPA 数据是基于卡片格式的, 主要的潮流数据

卡片可以分为五类, 分别为区域控制数据卡、节点数据卡、支路数据卡、变压器卡及数据修改卡^[9-11]。而 DIgSILENT 采用的是分层的面向对象的数据库, 潮流数据填入各个代表元件的图形中储存为对象, 同时数据也可通过 DIgSILENT 提供的数据库接口进行导入和导出^[12-14]。表 1 总结了常用一次设备的 BPA-DIgSILENT 数据转换关系。其中 S_B 、 U_B 是系统的基准容量和基准电压, S_{NT} 、 U_{NT} 是变压器的额定容量和额定电压, S_{NG} 、 M 、 T 分别为发电机的额定容量、发电机动能、发电机加速时间常数。

表 1 BPA-DIgSILENT 数据转换关系
Table 1 BPA-DIgSILENT data conversion relationship

元件类型	BPA	DIgSILENT	转换公式
母线	定义了 13 种类型的母线	通过指定母线相连元件的特性确定母线的属性	—
线路	— R_{BPA} X_{BPA} B_{BPA}	L R_{Dlg} X_{Dlg} B_{Dlg}	$L = 1 \text{ km}$ $R_{Dlg} = R_{BPA} \times (U_B^2 / S_B)$ $X_{Dlg} = X_{BPA} \times (U_B^2 / S_B)$ $B_{Dlg} = 2 \times B_{BPA} \times S_B / U_B^2$
变压器	R_T X_T B_T G_T	P_k $U_k \%$ $I_o \%$ P_o	$P_k = \frac{1000 S_{NT}^2 R_T}{U_{NT}^2} \times \frac{U_B^2}{S_B}$ $U_k \% = \frac{100 S_{NT} X_T}{U_{NT}^2} \times \frac{U_B^2}{S_B}$ $I_o \% = \frac{100 B_T U_{NT}^2}{S_{NT}} \times \frac{S_B}{U_B^2}$ $P_o = 1000 G_T U_{NT}^2 \times \frac{S_B}{U_B^2}$
发电机	M X_{BPA}	T X_{Dlg}	$T = M / S_{NG}$ $X_{Dlg} = X_{BPA} \times S_B / S_{NG}$
负荷、电抗	填写在 B 卡和+卡上	有专门的负荷和电抗元件	—

1.2 基于 DGS 的数据导入和导出

DGS 是 DIgSILENT 的标准双向接口, 专门用于 DIgSILENT 与其他应用程序之间的大批量数据交换。运用 DGS 可实现以下功能:

(1) 从 DIgSILENT 导出电网模型、元件参数、网络图形数据或计算结果至外部数据源, 通过分析 DGS 导出文件, 还可以得到元件与元件之间的连接关系。

(2) 通过 DGS 接口将数据导入到 DIgSILENT

中, 该功能提供以下两种方法。

一种是将完整的电网数据(包括拓扑信息、类型信息、图形信息和网络元件数据)导入到 DIgSILENT 的新建项目中, 对应 DGS 的每一行数据在该项目中都会创建一个对象与之对应, 在这种情况下, DIgSILENT 可以自动生成完整的电网模型。但是由于 BPA 的数据不包含电网模型的图形信息, 因此只能放弃这种方法。

另一种是将 DGS 数据导入到一个已建立的

DIgSILENT 项目中,该项目已完成网络拓扑模型的搭建,即该项目已包含了电网模型的拓扑信息和图形信息,导入的数据通常是网络元件数据以及元件的类型信息。由于 DGS 接口是通过元件的 DIgSILENT 属性来识别元件的,因此,运用这种方法导入数据时,必须先给网络拓扑中各个元件的 Foreign Key 属性赋值,元件的 Foreign Key 属性类似于元件名称,是一个元件区别于其他元件的标识。本文利用第二种方法实现了电网数据的自动导入功能。

1.3 BPA 模型导入 DIgSILENT 的工作步骤

由于不能在两种软件间转换图形数据,因此必须先在 DIgSILENT 中创建电网元件和接线的图形对象,然后再将相同元件的模型数据由 BPA 导入 DIgSILENT 中。

BPA 模型导入 DIgSILENT 需要以下步骤:

(1) 检查 DIgSILENT 中创建的元件模型名称与 BPA 中的是否一致,给用户错误提示,直到所有错误都修改后才能继续下面步骤。可先从 DIgSILENT 导出包含电网模型的 DGS 文件,解析出元件模型名称和元件间连接关系;然后解析出 BPA 模型文件中的相关数据;最后进行对比分析。

(2) 检查 DIgSILENT 中创建的电网拓扑连接与 BPA 中的是否一致。也是通过解析对比 DGS 文件和 BPA 模型文件实现。

(3) 按照自定义的命名规则,给 DIgSILENT 中所有元件的 Foreign Key 属性定义并填入唯一的值。

(4) 将 BPA 数据文件转换为 DGS 文件。

(5) 在 DIgSILENT 中导入 DGS 文件,实现批量给元件模型赋值。

1.4 BPA 模型自动导入 DIgSILENT 的技术方案

根据 1.3 节所述,用计算机实现该工作流程可有以下两种技术方案。

方案一是所有自动流程全部采用 DIgSILENT 提供的编程语言 DPL 实现。

DPL 程序在处理以下操作中有较明显的优势:

(1) 实现 DIgSILENT 内部数据的导入和导出;(2) 访问或更改的 DIgSILENT 内部对象。

DPL 的缺点是:不能像 C 语言那样实现比较灵活和通用的功能,DPL 的开发环境不能像 C 语言那样提供调试功能。因此,DPL 适用于程序代码较短的功能,不适于开发大型或复杂的功能。

综上所述,用 DPL 可方便实现 1.3 节工作步骤

中的 DGS 文件导入和导出、批量给元件的 Foreign Key 属性赋值(实质也是导入 DGS 文件)等功能。但其中的解析和对比 DGS 和 BPA 数据文件、自动生成 Foreign Key 名称、BPA 转换为 DGS 文件等功能,如果采用 DPL 实现,不但程序复杂、难以维护,而且也很难实现通用。

方案二是将 DPL 实现困难的功能采用 VC6.0 实现,DPL 实现方便的功能还用 DPL,最后用 VC 实现整体功能流程的控制。该方案的技术难点是:

(1) 如何用 VC 主动调用 DPL 程序。由于 DPL 程序只能在 DIgSILENT 环境中使用,一般是需要人工操作触发 DPL 程序执行。本文采用 VC 中的窗口控制功能,模拟人工操作,自动触发 DPL。

(2) DPL 程序执行结束后,如何及时通知 VC 主程序,以便主程序执行下一步功能。本文采用动态数据交换(DDE)实现,DPL 支持 DDE 功能。

2 BPA 模型转 DIgSILENT 的工具软件结构和功能设计

为实现 BPA 模型自动导入 DIgSILENT,构建了三个功能模块,分别是母线名称校验模块、Foreign Key 生成和导入模块、数据的转换和导入模块,如图 1 所示。

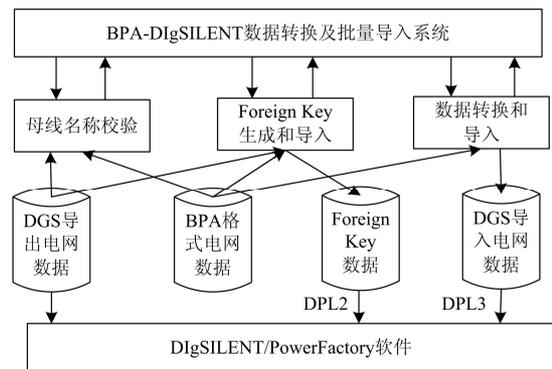


图 1 系统结构图

Fig. 1 System structure drawing

(1) 母线名称校验模块

该模块用于校验 BPA 和 DIgSILENT 两个软件中电网模型的母线名称是否一致。母线是电网的核心元件,其他元件通过母线连于电网。若两个软件中的母线名称能够一致,就可以以母线为核心搜索分析其他元件是否一一对应。保证元件能够一一对应是实现模型数据自动导入的关键。

通过执行 DPL1 可将 DIgSILENT 中的电网拓扑模型导出为 DGS 文件,将其与 BPA 文件对比分析,

可判断 DIgSILENT 电网模型中母线的名称是否填写正确。

(2) Foreign Key 生成和导入模块

该模块首先对 BPA 和 DIgSILENT 进行以母线为核心的搜索和对比分析, 检验网络拓扑是否正确, 然后定义了一套 Foreign Key 命名规则, 通过执行 DPL2 将生成的 Foreign Key 属性值赋给 DIgSILENT 中的每个元件及元件类型。

(3) 数据的转换和导入模块

该模块将 BPA 数据文件转换为 DGS 文件, 然后执行 DPL3 将 DGS 文件导入 DIgSILENT 中, 自动更新元件模型参数。

3 BPA 模型转 DIgSILENT 工具软件的开发与实现

该工具软件的程序流程如图 2 所示。该工具软件采用 VC6.0 作为开发平台, 主要的程序界面如图 3 所示。首先点击“选择路径”按钮选择待转换的 BPA 文件, 然后依次点击三个功能按钮完成模型的自动导入。输出窗口用于显示任务完成的进展和出错提示信息。

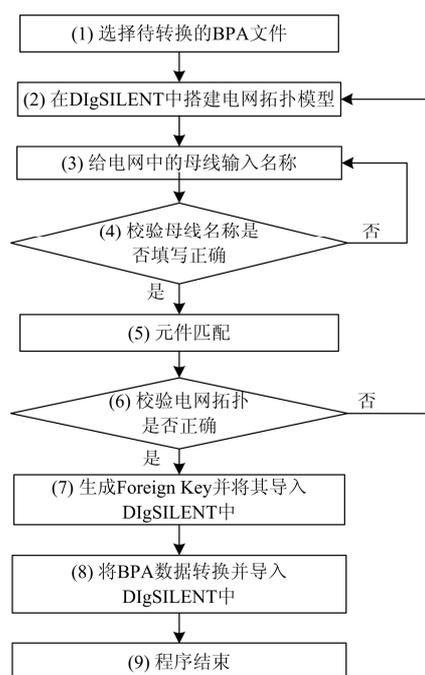


图 2 程序流程图

Fig. 2 Program flow chart

4 软件测试

为了验证 BPA 模型转 DIgSILENT 工具软件的

功能, 分别以 IEEE 的 3 机 9 节点系统和北京电网等值系统为例进行软件测试。测试步骤如下: (1) 根据待转换的 BPA 电网接线图和数据文件在 DIgSILENT 中搭建电网拓扑模型, 并按照 BPA 中的母线名给 DIgSILENT 中的母线命名。(2) 使用本文开发的工具软件进行数据的自动转换及导入。(3) 检查两个仿真软件中的模型数据是否一致, 对比分析潮流计算结果。

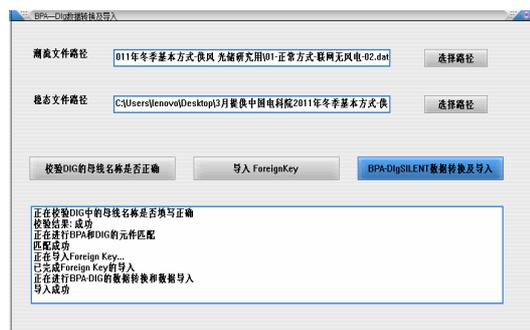


图 3 系统主界面

Fig. 3 System main interface

表 2 所示为 3 机 9 节点系统在 DIgSILENT 中直接建模和通过本文开发的工具软件由 BPA 模型自动转换和导入 DIgSILENT 两种数据导入方式下 3 机 9 节点系统在 DIgSILENT 仿真软件中的潮流计算结果。由表 2 可见, 两种数据导入方式下的潮流计算结果基本一致, 微小的差异主要由于模型转化过程中数据保留的有效位数不同所致。

表 3 为北京电网等值系统在 BPA 和采用工具软件转换到 DIgSILENT 中的潮流计算结果。

表 2 3 机 9 节点系统潮流计算结果比较

Table 2 IEEE9 power flow calculation results comparison

节点名	电压等级/kV	直接建模		自动导入	
		幅值/p.u.	相角/(°)	幅值/p.u.	相角/(°)
母线 1	230	1.044	-2.56	1.045	-2.57
母线 2	230	1.049	-0.03	1.049	-0.02
母线 3	230	1.057	2.59	1.057	2.59
母线 A	230	1.012	-5.41	1.013	-5.42
母线 B	230	1.026	-4.66	1.026	-4.64
母线 C	230	1.037	-2.37	1.036	-2.37
发电机 1	16.5	1.01	0	1.01	0
发电机 2	18	1.01	4.02	1.01	4.02
发电机 3	13.8	1.01	1.56	1.01	1.57

北京电网等值系统共有 201 个节点, 129 条线路, 33 台发电机, 29 台三绕组变压器, 111 台双绕

组变压器及 26 台电抗器,有功负荷 10 944.06 MW,无功负荷 2 408.37 Mvar。利用开发的工具软件进行模型转换成功后,分析两个仿真软件的潮流数据,节点电压幅值最大相差 0.02,相角最大相差 0.08。表 3 列出节点电压幅值相差最大的五个节点。误差在允许的范围之内,验证该工具软件达到了设计的要求。

表 3 北京电网潮流计算结果比较
Table 3 Power flow calculation results comparison of

Beijing grid					
节点名	电压等级/kV	BPA		DIgSILENT	
		幅值/ p.u.	相角/ (°)	幅值/ p.u.	相角/ (°)
京门头 51	525	1.014	-23.74	1.016	-23.69
京昌平 51	525	0.996	-13.34	0.994	-13.35
京朝新 52	525	0.995	-2.23	0.993	-2.28
京朝新 21	230	1.045	-10.41	1.057	-10.39
京安定 21	230	1.036	-2.09	1.034	-2.06

5 结语

本文用 VC6 和 DPL 开发的工具软件实现了 BPA 电网模型到 DIgSILENT 的自动转换及自动导入。用 3 机 9 节点算例和北京电网等值系统进行功能测试,表明该工具软件极大地提高了使用 DIgSILENT 进行大电网建模的工作效率,促进了 DIgSILENT 在工程实用化方面的发展。

本文研究的 VC6 和 DPL 相结合的技术方案,还可用于实现诸如电网调度运行决策等高级应用功能。VC 作为主程序,根据决策过程的需要,主动触发 DIgSILENT 进行电网计算、输入输出需要的数据。此时,DIgSILENT 作为后台电网计算模块,能非常方便地与各类电网高级应用集成在一起。

参考文献

- [1] 苏黎, 吴广宁, 蒋伟, 等. 基于 BPA 的交直流系统稳定性仿真研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(2): 32-36.
SU Li, WU Guang-ning, JIANG Wei, et al. Simulation research on stability of AC/DC power system based on BPA[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(2): 32-36.
- [2] 张恒旭, 李长刚, 刘玉田, 等. 电力系统动态频率分析与应用研究综述[J]. 电工技术学报, 2010, 25(11): 169-176.
ZHANG Heng-xu, LI Chang-gang, LIU Yu-tian, et al. Reviews on power system dynamic frequency analysis and its application[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(11): 169-176.
- [3] 吕涛, 韩祯祥. 电力系统仿真软件 DIgSILENT 介绍[J]. 华东电力, 2004, 32(12): 37-41.
Lü Tao, HAN Zhen-xiang. Introduction of power system simulation software DIgSILENT[J]. East China Electric Power, 2004, 32(12): 37-41.
- [4] 李东东, 王凯凯, 叶辰升. 采用双馈机组的风电场无功功率控制研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(13): 37-42.
LI Dong-dong, WANG Kai-kai, YE Chen-sheng. Reactive power control research of wind farm adopting doubly-fed induction generators[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(13): 37-42.
- [5] 付超, 朱凌, 王慧, 等. 风电场并网在线预警系统研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(17): 64-69.
FU Chao, ZHU Ling, WANG Hui, et al. Study on the online early-warning system of wind farm integration[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(17): 64-69.
- [6] 苑国锋, 李永东, 柴建云, 等. 1.5 MW 变速恒频双馈风力发电机励磁控制系统试验研究[J]. 电工技术学报, 2009, 24(2): 42-47.
YUAN Guo-feng, LI Yong-dong, CHAI Jian-yun, et al. Experimental investigation on excitation control system of 1.5 MW variable speed constant frequency DFIG wind generator system[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(2): 42-47.
- [7] 刘其辉, 贺益康, 赵仁德. 交流励磁变速恒频风力发电系统的运行与控制[J]. 电工技术学报, 2008, 23(1): 129-136.
LIU Qi-hui, HE Yi-kang, ZHAO Ren-de. Operation and control of AC-excited variable-speed constant frequency wind power generation system[J]. Transactions of China

- Electrotechnical Society, 2008, 23(1): 129-136.
- [8] 吕涛. 电力系统仿真软件的运用与比较[D]. 杭州: 浙江大学, 2005.
- Lü Tao. Use and compare of power system simulation software[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2005.
- [9] 马龙义, 武志刚, 侯冠基, 等. BPA 与 PSS/E 的暂稳态模型比较和数据转换[J]. 电力系统及其自动化学报, 2010, 22(5): 128-134.
- MA Long-yi, WU Zhi-gang, HOU Guan-ji, et al. Comparison and data conversion of the steady and dynamic model for power flow and transient stability calculation in BPA and PSS/E[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2010, 22(5): 128-134.
- [10] 程华, 徐政. PSASP 与 BPA 稳定计算的模型与结果比较[J]. 电网技术, 2004, 28(5): 1-4.
- CHENG Hua, XU Zheng. Comparison of mathematical models for transient stability calculation in PSASP and PSS/E and corresponding calculation results[J]. Power System Technology, 2004, 28(5): 1-4.
- [11] 马龙义. 交直流电力系统 BPA 与 PSS/E 潮流数据转换分析[J]. 华中电力, 2012, 25(1): 82-86.
- MA Long-yi. Data conversion analysis of power flow data between BPA and PSS/E in AC/DC system[J]. Central China Electric Power, 2012, 25(1): 82-86.
- [12] UBISSE A V, FOLLY K A, AWODELE K O, et al. Comparison of Matlab PST, PSAT and DIgSILENT for transient stability studies on parallel HVAC HVDC transmission lines[C] // Universities Power Engineering Conference (UPEC), 2010 45th International.
- [13] 孙峰. 电力系统仿真软件比较研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2006.
- SUN Feng. The comparative study on the power-system simulation software[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2006.
- [14] ORREGO N J, BEDOYA V H. Loading procedure to transfer an electrical network data base from DIgSILENT PowerFactory to CAPE ANDESCON[C] // 2010 IEEE.

收稿日期: 2013-11-07; 修回日期: 2013-12-20

作者简介:

刘庆(1988-), 女, 硕士研究生, 从事智能技术及其在电力系统中的应用方面的研究; E-mail: liuqingty19880903@163.com

张东英(1971-), 女, 教授, 硕士生导师, 从事电力系统分析、运行与优化, 电力系统智能技术方面的工作。