

PSCAD/EMTDC 与 Matlab 接口研究

杨健维, 麦瑞坤, 何正友

(西南交通大学 电气工程学院, 四川 成都 610031)

摘要: 对电磁暂态分析程序 PSCAD/EMTDC 与数学模型软件包 Matlab 之间的接口进行了研究。充分利用了 PSCAD/EMTDC 与 Matlab 2 款软件的优点, 用 PSCAD 建立接口模型, 启动 Matlab 数据引擎调用 M 文件, 实现接口模型的参数设置。运用此接口, 程序只需运行一次即可获取多组不同工况下的数据。同时分析一个输电线路实例, 将接口程序产生的数据进行分段处理, 将它作为 BP 神经网络的输入, 进而区分开关操作和单相接地故障。仿真结果表明: 接口软件的运用使得大量数据的获取变得更加容易。

关键词: PSCAD/EMTDC; Matlab; BP 神经网络

中图分类号: TM 743

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2007)11-0083-04

仿真是电力系统研究人员进行电力暂态分析的先进手段之一^[1-2]。近年来, 出现了一些应用 Matlab 与电磁暂态软件联合编程的文献^[3-4]。这里介绍一款综合利用 EMTDC^[5-7]与 Matlab^[1,8-10]各自优点来产生并分析数据的接口软件。它由 3 部分组成: 模型建立模块、参数设置模块与算法分析模块。

1 软件分析

整个暂态仿真分析接口软件的运行流程如图 1 所示。此软件的核心思想是利用 EMTDC 与 Matlab 之间相互传递信息来实现线路参数的控制以及故障数据的分析研究。Matlab 由于有强大的数据处理能力而被广泛地应用到电力系统的各种算法研究方面; PSCAD 是世界知名的 EMTDC 引擎的用户界面, 是一种图形输入程序。用户可以在完全集成的图形环境中建立模型、运行仿真、得到仿真数据。通过接口软件可以同时获得 PSCAD 和 Matlab 这 2 款软件的优点。

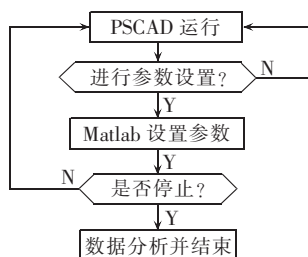


图 1 接口软件的运行流程图

Fig.1 Operational flowchart of interface software

接口软件的功能是协调 Matlab 与 PSCAD 的协同运行及完成它们之间数据、控制信息的交换。将 PSCAD 中的 m 个数据通过外部接口传送到

Matlab, Matlab 充分发挥它强大的数据处理功能, 经过运算, 将获得的 n 个运算结果传送回 PSCAD 中, PSCAD 再次调用 Matlab。如此反复, 就可以根据 PSCAD 中的电力系统模型和 Matlab 中的控制条件、分析算法得到不同工况的系统数据及分析结果。

PSCAD/EMTDC 内有一个 Fortran 文件 DSDYN, 通过它可以调用外部 Fortran 子程序, 该 Fortran 子程序可以启动 Matlab 数据引擎, 同时, 含有 Matlab 命令的 M 文件也将传送到 Matlab 数据引擎中, 这样, PSCAD/EMTDC 与 Matlab 就紧密地结合起来, 用户可以根据需要编写 M 文件, 实现所需的仿真。接口的内部结构^[11]如图 2 所示。

图 3 为接口模块示意图, 此接口有 2 个输入变量时间 T 、故障点电压 U_{fault} 和 4 个输出变量 R_c (过渡电阻)、EN (故障使能)、TYPE (故障类型) 和 Line (故障位置)。接口外观图中的引脚名和属性可以根据实际需要任意修改。

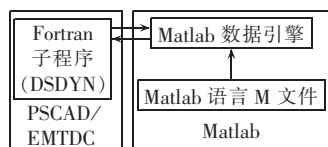


图 2 接口的内部结构
Fig.2 Internal structure of interface software

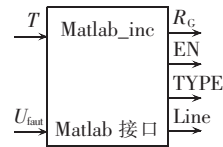


图 3 接口模块示意图
Fig.3 Map of interface module

下面是软件运行流程。

a. 用户在 PSCAD 中建立系统模型并在元件上设定各元件的参数变量, 如故障位置、过渡电阻及负载等; 相应地, 在接口软件中, 设置需要仿真的各元件参数及输出控制参数的条件。

b. 运行 PSCAD。PSCAD 调用接口程序, 并将系统运行时间和故障点电压作为参数输入到 Matlab 子程序中。

c. Matlab 接到输入参数, 根据判断条件计算出

输出参数,如 EN、TYPE、Line 等。

d. PSCAD 根据 Matlab 送出的数据进行元件参数设置。

e. 判断是否结束,是则运行分析算法子程序并停止仿真;否则跳转到步骤 b。

下面以产生故障初始相角为 30° 的单相接地故障为例说明控制参数的产生。图 4 为 A 相电压的波形图。其中 $t_1 \sim t_4$ 为区间 1, $t_3 \sim t_4$ 为区间 2, t_2 为电压过零点。图 5 是在故障相电压相角为 30° 时,产生故障控制参数流程图。其中, T 为 PSCAD 输入的系统运行时间, U_{fault} 为 A 相电压值。它的工作原理是在区间 1 内找到第 1 个过零点,并以这个过零点 t_2 为始点,在时间 $t_3 = t_2 + 30f/360$ 后 (f 为工频)、 t_4 前送出控制参数 $\text{EN}=1$,而其它情况下送出控制参数为 $\text{EN}=0$ 。等待系统进入稳态后才进行下一次故障产生操作。

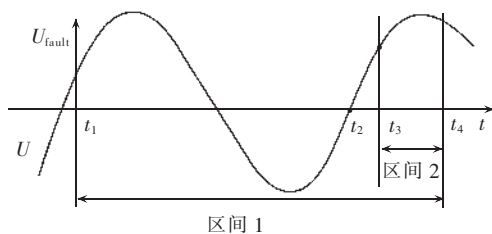


图 4 A 相电压的波形图

Fig.4 Voltage waveform of phase A

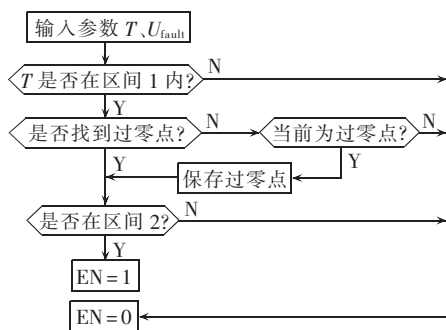


图 5 控制参数产生流程图

Fig.5 Flowchart of control parameter generation

同理,过渡电阻、线路及故障类型的控制参数也可以用类似的方法产生。图 6 为 EN、TYPE 及 R_c 控制参数规则变化的时序图,其中故障类型由类型 0

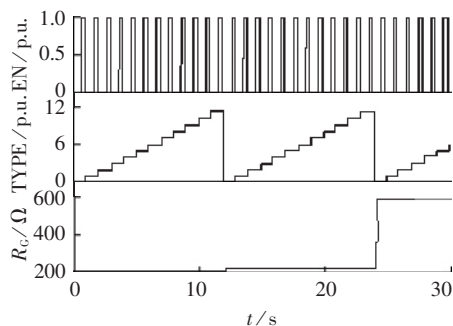


图 6 控制参数规则变化时序图

Fig.6 Timing sequence of regular control parameter change

到类型 11 变化 12 次,过渡电阻才变化 1 次。

由图可知,这样就可以通过 1 次仿真而产生不同工况的故障数据。当然,控制参数也可按某种分布(如正态分布)而随机产生。

2 仿真实例

下面通过一个 500 kV 输电线路模型说明接口的具体功能。

在此,接口有 2 个输入变量 T 和 U_{fault} 及 3 个输出为 EN、TYPE 和 R_c 。当 $\text{EN}=1$ 时,输电线路发生故障, $\text{EN}=0$ 时,输电线路正常工作; TYPE 为控制线路发生故障的类型,设置为 0~11 共 12 种故障类型,分别代表正常工况和不同的接地短路类型。

通过定义 M 文件,利用接口进行仿真,设置故障间隔时间为 0.3 s,持续时间为 0.03 s,运行时间为 1.5 s 得到的三相电压波形如图 7 所示。输电线路依次发生 A 相、B 相、C 相接地故障。

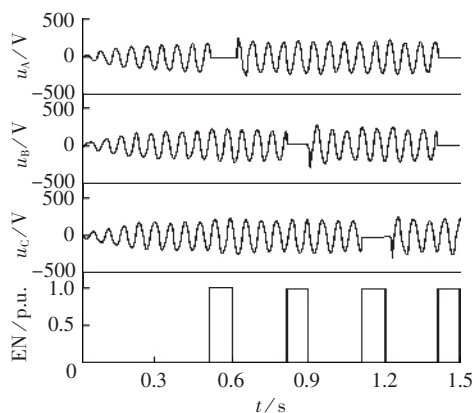


图 7 $t=1.5$ s 时的三相电压与 EN 对应关系的波形图

Fig.7 Waveforms of three phase voltages and EN when $t=1.5$ s

由图 7 可以看出,当 $\text{EN}=1$ 时,输电线路发生故障,而发生故障的类型由接口的输出引脚 TYPE 控制,如当 $\text{EN}=1$, $\text{TYPE}=1$ 时,发生 A 相接地短路故障。

利用所开发的 PSCAD/EMTDC 与 Matlab 之间的接口软件,通过参数设置,运行一次,就可以得到大量不同工况下的系统数据,将其分段读出,可以独立地应用于其它各种电力系统分析的算法中,使需要大量系统数据的仿真算法应用时更加方便。接口与其它算法综合运用的示意图如图 8 所示。

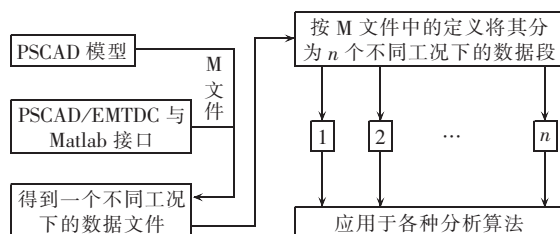


图 8 接口运用示意图

Fig.8 Application of interface software

3 应用

图 9 所示为一简化的 500 kV 输电线路仿真模

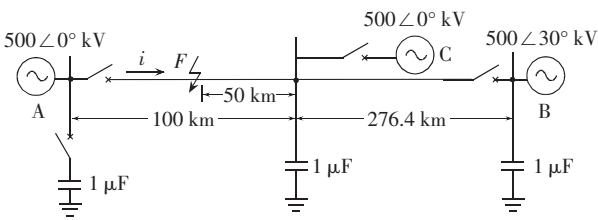


图 9 500 kV 输电线路模型示意图
Fig.9 Model of 500 kV transmission line

型,本文模型的采样频率为 40 kHz,线路模型采用频率相关模型。利用文献[12]所述的小波能量熵测度来识别开关操作与单相接地故障。

识别各暂态信号,采用小波能量熵提取暂态信号特征,然后将其作为神经网络的输入来进行识别。识别过程如图10所示。

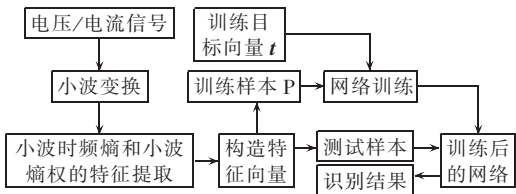


图 10 暂态信号识别过程
Fig.10 Process of transient signal recognition

神经网络^[13-15]的训练需要大量不同工况

下的样本,利用接口软件所获得的数据经过计算小波能量熵后,将其随机分为 2 个部分,一部分为训练样本,另一部分为测试样本,这样极大减轻了工作量。训练样本与训练的目标向量作为神经网络的输入数据进行网络训练,测试样本输入训练后的网络,将输出与期望输出进行比较,进而得到暂态识别的结果。

利用接口软件随机产生不同工况下的单相接地短路和开关操作数据共 1 000 组,采用 3 层 BP 神经网络对 2 种暂态信号进行分类,取用其中的 200 组进行网络训练,其余 800 组用来测试。

网络设计步骤如下:

- a. 构造特征向量,直接选取各暂态信号在 1~16 尺度上的小波能量熵作为特征向量;
- b. 为了便于分析,归一化处理小波能量熵;
- c. 设计输入层神经元共 16 个、隐含层神经元 33 个、输出层神经元 1 个;
- d. 设计网络的训练函数为 trainlm,训练误差 $e=0.001$ 。

通过训练和测试,利用接口与 3 层 BP 神经网络综合应用,成功地实现了暂态信号的分类,其中单相短路故障的误判率为 5%,开关操作的误判率为 0。表 1 给出了部分数据及其识别结果。

表 1 小波能量熵神经网络识别结果举例
Tab.1 An example of wavelet energy entropy NN detection

类别	输入数据(归一化后)								期望输出	实际输出	测试结果
开关操作	0.312 1	0.186 6	0.312 3	0.270 9	0.219 3	0.224 1	0.230 8	0.236 4	1	0.988 1	正确
	0.241 2	0.245 8	0.249 9	0.253 7	0.257 2	0.260 4	0.263 4	0.266 3			
	0.252 7	0.254 2	0.252 2	0.251 8	0.251 9	0.251 7	0.251 4	0.250 8	1	0.962 2	正确
	0.246 5	0.246 9	0.247 1	0.248 0	0.248 8	0.250 1	0.24 88	0.247 4			
单相短路	0.325 5	0.141 0	0.195 6	0.187 5	0.206 4	0.221 8	0.234 3	0.244 1	0	0.017 8	正确
	0.252 5	0.260 1	0.266 2	0.271 5	0.276 2	0.280 4	0.284 3	0.287 8			
	0.387 7	0.158 4	0.272 0	0.186 5	0.202 3	0.215 1	0.224 4	0.220 4	0	0.536 4	错误
	0.226 9	0.232 2	0.242 8	0.253 6	0.262 6	0.271 3	0.278 2	0.284 8			

注:在误差允许情况下,认为大于 0.5 为 1,小于 0.5 为 0。

4 接口软件运用的优点

通过对以上 2 个仿真实例的分析,对所研究的接口软件的运用有了更深入的了解。应用传统的仿真软件获取数据,对于每一种工况的实验都需要对模型的参数以及仿真的条件进行重新设置,这样,做一个大数据量的仿真实验,大部分的时间都将消耗在重复的点击工作和等待上,工作效率不高;而这里所研究的接口软件与传统的仿真软件相比,最大的优点就是可以一次获取大量不同工况下的数据,对不同的工况进行仿真实验,只需要编写相应的 M 文件,数据将实现自动获取,极大解放了人的劳动。获取文中用于 BP 神经网络算法的 1 000 组实验数据,使用所研究的接口软件将带来很大的方便,下面以发生单相短路故障时短路电阻分别为 0、100、200、300、400、500、600、700、800、900 Ω 的 10 种工况为例来说明应用本文接口软件的优点。

图 11 是利用传统的仿真软件获取一种工况下

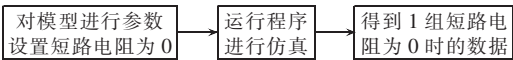


图 11 传统软件获取一组数据的示意图
Fig.11 Data group access of traditional software

1 组数据的示意图,此时短路电阻为 0。如果要完成上述 10 种不同工况的仿真,就需要等待短路电阻为 0 的仿真数据获取以后,修改模型参数,再进行实验,即要顺次进行图 11 的流程 10 次,才能达到最终的目的。如果要获取 1 000 组数据,那么就要顺次重复图 11 的流程 1 000 次,工作量之大,耗费时间之长可想而知。传统仿真软件的这种缺点也迫切的需要研究一种能实现数据自动获取的新型软件。

图 12 是这里所研究的接口软件获取数据的示意图。可知,对于单相短路故障时电阻由 0~900 Ω 变化的仿真,只要编写相应的 M 文件,使电阻按照需要变化,就可以实现数据的自动获取,在 M 文件中,还可以设置电阻为 0 不变时,在不同的时刻发生故障,这样,通过设置,就可以实现仿真一次获取一

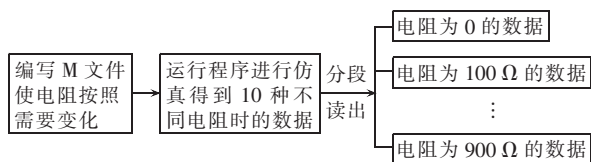


图 12 接口软件获取数据示意图

Fig.12 Data group access of interface software

个系统数据文件,它包含了所需要的不同工况下的所有数据。接口软件由于要调用 Matlab 的 M 文件而占用了更多的 CPU 时间,但由于仿真的过程中不需要对模型参数作任何修改,编写适合的 M 文件后,程序自动运行,数据文件自动存储,研究人员可利用程序运行的时间去做其它研究工作,这样,就不会像应用传统的仿真软件那样,把时间浪费在点击和等待上,大幅提高了研究人员的工作效率。

5 结论

对学习与研究传统的继电保护算法以及新型的智能算法而言,能方便、快捷地产生多种工况数据的仿真软件是至关重要的。这里所研究的接口软件能减少仿真时间,提高仿真效率,有助于研究者更好地研究电力系统的规律。

这里所述的接口软件能对不同工况的故障进行仿真与分析。它能一次产生数以万计的不同工况的数据。此软件具有较好的解耦性;对于不同的电力模型以及不同的分析算法,都不需要进行大的改动,甚至不必修改。

小波能量熵与 BP 神经网络在暂态识别上确实有较好的性能,但也存在误判的情况。此算法仍然需要研究者的进一步分析研究。

参考文献:

- [1] 吴天明,谢小竹,彭彬,等. Matlab 电力系统设计与仿真[M]. 北京:国防工业出版社,2004.
- [2] 李广凯,李庚银. 电力系统仿真软件综述[J]. 电气电子教学学报,2005,27(3):61-65.
LI Guang-kai,LI Geng-yin. The summary of power system simulation software[J]. Journal of Electrical & Electronic Engineering Education,2005,27(3):61-65.
- [3] KEZUNOVIC M,CHEM Q. Novel approach for interactive protection system simulation[J]. IEEE Trans on Power Delivery,1997,12(2):668-674.
- [4] ZHANG Nan,KEZUNOVIC M. Implementing an advanced simulation tool for comprehensive fault analysis[J]. IEEE on Transmission and Distribution Conference and Exhibition,2005,15(18):1-6.
- [5] 林良真,叶林. 电磁暂态分析软件包 PSCAD/EMTDC[J]. 电网技术,2000,24(1):65-66.
LIN Liang-zhen,YE Lin. An introduction to PSCAD/EMTDC[J]. Power System Technology,2000,24(1):65-66.
- [6] 肖昇,尹项根,张哲,等. PSCAD/EMTDC 程序与继电保护仿真模型接口技术及应用[J]. 电力自动化设备,2006,26(11):67-70.
XIAO Yi,YIN Xiang-gen,ZHANG Zhe,et al. Interface technique between PSCAD/EMTDC and relay protection simulation model

and its application[J]. Electric Power Automation Equipment,2006,26(11):67-70.

- [7] 朱瑜,梁旭,闵勇. 基于 PSCAD/EMTDC 的高压直流输电线路保护仿真研究[J]. 现代电力,2006,23(2):35-38.
ZHU Yu,LIANG Xu,MIN Yong. Simulation of line protection of HVDC transmission based on PSCAD/EMTDC[J]. Modern Electric Power,2006,23(2):35-38.
- [8] 张志涌. 精通 Matlab6.5 版[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2003.
- [9] 韩笑,徐曦,陈卓平. 基于 Matlab 与 VB 数据交换的继电保护仿真[J]. 电力自动化设备,2006,26(5):92-95.
HAN Xiao,XU Xi,CHEN Zhuo-ping. Protection simulation based on data exchange between Matlab and VB[J]. Electric Power Automation Equipment,2006,26(5):92-95.
- [10] 许允之,刘昊,冯宇,等. Matlab 在电力系统仿真实验中的应用[J]. 实验技术与管理,2007,24(1):103-105,125.
XU Yun-zhi,LIU Hao,FENG Yu,et al. The application of the Matlab in the power system simulation experiments[J]. Experimental Technology and Management,2007,24(1):103-105,125.
- [11] 钟波,赵华军. PSCAD/EMTDC 程序与 Matlab 语言接口的研究[J]. 广东电力,2005,18(8):1-3.
ZHONG Bo,ZHAO Hua-jun. Study on PSCAD/EMTDC - Matlab interface[J]. Guangdong Electric Power,2005,18(8):1-3.
- [12] 何正友,陈小勤. 基于多尺度能量统计和小波能量熵测度的电力暂态信号识别方法[J]. 中国电机工程学报,2006,26(10):33-39.
HE Zheng-you,CHEN Xiao-qin. A study of electric power system transient signals identification method based on multi-scales energy statistic and wavelet energy entropy[J]. Proceedings of the CSEE,2006,26(10):33-39.
- [13] 李洪,王晟. 基于小波包和神经网络的电力输电线故障诊断研究[J]. 数据采集与处理,2004(4):1-6.
LI Hong,WANG Sheng. Fault diagnosis in power transmission line based on wavelet packets and neural network approach[J]. Journal of Data Acquisition & Processing,2004(4):1-6.
- [14] 杜选,高明峰. 人工神经网络在数字识别中的应用[J]. 计算机系统应用,2007(2):21-27.
DU Xuan,GAO Ming-feng. The application of identifying numbers on artificial neural network[J]. Computer Systems Applications,2007(2):21-27.
- [15] 张亚军,刘志刚,张大波. 一种基于多神经网络的组合负荷预测模型[J]. 电网技术,2006,30(21):21-25.
ZHANG Ya-jun,LIU Zhi-gang,ZHANG Da-bo. A combination load forecasting model based on multi-neural networks[J]. Power System Technology,2006,30(21):21-25.

(责任编辑:李玲)

作者简介:

杨健维(1983-),女,辽宁凌源人,硕士研究生,主要研究方向为电力系统继电保护(E-mail: yangjianwei0910@163.com);

袁瑞坤(1980-),男,广东东莞人,博士研究生,主要研究领域为电力系统故障诊断中信号处理和信息理论的应用、新型线路保护;

何正友(1970-),男,四川自贡人,教授,博士研究生导师,主要从事信号处理和信息理论在电力系统故障诊断中的应用、新型继电保护原理、配电网自动化等方向的研究工作。

Interface between PSCAD/EMTDC and Matlab

YANG Jian-wei, MAI Rui-kun, HE Zheng-you

(School of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: The interface between PSCAD/EMTDC and Matlab is researched. To make the best use of the electromagnetic transient analysis program PSCAD/EMTDC and the math model software package Matlab, the interface model is built using PSCAD and its parameters are set by calling the M file using the data engine of Matlab. Massive data under different conditions could be accessed via this interface once it runs. An application example of power transmission line is analyzed. Data got via the interface are processed in segments and sent to BP neural network to detect single - phase grounding fault from switch operations. Simulation results point out that this interface software facilitates the acquisition of massive data.

The project is supported by National Natural Science Foundation of China (50407009) and Distinguished Scholars Fund of Sichuan Province(06ZQ026-012).

Key words: PSCAD/EMTDC; Matlab; BP neural network