

PSCAD/EMTDC 程序与继电保护仿真 模型接口技术及应用

肖 异,尹项根,张 哲,陈德树

(华中科技大学 电气与电子工程学院,湖北 武汉 430074)

摘要: 介绍了 PSCAD/EMTDC 程序与 C 语言接口技术的原理,并以 PSCAD/EMTDC V3.0.8 仿真平台为例,用 C 语言建立了完整的数字化继电保护装置模型,包含了保护装置及重合闸的主要配置与主要环节,运用 PSCAD/EMTDC 程序与 C 语言的接口技术建立了串补电网故障暂态行为与继电保护装置、重合闸装置动作行为的闭环动态仿真系统,用于可控串补电网继电保护的暂态动作行为研究。仿真结果表明,通过 PSCAD/EMTDC 程序与 C 语言接口能正确地完成继电保护装置模型与电网一次模型之间的动态闭环控制,实现保护动作行为与仿真程序的信息交互。

关键词: 电力系统仿真; PSCAD/EMTDC; C 语言; 接口

中图分类号: TM 743

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2006)11-0067-04

0 引言

传统的继电保护仿真方法多采用离线分析法,故障暂态仿真的计算结果以文件或数据列表的形式存放供用户作保护分析,保护的動作行为不返回到仿真模型中。由于仿真模型与保护的動作行为相分离,无法全面反映保护动作后对电力系统运行的影响,也难以对复杂运行工况下保护装置的動作行为进行准确的评估。因此,如何实现保护动作行为与仿真模型的信息交互,是进行保护动作特性分析以及保护新原理研究中需要解决的关键技术问题。

EMTDC(Electro-Magnetic Transient in DC System)是目前世界上被广泛使用的一种电力系统分析软件^[1],EMTDC 已发展成为既可以研究交直流电力系统问题,又能够完成电力电子仿真及其非线性控制的多功能工具^[2-3]。特别是 PSCAD 图形界面(GUI)的开发成功,使得用户能更方便地使用 EMTDC 进行电力系统仿真计算^[4-5]。PSCAD/EMTDC 有着较为完善的元件模型库,为了满足不同的应用要求,EMTDC 为用户提供了自定义元件模型功能^[6],从而增强了仿真的灵活性。由于 EMTDC 自带保护模块功能较为简单,保护算法单一,且难以实现保护内部复杂的逻辑与时序关系,因此,在利用 PSCAD/EMTDC 平台进行继电保护仿真时,采用软件编程形式构造保护模块较为实用。

本文以一电力系统实际网络模型为原型,利用自定义模块功能构造了数字化继电保护装置模型,以对保护装置动作行为的影响进行评估。文中重点介

绍了数字化继电保护装置模型与 PSCAD/EMTDC 的接口实现方法。

1 PSCAD/EMTDC 与 C 语言接口的原理

PSCAD/EMTDC 允许用户自定义仿真模块,并提供了 Fortran、C 和 Matlab 3 种语言给用户进行自定义模块功能程序的编程^[7]。PSCAD/EMTDC 是在 Fortran 语言上实现的,因而 Fortran 的内嵌性能好,用 Fortran 语言编写源代码运行效率高,但 Fortran 语言的格式限制较多,用户编写大型程序时往往会感觉不方便,且程序出错后所给出的错误信息不明确,使得调试难度增加。Matlab 是集数值计算、符号运算及图形处理等强大功能于一体的科学计算语言,但相对于直接用 Fortran 或者 C 语言编写源代码而言,调用 Matlab 运行的效率则很低^[8]。C 语言具有功能丰富、表达能力强、目标程序效率高、可移植性好等优点,且在微机继电保护中得到了广泛应用,因此选择 C 语言作为 PSCAD/EMTDC 用户自定义模块——数字化继电保护模型的开发语言是适宜的。但 PSCAD/EMTDC 目前不直接支持 C 语言,用户编制好的 C 语言源代码必须经过一系列人为的编译连接工序后才能为 EMTDC 使用。

1.1 Fortran 与 C 语言中数据类型的对比

目前,PSCAD/EMTDC 提供了 4 类公用数组作为与用户程序的接口部分,分别是 STORI、STORF、STORL 和 STORC,它们分别用于与用户自定义程序之间传递整型数、浮点数、逻辑量和复数型数据^[9],如表 1 所示。

从表 1 的对应关系看出,PSCAD/EMTDC 程序与 C 语言进行接口时,整型变量、实型变量能相互对应;PSCAD/EMTDC 中的复型变量在 C 语言中无直

表 1 数据类型对应表
Tab.1 Corresponding data types

PSCAD/EMTDC	Fortran	C
STORI	INTEGER	int
STORF	REAL	float
—	DOUBLE PRECISION	double
STORC	COMPLEX	—
STORL	LOGICAL	int
—	CHARACTER	char

注：“—”表示无对应项。

接对应数据类型,因此遇到复数运算问题时,需拆分成实部、虚部 2 个实型变量进行;对于 PSCAD/EMTDC 中的逻辑型变量分别用 C 语言中整型数据 1 和 0 对应。

1.2 头文件的功能与定义

在编写 C 语言程序时,为了能和 PSCAD/EMTDC 程序顺利接口,程序设计者应根据程序需要包含进以下头文件:nd.h、emstor.h、s0.h、s1.h、s2.h、branches.h、emtconst.h、fnames.h,头文件具体作用可参考 PSCAD/EMTDC 的 Help。

1.3 PSCAD/EMTDC-C 接口的实现方法

PSCAD/EMTDC 目前不直接支持 C 语言,用户必须在编制好 C 源代码后利用 EMTDC 提供的工具软件 gcc 将源代码(*.c)编译成 obj 文件(*.o),再与 EMTDC 连接才能使用(V3 和 V4 的连接方法略有不同)。

另外,PSCAD/EMTDC 与用户自定义模块的数据交换也属于接口问题。因为 PSCAD/EMTDC 作为商业软件已进行了完全的封装,用户无法自行修改其内核程序,只能利用其提供的外部程序接口来实现上述目的。用户自定义程序从 PSCAD/EMTDC 中获取数据以及用户自定义程序中的数据传送到 PSCAD/EMTDC 中,都必须借助 PSCAD/EMTDC 提供的 4 类公用数组,其接口模式如图 1 所示。

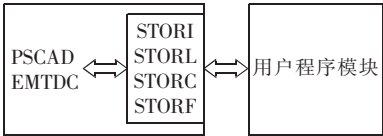


图 1 PSCAD/EMTDC 与自定义模块数据交换模式示意图

Fig.1 Data exchange between PSCAD/EMTDC and user program

依照此模式,就可以实现在用户自定义程序中读取 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 的目的。

2 仿真实例

电力系统仿真模型采用图 2 所示的南方电网平果 500 kV 串补相关电网模型^[10]。仿真中继电保护仿真模块以国电南自 PSL-600 系列继电保护装置为原型,并按微机保护的软件流程建立其数字

化仿真模型,以更准确地反映保护装置的实际动作行为。保护功能涵盖了电流差动保护、阻抗方向保护、零序方向保护、距离保护、零序电流保护等。

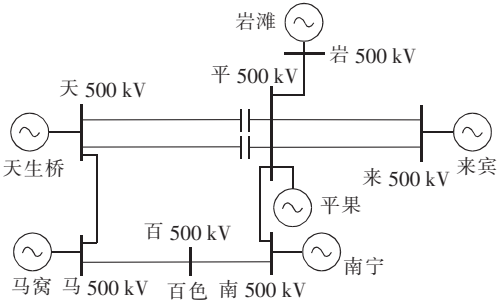


图 2 500 kV 串补电网仿真模型

Fig.2 Simulation model of 500 kV series compensated grid

保护装置仿真模块用 C 语言编程实现,并作为 PSCAD/EMTDC 的用户自定义模块(元件),嵌入图 2 所示的电网模型中。

2.1 PSCAD/EMTDC 与保护仿真模型的互联实现方法

首先,在所建工程 TCSC(Tian-Ping)的 Main 页面(自定义元件所在的页面)的右键选择 Special=>Create New Component...,通过元件向导可完成自定义模块的基本设计。

通过元件向导完成了自定义模块的基本设计以后,在工程的 Main 页面中可见自定义模块 PSLRELAY1 的外形图。若还需调整模块外观以及输入、输出参数的类型,可在元件上点击右键选择 Special=>Edit Definition...进行修改。在本例中还通过自定义模块的 Parameters 的右键 New=>Category 构建了人机界面,用于保护装置的压板设置,控制保护功能的投退与保护定值的设置。

实现 PSCAD/EMTDC 对 C 语言程序调用(即接口)的关键在于在自定义模块的 SectionNode=>EMTDC=>Fortran 写入的 Fortran 源代码中。

在本实例中,电力系统仿真模型与自定义继电保护模块之间的交换数据主要包含 3 部分:

- a. 电力系统模型中的电流、电压值;
- b. 电力系统仿真模型中通过人机界面输入的保护压板设置与保护定值;
- c. 继电保护仿真模块判断得出的保护跳闸信号量。

对于 a 将电力系统模型中的电压、电流变量名前加“\$”作为相应的被调用 C 语言函数的实参;b 中的保护压板设置可通过 STORI 数组进行传递,保护定值则通过 STORF 数组传递;c 通过 STORF 数组传递。Fortran 源代码包含以下几部分内容:定义需要传递的数据的数量(即公共数组的大小)、数组元素的赋值(即 PSCAD 中数据向 C 程序传递)、调用 C 语言函数、数组元素的赋值(C 语言中的返回值向 PSCAD 传递),图 3 所示为该实例中的 Fortran 源代码示例。在上述 2 个数组元素赋值过程中采用的是计算机堆栈的原理进行的。

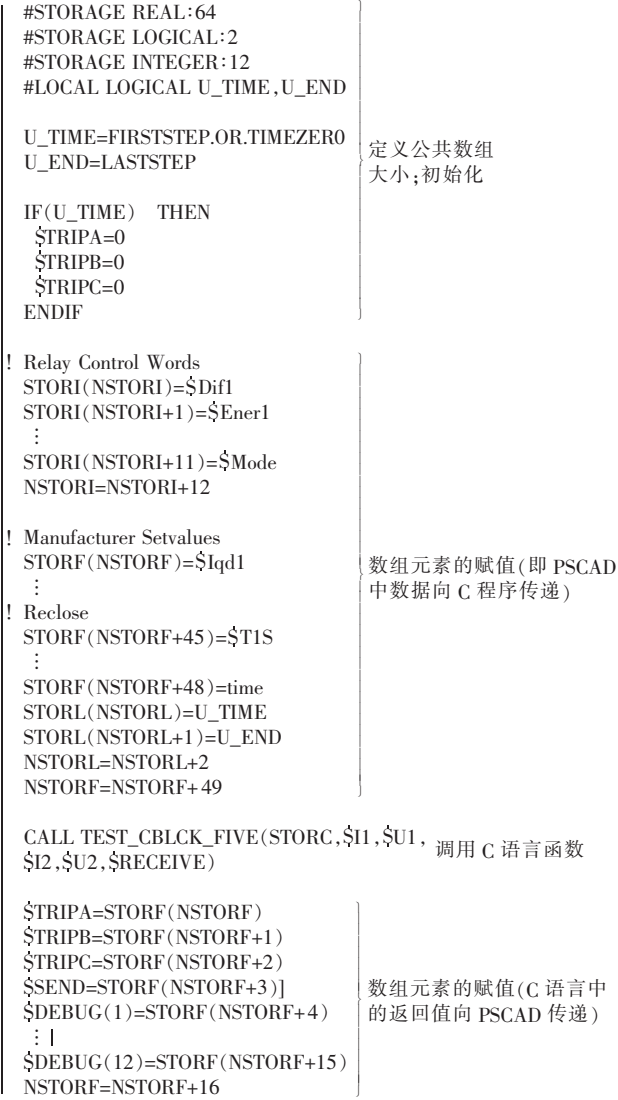


图 3 接口部分 Fortran 源代码示例

Fig.3 Fortran codes of interface as an example

值得注意的是,由于 C 语言和 Fortran 语言中对数组元素的下标规定不同,C 语言中数组下标从 0 开始计数,而 Fortran 语言中数组下标是从 1 开始计数,因此在利用公共数组 STORX 进行 PSCAD/EMTDC 与 C 语言之间数据传递时,比如 C 语言中调用 PSCAD/EMTDC 中数组元素 STORX(x)时,需将数组 STORX 的下标减 1,即 STORX(x-1),才能保证数据传递成功。

用户编制好 C 语言源代码后利用 EMTDC 提供的工具软件 gcc 将源代码(*.c)编译成 obj 文件(*.o)。在页面中点击右键选择 Properties=>Fortran,将编译好的 obj 文件(*.o)添加进页面中右键“Properties=>Build Options=>Additional .obj and .lib files”,这样就完成了 C 语言与 PSCAD/EMTDC 的连接。

图 4 所示为本文的仿真实例中所建立的动态闭环仿真系统的控制模式。

2.2 仿真计算示例

图 5 所示为一组故障电压、电流仿真波形以及继电保护装置的输出信号操作断路器跳闸-重合闸的

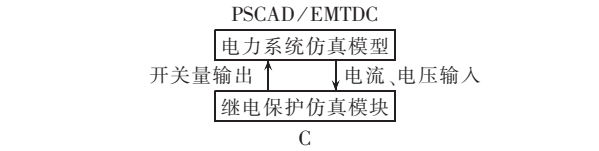
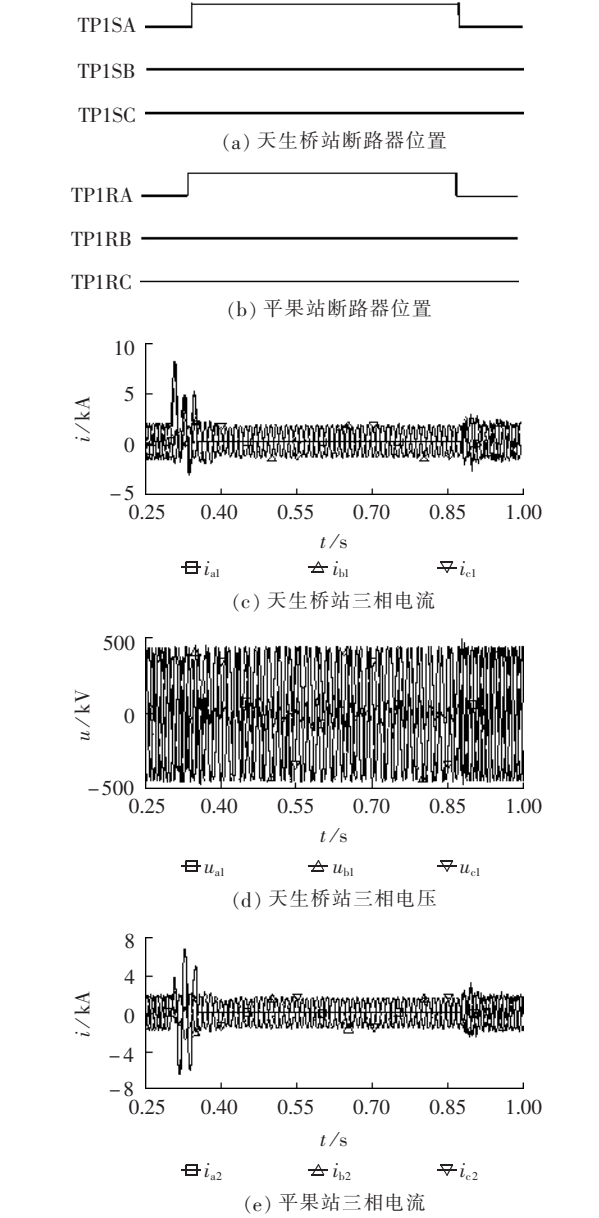


图 4 闭环、准实时保护仿真基本模式

Fig.4 Basic mode of close-loop and dynamic protection simulation

示意图。仿真中设定 0.3 s 发生单相(A 相)接地故障,故障持续时间为 0.1 s。继电保护模块对仿真的实时电压、电流数据计算,判断出发生单相故障,于是天生桥站 A 相断路器于 0.345 01 s 跳闸,平果站断路器于 0.345 84 s 跳闸;在故障消失后,数字化继电保护装置通过检无压、检同期判断线路无故障后将故障相断路器合闸,天生桥站数字化继电保护装置通过检同期判断线路无故障后将故障相 A 相断路器于 0.875 01 s 合闸,平果站数字化继电保护装置通过检无压判断线路无故障后将故障相 A 相断路器于 0.877 51 s 合闸。



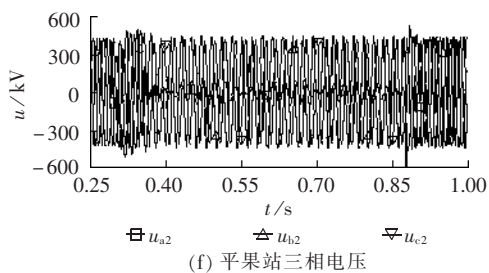


图5 保护数据波形显示界面

Fig.5 Waveform displays of protection data

3 结论

根据对 PSCAD/EMTDC 程序与 C 语言接口的分析和本文中仿真实例的结果,可以得出 2 点结论。

a. 电磁暂态分析程序 PSCAD/EMTDC 和灵活使用的 C 语言都广泛应用于工程和研究领域,它们之间具有互补性,通过两者之间的接口能把它们之间的优点结合起来。

b. 通过 PSCAD/EMTDC 程序与 C 语言接口,用户可以根据需要编制 C 语言自定义元件模型,本文用 C 语言自定义了以实际继电保护装置为原型的数字化继电保护模型,使得仿真计算不必受到自带元件模型的限制,从而增强了仿真的灵活性。仿真结果表明通过 PSCAD/EMTDC 程序与 C 语言接口能完成保护的动态闭环控制,实现保护动作行为与仿真模型的信息交互。

上述仿真软件已在南方电网的实际工程中得到了应用,取得了良好效果。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 黄家裕,陈礼义,孙德昌. 电力系统数字仿真[M]. 北京:中国电力出版社,1995.
- [3] 汤涌. 电力系统数字仿真技术的现状和发展[J]. 电力系统自动

化,2002,26(17):66-70.

TANG Yong. Present situation and development of power system simulation technologies[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(17): 66-70.

- [4] Manitoba HVDC Research Centre Inc. PSCAD user's guide [M]. Manitoba: Manitoba HVDC Research Centre Inc, 2003.
- [5] Manitoba HVDC Research Centre Inc. EMTDC user's guide [M]. Winnipeg: Manitoba HVDC Research Centre Inc, 2002.
- [6] 靳希,安平,张承学. 电力系统电磁暂态仿真软件[J]. 上海电力学院学报,2004,20(3):42-46.
JIN Xi, AN Ping, ZHANG Cheng-xue. The summary of power system simulation software[J]. Journal of Shanghai University of Electric Power, 2004, 20(3): 42-46.
- [7] 鄂志君,房大中,王立伟,等. 基于 EMTDC 的混合仿真算法研究[J]. 继电器,2005,33(8):47-51.
E Zhi-jun, FANG Da-zhong, WANG Li-wei, et al. Research of hybrid simulation algorithm based on EMTDC[J]. Relay, 2005, 33(8): 47-51.
- [8] 钟波. PSCAD/EMTDC 程序与 Matlab 语言接口的研究 [J]. 广东电力,2005,18(8):28-30.
ZHONG Bo. Study on PSCAD/EMTDC-Matlab interface [J]. Guangdong Electric Power, 2005, 18(8): 28-30.
- [9] Manitoba HVDC Research Centre Inc. PSCAD/EMTDC C/C++ Interface[A]. Help of PSCAD/EMTDC Version 3.0.8[CP/CD]. Manitoba: Manitoba HVDC Research Centre Inc, 2001.
- [10] OLINPO A-L, ACHA E. Modeling and analysis of custom power systems by PSCAD/EMTDC[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2002, 17(1): 266-271.

(责任编辑:李玲)

作者简介:

肖 异(1980-),女,湖北武汉人,硕士研究生,从事电力系统继电保护的研究(E-mail:xy2003@sina.com);

尹项根(1954-),男,湖北武汉人,教授,博士研究生导师,主要从事电力系统继电保护、变电站自动化及电力系统控制的研究;

张 哲(1962-),男,湖南株洲人,教授,博士研究生导师,主要从事电力系统继电保护、变电站自动化及电力系统控制的研究;

陈德树(1935-),男,广东东莞人,教授,博士研究生导师,主要从事电力系统微机保护、综合自动化、电力电子在电力系统中的应用等领域的研究工作。

Interface technique between PSCAD/EMTDC and relay protection simulation model and its application

XIAO Yi, YIN Xiang-gen, ZHANG Zhe, CHEN De-shu

(College of Electric and Electronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The interface technique between PSCAD/EMTDC program and C language is presented. Taking PSCAD/EMTDC V3.0.8 as an example, an integrated digital relay protection model is established with C language, which contains main configurations and main sections of protective and reclosing equipment. With the interface technique, a dynamic close-loop simulation system is built to study the fault transient behavior and the protective and reclosing equipment behavior in series compensation power grid. Simulation results show that, the information can be properly exchanged between the protective equipment model and the power grid primary model to correctly carry out the dynamic close-loop control between models.

Key words: power system simulation; PSCAD/EMTDC; C language; interface