

基于平台技术的继电保护数字仿真系统

肖碧涛,王峰

(国电南自股份有限公司,江苏南京211100)

摘要:提出了一种新的基于平台技术的继电保护数字仿真系统,可以实现各种类型继电保护装置的全功能仿真。在对各种类型继电保护装置进行功能抽象后,分解出每个装置所具有的硬件配置、软件属性和保护逻辑,从而建立一种保护装置的开发平台。基于这一平台可仿真出各种类型的保护装置。使用这一系统可在继电保护装置的开、测试、分析等多个环节发挥重要作用。

关键词:平台技术;继电保护;数字仿真;保护逻辑图

中图分类号:TM744

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2015)04-0081-04

在现代电力系统中,仿真已经成为开发、运行、维护继电保护装置必不可少的工具。但是,这些仿真系统大多只能实现对继电保护装置部分功能的仿真,即仿真是不完全的、彻底的。随着计算机和通信技术的发展,基于平台技术的开发模式得到了运用,各种类型的继电保护装置开发自统一的平台,这样降低了开发的投入,缩短了开发的周期,提高了开发的质量^[1]。平台技术的运用,为完全仿真各种类型的继电保护装置打下了坚实的技术基础。

1 平台开发技术

1.1 平台开发的原理

在对变压器保护、母线保护、线路保护等主要继电保护装置的特征和功能进行分析后,可以得出这些装置具有很多共性的地方:

- (1) 具有模拟量输入和开关量输入,模拟量输出和开关量输出,面板信号灯等;
- (2) 具有保护定值、保护压板,并配置遥测、遥信、遥控、保护事件、告警等信息。
- (3) 简单的保护逻辑可以由多个逻辑图元通过连线组合成一张逻辑图。复杂的保护逻辑可以通过算法图元(编写逻辑算法函数)来实现^[1,2]。

由此,可以将一台保护装置分解为硬件配置、软件属性和保护逻辑3个部分,如图1所示。

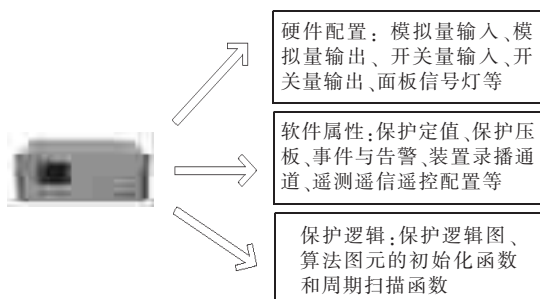


图1 保护装置分解

硬件配置描述组成保护装置的硬件特征。这些硬件特征包括模拟量输入、模拟量输出、开关量输入、开关量输出和面板信号灯等。使用配置工具软件进行硬件资源配置。

软件属性描述保护装置的软件特征。这些软件特征包括保护定值、保护压板、事件与告警、装置录波通道、遥测遥信遥控配置等。使用配置工具软件进行软件属性配置。

保护逻辑由逻辑图和图元函数构成。每个逻辑图元都有2个函数:初始化函数和周期扫描函数。算法图元的函数开放给开发人员编写,以实现复杂的保护逻辑,其他图元的函数则在平台中实现。使用逻辑图工具软件绘制保护逻辑图。一个过流保护逻辑图的实例如图2所示。

由图2可见,保护逻辑图由输入图元、算法图元、过程图元和输出图元组成,从左至右,很直观地描述数据的处理过程和流向。“相电流过流”算法图元有5个输入和6个输出。当“过流保护控制字”投入,A相、B相、C相电流有一相或多相大于“相电流过流定值”的时候,经过“相电流过流延时”定时器,并经“保护压板”的闭锁,输出“相电流过流动作”信号、“相电流过流保护”事件。

1.2 平台开发的软件

平台开发的软件由PC侧工具软件和装置侧支撑软件2个部分组成^[1]。

(1) PC侧工具软件。配置工具软件完成装置硬件和软件资源的配置,并输出硬件和软件资源配置文件。逻辑图工具软件完成保护逻辑图的绘制,并输出顺序化的逻辑图信息文件。

(2) 装置侧支撑软件。装置侧支撑软件负责读取硬件配置、软件属性和保护逻辑图信息,调用逻辑图元的初始化函数进行图元的初始化,并在一个或多个采样中断到来时按照图元的连接顺序依次执行每个逻辑图元的扫描函数。装置侧支撑软件是平台开发技术的

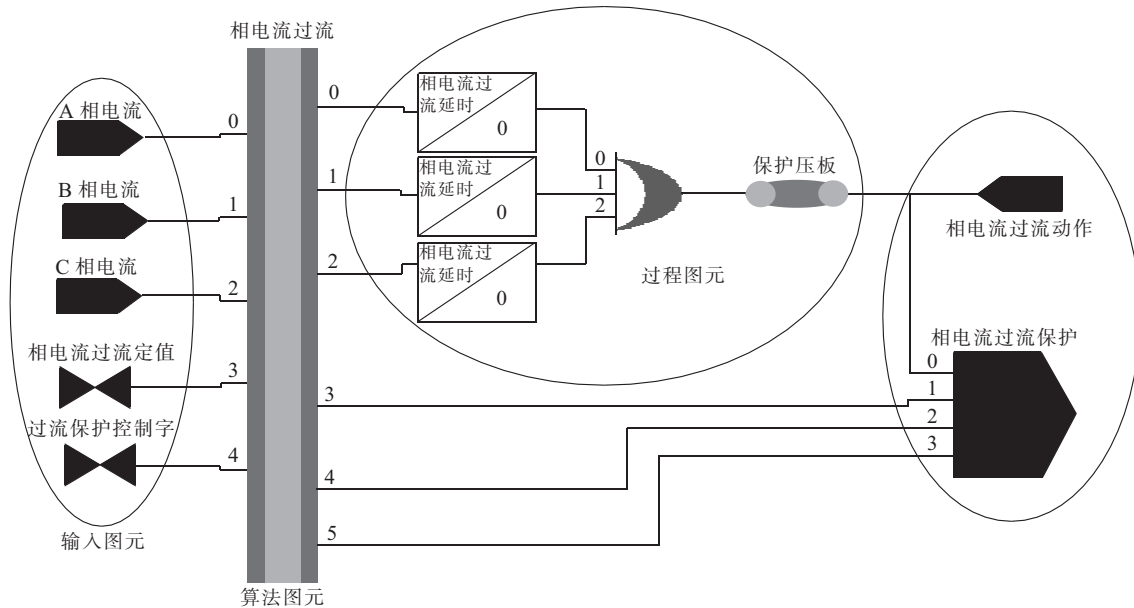


图2 相电流过流保护逻辑图

核心,驱动着所有逻辑图元根据输入计算输出。上一个图元根据输入计算其输出,连接的下一个图元又把上一个图元的输出作为输入计算其输出……当所有图元计算完成后,也就得到了最终的输出结果。

1.3 平台开发的特点

(1) 广泛的适用性。平台开发具有广泛的适用性。适用于线路保护、母线及失灵保护、变压器保护、发变组保护、短引线保护、电抗器保护、电容器保护等各类保护装置的开发。

(2) 可视化与易用性。平台开发采用可视化的工具软件,化繁为简,将复杂的保护逻辑转换为直观的逻辑图表达,易于使用和维护^[1,3]。

(3) 良好的经济性。在同一个平台上就可以开发出各种类型的保护装置,极大提高开发的效率、缩短开发的周期、减少开发费用与投入。

2 全功能数字仿真系统

平台开发技术具有的通用性和先进性,为基于平台开发的继电保护装置的全功能数字仿真创造了条件。

2.1 设计

2.1.1 数字仿真系统的设计目标

(1) 仿真系统的结果要正确无误,这是首要条件。如果仿真的结果与实际装置有差异,仿真也就失去了现实意义。

(2) 仿真系统是对保护装置全部功能的仿真,不只是保护逻辑的仿真。保护装置具有的功能,仿真系统都必须实现。

(3) 仿真系统界面友好、容易使用。采用可视化和图形化的界面,能够直观的进行仿真、测试、分析。

2.1.2 设计方案

按照平台开发技术的思想,要实现保护装置的仿真,最关键的是要在仿真系统中实现装置侧支撑软件。此外,需要模拟装置的输入与输出,例如模拟采样中断和跳闸开出。为了保证仿真结果与保护装置完全一致,仿真系统使用保护装置中同样的文件,包括硬件配置文件、软件属性文件、逻辑图信息文件和算法函数文件。数字仿真系统的架构设计如图3所示。

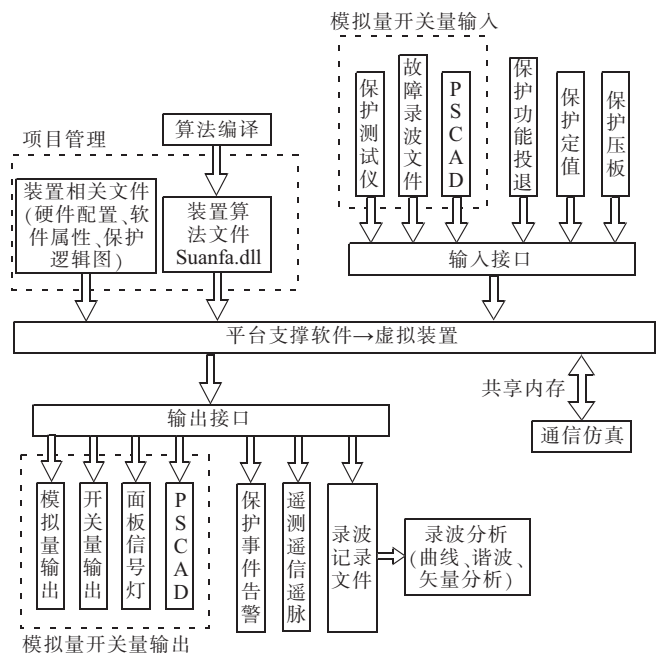


图3 数字仿真系统架构图

(1) 平台支撑软件是整个仿真系统的核心,使用装置的硬件配置、软件属性、保护逻辑图和经过编译的算法等文件,构建虚拟保护装置。并对外提供虚拟装置的输入和输出接口。

(2) 输入接口提供多种类型的数据输入,包括保护测试仪、故障录波文件、PSCAD 软件输入等模拟量

和开关量输入;保护功能投退信息、保护定值整定数据和保护压板投退状态。

(3) 输出接口提供多种类型的数据输出,包括模拟量输出、开关量输出(跳闸和发信)、面板信号灯、输出数据到 PSCAD 软件;保护事件、装置告警、遥测、遥信、遥脉和录波记录文件。

(4) 以项目的形式来管理仿真相关的文件;对录波记录文件可进行曲线分析、谐波分析和矢量分析;通过共享内存机制,完成与虚拟装置的数据交换,实现通信仿真。

2.2 数字仿真系统的实现

2.2.1 算法函数文件编译

算法函数文件采用 C 语言编写,为了能够实时启动和停止仿真,所有算法函数文件编译成可动态链接的 dll 文件。在软件中要找到算法的初始化函数,需要在函数前加入 `__declspec(dllexport)` 声明,声明为导出函数。具体的编译步骤如下:(1) 根据添加到仿真项目的算法源文件,生成 Visual C++ 6.0 动态链接库项目的 Makefile 文件;(2) 调用 Visual C++ 6.0 的工具 `nmake.exe` 执行编译;(3) 通过 Windows 的管道机制,获取 `nmake` 编译的输出结果,显示到软件界面;(4) 分析最后输出的结果,获知编译成功或失败。

2.2.2 模拟采样中断

实际保护装置中,逻辑图是靠毫秒级的采样中断来驱动的。仿真系统软件做不到这么高实时性,但是需要保证时间的精度。为此,采用 Windows 的多媒体定时器来模拟采样中断,实现毫秒级的定时服务。具体实现时,需要包含头文件“`mmsystem.h`”和库文件“`winmm.lib`”。在定时器处理函数中,进行采样通道的傅氏运算,驱动逻辑图扫描。

2.2.3 平台支撑软件

平台支撑软件实现装置侧支撑软件同样的功能,主要功能模块如表 1 所示。仿真处理的基本流程如图 4 所示。

表 1 平台支撑软件主要功能模块

模块	功能说明
硬件配置	完成硬件资源配置的加载和释放,提供接口供其他模块使用。
软件属性	完成软件属性配置的加载和释放,提供接口供其他模块使用。
逻辑图信息	成保护逻辑图信息的加载和释放,提供接口供其他模块使用。
图元函数	实现基本逻辑图元的初始化函数和周期扫描函数,提供接口供其他模块使用。
扫描引擎	完成逻辑图的扫描和虚拟装置数据的管理,提供输入和输出接口供其他模块使用。
仿真处理	调用相关模块提供的接口,启动、暂停、单点或停止仿真。

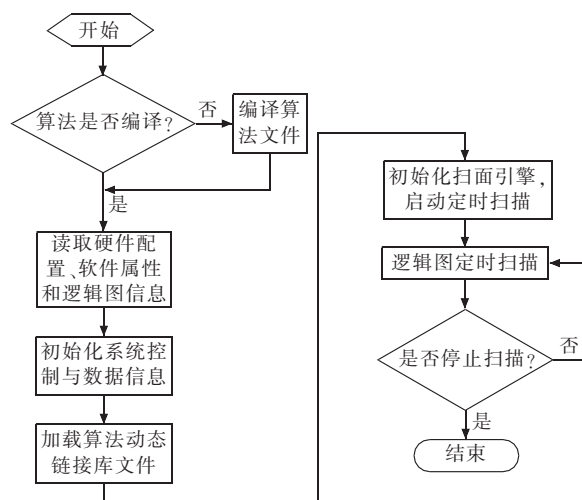


图 4 支撑软件基本流程图

逻辑图扫描的处理流程如下:(1) 至扫描标志,防止重入;(2) 若采样函数被设置,执行采样函数,否则执行默认采样函数;(3) 采样节拍加 1;(4) 遍历保护逻辑图,如果采样节拍到,则执行周期扫描函数;(5) 记录该节拍的通道数据,用于后续录波使用;(6) 若开出函数被设置,执行开出函数;(7) 清扫描标志,程序返回。

2.2.4 仿真测试工具

为验证、分析仿真结果,本系统实现了 2 种仿真测试工具,保护测试仪和批量波形输入。

(1) 保护测试仪。为方便测试,保护测试仪提供 2 种工作模式:① 输出单个状态。输出的模拟量和数字量为单一状态,通过设置变化步长,人工加减实现输出的变化。② 输出状态序列。输出的模拟量和数字量为多个状态组成的序列,每种状态可设置保持时间,时间结束后切换到下一个状态输出,自动实现输出的变化。保护测试仪启动后,注册采样函数,替换默认的采样函数。这个采样函数在逻辑图扫描时被调用,用保护测试仪输出的值填入装置的采样缓冲区,达到测试目的。

(2) 批量波形输入。保护装置记录的故障波形或 RTDS、动模测试的实验波形,可以批量的输入到虚拟装置,验证保护的逻辑。为了能够通用,输入的波形要求是 COMTRADE 格式的。实现批量波形输入,要注意如下几点:① 进行录波数据通道与虚拟装置输入通道的匹配;② 录波数据前几个周波如果数值较大,为了反映真实情况,需要在前面加几个波形平滑处理;③ 一个录波文件输入完成后,要延时等待一段时间,等保护动作复归后,再导入下一个录波文件。

2.2.5 IEC 61850 通信仿真

仿真系统较多用于智能变电站的高压保护,所以只提供 IEC 61850 的通信仿真。IEC 61850 通信程序是一个独立进程,通过共享内存与仿真系统进行数据交

换。IEC 61850 通信进程将要读或写的数据类型、数据的序号或数据的值等参数传递给仿真系统,仿真系统再根据参数将数据值或写结果传递给 IEC 61850 通信进程^[4]。

IEC 61850 通信仿真,主要有如下用途:(1)验证装置的 ICD 模型文件;(2)模拟装置数据,测试 IEC 61850 客户端。

2.3 数字仿真系统的应用

目前,数字仿真系统在公司高低压继电保护装置的开发、测试、分析等多个方面得到了广泛应用。

2.3.1 数字仿真系统主要用途

(1)可抛开硬件,在 PC 机上进行新产品的开发或已有产品的完善。

(2)可对用户进行培训,使他们尽快掌握保护装置的设置和调试。

(3)故障波形实时回放、分析,协助解决现场问题。

(4)借助 Visual C++ 软件,实现算法文件的源码级调试。

(5)与 PSCAD 系统仿真软件进行数据交换,可在 PSCAD 中模拟故障发生,研究保护算法。

2.3.2 PST671U 变压器仿真实例

以 PST671U 变压器保护仿真为例,说明数字仿真系统的应用流程。

(1)新建“PST 671U 变压器保护”仿真工程,选定硬件配置文件 hwcfg.ehc、软件属性文件 swcfg.esc、逻辑图信息文件 logic.egs。

(2)添加变压器保护的所有算法函数文件,启动算法编译,生成动态链接库 suanfa.dll。

(3)设置项目参数,包括逻辑图扫描速度、生成录波时是否提示、是否启动 IEC 61850 通信仿真等。

(4)启动仿真,若失败给出错误提示信息,排查错误后,重新启动仿真,直到成功为止。

(5)仿真启动后,就可以进行保护功能的测试。

① 保护参数的设置。包括保护功能投退、保护压板投退和保护定值整定。比如我们要做差动保护的测试,首

先要投入差动保护功能,然后投入差动保护出口压板,最后整定差动保护动作定值,投入差动速断、二次谐波制动、CT 断线闭锁等控制字。② 保护功能的测试。打开保护测试仪或批量波形输入工具,设置保护模拟量和数字量的输入值,比如填写三相电压、电流的幅值和相角,启动测试。③ 仿真结果的分析。启动保护测试后,通过最近事件窗口、开入开出量、装置面板信号灯等获知保护告警或动作事件的发生,以此判断保护动作行为是否正确。通过分析录波记录文件,可更详细的分析仿真结果。

(6)保护功能测试完成后,停止仿真,保存仿真项目,退出系统。

3 结束语

本文从开发原理、开发软件及开发特点 3 个方面介绍了继电保护装置的 platform 开发技术。基于这一平台技术,给出了一种继电保护装置全功能数字仿真的方案,并详细阐述了该系统的设计、实现和应用。实际使用情况表明了此方案的正确性。为保证仿真结果与实际装置完全一致,仿真系统使用实际装置中同样的文件,这是保证仿真效果的关键。

参考文献:

- [1] 张云,尹秋帆,胡道徐.继电保护装置开发平台软件系统架构与设计[J].电力系统及其自动化学报,2005,17(4):20-23.
- [2] 王胜,王家华,兰金波.图形化保护的原理与实现[J].电力自动化设备,2004,24(2):76-78.
- [3] 仲伟,丁宁,吴参林,等.图形化编程的继电保护软件平台设计[J].电力系统保护与控制,2011,39(3):100-104.
- [4] 胡再超,姚亮,张尧.智能继电保护装置的自动测试方法[J].江苏电机工程,2013,32(1):53-55,58.

作者简介

肖碧涛(1978),男,湖北武汉人,工程师,从事电力系统继电保护的研究和开发工作;

王峰(1974),男,江苏盐城人,高级工程师,从事电力系统继电保护的研究和开发工作。

Relay Protection Digital Simulation System Based on Platform Technology

XIAO Bitao, WANG Feng

(Guodian Nanjing Automation Company, Nanjing 211100, China)

Abstract: A new kind of relay protection digital simulation system based on platform technology is proposed in this paper. The proposed system is capable for full function simulation of various types of relay protection devices. Through function abstraction of various types of relay protection devices, decomposition of the hardware configuration, software attributes and protection logic are achieved. Based on the decomposition, a protection device development platform is established. The developed platform can simulate various types of protection devices and plays an important role in many aspects of relay protection device development, testing and analysis.

Key words: platform technology; relay protection; digital simulation; protection logical diagram