

电网故障仿真实验装置的设计

孙 娴,温渤婴

(中国农业大学东区信息与电气工程学院,北京 100083)

摘要: 应高校继电保护实验的要求,设计用于继电保护实验的电网故障仿真实验装置。根据高校继电保护教育中的典型回路、典型故障,实现简单电网相应短路故障过程的简单模拟。介绍了其硬件结构和软件仿真。装置以 TI 公司的 MSP430 系列单片机为控制核心,经 D/A 转换、低通滤波后,由功率放大模块对信号进行放大输出。上位机采用 VC++6.0 完成上位机仿真软件模块的编写,主要实现电气接线图形化操作与短路计算模块功能。该装置能灵活地仿真故障时保护安装处电流、电压的实际动态过程,为继电保护实验的深入推广打下了基础。

关键词: 仿真; 继电保护实验; 上位机; MSP430; 图形化操作; 实验装置; 功率放大

中图分类号: TM76 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2006)21-0037-03

0 引言

继电保护是保证电力系统安全运行的关键,是电力专业学生必修的一项重要的基础理论知识,大部分高校缺乏实验环节的验证,是目前各高校继电保护教学的薄弱环节。部分高校虽配备有继电保护实验装置,但功能相对比较复杂,设备相对比较庞大,不利于高校的实验教学的推广。

继电保护基本原理——判断输入电信号与整定值的大小决定继电器是否动作,而继电保护实验装置所输入的电信号一般都由信号源提供幅值稳定的稳态正弦波形,不考虑代表短路故障的非周期分量的叠加,弱化了电力系统故障的暂态电气特性。

另外,继电保护实验装置与电力系统接线脱节,学生在做继电保护实验时,只是看到保护装置是否动作而已。从实际考虑,让学生不仅了解保护动作的过程,更要让学生从电气接线上形象地设置故障原因,观察保护装置动作,以此验证继电保护的原理。

基于以上两点,为解决继电保护教学的理论与实际相结合问题,针对接近实际的典型回路、给定故障,实现简单电网各种短路故障过程的简单模拟,为继电保护实验装置提供故障电压电流,使学生更形象地理解继电保护基本原理,力求做到简单、可靠。

1 系统描述

针对继电保护课程教学的需要,开发人机交互界面友好、易于操作和升级的上位机图形化软件和下位机硬件,通过上位机的电气接线形象化操作,经

过短路计算模块,由下位机输出仿真故障电流电压信号,使学生通过自己动手操作了解继电保护的基本原理。整个系统如图 1 所示。

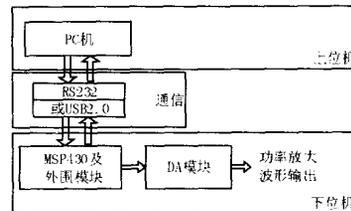


图 1 系统结构图

Fig 1 Simulator architecture

2 仿真软件

采用 VC++6.0 为主要软件编写的工具,完成上位机仿真软件模块,主要实现电气接线图形化操作与短路计算模块功能。上位机模块框图如图 2 所示。

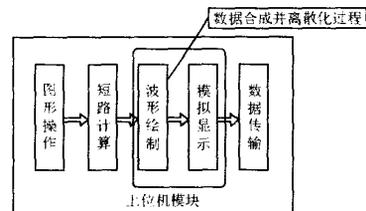


图 2 上位机模块框图

Fig 2 Frame of host-computer modules functioning

1) 图形操作

电气接线图形化操作可以使学生方便快捷地调用典型电路模型,可以让学生通过鼠标双击相应元件,自行设置改变相关电路模型中各元件,如发电

机、变压器、母线、刀闸等的电气参数,在网络接线图上实现可视化操作,通过鼠标点击改变断路器闭合状态、变压器分接头切换等,也可在网络接线图上直接通过鼠标点击实现短路故障。

该部分实现了对电力系统的图形界面的管理,具有友好的人机对话界面,可以选择并修改电路结构和元件参数。在对系统进行仿真时,基于图形界面的故障方式的选择;故障点的设定等,可以方便地调用各个短路计算模块。

2) 短路计算

短路计算模块是指当学生选择电路拓扑结构,即电气接线后,在选定故障方式,故障相别,故障类型后,调用相对应的自行编制的短路计算模块,计算出相应的短路电流电压。短路计算模块设计尽量通用化,减少程序的大小。该部分是整个仿真实现的基础。在确定需要仿真的典型回路后,修改元件参数,利用一系列的对话框,由学生指定故障类型、故障点位置、系统运行方式等,然后自动完成短路电流电压的计算。

计算分为两个阶段,第一个阶段是进行相对于故障点的等值阻抗的计算;第二个阶段是根据等值阻抗来计算线路上流过的短路电流。

以三相短路为例:

$$I_a = I_{ma} \sin(\omega t + a - \varphi) + C_a e^{-\frac{t}{T_a}} \quad (1)$$

$$I_b = I_{mb} \sin(\omega t + a - 120^\circ - \varphi) + C_b e^{-\frac{t}{T_a}} \quad (2)$$

$$I_c = I_{mc} \sin(\omega t + a + 120^\circ - \varphi) + C_c e^{-\frac{t}{T_a}} \quad (3)$$

I_m 为短路后稳态短路电流幅值, $C e^{-\frac{t}{T_a}}$ 项模拟短路发生到稳态之间的暂态过程。

3) 数据离散

每周波电压电流数据各定时采样 128 点,将离散点数据存放在数组中。根据数组元素数值,模拟画出暂态电流电压波形,在上位机软件中显示,形象地了解暂态波形。

4) 数据传输

通过 RS232 或 USB 通信将数组数据传给下位机 MSP430。

3 硬件原理

该装置能够按照继电保护实验的基本要求,输出故障三相电压、电流暂态波形,为继电保护实验装置提供短路电压电流。装置以 TI 公司的 MSP430 系列单片机为控制核心,并采用 DCM0256 来扩充 MSP430 的外部数据存储空间,用于存储波形离散

数据。MSP430 负责根据由上位机下传的控制命令、系统参数,将系统故障波形的离散数据存储在外扩 RAM 中,既可实时输出故障波形,又可适时从 RAM 中提取数据并产生仿真波形。装置通过通信接口由外接计算机将离散波形数据传入 MSP430,经 D/A 转换、低通滤波后,由功率放大模块对信号进行放大输出。

其中,该装置包括四个主要组成部分,分别为 D/A 转换模块、功率放大模块、电压电流输出切换模块、保护模块。装置的结构如图 3 所示。

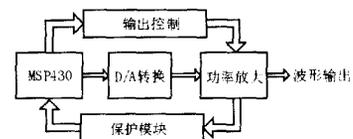


图 3 硬件结构框图

Fig 3 Hardware design of the simulator

1) D/A 转换模块

选用 Maxim 公司的 MAX5307 单极性 12 位电压输出型 8 通道数模转换器。由上位机通过通信下传的离散数据通过 DA 的 SPI 串行口传入 DA 转换器,DA 输出值再通过运放转换成双极性输出。

2) 功率放大模块

采用大功率 MOSFET 对管推挽甲乙类输出,防止交越失真。

3) 电压电流输出切换模块

鉴于继电保护实验装置的保护功能的多样化,通道输出内容因为继电保护类型的不同而不同。当选择变压器差动保护,输出 I_{a1} 、 I_{b1} 、 I_{c1} 、 I_{b1} 、 I_{a2} 、 I_{b2} 、 I_{c2} 、 I_{b2} ;其他保护方式,则输出 U_a 、 U_b 、 U_c 、 U_0 、 I_a 、 I_b 、 I_c 、 I_0 。为减少装置的冗余度,只设置 8 个通道。在不同保护类型下,实现不同输出通道的切换。

该仿真器设定输出电压范围 0 ~ 100 V (有效值),电流输出范围 0 ~ 5 A (有效值)。为简化仿真器的内部结构,不同通道采用近似相同的电路结构,通过模拟开关的开合来确定符合不同通道的不同电路参数。其中模拟开关的开与合由 MSP430 控制,而控制信号来源于上位机下传的数据。

4) 保护模块

考虑该实验破坏性比较大,为了延长装置的使用寿命,防止学生做实验时电路长期处于大电流大功耗状态,设计比较完善的保护,实现软件硬件双保护。该模块置于功率放大的末级输出处,采样输出电流电压值,以判断是否过流或过功耗。

当短路发生时,短路电流会突然猛增至很大,甚

至会超过功率 MOSFET 的最大允许电流值,又可能会烧坏器件,因此由电流传感器监测输出电流,通过电流电压转换,再将电压通过电压比较器作比较,若超出最大设定值,则保护动作,将 DA 数模转换的输出接地置零。此为硬件过流保护。另外,基于功耗方面的考虑,将输出电流分流送回 MSP430 的 AD 转换器,若超出最大设定值,则调整 DA 数模转换前的数字量,并不需要置零。此为软件过流保护。

在制作电路时,将模块仿真器电路板分开置于不同的电路板上,MSP430 及相关外围芯片置于一块电路板上,而 8 个通道的模拟输出及保护模块分别置于八块独立的电路板上。

4 实验方案

该系统仿真方案可归结为电路模型、元件模型、短路模型的任意组合,仿真模拟各类短路故障,动态输出保护安装处的暂态电流电压值,如图 4 所示。

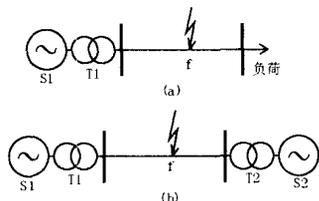


图 4 电路模型

Fig 4 Circuit model

1) 电路模型

如图 4 所示,仿真软件以简单的单机对无穷大电力系统模型和双机系统为两种基本典型回路。复杂系统都可以通过等值的方法归结为单机系统或者双机系统。这两种典型回路具有一定的代表性,降低了动态数字仿真的短路计算模块的编写难度,而且对学生做实验来说,简单的回路更容易结合理论,更易深入理解继电保护原理。在图 4 所示模型中,线路的任意位置 f 点发生各种情况的短路,要求继电保护设备安装处的各相电压、电流的暂态值。

2) 元件模型

电力系统的元件模型可以归结为发电机元件模型、变压器元件模型、线路模型。发电机模型可用无限大电源及次暂态电抗简单等值模拟;变压器元件可用理想变压器等值模拟;线路元件则用简单的电抗等值模拟。

3) 短路模型

以单相接地、两相短路、两相接地短路、三相短路为主要计算模型。

学生自行选择组合电路模型、元件模型、短路模型,计算并确定短路电压电流。

5 结论

本系统从电力系统的建模,图形化界面管理,短路电流的计算,到波形的模拟输出,完成了对电力系统继电保护整个过程的暂态仿真。配置灵活,为微机保护课程改革开辟了便利通道。

当然此装置也还有不足之处,要想作为一个成熟的产品仍需要继续改进和完善,软件设计提高精度,采用更高速的芯片以及合适的滤波电路与控制电路,合理排布元器件。

系统能够对电力系统发生的简单暂态过程进行模拟,能基本满足继电保护的试验要求,用户操作使用方便。仿真系统结构简单、造价低、比较实用。

参考文献:

- [1] 贺家李,宋从矩. 电力系统继电保护原理 [M]. 北京:中国电力出版社,1994.
HE Jia-li, SONG Cong-ju Principles for Relay Protection of Power System [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1994.
- [2] 陈德树. 微机继电保护 [M]. 北京:中国电力出版社,2000.
CHEN De-shu Digital Relay Protection [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2000.
- [3] 王鸣江,范春菊,房鑫炎. 开放式微机保护试验平台的研制 [J]. 电力系统及其自动化学报, 2003, 15 (2): 63-65.
WANG Ming-jiang, FAN Chun-ju, FANG Xin-yan Development of Open Test Platform for Microcomputer-based Protection [J]. Proceedings of the EPSA, 2003, 15 (2): 63-65.
- [4] 徐志恒,刘继武,向前. 微机保护测试仪需考虑的若干关键问题 [J]. 继电器, 2004, 32 (9): 64-66.
XU Zhi-heng, LIU Ji-wu, XIANG Qian Some Key Problems About Microcomputer Based Relay Protection Tester [J]. Relay, 2004, 32 (9): 64-66.
- [5] 王洲,张明,孙苓生,等. 基于 DSP 的继电保护数字式动态仿真测试装置的研究 [J]. 电力自动化设备, 2001, 21 (2): 8-10.
WANG Zhou, ZHANG Ming, SUN Ling-sheng, et al Research on DSP Based Digital Test Equipment for Protection Relay by Dynamic Simulation [J]. Electric Power Automation Equipment, 2001, 21 (2): 8-10.

(下转第 67 页 continued on page 67)

- Q N Zhen-cheng, LE Xiu-fan, LAN Lan, et al Improved Nonlinear Predictor-corrector Interior Point Method for Optimal Power Flow [J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29 (9): 25-30.
- [7] 藏雪飞. 基于最优潮流的电力系统无功定价研究 (硕士学位论文) [D]. 西宁: 广西大学, 2005.
ZANG Xue-fei Research of Reactive Power Pricing in Power System Based on Optimal Power Flow, Thesis[D]. Xining: Guangxi University, 2005.
- [8] 张伯明, 陈寿孙. 高等电力网络分析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1996.
- ZHANG Bo-ming, CHEN Shou-sun Analysis of Advanced Power Network [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1996.
- 收稿日期: 2006-04-18; 修回日期: 2006-06-25
- 作者简介:
周明华 (1977 -), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统运行与控制, 电力市场等; E-mail: zmh422@163.com
徐敏 (1963 -), 女, 副教授, 西北工业大学博士, 研究方向为电力系统运行与控制, 故障诊断, 迭代学习控制等。

Researches on spot price based on optimal power flow and its algorithm

ZHOU Ming-hua, XU Min

(Nanchang University, Nanchang 330029, China)

Abstract: Spot price is an important idea in electricity market. In order to make researches on rich economic information included in spot price and algorithm adapted Spot Price rapid calculation on line, the primal-dual interior point algorithm is applied in the calculation of spot price based on the model of optimal power flow. This paper discusses the value of central parameter effecting on the convergence of the primal-dual interior point algorithm, based on which a predictor-corrector technology is adopted to enhance the convergence by coordinating the optimality and feasibility. The calculation and analysis of IEEE 14-bus test system spot price illustrate the value of Lagrangian multiple of the relevant inequality constraint meaning the secure price of the system operating and the predictor-corrector algorithm's less iterative times and better convergence.

Key words: spot price; optimal power flow; primal-dual interior point algorithm; predictor-corrector

(上接第 39 页 continued from page 39)

收稿日期: 2006-03-06; 修回日期: 2006-06-23
作者简介:

孙 娴 (1981 -), 女, 硕士研究生, 研究方向为电力系统微机继电保护; E-mail: fly_sunxian@126.com

温渤婴 (1958 -), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为电力系统自动监控与继电保护研究

Design of a device for power system simulation experiments

SUN Xian, WEN Bo-ying

(College of Information and Electrical Engineering, China Agriculture University, Beijing 100083, China)

Abstract: Design of simulator producing fault current and voltage applied to relay protection experiments is demanded in Colleges. According to the typical loops and the typical fault types, this paper realizes the simulation of the faults. This paper introduces its hardware design and simulation function in software. The device realizes the function through D/A converter, lowpass and power amplifier. The software of host-computer compiled by VC6.0 achieves operations through graphical interfaces and calculation functions. This simulator can produce fault current and voltage with the human-computer interaction interface according to the operation in host-computer.

Key words: simulation; relay protection experiment; host-computer; MSP430; graphical operation; experiment device; power amplifier