

基于 Matlab和 ATP的微机距离保护动态仿真

程刚, 张沛超

(上海交通大学电子信息与电气工程学院, 上海 200240)

摘要: 基于 Matlab的 M语言, 将故障仿真(ATP)和保护仿真(Simulink)集成为一个完整系统。通过 Matlab对 ATP的调用, 实现两个软件之间数据共享; 基于 Simulink实现了继电保护仿真, 得到微机距离保护的误动率、拒动率和平均跳闸时间等性能指标。在软件实现上, 采用了软件框架技术, 并介绍了整个框架和相关类。该系统实现了故障暂态计算与微机距离保护仿真程序的同步运行, 开放性好, 集成度高, 可视性强。仿真算例表明该系统使用灵活方便, 可方便地观测保护内部动作情况、分析继电保护装置的动态特性。

关键词: Matlab; ATP; 距离保护; 保护性能; 仿真

中图分类号: TM77 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2006)22-0005-04

0 引言

微机保护仿真系统可用于建模、仿真、分析在各种电网故障和异常情况下, 微机保护系统的动作特性。该系统既可用于研究新型保护算法或原理, 也可用于评测已有保护原理对于特定电网的适应性, 还可用于电网事故后的保护动作行为分析。由于其重要性, 已开发多个系统^[1~4]。其中, 文[1]利用面向对象的编程思想实现了保护中各元件类及元件算法间的组合, 并利用 VC++的图形界面优势显示保护的运行特性, 具有可视化和可扩展的特点; 文[2]采用 VC++开发了 Windows风格界面, 将仿真分析的结果以图形方式输出, 具有直观清晰的特点; 文[3]利用 ActiveX 技术及 DDE (Dynamic Data Exchange) 技术实现了 Matlab与 VB的无缝链接, 具有编程快捷、灵活的特点, 便于继电保护仿真软件开发与使用; 文[4]采用面向对象和可视化的编程思想, 完成了保护仿真系统的图形用户界面开发, 建立了继电保护数字仿真系统软件的基本框架, 便于用户使用和扩展。

随着电网规模的不断扩大以及对保护可靠性的不断提高, 对微机保护仿真系统的要求也不断提高。本文认为微机保护仿真系统应具备如下特点: (1) 暂态仿真与测试。基于传统稳态故障的仿真系统已不能满足保护仿真需要, 而应采用暂态仿真技术, 以便更接近于电网实际; (2) 集成化。系统中应集成电网模型、互感器模型以及保护测量、决策等诸单元的仿真模型, 能自动完成电网电磁暂态仿真、保护前置滤波、采样以及测量、决策等完整过程; (3) 组件

化。系统应基于标准的仿真平台, 能提供大量可复用组件, 使用户可利用这些组件搭建电网模型和保护系统。系统应具有开放性和可扩展性, 允许用户配置和扩充组件; (4) 仿真过程可视化和透明化, 可以完整观察系统仿真过程以及保护内部动作情况; (5) 保护性能评价。在仿真结束后, 能自动对保护行为进行定量分析评价。

但是, 同时满足上述要求的微机距离保护仿真系统尚未见报道。本文将 Matlab^[3]和 ATP^[5]集成起来, 利用 ATP实现故障仿真, 基于 Matlab中的 Simulink^[6]实现保护仿真, 使之构成一个完整系统。该系统使用模块化设计, 开放性好, 集成度高, 并具有可视化功能, 有利于观测保护内部动作情况, 分析继电保护装置的动态特性。

1 系统结构

1.1 总体结构

微机距离保护动态仿真系统主要由 Matlab、EMTP/ATP和 Simulink构成, 系统结构见图1。利用 Matlab的 M语言实现主控程序, 协调控制 EMTP/ATP和 Simulink。对于每种具体的故障模式, Matlab主控程序先生成 FAULT ap文件, 然后调用 EMTP/ATP进行一次系统仿真, 并将 CT、PT的输出传给保护仿真子系统进行二次系统仿真, 最后把得到的继电保护动作信号传回给 Matlab以进行保护性能评价。上述过程实现了故障暂态计算与微机保护仿真程序的同步运行, 使该系统具有高度的集成性。

1.2 故障仿真子系统

IEEE PES保护专委会 (Power System Relaying

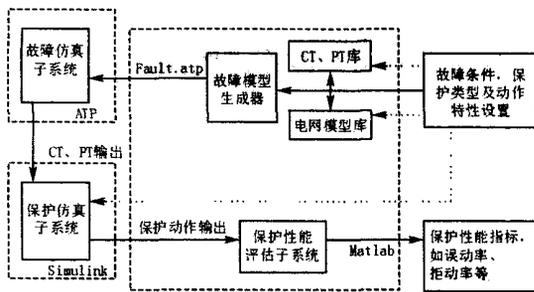


图1 微机距离保护动态仿真系统

Fig 1 Dynamic simulation system of microprocessor-based distance protection

Comm ittee, PSRC)推荐的 EMTP参考电网模型^[7] (如图2)适用于大多数线路继电保护装置的仿真测试。该模型是一个三机系统,包含四条 230 kV 输电线路,其中有一对双回线,以及 T型支接线路。四条线路皆采用分布参数模型。

根据仿真设置,程序自动在电网模型库和 CT、PT库中选取相应模型,并根据具体的故障类型以及故障位置等条件,按照 ATP卡片格式^[5]动态地生成故障模型文件。

在上述工作完成后,利用 Matlab自动执行下述命令序列:

```
evalc(['pbigw.exe both',
      'FAULT atp, ', 'FAULT out, 'r']);
evalc(['Ap2mat.exe', 'p14-mat']).
```

其中,用于启动 ATP,以完成故障计算;用于将 ATP的输出格式转换为 Matlab格式,以便送入 Matlab进行后续处理。

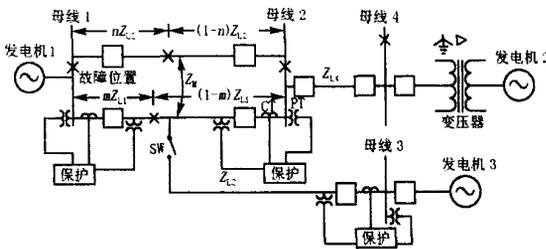


图2 PSRC EMTP参考模型

Fig 2 PSRC EMTP reference model

1.3 微机距离保护仿真子系统

微机距离保护仿真子系统主要由数据采集、保护测量和保护决策等模块构成,如图3所示。数据采集模块实现了前置模拟低通滤波、采样功能;保护测量模块包含了各种通用的基本算法,如半波积分算法、超前移项算法、傅立叶算法、比相算法、解微分方程算法等;保护决策模块中主要是实现了各种保

护动作特性,如距离保护的四边形特性、姆欧型特性等。

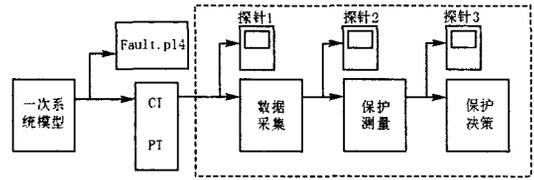


图3 微机距离保护仿真子系统

Fig 3 Simulation subsystem of microprocessor-based distance protection

前述各通用基本算法和元件算法均采用 Simulink实现。Simulink提供了一个系统级的建模与动态仿真工作平台,它是开放式的,允许用户定制自己的模块和模块库,从而实现组件化设计。在任何感兴趣的模块和元件输出端接入探针(scope),即可观察其波形,研究保护的動作行为。使用 Simulink进行保护仿真,不仅实现了保护仿真子系统各单元的组件化设计,而且增强了该系统的可视性,达到了透明化设计的目的。

1.4 微机距离保护性能评估子系统

评估继电保护性能的方法和指标根据不同的需要有所不同。本文主要从以下两个方面对微机距离保护性能进行评估。

(1) 保护测量算法的性能评估。

文[8]分别从时域和频域两方面提出了保护测量算法的评价指标。

时域指标:包括稳定时间 $t_{2\%}$ 、首次到达最大值时间 t_{\max} 、超调量 $y\%$ 以及稳态误差 $e\%$ 。上述指标越小,则保护测量算法的时域性能越好。

频域指标:包括直流成分增益、除基波外其他频率最大增益以及综合指标 F 。综合指标 F 越小,则该保护测量算法的频域性能越好。上述指标的详细定义见文[8],限于篇幅,此处不再赘述。

(2) 继电保护系统总体效率评估。

文[9]提出了下述保护系统总体效率评价指标:误动率、拒动率以及平均跳闸时间。误动率、拒动率越小,跳闸时间越短,则继电保护装置的总体性能就越好。上述指标详细定义参见文[9]。

通过程序自动分析大量故障仿真后产生的继电器动作数据库可以得到上述两类指标。在实际使用中,也可以根据需要增加新的保护性能评价算法。

2 软件实现

作为一个开放的、通用的距离保护动态仿真系

统,在软件设计上应识别并隔离系统中固定的部分和变化的部分。其中,固定的部分描述了系统的控制流程和公共算法,是系统中可被复用的成份;而变化的部分则应做成扩展槽(Extension slots),以使用户定制和扩展。为了实现上述设计目标,本系统采用了软件框架(Software Framework)技术。软件框架是一种微体系结构,为特定领域内的软件系统提供未完全实现的模板,包括特定问题的管理方法、问题处理策略、文档模板、代码模板等,它也可以是一个将要被扩展或(和)复用的子系统^[10]。微机距离保护动态仿真系统的主要类如图4所示。其中,白色方框中的类构成了该系统的复用部分,灰色方框中的类是该系统中的扩展点。依据该框架进行模块化设计,使得微机距离保护动态仿真系统具有开放性和易扩展等特点。

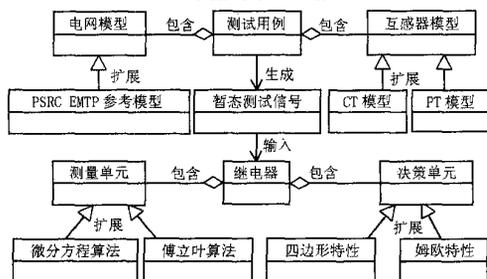


图4 仿真子系统 UML类图

Fig 4 UML classes of the simulation subsystem

3 仿真算例

本文主要对距离段的动作性能进行仿真测试。距离段保护整定为线路全长的85%。

为了更好地仿真发生在真实电力系统中的故障,本文利用 PSRC EMTD参考电网模型,随机产生了1000个故障模式,故障模式在如下参数范围中随机产生:故障位置(0~100%),过渡电阻(0~30Ω),故障注入角(0°~180°),CT负载(高、中、低),PT负载(高、中、低)。最终得到的距离保护总体效率指标如表1所示。

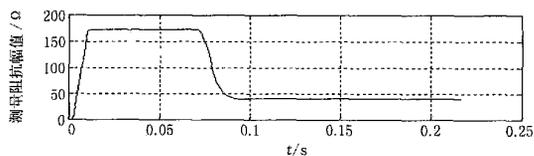
通过检索保护动作数据库,发现拒动主要发生在线路的末端,即81%~85%。从发生拒动的故障中随机挑选一个,其故障位置为82%,过渡电阻为14Ω,故障注入角为82°,故障发生时间为0.0705s。由于本系统可使保护动作过程透明化,使得可以多种手段分析保护拒动原因。现观测其测量阻抗幅值的时域响应,Z复平面轨迹,如图5所示。利用保护测量算法评估指标,可算得 $t_{2\%} = 0.0115s$, $y_{2\%} = 1.30\%$, $e_{2\%} = 1.04\%$,以上指标说明保护测量算法具有良好的时域特性,这点从图5(a)中也可直观看出。利用测量阻抗轨迹图对拒动做进一步分析,如图5(b)所示。可发现由于该故障位置临近距离段保护末端,加之过渡电阻的影响,使得测量阻抗位于距离段保护动作区外,故拒动。

表1 距离段保护总体效率指标

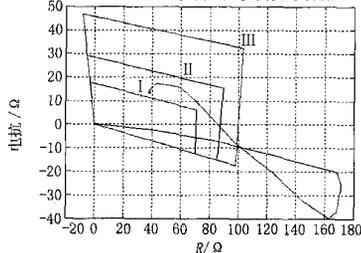
Tab 1 Overall performance indices of the distance protection (Zone I)

故障类型	保护线路	继电器模型	随机故障数目	拒动率	误动率	平均跳闸时间 /ms
BG	母线1-母线2第I回	距离继电器(四边形特性)	1000	15.4%	0.0%	13.92

注:表中误动率指在全线路85%~100%范围内。



(a) 距离保护测量阻抗幅值时域响应



(b) 距离保护测量阻抗轨迹

图5 测量阻抗图形显示结果

Fig 5 Graphics of impedance measurement

4 结论

本文利用 Matlab的 M语言,将故障仿真、保护仿真以及保护动作评价集成为一个完整系统;系统内嵌了 ATP,实现了距离保护暂态仿真;基于软件框架设计思想,使得系统具有良好的可复用性及可扩展性;充分利用 Matlab/Simulink仿真平台的优点,实现了保护动作过程的可视化与透明化。本系统已在电网故障分析系统、保护动作数据挖掘等系统中得到成功应用。

参考文献:

[1] 詹少伟,蔡泽祥,刘德志,等. 数字式距离保护仿真软件的开发[J]. 电网技术, 2006, 30(3): 89-90.

ZHAN Shao-wei, CAI Ze-xiang, LIU De-zhi, et al De-

- velopment of Digital Distance Protection Simulation Software[J]. Power System Technology, 2006, 30(3): 89-90.
- [2] 杨晓军,沈勇环,郭征,等. 开放式的继电保护动态特性仿真系统[J]. 电力系统及其自动化学报, 2003, 15(6): 2-5.
YANG Xiao-jun, SHEN Yong-huan, GUO Zheng, et al Exoteric Simulation System Basing Dynamic Characteristic of Relay Protection[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2003, 15(6): 2-5.
- [3] 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 Relay Protection Simulation Basing Data Exchange MATLAB and VB[J]. Electric Power Automation Equipment, 2006, 26(5): 92-95.
- [4] 李志兴,蔡泽祥,许志华. 继电保护装置动作逻辑的数字仿真系统[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(14): 97-101.
LI Zhi-xing, CAI Zhe-xiang, XU Zhi-hua Digital Simulation System of Action Logic for Relay Protection Device[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(14): 97-101.
- [5] CanAm EMTP User Group, Alternative Transient Program (ATP) RuleBook[Z]. Portland, 1992.
- [6] 盛义发,唐耀庚,苏泽光,等. 基于 MATLAB 的电力系统故障的仿真分析[J]. 南华大学学报, 2003, 17(4): 45-51.
SHENG Yi-fa, TANG Yao-geng, SHU Ze-guang, et al Simulation Analyzing of Power System Fault Basing MATLAB[J]. Transaction of Nanhua University, 2003, 17(4): 45-51.
- [7] Power System Relaying Committee (2004) EMTP Reference Models for Transmission Line Relay Testing [EB/OL]. Available: <http://www.pespsrc.org/>
- [8] Kezunovic M. Design Optimization and Performance Evaluation of the Relaying Algorithms, Relays and Protective Systems Using Advanced Testing Tools[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2000.
- [9] Udren EA, Upp JA, Michel GL, et al Proposed Statistical Performance Measures for Microprocessor Based Transmission Line Protective Relays[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1997.
- [10] 刘瑜,王立福,张世琨. 软件框架开发过程研究[J]. 计算机技术与发展, 2004, (2): 26-28, 108.
LU Yu, WANG Li-fu, ZHANG Shi-kun Study on Framework-related Develop Process[J]. Computer Technology and Development, 2004, (2): 26-28, 108.

收稿日期: 2006-06-09; 修回日期: 2006-09-19

作者简介:

程刚(1979-),男,硕士研究生,主要研究方向为电力系统继电保护及软件工程;E-mail: islandhill@sjtu.edu.cn

张沛超(1970-),男,博士,副教授,从事电力系统及其自动化的教学和研究工作。

Dynamic simulation of microprocessor-based distance protection based on Matlab and ATP

CHENG Gang, ZHANG Pei-chao

(School of Electronic Information and Electrical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: In this paper, the fault simulation sub-system and the protection simulation sub-system are integrated in a system by using Matlab. Matlab and ATP can share the simulation data and the Simulink is used to simulate the relay protection. Then the performance indices of microprocessor-based distance protection, such as the rate of unwanted trip, the rate of failure to trip and the average trip time, can be calculated. The software framework technology is applied in the system and the associated classes are introduced. The integrated system synchronizes fault simulation program and protection simulation program. As a result, the system has the characteristics of openness, integrative and visibility. The simulation demonstrates that the system is flexible and can be used to observe the internal actions of protections, and to analyze the dynamic characteristics of relay protection devices.

Key words: Matlab; ATP; distance protection; protection performance; simulation

欢迎投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告