

基于 DDRTS 的电能质量实时仿真平台

董海艳, 贾清泉

(燕山大学电气工程学院, 河北 秦皇岛 066004)

摘要: 正确检测和分析电能质量扰动对治理和改善电能质量具有重要意义。基于数字动态实时仿真系统 DDRTS 构建了电能质量实时仿真与分布式监测平台。该平台应用 DDRTS 提供的电磁暂态仿真软件进行电能质量扰动实时仿真, 通过高速接口设备将电网各节点的仿真数据实时输出给电能质量监测装置。利用该仿真测试平台可实现各种电能质量扰动的实时仿真, 进行电能质量检测和分析方法的验证以及电能质量监测装置和分布式监测系统的性能测试。

关键词: 电能质量; 实时仿真; 在线监测; DDRTS

A platform of power quality real-time simulation based on DDRTS

DONG Hai-yan, JIA Qing-quan

(Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: Correct detection and analysis of the power quality disturbance have an important significance to improve the quality of power. This paper constructs a platform of the power quality real-time simulation and distributed monitoring based on the digital dynamic real-time simulation (DDRTS). The platform uses the electro-magnetic transient simulation software simulating the power quality disturbance. Through the high-speed interface device, it gives out the simulation results of each node in grid to the power quality monitoring device. Using the simulation testing platform can realize the real-time simulation of the various power quality disturbances, detect the power quality, verify the analysis method, and test the performance of the power quality monitoring device and distributed monitoring system.

Key words: power quality; real-time simulation; on-line monitoring; DDRTS

中图分类号: TM714 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)24-0142-04

0 引言

随着用电设备的复杂化, 电能质量问题受到越来越多的关注。对电能质量进行监测是获得电能质量信息的直接途径。通过对电能质量的实时监测, 可以及时全面地掌握电网和用户的电能质量状况, 采取妥善措施来改善电能质量。当电网发生电能质量扰动时, 由于扰动具有传播性质, 对单一监测点的电能质量监测不能全面反映扰动情况和进行深层次的扰动分析。分布式网络化电能质量监测系统可以将电网中各个监测点的电能质量数据汇总到电能质量管理系统中进行更全面的分析, 实现更高级的分析功能, 网络化电能质量监测系统成为发展的趋势^[1-6]。

目前电能质量检测和分析方面的研究还非常不成熟, 尤其对于电压凹陷等动态电能质量扰动的检测和分析方法尚没有形成统一标准, 很多新理论、新方法不断地应用到该领域中^[7,10]。高性能的电能

质量监测装置、网络化监测系统还有待于开发、试验和应用。为方便电能质量检测与分析理论的研究和电能质量监测系统的开发, 本文提出一种基于 DDRTS 的电能质量实时仿真系统, 应用 DDRTS 提供的电磁暂态仿真软件进行电能质量扰动实时仿真, 将电网各节点的实时仿真数据通过高速接口设备输出给电能质量监测装置。利用该仿真平台可实现各种电能质量扰动的实时仿真, 进行电能质量监测系统的性能测试和电能质量检测、分析方法的验证。

1 DDRTS 仿真系统简介

数字动态实时仿真系统 DDRTS (Digital Dynamic Real-Time Simulator)是由深圳殷图科技发展有限公司、东北电力调度通信中心与清华大学共同开发的一种全数字化的电网实时仿真与闭环试验系统。它是大型软件系统与复杂硬件系统的结合体, 通过高速通信系统和信号转换与输入输出系统连接

外部设备, 可进行继电保护装置、安全自动装置以及其它测量控制装置的实时闭环试验。DDRTS 对装置进行实时闭环试验的原理如图 1 所示。

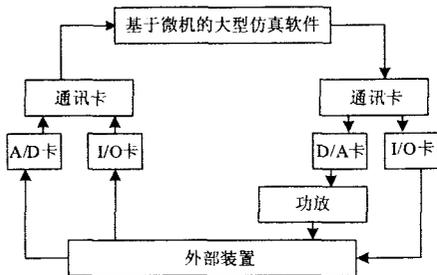


图 1 数字动态实时仿真装置闭环试验原理

Fig. 1 Close-loop testing principle of DDRTS

DDRTS 的核心是大型电力系统电磁暂态仿真软件 NETSP, 利用 NETSP 在计算机上建立数字仿真系统, 计算机对所模拟的系统进行动态实时仿真, 并将待测装置测试所需的电压、电流等信号经插在主机上的通讯卡输出, 经过信号转换与输入输出系统的数模转换和功率放大器送入待测装置, 以进行装置的实时测试。同时, 待测装置的响应信号可通过信号转换与输入输出系统实时反馈给计算机, 形成闭环测试。如保护装置发出跳闸信号后, 其所控制的数字断路器将跳开, 数字仿真系统将按照变化后的系统结构继续进行仿真。这种实时闭环测试的动态交互效果是传统开环测试装置如继电保护测试等所达不到的。

DDRTS 具有模型丰富、建模方便、成本低、扩展性和兼容性好等优点, 是进行电力系统实时数字仿真的一个有力工具。

2 电能质量实时仿真与分布式监测平台

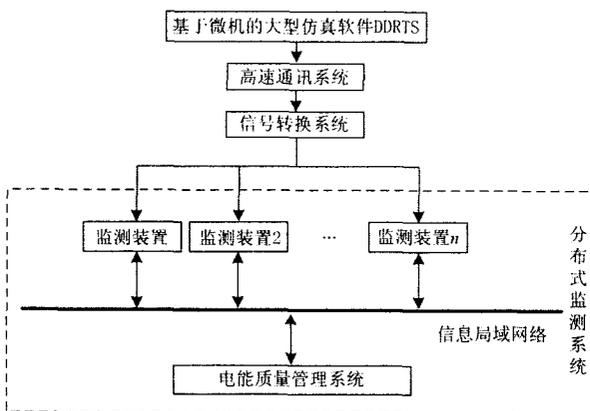


图 2 电能质量实时仿真与分布式监测平台

Fig. 2 A platform of the power quality real-time simulation and distributed monitoring

基于 DDRTS 的电能质量实时仿真与分布式监测平台主要由实时仿真系统和分布式监测系统两大部分组成, 结构如图 2 所示。平台就是利用 NETSP 在计算机上建立数字仿真系统, 进行电能质量扰动实时仿真, 并将电网各节点的仿真数据经插在 PC 机上的、基于数字信号处理器的通讯卡输出, 通过信号转换系统送入电能质量监测装置。该仿真测试平台利用电能质量监测装置和分布式监测系统可以对电能质量检测和分析方法进行验证; 同时, 电能质量监测装置和分布式监测系统还有很多功能正在开发, 将其作为待测装置, 基于此平台可以利用电能质量实时仿真系统对其进行性能测试。

2.1 实时仿真系统的软件构成

实时仿真系统的软件主要由以下 4 个部分组成:

(1) 大型电力系统电磁暂态仿真系统。

(2) 图形化电力系统仿真建模系统: 包括全中文友好的图形化界面、系统元件的拓扑关系以及参数输入、系统仿真的图形化输出以及后台数据库管理等模块。

(3) 实时仿真进程控制系统: 包括实时通信、同步控制、底层硬件驱动以及信号转换和输入输出处理等模块。

(4) DDRTS 系统辅助功能模块: 包括静态继电器测试模块、信号发生及谐波测试模块、实时回放测试模块以及系统硬件配置模块等。

2.2 实时仿真系统的硬件构成及实现功能

实时仿真系统的硬件主要由微机、高速通信系统、信号转换系统三部分组成。

(1) 微机

微机上装有大型仿真软件 DDRTS。微机采用高速微处理器, 以提升仿真计算速度。利用 DDRTS 提供的电磁暂态仿真软件 NETSP 建立数字仿真系统, 进行电能质量扰动仿真。

(2) 高速通信系统

高速通信系统的核心为基于数字信号处理器 (DSP) 和 PCI 总线技术的通信卡, 用于微机与信号转换系统之间的数据通信。在数字仿真系统中设有若干监测点, 高速通信系统就是将监测点的电压、电流数据输出给信号转换系统。DDRTS 系统具有良好的可扩展性, 利用微机的 PCI 插槽可以实现与多个通讯卡连接, 每个通讯卡支持 32 路数据通信。

DDRTS 采用双处理器体系结构和数据缓存方法。双处理器体系结构是指微机的 CPU 和通讯卡的 DSP。通讯卡以 DSP 为运算处理单元, 通过双口 RAM 与微机通信。微机将每一个仿真步长点计算

输出的数据实时写到双口 RAM 中，通讯卡 DSP 负责每间隔仿真步长时间从双口 RAM 中取出一组数据放到 RAM 数据缓冲区。RAM 数据缓冲区的处理机制为先进先出(FIFO)。每间隔仿真步长时间，通讯卡 DSP 从 RAM 数据缓冲区中取出一组数据，经 D/A 转换单元送往外部监测装置。

由此可见，微机的 CPU 专注于仿真计算，而基于 DSP 的通讯卡负责处理与外部输入输出接口的通信工作，仿真工作和通信工作同时进行。两个处理器并行工作，可以提高微机 CPU 的仿真计算利用率，从而显著提高实时仿真的速度。

(3) 信号转换系统

32 路 16 位 D/A 转换，用于将电网各节点的仿真数据转换成模拟量送入分布式电能质量监测系统，其中 16 路电压信号，16 路电流信号。模拟量输出范围：± 10 V。

在仿真平台上选择“实时闭环试验”后，设置电压、电流通道属性，将电网各监测点的电压、电流信号经高速通信系统、信号转换系统输出给对应的监测装置。所需 D/A 单元的数目由仿真系统中的监测点数目决定。为了保证数据传输的实时性，可以利用 3 个通讯卡支持 96 路数据通信，通过 3 个 D/A 单元将电压、电流模拟量送入分布式电能质量监测终端。

3 电能质量扰动仿真

在电能质量实时仿真与分布式监测平台上，为了实现检测方法的验证或装置的性能测试，首先要利用 DDRTS 仿真软件建立适合研究需要的仿真系统，进行电能质量扰动仿真。这里以一个简单的 10 kV 系统为例用 DDRTS 软件进行仿真。

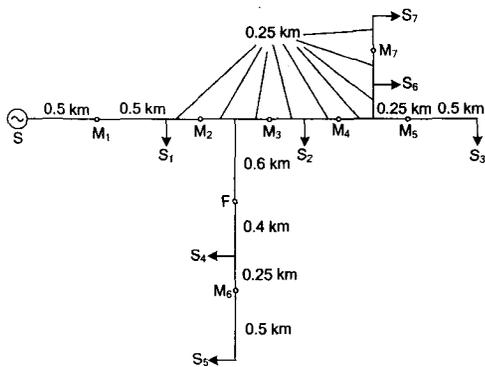


图 3 10 kV 仿真系统图

Fig. 3 Topology of 10kV distribution system

建立如图 3 所示系统结构图。图中 S₁~ S₇ 表示负

荷，M₁~ M₇ 表示监测点。线路供电半径为 3.25 km，功率因数 λ=0.95，线路采用 LGJ-120，具体参数为：R=0.25 Ω/km，X_L=0.34 Ω/km。根据图 3 在 DDRTS 仿真系统中搭建仿真系统结构图，如图 4 所示。通过 DDRTS 对短路故障和投切电容器两种扰动情况进行仿真。

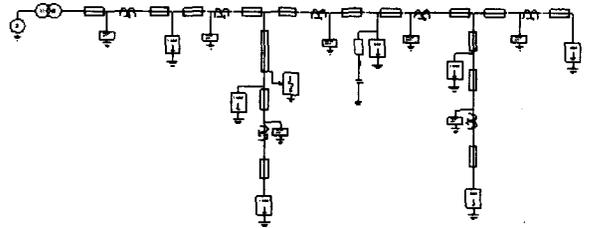


图 4 DDRTS 仿真系统结构图

Fig. 4 Structure of simulation system in DDRTS

(1) 短路故障

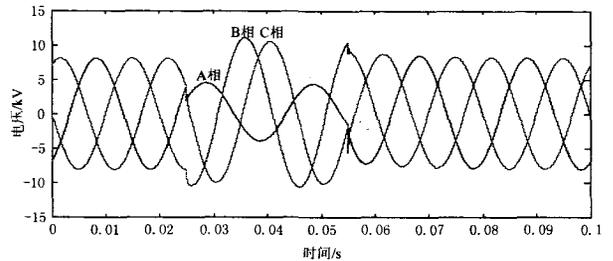


图 5 监测点 M₁ 电压波形

Fig. 5 Voltage waveform at monitoring M₁

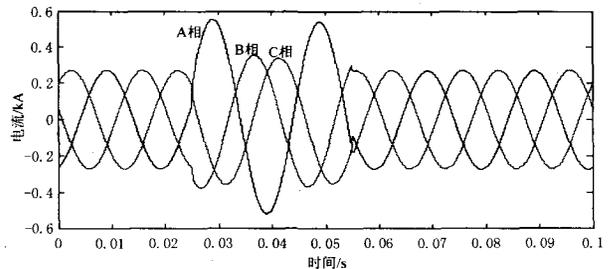


图 6 监测点 M₁ 电流波形

Fig. 6 Current waveform at monitoring M₁

在 DDRTS 系统中，通过使用故障元件，可以非常方便地实现各种故障设置，可任意指定故障发生的时刻、类型和位置。在系统中可设置多个故障，并通过不同的时序和故障设置实现各种复杂故障，如发展性故障、转换性故障等。

此例中，10 kV 中性点不接地系统，在线路 F 点设置 A 相接地短路故障，该故障为瞬时性故障。设故障接地电阻为 10 Ω，故障的发生时刻为 t=0.025 s，故障持续时间为 0.03 s，故障切除后系统

正常工作。监测点 M_1 的仿真结果如图 5 和图 6 所示。

由图可见, 故障发生后 A 相电压降低, B 相和 C 相电压升高, A 相有较大的故障电流。

(2) 投切电容器

设负荷 S_2 功率因数下降至 0.6, 需要并联电容器提高功率因数至 0.95。在 0.035 s 时, 投切电容 30 μF , 监测点 M_3 的 B 相电压、电流波形如图 7 和图 8 所示。

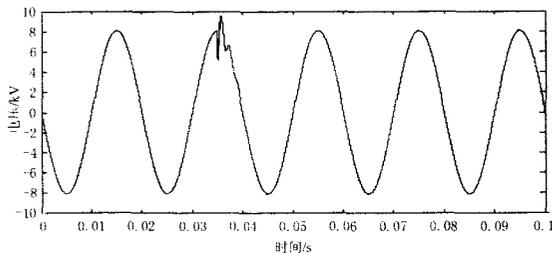


图 7 监测点 M_3 电压波形

Fig. 7 Voltage waveform at monitoring M_3

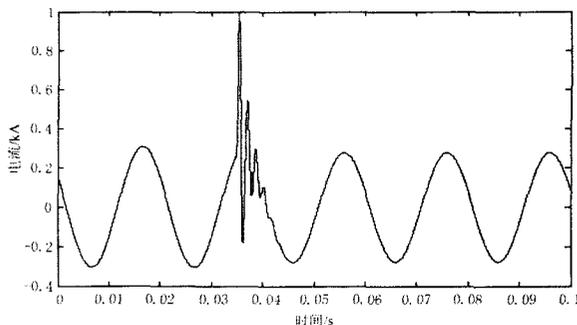


图 8 监测点 M_3 电流波形

Fig. 8 Current waveform at monitoring M_3

当电容器投入时, 并不能瞬间达到稳态, 需要一个暂态过程, 造成了脉冲暂态扰动, 产生过电压。

4 结论

现代社会的快速发展对电能质量, 特别是暂态电能质量的要求越来越高, 电能质量扰动问题已引起各国电力行业的高度重视。基于 DDRTS 的电能质量实时仿真平台可以为电能质量扰动检测、分析以及装置的研发等研究工作提供一个低成本、高性能的试验环境。

参考文献

[1] 翁国庆, 张有兵. 网络化电能质量监测与分析系统的设计[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(15): 79-82.
WENG Guo-qing, ZHANG You-bing. Design of a Networked Power Quality Monitoring and Analysis System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(15): 79-82.

[2] McGranaghan M. Trends in Power Quality Monitoring[J]. IEEE Power Engineering Review, 2001, 21(10): 3-6, 21.
[3] Daponte P, Penta M D, Mercurio G. Transient Meter: a Distributed Measurement System for Power Quality Monitoring[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 2004, 19(2): 456-463.
[4] 徐永海, 肖湘宁. 电力市场环境下的电能质量问题[J]. 电网技术, 2004, 28(22): 48-52.
XU Yong-hai, XIAO Xiang-ning. Power Quality Problems in Deregulated Power Systems[J]. Power System Technology, 2004, 28(22): 48-52.
[5] 丁屹峰, 程浩忠, 占勇, 等. 电能质量监测技术现状及发展[J]. 中国电力, 2004, 37(7): 16-19.
DING Yi-feng, CHENG Hao-zhong, ZHAN Yong, et al. The Current Situation and Development of Power Quality Monitoring Technology[J]. Electric Power, 2004, 37(7): 16-19.
[6] Lee R P K, Lai L L, Tse N. A Web-based Multi-channel Power Quality Monitoring System for a Large Network[A]. in: Fifth International Conference on Power System Management and Control (PSMC) IEE[C]. London: 2002.
[7] OUYANG Sen, WANG Jian-hua. A New Morphology Method for Enhancing Power Quality Monitoring System[J]. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2007, 29(2): 121-128.
[8] 李加升, 戴瑜兴, 黄文清. 电能质量扰动及其在线监测装置的设计[J]. 电力系统保护与控制, 2008, 36(18): 69-72.
LI Jia-sheng, DAI Yu-xing, HUANG Wen-qing. Power Quality Disturbance and Design of On-line Monitoring Device[J]. Power System Protection and Control, 2008, 36(18): 69-72.
[9] 王丽霞, 何正友, 赵静. 基于数学形态学的电能质量扰动检测和定位[J]. 电网技术, 2008, 32(10): 63-68.
WANG Li-xia, HE Zheng-you, ZHAO Jing. Detection and Location of Power Quality Disturbance Based on Mathematical Morphology[J]. Power System Technology, 2008, 32(10): 63-68.
[10] 赵凤展, 杨仁刚. 基于短时傅里叶变换的电压暂降扰动检测[J]. 中国电机工程学报, 2007, 27(10): 28-34.
ZHAO Feng-zhan, YANG Ren-gang. Voltage Sag Disturbance Detection Based on Short Time Fourier Transform[J]. Proceedings of the CSEE, 2007, 27(10): 28-34.

收稿日期: 2009-02-24

作者简介:

董海艳 (1978-), 女, 硕士研究生, 主要从事电能质量研究; E-mail: dyldhy@163.com

贾清泉 (1970-), 男, 博士, 教授, 主要从事电能质量以及信号处理研究。