

基于广域测量技术的电网实时动态监测系统应用

罗建裕¹, 王小英¹, 鲁庭瑞¹, 刘华伟¹, 徐春雷¹, 谢小荣², 肖晋宇², 李 建²,
吴京涛³, 王立鼎³, 胡 炯³, 张 涛³

(1. 江苏省电力公司, 江苏省南京市 210024; 2. 清华大学, 北京市 100084)

(3. 北京四方同创保护与控制设备有限公司, 北京市 100085)

摘要: 基于同步相量技术的广域动态监测系统, 可以在时空坐标下监测电力系统动态运行特性, 弥补了现有 SCADA 系统和故障录波系统的不足, 为实现全网实时控制、提高大电网安全稳定性和传输能力提供了新的途径。文中较详细地介绍了江苏电网广域实时动态监测系统的基本原理、体系结构、功能设计及工程应用情况。

关键词: 广域监测系统; 相量测量单元; 电力数据网络; 电力系统

中图分类号: TM73; TP277

0 引言

20 世纪 90 年代初, 基于全球定位系统(GPS)的相量测量单元(PMU)的成功研制^[1], 标志着同步相量技术的诞生。1993 年美国研制出第 1 台 PMU 装置, 标志着同步相量技术的实用化^[2]。此后, 美国的 WSCC 和 BPA 先后在系统中布置了上百个 PMU, 形成了广域实时动态监测系统(WAMS), 获得了良好的社会效益和经济效益。法国在同步相量技术基础上构建了全国性的协调防御系统。我国在同步相量技术领域的研究始于 1995 年前后^[3,4], 并实现了局部的相量测量和记录功能, 但未能实现高速的网络互联, 更缺少一个高效的中心管理系统。在功能上主要作为故障录波器使用, 没有达到对电网运行状态进行广域在线实时监测的目的, 因此, 尚未形成真正意义上的广域动态监测系统。

江苏省电力公司与北京四方同创保护与控制设备公司以及清华大学等单位进行密切合作, 开发并实施了新一代电网 WAMS。江苏电网 WAMS 分 3 期完成, 近期目标是对电力系统的动态过程进行监测和分析, 逐步实现与 EMS 及安全自动控制系统的连接; 远期目标是对电力系统的动态过程进行控制。目前, 由三方合作开发完成的 WAMS 已在江苏电力调度通信中心、徐州发电厂、500 kV 斗山变电站投入运行。后期 WAMS 系统将覆盖装机容量在 1 GW 以上的发电厂 5 个、对电网稳定运行比较敏感或需要进行发电机进相控制的发电厂 4 个以及 500 kV 枢纽变电站 4 个。

1 基本原理

在发电厂和变电站安装 PMU, 完成对母线电压和线路电流的三相交流采样, 采用相量算法计算正负零序相量、频率和功率, 对于发电厂还得到机组的内电势相量, 然后, 由 GPS 接收器提供的高精度时钟信号将测量结果打上时标, 继而遵循共同的接口协议(如 IEEE 1344 标准)将带时标的相量数据打包, 并通过高速通信网络传送到数据中心, 数据中心对各子站的相量进行同步处理和存储, 并可计算系统惯性中心角度和各机组、母线的相对相角, 进一步由相应的应用程序对相量数据执行实时评估, 以动态监视电网的安全稳定性, 或进行离线分析, 为系统的优化运行提供依据, 进一步与电网控制结合起来, 能提高电网的安全稳定水平和传输能力。

2 体系结构

WAMS 由 PMU 子站、调度中心站(主站)和国家电力数据通信网组成, 系统结构如图 1 所示。

2.1 PMU 子站

PMU 子站包括 GPS、测量、监控和通信 4 个主要功能模块。

a. GPS 模块: 接收 GPS 授时信号, 为测量和监控模块提供高精度时间信息。

b. 测量模块: 采集和处理模拟量和开关量信号, 生成带时标的同步相量数据。

c. 监控模块: 对 PMU 子站各功能模块进行监视和管理, 就地计算机提供交互式人机界面, 便于运行和调试时修改有关配置参数。

d. 通信模块: PMU 子站经通信模块接入数据

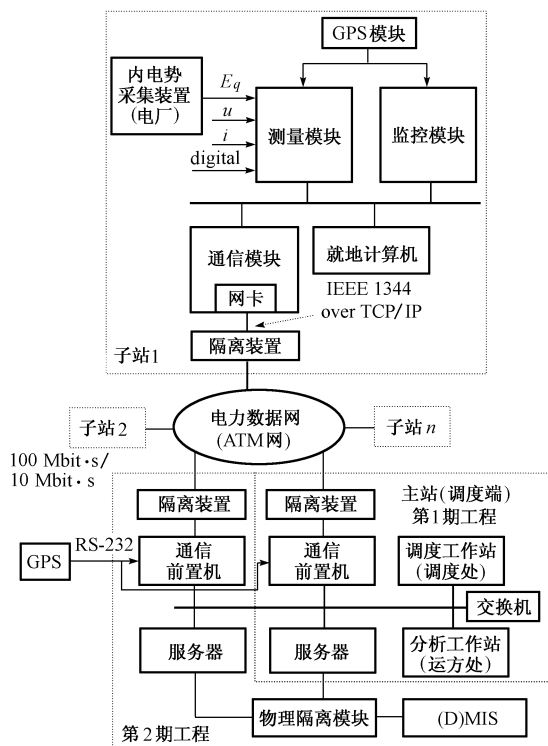


图 1 WAMS 的系统结构
Fig. 1 Architecture of WAMS

网,与主站进行通信。

2.2 调度中心站

主站设在省调度中心,包括通信前置机、服务器和应用工作站,构成相对独立的 WAMS 主站应用系统。第 1 期工程在自动化机房配置 1 面主机柜,由 1 台通信前置机和 1 台服务器构成,它们通过 CISCO 4003 交换机扩展板与电力数据通信网相连;在调度台和运方办公室各设置 1 台应用工作站,前者主要用于系统动态安全的实时监控,后者实现在线和离线分析及管理功能。规划在实施第 2 期工程时,增加 1 套通信前置机和服务器,构成双机互备用系统,并增设单独的网络物理隔离设备,与调度 MIS 通信,为实现稳定控制预决策及 Web 信息发布等功能提供条件。

2.3 数据通信网

WAMS 的各 PMU 子站和主站通过电力数据网络互联。江苏电力数据网络是国家电力数据网络 (SPDnet) 的组成部分^[5], 能将各种 IP 业务在数据链路层进行有效隔离。为保证 WAMS 的安全性, 各 PMU 子站和调度端主站都经过隔离装置连接本站的交换机, 继而接入数据网, 构成一个 ATM 实时 VPN。站间的通信基于 TCP/IP 传输协议, 在应用层上严格遵循国家电力调度中心最近制定的《电力系统实时动态监测系统技术规范》(试行)(以下简称

《技术规范》)。PMU 子站和主站之间存在 3 种有效的实时信息帧格式:①相量数据帧(data frame), 包含 PMU 测量所得的相量;②头帧(header frame), 用来传输相量测量的基本参数, 如数据源、数据比例以及算法、变送器和滤波器的参数等;③配置帧(configuration frame), 包含有关 PMU 子站或主站的信息, 如站名与标识、通道数、相量和数字量数目、额定频率、数据传输率等。

帧的具体格式参见《技术规范》或 IEEE 1344 标准^[6]。PMU 测量延时取决于 PMU 的硬件和软件配置,包括传感器延时、DFT 算法延时、数据编码与打包延时等,由于采用高速 DSP 采集和计算模块以及实时操作系统,这部分延时低于 10 ms。数据传输延时主要包括数据加载延时、连接传播延时和中继延时,由于在高速 ATM 网络上采用端到端的 VPN,相当于在站间实现了近似“专线”通信,单个相量数据包(大小在 64 字节以下)在站间的传输延时为 40 ms~60 ms。中心站接收数据后,进行同步处理并写入实时数据库,相应的延时很小,在几 ms 以内。因此,端到端的数据传输时间小于 100 ms,能较好地满足动态监测的需要。

3 系统功能

3.1 PMU 子站功能

- a. 同步相量测量、扰动录波与重演、接受本地手动录波指令和来自中心站的联网录波指令,以及与其他 PMU 子站和中心站进行数据通信。
- b. 与站内其他数字系统按照 IEC 870-5-103 协议交换信息,提供 RS-232 (可转换为 RS-422/RS-485)通信接口。
- c. 具有在线自动检测、状态监视、相角监视功能。
- d. 安装在发电厂的 PMU 具备功角稳定分析与预测功能,以及机组安全稳定运行区域和进相深度监视、报警。
- e. 变电站的 PMU 能实时监视线路的功率稳定裕度和振荡特性。PMU 还预留了稳定控制接口。

- ### 3.2 中心站功能

- WAMS 中心站的功能结构如图 2 所示,包括数据中心、实时监视与分析、离线分析和稳定控制 4 个

- 子系统,分别运行于数据中心服务器(包括通信前置机、数据 Web 服务器)、调度台应用工作站、运方分

- 析工作站上。服务器和工作站采用 Windows 2000 操作系统,历史数据库系统为 MS SQL Server

2000,通过电力数

子站。

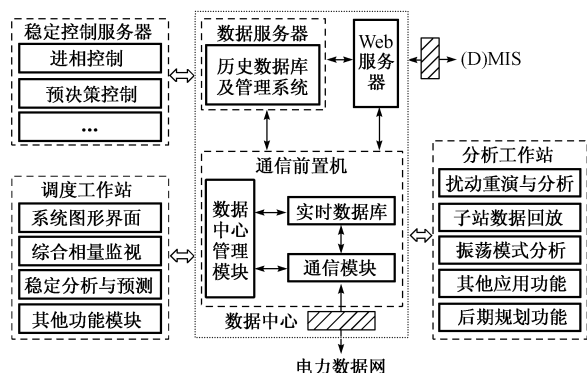


图2 WAMS中心站功能结构

Fig. 2 Function illustration of WAMS central station

3.2.1 数据中心

数据中心由以下部分组成:

- 负责 WAMS 中心站与各子站以及其他数字系统数据通信的通信模块。
- 以时间为断面保存几 s 内(时间长度可定制)的实时相量数据库。
- 对数据中心的数据和程序进行综合管理配置以及人机交互的数据中心管理模块。
- 用以存放非实时数据和各种配置信息并对其进行管理的历史数据库及其管理模块。
- 提供 WAMS 信息的 Web 方式发布和管理的 Web 服务器。

3.2.2 调度工作站

调度工作站设置在省调度室,主要完成 WAMS 的实时监测和分析功能,供调度员及时掌握时空坐标下的电网动态运行特性,主要包括系统图形界面、综合相量监视、机组安全稳定运行区域、进相深度和失稳预测和在线扰动识别等功能。在 PMU 布点数目比较多的情况下,可实现利用各子站实时数据进行故障的定区,识别系统短路故障、机组振荡与失步、同调机组的识别和电压失稳等。提供“动画获取和回放”工具,可抓取显示界面任意区域的动态图像,并保存成 AVI 文件格式,供将来回放和编辑。

3.2.3 分析工作站

分析工作站设置在运行方式处,主要完成 WAMS 的离线和事后分析工作,为系统运行方式的制定和校核提供依据。主要功能包括:扰动重演与分析、子站数据回放、利用频域分析工具(FFT 和 Prony 算法)分析系统的振荡模式和仿真曲线校核,自动读取 PSASP 或 BPA 仿真计算结果,与实测曲线进行比较,以及谐波分析、负荷特性与机组参数的辨识等。

3.2.4 稳定控制服务器

主要实现发电机进相控制,根据实时相角变化轨迹,实现诸如切机、切负荷、快关汽门、解列、再同步等一系列紧急安全控制,为发电机的励磁控制、调速控制、SVC 电压控制提供同步相量信息,实现闭环反馈控制。

4 结语

经过三方的通力协作,江苏 WAMS 第 1 期工程于 2002 年初启动,2003 年 4 月底调试结束,投入试运行。计划在 2003 年 8 月前,再在江苏电网的 6 个主力电厂和 1 个 500 kV 变电站装设该系统,第 2 期和第 3 期工程中确定的子站和控制软件也将在 2004 年底前实现。届时,江苏电网将建立起比较完备的江苏电网广域动态监测与稳定控制系统,电网的实时稳定监测水平和控制能力将进一步提高。

参考文献

- 卢志刚,郝玉山,康庆平,等(Lu Zhigang, Hao Yushan, Kang Qingping, et al). 电力系统相角测量和应用(Phasor Measurement and Its Application in Power Systems). 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 1997, 21(4): 41~44
- Phadke A G. Synchronized Phasor Measurements in Power Systems. IEEE Computer Applications in Power, 1993, 6(2): 10~15
- 闵勇,丁仁杰,任勇,等(Min Yong, Ding Renjie, Ren Yong, et al). 电力系统全网同步监测系统(Investigation of Global Synchronized Monitoring System in Power Systems). 北京:清华大学学报(Beijing: Journal of Tsinghua University), 1997, 37(7): 86~88
- 卢志刚,郝玉山,康庆平,等(Lu Zhigang, Hao Yushan, Kang Qingping, et al). 电力系统实时相角监控系统研究(Research on the Phase Angle Monitoring Control System in Power System). 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 1997, 21(9): 17~19
- 鲁庭瑞,李斌,崔恒志,等(Lu Tingrui, Li Bin, Cui Hengzhi, et al). 江苏电力数据网络及其应用(Application of Power Data Network). 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2002, 26(2): 78~79
- IEEE Std 1344—1995 (R2001). IEEE Standard for Synchrophasors for Power Systems. 2001

罗建裕(1961—),男,高级工程师,江苏省电力公司二级专家,从事电网稳定管理及稳定控制技术的研究。E-mail: hoffmanluo@sina.com

王小英(1966—),女,高级工程师,运行方式处处长,从事电网运行方式管理和新技术的应用。

鲁庭瑞(1958—),男,高级工程师,调度中心主任,从事电网调度管理工作。