

# 电力系统实时动态监测系统传输规约仿真主站的开发与应用

侯俊飞, 严春香, 李国杰, 杨亚丽, 冯 昊, 杨明明

(许继集团有限公司, 河南 许昌 461000)

**摘要:** 首先阐述了电力系统实时动态监测系统在电网中的发展趋势及其系统结构, 对相量数据集中器(PDC)和WAMS主站之间通信测试中存在的测试流程和难点进行了梳理和研究, 采取开发一款电力系统实时动态监测系统传输规约仿真主站的方法来解决测试中的难点, 并提高其测试自动化程度; 详细叙述了仿真主站的软件设计方案, 从仿真主站功能角度论述了各主要功能模块的实现过程, 并通过在产品测试中的大量应用验证了仿真主站功能的正确性和性能的可靠性。

**关键词:** 动态监测; PMU; PDC; 仿真; 测试

## Development and application of simulation master station based on transmission protocol for power system real-time dynamic monitoring system

HOU Junfei, YAN Chunxiang, LI Guojie, YANG Yali, FENG Hao, YANG Mingming

( XJ Group Corporation, Xuchang 461000, China)

**Abstract:** Combined with the development trend and system structure of the real-time dynamic monitoring system of power system, the test flow of the communication test between the PDC and the WAMS master station are combed, and the difficulties in the test are studied. In order to solve these difficulties and improve the degree of automation of the test, a solution is proposed which is developing a simulation master station based on power system real time dynamic monitoring system transmission protocol. The design scheme of the simulation master station is described in detail. The realization process of each main function module is discussed. and the correctness of function and the reliability of performance of the simulation master station is verified through a large number of applications in product testing.

**Key words:** dynamic monitoring; PMU; PDC; simulation; test

## 0 引言

随着我国电网技术的不断发展, 以特高压电网为骨干网架, 最终形成全国联网的坚强智能电网格局正在逐步形成。大区电网互联在提高电力系统运行经济性的同时, 也使电网系统

的动态过程变得更为复杂, 电网发生低频振荡和同步振荡的可能性大幅增加。为了保证电网的安全、稳定运行, 全国各大区域电网和省网已经开始建设或正在建设电力系统实时动态监测系统, 相量测量装置(PMU)和数据集中器

(PDC) 作为智能输变电领域的重要组件和智能调控中心的重要组成部分, 被投入至500 kV和部分220 kV关键智能变电站的运行生产中<sup>[1-2]</sup>。通过建立一套完善的电网实时动态监测系统来监控电网实时运行状态, 对电网调控决策提供数据支撑具有重要意义<sup>[3]</sup>。

为了规范和增强不同设备生产厂家PMU与PDC、PDC与主站之间通信的互联互通和互操作性, 在2011年中国电力系统管理及其信息交换标准化技术委员会结合中国电力系统的特点, 颁布了GB/T 26865.2—2011《电力系统实时动态监测系统 第2部分: 数据传输协议》, 对于实时通信数据单元结构、通信控制命令、通信流程和离线数据传输规约等内容进行了详细的规定和要求<sup>[4-7]</sup>。

作为设备供应商, 如何保证自己研发的PMU和PDC在功能和性能以及协议一致性方面满足相关技术标准的要求, 是产品测试的根本任务, 也是测试过程中的难点。为了解决此问题, 特开发一款完全符合《电力系统实时动态监测系统 第2部分: 数据传输协议》要求的实时动态监测系统仿真主站, 在测试过程中完成与数据集中器的数据接入和数据解析等功能。

## 1 电力系统实时动态监测系统构成

电力系统实施动态监测系统相量数据的传输流程为: 在智能变电站中, PMU将接收的电流、电压、开关量状态以及相量计算和功角测量等数据经过计算得到系统需要的相量数据传送给PDC, PDC按照绝对时标进行数据对齐、合并及抽取计算, 然后通过电力调度专网均匀地传送给WAMS主站, 并将这些数据在本地进行存储<sup>[8-11]</sup>。电力系统实施动态监测系统典型的网络结构如图1所示。

PDC与WAMS主站数据交互有以下三个特点:

1) 实时数据交互量很大, PDC必须能以最快100帧/s的速率向主站均匀发送实时相量数据。

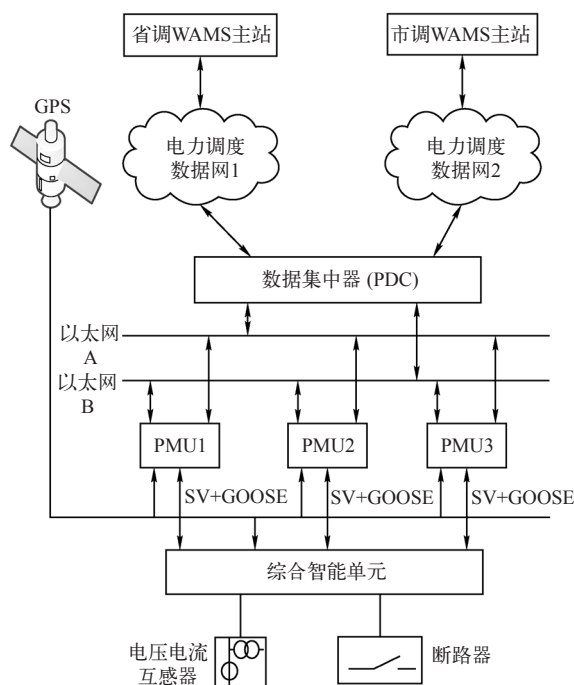


图1 电力系统实时动态监测系统典型网络结构

Fig. 1 Structure of power system real-time dynamic monitoring system

2) 能够定制发送的内容, WAMS主站通过下发CFG2配置文件, 要求PDC根据配置选择性地发送相量数据。

3) 实时动态数据传输的同时, 支持离线动态文件和离线暂态文件的调取。

如果采用人工检测方式对PMU和PDC的功能、性能及协议一致性进行测试, 每秒大量的数据交互报文使测试人员应接不暇, 测试正确率和效率都不能得到保证, 亟需开发一款仿真主站软件来实现自动测试。

## 2 仿真主站软件设计

电力系统实时动态监测系统传输规约仿真主站主要完成PDC数据的接入、处理及存储功能<sup>[12-16]</sup>。将需要发送的数据组装成报文, 通过TCP/IP协议库提供的接口转发给TCP/IP协议库, 由TCP/IP协议库组装成TCP/IP数据包发送到网络上; 同时接收PDC应用模块上送的CFG1帧、实时数据帧、离线数据及心跳报文等信息, 完成与PDC之间的数据交互, 并完成

上述应用报文的在线解析及展示。

## 2.1 软件结构设计

软件采用结构化架构设计，既便于软件模块的实现，又便于新的应用功能扩充。装置软件从架构上分三个层次，分别为网络通信层、数据接入层和数据处理层。软件设计层次分明，接口清晰明确，模块之间耦合度低，每个结构层都可以独立更新功能而不影响其他模块的正常运行。其软件设计框架如图2所示。

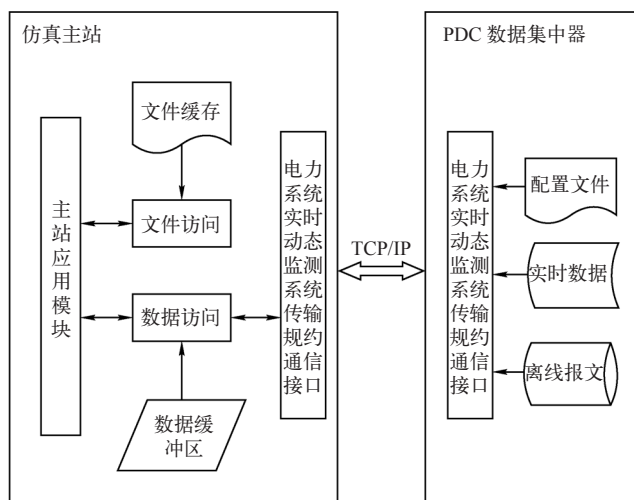


图2 仿真主站软件结构

Fig. 2 Software structure of simulation master station

## 2.2 软件功能需求分析

仿真主站首先要完成接入数据接入模块程序，接收PDC的数据，根据报文的绝对时标进行数据对齐处理，然后对断面数据进行实时合并后，以100帧/s速度写入内存中的缓存区，然后按每分钟一个文件片写入系统磁盘。并完成在线报文和离线报文的分析展示功能。

根据测试过程需求分析，仿真主站需要具备以下功能模块：①实时动态数据采集和处理功能；②离线数据召唤和处理功能；③报文解析及展示功能；④数据文件存储功能。

## 3 仿真主站软件实现

### 3.1 实时数据通信交互实现

仿真主站与PDC之间的实时通信是基于

TCP/IP通信协议，使用Client/Server模式来建立数据流管道和管理管道：数据流管道是在仿真主站和PDC之间进行实时数据传输的管道，完成实时数据从PDC到仿真主站的单向传输；管理管道是在仿真主站和PDC之间进行管理命令、记录数据和配置信息等信息传输的管道，完成这类数据的双向传输<sup>[17-20]</sup>。

数据流管道和管理管道建立的流程如下。

#### (1) 数据流管道建立流程

1) 仿真主站实时侦听服务端口，等待PDC建立TCP连接请求。

2) PDC将数据流管道建立的申请发送给仿真主站。

3) 仿真主站收到PDC的申请后，在两者之间建立数据流管道。

4) 仿真主站将“开启实时数据”命令通过管理管道发送到PDC后，开始实时数据传输。

#### (2) 管理管道建立流程

1) PDC实时侦听服务端口，等待仿真主站建立TCP连接请求。

2) 仿真主站将管理管道建立的申请发送给PDC。

3) PDC接收到申请后，与仿真主站之间建立管理管道。

4) 仿真主站通过管理管道与PDC之间进行控制命令、CFG1和CFG2传输。

在仿真主站和PDC之间建立数据流管道和管理管道后，即可实现实时数据在两者之间的有效传输，仿真主站将接收到的实时数据进行报文解析和展示，并将其以文件形式存储至本地磁盘，整个通信链路处理过程如图3所示。

### 3.2 离线数据通信交互实现

离线数据传输的管道是独立的TCP连接，并不和数据流管道、管理管道在一起，主要传送事件标识帧、传输指令帧和离线数据帧。离线数据传输管道的建立流程如下：

1) PDC实时侦听离线数据传输服务端口，等待仿真主站建立TCP连接请求。

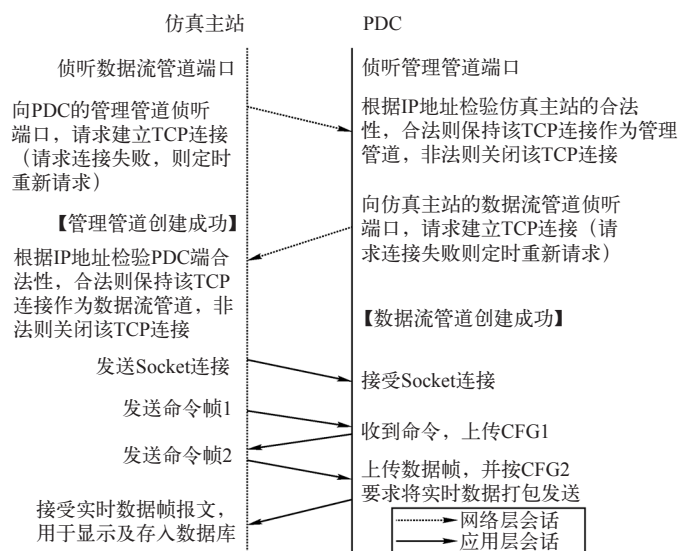


图3 实时数据通信交互流程

Fig. 3 Real-time data communication interaction process

2) 仿真主站主动向PDC发送建立离线数据传输管道申请。

3) PDC收到申请后, 若当前链接状态为空闲, 则与仿真主站建立离线数据传输管道。

离线数据管道建立成功后, 仿真主站使用传输指令帧向PDC发送获取记录内容的命令, PDC则根据仿真主站要求, 对发送内容进行组帧, 向仿真主站发送离线数据, 仿真主站接收离线数据后将其以文件形式存储至本地磁盘, 并提供数据解析和展示功能, 离线数据的传输流程如图4所示。

### 3.3 报文解析及展示

电力系统实时动态监测系统传输规约仿真主站注重效率和实用性。仿真主站展示全部应用层通信报文, 并可对通信报文进行快速解析。此种方案设计可以大幅降低仿真主站安装和设计复杂度, 提高使用效率。

#### (1) 报文解析

重点解析数据流管道和管理管道的交互报文, 所有帧的传输都没有分界符。SYNC字首先传送, 校验字最后传送。多字节字最高位首先传送, 所有的帧都使用同样的次序和格式(ASCII字符传送顺序和表示顺序一致), 帧结构及传输次序如图5所示。

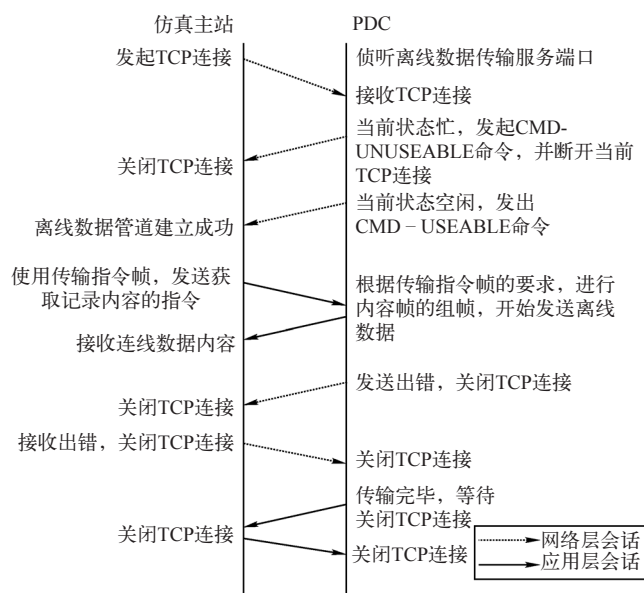


图4 离线数据通信交互流程

Fig. 4 Off-line data communication interaction process

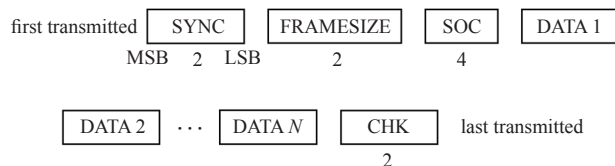


图5 数据帧结构

Fig. 5 Structure of data frame

程序设计中, 对于重要的报文设置独立的数据结构, 方便管理和操作, 同时也便于进行升级维护, 数据结构设定为

```
typedef enum {
```

```

    NACK=0x2000, //否定报文
    TESTMSG=0x4000, //心跳信号
    RESET=0x6000, //系统复位
    SETCFG2=0x8000, //下传CFG2配置文件
    NETTRG=0xA000, //联网触发
    RESERVE=0xC000, //保留
    ACK=0xE000, //肯定确认
    CLOSEDDB=1, //关闭数据库
    OPENDDB=2, //打开数据库
    SENDHEAD=3, //发送头文件
    SENDCFG1=4, //发送CFG1
    SENDCFG2=5, //发送CFG2
    RECVPH=8 //以数据帧格式接受参考向量

```

```
}CMD_TYPE;
```

数据报文的解析依赖于CFG2配置文件，仿真主站在建立管理管道后，将生成的CFG2配置文件以ini文件方式存储于本地。此文件可用于实现报文解析模块的独立运行，便于离线分析。报文解析流程如图6所示。

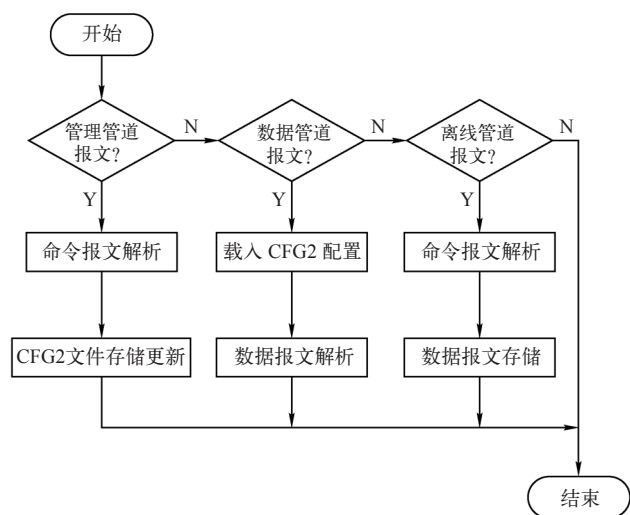


图6 报文解析流程

Fig. 6 Packet parsing process

## (2) 数据展示

为方便数据的准确比对，数据展示采用表格形式实时展示接收到的全部数据。

数据流管道建立后，PDC开始周期上送数据报文，仿真主站对每帧数据报文进行实时解析，为避免快速刷新画面带来的界面闪烁，在数据更新时进行比对，仅当数据变化时进行变化部分内容刷新。

## 3.4 数据文件存储

数据文件的存储在三个层面上进行，分别为同步相量数据存储、应用报文存储和网络报文存储。

1) 同步相量数据存储。仿真主站按照PDC存储离线文件的格式，将数据文件存储为dyn格式。dyn格式文件可以方便使用仿真主站进行数据分析查看。

2) 应用报文存储。由于数据流管道数据报文量巨大，仿真主站界面仅能保存一定量的交互报文。故将应用报文按照文件大小或者时间

长短分割，以log文本形式存储。方便查询历史通信交互报文。

3) 网络报文存储。网络报文对于问题分析和故障定位意义重大，仿真主站可以调用winpcap驱动，将网络报文以pcap格式存储。考虑查询和抓包效率，报文文件按大小分块存储。抓取的报文可以通过ethereal和wireshark等工具查看和解析。

## 4 仿真主站软件的应用

电力系统实时动态监测系统传输规约仿真主站开发完成后，在PMU和PDC的研发过程中进行了多轮次的针对性测试，其运行界面如图7所示。

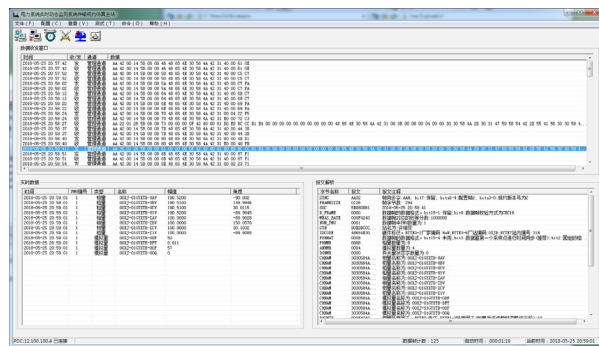


图7 仿真主站运行界面

Fig.7 Running interface of simulation master station

仿真主站在测试过程中自动完成对PDC实时数据的接入、解析、展示和离线数据的召唤、解析和展示，自动完成全过程协议一致性检测和离线数据文件时间连续性、数据完整性和数据差异性检测，并且支持测试用例实时扩充，同时开放命令发送接口，方便用户自定义测试项目，自动解析报文将测试人员从海量报文分析的繁重工作中解脱出来。满足功能并对其性能指标进行了统计，其结果如下表所示。

测试过程中仿真主站未出现程序不响应、数据交互异常等故障，能够稳定、可靠运行，完成长时间连续拷机试验。通过大量的测试应用验证仿真主站能够满足电力系统实时动态监测系统传输规约通信对实时性、连续性和可靠性的要求。

表 仿真主站应用效果统计

Tab. Application effect of simulation master station

| 1                | 2                | 3                   | 4       | 5               | 6              | 7            | 8            |
|------------------|------------------|---------------------|---------|-----------------|----------------|--------------|--------------|
| 在线报文解析<br>正确率(%) | 离线报文解析<br>正确率(%) | 动态数据实时<br>存储效率(帧/s) | 多传/漏传报文 | 进程CPU<br>使用率(%) | 进程内存<br>占有率/MB | 连续运行<br>时间/天 | 缩短测试周期/<br>天 |
| 100              | 100              | 100                 | 未出现     | <19             | <210           | >7           | >10          |

## 5 结束语

电力系统实时动态监测系统传输规约仿真主站的开发成功,为PMU和PDC的测试和调试工作提供了有力支撑,降低了人工干预程度,提高了测试质量和测试效率。随着电力系统实时动态监测系统在各大电网中的推广,该软件将有很广阔的应用前景。

随着实时动态监测系统的发展,其数据传输功能将会有新的要求,对电力系统实时动态监测系统传输规约仿真主站的功能完善也会继续进行,包括同时与多台PDC进行通信,提高报文转换成文件的存储效率和稳定性等,使其更好地满足测试需要,使测试工作更高效、更便捷和更准确。

### 参考文献

- [1] 段刚,严亚勤,谢晓冬,等.广域相量测量技术发展现状与展望[J].电力系统自动化,2015,39(1):73-80.
- [2] 张恒旭,靳宗帅,刘玉田.轻型广域相量测量及其在中国的应用[J].电力系统自动化,2014,38(22):85-90.
- [3] 张旭泽,郑永康,康小宁,等.智能变电站继电保护系统所面临的若干问题[J].电力系统保护与控制,2018,46(6):90-96.
- [4] 王英涛,张道农,谢晓冬,等.电力系统实时动态监测系统传输规约[J].电网技术,2007,31(1):81-85.
- [5] 电力系统实时动态监测系统第2部分数据传输协议:GB/T 26865.2-2011[S].
- [6] 毕天姝,刘灏,杨奇逊.PMU算法动态性能及其测试系统[J].电力系统自动化,2014,38(1):

62-67.

- [7] 周泽昕,张道农,赵晓莉,等.电力系统同步相量测量装置检测规范[J].电网技术,2008,32(5):38-41.
- [8] 周捷,丁孝华,孙国城,等.新型分布式PMU子系统[J].电力系统自动化,2009,33(17):105-108.
- [9] 段泽民,张晓明,叶巍巍,等.脉冲电流放电装置暂态过电流的测量及其特性研究[J].电气应用,2017,36(5):66-70.
- [10] 茹东武,李永照,陈喜凤,等.一种智能变电站智能告警专家系统推理机制的研究[J].电器与能效管理技术,2017(5):44-49.
- [11] 李田刚,安然然,胡玉岚.同步相量测量单元静态自动测试系统的研究与开发[J].广东电力,2015,28(2):40-44.
- [12] 丁明,李晓静,张晶晶.面向SCADA的网络攻击对电力系统可靠性的影响[J].电力系统保护与控制,2018,46(11):37-45.
- [13] 周刚,谢善益,范颖,等.电能质量等级综合评估方法及其应用[J].电气应用,2017,36(3):68-73.
- [14] 茹东武,李天泽,侯俊飞,等.智能变电站测试系统研究与应用[J].电工技术,2016(7):19-21.

### 作者简介



侯俊飞

侯俊飞(1986-),男,工学学士,工程师,主要研究方向为智能变电站产品开发与测试技术。

(收稿日期:2018-09-07)EA