

基于 IEC60870-5-103 的变电站 多子站仿真测试系统设计

王延安,张继忠,于朝辉,张景帅,谢海彪,姬伟锋
(许继电气 中试部,河南 许昌 461000)

摘要: 变电站多子站仿真测试系统是基于国际标准 IEC60870-5-103(简称 103)与开放式系统互联参考模型(OSI)的 7 层参考模型的映射关系,利用分层理论,用 1 台工控计算机自适应地同时模拟 32 个不同类型智能电子设备(IED)的仿真测试系统。根据变电站自动化系统的一般配置,提出了仿真测试解决方案。在介绍仿真系统核心软件模块(多 IED 的 103 协议动态模型、分层模块化协议分析、公共协议解析模块)后,给出了多子站仿真系统软件总体结构。该仿真测试系统具有定制和自动两种测试模式,操作简便,测试效率高。

关键词: IEC60870-5-103; 多子站仿真; 测试工具

中图分类号: TM73;TM764 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-6047(2005)09-0073-04

电力系统的不断发展,对电力设备制造商和电力系统运行操作人员的素质提出了更高的要求^[1-3],变电站多子站仿真系统可以用于电力系统运行管理部门对操作人员的培训和业务评估。另外,该系统可以替代传统的人工测试模式,实现变电站自动化系统的仿真和自动测试,大大加快了变电站自动化系统的开发速度。此系统能完全真实模拟各种智能电子设备(IED)(继电保护装置和间隔测控单元)的实时数据及信息,并对变电站监控系统下发的各种命令能正确响应达到真实模拟。

此系统采用了国际标准 IEC60870-5-103^[4,5](以下简称 103 协议)作为 IED 设备的通信协议。并基于 103 规约与开放式系统互联参考模型(OSI)的 7 层参考模型的映射关系,运用分层理论,模拟不同层次的信息及数据。采用面向对象的建模方法,同时仿真多个不同种类 IED 报文的自动应答和相应的装置参数辨识。

1 IEC60870-5-103 协议

IEC60870-5-103 协议^[4,5]即继电保护设备信息接口配套标准。制定此标准是为了在变电站式厂站中,不同 IED 和控制系统之间达到互换的目的。采用了 FT1.2 异步字节传输的帧格式,对物理层、链路层、应用层进行了定义,并且对互换性作了说明。它描述了两种信息交换方法。其一,基于严格规定的应用服务数据单元(ASDUs)传输“标准化”报文的应用过程;其二,采用通用分类服务传输信息的应用过程。传输方式采用非平衡传输,即控制系统组成主站 IED 为从站(子站)。本系统采用 1 台工控机和多块多串口扩展卡实现多子站系统的仿真。

2 变电站自动化系统仿真测试方案

目前,变电站自动化系统大致可以分为监控层、网络层、间隔层。它的主要结构拓扑如图 1 所示。

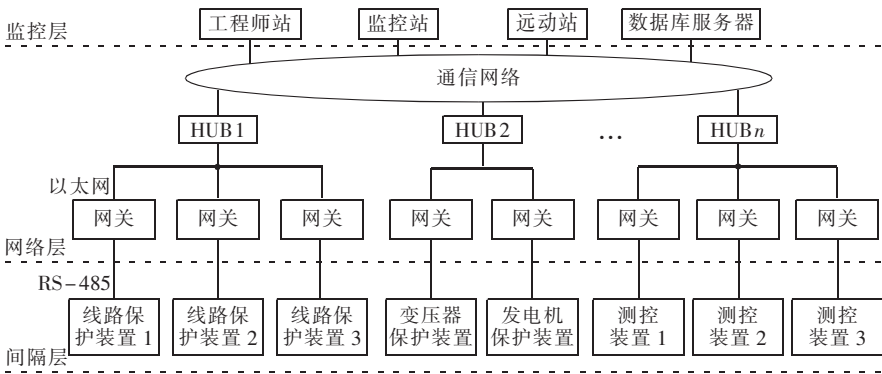


图 1 变电站自动化系统主要结构拓扑

Fig.1 The topology of substation automation system

监控层包括继电保护工程师站、监控站、远动站等,各站之间通过不同协议(103 协议或 60870-5-104 协议简称 104 协议)通信。IED 设备按照 103 协议通过 RS-485 串行接口(SIO)通信信息,经网关后转换为 TCP/IP103 协议(即 103 协议应用层 ASDU 与 TCP/IP 的网络组合)和 104 协议^[5,6]。变电站多子站仿真系统仿真的就是间隔层的各种不同类型 IED 的通信部分及数据源,并且充分考虑到不同 IED 之间的差异,达到真实模拟。变电站自动化系统的一个仿真测试拓扑方案,如图 2 所示。

多子站仿真系统利用每个插入到工控机 PCI 插

槽(一般工控机都具有 4~6 个 PCI 插槽)内的多串口扩展卡(MESIO),扩展出 8 个 RS-485 串口,每个通信串口代表 1 个 IED 设备,流经此串口的信息是 103 协议的报文。报文的应用层信息主要是基于信息点表的信息。信息点表即物理信息、信息序号、类型标识、功能类型等物理量描述之间的对应关系表,参见 103 协议的表 8~18 及我国行标 DL/T 667-1999 附录 D、附录 E 定义的专用范围(以后逐步以通用服务代替专用范围)。这样就可以用 1 台工控机、4 块 MESIO 模拟 32 个不同类型的 IED 设备。联接于多子站仿真系统 LAN 接口的反馈回路,用于把

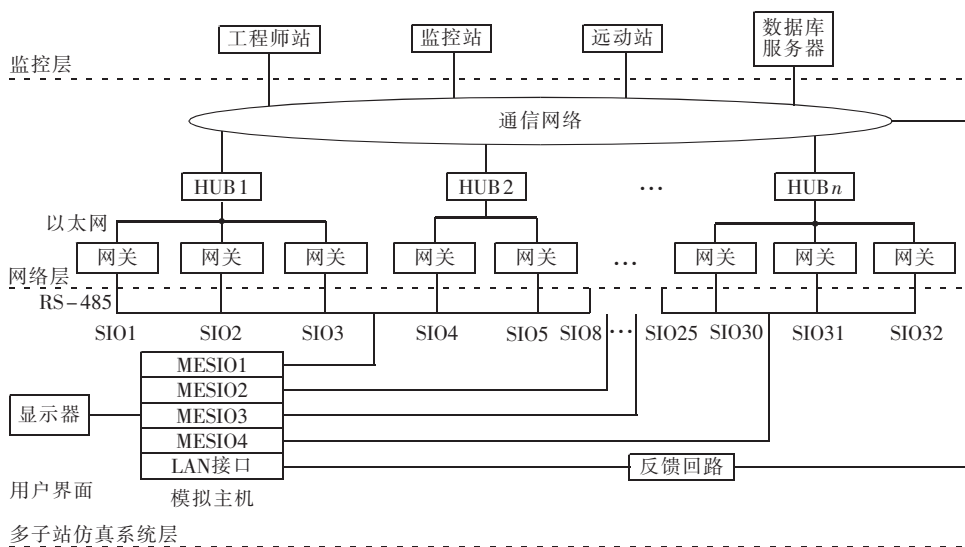


图 2 变电站自动化系统仿真测试方案结构拓扑

Fig.2 The topology of simulative test scheme for substation automation system

后台数据库服务器中的信息点表信息转换(通过自动转换程序把后台的数据信息转化为多子站仿真系统所需要的信息)并导入到多子站仿真系统的数据库中。从而避免了在监控层与多子站仿真系统中重复组建信息点表的工作,减轻了测试工作量,提高了模拟测试系统的可靠性。

3 核心软件模块的实现

3.1 多 IED 的 103 协议动态模型

模拟多个子站,共性信息是遥测(YC)、遥信(YX)、遥控遥调(YKT)、遥脉(YM)、保护事件顺序记录(SOE)。个性信息是它们的物理意义及信息点表内的单元公共地址、功能类型、传输原因等不同,当然测控装置中没有 SOE 等差异。总结它们的共性和个性,基于面向对象的思想组建多 IED 设备的 103 协议动态数据模型,模型结构如图 3 所示。

动态数据模型包括数据和 103 协议打包函数两部分。数据部分包括串口、IED、YC、YKT、YX、SOE、YM 的结构。打包函数封装成 103 协议打包类。串口结构在程序启动时在内存库内映射 32 块内存,每块内存对应 1 个不同串口号(即对应多子站仿真系

统的 1 个 RS-485 串口)。接收缓冲区保存从此串口接收到的数据,发送缓冲区保存从此串口向被测系统发送的数据。同样,IED 结构在内存库中映射 32 块内存,每块内存对应 1 个不同的 IED 设备。它与串口结构是以端口号关联,与 YC、YKT、YX、YM、SOE 结构以装置地址关联。总之,32 个串口(表现为 32 个串口内存块)对应 32 个 IED(表现为 32 个 IED 内存块)对应 32 个装置的数据(表现为多个 YC、YKT、YX、YM、SOE 结构的内存块)。YC、YKT、YX、YM、SOE 结构的数据成员类型大致相同,如表 1 所示。

这些数据及信息保存到数据库。本系统备有相应数据库维护软件,可方便地查询和修改数据。

103 协议打包函数类把 103 协议中的固定帧长和可变帧长(包括兼容范围 ASDUs 和专用范围 ASDUs)报文的打包操作都封装到此类中,便于软件模块化,提高软件的可维护性。

3.2 分层模块化协议分析

远动系统在有限的传输带宽下要求反应时间特别短,因此采用了增强性能结构(EPA),它源于 OSI 的 7 层模型^[8]如图 4 所示。

基于 EPA 模型的分层通信模块框图如图 5 所示。

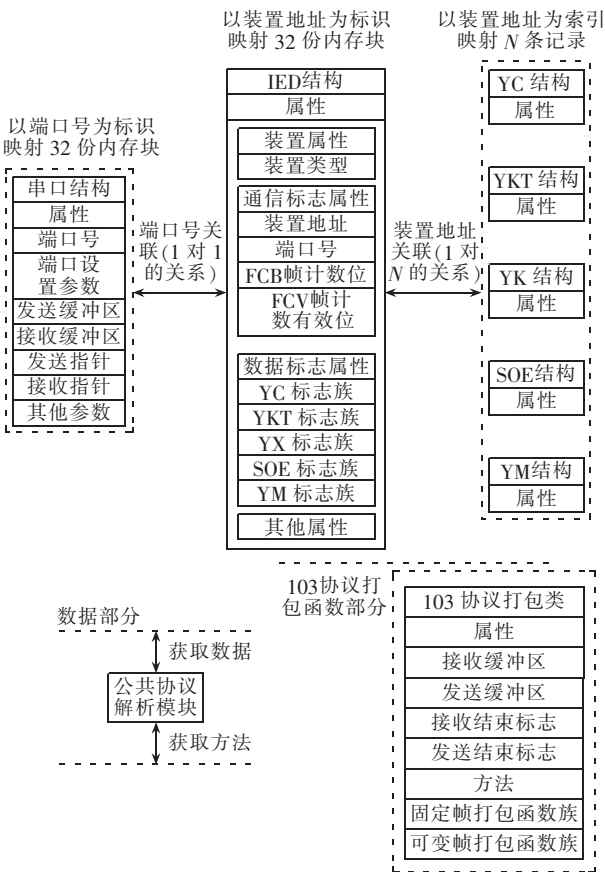


图 3 多 IED 的 103 协议动态数据模型
Fig.3 The dynamic data model of multi-IED 103 protocols

表 1 YC,YKT,YX,YM,SOE 结构的数据成员类型

Tab.1 Data member types of YC,YKT, YX,YM,SOE structure		
数据成员	数据类型	说明
ID	int	序号
devAddr	BYTE	装置地址
devName[50]	char	装置名称
ASDUType	BYTE	ASDU类型标识
INF	BYTE	信息点序号
psyName[50]	char	信息点名称
FUN	BYTE	功能类型
CPUNum	char	单元公共地址
PZ	BYTE	品质描述
useFlag	BOOL	采用标志
data 1	int	数据及系数
⋮	int	数据及系数
data n	int	数据及系数

收发数据模块从MESIO以中断方式接收数据,发送数据时刻由链路层控制。协议解析模块完成链路层的应答机制(采用非平衡传输方式),它由 S_1 、 S_2 、 S_3 ^[7]3类链路层服务类别组成,分别完成发送/无回答、发送/确认、请求/响应3种功能。在这一层还要完成接收报文的帧校验、应答延时和防止报文丢失的重复传送规则实施等功能(见国标DL/667-1999

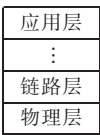


图 4 EPA 结构
Fig.4 Structure of EPA

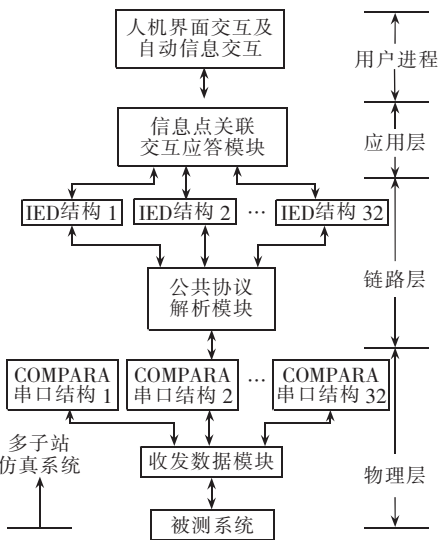


图 5 通信模块框图
Fig.5 The block diagram of communication module

附录C)。信息点关联交互应答模块完成应用层的各类IED的YC、YKT、YX、YM、SOE等信息的翻译。它与人机界面交互及自动信息交互模块共同完成各种信息的自发响应和它们之间的关联反应,达到真实仿真的目的。

3.3 公共协议解析模块

103 协议传输帧格式采用 FT1.2 帧格式^[5],固定帧长帧由启动字符(10H)、控制域(C)、地址域(A)、帧校验和(CS)、结束字符(16H)组成,可变帧长帧(2个启动字符为 68H)除包含固定帧长帧的元素外还包括 LSDU(由于应用规约控制信息未用,LSDU=ASDU)和长度域(L),如图 6~8 所示。

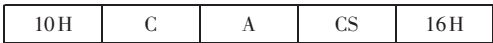


图 6 固定帧长帧格式
Fig.6 Fix transmission frame

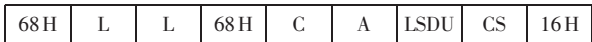


图 7 可变帧长帧格式
Fig.7 Variable transmission frame

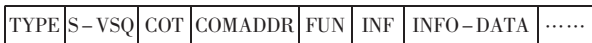


图 8 应用服务数据单元
Fig.8 ASDU

其中 TYPE 是类型标识,S_VSQ 是可变结构限定词,COT 是传输原因,COMADDR 是应用服务数据单元公共地址,FUN 是功能类型,INF 是信息序号。

用一个公共协议解析模块实现模拟多个子站,其中一个重要问题就是报文参数辨识、应答问题。公共协议解析模块框架拓扑如图 9 所示。

可变帧长帧、固定帧长帧的区别判据见图 6~8。帧校验模块的功能是校验 2 个启动字符、2 个 L 值应一致、接收字符数为 L+6、帧校验和、结束字符。装置辨识模块完成控制方向报文和与之相对应的装置

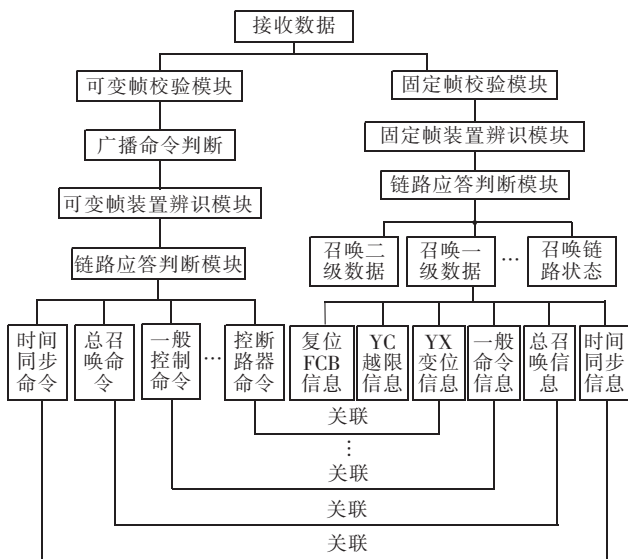


图 9 公共协议解析模块框架拓扑

Fig.9 Topology of common protocol analysis module

数据及标志的定位问题。链路应答判断模块完成防止报文丢失和重复报文传输规则。其余部分是具体报文应答和命令响应(广播命令除外)。从发送/确认、请求/响应的关联和装置参数本身特性的关联决定了它们之间是多重的关联关系。

同时,为解决同时模拟 32 个装置的时间响应性问题,本系统采用了 Windows 的多线程方式接收数据。

4 多子站仿真系统总体结构

根据现场的测试需要,本软件具有丰富的人机界面,使各种测试操作简单易行。本软件的总体结构图如图 10 所示。

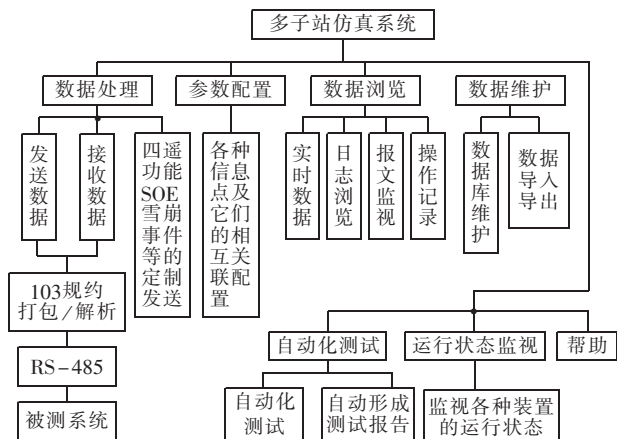


图 10 多子站仿真系统总体结构图

Fig.10 The overall architecture of multi-IED simulation system

它的界面功能由定制发送、参数配置、数据浏览、数据维护、自动化测试、装置运行状态监视、帮助 7 个模块组成。定制发送模块可进行 YC,YKT,YX,YM,SOE 的定制发送,还能定制模拟各种严重的连锁反应,如雪崩事件等。参数配置模块用于配置各类 IED 的 YC,YX,YM,SOE 信息点和断路器关联遥信

的参数配置等内容。数据浏览模块包括实时数据显示、日志浏览、报文监视、操作记录功能。数据维护完成两方面的操作,其一提供维护 SQL Server 2000 数据库的各种方法,其二从被测系统监控层的数据库服务器导出数据并作相应变换导入到多子站仿真系统的数据库中。自动化测试模块包括经过定制后的各种自动化功能测试,它可以极大地提高测试效率并能完成一些实际情况难于开展的测试项目,如自动循环群发测试,大数据量通信链路可靠性测试,后台数据库考核,模拟多年运行后的结果等。此模块还可自动搜集测试结果形成测试报告。运行监视模块用于实时监视各种装置的运行状态。

5 结语

本变电站多子站仿真系统首次实现了用 1 台工控机自适应地同时模拟 32 个不同类型 IED 设备。可以完成一般变电站对间隔层装置数的要求。该系统基于电力系统规约(103 协议)与 OSI 的 7 层参考模型的映射关系,利用分层理论,完成了 IED 不同层次数据的仿真。具有定制测试和自动化测试两种测试模式,操作简单,测试效率高等特点。现场应用证明具有良好的社会效益和经济效益。

参考文献:

- [1] MELIOPOULOS A P S, GEORGE J, COKKINIDES A. Virtual environment for protective relaying evaluation and testing[J]. *IEEE Trans. on Power Systems*, 2004, 19(1): 104-111.
- [2] LARSSON M. ObjectStab—An educational tool for power system stability studies[J]. *IEEE Trans. on Power Systems*, 2004, 19(1): 56-63.
- [3] VOURNAS C D, POTAMIANAKIS E G, MOORS C, et al. An educational simulation tool for power system control and stability[J]. *IEEE Trans. on Power Systems*, 2004, 19(1): 48-55.
- [4] 廖泽友, 蔡运清. IEC 60870-5-103 和 IEC 60870-5-104 协议应用经验[J]. *电力系统自动化*, 2003, 27(4): 66-68.
- [5] LIAO Ze-you, CAI Yun-qing. Experience of using IEC 60870-5-103 and IEC 60870-5-104 transmission protocols[J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2003, 27(4): 66-68.
- [6] IEC60870-5-103, Transmission protocols—Companion standard for informative interface of protection equipment[S].
- [7] IEC 60870-5-104, Transmission protocols—Network access for IEC 60870-5-101 using standard transport profiles[S].
- [8] IEC 60870-5-3, General structure of application data[S].
- [9] IEC 60870-5-2, Link transmission procedures[S].
- [9] 胡明, 周全林, 柳凤凤, 等. 变电站自动化系统采用 IEC60870-5-103, 104 协议的优势[J]. *继电器*, 2003, 31(5): 62-64.
- HU Ming, ZHOU Quan-lin, LIU Feng-su, et al. The experience of using IEC 60870-5-103 and IEC 60870-5-104 transmission protocols in substation automation[J]. *Relay*, 2003, 31(5): 62-64.

(责任编辑: 汪仪珍)

(下转第 79 页 continued on page 79)