

# 数字化变电站技术在叠彩 110 kV 变的应用

安超印<sup>1</sup>, 王坤<sup>2</sup>

(1. 河南省电力公司, 河南 郑州 450052; 2. 郑州供电公司, 河南 郑州 450006)

**摘要:** 以叠彩 110 kV 数字化变电站工程为背景, 结合 IEC61850 规约, 简单介绍了叠彩变整体配置方案及各层之间的通信模式, 列举了智能化开关、电子式互感器、网络化保护、快速工业以太网、过程层与间隔层间的 GOOSE 服务和 IEC61850-9-2LE、10 kV 的小信号模拟量方式等多项具体数字化变电站技术在变电站中的应用, 对智能化一次系统和网络化二次系统的实现进行了简要阐述。指出叠彩变在实际工程应用中的经验与不足, 提供参考。

**关键词:** 数字化变电站; IEC61850; 电子式互感器; GOOSE; IEC61850-9-2LE; 网络化保护

## Application of digital substation technology in Diecai 110 kV substation

AN Chao-yin<sup>1</sup>, WANG Kun<sup>2</sup>

(1. Electric Power of Henan, Zhengzhou 450052, China; 2. Zhengzhou Power Supply Company, Zhengzhou 450006, China)

**Abstract:** Based on the project of Diecai 110 kV digital substation and IEC 61850 standard, this paper simply introduces the total configuration plan and communication mode of Diecai substation, lists the application of intelligent switch, electronic transformer, networking protection, fast industrial ethernet, GOOSE service and IEC61850-9-2LE between bay level and process level, small analog signal of 10 kV level in digital substation, and summarizes the realization of intelligent primary system and networking secondary system. It points out the highlights and shortages during the running of Diecai substation for reference.

**Key words:** digital substation; IEC61850; electronic transformer; GOOSE; IEC61850-9-2LE; networking protection

中图分类号: TM76 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2009)22-0170-04

## 0 引言

IEC-61850 标准<sup>[1]</sup>适用于变电站自动化系统 SAS (Substation automation systems), 它定义了变电站内智能电子设备 (Intelligent electronic devices IEDS) 之间的通信和相关系统要求, 是基于通用网络通信平台的变电站自动化系统的唯一国际标准<sup>[2]</sup>。河南省电力公司叠彩 110 kV 变是实用型数字化变电站, 使用了多项数字化变电站先进技术, 包括: 电子式互感器, 开关配合智能单元实现智能化, 快速工业以太网, 过程层与间隔层间的 GOOSE (面向通用对象的变电站事件 Generic object oriented substation events) 服务和 IEC61850-9-2LE, 间隔层与站控层间 IEC61850-8-1, 网络化保护, 10 kV 的小信号模拟量方式、可靠的数字化对时方案。变电站于 2008 年 12 月 26 号顺利投运。

## 1 叠彩变的整体设计方案

叠彩 110 kV 变简介:

变电站是 110 kV、10 kV 二个电压等级, 本期: 主变 1 台, 低压侧带分支; 110 kV 为内桥接线, 进线 2 回; 10 kV 为分段运行, 2 台电容器、1 台接地变、12 条出线。

按照数字化变电站自动化系统要完成的控制、监视和继电保护三大功能, 从逻辑上将系统分为三层: 变电站层、间隔层和过程层<sup>[3]</sup>。

### 1.1 过程层

110 kV 线路及主变使用电子式互感器, 互感器装于 GIS 内, 通过合并器实现数据采集, 互感器与合并器间的通信标准符合 IEC60044-8 的 FT3 格式, 合并器输出符合 IEC61850-9-2LE 的 SMV (采样测量值 Sampled measured values); GIS 汇控规的开关信号接入智能单元装置, 通过 GOOSE 报文实现开关量的上送和执行控制操作。每个间隔过程层都有个间隔交换机, 实现本间隔过程层与间隔层设备间的网络数据传输。

10 kV 使用保护测控装置一体化装置, 就地安装以实现成本控制, 使用电子式电流电压组合式互

感器, 输出小信号模拟量, 通过航空插头接入保护测控装置。

## 1.2 间隔层

间隔层设备通过本间隔过程层交换机与过程层设备交互信息, 实现保护测控功能, 然后通过 100 M/10 M 光纤以太网接入主干网交换机, 以 IEC61850-8 规约实现与站控层通信。

## 1.3 变电站层

站控层的监控系统和运动系统通过 IEC61850-8 规约与间隔层设备交互信息。

## 1.4 其他 IED

直流系统、直流绝缘检测装置、电度表等常规规约的设备, 通过专门的规约转换器转换为 IEC61850-8 规约接入系统。

## 2 具体数字化技术的运用

### 2.1 配合智能单元智能化开关

智能化开关设备需就地配置智能控制单元, 智能控制单元完成开关状态量的采集与开关控制。智能控制单元和汇控柜之间通过电缆连接, 通过光纤跳线接入本间隔过程层交换机, 通信规约采用符合 IEC61850 的 GOOSE 模式。

注: 叠彩变 GIS 汇控柜由于当时已经先生产安装好, 工期紧, 智能单元、合并器及相关附件(熔接盒、电源等)没有直接装在汇控柜上, 而是单独组柜, 装于汇控柜旁边。

### 2.2 电子式互感器

传统常规互感器利用电磁原理将一次电流电压变成模拟的电流电压信号给二次设备。而电子式互感器输出的是数字信号的光电互感器。光电互感器分无源式和有源式两大类。无源式光电互感器利用法拉第旋光效应 (Faraday effect) 和普克尔效应 (Pockel effect) 原理, 即磁场和电场影响光线的偏振角、相位的现象实现电流电压信号的传变。有源式光电电流互感器用罗柯夫线圈 (Rogowski coil) 原理将一次电流传变为小电压信号, 经模数转换为数字信号, 用光纤传输给二次设备。叠彩变用的是有源式光电电流互感器, 执行以下协议: IEC 60044-8 规定的 2.5 MHz 串行输出。3 相电流和 3 相电压 FT3 数据通过光缆输入到合并器, 合并器进行合并和处理, 输出为 IEC61850-9-2LE 规约格式的 SMV 报文, 从而实现过程层网络中智能设备之间的信息共享。

110 kV 间隔电子式电流互感器装于 GIS 开关柜, 电压取自 110 kV PT 的电子式电压互感器。电子式电流互感器输出电流 FT3 数字信号直接进入本

间隔合并器, PT 电子式电压互感器电压 FT3 数字信号因为要进入相应全部 110 kV 间隔, 通过下列方式实现, 如图 1。

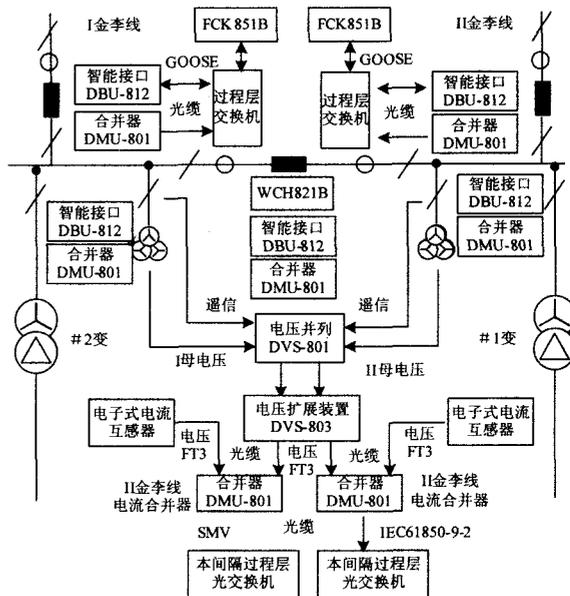


图 1 110 kV 电子式互感器采样及备自投图

Fig.1 110kV sampling of electronic transformer and spare power automatic switching

### 2.3 快速工业以太网

IEC61850 标准规定采用以太网作为变电站自动化系统的基本通信网络, 不同的以太网构成实现方案将关系到整个二次系统信息传输、处理的有效性, 因此要求变电站的网络构架满足二次系统的冗余性<sup>[4]</sup>。

数字化变电站对作为网络连接的交换机提出了很高的要求, 要选择通过了相关的抗电磁干扰测试, 并能满足实际安装位置的变电站环境温度要求的以太网交换机。同时为了满足变电站自动化系统对实时性和可靠性的要求, 应根据数字化变电站的实际物理组网方案, 选择支持 IEEE802.3x、IEEE802.lp、IEEE802.lq、IEEE802.lw 和 IGMP 两层或三层 Snooping/Multicast Filtering 的交换机<sup>[5]</sup>。叠彩变采用高可靠的通过 IEC61850 标准 KEMA 认证的专用工业级光交换机, 满足上述要求。

基于 61850-9-2LE 规约的合并器的流量分析:

按照每帧 1 点 (12 个模拟量通道) 计算, 一个合并器每秒流量:  $S = 159 \text{ 字节} \times 8 \text{ bit/字节} \times 50 \text{ 周波/s} \times 80 \text{ 帧/周波} = 5.088 \text{ Mbit/s}$ ;

基于 GOOSE 规约的智能设备的流量分析:

按照  $T_0=10 \text{ s}$  计算, 一个智能设备每秒流量:  $S = 6016 \text{ 字节} \times 8 \text{ bit/字节} \times (1 \text{ s}/10) \text{ 帧} = 0.048$

Mbit/s;

GOOSE 流量和采样值流量比较, 对网络带宽的影响基本可以忽略。

从上面的计算看出, 交换机的数据流量较大, 通过 VLAN (Virtual LAN 虚拟以太网) 技术将过程层网络通过 VLAN 标识划分为多个局域网, 只有同一个 VLAN 标识的局域网中信息才能共享, 而各局域网间的信息不能互传。这就阻止了无用信息在网络上的传输, 有效控制了各间隔交换机上的网络流量。叠彩变使用光交换机和 VLAN 技术实现数据传输。

叠彩变组网及通信模式方式如图 2。

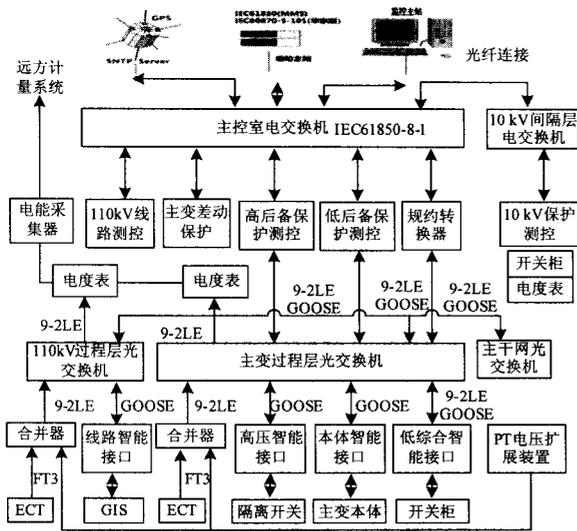


图2 叠彩变组网及通信模式

Fig.2 Network deployment and communication mode of Diecai substation

### 2.4 过程层与于间隔层的 GOOSE 服务和 IEC61850-9-2 LE

叠彩变过程层智能单元与间隔层保护测控装置通过 GOOSE 服务网络实现一次设备状态量的采集与控制; 过程层合并器单元与间隔层保护测控装置的 SMV 传输通过 IEC61850-9-2 规约实现。具体实现方式见图 2。

IEC61850-9-2 采用网络传输模式, 与 IEC61850-9-1 相比, 具有光缆铺设量大幅减少, 合并单元安装方式灵活信息交互网络化, 各间隔数据在过程层网络上实现共享, 对于主变、母差等保护, 实现方式灵活简单, 不再需要加装数据处理单元不需要大量光口, 降低了装置制造成本, 同时也便于运行维护灵活方便, 帧格式可以根据技术需求进行修改, 全面支持 ASCII 模型的优点。

### 2.5 间隔层与站控层之间 IEC61850-8-1

站控层的监控系统和远动系统通过以太网连接间隔层设备, 之间通信采用 IEC61850-8-1 规约。

站控系统采用抽象通信服务接口 (ACSI) 和特定通信服务映射 (SCSM) 的方法, 通过面向对象、面向应用开发的自我描述, 对数据对象同意建模, 实现对变电站系统的功能、设备的互操作性。

### 2.6 网络化保护

GOOSE 通过网络实现共享, 在完成本间隔保护测控基础上, 成功实现跨间隔的网络备自投、网络化低频低压减载等网络化功能。

叠彩变电站 110 kV 部分备投方式: 两条进线互投 (见图 1), 其功能的实现是通过进线 1 测控 FCK851B+进线 2 测控 FCK851B+母联保护装置 WCH821B 共同配合完成, 不设置专门的备自投装置。实现方式: 网络化方式在 GOOSE 网络底层就地实现网络化备自投, 线路测控 FCK851B 中判断母线有压、母线无压、PT 异常、进线无流, 以及各测控采集到的本间隔的断路器位置信号等, 通过 GOOSE 信息实时传送到分段 WCH821B 逻辑处理单元, 结合当前运行方式, 根据运行策略和当前的状态以及功能逻辑判别, 发出的 GOOSE 信息使相应装置向过程层设备发送 GOOSE 控制命令, 从而实现备自投功能。经现场做试验, 动作正确。

### 2.7 10 kV 的小信号模拟量方式

10 kV 就地安装于开关柜, 将互感器的采集单元和开关设备的智能终端的功能集成到二次设备中, 其电子式组合互感器输出是小信号模拟量, 通过航空插头接入保护测控一体化 IED, 开关量从开关柜直接接入 IED, 输出 IEC61850-8-1 接入综自系统, 如图 3。这样既节约投资成本, 又满足数字化要求。

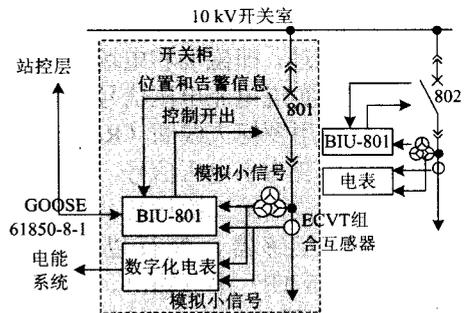


图 3 10 kV 开关柜数字化实现图

Fig.3 Digitizing realization of 10 kV switch cabinet

### 2.8 可靠的数字化对时方案

数字化变电站信息是数字信号在网上交互, 存在网络时延和采样同步问题, 对对时系统提出更

高要求, 叠彩变在同一时钟源基础上采用主备式时间同步系统, 并且 GPS 装置具备内部守时钟功能。

站控层和间隔层通过 SNTP 网络对时, 保护及测控装置过程层采用 SNTP 网络对时, 合并器采用光脉冲实现同步, SNTP 对时也采用双网自动切换模式, 间隔层和过程层接 GPS 装置的不同网口, 且均为双网冗余配置, 客户端正常时与主 GPS 装置对时, 异常时切换至备 GPS 装置。

对时方案如图4。

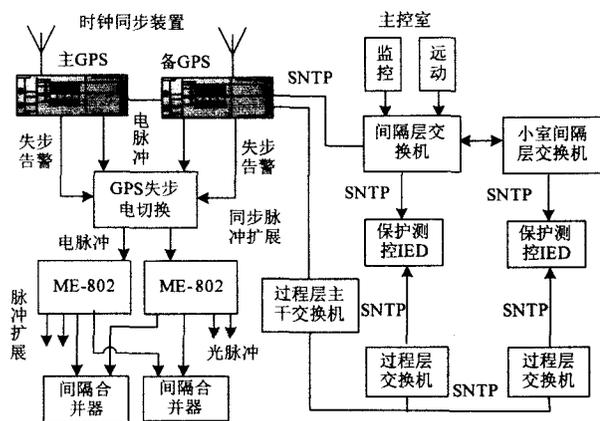


图4 GPS对时方案图

Fig.4 GPS clock synchronization plan

### 3 经验

两点不足:

1) 110 kV 部分过程层设备的智能单元和合并器单独组柜, 在 GIS 开关室有汇控柜和过程层设备柜, 二者之间是有电缆连接, 改进可把过程层设备安装于汇控柜。

2) 电压并列装置无 GOOSE 信息处理功能, 需要硬接点接入刀闸位置实现电压并列 (见图 1), 不符合全数字化要求, 需改进。

### 4 结语

叠彩变运用了大量的数字化变电站技术, 结合 IEC61850 规约, 在站控层、间隔层、过程层都完全实现了数字化, 为以后的数字化变电站的工程应用积累了丰富的经验。

### 参考文献

- [1] IEC61850, Communication Networks and Systems in Substation[S].
- [2] 李慧, 赵萌, 杨卫星. 应用IEC61850规约的220kV变电站继电保护设计[J]. 电力系统保护及控制, 2009, 37(6): 60-63.  
LI Hui, ZHAO Meng, YANG Wei-xing. Relay Protection Design Scheme of 220kV Substation for Application of IEC61850[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(6): 60-63.
- [3] 任雁铭, 秦立军, 杨奇逊. IEC 61850通信协议体系介绍和分析[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(8): 62-64.  
REN Yan-ming, QIN Li-jun, YANG Qi-xun. The Introduction and Analyses of IEC61850 Communication Protocol[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(8): 62-64.
- [4] 高翔. 数字化变电站应用技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008. 194-197.
- [5] 林明宇. 数字化变电站自动化系统中以太网交换机的选择[J]. 电力系统保护及控制, 2009, 37(1): 93-95.  
LIN Ming-yu. Selecting Ethernet Switches for Digital Substation Automation Systems[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(1): 93-95.

收稿日期: 2009-07-01; 修回日期: 2009-08-14

作者简介:

安超印 (1965-), 男, 本科, 工程师, 从事变电建设管理工作; E-mail: anchaoyin@sina.com

王坤 (1965-), 男, 高级技师, 从事变电运行管理工作。