

牵引变电站数字化方案的设计与实现

曾庆钊

(天津凯发电气股份有限公司, 天津 300392)

摘要:研究了智能牵引变电站网络架构及组网方式,将智能牵引变电站划分为“三层两网”结构,给出站控层网络和过程层网络的2种不同网络架构方案。结合VX接线的牵引变电站间隔分布,讨论了网络架构中的重要组成部分之一网络冗余方案,对比国内外实现方案,给出了一种含并行冗余协议(PRP)的站控层双环网拓扑结构和含PRP冗余协议的过程层双星型拓扑结构,优化了常用的冗余方案。

关键词:变电站;智能牵引变电站;IEC61850;并行冗余协议;网络架构;双环网拓扑;双星型拓扑

中图分类号:TM 76

文献标识码:A

DOI:10.16081/j.issn.1006-6047.2018.09.032

0 引言

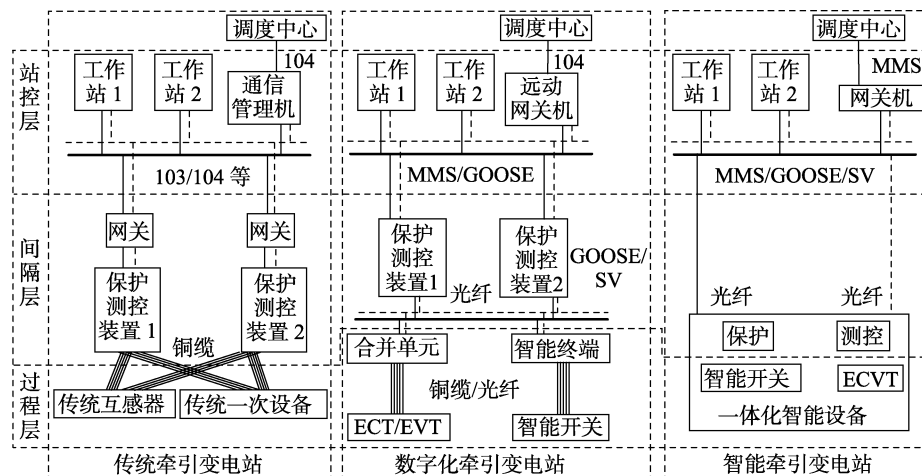
在我国智能电网的建设进程中,数字化变电站已在电力系统中得到了大范围推广,逐步替代了常规变电站,并正在向完全智能化方向发展^[1]。事实证明数字化变电站对于经济效应的提高相当可观,能够有效地降低变电站互联互通的复杂性^[2]。作为电力系统重要的分支,电气化铁路和轨道交通综合自动化领域牵引变电站大部分仍采用传统变电站作为主要实现方式,近些年也有一些试点站在尝试改进^[3],但若需进行大规模的推广,仍需针对牵引变电站的现状,研究符合牵引变电站数字化的发展模式。与电力系统变电站相比,牵引变电站在供电要求、负荷特征、电气设备参数以及变电站接线方式等方面都有差异^[4-5]。因此牵引变电站数字化改造,一方面要结合电力系统数字化变电站已取得的成果,另一方面也要考虑牵引变电站自身的特点。IEC61850为变电站全站的通信一体化、二次设备间互联互通提供了可能,而变电站内部网络架构的设计关系到通信的可靠性、稳定性等多方面的性能指标,对于牵

引变电站数字化网络架构的研究具有较强的必要性^[6]。本文将以VX接线的牵引变电站为例,结合电力系统方案,给出牵引变电站的数字化网络架构,针对双网冗余需求,给出一种基于并行冗余协议(PRP)的牵引变电站网络拓扑结构。

1 牵引变电站结构

IEC61850将变电站划分为“三层两网”结构^[7],包括站控层、间隔层和过程层。牵引变电站不同阶段的结构示意图如图1所示。传统牵引变电站保护测控装置到一次设备间的连接通常采用铜缆完成模拟量的采集和信号的传输。数字化牵引变电站全站统一采用IEC61850标准实现信息交互,新增合并单元MU(Merger Unit)、智能终端IT(Intelligent Terminal)、电子式互感器(ECT/EVT)及过程层交换机等设备,并采用光纤以太网代替铜缆,实现了二次设备的网络化及一次设备初步智能化。

智能牵引变电站为牵引变电站数字化发展的最终目标,可实现一二次设备的高度集成化、就地化、



MMS:制造报文系统;SV:采样值;GOOSE:面向通用对象的变电站事件

图1 牵引变电站不同阶段的结构示意图

Fig.1 Structure of traction substation in different stages

网络归一化,“数字化”是实现智能牵引变电站的重要手段。

要实现数字化改造,首先需对牵引变电站进行间隔划分,确定网络拓扑结构、设备布局等。目前,客运专线、高速铁路主要采用全并联自耦变压器(AT)供电方式,该方式具有供电区间长、电压损失低、通信干扰小等突出优点。接线方式则采用VX接线,具有供电能力强、投资成本低、占地面积小等显著优势。典型的VX接线牵引变电站的间隔划分及数量如表1所示。

表1 VX接线牵引变电站间隔划分情况

Table 1 Bay separation of VX-connected traction substation

间隔名称	数量	电压等级/kV	安装位置
高压侧进线间隔	2×3	220(110)	户外
主变间隔(高压侧)	4	220(110)	户外
主变间隔(低压侧)	4	27.5	室内
T线母线间隔	2	27.5	室内
F线母线间隔	2	27.5	室内

2 牵引变电站网络拓扑结构

2.1 站控层网络架构设计

基本网络拓扑结构可分为总线型、星型和环型3类^[8],星型和环形拓扑结构相对于总线型拓扑结构的可靠性较高,故牵引变电站常采用环型拓扑结构或星型拓扑结构。

图2给出了一种基于双环网的数字化牵引变电站站控层网络架构实现方案。该方案建立了相互独立的A、B双环网拓扑结构,以VX接线牵引变电站为例,按间隔分配交换机,各间隔的智能电子设备(IED)需内置双网接口支持站控层的双环网冗余配置。站控层各监控系统平台共用交换机,并配置双网接口,建立双网切换机制以满足重要事件不丢失、日志记录不间断等要求。远动网关机将间隔层“三遥”数据通过IEC60870-104规约传输到调度中心。

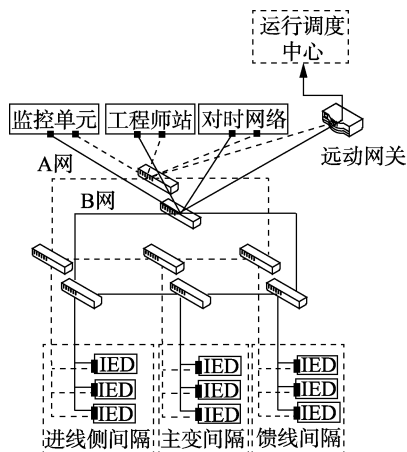


图2 基于双环网的数字化牵引变电站站控层网络架构

Fig.2 Network architecture based on double loop network of substation level for digital traction substation

双环网的拓扑结构为牵引变电站的可靠性提供了保障,但由双环网引起的一些关键问题还需要解决。如环路问题常采用快速生成树协议RSTP(Rapid Spanning Tree Protocol),建立以站控层交换机为“根桥”的计算模型,将环路网络修建成无环路的树型网络,避免了报文在网络中形成“广播风暴”问题。

在站控层采用简单网络时间协议/网络时间协议(SNTP/NTP)对时服务完成对时网络,与间隔MMS/GOOSE共用链路。通过以太网环网,实现了间隔层所有IED信息共享和统一监控。

2.2 过程层网络架构设计

对于重要单间隔IED的GOOSE、SV,采用直采直跳方式保证保护功能的可靠性,跨间隔IED、低电压等级IED及计量IED采用网采网跳来确保其同步的需求,图3给出了一种过程层组网架构图,主变间隔内差动保护为保证其可靠性采用直采直跳方式,其他测控IED、馈线保护、站域IED则采用网采网跳方式,高压侧合并单元所接互感器支持电子式互感器和传统互感器,安装于室外进线侧;低压侧互感器以气体隔离开关柜GIS(Gas Isolated Switchgear)的方式安装于室内,从可靠性层面和经济层面考虑,其仅支持传统互感器即可。对于T母线间隔和F母线间隔,由于两间隔相互关联,采用组网实现,可以完成故障测距等重要功能。GOOSE和SV单独组网的星型拓扑结构适用于过程层SV通信流量较大的情况;若SV通信流量较小,则采用SV和GOOSE共网方式更为简洁方便。

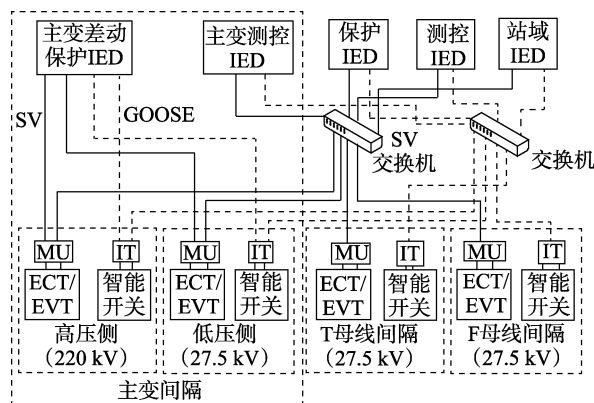


图3 过程层网络架构设计

Fig.3 Architecture design of process level network

3 牵引变电站网络冗余方案的实现

3.1 双网双工和双网热备用模式

双网双工模式和双网热备用模式是目前国内电力系统通用的冗余实现方案^[9],双网双工模式由2套完全独立的网络保证冗余的,而双网热备用模式基于传输控制协议/因特网互联协议(TCP/IP)的KEEPALIVE技术实现冗余的。双网双工模式可实

现双网的无缝切换,但站控层设备因在应用层处理冗余报文而消耗大量资源,导致应用实现复杂;双网热备用模式在一定程度上减少了应用层处理冗余报文的复杂计算,但需实现双网的切换机制逻辑,以保证任一独立网络故障时,可以迅速切换到另一独立网络运行,切换时间间隔可通过切换策略尽可能地降低,但是无法消除。

3.2 含 PRP 的冗余方案实现

PRP 是基于数据链路层的冗余协议,能够在任意链路上实现,可解决应用层冗余报文过滤的复杂计算过程,也可实现双网间的无缝切换。图 4 给出了 PRP 方案的原理示意图,在含 PRP 的冗余网络中,冗余节点 DANP (Doubly Attached Node with PRP)起着重要作用。与双网双工、双网热备用模式不同,PRP 冗余网络中的 IED 和监控设备均需配置 MAC 地址和 IP 地址均相同的双以太网卡,通过链路冗余控制模块 LRE (Link Redundancy Entity) 连接到上层协议,在 LRE 中处理重复报文,完成冗余管理。已有诸多文献^[10-11]提出了 LRE 模块的实现算法。因此,采用 PRP 方案无需对应用层进行任何改动即可实现双网配合工作,简化了工程配置,提高了网络可靠性。

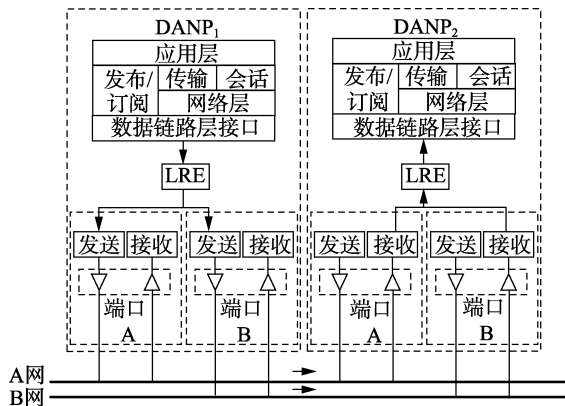


图 4 含 PRP 的网络终端节点功能结构

Fig.4 Function structure of nodes in network with PRP

根据 PRP 方案要求,可以对图 2 所示的站控层网络架构进行改造,实现含 PRP 的站控层双环网络结构如图 5 所示,对于含有双网口的 IED,若 IED 非 DANP 实现,则需安装支持 PRP 的 PCIe 接口插卡,对于单网口 IED,则需在网络中配置冗余盒 RedBox (Redundancy Box) 模块,通过 RedBox 模块接入网络中。RedBox 模块专为单接口设备加入 PRP 网络设计,同样嵌入了 LRE 模块的功能,使得单网口 IED 所产生的报文可通过 RedBox 模块发送冗余报文和接收并过滤重复报文。

过程层网络中,若配置 PRP,需在合并单元和智能终端测配置 RedBox 模块将一次设备采集量、数字量接入 PRP 网络,间隔层保护测控 IED 等需配置支

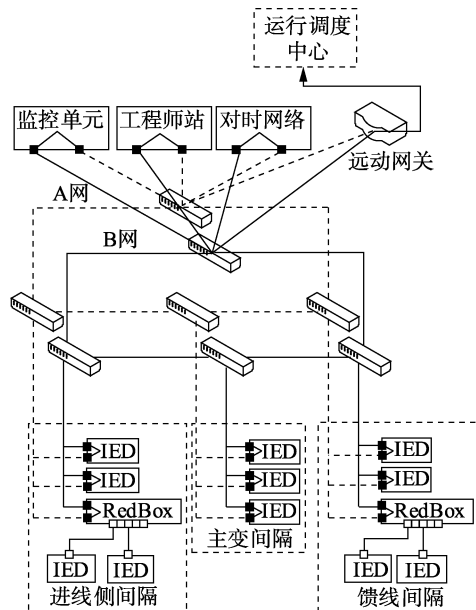


图 5 含 PRP 的站控层双环网拓扑架构

Fig.5 Double loop network topology architecture with PRP of substation level

持 GOOSE 和 SV 的 PRP 双网接口。本文给出了一种含 PRP 的过程层双星型网络拓扑架构如图 6 所示,其中,主变差动保护采用直采直跳方式确保保护功能的稳定高效,当间隔数目较少时,可考虑将主变间隔和 T、F 母线间隔跨间隔共同组网,同时也可采用虚拟局域网 (VLAN) 技术按间隔划分交换机,提高设备使用效率、降低成本。

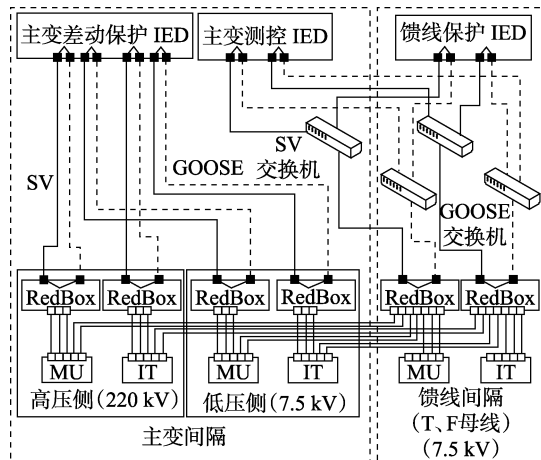


图 6 含 PRP 的过程层双星型网络拓扑架构

Fig.6 Double-star topology with PRP of process network

5 结语

数字化牵引变电站网络拓扑结构的优劣是变电站内设备间通信可靠性的关键,含 PRP 的站控层双环网拓扑架构具有可靠性高、无缝切换、简化应用等诸多优点。目前,PRP 技术已被国外如 ABB、西门子等知名公司所采用,并进行了多次互操作实验,具有良好的效果,可以为牵引变电站数字化改造提供

参考帮助。另外,双环网的建设成本高,国内现有数字化二次设备不支持 PRP 等不利因素也需考虑。通过研究电力系统变电站智能化所取得成果,建设数字化牵引变电站不仅可以为牵引变电站带来可观的经济效应,还是牵引变电站智能化的关键历程。

参考文献:

- [1] 裴愉涛,王德林,胡晨. 无防护安装就地化保护应用与实践[J]. 电力系统保护与控制,2016,44(20):1-5.
QIU Yutao, WANG Delin, HU Chen. Application and practice of unprotected outdoor installation protection[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(20):1-5.
- [2] 杨志宏,周斌,张海滨,等. 智能变电站自动化系统新方案的探讨[J]. 电力系统自动化,2016,40(14):1-7.
YANG Zhihong, ZHOU Bin, ZHANG Haibin, et al. Discussion on novel scheme of smart substation automation system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2016, 40(14):1-7.
- [3] 郭华,胡金东,周小金. 数字化牵引变电所系统组网方案研究[J]. 电气化铁道,2016,14(2):6-9.
- [4] 王传启. 高速铁路智能牵引变电站自动化关键技术研究[D]. 武汉:华中科技大学,2013.
WANG Chuangqi. Study on key technologies of automation in intelligent traction substation for high-speed railway[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2013.
- [5] 梁国坚,段新辉,高新华. 数字化变电站过程层组网方案[J]. 电力自动化设备,2011,31(2):94-98.
LIANG Guojian, DUAN Xinhui, GAO Xinhua. Networking schemes for process level of digital substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(2):94-98.
- [6] 李辉,刘海峰,赵永生,等. 智能变电站过程层组网改进方案[J]. 电力自动化设备,2017,37(3):218-223.
LI Hui, LIU Haifeng, ZHAO Yongsheng, et al. Improved process-level networking scheme of smart substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2017, 37(3):218-223.
- [7] 姚西平. 资阳牵引变电所智能化改造方案研究[J]. 电气化铁道,2016,14(6):27-29.
- [8] 高翔. 数字化变电站若干关键技术研究[D]. 杭州:浙江大学,2008.
GAO Xiang. Research on several key techniques of digital substation[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2008.
- [9] 胡道徐,李广华. IEC61850 通信冗余实施方案[J]. 电力系统自动化,2007,31(8):100-104.
HU Daoxu, LI Guanghua. Application of redundant communication using IEC61850[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(8):100-104.
- [10] 陈原子,徐习东. 基于并行冗余网络的数字化变电站通信网络构架[J]. 电力自动化设备,2011,31(1):105-108.
CHEN Yuanzi, XU Xidong. Communication network structure of digital substation based on parallel redundancy[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(1):105-108.
- [11] 谢志迅,邓素碧,臧德扬. 数字化变电站通信网络冗余技术[J]. 电力自动化设备,2011,31(9):100-103.
XIE Zhixun, DENG Subi, ZANG Deyang. Redundancy technique of digital substation communication network[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(9):100-103.

作者简介:



曾庆钊(1972—),男,山东郓城人,高级工程师,硕士,主要研究方向为电气化铁路牵引自动化、城市轨道交通电力监控、电力系统自动化(E-mail: embed1000@163.com)。

Design and implementation of smart traction substation digitization

ZENG Qingzhao

(Tianjin Keyvia Electric Co., Ltd., Tianjin 300392, China)

Abstract: The network architecture and networking mode of smart traction substation are researched. The smart substation is divided into “three-layers and two-net” structure. Two different network architectures of station level and process network are given. The network redundancy scheme, one of the important components of the network architecture, is discussed combined with the VX wiring traction. In contrast to the implementation scheme at home and abroad, the double-ring network topology with PRP (Parallel Redundancy Protocol) in station level and the double-star topology with PRP in process level are given, and the commonly used redundancy scheme is optimized.

Key words: substations; digital traction substation; IEC61850; parallel redundancy protocol; network architecture; double-ring network topology; double-star topology