

· 专论与综述 ·

基于 EPON 和工业以太网的新型配网通信混合组网方案

赵家庆, 王 鼎, 钱科军, 赵 慧, 俞 瑜, 秦舒斐
(苏州供电公司, 江苏苏州 215004)

摘 要:介绍了以太网无源光网络(EPON)技术和工业以太网技术原理,对这2种通信组网方案进行了经济技术对比,在此基础上提出了基于EPON和工业以太网的新型配网通信混合组网方案。该方案在系统的可靠性、扩展性、接入便捷性、兼容性等方面均有优越性能,适应实际工作环境能力更强,并通过工程实例进行了验证。

关键词:配电网;无源光网络;工业以太网;混合组网

中图分类号:TM76

文献标志码:A

文章编号:1009-0665(2014)03-0001-05

配网自动化是智能电网的重要组成部分^[1-3],而通信网络是实现配网自动化系统的基础。在电力通信领域^[4],输电网建成了以光纤为主的骨干通信网,配电、用电环节的通信网作为接入网,其通信水平相对输电而言差距较大,呈现“骨干网强、接入网弱”的状态。配电网通信问题在推进一流配电网建设的过程中日渐显露,如何设计适应配电网的通信组网技术成为研究热点。以太网无源光网络(EPON)技术^[5]在此背景下应运而生,其综合了以太网技术及无源光网络(PON)技术的优点,成为目前最具有吸引力的用户接入网的解决方案,并在配电网通信领域中发挥日益重要的作用。从国内外配网自动化系统采用的通信技术看,尚没有一种通信技术可以很好地满足于配网自动化系统所有层次的需要^[6]。在配网自动化系统中,往往由多种通信技术组合成混合的通信系统,各个层次按实际需求采用相应的通信技术^[7]。EPON技术适合于通信节点众多且分散的应用场景,适用于配电终端等设备通信。但是单纯采用EPON组建骨干网,则在可靠性、兼容性等方面存在不足,而工业以太网因其稳定可靠、实时性强等方面的优势,可以弥补EPON组网的不足。对于接入网采用工业以太网组网,则在经济性、组网灵活性等方面存在不足,而EPON则可以弥补这些不足。采用EPON和工业以太网进行混合组网,最大化发挥两种技术的优势,可以构建性能优秀的配网通信网络。文中结合EPON与工业以太网的技术原理以及配网自动化对通信系统的要求,研究基于EPON和工业以太网的配网自动化系统通信组网体系结构,在此基础上提出相应的解决方案。

1 EPON 组网方案

1.1 EPON 工作原理

EPON是基于以太网协议的PON网络,是一种采用点到多点结构的单纤双向光接入网,其典型拓扑

结构为树形^[8]。EPON原理如图1所示。

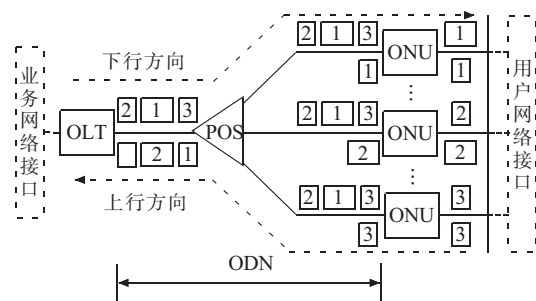


图1 EPON原理

EPON由局侧的光线路终端(OLT)、用户侧的光网络单元(ONU)和光分配网络(ODN)组成^[9,10]。OLT是局端设备,通常放置在中心机房,是一个多业务提供平台。在下行方向面对无源光网络,要提供光纤接口PON口;在上行方向则面对数据传输网,因此要提供电口或光口,接口速率可以是百兆、千兆或万兆。ODN由光纤和无源光分路器(POS)组成,在OLT与ONU之间提供光通道,主要负责分发下行数据并集中上行数据,完成光信号功率分配和波长复用等功能。ONU用于连接用户终端设备,在配用电系统中可连接开闭所监控终端(DTU)、集中器等电力设备。ONU上行接口是PON口,通过光纤连接无源光网络,下行接口可根据接入设备性质配置,有电口、RS232/RS485、PSTN等接口。

EPON采用波分复用技术同时处理双向信号传输,下行数据以点到多点的广播方式从OLT发送到所有的ONU,上行数据则从各个ONU采用时分复用的方式统一汇聚到中心局端OLT^[11]。

EPON技术与现有以太网兼容。以太网技术是成熟的局域网技术,EPON技术只是对现有的IEEE802.3ah协议作了一定的补充,基本上与其兼容。因此,EPON与以太网互联时避免了通信协议的转换,方便管理^[12]。EPON技术综合了PON技术与以太网技术,具有传输带宽高、网络结构灵活、易于扩展、多业务支持能力、易于管理维护、抗干扰性强等优点,可满足各类用户的多种需求。

1.2 EPON 网络结构

EPON 组网方式灵活,具有多种级联模式。多级接入与 1+1 手拉手光纤保护的接入模式如图 2 所示。多级接入是考虑到同一通信路径上的多个站点按同一通道通信,以达到节约光缆及维护简易的目的。1+1 手拉手光纤保护的接入是对多个或者单个重要站点的一种通信上的安全保护,是以通道冗余的方式实现对站点信息通信的保护,具体是将单个 ONU 连接 2 台不同 OLT 实现冗余保护。

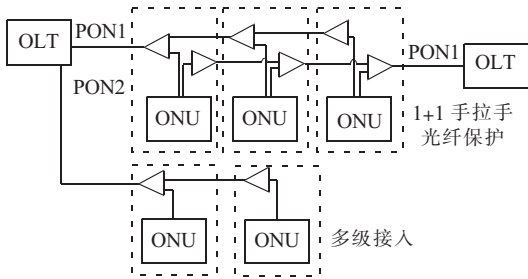


图 2 多级接入与 1+1 手拉手光纤保护接入模式

运用 EPON 设备构成通信主干环,其原理展示见图 3, 根据该原理进行工程建设的 EPON 组网工程如图 4 所示。OLT 设备安装在变电站侧,各 OLT 采用基于 EPON 技术的快速环网保护协议(RRPP)技术构成环网。以双 PON 口 OLT 设备为例进行说明。分光器 POS 级联布置形成树形网络, 开闭所根据距离远近分别接入 EPON 网络。工业级 ONU 布置在开闭所内, ONU 连接馈线终端单元(FTU)、DTU、变压器监测终端(TTU)、抄表集中器等设备。

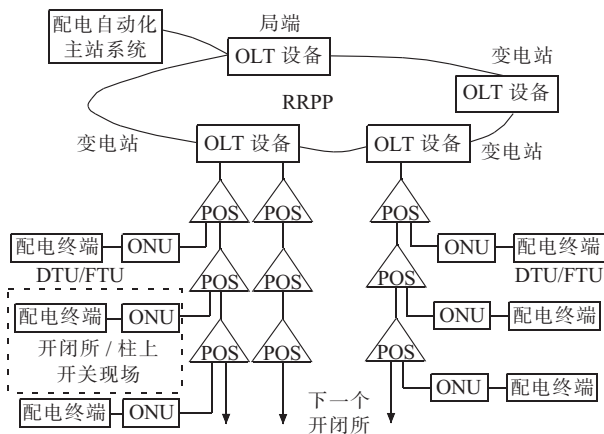


图 3 EPON 组网原理示意

EPON 组网工程大致由配电线路、重合器、分段器、分支开关、变压器、配电终端、通信线路、配电站等部分构成。OLT 设备安装在 110 kV 变电站,各变电站低压侧有大量的 10 kV、35 kV 配单线路, 根据配电线路辐射状的接线方式,沿途铺设光纤线路,在杆塔等处布置 POS 分光器,采用树形结构级联,构成 EPON 网络。EPON 组网工程示意图中还显示了 1+1 手拉手光纤保护模式。

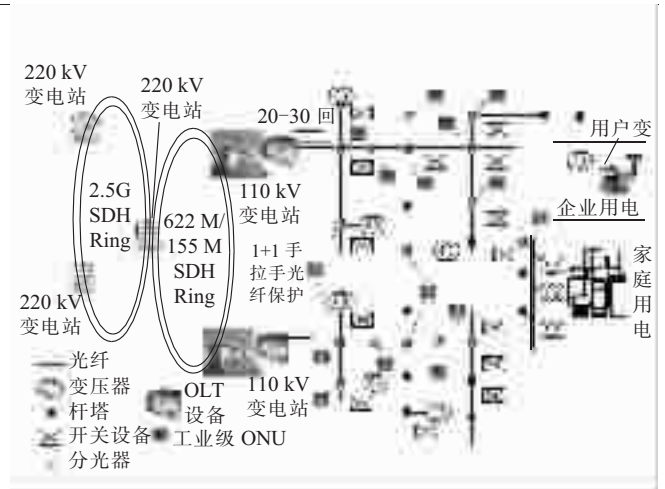


图 4 EPON 组网工程示意

EPON 网络具有成本低、功耗低、维护简单、容易扩展等优势,但是在配网自动化通信中存在实时性、可靠性不强等不足,故有必要对配网通信纯 EPON 组网方案进行一些改进。

2 工业以太网组网方案

2.1 工业以太网技术原理

工业以太网^[13]是在以太网和 TCP/IP 技术的基础上开发出的一种工业用通信网络。在实时性方面,通过采用减轻以太网负荷、提高网络速度、交换式以太网和全双工通信、流量控制及虚拟局域网等技术来提高网络的实时响应速度。在可靠性方面,以太网在逻辑上不支持环形拓扑,但可以通过冗余连接形成物理上的环路,以太网自动保护切换(EAPS)技术将自愈时间缩短到 50 ms^[14]。在开放性方面,以太网适合于解决控制系统中不同厂商设备的兼容和互操作的问题,同时拥有大量的网络管理和故障排除工具,便于维护管理。

2.2 工业以太网网络结构

开闭所内配置以太网交换机, 交换机互联构成 EAPS 光纤自愈主环。开闭所 A 与配电站配置交换机,通过光纤连接。位置分散的开闭所配置交换机,通过光纤与主环相连。DTU 通过以太电缆接入开闭所的以太网交换机。FTU 通过 RS232 串口接入开闭所的以太网交换机。以太网交换机组网拓扑如图 5 所示。



— 光纤; - - - 串行 RS232; - - - 以太电缆

图 5 以太网交换机组网模式

如果单纯采用工业交换机建设配电通信接入网,在网络扩容时,面对配电室等分散的通信节点,需要部署更多的交换机。如果每个节点部署一台多端口交换机,而每个节点连接的配电终端不多,会增加投资成本并造成端口浪费;如果部署端口少的交换机,以后扩容又不方便。有时工业交换机需要级联才能接入范围更广更分散的配电终端。在这种情况下,如果采用 EPON 进行混合组网扩容,中间部署分光器,在数据终端放置一台 ONU 设备即可。并且再增加接入终端,只需对原有线路进行分光连接 ONU,可实现即插即用,参数设定可由中心 OLT 设备完成,无需现场对 ONU 设备进行复杂设置。

可见,工业以太网交换机在电力通信网络中有着较为良好的应用基础,交换机组网有着高带宽、环网保护等优点。但是在配电自动化通信中,点到多点通信、扩容性、抗多点失效等要求使得以太网交换机组网在应对时存在不足。

3 基于 EPON 和工业以太网的混合组网方案

3.1 EPON 和工业以太网技术对比

3.1.1 标准

EPON 技术:标准成熟,EPON 国际标准为 IEEE 802.3ah,国内通信行业也制定了技术和测试标准。

工业以太网:物理层与数据链路层采用 IEEE 802.3 规范,OSI 应用层的标准化制定工作正在进行中,应用层至今没有统一的标准。

3.1.2 链路层

EPON 技术:采用波分复用(WDM)方式在 1490 nm 和 1310 nm 波长上传输,为单纤双向系统;OLT 向 ONU 广播数据,ONU 根据逻辑链路标识(LLID)选择性地接收,ONU 发送的数据只能到达 OLT,提高了安全性。

工业以太网:一发一收,采用 2 个光口实现,若实现双环自愈则需 4 个光口;工业以太网交换机检测从以太网端口来的数据包源和目的地的 MAC 地址,依据帧头的信息进行转发。

3.1.3 带宽分配

EPON 技术:OLT 采用动态带宽分配(DBA)算法为 ONU 分配时隙,ONU 共享上行带宽,ONU 没有数据传输时还需向 OLT 发送报告帧,OLT 为 ONU 分配最小保证带宽。

工业以太网:交换机每个端口为一个冲突域,可使用全部的带宽。

3.1.4 实时性

EPON 技术:EPON 难以支持实时性要求高的时分复用(TDM)业务。

工业以太网:实时性较高,采用交换机,不受带冲突检测的载波侦听多路访问(CSMA/CD)约束,全双工通信。

3.1.5 冗余保护

EPON 技术:采用主干光纤保护和全光纤保护,倒换时间为秒级;抗多点失效。

工业以太网:自愈环采用快速冗余技术,倒换时间为毫秒级;自愈环中只能抗单点失效。

3.1.6 组网方式

EPON 技术:适合组成星型网,节省主干段光纤,适用于光纤接入(FTTx)模式;若采用树形或级联方式,需采用不等分光分路器,稳定性存在不足。

工业以太网:可在主干链路上组成单环网、双环网,提高可靠性,在分支链路上可直接点对点接入,组网灵活。

3.1.7 终端设备

EPON 技术:ONU 之间二层的互通可以配置;OLT 支持代理地址解析协议(proxy ARP),即使二层设置了隔离,三层也可以互通。

工业以太网:基于交换式以太网,终端设备可以通信。

3.1.8 传输距离

EPON 技术:最远 20 km。

工业以太网:单模光纤最远 100 km。

3.1.9 工业级产品

EPON 技术:生产工业级要求的 EPON 设备的厂家不多。

工业以太网:为工业级环境应用设计,满足 IEC 61850-3 电磁兼容标准,支持宽温、防尘防水等,可用于恶劣的环境中。

3.1.10 经济

EPON 技术:设备价格低,系统造价较低。

工业以太网:设备价格高,系统造价较高。

综上所述,2 种技术各有优势与不足,存在互补之处。在实时性、自愈性方面,工业以太网优于 EPON,说明工业以太网适宜构建骨干网以保证可靠性。在冗余保护方面,EPON 抗多点失效,优于抗单点失效的以太网;在传输距离方面,EPON 适用于短距离传输,工业以太网适用于长距离传输;在经济性方面,EPON 造价低于工业以太网;上述三方面说明 EPON 适宜构建小范围接入网。

3.2 混合组网模式网络拓扑

混合组网模式采用了工业交换机组成骨干环网结合 EPON 实现最后 1 km 通信的方案。该方案由主节点、通信主环、子节点、分支链路、配电终端组成。主节点放置工业以太网交换机,采用环网模式连接,形成通

信主环。在有分支链路的主节点配置 OLT,挂在工业交换机下。子节点配置 ONU。通过 ODN 网络连接 ONU 与 OLT,形成分支链路。ONU 接入采集器、DTU 等配电终端设备。EPON 网络是作为工业交换机以太环网的接入层,连接通信主节点和配电终端。混合组网模式网络拓扑如图 6 所示。

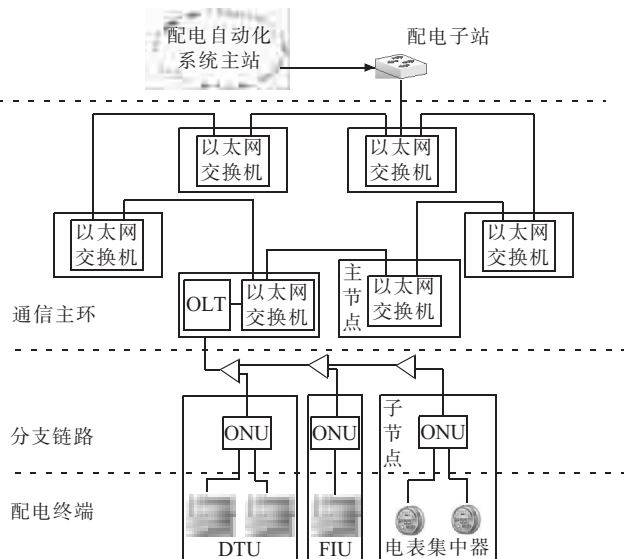


图 6 混合组网模式网络拓扑

3.3 混合组网模式特点分析

混合组网方案既集成了工业交换机在环网保护组网方式上的优势,又结合了 EPON 在最后 1 km 聚合终端的优势。其特点主要体现在以下几个方面。

(1) 可靠性。工业交换机可以灵活实现相切环、相交环等多种复杂的环网结构,实现 50 ms 以内的短切换时间,适用于构建骨干网。在分支链路上,由于其可靠性要求不如环网高,采用 EPON 组网技术是可以保证接入网可靠性的。在工业交换机的环网上,节点的增多,对网络收敛速度的影响较小,而 EPON 组网受限于其通信机制,其能串联的节点数有限。所以将 EPON 用于分支链路,连接数量有限的配电所是合适的,而采用工业以太网组建骨干网,可保证网络收敛速度。

(2) 传输距离。由于通信机制限制,EPON 组网方式的最大传输距离通常为 10~20 km,这个传输距离适用于短距离内的配电终端的接入。而采用工业交换机组成骨干环网,其传输距离大。

(3) 可扩展性。ODN 网络的设计需要考虑光损等诸多因素,复杂度高,扩展不便。但是,EPON 可以在终端侧根据配电网的辐射状、手拉手环网等连接方式,提供树状、手拉手主备光纤等光网络拓扑结构,其在接入网的组网灵活性优于工业以太网。而工业交换机组网则具有较强的可扩展性,采用工业交换机组成千兆骨干环网,为今后扩容预留充足空间。

(4) 应用场景 EPON 技术在密集型终端接入的

网络中能发挥出它的优势,一个 PON 口可以接到 1:32 甚至更高,故 EPON 方案适用于用电信息采集或者光纤到户项目。所以连接数量不多的配电子站采用以太环网,连接数量众多的配电终端采用 EPON 网络。

(5) 兼容性。就目前市场使用情况而言,不同厂商 EPON 设备之间的兼容性存在一定问题,所以应按照国家统一标准设计,以兼容其他厂商的 EPON 设备。而工业交换机遵循的协议标准成熟,国际通用,交换机兼容性好。所以混合组网模式可以弥补纯 EPON 组网兼容性的不足。

(6) 网管。EPON 系统对网管的要求更高,所以通常不同厂商的 EPON 设备在被网管时会存在管理不便的情况。但是,工业交换机遵循标准的 SNMP 协议,支持 WEB、TELNET、CONSOLE 等多种管理方式,因此网管方便。所以混合组网方案充分发挥以太网的优势,方便用户管理。

(7) 成本。OLT 和 ONU 之间仅有光纤、光分路器等光无源器件,对机房、电源、有源设备维护人员的需求很小,可以有效节省建设和运营成本。所以采用 EPON 作为接入网相比工业以太网,可以免去大量的维护工作。

3.4 工程案例

根据国网公司统一部署,苏州供电公司在苏州工业园区金鸡湖地区开展一流配电网工程建设。配电通信网共涉及配电所、户外环网室等共 453 座,以及包括 110 kV 湖滨变、南施变等在内的 8 座通信汇聚子站。该配电通信系统方案采用工业以太网技术和 EPON 技术相结合。变电站到配电所划为通信主环,采用工业以太网交换机组成环网。对数量众多且布局分散的配电所以及配电终端采用 EPON 通信方式,作为通信主环的分支链路。工程示意如图 7 所示。

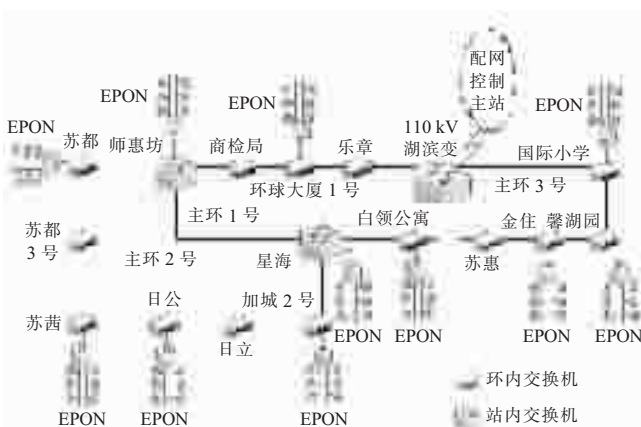


图 7 湖滨变配电网通信混合组

湖滨变配电通信网共有 3 个通信主环。通信主环内配置有 2 类交换机:站内交换机、环内交换机。站内交换机位于通信汇聚子站;湖滨变、星海开闭所、青年

公寓配电所内,用于3个主环的信息汇聚。环内交换机安装在主环内的其他配电所,用于环内通信。

湖滨变配网自动化通信网络中共有11个配电所下联了EPON网络作为分支链路。图8为苏都配电所下联的EPON网络。在苏都配电所内配置OLT,在其下联的配电所内配置ONU。ONU下联配电终端。所用OLT发出光功率为2~4 dBm,所用ONU设备接收光功率需小于1 dBm。

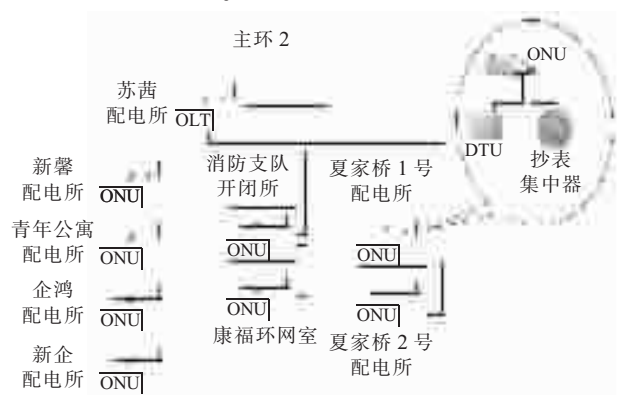


图8 苏都配电所 EPON 分支链路

4 结束语

目前,国内配网改造提升工程即将或正在大量建设,因此亟需设计出一种性能优良的配网通信组网方案。文中提出了一种基于EPON和以太网的配网通信混合组网方案,全面分析了该方案在配网自动化系统中进行数据传输的可靠性、安全性、兼容性、系统扩容能力和经济性等几方面的特点,指出了该方案的优越性。在实际工程应用中实现了EPON网络与工业以太网的融合运行,达到混合组网设计的要求。随着理论研究以及工程建设的不断推进,混合组网方案将得到广泛应用。

参考文献:

[1] 吴晓飞,尹飞.配网设备状态评估验证系统的研制[J].江苏电

机工程,2012,31(6):65-67.

[2] 沈飞飞,吕培强.配网状态巡检手持智能终端的实践与探索[J].江苏电机工程,2012,31(5):53-54.

[3] 刘文,杨慧霞,祝斌.智能电网技术标准体系研究综述[J].电力系统保护与控制,2012,40(10):120-126.

[4] 朱林,陈金福,段献忠.数字化变电站冗余体系结构的改进及其可靠性和经济性评估[J].电工技术学报,2009,24(10):147-151.

[5] 孙毅,骆书剑,吴润泽,等.基于EPON的配电通信网的动态带宽分配方案[J].电力系统保护与控制,2012,40(2):125-130.

[6] 徐国友.配网自动化通信方案选择[J].电力系统通信,2008,29(S1):54-56.

[7] 孙中伟,马亚宁,王一蓉,等.基于EPON的配电网自动化通信系统及其安全机制[J].电力系统自动化,2010,34(8):72-75.

[8] 刘晓胜,张良,周岩,等.低压电力线载波通信新型组网模型性能分析[J].电工技术学报,2012,27(11):271-277.

[9] 戴为,陈虹,徐伟.基于EPON通信技术的智能配电网方案研究[J].电力系统通信,2012,33(9):61-65.

[10] 马韬韬,李珂,朱少华,等.智能电网信息和通信技术关键问题探讨[J].电力自动化设备,2010,30(5):87-91.

[11] 蔡万升,钦佩,覃仁亮. EPON 通信技术在用电信息采集系统的应用[J].电力系统通信,2013,34(2):20-23.

[12] 徐光年,马新祥,潘克菲.基于EPON技术的配电网通信系统设计和应用[J].电力系统通信,2008,29(5):59-62.

[13] 沈一波.工业以太网快速自愈技术的研究[D].杭州:浙江工业大学,2010.

[14] 卢文冰,罗应立,闫迎.基于时频分析与互相关技术的工频通信下行解调[J].电工技术学报,2011,26(4):192-199.

作者简介:

赵家庆(1963),男,江苏苏州人,高级工程师,从事调度自动化工作;
王鼎(1986),男,江苏苏州人,硕士,从事调度自动化工作;
钱科军(1981),男,江苏苏州人,博士后,从事智能电网和调度自动化工作;

赵慧(1981),女,江苏苏州人,工程师,从事调度自动化工作;
俞瑜(1982),男,江苏苏州人,工程师,从事调度自动化工作;
秦舒斐(1989),女,江苏苏州人,助理工程师,从事调度自动化工作。

A New Hybrid Communication Network Scheme for Distribution Networks Based on EPON and Industrial Ethernet

ZHAO Jiaqing, WANG Ding, QIAN Kejun, ZHAO Hui, YU Yu, QIN Shufei
(Suzhou Power Supply Company, Suzhou 215004, China)

Abstract: Communication network plays a crucial role in the development of a first-class power distribution network. This paper introduced in details the principles of Ethernet passive optical network (EPON) and industrial Ethernet technology, and then analyzed EPON network scheme and industrial Ethernet network schemes. By comparing the two network technologies, this paper highlighted the characters and deficiency of the two network schemes if they are used in individual. Based on the comparison, a new hybrid communication network scheme for distribution networks based on EPON and industrial Ethernet is proposed. The scheme has better performances in terms of reliability, extensibility, access convenience, compatibility and ability to adapt to the practical situations. At last, an example of the engineering practice of the proposed network scheme in Suzhou Power Supply Company is introduced.

Key words: distribution network; EPON; industrial ethernet; hybrid network scheme