

DOI: 10.7667/PSPC150768

基于 EPON 网络的智能变电站继电保护技术研究

詹智华¹, 詹荣荣¹, 陈争光¹, 李岩军¹, 余越¹, 金乃正², 朱玛²

(1. 中国电力科学研究院国家电网仿真中心动模实验室, 北京 100192; 2. 浙江电力公司绍兴电力局, 浙江 绍兴 312000)

摘要: 相比传统电力通信网络, EPON 网络能够更好地满足智能变电站通信系统要求, 但是智能变电站过程层网络采用 EPON 技术也存在安全性、可靠性、实时性的问题, 导致继电保护存在拒动的风险。针对上述问题提出了改进措施, 并进行了基于 EPON 网络下继电保护功能的适应性研究。通过搭建基于 EPON 网络的智能变电站过程层继电保护动模测试平台, 重点选取 220 kV 智能变电站的母线保护、变压器保护、线路保护为研究及测试对象, 进行动模试验。试验结果表明, 各类保护装置、合并单元及智能终端可通过 EPON 过程层通信网络实现设备间采样报文及跳闸报文的信号传输, 保护装置动作性能未受影响。

关键词: EPON 网络; 智能变电站; 继电保护; 动模试验

Research of relay protection technology smart substation based on EPON network

ZHAN Zhihua¹, ZHAN Rongrong¹, CHEN Zhengguang¹, LI Yanjun¹, YU Yue¹, JIN Naizheng², ZHU Ma²

(1. Dynamic Test Laboratory of State Grid Simulation Center, China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China;
2. Shaoxing Electric Power Bureau, State Grid Zhejiang Electric Power Company, Shaoxing 312000, China)

Abstract: Compared with the traditional electric power communication network, the EPON network can meet the requirements of the smart substation communication system better. But the problems of security, reliability and real-time in the process layer network of the smart substation still exist, which leads to the miss tripping risk of the relay protection. The improvement measures of this problem are proposed, and the adaptability of relay protection function based on EPON network is studied. Based on the protection dynamic testing platform of the smart substation using the EPON network, the bus protection, transformer protection and line protection of 220 kV smart substation are studied and tested. The testing results show that all kinds of protection devices, merging units and intelligent terminals can deliver the sampling and tripping packets through EPON process layer network, and the performance of the protections is not affected.

Key words: EPON network; smart substation; relay protection; dynamic simulation test

0 引言

智能变电站是智能电网建设的重要内容,是发、输、变、配、用电和调度等智能电网各环节信息交互的关键支撑点^[1-3],其核心技术之一就是网络通信技术。现阶段国内智能变电站的过程层网络采用工业以太网交换机进行组网^[4],其价格高昂且大部分为国外产品,在智能电网强调“交互、自愈、可靠、安全、集成”的背景之下,迫切需要一个价格低廉、安全性高、组网灵活、扩展性强、光纤化的电力通信网络来实现智能变电站中大量信息传输与处理,满足坚强智能电网的发展要求。

以太网无源光网络(Ethernet Passive Optical

Network, EPON)技术实现了业务在无源光纤上的点到多点传输,同时支持以太网之上的多种业务传输,其信号处理功能均在交换机和用户宅内设备完成,而且传输距离比有源光纤接入系统短,覆盖的范围较广,造价低,在电信宽带入户、智能小区、物联网等领域得到了广泛应用,并在电力系统的配网自动化和用电自动化领域开展了应用测试,成为智能电网中宽带电力通信系统最理想的接入方式之一^[5-6]。

1 EPON 基本原理与技术特点

1.1 EPON 网络基本原理

目前电力通信网主要以光纤、数字微波传输为主,卫星、电力线载波等多种通信方式并存,承担

着数据通信、语音信息、继电保护、监控等领域业务。随着光通信技术的快速发展, 电力通信接入网开始采用 EPON 设备运用于配电自动化业务和用电信息采集业务^[7]。

EPON 系统是由光线路终端 (Optical Line Terminal, OLT)、光配线网络 (Optical Distribution Network, ODN) 和光网络单元 (Optical Network Unit, ONU) 组成的单纤双向系统^[8]。ODN 由光纤和无源光分路器或连接器组成, 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。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。EPON 的基本网络结构见图 1。

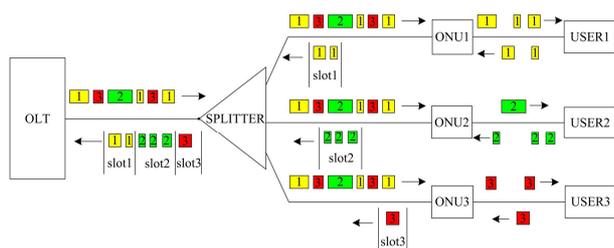


图 1 EPON 网络结构

Fig. 1 Ethernet passive optical network

1.2 EPON 网络技术特点

EPON 设备物理层上应用 PON 技术, 链路层使用以太网协议, 采用 PON 的拓扑结构实现了以太网的接入, 与传统的电力通信网相比有如下优势: 动态带宽分配、补偿测距、自动发现技术、基于时分复用的同步技术、光纤保护倒换、物理层的加解密等。

1.2.1 动态带宽分配(DBA)

带宽分配主要具有静态、动态两种形式, 其中静态分配由窗口尺寸决定, 其带宽利用率较低; 而动态带宽分配是当 ONU 进行实时带宽请求时, OLT 根据 ONU 的流量信息为 ONU 分配实时动态上行带宽, 虽然实现方式较为复杂, 但优点是带宽、利用率高, 对突发性业务的适应性较好^[9]。DBA 将直接影响 EPON 上行链路的信道利用效率、带宽、时延等, 是 MAC 层最为核心的技术。

智能变电站中实时性要求更高的 GOOSE 报文和 SV 报文所产生的网络流量较大, 现有智能站通信系统中各类业务的报文在系统中采用混合传输方式, 业务流之间存在资源竞争; 当设备故障导致某

个流向或端口的数据量激增时, 网络的稳定性和可靠性将会受到严重影响。

EPON 的动态带宽分配技术可对不同类型数据进行有效的动态带宽分配, 保证报文信息有序可靠传递, 避免不同类型的数据之间相互影响。

另外, 继电保护等测控装置要求通信通道之间相互独立或使用“直采直跳”的通信方式。EPON 网络采用面向连接的数据传递方式, 在数据传递过程中资源(端口、连接、带宽和路由)完全固定, 在逻辑通道意义上做到了“直采直跳”。而传统以太网交换技术存在通道共享、业务易相互影响等问题, 通信资源无法实现灵活分配与管理, 保护业务传输的可靠性易受到影响。

1.2.2 测距补偿技术

测距补偿技术就是对 OLT 与各个 ONU 之间因为距离不同、环境温度变化、设备器件老化等原因引起的环路时延差异进行补偿, 使 OLT 能准确地将各个 ONU 发来的数据进行复用。测距技术分为静态测距和动态测距, 其中静态测距补偿主要用于新加入 EPON 网络的 ONU 安装调试时, 或者是离线的 ONU 重新上线时, 由于距离(光纤长度)和设备器件的不一致性导致的环路时延差异; 动态测距补偿主要用于在线 ONU 运行过程中, 由于环境温度、设备器件老化等原因导致的环路时延差异。

通常以太网交换机的带冲突检测的载波监听多址接入(CSMA/CD)机制使得系统在重负载或过载情况下高优先级业务的服务质量(QoS)难以得到可靠保证, 容易导致数据报文的传输时延发生抖动。时延的稳定性对继电保护极其重要, 不稳定的延时可能造成保护闭锁。EPON 补偿测距技术能在传递数据前约定通信资源分配策略, 从而可以控制通信时延的不确定性。

1.2.3 自动发现技术

已存在网络中的 ONU 从离线变成在线, 或者网络中新加入一个 ONU, 这些 ONU 接入 PON 进程的过程称为“发现”。系统首先就是对新加入的 ONU 在网络里进行注册, 新注册的 ONU 将自动加入 EPON 系统而不影响其他已正常接入网络的 ONU, 整个过程叫作自动发现技术。

1.2.4 基于时分复用的同步技术

由于 EPON 技术的 OLT 必须在突发模式下接收数据, 因此, 高速时钟同步和数据恢复就成为了关键。各 ONU 采用时分复用的机制接入 EPON 系统, OLT 与 ONU 的初始时间同步是后续通信过程的基础、数据正确传输的保证。系统同步建立在一个共同的参考时钟之上, EPON 一般使用 OLT 时间

为标准参考, OLT 定时广播时钟信息至各 ONU, 各下级 ONU 依据此信息调整自身时间, 主动与上级 OLT 实现同步, 完成整个系统在时间域的协调一致。

1.2.5 光纤保护倒换技术

EPON 主要采用骨干光纤保护和全光纤保护两种倒换技术^[10], 可以有效避免该光纤所属的 ONU 全部无法与 OLT 通信的故障。

1.2.6 物理层的加解密技术

EPON 系统采用一点对多点的结构模式, OLT 到各 ONU 的下行数据采用广播模式发送, 可能存在安全问题, 需要对信息进行加密处理。加密和解密可以在物理层、数据链路层及其上的协议层进行。其中, 与在 MAC 层以上的加解密相比, 在物理层的加密和解密是相对安全的。在发送端, 物理层对整个字节流进行加密; 在接收端, 物理层对数据解密之后再发送给 MAC 层验证。每个 ONU 的密钥各不相同, 当收到不属于自己的数据帧时, 由于没有正确的密钥, 就不能将其正确解密, MAC 层验证也不会通过, 确保了当前 ONU 不能获得其他 ONU 的数据。

2 智能变电站过程层基于 EPON 网络存在的问题及解决方案

从以上技术特点可以看出, 与传统的电力通信网相比, EPON 网络在实用性、可操作性、经济性等方面能够更好地满足智能变电站通信系统要求, 并已成功运用于配电自动化领域。但是, EPON 网络也存在一些问题, 若要将 EPON 网络运用智能变电站过程层组网, 则还需要解决好以下几个问题。

2.1 安全性

1) 在 EPON 下行传输中可能存在非法用户窃听信息。例如, 非法用户窃听操作管理维护 OAM 地址、用户数据等。同时, 在 EPON 网络的上行传输中, 虽然不存在非法窃听, 但是可能出现伪造、篡改和重发信息影响传输信息的可靠性和数据完整性, 恶意 ONU 发送大量信息导致网络拥塞以及传统以太网中存在的安全威胁。

解决方案: 为了保证传输信息的保密性、可靠性和可控性, 应对 MAC 控制帧、OAM 控制帧以及链路层的传输帧采取 AES 加密算法加密。为确保上行信道中信息的可靠性和数据完整性, 可以通过用户鉴权来确认是否对使用者发送信息, 或者采用明文加密以确保使用者发送的数据和 OLT 接收到的数据一致, 或在用户接口处将侵入系统的非法控制

帧过滤。

2) EPON 网络技术是在以太网交换基础上建立, 同样存在着 ARP 攻击、DoS 攻击等以太网网络安全隐患。

解决方案: 在 EPON 组网中采用加密认证、业务隔离、报文过滤、访问控制 and 安全管理技术手段, 以确保网络中传输数据的完整性、安全性。

2.2 可靠性

EPON 组网在运行中可能由于 OLT 主控板、业务板冗余不满足或者承载重要业务的 EPON 光网络结构缺乏相关光路冗余保护手段导致设备、光路故障时承载业务无法正常切换, 电力通信接入网业务中断影响信息的完整性。

解决方案: EPON 组网对链路采用冗余保护可避免光链路以及业务端口故障对网络传输业务的影响。在故障发生时, 可通过业务端口和链路的倒换保证业务正常传输, 根据标准 Q/GDW373-2009《电力用户用电信息采集系统功能规范》中对用电信息采集系统通信类业务的需求, EPON 组网业务倒换过程中倒换时间应小于 50 ms。

2.3 实时性

智能变电站的继电保护及控制设备通过智能变电站过程层网络采集 SV 采样值数据和 GOOSE 信息, 进行内部功能运算后, 通过智能终端设备进行跳闸操作。

通常 MU(80 点采样, 即 250 μ s 发送间隔)的采样值具有较好的发送均匀性和较低的离散度。但是经过 ONU 接入 EPON 系统后, 由于 EPON 系统 OLT 和 ONU 之间采用时分复用方式进行通信, OLT 和 ONU 之间每次轮询时隙的最小时间间隔为约 500 μ s, ONU 和 OLT 进行上传采样信息时, 可能出现“压包”现象, 即若干采样值数据包不能随到随转发, 压在 ONU 中, 导致采样值数据包到达 OLT 时呈现出较差的均匀度, 保护因采样值通道离散度过大而导致闭锁^[11]。

解决方案:

1) 带宽分配周期升级为 125 μ s, 远小于通用 EPON 系统的分配周期(500 μ s)。

2) 带宽分配采用固定带宽分配, OLT 周期性(125 μ s)地给 ONU 分配上行窗口(带宽)。ONU 不需要按报文边界向 OLT 报告字节数。

3) 为了提高带宽的利用率, OLT 每个 PON 口最大支持下挂 8 个 ONU, 且 ONU 上行报文切片传输, 最大化利用固定窗口带宽。

4) FX 口接收 1 500 字节的报文需要 120 μ s, ONU 上行等待的时延最大 125 μ s。报文在 OLT 和交换机

中的转发时延控制在 50 μs 以内(需要设置严格的 QoS), 即报文回到目的 ONU 的延时控制在 300 μs 以内。另外通过精确计算所有 SV 报文在系统中每一跳的驻留时间, 报文到达目的 ONU 后, 根据已逝去的时间与设置的固定时延, 计算出 SV 报文在目的 ONU 中需要等待的时间, 确保报文在 EPON 系统中经过的时延是固定值。

因此可看出, EPON 网络数据转发时延控制时间越短, 且时延时间离散越小就可以解决“压包”现象, 从而实现虚拟点对点方式接入的保护装置功能不受影响。

3 动模试验

3.1 模型介绍

为验证 EPON 网络优化方案的可行性, 保护装置功能的适应性, 根据文献[12]电力系统继电保护产品动模试验的技术要求, 结合智能变电站实际工况, 建立了基于 EPON 网络的 220 kV 智能变电站系统模型。

3.1.1 动模系统

动模系统接线如图 2 所示, 系统中 N 站发电厂经 24.2 km 无互感单回线路与 M 站系统相连, 线路主要参数如表 1 所示。N 侧电厂系统, 装有 10 G、12 G 共两台发电机组, 总装机容量为 1 100 MW。M 站为单母线分段接线, 接有一台容量为 240 MVA 的三绕组变压器, 变压器中压侧与 110 kV 等级无穷大等值系统相联, 其短路容量为 3 500 MVA, 变压器低压侧接有补偿电抗(补偿容量约为 20 Mvar)和补偿电容(补偿容量约为 30 Mvar)。

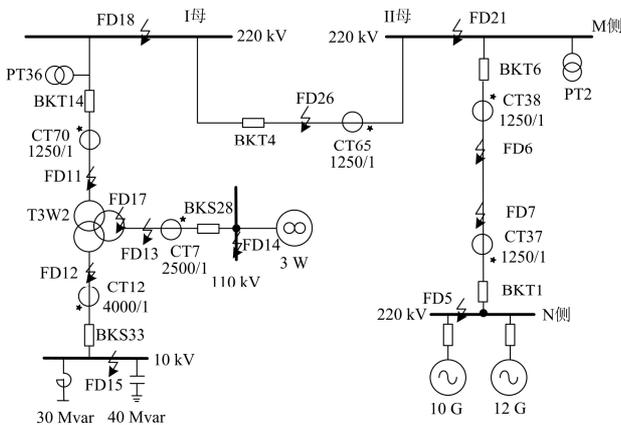


图 2 基于 EPON 网络的继电保护装置动模试验系统图

Fig. 2 Simulation test system protection device EPON network

3.1.2 过程层 EPON 网络方案

为了增强系统的传输可靠性, 在对 OLT 和 ONU

进行设计时需考虑支持 1 : 1 冗余备份组网需求, 在数据链路层处理以前具备单点双线保护机制, 也即在光纤和电路上提供冗余备份保护。该 EPON 冗余拓扑结构具备的功能如下:

1) 支持 OLT 侧断路器保护。OLT 侧一条光纤或电路断开后, 上下行数据通过另一条备用链路进行传输, 系统仍然正常工作。

2) 支持光耦合器之间的光纤断路保护。此时一部分 ONU 通过主链路 with OLT 通信, 另一部分 ONU 通过备用链路 with OLT 进行通信, 系统仍然正常工作。

3) 支持光耦合器与 ONU 之间的光纤或电路断路保护。断路的 ONU 通过备用链路收发数据, 其他 ONU 不受影响。同时, 系统冗余切换时间得到控制^[13]。

本次试验中采用 A、B 双 EPON 网络并行运行的组网方案, 每一个网络接入变电站各间隔设备, 不用再分电压等级设立网络。在 A 网和 B 网各部署一台实时交换机。每个网均采用无源光网络技术的方式实现对各类 IED 终端的接入。原有继电保护装置的以太网通信板上加入一块“以太网-EPON”的转换接口板(简称 P 模块), 其作用相当于 ONU。实时交换机通过 P 模块实现与合并单元、智能终端、保护装置等设备进行数据交换。系统构架如图 3 所示。

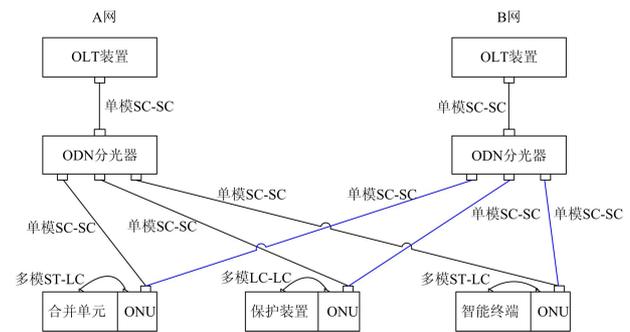


图 3 过程层 EPON 通信网络图

Fig. 3 Process level EPON network

3.1.3 设备配置清单

本次试验中的二次设备包括合并单元、智能终端、合智装置、母线保护、变压器保护和线路保护, 以及一套 EPON 网络设备。装置清单如表 1、表 2 所示。

表 1 保护装置清单

Table 1 Protection list

| 装置类型 | 数量/台 | 配置点 |
|-------|------|------------|
| 母线保护 | 1 | M 站 |
| 变压器保护 | 1 | M 站 |
| 线路保护 | 2 | 线路 M 侧、N 侧 |

表 2 合并单元、智能终端及通信设备清单
Table 2 MU/intelligent terminals/communications
equipment list

| 装置类型 | 数量 | 配置点 |
|---------------------------------|----|-----------|
| 线路合并单元 | 2 | CT37、CT38 |
| 母联合并单元 | 1 | CT65 |
| 母线合并单元 | 1 | PT36、PT2 |
| 主变高压侧合并单元 | 1 | CT18 |
| 主变中压侧合智一体装置 | 1 | CT7、PT7 |
| 主变低压侧合智一体装置 | 1 | CT12、PT12 |
| 线路智能终端 | 2 | BKT1、BKT6 |
| 母联智能终端 | 1 | BKT4 |
| 母线智能终端 | 1 | BKT6 |
| 主变高压侧智能终端 | 1 | BKT14 |
| EPON 装置(包括 OLT 2 台, ODN 2 台) | 1 | 网络配置 |
| 网络分析仪 | 1 | 报文分析、故障录波 |

3.2 试验项目和结果

3.2.1 常规项目

被测母线保护、变压器保护、线路保护装置在系统分别发生区内外金属性故障、转换/发展性故障、经过渡电阻故障、断路器失灵、匝间故障、合智单元失步及失步再同步时,区内故障时,保护均能可靠动作,且保护动作时间未见明显加长。区外故障,保护均未发生误动。试验期间保护未发生误闭锁现象。分别模拟保护装置、通信设备、合智装置的直流电源发生时断时续的情况,保护装置未发生误动。

3.2.2 OLT 光纤通道异常

根据标准 Q/GDW373-2009《电力用户用电信息采集系统功能规范》中对用电信息采集系统通信类业务的需求,EPON 组网业务倒换过程中倒换时间应小于 50 ms。为验证倒换操作是否会对保护装置动作行为造成影响,需要对 EPON 网络进行 OLT 光纤通道异常试验。试验情况如下。

1) 断开其中 A 网 OLT 上的通信光纤,中断后各保护装置无异常报文,模拟各保护装置的区内外金属性故障,各保护装置在区内故障发生时能可靠动作,区外不误动。

2) 将 A、B 网的 OLT 电源同时掉电,掉电后瞬时(0~200 ms 内)模拟各保护装置的区内外金属性故障,此时保护装置在区内故障发生时能可靠动作,区外不误动;掉电 250 ms 后 OLT 的数据输出终止,保护装置报通信异常,模拟区内外故障,保护不动作。

3.2.3 GOOSE 报文网络压力测试

网络风暴除了会造成网络堵塞、系统大面积断网等影响外,还会冲击过程层、间隔层中所有组网设备,造成其网卡接收缓冲区溢出,大量占用 CPU 资源,导致各组网设备软件程序死机或重启,危害智能变电站的安全稳定运行^[14]。

EPON 网络具有业务隔离、报文过滤和访问控制功能,可以根据用户业务采用 VLAN 技术实现 VPN;通过采用 ACL 流过滤机制,使系统支持端口的源和目的 MAC 地址帧过滤,同时也可实现对上层协议类型的报文过滤,如源、目的 IP 地址、VLAN ID 及 TCP 端口号等,从而有效抑制网络风暴。为验证 EPON 网络发生网络风暴时对保护的影响,进行了以下试验。

1) 在原有网络数据流量的基础上使用网络测试仪通过 PIN 板卡端口对各保护装置施加单个非订阅 GOOSE 报文,注入流量为 1 M~(100 M-实测基础流量),网络压力持续时间不小于 2 min。网络压力持续过程中,保护装置无异常报文,模拟区内外故障及与各订阅 GOOSE 控制块报文相关的故障(如断路器失灵),保护装置在区内故障、失灵故障时能可靠动作,区外故障不动作。

2) 在原有网络数据流量的基础上使用网络测试仪通过 PIN 板卡端口对保护装置施加单个订阅 GOOSE 报文,注入流量为 1 M~(100 M-实测基础流量),网络压力持续时间不小于 2 min。网络压力持续过程中,保护装置无异常报文,模拟区内外故障及与各订阅 GOOSE 控制块报文相关的故障(如断路器失灵),保护装置在区内故障、失灵故障时能可靠动作,区外故障不动作。

试验结果表明,采取改进措施后,智能变电站过程层采用 EPON 网络未对继电保护装置动作性能产生影响。

4 结论

1) 分析表明,与传统的电力通信网络相比,EPON 网络在实用性、可操作性等方面能够更好地满足智能变电站通信系统要求。

2) 建立了动模试验平台对 EPON 通信网络设备、继电保护装置、合并单元及智能终端的整体配合性能进行了全面测试。测试结果表明,EPON 网络通信技术采用改进措施后,设备间采样报文及跳闸报文的正常传输,保护功能特性未受影响,验证了修改措施的有效性。

参考文献

- [1] 辛培哲, 闫培丽, 肖智宏, 等. 新一代智能变电站通信网络技术应用研究[J]. 电力建设, 2013, 34(7): 17-23.
XIN Peizhe, YAN Peili, XIAO Zhihong, et al. Application of communication network technology in new generation smart substation[J]. Electric Power Construction, 2013, 34(7): 17-23.
- [2] 于同伟, 蔡玉朋, 金世鑫. 一种面向智能变电站的广域各自投系统的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(9): 129-135.
YU Tongwei, CAI Yupeng, JIN Shixin. An application for smart substation-oriented wide-area backup automatic switch[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(9): 129-135.
- [3] 汪强, 徐小兰, 张剑. 一种新的智能变电站通信业务安全隔离技术的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(17): 139-144.
WANG Qiang, XU Xiaolan, ZHANG Jian. A new method of smart substation communication service security isolation technology[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(17): 139-144.
- [4] 刘井密, 李彦, 杨贵. 智能变电站过程层交换机延时测量方案设计[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(10): 111-115.
LIU Jingmi, LI Yan, YANG Gui. Design of delay measurement switch in intelligent substation process level[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(10): 111-115.
- [5] 袁圆, 陈超, 田金丽. 一种基于EPON的新型电力系统通信网[J]. 煤矿机电, 2010(4): 36-38.
YUAN Yuan, CHEN Chao, TIAN Jinli. A new communication network of power system based on EPON[J]. Colliery Mechanical & Electrical Technology, 2010(4): 36-38.
- [6] 黄可. EPON技术在电力通信网中的应用[J]. 电信技术, 2006(10): 121-123.
HUANG Ke. The application of EPON technology in electric power communication network[J]. Telecommunications Technology, 2006(10): 121-123.
- [7] 殷志锋, 周雅, 张元敏. 基于EPON的电力自动化信息传送平台[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(2): 112-115.
YIN Zhifeng, ZHOU Ya, ZHANG Yuanmin. Electric power automation information transmission platform based on EPON[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(2): 112-115.
- [8] 王一蓉, 赵强, 尹少鹏. EPON系统安全性分析与安全策略[J]. 电力系统通信, 2009, 30(6): 1-5.
WANG Yirong, ZHAO Qiang, YIN Shaopeng. Safety analysis of EPON system and security strategy[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2009, 30(6): 1-5.
- [9] 张晓敏, 李维民. EPON动态带宽分配算法及仿真[J]. 电讯技术, 2009, 49(10): 79-82.
ZHANG Xiaomin, LI Weimin. Dynamic bandwidth distribution algorithm of EPON and its simulation[J]. Telecommunication Engineering, 2009, 49(10): 79-82.
- [10] 熊斌. EPON网络技术在智能用电领域的应用研究[D]. 长春: 吉林大学, 2014.
- [11] 金乃正, 朱玛, 马平, 等. 基于EPON通信技术的智能变电站保护控制技术研究[J]. 数字技术与运用, 2013(1): 36-38.
JIN Naizheng, ZHU Ma, MA Ping, et al. Research on relay protection and control technology in smart substation based on EPON communication technology[J]. Digital Technology and Application, 2013(1): 36-38.
- [12] GB/T 26864-2011 电力系统继电保护产品动模试验[S]. 北京: 中国电力出版社, 2011.
GB/T 26864-2011 the dynamic test of the power system protective products[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2011.
- [13] 刘冬梅. 面向智能电网应用的EPON技术与方案研究[C] // 中国电机工程学会年会论文集, 2013.
LIU Dongmei. Research on technology and scheme of EPON in smart grid application[C] // China Electrical Engineering Society Annual Conference, 2013.
- [14] 浮明军, 刘秋菊, 左群业. 智能变电站网络风暴测试研究[J]. 现代电力, 2013(3): 85-89.
FU Mingjun, LIU Qiuju, ZUO Qunye. Research on the network storm testing of smart substation[J]. Modern Electric Power, 2013(3): 85-89.

收稿日期: 2015-05-08; 修回日期: 2015-09-25

作者简介:

詹智华(1982-), 男, 硕士, 中级职称, 研究方向为继电保护动态模拟技术和检测技术。E-mail: 37739441@qq.com

(编辑 周金梅)