



其他

基于 SDH 的电力光传输网仿真与应用

郭云飞¹, 卜宪德¹, 刘世栋¹, 王瑶¹, 余文杰²

(1. 国网智能电网研究院, 江苏 南京 210003; 2. 南京南瑞集团公司, 江苏 南京 211103)

摘要:以电网控制业务的通信支撑系统为目标,提出了从设备层、网络层和业务层进行电力光传输网仿真的体系架构以及在 SSFNET (scalable simulation framework network) 平台基础上进行 SDH (synchronous digital hierarchy) 原型机仿真的实现原理,详述了 SDH 设备逻辑部件、网络保护与恢复和关联告警功能的设计思路及实现方法,最后以承载苏北安稳系统的 SDH 通信拓扑结构为实例,实现了电力光传输网络的业务承载、故障告警、通道恢复、路由重建、时延监测的基本功能,为通信网络风险评估、故障模拟以及与电网控制系统的交互影响提供量化分析手段。

关键词: SDH; SSFNET; 仿真; 电力光传输网

中图分类号: TN915.853

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015397

Simulation and application of power transmission network based on SDH

GUO Yunfei¹, BU Xiande¹, LIU Shidong¹, WANG Yao¹, YU Wenjie²

1. State Grid Smart Grid Research Institute, Nanjing 210003, China

2. Nanjing NARI Group Corporation, Nanjing 211103, China

Abstract: The architecture of power optical transmission network simulation was proposed from the equipment layer, network layer and business layer for the target of communication support system for power grid control business, and the principle of SDH prototype simulation based on SSFNET was presented, and the design idea and implementation method of SDH device, network protection and recovery and associated alarm function was described in detail. Finally an example about the SDH communication topology of stable system in Northern Jiangsu Province was given, it realized the basic function of service bearer, fault alarm, channel recovery, route reconstruction, delay monitoring of power optical transmission network, which would provide quantitative analysis method for the communication network risk assessment, fault simulation, and the interaction effect of the power grid control system.

Key words: SDH, SSFNET, simulation, power optical transmission network

收稿日期: 2015-10-17; 修回日期: 2015-12-15

基金项目: 国家电网公司科技项目“电网和通信网联合仿真技术基础研究”; 江苏省经济和信息化委员会项目“电网和通信网联合仿真平台关键技术研究及产业化”

Foundation Items: The Science and Technology Project of State Grid Corporation of China “Research on the Key Technologies for Co-simulation of Power Grid and Communication Grid”, The Project of Jiangsu Economic and Information Technology Commission: Key Technologies Research and Industrialization of Co-simulation Platform of Power Grid and Communication Grid

1 引言

随着通信技术的发展,通信网络呈现出多层次、复杂化的发展趋势。ITU-T 于 1978 年推出了 SDH(synchronous digital hierarchy) 标准,20 世纪 90 年代中期 SDH 引入中国,至今已经成为一种相当成熟的技术标准,在骨干网通信中被广泛采用。近年来,SDH 光通信网络在电力通信系统得到了飞速发展,几乎覆盖了所有 110 kV 以上的变电站,已经成为电力通信系统中主要采用的通信技术体制。

随着 SDH 光通信网络在电力通信系统的飞速发展,使得电力通信系统的性能不断提高,同时也带来了电力通信网络结构的复杂化和网络应用的多样化,单纯依靠经验和理论计算进行通信网络的规划设计和性能分析已经不能适应网络的发展。一方面,通信专业人员面对大量的业务数据和纷繁复杂的光缆资源往往无所适从;另一方面,随着广域测量和保护控制应用变多,使远距离的数据和信息的传递越来越多,通信的可靠性及时延误码对电网运行控制的影响会越来越大,因此需要针对电力系统开发专用的光通信网络仿真平台来对业务和已有资源数据进行分析,模拟电力传送网的业务承载特性,再现电力系统控制的通信信道质量。为电网控制系统的策略制定提供客观、可靠的定量分析依据,从而提高电网的安全稳定性。

2 电力光传输网仿真设计与实现

2.1 体系架构

目前,SDH 技术已成为电力光传输网采用的主要技术体制,SDH 网络主要由设备层、网络层和业务层组成,其中设备层主要完成信号的接入、分插复用、封装映射以及信号解析等基本功能;网络层面主要实现设备之间光纤链路的连接、信号的传输以及网络的保护与自愈功能,其中每个光纤链路又可以根据时隙颗粒的大小分成若干个子信道;业务层面主要根据电力业务的通道性能要求建立相应的电路实现对电力业务的承载功能。因此对电力光传输网仿真可以按照设备层、网络层和业务层功能来分层实现^[1],电力光传输网仿真的体系结构如图 1 所示。

其中设备层仿真是电力光传输网仿真的核心,模拟端到端业务流在 SDH 网络的分插复用、时延监测、故障报告、保护倒换、外部重路由等。网络层的仿真主要包括业务路由的建立、网络保护与自愈功能、网络故障模拟等功能。业务承载功能的仿真,主要模拟分插复用设备,将 SDH 设

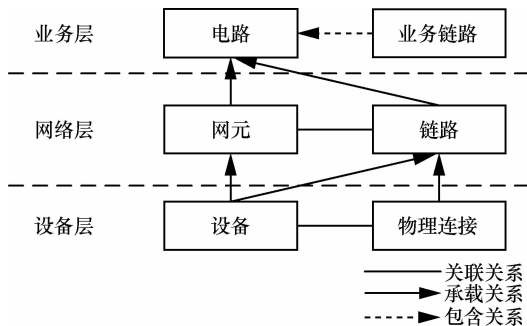


图 1 电力光传输网仿真的体系结构

备接口接收的 E1 支路信息封装到 STM (synchronous transfer module) 线路,并经由光链路和中继设备,完成端到端传送及其时延监测与统计。业务电路、物理链路与设备端口之间的连接关系主要通过配置文件完成。

2.2 SDH 原型系统仿真

SDH 技术采用同步复用方式,复用映射结构灵活。由于采用了指针技术,低速支路信号在高速线路信号位置是可预知的,可以通过控制完成灵活的上下支路信号,SDH 仿真主要包括 SDH 主要功能部件仿真、网络保护与恢复功能和关联告警功能的仿真。

本系统中 SDH 原型系统的仿真主要基于 SSFNET (scalable simulation framework network) 平台框架设计,SSFNET 是一个网络协议仿真和建模的开源软件,提供面向对象的可扩展仿真建模并行运算环境,链路层和物理层的协议模型以独立的组件方式提供,允许用户按需要进行补充和修改,SSFNET 模型具有自配置的特点,每一个 SSFNET 类的实例可以通过查询一个已配置的数据库自动进行自我配置,自我配置可以在本地或 Web 上完成。网络配置文件以 DML(domain modeling language)形式给出,用于配置一个完整的网络模型。SSFNET 主要包括 2 个部分:SSF.OS 和 SSF.Net。其中,SSF.OS 用于主机和操作系统组件的建模,SSF.Net 用于网络连接、节点创建和链路配置的建模^[2]。软件设计采用了模块化设计原则,从逻辑执行过程划分,主要包括 4 层仿真功能模块:SSF 层、SSFNet 层、GLASS 层、SDH 仿真层,其中 GLASS 层主要完成光网络层的自动路径搜索算法功能,可以基于 GLASS 层灵活地实现光网络层的自动重路由功能,SDH 仿真层又包含三大模块:网元设备仿真模块、APS 协议仿真模型、告警关联仿真模块。每一层都向上一层提供开放的 API,以便于根据需求来扩展和替换新的模块,SDH 仿真平台系统结构如图 2 所示。

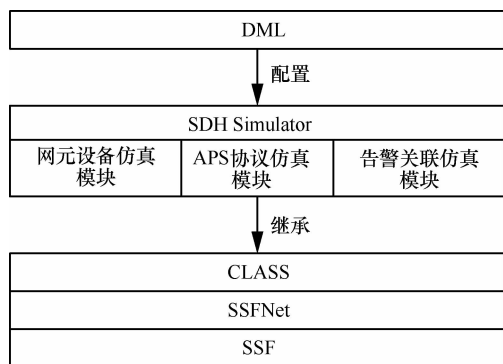


图2 SDH仿真平台系统结构

2.2.1 网元设备仿真

ITU-T 对 SDH 设备的规范以功能参考模型的方法,把设备需要的功能分解成不同的标准功能模块。对功能模块的物理实现方法并不做要求。各种不同的设备通过不同的功能模块组装而成,以完成不同的功能,基本功能块具备的功能相同,外部接口一致,从而规范了设备的标准化^[3]。

SDH 设备中处理信号帧的各项功能块有:传送终端功能 (transmission termination function, TTF)、SDH 物理接口 (SDH physical interface, SPI)、再生段终端 (regenerator section termination, RST)、复用段终端 (multiplex section termination, MST)、复用段保护 (multiplex section protection, MSP)、复用段适配 (multiplex section adaptation, MSA)、高阶接口 (high order interface, HOI)、低阶接口 (lower order interface, LOI)、高阶组装器 (high order assembler, HOA)、高阶通道连接 (high order path connection, HPC)、PDH 物理接口 (PDH physical interface, PPI)、开销接入功能 (overhead access, OHA)、低阶通道适配 (lower order path

adaptation, LPA)、同步设备管理功能 (synchronous equipment management function, SEMF)、低阶通道终端 (lower order path termination, LPT)、消息通信功能 (message communication function, MCF)、低阶通道连接 (lower order path adaptation, LPC)、同步设备时钟源 (synchronous equipment timing source, SETS)、高阶通道适配 (high order path adaptation, HPA)、同步设备定时物理接口 (synchronous equipment timing physical interface, SETPI)、高阶通道终端 (high order path termination, HPT)^[4]。以 TM 设备(终端复用器)为例,SDH 逻辑设备构成如图 3 所示。

SDH 逻辑设备仿真的思路就是根据信号的处理流程以及各个逻辑设备在信号处理中的作用,按照信号流的处理顺序实现各逻辑模块的功能仿真,并在统一的管理模块的组织控制下完成 SDH 信号帧的封装、分插复用与解复用等基本功能。下面以线路接口复用功能为例详细说明具体实现过程。分插复用器 (add/drop multiplexer, ADM) 是 SDH 设备的主要组成部分,综合了支路接口、线路接口和完成接口内部互联的模块,包括交叉连接器,联合低速数据流进入一个单束光,在接收的一个光信号之上,被设定丢弃到来的整个信号或丢弃仅仅特定的一部分较低速率的光信号,剩余的信号通过。同时,光信号或能够被附加来取代丢弃的信号和完成流出的光信号^[5]。对接 ADM 的互连,命名为 LNIC(线路接口)。一对互连的 LNIC,对应的物理媒质为光纤,一条或多条光纤,组合为光链路,命名为 LineLink,包含结构化组装的 E1 通道以及用于控制与管理消息传送的嵌入式控制通道 (embedded control channel, ECC),SDH 设备 ADM 仿真的模块结构及相互关系如图 4 所示。

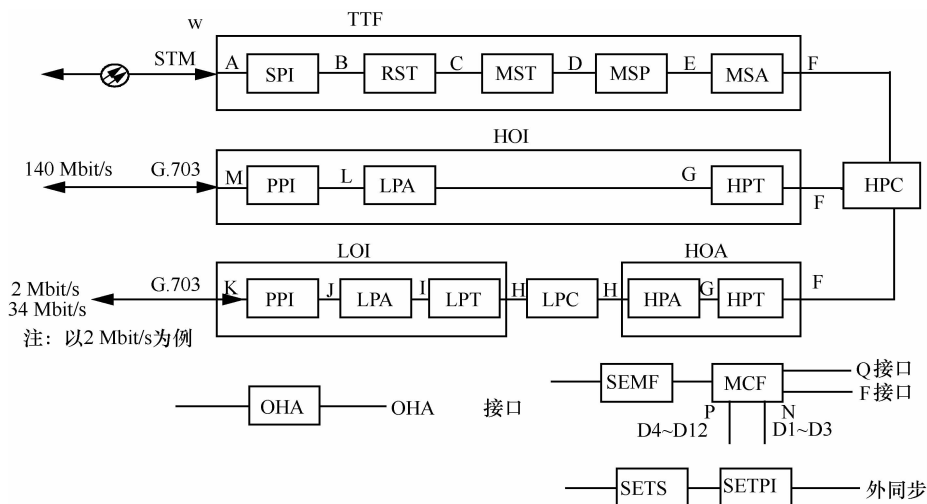


图3 SDH逻辑设备构成

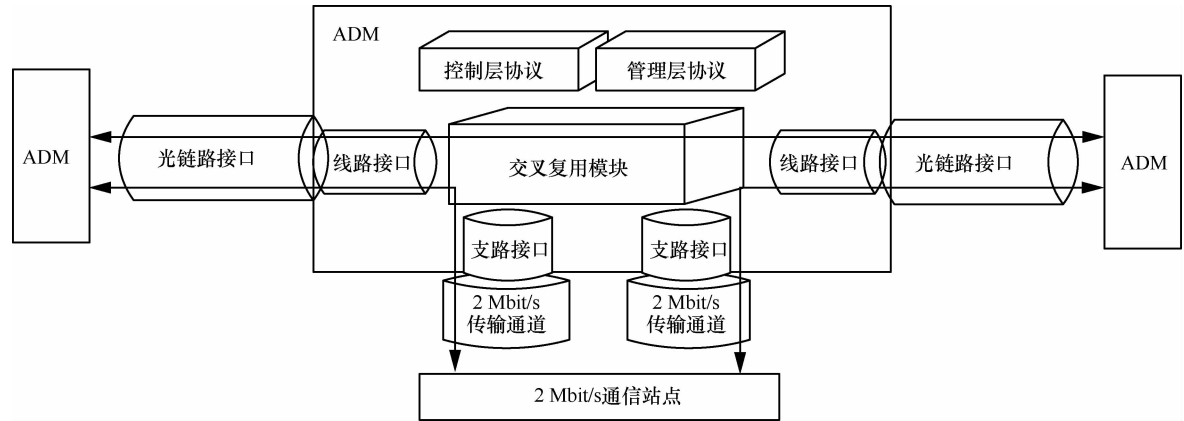


图 4 SDH 设备 ADM 仿真的模块及相互关系

如图 4 所示,业务上行时,2 Mbit/s 通信站点通过 2 Mbit/s 传输线路进入 SDH 的支路接口,经过交叉复用模块进行映射和复用到 SDH 帧结构中,通过线路接口和线路传输通道进行线路侧的分插复用后由线路侧传输到对端通信站点,同理,业务下行时,将经过线路接口进入的高阶业务经过交叉复用模块进行 SDH 帧结构的解复用处理,将 2 Mbit/s 低阶业务解析出来后通过支路接口下发到 2 Mbit/s 通信站点,通过上述处理,即完成了低阶业务和高阶业务的复用和解复用处理。

2.2.2 网络保护与自愈功能仿真

SDH 环型网具有较完善的保护功能和较灵活的组网方式,应用最广泛,称为 SDH 自愈环,主要通过自动保护倒换(automatic protect switch,APS)协议来实现,倒换与否根据复用段信号的质量决定,倒换的条件是帧丢失(loss of frame, LOF)、信号丢失(loss of signal, LOS)、复用段告警指

示(multiplex section-alarm information signal, MS-AIS)、复用段误码过量(multiplex section-exceed, MS-EXC)等告警信号。当网络保护功能失效时,可以采用自动重路由算法为失效业务路径实时计算新的业务路径,从而实现业务的快速恢复。由于 SSFNET 平台自带的 GLASS 模块具有自动重路由算法功能,能够实现业务路径的快速计算功能。自愈仿真不需要模拟承载实际网络的真实业务,只需要模拟故障和保护倒换的过程,以资源为核心的仿真模块,对每个资源赋予行为属性,具体在模拟故障发生及网络自愈时,应用传输系统、SDH 设备、逻辑端口、复用段、交叉连接、保护组、逻辑端口速率表、交叉连接类型表、保护类型表等网络层资源数据和 SDH 电路、业务和业务组等业务层资源数据,对其所有直接影响承载业务的电路发生保护倒换,从而完成网络自愈与业务的恢复,SDH 保护倒换仿真算法流程如图 5 所示。

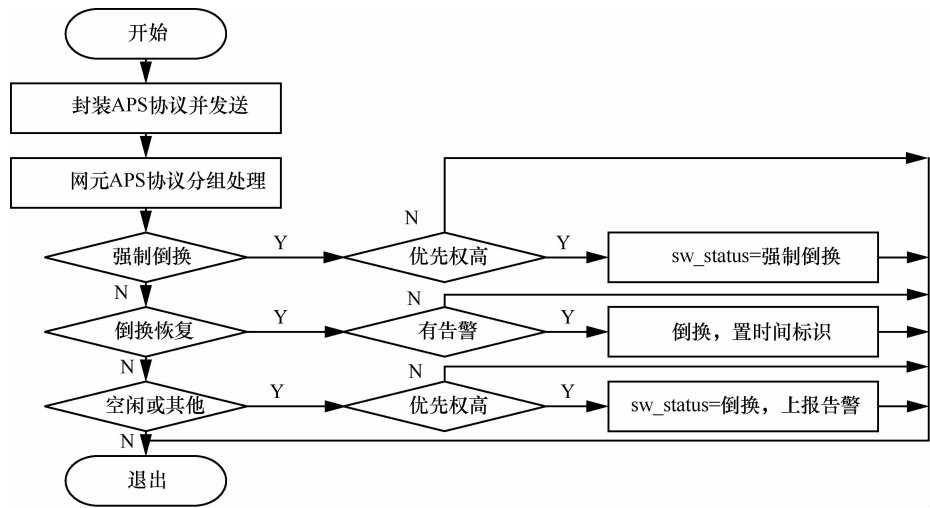


图 5 SDH 保护倒换仿真算法流程



如图 5 所示,SDH 保护倒换仿真算法实现过程为:当网元发现复用段通信有故障时,封装 APS 协议并发送至相邻节点,节点收到 APS 协议分组即进行强制倒换或恢复倒换的处理,并根据倒换的优先级将倒换状态置为强制倒换或普通倒换级别,并向网管系统上报相关告警信息,各节点均按照上述过程完成 APS 协议的处理过程,即可完成所配置复用段保护网络的保护倒换。

2.2.3 关联告警仿真

告警相关性分析的内容是对告警之间的关系进行分析,确定能反映和处理故障根本原因的告警,减少告警信息潮对系统管理的影响,帮助进行准确的故障定位。采用的手段是基于规则运用,而规则的定义、发现、推演以及维护管理则成为需要处理的核心,规则的运用包括其运用策略与运用流程,是组成相关性处理引擎的重要部分。告警的连锁机制与 SDH 自身标准有关,ITU-T 规定了标准 SDH 设备产生的告警以及告警的含义,本文只讨论标准的告警信息仿真。在 SDH 传送网络中,与故障有关的主要告警包括:告警指示信号(alarm information signal, AIS)、信号劣化(signal degrade, SD)、指针丢失(loss of point, LOP)、帧失步(out of frame, OOF)、帧丢失(LOF)、复帧失步(loss of multi-frame, LOM)、信号丢失(LOS)、踪迹识别失配(trace identification mismatch, TIM)、远端缺陷指示(remote defect indication, RDI)以及信号未装载(unequipped, UNEQ)等。由于告警之间存在关联性和传递性,告警连锁规则包括关联规则和传递规则。传递规则是指告警在复用段、高阶通道以及低阶通道等不同层次的功能模块间的传递关系。关联规则是指告警在网络中相同链路上的各资源对象间的关联关系。

SDH 中,本地故障包括线路、接口板卡,将引发本地告警,诱发产生本地或远程的关联告警。其中,关联告警由下游接收节点经监测产生,监测对象是承载数据的容器单元。考虑到 GLASS 所采用的事件仿真法,未提供对容器的直接表达方式,SDH 仿真器监测信号转由信令通道和信令线路模拟,并由本地 APS 向远端 APS 发送直接关联的告警消息,再依 SDH 告警的关联层次,递归产生关联树的下级告警^[6]。具体处理告警的对象类 cn.edu.njupt.netsim.sdh.APS,从 AutoConfigCtrl 派生,并实现 Callback 接口,除关联到所在 ADM 之外,其协议处理功能需要使用 APSHeader 对象类。APSHeader 从 ProtocolMessage 派生,用于模拟 APS 协议消息。SDH 告警类相关对象及其关联关系如图 6 所示。

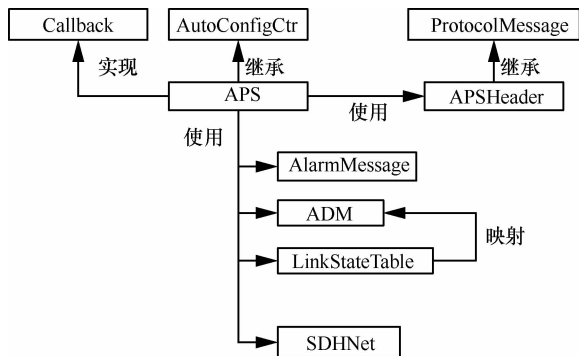


图 6 SDH 告警类相关对象及其关联关系

其中,告警以事件消息格式,由 APS 生成,报告消息处理对象类和/或联合仿真的程序接口类。参考联合仿真接口定义,告警信息结构包括告警名称、设备节点号、板卡号、端口号、时隙号、告警类型与级别、告警时间信息,其中,告警名称和级别对应于 AlarmMessage 派生类名,设备号、板卡号、端口号和时隙号由 AlarmMessage 相关联的时隙确定。通过上述告警信息的处理,即可生成告警的详细信息供上层应用程序进行告警定位和告警处理。

3 SDH 的电力光传输网仿真应用

为了验证基于 SDH 的电力光传输网仿真的功能与实际效果,选取承载苏北安稳系统的 SDH 通信拓扑结构为实例,通过该网络拓扑,可实现电力光传输网络的业务承载、故障告警、通道恢复、路由重建、时延计算的基本功能,承载苏北安稳系统的 SDH 通信拓扑结构如图 7 所示。

下面以 SDH 端到端业务传送时故障模拟和时延监测为例详细说明基于 SDH 的电力光传送网的具体仿真过程,故障模拟是模拟光纤中断时发生路径倒换后业务路由发生改变,时延监测是模拟各站点稳控装置输出的 2 Mbit/s 业务流经由 SDH 传送网,在接入分出接口之间所经历的传送时间,连续监测统计,并依条件通过联合仿真接口向通信业务监控系统报告。首先分别在阌山—三汉湾(通道 1)、彭城—三汉湾(通道 2)分别建立一条业务通道,以 200 ms 为周期发送消息,并在节点 0 记录消息传送时延。在仿真时间 1.5 s,将物理链路(三堡—三汉湾)置为失效,观测业务传送时延的变化,特别以及联合仿真接口消息的内容变化。从仿真器界面可收到的消息见表 1。

由表 1 中的消息可以看出,第 1、2 条消息显示阌山—三汉湾(通道 1)、彭城—三汉湾(通道 2)建路成功,第 3、4 条消息显示通道 1 和通道 2 的时延监测,分别为 3.252 ms



- [2] 张成良, 韦乐平. 新一代传送网关键技术和发展趋势 [J]. 电信科学, 2013, 30(12): 4-6
ZHANG C L, WEI L P. The key technology and development trend of new generation transport network [J]. Telecommunications Science, 2013: 30(12): 4-6.
- [3] 田立, 方旭昇. SDH 原型机仿真研究 [J]. 计算机时代, 2009(8): 18-19.
TIAN L, FANG X S. Research on simulation of SDH prototype system[J]. Computer Era, 2009(8): 18-19.
- [4] 刘永胜. 电力 SDH 通信网事故影响分析的仿真设计与实现[J]. 信息通信, 2014(7): 179.
LIU Y S. The simulation design and implementation on accident effect analysis of power SDH network [J]. Information Communication, 2014(7): 179.
- [5] DU K, GUO J H, LI B L. Research on smart grid network reliability model based on business-oriented [C]// The 2013 IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering, November 1-3, 2013, Guangzhou, China. New Jersey: IEEE Press, 2013: 689-692.
- [6] CHEN H B. Design of ultra-long span optical transmission system [D]. Hangzhou: Huazhong University of Science and Technology, 2006: 48-57.

[作者简介]



郭云飞(1976-),男,国网智能电网研究院高级工程师,主要研究方向为电力通信骨干传输网及仿真技术。

卜宪德(1978-),男,国网智能电网研究院高级工程师,主要研究方向为电力通信网及 IMS 交换网技术。

刘世栋(1971-),男,博士,国网智能电网研究院高级工程师,主要研究方向为电力通信网及智能管道技术。

王瑶(1986-),女,国网智能电网研究院工程师,主要研究方向为电力通信网技术。

余文杰(1976-),男,博士,南京南瑞集团公司稳定技术分公司高级工程师,主要研究方向为电网稳定与仿真技术。