

新一代智能变电站技术的研究应用与发展

苟旭丹

(成都城电电力工程设计有限公司,四川成都 610041)

摘要:随着电力系统迈入智能时代步伐的加快,智能变电站建设所涉及的新技术、新设备、新工艺,已经成为推动智能技术创新发展的关键。分析了新一代智能变电站的部分新技术应用情况,并提出了一些建议和前景展望。

关键词:智能电网;智能变电站;新技术;展望

Abstract: With the faster development of power system entering the era of smart grid, the new technologies and facilities involved in the construction of smart station have become the significant factors to promote the development of smart technical innovation. The utilization of some new technologies in new generation of smart station is analyzed, and some suggestions and prospects are proposed.

Key words: smart grid; smart substation; new technology; prospect

中图分类号: TM769 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2015)02-0089-06

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2015.02.021

0 引言

电力系统正进入智能电网建设时代,而智能变电站是智能电网中的关键节点。所谓智能变电站,就是采用先进、可靠、集成和环保的智能设备,以全站信息数字化、通信平台网络化、信息共享标准化为基本要求,自动完成信息采集、测量、控制、保护、计量和检测等基本功能,同时,具备支持电网实时自动控制、智能调节、在线分析决策和协同互动等高级功能的变电站。

国家电网公司从2009年开始进行了第一批智能变电站试点建设,按照“试点先行、总结完善、稳步推进”的工作方针,在各区域的各电压等级范围内,选取了数十个涵盖各种类型的变电站进行试点建设,并在投运之后开展了广泛的技术总结和工作经验提炼。工程实践表明,智能化技术得以规范,节约环保、节资效果明显,在设备整合、系统集成、网络优化、组柜优化、布置优化等方面取得成效,有效控制了工程造价。新一代智能变电站在此基础上,以“系统高度集成、结构布局合理、装备先进适用、经济节能环保、支撑调控一体”为目标,着力探索前沿技术,推动智能变电站创新发展。

1 电子式互感器的应用及问题处理

1.1 电子式互感器的发展背景

传统的电流和电压互感器是电磁感应式的,具有类似变压器的结构。随着电力系统传输的电力容量不断增加、电压等级的提高,互感器逐渐暴露出一系列固有的缺点。近年来,随着光电子技术、微电子技术及光纤通信技术的发展,有源光电互感器得到迅速发展。在国网公司试点工程中,各种原理的电子式互感器都得到了工程应用,电子式互感器的应用成为智能变电站的一个重要特征。

1.2 电子式互感器的分类及性能比较

1.2.1 电子式互感器的分类

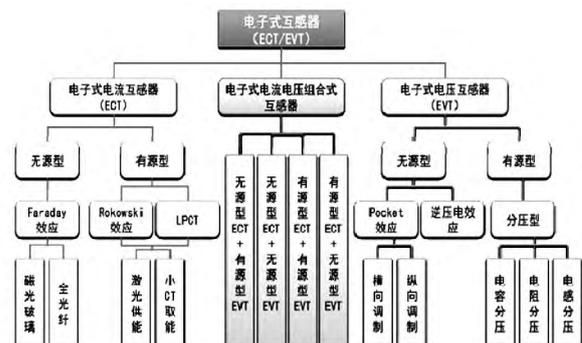


图1 电子式互感器的分类

1.2.2 电子式互感器同常规互感器优缺点比较

表 1 电子式互感器同常规互感器比较

比较项目	常规互感器	电子式互感器
绝缘	复杂,有易燃易爆等缺陷	绝缘简单,无易燃易爆等缺陷
体积及重量	大、重	体积小、重量轻
TA 动态范围	TA 动态范围小、有磁饱和,采集精度低,保护动作可靠。	TA 动态范围宽、无磁饱和,采集精度高,保护动作可靠。
TV 谐振	易产生铁磁谐振	TV 无谐振现象
TA 二次输出	不能开路	可以开路
输出形式	模拟量输出	数字量输出
电磁干扰问题	有	无
造价	高	低

1.3 电子式互感器与常规互感器全寿命周期比较

1.3.1 一次投资成本(IC)

暂不考虑目前电子式互感器价格虚高的成份,随着时间推移,该技术成熟后,价格应比常规互感器低。根据相关统计分析,户外 AIS 变电站智能化方案后共可节省控制电缆费用为 7.5 万元。按常规变电站户外控制电缆中 TA/TV 电缆占全站控制电缆 40% 计算,因此可节省控制电缆费用 3 万元。GIS 变电站节省费用与此相当。

1.3.2 运行成本(OC)

采用电子式互感器不存在更换 TA、TV 至合并单元控制电缆费用,控制电缆、光缆按 12 年寿命考虑,在变电站全寿命周期内更换两次。智能变电站比常规变电站可节省 3 万元。

1.3.3 故障引起的中断供电损失成本(FC)

电子式互感器的应用不存在电磁式电流互感器由于绝缘问题而造成的故障(如瓷套爆裂、爆炸等)及其带来的严重后果。由于不好量化,因故障引起的中断供电损失成本按 $FC = 0$ 计算。

1.3.4 报废成本(DC)

变电站二次设备达到使用年限报废后,基本没有回收的价值,DC 按 0 计算。

1.3.5 全寿命周期成本比较计算结果

采用电子式互感器后,在变电站全寿命周期的成本(控缆部分) $LCC(增量) = IC + OC + FC + DC = -6$ 万元,其全寿命周期成本比常规互感器有所减少。

1.4 电子式互感器存在的问题及应对

在看到电子式互感器应用技术效果明显进步的同时,也看到扩展应用中面临的新问题:参与厂家众多,各厂家产品良莠不齐,出现不同质量故障问题;整个生产、验收各个环节,缺乏指导标准,没有一个统一的制造标准、试验标准、验收标准。据统计,采集器故障为电子式互感器最突出的故障类型,在三类电子式互感器中的占比分别达到 44%、27% 和 89%。无源电流互感器的光纤故障问题、有源电压互感器的绝缘问题均不容忽视,且电子式互感器故障后因备品供货时间长,检修周期延长,直接影响供电安全,造成间接经济损失。

1.4.1 电子式互感器存在的问题

通过收集研究前期电子式互感器的应用情况,在试点运行过程中的可靠性和稳定性较差,故障率较高,归纳总结电子式互感器出现的问题集中在以下几个方面:VFTO 干扰,频繁损坏采集器的问题;采集器至合并单元通信规约或接口不统一问题;精度及温漂问题;密封问题;计量问题。

1.4.2 电子式互感器问题的应对

鉴于短时间内无法解决以上问题的出现,为确保电网运行安全,2011 年版《国网公司输变电工程通用设计 110(66)~750 kV 智能变电站部分》电流电压互感器仍采用常规互感器加合并单元来实现,全面停用电子式互感器的应用。但是随着电力系统自身的不断发展,传统电磁式互感器的缺点越来越明显,已无法满足当前智能变电站的需求。电子式互感器因其具备的优越性,再次引起电力行业部门的重视。

(1) 电磁兼容问题的解决:目前,厂家从设计构思、出厂试验验证两个方面提出解决方案。抗电磁干扰技术设计有:采集回路设计、有效的接地系统设计、信号输入端设计、电源模块设计、一体化设计。

(2) 采集器至合并单元通信规约或接口不统一问题的应对:各厂家宜相互配合,逐渐形成行业标准,对远期推广电子式互感器,形成调试和检修规范提供有利条件。

(3) 精度及温漂问题的应对:这一问题,许继研制的 GIS 组合式电子式互感器通过独特的温度补偿技术,已顺利通过测试。

(4) 密封问题的应对:采用双层防水技术,有效解决互感器顶部由于凝露问题带来的浸水问题。

(5) 关口计量问题的应对:数字电表表与测控

共用合并单元;电子式互感器加装数模转换插件。同时建议相关部门加快数字电度表作为关口计量的标准制定和认证工作,引起有关部门及厂家的高度重视。

1.5 结论

(1) 目前电子式互感器行业已对前期出现的问题部分进行整改、规范制造,设备正在从当初的间隔挂网运行、整站试点逐渐进入到实际工程推广应用阶段。

(2) 220 kV、110 kV 智能变电站互感器配置方案:户内 GIS 考虑采用有源电子式电流互感器 ECT 或 ECVT,阻容分压式电压互感器 EVT 配合合并单元实现。

(3) 结合地区特点要求及前期工程可研批复意见,也可采用常规互感器+合并单元的配置方案。

2 集成式智能设备

随着智能变电站建设的发展,智能一次设备已成为技术重要组成部分之一。从一、二次设备智能化的发展来看,一次设备智能化程度滞后于二次设备,二次设备与一次设备的信息交互仍然得由二次回路完成。就地智能终端及合并单元的应用作为实现传统一次设备数字化的重要手段被采用。

2.1 智能化一次设备发展趋势

智能化一次设备由传统高压设备和智能组件组成,传感器和执行器为两者间的枢纽,三者类似身体、大脑和神经。智能组件承担宿主的数字化测量、智能化控制和状态监测的基本功能,也可集成相关保护、测量、计量等扩展功能。一次设备智能化演变趋势如图 2。



图 2 一次设备智能化演变趋势图

在第一阶段,智能组件是分散独立的,也是传统的二次设备,其与传统的一次设备构成了一个松散的“智能设备”,而智能组件和高压设备刚好画出了相当于过程层和间隔层的接线;在第二阶段,在线监测设备融入高压设备中,主要是传感器与高压智能

设备本体的一体化安装,保护、测控、计量的安装随着技术的成熟逐渐走出小室,安装在高压设备附近。松散的“智能设备”体现了紧凑型一体化的趋势;在第三阶段,智能组件和高压设备将进一步融合,高压设备可以集成的智能组件越来越多,直至智能组件全部嵌入高压设备,实现对一次高压设备的智能化控制操作、状态评估和检修时,最终形成真正意义上的紧凑型一体化的智能设备。

2.2 集成式智能控制柜需要解决的问题

目前智能变电站采用预制式设备、实现标准化建设、工厂化加工、即插即用等新的建设模式已经成为变电站建设的趋势,这对智能控制柜的应用提出了新的要求,但在建设实践中还存在如下问题。

(1) 在工程实施中,一、二次厂家需要配合设计,在一次设备厂内完成一次接线和部分二次接线(一次设备与智能组件之间),在现场完成剩余二次接线(二次过程层与间隔层设备之间)。

(2) 一、二次接口不清晰,造成多个厂家设计间的反复修改、推诿扯皮,耗费多方精力且责任划分不明确,这样的设计模式已难以满足新的建设模式要求。

2.3 220 kV 系统智能控制柜设计方案研究

以 220 kV 变电站为例,对 220 kV 电压等级智能设备进行讨论。

220 kV 采用双母线接线形式,母差保护柜、对时柜、网络交换机柜、直流分电柜等下放布置在 220 kV 配电装置室;220 kV 间隔层设备、过程层设备均下放布置于 220 kV 配电装置室。

2.3.1 220 kV GIS 智能控制柜布置组合方案

以下方案主要是在一、二次设备接口界面、柜内设备优化接线、控制柜体标准化三个方面进行标准化、预制式研究。

2.3.2 方案比较

方案 1、方案 2 均为部分组合式智能控制柜,两模块间的接口可以采用预制光缆,实现标准化连接也较为容易。但两面柜体联合布置需要仔细设计,考虑间隔宽度和 GIS 室面积,采用前后布置或并列布置。在调试时,需分两个阶段,或分别调试或现场联调。方案 1 将智能组件全部下放,使一次设备具备数字化接口,具备智能一次设备形式。方案 2 将间隔层、过程层 A、B 套完全分开,实现了 220 kV 两套二次回路的物理上的完全隔离。

表2 智能控制柜布置组合方案

方案	组合方式	一般分工	数量
方案1	一次设备本体(带机构箱) +传统汇控柜+过程层设备A、B套	一次厂家	2
	间隔层设备A、B套	二次厂家	
方案2	一次设备本体(带机构箱) +传统汇控柜+过程层、间隔层设备A套	一次厂家	2
	过程层设备、间隔层设备B套	二次厂家	
方案3	一次设备本体(带机构箱) 传统汇控柜+过程层设备A、B套+间隔层设备A、B套	一次厂家	1
		二次厂家	

两个方案每个间隔都要配置两面智能控制柜,增加占地面积,增加投资,也增加了施工周期。

方案3实现了将一次设备本体(带机构箱)作为一部分,将传统汇控柜、智能控制过程层部分、智能控制间隔层部分作为一个模块,以此实现内部接线工厂化加工。

220 kV 集成式智能控制柜在设计生产过程中,应实现以下部分的标准化:220 kV 智能控制柜内交直流供电方案、端子排及回路布置要求、操作开关、电源空气开关、柜体结构、控制柜外观及尺寸。

2.4 结论

集成智能式设备的采用能实现以下改进。

(1) 缩小 GIS 配电装置室的尺寸:智能控制柜使保护控制下放,减少了二次设备室的面积,缩小了GIS 配电装置室的尺寸,减少了城市变电站的占地面积。

(2) 实现一次设备的智能化:保护、测控、表计、PMU、合并单元、智能终端等各种组件与高压设备集成,使智能高压设备具有测量数字化、控制网络化、状态可视化、功能一体化、信息互动化特征,对关键设备的运行状况进行实时监控,进而实现电网设备可观测、可控制和自动化。

(3) 节约了电缆等设备投资以及相应的施工投资:实现了对智能控制柜接口和责任的明确划分,且大大减少了电缆、光缆消耗,缩短了现场调试时间、施工时间,基本上做到了即插即用,体现了装配式建设的理念。

3 基于无人值守智能变电站的一体化电源系统

智能变电站的一大亮点是“无人值守”,较之前的“无人值班”更强调“调控一体、运维一体”。为满足智能变电无人值守的要求,采用交直流一体化电源系统方案,统一设计、集控、生产、调试、服务,实现对一体化电源系统进行分散数据采集、控制和集中集控管理,远程可实时查看各电源的参数、运行状态等,可修改系统参数、运行方式、遥控开关设备,实现站用交直流电源的状态检修和智能化管理,减少日常巡视和维护工作量。

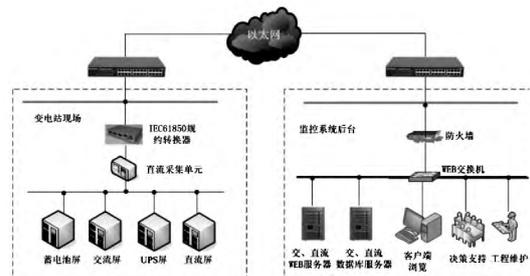


图3 智能变电站一体化电源系统图

3.1 系统现存的问题

随着电网规模的日益扩大和负荷需求的不断增加,电网系统对变电站交、直流系统的运行要求越来越高,现运行系统存在以下问题:缺乏统一技术规范,无法推广应用;无统一监控系统平台,各设备监测装置各自独立形成系统,形成多个信息孤岛,造成资源浪费;信息通信标准不统一,信息传输交换难度大;缺乏设备信息状态诊断、智能分析、预警、寿命预测和管理等高级应用功能,不能为运行部门进行状态检修和全寿命管理提供有效支持。

3.2 一体化电源系统的设计

3.2.1 系统功能

交直流电源运行状态一体化监测与诊断系统实现远程集中监控交流电源、直流电源、蓄电池组、UPS等设备的实时和历史运行信息。系统功能包括:监视功能、实时监控、实时通讯、地理图导航、数据查询、录波浏览、日志服务等,另外还兼具高级应用功能(含专家分析、充电机性能分析、直流馈线环网告警)、管理功能(含报表管理、用户管理、系统设置、参数管理),通过平台的建设,积累大量的变电站交直流系统运行数据,形成了交直流系统数据仓。

库,为以后设备的运行评价等工作积累了数据财富。

3.2.2 系统特点

一体化监测与诊断系统,在具备以上功能的基础上,突破传统的系统概念,搭建起一体化的交直流数据监控平台、变电站交直流系统全景数据平台、变电站交直流系统专家分析与诊断平台,提供了交直流系统在线测试平台,最终可实现了远程智能专家诊断,重点体现在:站用电源系统联动、预测和诊断蓄电池性能、充电机性能分析、设备缺陷等级判断,并能创新用户体验和丰富的WEB浏览发布功能,实现了变电站内统一的数据通信标准。

3.3 效益对比分析

通过一体化电源系统设计,提高了变电站交直流监测的管理水平,实现了统一的变电站交直流系统监控管理平台,提高了变电站管理的信息化程度,节省了人力成本,进一步提升了变电站交直流系统的安全和经济运行水平及智能系统的决策反应的快速性和正确性。

3.4 设备研究方向

基于新一代智能变电站背景,为实现目标,对交直流一体化电源系统的现状进行了进一步分析,分析发现包括系统各馈线回路在内,站内所有用电设备的电源均仅具备故障后告警功能,而不具备回路电流、电压量监测及远方控制的功能,这一领域的空白致使现场维护工作量大,对调控一体的支撑力度不够,不满足电网运维管理体制转变的要求。因此研究能实现回路实时监控的设备成为必然,智能磁保持微型断路器是近年开发的设备,具有三遥、保护、通信功能,可以支持一体化电源系统的高级应用,实现远端控制和事故处理,提高运检效率,避免人为事故,实现协调控制。同时,对并联蓄电池的相关参数、各方案技术经济比较的研究,也成为参建各方越来越关注的部分。

一体化电源系统是变电站各类设备的生命线,电源系统故障直接影响到电网稳定和设备安全。通过引入一些新技术、新装置,可以适时监控电源系统的运行参数,及时发现事故隐患,实现前瞻式管理,确保后备电源系统可靠、安全、高效运行,并且可以减少人工检测因误操作可能引起的设备损害,也是未来的发展趋势。

4 智能变电站辅助系统综合监控平台技术

目前国内多家智能辅助系统研发公司开发了适应智能化变电站辅助系统综合管理的多种数字监控设备及系列智能视频监控软件,具有完全的自主知识产权,广泛应用于国内电网的多个变电站以及发电厂。经过多年的研究开发和工程实践,这些公司基本上形成了较为完整的电力视频监控及安全防范解决方案。

4.1 辅助系统综合监控平台结构

辅助系统综合监控平台系统采用集中管理,分散控制的网络结构,通过IP通信网,实现系统的分级、分区域部署,实现主站与站端间、站端与设备间的互联互通,实现资源的共享和信息的分级分权限控制。

分层:系统分为主站系统、前端系统两个层次;分级:采用集控中心、站端两级结构;分域:系统按照所管辖的范围可划分为不同监控区域分别管理。见图4。

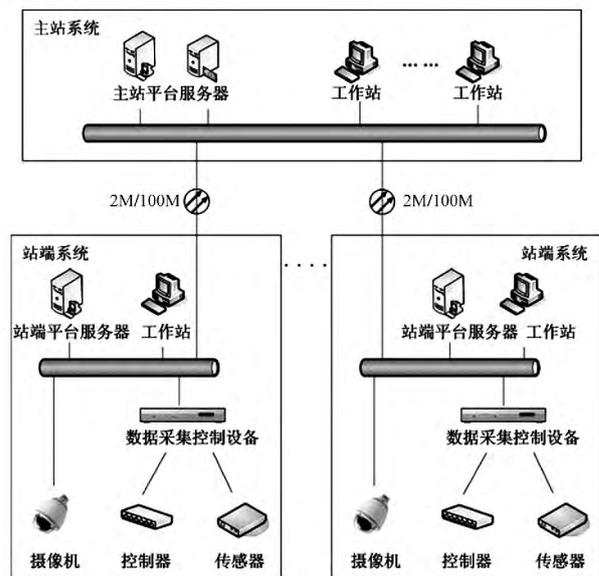


图4 辅助系统综合监控平台结构图

4.2 站端系统组成

智能辅助系统综合监控平台根据功能的不同可划分为视频监控系统、报警与环境监测系统、智能分析系统、智能控制系统、对讲系统和门禁系统,并具有与综自、消防联动功能。

4.3 网络要求

监控系统需要提供至少一个网络通道,同时为该变电站的视频处理单元分配一个 IP 地址,变电站通过网络与监控中心相连。系统支持带宽自动检测、控制功能,根据网络带宽情况,自动限制上传图像数量,保证网络畅通,并支持多画面复合上传功能。

4.4 系统功能

完善的辅助系统综合监控系统应实现以下功能:

- ①实时监控功能,包括实时预览、云台控制、视频轮巡、OSD 叠加;
- ②录像管理功能;
- ③环境监测功能;
- ④报警功能,包含报警等级、报警联动策略设置、实时告警接收与显示、历史告警记录和查询等内容;
- ⑤电子地图功能,包括设备定位显示功能、查看视频、告警事件定位和操作、地图操作等多项内容;
- ⑥大屏管理功能;
- ⑦门禁管理功能;
- ⑧与综自系统联动。

4.5 选用系统应注意的问题

通过对运行工程案例的分析对比,在智能辅助系统的设计选型中还应注意以下几个方面的问题:

- ①兼容性问题;
- ②操作模式多样化;
- ③必须支持高清全景视频接入;
- ④安全性问题;
- ⑤绿色节能问题;
- ⑥对集成商技术水平、综合协调能力的要求。同时设计方应该把好技术关,从各系统的原理、设备的配置合理性、通讯协议方面提出具体要求,以完全满足智能变电站可视化监控和调度,提高运行和维护的安全性及可靠性。

(上接第 88 页)

报文传输至保护测控装置,断路器位置、合闸后位置以及判别逻辑输出的传输采用 GOOSE 通道。

该方案从设计理论方面对分布式备自投的深层次应用做了全新的探索,具有很好的现场工程实用价值。

参考文献

[1] 甘景福. 一起备自投装置拒动事故的分析[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(17): 97 - 99.

[2] 高翔, 张沛超. 数字化变电站的主要特征和关键技术[J]. 电网技术, 2006, 30(23): 67 - 71.

[3] 樊唯钦. 智能化变电站的发展与应用[J]. 电网技术, 2006, 30(5): 97 - 100.

[4] 高翔, 周健, 周红, 等. IEC 61850 标准在南桥变电站监控系统中应用[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(16): 105 - 107.

[5] 李海星, 王政涛, 王锐, 等. 基于 IEC 61850 标准的网络化备自投功能[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(14): 82 - 85.

[6] 彭磊, 杨光. 数字化变电站备自投[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(23): 58 - 61.

5 结 语

以上仅是讨论了智能变电站新技术的一小部分内容,对相关部分也仅仅进行了粗浅和较为表面的分析。除此之外,在诸如二次设备监控、网络结构、层次化保护系统、一体化监控系统的高级应用等方面,新技术、新设备存在广阔的研究空间和应用前景。特别对于应用成效和效益分析,还必须具备足够的工程实例、充足的投运时间来进行技术支撑,研究的技术手段也应该更加多样化、多元化和多维度,因此这项研究工作既应该是即时的,同时也应该是严肃严谨和长期的,做为智能化电网建设的参建者,有义务有责任认真科学、有条不紊地开展这项工作,进一步推动智能变电站的创新发展。

参考文献

[1] 曹楠, 李刚, 王冬青. 智能变电站关键技术及其构建方式的探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(5): 63 - 68.

[2] 黄新波, 贺霞, 王宵宽, 等. 智能变电站的关键技术及应用实例[J]. 电力建设, 2012, 33(10): 27 - 33.

[3] 王鹏, 罗承沐, 张贵新, 等. 基于低功率电流互感器的电子式电流互感器[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(4): 98 - 101. (收稿日期: 2014 - 12 - 22)

[7] 宋丽君, 王若醒, 狄军峰, 等. GOOSE 机制分析、实现及其在数字化变电站中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(14): 31 - 35.

[8] A. P. Apostolov. IEC 61850 Distributed Analog Values Applications in Substation Automation Systems [C]. IEEE Power Engineering Society General Meeting 2005(2): 1155 - 1162.

[9] 梅德冬, 黄国方. 符合 IEC 61850 标准的分布式备自投的设计[J]. 电网技术, 2006(30): 471 - 475.

[10] 余方元. 110 kV 进线备自投在数字化变电站中的应用及改进[J]. 电力自动化, 2010(9): 22 - 23.

[11] 张志鹏, 胡君慧, 刘国平, 等. 基于点对点技术的数字化变电站工程实践[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(4): 139 - 142.

作者简介:

王立晶(1982), 硕士研究生, 工程师, 从事电力系统方式及稳定分析工作;

倪宏坤(1980), 硕士研究生, 工程师, 从事电力系统继电保护运行及管理工作;

朱占文(1987), 大学本科, 助理工程师, 从事继电保护定值整定计算工作。

(收稿日期: 2014 - 12 - 16)