

智能变电站电子式互感器改造方案及关键技术研究

李游, 颜文铠, 秦靖舒, 张超

(国网四川省电力公司成都供电公司, 四川 成都 610041)

摘要:某220 kV智能变电站所使用的互感器均为电子式互感器。该类电子式互感器及其配套的二次设备均属于早期生产的智能设备,装置本身存在缺陷,加之运行多年,其工况已不能满足稳定运行的要求。为保障地区电网的安全运行,亟需进行全站电子式互感器及其配套设备的改造工作。针对该变电站改造的前期准备和改造过程中的关键技术问题,提出了解决方案并进行总结,旨在提高智能变电站改造过程中的安全性、可行性和技术性。

关键词:220 kV智能变电站;变电站改造;电子式互感器;改造方案

中图分类号:TM 452 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-6954(2021)06-74-06

DOI:12.16527/j.issn.1003-6954.20210615

Research on Transformation Scheme and Key Technology of Electronic Transformer in Smart Substation

Li You, Yan Wenkai, Qin Jingshu, Zhang Chao

(State Grid Chengdu Electric Power Supply Company, Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract: At present, the type of transformers which are in operation used in an early 220 kV smart substation is electronic transformer. This type of electronic transformer and its supporting secondary equipment are intelligent equipment produced in the early stage of technological immaturity. The device itself has defects. In addition, it has been in operation for many years, and its working conditions can not meet the requirements of stable operation, which lays hidden dangers for the safe operation of regional power grid. It is urgent to carry out the commissioning, rectification and transformation of electronic transformer and its supporting equipment of the whole station. Aiming at the preliminary preparation of transformation and the key technical problems in the transformation process, solutions and thinking summary are put forward in order to improve the safety, feasibility and technology in the transformation process of smart substation.

Key words: 220 kV smart substation; substation transformation; electronic transformer; transformation scheme

0 引言

近年来,智能变电站技术已日趋成熟可靠,成为智能电网的重要基础和支撑。但是,智能变电站技术发展至今,也发生过多起因电子式互感器、合并单元、智能终端硬件故障而导致的保护误动事件,尤其是早期投运的智能变电站。电子式互感器因其数字化、抗电磁干扰、不易饱和等优势在智能变电站得到了广泛的应用^[1-2]。但早期使用的智能设备技术大多不成熟,其相较于常规互感器来说可靠性较低,在运行多年后设备工况不稳定并且故障频发^[3],严重影响电网的安全稳定运行。

为了避免因电子式互感器故障影响电网稳定运行^[4-5],早期智能变电站的互感器改造工作势在必行。进行电子式互感器改造不仅涉及到一次回路的更换,还要涉及到合并单元更换以及一系列相关二次设备的配置更改^[6-7],其工作量很大,并且所有工作都是在部分停电的情况下进行,对技术水平以及改造经验的要求高。

目前国内关于智能变电站改造的经验尚浅,而亟需改造的变电站数量众多、供电服务压力高,因此智能变电站改造方案、试验方法以及关键技术问题成为一个重要的研究方向^[8-10]。下面将结合某220 kV智能变电站电子式互感器(electronic current and voltage transformer, ECVT)改造全过程,着重研究了

改造过程中的准备方案、试验方法以及关键技术,旨在为类似改造工作提供借鉴和方法。

1 变电站运行状况

220 kV 变电站 A 是西南片区最早投运的智能变电站,同时也是该区域供电枢纽。变电站 A 使用的 ECVT,近年来已多次发生互感器、合并单元、交换机等一、二次设备危急故障,极大影响了供电可靠性。目前该 EVCT 的生产厂家已经停产,无备件可用的窘迫增加了故障处理工作的难度。

为了维护该片区电网的安全稳定运行,于 2020 年 6 月开始进行全站 ECVT 改造工作,将全站的电子式互感器更换为常规互感器。

2 改造停电方案

全站电子式互感器改造工作需要分间隔轮流停电,改造方案需要充分考虑施工难度、环境因素以及智能变电站组网架构的特殊性和安全性,并按照最大化减少停电时间、缩小停电范围的原则进行优化。

2.1 改造方案制定

以“先电压,后间隔”的思路进行改造,即先进行电压回路改造,再针对各间隔逐一接入电压,方便后期间隔改造时接入新母线电压回路。各个间隔的轮流停电改造的思路清晰明确,但是针对母线电压的改造则需要根据实际情况进行研究。其关键点为:在进行保留原电子式电压互感器(electronic voltage transformer, EVT)及其二次回路的同时,新增母线常规 PT 及其二次回路以供改造后的间隔接入^[12]。

2.1.1 典型改造方案

以 220 kV 电压等级为例,施工方案有以下 4 种:

1) 220 kV 全停进行改造。

包括两种实现方式:一是将 220 kV 的设备全部停电后就地针对电子式互感器集中改造;二是配合一次设备改造,针对各间隔进行异地重建,完成后再逐一停电进行互感器接入改造。

2) 一母线先更换为常规 PT,另一母线仍使用 EVT 进行。

以更换 I 母 EVT 为例,先将 I 母停电,所有间

隔倒至 II 母运行。再将 I 母 EVT 更换为常规 PT, I 母电压、220 kV 母联断路器、隔离开关位置接至新母线合并单元。最后,完成电压并列、精度、同步校验等试验使其达到投运条件。待所有间隔改造完成后,再进行 II 母 EVT 更换工作。

由于在 II 母改造前,新母线合并单元只能采集到 I 母电压, II 母电压只能通过二次并列方式输出。同时,旧母线合并单元只能采集到 II 母电压, I 母电压通过二次并列方式输出。因此,对 220 kV 母线运行方式有要求:220 kV 母线在 II 母 PT 改造前运行方式应采用并列运行,母线保护应置于互联状态。

3) 原 EVT 先不改造,新增常规 PT 于备用间隔。

将 I 母、II 母常规 PT 安装于备用间隔场地, EVT 仍在电压互感器间隔不做改动。常规 PT 二次回路及 220kV 母联断路器、隔离开关位置接入新母线合并单元,完善新 A、B 套母线合并单元功能。后期间隔依次改造接入新母线合并单元。待间隔改造完成后,拆除 EVT,将常规 PT 安装位置从备用间隔移至电压互感器间隔。

4) 拆除原 EVT 避雷器,常规 PT 在原避雷器位置安装,与 EVT 同时运行。

先停 I 段母线及分段 212 断路器,所有间隔倒至 II 母运行。在 220 kV I 段母线 PT 间隔拆除母线避雷器,安装常规互感器与 EVT 并联运行,保持原 EVT 继续使用,如图 1。II 母以相同方式安装常规 PT。常规 PT 二次回路及 220 kV 母联断路器、隔离开关位置接入新母线合并单元,完善新母线合并单元功能。后期间隔依次改造接入新母线合并单元。待间隔改造完成后,拆除 EVT,如图 1 所示。

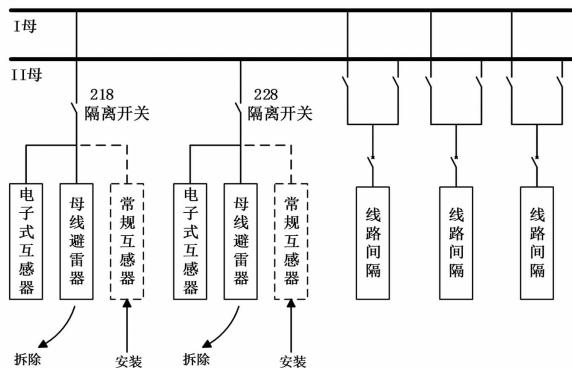


图1 母线电压互感器运行方式

2.1.2 典型方案对比

对于以上提出的 4 种改造方案,从各方面分析

其优劣,如表 1 所示。

表 1 4 种方案性能比较

项目	优点	缺点
方案 1	1) 改造及调试效果最为理想 2) 安全措施简单、安全风险较低	1) 停电范围大,影响电网稳定性 2) 不符合实际情况
方案 2	1) EVT 更换改造只需一次停电	1) 改造期间母线长期互联状态,不利于电网的运行稳定
方案 3	1) 停电时间短:初期可以在基建状态完成调试,仅在常规 PT 接入母线时将母线停电 2) 施工难度低	1) 拆除 EVT 需要母线再次停电 2) 需将常规 PT 移至 PT 间隔,造成重复安装、重复调试
方案 4	1) 对于 220 kV 母线运行方式无特殊要求 2) 无重复工作	1) 拆除 EVT 需要母线再次停电 2) 施工难度较高:需考虑一次设备安全距离是否满足要求

根据表 1 可知,4 种改造方案各有其优劣。进一步实地考察变电站现场施工条件,并考虑到母线短期停电难度相对较低,母线长期处于互联状态不利于电网稳定性等实际情况,判断方案 4 最符合电网稳定性、现场施工难度以及合理性需要,将其确定为本站改造最终方案。

2.2 改造实施方案

在确定了母线 EVT 改造方案后,便可以确定最终的停电顺序及相应工作安排,如图 2 所示。

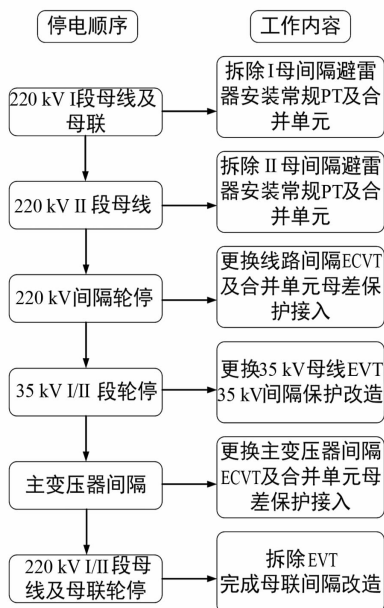


图 2 改造工作顺序

初期计划主变压器与 35 kV 部分同时改造,但考虑 35 kV 进行馈线保护监控改造所需时间较长

(土建施工以及安装调试部分需要两周的停电时间),单台主变压器长期运行无法满足迎峰度夏期间的高负荷要求,遂安排 35 kV 部分先于主变压器间隔停电改造,在迎峰度夏前完成 35 kV 改造工作。

改造前期因工期紧张,人手不足,基建进度缓慢,无法满足 220 kV 母联间隔与 PT 间隔同时改造,安排在第 2 次母线停电拆除 EVT 时,同时进行 220 kV 母联间隔改造。

3 改造实施难点与关键技术研究

由于变电站 A 属于早期智能变电站,设备要求、网络结构并不规范,在此首先对该变电站的特殊网络结构进行说明。

在 220 kV 智能站通用设计里,一般通过 220 kV I、II 母测控装置分别上传 220 kV 的 A、B 套母线电压,220 kV 各间隔测控装置上传本间隔 A、B 套设备三遥信息。

但由于该变电站的测控型号老旧,尚无法同时接入过程层 A、B 网。以 220 kV 为例,220 kV 间隔测控、母线测控只接入过程层 A 网。220 kV 的 A 套 I、II 母电压分别通过 220 kV I、II 母测控上传。220 kV 过程层 B 网设备信号、遥测均通过公用测控装置上传。220 kV 的 B 套母线电压并未上传,通过 220 kV 的 B 套保护运行状态辅助判断电压是否正常。由于公用测控装置只能接入 12 个数据集,而 220 kV B 网过程层设备共 14 个,显然不能接入所有 220 kV B 网设备的数据集,更无法接入改造过程中新增设备的数据集。

3.1 新旧电压回路同时运行难点分析

EVT 与新增的常规 PT 同时运行的方式以及特殊网络结构带来了 2 个问题:1) 新增母线电压无法监视;2) 新母线合并单元信号无法上传。

3.1.1 新增母线电压无法监视

考虑到 2 套电压互感器同时运行的特殊接线方式,且暂时只有母线 EVT 完成了改造,220 kV 间隔保护仍采用原合并单元电压,无法通过 220 kV 间隔 B 套保护的电压来辅助判断新增的常规互感器是否异常,于是提出将 220 kV 的 A、B 套电压分别上传

至后台及调度以供监视,在此期间加强巡视。

根据本站网络结构,对站内测控装置进行盘点后,提出用母线测控装置监视 A 套母线电压,利用原有公用测控装置 SV 通道监视 B 套母线电压。

3.1.2 新母线合并单元信号无法上传

公用测控已无法再新接入数据集,但新增的 B 套母线合并单元必须对其信号进行监视。于是提出建立过渡网络结构:在新 B 套母线合并单元设置两个组网口,一个接入过程层 B 网用来接收 B 套母联智能终端的断路器位置并上传 SV 至公用测控;另一个接入过程层 A 网,用于接入母线测控上传合并单元信号,如图 3 所示。

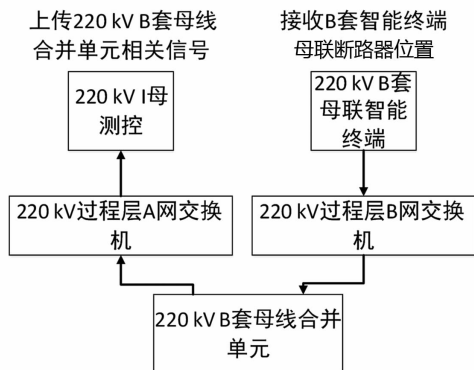


图3 220 kV B套母线合并单元过渡网络结构

同时,两个组网口分别位于不同插件上,满足《国家电网公司十八项电网重大反事故措施》第15.7.1.5条规定:“任一保护装置不应跨越双重化配置的两个过程层网络。如必须跨双网运行,则应采取有效措施,严格防止因网络风暴原因同时影响双重化配置的两个网络”。

在220 kV间隔停电前新增了两个公用测控装置,分别用于220 kV、110 kV过程层网络B网设备的接入,彻底解决B网设备信号接入问题。

3.2 主变压器保护失去低压侧电压闭锁分析

根据停电计划,35 kV整段改造在主变压器改造之前完成。由此引发了一个无法避免的问题:35 kV整段改造完成后,母线电压已由EVT改为常规互感器,但低压侧合并单元还未改造,导致35 kV电压无法上传至主变压器保护。

在智能站中,35 kV/10 kV电压通常通过主变压器总路合并单元上传至主变压器保护,不单独设置母线合并单元,只设置在母线测控上对母线电压

进行监视。

针对主变压器保护低压侧PT断线的问题,可以从方向闭锁和复压闭锁两个方面讨论其影响:

1) 低后备保护失去方向闭锁

Q/GDW 1175—2013《变压器、高压并联电抗器和母线保护及辅助装置标准化设计规范》颁布实施前,主变压器低后备保护复压过流均不带方向闭锁。因为低后备方向指向母线,且低压侧为三角形接线,在高、中压侧故障时低压侧没有零、负序电压,可以不考虑低压侧复压方向功能。但在此规范中第5.1.2.5条明确规定:“低后备复压过流保护设置I、II两段,其中,I段带方向适用于变压器低压侧有小电源接入的情况。II段不带方向适用于变压器低压侧为无小电源接入的情况”^[13]。

该站2套主变压器低后备复压过流保护均不带方向闭锁,只需考虑复压闭锁功能是否可以暂时退出。

2) 低后备保护失去复压闭锁

该站2套主变压器保护关于低压侧失去复压闭锁有以下解释:

1号保护:低压侧PT断线后,本侧(或本分支)复压闭锁过流保护不经复压元件控制。

2号保护:低压侧后备保护,当本侧(或本分支)发生PT断线时,退出保护的复压元件,保护变为纯过流保护。

根据变压器低后备保护整定原则,当后备保护过流定值满足如下条件时,可以退出复压闭锁功能:

1) 在重负荷时不会误动;

2) 在母线故障时能满足灵敏度的要求,可靠启动保护。

经计算发现主变压器低压侧故障时最小电流为1836 A。而迎峰度夏期间35 kV重载负荷远小于最小故障电流,不存在纯过流保护误动的可能。

根据上述分析,在工程中退出了主变压器保护35 kV电压投入软压板,以免造成其他侧复压长期开入,引起主变压器高后备、中后备保护误动。

3.3 线路保护电压源端调整对保护影响分析

根据Q/GDW 1161—2014《线路保护及辅助装置标准化设计规范》第11.2条表述:为简化电压切换回路,提高保护运行可靠性,双母线接线线路间隔

宜装设三相 PT。而该站作为四川片区首座 220 kV 智能变电站,设计理念较为超前,全站设备均使用三相 ECVT。因此涉及改造前后保护的母线电压取法变化。

改造前,220 kV 线路保护电压采用三相 EVT 电压,母线 A 相电压作为保护重合闸同期使用。保护需投入“电压取线路 PT 电压”控制字,同时重合闸方式“检无压”“检同期”软压板根据方式要求投退,该站未投入。

改造后,220 kV 线路间隔遵循常规设计思路,线路侧安装单相电容式电压互感器。则保护电压取 220 kV 母线电压,保护重合闸同期使用线路电容式电压互感器电压。此时改造后须提示调度继保部门在整定单中调整“电压取线路 PT 电压”控制字。需要注意,“电压取线路 PT 电压”控制字的正确性对于保护有较大影响。

1) PT 断线判据不同

南瑞继保公司、北京四方公司等主流保护在处理保护电压取线路 PT 问题时,除考虑三相电压向量和小于 8 V,正序电压小于 33.3 V 条件外,为防止误报断线影响距离和零序元件,还综合考虑任一相有流元件动作或跳闸位置继电器不动作时,再延时 1.25 s 报 PT 断线。

若改造后未能及时调整,在低负荷有流元件未动作时,220 kV 线路保护很可能无法报出 PT 断线告警。

2) 保护逻辑不同

以南瑞继保 PCS-931 为例,保护电压取线路 PT 时,距离保护加速段延时 25 ms,而取母线 PT 时,时延缩短至 10 ms。主要考虑选择线路 PT 时,线路保护合闸后线路 PT 建立电压的暂态时间更大,增加 15 ms 延时安全裕度避免误动。

Q/GDW 1161—2014 设计规范中要求,当线路非全相运行时自动将零序电流保护最末一段动作时间缩短 0.5 s 并取消方向元件。而在六统一颁布前部分保护,如北京四方公司装置还考虑取线路 PT 时,非全相时零序Ⅲ段保护处理为固定不带方向,而采用母线 PT 时可通过控制字投退方向。六统一后目前各厂家均按 Q/GDW 1161—2014 设计规范非

全相时取消零序保护方向元件。

3.4 线路合并单元过程层数据传输延迟高分析

该工程项目包含全站过程层交换机更换并新增一套测控,通过其补充完善 220 kV 过程层 B 套合并单元的软报文信息及断链等信息。在 220 kV 母联 212 断路器 ECVT 改造前,新测控已接入 4 条 220 kV 线路,2、3 号主变压器 220 kV 侧及 35 kV 侧,220 kV 母线共 9 个间隔的 B 套合并单元。

将母联 212 断路器 B 套合并单元接入新测控后,调试时发现:合并单元的通用面向对象变电站事件(GOOSE)变位信号刷新延迟严重。反复试验并观察后台监控系统也并无该间隔断链信号。异常现象引起了调试人员的高度警觉,根据经验初步判断是过程层交换机单口(基于端口划分虚拟局域网、百兆单口)流量过大导致报文丢帧^[11]。

交换机端口配置的设计及合理使用是摆在设计单位和调试人员前的一道计算题。先以单合并单元控制通道数 23 个为例计算单台交换机采样值(sampled value,SV)流量,计算流程如图 4 所示。

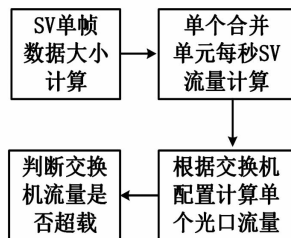


图 4 交换机光口流量计算步骤

1) 计算 SV 单帧大小

SV 报文的帧格式包括:头地址(HeaderMAC)、优先级(PriorityTagged)、网络类型、网络数据类型、单通道采样数据(包括 4Bytes 采样值和 4Bytes 采样品质)、循环冗余校验(CRC)。计算 SV 单帧大小的公式如下为

$$V = H_1 + P + E + H_2 + S \times n + C \quad (1)$$

式中: V 为 SV 报文单帧大小; H_1 为头地址大小; P 为优先级大小; E 为报文的以太网类型大小; H_2 为网络数据类型总长度; S 为单通道采样数据; n 为通道数; C 为校验码长度。

根据式(1)可以求得 SV 单帧大小为 $12 + 4 + 2 + 8 + 8 \times 23 + 4 = 214$ Bytes,其中 8×23 表示有 23

个通道,每个通道有8个字节采样数据。

2) 计算合并单元单位流量

合并单元采样率为4000 Hz,因此其每秒数据流量为

$$4000 \text{ Hz} \times 214 \text{ Bytes} = 0.816 \text{ MBytes}$$

据国家电网220 kV输变电工程典型设计规范要求,百兆网口的交换机带宽建议使用率控制在40%时,对应百兆交换机(100 Mbits = 12.5 MBytes)接入流量 $12.5 \text{ MBytes} \times 40\% = 5 \text{ MBytes}$ 。因此考虑单间隔合并单元输出一个SV控制块情况下,交换机建议接入不超过5个间隔。母联212间隔接入测控前同一交换机已经连续接入9个间隔,造成了交换机流量严重超载进而威胁数据正确传输。

综上所述,交换机网口流量超载是导致信号延迟上送的重要原因。首先,设计前期未计算网口采样数据流量并提出控制措施;其次,改造是一项综合动态过程,设计也无法从源头解决和管控工程人员实际接入情况。因此要求二次人员对此类新型而隐蔽的缺陷应有足够度敏感和相关知识计算分析力。现场解决方案即补放一根从过程层交换机至新测控的尾缆。在新测控装置下装SV接收装置并重新划分过程层交换机VLAN端口,平衡了两个网口流量。

可以预想的是,该类缺陷可能存在于智能站设备改造过程或未进行流量测试的运行站。一旦发生实际设备故障,可能存在无断链告警但实际故障信息无法上送站控层的情况。此类故障也是智能站运维过程中较为隐蔽而有一定借鉴意义的问题,值得进一步思考。

4 结 论

220 kV智能变电站应用电子式互感器较少,对全站电子式互感器整体更换为常规互感器的改造经验十分稀缺。通过对某220 kV早期智能变电站全站电子式互感器改造工作的方案制定、调试方法、问题解决的探讨,提出了电子式互感器智能变电站改造关键难题的解决方案。

目前,全国范围内众多早期智能变电站运行年限超期,极大增加了电网运行风险,因此进行智能变电站改造过程中的停电方案、风险控制、调试经验的研究势在必行。通过总结智能变电站常规互感器的

改造经验,对日后的类似改造工作提供一定的参考价值。

参考文献

- [1] 刘孝先,曾清,邹晓莉,等. 电子式互感器的应用[J]. 电力系统及其自动化学报,2010,22(1):133-137.
- [2] 李俊. 电子互感器的研究[D]. 淮南:安徽理工大学,2012.
- [3] 邓威,毛娟. 智能变电站电子式互感器故障分析及建议[J]. 中国电力,2016,49(2):180-184.
- [4] 刘明,李金忠,刘锐,等. 电子式互感器技术和应用评述[J]. 变压器,2013,50(2):24-28.
- [5] 欧朝龙,徐先勇,万全,等. 智能变电站中电子式互感器运行可靠性分析及故障预防[J]. 湖南电力,2014,34(1):27-29.
- [6] 廖传柱,张惠霞,范新权,等. 电子式互感器可靠性分析与电磁兼容性研究[J]. 电气应用,2014,33(9):104-108.
- [7] 魏传均. 电子式互感器合并单元的设计[D]. 西安:西安理工大学,2013.
- [8] 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.
- [9] 谢佳君. 基于FPGA电子式电流互感器合并单元的研究[D]. 武汉:华中科技大学,2007.
- [10] 丁宣文,王平. 500 kV智能变电站二次设备改造方案研究[J]. 四川电力技术,2016,39(6):59-64.
- [11] 陈安伟. IEC 61850在变电站中的工程应用[M]. 北京:中国电力出版社,2012.
- [12] 丁宣文,刘明忠,姜振超,等. 220 kV智能变电站不全停二次设备改造方案[J]. 中国电力,2016,49(12):70-75.
- [13] 韩本帅,王倩,孙中尉,等. 智能变电站继电保护跳闸实现方式研究[J]. 中国电力,2012,45(8):24-27.

作者简介:

李游(1986),男,硕士研究生,高级工程师,研究方向为电力系统继电保护;

颜文锐(1993),男,学士,工程师,研究方向为电力系统继电保护;

秦靖舒(1993),男,硕士研究生,工程师,研究方向为电力系统继电保护;

张超(1991),男,硕士研究生,工程师,研究方向为电力系统继电保护。

(收稿日期:2021-09-12)