

平果可控串补工程电气二次系统及相关问题介绍

张巧玲

(中南电力设计院, 湖北 武汉 430071)

摘要: 介绍了平果可控串补工程控制、保护及测量等电气二次系统的设计与实现, 并阐述了平果串补装置设计、设备和工程实施中出现的相关问题及改进方式, 同时阐述了串补装置电容对线路保护、断路器暂态恢复电压和潜供电流的影响及解决方案, 以供其它串补工程参考。

关键词: 串补装置; 电容器; MOV; 放电间隙; 晶闸管阀; 旁路断路器; 控制; 保护

Introduction of the electrical secondary system & relational problems for the Pingguo thyristor controlled series compensation project

ZHANG Qiao-ling

(Central Southern China Electrical Power Design Institute, Wuhan 430071, China)

Abstract: This paper introduces the design and implementation of electrical secondary system control, protection & measuring etc for the Pingguo thyristor controlled series compensation (TCSC) project. The relational question and improving method in designing, equipment installing, spot implementation for Pingguo TCSC project are illustrated. In addition, the influences caused by series capacitor on transmission line protection, recovery voltage of circuit breaker, secondary arc current etc and solutions for pingguo TCSC project are explained. It provides some references for other series compensation projects.

Key words: series compensation; capacitor; metal oxide varistor; spark gap; thyristor valve; bypass breaker; control; protection

中图分类号: TM64 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2006)24-0070-06

1 平果可控串补工程概况

平果可控串补装置安装在中国南方电网的中通道-天平双回线路的平果侧, 也即分别在天平交流 I、II 回 500 kV 线路的平果站侧各加装 400 Mvar 串联补偿装置, 其中: 350 Mvar 为固定串补, 串补度为 35%; 50 Mvar 为可控串补, 串补度为 5%, 输电距离 313 km。

平果可控串补站工程于 2003 年 6 月投入运行, 主要设备供货商为德国 SIEMENS 公司, 它是我国也是亚洲第一个可控串补工程, 其中固定部分主要用于提高线路输送容量, 可控部分主要用于抑制南方主干电网的低频功率振荡。

本文将总结和归纳了我院设计的平果可控串补工程电气二次系统及相关问题, 以供其它串补工程借鉴和参考。

2 平果可控串补装置介绍

2.1 串补装置的额定值

2.1.1 固定部分额定值

线路补偿度: 35%

额定容量: 350 Mvar/三相

额定容抗: 29.2 Ω /相

额定电流: 2000 A/相

过电压保护水平: 2.3 pu

MOV 的容量要求: 30 MJ/相

2.1.2 可控部分额定值

线路补偿度: 5%

额定容量: 50 Mvar/三相

额定容抗 X_c : 4.15 Ω /相

额定容抗提升因子 (X_{app}/X_c): 1.1 pu

最大允许容抗 X_{cmax} (本工程为 $3X_c$): 12.45 Ω /

相

- 额定电流：2000 A/相
- 过电压保护水平：2.4 pu
- MOV 的容量要求：6 MJ/相

2.2 串补装置的组成元件

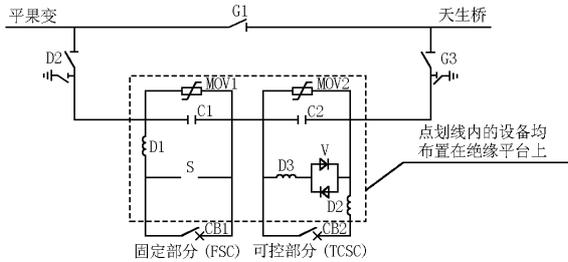


图 1 平果可控串补工程单线图

Fig.1 Single line diagram of Pingguo TCSC project

平果可控串补工程单线图如图 1 所示，串补装置分固定部分 FSC (Fixed Series Capacitor) 和可控部分 TCSC (Thyristor Controlled Series Capacitor) II 段，共设 1 个绝缘平台。串补装置的组成元件及相应功能如下：

- 1) C1、C2 为串联电容器组 (Capacitor)，是串补装置的基本组成元件，由多台电容器通过串、并联方式形成电容器组。
- 2) MOV1、MOV2 为金属氧化物避雷器 (Metal Oxide Varistor)，是电容器组的主保护元件，并串联在电容器组两端。
- 3) V 为晶闸管阀 (Thyristor Valve)，D3 为电抗器，是可控部分电容器组的后备保护和 MOV2 的主保护。
- 4) S 为火花放电间隙 (Spark Gap)，作为固定

部分电容器组的后备保护和 MOV1 的主保护。

5) D1、D2 为限流和阻尼元件 (Damping Circuit)，限制电容器组放电电流的幅值和频率，使其很快衰减。

6) CB1、CB2 为旁路断路器 (Bypass Breaker)，用于投入或退出串补装置。旁路断路器合闸，可将火花放电间隙或晶闸管阀短接，使火花放电间隙熄灭，防止火花放电间隙燃弧或晶闸管阀导通时间过长。

7) G1、G2、G3 为隔离开关，用于旁路和隔离串补装置，以实现串补装置在检修或故障时退出，同时保证线路的连续供电。

3 平果可控串补工程电气二次系统

3.1 串补装置的控制系統

3.1.1 监控系统的方案

平果串补装置的监控采用计算机监控系统，随串补站成套供货，与原变电站已有的监控系统相对独立，但在站控层留有接口。

尽管平果串补站工程串补装置分为固定和可控两部分，但两部分的控制系统是统一考虑的，串补站的监控系统为基于现场总线网和工业以太网的双层网络三层设备结构，整个系统分站控层、前置层和间隔层三层设备。其中现场总线 PROFIBUS 网传递间隔层控制与保护信息，并通过主控单元与站控层以太网 LAN 连接，站控层设备包括操作员站等人机界面，前置层设备为主控单元，间隔层设备包括测控单元、闭环控制/阀基电子设备 (Closed Loop Control/Valve Based Electronics, CLC/VBE) 等。监控系统的配置图如图 2 所示。

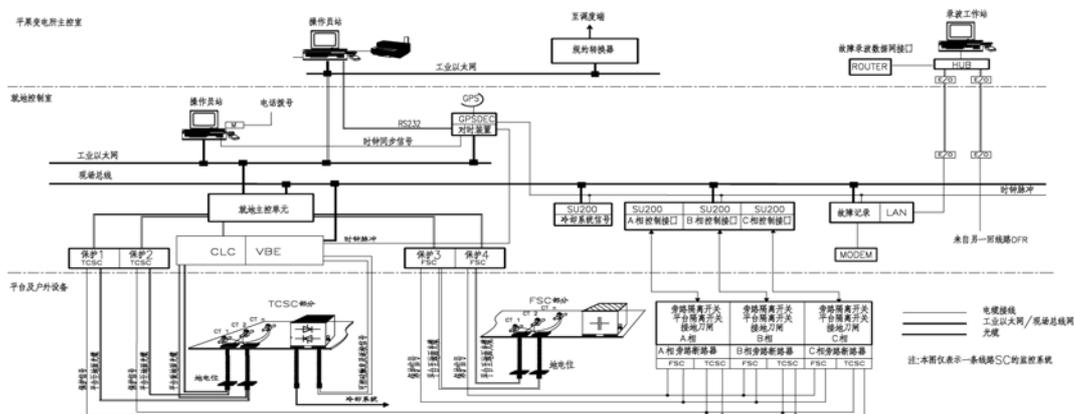


图 2 平果可控串补工程监控系统配置图

Fig.2 Monitoring and control system configuration diagram of Pingguo TCSC project

串补监控系统中除对晶闸管阀的控制为闭环控制, 由 CLC/VBE 实现外, 对其它设备(如串补旁路断路器、隔离开关、接地刀闸等设备)的控制均为开环控制, 由主控单元实现。操作员站等人机界面实现对串补设备的监视和操作, 在串补就地保护小室、平果变电所主控室内均设有串补站操作员站, 串补站内不设运行人员, 控制命令通过设在平果变电所的串补操作员站下达。控制系统的核心部件采用西门子 SIMADYN-D 全数字式控制系统, 测控单元为西门子公司 SU200, 操作系统为 Windows 2000。

调度自动化信息由串补站的监控系统通过规约转换器, 按照调度端所要求的远动通信规约, 完成与各级调度端的数据交换。

3.1.2 串补装置的控制策略

平果可控串补装置的控制策略分为两部分:

其一是阻尼区域间的低频振荡和提高系统暂态稳定水平, 其控制与调节主要是针对晶闸管阀而言的, 通过控制晶闸管阀的导通触发角, 调节该回路的电流, 从而达到调节串补设备补偿度的目的。晶闸管阀的导通触发方式采用光直接触发。

其二是电容器过电压保护的控制策略。对 FSC 部分, 采用 MOV 和火花放电间隙进行保护的电容器过电压保护方案; 对 TCSC 部分, 采用 MOV 和晶闸管阀进行保护的电容器过电压保护方案。

3.1.3 可控部分的工作模式

采用不同的触发角控制时, 平果 TCSC 具有四种工作模式:

- 1) 固定电容模式: 晶闸管关断 ($\alpha=180^\circ$), 可控串补等值容抗为额定容抗 X_c 。
- 2) 容抗调节模式: 晶闸管触发角大于临界角度, 且低于 180° , 可控串补等值容抗在 $X_c \sim X_{cmax}$ 范围内调节, 对应的触发角度设计范围是 $146.88^\circ \sim 172^\circ$ 。
- 3) 旁路模式: 晶闸管全导通 ($\alpha=90^\circ$), 可控串补等值电抗为 $X_c X / (X_c - X)$, 由于旁路电抗器的电抗值 X 远小于电容器容抗值 X_c , TCSC 实际呈现一个固定的小感抗。
- 4) 等待模式, 此模式下晶闸管关断 ($\alpha=180^\circ$), 可控串补等值容抗为 X_c , 与固定电容模式相似, 不同之处为固定电容模式下, 功率振荡阻尼 POD (Power Oscillation Damping) 功能被闭锁, 而等待模式下, 如果检测到系统振荡, 则 POD 功能可以启动。

正常运行采用容抗调节模式, 触发角为 162.4° 。

3.1.4 可控部分晶闸管阀的触发控制

平果 TCSC 用于晶闸管阀的控制为闭环控制系统, 由 CLC/VBE 实现。CLC 根据不同的 TCSC 运行模式和需求阻抗, 传送必要的控制信号给 VBE。VBE 根据 CLC 的控制信号, 产生光触发脉冲信号送至平台上的晶闸管阀, 实现晶闸管阀的触发控制。

3.2 串补装置的保护系统

平果站串补装置固定和可控两部分的保护系统是独立工作的, 且组在不同的保护屏上, 其保护均按双重化原则配置, 冗余配置的保护装置分别采用独立的测量器件、通道及辅助电源等。

3.2.1 FSC 的继电保护配置

针对固定串补 (FSC) 装置的主要一次元件, 配置了五类保护, 即电容器组保护、间隙保护、MOV 保护、平台故障保护和旁路断路器保护, 它们分别配置在 3 个不同的保护功能单元中, 即电容器保护单元、MOV 保护单元和线路电流监视单元。

1) 电容器保护单元包括

① 电容器不平衡保护: 用于防止电容器的部分元件或电容器单元损坏退出后导致健康的电容器单元或电容器元件过电压。用灵敏度较高的电流继电器反映电容器桥臂不平衡电流, 当其电流值高于告警定值时, 延时 2 s 发告警信号; 当其电流高于低定值时, 则延时 2 h 启动旁路断路器, 当其电流高于高定值时, 则延时 20 ms 启动旁路断路器, 永久旁路电容器组。

② 电容器过负荷保护: 为防止损坏电容器, 采用具有反时限特性的电流继电器作为保护元件, 按照设定的过负荷曲线, 检测电容器是否过负荷。当电容器为单次过载时, 则保护出口为暂时旁路, 允许电容器组自动重投; 当电容器为重复过载时, 则启动旁路断路器, 永久旁路电容器组。

③ 旁路断路器失灵保护: 当旁路断路器合闸命令发出后, 延迟 200 ms, 电容器中仍有超过设定值的电流时, 旁路断路器失灵保护动作, 要求跳开 500 kV 串补线路两侧断路器。平果侧采用保护联动方式, 而线路对侧天生桥侧采用与系统保护配合方式, 切除相关断路器。

2) MOV 保护单元包括

① MOV 过负荷保护: 包括 MOV 温度过载、温度梯度和 MOV 大电流保护。当发生上述现象时, 保护将触发间隙导通并使旁路断路器合闸。其中温度梯

度和 MOV 大电流保护出口为暂时旁路, 允许电容器组自动重投; MOV 温度过载保护为永久旁路。

② MOV 不平衡保护: 通过监测 MOV 支路及总支路的电流实现。当检测到 MOV 出现不平衡时, 保护动作瞬时启动旁路断路器, 永久旁路电容器组。

3) 线路电流监视单元包括

① 平台故障保护: 通过接在线路 and 平台之间的电流互感器监测, 电流超过参考值时, 保护动作瞬时启动旁路断路器, 永久旁路电容器组。

② 间隙保护, 包括

间隙自触发保护: 当间隙在没有触发信号的情况下触发并有电流时, 间隙自触发保护动作。当间隙单次自触发时, 则保护出口为暂时旁路, 允许电容器组自动重投; 当间隙多次自触发时, 则启动旁路断路器, 永久旁路电容器组。

间隙持续导通保护: 当间隙长时间 (大于 200 ms) 流过较大的故障电流而故障相的旁路断路器没有旁通时, 间隙持续导通保护动作, 跳开线路断路器。

间隙延时/拒绝触发保护: 当发出间隙触发指令后 100 ms 内间隙电流没有达到设定值以上时, 间隙延时/拒绝触发保护动作, 延时启动旁路断路器, 永久旁路电容器组。

③ 三相不一致保护: 当旁路断路器三相状态不一致时, 旁路断路器三相不一致保护动作, 三相永久旁路。

3.2.2 TCSC 的继电保护配置

针对可控串补 (TCSC) 装置的主要一次元件, 同样配置了五类保护, 即电容器组保护、晶闸管阀保护、MOV 保护、平台故障保护和旁路断路器保护。它们也分别配置在 3 个不同的保护功能单元中, 即电容器保护单元、MOV 保护单元和线路电流监视单元。其中除线路电流监视单元中将间隙保护更换为相应的晶闸管阀保护, 将触发间隙击穿的保护出口更换为相应的触发晶闸管阀外, 其它同固定串补装置。晶闸管阀保护包括:

阀持续导通保护: 当晶闸管阀长时间 (大于 180 ms) 流过较大的故障电流而故障相的旁路断路器没有旁通时, 晶闸管阀持续导通保护动作, 跳开线路断路器。

阀拒绝触发保护: 当发出晶闸管阀触发指令后 180 ms 内晶闸管阀电流没有达到设定值以上时, 晶闸管阀拒绝触发保护动作, 延时启动旁路断路器, 永久旁路电容器组。

阀不对称触发保护: 当晶闸管阀不对称触发并电流达到设定值时, 晶闸管阀不对称触发保护动作, 延时启动旁路断路器, 永久旁路电容器组。

3.3 串补装置的测量系统

在平果串补工程中, 采用的是光纤测量系统。电流互感器是完成串补装置保护和测量功能的主要设备, 所有一次电流经过绝缘平台上常规低压输出的电流互感器变换成二次电压的电信号, 经过绝缘平台上的光纤传感器 (Optical sensor) 再将模拟电信号转换为数字光信号, 通过平台下冗余光纤信号柱传送到地面的接线箱内, 并继续通过光缆将光信号传送到就地控制室内的保护和控制设备, 反之, 地面的保护和控制信号经光纤传送到绝缘平台, 经光-电转换后来控制平台上的电气设备。光纤传感器的电源由激光电源供给, 激光电源布置在串补保护小室的保护柜内, 通过光纤电缆发送到绝缘平台上的光纤传感器。光纤传感器的功能包括光电转换、A/D 转换及电源, 并布置于安装在平台上的箱子 Optodyn box 中, 每相所有的 CT 都集中连接到 Optodyn box 中的光纤传感器。

3.4 串补站二次设备的布置

在平果串补工程中, 每回线路的串补装置设置 1 个串补保护小室, 毗邻于相应线路的串补设备。串补装置的人机接口屏、控制屏、保护屏、故障录波屏及交、直流分电屏等均布置于其中。

4 串补装置的相关问题

4.1 串补装置对输电线路继电保护的影响

在天平双回 500 kV 线路上加装补偿度为 40% 的串补电容后, 由于串补电容呈容性阻抗, 给常规按线路感抗, 短路发生时测量电压为正值设计的线路保护会带来一些影响, 如低频分量引起保护超越; 使距离保护缩小保护范围; 使方向阻抗距离保护存在正方向电容外故障可能拒动, 反方向电容外故障可能误动等。

根据平果专题研究及系统故障仿真, 串补装置对输电线路的影响范围为串补线路及串补邻近线路的保护, 其串补装置的容性阻抗不会影响到远区段线路的保护。因此本工程对与平果变电所相连接的串补线路 (天平线) 及串补邻近线路 (平来线、平岩线、平南线) 中没有考虑串联补偿特殊要求的保护进行了更换改造。

4.2 串补装置对断路器暂态恢复电压的影响

根据系统研究计算, 在某些小运行方式下, 天

平串补线路内部发生故障,若故障电流较小,则电容器很可能不被旁路,由于串补电容残压的存在,线路两侧断路器在开断瞬间出现暂态恢复电压超标,危及断路器的安全。

因此,当串补线路内部故障时,为避免串补线路断路器出现断口恢复电压超标,以线路保护动作且电容器组端电压大于 1.8 pu 作为启动判据,要求平果侧线路保护动作采取联动措施,在发跳闸命令给线路断路器的同时,单相或三相发强制触发间隙击穿命令给串补保护装置,保证在线路两侧断路器断开之前使火花间隙击穿,暂时旁路电容器,以将断路器跳闸时断口恢复电压限制在允许范围内,若线路重合闸成功,则允许电容器组自动重投。

4.3 串补装置对潜供电流的影响

当串补线路发生单相接地故障时,若故障电流较小,则电容器很可能不被旁路,由于串补电容残余电荷可能通过短路点及高抗等组成的回路放电,从而在稳态的潜供电流上叠加了一个相当大的暂态分量值,该暂态分量衰减较慢,且过零次数减少,使潜供电弧自灭时间延长,将影响重合闸投入时间。

为了加速潜供电流暂态分量的衰减,保证重合闸的快速动作,在故障相断路器跳开的同时,系统保护均应将串补电容器旁路,使旁路断路器快速合闸,使电容器放电。

4.4 串补装置二次设备问题

4.4.1 监控主站合并问题

由于南方电网目前正在进行 500 kV 变电站向集成站或无人值守站改造,因此运行部门提出希望将串补站分别对应 2 条线路串补装置的 2 台监控主站合并为 1 台的想法。实际原合同谈判时,在平果变电所主控室监控主站设计就是按 1 台要求 Siemens 将功能集成,但 Siemens 没有做到,我们认为 Siemens 宜完善此项工作。

4.4.2 电阻分压器 VD 问题

由于平果侧线路保护联跳串补是以线路保护动作且电容器组端电压大于 1.8 pu 作为启动判据,因此工程中测量电容器组端电压是用并接在电容器两端的电阻式分压器 VD, Siemens 为节省投资同时取消了电容器回路的 CT,并将电容器过负荷保护信号也取自 VD 的电压,而不是取自测量电容器电流的专用 CT。由于 VD 为测量一部分电容器端电压,然后再反算全部电容器组两端电压,造成现场既接线不方便,又计算不准确。同时由于平台上滤波装

置未加屏蔽,在合高压隔离刀闸的过程中因电阻分压器 VD 有较大的电压信号,电阻分压器的滤波装置对 CT 回路滤波装置存在较大的干扰,使 CT 测量回路出现较大的干扰脉冲,为此在原 Optodyn box 基础上另安装一个 Optodyn box,两个 Optodyn 箱子相互屏蔽,即实现 CT 二次回路和电阻分压器 VD 二次回路的相互隔离。

4.4.3 VBE 模块抗干扰问题

由于 VBE 模块受干扰,投运初期两次出现 VBE 激光二极管故障告警,其中一次为两个模块同时出现告警,导致了 TCSC 永久闭锁。为此在 VBE 模块上加装了抗干扰的硬件设备,提高了模块的抗干扰能力。

4.4.4 软件问题

投运初期对旁路断路器失灵保护逻辑进行了修改;针对串补可控部分运行在线路负荷低谷时发生了多次永久闭锁,控制系统中对开放晶闸管监视条件进行了改进,提高了晶闸管监视电压门槛;串补控制系统中线路电流与其对应的允许最小 TCSC 阻抗设计与实际系统存在一定的差异,允许的最小 TCSC 阻抗设置偏小,造成线路电流较小时,部分晶闸管不能正确触发,造成 TCSC 的测量阻抗与需求阻抗产生偏差而出现告警。

4.5 串补工程设计考虑不周的问题

4.5.1 串补装置 CVT 移位带来的影响

由于串补线路保护要求,平果串补工程中平果变电所 500 kV 天平串补线路 CVT 和阻波器由平果变电所出线侧搬迁到串补站电容器外侧,天平串补线路计量回路的二次电压也随之改接至串补站电容器外侧的 CVT,平果变电所其它线路计量回路的二次电压是接至出线 CVT,投运后当串补线潮流由天生桥流向平果变电所时,线路电流经串补装置容性阻抗,使得串补装置母线侧电压高于线路侧电压,原接于平果变电所的两回串补线路及岩滩等进线的电流等于平果变电所所有出线及主变回路电流,但由于串补线路的电压低于母线侧电压,因此进线功率总和小于其它所有出线及主变回路功率总和,导致进出功率不平衡。为解决此问题,在平果变电所出线侧增加 2 组 CVT,用于天平双回串补线路计量回路。

4.5.2 电缆未屏蔽带来的影响

由于 500 kV 绝缘平台上电流互感器 CT 至平台上集中光电转换装置 Optodyn box 的控制电缆由 SIEMENS 供货,SIEMENS 提供的二次测量回路的控

制电缆均未采用屏蔽电缆,致使在操作串补平台隔离刀闸的过程中,电弧在平台上二次测量系统中产生的电磁干扰损坏光电隔离及 A/D 转换装置,使保护系统误动,甚至跳开 500 kV 线路断路器,为此现场改用了屏蔽控制电缆并在电缆的外侧加装双层屏蔽管。因此为避免干扰,建议厂家今后宜将光电转换装置集成在仪用互感器本体上,平台上不设置集中布置的光电转换装置箱、柜,全部采用光纤作为二次转换的媒介,不使用控制电缆。

5 结束语

平果可控串补工程是我国第一个基于晶闸管阀控制的串补工程,于 2003 年 6 月如期投运。2004 年 11 月我院对该工程进行了设计回访,其监理、运行、施工及设计人员均认为该工程技术先进,设计合理,投运后达到了项目的预期目的。它提高了南方电网稳定水平和西电东送的能力,是抑制南方电网低频振荡的重要手段之一;同时也提高了南方电网技术含量,它的建成将提高我国高压输电的科技含量,其科研、设计、建设和运行经验为今后 FACTS 等电力系统新技术的进一步推广应用将起到

良好的示范作用。

参考文献

- [1] Paserba J J. A Thyristor Controlled Series Compensation Model for Power System Stability Analysis[J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1995,7(3):1471-1477.
- [2] 王为国,尹项根,等.固定串补电容对输电线路继电保护影响的综述[J].电网技术,1998,22(11):18-21.
WANG Wei-guo, YIN Xiang-gen, et al. Influence of Fixed Series Capacitor on Protective Relayings for Transmission Lines[J]. Power System Technology, 1998, 22(11):18-21.
- [3] 陈宗显,高骏,张巧玲.天广可控串补(平果站)工程可控串补对继电保护的影响专题研究[Z].武汉:中南电力设计院,2001.
CHEN Zong-xian, GAO Jun, ZHANG Qiao-ling. Study on the Influence of Thyristor Controlled Series Compensation on Protective Relayings for Tian-Guang Thyristor Controlled Series Capacitor(TCSC) Project (Pingguo Station)[Z]. Wuhan: Central Southern China Electric Power Design Institute, 2001.

收稿日期:2006-06-22; 修回日期:2006-10-08

作者简介:

张巧玲(1964-),女,高级工程师,长期从事电气及系统二次的设计工作。E-mail:zhangqiaoling@csepd.com

(上接第 61 页 continued from page 61)

能力好等优点,能解决一般情况下无直流系统变电站(所)在自动化改造中所面临的断路器操作回路和微机自动化装置的配合问题,有一定的实用价值。

参考文献

- [1] 陈云发,阮国器.小型变配电简易设计与安装[M].南京:江苏科学技术出版社,1990.
CHEN Yun-fa, RUAN Guo-qi. Simple Design and Installation of Small Transformer Substation[M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1990.
- [2] 李庆春,蔡铁铮.小型化变电所新技术[M].北京:机械工业出版社,1995.
LI Qing-chun, CAI Tie-zheng. Small Substation New Technology[M]. Beijing: China Machine Press, 1995.
- [3] 唐涛,诸伟楠,杨仪松.发电厂与变电站自动化技术及其应用[M].北京:中国电力出版社,2004.
TANG Tao, ZHU Wei-nan, YANG Yi-song. Power Plant and Substation Automation Technology and Its Application[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.
- [4] 范锡普.发电厂电气部分[M].北京:中国电力出版社,1995.
FAN Xi-pu. Electric Power Plants Volumes[M]. Beijing:

China Electric Power Press, 1995.

- [5] 电力工业部西北电力设计院.电力工程电气设备手册电气二次部分[M].北京:中国电力出版社,1996.
The Northwest Electric Power Design Institute of Power Industry. Electric Power Equipment Manual Volumes[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1996.
- [6] 吕光大.建筑电气安装工程图集[M].北京:水利电力出版社,1987.
Lü Guang-da. Electrical installation Atlas Design[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1987.
- [7] 周治鹏.电气设备安装、使用与维修问答[M].北京:机械工业出版社,2001.
ZHOU Zhi-peng. Electrical Equipment Installation, Use and Maintenance[M]. Beijing: China Machine Press, 2001.

收稿日期:2006-06-28; 修回日期:2006-11-09

作者简介

翟晓满(1978-),男,硕士研究生,主要从事电力系统微机自动化装置的开发;E-mail:zhai_xiaoman@126.com

杨仁刚(1953-),男,教授,博士生导师,研究方向为电能质量的分析与控制,配电自动化,高、低压无功补偿装置;

李忠有(1978-),男,硕士,从事电力系统微机自动化技术的研究。