

普通高等教育“十一五”规划教材  
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



DIANQI GONGCHENG  
SHIJIAN XUNLIAN

# 电气工程 实践训练

王辑祥 编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

Electrical Engineering

普通高等  
PUTONG GAO



规划教材  
JIHUA JIAOCAI



TM  
WJX

DIANQI GONGCHENG  
SHIJIAN XUNLIAN

# 电气工程 实践训练

王辑祥 编  
杭乃善 主审

江苏工业学院图书馆  
藏书章



中国电力出版社  
<http://jc.cepp.com.cn>

## 内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。全书由工程实践训练基础和工程实践训练实验两部分组成。前者论述与工程实践训练实验相关内容的基本概念和基本原理,后者论述工程实践训练的内容和实验方法,包括电气设备的控制、信号、保护、测量、同期、中性点接地方式等。本书内容紧密联系电气工程实际,注重实用性,着眼于培养学生的创新能力、实践能力和运用知识的能力。

本书适用于高等学校电力类相关专业的本科、高专、高职学生作为工程实践训练的教材,也可供电力企业作为职工培训的参考教材。

## 图书在版编目(CIP)数据

电气工程实践训练/王辑祥编. —北京:中国电力出版社, 2007

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5083-5401-9

I. 电... II. 王... III. 电气工程—高等学校—教材  
IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 040582 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2007 年 5 月第一版 2007 年 5 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 10.75 印张 256 千字

印数 0001—3000 册 定价 17.00 元

## 敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失  
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

# 前 言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合的原则。本书为新编教材。

实践教学是高等学校教学内容的重要组成部分,对学生能力和素质的培养起着十分重要的作用,尤其对学生创新能力的培养有着独特的作用。但传统的实践教学观念、模式和方法已不能适应新形势下高等教育培养创新型、复合型人才的要求,必须进行改革。

广西大学于2001年起对实践教学进行了改革,自行设计、安装和建立了独具特色的校内电气工程实践训练基地,对学生从方案设计、设备选型、安装接线、试验调整、运行操作、事故处理等环节进行全过程的工程实践训练,取得了满意的教学效果。学生先在校内接受工程实践训练,然后再到大型发电厂去了解先进的技术和运行操作知识,由于有了校内实践的基础,校外实习也收到了好的效果。本书就是在多年电气工程实践训练的基础上编写而成的。

本书内容由工程实践训练基础和工程实践训练实验两部分组成。前者论述与工程实践训练相关的基本概念和基本原理,为实践训练打好基础;后者论述工程实践训练的内容和实验方法。书中涉及的内容较多,可以根据专业培养目标定位、学时、实验条件等进行取舍。书中还有一部分提高性的选做实验,供有兴趣、有条件的学生选择。

当前,国内高校的实践教学正处在不断探索、深化改革的阶段,实践教学并没有固定的模式和方法,各兄弟院校之间应加强交流、互相学习、取长补短,共同努力使实践教学提高到一个新的水平。本书编写的目的就是抛砖引玉、促进交流。

本书由广西大学王辑祥编写,贺秋丽、王庆华参加了资料整理和绘图工作。广西大学电气工程学院博士导师杭乃善教授审阅了全书,并提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。本书得到广西大学教材出版基金的资助。

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不当之处,敬请读者批评指正。

编 者

2006年12月

## 目 录

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 前言                   |     |
| 第一章 概述               | 1   |
| 第一节 电气工程实践训练的提出      | 1   |
| 第二节 电气工程实践训练的基本原则和方法 | 2   |
| 第二章 工程实践训练实验装置       | 6   |
| 第一节 工程实践训练实验方案       | 6   |
| 第二节 实验装置             | 8   |
| 第三节 直流电源             | 9   |
| 第三章 电气工程实践训练基础       | 12  |
| 第一节 二次接线图            | 12  |
| 第二节 断路器控制回路          | 20  |
| 第三节 中央信号回路           | 25  |
| 第四节 二次回路故障分析         | 32  |
| 第五节 继电保护             | 38  |
| 第六节 互感器              | 47  |
| 第七节 电气测量             | 54  |
| 第八节 电力系统中性点接地方式      | 63  |
| 第九节 同期系统             | 73  |
| 第四章 电气设计和安装接线        | 80  |
| 第一节 图纸设计             | 80  |
| 第二节 设备选型             | 81  |
| 第三节 设计参考图            | 82  |
| 第四节 安装图设计            | 89  |
| 第五节 安装接线             | 90  |
| 第五章 控制和信号回路实验        | 92  |
| 第一节 通电前的检查           | 92  |
| 第二节 断路器控制回路实验        | 93  |
| 第三节 中央信号回路实验         | 96  |
| 第四节 二次回路故障试验         | 98  |
| 第五节 选做的实验            | 100 |
| 第六章 继电保护实验           | 104 |
| 第一节 继电器的检验           | 104 |
| 第二节 三段式电流保护实验        | 108 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 第三节 纵联差动保护实验 .....            | 109 |
| 第七章 互感器实验 .....               | 114 |
| 第一节 电压互感器不完全三角形接线实验 .....     | 114 |
| 第二节 电压互感器星形—星形—开口三角接线实验 ..... | 116 |
| 第三节 电流互感器实验 .....             | 119 |
| 第八章 电气测量实验 .....              | 122 |
| 第一节 电气测量仪表的认识 .....           | 122 |
| 第二节 通电测量 .....                | 122 |
| 第三节 测量回路错误接线实验 .....          | 124 |
| 第四节 电压回路断线实验 .....            | 128 |
| 第五节 选做的实验 .....               | 131 |
| 第九章 电力系统中性点接地方式实验 .....       | 132 |
| 第一节 短路实验 .....                | 132 |
| 第二节 中性点不接地系统实验 .....          | 133 |
| 第三节 中性点通过消弧线圈接地系统实验 .....     | 137 |
| 第四节 实验探索 .....                | 138 |
| 第十章 同期系统实验 .....              | 141 |
| 第一节 同期回路正确接线的实验 .....         | 141 |
| 第二节 同期回路错误接线的实验 .....         | 142 |
| 附录 .....                      | 145 |
| 附录一 文字符号、图形符号、回路标号 .....      | 145 |
| 附录二 电气设备技术数据 .....            | 155 |
| 参考文献 .....                    | 164 |

## 第一章 概 述

### 第一节 电气工程实践训练的提出

#### 一、人才培养的转型

世纪之交,在全国教育工作会议上,中央提出了“推进素质教育,培养创新人才”的方针,这是社会主义市场经济发展的需要,是科教兴国的需要,是知识经济时代我国参与经济全球化的竞争与合作的需要。

有学者认为<sup>[2]</sup>,在此之前的50年间,我国高校培养的是“非创新型人才”,从某种意义上而言,称之为“服务型人才”。在服务型教育观的指导下,培养的人才创新性不足,已不能适应新形势下对人才的要求,主要表现在以下几点。

(1) 学生获取知识的主要途径是靠教师在课堂上进行单向传授,学到的都是间接知识,缺少直接知识的体验,自我获取知识和探索未知新知识的能力很薄弱。

(2) 学生的思维是单一化的正向思维。因为所有课程都由教师单向系统传授,学生在接受知识的同时,也接受了教师的思维方式,认为教师讲的都是正确的,教材和参考资料写的也都是正确的,根本不可能用批判性的思维提出任何质疑。

(3) 重视理论教学而忽视实践教学,学得多用得少,实践教学只是为验证某一概念、理论和方法,成为理论教学的附属环节。

(4) 学生按照统一的教学模式进行培养,强调人才培养的共性,忽略和压抑了学生的个性。

在新的形势下,高等学校面临着人才培养的转型问题,即从培养服务型人才培养创新型人才。相对于服务型人才培养存在的问题,创新型人才培养应具有以下的特点。

(1) 创新型人才应具有直接知识和间接知识。间接知识仍然由老师传授给学生;而直接知识则是以老师为主导,学生为主体,通过亲身实践体验和探索得来的知识,重要的是培养学生自我获取知识和探索未知新知识的能力。

(2) 创新型人才的基本思维是正向思维和反向思维相结合,敢于提出问题,善于思考问题。

(3) 创新型人才既要有扎实的理论基础,又要有很强的动手实践能力和运用知识发现问题、提出问题、分析问题和解决问题的能力。

(4) 创新型人才培养以人为本,实施个性化教育,因材施教,让学生有充分自主学习的时间和氛围。

培养创新型人才是一项长期的任务,需要不断探索、改革、完善和提高。在现阶段,对大多数高等学校而言,本科教育只能为培养创新型人才打好基础。

#### 二、工程实践训练是电力类专业实践教学的主要内容

要实施培养人才的转型,实践教学有着特殊的举足轻重的作用,也是教学改革最迫切和最容易取得突破性进展的领域。必须改变实践教学依附于理论教学的传统观念,以创新性的教育理念,深化实践教学改革,构建培养创新型人才新的实践教学模式。

电力类专业是工科专业,培养的是工程人才,必须以工程实践为基础,以实践作为立足的根本。因此,加强工程实践训练,以提高学生的工程素质和能力,应该成为工科专业高年级学生实践教学的主要内容。

当今电力系统是一个十分重要、庞大和复杂的系统,发电、配电、供电、用电总是处在一个动的平衡中,如果某个地方出现事故,都可能产生严重后果,甚至引起整个系统的崩溃,因此电力系统的安全可靠运行具有特殊的重要性。

生产实习是工科专业学生重要的实践教学环节,电力专业的学生接触电气工程实际主要通过校外发电厂变电所实习,但由于电力安全生产的特殊性,学生只能走马观花在看警界线外观看电气设备。对事故和异常情况进行分析处理是实习的主要内容,但现场只能纸上谈兵,没有任何实际显示。学生得不到真正的工程实践体验,更谈不上动手操作了。

为了适应在新形势下人才培养的要求,需要在校内建立电气工程实践训练平台(基地),构建与实际电气工程基本一致的物理环境,使学生在这个实践平台上,接受从方案设计、图纸绘制、设备选型、安装接线、试验调整、运行操作、事故分析等全过程的工程实践训练,培养学生运用理论知识分析和解决工程实践问题的能力。实践平台还设置了一些正在研究尚待解决的工程技术问题给学生探索,从中发现问题、提出问题,获取直接知识,同时还培养了自我获取知识和探索未知知识的能力。实践平台向学生开放,学生可以选择自己感兴趣的课题进行试验研究,激励学生的创新意识,展示自己的才能和特长。学生通过工程实践训练,还亲身体验到电气工作的特点和要求,培养严谨的科学作风。

在深化实践教学改革中,改变传统实验以验证为主的状况,开设设计性、综合性的实验是十分必要的。电气工程实践训练的内容必然是含有多个环节的综合实践项目,而项目的实施必须从设计开始入手。因此,电气工程实践训练显然也是设计性、综合性的实验,但它是以工程实践为中心,富有工程的特色。

## 第二节 电气工程实践训练的基本原则和方法

电气工程实践训练必须以培养创新型、复合型人才为目标,以提高实践教学质量为中心,确定工程实践训练的基本原则和方法。

### 一、电气工程实践训练的基本原则

电气工程实践训练内容的设置,应根据专业培养目标的定位、财力人力等自身的条件因地制宜进行设计,这里提出一些基本原则。

#### 1. 全过程的工程实践训练

电力系统十分庞大复杂,不可能在学校实验室进行全系统的物理模拟,只能选择 1、2 个典型的工程实践项目“复制”到实验室来,但应该能对学生从方案设计、设备选型、安装接线、试验调整、运行操作、事故分析等环节进行全过程的工程实践训练。应注意充分给予学生安装接线、使用工具和仪器仪表的动手实践机会。

#### 2. 具有综合性

学生学习各门课的知识是分散的,而工程实际问题却是综合的,综合性的工程训练内容使学生将分散孤立的知识联系起来,综合应用去分析解决工程问题和提出新的问题,真正把知识用好用活。例如小接地电流系统的有关实验,构建了一个实际的运行系统,学生就要综

合利用电路、电机学、电工测量、发电厂电气部分、电力系统分析、高电压技术、电气接线原理等课程的相关知识去分析解决问题。

### 3. 提出问题, 突出用字

学起于思, 思源于疑, 只有不断提出问题让学生去思考、去实践、去探索, 才能培养学生的能力, 所以工程实践训练的许多内容, 都是围绕着“问题”展开的。电力系统的安全可靠运行有赖于正确处理出现的事故和问题, 在实践训练中, 制造和设置了各种各样的事故和问题摆到学生的面前, 让学生观测事故的现象、寻找事故的原因、分析事故的动作机理、论证正确处理事故的方法, 提出防止事故的措施, 而实际的电力系统是不可能做到的。例如纵联差动保护实验, 不是简单地测几个数据, 观察一下保护动作情况, 而是设置了极性错误、相别错误、组别错误、互感器头尾对调、差动断线、继电器损坏等各种实际运行中可能出现的事故, 使学生在分析处理各种事故中提高自己的能力。

### 4. 实践训练与创新研究结合

综合性工程实践训练中的一些专题, 带有科学研究和试验探索的性质, 本身就是一个小型的科研项目, 可以列出了多个专题供学生选做, 学生也可以提出自己感兴趣的题目进行更深入的试验研究分析, 要给学生更多自由发挥的空间。例如, 小接地电流系统发生单相接地时, 一般文献和教科书认为: 发生单相接地时, 接地相对地电压降低, 非接地的两相对地电压升高但不超过线电压。学生通过改变接地过渡电阻的实验发现, 在某些情况下的单相接地, 可以使两相对地电压降低、一相对地电压升高, 并且对地电压最低的相并不是接地相, 非接地相对地电压也可以超过线电压。学生们就查找有关的参考资料, 进行深入的分析论证, 从理论上得到了解析, 这就是一种创新。同时也使学生认识到, 创新并不是高不可攀的, 创新源于实践, 又受到实践检验。在试验探索的基础上, 鼓励学生撰写科技论文。

在实践试验中, 常常碰到一些从理论上解析不通的问题和现象, 这时一定要抓住不放, 这正是学生发现问题、提出问题的机会, 让学生亲身体验“实践—认识—再实践—再认识”的过程, 直至问题得到科学的解决为止。例如, 在做消弧线圈补偿实验时, 不能做到全补偿, 就要引导学生认真分析原因, 探索解决的方法。

教师的实践性科研项目应融入到实践教学中来, 吸收学生参与, 对提高学生的科研创新能力十分有利。

### 5. 自行设计、开发和安装实验装置

花费大量的资金去购买昂贵而复杂的成套设置并不一定能真正提高实践教学效果, 要根据工程实践训练的要求, 尽可能自行设计、开发和安装实验装置。

自行设计、开发实验装置有以下几方面的好处。

(1) 适应性强, 灵活性好。装置是开放的, 可以灵活拆装组合和扩充, 做到一机多用, 以满足各种实验要求, 既节省投资, 又节省场地。

(2) 自行研制的装置以人为本, 面向学生。学生能参与装置的开发、安装、调试和改造, 还可以人为设置故障让学生分析查找, 而生产厂家的成套装置, 软硬件都是封闭的, 不能向学生开放, 不能达到提高学生实践能力、创新能力、分析能力的目的。

(3) 节省资金。自行开发的实验设备不但效果好, 而且投资要少得多, 有利于工程实践训练平台的建设。

(4) 提高教师的素质。通过实验装置的研制, 提高了教师的素质和能力, 也就提高了实

实践教学的质量,也有利于实验装置的维护使用。

吸收有兴趣的学生参加实验装置的研制、安装和调试,对提高学生的素质和能力很有帮助。

#### 6. 校内与校外工程实践训练相结合

如上所述,校内工程实践训练对培养学生的素质和能力有着很重要的作用,但也有一定的局限性。因此仍应该建立校外工程实践(实习)基地,使学生接触真正的电力系统和先进的技术装备,校内校外的工程实践紧密结合,互相补充。学生在校内接受工程实践训练后,有了感性认识,有了全过程工程实践的体验,开拓了思路,到校外大型发电厂变电所实习时,就能提出问题、思考问题,使校外实习深入下去,达到预期的目的。

#### 7. 工程实践训练与毕业设计相结合

工程实践训练发现的和进行试验探索的问题,有些不能在有限的实践训练时间内得到解决,这些问题可以作为后续的毕业设计的内容,让学生在理论与实践的结合上,继续进行更深入的试验探索和分析研究,不但能培养学生的创新能力和运用知识的能力,也拓宽了毕业设计选题的渠道。例如,小接地电流系中接地过渡电阻对单相接地的影响、单相接地故障与其他故障的判别、电压互感器的铁磁谐振、实验用消弧线圈电阻的补偿问题等,就可以作毕业设计的内容。以此为基础,进一步进行线路接地选线保护的设计和试验,还可以探索接地故障点的探测问题。指导毕业设计的教师,还可以有意识地将毕业设计的一些前期工作放到工程实践训练中,使毕业设计和工程实践训练有机结合起来,也提高了实践训练平台的利用率。

## 二、工程实践训练的教学方法

工程实践训练的教学方法并没有统一的模式,这里提出几点仅供参考。

### 1. 独立设课

电气工程实践训练是一个综合性的实践项目,并不依附于哪一门专业课,因此,宜独立开设“电气工程实践训练”实践课程。此课程可以分为两部分:工程实践训练基础和工程实践训练实施。前者以课堂教学为主,使学生从理论上、技术上、方法上为工程实践训练打好基础,内容要紧密结合工程实践训练,引导学生积极思考和讨论,做到教、学互动,使学生的思路与教师提出问题、分析问题、解决问题的思路同步,充分调动学生的积极性。

### 2. 课堂教学与工程实践训练同步进行

课堂教学开始,就将工程实践训练的任务布置给学生,并带学生到现场参观,引起学生浓厚的兴趣。然后实践训练基地向学生开放,随着课堂教学内容的不断展开,把对学生进行工程实践训练的相关内容同步进行,引导学生运用所学知识来分析解决工程问题。最后宜集中一段时间使学生全身心投入工程实践训练。

### 3. 把数据测试、现象观测和结果分析紧密结合

以往的实验,实验的测试和分析是脱节的,一般是在实验室测量记录好有关数据,然后回去对实验数据进行分析,写出实验报告,教师则背靠背的批改。如果因接线错误、测量不当等原因,使数据不正确或者漏测了数据,再无法进行补救,甚至使实验结果的分析是错误的,也不能激发学生的积极思考。对于综合性的工程实践训练,实验方法要进行改革,要把实验数据的测试、实验现象的观测和实验结果的分析紧密地结合起来,贯穿于整个实验过程中。对每一个实验的每一项内容,测量出实验数据以后,紧接着就要运用所学的知识进行认

真深入的分析,如果数据错误、漏测或分析有矛盾,再进行测试和再分析,直至得出符合科学的正确结论以后,再做下一个实验。

#### 4. 把实践、讨论、讲评、总结紧密结合

实验室既是实践基地,又是课堂,不但在实践训练开始时,教师要讲解实践训练的目的要求,而且每一个实践专题结束后,在教师的组织和指导下,先由学生阐述自己对实验结果的分析论证,然后学生进行充分的讨论,各抒己见,再由教师进行讲评和总结。

#### 5. 引入竞争性,增加趣味性

工程实践训练的内容中,有许多故障分析,先是设定故障的原因(如断线、错相、错极性等),然后根据接线分析工作过程,从而得出所产生的现象。而实际运行中,情况正好相反,先是出现了故障的现象和信号,然后去寻找原因并进行处理,而产生同一故障现象的原因却是多种多样的,要找出故障所在就比较困难。为了使得到这方面的实践训练,可以引入竞赛的方式,由其他组的学生给本组设置隐蔽的故障,统一计时由各组学生根据故障现象去分析查找故障,对查找故障又快、又准、并且分析正确的学生给予奖励。

#### 6. 现场考核

在实验过程中,除记录学生的出勤情况和学习态度外,还要现场考核学生对实验内容的掌握情况和分析问题的能力,学生在教师面前当场通电试验,教师当场提出问题由学生解答,或制造故障让学生查找,对能够发现问题、提出问题具有创新思维的学生,要给予大力鼓励和特别的关注。实验成绩由现场考核和实验报告综合评定。

最后应当强调指出,工程实践训练教学质量提高的关键在教师。有了必要的物质条件后,教师的素质就决定了实践教学的质量和水平。这支教师队伍除了要有高度的责任感和爱岗敬业的精神外,必须要有先进的教育理念和思想,重视实践教学,研究实践教学,精心设计和开发实践教学内容,不断提高自己的素质和能力,特别是创新能力,还要将自己的科学研究渗透到实践教学中,使实践教学提高到一个新的水平。

## 第二章 工程实践训练实验装置

### 第一节 工程实践训练实验方案

#### 一、工程实践训练实验方案的类型

工程实践训练实验方案可以分为两种类型：一种是以电力系统局部的变配电设备为主体，配以常规的监控保护二次系统，可以称之为基础型的实验方案；另一种是以同步发电机组为主体，构成一个多机组的电力系统，采用计算机监控系统和配以各种微机自动装置，可以称之为提高型的实验方案。两种类型各有特点，培养学生的侧重点也不同，学生一般应先进行基础的工程实践训练，进而进行提高的工程实践训练。

电力系统的监控保护有计算机监控保护方式和常规监控保护方式，显然前者技术先进。但是对于基础型的工程实践训练实验，基于以下原因的考虑，还是选择常规监控保护方式为宜。

(1) 目前专业课一般都不涉及具体的电气设备和接线，电气设备只是学生头脑中的符号，常规监控保护方式的功能是由硬件实现的，看得见摸得着，对于初次接触电气工程的学生来说，有利于增加对各种电气设备的感性认识。

(2) 常规监控保护方式单套实验装置的费用比计算机方式少得多。工程实践训练要求人人动手安装接线和进行实验，使学生有充分的实践机会，一般两人一组，这样实验装置的台套数很多，采用计算机方式投资很大，一般学校承受不起，而常规方式的投入要少得多，工程实践训练基地的建设比较容易实现。

(3) 常规监控保护方式更易于对学生从方案设计、图纸绘制、设备选型、安装接线、试验调整、运行操作、事故分析等各个环节进行全过程的工程实践训练。

(4) 常规监控保护方式对于学生深刻掌握基本概念和基本原理更有利。例如常规的电流型保护，从线路短路→电流互感器反应短路电流→电流继电器动作→动合触点闭合→信号继电器动作→出口中间继电器动作→断路器跳闸→发出声光信号。动作过程直观清晰易懂，对于初涉继电保护的学生来说，能从实验中深刻掌握保护的基本概念和基本原理，获得直接的体验，而这正是培养学生创新能力的基础。而微机保护是在硬件结构的基础上，其保护原理是用软件实现的，其物理过程观察不到。因此对于初学者来说，通过对常规保护的电气接线、工作原理和动作过程的实验，才能很好地掌握继电保护的有关知识，为学习和掌握微机保护打下牢固的基础。而对于保护原理和外部接线来说，常规保护和微机保护并无区别。

(5) 基础型工程实践训练的目的在于培养学生的创新能力、实践能力以及运用知识提出问题、发现问题、分析问题、解决问题的能力，因此要在硬件上设置各种各样事故、故障和问题（如短路、断线、错误接线、错相、极性错误等），让学生反复实践探索，这正是校内工程实践训练最主要的特点和优点，而不在于掌握具体业务领域的先进技术。

(6) 计算机监控保护方式和自动装置的实验可以放到提高型的工程实践中去，还可以通过校外实习到大型发电厂变电所去了解。

本书只论述基础型的电气工程实践训练的有关问题。至于提高型的工程实践训练，已有较多的相关教材和参考资料。

## 二、一次回路接线

以一台降压变压器和模拟一条 10kV 供电线路为对象，对线路的测量、控制、保护、信号、同期回路从方案设计、设备选型、安装接线、试验调整、运行操作、事故分析等各个环节对学生进行全过程的工程实践训练。其一次回路接线图如图 2-1 所示。某些实验的一次接线图与图 2-1 有所不同，将在相关实验部分画出。

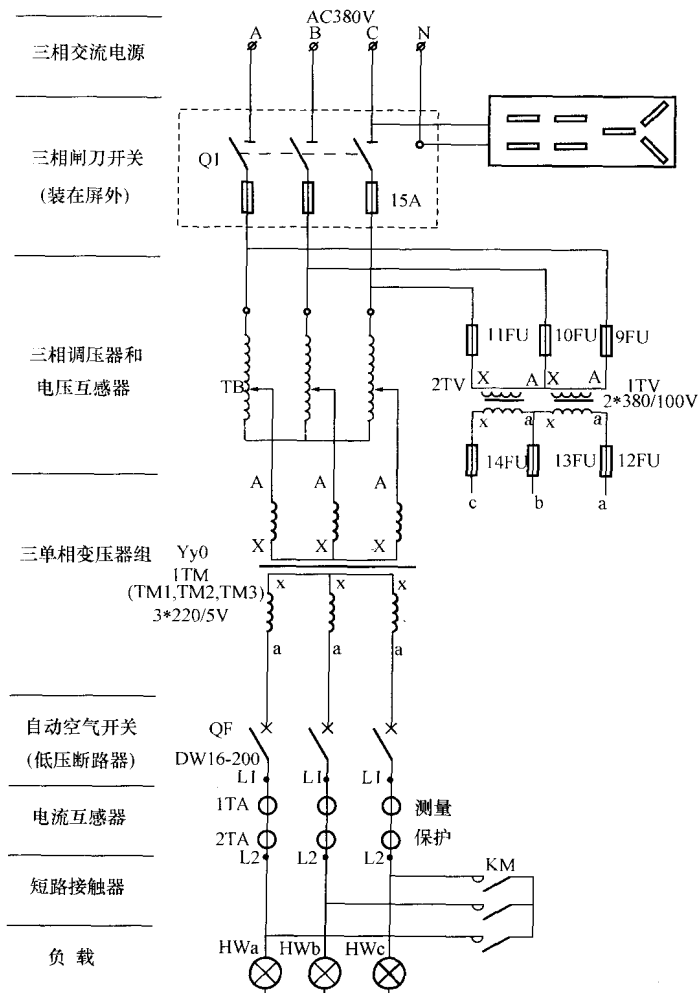


图 2-1 一次回路接线图

三相交流低压电源通过闸刀开关 Q1（相当于高压隔离开关）和熔断器接到三相调压器 TB，TB 的输出端接 Yy0 接法的降压变压器 1TM，1TM 由三个单相变压器组成，为了使小容量的变压器（150VA）产生足够大的短路电流，变压器低压侧的设计电压很低（约 5V）。

变压器低压侧再接作为低压断路器的万能式空气断路器 QF，QF 有灭弧主触头和辅助触头，有合闸线圈和跳闸线圈，其功能和高压断路器完全一样，控制回路的接线也相同，可

以实现远方操作和就地操作。断路器 QF 后装有两组电流互感器 1TA 和 2TA, 1TA 作测量用, 2TA 作保护用, 电流比取 5A/5A, 采用穿心式, 一次侧串绕与二次侧同样的匝数。线路末端装一组白炽灯 HW 作为负载。在电流互感器后、负载前接一台短路接触器 KM, 作为实现线路短路之用, 调节三相调压器 TB 的输出就可以调节短路电流的大小。TB 之前并接有电压互感器 1TV 作测量用, 由两台单相互感器组成 V-V 接法。

按安全运行的规定, 实验屏体应与实验室的地线相连, 而电流互感器和电压互感器二次侧也必须有一点接地, 由于实验屏体已接地, 故接至屏体上即可。

一次回路设备的规格如表 2-1 所示。

表 2-1 实验装置一次回路设备规格表 (1 套)

| 序号 | 符号     | 名 称    | 型 号 规 格                | 单位 | 数量 | 备 注    |
|----|--------|--------|------------------------|----|----|--------|
| 1  | Q1     | 三相闸刀开关 | HK2-15/3, 15A, 3 极     | 台  | 1  |        |
| 2  | TB     | 三相调压器  | TSGC-6, 6kV·A          | 台  | 1  |        |
| 3  | TM     | 单相变压器  | BK-150, 220/5V, 150V·A | 台  | 3  | 控制变压器  |
| 4  | QF     | 万能空气开关 | DW15-200, 200A, DC220V | 台  | 1  |        |
| 5  | 1, 2TA | 电流互感器  | LMZJ1-0.5, 5/5A        | 只  | 6  | 电流比为 1 |
| 6  | 1, 2TV | 电压互感器  | JDG-0.5, 380V/100V     | 只  | 2  |        |
| 7  | KM     | 交流接触器  | CJ20-40, 40A, DC220V   | 台  | 1  | 直流操作   |
| 8  | HW     | 白炽灯    | 220V, 200W             | 只  | 3  |        |

### 三、二次系统接线

线路的测量、控制、保护、信号、同期等二次系统, 将在后面的相关章节中介绍。

## 第二节 实 验 装 置

### 一、实验屏体

工程实践训练实验装置为一个标准尺寸的低压屏体, 高、宽、深分别为 2200、800、800mm, 为了节省实验室面积使布置紧凑, 一个屏装两套相同的设备, 前、后各一组学生, 屏的前、后都同样开上下两扇门, 装同样的屏面设备。上门为仪表和控制门, 自上而下装仪表、信号灯、光字牌、操作开关、按钮; 下门为继电器门, 装电流、时间、中间、信号、冲击、闪光等各类继电器和连接片。门上根据设备的尺寸开孔 (开孔数比实际设备多), 学生根据自己设计的屏面布置图自行装上设备。

屏体内安装的设备, 除一次回路设备 (表 2-1, 但调压器放在屏外) 外, 还有蜂鸣器、电铃、熔断器、电阻、电能表等二次设备。屏内装有若干开有长孔的竖条和横条, 可以方便安装或拆卸各种设备, 便于扩充新的实验。屏内的一侧竖向装有一排端子排, 屏面设备和屏内设备的连接要通过端子排接线。

### 二、屏面布置图

图 2-2 为某实验装置的屏面布置图及相应的设备表, 仅供参考。



源，两部分各有独立的整流电路，整流电源的电压是有一定脉动的，含有交流成分，对于断路器的合闸电源 $\pm W_{on}$ ，含有交流成分，并不影响断路器的合闸，故经整流变压器 1TM 降压隔离后，采用三相桥式不可控整流电路。对于操作信号电源（ $\pm WC$ ， $\pm WS$ ）则要求直流电压比较平直，因为二次设备中，例如冲击继电器和闪光继电器因有电解电容器，如果电压

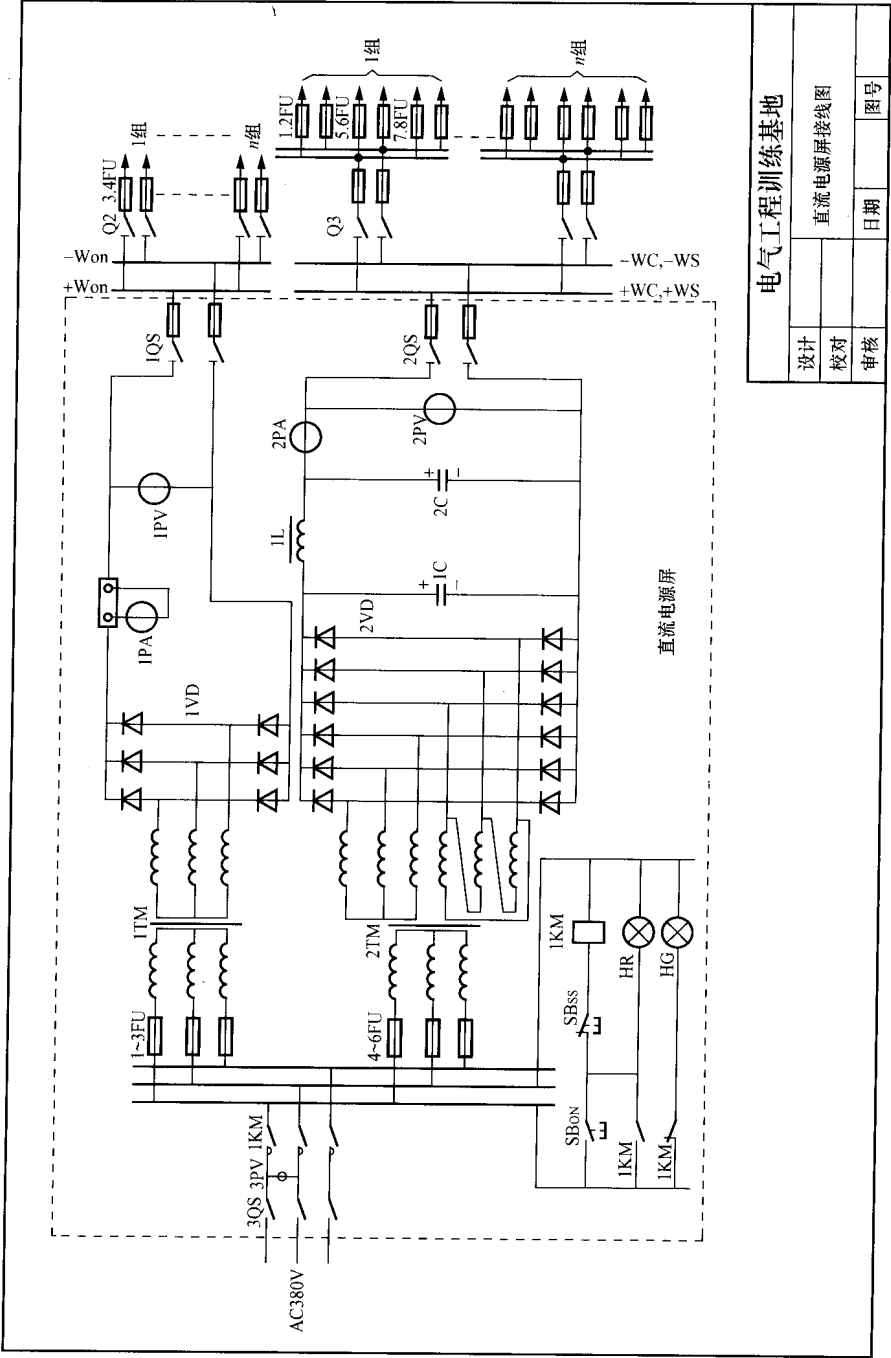


图 2-3 直流电源屏接线图

的交流成分较大,就会使继电器工作不正常。所以采用六相整流电路并加装电容电感滤波,这时整流变压器 2TM 要有分别接成星形和三角形的两个二次绕组。

直流电源屏引出两路 220V 直流至各实验装置:一路为断路器合闸电源,通过 1QS 引出;另一路为控制信号电源,通过 2QS 引出,然后各实验屏再通过闸刀开关 Q2、Q3 引入。所以每一实验组有三个电源开关:

Q1——三相交流电源开关(图 2-1);

Q2——断路器合闸电源开关(直流);

Q3——控制信号电源开关(直流)。

直流电源屏可以自行制造安装,不必一定要订工业产品。表 2-2 列出了直流电源屏主要设备,供制屏时参考。

表 2-2

直流电源屏主要设备表

| 序号 | 符号         | 名 称   | 型 号 规 格                            | 单 位 | 数 量 | 备 注  |
|----|------------|-------|------------------------------------|-----|-----|------|
| 1  | 1TM        | 三相变压器 | SG-5, 5kV·A, Yy<br>380V/170V       | 台   | 1   | 干式   |
| 2  | 2TM        | 三相变压器 | SG-3, 3kV·A, Yyd<br>380V/170, 170V | 台   | 1   | 干式   |
| 3  | 1VD        | 整流二极管 | 50A, 1600V                         | 只   | 6   |      |
| 4  | 2VD        | 整流二极管 | 20A, 1600V                         | 只   | 12  |      |
| 5  | 1KM        | 交流接触器 | CJ20-100, 100A, AC380V             | 台   | 1   |      |
| 6  | 1QS<br>3QS | 塑壳断路器 | DZ20-100, 100A                     | 台   | 2   |      |
| 7  | 2QS        | 塑壳断路器 | DZ5-20, 20A                        | 台   | 1   |      |
| 8  | 1PA        | 直流电流表 | 42C3-A, 0~100A                     | 只   | 1   | 带分流器 |
| 9  | 2PA        | 直流电流表 | 42C3-A, 0~20A                      | 只   | 1   |      |
| 10 | 1, 2PV     | 直流电压表 | 42C3-V, 0~250V                     | 只   | 2   |      |
| 11 | 3PV        | 交流电压表 | 42L6-V, 0~450V                     | 只   | 1   |      |
| 12 | 1C, 2C     | 电解电容器 | 450V, 2200 $\mu$ F                 | 只   | 2   |      |
| 13 | L          | 电抗器   | 自制                                 | 台   | 1   |      |
| 14 | SB         | 按钮    |                                    | 只   | 2   |      |
| 15 | HR, HG     | 位号灯   |                                    | 只   | 2   |      |