

114

# 变电运行与事故处理

## ——基本技能及实例仿真

刘元津 吴 涛 李志文 王 勇 编著



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

## 内 容 提 要

本书是根据《电力工人技术等级标准》和《变电运行岗位规范》要求,通过仿真技术在电力系统的运用来讲述变电站值班员的基本技能,以满足变电运行岗位技能培训和职业技能鉴定的实际需要。

本书主要内容有:仿真技术在电力系统的运用;变电站的运行管理制度;电气设备的运行及故障处理;变电站的倒闸操作;变电站的工作票;枢纽变电站配备的继电保护及自动装置;仿真变电站配备的继电保护及自动装置;变电站的事故处理;仿真变电站的事故处理实例;变电站的常见异常、常见缺陷及处理方法等。通过对全书的学习,可有效提高运行人员的操作、故障处理能力,预防和减少习惯性误操作。

本书适合各供、配、变电部门运行人员的自学或培训学习,也可作为电力技校、中专、大专等院校相关专业师生的教学参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

变电运行与事故处理:基本技能及实例仿真/刘元津等编著. —北京:中国水利水电出版社, 2002

ISBN 7-5084-0573-0

I. 变… II. 刘… III. ①变电站-电力系统运行-技术培训-自学参考资料②变电站-事故-处理-技术培训-自学参考资料 IV. TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 018559 号

|       |                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 书 名   | 变电运行与事故处理——基本技能及实例仿真                                                                                                                                                                                                               |
| 作 者   | 刘元津 吴涛 李志文 王勇 编著                                                                                                                                                                                                                   |
| 出版、发行 | 中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044)<br>网址: <a href="http://www.waterpub.com.cn">www.waterpub.com.cn</a><br>E-mail: <a href="mailto:sale@waterpub.com.cn">sale@waterpub.com.cn</a><br>电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部)<br>全国各地新华书店 |
| 经 售   |                                                                                                                                                                                                                                    |
| 排 版   | 中国水利水电出版社微机排版中心                                                                                                                                                                                                                    |
| 印 刷   | 北京密云红光印刷厂                                                                                                                                                                                                                          |
| 规 格   | 787×1092 毫米 16 开本 16.25 印张 385 千字                                                                                                                                                                                                  |
| 版 次   | 2002 年 5 月第一版 2002 年 5 月北京第一次印刷                                                                                                                                                                                                    |
| 印 数   | 0001—4100 册                                                                                                                                                                                                                        |
| 定 价   | 29.00 元                                                                                                                                                                                                                            |

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

# 序

随着中国加入 WTO 组织,我国国民经济揭开了高速、良性发展的新篇章。西部大开发战略的实施,为西部地区的发展提供了千载难逢的机遇。全国电网互联、西电东送工程的实施等,使我国电力工业正在迅速的腾飞。未来电网的发展,对变电运行的要求越来越高。变电站值班员具备的基本技能,尤其是事故处理能力,已经成为保证电网安全稳定运行的重要条件之一。

电网的安全稳定运行,对国民经济和社会的发展意义重大。电网一旦发生故障,不能及时消除,酿成大面积停电,将给社会带来灾难性的后果。因此,加强对变电站值班员的基本技能的培训,提高变电站值班员运行操作水平,使变电站值班员能够在事故发生后,准确地向调度部门汇报事故信息,正确地进行事故分析和处理,是保证电网安全稳定运行的一项重要措施。通过变电站仿真技术加强变电站值班员的培训,不断提高变电站值班员运行管理水平,已成为电力企业的一项重要工作,其意义深远,作用重大。

本书是在总结了多年来对变电站值班员培训经验的基础上编写的。全书以实际应用为主线,由浅入深,系统地介绍了常见的异常、事故、倒闸操作和各种继电保护装置的基本原理、基本的操作、有关运行规定等,并通过超高压变电站仿真系统,介绍了变电站值班员的基本技能,尤其突出了对变电站值班员事故处理能力的强化培训,深入浅出,结合实际,便于变电站值班员对其工作内容的理解和掌握。

本书不但是一本培训教材,同时也是变电站值班员的工具书。它的出版为变电站值班员及相关专业人员的学习和培训工作提供了一本好的教材,更有助于变电站值班员系统完整地掌握常见的异常、事故、倒闸操作和各种继电保护装置的基本原理、有关运行规定,有助

于提高变电站值班员的技术水平和运行管理水平，保证电网的安全稳定运行。

在本书即将正式出版之际，我谨对所有参加编写和出版的同志们表示崇高的敬意。并希望有更多的同志结合电网运行的实际，不断总结新经验，为使中国电网有一流的运行水平而坚持不懈地努力。

王天才

2002年4月

# 前 言

为适应我国电力系统的不断发展的需要,更好的提高电力职工的工作能力和技能水平,不断提高劳动生产率和工作效率,适应电力生产安全经济运行需要,必须通过大力开展岗位培训,提高变电运行人员的技术素质和管理水平。编者在多年从事变电运行岗位培训的基础上,根据《电力工人技术等级标准》和《变电运行岗位规范》的要求,参照《电力行业职业技能鉴定规范》编写了此书。

本书在编写过程中,注重理论联系实践,紧密结合生产,以现行的规程、规范内容为主线,重点突出以实例来讲述生产技能。本书涉及电力仿真技术、电力系统基本知识、变电站电气设备、继电保护装置、电网安全自动装置、倒闸操作、异常运行和事故的分析处理以及超高压变电站的管理等内容。

由于目前仿真技术的发展现状,绝大部分的仿真设备和实际电气设备面板上仍沿用了旧的电气文字符号,为了便于读者的阅读理解,以及与现场的实际操作能紧密结合,故在本书的写作上,仍保留了部分旧的电气文字符号。

参加本书编写的还有钟筱军、赵晨、齐强、朱光辉,陕西省电力公司雷发泉高级工程师对本书进行了认真的审阅,在本书的编写过程中还得到了彭安福、刘健等教授的热心指导,得到了陕西省电力公司、西北电力职工培训中心众多领导和工程技术人员的关心和帮助,在此一并致谢。

由于编者经验有限,时间仓促,不足之处在所难免,恳请广大读者和各位专家在使用中及时提出宝贵意见,以使本书不断得到完善和补充。

**编著者**

2002年3月

# 目 录

序

前言

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| <b>第一章 电力系统仿真</b> .....            | 1   |
| 第一节 电力系统仿真及其应用 .....               | 1   |
| 第二节 变电站仿真系统 .....                  | 3   |
| 第三节 变电站仿真系统实例 .....                | 7   |
| <b>第二章 变电站的管理制度</b> .....          | 14  |
| 第一节 变电站的运行管理 .....                 | 14  |
| 第二节 变电站的设备管理 .....                 | 24  |
| 第三节 变电站的技术管理 .....                 | 28  |
| 第四节 变电站的安全考核标准 .....               | 31  |
| 第五节 变电站的安全管理措施 .....               | 36  |
| 第六节 调度管理 .....                     | 40  |
| <b>第三章 电气设备运行及故障处理</b> .....       | 46  |
| 第一节 变压器的运行及故障处理 .....              | 46  |
| 第二节 断路器的运行及故障处理 .....              | 59  |
| 第三节 互感器的运行及故障处理 .....              | 66  |
| 第四节 电容器的运行及故障处理 .....              | 68  |
| 第五节 其他电气设备的运行及故障处理 .....           | 69  |
| 第六节 变电站用交直流系统的运行及故障处理 .....        | 71  |
| 第七节 二次回路的运行及故障处理 .....             | 77  |
| <b>第四章 变电站的倒闸操作</b> .....          | 84  |
| 第一节 变电站倒闸操作的标准 .....               | 84  |
| 第二节 仿真变电站的倒闸操作 .....               | 101 |
| <b>第五章 变电站的工作票</b> .....           | 109 |
| 第一节 工作票及其使用范围 .....                | 109 |
| 第二节 工作票的程序 .....                   | 112 |
| 第三节 工作票的规定和填写 .....                | 113 |
| <b>第六章 枢纽变电站配备的继电保护及自动装置</b> ..... | 121 |
| 第一节 主变压器的保护装置 .....                | 121 |
| 第二节 母线的保护装置 .....                  | 124 |
| 第三节 输电线路的保护装置 .....                | 129 |

|             |                          |     |
|-------------|--------------------------|-----|
| <b>第七章</b>  | <b>仿真变电站配备的继电保护及自动装置</b> | 133 |
| 第一节         | 继电保护及自动装置的一般规定           | 133 |
| 第二节         | 母线差动保护                   | 135 |
| 第三节         | 主变压器保护                   | 140 |
| 第四节         | 线路保护                     | 146 |
| <b>第八章</b>  | <b>变电站的事故处理</b>          | 157 |
| 第一节         | 事故处理的基本原则                | 157 |
| 第二节         | 变电站常见异常及事故的处理            | 158 |
| 第三节         | 电网异常及事故的分析处理             | 162 |
| <b>第九章</b>  | <b>仿真变电站的事故处理实例</b>      | 166 |
| 第一节         | 线路事故处理实例                 | 166 |
| 第二节         | 母线事故处理实例                 | 168 |
| 第三节         | 主变事故处理实例                 | 174 |
| <b>第十章</b>  | <b>变电站的常见异常</b>          | 179 |
| 第一节         | 变电站的常见故障及其处理             | 179 |
| 第二节         | 10kV 变电站的异常分析与处理         | 181 |
| 第三节         | 35kV 变电站的异常分析与处理         | 189 |
| 第四节         | 110kV 变电站的异常分析与处理        | 194 |
| 第五节         | 220kV 变电站的异常分析与处理        | 202 |
| 第六节         | 330kV 变电站的异常分析与处理        | 209 |
| <b>第十一章</b> | <b>变电站的常见缺陷</b>          | 216 |
| 第一节         | 缺陷处理原则                   | 216 |
| 第二节         | 母线常见缺陷                   | 217 |
| 第三节         | 主变压器常见缺陷                 | 218 |
| 第四节         | 开关常见缺陷                   | 222 |
| 第五节         | 隔离开关常见缺陷                 | 225 |
| 第六节         | 电流互感器常见缺陷                | 227 |
| 第七节         | 电压互感器常见缺陷                | 228 |
| 第八节         | 电容器常见缺陷                  | 229 |
| 第九节         | 电缆常见缺陷                   | 230 |
| 第十节         | 中央信号屏常见缺陷                | 230 |
| 第十一节        | 站用变压器系统缺陷                | 234 |
| 第十二节        | 继电保护缺陷                   | 235 |
| <b>附录一</b>  | <b>常用电气文字符号</b>          | 239 |
| <b>附录二</b>  | <b>倒闸操作票格式</b>           | 245 |
| <b>附录三</b>  | <b>第一种工作票格式</b>          | 246 |
| <b>附录四</b>  | <b>第二种工作票格式</b>          | 248 |
| <b>参考文献</b> |                          | 249 |

# 第一章

## 电力系统仿真

### 第一节 电力系统仿真及其应用

#### 一、系统、模型与仿真

系统仿真是一门新兴学科，是计算机科学、计算数学、控制理论和专业应用技术等学科的综合。生产和科学技术的发展使完成某种特定功能的各事物相互之间产生了一定的联系，形成各种各样的系统。为研究、分析和设计系统，需要对系统进行试验。最初人们在系统原型上做试验，但由于种种原因不具备在原型上做试验的条件，只能按原型的特征构造一个系统模型（物理的或数学的），并在该模型上做试验。人们把建模和在模型上做试验的过程称为系统仿真。

电力系统仿真是系统仿真的一个分支。电力系统仿真可分为研究仿真和培训仿真两类。

研究仿真包括各种电力系统电磁暂态和暂态稳定仿真软件，如电磁暂态软件（EMTP）和国内电力部门普遍采用的综合稳定程序等。

采用系统数字仿真的方法来研究和分析电力系统正常运行状态和受扰动后的动态过程很早就开始了。20 世纪 60 年代，我国许多电力科研机构 and 高等院校先后开发了多种电力系统潮流、暂态稳定和短路电流计算程序，后来发展为各种专用计算程序和综合稳定程序。与此同时引进了国外多种版本的电力系统电磁暂态程序（EMTP）和许多专用数字仿真程序，这些研究仿真软件可以研究电磁暂态、电磁谐振、机电振荡、发电机组轴系扭振以及由于断路器切换或雷电冲击等引起的暂态过程。后来 EMTP 又增加了潮流计算、超高压直流输电的换流器、控制系统及其分析等内容。

培训仿真包括属于 EMS 的调度员培训仿真器 DTS、变电站运行人员培训仿真器和发电厂机组运行人员培训仿真器。用于系统运行人员培训的电力系统培训仿真，包括电力系统调度人员培训仿真器（DTS）、运行人员培训仿真器（OTS）、变电站运行人员培训仿真器以及发电厂单元机组运行人员培训仿真器。与电力系统研究仿真有较大区别。它是以运行人员教学、培训为目的的教学工具，要求培训环境尽可能和实际工作环境相同，例如有相同形式的控制台、操作机构、仪表盘、信号盘、屏幕显示、音响信号等，使学员有身临其境的感觉。这种仿真系统要给学员一种认真、严肃的培训环境，这样才有利于培养学员正确、灵敏的反应能力和判断能力，提高运行技术水平。电力系统培训仿真器的设计应以满足培训要求为目标，硬件、软件和教学功能软件都应保证环境的实时性和真实性，满足教学要求。

由于电力系统事故所造成的损失很大，因此提高运行人员技术水平，防止事故发生及在事故发生后避免事故扩大很重要。电力系统培训仿真器以其极佳的经济性、有效性而受

到电力部门的重视，并迅速发展成为一种新兴的产业。

## 二、电力系统仿真的展望

未来电力系统仿真将会以较快速度发展，因为目前存在快速发展的必要性和技术上的可能性。首先从发展必要性来看，我国电力系统发展面临大容量、远距离和大电网互联的问题。环境保护制约和电力市场，电力行业体制改革已提到日程上来。作为电力系统科研、规划、设计和运行人员培训不可缺少的工具，电力系统仿真必定会有新的发展和突破。

大功率电力电子技术以其快速、可控、大功率和灵活高效的优点将很快被引入输电系统，柔性交流输电（FACTS）的概念、原理及其设备的设计与应用使交流输电系统成为灵活、可控的系统，对系统的研究、规划、设计和运行产生深刻变化，FACTS 系统的设备和控制系统的数字仿真将成为热门课题。

全国互联电网的形成是未来的发展趋势，大电力系统运行的动态特性，区间电能的交换与控制，系统的稳定性与安全性等课题的研究需要电力系统仿真密切配合和相应发展。

随着电力市场的形成，属于博弈型的仿真系统会发展起来，它将具有经营管理、经济分析、运行决策的功能。这种系统仿真对建模、仿真方法和可视化培训仿真系统必将提出新要求。它可以帮助市场管理人员、非电力系统专业的与市场运营有关的贸易经纪人、财务人员以及电力政策决策人员理解电力系统运行的基本原理，认识电力交易政策与电力系统运行的安全性、经济性、可靠性和电能质量的相互关系。

为保证供电可靠性，电源系统可靠性指标和可靠性的评价是非常重要的。采用可靠性数字仿真来获得系统随机特性和对电源储备能力的估计将会发展起来。因为可靠性数字仿真具有通用性及对复杂系统的适应性。

其次从电力系统仿真发展的技术准备来看，近几年来与系统仿真有密切关系的新技术发展很快，为电力系统仿真发展提供了有利条件。应充分注意吸收和引入其他领域的新成果，如以下几个方面：

### 1. 数模混合的实时仿真

电力系统仿真很难做到实时，可以用数模混合仿真。这种仿真用数字—模拟混合计算机系统仿真。例如电力系统中的控制器仿真可以用模拟计算机实现电力系统实时仿真，用数字计算机实现数字控制系统仿真，或用控制器原型接入混合仿真系统做试验。这种仿真也可用于培训仿真器以实现实时性的要求。

### 2. 面向对象（object-oriented）技术

这种技术对于改造现有电力系统仿真软件和设计新软件都是必要的。但是在实现过程中将有许多问题要解决。因为电力系统是一个复杂的大规模系统，建模所需的数据量十分庞大，结构很复杂。模型必须随应用功能的改变而变化。模型的规模、结构也将随电力系统发展而经常改变。拟定一个以面向对象技术为指导的模型方案需要反复研究与探索。例如 EPRI（美国电力研究院）提出研究一种公共信息模型（Common Information Model，缩写为 CIM）用于 EMS。其目的是提供一种可使不同用户在 EMS 环境下共用 EMS 数据库，并且可长期进行应用功能的扩展和修改的模型。采用面向对象技术是完成此项任务的有效工具。

### 3. 现代数字仿真算法

这种方法除离散相似法以外还包括可调整数值积分法、增广矩阵法、实时仿真法、采样控制系统仿真法和面向结构图仿真法等。引入这些新方法可以减少计算量，提高精度和数值稳定性。

### 4. 高性能的可视化数值计算工具软件

例如仿真建模工具软件 (MATLAB)，用这种软件重新开发 EMTP 软件，成为 MATEMTP，它比 EMTP 有更优良的性能。

综上所述，可以预料在下世纪，在电力系统仿真软件设计方面，将在以下 3 个方面有新的发展：①采用先进的软件开发技术改进大型电力系统研究仿真软件；②采用人工智能技术和先进软件设计技术开发各种用途的电力系统人员培训仿真器；③采用更有效的硬件与软件技术开发功能更完善的试验用的实时仿真系统。在建立新的数学模型和新算法方面将有新的发展，电力系统仿真将成为一个具有强大经济实力的新产业。

## 第二节 变电站仿真系统

电力系统运行人员的岗位操作技能是影响电力系统运行安全可靠性的的重要因素之一。为了提高运行人员素质和处理事故的能力，传统采用的方法是通过书本讲授，在图纸或模拟板上练习操作和进行模拟演习，以培养运行人员的操作技能以及处理事故的能力，虽都起了一定的作用，但因缺乏真实感，培训效果不佳。又因为电力系统的操作不允许随意进行，电力系统的事故又很少发生，不能将运行的系统当作试验品，不能在真实设备上实际操作试验，更不允许人为设置一些事故让学员观察并进行处理。使运行人员难以在电力系统的正常操作和事故处理中得到充分的训练。一旦事故来临，因运行人员见得不多，往往手忙脚乱，不知所措，常常因处理不当，造成事故扩大。

电力系统首先在火电厂和核电厂开展了培训仿真系统的研究和试验，取得了很好的效果。现在核电厂和火电厂配备培训仿真系统的必要性已被国内外所公认，我国电力领导部门规定核电厂和 300MW 及以上的火电机组，都必须配备培训仿真系统。接着兴起电网调度培训仿真系统，我国几个跨省网调几乎都配备了电网调度培训仿真系统，省网调度中配备培训仿真的也日益增多。变电站容量分散、数目众多，随着电力系统的发展，高电压、大容量变电站相继投入运行，在电力系统中占有重要地位，同时先进的自动化技术的应用，都对变电站运行人员的素质提出了更高的要求。为了适应这种要求，近年来国内有关科研单位和高等院校与运行单位相结合，已开发出了相应的变电站运行人员培训仿真系统。最初研制的变电站仿真系统沿用电厂仿真的模式，带硬件盘台，计算机也采用工作站，投资很大。后来逐渐采用 PC 机代替工作站，还出现了纯软件的仿真模式，并针对变电站培训的内容和特点，增加了智能培训和知识学习的功能。

### 一、变电站仿真培训系统模式

从仿真系统组成模式上，主要分为盘台模式和纯软件模式。

#### 1. 盘台模式

盘台模式是指用与实际变电站 1:1 的开关控制屏和保护屏硬件组成变电站仿真培训系统的主控室和保护室,主要由后台计算机支持这些硬件的操作和显示。屏柜上的开关量和模拟量(操作开关把手、投退压板、小开关、保险和按钮等)的变化,通过数据采集卡,送到总线,最后送给后台计算机,后台计算机上的仿真模型实时计算,将计算结果通过总线和数据转换卡,刷新屏柜上的模拟量(表计指示)和开关量(光字牌、信号灯等)。后台计算机采用多台工作站或微机,它们组成网络,并按功能分为:

(1) 工程师台,用于仿真模型的修改和系统维护、调试。

(2) 教员台,用于设置培训任务、控制和管理培训过程。

(3) 图形台,用图形界面的方式仿真没有硬件的设备,如主接线图、模拟屏、保护屏界面(有的仿真系统没有保护屏硬件,就用软件仿真保护屏)、室外主设备的多媒体界面等。

(4) 仿真模型计算台,接收硬件屏柜上和图形台界面上的操作数据,仿真模型进行实时计算,计算结果送到屏柜和图形台界面上。

在实际仿真系统中,可根据需要将上述功能合并或分解,配置给后台机。为处理后台机与硬件屏柜间的数据输入和输出,一般还要根据硬件的规模配置一台或几台前置机。

## 2. 纯软件模式

纯软件模式是指变电站内的所有开关控制屏、保护屏、模拟屏、室外和室内的主设备及主接线等全都用软件仿真,除计算机外没有任何硬件。像盘台模式一样,仿真系统是一个由多台工作站或微机组成的网络,根据每台计算机上配置的软件资源不同,可构成以下模式的仿真系统:

(1) 分布式,即图形界面软件可按主控室、保护室和室内外电气设备等的划分,分布在一台或几台计算机上,其他仿真模型、教员管理、工程维护也可分布在一台或几台计算机上。一般图形界面软件分布在 1~2 台计算机上,作为一组学员台,这样可配置多组学员台,同时对多个学员培训。但学员台的数量受仿真模型计算台的响应速度限制,一般只能配置 3~4 台。

(2) 网络教室模式,即仿真培训系统由一个教员台和多个学员台组成,学员台个数可达 20~30 个,不受仿真模型计算速度的限制。这时,图形界面软件和仿真模型计算软件必须放在同一台计算机上,这样每个学员台都有自己的界面和仿真计算软件,相对独立,而教员台的设置功能,也可放在学员台上,使培训学员的方式更灵活,学员既可以自学,也可在教员指导下学习,达到同时培训不同层次学员的目的。纯软件模式组成灵活,并可应用其他新计算机技术,提高仿真培训的效果。如 1 台 PC 主机带 2 个显示器的分屏卡;由专用网线和图像声音传输卡组成的多媒体教学网络,应用在网络教室模式时,可广播、监视、控制教员台和学员台的界面操作和声音。

## 二、选择所模拟的变电站和系统

确定所要模拟的变电站和系统,是首先要考虑的问题。变电站形式多种多样,分散性很强,容量大小不一,不能每个变电站都配备一套培训仿真系统,合理的方法是在一个地区设置一公用的变电站仿真培训系统,为当地变电站共用。在目前开发的变电站仿真培训系统中,有如下几种方式:

(1) 综合式。所仿真变电站的主接线不是一个特定变电站的接线方式，而是综合了本地区各电压等级的典型接线，是一个虚拟变电站，站外等值为无穷大系统或一个虚拟的小网络，网络中包含几个变电站，每个站等值为一个节点，站间联络线两端的开关可在接线图上开/合，并配有保护，这样既能仿真本站运行工况，又能仿真站外系统运行工况的变化对本站的影响。虚拟站包含的电压等级、每个电压等级的出线数、主变数、各元件配置的保护和参数以及网络联络线的参数和保护配置等都由用户根据本地区的典型配置来确定。一般盘台模式的仿真系统选择这种综合式的变电站进行模拟。

(2) 选择一个实际变电站进行详细仿真，并与一个地区电网连接，地区电网按实际接线仿真，电网中每个站简化为 1~2 个节点。所有元件参数和保护配置都按照实际系统来设定。由于实际变电站的保护屏数量较多，选择盘台模式时，需要对保护屏进行简化，或选择用软件仿真保护屏。

(3) 选择 1~2 个实际变电站详细仿真，站外与一个地区电网相连，地区电网按实际接线仿真，除详细仿真变电站外，电网中其他各站仿真到 10kV 以上的主接线，但没有仿真屏柜，直接在各站的主接线图上操作开关、刀闸、接地线。所有元件参数和保护配置都按照实际系统来设定。潮流的变化（有功、无功、电流、电压）标示在主接线图上，非详细仿真变电站的保护动作情况，有故障仿真报告记录下来。因此这是一种将变电站仿真与地调仿真相结合的方式。当一个仿真系统中要详细仿真两个变电站时，就不适宜采用盘台模式。

### 三、仿真培训的主要内容

变电站仿真培训系统主要是为培训变电站运行人员而设计的，因此其功能应围绕变电站运行人员的工作而设置。变电站运行人员的日常工作有以下几个方面：

- (1) 监视记录及调整变电站运行工况。
- (2) 正常及事故巡视。
- (3) 正常倒闸操作。
- (4) 事故过程的处理及恢复供电。
- (5) 变电站知识学习。

因此不管是盘台模式，还是纯软件模式构成的变电站仿真培训系统，从培训功能上都有正常运行监视及工况调整培训功能、巡视培训功能、正常操作培训功能、事故仿真及处理培训功能和变电站知识学习培训功能。

为了满足变电站运行人员的培训需要，变电站仿真培训系统首先应能很好地仿真变电站的正常、异常和故障的运行工况和现象。操作设备开合、调整变压器分接头、负荷曲线定时变化和保护动作启动开关跳闸等情况，都要使系统潮流重新分配，这时仿真系统中主控屏的仪表（有功、无功、电压、电流）随实际情况波动，仪表上的具体数值通过仿真模型中的潮流模块实时计算得出；操作设备引起的故障或教员设置的故障，由仿真模型中的故障计算、保护仿真模块实时计算，得出应动作的保护和开关，这时仿真系统中主控屏上的开关位置绿色指示灯闪烁，相应光字牌亮，保护屏上相应保护装置的信号灯亮或掉牌；由多媒体技术仿真的电气主设备的运行状态应与主接线图上显示的状态保持一致，并可对电气设备上可能出现异常的部位设置异常或正常状态，有些异常状态使主控室产生报警（如

温度过高、压力过低),应使相应的异常信号光字牌亮。这些都是仿真系统应该达到的基本要求。早期研制的变电站仿真培训系统没有电气设备异常状态的仿真,不能进行巡视培训,随着多媒体技术的发展,仿真电气设备的水平提高很快,除了能实现静态的异常现象的仿真,还可实现仿真设备操作过程(如操作刀闸)的动态图像,甚至能做变压器着火、开关爆炸等极端情况的模拟。其次变电站仿真培训系统应能充分利用计算机技术的优势,从运行人员各个不同的工作角度给予培训。从培训角度考虑,只靠提供一个模拟环境是不够的。如何使仿真系统更适用于某一特定内容的培训或从除仿真外的其他角度进行某一内容的培训,这将是今后变电站仿真培训研究的热点,也是体现系统特色的地方。目前研制的仿真培训系统已经采用智能培训,主要有以下几种方法:

(1) 诊断学员错误,分析原因并采取纠正措施。在进行倒闸操作培训时,仿真培训系统将学员的每一步操作都与标准操作票对比,判断是否有操作错误,若有操作错误,分析原因并提示当前应该操作哪个设备。在进行巡视培训时,仿真培训系统将学员巡视过的巡视点记录下来,并诊断学员对巡视点状态的判断是否正确。在学员处理事故时,仿真培训系统监视学员操作,对不正确的操作处理给出指导。虽然处理事故要遵守操作规程,但都是一些大原则,不像正常倒闸操作要严格按照操作票进行,因此较不易做到对事故处理的实时指导。

(2) 根据学员的水平与学习情况选择、调整学习内容和进度。例如,培训初期,学员知识水平有限且对仿真环境不熟悉,若严格按操作票校验其操作,很难完成培训任务。有些系统将倒闸操作培训由易到难分为几个培训级别,引导学员循序渐进地学习。

(3) 自动解决问题,生成解答。操作票专家系统,根据系统当前状态和所要求的操作任务,自动生成操作票,作为标准答案,在倒闸操作培训中,用于校验学员操作是否正确。故障诊断和处理指导专家系统,根据系统当前故障后的现象,生成指导学员如何由故障现象诊断故障元件、确定故障元件后如何处理故障的报告。

(4) 评价学员的学习行为。在结束操作培训后,根据事先确定的操作评分原则和学员所犯的操作错误,对其操作进行评分。在巡视培训后,根据巡视评分原则和学员对巡视点的误判、漏判情况,进行巡视评分。

(5) 自动生成各种问题与练习,自动生成突发事件。在学员培训过程中,仿真系统自动生成一些突发事件,如故障或异常事件,增加培训的难度。自动生成技术问答试卷,由系统在题库中任意抽取试题,生成试卷,减轻教员负担,提高培训效率。

除了以上提到的这些仿真功能和智能培训功能,一般还有其他一些辅助功能,如教员设置、事件重演、运行工况冻结等。

#### 四、变电站仿真的发展

变电站仿真培训系统从20世纪90年代初开始研制,从投入使用的系统运行情况看,其作用在供电部门岗位培训和辅助电力专业大学生实习中得到了肯定。今后变电站仿真培训系统的发展方向 and 需要完善的内容:

(1) 智能培训功能可以随时指导学员,增强学员学习的自主性,减轻教员负担,甚至可以代替教员。至于如何指导,需要发挥开发人员和用户的想像力和创意,相信在智能培

训方面会有很大的研究开发潜力。

(2) 变电站知识学习多媒体课件,可帮助各层次变电站运行人员轻松掌握专业知识,减轻教员的教学负担和降低对教员专业知识面的要求。这需要用户和开发人员密切配合,才能开发出用户最需要的教学软件。

(3) 系统建模的支撑平台,使开发人员能更快完成一个系统的开发工作,并在一定程度上,用户可参与系统建模和维护工作小采用最新计算机技术,增加仿真和培训的手段,如虚拟现实和远程培训等。

(4) 用户在使用中不断反馈回来一些改进的意见,电力系统中许多新设备投入使用,都需要变电站仿真培训系统进一步完善,并能够随电力系统的发展而发展。

### 第三节 变电站仿真系统实例

电力系统是由发电、输变电、配电和用电设施所组成的有机整体,是电能生产、输送、分配和消费同时进行、完成的一个完整体系。电网是根据不同地区、不同电压等级而形成的高压和超高压网络。在我国已形成华北、东北、华东、华中、西北、川渝和南方联营 7 个跨省区电网及山东、福建、海南、新疆、西藏 5 个独立省网。除西北电网最高电压等级为外,其他跨省电网和山东福建电网均已建成 500kV 主网架。随着三峡输变电工程工程、西电东送工程的实施,在不久的将来我国将会出现全国统一的联合电网。大电网的优越性是显而易见的,它更合理的利用能源,节约建设投资,互通有无,互为备用,调剂余缺,提高电能质量和供电可靠性,但大联网技术和自动化水平高,技术管理相对复杂,电网运行要求协调一致,否则一旦发生故障,涉及面广泛,后果严重。因此加强对超高压电网的运行管理,保证其安全、稳定、优质、经济运行至关重要。而有效提高运行人员的操作能力、故障处理能力,预防习惯性误操作,对于提高电网的运行水平,提高电能质量有重要意义。以下是一个变电站仿真实例。

#### 一、系统简介

变电站仿真系统模拟一个枢纽变电站,连接多个电源点并与其他枢纽变电站组成环网。具体的某变电站仿真系统地理接线图见图 1-1。

该仿真变电站模拟了 330、110、35、10kV 及 380V 五个电压等级。

仿真变电站是连接省网与地区电网的一个枢纽,它的安全、可靠及经济运行,直接关系到地区电网运行的稳定及可靠性,所以在调整变电站的运行方式时,必须考虑其对电网的影响。

一次系统接线方式。330kV 系统通过仿蒲线将蒲城主力发电厂( $4 \times 330\text{MW}$ )与 330kV 电网紧密地连接,并通过仿沔线构成地区 330kV 环网。110kV 系统四条出线,其中仿韩线与地区 110kV 系统构成 110kV 环网。110kV 系统其它出线及 35kV 系统、10kV 系统供地区性负荷。某仿真变电站具体的一次系统图见图 1-2。

(1) 330kV 系统。为二分之三接线方式,由两变线串构成,其中两回出线即:仿沔线(连接沔河 330kV 变电站)、仿蒲线(连接蒲城电厂),见图 1-3。

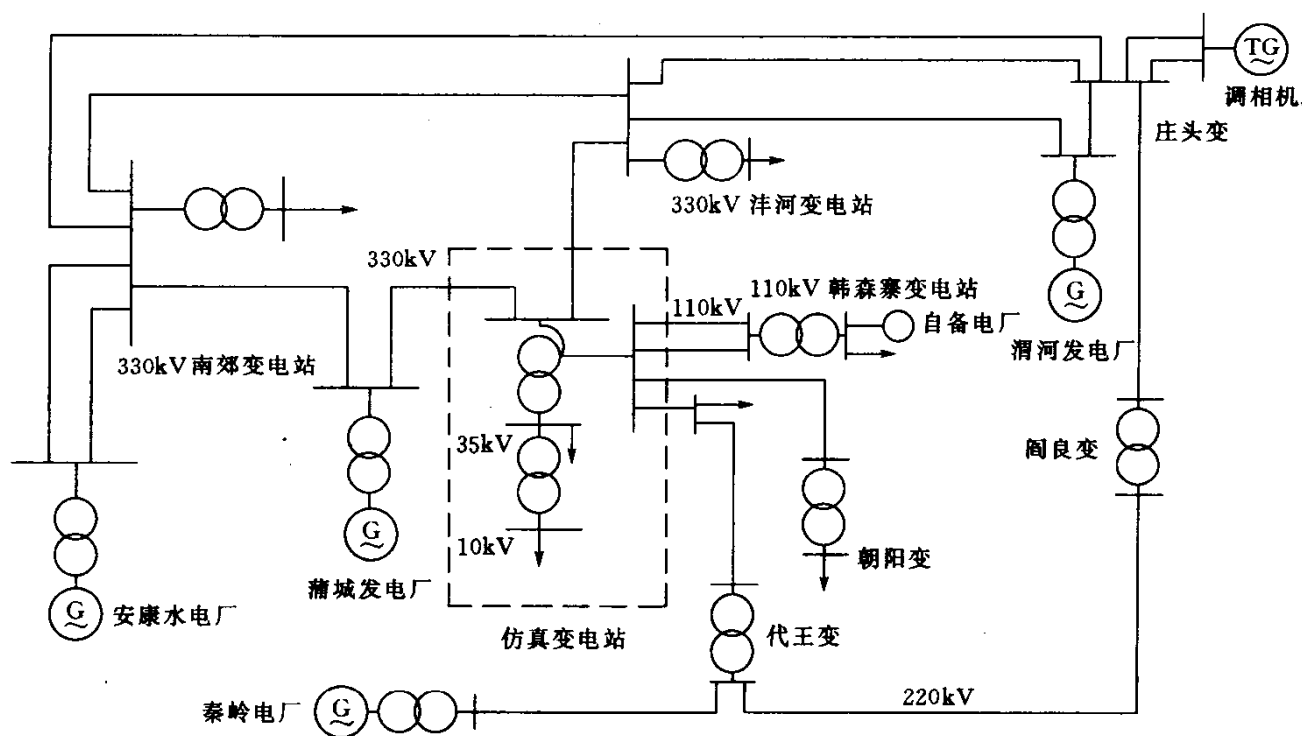


图 1-1 地理接线图

图 1-3 是二分之三断路器接线图。其中，它的设备编号断路器编号有以下特点，它是按矩阵排列编号的。如第一串的三个断路器，分别为 3311（靠近 330kV I 母）、3310（中间）、3312（靠近 330kV II 母），第二串为 3321、3320、3322，以此类推。

两台 330kV 主变压器即：#1、#2 主变，单台容量为 240MVA，型式为 SFPSZ—240000/330 自耦调压变压器，接线方式为 YN，a0，d11，额定电压为  $330 \pm 8 \times 1.25\% / 110 / 35\text{kV}$ 。容量比为 240/240/72MVA。母线避雷器单设刀闸，每条母线设两个接地刀闸。

断路器设计为落地罐式 SF<sub>6</sub> 断路器，型号为 300—SFMT—50B。正常方式下，仿沔线，仿蒲线是系统的主供电源，至少应保持一条运行，避免二条同时停运。

正常方式下，#1、#2 变压器是 110kV 系统的主供电源，二台变压器不能同时退出运行。

为保证系统可靠运行，当一条出线或一台主变撤出运行时，应保持该串合环运行，并投入短引线保护。

(2) 110kV 系统，见图 1-4。

110kV 为双母带旁母接线方式，设专用母联 1100，专用旁路 1110。有四条出线，即 1151 仿韩 I 线、1152 仿韩 II 线、1153 仿雁线、1154 仿朝线。

其中仿韩 I 线、仿韩 II 线是平行双回线，仿雁线对侧有电源，仿朝线对侧无电源，每条母线接有一个接地隔离开关，断路器为液压操动机构的少油断路器，型号为 SW6—110。

(3) 35kV 系统，见图 1-5。

35kV 为单母分段接线方式，其中有两台双绕组变压器 #3，#4 主变，单台容量为 10MVA，型式 8FL1—10000/35，额定电压  $352 \pm 2.5\% / 10.5\text{kV}$ ，接线方式为 Y，d11，配有两台电抗器，单台容量为 30000kvar；两台电容器，单台容量为 162000kvar。选用含 SF<sub>6</sub> 断路器的手车式高压开关柜，其型号为 GBC—35 高压开关柜。有两段出线：3551 仿沙线，

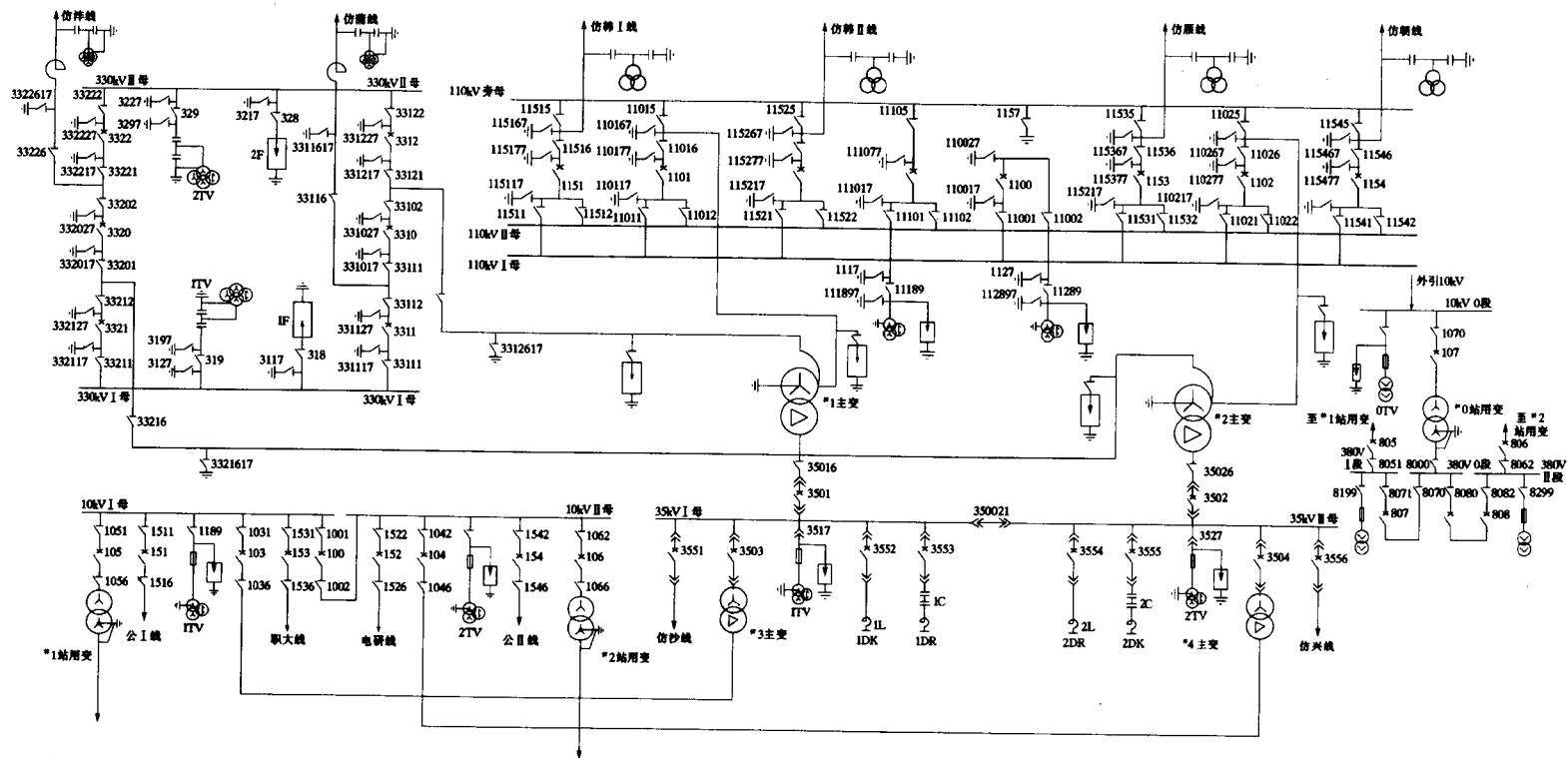


图 1-2 一次系统图

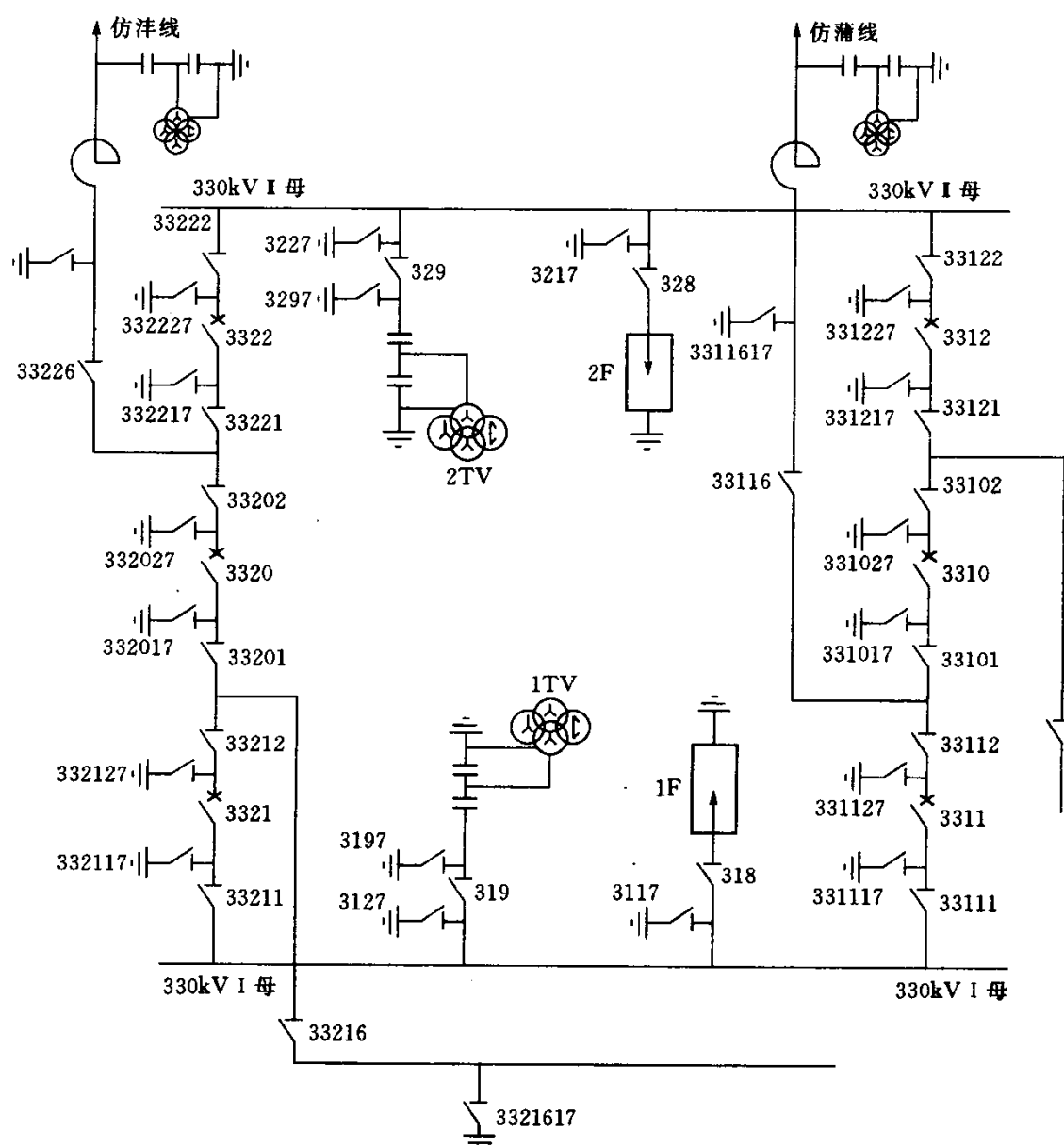


图 1-3 330kV 系统接线图

3356 仿兴线。

正常运行时两段母线不连，只在一台主变检修时须给其 35kV 母线供电时，才用隔离开关相连。

(4) 10kV 系统，见图 1-6。

10kV 系统为单母分段接线方式，设有专用母联分段断路器 100，分段断路器正常运行时投入，有四条 10kV 出线：151 公 I 线，152 纺织线，153 印染线，154 公 II 线。其中纺织线，印染线为电缆出线。公 I 线，公 II 线为架空线。10kV 出线断路器为真空断路器，型号为 ZN5—10。

站用供电为两台 10kV 工作站用变，单台容量为 630kVA，型式为 SL—630/10，接线方式为 Y，yn0，额定电压为  $2 \times 2.5\% / 0.4\text{kV}$ ，配有备用站用变（由其他系统外引）。备用站用变与工作站用变不能并列运行。站用变部分由两段工作母线与一段备用母线组成，设有备用电源自动投入装置，设计为明备用方式。断路器为空气断路器，型号为 DW—10，具体接线方式见图 1-7。