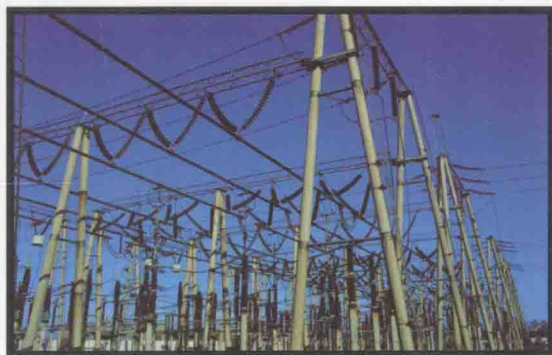




高职高专电气工程类专业“十二五”规划系列教材



电力系统自动装置

DIANLI XITONG ZIDONG ZHUANGZHI

■ 韩绪鹏 李含霜 主编



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>



高职高专电气工程类专业“十二五”规划系列教材

电力系统自动装置

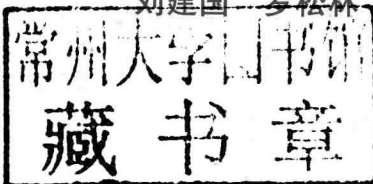
DIANLI XITONG ZIDONG ZHUANGZHI

主 编 韩绪鹏 李含霜

副主编 王卫卫 胡金华 曾 毅

参 编 王远瞻 王丽丽 戴 迪

刘建国 罗松林



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 提 要

本教材是省级特色专业的建设成果,内容包括电力系统自动装置基础知识、同步发电机自动并列装置、同步发电机自动调节励磁装置、输电线路自动重合闸装置、备用电源自动投入装置、按频率自动减负荷装置以及灵活交流输电系统装置,共七个模块。本教材在知识体系上围绕基本知识、基本原理、电力系统数字化自动装置技术等进行了详尽的论述,实用性好。为进一步加强电力系统自动装置的微机化操作技能,突出实践能力的培养,模块内容后设有与知识内容相呼应的六个技能训练,非常适合理实一体化教学或者模块化教学。同时每个模块都设有学习导论、问题与思考及自测题,方便读者自学。

本教材语言通俗易懂,理论难度低,实践性强,适合高职高专电力系统继电保护与自动化、发电厂及电力系统、电力系统自动化技术、新能源发电技术、供用电技术等专业使用,也可供相关专业人员和工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统自动装置/韩绪鹏,李含霜主编. —武汉:华中科技大学出版社,2015.5
高职高专电气工程类专业“十二五”规划系列教材
ISBN 978-7-5680-0941-6

I. ①电… II. ①韩… ②李… III. ①电力系统-自动装置-高等职业教育-教材 IV. ①TM76

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 120079 号

电力系统自动装置

Dianli Xitong Zidong Zhuangzhi

韩绪鹏 李含霜 主编

策划编辑:袁 冲

责任编辑:狄宝珠

封面设计:范翠璇

责任校对:刘 竣

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321913

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:武汉市籍缘印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:14

字 数:366 千字

版 次:2016 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:30.00 元



华中科大

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

电力系统正在朝数字化趋势发展,未来“互联网+”作为电力工业转型升级的有效途径,必将引领智能电网发展成为具备“互联网+”特征的能源共享网络。面对电力行业发展的新机遇,为适应我国电力系统行业不断发展背景下对技能型人才的需求,培养新形势下高素质技能型的电力工程一线技术人员,我们组织编写了《电力系统自动装置》一书。

为使本教材更加实用,编写人员在多年课程教学实践和改革的基础上,受益于高校教师下企业实践锻炼的计划,对各类发电厂、数字化变电站、换流站等进行了大量的调研和现场作业,广泛地吸取了工程现场技术人员对课程建设的意见,同时结合对电力自动装置运行与维护岗位的要求,和企业的电力技术人员进行了多次而广泛的交流。本书具有以下特点:

(1)以“掌握概念、强化应用、培养技能”为重点,以“精选内容、降低理论、加强基础、突出应用”为主线。内容由基础到专业,由简单到复杂,理论难度低。同时重新梳理了结构,力求有所创新。

(2)增加了与模块知识内容相呼应的若干技能训练内容,突出实践能力培训,方便实训实验和课程设计等实践环节,适合理论与实践一体化教学、模块化教学。同时每个模块都有学习导论、问题与思考及自测题,方便读者自学。

(3)智能电网、FACTS、数字化变电站等电网技术在快速发展,高职电力系统自动装置教材也应及时更新,部分模块内容融入了最新的电网技术。

(4)编写组融入高校教师、企业高级工程师等师资队伍,尽量保证教材内容贴近企业生产一线。

(5)本教材是电力系统继电保护与自动化省级特色专业建设的成果,教材内容较好地体现了电力与行业特色。

本教材由三峡电力职业学院的韩绪鹏和广西电力职业技术学院的李含霜任主编,长江工程职业技术学院的王卫卫、三峡电力职业学院的胡金华、广西电力职业技术学院的曾毅任副主编,三峡电力职业学院的王远瞧、王丽丽,国网湖北省电力公司检修公司的戴迪、刘建国,广东电网有限责任公司东莞供电局的罗松林参与了本教材的编写。全书由韩绪鹏负责统稿。

本书在编写过程中,得到了三峡电力职业学院、广西电力职业技术学院、长江工程职业技术学院、国网湖北省电力公司检修公司、广东电网有限责任公司东莞供电局、华中科技大学出版社等单位的大力支持,许多高等院校的同行们也对本书给予了很多帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免出现疏漏和不妥,恳请广大读者批评指正。

编者

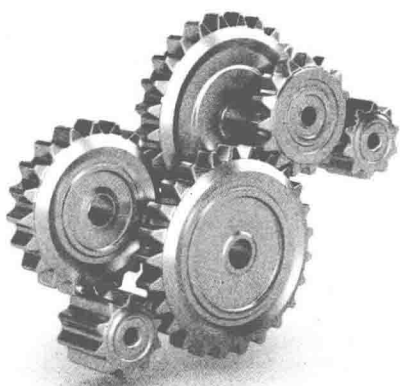
2015年4月

模块 1 电力系统自动装置基础知识	1
1.1 电力系统及其运行特征	4
1.2 电力系统自动化发展概况	8
1.3 电力系统自动控制系统	12
1.4 电力系统自动装置结构	14
模块 1 自测题	21
模块 2 同步发电机自动并列装置	23
2.1 同步发电机并列操作概述	25
2.2 准同期并列的基本原理	29
2.3 自动并列装置的工作原理	35
2.4 频率差与电压差的调整	40
2.5 数字式自动并列装置	42
技能训练 1 实验平台、实验要求和安全操作说明	49
技能训练 2 同步发电机微机自动准同期装置操作实验	59
模块 2 自测题	63
模块 3 同步发电机自动调节励磁装置	65
3.1 同步发电机励磁调节系统的作用及基本要求	68
3.2 同步发电机励磁调节系统	71
3.3 励磁系统中的可控整流电路	74
3.4 并列运行发电机间的无功分配	78
3.5 同步发电机的强行励磁和灭磁	80
3.6 同步发电机的数字式励磁调节器	83
技能训练 3 同步发电机微机励磁调节装置操作实验	88
模块 3 自测题	90
模块 4 输电线路自动重合闸装置	93
4.1 输电线路自动重合闸装置的作用及分类	96
4.2 单侧电源线路三相一次自动重合闸	98
4.3 双侧电源线路三相自动重合闸	108
4.4 自动重合闸与继电保护的配合	114
4.5 综合自动重合闸	117
技能训练 4 输电线路三相一次重合闸实验	126
模块 4 自测题	128

模块 5 备用电源自动投入装置	131
5.1 备用电源自动投入装置的作用及基本要求	134
5.2 备用电源自动投入装置典型接线	137
5.3 备用电源自动投入装置工作原理及参数整定	139
5.4 微机型备用电源自动投入装置	141
技能训练 5 微机分段备用电源自动投入实验	147
模块 5 自测题	150
模块 6 按频率自动减负荷装置	153
6.1 电力系统的频率特性	156
6.2 按频率自动减负荷装置的基本要求	161
6.3 按频率自动减负荷装置	166
技能训练 6 输电线路低频减载保护实验	170
模块 6 自测题	172
模块 7 灵活交流输电系统装置	175
7.1 灵活交流输电系统装置概述	178
7.2 典型的灵活交流输电系统装置	190
7.3 典型灵活交流输电系统装置的应用举例	207
模块 7 自测题	216
参考文献	217

模块 1

电力系统自动装置基础知识



学习导论

当前我国经济建设飞速发展,作为先行工业的电力系统,其建设步伐异常迅猛。随着三峡电网的建设,我国将逐步加强电网的互联,形成以三峡电站为中心的,连接华中、华东、川渝3个地区电网的我国中部电网。随着华北煤电基地的开发,实现华北与东北、华北与山东省网互联;华北与西北电网之间随着宁夏与内蒙古矿口电厂开发以及陕西神府煤电基地送电华北而联网,初步形成以华北电网为中心,包括西北、东北和山东的中国北部电网。而南方联合电网也将随着红水河、龙滩、澜沧江、小湾等水电开发和贵州煤电基地的开发,与云南电力外送的增加,从而进一步加强南方电网的结构。我国将初步形成北部、中部和南部三大电网的雏形。同时,北、中、南三大电网之间也将进一步加强南北联网。北部和中部以及中部与南部将是先以“效益型”为主,后以“送电型”为主的多点联网。到2020年,可初步形成除新疆、西藏、台湾之外的,以三峡电网为中心的全国统一的大区互联电网。这一电网的形成,将实现我国水电“西电东送”和煤电“北电南送”的合理能源流动格局,同时,北部、中部电网之间的互联,除送电之外还可获得以火电为主的北部电网与水电比重大的中部电网之间的水火调剂的效益,以及可获得北部电网黄河流域与中部电网长江流域之间的跨流域补偿调节效益。而中部电网与南部电网的互联,也将获得中部电网长江流域与南部电网澜沧江、红水河流域之间的跨流域补偿调节效益。

电力系统是发电、供电、用电的总称,现代电力系统是指进行电能生产、变换、输送、分配和消费的各种电气设备按照一定的技术指标和经济要求组成的动态复杂网络的大系统,能源和经济的不平衡发展促进了现代电力系统的跨区域互联发展,同时使得现代电力系统具备超大容量机组、超高压甚至特高压输电电压等级、远距离输电、大规模交直流互联、极高自动化水平等运行特征。随着大型电力系统互联和各种新设备的投入,在使发电和输电更经济高效的同时,也增加了电力系统的规模和复杂性,从而暴露很多威胁电力系统安全稳定运行的动态问题。电能的生产、输送、分配、使用是同时进行的,从电源到负荷是一个紧密连接的且分布十分广泛的大系统。因此,对电能质量及电力系统运行有极严格的运行。运行中出现问题,若处理不及时或处理不正确都会影响电力系统的正常运行,甚至造成大面积停电;局部发生的故障,如处理不当,会影响整个电力系统。随着发电机单机及电力系统容量的不断扩大,对运行水平的要求越来越高。只有借助电力系统自动装置的帮助,才能达到现代电力系统所要求的运行水平。电力系统自动装置一方面可以配合继电保护提高供电的可靠性,另一方面可以保证电能质量,提高系统经济运行水平,减轻运行人员的劳动强度。

学习目标

1. 了解电力系统自动化的发展概况。
2. 掌握电力系统自动控制系统的分类。
3. 掌握电力系统自动装置的定义及自动装置的组成。

1.1 电力系统及其运行特征

1.1.1 电力系统的发展

1882 年上海电气公司的成立标志着中国电力工业的开始。到 1949 年,全国装机 1847 MW,年发电量 $4.31 \times 10^9 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。新中国成立后,我国电力工业得到了迅速发展,1987 年发电装机容量突破 $1 \times 10^8 \text{ kW}$;到 1996 年,发电装机容量居世界第 2 位。截至 2007 年底,全国发电装机容量达到 $7.1329 \times 10^8 \text{ kW}$ 。其中,水电达到 145.26 GW,约占总容量的 20.36%;火电达到 554.42 GW,约占总容量的 77.73%。2007 年全社会用电量达到 $3.2458 \times 10^{12} \text{ kW} \cdot \text{h}$,全国 220 kV 及以上输电线路回路长度达到 $3.271 \times 10^5 \text{ km}$,220 kV 及以上变电设备容量达到 $1.14445 \times 10^9 \text{ kV} \cdot \text{A}$ 。目前,我国电网除西北采用 330 kV/750 kV 电压序列外,其他电网均采用 220 kV/500 kV/1000 kV 电压序列。2005 年,初步实现了全国大区电网互联。

我国能源资源的特点是“富煤、缺油、少气”。我国已探明的煤炭保有储量为原煤约 1 万亿吨。但是煤炭资源地理分布极不均匀,形成“北多南少”、“西多东少”的分布格局,与我国区域经济发展水平和消费水平不一致。昆仑山—秦岭—大别山以北煤炭保有储量占 90.37%,其中晋、陕、内蒙古占 64%;以南占 9.7%,而且主要集中在云贵,占 77%。大兴安岭—太行山—雪峰山以西占 85.98%,以东占 14.02%。京津冀、华东六省一市,再加上广东省是我国经济最发达的地区,而煤炭保有储量为 703.03 亿吨,仅占全国的 7.0%。我国水能资源蕴藏丰富。经济可开发装机容量 40180 万千瓦,年发电量 17534 亿千瓦时,居世界首位。我国西部的水力资源占全国 84%,可开发量的四分之三以上分布在西部欠发达地区,主要集中在四川、云南、西藏地区。按照“大力发展水电,优化发展火电,加快发展核电,因地制宜积极发展风电、太阳能等可再生能源发电,加快发展电网”的电力工业发展方针,根据技术发展条件和现实可能性,预计到 2020 年我国火电和水电占装机容量的比例仍将接近 90%,核电将占总装机容量的 4%。根据中华人民共和国发展和改革委员会于 2007 年 8 月 31 日发布的《可再生能源中长期发展规划》,风电装机容量将达 3000 万千瓦,占总容量的比例仍然较小。根据有关规划,预计 2020 年我国发电装机构成的容量比例见图 1-1 所示。我国的电力消费主要集中在中东部及沿海地区,约占电力负荷的 3/4。能源基地与用电负荷之间距离大多为 500~2000 km 及 2000 km 以上。

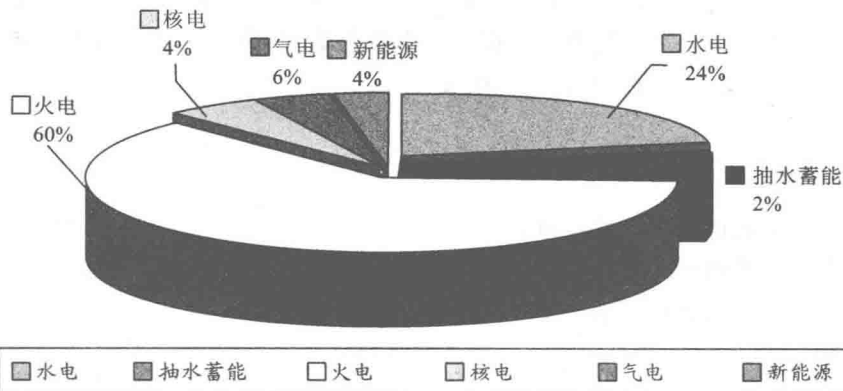


图 1-1 预计 2020 年我国发电装机构成的容量比例

我国电力工业经过 60 多年的建设,在生产运行、设计、安装和制造方面都有了很大的发展,取得了举世瞩目的成就。新中国成立前,我国发电设备容量只有 185 万千瓦;到 2010 年,我国装机容量已达到 9 亿千瓦。“七五”期间,地处长江天堑的葛洲坝水电厂以 $\pm 500\text{ kV}$ 直流输电到上海,输送容量达 120 万千瓦。“八五”期间,大亚湾核电厂发电机组的单机容量达 90 万千瓦。“九五”期间,上海外高桥火电厂装机容量达 320 万千瓦,最大单机容量 90 万千瓦。随着大容量机组的出现,我国交流输电最高电压等级已达 500 万千瓦,建成七个装机容量达 1500 万千瓦以上规模的 500 kV 电网。“十五”期间,三峡工程的建设标志着我国水电工程和装备技术达到了世界先进水平。 1000 kV 电网的建设是“十一五”期间的标志性成果,表明我国在特高压电网建设和装备技术方面已走到世界前列。

我国电力工业在外延不断增长的同时,产业素质也不断得到提升。火力发电技术和装备水平大幅提高,节能、环保、高效成为火电机组的技术主流。通过技术引进、消化吸收和再创新,超临界机组发电、空冷机组发电等一批先进技术得到广泛应用。水电技术有了明显进步,建成了迄今世界上规模最大的水利枢纽工程。经过 30 年的发展,我国核电建设也有了飞速发展,目前投入运行的 11 台核电机组装机容量约为 910 万千瓦,在建的 24 台核电机组装机容量约为 2540 万千瓦。核电自主研发和建设能力也不断提高,实验快堆、高温气冷堆、热核聚变装置等一系列科研工程项目正在积极推进。可再生能源发电技术达到了新水平,风力发电、太阳能光伏发电建设步伐进一步加快,目前国内已经能够生产 1500 千瓦的风机,两个兆瓦级太阳能光伏电站并网发电已经在深圳、上海开始试运行。

随着电力系统的高速发展,发电厂和变电所相应实现了自动化,应用远动通信技术和计算机网络等技术对电力系统进行自动监视、控制和调度。为了更好地保证安全、经济运行,并保证电能质量,对电力系统自动化提出了更高的要求,从而促进了电力系统自动控制技术的不断发展,我国广大电力科技工作者和工程技术人员在这方面进行了卓有成效的工作,取得了可喜的成绩。

电能在生产、传输和分配过程中遵循着功率平衡的原则。所有以发电厂、变电所、输电网、配电和用电等设备所组成的电力系统,在运行中是一个有机的整体。电力系统分布在广阔的地区,现在我国实行的是分级调度体制,其典型的组成如图 1-2 所示。调度控制中心对所管辖的电力系统进行监视和控制,其主要任务是合理地调度所属各发电厂的功率,制定运行方式,及时处理电力系统运行中所发生的问题,确保系统的安全经济运行。

发电厂转换生产电能,按一次能源的不同又分为火电厂、水电厂、核电厂等不同类型的发电厂,随着环保、节能和智能电网等技术概念的提出,风力发电、太阳能发电等新能源技术应用也有了长足的进步。各类发电厂的生产过程各不相同,控制规律各异,它们在电力系统运行中的任务也有所侧重,但是,安全经济地完成给予的发电任务是对各类发电厂共同的要求。

配电网是直接向用户供电的地区电网,又是包含大多数新能源接入点的电网,新能源的接入对电力系统自动装置将有更高的要求。随着城乡建设的发展、人们生活的改善和电气化程度的提高,人们的生活离不开电力正常供应,对供电可靠性也提出了更高的要求。

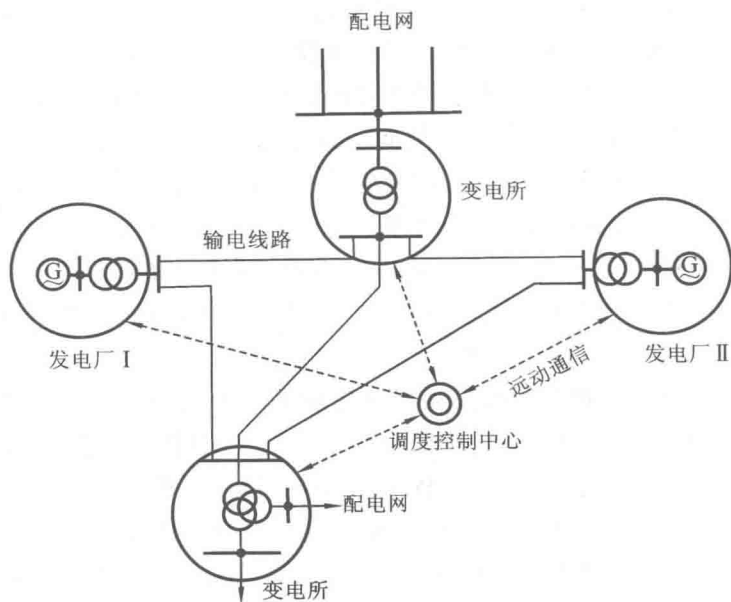


图 1-2 电力系统的组成

1.1.2 电力系统的运行特性

1. 电力系统的特点

电能是现代社会中最重要,也是很方便的能源。电力系统是由电能的生产、输送、分配和消费的各环节组成的整体,它与其他工业产品相比较,具有以下的特点。

1) 电能的生产与消费具有同时性

由于电能的生产与消费是一种能量形态的转换,要求生产与消费同时完成,因此电能难以储存。从这个特点出发,在电力系统运行时就要求发电厂在任何时刻发出的功率,必须等于该时刻用电设备所需的功率、输送和分配环节中的功率损耗之和。

2) 电能与国民经济各部门和人民日常生活关系密切

由于电能可以方便地转换为其他形式的能,且易于远距离输送和自动控制,因此得到广泛的应用。供电的突然中断会产生严重的后果。

3) 电力系统的过渡过程非常短暂

由于电能以光速传播,所以运行情况发生变化所引起的电磁和机电过渡过程十分短暂。电力系统正常操作和发生故障时,从一种运行状态到另一种运行状态的过渡极为迅速,这就要求必须采用各种自动装置(包括计算机)来迅速而准确地完成各项调整和操作任务。

在电力系统中,故障的发生与发展是难免的,其暂态过程也是短暂的。因此,电力系统运行中发生的问题,如处理不及时或不正确,将影响电力系统正常运行,甚至造成大面积的停电,或对重要用户长时间中断供电。电能生产过程的另一特点是从电源到负荷是一个紧密连接的且分布十分广泛的大系统。因此,电力系统中的局部故障,如处理不当,会影响整个电力系统的安全运行。显然,仅凭人工进行监控是无法满足电力系统运行要求的。为满足电力系统安全经济运行的要求,电力系统必须借助于自动装置来完成对电力系统及设备监视、控制、保护和信息传

递。因此,自动化技术就成了必不可少的手段。

2. 电力系统的运行要求

我国对电力系统运行的基本要求可以简单地概括为:“安全、可靠、优质、经济”。

1) 保证供电的安全可靠性

保证供电的安全可靠性是对电力系统运行的基本要求。为此,电力系统的各个部门应加强现代化管理,提高设备的运行和维护质量。应当指出,目前要绝对防止事故的发生是不可能的,而各种用户对供电可靠性的要求也不一样。因此,应根据电力用户的重要性不同,区别对待,以便在事故情况下把给国民经济造成的损失限制到最小。通常可将电力用户分为三类:①一类用户。指由于中断供电会造成人身伤亡或在政治、经济上给国家造成重大损失的用户。一类用户要求有很高的供电可靠性。对一类用户通常应设置两路以上相互独立的电源供电,其中每一路电源的容量均应保证在此电源单独供电的情况下就能满足用户的用电要求。确保当任一路电源发生故障或检修时,都不会中断对用户的供电。②二类用户。指由于中断供电会在政治、经济上造成较大损失的用户。对二类用户应设专用供电线路,条件许可时也可采用双回路供电,并在电力供应出现不足时优先保证其电力供应。③三类用户。一般指短时停电不会造成严重后果的用户,如小城镇、小加工厂及农村用电等。当系统发生事故,出现供电不足的情况时,应当首先切除三类用户的用电负荷,以保证一、二类用户的用电。

2) 保证电能的良好质量

频率、电压和波形是电能质量的三个基本指标。当系统的频率、电压和波形不符合电气设备的额定值要求时,往往会影响设备的正常工作,危及设备和人身安全,影响用户的产品质量等。因此要求系统所提供电能的频率、电压及波形必须符合其额定值的规定。其中,波形质量用波形总畸变率来表示,正弦波的畸变率是指各次谐波有效值平方和的方根值占基波有效值的百分比。我国规定电力系统的额定频率为 50 Hz,大容量系统允许频率偏差 ± 0.2 Hz,中小容量系统允许频率偏差 ± 0.5 Hz。35 kV 及以上的线路额定电压允许偏差 $\pm 5\%$;10 kV 线路额定电压允许偏差 $\pm 7\%$,电压波形总畸变率不大于 4%;380 V/220 V 线路额定电压允许偏差 $\pm 7\%$,电压波形总畸变率不大于 5%。

3) 保证电力系统运行的稳定性

当电力系统的稳定性较差,或对事故处理不当时,局部事故的干扰有可能导致整个系统的全面瓦解(即大部分发电机和系统解列),而且需要长时间才能恢复,严重时会造成大面积、长时间停电。因此稳定问题是影响大型电力系统运行可靠性的一个重要因素。

4) 保证运行人员和电气设备工作的安全

保证运行人员和电气设备工作的安全是电力系统运行的基本原则。这一方面要求在设计时,合理选择设备,使之在一定过电压和短路电流的作用下不致损坏;另一方面还应按规程要求及时地安排对电气设备进行预防性试验,及早发现隐患,及时进行维修。在运行和操作中要严格遵守有关的规章制度。

5) 保证电力系统运行的经济性

电能成本的降低不仅会使各用电部门的成本降低,更重要的是节省了能量资源,因此会带来巨大的经济效益和长远的社会效益。为了实现电力系统的经济运行,除了进行合理的规划设计外,还须对整个系统实施最佳经济调度,实现火电厂、水电厂及核电厂负荷的合理分配,同时还要提高整个系统的管理技术水平。

问题与思考

1. 什么是分级调度控制典型的组成?
2. 我国对电力系统的基本要求是什么?
3. 电力系统应用自动装置的目的是什么?

1.2 电力系统自动化发展概况

由电力系统的特点及运行要求可见,必须有一系列功能齐备的各种自动装置工作于电力系统,才能保证电力系统安全可靠地运行,进而才能达到经济运行,否则电力系统是根本无法正常运行的。这一系列的自动装置与电力系统的配合,就构成了电力系统自动化。

我国电力系统自动化在 20 世纪 50 年代前几乎是空白,20 世纪 50 年代后,随着计算机技术和数字通信技术的发展,电力系统自动化技术也得到了很快的发展,通过计算机不但能够实现复杂的调节和控制,而且使大量运行数据和信息处理实现实时化。近年来,由于控制理论、信息论等方面的成就,大规模、超大规模集成电子器件不断推出,世界上已经有许多国家和地区电力系统应用了先进的自动化系统,我国在这个领域的研究和实践也取得了进展,各种自动装置正在实现微机化,电力系统的综合自动化水平在不断提高。

1.2.1 电力系统自动化主要组成

电力系统由发电、输电、变电、配电及用电等环节组成。通常将发电机、变压器、开关及输电线路等设备称作电力系统的一次设备,为了保证电力一次设备安全、稳定、可靠运行和电力生产以比较经济的方式运行,就需要对一次设备进行在线测控、保护、调度控制等,电力系统中将这些测控装置,保护装置,有关通信设备,各级电网调度控制中心的计算机系统,(火)电厂、(水、核能、风能)电站及变电站的计算机监控系统等统称为电力系统的二次设备,其构成了电力系统自动化的主要技术内容。

1. 电网调度自动化

电网调度自动化主要组成部分由电网调度控制中心的计算机网络系统、工作站、服务器、大屏幕显示器、打印设备、通过电力系统专用广域网连接的下级电网调度控制中心、调度范围内的发电厂、变电站终端设备等构成。电网调度自动化的主要功能是电力生产过程实时数据采集与监控电网运行安全分析、电力系统状态估计、电力负荷预测、自动发电控制、自动经济调度并适应电力市场运营的需求等。

2. 变电站自动化

电力系统中变电站与输配电线路是联系发电厂与电力用户的主要环节。变电站自动化的目的是取代人工监视和电话人工操作,提高工作效率,扩大对变电站的监控功能,提高变电站的安全运行水平。变电站自动化的内容就是对站内运行的电气设备进行全方位的监视和有效控制,其特点是全微机化的装置替代各种常规电磁式设备;二次设备数字化、网络化、集成化,尽量采用计算机电缆或光纤代替电力信号电缆;操作监视实现计算机屏幕化;运行管理、记录统计实现自动化。变电站自动化除了满足变电站运行操作任务外还作为电网调度自动化不可分割的重要组成部分,是电力生产现代化的一个重要环节。

3. 发电厂分散控制系统(DCS)

发电厂分散控制系统(DCS)一般采用分层分布式结构,由过程控制单元(PCU)、运行员工作站(OS)、工程师工作站(ES)和冗余的高速数据通信网络(以太网)组成。过程控制单元(PCU)由可冗余配置的主控模件(MCU)和智能 I/O 模件组成。MCU 模件通过冗余的 I/O 总线与智能 I/O 模件通信。PCU 直接面向生产过程,接受现场变送器、热电偶、热电阻、电气量、开关量、脉冲量等信号,经运算处理后进行运行参数、设备状态的实时显示和打印以及输出信号直接驱动执行机构,完成生产过程的监测、控制和连锁保护等功能。运行员工作站(OS)和工程师工作站(ES)提供了人机接口。运行员工作站接收 PCU 发来的信息和向 PCU 发出指令,为运行操作人员提供监视和控制机组运行的手段。工程师工作站为维护工程师提供系统组态设置和修改、系统诊断和维护等手段。

4. 配电网自动化

配电自动化技术是服务于城乡配电网改造建设的重要技术,配电自动化包括馈线自动化和配电管理系统,通信技术是配电自动化的关键。目前,我国配电自动化进行了较多试点,由配电主站、子站和馈线终端构成的三层结构已得到普遍认可,光纤通信作为主干网的通信方式也得到共识。馈线自动化的实现也完全能够建立在光纤通信的基础上,这使得馈线终端能够快速地彼此通信,共同实现具有更高性能的馈线自动化功能。

配电网自动化是近几年来电力应用技术的新型技术,主要涉及中低级电网,作用对象是电力经营企业和用电企业的结合。它的功能可归纳为如下几个方面。①可靠安全的供电网络,包括电源点应保证电力输送线路的经济运行,开关、变压器等设施的可靠性。②对故障的自动判断和隔离,在人工或自动条件下恢复非故障线路的供电,对故障点进行自我隔离和诊断。③判断系统的运行状况进行实时监控,采用分布式的 SCADA(远动),对配电网所需的信息进行技术处理,对配电网的各种信息的上发下传,及时反应配电网的运行状况和事故的处理级。④用电管理包括用户对电能的管理要求,用户对电能的意见及要求能够反映到配电管理中心,由配电管理中心对此做出反应和处理。对电能进行调整,对用电负荷的控制和经济调度。

1.2.2 现代电力系统自动化技术的发展趋势与研究方向

1. 电力系统自动化技术的发展趋势

- (1)在控制策略上日益向最优化的、适应化、智能化、协调化、区域化发展。
- (2)在设计分析上日益要求面对多机系统模型来处理问题。
- (3)在理论工具上越来越多地借助于现代控制理论。
- (4)在控制手段上日益增多了微机、电力电子器件和远程通信的应用。
- (5)由开环监测向闭环控制发展,例如从系统功率总加到 AGC(自动发电控制)。
- (6)由高电压等级向低电压扩展,例如从 EMS(能量管理系统)到 DMS(配电管理系统)。
- (7)由单一功能向多功能、一体化发展,例如变电站综合自动化的发展。
- (8)由单个元件间部分区域及全系统发展,例如 SCADA 的发展和区域稳定控制的发展。
- (9)装置性能向数字化、快速化、灵活化发展,例如继电保护技术的演变。
- (10)追求的目标向最优化、协调化、智能化发展,例如励磁控制、潮流控制。
- (11)由以提高运行的安全、经济、效率为目标向管理、服务的自动化扩展,例如 MIS(管理信息系统)在电力系统中的应用。

2. 电力系统系统化技术的研究方向

1) 智能保护与变电站综合自动化

对电力系统电保护的新原理进行了研究,将国内外最新的人工智能、模糊理论、综合自动控制理论、自适应理论、网络通信、微机新技术等应用于新型继电保护装置中,使得新型继电保护装置具有智能控制的特点,大大提高电力系统的安全水平。对变电站自动化系统进行了多年研究,研制的分层分布式变电站综合自动化装置能够适用于 35~500 kV 各种电压等级变电站。当前我国微机保护领域的研究处于国际领先水平,变电站综合自动化领域的研究已达到国际先进水平。

2) 电力市场理论与技术

基于我国目前的经济发展状况、电力市场发展的需要和电力工业技术经济的具体情况,认真研究了电力市场的运营模式,深入探讨并明确了运营流程中各步骤的具体规则;提出了适合我国现阶段电力市场运营模式的期货交易(年、月、日发电计划)、转运服务等模块的具体数学模型和算法,紧紧围绕当前我国模拟电力市场运营中亟待解决的理论问题。

3) 电力系统实时仿真系统

对电力负荷动态特性监测、电力系统实时仿真建模等方面进行了研究,我国引进了加拿大 Teqsim 公司生产的电力系统数字模拟实时仿真系统,建成了第一家具备混合实时仿真环境的实验室。电力系统实时仿真系统不仅可进行多种电力系统的稳态及暂态实验,提供大量实验数据,并可与多种控制装置构成闭环系统,协助科研人员进行新装置的测试,从而为研究智能保护及灵活输电系统的控制策略提供了一流的实验条件。

4) 电力系统运行人员培训仿真系统

电力系统运行人员培训仿真系统是针对我国电力企业职工岗位培训的迫切要求,将计算机、网络和多媒体技术的最新成果和传统的电力系统分析理论相结合,利用专家系统、智能理论(计算机辅助教学),进行电力系统知识教学、培训的一种强有力手段。电力系统运行人员培训仿真系统设计新颖,并合理配置软件资源分布,教、学员台在软件系统结构上耦合性很少,且系统硬件扩充简单方便,因此学员台理论上可无限扩充。

5) 配电网自动化技术

在中低压网络数字电子载波 NDLC、配网的模型及高级应用软件 PAS、地理信息与配网 SCADA 一体化方面取得了重大技术突破。其中,NDLC 采用了 DSP 数字信号处理技术,提高了载波接收灵敏度,解决了载波正在配电网应用的衰耗、干扰、路由等技术难题;高级应用软件 PAS 将输电网 EMS 的理论算法与配网实际结合起来,采用了最新国际标准 IEC61850、61970 CIM 公共信息模型;采用配网递归虚拟流算法进行潮流计算;应用人工智能灰色神经元算法进行负荷预测。

6) 电力系统分析与控制

对在线测量技术、实时相角测量、电力系统稳定控制理论与技术、小电流接地选线方法、电力系统振荡机理及抑制方法、发电机跟踪同期技术、非线性励磁和调速控制、潮流计算的收敛性、电网调度自动化仿真、电力负荷预测方法、基于柔性数据收集与监控的电网故障诊断和恢复控制策略、电网故障诊断理论与技术等方面进行了研究。在非线性理论、软计算理论和小波理论在电力系统应用方面,以及在电力市场条件下电力系统分析与控制的新理论、新模型、新算法和新的实现手段进行了研究。

7) 人工智能在电力系统中的应用

结合电力工业发展的需要,开展了将专家系统、人工神经网络、模糊逻辑以及进化理论应用到电力系统及其元件的运行分析、警报处理、故障诊断、规划设计等方面的实用研究。在上述实用软件研究的基础上开展了电力系统智能控制理论与应用的研究,以提高电力系统运行与控制的智能化水平。

8) 现代电力电子技术在电力系统中的应用

开展了电力电子装置控制理论和控制算法、各种电力电子装置在电力系统中的行为和作用、灵活交流输电系统、直流输电的微机控制技术、动态无功补偿技术、有源电力滤波技术、大容量交流电机变频调速技术和新型储能技术等方面的研究。

9) 电气设备状态监测与故障诊断技术

通过将传感器技术、光纤技术、计算机技术、数字信号处理技术以及模式识别技术等结合起来,针对电气设备绝缘监测方法和故障诊断的机理进行了详细的基础研究,开发了发电机、变压器、开关设备、电容型设备和直流系统等主要电气设备的监控系统,全面提高电气设备和电力系统的安全运行水平。

1.2.3 具有变革性重要影响的电力系统自动化新技术

1. 电力系统的智能控制

电力系统的控制研究与应用在过去的几十年大体上可分为三个阶段:基于传递函数的单输入、单输出控制阶段;线性最优控制、非线性控制及多机系统协调控制阶段;智能控制阶段。电力系统控制面临的主要技术困难有:①电力系统是一个具有强非线性的、变参数的动态大系统。②具有多目标寻优和在多种运行方式及故障方式下的鲁棒性要求。③不仅需要本地不同控制器间协调,也需要异地不同控制器间协调控制。

2. FACTS 和 DFACTS

1) FACTS

在电力系统的发展迫切需要先进的输配电技术来提高电压质量和系统稳定性的时候,一种改变传统输电能力的新技术——柔性交流输电系统(FACTS)技术悄然兴起。

所谓“柔性交流输电系统”技术又称“灵活交流输电系统”技术,简称 FACTS,就是在输电系统的重要部位,采用具有单独或综合功能的电力电子装置,对输电系统的主要参数(如电压、相位差、电抗等)进行调整控制,使输电更加可靠,具有更大的可控性和更高的效率。这是一种将电力电子技术、微机处理技术、控制技术等高新技术应用于高压输电系统,以提高系统可靠性、可控性、运行性能和电能质量,并可获取大量节电效益的新型综合技术。

各种 FACTS 装置的共同特点是:基于大功率电力电子器件的快速开关作用和所组成逆变器的逆变作用。ASVC 是包含了 FACTS 装置的各种核心技术且结构比较简单的一种新型静止无功发生器。ASVC 由二相逆变器和并联电容器构成,其输出的三相交流电压与所接电网的三相电压同步。它不仅可校正稳态运行电压,而且可以在故障后的恢复期间稳定电压,因此对电网电压的控制能力很强。与旋转同步调相机相比,ASVC 的调节范围大,反应速度快,不会发生响应迟缓,没有转动设备的机械惯性、机械损耗和旋转噪声,并且因为 ASVC 是一种固态装置,所以能响应网络中的暂态也能响应稳态变化,因此其控制能力大大优于同步调相机。