

高等院校规划教材

电力系统

综合实验指导书

Dianli Xitong Zonghe Shiyan Zhidaoshu

乔占俊 主编

课外借

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

电力系统综合实验指导书

乔占俊 主 编
张有东 副主编

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书系高等学校“电气工程及其自动化”专业以及相关专业的专业实验教材。本书内容涵盖“电力系统自动化”、“电力系统分析”、“电力系统继电保护”、“电力系统微机保护”、“电力系统过电压”等课程的主要实验项目、实验原理和实验方法。

全书共分五章。第一章论述电力系统的研究方法、手段和实践环节在教学中的重要性;第二章讲述电力系统自动化的主要内容及相关实验;第三章阐述电力系统继电保护原理的常规及综合实验;第四章介绍电力系统微机保护的常规及综合实验;第五章介绍电力系统过电压的相关实验。

该书原理阐述简明扼要,实验指导突出可操作性,适用于高等院校的电气工程类师生使用,也可供电力系统工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统综合实验指导书 / 乔占俊主编. —徐州:
中国矿业大学出版社, 2017.8
ISBN 978 - 7 - 5646 - 3551 - 0
I. ①电… II. ①乔… III. ①电力系统—实验—高等学校—教材 IV. ①TM7—33
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第128585号

书 名 电力系统综合实验指导书
主 编 乔占俊
责任编辑 于世连
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 10.25 字数 256千字
版次印次 2017 年 8 月第 1 版 2017 年 8 月第 1 次印刷
定 价 21.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

实验教学是高等学校理工科的主要实践性环节之一。它在培养学生的实际操作能力、分析问题和解决问题的能力方面,起着极重要的作用。专业综合实验课程还肩负着锻炼学生综合运用所学基础知识和专业知识,培养学生创造能力的作用。

本实验指导书以武汉华大电力自动技术研究所研制生产的“WDT-ⅡC型电力系统综合自动化实验台”、“PS-5G型电力系统微机监控实验台”、“DJZ-ⅢC型电气控制与继电保护实验台”等实验装置为对象编写。本书依托电力系统基础理论,在巩固和加深学生对理论知识理解的同时,培养学生操作技能,提高学生电力系统专业综合应用能力,为学生今后从事电力系统工作或电力科学实验打下良好的基础。

本书编写过程中参考了设备厂家提供的有关资料,在内容结构上顾及学生知识水平,力求循序渐进。本书中,实验项目有些编写得较为详细,有些则相对简略,便于因材施教和选择;有些实验项目内容较多,可以选做,也可将若干部分实验内容组合成一个课题深入研究,便于发挥学生在科学实验方面的主动性和创造能力,提高实验教学的水平和质量。本书共五章。第一章、第二章、第三章第一节与第二节、第四章、第五章、附录由华北科技学院乔占俊编写;第三章第三节、第四节、第五节由华北科技学院张有东编写。全书由乔占俊统稿。此外,田茂君、杨继鑫、王传龙3名学生帮助作者做了本书部分公式录入工作,王傲汉、魏东旭、王志文3名学生帮助作者做了图表编排工作,在此表示感谢。

由于作者水平有限,经验不足,书中难免会出现错误和不妥之处,谨请读者批评指正,以便进一步修订完善。

作 者

2017年8月

目 录

第一章 概述	1
第一节 实验环节在教学中的地位	1
第二节 电力系统综合实验的基本要求	3
第三节 电力系统综合实验安全操作说明	4
第二章 电力系统自动化实验	6
第一节 概述	6
第二节 电力系统综合自动化实验装置	7
第三节 同步发电机准同期并列实验	10
第四节 同步发电机励磁控制实验	16
第五节 一机一无穷大系统稳态运行方式实验	28
第六节 电力系统功率特性和功率极限实验	30
第七节 电力系统暂态稳定实验	35
第八节 单机带负荷实验	40
第九节 复杂电力系统运行方式实验	42
第十节 电力系统调度自动化实验	46
第三章 电力系统继电保护实验	48
第一节 概述	48
第二节 DJZ-ⅢC型电气控制与继电保护实验台使用说明	50
第三节 电力系统继电保护常规继电器特性实验	55
第四节 输电线路电流电压常规保护实验	87
第五节 电磁型三相一次重合闸实验	102
第四章 微机型继电保护实验	109
第一节 微机型继电保护装置使用方法	109
第二节 输电线路的电流、电压微机保护实验	113
第三节 输电线路距离保护实验	123
第四节 变压器差动保护实验	136

第五章 电力系统过电压实验.....	145
第一节 绝缘电阻、吸收比的测量	145
第二节 接地电阻和土壤电阻率的测量.....	149
附录 ZNB-Ⅱ 智能式多功能表使用说明	153

第一章 概 述

第一节 实验环节在教学中的地位

以高新技术为核心的知识经济将在 21 世纪占主导地位,国家综合国力和国际竞争能力越来越取决于教育的发展、科学技术和知识创新的水平,教育将始终处于优先发展的战略地位。当前,许多国家的政府都把振兴教育作为面向新世纪的基本国策。这些动向预示未来教育将发生深刻的变革。

一、高等工程教育的特点

高等工程教育无疑是要培养工程人才。无论是侧重工程技术的学生,还是侧重工程科学的学生,他们都是未来的工程专业人士,都必须以工程实践为基础,以实践作为立足的根本。作为高等教育结构中的重要组成部分——实验(实践)教学,承担着科学研究、知识创新、教学改革和教书育人等学校的主体工作。它对于学生的思想素质、工程素质、科学素质、文化素质、身心素质等综合素质的培养具有不可替代的作用,尤其是对于学生创新能力的培养,具有其独特的地位和作用。它是高等学校培养人才这一系统工程中的一个重要环节。

1. 工程教育的本质

“工程是关于科学知识开发应用以及关于技术的开发应用,以便在物质、经济、人力、政治、法律和文化限制内满足社会需要的一种有创造力的专业”,工程的本质是“综合、创造、实践”。首先是它把技术和非技术,科学与非科学联成一个无间隙的有机整体。它需要有经济、政治、人文社科知识,也需要有技术和科学知识乃至非科学、非技术的不知其然的直觉、灵感想象力等。一句话,工程的本身意味着多学科、多知识的综合。另外,由于工程的广度和深度随着时代在变化,它所需要的知识水平和结构也不是昔日的工程所能比拟的。它必须具有创新特征,不仅致力于社会眼前的实际功利,更着眼于长远的发展和进步,必须表现出丰富的想象力和创新精神,以使工程专业具有强大的生命力。

2. 工程教育的培养目标

时代在变化,工程的内涵不断丰富和深化,工程专业的社会责任不断加大和发展。工程教育的培养目标是培养现代化工程活动中担当大任的人才,并对未来工程教育和实践发挥方向性的影响。因此,学校不仅应使学生具有扎实的基础理论知识,并经过基础科学的严格训练,具备一流工程教育的基础,而且还须使学生经过现代化工程实践训练和多元化的能力和素质培养,这就是所谓能力多元化的教育。只有在多元化教育模式下培养的学生才可能具有竞争力和富于挑战性,才有可能承担现代化综合工程的一切工作,才可能贡献国家、开创未来。

二、综合化的专业实践教学

综合实践教学是素质教育的重要环节,不少教育家认为“没有综合化就不会产生伟大的人物”。美国的高等教育研究人员也认为,综合性的专业和课程有利于培养现代人才的各种素质和思维能力以及组织、交际和实际工作等方面的能力。目前在高等工程教育中,很多的实践性教学仍基本停留在分散而独立的验证某个概念、理论、方法的低水平上。这种实践教学训练很难培养面向 21 世纪知识经济为核心时代的具有综合思维能力和综合处理问题能力的复合型技术人才。

电气工程(Electrical Engineering,英文简称 EE)是现代科学技术领域的核心学科之一,更是当今高新技术领域的关键学科。电子技术的飞速发展推动了以计算机网络为基础的信息时代的到来,并将极大地改变人类的生活和工作方式。从某种意义上讲,电气工程的发达程度代表着一个国家的科学进步水平。正因如此,电气工程的教育和科研在发达国家高校中一直占据着十分重要的地位。

1. 电力系统的组成和特点

电力系统是指由进行电能生产、变换、输送、分配、消费的各种设备按照一定的技术和经济要求有机组成统一系统的总称,它由发电厂、变电所、输配电线路及各种用电设备组成。为了确保电力系统的安全、可靠运行,电力系统还包括继电保护、自动装置、通信、调度自动化及自动监测和控制系统等设备。

由于发电机和用电同时进行,并且发电、配电、用电之间功率平衡,各个设备环节之间具有十分紧密的相互依赖关系。不论是生产和变换能量的原动机、发电机,还是输送、分配电能的变压器、输配电线路以及用电设备等,只要其中的任何一个元件设备发生故障,都会影响电力系统正常工作。电能生产与国民经济各部门有着极为密切的关系。因此,在电力系统中要求进行快速控制和快速切除故障,否则将危及整个电力系统的安全稳定运行。

根据电力系统的上述特点以及电力工业在国民经济中的重要地位和作用,对电力系统提出了下列基本要求:① 保证安全可靠的供电,② 保证良好的电能质量,③ 保证系统运行的经济性。

2. 电力工业对人才的要求

在实现西电东送,全国联网的电力建设进程中,具有特高压、大机组、大电网、远距离输电特色的中国电力工业,由于自动化程度越来越高,工程趋于系统化以及机、炉、电的一体化使得电力企业的岗位由孤立、分散、专一变为更加具有复合型,电力企业中管理、生产、经济相融合,使得既懂现代科学技术,又懂经营管理的高素质复合型人才将成为最受电力企业欢迎的人才。

随着我国大容量发电机组的投入运行以及特高压交流和直流远距离输电的混合电网的建设,以三峡电网为中心的全国性电力系统逐渐形成,全国电网已经发生了巨大的变化。电力系统的不断扩大,使电力系统的结构和运行方式变得越来越复杂多变,对电力系统的综合科学技术水平的要求也越来越高,使得电力系统的技术更新速度大大加快,不同技术之间的相互渗透、相互融合也越来越普遍。因此,作为面向 21 世纪的电气工程将对学生提出更高的要求,即更应具有知识的广泛性、思维的创造性和对未来社会的挑战性。

因此,只有站在新时代对人才的新要求高度,确定创新、复合型人才为培养方向,必须从

今后的工程技术和生产的发展实际出发,把对人才的素质和特点的要求作为考虑问题的依据,以系统观点和系统方法去观察研究和解决问题。通过综合化的专业实践性教学,使学生成为具有综合思维能力和综合处理问题能力的创新、复合型技术人才。

第二节 电力系统综合实验的基本要求

电力系统综合自动化实验平台的实验目的在于使学生掌握系统运行的原理及特性,学会通过故障运行现象及相关数据分析故障原因,并排除故障。通过实验使学生能够根据实验目的、实验内容及测取的数据,进行分析研究,得出必要结论,从而完成实验报告。在整个实验过程中,必须集中精力,及时认真做好实验。现按照电力系统综合自动化实验平台实验过程提出下列具体要求。

一、实验前的准备

实验准备即为实验的预习阶段,是保证实验能否顺利进行的必要步骤。每次实验前都应做好预习,才能对实验目的、步骤、结论和注意事项等做到心中有数,从而提高实验质量和效率。预习应做到以下方面:

(1) 复习教科书有关章节内容,熟悉与本次实验相关的理论知识。

(2) 认真学习实验指导书,了解本次实验目的和内容,掌握实验工作原理和方法,仔细阅读实验安全操作说明,明确实验过程中应注意的问题(有些内容可到实验室对照实验设备进行预习,熟悉组件的编号,使用及其规定值等)。

(3) 实验前应写好预习报告,其中应包括实验系统的详细接线图、实验步骤、数据记录表格等,经教师检查认为确实做好了实验前的准备,方可开始实验。

(4) 认真做好实验前的准备工作,对于培养学生独立工作能力,提高实验质量和保护实验设备、人身的安全等都具有相当重要的作用。

二、实验的进行

在完成理论学习、实验预习等环节后,就可进入实验实施阶段。实验时要做到以下几点:

(1) 预习报告完整,熟悉设备

实验开始前,指导老师要对学生的预习报告做检查,要求学生了解本次实验的目的、内容和方法,只有满足此要求后,方能允许实验。

指导老师要对实验装置作详细介绍,学生必须熟悉该次实验所用的各种设备,明确这些设备的功能与使用方法。

(2) 建立小组,合理分工

每次实验都以小组为单位进行,每组由4人组成。实验进行中,机组的运行控制、电力系统的监控调度、记录数据等工作都应有明确的分工,以保证实验操作的协调,数据准确可靠。

(3) 试运行

在正式实验开始之前,先熟悉仪表的操作,然后按一定规范通电接通电力网络,观察所

有仪表是否正常。如果出现异常,应立即切断电源,并排除故障;如果一切正常,即可正式开始实验。

(4) 测取数据

预习时应对所测数据的范围做到心中有数。正式实验时,根据实验步骤逐次测取数据。

(5) 认真负责,实验有始有终

实验完毕后,应请指导老师检查实验数据、记录的波形。经指导老师认可后,关闭所有电源,并把实验中所用的物品整理好,放至原位。

三、实验总结

这是实验的最后阶段,应对实验数据进行整理、绘制波形和图表、分析实验现象并撰写实验报告。每位实验参与者要独立完成一份实验报告,实验报告的编写应持严肃认真、实事求是的科学态度。如实验结果与理论有较大出入时,不得随意修改实验数据和结果,而应用理论知识来分析实验数据和结果,解释实验现象,找出引起较大误差的原因。

实验报告是根据实测数据和在实验中观察发现的问题,经过自己分析研究或分析讨论后写出的实验总结和心得体会,应简明扼要、字迹清楚、图表整洁、结论明确。

实验报告应包括以下内容:

- (1) 实验名称、专业、班级、学号、姓名、同组者姓名、实验日期、室温等。
- (2) 实验目的、实验线路、实验内容。
- (3) 实验设备、仪器、仪表的型号、规格、铭牌数据及实验装置编号。
- (4) 实验数据的整理、列表、计算,并列出计算所用的计算公式。
- (5) 画出与实验数据相对应的特性曲线及记录的波形。
- (6) 用理论知识对实验结果进行分析总结,得出正确的结论。
- (7) 对实验中出现的现象、遇到的问题进行分析讨论,写出心得体会,并对实验提出自己的建议和改进措施。
- (8) 实验报告应写在一定规格的报告纸上,保持整洁。
- (9) 每次实验每人独立完成一份报告,按时送交指导老师批阅。

第三节 电力系统综合实验安全操作说明

为了顺利完成电力系统综合自动化实验平台的全部实验,确保实验时人身安全与设备的安全可靠运行,实验人员要严格遵守如下安全操作要求。

(1) 在电力系统综合自动化实验平台中,与控制柜的电源插头配合使用的插座,一经确定后不可随意调整,其原因是:

- ① 该插座容量要求 40A,若换用其他容量较低的插座,实验时的冲击电流会导致控制柜上的电源开关跳开。
- ② 该插座与控制柜插头的相序已对应,若换用的插座与控制柜插头的相序不对应,并网实验时会对仪表和发电机组产生冲击,严重时可能导致设备损坏。

(2) 综合自动化实验平台上电前,应做好如下工作:

- ① 检查实验台、控制柜和发电机组间的电缆线是否正确可靠连接。

② 原动机的光电编码器与控制柜间的连线是否可靠连接。

③ 实验台和控制柜间的通信线是否可靠连接。

(3) 综合自动化实验平台上电后,实验前,检查微机准同期装置、微机励磁装置和微机线路保护装置的“系统设置”内的参数是否为实验要求的值。如果不是,请修改相关设置。

(4) 实验过程中,人体不可接触带电线路,如自耦调压器的输入、输出接线端等。

(5) 发电机组在启动后,切勿推拉发电机组。

(6) 在进行发电机组与系统间的解列操作时,要使发电机组的有功功率和无功功率接近于零,即:零功率解列。

(7) 综合自动化实验平台及控制柜上的总电源应由实验指导教师来控制,其他人员只能经指导教师允许后方可操作,不得自行合闸。

(8) 实验过程中,绝对不允许实验人员用手触摸自耦调压器的输入、输出接线端子,否则电源将通过人体与大地构成回路,人体将触电,危及生命安全! 所以严禁人体任何部位触碰自耦调压器的接线端子!

(9) 实验过程中,不允许实验人员打开实验台的任何一扇门,这样不利于负载的散热,可能会造成设备损坏。

(10) 在做多机系统联网实验时,在综合自动化实验台上,必须发电机运行方式切至“组网”,同时,除并网开关,其余线路开关均不能合闸,并且“短路故障设置”部分各按钮都不要按下。对多机电力网络系统而言,综合自动化实验台仅仅只是用其发电机组及其控制调速、励磁系统和同期操作设备以及相关测量仪表,如将该实验台的无穷大系统电源和线路开关合上,很可能造成两个无穷大系统短路,实验者应特别注意这一点,以免进行误操作,损坏设备!

(11) 在做多机电力系统网络线路发生三相短路实验时,由于短路电流很大,应保证线路保护的动作时间很快,实验前,确定实验台里的时间继电器,选择在“sec”位置,量程选择在“10”档,动作时间严格按实验要求调节,否则会毁坏实验设备!

(12) 在做电力系统监控实验时,不允许接到该实验台做单机的相关实验。

(13) 为防止发电机组非同期并入无穷大系统,在 THLDK-2 型电力系统监控实验平台上,手动操作 QF19 只能分闸,不能合闸(合闸按钮只做指示用)。合闸操作只能通过上位机系统完成。当做独立系统实验时,只要有任何一个发电厂的 QF0 合闸(即 QFG1~QFG6 合闸),上位机系统不能进行 QF19 合闸控制。

第二章 电力系统自动化实验

第一节 概 述

一、电力系统的基本内容

现在所研究的电力系统,是由电力系统的基础元件,即同步发电机、变压器、输电线路、开关以及各种类型的用电负荷,按一定规律连接而成的既复杂又庞大的系统。因此,所谓电力系统自动化,就是指在电力系统中实施的替代人工自动工作的各种技术措施。它主要包括两个方面的内容:① 电力系统自动化装置;② 电力系统调度自动化装置。前者主要研究电力系统元件级的自动化,基本内容有:同步发电机励磁自动控制、同步发电机自动准同期控制等;后者主要研究电力系统整体自动化,基本内容有:电力系统频率和有功功率控制、电力系统电压和无功功率控制、电力系统稳定控制、电力系统调度自动化等。

二、电力系统自动化的任务和特点

电力系统自动化的任务是:① 提高供电可靠性;② 保证电能质量;③ 提高经济性;④ 减轻劳动强度;⑤ 保障电力系统安全。

电力系统自动化的特点是:

① 实时性要求高。电力系统中,正常运行时负荷变化频繁,故障时电磁暂态过程极快,所以要求电力系统的功率平衡控制、稳定控制以及故障处理等必须具有很高的实时性。

② 可靠性要求高。现代电力系统容量大,供电范围广,其供电的可靠性和供电电能质量指标,对国计民生的影响极大。要保证优良的电能质量和不间断供电,均需建立在电力系统自动化高可靠性的基础上。

③ 控制复杂、难度大。电力系统结构复杂而庞大,且具有时变性、非线性、多输入、多输出、多约束、测控信息传输距离长,信息传输量大等特点,无论是理论研究还是技术实施,均具有相当难度。

三、电力系统的自动化装置

电力系统的基础自动化装置主要包括:故障自动切除装置(即各种继电保护装置)、自动准同期装置、自动低频减载装置、同步发电机励磁调节器和原动机(即汽轮机和水轮机)调速器,以及远动装置等。

现代电力系统调度自动化建立在电力系统基础自动化和远动技术的基础,首先通过遥信和遥测将电力系统各点的设备投切状态和运行参数上传到调度中心,经分析决策后,再通

过遥调和遥控将调度决策下达给相关发电厂和变电站,直接对厂站设备进行调节和控制。“四遥”技术提高了电力系统调度的实时性。

按自动装置控制的范围划分,电力系统自动化分为设备(元件)级自动化、厂站级自动化和系统级自动化。设备级自动化主要包括:同步发电机励磁调节器、调速器、准同期装置、各种电力系统元件的继电保护装置;厂站级自动化主要包括:自动电压控制(AVC)、自动发电控制(AGC)、厂站计算机监控系统;系统级自动化主要包括:电力系统频率和有功功率自动控制、电力系统电压和无功功率自动控制、自动低频减载装置、电力系统安全自动控制等。

从教学的角度,电力系统自动装置可分为自动操作装置和自动调节装置两大类。自动操作装置控制的是只具有两种状态的对象,如具有分合两种状态的断路器。属于此类的自动装置有:准同期控制器,低频减载装置,重合闸装置和各种继电保护装置等。自动调节装置控制的对象具有连续变化的特性,如同步发电机励磁电流在零值至强励电流之间连续可调。属于此类的自动装置有:同步发电机自动励磁调节器、汽轮机或水轮机调速器等。

本章着重介绍同步发电机自动准同期控制器、自动励磁调节器和调度自动化的基本原理及其实验。

第二节 电力系统综合自动化实验装置

一、WDT-ⅡC型电力系统综合自动化实验装置简介

电力系统综合自动化实验台是一个自动化程度较高的多功能实验平台,如图 2-2-1 所示。它由发电机组、实验操作台、无穷大系统等设备组成。发电机与无穷大之间采用双回路输电线路,使发电机与无穷大系统之间可构成两种不同联络阻抗,供系统实验、分析、比较时使用。

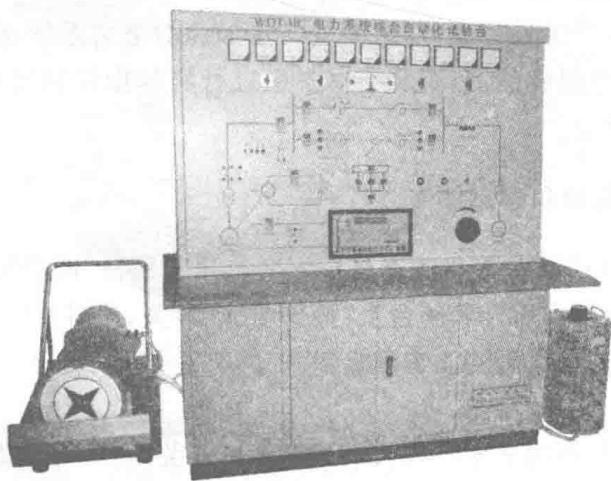


图 2-2-1 WDT-ⅡC 电力系统综合自动化实验台外形图

1. 发电机组

发电机组是由同在一个轴上的三相同步发电机($S_N = 2.5 \text{ kV} \cdot \text{A}$, $V_N = 400 \text{ V}$, $n_N = 1500 \text{ rpm}$),模拟原动机用的直流电动机($P_N = 2.2 \text{ kW}$, $V_N = 220 \text{ V}$)以及测速装置和功率

角指示器组成。直流电动机、同步发电机经弹性联轴器对轴联结后组装在一个活动底盘上构成可移动式机组。它具有结构紧凑、占地少、移动轻便等优点。其机组的活动底盘有四个螺旋式支脚和三个橡皮轮,将支脚旋转下即可开机实验。

2. 实验操作台

它是由输电线路及保护单元,功率调节和同期单元,仪表测量和短路故障模拟单元等组成。

(1) 输电线路采用双回路输电线路模型,并对其中一段线路设有故障保护,此线路保护还具有单相自动重合闸功能。

(2) 功率调节和同期单元,由“WL-04B 微机励磁调节器”、“同期表”等装置组成。

(3) 仪表测量和短路故障模拟单元由各种测量表计及其切换开关、各种带灯操作按钮以及观测波形用的测试孔和各种类型的短路故障操作等部分组成。在做电力系统实验时,全部的操作均在实验操作屏台上进行。

3. 无穷大系统

无穷大电源是由 $15\text{ kV} \cdot \text{A}$ 的自耦调压器组成。通过调整自耦调压器的电压可以改变无穷大母线的电压。

实验操作台的“操作面板”上有模拟接线图、操作按钮和切换开关以及指示灯和测量仪表等。操作按钮与模拟接线图中被操作的对象结合在一起,并用灯光颜色表示其工作状态,具有直观的效果。红色灯亮表示开关在合闸位置,绿色灯亮表示开关在分闸位置。

本实验装置主要是为开设与电力系统运行(稳态及暂态)有关的教学实验而设计的。虽然实验装置中的发电机、原动机、励磁系统及输电线路,并未按与大型实际电力系统的相似条件来,进行物理仿真,然而,它们不失为一个真实的“一机一无穷大”的简单电力系统,并且可以定性地、反复地、直观地实验,观测实际电力系统的各种运行状态,而且由于小型发电机与大型发电机参数(标么值)的差别。在实验中可以观测与教科书中对大型发电机所作的分析差别,这更有利于引导学生进行思考,从而进一步加深对电力系统运行状态特性的理解,也有利于培养学生的科学思维能力,有利于对学生进行实际操作和实验研究能力的培训和训练。

二、同步发电机组启动和建压操作

实验前首先检查 WDT-II C 型电力系统综合自动化实验台、同步发电机组、感应调压器是否具备开机条件,符合要求后合实验台上“操作电源”开关,此时反映各开关位置的绿色指示灯亮,同时微机装置上电,数码管能正确显示。

1. 开机

首先将原动机调速旋钮调至零,然后合上“原动机开关”再顺时针旋转原动机调速旋钮,当发电机旋转之后,应观察机组稳定情况,然后缓慢加速到额定转速。

2. 励磁方式选择

在实验台上有一个“励磁方式”切换开关,可选择两种励磁方式,即“手动励磁方式”、“微机它励方式”。当选择“微机它励”或“微机自并励”时,微机励磁调节器选择“恒 U_F ”运行方式,然后合上“励磁开关”,松开“灭磁”按钮,调节器自动起励至给定电压。

3. 无穷大电流和线路开关操作

(1) 合上无穷大电源“系统开关”。观察“系统电压”表是否为实验要求值,调整自耦调压器的把手,顺时针增大或逆时针减少输出至无穷大母线的电压,调整到实验的要求值(一般为 380 V)。

(2) 合上线路开关“QF1”和“QF3”则发电机的母线上得电,此时可以从微机励磁调节器上观察到系统电压,同时也能看到发电机的频率和电压。

4. 同期方式选择

在实验台上有一个“同期方式”切换开关,当“同期方式”选择为 ON 时,则“发电机开关”两侧的电压施加到“同期表”上,根据“同期表”中的“电压差”和“频率差”调整发电机的转速和电压,使之接近为零。然后,在“相角差”趋向零时把“导前角”时间合闸,即发电机与系统并列。

三、PS-5G 型电力系统微机监控实验系统

PS-5G 型电力系统微机监控实验台是一个高度自动化的、开放式多机电力网综合实验系统,如图 2-2-2 所示。它建立在 WDT-II C 型电力系统综合实验平台的基础之上,将多个实验平台连接成一个大的电力系统,并配置微机监控系统实现电力系统综合自动化的遥测、遥信、遥控、遥调等功能。它能够反映现代电能的生产、传输、分配和使用的全过程,充分体现现代电力系统高度自动化、信息化、数字化的特点,实现电力系统的检测、控制、监视、保护、调度的自动化。这个适应新实验课程体系的开放式公共实验平台,有利于提高学生创新思维与实践能力,有利于更好地培养出高素质的复合型人才。

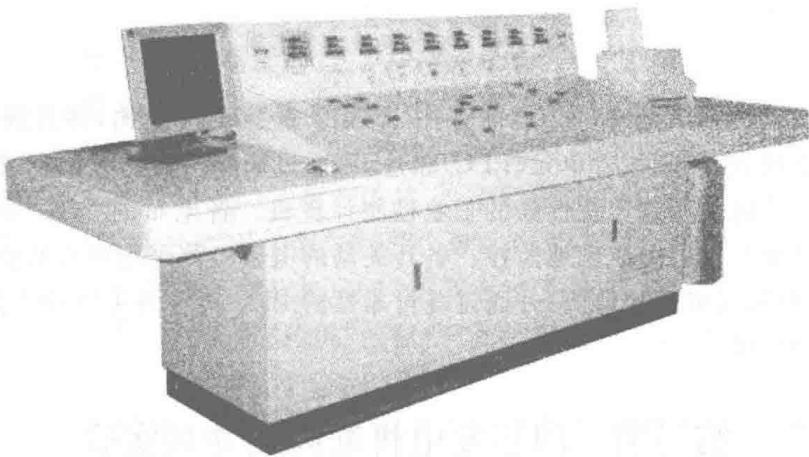


图 2-2-2 PS-5G 型电力系统微机监控实验台外形图

多机电力网综合实验系统的研制,更新与加强了专业实验内容,改进了实验方法与手段,创建了一套能进行专业课程和综合研究实验的实验装置,建立了一个开放式、研究性、复合型的专业实验现代教学体系,提高了专业实验的教学质量和水平,并且更有利于培养学生综合分析问题和解决问题的能力。

1. 一次系统构成

开放式多机电力网综合实验系统由 3~6 台相当于实际电力系统中发电厂的“WDT-II C 型电力系统综合自动化实验台”、1 台相当于实际电力系统调度通信中心的“PS-5G 型电

力系统微机监控实验台”、6 条不同长短的输电线路和 3 组可改变功率大小的负荷等组成。整个一次系统构成一个可变的单机环型电力网络,便于进行理论计算和实验分析。

每台发电机按 600 MW 机组来模拟,无穷大电源短路容量为 $6\,000\text{ MV}\cdot\text{A}$,主电力网按 500 kV 电压等级来模拟,双回路 400 km 长距离输电线路将功率送入无穷大系统,在距离 100 km 的中间站经联络变压器与 220 kV 母线相连,地方负荷有纯无功负荷、纯有功负荷和正常感性负荷,有利于实验分析和比较。

2. 监控系统配置

多机电力网综合实验系统中的计算机监控系统是多目标、多参数、多功能的实时系统。为了使监控系统具有良好的开放性,并考虑实验系统的具体情况,采用分层分布式系统配置(图 2-2-3)。

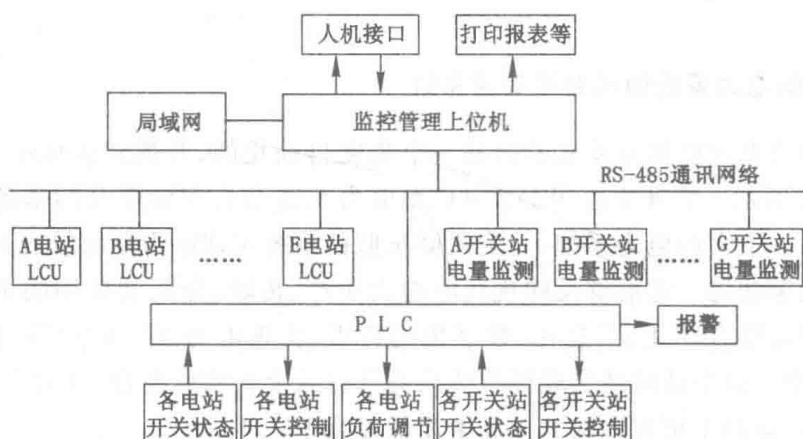


图 2-2-3 监控系统配置框图

上位机和现地控制单元(LCU)之间采用 RS-485 通信网络结构,并且通过通信网络与各开关站的智能仪表、控制执行单元(PLC)相连,可通过局域网与远方调度通信。

监控管理上位机采用抗干扰性强的工业控制计算机。各电站的 LCU 采用具有监控功能的微机励磁系统对机组完成现地监控。各开关站的电量监测采用具有数据处理功能的智能仪表对线路、负荷完成现地监测,并通过高可靠性的 PLC 对各开关进行监控和负荷调节,且具有过载报警功能。

第三节 同步发电机准同期并列实验

一、实验目的

- (1) 加深理解同步发电机准同期并列原理,掌握准同期并列条件。
- (2) 掌握微机准同期控制器及模拟式综合整步表的使用方法。
- (3) 熟悉同步发电机准同期并列过程。
- (4) 观察、分析有关波形。

二、实验原理与说明

将同步发电机并入电力系统的合闸操作通常采用准同期并列方式。准同期并列要求在合闸前通过调整待并机组的电压和转速,当满足电压幅值和频率条件后,根据“恒定越前时间原理”,由运行操作人员手动或由准同期控制器自动选择合适时机发出合闸命令,这种并列操作的合闸冲击电流一般很小,并且机组投入电力系统后能被迅速拉入同步。根据并列操作的自动化程度不同,又分为手动准同期、半自动准同期和全自动准同期三种方式。

正弦整步电压是不同频率的两正弦电压之差,其幅值做周期性的正弦规律变化。它能反映两个待并系统间的同步情况,如频率差、相角差以及电压幅值差。线性整步电压反映的是不同频率的两方波电压间相角差的变化规律,其波形为三角波。它能反映两个待并系统间的频率差和相角差,并且不受电压幅值差的影响,因此得到广泛应用。

手动准同期并列,应在正弦整步电压的最低点(同相点)时合闸,考虑到断路器的固有合闸时间,实际发出合闸命令的时刻应提前一个相应的时间或角度。

自动准同期并列,通常采用恒定越前时间原理工作,这个越前时间可按断路器的合闸时间整定。准同期控制器根据给定的允许压差和允许频差,不断地检查准同期条件是否满足,在不满足要求时闭锁合闸并且发出均压均频控制脉冲。当所有条件均满足时,在整定的越前时刻送出合闸脉冲。

三、实验项目和方法

1. 机组启动与建压

- (1) 检查调速器上“模拟调节”电位器指针是否指在 0 位置,如不在则应调到 0 位置。
- (2) 合上操作电源开关,检查实验台上各开关状态:各开关信号灯应绿灯亮、红灯熄。调速器面板上数码管显示发电机频率,调速器上“微机正常”灯和“电源正常”灯亮。
- (3) 按调速器上的“微机方式自动/手动”按钮使“微机自动”灯亮。
- (4) 励磁调节器选择它励、恒 U_F 运行方式,合上励磁开关。
- (5) 把实验台上“同期方式”开关置“断开”位置。
- (6) 合上系统电压开关和线路开关 QF1、QF3,检查系统电压接近额定值 380 V。
- (7) 合上原动机开关,按“停机/开机”按钮使“开机”灯亮,调速器将自动启动电动机到额定转速。
- (8) 当机组转速升到 95% 以上时,微机励磁调节器自动将发电机电压建压到与系统电压相等。

2. 观察与分析

(1) 操作调速器上的增速或减速按钮调整机组转速,记录微机准同期控制器显示的发电机和系统频率。观察并记录旋转灯光整步表上灯光旋转方向及旋转速度与频差方向及频差大小的对应关系;观察并记录不同频差方向、不同频差大小时的模拟式整步表的指针旋转方向及旋转速度、频率平衡表指针的偏转方向及偏转角度的大小的对应关系。

(2) 操作励磁调节器上的增磁或减磁按钮调节发电机端电压,观察并记录不同电压差方向、不同电压差大小时的模拟式电压平衡表指针的偏转方向和偏转角度的大小的对应关系。