

高等学校 **电气工程及其自动化专业** 应用型本科系列规划教材

电力系统运行与控制实验指导书

DIANLI XITONG YUNXING YU KONGZHI SHIYAN ZHIDAOSHU

主 编 张海燕 易长松 胡 刚
副主编 李翠英 邓强强 罗 好
主 审 涂光瑜



重庆大学出版社
<http://www.cqup.com.cn>

电力系统运行与控制 实验指导书

主 编	张海燕	易长松	胡 刚
副主编	李翠英	邓强强	罗 好
参 编	胡 敏	石 岩	朱光平
	宋乐鹏	常继彬	
主 审	涂光瑜		

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书主要是以“WDT-ⅢC 电力系统综合自动化实验台”和“PS-7G 电力系统微机监控实验台”为主要实验设备,涵盖了同步发电机的同期运行、励磁控制实验、系统动态稳定性测试实验、复杂系统运行方式等实验。本书可作为应用型本科类院校以及高职高专院校电气类专业的教材,同时也可作为非电气行业初学者及部分电气从业人员的岗前培训和实践学习的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统运行与控制实验指导书/张海燕,易长松,
胡刚主编. —重庆:重庆大学出版社,2015.8
高等学校电气工程及其自动化专业应用型本科系列规划教材
ISBN 978-7-5624-9269-6

I. ①电… II. ①张…②易…③胡… III. ①电力系
统运行—高等学校—教材 IV. ①TM732

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 148565 号

电力系统运行与控制实验指导书

主 编 张海燕 易长松 胡 刚
副主编 李翠英 邓强强 罗 妤
策划编辑:杨粮菊
责任编辑:陈 力 版式设计:杨粮菊
责任校对:秦巴达 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行
出版人:邓晓益
社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号
邮编:401331
电话:(023)88617190 88617185(中小学)
传真:(023)88617186 88617166
网址:<http://www.cqup.com.cn>
邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)
全国新华书店经销
万州日报印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:8.5 字数:186千
2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷
印数:1—2 000
ISBN 978-7-5624-9269-6 定价:19.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

《电力系统运行与控制实验指导书》是一本综合了电气工程专业中的《电力工程》《电力系统自动化》《电力系统分析》《微机保护》《电力系统自动装置原理》等专业课程实验而编写出来的综合实验教材,主要是为了适用于目前的应用型本科教学。

实验教学是高等理工科学校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。

本实验指导书是在“WDT-ⅢC 电力系统综合自动化实验台”上进行的,实验指导书中部分实验需增加“PS-7G 电力系统微机监控实验台”共同完成第 13 章及第 14 章。将多个自动化实验台,通过“PS-7G 电力系统微机监控台”构成一个可变的 multi-machine 电力网络,进行各种潮流分析实验,实现电力系统的检测、控制、监视、保护、调度的自动化,具有电力系统“四遥”功能。另外,本书中设计了两个利用 MATLAB/SIMULINK 软件进行的综合设计性实验。

综合自动化实验平台的模型是针对电力系统教学实验而设计,其工作方式是按发电机通过输电线路与无穷大系统连接,构成“一机一无穷大”电力系统而设计的,考虑到模型操作的灵活和方便。在设计中,设计者也考虑到增加一些与外部连接的功能,在一定程度上扩大其使用功能。

本指导书仅提供可以进行实验的项目。每个项目的内容多少不一,有些编写得比较详细,有的比较简略,这便于因材施教和进行选择;有些项目内容较多,可以选做其中一部分;另外,在实验课中也可将若干部分实验内容组合成一个课题深入研究,这样可以充分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,充分发挥应用型本

科教学中实践与理论相结合的教学原则。

本书第4章到第6章由武汉华大电力自动技术有限责任公司易长松、邓强强编写,第7章到第9章由重庆科技学院李翠英、石岩编写,第10章到第12章由重庆科技学院朱光平、宋乐鹏编写,第13章到第14章由重庆科技学院胡敏、罗好编写,第15章到第16章由重庆科技学院张海燕、胡刚编写,本书第I篇及附录由武汉华大电力自动技术有限责任公司邓强强及重庆科技学院常继彬编写,全书由邓强强、张海燕统稿,并由华中科技大学涂光瑜教授负责主审定稿。

在编写过程中,武汉华大电力自动技术有限责任公司的技术部门及相关学校电气工程系的许多同仁提出了不少改进意见,在此表示感谢。此外,在编写过程中曾引用若干参考文献及互联网上的一些素材,编者们在此谨向文献的作者与网络素材提供者致谢。本指导书的编写凝聚了许多人的辛勤汗水,编者在此一并表示衷心地感谢。由于编写者水平有限,加之时间仓促,疏漏之处在所难免,谨请读者指正。

编 者

2015年3月

目 录

第 I 篇 实验平台及实验基本要求 1

第 1 章 WDT-III C 电力系统综合自动化实验平台 3

1. 发电机组 4
2. 实验操作台 4
3. 无穷大系统 7

第 2 章 PS-7G 电力系统微机监控实验平台 9

1. 电力网的结构特点 10
2. 主电气设备的设计参数 11

第 3 章 实验基本要求 13

1. 实验前准备 13
2. 实验基本方式 14
3. 实验总结 14
4. 安全说明 15

第 II 篇 实验内容 17

第 4 章 同步发电机开机与停机实验 19

1. 实验目的 19
2. 实验原理 19
3. 实验内容与步骤 20
4. 实验报告要求 22
5. 思考题 22

第 5 章 同步发电机准同期并列运行实验 23

1. 实验目的 23
2. 实验原理 23
3. 实验内容与步骤 24

4. 实验报告要求	28
5. 思考题	28
第6章 同步发电机励磁控制实验	29
1. 实验目的	29
2. 实验原理	29
3. 实验内容与步骤	30
4. 实验报告要求	37
5. 思考题	38
第7章 单机一无穷大系统稳态运行方式实验	39
1. 实验目的	39
2. 实验原理	39
3. 实验内容与步骤	40
4. 实验报告要求	42
5. 思考题	42
第8章 电力系统功率特性和功率极限实验	43
1. 实验目的	43
2. 实验原理	43
3. 实验内容与步骤	44
4. 实验报告要求	45
5. 思考题	46
第9章 电力系统静态稳定实验	47
1. 实验目的	47
2. 实验原理	47
3. 实验内容与步骤	47
4. 实验报告要求	51
5. 思考题	52
第10章 电力系统暂态稳定实验	53
1. 实验目的	53
2. 实验原理	53
3. 实验内容与步骤	54
4. 实验报告要求	58
5. 思考题	58

第 11 章 无穷大系统操作与负荷投入实验	59
1. 实验目的	59
2. 实验原理	59
3. 实验内容与步骤	60
4. 实验报告要求	63
5. 思考题	63
第 12 章 单机带负荷实验	64
1. 实验目的	64
2. 实验原理	64
3. 实验内容与步骤	64
4. 实验报告要求	65
5. 思考题	65
第 13 章 复杂电力系统运行方式实验	66
1. 实验目的	66
2. 实验原理	66
3. 实验内容与步骤	67
4. 实验报告要求	69
5. 思考题	69
第 14 章 电力系统调度自动化实验	70
1. 实验目的	70
2. 实验原理	70
3. 实验内容与步骤	71
4. 实验报告要求	74
5. 思考题	74
第 15 章 MATLAB/SIMULINK 对电力系统单相短路故障 的仿真分析实验	75
1. 实验目的	75
2. 实验原理	75
3. 实验内容与步骤	76
4. 实验报告要求	80
5. 思考题	80
第 16 章 电力系统运行方式及潮流分析仿真实验	81
1. 实验目的	81

2. 实验原理	81
3. 实验内容与步骤	83
4. 实验报告要求	86
5. 思考题	86

附录	88
-----------------	----

附录 1 TGS-03B 微机调速装置	88
附录 2 WL-04B 微机励磁调节器	94
附录 3 HGWT-03B 微机准同期控制器	102
附录 4 YHB-A 微机保护装置	111
附录 5 PS-7G 电力系统微机监控实验台	117
附录 6 功率角指示器原理	121
附录 7 MATLAB/SIMULINK 软件	122

参考文献	125
-------------------	-----

第 I 篇 实验平台及实验基本要求

第 1 章

WDT-ⅢC 电力系统综合自动化实验平台

电力系统综合自动化实验台是一个自动化程度很高的多功能实验平台,它由发电机组、实验操作台、无穷大系统等设备组成。如图 1.1 所示,发电机与无穷大系统之间采用双回路输电线路,并设有中间开关站,通过中间开关站和单回、双回线路的组合,使发电机与无穷大系统之间可构成 4 种不同的联络阻抗,供系统实验分析比较时使用。

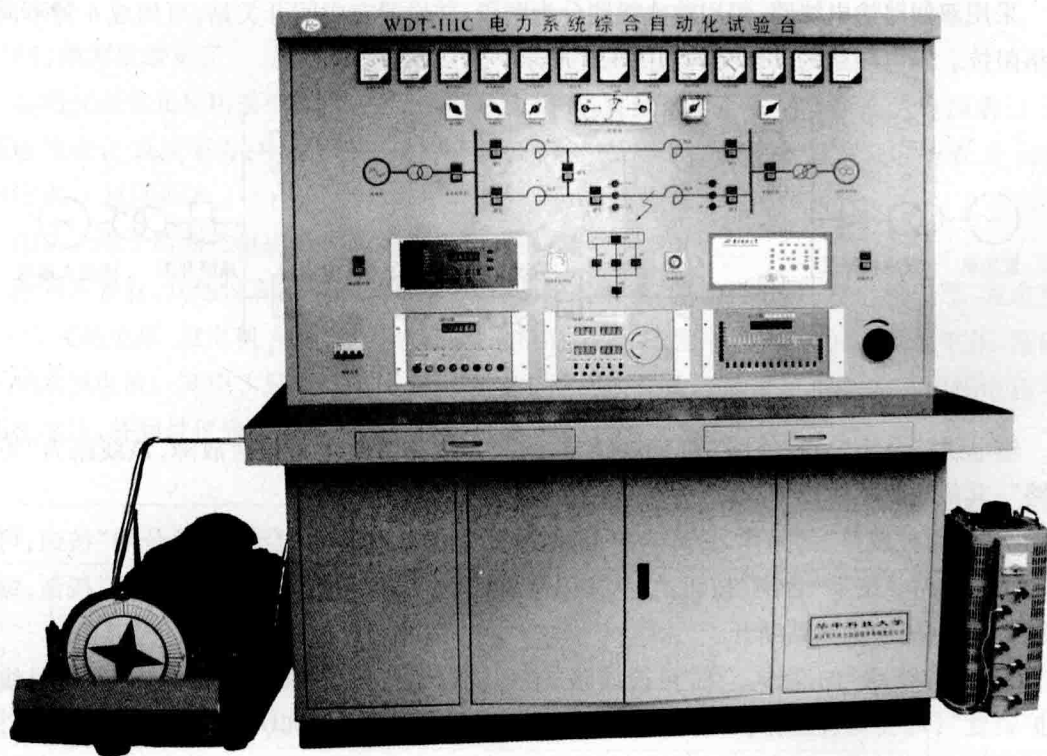


图 1.1 电力系统综合自动化实验平台外形图

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 ($S_N = 2.5 \text{ kV} \cdot \text{A}$, $V_N = 400 \text{ V}$, $n_N = 1\,500 \text{ r/min}$), 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。具有结构紧凑、占地少、移动轻便等优点, 机组的活动底盘有 4 个螺旋式支脚和 3 个橡皮轮, 将支脚旋下即可开机实验。

2. 实验操作台

实验操作台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) 输电线路单元

采用双回路输电线路, 每回输电线路分为两段, 并设置有中间开关站, 可构成 4 种不同的联络阻抗。输电线路的具体结构如图 1.2 所示。

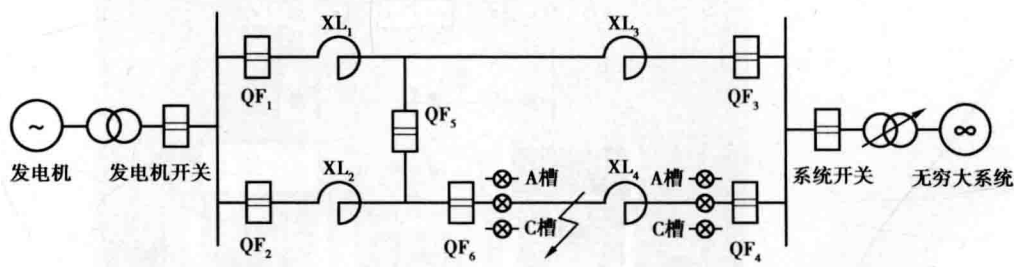


图 1.2 单机—无穷大系统电力网络结构图

输电线路分为“可控线路”和“不可控线路”, 在线路 XL_4 上可设置故障, 该线路为“可控线路”, 其他线路不能设置故障, 为“不可控线路”。

①“不可控线路”的操作。操作“不可控线路”上的断路器的“合闸”或“分闸”按钮, 可投入或切除线路。按下“合闸”按钮, 红色按钮指示灯亮, 表示线路接通; 按下“分闸”按钮, 绿色按钮指示灯亮, 表示线路断开。

②“可控线路”的操作。在“可控线路”上预设有短路点, 并在该线路上装有“微机线路保护装置”, 可实现过流保护, 并具备自动重合闸, 通过控制 QF_4 和 QF_6 来实现。 QF_4 和 QF_6 上的两组指示灯亮或灭分别代表 QF_4 和 QF_6 的 A 相、B 相和 C 相的 3 个单相开关的合或分状态。

为了实现非全相运行和分相切除故障, QF_4 和 QF_6 的分、合控制与“不可控线路”上断路

器操作不同,区别如下所述。

正常工作时,按下 QF_4 合闸按钮,3 个单相指示灯亮,而 QF_4 红色合闸按钮灯不亮,手动分闸或微机线路保护装置动作三相全跳时,绿色分闸指示灯亮,3 个单相指示灯全灭;当保护装置跳开故障相时,故障相的指示灯灭。

③中间开关站的操作。中间开关站是为了提高暂态稳定性而设计的。不设中间开关站时,如果双回路中有一回路发生严重故障,则整条线路将被切除,线路的总阻抗将增大一倍,这对暂态稳定是很不利的。

设置了中间开关站,即通过开关 QF_5 的投入,在距离发电机侧线路全长的 $1/3$ 处,将双回路并联起来, XL_4 上发生短路,保护将 QF_4 和 QF_6 切除,线路总阻抗也只增大 $2/3$,与无中间开关站相比,这一措施将提高暂态稳定性。中间开关站线路的操作同“不可控线路”。

(2) 微机线路保护单元

微机线路保护单元采用 YHB-A 微机线路保护装置,主要实现线路保护和自动重合闸等功能,配合输电线路完成稳态非全相运行和暂态稳定等相关实验项目,使用说明见附录 4。

(3) 控制方式选择单元

控制方式选择单元包括发电机组的运行方式、同期方式和励磁方式的选择,可通过 TGS-03B 调速机箱(附录 1)上的控制方式按钮,同期方式转换开关、励磁方式转换开关实现不同的控制方式。

(4) 监测仪表单元

监测仪表单元采用模拟式仪表,测量信号为交流、直流信号。包括 3 只交流电压表、3 只交流电流表、1 只频率表、1 只三相有功功率表、1 只三相无功功率表、2 只直流电压表、2 只直流电流表、1 只同期表。

同期表用于监测发电机开关两侧的压差、频差和相差。

除同期表外,其他仪表测量如下电量参数:原动机电压、原动机电流;发电机电压、发电机频率、开关站电压、发电机 A、B、C 相电流;发电机有功功率、发电机无功功率;系统电压、励磁电压和励磁电流。其中 3 只交流电压表可通过电压切换开关切换显示不同的三相线电压和三相相电压,各测量仪表的量程和精度等级见表 1.1。

表 1.1 测量仪表参数表

序号	仪表名称	量 程	精 度
1	原动机电压	DC 0 ~ 250 V	1.5
2	原动机电流	DC 0 ~ 15 A	1.5
3	发电机电压	AC 0 ~ 450 V	1.5
4	发电机频率	45 ~ 55 Hz	5.0
5	开关站电压	AC 0 ~ 450 V	1.5

续表

序号	仪表名称	量 程	精 度
6	发电机 A 相电流	AC 0 ~ 5 A	1.5
7	发电机 B 相电流	AC 0 ~ 5 A	1.5
8	发电机 C 相电流	AC 0 ~ 5 A	1.5
9	发电机有功功率	0 ~ 4 kW	2.5
10	发电机无功功率	-4 ~ 4 kV · A	2.5
11	系统电压	0 ~ 450 V	1.5
12	励磁电流	DC 0 ~ 10 A	1.5
13	励磁电压	DC 0 ~ 80 V	1.5
14	同期表		

注:各仪表请不要超量程使用,以免损坏设备。

(5) 设置单元

设置单元包括同期开关时间设置、短路故障类型设置及短路时间设置。

①同期开关时间设置。采用欧姆龙时间继电器延时来模拟断路器的合闸时间。延时时间范围可根据需要整定,配合微机准同期装置使用。看清楚“sec(秒)”和“min(分)”的选择以及对应的“×1”和“×10”的选择,并将微机线路保护装置整定好。

②短路类型的选择与操作。短路类型共有单相接地、两相短路、两相短路接地和三相短路 4 种,通过“操作面板”上与模拟接线图结合在一起的 4 个名为“A 相”“B 相”“C 相”“N 相”的自锁按钮分别操作 4 个开关,使其接通或断开,便可组合出上述 4 种短路类型来。

这 4 个自锁按钮的特点是:按下按钮,按钮自锁,其红色指示灯亮,代表对应的开关被投入;再按一下按钮,使其弹起复位且指示灯灭,表示对应的开关被断开,也就是说,自锁按钮的按动可以产生两个控制动作。

③短路发生的操作。从“操作面板”的模拟图上可以看到,由于“短路”开关并未投入,因此,短路故障尚未“发生”。

发生短路是在调整好实验电力系统的运行状态以后才出现的,因此,此项操作也是在调整好电力系统进行短路实验所要求的运行状态(例如发电机输出的有功、无功、电压、无穷大系统电压等)后才做的。

“短路”按钮是一个自复位按钮,当按下“短路”按钮,表示短路开关投入,即发生短路故障(在短路类型选择已完成的前提下)。短路故障发生后,启动“短路时间”继电器,达到整定时间后自动切除故障。故在按下“短路”按钮之前一定要整定好“短路时间”,看清楚

“sec(秒)”和“min(分)”的选择以及对应的“ $\times 1$ ”和“ $\times 10$ ”的选择,并将微机线路保护装置整定好。

注意事项:

①电力系统的故障一般都是以“秒”为单位,故障时间继电器应选择“sec”的位置,当量程选为($\times 1$)时即最大故障时间为1”;当量程选为($\times 10$)时,则最大故障时间为10”。

②故障时间的整定一定要与微机线路保护的整定相配合。

③当操作失误故障无法消除时,可迅速将已选择的故障类型开关复位,使“A相”“B相”“C相”“N相”开关均复位,即“短路”开关无法真正工作。

(6) 电源单元

电源单元包括电源开关、原动机开关、励磁开关、手动励磁调压器。

①实验台电源开关。在实验台左侧有一个微型断路器:三相4P电源空开(D32A)。

②原动机开关和励磁开关。操作实验台左下角的原动机开关红色“合闸”按钮或绿色“分闸”按钮,可投入或切除原动机整流变压器一次侧开关。按下“合闸”按钮,红色按钮指示灯亮,表示接通;按下“分闸”按钮,绿色按钮指示灯亮,表示断开。

操作实验台右下角的励磁开关红色“合闸”按钮或绿色“分闸”按钮,可投入或切除励磁变压器一次侧开关。按下“合闸”按钮,红色按钮指示灯亮,表示接通;按下“分闸”按钮,绿色按钮指示灯亮,表示断开。

③手动励磁调压器。在实验台右下方有一个单相调压器,该调压器用于给发电机手动励磁提供电源,顺时针增大,逆时针减小。

(7) 实验平台的自动装置

输电线路采用具有中间开关站的双回路输电线路模型,并对其中一段线路设有“YHB-A微机保护装置”,此线路的过流保护还具有单相自动重合闸功能。

功率调节和同期单元由“TGS-03B微机调速装置”“WL-04B微机励磁调节器”“HGWT-03B微机准同期控制器”等微机型的自动装置和其相对应的手动装置组成。各控制装置使用说明见附录1—附录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 kV·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“单机一无穷大”的简单电力系统,并且可以定性地、反复地、直观地实验,以及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养和训练。