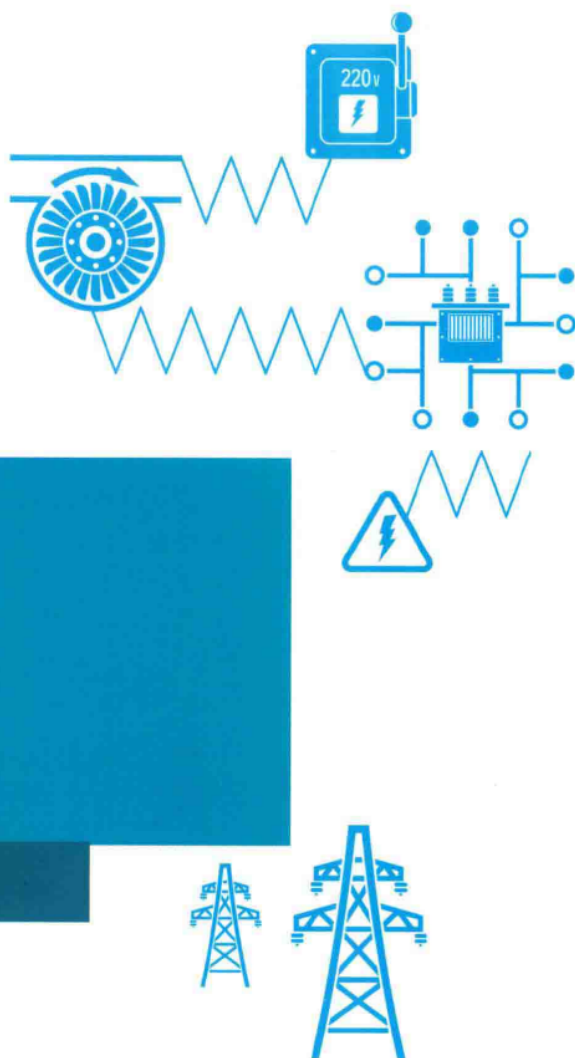


校企(行业)合作
系列教材

DIANLI XITONG
SHIYAN ZHIDAO

电力系统 实验指导

林亚君 ◎ 主编



厦门大学出版社 国家一级出版社
XIAMEN UNIVERSITY PRESS 全国百佳图书出版单位

合作

■ 系列教材



电力系统实验指导



林亚君 © 主编



厦门大学出版社
XIAMEN UNIVERSITY PRESS

国家一级出版社
全国百佳图书出版单位

图书在版编目(CIP)数据

电力系统实验指导/林亚君主编. —厦门:厦门大学出版社, 2018. 12
ISBN 978-7-5615-7117-0

I. ①电… II. ①林… III. ①电力系统—实验 IV. ①TM7-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 250105 号

出 版 人 郑文礼
策划编辑 张佐群
责任编辑 郑 丹
封面设计 蒋卓群
技术编辑 许克华

出版发行 厦门大学出版社
社 址 厦门市软件园二期望海路 39 号
邮政编码 361008
总 编 办 0592-2182177 0592-2181406(传真)
营销中心 0592-2184458 0592-2181365
网 址 <http://www.xmupress.com>
邮 箱 xmupress@126.com
印 刷 厦门集大印刷厂

开本 787 mm×1 092 mm 1/16
印张 8.75
插页 1
字数 146 千字
版次 2018 年 12 月第 1 版
印次 2018 年 12 月第 1 次印刷
定价 32.00 元

本书如有印装质量问题请直接寄承印厂调换



厦门大学出版社
微信二维码



厦门大学出版社
微博二维码

前 言

本书以引进浙江求是公司的“EAL-II 电力系统自动化实验装置”为契机,结合电力系统分析的基本理论进行编写,作为电力系统分析、电力系统继电保护课程的教学实验编写的实验指导书。

EAL-II 电力系统自动化实验装置中的微机准同期装置、微机励磁系统、微机调速系统采用 Cortex-M3 核的 STM32F103 芯片为控制核心,软件核心控制部分基于 UCOS II 的实时操作系统编写而成,人机交互界面由触摸屏构成,装置除可适用于电力、电气类各专业本科生相关课程的教学实验以外,还可用于本、专科的课程设计实验,并可作为研究生和教师的产品开发及电力系统工程技术人员培训的工作平台。

全书分为五章,前四章主要内容为电力系统综合自动化实验平台简介、发电机组的运行、同步发电机准同期并列运行、电力系统分析综合实验。第五章为电力系统分析课程设计,通过课程设计的示例帮助学生初步掌握工程设计的过程和编程方法。

本书可作为高等学校电气工程及自动化专业继电保护实验课程教学实验指导书,也可作为电力技术类相关专业高职高专学生的实验指导书,同时还可作为电力工程人员的参考书。

本书在编写过程中参考了许多相关的教材、手册、专著,在此向所有作者表示诚挚的谢意!

由于编著者学识水平有限,书中可能存在不足和错漏之处,敬请使用本书的广大师生和工程技术人员指正。

编著者

2018 年 5 月

目 录

第一章	电力系统综合自动化实验平台简介	1
第一节	电力系统综合自动化实验平台构成	2
第二节	实验的基本要求	7
第三节	实验的安全规程和安全操作说明	10
第二章	发电机组的运行	13
第一节	发电机组的起动与运转实验	14
第二节	同步发电机空载实验	21
第三节	同步发电机 V 形曲线测定实验	26
第四节	发电机外特性实验	33
第三章	同步发电机准同期并列运行	37
第一节	自动准同期条件测试实验	38
第二节	压差、频差和相差闭锁与整定实验	45
第三节	手动准同期并网实验	52
第四节	半自动准同期并网实验	58
第五节	自动准同期并网实验	63
第四章	电力系统分析综合实验	69
第一节	单机-无穷大系统稳态运行	70
第二节	电力系统双电源单回路稳态非全相运行实验	77
第三节	电力系统功率特性和功率极限实验	83
第四节	电力系统暂态稳定实验	93
第五节	电力系统无功调节特性实验	102

第五章 电力系统分析课程设计..... 110

第一节 基于 Matlab 的电力系统潮流分析 111

第二节 三相短路起始暂态电流的计算机算法..... 119

第三节 基于 Simulink 的电力系统暂态稳定性分析 125

第一章 电力系统综合自动化实验平台简介

电力系统综合自动化实验平台是一套集多种功能于一体的综合型实验装置,展示了现代电能发出和输送全过程的工作原理。在实验平台上既能完成独立机组的性能测试,也能进行专业知识的综合性研究,便于学生运用所学的知识进行理论性验证,可以较好地培养学生的实际动手能力、综合应用能力和创新能力。

电力系统分析的课程实验是在电力系统综合自动化实验平台上完成的。通过电力系统综合自动化实验平台的各种操作实验,学生可以更好地掌握电力系统稳态运行与暂态过程的基本原理和运行特性,进一步加深对电力系统分析理论的理解,培养、提高独立动手能力和分析、解决问题的能力。

本章主要介绍电力系统综合自动化实验平台的主要单元及其原理、实验的基本要求和安全操作说明。

第一节 电力系统综合自动化实验平台构成

EAL-II 电力系统综合自动化实验平台由 EAL-II 电力系统综合自动化实验台(简称“实验台”)、EAL-II 电力系统综合自动化控制柜(简称“控制柜”)、发电机组等组成。下面介绍电力系统综合实验平台的构成部分。

一、电力系统综合自动化实验台

实验台包括以下五个单元。

(一)输电线路单元

采用双回路输电线路,每回输电线路分两段,并设置有中间开关站,可以构成四种不同的联络阻抗,还可以通过连接多个实验台进行组网运行。输电线路的具体结构如图1-1 所示。

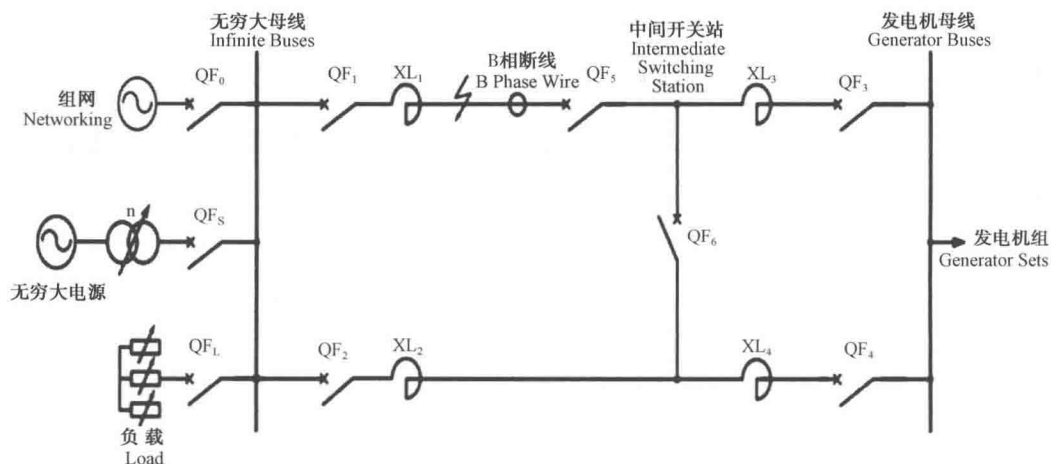


图 1-1 单机-无穷大系统电力网络结构图

输电线路分“可控线路”和“不可控线路”,线路有 XL_1 、 XL_2 、 XL_3 、 XL_4 ,可以切换成不同的线路,在线路 XL_1 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(操作绿色按钮表示启动,操作红色按钮表示断开)。

(2)“可控线路”的操作。

在“可控线路”上预设有短路点和非全相运行控制点,并在该线路上装有“微机线路保护装置”,通过控制 QF_1 和 QF_5 可实现过流保护,并具备自动重合闸功能。 QF_1 和 QF_5 上的两组指示灯亮或灭分别代表 QF_1 和 QF_5 的 A 相、B 相和 C 相的三个单相开关的合或分状态。

(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。

如果设置了中间开关站,即通过开关 QF_6 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_1 上发生短路,保护将 QF_1 和 QF_5 切除,线路总阻抗也只增大 $2/3$,与无中间开关站相比,这将提高暂态稳定性。中间开关站线路的操作同“不可控线路”。

(4)实验台面板左下方还设置了可改变的负载,可以通过负载切换开关来切换负载 LD_1 、 LD_2 、 LD_3 , QFR 是控制总负载的开关,要投入负载时先闭合 QFR 。

(二)监测仪表单元

采用模拟式仪表,测量信号为交流信号。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 只三相无功功率表和 1 只功率因数表。

仪表测量如下电量参数:发电机定子电压、电流和频率;输电线路发电机侧(送端)和无穷大系统侧(受端)的有功功率、无功功率和功率因数;开关站电

压;无穷大系统侧电压和频率。各测量仪表的量程和精度等级见表 1-1。

注:各仪表请不要超量程使用,以免损坏设备。

表 1-1 实验台各仪表量程和精度

序号	仪表名称	量程
1	发电机电压表	0~450 V
2	发电机频率表	45~55 Hz
3	开关站电压表	0~450 V
4	A 相电流表	0~10 A
5	B 相电流表	0~10 A
6	C 相电流表	0~10 A
7	有功功率表	0~3 kW
8	无功功率表	-1~3 kVar
9	功率因数	超前 0.5~滞后 0.5
10	系统电压表	0~450 V

(三)短路故障设置单元

实验台面板右下方有短路类型设置模块,此单元用来在输电线路设置短路故障,设置短路只需投入相应的按钮。可以设置单相对地、两相对地、相间短路和三相短路故障。

(四)无穷大系统

无穷大系统由交流 380 V 市电经 15 kV·A 自耦变压器组成。通过调整自耦变压器的电压可以改变无穷大系统的电压。

(五)外围设备接口单元

外设接口分布在实验台的右侧和背面,右侧为电源插头,背面有三个航空插头,具体有四芯航空插头为组网连接插头,26 孔芯航空插头为微机保护连接插头,26 针芯航空插头为控制柜连接插头。

二、EAL-II 型电力系统综合自动化控制柜

控制柜包括以下五个单元。

(一)测量仪表单元

采用指针式测量仪表,包括 1 只直流电压表、2 只直流电流表和 1 只交流电压表。可测量如下电量参数:原机电枢电流、发电机励磁电压、发电机励磁电流和电源电压。各测量仪表的量程见表 1-2。

注:各仪表请不要超量程使用,以免损坏设备。

表 1-2 控制柜各测量仪表量程

序号	仪表名称	量程
1	电源电压表	0~450 V
2	原机电枢电流表	0~25 A
3	发电机励磁电压表	0~300 V
4	发电机励磁电流表	0~10 A

(二)原动机控制单元

QSTSXT-Ⅱ(微机调速系统)的具体功能如下:

(1)提供原机电枢电压。

(2)并网前,测量并调节原动机转速;并网后,调节原动机的有功功率输出。

(3)具有三相电源相序判断、电源欠压、电源过压、电源过流、电枢过压、电枢过流、超速、失磁 8 种保护措施。

注:由于保护操作是停机,因此有些保护在并网时退出。

(三)发电机励磁单元

QSLCXT-Ⅱ(微机励磁系统)的具体功能如下:

(1)提供发电机励磁电压。

(2)采用 PI 调节,具有恒 U_g (发电机端电压),恒压精度为 $0.5\% U_{gN}$ (发电机额定电压)。

(3)能够测量三相电压、电流、有功功率、无功功率、励磁电压和励磁电流等电量参数;具有恒 α 角、恒励磁电流 I_L 、恒发电机电压 U_g 三种调节功能;具有过励限制、欠励限制、伏赫限制、调差和强励功能;具有在线修改控制参数的

功能。

(四)准同期单元

QSZTQ-II(微机准同期系统)能实时显示发电机电压、系统电压、压差、频差,并网后显示实测导前时间和功角。具有在线整定和修改频差、压差允许值和导前时间等参数的功能;具有波形观测孔,可观察三角波的位置、发电机电压波形、系统电压波形和矩形波波形等,控制并网合闸接触器。

(五)微机线路保护单元

采用微机线路保护装置,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。

三、发电机组

直流电动机和同步发电机经联轴器软连接后,固定在底盘上,机组的底盘装有四个轮子和四个螺旋式的支撑脚,构成可移动式机组,方便移动,同时,发电机组还装有光电编码器,电机参数可以查看铭牌商标。

第二节 实验的基本要求

EAL-II 型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,学生必须集中精力,及时认真做好实验。现按实验过程提出下列具体要求。

一、实验前的准备

实验准备即实验的预习阶段,是保证实验能够顺利进行的必要步骤。每次实验前都应做好预习,这样才能对实验目的、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:

(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:

(一) 预习报告完整, 熟悉设备

实验开始前, 指导老师要检查学生的预习报告, 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做详细介绍, 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。

(二) 建立小组, 合理分工

每次实验都以小组为单位进行, 每组由 5~10 人组成。实验进行中, 机组的运行控制、数据记录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。

(三) 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。

(四) 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, 应根据实验步骤逐次测取数据。

(五) 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

实验总结是实验的最后阶段, 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, 对于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, 不得随意修改实验数据和结果, 而应运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和同学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) 每次实验每人应独立完成一份报告, 按时送交指导老师批阅。

第三节 实验的安全规程和安全操作说明

一、安全操作的规程

为了顺利完成电力系统综合实验台的全部实验,确保实验时人身安全与设备的安全可靠运行,实验设备通电前,实验人员必须仔细阅读实验台的简介内容和实验内容的注意事项。实验前应学习相关实验的理论和充分了解实验的内容,第一次使用设备的人员必须阅读实验设备各功能部件的操作原理。实验过程中必须认真按照实验步骤进行。实验人员必须严格遵守如下安全规程。

(1)在进行实验前,必须详细掌握各实验设备的操作方法。

(2)实验过程中,绝不允许实验人员触摸自耦调压器的输入、输出接线端子,否则人体将触电,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。

(3)实验人员必须首先完成本实验台的各种微机装置的基本操作实验,才可以进行系统实验,否则会由于对微机装置的错误操作,引起设备的损坏。

(4)发电机组与系统间的解列操作,必须保证发电机组 $P=0, Q \approx 0$ 。因为如果发电机的出力很大,直接断开并网断路器,将使得断路器触点产生较强的“拉弧”现象,可能直接损坏断路器或缩短断路器的使用寿命,因此要先减小发电机的出力,使发电机组的有功功率 $P=0$,无功功率 $Q \approx 0$ 。

(5)微机准同期装置、微机调速装置和微机励磁装置在实验过程中出现了设备问题,应立即停止实验,进行检修。

(6)每次实验前一定要检查微机准同期装置、微机励磁装置和微机线路保护装置是否为原始设置状态。如果不是,应立即修改相关设置。因为实验装

置的原始设置状态是为大多数实验内容而设计的,只有在特定实验中才需要改变其设置参数,每次修改参数后,在实验完成后要改回原始设置,为下次实验做准备,同时每次实验前也应检查各参数的设置情况。

二、安全操作的说明

(一)插座的使用

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,原因有二:

(1)该插座容量要求 16 A,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,微机调速装置将弹出告警提示,如若强行做并网实验,会对仪表和发电机组产生冲击,严重时可能导致设备损坏。

(二)通电时的操作

依次合上实验台上总电源开关、三相电源开关、单相电源开关空载合线路上的断路器 QF。

1.停电时的操作

依次断开实验台上的(空载)线路上的断路器 QF、单相电源开关、三相电源开关、总电源开关。

2.开电源前

调整实验台上的切换开关的位置,确保三个电压指示为同一相电压或线电压;发电机运行方式选择并网运行开关的位置;发电机励磁方式选择自动励磁(手动励磁)开关的位置;励磁电源选择他励(自并励)开关的位置;并网方式选择手动同期(自动同期)开关的位置等。

3.微机自动装置

对于微机准同期装置、微机调速装置和微机励磁装置,必须了解微机装置的参数设置内容和所需设置参数的范围,并进行选择性设置、选取参数。

4.发电机组起动、建压、并网、双回线输电的操作

发电机组起动合上原动机断路器,通过微机调速器自动起动发电机组至