

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

电力系统综合自动化实训/实验指导书

DIANLI XITONG ZONGHE ZIDONGHUA SHIXUN/SHIYAN ZHIDAOSHU

主 编 胡 敏 宋乐鹏 马 伟

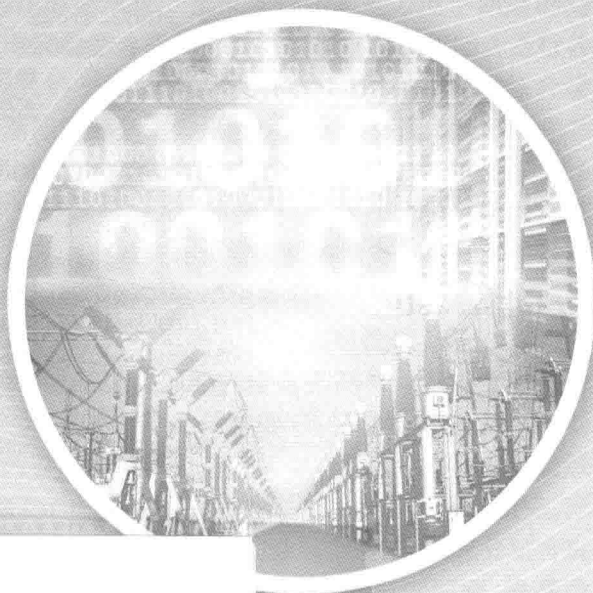


重庆大学出版社
<http://www.cqup.com.cn>

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

电力系统综合自动化实训/实验指导书

主 编 胡 敏 宋乐鹏 马 伟



重庆大学出版社

内容提要

本书主要以 FULKE 实验仪器、发电厂变电站虚拟仿真软件以及风光互补设备为基础,内容分为实验和实训两大部分。实验部分是针对电能质量分析仪及新能源风光互补设备进行编写的。其中实验一到实验四是电能质量参数的验证性实验,实验五到实验七是电能质量控制的综合设计性实验。实验八到实验十是利用风光互补设备熟悉相应特性与参数的验证性实验。实训篇主要由两个实训任务组成。实训一利用虚拟仿真设备模拟 600 MW 的火电机组及 220 kV 的变电站进行操作;实训二在风光互补设备中利用 PLC 编程进行操作。

本书原理阐述简明扼要,实验方法突出、可操作性强,适用于高等学校电力工程类师生使用,也可供应用型类本科及高职高专类电气工程类,以及相关专业类师生使用,同时还可作为非电气行业(如热动专业、新能源专业等)初学者、部分电气从业人员的岗前培训教材和学习参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电力系统综合自动化实训/实验指导书/胡敏,宋乐鹏,马伟主编. —重庆:重庆大学出版社,2016.9
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 978-7-5624-9975-6

I. ①电… II. ①胡…②宋…③马… III. ①电力系
统一自动化—高等学校—教学参考资料 IV. ①TM76

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 158174 号

电力系统综合自动化 实训/实验指导书

主 编 胡 敏 宋乐鹏 马 伟
副主编 余德均 许弟建 张海燕 罗 平
策划编辑:周 立
责任编辑:文 鹏 版式设计:周 立
责任校对:关德强 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行
出版人:易树平
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
重庆华林天美印务有限公司印刷

*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:10 字数:250千
2016 年 9 月第 1 版 2016 年 9 月第 1 次印刷
印数:1—2 000
ISBN 978-7-5624-9975-6 定价:25.00 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

本书是综合了电气工程专业及能源与动力专业中《电力工程》《电力系统自动化》《发电厂变电站电气设备》《电能质量及控制技术》《供配电技术》《新能源风光互补技术》《电力电子技术》《测控技术》等专业课程,编写出来的相关实验及实训教材,可以适应目前的普通型本科院校、应用型本科院校及高职高专学校的教学需求;同时也可作为本科院校及高职高专院校进行课外比赛设计的参考书籍。

实验及实训教学是高等理工科学校的主要环节之一,它在培养学生的实际操作、分析和解决问题的能力方面起着极其重要的作用;实训课程还肩负着综合运用所学基础和专业知识的重任。

本实验指导书主要包括实验和实训两大部分。实验部分针对电能质量分析仪及新能源风光互补两种设备进行编写,主要内容是利用电能质量分析仪进行不同电力电子回路的测试分析,利用电能质量分析仪与专用模拟电路板相结合进行各种电能质量现象的实验分析;利用 MATLAB 软件进行综合设计性实验;在新能源部分主要是利用风光互补设备观察与熟悉相应的特性和参数。实训部分是利用虚拟仿真软件模拟 600 MW 的火电机组及 220 kV 的变电站,通过现场过程的模拟操作,让学生熟悉电力系统在正常及故障状态下各种开关设备的使用过程;实训部分的内容还包括利用风光互补设备中逆变及测试等电力电子相关技术进行 PLC 编程控制。

本实验指导书提供多种实验或实训项目。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,项目内容较多的可以选做其中一部分;另外,在实验或实训课中可将若干部分实验内容组合成一个课题深入研究,充分发挥学生在科学实践方面的主动性和创造能力,充分结合应用型本科教学要求“实际与理论相结合”的教学原则,提高教师实验教学水平和质量。

本书实验篇中,实验一到实验三由重庆科技学院马伟编写,实验五到实验十由重庆科技学院宋乐鹏、朱建渠编写;实训篇中,实训一由重庆科技学院胡敏、张义辉、严利、许第建、庄凯

编写,实训二由重庆大学城市科技学院罗平编写,实训三由重庆能源职业学院余德均编写,实训四由重庆电力高等专科学校熊隽迪编写;附录由重庆科技学院胡敏、张海燕编写。全书由胡敏、张海燕统稿,由重庆科技学院官正强教授主审。

本实验指导书图片丰富,内容实用,在编写过程中,凝聚了许多同仁的辛勤汗水,相关学校电气工程以及能源专业的同仁们也提出不少改进意见,在此表示衷心的感谢。此外,在编写过程中曾引用若干参考文献及互联网上的素材,编者们在谨此向文献的作者与网络素材提供者致谢。由于编写者水平有限,加之时间仓促,错误和不足之处在所难免,敬请读者指正。

编 者

2016 年 3 月

目 录

实验篇

实验一 二极管整流电路谐波检测实验	1
一 实验目的	1
二 实验原理	1
三 实验内容与步骤	3
四 实验报告要求	3
五 思考题	3
实验二 功率因数校正电路谐波测量实验	4
一 实验目的	4
二 实验原理	4
三 实验内容与步骤	5
四 实验报告要求	6
五 思考题	6
实验三 晶闸管整流电路谐波检测实验	7
一 实验目的	7
二 实验原理	7
三 实验内容与步骤	8
四 实验报告要求	8
五 思考题	9
实验四 典型电能质量现象模拟测试实验	10
一 实验目的	10
二 实验原理	10
三 实验内容与步骤	10
四 实验报告要求	13
五 思考题	13

实验五 系统故障对电能质量影响的仿真设计	14
一 设计目的	14
二 设计要求	14
三 设计参考电路	14
四 设计报告要求	15
实验六 无功补偿对电能质量影响的仿真设计	16
一 设计目的	16
二 设计要求	16
三 设计参考电路	16
四 设计报告要求	17
实验七 电流/电压谐波的数学方法仿真设计	18
一 设计目的	18
二 设计要求	18
三 设计参考电路	18
四 设计报告要求	19
实验八 太阳能跟踪系统能量转换实验	20
一 实验目的	20
二 实验模块	20
三 实验原理	20
四 实验内容与步骤	21
五 实验报告要求	25
六 思考题	25
实验九 新能源给直流负载供电特性试验	26
一 实验目的	26
二 实验模块	26
三 实验原理	26
四 实验内容与步骤	27
五 实验报告要求	31
六 思考题	31
实验十 风光互补发电系统实验	32
一 实验目的	32
二 实验模块	32
三 实验原理	32

四 实验内容与步骤.....	33
五 实验报告要求.....	35
六 思考题.....	35

实训篇

实训一 600 MW 发电机组系统仿真	36
任务一 机组启机.....	36
活动一 厂用电系统送电.....	36
活动二 发电机并网及厂用电快切.....	41
任务二 倒闸操作.....	44
活动一 35 kV 变电站倒闸操作	44
活动二 110 kV 变电站倒闸操作	47
活动三 220 kV 变电站倒闸操作	49
任务三 故障处理.....	53
活动一 10 kV(6 kV) 母线故障处理	53
活动二 电力线路故障处理.....	58
活动三 变压器故障处理.....	64
活动四 发电机故障处理.....	68
实训二 风光互补发电技术.....	73
任务一 检测技术.....	73
活动一 风速的测量.....	73
活动二 谐波测量.....	76
活动三 频率和周期的测量.....	79
活动四 电阻应变片特性及应用实验.....	81
任务二 逆变技术.....	84
活动一 用示波器观察 SPWM	84
活动二 调制比对逆变器输出的影响.....	85
活动三 载波比对逆变器输出的影响.....	86
活动四 死区时间对逆变器输出的影响.....	87
任务三 风光发电技术.....	90
活动一 光伏电池光源跟踪设备组装.....	90
活动二 光伏电池光源跟踪 PLC 程序设计	93
活动三 光伏电池的输出特性测试	100
活动四 基于 DSP 的蓄电池充电	105
活动五 逆变器特性参数测试	111
活动六 监控系统组态设计	114

附 录

附录一	Fluke 435-II 电能质量分析仪功能介绍	119
附录二	虚拟仿真软件简介	124
附录三	变电站(发电厂)工作票格式简介	127
A	变电站(发电厂)第一种工作票格式	127
B	变电站(发电厂)第二种工作票格式	130
C	变电站(发电厂)带电作业工作票格式	132
D	变电站(发电厂)事故应急抢修单格式	134
E	电力线路第一种工作票格式	135
F	电力线路第二种工作票格式	137
G	电力线路带电作业工作票格式	139
H	电力线路事故应急抢修单格式	140
I	电力电缆第一种工作票格式	141
J	电力电缆第二种工作票格式	146
附录四	MATLAB/SIMULINK 软件简介	149
参考文献		151

实验篇

实验一 二极管整流电路谐波检测实验

一 实验目的

- (1) 了解和掌握二极管整流电路的工作过程；
- (2) 了解和掌握二极管整流电路的电容和电阻对电能质量的影响。

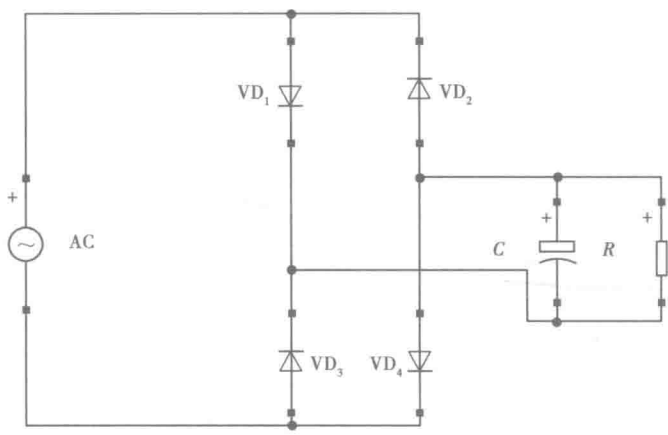
二 实验原理

常用的二极管整流电路输入电压为交流电,经过二极管整流和直流电容滤波得到脉动很小的直流电压。在本次实验中,为了便于实验,负载使用功率电阻。实验使用的二极管整流电

路如实验图 1.1 所示。交流电压源 AC 提供交流电源,经过 VD_1 - VD_4 四个二极管整流后,再经过电容 C 滤波。由于本实验的目的在于分析电容对电能质量的影响,所以应当使得交流电压源 AC 的电流为非正弦脉冲波。这样就规定了整流电路的时间常数(电阻 R 和电容 C 之乘积)比交流电压源的周期大,即

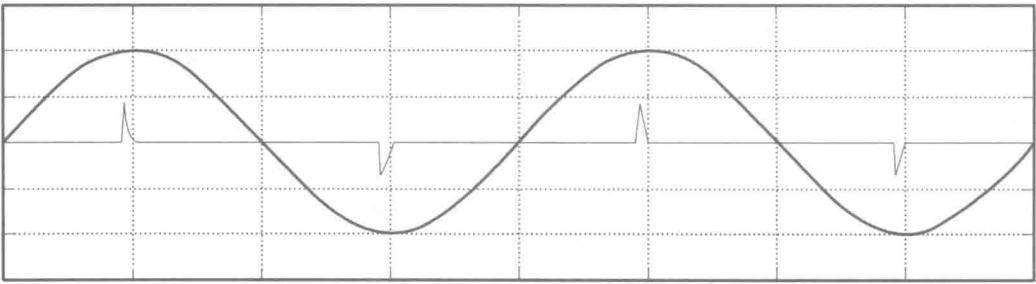
$$RC \geq T$$

式中, T 为交流电压源的周期。一般要使得时间常数为交流电压源周期的数十倍。此时电容两端的电压为脉动很小的直流电压,二极管只在交流电压峰值附近才导通,只有在二极管导通时,交流电压源 AC 才输出电流。交流电压源 AC 的电压和电流波形示意图如实验图 1.2 所示。图中实线为电压,虚线为电流。此时电压为正弦波而电流为非正弦波,所以功率因数比 1 小。



实验图 1.1 二极管整流电路接线图

通过实验室的电能质量分析仪来测量电路的功率因数,需要同时测量交流电压和电流,根据仪器的选项选择测量功率因数,得到功率因数的数值。同时还可观察电压和电流的实际波形,并把它们和实验图 1.2 中的波形进行比较。



实验图 1.2 交流电压源输出电压和电流示意图

三 实验内容与步骤

1. 观察和测量电容对功率因数的影响

在实验中,电容对功率因数有很大影响。电容和电阻之乘积决定了时间常数,而时间常数的变化会引起交流电压源输出电流的变化,进一步影响功率因数。

首先把仪器和二极管整流电压连接,观察整流电路中的交流电压源 AC 的电压和电流,调整电容 C 的数值,使得时间常数为交流电压源 AC (50 Hz) 的周期 T 的 10%、50%、100%、200% 和 1 000%。观察交流电压源 AC 的电压和电流波形,记录功率因数于实验表 1.1 中。

实验表 1.1 电容 C 对功率因数的影响

电容 C						
时间常数						
功率因数						

2. 观察和测量电阻对功率因数的影响

按第一步的方法进行操作,只是将其中的电容 C 改成电阻 R 。记录各数据于实验表 1.2 中。将第一步的结果与第二步进行比较和分析。

实验表 1.2 电阻 R 对功率因数的影响

电阻 R						
时间常数						
功率因数						

四 实验报告要求

- (1)整理实验数据,找到电容和电阻的变化对功率因数影响的趋势,并对实验结果进行理论分析。
- (2)比较电容和电阻变化时交流电压源 AC 的输出电压和电流的波形图。

五 思考题

- (1)时间常数对功率因数的趋势怎样?
- (2)电容 C 的电压频率是多少?

实验二

功率因数校正电路谐波测量实验

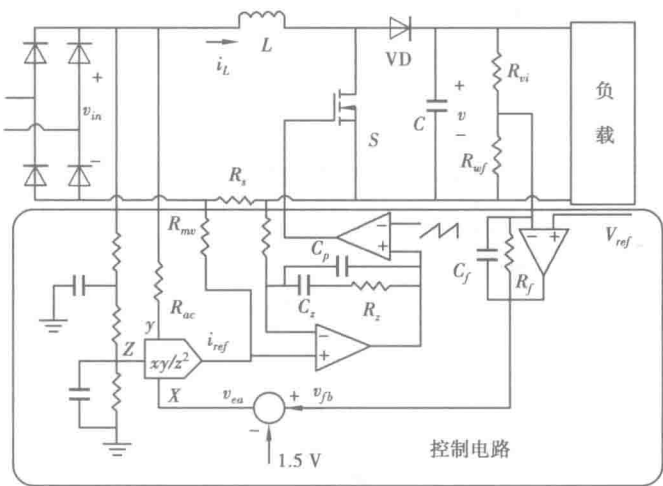
一 实验目的

- (1) 了解和掌握功率因数校正电路的工作过程;
- (2) 了解和掌握功率因数校正对电能质量的影响。

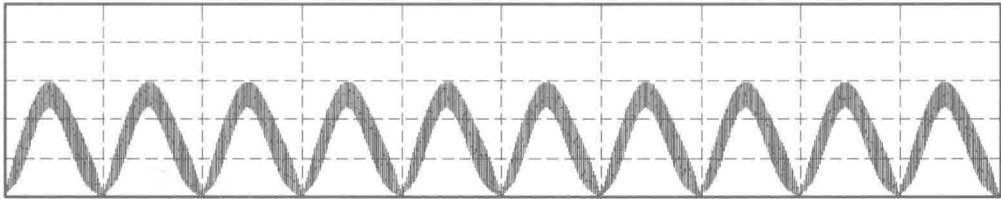
二 实验原理

实验一的二极管整流电路中,由于交流电压源输出的电流为非正弦波,所以电路功率因数比 1 小。为了提高功率因数,在二极管之后接入功率因数校正电路。一种广泛使用的 Boost 功率因数校正电路如实验图 2.1 所示。这个电路在整流二极管和负载之间增加了电感 L 、二极管 VD 和功率 MOSFET 管 S 这几个元件。电感的特点在于流过它的电流不能突变,功率因数校正电路利用了电感的这个特点。在实验图 2.1 中的控制电路作用下,功率 MOSFET 管 S 经过适当的导通和关断过程,在电感 L 中流过的电流轮廓成为和交流电压源同频率、同相位的正弦波形,波形示意图如实验图 2.2 所示。电感 L 的电流就是交流电压源的电流,由于它和电压同频率同相位,因此电路的功率因数得到了提高,一般情况下这个电路的功率因数非常接近 1。

通过实验室的电能质量分析仪来测量电路的功率因数和 THD,根据仪器的选项选择测量功率因数,得到功率因数的数值。同时还可观察电压和电流的实际波形,并把它们和实验图 2.2 中的波形进行比较。



实验图 2.1 功率因数校正电路示意图



实验图 2.2 电感电流示意图

三 实验内容与步骤

1. 测量功率因数和 THD

在实验图 2.1 所示的电路中, 电容 C 对功率因数有很大影响, 调节 C 可以改变功率因数和 THD 。首先把仪器和功率因数校正电路连接, 观察交流电压源的电压和电流, 调整电容 C 取值, 把功率因数和 THD 记录于实验表 2.1 中。

实验表 2.1 电容 C 对功率因数的影响

电容 C						
功率因数						
THD						

2. 观察电压和电流波形

观察电容 C 取不同值的情况下交流电压源电压和电流波形, 预判功率因数的变化趋势, 并和仪器测得的功率因数比较。

四 实验报告要求

- (1) 整理实验数据,找到电容的变化对功率因数影响的趋势。
- (2) 比较电容变化时交流电压源电压和电流的波形图。

五 思考题

- (1) 电容 C 如何影响功率因数?
- (2) 电感电流的频率是多少?

实验三

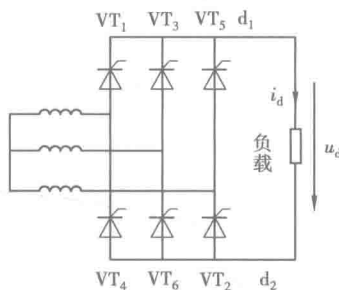
晶闸管整流电路谐波检测实验

一 实验目的

- (1) 了解和掌握晶闸管整流电路的工作过程;
- (2) 了解和掌握晶闸管整流电路触发角对电能质量的影响。

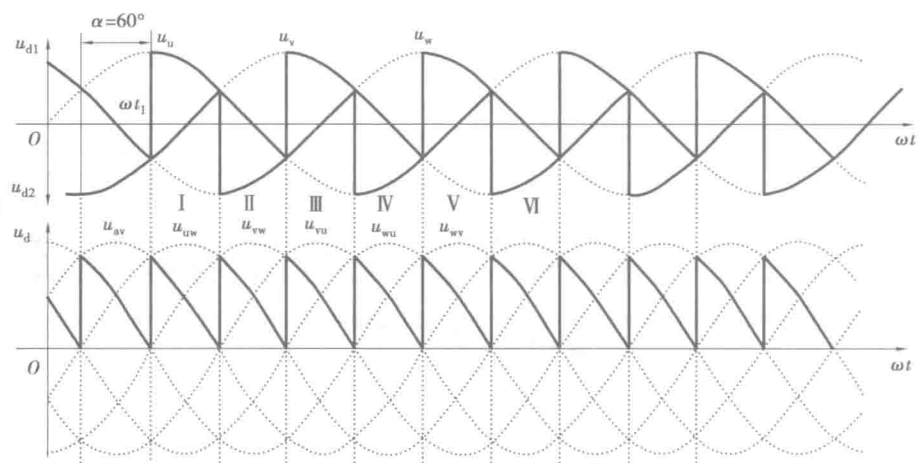
二 实验原理

本实验采用实验室已有的晶闸管整流电路,它是一个三相整流电路,如实验图 3.1 所示,由晶闸管 VT_1 — VT_6 对三相电源进行整流。最简单的情况下,负载是阻性负载。



实验图 3.1 三相晶闸管整流电路接线图

根据所学的知识,晶闸管需要触发脉冲才能工作,本实验设备面板有调节触发角的旋钮。根据三相晶闸管整流电路工作原理,没有触发脉冲时,晶闸管不导通,负载电阻当中没有电流,两端电压为零;有合适的触发脉冲时,晶闸管导通,电流流过晶闸管和负载电阻。触发角 60° 时负载电阻的电压示意图如实验图 3.2 所示。三相电源输出电流和电阻电压波形类似,因此不是正弦波的电流导致功率因数较低。



实验图 3.2 晶闸管整流电路输出电压示意图

三 实验内容与步骤

首先把仪器和晶闸管整流电路连接,测量晶闸管整流电路中的三相交流电压源的电压和电流,实验图 3.3(a) 为测量 B 相电压和电流接线示意图。测量三相电压的接线如实验图 3.3(b) 所示。改变触发角的大小,记录每个触发角相应的功率因数和 THD 填写于实验表 3.1 中。

实验表 3.1 触发角 α 对功率因数的影响

触发角 α						
功率因数						
THD						

四 实验报告要求

- (1) 整理实验数据,总结触发角的变化对功率因数的影响,并对实验结果进行理论分析。
- (2) 比较三相交流电压源的输出电压和电流的波形图。