


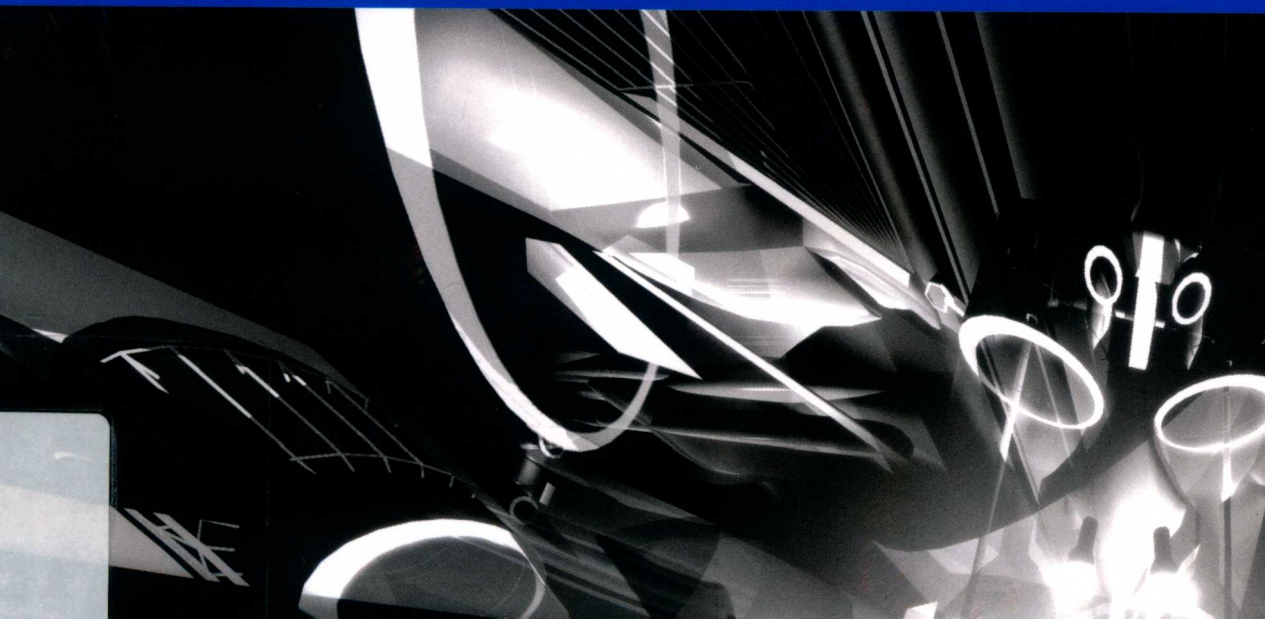
高等学校电子信息类专业  
“十三五”规划教材

*ELECTRONIC*  
*INFORMATION SPECIALTY*

# 开关电源原理与应用设计 实验教程

主编 王水平 周佳社 王新怀

 西安电子科技大学出版社  
<http://www.xduph.com>



高等学校电子信息类专业“十三五”规划教材

# 开关电源原理与应用设计 实验教程

主 编 王水平 周佳社 王新怀

参 编 王 禾 葛海波 吴晓丽

李 丹 王冠林 白 冲

王子龙

西安电子科技大学出版社

## 内 容 简 介

本书是《开关电源原理与应用设计》(电子工业出版社出版)的配套实验教程。全书以9个实验单元的形式主要讲述了线性稳压器和开关电源中几种DC-DC变换器的电路形式,以及主要技术参数的测试实验方法和步骤。本书共分为基础篇、技术篇和拓展篇。基础篇包括实验基础知识和电源基础知识;技术篇包括高效低压差线性稳压器(LDO)实验、脉宽调制信号(PWM)发生器实验、非隔离式升压型DC-DC变换器(Boost)实验,非隔离式降压型DC-DC变换器(Buck)实验、非隔离式反向型DC-DC变换器(Buck-Boost)实验;拓展篇包括单端正激型DC-DC变换器实验、单端反激型DC-DC变换器实验、推挽式DC-DC变换器实验、桥式DC-DC变换器实验。

本书是针对西安电子科技大学开发的“电源实验教学平台”而编写的,具有较强的实用性和可操作性,可作为“开关电源原理与应用设计”课程的配套教材,也可作为电源生产厂家、营销公司或售后服务单位等进行职工培训的配套教材或参考资料。

### 图书在版编目(CIP)数据

开关电源原理与应用设计实验教程/王水平,周佳社,王新怀主编. —西安:西安电子科技大学出版社, 2019.2

ISBN 978 - 7 - 5606 - 5170 - 5

I. ① 开… II. ① 王… ② 周… ③ 王… III. ① 开关电源—教材 IV. ① TN86

### 中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 289792 号

策划编辑 云立实

责任编辑 张玮

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2019年2月第1版 2019年2月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 16

字 数 377千字

印 数 1~3000册

定 价 38.00元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 5170 - 5/TN

**XDUP 5472001 - 1**

\* \* \* 如有印装问题可调换 \* \* \*

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

# 前 言

节约能源、净化环境是建立和谐社会的重要内容之一，而在与电有关的领域，节约能源、挖掘新能源、净化环境的首选技术就是开关电源技术。

近几年来，随着微电子技术和工艺、磁性材料科学以及烧结加工工艺与其他边沿技术科学的不断改进和飞速发展，DC-DC 变换器技术(DC-DC、DC-AC、AC-DC、AC-AC、E 类功放等各种非线性高频功率变换器技术)有了突破性的进展，由此也产生出许多能够提高人们生活水平和改善人们工作条件的新产品。DC-DC 变换器已成为各种电子设备和系统高效率、低功耗、安全可靠运行的关键设备之一，而且 DC-DC 变换器技术领域目前备受人们关注，同时 DC-DC 变换器技术人才已成为各大专院校或职高的重点教学培养目标。

本书是《开关电源原理与应用设计》(电子工业出版社出版)的配套实验教材，全书分为三大部分，即实验篇、技术篇和拓展篇。第 1 章和第 2 章为基础篇；第 3~7 章为技术篇，包括三种最基本的 DC-DC 变换器实验单元；第 8~11 章为拓展篇，包括四种隔离式 DC-DC 变换器实验单元。每个实验均给出了实验板的原理电路图(SCH)和印制板图(PCB)，使读者对 SCH 与 PCB 的电路、元器件有一个充分的认识。

本书第 1、2 章由王水平编写，第 3~11 章由王水平负责总体设计、整理并统稿，由王新怀、王冠林、李丹、王子龙和王禾负责实验调试，由周佳社、葛海波和吴晓丽负责结构设计。在本书的编写过程中，作者参阅了大量的国内外有关 DC-DC 变换器和电工电子实验教学方面的论文、专著和资料，在此对这些论文、专著和资料的作者和编者表示谢意。此外，在本书定稿之前，得到了教育部产学研专业综合改革项目、西安电子科技大学新实验开发与新实验设备研制项目的多年资助，以及德州仪器(TI)大学计划部在实验器材和资金等方面的资助，在此也表示诚挚的谢意。

由于作者的技术水平有限，书中的不足之处在所难免，恳请广大读者提出宝贵意见。

编 者

2018 年 10 月

# 目 录

## 基 础 篇

<b>第 1 章 实验基础知识</b> .....	3
1.1 实验的意义 .....	3
1.1.1 实验重要性 .....	3
1.1.2 实验目的 .....	3
1.1.3 实验要求 .....	4
1.2 实验报告格式 .....	6
1.3 实验数据测量 .....	7
1.3.1 实验数据测量概述 .....	7
1.3.2 实验数据处理 .....	10
1.3.3 误差分析 .....	13
1.3.4 有效数字及其运算规则 .....	17
<b>第 2 章 电源基础知识</b> .....	23
2.1 接地技术 .....	23
2.1.1 接地措施 .....	24
2.1.2 布线措施 .....	24
2.1.3 电源单元电路与负载电路系统的连接措施 .....	24
2.2 耦合技术 .....	25
2.2.1 光电耦合技术 .....	25
2.2.2 变压器磁耦合技术 .....	26
2.2.3 光电与磁混合耦合技术 .....	29
2.2.4 直接耦合技术 .....	30
2.3 屏蔽技术 .....	31
2.3.1 软屏蔽技术 .....	32
2.3.2 硬屏蔽技术 .....	37
2.4 电源单元电路中的 PCB 布线技术 .....	40
2.4.1 PCB 布线的设计流程 .....	40
2.4.2 参数设置 .....	40
2.4.3 元器件布局 .....	41
2.4.4 PCB 设计原则 .....	42
2.4.5 散热问题的解决 .....	42
2.4.6 接地极的设计 .....	44
2.4.7 PCB 漏电流的考虑 .....	46
2.4.8 电源单元电路中几种基本电路的布线方法 .....	46

2.5 电磁兼容(EMC)技术 .....	48
2.6 电源的几个概念 .....	57
2.6.1 纹波电压 .....	57
2.6.2 线性调整率 .....	61
2.6.3 负载调整率 .....	61
2.6.4 转换效率 .....	62

## 技 术 篇

<b>第 3 章 高效低压差线性稳压器(LDO)实验</b> .....	67
3.1 实验原理 .....	67
3.1.1 线性稳压器的工作原理 .....	67
3.1.2 线性稳压电源的优点和缺点 .....	69
3.1.3 线性稳压器与开关稳压器的区别 .....	70
3.1.4 线性稳压器的技术参数 .....	70
3.2 低压差线性稳压器(LDO)实验板 .....	72
3.3 实验内容 .....	74
3.4 思考题 .....	76
<b>第 4 章 脉宽调制信号(PWM)发生器实验</b> .....	77
4.1 实验原理 .....	77
4.1.1 脉宽调制(PWM)信号发生器 .....	77
4.1.2 正弦波脉宽调制(SPWM)信号发生器 .....	78
4.1.3 PWM 信号发生器的应用 .....	79
4.1.4 悬浮栅驱动器 .....	80
4.2 PWM/SPWM 发生器实验板 .....	82
4.3 实验内容 .....	85
4.4 思考题 .....	86
<b>第 5 章 非隔离式升压型 DC - DC 变换器(Boost)实验</b> .....	87
5.1 实验原理 .....	87
5.1.1 非隔离式升压型 DC - DC 变换器的工作原理 .....	87
5.1.2 功率因数校正(PFC) .....	93
5.2 非隔离式升压型 DC - DC 变换器实验板 .....	98
5.2.1 实验板的技术指标 .....	98
5.2.2 实验板的用途 .....	99
5.2.3 实验板的硬件组成 .....	99
5.3 实验内容 .....	101
5.4 思考题 .....	102
<b>第 6 章 非隔离式降压型 DC - DC 变换器(Buck)实验</b> .....	103
6.1 实验原理 .....	103
6.1.1 非隔离式降压型 DC - DC 变换器的工作原理 .....	103
6.1.2 非隔离式降压型 DC - DC 变换器的设计 .....	111
6.2 非隔离式降压型 DC - DC 变换器实验板 .....	115
6.2.1 实验板的技术指标 .....	115

6.2.2 实验板的用途 .....	116
6.2.3 实验板的硬件组成 .....	116
6.3 实验内容 .....	117
6.4 练习题 .....	119

## 第7章 非隔离式反向型 DC-DC 变换器(Buck-Boost)实验 .....

7.1 实验原理 .....	120
7.1.1 非隔离式反向型 DC-DC 变换器的工作原理 .....	120
7.1.2 非隔离式反向型 DC-DC 变换器的设计 .....	121
7.2 非隔离式反向型 DC-DC 变换器实验板 .....	122
7.2.1 实验板的技术指标 .....	122
7.2.2 实验板的用途 .....	122
7.2.3 实验板的硬件组成 .....	123
7.3 实验内容 .....	125
7.4 思考题 .....	126

## 拓展篇

## 第8章 单端正激型 DC-DC 变换器实验 .....

8.1 实验原理 .....	129
8.1.1 单端正激型 DC-DC 变换器的基本电路形式 .....	129
8.1.2 单端正激型 DC-DC 变换器电路中的功率开关管 .....	130
8.1.3 励磁回路 .....	130
8.1.4 单端正激型 DC-DC 变换器电路中的续流二极管 .....	132
8.1.5 单端正激型 DC-DC 变换器电路的变形 .....	132
8.1.6 单端正激型 DC-DC 变换器电路中的 PWM 电路 .....	141
8.1.7 单端正激型 DC-DC 变换器功率开关变压器的设计 .....	141
8.2 正激型 DC-DC 变换器实验板 .....	144
8.2.1 实验板的技术指标 .....	144
8.2.2 实验板的用途 .....	145
8.2.3 实验板的硬件组成 .....	145
8.3 实验内容 .....	148
8.4 思考题 .....	150

## 第9章 单端反激型 DC-DC 变换器实验 .....

9.1 实验原理 .....	151
9.1.1 单端反激型 DC-DC 变换器的基本电路形式 .....	151
9.1.2 单端反激型 DC-DC 变换器电路中的功率开关管 .....	153
9.1.3 单端反激型 DC-DC 变换器电路的变形 .....	154
9.1.4 单端反激型 DC-DC 变换器电路中的 PWM 电路 .....	155
9.1.5 单端反激型 DC-DC 变换器功率开关变压器的设计 .....	155
9.2 单端反激型 DC-DC 变换器实验板 .....	160
9.2.1 实验板的技术指标 .....	160
9.2.2 实验板的用途 .....	161
9.2.3 实验板的硬件组成 .....	161

9.3	实验内容	163
9.4	思考题	165
<b>第 10 章 推挽式 DC-DC 变换器实验</b>		166
10.1	实验原理	166
10.1.1	自激型推挽式 DC-DC 变换器电路的早期开发	166
10.1.2	自激型推挽式 DC-DC 变换器电路的构成与原理	168
10.1.3	自激型推挽式 DC-DC 变换器电路中功率开关变压器的设计	174
10.1.4	自激型推挽式 DC-DC 变换器电路中功率开关管的选择	176
10.1.5	自激型推挽式双变压器 DC-DC 变换器电路	180
10.1.6	自激型推挽式 DC-DC 变换器应用电路举例	183
10.1.7	他激型推挽式 DC-DC 变换器实际电路	183
10.1.8	他激型推挽式 DC-DC 变换器电路中的功率开关变压器	185
10.1.9	他激型推挽式 DC-DC 变换器电路中的功率开关管	185
10.1.10	他激型推挽式 DC-DC 变换器电路中的双管共态导通问题	186
10.1.11	他激型推挽式 DC-DC 变换器电路中的 PWM/PFM 电路	192
10.1.12	他激型推挽式 DC-DC 变换器电路设计实例	192
10.2	隔离式推挽型 DC-DC 变换器实验板	201
10.2.1	实验板的技术指标	201
10.2.2	实验板的用途	201
10.2.3	实验板的硬件组成	201
10.3	实验内容	204
10.4	思考题	206
<b>第 11 章 桥式 DC-DC 变换器实验</b>		207
11.1	实验原理	207
11.1.1	桥式 DC-DC 变换器的实际电路	207
11.1.2	自激型半桥式 DC-DC 变换器实际电路	210
11.1.3	他激型半桥式 DC-DC 变换器实际电路	217
11.1.4	全桥式 DC-DC 变换器实际电路	238
11.2	隔离式全桥型 DC-DC 变换器实验板	242
11.2.1	实验板的技术指标	242
11.2.2	实验板的用途	243
11.2.3	实验板的硬件组成	243
11.3	实验内容	245
11.4	思考题	247
<b>参考文献</b>		248



# 基础篇





# 第1章 实验基础知识

## 1.1 实验的意义

### 1.1.1 实验重要性

“DC-DC 变换器原理与应用设计实验”课程是一门重要的电源技术基础课，它具有显著的实践性特征。要想牢固地掌握 DC-DC 变换器原理与应用设计技术，除了掌握基本元器件的应用基础知识、电子电路的基本组成及工作原理的分析方法外，还应掌握电子元器件及基本电路的应用技术，特别是功率器件和磁性元件，因而实验就必然成为课程教学中不可或缺的重要环节。通过实验可使学生掌握元器件的性能、参数及电源电路的内在规律，了解各功能电路的相互影响，从而验证理论知识，并找出局限性。通过进一步了解和掌握电源的基础知识，学生可以设计出基本的实验方法，并掌握重要参数的测量方法，从而具备较强的知识运用能力和创新能力。

### 1.1.2 实验目的

“DC-DC 变换器原理与应用设计实验”课程的目的不仅在于加深学生在课堂中所学的理论知识，更重要的是加强他们的实验技能，使他们能够独立进行实验操作，并树立正确的工程观念和严谨的科学研究作风。

(1) 掌握一定的元器件使用技术，学会识别元器件的类型、型号、规格和封装形式，并能根据要求选择、筛选和购买元器件。

(2) 掌握一定的实验技能，如焊接、组装、连接、调试、简单故障排除等。

(3) 掌握一定的仪器使用技术，如万用表、示波器、信号源、稳压电源(其中包括调压器)和电子负载等仪器的使用 and 操作方法，特别是指针式仪表的读数和记数。只有正确使用电子仪器才能获得良好的测量数据。

(4) 掌握一定的测量系统设计技术。只有合理地测量系统设计，才能保证测量结果的正确。

(5) 掌握一定的仿真分析技术。计算机仿真技术不仅可以节省电路设计和调试的时间，更可以节约大量的硬件费用。电子系统的计算机仿真技术已成为现代电子技术的一个重要

组成部分,也已成为现代电子工程技术人员的基本技术和工程素质之一。

(6) 掌握一定的测量结果分析技术。只有通过测量结果的数据分析处理才能得到电子线路的有关技术指标和一些技术特性。

(7) 能够利用实验方法完成具体的综合任务,如根据具体的实验任务拟订实验方案(测试电路、仪器、测试方法等),独立地完成实验,对实验现象进行理论分析,并通过实验数据的分析得到相应的实验结果,撰写规范的实验报告。

(8) 培养学生独立解决问题的能力,如独立地完成某一设计任务(查阅资料、确定方案、选择元器件、购买元器件、安装调试),从而具备一定的科学研究能力。

(9) 锻炼学生在实验过程中分析、处理故障的能力,提高科研技能,培养实事求是的科学态度和踏实细致的工作作风。

(10) 在对电源实验电路的理解、分析和测试过程中,了解相应的国家认证标准,如电磁兼容认证(EMC 认证)标准和静电防护认证(ESD 认证)标准等。

### 1.1.3 实验要求

#### 1. 对辅导老师的要求

实验辅导老师的职责除了常规的备课、制作 PPT 课件和实验前的原理讲解以外,还包括以下内容:

(1) 举例说明该实验内容在实际中的应用,尤其是重要领域中的应用,如国防工业、汽车工业、新能源领域等。

(2) 通过演示来讲解该实验中所涉及的新仪器、新仪表的使用方法。

(3) 对于电路板与电源、仪器仪表和负载的连接方法等知识,不必过于详细地讲解,应让学生自己设计连接方法并进行连接。特别需要注意的是共地问题,务必使学生理解其正确连接方法及其在实际应用中的重要性。

(4) 启发和鼓励自己解决实验中遇到的问题,以逐渐提高科研实践能力。

#### 2. 实验课前的要求

(1) 做好实验课前预习。实验能否顺利进行和收到预期的效果,很大程度上取决于实验课前预习和准备的充分程度。因此每次实验前都要求学生详细认真地阅读实验讲义,明确本次实验的目的和任务,掌握必要的实验理论和方法,了解实验内容和仪器设备的使用方法,做到心中有数、有目的、有步骤地做实验。

(2) 认真阅读实验教程,明确实验目的,理解实验原理,熟悉实验电路、实验步骤、实验参数测试方法及实验中的注意事项。

(3) 了解和熟悉实验中所用仪器和设备的主要性能和使用方法。

(4) 做好实验中必测数据的理论计算和估算,计算实验结果,完成实验教程中有关预



习要求的内容。

(5) 做好数据记录纸和记录表格等准备工作。

(6) 按时、按组进入实验室，在规定的时间内完成实验任务。遵守实验室的制度，实验后整理好实验台。

(7) 按照科学的操作方法做实验，要求接线正确，布线整齐合理。接线后要认真复查，确信无误后经指导老师同意，方可接通电源。

(8) 按照仪器的操作规程正确使用仪器，不得野蛮操作。

(9) 测试参数时，要做到心中有数，细心观察。要求原始记录完整、清楚，实验结果正确。

(10) 实验中出现故障时，应冷静分析原因，并能在老师指导下独立解决，对实验中的异常现象和实验结果要能进行正确的解释。

(11) 一律用学校规定的实验报告纸认真撰写实验报告，做到文理通顺，字迹端正，图形美观，页面整洁，并按要求装订封皮。

### 3. 实验过程的要求

(1) 一定要反复检查实验电路板与供电电源、测量仪器仪表和负载的连接完好无误，特别是所有的仪器仪表、实验电路板、供电电源和负载的共地连接，一定要引起辅导老师和学生的高度重视。

(2) 实验数据的测量和记录一定要保持原始数据，实验现象和电路中各点波形的观察一定要认真、仔细。数据记错了不能进行涂改，必须重新测量一遍并记录数据，规范填写表格。如有需要则用坐标纸画出曲线图，并按指导书要求进行必要的数据处理和分析说明。

(3) 实验过程中出现的各种现象，一定要联系理论知识进行分析和理解。特别是对于所出现的异常现象，一定要在辅导老师的协助下加以消除和分析，找出产生的原因。

(4) 实验过程中遇到问题时，首先自己想办法解决或求助于同学，实在解决不了再去请教老师。

(5) 在实验之前应认真阅读实验课后的思考题，大部分思考题是需要根据实验中所观察的实验现象进行分析和回答的，因此应将思考题中所涉及的实验现象着重观察，并记录数据。

### 4. 实验注意事项

(1) 严格遵守实验室的规章制度，认真积极地动手做实验，保持实验室安静、实验操作台整洁，不用的仪器仪表和连接线等杂物均不要出现在实验操作台上。

(2) 严禁将食物、饮用水和雨伞等物品带进实验室。

(3) 了解和掌握了实验仪器仪表的操作规程后，方可使用这些实验仪器仪表。

(4) 严禁带电接线、拆线和改变连接线路。

(5) 实验仪器仪表设备不得随意调换或拔插实验用元器件，若损坏仪器设备，则必须

立即报告老师,作出书面检查,并根据事故责任做出赔偿。

(6) 实验中若发生事故,则应立即关掉电源,保持事故现场,并报告指导老师,让指导老师来处理。

(7) 实验过程中,无论使用哪一种设备或仪器仪表、供电电源等连接到实验电路板时,都必须遵循先连接接地端(黑表笔)再连接另一端(红表笔)的规则。

(8) 实验结束后,应先检查实验数据是否符合要求,然后再请老师检查确认,经老师认可签字后方可关掉电源和其他设备,拆除实验线路,整理并放置好实验器材后才能离开实验室。

## 1.2 实验报告格式

### 实验报告

实验名称:

姓名: 时间(××××年××月××日星期×上午或下午):

专业:

班级: 学号: 地点(实验大楼及实验室门牌号):

实验成绩(其中包括指导老师的评语):

指导老师签名:

#### 一、实验目的

.....

#### 二、实验仪器及设备

(1) 实验仪器仪表 1: 型号为×××, 数量为×××。

(2) 实验仪器仪表 2: 型号为×××, 数量为×××。

(3) 实验仪器仪表 3: 型号为×××, 数量为×××。

#### 三、实验内容

##### 1. 实验内容 1

(1) 画出实验内容 1 所对应的实验电路图。

(2) 根据实验内容 1 所对应的实验电路图,简单叙述其实验原理。

(3) 实验步骤(包括实验数据的测量和记录)。

(4) 对实验原始数据进行整理,将测量数据和计算后的结果填写在实验数据表格中。

(5) 按照实验要求将关键点的波形或曲线描绘在所要求的坐标纸上。

(6) 写出所观察到的实验现象,运用所掌握的理论知识对实验现象和结果进行分析,并得出结论。例如:对波形图进行分析并得出结论,对实验数据进行分析并得出结论,将测量结果与理论值进行比较并得出结论。实际上就是将测量结果与理论值进行比较,计算出相对误差,并找出产生误差的原因。

## 2. 实验内容 2

(1) 画出实验内容 2 所对应的实验电路图。

(2) 根据实验内容 2 所对应的实验电路图,简单叙述其实验原理。

(3) 实验步骤。

(4) 对实验原始数据进行整理,将测量数据和计算后的结果填写在实验数据表格中。

(5) 按照实验要求将关键点的波形或曲线描绘在所要求的坐标纸上。

(6) 写出所观察到的实验现象,运用所掌握的理论知识对实验现象和结果进行分析,并得出结论。例如:对波形图进行分析并得出结论,对实验数据进行分析并得出结论,将测量结果与理论值进行比较并得出结论。实际上就是将测量结果与理论值进行比较,计算出相对误差,并找出产生误差的原因。

## 3. 实验内容 3

## 4. 实验内容 4

.....

### 四、讨论与回答问题

对实验中所观察到的异常现象和存在的问题进行讨论,并回答实验教程后面所给出的思考题。

# 1.3 实验数据测量

## 1.3.1 实验数据测量概述

实验数据的测量主要是如何使用仪器仪表来对实验数据进行测量,然后再对原始数据进行记录。仪器仪表又分为数显式和指针式两大类。对于数显式仪器仪表来说,主要是功能和量程的选择,没有估读位和估读数方面的问题,因此本节对数显式仪器仪表的实验数据测量就不再重述,主要讲述如何使用指针式仪器仪表进行实验数据的测量和记录。

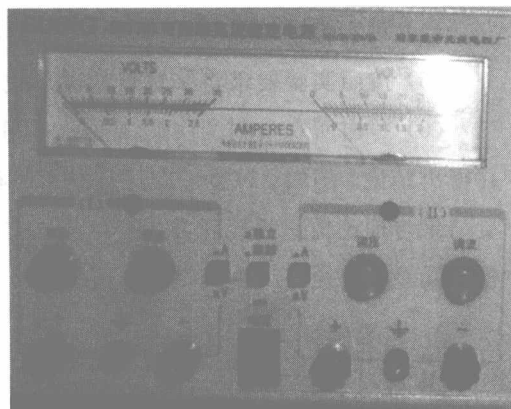
在实验中,学生经常会提出下列问题:测量值应该读到小数点后几位或者应保留几位小数。实际中,指针式仪器仪表的量程一旦选定,被测数据小数点后能够读到的位数就是固定不变的,是不能任意选择的。

图 1-1 给出了电路实验室常用的几款指针式仪器仪表的外形图。

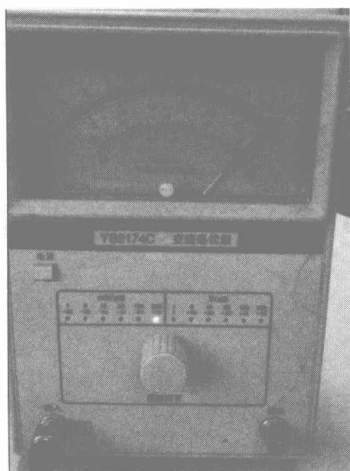
下面以 YB2100 系列交流毫伏表为例, 详细说明指针式仪器仪表的使用方法。指针式仪器仪表的应用还有指针式万用表、交直流电压电压表, 以及以光标作为指针的仪器仪表, 如示波器、静电高压计等。



(a) 指针式万用表



(b) 指针式直流电压电流表



(c) YB2100 系列交流毫伏表

图 1-1 三种指针式仪器仪表的外形

### 1. 估读位的读取

指针式仪器仪表上的估读位, 实际上就是人肉眼对仪器仪表上刻度的分辨率。指针式仪器仪表刻度盘上最小刻度的 1/2 就是人肉眼的分辨率, 也就是说在指针式仪器仪表的刻度盘上, 人肉眼最多能分辨出指针在最小刻度的一半以上还是一半以下, 如图 1-2 所示。



若在一半以上，我们就应该在 0.5~0.9 之间取值；若在一半以下，我们就应该在 0.1~0.5 之间取值，这就是指针式仪器仪表上的估读位。

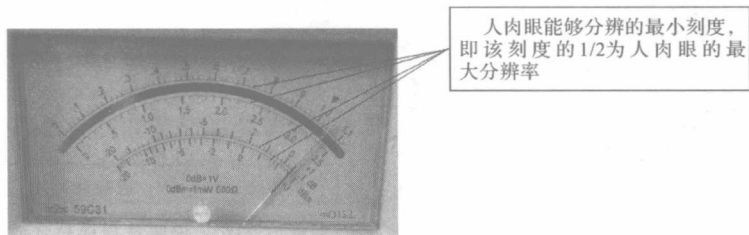


图 1-2 人肉眼在指针式仪器仪表上的最大分辨率

## 2. 原始测量数据的记录

指针式仪器仪表上的估读位读数加上指针所指示位置的最小刻度的整数格数，最后再乘以每一最小刻度所代表的物理量(该量值是根据所选择的量程以及满刻度的最小刻度总数换算而来的)就得到了被测物理量在指针式仪器仪表上被测值的原始记录数，可采用下式表示：

$$\text{被测值的原始记录数} = \frac{\text{量程}}{\text{满刻度最小刻度数}} \times \text{读数} \quad (1-1)$$

式(1-1)中的“满刻度最小刻度数”为所要读数的刻度盘上的最小刻度数，一定是一个整数，而“读数”则包含整数和小数两部分，整数部分为指针所指示位置的最小刻度的整数格数，小数部分则为估读位读数，一定是一位小数。在 YB2100 型交流毫伏表上的读数举例如图 1-3 所示。

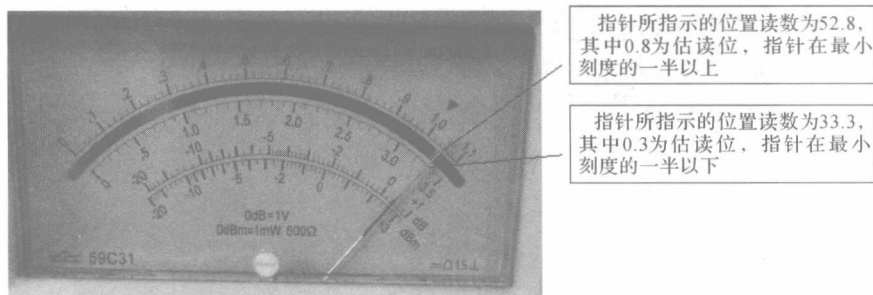


图 1-3 在 YB2100 型交流毫伏表上的读数举例

## 3. 采用原始记录数来记录被测数的作用

(1) 可对被测量值进行复原、再现或验证，这一点在学生走上工作岗位深入到应用层面以后尤为重要。特别是在实际应用中，有些故障的查找、事故责任的划分与追究、巨大成果的验证和再现等都是要拿证据说话的，而原始记录数就是证据和铁证。

(2) 可通过“读数”中的整数部分，来判断学生所选择的量程是否正确。在指针式仪器仪表上选择量程，使得指针指示在满刻度的  $\frac{2}{3}$  处即为最佳状态，至少也要在大于  $\frac{1}{2}$  处。将“读数”中的整数部分与“满刻度最小刻度数”进行比较，若整数部分的数值大于“满刻度最小刻度数”的  $\frac{2}{3}$ ，则说明量程选择合适，否则量程就选择得过小了。YB2100 型交流毫伏表的使用解析举例如图 1-4 所示。