

高等学校规划教材

电工电子实践教程

付家才 主编

秦曾煌 主审



化学工业出版社

教材出版中心

高等学校规划教材

电工电子实践教程

付家才 主 编

赵金宪 副主编

秦曾煌 主 审

化学工业出版社

教材出版中心

·北 京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子实践教程/付家才主编. —北京: 化学工业出版社, 2003.4

高等学校规划教材

ISBN 7-5025-4257-4

I. 电… II. 付… III. ① 电工技术-高等学校-教材②电子技术-高等学校-教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 027228 号

高等学校规划教材

电工电子实践教程

付家才 主 编

赵金宪 副主编

秦曾煌 主 审

责任编辑: 唐旭华

文字编辑: 张燕文

责任校对: 洪雅姝 吴桂萍

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社
教材出版中心 出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 12 $\frac{3}{4}$ 字数 298 千字

2003 年 6 月第 1 版 2003 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4257-4/G·1122

定 价: 20.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

本书是根据高等院校工科电类专业及非电类专业的本科课程教学大纲,并结合教学实际编写而成的一本设计性实践教材。既可作为电类专业电路、模拟电子技术、数字电子技术等课程的实验指导书,又可作为工科非电类专业电工学课程的实验指导书。随着电工、电子技术的发展,这几门课程在专业中的作用日益重要,为了提高课程的教学质量,满足学生的要求,本书在实验内容安排上进行了改革,把实验分成两个层次,即验证性实验和设计性实验。

本书内容共分7章,第1章介绍电工测量基础,第2章介绍电工电子设计方法,第3章介绍电工实验,第4章介绍电机与控制实验,第5章介绍模拟电子技术实验,第6章介绍数字电子实验,第7章介绍PLC实验。

本书内容安排上,兼顾了电类专业电路、模拟电子技术、数字电子技术和非电类电工学的实验要求。电气信息类专业电路课程可选第3章,模拟电子技术可选第5章,数字电子技术可选第6章。非电类专业电工学课程可选第3章至第7章各一部分。读者可根据具体情况进行取舍。

本书由付家才教授主编,赵金宪副主编,哈尔滨工业大学秦曾煌教授主审。第1章、第2章由金明华编写,第3章由沈显庆编写,第4章4.1~4.3节、第6章由宋婀娜编写,第5章由赵金宪编写,第4章4.4~4.9节、第7章由李海军编写,全书由付家才统稿。

由于作者水平有限,书中可能出现错误与不足之处,恳请读者和同行批评指正。

编 者

2003年1月

内 容 提 要

本书以高等学校电类专业电路基础、模拟电子技术基础和数字电子技术基础的工程设计、测试方法为主，并结合非电类专业电工学课程的实验教学内容，突出工科特色，强调与工程实际相结合进行编写。在实验内容安排上进行了改革，把实验分成两个层次，即验证性实验和设计性实验，以增强学生实践能力。

本书即可作为高等学校电类专业电路、电子技术与电子线路实验或课程设计教材，亦可作为非电类专业电工学课程的实验教材，同时也可供从事电子设计工作的工程技术人员参考。

目 录

1 电工测量基础	1
1.1 仪表误差及准确度	1
1.1.1 仪表误差的分类	1
1.1.2 仪表误差的表示方法	1
1.2 测量误差分析	3
1.2.1 测量误差	3
1.2.2 正确度、精密度和准确度	4
1.3 测量结果的处理	4
1.3.1 测量结果的数字处理及运算法则	5
1.3.2 曲线拟合	6
1.3.3 测量结果的图解处理	9
1.4 电工测量及仪表	10
1.4.1 测量分类	10
1.4.2 测量指示仪表分类	10
1.4.3 仪表的组成及工作原理	10
1.4.4 仪表的选择	11
2 电工电子设计方法	13
2.1 电工电子设计的一般方法	13
2.2 常用电子元器件	16
2.2.1 电阻器	16
2.2.2 电容器	17
2.2.3 电感器	18
2.2.4 晶体二极管	19
2.2.5 晶体三极管	20
2.3 电焊接工艺	22
2.4 印制电路板的制作	23
2.5 电子线路的检测方法	25
3 电工实验	27
3.1 电工仪表的使用与测量误差	27
3.1.1 实验目的	27
3.1.2 实验原理	27
3.1.3 实验设备	28
3.1.4 实验内容	28
3.1.5 实验注意事项	29
3.1.6 预习与思考	29

3.1.7 实验报告	29
3.2 减小仪表测量误差的方法	29
3.2.1 实验目的	29
3.2.2 实验原理	30
3.2.3 实验设备	31
3.2.4 实验内容	31
3.2.5 实验注意事项	32
3.2.6 实验报告	32
3.3 电路元件伏安特性的测绘	32
3.3.1 实验目的	32
3.3.2 实验原理	32
3.3.3 实验设备	33
3.3.4 实验内容	33
3.3.5 实验注意事项	34
3.3.6 预习与思考	34
3.3.7 实验报告	34
3.4 电位、电压的测定及电路电位图的绘制	35
3.4.1 实验目的	35
3.4.2 实验原理	35
3.4.3 实验设备	35
3.4.4 实验内容	35
3.4.5 实验注意事项	36
3.4.6 预习与思考	36
3.4.7 实验报告	36
3.5 基尔霍夫定律的验证	36
3.5.1 实验目的	36
3.5.2 实验原理	36
3.5.3 实验设备	36
3.5.4 实验内容	36
3.5.5 实验注意事项	37
3.5.6 预习与思考	37
3.5.7 实验报告	37
3.6 叠加原理的验证	37
3.6.1 实验目的	37
3.6.2 实验原理	37
3.6.3 实验设备	37
3.6.4 实验内容	38
3.6.5 实验注意事项	38
3.6.6 预习与思考	39
3.6.7 实验报告	39

3.7 电压源与电流源的等效变换·····	39
3.7.1 实验目的·····	39
3.7.2 实验原理·····	39
3.7.3 实验设备·····	39
3.7.4 实验内容·····	40
3.7.5 实验注意事项·····	41
3.7.6 预习与思考·····	41
3.7.7 实验报告·····	41
3.8 戴维宁定理——有源二端网络等效参数的测定·····	41
3.8.1 实验目的·····	41
3.8.2 实验原理·····	41
3.8.3 实验设备·····	42
3.8.4 实验内容·····	42
3.8.5 实验注意事项·····	43
3.8.6 预习与思考·····	44
3.8.7 实验报告·····	44
3.9 受控源实验研究·····	44
3.9.1 实验目的·····	44
3.9.2 实验原理·····	44
3.9.3 用运算放大器构成受控源的原理·····	45
3.9.4 实验设备·····	47
3.9.5 实验内容及步骤·····	47
3.9.6 实验注意事项·····	49
3.9.7 预习与思考·····	49
3.9.8 实验报告·····	49
3.10 典型电信号的观察与测量·····	49
3.10.1 实验目的·····	49
3.10.2 实验原理·····	50
3.10.3 实验设备·····	50
3.10.4 实验内容·····	50
3.10.5 实验注意事项·····	51
3.10.6 预习与思考·····	51
3.10.7 实验报告·····	51
3.11 RC 一阶电路响应测试·····	51
3.11.1 实验目的·····	51
3.11.2 实验原理·····	51
3.11.3 实验设备·····	53
3.11.4 实验内容·····	53
3.11.5 实验注意事项·····	53
3.11.6 预习与思考·····	54

3.11.7 实验报告	54
3.12 二阶动态电路响应测试	54
3.12.1 实验目的	54
3.12.2 实验原理	54
3.12.3 实验设备	54
3.12.4 实验内容	54
3.12.5 实验注意事项	55
3.12.6 预习与思考	55
3.12.7 实验报告	55
3.13 R 、 L 、 C 元件阻抗频率特性的测定	55
3.13.1 实验目的	55
3.13.2 实验原理	55
3.13.3 实验设备	56
3.13.4 实验内容	56
3.13.5 实验注意事项	57
3.13.6 预习与思考	57
3.13.7 实验报告	57
3.14 用三表法测量交流电路等效参数	57
3.14.1 实验目的	57
3.14.2 实验原理	57
3.14.3 实验设备	58
3.14.4 实验内容	59
3.14.5 实验注意事项	59
3.14.6 预习与思考	59
3.14.7 实验报告	59
3.15 正弦稳态交流电路相量的研究	59
3.15.1 实验目的	59
3.15.2 实验原理	60
3.15.3 实验设备	60
3.15.4 实验内容	60
3.15.5 实验注意事项	61
3.15.6 预习与思考	61
3.15.7 实验报告	62
3.16 RC 选频网络特性测试	62
3.16.1 实验目的	62
3.16.2 实验原理	62
3.16.3 实验设备	63
3.16.4 实验内容	63
3.16.5 实验注意事项	63
3.16.6 预习与思考	64

3.16.7	实验报告	64
3.17	R 、 L 、 C 串联谐振电路的研究	64
3.17.1	实验目的	64
3.17.2	实验原理	64
3.17.3	实验设备	65
3.17.4	实验内容	65
3.17.5	实验注意事项	65
3.17.6	预习与思考	65
3.17.7	实验报告	66
3.18	双口网络测试	66
3.18.1	实验目的	66
3.18.2	实验原理	66
3.18.3	实验设备	67
3.18.4	实验内容	67
3.18.5	实验注意事项	68
3.18.6	预习与思考	68
3.18.7	实验报告	68
3.19	互感电路观测	68
3.19.1	实验目的	68
3.19.2	实验原理	69
3.19.3	实验设备	69
3.19.4	实验内容	69
3.19.5	实验注意事项	70
3.20	三相电路电压、电流的测量	70
3.20.1	实验目的	70
3.20.2	实验原理	71
3.20.3	实验设备	71
3.20.4	实验内容	71
3.20.5	实验注意事项	72
3.20.6	预习与思考	72
3.20.7	实验报告	72
3.21	三相电路功率的测量	72
3.21.1	实验目的	72
3.21.2	实验原理	72
3.21.3	实验设备	73
3.21.4	实验内容	73
3.21.5	实验注意事项	75
3.21.6	预习与思考	75
3.21.7	实验报告	75
3.22	功率因数及相序的测量	75

3.22.1	实验目的	75
3.22.2	实验原理	75
3.22.3	实验设备	76
3.22.4	实验注意事项	76
3.22.5	预习与思考	76
3.22.6	实验报告	76
3.23	负阻抗变换器	76
3.23.1	实验目的	76
3.23.2	实验原理	77
3.23.3	实验设备	78
3.23.4	实验内容	78
3.23.5	实验注意事项	79
3.23.6	实验报告	79
3.24	回转器	79
3.24.1	实验目的	79
3.24.2	实验原理	79
3.24.3	实验设备	80
3.24.4	实验内容	80
3.24.5	实验注意事项	82
3.24.6	实验报告	82
4	电机与控制实验	83
4.1	基本磁化曲线的测定	83
4.1.1	实验目的	83
4.1.2	实验原理	83
4.1.3	实验仪器与设备	85
4.1.4	实验内容与步骤	85
4.1.5	实验报告	86
4.1.6	预习与思考	86
4.2	交流磁化曲线的测量	86
4.2.1	实验目的	86
4.2.2	实验原理	86
4.2.3	实验仪器与设备	89
4.2.4	实验内容与步骤	89
4.2.5	实验报告	89
4.2.6	预习与思考	90
4.3	单相电度表的校验	90
4.3.1	实验目的	90
4.3.2	实验原理	90
4.3.3	实验仪器与设备	90
4.3.4	实验内容与步骤	91

4.3.5	实验报告	91
4.3.6	预习与思考	91
4.4	单相铁心变压器特性的测试	91
4.4.1	实验目的	91
4.4.2	实验原理	92
4.4.3	实验仪器与设备	93
4.4.4	实验内容与步骤	93
4.4.5	实验报告	93
4.4.6	预习与思考	93
4.5	单相变压器	93
4.5.1	实验目的	93
4.5.2	实验原理	93
4.5.3	实验仪器与设备	94
4.5.4	实验内容与步骤	94
4.5.5	实验报告	95
4.5.6	预习与思考	96
4.6	直流发电机	96
4.6.1	实验目的	96
4.6.2	实验原理	96
4.6.3	实验仪器与设备	97
4.6.4	实验内容与步骤	97
4.6.5	实验报告	98
4.6.6	预习与思考	99
4.7	串励直流电动机	99
4.7.1	实验目的	99
4.7.2	实验原理	99
4.7.3	实验仪器与设备	99
4.7.4	实验内容与步骤	99
4.7.5	实验报告	100
4.7.6	预习与思考	101
4.8	鼠笼式异步电动机的启动	102
4.8.1	实验目的	102
4.8.2	实验原理	102
4.8.3	实验仪器与设备	102
4.8.4	实验内容与步骤	102
4.8.5	实验报告	104
4.8.6	预习与思考	104
4.9	异步电动机继电接触控制	104
4.9.1	实验目的	104
4.9.2	实验原理	105

4.9.3	实验仪器与设备	106
4.9.4	实验内容与步骤	106
4.9.5	实验报告	106
4.9.6	预习与思考	106
5	模拟电子技术实验	107
5.1	晶体管放大器设计	107
5.1.1	实验目的	107
5.1.2	实验原理	107
5.1.3	性能指标与测试方法	108
5.1.4	设计举例	110
5.1.5	电路安装与调试	111
5.1.6	设计任务	113
5.1.7	预习与思考	114
5.2	场效应放大器设计	114
5.2.1	实验目的	114
5.2.2	实验原理	114
5.2.3	场效应管主要参数的测试方法	117
5.2.4	设计举例	118
5.2.5	电路安装与调试	120
5.2.6	设计任务	120
5.2.7	预习与思考	120
5.3	差分放大器设计	120
5.3.1	实验目的	120
5.3.2	实验原理	120
5.3.3	主要特性参数及测试方法	122
5.3.4	设计举例	125
5.3.5	电路安装与调试	126
5.3.6	设计任务	126
5.3.7	预习与思考	127
5.4	RC 有源滤波器设计	127
5.4.1	实验目的	127
5.4.2	实验原理	127
5.4.3	设计举例	132
5.4.4	电路安装与调试	133
5.4.5	设计任务	133
5.4.6	预习与思考	133
5.5	函数发生器设计	134
5.5.1	实验目的	134
5.5.2	实验原理	134
5.5.3	设计举例	139

5.5.4	电路安装与调试	139
5.5.5	设计任务	139
5.5.6	预习与思考	139
5.6	直流稳压电源设计	140
5.6.1	实验目的	140
5.6.2	实验原理	140
5.6.3	主要特性参数及测试方法	142
5.6.4	器件选择	143
5.6.5	设计举例	144
5.6.6	电路安装与调试	145
5.6.7	设计任务	145
5.6.8	预习与思考	146
6	数字电子实验	147
6.1	TTL 集成逻辑门的参数测试	147
6.1.1	实验目的	147
6.1.2	实验原理	147
6.1.3	实验仪器与设备	150
6.1.4	实验内容与步骤	150
6.1.5	实验报告	151
6.1.6	预习与思考	151
6.2	CMOS 集成逻辑门的参数测试	151
6.2.1	实验目的	151
6.2.2	实验原理	151
6.2.3	实验仪器与设备	153
6.2.4	实验内容与步骤	154
6.2.5	实验报告	154
6.2.6	预习与思考	154
6.3	TTL 集电极开路门与三态输出门的应用	154
6.3.1	实验目的	154
6.3.2	实验原理	154
6.3.3	实验仪器与设备	157
6.3.4	实验内容与步骤	157
6.3.5	实验报告	158
6.3.6	预习与思考	158
6.4	SSI 组合逻辑电路的设计与测试	158
6.4.1	实验目的	158
6.4.2	实验原理	158
6.4.3	设计举例	159
6.4.4	设计任务	161
6.4.5	预习与思考	161

6.5 集成定时器及应用	161
6.5.1 实验目的	161
6.5.2 实验原理	161
6.5.3 设计举例	163
6.5.4 设计任务	164
6.5.5 预习与思考	165
6.6 计数器及应用	165
6.6.1 实验目的	165
6.6.2 实验原理	165
6.6.3 设计举例	168
6.6.4 设计任务	170
6.6.5 预习与思考	170
6.7 移位寄存器及应用	171
6.7.1 实验目的	171
6.7.2 实验原理	171
6.7.3 设计举例	172
6.7.4 设计任务	174
6.7.5 预习与思考	174
6.8 数字钟	175
6.8.1 实验目的	175
6.8.2 实验原理	175
6.8.3 设计举例	176
6.8.4 设计任务	179
6.8.5 预习与思考	180
7 PLC 实验	181
7.1 基本指令实验	181
7.1.1 实验目的	181
7.1.2 实验设备	181
7.1.3 实验内容	181
7.1.4 操作步骤	182
7.2 高级指令实验	182
7.2.1 实验目的	182
7.2.2 实验设备	183
7.2.3 实验内容	183
7.2.4 操作步骤	183
7.3 交通灯控制实验	184
7.3.1 实验目的	184
7.3.2 实验设备	184
7.3.3 实验内容	184
7.3.4 实验步骤	185
参考文献	186

1 电工测量基础

随着科学技术的迅猛发展,电气化、自动化早已渗透到国民经济的各个方面,而自动化程度越高,电工测量在各种测量技术中的地位就越重要。如在日常生活及工作中,通过电工仪表的指示,即电工测量来掌握电能输送、变电、配电及使用过程中的情况,从而加以监控,达到供电、用电的安全可靠和经济运行的效果。此外电工测量也为科学实验提供了有利的条件。而电工测量技术方面的新成就又推动着测量技术的进一步发展。可见,电工测量具有很重要的意义。

1.1 仪表误差及准确度

任何电工测量仪表不论其制造工艺如何先进,质量多高,仪表的测量结果与真值之间总存在着一定的差值,这个差值称为仪表误差。

1.1.1 仪表误差的分类

根据引起误差的原因,仪表误差可分为基本误差和附加误差两种。

(1) 基本误差

仪表在规定的标准条件下,即在规定的温度、湿度及无外电磁场干扰等条件下测量时,由于内部结构和制造工艺的限制,仪表本身所固有的误差。如电桥中电阻元件的制造误差、摩擦等所造成的误差,均属基本误差。测试系统的精确度是由基本误差决定的。

(2) 附加误差

仪表在非规定标准条件下测量时,除基本误差外还会产生附加误差。如温度过高或过低所引起的温度附加误差。这种附加误差会叠加到基本误差上。

1.1.2 仪表误差的表示方法

仪表误差表达形式有绝对误差、相对误差和引用误差三种。

(1) 绝对误差

测量值即仪表值 A_x 与被测量真实值(简称真值) A_0 之差称为绝对误差,用 Δ 表示,即

$$\Delta = A_x - A_0 \quad (1-1)$$

一般将高精度标准仪表所测量的数据视为真值 A_0 。用绝对误差表示仪表误差的大小比较直观。

(2) 相对误差

相对误差是绝对误差 Δ 与真值 A_0 之比的百分数,相对误差用 γ 表示,即

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

在实际工作中,常用仪表指示值 A_x 近似代替 A_0 , 则

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_x} \times 100\% \quad (1-3)$$

例 1-1 用甲、乙两块电流表分别测量两路电流，甲表的测量值为 200 mA，绝对误差为 +2 mA，乙表的测量值为 20 mA，绝对误差为 +1 mA。求两块电流表的相对误差。

解 甲电流表的相对误差为

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% = \frac{2}{200} \times 100\% = +1\%$$

乙电流表的相对误差为

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\% = \frac{1}{20} \times 100\% = +5\%$$

可见，虽然甲表的绝对误差大于乙表，但甲表的相对误差却比乙表小。这说明甲表的测量准确度要高些。因此，在测量不同大小的被测量时，通常采用相对误差来比较测量结果的准确程度，它较绝对误差更能确切地说明测量质量。

(3) 引用误差

相对误差可用以反映某次测量的准确程度，但不能表示仪表在整个量程内的准确程度，即仪表的准确度。为划分仪表准确度等级，引入了引用误差的概念。引用误差是绝对误差 Δ 与仪表量程上限（简称量程） A_m 之比的百分数，引用误差用 γ_n 表示。即

$$\gamma_n = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\%$$

由于仪表的各指示值的绝对误差不等，因此国家标准中仪表的准确度等级 α 是以用最大绝对误差 Δ_m 计算的最大引用误差 γ_m 来确定的。最大引用误差 γ_m 为

$$\gamma_m = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\% \quad (1-4)$$

根据国家标准 GB 776—1976 规定，常用电工仪表的准确度 α 分为七个等级：0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 等。分别表示指示仪表的最大引用误差不许超过该仪表准确度等级的百分数。如准确度为 0.5 级的仪表，其最大引用误差 γ_m 在 0.2%~0.5% 之间，但不超过 0.5%。最大引用误差越小，基本误差就越小，仪表的准确度也就越高。测量中相对误差的最大值越小越准确。

例 1-2 用量限为 200 V 的电压表，准确度为 0.5 级的电压表去测量 150 V 和 50 V 两个电压，求测量相对误差。

解 测量 150 V 电压时所产生的最大基本误差为

$$\Delta_m = \pm \alpha \% \times A_n = \pm 0.5\% \times 200 = 1 \text{ V}$$

其最大相对误差为

$$\gamma = \pm \frac{1}{150} = \pm 0.67\%$$

测量 50 V 电压时

$$\Delta_m = \pm 0.5\% \times 200 = 1 \text{ V}$$

$$\gamma = \pm \frac{1}{50} = \pm 2\%$$

显然，最大相对误差不仅与仪表的准确度等级 α 有关，而且与量程和被测值的比值有关，当仪表选定后，被测值越接近 A_m ，测量值就越准确。因此，在使用仪表时，一般应使被测量的值达到仪表满刻度 A_m 的 2/3 以上，否则所选仪表准确度等级虽高，但测量的准确度可能较低，其测量结果的误差可能会超过仪表的准确度等级（如例 1-2 中测 50 V 时）。因此在此测量中要兼顾仪表的量限和准确度等级，合理选择仪表。