

国家级实验教学示范中心
“电气工程基础实验中心”系列实验教材

电工与电子技术 实验教程 (少学时)

电工实验·变压器与电机控制实验·模电实验·数电实验

王英 编著

DIANGONG YU DIANZI JISHU
SHIYAN JIAOCHENG



西南交通大学出版社

国家级实验教学示范中心

“电气工程基础实验中心”系列实验教材

电工与电子技术实验教程（少学时）

电工实验·变压器与电机控制实验·模电实验·数电实验

王英 编著

西南交通大学出版社

·成都·

内容简介

本教材是“十二五”国家级规划教材《电工技术基础》(电工学 I)、《电子技术基础》(电工学 II)的配套实验教材。全书介绍了电工、电子测量基础知识,仿真软件使用原理,实验操作技术及故障判断与处理,实验数据及误差分析方法,实验电路的基本设计方法,安全用电规则和常用仪器仪表。

本实验教材可作为高等学校工科电工学实验课程的实验教材,或作为不同层次的电气、电子各专业和各非电类工科专业的电工技术实验和电子技术实验教材或参考教材,还可作为从事电子技术工作的工程技术员的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术实验教程 / 王英编著. — 成都:
西南交通大学出版社, 2015.9
国家级实验教学示范中心“电气工程基础实验中心”
系列实验教材
ISBN 978-7-5643-4278-4

I. ①电… II. ①王… III. ①电工技术 - 实验 - 高等学校 - 教材②电子技术 - 实验 - 高等学校 - 教材 IV.
①TM-33②TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 209207 号

国家级实验教学示范中心
“电气工程基础实验中心”系列实验教材

电工与电子技术实验教程

王英 编著

责任编辑 李芳芳
特邀编辑 李玉光 李娟
封面设计 墨创文化

出版发行 西南交通大学出版社
(四川省成都市金牛区交大路 146 号)
发行部电话 028-87600564 028-87600533
邮政编码 610031
网 址 <http://www.xnjdcbs.com>

印刷 成都中铁二局永经堂印务有限责任公司
成品尺寸 185 mm × 260 mm
印 张 18.25
字 数 454 千
版 次 2015 年 9 月第 1 版
印 次 2015 年 9 月第 1 次
书 号 ISBN 978-7-5643-4278-4
定 价 38.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

在创新型国家建设中，人才的培养是根本，技术基础性学科则是人才培养的关键，实验教学是能力培养的重要环节与基础。

本教材是“十二五”国家级规划教材《电工技术基础》(电工学 I)、《电子技术基础》(电工学 II)和高等院校网络教育精品教材《电工技术基础》的实验配套教材，是“电工学(少学时)”实验课程的必备教材。“电工与电子技术实验”是高等工科大学非电类专业的一门重要的技术基础实验课，西南交通大学将该课程设置于国家级电气工程基础实验教学示范中心，该中心于2007年评为国家级实验教学示范中心建设单位；2012年11月通过教育部专家验收，正式挂牌为国家级电气工程基础实验教学示范中心。

本教材内容分为八章：第1章“电工、电子实验基础知识”，主要讨论了两方面问题：一是电工、电子测量的基础知识以及测量误差分析；二是实验操作规则、实验故障处理分析方法、实验报告要求以及实验安全用电规则，并使学生通过简单的基本实验电路的测量操作，在掌握仪器仪表的同时，掌握安全用电的操作规程。第2章“电路基础实验”，要求学生重点掌握实验数据的测量方式方法，以及对实验数据进行分析讨论。第3章“变压器与电机控制实验”，要求学生重点掌握变压器与电机控制基本原理及简单的电机控制设计。第4章“模拟电子技术实验”，要求学生重点掌握电子器件特性和参数的测试，要求学生掌握基本的模块电路的技术指标参数的确定与测试。第5章“数字电子技术实验”，要求学生重点掌握组合逻辑电路和时序逻辑电路基本应用、逻辑分析和设计，掌握数字逻辑电路的基本调试方法。第6章“基于 Multisim 的电路仿真”，重点对仿真软件进行讨论及应用操作方法。第7章“常用仪器仪表使用说明书”，重点介绍了常用电子仪器仪表的工作原理及测量、操作方法。第8章“电子器件及装置”，重点介绍基本的电子器件测试方法、器件使用规则、部分集成器件的外引线排列次序和 EE2010 电子综合实践装置的使用说明书等。

本实验教材可作为高等学校工科电工学实验课程的实验教材，或作为电气、电子各专业和各非电类工科专业的电工技术实验和电子技术实验教材或参考教材，也可作为职业大学、成人教育大学和网络教育大学等各种不同层次的电工、电子教学的实验教材，还可作为从事电子技术工作的工程技术员的参考教材。

本教材由西南交通大学王英编著，曾欣荣、陈曾川、谢美俊等参编。另，感谢各位同行专家给予的支持和建议。

由于作者水平有限，书中的错误和不妥之处恳请广大读者批评指正，谢谢。

王 英

2015年8月

目 录

第 1 章 电工、电子实验基础知识	1
1.1 电工、电子测量基础知识概论	1
1.2 测量方法	6
1.3 电工、电子技术实验须知	10
1.4 实验故障处理	13
1.5 实验安全用电规则	15
1.6 电阻电路的基本测量	15
第 2 章 电路基础实验	16
2.1 实验一 伏安特性的测量	16
2.2 实验二 叠加原理实验	21
2.3 实验三 戴维南定理实验	25
2.4 实验四 示波器的使用	30
2.5 实验五 交流电路参数的测量及功率因数提高实验	37
2.6 实验六 三相交流电路	42
2.7 实验七 一阶电路的时域响应	46
第 3 章 变压器与电机控制实验	50
3.1 实验一 单相变压器	50
3.2 实验二 三相异步电动机的基本控制	54
3.3 实验三 电动机点动与长动控制电路设计	57
3.4 实验四 电动机 Y- Δ 启动控制电路设计	58
3.5 实验五 电动机自动正反转控制电路设计	59
第 4 章 模拟电子技术实验	61
4.1 实验一 模电器件性能测试设计实验	61
4.2 实验二 基本的单相桥式整流、滤波、稳压电路	64
4.3 实验三 单管电压放大电路	71
4.4 实验四 两级阻容耦合放大电路	80
4.5 实验五 运算放大器的线性应用 (1)	86
4.6 实验六 运算放大器的线性应用 (2)	93

第 5 章 数字电子技术实验	97
5.1 实验一 与非门组成故障报警电路	97
5.2 实验二 组合数字比较器	101
5.3 实验三 半加器、全加器的组合电路设计	106
5.4 实验四 智力竞赛抢答电路	112
5.5 实验五 计数-译码-数码显示综合性实验	116
5.6 实验六 分频器	124
5.7 实验七 八路定时竞赛抢答电路的设计与仿真	130
5.8 实验八 555 集成定时器及其应用	136
5.9 实验九 综合性电子秒表计时电路设计	147
5.10 实验十 电子表计时显示电路的设计	152
5.11 实验十一 数字钟的综合性设计实验	156
5.12 实验十二 交通灯控制系统的设计	160
第 6 章 基于 Multisim 的电路仿真	168
6.1 Multisim 仿真软件	168
6.2 Multisim 的基础知识	169
6.3 Multisim 的基本操作	182
6.4 Multisim 的元件库	201
6.5 虚拟仿真仪器	207
第 7 章 常用仪器仪表使用说明书	220
7.1 AN8701P 数字式电参数测量仪	220
7.2 DF1701SB/SC 可调式直流稳压、稳流电源使用说明书	228
7.3 DF1731SB3AB 可调式直流稳压、稳流电源	232
7.4 DF1405/DF1410/DF1420/DF1440 数字合成函数信号发生器系列	236
7.5 DF1640B、DF1647 函数发生器/数字频率计使用说明书	249
7.6 DF4320 型 20 MHz 双通道示波器使用说明书	255
第 8 章 电子器件及装置	267
8.1 半导体分立器件管脚的识别与简单测试	267
8.2 集成器件使用规则	270
8.3 集成器件的外引线排列次序	271
8.4 EE2010 电子综合实践装置使用说明书	279
参考文献	285

第1章 电工、电子实验基础知识

1.1 电工、电子测量基础知识概论

1.1.1 电工、电子测量

测量是为确定被测对象的量值而进行的实验过程。电工测量是以电工技术理论为依据,借助于电工仪表,测量电路中的电压、电流、电功率及电能等物理量。电子测量则是以电子技术理论为依据,借助电子测量设备,测量有关电子学的量值(如电信号的特性、电子电路性能指标、电子器件的特性曲线及参数)。电工、电子测量的内容通常包含以下几个方面:

1. 能量的测量

如电压、电流、电功率、电能等。

2. 元件参数的测量

如电阻、电容、电感、阻抗、功率因数、品质因数、电压变比、电子器件的性能指标等。

3. 电信号特性的测量

如电信号的频率、相位、失真度、幅频特性、相频特性等。

4. 电子电路性能的测量

如放大倍数、通频带、灵敏度、衰减度等。

5. 非电量的测量

如温度、压力、速度等。

上述各项测量参数中,电压、频率、阻抗、相位等是基本电参数,它们在其他参数测量的基础。如电功率的测量,可通过电压、阻抗的测量实现;放大器增益的测量,可通过输入、输出端电压的测量实现。

1.1.2 测量误差

在测量过程中,由于受到测量设备、测量方法、测量经验等多种因素的影响,使测量的结果与被测量的真实数值之间会产生差别,这种差别称为测量误差。

1. 测量标准

不同的测量项目,对其测量误差大小要求的标准是不同的。目前,测量标准分为三种。

1) 层级分类

按照标准化层级标准作用和有效的范围不同,将标准划分为不同层次和级别的标准。一般有国际标准、区域标准、国家标准、行业标准、地方标准、企业标准等。

(1) 国际标准:由国际标准化或标准组织制定,并公开发布的标准。如国际标准化组织(ISO)和国际电工委员会(IEC)批准、发布的标准是目前主要的国际标准。

(2) 区域标准:由某一区域标准化或标准组织制定,并公开发布的标准。如欧洲标准化委员会(CEN)发布的欧洲标准(EN)就是区域标准。

(3) 国家标准:由国家标准团体制定,并公开发布的标准。如GB、ANSI、BS是中、美、英等国国家标准代号。

(4) 行业标准:由行业标准化团体或机构制定,并公开发布的标准。这是在行业内统一实施的标准,又称为团体标准。

(5) 地方标准:由一个国家的地方部门制定,并公开发布的标准。

(6) 企业标准:由企业事业单位自行制定,并公开发布的标准。企业标准在有的国家又称为公司标准。

2) 对象分类

按照标准对象的名称归属分类,将标准划分为产品标准、工程建设标准、工艺标准、环境保护标准、数据标准等。

3) 性质分类

按照标准的属性分类,将标准划分为基础标准、技术标准、管理标准、工作标准等。

测量标准的分类方法较多,如根据标准实施的强制程度,将标准分为强制标准、暂行标准、推荐标准。

2. 测量常用术语

1) 真 值

被测量的参数量本身所具有的真实值称为真值。真值是一个理想的概念,一般是不知道的。

2) 实际值

通常将精度较高的标准仪器、仪表所测量的值作为“真值”,但它并非真正的“真值”,所以将其称为实际值。

3) 标称值

测量器件、设备上所标出的数值称为标称值,如标准电阻、电容等器件上标出的参数值。

4) 示 值

测量仪器所指示出的测量数据称为示值。示值是指测量结果的数值。

5) 精 度

精度是指测量仪器的读数或测量结果与被测量真值一致的程度。精度高,说明测量误差小;精度低,说明测量误差大。因此,精度是测量仪表的重要性能指标,同时也是评定测量结果的最主要、最基本的指标。

精度还可以用精密度、正确度、准确度三个指标来表征。

(1) 精密度:表示仪表在同一测量条件下对同一被测量值进行多次测量时,所得到的测

量结果的分散程度。它说明仪表指示值的分散性。

(2) 正确度：说明仪表指示偏离真实值的程度。

(3) 准确度：它是精密度和正确度的综合反映。当用于测量结果时，表示测量结果与被测量真值之间的一致程度；当用于测量仪器时，则表示测量仪器的示值与真值之间的一致程度。准确度是一种定性的概念。

3. 测量误差的计算

测量误差通常用绝对误差和相对误差来表示。

1) 绝对误差

测量的示值 X 与被测量真值 X_0 之间的差值称为绝对误差，用 ΔX 表示：

$$\Delta X = X - X_0 \quad (1.1)$$

在实际测量中，常用精度高一级的标准仪器仪表测量的示值作为 X_0 。对同一被测量值而言，测量的绝对误差越小，测量就越准确；对于不同的被测量值，则测量的绝对误差不能反映测量的准确程度。因此，为了弥补绝对误差的不足，提出了相对误差的概念。

2) 相对误差

相对误差能够反映被测量的测量准确程度。

在实际应用中，相对误差可分为实际相对误差、示值相对误差和满度相对误差。

(1) 实际相对误差：测量的绝对误差 ΔX 与被测量的真值 X_0 之比，用符号 γ_0 表示：

$$\gamma_0 = \frac{\Delta X}{X_0} \times 100\% \quad (1.2)$$

(2) 示值相对误差：测量的绝对误差 ΔX 与仪器、仪表示值 X 之比，用符号 γ_x 表示：

$$\gamma_x = \frac{\Delta X}{X} \times 100\% \quad (1.3)$$

(3) 满度相对误差：测量仪器、仪表各量程内最大绝对误差 ΔX_m 与测量仪器、仪表满度值（量程上限值） X_m 之比，用符号 γ_m 表示：

$$\gamma_m = \frac{\Delta X_m}{X_m} \times 100\% \quad (1.4)$$

满度相对误差也叫满度误差、引用误差。

我国电工仪表的准确度等级 S 就是按满度误差 γ_m 分级的，按 γ_m 大小依次划分成 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5 及 5.0 共七级。例如，某电压表为 0.2 级，即表明它的准确度等级为 0.2 级，它的满度相对误差不超过 0.2%，即 $|\gamma_m| \leq 0.2\%$ （或 $\gamma_m = \pm 0.2\%$ ）。

当已知仪表的准确度等级 γ_m 和量程 X_m 时，可得出仪表量程内绝对误差的最大值：

$$\Delta X_m = \gamma_m \cdot X_m \quad (1.5)$$

当已知仪表的准确度等级 γ_m 、量程 X_m 和被测量值 X 时，可计算出被测量的最大相对误差：

$$\gamma_{xm} = \frac{\Delta X_m}{X} \times 100\% \quad (1.6)$$

【例 1】 用量限为 100 V、准确度为 0.5 级的电压表，分别测量出 80 V、50 V、20 V 电压值，试问测量结果的最大相对误差是否相同？

【解】 仪表量程内绝对误差的最大值：

$$\Delta X_m = \gamma_m \cdot X_m = \pm 0.5\% \times 100 = \pm 0.5 \text{ (V)}$$

测量 80 V 值的最大相对误差：

$$\gamma_{xm} = \frac{\Delta X_m}{X} \times 100\% = \pm \frac{0.5}{80} \times 100\% = \pm 0.625\%$$

测量 50 V 值的最大相对误差：

$$\gamma_{xm} = \frac{\Delta X_m}{X} \times 100\% = \pm \frac{0.5}{50} \times 100\% = \pm 1\%$$

测量 20 V 值的最大相对误差：

$$\gamma_{xm} = \frac{\Delta X_m}{X} \times 100\% = \pm \frac{0.5}{20} \times 100\% = \pm 2.5\%$$

由例 1 可知，测量结果的准确度不仅与仪表的准确度等级有关，而且与被测量值的大小有关。当仪表的准确度等级给定时，所选仪表的量限越接近被测量值，则测量结果的误差就越小。但有些电路，尤其是电子线路，其等效电阻有时比万用表低电压量程挡的总电阻大得多，测量时选择较高的电压量程反而比较准确。

在万用表的面板上都标明了交、直流电压和电流以及欧姆挡等各测量挡的准确度等级。如 MF 47 型万用表直流电流挡的准确度等级为 2.5。

【例 2】 现有两块电压表，一块电压表量程为 50 V、准确度为 1.5 级，另一块电压表量程为 15 V、准确度为 2.5 级，若要测量一个约为 12 V 的电压，试问选用哪一块电压表测量合适？

【解】 (1) 用量程为 50 V、准确度为 1.5 级电压表测量，则

仪表量程内绝对误差的最大值：

$$\Delta X_m = \gamma_m \cdot X_m = \pm 1.5\% \times 50 = \pm 0.75 \text{ (V)}$$

测量 12 V 值的最大相对误差：

$$\gamma_{xm} = \frac{\Delta X_m}{X} \times 100\% = \pm \frac{0.75}{12} \times 100\% = \pm 6.25\%$$

(2) 用量程为 15 V、准确度为 2.5 级电压表测量，则

仪表量程内绝对误差的最大值：

$$\Delta X_m = \gamma_m \cdot X_m = \pm 2.5\% \times 15 = \pm 0.375 \text{ (V)}$$

测量 12 V 值的最大相对误差：

$$\gamma_{x_m} = \frac{\Delta X_m}{X} \times 100\% = \pm \frac{0.375}{12} \times 100\% = \pm 3.125\%$$

所以，应选用量程为 15 V、准确度为 2.5 级电压表。

4. 测量误差来源

产生测量误差的原因是多方面的，测量数据的误差是一个综合反映，主要由以下几方面引起误差：

(1) 仪器仪表误差：由测量仪器、仪表准确度引起的误差。

(2) 人员误差：由于测量者的分辨能力、实验操作习惯等原因引起的误差。如测量者在模拟仪器的标尺进行读数据时，会出现视差；测量者在仪器仪表到达稳定值之前读数据，会产生动态误差。

(3) 测量方法误差：测量方式，测量仪器、仪表选择，测量接线粗细长短等引起的误差。

(4) 环境误差：由实验所处的环境引起的误差。如温度、湿度、电磁场、噪声等均会引起误差；又如，仪器、仪表长时间使用，其性能偏离标准而未校准所引起的误差。

1.1.3 测量仪器

测量仪器是将被测量转换成可以直接显示或读取数据信息的设备，它包括各类指示仪器、比较式仪器、记录仪器、信号源和传感器等。一般，将利用电子技术测量各种待测量的仪器称为电子测量仪器，而利用电工技术测量各种待测量的仪器称为电工测量仪器。

1. 电工测量仪器

电工测量仪器的基本结构是电磁机械式的，借助指针来显示测量结果。通常分为两类：电测量指示仪表类和比较仪器类。

(1) 电测量指示仪表：如按仪表的工作原理可分为电磁系、磁电系、电动系、感应系和整流系；如按仪表测量对象可分为电压表、电流表、功率表、功率因数表、兆欧表、电度表等。

(2) 电测量比较表：主要有交直流电桥测量仪、交直流补偿式测量仪等。

2. 电子测量仪器

通常将电子测量仪器的发展分为四个阶段：模拟仪器（测量数据采取指针式显示，如万用表、晶体管电压表等）、数字化仪器（测量数据采取数字式输出显示，如数字万用表、数字频率计、数字式相位计等）、智能仪器（能对测量数据进行一定的数据处理，内置微处理器）和虚拟仪器（是检测技术与计算机技术和通信技术有机结合的产物）。

随着电子技术的飞速发展，电子测量仪器的种类及性能与日俱增。目前，通用电子测量仪器若按其功能可分为以下几类：

(1) 电平测量仪器，如电压表、电流表、功率表等。

(2) 元件参数测量仪器，如 R 、 L 、 C 参数测试仪；晶体管或集成电路参数测试仪等。

(3) 信号发生器，如函数信号发生器、音频信号发生器、低频和低频信号发生器等。

(4) 信号分析仪器，如频谱分析仪、谐波分析仪和动态信号分析仪等。

- (5) 频率、时间、相位测量仪器, 如频率计、相位计和波长计等。
- (6) 波形特性测量仪器, 如各类示波器。
- (7) 模拟电路特性测试仪器, 如网络特性分析仪、频率特性测试仪、噪声系数测试仪等。
- (8) 数字电路特性测试仪器, 如逻辑分析仪。

1.2 测量方法

1.2.1 电工技术的测量方法

1. 按测量手段分类

按测量手段可分为直接测量、间接测量和组合测量三种。

1) 直接测量

直接用测量仪器、仪表测量被测量的数据的方法称为直接测量。如用电流表测量电流、电压表测量电压等。直接测量方法在工程测量中被广泛应用。

2) 间接测量

被测量的数据是通过测量其他数据后换算得到的, 不是直接测量所得, 这种间接测试数据的方法称为间接测量。如电阻的测量: 通过测量电压、电流的量值, 根据欧姆定律计算出电阻的大小。间接测量在科研、实验研究室及工程测量中被广泛应用。

3) 组合测量

被测量的数据需通过多个测量参数及函数方程组联立求解得到, 这种测量方法称为组合测量。组合测量与间接测量的不同之处是, 组合测量是在不同的测量条件下, 进行多次测量得到的测量参数。组合测量方法比较复杂, 一般应用于科学实验。

2. 按测量方式分类

按测量方式可分为直读法和比较法两种。

3. 按测量性质分类

按测量性质可分为时域测量、频域测量、数字域测量和随机测量四种。

- (1) 时域测量: 测量与时间有函数关系的量, 如用示波器观测随时间变化的量。
- (2) 频域测量: 测量与频率有函数关系的量, 如用频谱分析仪分析信号的频谱。
- (3) 数字域测量: 测量数字电路的逻辑状态, 如用逻辑分析仪等测量数字电路的逻辑状态。
- (4) 随机测量: 主要测量各种噪声、干扰信号等随机量。

1.2.2 模拟电子技术的测量方法

1. 电压的测量方法

下面介绍两种测量电压的方法, 即直接测量法和示波器测量法(又称比较测量法)。

1) 直接测量法

直接测量法是一种直接用电压表测量电压的方法。

在测量电压时,注意考虑电表的输入阻抗(或电阻)、仪表的量程、频率范围等。在仪表的量程选择上,尽量使被测电压的指示值(即电压值的大小)大于仪表满刻度量程的 $2/3$,减少仪表所产生的测量误差。

2) 示波器测量法

示波器测量法是用示波器同时测量显示被测电压与已知电压,通过对被测电压信号与已知电压信号间的比较后,计算出被测电压值。所以,示波器测量法又称为比较测量法。

(1) 直流电压的测量。

测量步骤如下:

- 设置被选用通道的输入耦合(AC-GND-DC)方式为“GND”。
- 扫描方式的选择(SWEEP MODE)为自动(AUTO)方式,屏幕上显示扫描光迹,即屏幕显示一条扫描基线。
- 调节垂直移位,使扫描基线移到示波器屏幕刻度的中心水平坐标上,并定义此时的电压值为零(即称为基准电压)。
- 将被测信号输入被选用的通道插座。
- 将输入耦合(AC-GND-DC)方式置为“DC”。
- 测量扫描线在垂直方向偏移基线的距离,扫描线向上移为正电压,向下移为负电压。
- 按下式计算被测直流电压值:

直流电压值 $U = \text{垂直方向格数} \times Y \text{轴电压衰减指示值 (VOLTS/DIV)} \times \text{偏转方向 (+ 或 -)}$

例如:在图 1.2.1 中,测出扫描基线比原基线上移 3.5 格,如 Y 轴电压衰减指示值为 2 V/div ,则被测直流电压 U 为

$$U = 3.5 \times 2 = 7 \text{ (V)}$$

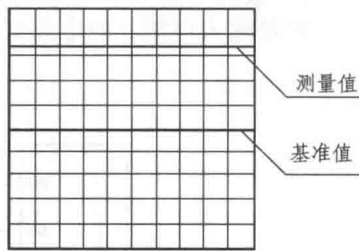


图 1.2.1 直流电压测量图

(2) 交流电压的测量。

- 将示波器 X 轴扫描速度微调(VARIABLE)顺时针旋足,即置于“校准”位置。
- 将被测交流电压 $u(t)$ 信号从 Y 轴“CH1”输入,即垂直方式设置为“CH1”通道。
- 调整 X 轴扫描速度,使波形稳定,并使屏幕显示至少一个波形周期。
- 调整垂直移位(VERTICAL POSITION),使波形的底部在屏幕中某一水平坐标上。
- 调整水平移位(HORIZONTAL POSITION),使波形顶部在屏幕中央的垂直坐标上。
- 测量垂直方向波形峰-峰两点的格数。
- 按下面的公式计算被测信号的峰-峰电压值 U_{p-p}

$$U_{p-p} = \text{垂直方向峰-峰间的格数} \times Y \text{轴电压衰减指示值 (VOLTS/DIV)}$$

例如:在图 1.2.2 中,测出交流电压波形峰-峰两点的垂直格数为 6 格,如 Y 轴电压衰减指示值为 3 V/div ,则被测交流电压 $u(t)$ 信号的峰-峰值电压 U_{p-p} 为

$$U_{P-P} = 6 \times 3 = 18 \text{ (V)}$$

峰值电压（即最大值电压） U_m 为

$$U_m = 3 \times 3 = 9 \text{ (V)}$$

有效值电压 U 为

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{U_{P-P}}{2\sqrt{2}} \approx 6.36 \text{ (V)}$$

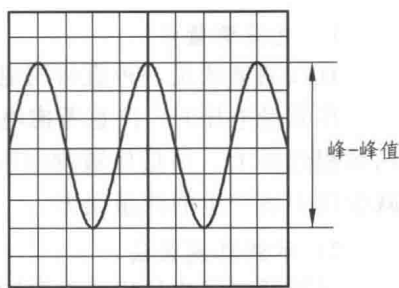


图 1.2.2 交流电压测量图

2. 阻抗的测量方法

在模拟电子电路中，阻抗参数值是描述系统的传输及变换的一个重要技术指标。特别是低频条件下模拟线性放大电路的输入电阻和输出电阻，是反映放大电路特性的重要参数。

根据电路理论中欧姆定律，可得：

直流电路中电阻为

$$R = \frac{U}{I}$$

正弦交流电路中阻抗为

$$Z = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = R + jX$$

即欧姆定律是测量阻抗的理论基础。

下面重点讨论模拟线性放大电路的输入电阻和输出电阻的测量方法。

1) 放大电路输入电阻 r_i 的测量方法

测量输入电阻 r_i 的电路如图 1.2.3 所示，其中电阻 R 值为已知。

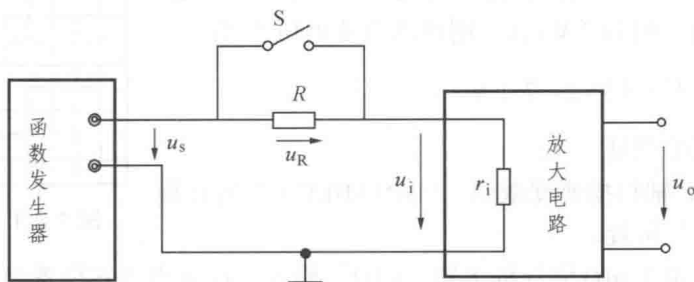


图 1.2.3 放大电路输入电阻 r_i 测量图

在测量放大电路输入电阻 r_i 前，先估算一下输入电阻 r_i 的大小。当测量较低的输入电阻 r_i 时，用“输入换算法”测量；当测量较高的输入电阻 r_i 时，用“输出换算法”测量。

注意：函数发生器输出的信号为低频小信号，保证放大电路工作在线性放大状态下，即用示波器观测输出波形是否失真，调节输入信号，确保放大电路输出波形不失真。

(1) 输入换算法。

用仪器、仪表分别测量图 1.2.3 中的有效值电压 U_s 、 U_i ，则根据欧姆定律，分析计算输入电阻 r_i 为

$$r_i = \frac{U_i}{\frac{U_s - U_i}{R}} = \frac{U_i}{U_s - U_i} \cdot R$$

(2) 输出换算法。

选择电阻 R 值大小尽量接近被测输入电阻 r_i 的值。

当图 1.2.3 中开关 S 闭合时, 用仪器、仪表测量输出电压有效值, 即输出电压 $U_o = U_{o1}$ 。根据放大电路原理得

$$A_u = \frac{U_o}{U_i} = \frac{U_{o1}}{U_s} \quad (1.7)$$

当图 1.2.3 中开关 S 打开时, 用仪器、仪表测量输出电压有效值, 即输出电压 $U_o = U_{o2}$ 。则

$$A_u = \frac{U_o}{U_i} = \frac{U_{o2}}{U_i} \quad (1.8)$$

$$U_i = \frac{r_i}{R + r_i} U_s \quad (1.9)$$

将式 (1.9) 代入式 (1.8), 得

$$A_u = \frac{U_{o2}}{U_s} \cdot \left(1 + \frac{R}{r_i}\right) \quad (1.10)$$

因式 (1.7) 等于式 (1.10), 则

$$\frac{U_{o1}}{U_s} = \frac{U_{o2}}{U_s} \cdot \left(1 + \frac{R}{r_i}\right) \quad (1.11)$$

所以输入电阻 r_i 为

$$r_i = \frac{U_{o2}}{U_{o1} - U_{o2}} \cdot R \quad (1.12)$$

2) 放大电路输出电阻 r_o 的测量方法

放大电路输出电阻 r_o 的测量原理电路如图 1.2.4 所示, 电阻 R_L 为放大电路的负载电阻, 并且已知电阻 R_L 的参数值。

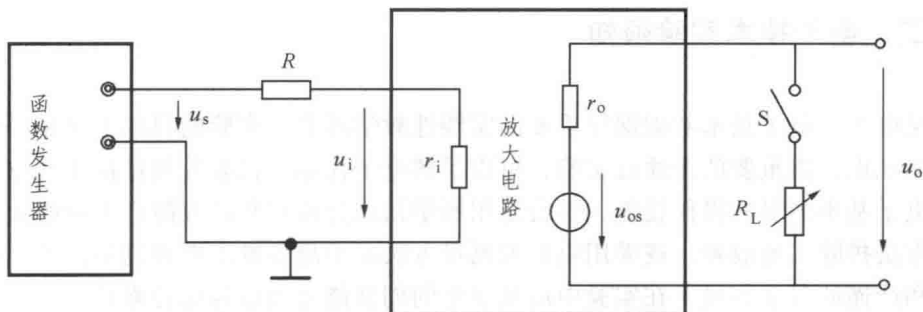


图 1.2.4 放大电路输出电阻 r_o 的测量图

在保持输入函数信号 u_s 不变的条件下, 分别用仪器、仪表测量开关 S 闭合时的输出电压 U_{oL} 和开关 S 打开时的输出电压 U_o , 则通过换算得放大电路的输出电阻 r_o 为

$$r_o = \frac{U_{os} - U_{oL}}{\frac{U_{oL}}{R_L}} = \frac{U_o - U_{oL}}{U_{oL}} \cdot R_L$$

1.2.3 数字电子技术的测量方法

数字电子电路的实验过程是对基本逻辑器件功能特性了解掌握的过程, 是检验、修正设计方案的实践过程, 是理论知识应用的过程, 是电子工程师们必须掌握的基本技能, 而实验中的测试方法、分析技能则是数字电子电路正常工作的基本保证。

数字电路技术测量方法主要分为集成电路器件功能测试和数字逻辑电路的逻辑功能测试。

1. 数字集成电路器件的功能测试方法

在实验之前, 对所选用的数字集成器件, 应进行器件的逻辑功能检测, 避免在实验过程中因器件原因发生电路故障, 增加故障分析判断的难度。常用的有如下三种检测器件功能的方法:

1) 仪器测试法

仪器测试法是通过一些数字集成电路测试仪, 对数字集成电路器件功能进行检测的方法。

2) 实验法

根据已知数字集成电路器件的功能, 设计一个能直接反映其功能的测试电路, 通过实验电路是否能完成其器件的逻辑功能, 判断器件的功能是否正常。

3) 替代法

先用一个已知功能正常的同型号器件连接一个数字应用电路, 再用被测器件去替代这个正常工作的相同型号器件, 从而判断器件的功能是否正常。

2. 数字电路的分析测试方法

数字电路的测试方法有多种, 用不同的仪器仪表, 其测试方法略有不同。但基本上都是通过测试数字电路的逻辑结果, 并加以分析, 从而得出数字电路的逻辑关系和时序波形图。在实验中, 常用的测试仪器主要是示波器、逻辑分析仪等。

1.3 电工、电子技术实验须知

实验是电工、电子技术基础课程重要的实践性教学环节。实验的目的不仅是巩固和加深理解所学的知识, 更重要的是通过实验, 可以了解电子仪器、仪表及测量操作的方式方法, 掌握电工电子基本测量的操作技能, 学会运用所学知识分析和判断故障产生的原因, 用最有效的方式方法排除实验故障, 或采用更好的测量方法减小故障发生率和测量误差, 树立工程实践理念和严谨的科学作风。在实验中启发学生的创新能力和培养综合素质。

1.3.1 实验的基本要求

电工、电子实验一般可分为三个阶段,如图 1.3.1 所示。第一个阶段为“预习阶段”,预习实验相关内容,写出实验预习报告。预习报告是顺利完成实验的保障。第二阶段为“实验操作与数据测试阶段”,在做好实验前的预习基础上,开始实际操作测试,实验过程和实验结果关系到实验报告的深度和正确性。第三阶段为“实验报告的撰写阶段”,实验报告的好坏,直接反映出电子技术实验的操作技能、测试能力、数据分析与理论研究等科学实践的水平。

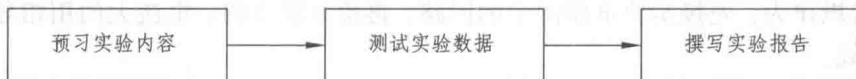


图 1.3.1 电子技术实验实施过程框图

1. 预习报告

“预习报告”是实验前对每一个学生提出的要求。实验前每一位学生应反复向自己提出以下几个问题,并完成实验前的预习报告。即

- (1) 我进实验室做什么项目?
- (2) 我做实验的目的是什么?
- (3) 实验项目的基本原理、实验电路图和实验内容要求是什么?
- (4) 怎么才能准确无误地实施操作完成实验项目?
- (5) 实验数据怎么测试? 怎样判断测试实验数据的正确性?
- (6) 实验实施过程中要用到哪些电子仪器、仪表? 如何操作使用这些仪器、仪表?
- (7) 实验中有哪些安全注意事项?

每一位做实验者,通过“预习报告”的论述,阅读理论教材和实验教材,深入了解实验目的、原理、内容,掌握实验项目操作技能和实验参数的测试方法,便于准确无误地完成实验项目的同时从中获得最大的知识量和实践能力的提高。

2. 实验过程

“实验室”不仅仅是一个实验课程学习的平台,它还是科学与研究的发源地。从简单的“证明”、“验证”性实验开始,告诉大家,实验是怎样进行的,参数是如何测量出来的,仪器、仪表的作用是什么。看似简单的理论是如何在实验中得以证明,而实验证明的过程又教会我们更多的科学研究方式方法,所以,实验室是所有学生提高实践能力、展现科学研究水平的地方。

由于电气电子类实验涉及人身安全和国家财产的安全,所以实验进行中必须保证安全第一,遵守实验操作守则是做实验者必备的实验素质,因此,在实验过程中,要求必须做到:

(1) 准时进入实验室,在规定的时间内完成实验任务,遵守实验室的规章制度,实验任务完成后整理好实验器件和仪器、仪表等。

(2) 掌握实验中的仪器、仪表、装置等技术指标、参数和使用方法。

- ① 了解设备的名称、用途、铭牌规格、额定值及面板旋钮情况。
- ② 重点关注设备使用的极限值。

注意测量仪表、仪器最大允许输入量。如:电流表、电压表和功率表要注意最大的电流值或电压值;万用表、示波器、数字频率计等的输入端都规定有最大允许的输入值,不得超过,否则