



21世纪高职高专系列教材
21SHIJIGAOZHIGAOZHUANXILIEJIAOCAI

电路实验

DIANLU SHIYAN



王 斌 编

西北工业大学出版社

21 世纪高职高专系列教材

电 路 实 验

王 斌 编

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书是为配合电子、信息、通信等专业电路基础课教学而编写的实验指导教材。全书分五部分：第一部分介绍了电路实验的基础知识；第二部分介绍了电路实验所用仪器仪表的原理及使用方法；第三部分为电路基础性实验，涵盖了电路主要知识点；第四部分为提高性实验，用以训练学生对电路知识的综合应用能力；第五部分为附录，介绍了D/GJ系列电路实验装置和常用电子元器件知识。本书适用于高职高专学生使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

电路实验/王斌编. 西安:西北工业大学出版社, 2003.1 ISBN 7-5612-1574-6

I. 电… II. 王… III. 电路-实验-高等学校:技术学校-教材 IV. TM13-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第103511号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路127号 邮编:710072 电话:(029) 8493844

网 址: <http://www.nwpu.com>

印 刷 者:陕西向阳印务有限公司印装

开 本:787mm×960mm 1/16

印 张:10.375(全套)

字 数:204千字

版 次:2003年2月 第1版 2003年2月 第1次印刷

印 数:1~6000

定 价:13.00元(全套)

序

高等职业教育是在我国高等教育大发展的浪潮中崛起的一个新的教育类型，是职业教育的高等阶段，是高等教育的重要组成部分。高等职业教育以培养适应生产、建设、管理、服务第一线需要的高等技术应用型人才为根本任务，以适应社会需要为目标，以培养技术应用能力为主线设计学生的知识、结构和培养方案。高等职业教育由于其毕业生应具有基础理论适度、技术和应用能力强、知识面较宽、素质较高等特点，因而在我国高等教育事业中占有重要的地位，在我国社会主义现代化建设事业中发挥着重要的作用。随着社会的发展、科技的进步，我国的高等职业教育必将进一步发展、壮大。

教材建设是高等学校建设的一项基本内容，培养和造就适应生产、建设、管理、服务第一线需要的高等技术应用性专门人才，要求我们必须重视高等职业教育教材改革与建设，编写和出版一批具有高等职业教育自身特色的高质量教材。

目前，我国的高等职业教育正在蓬勃发展，部分学校已经取得了一些成功的经验，并逐渐形成了自己的办学特色，但高等职业教育的教材建设明显跟不上发展的要求。针对高等职业教育教材的现状，根据教育部提出的近5年内“编写出版一批有特色的基础课程和专业主干课程教材”的工作目标，西北工业大学金叶信息技术学院和西北工业大学出版社密切配合，共同策划，在深入调查、认真研究的基础上，大胆创新，推出了一系列针对性强、难易适中、具有高等职业教育特色的教材。该系列教材具有如下特点。

1. 内容新颖，体现先进性

在研究国内外同类教材的基础上，汲取了有用的养料，并根据专业实际，适当介绍相关科技领域的新进展、新方法、新技术。

2. 体系独特，体现新观念

本系列教材以能力培养为主，所涉及的基础理论深浅适度。教材重

在加强学生的基本实践能力与操作技能、专业技术应用能力与专业技能、综合实践能力与综合技能的培养，书中介绍的基础理论，以“必需、够用”为度。

3. 品种多样，体现全面性

本系列教材将教科书、教学参考书、实验教材和视听教材配套，便于教师教学，也便于学生自学。

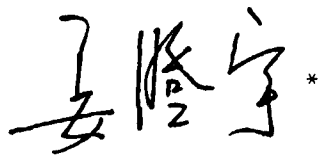
4. 作者实力强大，体现高水平

西北工业大学金叶信息技术学院一直注重培养与高职教育相适应的“双师型”的教师队伍。本系列教材的作者均具有多年的施教经验，现仍活跃在教学第一线。

5. 编写形式多样，体现新思路

网络化、电子化、数字化是当今社会的特色，本系列教材倡导电子讲稿和多媒体课件的配套出版，以给作者和读者提供一个更加广阔的发展空间。

该系列教材首批推出 12 种，所有书稿几经修改，并经同行专家审定，内容选材新颖、实用，重在对基本概念的启发、理解和提高高职生分析问题、解决问题的能力，因而我热情地向大家推荐这批教材，希望它能对广大读者的学习有所帮助，更期望它能在强化素质教育、推动高等职业教育方面起到积极的作用。



2003 年 1 月

姜澄宇 西北工业大学校长，教授，博士生导师。

21 世纪高职高专系列教材

编 委 会

顾	问	姚书志 (陕西省教育厅高教处处长)
		王润孝 (西北工业大学党委副书记、副校长)
主 任 委 员		张 渤 (西北工业大学金叶信息技术学院副院长)
副主任委员		冯学廉
		张近乐 (西北工业大学出版社社长)
委	员	宋金书 张水平 张会生 辛 柯 安德利
		高光涛 褚泓阳 张 云 李 辉

前 言

本书是为配合高等职业技术学校电子类、通信类、计算机信息类专业电路基础课程教学而编写的实验教学指导书。

高等职业技术学校以培养面向生产第一线的应用型人才为主要目标，因此，本教材在注意理论与实践结合的基础上突出了实践性，在实验内容选取上尽量做到“少而精”，着重加强学生分析问题解决问题的能力培养，加强学生的动手操作能力。在第一、二部分着重介绍了基本实验理论和实验仪器仪表的原理与使用，并且以使用为主。第三部分为基础性实验，这部分在验证基本理论的同时，注重培养学生分析问题和解决问题的能力，并加强常用仪器仪表的使用训练。第四部分为提高性实验，以培养学生将理论知识用于实践的能力。其中实验一为万用表的设计与组装，该实验用以训练学生对直流电部分基本电路理论的综合应用。实验二为小型变压器的设计、绕制和测试，该实验训练学生对交流电基本理论的综合应用。附录部分介绍了一些电路常用元件的基本知识，以满足学生对电路基本元件的认知和使用需要。

本书在编写过程中得到了西北工业大学范世贵教授和西北工业大学金叶信息技术学院高级实验师仲瑞鹏老师的指导和帮助，并且由范世贵教授审阅了全书，在此表示衷心的感谢。

由于编者的水平有限，书中的不妥和错误之处难免，衷心欢迎读者批评指正。

编 者

2002 年 11 月于西北工业大学金叶信息技术学院

目 录

第一部分 电路实验预备知识	1
第一节 电路实验的目的和要求.....	1
第二节 实验误差分析及数据处理.....	2
第三节 实验报告要求及要求.....	6
附 实验报告范例.....	7
第二部分 电路实验常用仪器仪表简介	10
第一节 模拟万用表的工作原理及使用	10
第二节 数字万用表的使用	17
第三节 函数信号发生器的使用	20
第四节 示波器的基本原理与使用	22
第五节 电子毫伏表的使用	35
第六节 功率表的使用	37
第三部分 基础实验	41
实验一 万用表的使用	41
实验二 基尔霍夫定律和叠加原理	45
实验三 戴维南定理	49
实验四 函数信号发生器与示波器的使用	53
实验五 RLC 电路阻抗特性的研究	56
实验六 RC 一阶电路响应观测	61
实验七 三表法测量电路元件等效参数	66
实验八 串联谐振电路研究	70
实验九 三相交流电路电压、电流和功率的测量	74
实验十 互感电路观测	79
第四部分 提高性实验	82
实验一 万用表的设计和组装	82
实验二 小型变压器的设计、绕制和测试	88

附录.....	101
附录一 DGJ - 03 型电工实验台介绍	101
附录二 常用电子元件基础知识.....	103
第一节 电阻器.....	103
第二节 电容器.....	106
附录三 万用表表盘上符号的意义.....	108
参考文献.....	110

第一部分 电路实验预备知识

第一节 电路实验的目的和要求

一、电路实验的目的

实验是将理论和实践结合起来的一种途径,通过实验既可以加深理论知识的理解和掌握,又可以培养学生基本的实验技能、分析问题和解决问题的能力,为以后的实际工作打下坚实的基础。

电学实验根据任务的不同分为三类:第一类实验是验证性实验,通过实验以加深对理论知识和有关概念的理解。第二类实验是提高性实验。要求学生能根据所学知识进行简单的知识综合应用。第三类实验是综合性和设计性实验,根据给定的课题和电路的性能指标,要求学生自行设计电路,选择合适的元器件及其参数,按电路图组装实验电路并按测试方案对其进行测试、调整,最终使电路达到设计要求。通过这类实验主要培养学生综合运用所学知识,解决实际问题的能力。电路实验大多属于一、二类实验,这就决定了该课程的目的:

(1) 学习常用电子仪器仪表的原理和使用。如万用表、交流毫伏表、信号发生器、示波器等。

(2) 掌握基本的实验技能和电工测试技能,以及数据分析处理基本知识。

(3) 学会编写实验报告,掌握实验报告的格式,实验数据处理的基本方法,为以后的科学研究打下基础。

二、电路实验的要求

(1) 实验前必须认真预习并写出预习报告,否则不得进入实验室。预习报告内容包括实验原理、实验电路、数据测量记录表格及必要的文字说明等。

(2) 实验中必须听从指导老师的安排,接插线要认真仔细,通电前要认真检查,确保电路正确无误,改接电路先关电源,严禁带电作业。

(3) 实验中如出现异常现象,应立即切断电源,待查明原因并排除故障后,方可重新通电。

(4) 实验时要一丝不苟,认真观察,准确真实记录实验数据和现象。随时分析实

验结果的合理性,养成独立思考,科学分析的工作作风,不断提高自己的实践动手能力。

(5) 做完实验后先关断电源,再核对数据,请老师审阅签字后方可拆除电路,整理好实验台、仪器,经允许后方可离开实验室。

(6) 每次实验后都要写实验报告。实验报告要求简洁明了,表格、图形及表达式要规范,对实验结果的分析要尊重事实,不可弄虚作假。实验中要爱护仪器仪表,在不熟悉仪器的情况下,不要贸然动手。使用仪器要用力均匀,不可过猛过快。凡因责任事故造成仪器仪表损坏者,除了写出检查外,还要酌情赔偿。

(7) 每次实验必须提前到达,不得迟到。进入实验室不得大声喧哗,保持环境整洁,严禁乱丢废物。

第二节 实验误差分析及数据处理

一、误差的表达

在测量中,由于测量仪器、测量理论、测量方法、环境以及人为等多种因素影响,测量值与真实值之间总有一定偏差。我们将这种偏差称为误差。误差不同于错误,错误是可以避免的,但误差是不可避免的。任何测量值都存在误差。在实验中我们应尽可能地减少误差,将误差控制在一定范围内,使测量值尽可能地接近真实值。在实际测量中,我们常用绝对误差和相对误差两个概念从不同的角度去描述误差。

1. 绝对误差

我们把测量值 A 与真值 A_0 之差称为绝对误差,用 Δ 表示

即:
$$\Delta = A - A_0$$

其值可正可负,由绝对误差我们可以直观的看出测量值与真实值之间的差别大小,但使用绝对误差不足以衡量测量的准确程度。

例如:你去校外买水果,货主称给你的是 1 kg,而实际只有 0.8 kg,你是否会平静的接受呢?但如果你是买 10 kg 或 50 kg 的,同样是少 0.2 kg,你感受又如何呢?很明显,虽然都差 0.2 kg,但后一种称量就比前一种称量准确得多。

2. 相对误差

为了说明测量的准确程度,人们常用相对误差这个概念。我们把绝对误差与真值之比叫相对误差,用 ϵ 表示

$$\epsilon = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\%$$

其绝对值越小,表明测量越准确。

二、误差的分类及减小方法

1. 系统误差

把测量系统本身所具有的误差称为系统误差。如：由于测量仪器仪表精度不高或测量所依据的理论方法有缺陷而引入的误差，这种误差只有在采取改进系统的前提下才能减少，否则无法改变。

例如：采用伏安法测电阻时，采用电流表外接法和内接法所产生的误差是不同的，如图1-1(a)，(b)所示。采用外接法时，电流表测得电流 I 比真实值大，从而使得最终值 R 比实际值小。采用内接法时，电压表测的电压值比实际值大，从而使得 R 比真实值大。在这个实验中要减少误差，只有分情况采取不同的方法。当电流表内阻 $R_A \ll R$ 时，应采用内接法；当 $R_A \gg R$ 时，应采用外接法。

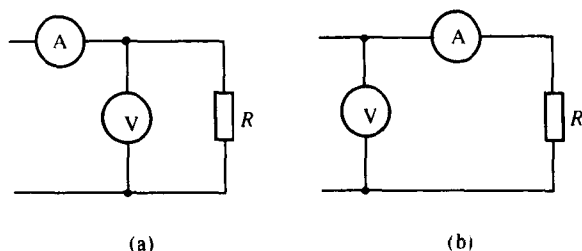


图 1-1

2. 随机误差

随机误差是指在相同的条件下，对同一参量进行多次测量，结果变化没有规律的误差。这种误差也叫偶然误差。

随机误差服从统计规律，随着测量次数的增加，测量值总围绕某一确定值变化。理论分析证明：当测量次数 $N \rightarrow \infty$ 时， $\frac{1}{N} \sum \Delta_i = 0$ 。即随机误差的算术平均值趋于零。因此减少随机误差的方法是：对被测参量在同一测量条件下，用同一种测量方法进行多次测量，然后取其平均值。

3. 粗大误差

这种误差是由于测量者操作不当引起的。其特点是测量值明显偏离真实值。对含有这种误差的数据被视为无效数据，舍去不用。

判断的方法是：设 A_p 为算术平均值，用它代替真实值 A_0 ，即

$$A_p = \frac{\sum A_i}{N}$$

则每次测量的误差为

$$\Delta_i = A_i - A_p$$

用 σ 表示均方根误差,但测量次数足够多时, σ 可用下式表示,即

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{N}}$$

用 $\Delta_{\max}$ 表示最大可能误差(又称极限误差)。理论证明

$$\Delta_{\max} = 3\sigma$$

因此,凡是存在 $\Delta_i > 3\sigma$ 的测试数据均被认为是无效数据。

三、实验数据的处理

实验的目的就是通过对实验所得到测试数据处理分析来揭示客观规律,数据的处理包括两方面的内容:第一是数据的可靠性分析和数据的精度分析,第二是在数据分析的基础上通过归纳总结、图形图表来揭示客观规律。所以实验数据处理分析是每个实验必做的内容,缺少这一环节,实验就不算完成。

(一) 实验数据的精度分析和可靠性分析

精度分析就是前面所讲的误差分析,可靠性分析就是对数据的有效数字进行处理,以进一步提高测量精度。

1. 有效数字的概念

所谓有效数字就是从一个数据的左端第一个不为零的数字起到这个数据最右端的所有数字。

一般地,一个测试数据由两部分组成:准确数字部分和最后一位的估读数字组成。如:测得某一电流值为 12.3 mA,这一数据由 3 位有效数字组成,其中最后一位数字 3 是估读的。

2. 有效数字的记录

有效数字的记录应注意以下几点:

(1) 当末位有效数字为零时,该有效数字“0”不可省略。

如:12.0 mA,这个数据由 3 位有效数据组成。其中最后一位数字“0”表示该数据精确到 0.1 mA,“0”是估读的。若去掉“0”,则成了 12 mA,表示该数据有两位有效数字,其中“2”是估读的,该数据精确到 1 mA。显然,12.0 mA 不等于 12 mA。

(2) 有效数字的位数及精度不因单位的变化而变化。

如:对 12.0 mA,若要以安培为单位,可记作:0.012 0 A 或 1.20×10^{-2} A。

(3) 测量结果的有效数字位数应与测量仪器的精度相一致。

例如:MF500-B 型万用表直流电压 10 V 档最多能精确到小数点后两位,因此测量结果 8.257 V 的末尾数“7”应被处理掉。

(4) 测量数据进行运算后,其结果的精度由参与运算的所有数据中精度最差的那个数决定。

3. 有效数字的取舍

有时根据需要,要对多余的有效数字进行取舍,这时一般按“四舍五入”的原则处理。具体舍入规则是:

(1) 当末尾数小于 5,则舍去不要;大于 5 时,舍去向高位进 1。

(2) 当末尾数恰好等于 5 时,如“5”后有数字,则舍“5”进“1”;如“5”后无数字或等于 0 时,要看“5”前面的数字是偶数还是奇数。若是偶数,则舍“5”不进位;若是奇数,则舍“5”进“1”。

(二) 利用实验数据作图

在有些实验中,我们的最终目的是要定性地找出某两个量之间的变化规律,这时通常采用作图来达到这个目的。因为,图形具有形象、直观的特点,利用它,能够加深大家对概念或规律的认识和理解。

例如:在研究谐振电路时,我们需要知道电路的电流如何随频率发生变化。这时我们就可以先测定若干不同频率值下电路中的电流大小,然后在坐标纸上描出 $I-f$ 变化曲线,通过这条曲线可以清楚地看出电流随频率的变化规律,从而很好了解谐振电路的特点。

利用实验数据作图,一般遵循下面几个步骤:

(1) 要确定合适的坐标系,一般地采用直角坐标系。作图时,最好是在坐标纸上进行,这样做出的图形较为准确。

(2) 合理选择坐标的分度和单位,坐标分度的确定应考虑参量的变化特点。如果选择的合理,最终得到的图形较为清楚,并能准确反映被测参量的变化规律。一般坐标分度有采用线性分度的,也有采用对数分度的。如:描绘元件的伏安特性曲线时,纵横坐标轴采用线性分度。而在研究放大电路的幅频特性时,横轴采用线性分度,纵轴采用对数分度。在坐标的取值上,纵横坐标的比例不一定要相同。

(3) 要合理地采集数据,特别要注意在曲线的急剧变化部分附近多采集几组数据,而在曲线的变化缓慢部分可以少取几组数据。这就要求事先对被测量的大致变化情况依靠理论分析做出预测。

(4) 将取得的测试数据描在选好的坐标系中,得到若干个坐标点。

(5) 关于曲线的修整。由于测量误差的影响,使得测量得到的数据具有一定的离散性,此时,若将上述坐标点一个不漏地连接起来,得到的曲线是很不光滑的,这条曲线难以反映被测量的变化规律。为了减少误差带来的不利影响,常常采用下面两种方法:

① 在坐标点离散程度不大时,可以用曲线板或徒手作出一条光滑曲线,使得曲线尽可能通过更多的坐标点,或者使得各坐标点均匀地分布在曲线两侧。如图 1-2(a) 所示。

② 在坐标点离散程度较大时,沿横坐标轴将坐标点依次分成若干组,每组 2 ~ 4

个点,求出每组点的纵、横坐标平均值,以它们做出新的坐标点(实际上就是每组点所围成图形的重心坐标),然后以这些点为基础,按①中所述方法作出一条光滑曲线。如图1-2(b)所示。

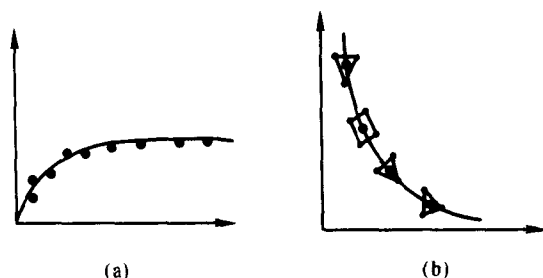


图 1-2

第三节 实验报告及要求

我们每次做完实验后,都要写实验报告。通过写报告,一方面有助于我们进一步理解实验原理,理解概念,掌握实验的技能技巧,为以后的实践工作打下基础。另一方面,有助于我们学会科学研究报告的写作方法。因此我们必须重视实验报告的撰写。

一般地,实验报告的格式因专业的不同,要求不同,但大的方面却是相同的。对电学实验应包含这样几方面的内容。

(1) 实验名称、实验人、同组人、实验地点、时间等。

(2) 实验目的。说明本次实验要达到的目标。

(3) 实验要求、方案。

(4) 实验原理。实验原理是指导本次实验的理论依据,同时也包含了实验方法,所以这部分叙述说明力求简洁明了,推理严密,电路图清楚无误。

(5) 实验仪器。本次实验所采用的主要仪器、仪表及型号。

(6) 实验内容及步骤。说明实验的项目及采用的电路,具体实验过程,测试数据及其分析、结论。

(7) 实验中异常现象及分析。如实验中无异常现象,这部分可略去。若有,一定要进行分析研究。许多重大发现或实验技巧就是在这一过程中发现的。

(8) 实验收获体会。

(9) 完成有关的思考题。

总之,实验报告在撰写时,力求做到文理通顺,语言精炼,书写及电路图工整规范,不可潦草,敷衍了事。

附：实验报告范例

电源外特性研究

实验人:XXX 同组人:XXX 时间:2002 年 10 月 26 日

一、实验目的:

- (1) 学会电源外特性曲线的测试方法。
- (2) 了解内阻对电源带负载能力的影响。

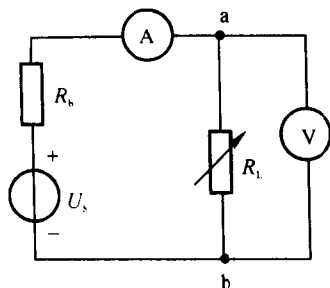
二、实验原理:

1. 电压源外特性

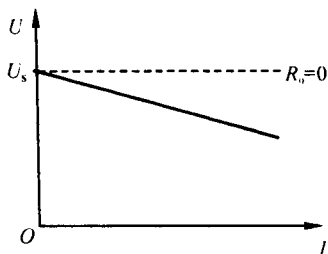
电压源的外特性是指电压源在不同负载下,输出端电压与输出电流之间的关系,即伏安特性。对如图(1)所示的电路,存在如下关系,即

$$U_{ab} = U_s - IR_0$$

这是一线性方程,其电压-电流曲线如图(2)所示。



图(1)



图(2)

对理想电压源, $R_0 = 0$, 伏安特性曲线是一条平行于横轴的直线, 即端电压不随外接负载的变化而变化, 它的带负载能力最强。如图(2)中虚线所示。

对实际电压源, $R_0 \neq 0$, 伏安特性曲线是一条倾斜的曲线, 如图(2)中实线所示。 R_0 越大, 倾斜的程度越大。在不同负载下, 端电压变化越显著, 因而, 其带负载能力越差。所以, 电源内阻成了衡量电源性能的重要参数之一。一般地, 当负载 $R_L \gg R_0$ 时, 可以近似地认为电压源是理想的。

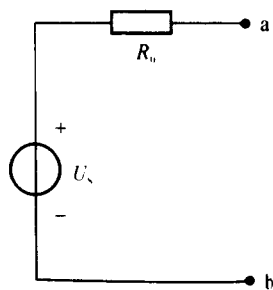
2. 实际电源的等效

实验室常用的稳压电源, 因其内阻很小, 所以通常认为是理想电压源。在用这个

电源等效实际电压源时,需要用一个阻值较小的电阻与其串联,如图(3)所示。

三、实验仪器

0 ~ 30 V 直流可调稳压电源,30 Ω ,510 Ω 电阻各一个,0 ~ 999 99.9 Ω 可调电阻箱一块,MF500 - B 型万用表一块,电路实验板一块。



图(3)

四、实验内容及步骤

(1) 用万用表监测,调节直流稳压电源,使其输出电压为 10 V,然后关掉电源。

(2) 用导线将调好的稳压电源与 30 Ω 的电阻以及电阻箱接成如图(1)所示的电路。

(3) 分别用万用表的直流电压档和电流档测量 R_L 在不同阻值下的电流和电压值, R_L 取值如下表所示。

(4) 将 $R_0 = 30 \Omega$ 换成 510 Ω ,重复以上第三步。

测试结果填入下表。

$R_0 \backslash R$		5 k Ω	4 k Ω	3 k Ω	2 k Ω	1 k Ω
30 Ω	$\frac{U}{V}$	9.92	9.90	9.87	9.81	9.61
	$\frac{I}{mA}$	1.98	2.47	3.29	4.91	9.62
510 Ω	$\frac{U}{V}$	9.05	8.85	8.52	7.94	6.58
	$\frac{I}{mA}$	1.81	2.21	2.84	3.97	6.58

(5) 按上表作出在 R_0 不同时,两电源的外特性曲线,如图(4)所示。

由特性曲线可以看出:对一个实际电压源来讲,其内阻越大,带负载能力越差。

五、思考题

如何用实验的方法测定某一直流电源的内阻?试拟定测试方案。

测试方案:采用半压法。