

303000
高等学校试用教材

TM133-33

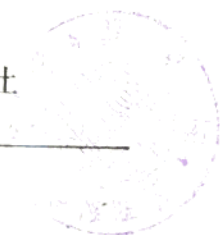
4046

电路实验^{第2版}

指导书

西南交通大学 李警路 主编

中国铁道出版社



-33

Dian Lu Shi Yan
Zhi Dao Shu

969003

TM133-33

4046

高 等 学 校 试 出 用 教 材

电 路 实 验 指 导 书

西南交通大学 李警路 主编

华东交通大学 顾幼敏 主审

中 国 铁 道 出 版 社

1 9 9 3 年 · 北 京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书是“电路分析”的实验课教材,其主要内容为:电路基本参数的测定,电路基本定律、定理的验证以及电路基本特性的测试与研究。实验涉及到直流电路、交流稳态电路、动态电路以及新型的多端元件。该书还提供了利用计算机分析部分电路特性的程序。书的附录部分讲述了常用实验室仪器、仪表的使用方法及简要原理。

本书除做电路实验课的教材外,还可供有关工程技术人员参考。

高等学校试用教材

电路实验指导书

西南交通大学 李警路 主编

*

中国铁道出版社出版、发行

(北京市东单三条 14 号)

责任编辑 方军 封面设计 王毓平

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本:787×1092 毫米 1/32 印张:5 字数:110 千

1993 年 10 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:1—3000 册

ISBN7-113-01503-4/TM·46 定价:2.40 元

前 言

这本《电路实验指导书》为西南交通大学李警路主编的《电路分析》的配套教材。

“电路分析”是电力牵引与传动控制、铁道电气化以及其它电力、自控等专业的一门技术基础课程,是一门影响深远的重要课程。为了配合“电路分析”的理论教学,为了培养学生的工程试验能力和正确的科学态度以及对一般仪器仪表的使用技能,我们编写了这本实验指导书。

《电路实验指导书》含有四部分内容:测量误差简介;实验部分;上机部分;实验室常用仪表部分。第一部分简单地介绍了测量误差的基本概念及实验中应具备的严肃态度。第二部分主要介绍电路的基本参数的测量,基本定律、定理的验证以及基本特性的测试。第三部分为借助计算机进行电路分析。第四部分为附录,主要介绍实验室常用的一些仪器、仪表的性能及使用方法。

这本《电路实验指导书》是由西南交通大学电气工程系电工基础教研室的同志集体讨论分工负责编写的。初稿完成后印成讲义,又经历了几届的试用与修改。本书由华东交通大学顾幼敏主审。参加编写的有:高庆(测量误差简介),任恩恩(实验1、2、17、18),王秋丹(实验3、5、13、15、16、程序2、3),秦慧珍(实验4、8、9、10、11、12、14、19),许建平(实验6、7),朱焱(程序1),甘萍(附录)。本书定稿后,曾由西南交通大学林懿珍进行校审。

本实验指导书中的仪器设备的型号是依照西南交通大学电工基础实验室现有设备的规格型号提出的,仅供参考。

编者 1992.1.

目 录

第一章 测量误差简介.....	1
第二章 实验部分.....	8
实验 一 电阻元件伏—安特性的测试	8
实验 二 受控电源特性的测试.....	11
实验 三 基尔霍夫定律、叠加定理和戴维宁定理 的验证.....	15
实验 四 特勒根定理及互易定理的研究.....	20
实验 五 三表法测定交流电路的参数.....	25
实验 六 功率因数的提高.....	29
实验 七 电路谐振实验.....	33
实验 八 互感元件的研究.....	38
实验 九 变压器特性的研究.....	42
实验 十 三相电路.....	47
实验十一 周期性非正弦波的谐波分解	51
实验十二 周期性非正弦电流电路	56
实验十三 一阶电路的响应及接入角对响应的 影响	60
实验十四 二阶电路的响应	66
实验十五 网络函数及滤波特性的研究	71
实验十六 双口网络参数的测量	78
实验十七 回转器的特性测试	83
实验十八 负阻抗变换器的特性测试	87
实验十九 观察二阶非线性电路过渡过程及状态平 面上的相轨迹	90

第三章 上机部分	96
一、对称分量的分解与合成程序.....	96
二、高通及低通滤波器网络函数设计及其响应研究 的程序	101
三、谐波分析程序	108
附录部分.....	114
参考文献.....	149

第一章 测量误差简介

一、误差的概念

测量值与被测量的真值之差即为测量误差。真值是指一个量在被观测时,该量本身所具有的真实大小。误差存在于一切科学实验的过程中,因而一切测量结果都存在误差,不标明误差大小的测量数据几乎会成为无用的数据。

造成测量误差的因素很多,有仪器、仪表本身的误差;有实验电路造成的误差;有周围环境引起的误差;有实验者的不良习惯甚至疏忽而造成的误差等等。因此,对于每一个实验者来说:(1)要有严肃认真的态度,消除一切可以消除的误差;(2)在可能的条件下选择最佳实验方法和手段;(3)对不能消除的误差应估算出它的误差限,以便对每个实验数据的准确度做到心中有数。

二、误差的表示方法

1. 绝对误差

绝对误差定义为测量值与被测量的真值之差,即:

$$\Delta x = x - x_0$$

式中 Δx 为绝对误差, x 为测量值, x_0 为被测量的真值。由于真值通常是未知的,在一般测量工作中,只要按规定的要求,达到误差可以忽略不计,就可以认为该值接近于真值,并用它来代替真值。满足规定准确度要求,用来代替真值使用的量值称为实际值。在实际测量中,常把用高一等级的计量标准所测得的量值作为实际值。

在测量中,还常用到修正值 c 的概念,它定义为:与绝对误差大小相等,符号相反的量,即:

$$c = x_0 - x$$

由上式可见,含有误差的测量值加上修正值后就可以消除误差影响而得到实际值。

$$x_0 = x + c$$

修正值常以表格、曲线或公式的形式给出,一个计量标准器送交计量机构检定,其目的之一就是获得准确的修正值。

绝对误差及修正值是与被测物理量具有相同量纲的量,绝对误差的大小和符号分别表示测量值偏离真值的程度和方向。

2. 相对误差

绝对误差的不足之处是不能确切地反映测量的准确程度。例如测量两个电压,一个是 $U_1 = 10\text{V}$,测量的绝对误差 $\Delta U_1 = \pm 1\text{mV}$;另一个是 $U_2 = 10\text{mV}$,测量的绝对误差 $\Delta U_2 = \pm 0.1\text{mV}$,虽然有 $\Delta U_1 > \Delta U_2$,但绝不能说 U_2 的测量比 U_1 的测量准确,因为这两个绝对误差在被测量中所占的比重是不同的。为了便于比较测量的准确程度,提出了相对误差的概念。

相对误差定义为绝对误差与真值(或实际值)的比,通常用百分数来表示:

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{x_0} \times 100\%$$

相对误差是一个只有大小和符号,而没有量纲的量。对于上例,很容易算得: $\gamma_1 = \pm 0.01\%$, $\gamma_2 = \pm 1\%$,可见虽然 $\Delta U_1 > \Delta U_2$,但实际上 U_1 的测量比 U_2 的测量更准确。

在误差较小,要求不太严格的场合,也可以用测量值代替真值(或实际值),这时的相对误差称为示值相对误差,用 γ_x 表示:

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{x} \times 100\%$$

3. 引用误差

相对误差虽然可以用来表示测量结果的准确程度,但若用来表示指示仪表的准确度则不合适,因为指示仪表是用来测量某一规定范围内的被测量,而不是只测量某一固定大小的被测量。当用示值相对误差表示,则因分母的改变而相对误差亦将改变。为了方便起见,通常用引用误差来衡量仪表的准确度:

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{x_m} \times 100\%$$

式中 γ_x 为引用误差, Δx 为仪表的基本误差, x_m 为仪表的量程。

由于仪表在不同的刻度上基本误差不完全相等,其值有大有小,其符号有正有负,为保险起见,用最大引用误差来衡量仪表的准确度更为合适,它定义为:

$$\gamma_{xm} = \frac{\Delta x_m}{x_m} \times 100\%$$

式中 γ_{xm} 为仪表的最大引用误差, Δx_m 为仪表在不同刻度上的最大基本误差。

按照国家标准 GB776—76《电测量指示仪表通用技术条件》的规定,指示仪表的准确度分为七级,如下表所示:

等级	0.1级	0.2级	0.5级	1.0级	1.5级	2.5级	5.0级
基本误差	±0.1%	±0.2%	±0.5%	±1.0%	±1.5%	±2.5%	±5.0%

仪表等级由 γ_{xm} 而定。如 $0.5\% < \gamma_{xm} \leq 1.0\%$, 则仪表的等级应定为 1.0 级。

三、误差分类

根据测量过程中产生误差的性质,误差分为三类:系统误

差、随机误差和粗大误差。

1. 系统误差

在相同条件下,多次测量同一量时,误差的绝对值和符号均保持恒定,或在条件改变时按某一确定的规律变化的误差叫系统误差。

系统误差产生的原因是多方面的,如仪器的设计及制造上的缺陷;使用的环境条件与仪器的要求不一致;采用近似的测量方法或近似计算以及人身影响等。系统误差的特点是:测量条件一经确定,误差即为确定的数值。用多次测量取平均值的方法并不能改变系统误差的大小;当条件改变时,一般来说误差是改变的,其变化规律可能是累进型的或周期性的,也可能按复杂规律变化;当然,也有恒定不变的。随测量条件改变而变的称为可变系统误差,不随测量条件改变而变的称为恒定系统误差。虽然系统误差的产生原因是多方面的,但总有规律可循,因此,可针对其产生根源采取一定的技术措施来削弱或消除系统误差的影响。

系统误差的大小反映测量结果的准确度高低。

2. 随机误差

在相同条件下,多次测量同一量时,误差的数值时大时小,符号时正时负,没有确定的变化规律,也不可能事先预定的误差称为随机误差。

随机误差产生的原因是由于测量中的条件实际上存在着微小的变化,即各种互不相关的独立因素围绕其平均值随机起伏,这些因素主要包括:仪器内部器件产生的噪声(如热噪声),仪器中零部件配合得不稳定或有摩擦,温度及电源电压的随机频繁波动,电磁场干扰,地基振动,环境湿度变化,测量人员感觉器官的无规律变化,读数不稳定,以及其它各种随机因素的影响。这些因素的综合影响,就造成了每一次测量值的

无规律变化,这些变化往往都是较小的,所以测量仪器的灵敏度(或分辨力)越高,随机误差影响越显著。随机误差的特点就是其“随机”性,就一次测量而言,随机误差没有规律,不可预见,不能控制也不能用实验的方法加以消除。但是,当测量次数足够多时,其总体服从统计规律,且多数情况下接近正态分布,因此,多次测量中误差绝对值的波动有一定的界限(有界性),正负误差出现的机会相同(对称性),误差的算术平均值随测量次数的无限增加而趋近于零(低偿性)。所以,对随机误差可采用多次测量取平均值的办法来削弱其对测量结果的影响,误差的影响程度也可通过统计方法来估计。

随机误差的大小反映测量结果的精密度高低。

3. 粗大误差

在一定测量条件下,测量值明显地偏离了实际值所形成的异常误差叫做粗大误差(亦称为疏失误差)。这种误差是由于测量条件突变或有明显缺陷、实验者粗心、不正确地操作等原因造成的。含有粗大误差的测量值称为坏值,应剔除不用。

四、测量误差的估计

根据测量仪表(仪器)的准确度大致估计其测量误差:

1. 电测量指示仪表

电测量指示仪表的准确度一般以准确度等级给出。用准确度为 a 级、量程为 x_m 的仪表测量某物理量,其示值(测量值)为 x ,则测量的最大示值相对误差可表示为:

$$\gamma = \pm \frac{\Delta x_m}{x} \times 100\% = \pm a\% \frac{x_m}{x}$$

可见,一旦仪表的等级选定后(a 确定),被测值越接近所选仪表的量程,其示值误差越小。为了减小仪表的测量误差,

应尽可能使仪表指针偏转在满度的 $2/3$ 以上。所以在选择仪表时应根据测量的范围和精度要求兼顾量限和等级,合理选择。

【例题】欲测量 10V 电压,现有两块电压表可供选择,一块为 1.5 级、 150V ,另一块为 2.5 级、 15V ,问应选哪一块进行测量?

【解】利用上式分别计算两块表测量 10V 电压时所产生的误差:

1.5 级、 150V 表:

$$\gamma_1 = \pm a_1 \% \frac{x_{1m}}{x} = \pm 1.5 \% \frac{150}{10} = \pm 22.5 \%$$

2.5 级、 15V 表:

$$\gamma_2 = \pm a_2 \% \frac{x_{2m}}{x} = \pm 2.5 \% \frac{15}{10} = \pm 3.75 \%$$

显然选择 2.5 级、 15V 量程表合适。

2. 电子测量仪器

由于电子仪器的复杂性,同一台仪器在不同使用条件下的误差可能相差很大,因此常常要用几种误差来表征它的性能。我国部颁标准规定用工作误差、固有误差、影响误差和稳定误差来表征其测量准确度。

(1)工作误差:指在额定工作条件下测定的仪器误差限。

(2)固有误差:指当仪器的各种影响量与影响特性处于基准条件时,仪器所具有的误差。

(3)影响误差:是当一个影响量在其额定使用范围内任取一值,而其它影响量和影响特性均处于基准条件时所测得的误差。

(4)稳定误差:是仪器的标称值在其它影响量及影响特性保持恒定的情况下,于规定时间内所产生的误差极限。

以上四种误差都是仪器允许误差的具体形式,并载于仪器说明书中。通常,允许误差可以不是一个具体的误差值,而是某一仪器的该项误差不应超过的数值范围。允许误差也可能以下列两种方式表示为具体误差值:

$$\Delta x = \pm (\alpha \% x + \beta \% x_m)$$

及

$$\Delta x = \pm \alpha \% x \pm n \text{ 个字}$$

式中 x 为测量值, x_m 为该量程的满度值, α 为误差的相对项系数(由厂方提供), β 为误差的固定项系数(由厂方提供), $\pm n$ 个字为数字化仪器的量化误差(由厂方提供)。

通过将 x, x_m 代入即可求得该仪器的允许误差。

第二章 实验部分

实验一 电阻元件伏—安特性的测试

一、实验目的

1. 进一步熟悉直流电流表、直流电压表的使用方法,学会使用滑线电阻及直流稳压电源。
2. 掌握线性电阻元件和非线性电阻元件伏—安特性的测试方法。

二、原理简述

电阻元件的特性是以元件的端电压 u 与通过元件中电流 i 之间的函数关系来表示的,这种 $u-i$ 关系叫做电阻元件的伏—安特性。在直角坐标 $u-i$ 平面表示的曲线称为伏—安特性曲线。线性电阻元件的伏—安特性遵循欧姆定律,在 $u-i$ 平面上是一条通过原点的直线,如图 1—1(b) 所示。

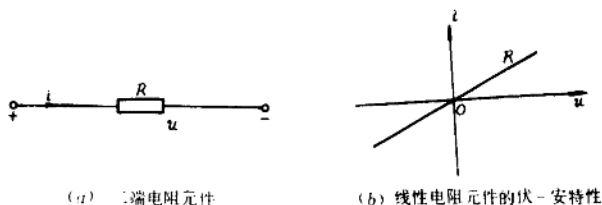


图 1—1

非线性电阻元件的伏—安特性不遵循欧姆定律,在 $u-i$ 平面上是一条曲线。如图 1-2(b)所示。

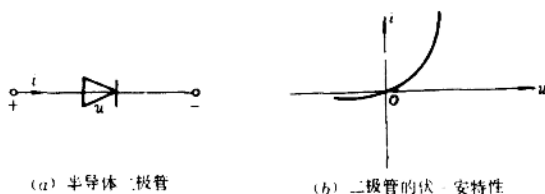


图 1-2

三、实验内容及方法

1. 测量线性电阻的伏—安特性

按图 1-3 接好线路,接通电源以前,分压器的滑动端应放在输出电压为零的位置上。接通电源后改变分压器滑动端的位置,使电压从零逐渐增大,每改变一次,记录一次电压表和电流表的读数,并填入表 1-1 中。

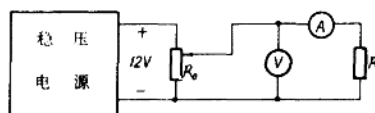


图 1-3 线性电阻伏—安特性的测试电路

表 1-1

次 数	1	2	3	4	5	6	7	8
U (V)								
I (A)								

2. 测量非线性电阻元件半导体二极管的伏安特性

按图 1—4 接好线路,其实验方法与前一实验相同,在曲线弯曲处多测几个点,将所测数据填入表 1—2 中。

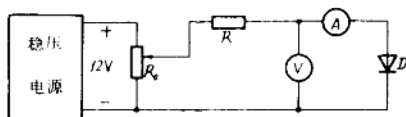


图 1—4 非线性电阻伏—安特性的测试电路

表 1—2

次 数	1	2	3	4	5	6	7	8
$U(V)$								
$I(A)$								

四、注 意 事 项

1. 在进行每项实验时,要注意直流电压表和直流电流表的量程;
2. 在测量半导体二极管的伏—安特性时,必须接入限流电阻 R ;
3. 换接线路时,均应断开电源开关。

五、实验报告要求

按实验所测的数据,在坐标纸上绘出线性电阻及非线性电阻元件的伏—安特性曲线。

六、仪 器 设 备

1. YJ83/2 型双路直流稳压稳流电源 1 台
2. C19-V 型直流伏特表 1 只

3. C19-mA 型直流电流表 1 只
4. 非线性元件实验板 1 只
5. BX7-13 滑线式电阻器 1 只
6. ZX36 型多值电阻器 1 只

实验二 受控电源特性的测试

一、实验目的

1. 了解几种受控电源的实现方法。
2. 学会测试受控电源的受控特性及负载特性。

二、原理简述

受控电源是一个具有两个端口的四端元件，一般有四种类型。即电压控制电压源(VCVS)；电压控制电流源(VCCS)；电流控制电压源(CCVS)；电流控制电流源(CCCS)。本实验仅研究其中两种受控电源，即 CCCS 和 VCVS。

在实际电路中，CCCS 可以用一个晶体三极管来实现，电路如图 2-1 所示；VCVS 可以用一个运算放大器来实现，电路如图 2-2 所示。

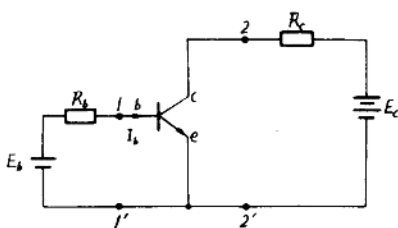


图 2-1 用以实现 CCCS 的晶体三极管原理图