

21

高等学校电子信息类“十二五”规划教材

# 《电路分析基础(第四版)》 实验与学习指导

张永瑞 程增熙 高建宁 编著

DIANLU FENXIXI JICHU DISIBAN  
SHIYAN YU XUEXI ZHIDAO



西安电子科技大学出版社  
<http://www.xduph.com>

高等学校电子信息类“十二五”规划教材

# 《电路分析基础(第四版)》 实验与学习指导

张永瑞 程增熙 高建宁 编著

西安电子科技大学出版社

## 内 容 简 介

本书为《电路分析基础(第四版)》(张永瑞主编,西安电子科技大学出版社,2012年出版)配套使用的辅助教学用书。其内容包括实验指导、习题详解、综合应用概念举例与点评三个部分。本书第一部分为实验须知和8个实验的内容、要求、操作步骤及实验中所用仪器仪表的基本原理和使用方法;第二部分为各章习题的详细解答;第三部分为30个综合应用概念的典型问题举例,每题在解答之后都有点评,包含了解答该题的关键步骤与应该注意的问题,部分题目还给出了求解该题的其他思路与方法。

本书可作为通信工程、电子信息工程、应用电子技术、自动化、计算机科学与技术 and 测控技术与仪器等专业学生学习的辅助教材。对电类专业的工程技术人员亦有重要的参考价值。

### 图书在版编目(CIP)数据

《电路分析基础(第四版)》实验与学习指导/张永瑞,程增熙,高建宁编著.

—西安:西安电子科技大学出版社,2013.1

ISBN 978-7-5606-2933-9

I. ①电… II. ①张… ②程… ③高… III. ①电路分析—高等学校—教学参考资料  
IV. ①TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 279728 号

责任编辑 王 斌 夏大平

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 xdupfxb001@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 2013年1月第1版 2013年1月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 12.5

字 数 289千字

印 数 1~3000册

定 价 22.00元

ISBN 978-7-5606-2933-9/TM

**XDUP 322500 1-1**

\*\*\* 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

电路分析基础是通信工程、电子信息工程、应用电子技术、自动化、测控技术与仪器和计算机科学与技术等专业教学计划中的主干课程，在校大学生要学好这门重要的课程，除了要有好的教材之外，还应有配合课程教学的辅助教材。

《〈电路分析基础(第四版)〉实验与学习指导》是一本辅助电路分析基础课程教学的用书。它包含了三个部分的内容：

第一部分为配合电路分析基础课程教学所必须实施的实验部分。这部分内容中介绍了实验须知和 8 个实验的内容、要求、操作步骤及实验中所用的仪器仪表的基本原理和使用方法。近年来，教育部启动了卓越工程师培养计划，目的是使卓越工程师班的学生在大学培养期间就多“动手”实践、接触工程，毕业之后既能“动口”讲理论，又能“动手”干工程。在新一轮教学计划修订之后，许多普通高校电路分析基础实验课中减少了理论验证方面的实验，加强了“观察现象”、“问题分析讨论”和“独立设计实验”这样一些深层次的实验内容，提倡创新性实验，这是课程实验改革的方向。为什么要减少验证性实验呢？就基尔霍夫定律与叠加定理的内容来说，无疑应是电路分析基础课程中既经典而又重要的内容，从理论上理解、掌握、应用它们分析计算电路问题才是最主要的。而真要组成实验电路，用一般的电流表、电压表测量各电流、电压值来验证节点电流代数和等于零、回路电压代数和等于零，反而成了问题。对于电路中某一节点来说，可能实际测量电流值并不精确满足代数和等于零，这是由于测量电表的测量误差、人眼读数误差等因素造成的。这对于刚接触电路的学生来说，是相信教材中的理论结论，还是相信自己“实验”的结果呢？这样一来反而把概念给搞糊涂了。为了避免使学生引起这样的错觉，因此就不再做这样的验证性实验。

第二部分为《电路分析基础(第四版)》各章配置习题的全部详细解答。作为各章习题解答，只能用该章、该节的概念、所讲方法求解，以便深化和掌握该章、该节所讲授的基本概念和基本分析方法。从配合教学的观点看，这样安排是适宜的。从教学规律看，因为不能有“概念超前”、“方法超前”的现象，所以对每一个题的解答，题解中所用方法不一定是最好的，即是说，有的题可能用后面章节所讲的概念、方法求解会更简单。为了使读者阅读方便，本书基本上对《电路分析基础(第四版)》各章习题需解答的题给出了原题内容，包括文和图。请读者注意，为了节省篇幅，在一些题的解答过程中，因需要在原图示电路中加点、加电流电压参考方向、加环路方向等，而不改变原图，故均未给出原图示电路。希望读者在课程学习的过程中不要过分依赖“题解”，应该独立思考、分析、解答教师所布置的作业，深刻理解课程的基本概念，熟练掌握课程的基本分析方法。

第三部分为综合应用概念举例与点评。安排这部分内容的出发点是在学完全课程以后，训练如何灵活综合应用概念求解难度较大的题目。在这部分中，先明确几类题型的含义，接着详解 30 个各种类型的例题，在各例题解答之后，均给出了对该题的点评。点评中

指出解答该题的关键步骤、易出错之处、应注意的问题、解答该题的其他思路以及由该题的解答联想拓展相关概念点、解答相似类型题目的方法与技巧。理解、消化这部分内容对解答硕士研究生入学考试中难度大的电路题目非常有帮助。

在编写本书过程中得到了云立实副编审及责任编辑王斌的热情帮助,也得到了编著者同行的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于编著者水平有限,加之编写时间仓促,书中定有疏漏与不足之处,恳请广大读者批评指正。

编著者

2012年7月

# 常用符号表

符号	中文表义
$q$	电荷
$\phi$ 或 $\Phi$	磁通
$\varphi$	相位差
$\psi$ 或 $\Psi$	磁链
$\psi$	初相位
$i(t)$ 或 $i$	电流瞬时值
$I$	直流电流; 交流电流的有效值
$\dot{I}$	正弦交流电流的有效值形式相量
$I_m$	正弦交流电流的振幅值
$\dot{I}_m$	正弦交流电流的振幅值形式相量
$u(t)$ 或 $u$	电压瞬时值
$U$	直流电压; 交流电压的有效值
$\dot{U}$	正弦交流电压的有效值形式相量
$U_m$	正弦交流电压的振幅值
$\dot{U}_m$	正弦交流电压的振幅值形式相量
$p(t)$ 或 $p$	功率瞬时值
$P$	直流功率; 交流功率的平均功率或有功功率
$Q$	无功功率; 品质因数
$\tilde{S}$	复功率
$S$	视在功率
$\lambda$	功率因数
$w(t)$ 或 $w$	瞬时能量
$W$	直流能量
$W_{Lav}$	电感 $L$ 的平均储能
$W_{Cav}$	电容 $C$ 的平均储能
$R, r$	电阻
$R_s$	电源内阻
$R_L$	负载电阻
$R_{in}$	输入电阻
$R_o$	输出电阻; 等效电源内阻
$G, g$	电导
$L$	电感
$C$	电容
$M$	互感

$Z$	阻抗
$Z_{i_1}$	次级回路向初级回路的反映阻抗
$Z_{i_2}$	初级回路向次级回路的反映阻抗
$Z_{in}$	输入阻抗
$Z_{out}$	输出阻抗
$Z_L$	电感 $L$ 的阻抗; 负载阻抗
$Z$	二端口网络 $z$ 参数常数矩阵
$Z_c$	二端口电路特性阻抗
$Z_{c1}$	二端口电路输入端口特性阻抗
$Z_{c2}$	二端口电路输出端口特性阻抗
$Z_T$	二端口网络的传输阻抗; 转移阻抗
$X$	电抗
$X_L$	感抗
$X_C$	容抗
$X_{f1}$	次级向初级的反映电抗
$X_{f2}$	初级向次级的反映电抗
$Y$	导纳
$Y$	二端口网络 $y$ 参数常数矩阵
$Y_T$	二端口网络的传输导纳; 转移导纳
$Y_{in}$	输入导纳
$Y_{out}$	输出导纳
$f$	频率
$f_c$	截止频率
$f_{c1}$	下截止频率
$f_{c2}$	上截止频率
$f_0$	谐振频率
$\omega$	角频率
$\omega_c$	截止角频率
$\omega_{c1}$	下截止角频率
$\omega_{c2}$	上截止角频率
BW	通频带宽度
$\omega_0$	谐振角频率
$\rho$	特性阻抗
$A$	放大倍数
$A$	二端口网络 $a$ 参数常数矩阵
$K_u$	二端口网络电压传输比; 电压转移比
$K_i$	二端口网络电流传输比; 电流转移比
$\tau$	时间常数
$y(t)$	电路响应; 电路输出

$y_h(t)$	自由响应；固有响应
$y_p(t)$	强迫响应
$y_r(t)$	暂态响应
$y_s(t)$	稳态响应
$y_x(t)$	零输入响应
$y_t(t)$	零状态响应
$y(0_+)$	响应在换路后瞬间的数值，即一阶电路的初始值
$y(\infty)$	响应在换路后 $t = \infty$ 时的数值；即直流激励一阶电路的稳态值
$\varepsilon(t)$	单位阶跃函数
$g(t)$	单位阶跃响应
$H(j\omega)$	网络函数
<b>H</b>	二端口网络 $h$ 参数常数矩阵
OL	欧姆定律
KCL	基尔霍夫电流定律
KVL	基尔霍夫电压定律
KL	基尔霍夫定律
VAR	伏安关系
VCL	电压电流关系



# 目 录

## 第一部分 实验指导

I	实验须知 .....	( 3 )
一	实验课目的 .....	( 3 )
二	实验室规则 .....	( 3 )
三	实验报告要求 .....	( 4 )
四	实验数据处理 .....	( 5 )
II	实验指导书 .....	( 7 )
实验一	万用表使用练习 .....	( 7 )
实验二	万用表的组装与校验 .....	( 14 )
实验三	电压源外特性与戴维宁定理 .....	( 20 )
实验四	示波器使用练习 .....	( 24 )
实验五	一阶电路的暂态特性 .....	( 36 )
实验六	一阶电路的应用实例 .....	( 44 )
实验七	阻抗的测量 .....	( 47 )
实验八	$rLC$ 串联谐振电路 .....	( 53 )

## 第二部分 《电路分析基础(第四版)》各章习题详解

第 1 章	电路基本概念 .....	( 61 )
第 2 章	电阻电路分析 .....	( 73 )
第 3 章	动态电路时域分析 .....	( 87 )
第 4 章	正弦稳态电路分析 .....	( 106 )
第 5 章	互感与理想变压器 .....	( 118 )
第 6 章	电路频率响应 .....	( 131 )
第 7 章	二端口网络 .....	( 146 )

## 第三部分 综合运用概念举例与点评

I	几种“问题类型”含义 .....	( 161 )
II	综合运用概念举例 .....	( 162 )
综例 1	.....	( 162 )
综例 2	.....	( 162 )
综例 3	.....	( 163 )
综例 4	.....	( 163 )
综例 5	.....	( 164 )
综例 6	.....	( 165 )

综例 7	(166)
综例 8	(167)
综例 9	(168)
综例 10	(169)
综例 11	(170)
综例 12	(171)
综例 13	(171)
综例 14	(172)
综例 15	(173)
综例 16	(174)
综例 17	(176)
综例 18	(176)
综例 19	(177)
综例 20	(178)
综例 21	(179)
综例 22	(180)
综例 23	(181)
综例 24	(183)
综例 25	(183)
综例 26	(184)
综例 27	(185)
综例 28	(187)
综例 29	(188)
综例 30	(189)
<b>参考文献</b>	<b>(190)</b>

# 第一部分

## 实验指导



# I 实验须知

## 一 实验课目的

(1) 熟悉万用表、直流稳压电源、低频信号发生器、晶体管毫伏表及电子示波器等常用电子仪器、仪表的性能和工作原理，学习并掌握上述仪器仪表的使用方法。

(2) 学习并掌握电流、电压、阻抗、网络伏安特性、网络频率特性以及网络动态响应等的测量方法。

(3) 培养初步的实验技能，包括正确选用仪器、仪表，制定合理的实验方案，实验中各种现象的观察和判断，实验数据的正确读取和处理，误差分析，实验报告的撰写等。

## 二 实验室规则

(1) 按时上课，未完成实验不得早退；未经教务部门同意，不得随意更改实验时间。

(2) 学生必须听从教师的指导，做好课前预习，按编组按时进行实验。

(3) 学生必须以严肃的态度进行实验，严格遵守实验室的有关规定和仪器设备的操作规程。出现问题应立即报告指导教师，不得自行处理，不得挪用其他实验桌上的仪器设备。

(4) 爱护教学设备和器材。实验中要做到大胆、细心，有条不紊；实验完毕需经指导教师检查认可后，方可拆除线路，并将仪器设备恢复原状，归放整齐。

(5) 保持实验室肃静、整洁，作到三轻：说话轻，走路轻，关门轻。不得在实验室内吸烟，不得乱抛果皮纸屑，每次实验完毕，应指派专人打扫实验室卫生。

(6) 借用实验室器材、仪器设备、工具等，应按规定的制度办理，履行登记手续。丢失、损坏实验器材、仪器设备，应由本人写出书面报告，视情节轻重，给予批评教育，并部分或全部赔偿经济损失。

(7) 实验室不得储存易燃、易爆和剧毒物品。注意防火、防盗，应配备防火器具并放置于醒目位置。无关人员未经允许不得进入实验室。

(8) 离开实验室要关好门窗、切断电源。节假日要有保安措施，遇有可疑情况应立即报告保卫处。

## 三 实验报告要求

### (一) 实验报告格式

以本书作为教材的学生，我们要求按下列格式书写实验报告。

#### 1. 实验题目

#### 2. 实验目的

#### 3. 实验原理

#### 4. 实验仪器(要写明使用仪器的型号与名称)

#### 5. 实验内容

##### 1) 第一个实验内容

(1) 标题。

(2) 原理线路图及实验条件(包括元器件参数、输入信号参数等)。

(3) 数据表及数据处理结果(包括误差计算和分析)。

(4) 曲线图或波形图。

(5) 结论(在充分了解实验原理的基础上，对实验数据、曲线或波形进行分析，并与理论计算结果进行对比后得出的结论。如实验验证了哪个理论问题，或学到何种测量方法和实验技巧)。

##### 2) 第二个实验内容

(1) 标题。

(2) 原理线路图及实验条件(包括元器件参数、输入信号参数等)。

(3) 数据表及数据处理结果(包括误差计算和分析)。

(4) 曲线图或波形图。

(5) 结论。

.....

#### 6. 回答问题(回答指导书提出的问题或教师指定的问题)

### (二) 写报告注意事项

(1) 写报告要用实验报告纸，封面要用学校指定的实验报告封面纸。

(2) 数据记录和数据处理要注意数据的有效位数(详见下一节的“(一)实验数据和有效数字”)。记录和填写数据时，如有错误，不能随意涂改。正确的改正方法为：在需改正的数据中央打上一条横斜杠，然后在其上方写上正确数据。

(3) 曲线和波形应认真地画在坐标纸上。曲线不能简单地在坐标图上把相邻的数据点用直线相连，应进行“曲线拟合”(详见下一节的“(二)实验结果的图示处理”)。纵、横坐标

代表的物理量、单位及坐标刻度均要标清楚。需要互相对比的曲线或波形，应画在同一坐标平面上，而不必一条曲线(或波形)一张图，但每条曲线(或波形)必须标明参变量或条件。画好的曲线(或波形)图应贴在相应实验内容的的数据表下面。亦可将图集中安排在报告的最后一页，但每个图必须标明是哪个实验内容的何种曲线(或波形)。

(4) 实验数据的原始记录应用钢笔(或圆珠笔)写上实验者的姓名，并由指导教师检查签字后方为有效。实验报告必须附有教师签字的原始数据纸，否则视为无效报告。正式报告中的数据表要认真填写，不能用原始数据记录纸代替。

## 四 实验数据处理

### (一) 实验数据和有效数字

直接测量数据是从测量仪表上直接读取的。读取数据的基本原则是允许最后一位有效数字(包括零)是估读的欠准数字，其余各高位都必须是确知数字。测量结果的有效数字位数应该取得与测量误差相对应。例如，测得电压值为 5.672 V，测量误差为  $\pm 0.05$  V，则测量结果应为 5.67 V。

测量结果中有时会出现多余的有效数字，此时应按下述舍入原则处理：当多余的有效数不等于 5 时，按“大于 5 则入，小于 5 则舍”的原则处理；当多余的数等于 5 时，要看该数的前一位数是奇数还是偶数，奇数则入，偶数则舍。例如，把下列箭头左端的数各删掉一位有效数字，按上述原则即得右端的结果。

$$\begin{array}{ll} 4.186 \rightarrow 4.19 & 62.734 \rightarrow 62.73 \\ 0.825 \rightarrow 0.82 & 0.815 \rightarrow 0.82 \end{array}$$

间接测量数据是通过直接测量数据进行加、减、乘、除等运算得到的。运算结果应取的有效数字位数原则上由参加运算诸数中精度最差的那个数来决定。例如

$$\begin{aligned} 10.8725 + 6.13 + 21.432 &= 38.4345 \text{ 应取 } 38.43 \\ 3.98 \times 4.125 / 2.5 &= 6.567 \text{ 应取 } 6.6 \end{aligned}$$

这种处理方法比较粗糙，适用于要求不很严格的场合。若需精确计算，尚有严格规则可循，可查阅误差理论的有关内容。

### (二) 实验结果的图示处理

实验测量的最终结果，有时需要图示处理，从一系列测量数据中求得表明各量之间关系的曲线。利用各种关系曲线表达实验结果的方法属于图示处理方法，这种方法对于研究电网络各参数对其特性(如传输特性等)的影响是十分有用的。

以直角坐标系为例，欲根据  $n$  对离散的测量数据  $(x_i, y_i)$  ( $i=1, 2, 3, \dots, n$ ) 绘制出表明这些数据变化规律的曲线，并不是简单地在坐标图上把所相邻的数据点用直线相连。由于测量数据中总会包含误差，要求所求之曲线通过所有数据点  $(x_i, y_i)$ ，无疑会保留一切测量误差，显然这不是我们所希望的。因此，曲线的绘制要求不是保证它必须通过每一数

据点，而是要求寻找出能反映所给数据的一般变化趋势的光滑曲线来，我们称之为“曲线拟合”。

在要求不严格的情况下，通常所用拟合曲线的最简单方法是通过观察，人为地画出一条光滑曲线，使所给数据点均匀地分布于曲线两侧。这种方法的缺点是不精确，不同人画出的曲线可能会有较大差别，如图 I.1-1 中实线和点划线表示的两条曲线差别较大。

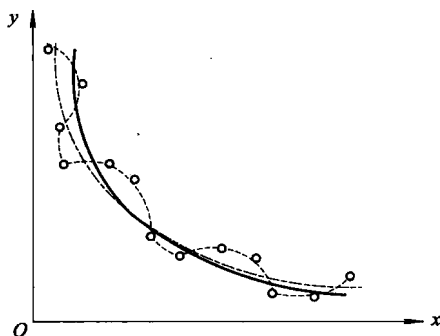


图 I.1-1 观察法拟合曲线



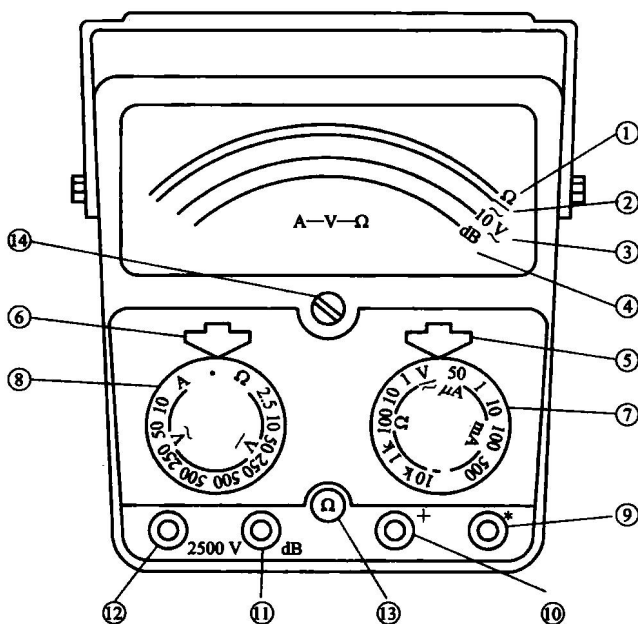
## II 实验指导书

### 实验一 万用表使用练习

#### (一) 实验仪器和器材介绍

##### 1. 500 型万用表

500 型万用表是一种用来测量交、直流电压，直流电流，电阻和音频电平的多功能、多量程仪表。500 型万用表的表盘如图 II.1-1 所示。它有两个“功能/量程”转换开关，每个开关的上方均有一个矢形标志。如欲测量直流电压，应首先旋动右边的“功能/量程”开关，使开关上的符号“ $\underline{V}$ ”对准标志位；然后将左边的“功能/量程”开关旋至所需的直流电压量



- ①—欧姆刻度；②—直、交流刻度；③—交流 10 V 专用刻度；④—音频电平(分贝刻度)；⑤、⑥—矢形标志符；⑦、⑧—功能/量程开关；⑨—公共插孔；⑩—通用测量插孔；⑪—音频电平测量插孔；⑫—测高压插孔(直、交流通用)；⑬—欧姆调零旋钮；⑭—机械调零

图 II.1-1 500 型万用表的表盘