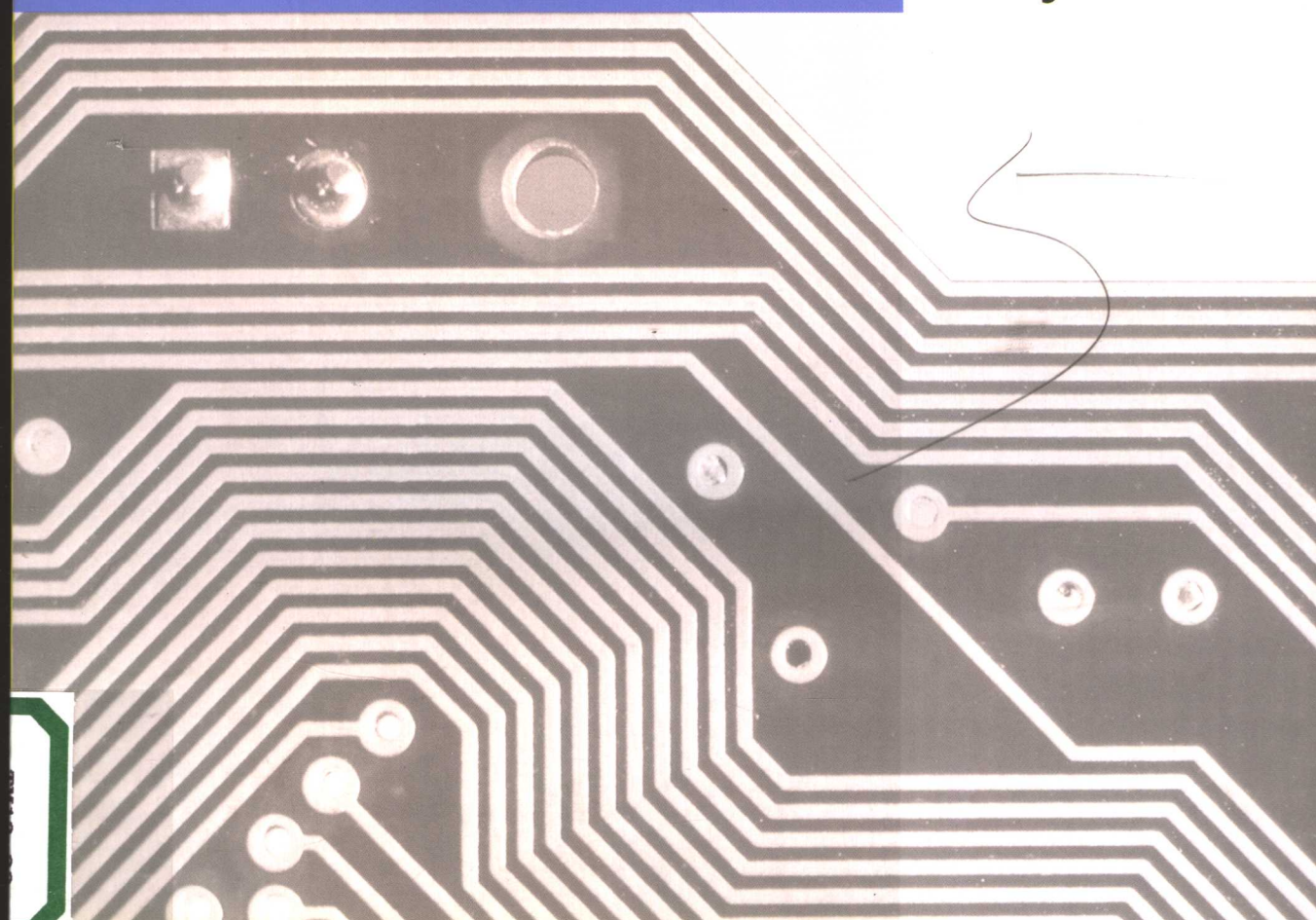




21世纪普通高等教育规划教材

电路与电子学实验

Dianlu Yu Diansixue Shiyan



◎ 华柏兴 主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



21 世纪普通高等教育规划教材

电路与电子学实验

主编 华柏兴
参编 董晓聪 卢葵芳 王宛莘
主审 王光义



机械工业出版社

本书是一本与工科非电子类专业如计算机科学与技术、软件工程、自动化、测控技术与仪器等专业开设的“电路(工)与电子学”课程的配套教材,也可供电子技术爱好者和从事电子工程设计与开发的技术人员参考。

作者根据长期的实践教学经验和理论知识,在书中精选了15个经典实验,其中电路实验6个,模拟电子电路实验9个。重点阐述了每个实验的实验电路和原理、电路参数设计、实验内容和步骤等。对其中7个实验编排了详细的虚拟实验内容,体现了时代特色,适合当今科学技术发展的需要。尤其对一些具有代表性的实验故障现象和产生原因进行了详细的分析和讨论,介绍了其故障检查方法和排除技巧。书中还介绍了Multisim 2001和OrCAD/PSpice9.1两种仿真软件以及5种最常用的电工电子实验仪器。书中最后介绍了半导体分立器件和集成电路。

图书在版编目(CIP)数据

电路与电子学实验/华柏兴主编. —北京:机械工业出版社,2005.8
21世纪普通高等教育规划教材
ISBN 7-111-17120-9

I. 电... II. 华... III. ①电路-实验-高等学校-教材②电子学-实验-高等学校-教材 IV. TM13-33②TN01-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第089249号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
责任编辑:贡克勤 版式设计:霍永明 责任校对:李秋荣
封面设计:张静 责任印制:杨曦
北京机工印刷厂印刷
2005年8月第1版第1次印刷
787mm×1092mm¹/₁₆·11.25印张·262千字
定价:17.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68326294
封面无防伪标均为盗版

前 言

科学技术的不断发展使得各学科之间的联系愈来愈密切，尤其是电子信息技术几乎渗透到各个学科领域。当今，大多数工科院校的非电子类专业都相继开设了电路与电子学课程，但与之相配套的实验教材却较少，因此，我们编写了这本《电路与电子学实验》教材。

本书从教学实际出发，力求做到由浅入深，循序渐进，有针对性地、系统性地、地进行电路与电子学方面的基本技能训练。作者根据长期的教学实践经验，精心安排了 15 个不同类型的经典实验，既有操作性和验证性实验，又有设计性和综合性实验，既有分立元件构成的单元电路实验，又有单元电路和集成电路构成的组合性实验。每个实验都编排了思考题，有利于学生把理论知识与实验测试以及实验结果有机地结合。本书还增添了一些具有代表性的虚拟实验，以期体现时代的特色，拓宽实验和工程设计方法的视野。本书中的实验故障分析与排除技巧是作者长期的实践教学经验和结晶。总之，本书中的实验内容较丰富，构思新颖，结构合理，条理清晰，特色明显。本书对非电子类的大专院校学生及电子爱好者来说是一本十分有益的实验教学参考书。

本教材共分四章：第一章为电路实验，介绍了电路方面的 6 个经典实验，重点阐述了每个实验的实验电路、实验原理、实验内容和步骤等；第二章为电子电路实验，安排了 9 个有关模拟电子电路方面的经典实验，介绍了各个实验的实验原理、实验电路及参数设计方法、实验内容及步骤等；第三章为实验故障分析与排除技巧，作者根据 20 多年的实践教学经验，对一些具有代表性的实验故障现象、故障产生原因进行了详细分析和讨论，并介绍了故障检查方法和排除技巧；第四章为虚拟实验软件简介，介绍了两种仿真软件；附录 A 介绍了 5 种电工电子实验仪器；附录 B 介绍了半导体分立器件和集成电路。本书中的实验一和第二章中的全部实验（虚拟部分除外）及第三章中的第二~五节由华柏兴编写，并负责全书内容和书稿的审核及修改；第一章中的后 5 个实验，第三章的第一节，第四章中的电路仿真软件 Multisim 2001 简介和电工电子实验台介绍由董晓聪编写；第二章中的 4 个虚拟实验，第四章中的 OrCAD/PSpice9.1

IV

仿真软件简介，附录 A 中的 4 种电子仪器介绍以及附录 B 由卢葵芳编写，并完成了第二章、第三章中第二~五节等章节的书稿录入及绘图工作。第一章中后 5 个实验的相关电路图和波形图由王宛莘绘制，并负责全书内容的协调，全书稿件的初审以及本书的出版联络工作。

王光义教授对本书的编写和出版自始至终给予了大力支持和帮助，尤其是十分认真和细致地对全书进行了审阅，并提出了宝贵的意见和建议；胡建萍教授、毛祥根副教授对本书的编写和出版给予了积极支持和帮助；本教材评审委员会的全体专家对本书文稿进行了认真地审核和评审，并提出了宝贵的意见和建议，在此一并表示衷心的感谢。

本教材评审委员会主任：秦会斌教授；委员：胡建萍教授、张蜀章教授、吕韶义教授、贡克勤编审、王光义教授、毛祥根副教授。

注：本书中有些窗口图由于受软件影响之故，其图形文字符号不能改动。限于作者的水平，书中难免存在一些不足之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2005 年 5 月于杭州电子科技大学

目 录

前言

| | |
|-----------------------------------|-----|
| 第一章 电路实验 | 1 |
| 实验一 常用电子仪器的使用 | 1 |
| 实验二 叠加原理的应用 | 5 |
| 实验三 戴维南定理的应用 (含虚拟实验) | 8 |
| 实验四 一阶动态电路 (含虚拟实验) | 15 |
| 实验五 正弦稳态交流电路 (含虚拟实验) | 26 |
| 实验六 三相交流电路 | 35 |
| 第二章 电子电路实验 | 41 |
| 实验七 晶体管主要参数及特性曲线的测试 | 41 |
| 实验八 单管放大器的设计与制作 (含虚拟实验) | 46 |
| 实验九 集成功率放大器 | 55 |
| 实验十 直流稳压电源的设计与应用 | 60 |
| 实验十一 集成运算放大器的线性应用 (含虚拟实验) | 66 |
| 实验十二 负反馈放大器 (含虚拟实验) | 77 |
| 实验十三 电压/电流及电压/频率转换电路 | 87 |
| 实验十四 电平检测器的设计与应用 | 90 |
| 实验十五 波形产生电路的设计与调测 (含虚拟实验) | 94 |
| 第三章 实验故障分析与排除技巧 | 104 |
| 第一节 电路部分实验故障分析与排除技巧 | 104 |
| 第二节 单管放大器实验故障分析与排除技巧 | 109 |
| 第三节 集成功率放大器实验故障分析与排除技巧 | 114 |
| 第四节 电平检测器实验故障分析与排除技巧 | 116 |
| 第五节 波形产生电路实验故障分析与排除技巧 | 118 |
| 第四章 虚拟实验软件简介 | 121 |
| 第一节 电路仿真软件 Multisim 2001 简介 | 121 |
| 第二节 仿真软件 OrCAD/PSpice9.1 简介 | 129 |

| | |
|---|-----|
| 附 录 | 142 |
| 附录 A 电工电子实验仪器介绍 | 142 |
| 仪器一 电工电子实验台 | 142 |
| 仪器二 SBL 型模拟电路实验箱 | 145 |
| 仪器三 CDM-8045A 型数字万用表 | 147 |
| 仪器四 SP1631A 型功率函数信号发生器/计数器 | 149 |
| 仪器五 CS-4125A 型双踪示波器 | 152 |
| 附录 B 半导体分立器件和集成电路 | 159 |
| 一、半导体分立器件 | 159 |
| 二、集成电路的型号命名方法 | 166 |
| 参考文献 | 173 |

第一章 电路实验

实验一 常用电子仪器的使用

一、实验目的

- 1) 了解常用电子仪器的主要技术指标、性能、仪器型号、面板上各旋钮和开关的功能作用。
- 2) 初步掌握常用电子仪器的使用方法和一般的测量技术。
- 3) 学会正确使用与本实验有关的仪器。

二、实验仪器

本实验所用到的仪器如表实 1-1 所示，其中实验仪器的型号、主要功能以及主要特点由读者进行概括描述。

表实 1-1 实验仪器

| 序号 | 仪器名称 | 型号 | 主要功能 | 主要特点 |
|----|-----------|----|------|------|
| 1 | 模拟电路实验箱 | | | |
| 2 | 数字万用表 | | | |
| 3 | 指针式万用表 | | | |
| 4 | 功率函数信号发生器 | | | |
| 5 | 双踪示波器 | | | |
| 6 | 交流毫伏表 | | | |

三、实验原理及说明

在生产、科研、教学中最常用的电子仪器有万用表、直流稳压电源、功率函数信号发生器、示波器、交流毫伏表、实验箱、频率计等。为了更好地完成本实验，学会正确地使用常用电子仪器，读者要认真预习附录 A 中相关的内容，了解表实 1-1 中有关电子仪器的主要技术指标和工作原理，理解其面板上各开关、旋钮的作用和使用方法等。

功率函数信号发生器输出的正弦波、三角波、锯齿波为连续变化的模拟电信号，其输出的脉冲信号为快速变化的数字信号，其中正弦波和脉冲信号是最常用的电信号。正弦波的主要参数（参见图实 1-1）可分别用有效值 V ，峰值 V_p ，峰峰值 V_{p-p} ，周期 T （或频率

f) 表示; 脉冲信号的主要参数有幅值 V_M , 脉冲周期 T (或频率 f) 和脉宽 T_p (或占空比 D); 方波是脉冲信号中的特例, 其占空比为 1:2。各种电参数之间的关系为:

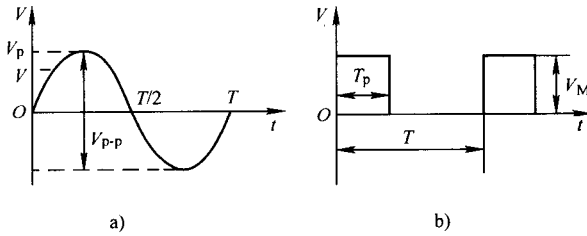
$$V_{p-p} = 2V_p = 2\sqrt{2}V$$

$$V_p = \sqrt{2}V$$

$$T = 1/f$$

$$D = T_p/T$$

正弦波和脉冲波的波形及主要参数分别如图实 1-1a、b 所示。



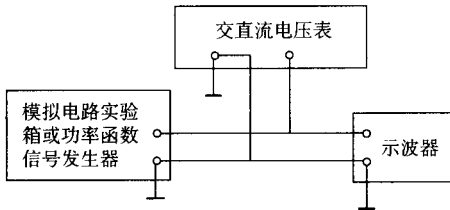
图实 1-1 正弦波和脉冲波的波形及主要参数

a) 正弦波 b) 脉冲波

电参数测试线路连接示意图如图实 1-2 所示。

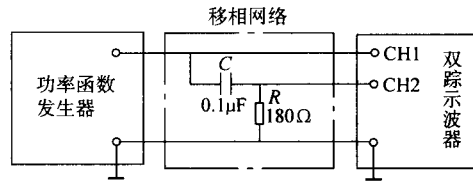
相位差测量原理:

用双踪示波器测量相位差时的连线示意图如图实 1-3 所示。



图实 1-2 电参数测试线路

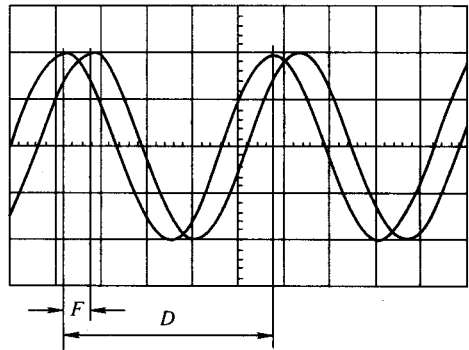
连接示意图



图实 1-3 双踪示波器测量相位差时

的连线示意图

调节功率函数信号发生器使其输出频率为 2kHz、峰峰值为 4V 的正弦波信号, 经 RC 移相网络获得同频率而不同相位的两路信号, 分别送到 CS-4125A 型或 CA9020 型双踪示波器的 CH1 和 CH2 两个通道的信号输入端, 显示方式置于“交替 (ALT)”或“断续 (CHOP)”档位。然后分别调节 CH1 和 CH2 的位移旋钮和“V/DIV”开关以及相关的微调旋钮, 使双踪示波器屏幕上显示出两个幅度相等的正弦波波形如图实 1-4 所示。为了便于稳定波形, 应将同步信号选择键拨到“CH2”位置, 以便于比较两信号的相位。



图实 1-4 双踪示波器测量相位差波形图

由图实 1-4 可知, 正弦波的一个周期在 X 轴向上所占的格数为 D , 则每格的相位为 $360^\circ/D$, 两个波形在 X 轴方向的差距为 F 格, 则两波形之

间的相位差

$$\varphi = \frac{360^\circ}{D} F$$

四、实验内容及步骤

1. 直流电压的选择、调节与测量

根据模拟电路实验箱输出的直流稳压电源的电压值，分别选用 CDM-8045A 型数字万用表、500HA 型指针式万用表或其他型号的相应仪器的合适量程测量出各组电压值，并记录于表实 1-2 中。其中 1.3 ~ 18V 可调的这组稳压电源，需用数字万用表的 20V 直流电压档测到 6.000V 后再用其他仪表测量并记录该电压值。

表实 1-2 直流电压的选择、调节与测量结果记录表 (单位: V)

| 序号 | 模拟电路实验箱输出的电压值 | CDM-8045A 型数字万用表 | | 500HA 型指针式万用表 | |
|----|-----------------------|------------------|-----|---------------|-----|
| | | 量程 | 测量值 | 量程 | 测量值 |
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | | | | | |
| 6 | (1.3 ~ 18V) 调为 6.000V | | | | |

2. 交流信号的选择、调节与测量

(1) 示波器自身校准信号的观察与测画 根据附录 A 中示波器的使用说明，调节和选择所用示波器的相关旋钮和开关，使其处于合适的位置，即各通道开关都置于 CH1 或 CH2，“T/DIV”开关置于 0.2ms 档，“V/DIV”开关置于 0.2V 或 0.5V 档，各灵敏度微调旋钮都应置于校准位置，接入自身的校准信号，调节 Y 轴、X 轴的位移旋钮和亮度旋钮等，即可在示波器显示屏上显示出相应的方波，测画出其波形，并标注幅值 V_m 和周期 T 。

(2) 信号波形的选择与观察 根据 SP1631A 型或 SP1641D 型功率函数信号发生器的操作使用说明，使其输出频率为 1kHz 左右、峰峰值为 0.5 ~ 1V 左右、波形分别为正弦波、方波、三角波以及脉冲波，利用示波器分别进行显示观察，并画出所显示的功率函数信号发生器输出的 4 种波形示意图于表实 1-3 中。

表实 1-3 功率函数信号发生器输出的 4 种波形示意图

| SP1631A 型或 SP1641D 型发生器输出波形 | CS-4125A 型或 CA9020 型示波器观察显示的波形示意图 |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| 正弦波 | |
| 三角波 | |
| 方波 | |
| 脉冲波* | |

注：凡本书中的实验内容或序号前标有 * 号的，均为选做内容，以后不再说明。

(3) 正弦波电压幅度的调节与测量 调节 SP1631A 型或 SP1641D 型功率函数信号发生器的相关旋钮,使其输出频率为 1kHz 的正弦波,然后按表实 1-4 的要求,使其电压输出端输出相应的电压,并用 CS-4125A 型或 CA9020 型示波器、WY2174A 型交流毫伏表、CDM-8045A 型或 CDM8045 型数字万用表,分别测量其电压值,并记录于表实 1-4 中。

表实 1-4 正弦波电压幅度的调节与测量记录表

| SP1631A 型或 SP1641D 型发生器 输出的正弦波电压 $f = 1\text{kHz}$ | CS-4125A 型或 CA9020 型示波器 | | | | WY2174A 型毫伏表 | | CDM-8045A 型万用表 | |
|---|-------------------------|---------------|------------|--------------|--------------|--------------|----------------|--------------|
| | V/DIV 应选档位 | 波形所占 Y 轴格数 | 输入信 号倍率 | V_p 测量值 | 应选 量程 | 所测电压 的有效值 | 应选 量程 | 所测电压 的有效值 |
| 0dB $V_{p-p} = 8\text{V}$ | | | | | | | | |
| -20dB $V_{p-p} = 0.8\text{V}$ | | | | | | | | |
| -40dB $V_{p-p} = 80\text{mV}$ | | | | | | | | |
| * 0dB $V_{p-p} = 2\text{V}$ | | | | | | | | |

(4) 正弦波频率的调节与测量 将功率函数信号发生器输出的正弦波电压峰峰值调到 2V,然后按表实 1-5 中的要求调到所需的频率,再分别选择合适的“T/DIV”开关位置,读出各种频率时正弦波对应的周期所占格数,并记录于表实 1-5 中。

表实 1-5 正弦波频率调节与测量记录表

| SP1631A 型或 SP1641D 型 发生器输出正弦波 $V_{p-p} = 2\text{V}$ | CS-4125A 型或 CA9020 型示波器 | | | |
|--|-------------------------|--------|------|------|
| | T/DIV 位置 | 周期所占格数 | 所测周期 | 所测频率 |
| 1MHz | | | | |
| 50kHz | | | | |
| 1kHz | | | | |
| 20Hz | | | | |

* 3. 相位差的测量

根据前面所学的相位差测量原理,用双踪示波器测量同频率不同相位的两信号的相位差

$$\varphi = \frac{360^\circ}{D} F$$

五、实验注意事项

1) 测量电压时,必须在测量前先分清楚是交流电压还是直流电压,然后选择相对应的电压测量档位。

2) 切忌使用万用表的电阻档或电流档去测量交、直流电压,否则易烧坏万用表。

3) 应正确合理地选择电压表的量程,以提高测量精度。在不知其电压值大小时,应先用大量程测试,然后再往下调,直到量程合适为止。

4) 用示波器测量电压幅度和波形的周期时,Y轴和X轴的灵敏度微调旋钮必须置于校准位置才能使测量结果正确。

六、实验预习要求及思考题

1. 预习要求

1) 实验前必须认真预习、阅读所用电子仪器的使用说明(见附录 A), 初步了解其技术指标、测量功能和使用方法。

2) 应根据被测量的内容和要求(如交、直流电压和电流, 测量精度高低, 测量条件, 交流信号的波形及频率高低等), 正确选用测量仪器。

2. 思考题

1) 什么是电压有效值? 什么是电压峰值? 常用交流电压表测量的电压值和用示波器直接测量的电压值有什么不同?

2) 在用示波器测量交流信号的峰值和频率时, 如何操作其关键性的旋钮才能尽可能提高测量精度?

七、实验报告要求

1) 明确实验目的。

2) 列表指明所用仪器的名称、型号和功能等。

3) 列表整理各项实验内容, 并计算出相应的测量结果(必须注意正负号和单位)以及画出所测波形。

4) 解答思考题。

5) 写出实验心得体会及其他。

实验二 叠加原理的应用

一、实验目的

1) 通过实验掌握电路电参数的测量方法, 熟悉相关仪表的使用。

2) 验证电路叠加原理及基尔霍夫定律, 从而加深对基尔霍夫定律和线性电路叠加性和齐次性的认识。

3) 加深对电路参考方向的认识。

二、实验仪器

本实验所用到的仪器如表实 2-1 所示, 其中实验仪器的型号或规格及主要功能由实验者自行概括。

表实 2-1 实验仪器

| 序号 | 仪器名称 | 型号或规格 | 主要功能 |
|----|---------|--------|------|
| 1 | 电工电子实验台 | SBL 系列 | |
| 2 | 直流电压源 | | |

| 序号 | 仪器名称 | 型号或规格 | 主要功能 |
|----|-------|-------|------|
| 3 | 直流电压表 | | |
| 4 | 直流毫安表 | | |
| 5 | 九孔方板 | | |

三、实验原理

1. 基尔霍夫定律 (包括电压定律和电流定律)

基尔霍夫电流定律 KCL 可表述为：对于任一集总电路中的任一节点，在任一时刻，流入（或流出）该节点的所有支路电流的代数和为零。即： $\sum I = 0$ ；其电压定律 KVL 可表述为：对于任一集总电路中的任一回路，在任一时刻，沿着该回路的所有支路电压降的代数和为零。即： $\sum V = 0$ 。

2. 叠加原理

叠加原理指出：在几个独立源共同作用的线性电路中，每一元件上流过的电流或其两端的电压可以看成每一个独立源单独作用时，在该元件上所产生的电流或电压的代数和。

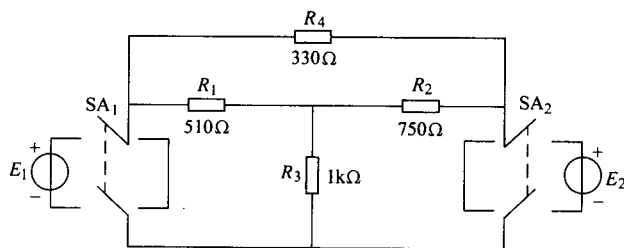
线性电路的齐次性指出：当激励信号增加 K 倍或减为 $1/K$ 时，电路的响应（即电路中所有电阻元件上产生的电流和电压值）也将增加 K 倍或减为 $1/K$ 。

当电路较复杂时，由于很难直接判断出电路各支路电压和电流的真实方向，就必须先设定电路各电压和电流的参考方向（可采用关联参考方向）。测量时，直流仪表的表棒按设定的参考方向接入电路，若仪表显示数值为正，则说明设定的参考方向与实际电路电流的流向或电压的极性一致，否则相反。

四、实验内容及步骤

1. 正确组装实验电路

- 1) 根据图实 2-1 所示的实验电路接线图，在九孔方板上装接相应元器件。
- 2) 检查组装的电路无误之后，调节直流电压源为所需的电压值 ($E_1 = +12V$, $E_2 = +6V$)，然后按照实验电路接线图中所要求的极性将电源接入电路。



图实 2-1 实验电路接线图

2. 验证叠加原理和基尔霍夫定律

- 1) 设定电路中所有支路电流和支路电压的参考方向，并标注在电路图中。

2) 分别令 E_1 、 E_2 电源单独作用 (利用双掷开关 SA_1 及 SA_2 实现), 用直流电压表和直流毫安表测量各支路电压及支路电流, 并将数据记入表实 2-2 中。

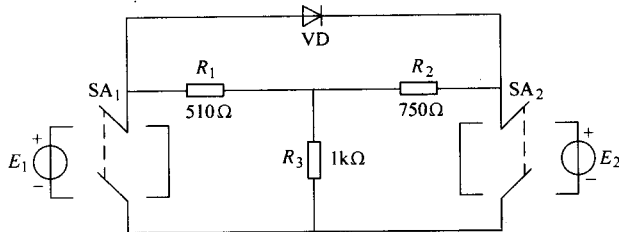
3) 令 E_1 、 E_2 共同作用, 测量相关电压和电流, 并将数据记入表实 2-2 中。

4) 将 E_2 的数值调至 +12V (或将原先 E_1 的电源改接至 E_2), 重复上述操作。

5) 将表中第一行 (E_1 单独作用) 与第二行 (E_2 单独作用) 的相应项叠加后, 填入第四行中, 并计算相对误差 (以 E_1 、 E_2 共同作用值为真值)。

3. 研究叠加定理和基尔霍夫定律的适用范围

将图实 2-1 中的 R_4 改为二极管 VD, 如图实 2-2 所示, 重复上述实验, 自行设计数据表格, 考察叠加原理和基尔霍夫定律的适用情况。



图实 2-2 将 R_4 换为 VD 的实验电路

表实 2-2 实验数据记录表

| 实验内容 | 测量项目 | | | | | | | | | | |
|------|-------------------------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|------------|------------|------------|------------|
| | | E_1/V | E_2/V | I_1/mA | I_2/mA | I_3/mA | I_4/mA | V_{R1}/V | V_{R2}/V | V_{R3}/V | V_{R4}/V |
| 1 | E_1 单独作用 | | | | | | | | | | |
| 2 | E_2 单独作用 | | | | | | | | | | |
| 3 | E_1 、 E_2 共同作用 | | | | | | | | | | |
| 4 | E_1 、 E_2 单独作用叠加计算值 | | | | | | | | | | |
| 5 | $2E_2$ 单独作用 | | | | | | | | | | |
| 6 | 相对误差 (叠加性) | | | | | | | | | | |
| 7 | 相对误差 (齐次性) | | | | | | | | | | |

* 4. 自组实验

按照实验原理, 仿照上述实验测试方法, 自行设计实验电路及数据记录表格。完成电路接线、实验数据测试并记录。

五、实验注意事项

1) 由电工电子实验台提供的直流电压源 E_1 (+12V) 及 E_2 (+6V) 在使用时需注意正负极不可短接, 否则将使电源烧坏。

2) 在测量各电压和电流前, 应先设定好各支路电压和支路电流的参考方向。

3) 测量各支路电压和电流时, 电压表应并联在被测负载两端, 毫安表应串接在被测支路里。同时应注意仪表的表棒极性应按设定的参考方向接入电路, 数据记录时应注意正负号。

六、实验预习要求及思考题

1. 预习要求

- 1) 预习实验原理和测量方法。
- 2) 写出预习报告, 画出完整正确的实验电路图。如果选择自行设计的电路进行实验, 则要预先完成电路参数的设计。

2. 思考题

- 1) 试计算实验电路图实 2-1 中各支路电压和电流值。
- 2) 实验中, E_1 或 E_2 单独作用时, 另一电源应如何处理? 为什么?
- 3) 实验电路中, 若有一个电阻器改为二极管, 试问叠加性与齐次性还成立吗? 为什么?

七、实验报告及总结要求

- 1) 指明实验目的。
- 2) 列表说明所用仪器的名称、型号或规格及主要功能。
- 3) 简述实验涉及的原理、实验方法、实验内容等; 画出完整、正确的实验电路图, 并标出各元器件编号及标称参数值、器件极性、测试代号(如 I_1) 等。
- 4) 整理实验数据, 列出相应的表格及实验记录值, 进行必要的误差计算和分析。
- 5) 根据实验数据验证线性电路的叠加性及齐次性。
- 6) 电阻器所消耗的功率能否用叠加原理计算得出? 试用上述实验数据进行计算并作出结论。
- * 7) 根据实验数据, 说明叠加原理的适用情况。
- 8) 写出实验总结、收获和体会。

实验三 戴维南定理的应用 (含虚拟实验)

一、实验目的

- 1) 通过实验验证戴维南定理, 加深对戴维南定理的理解和认识。
- 2) 学会并掌握测量有源单口网络等效参数的方法。
- 3) 研究直流电路中功率匹配的条件。

二、实验仪器

本实验所用仪器如表 3-1 所示, 其中实验仪器的型号、主要功能由实验者自行概述。

表实 3-1 实验仪器

| 序号 | 仪器名称 | 型号或规格 | 主要功能 |
|----|---------|--------|------|
| 1 | 电工电子实验台 | SBL 系列 | |
| 2 | 直流电压源 | | |
| 3 | 直流电压表 | | |
| 4 | 数字万用表 | | |
| 5 | 直流毫安表 | | |
| 6 | 九孔方板 | | |

三、实验原理

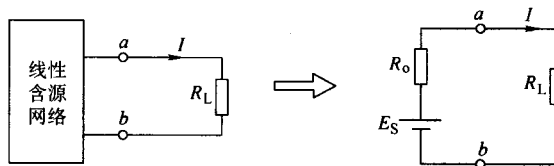
1. 戴维南定理

戴维南定理指出：任何一个线性有源单口网络，都可以用一个等效电压源来代替，此电压源的电动势 E_s 等于这个含源单口网络的开路电压 V_{oc} ，其等效内阻 R_o 等于该网络中所有独立源均置零（理想电压源视为短路，理想电流源视为开路）而保留非独立源的等效电阻 R_{ab} 。等效电压源的内阻 R_{ab} 和开路电压 V_{oc} 称为有源单口网络的等效参数，可以用实验的方法测得其值。

2. 有源单口网络等效参数的测量方法

测量单口网络等效参数，常用的方法有开路电压、短路电流法、伏安法、半电压法、零示法等，本实验中采用开路电压、短路电流法和伏安法。

(1) 开路电压、短路电流法 如图实 3-1 所示，由于有源单口线性网络等效的电压源 E_s 就是单口网络的开路电压 V_{oc} ，其内阻 R_{ab} 就是开路电压与短路电流之比，即 V_{oc}/I_{sc} ，因此可用直流电压表或数字万用表直流电压档直接测量输出端的开路电压 V_{oc} ，然后将其输出端短路，用直流毫安表或数字万用表直流电流档测量其短路电流 I_{sc} ，则其内阻 R_{ab} 为：

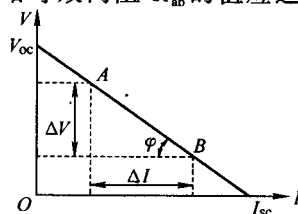


图实 3-1 开路电压、短路电流法测量有源单口网络参数

$$R_{ab} = V_{oc}/I_{sc}$$

需注意，这种方法对电流表和电压表的内阻有一定的要求，网络等效内阻 R_{ab} 的值应远小于电压表的内阻，而远大于电流表的内阻值，否则会影响测量结果。若仪表的内阻已知，则可在测量结果中引入相应的校正值，以避免仪表内阻引起的误差。

(2) 伏安法 如图实 3-2 所示，如果线性网络不允许 a、b 端开路或短路，可以测量该单口网络的外特性（可在 a、b 端不开路也不短路的情况下测量两个不同 R_L 时的电流值及电压值），则外特性曲线的延伸线在纵坐标（电压坐标）上的截



图实 3-2 线性有源单口网络外特性曲线

距就是 V_{oc} ，在横坐标（电流坐标）上的截距就是 I_{sc} ，而

$$R_o = R_{ab} = \frac{V_{oc}}{I_{sc}}$$

或者求出外特性曲线的斜率 $\tan \varphi$ ，则内阻为：

$$R_o = R_{ab} = \tan \varphi = \frac{\Delta V}{\Delta I} = \frac{V_{oc}}{I_{sc}}$$

3. 最大功率传输定理

一个有源单口网络，不管其内部电路如何复杂，只要满足线性条件，就可将其等效为戴维南等效电路（理想电压源 V_s 和内阻 R_o 串联的支路），负载从这个含源线性单口网络获得的功率为

$$P = I^2 R_L = \frac{V_s^2 R_L}{(R_o + R_L)^2}$$

可变负载 R_L 获得最大功率的条件是

$$R_L = R_o$$

可变负载 R_L 获得的最大功率为

$$P_M = \frac{V_s^2}{4R_L}$$

这时电路功率传递效率为

$$\eta = \frac{P_M}{P} \times 100\% = \frac{I^2 R_L}{I^2 (R_o + R_L)} = 50\%$$

这里需注意两点：

1) 负载要获得最大功率，应使 $R_L = R_o$ 。若负载电阻 R_L 固定，则电源内阻越小，负载获得功率越大。

2) 负载从有源线性单口网络获得最大功率时，其功率传递效率为 50%，但实际电源的功率传递效率可能并非 50%。

四、实验内容及步骤

1. 正确组装连接实验电路

- 1) 按照图实 3-3 a 所示戴维南实验电路图，在九孔方板上搭接实验电路。
- 2) 检查所搭接的实验电路正确无误后，调节直流电压源输出为所需的电压值，并按照电路图中所示极性接入电路。

注：图中 12V 独立电压源由电工电子实验台上的直流电压源提供。

2. 测量有源线性单口网络的等效参数 V_{oc} 、 R_{ab}

(1) 用开路电压、短路电流法测定戴维南等效电路的 V_{oc} 和 R_{ab} 。有源线性单口网络如图实 3-3 a 实验电路中点划线所示，框内的有源单口网络可等效为图实 3-3 b 中的电压源 V_{oc} 与内阻 R_{ab} 串联电路。测量并记录图实 3-3 a 有源单口网络 a、b 两点间的开路电压 V_{oc} （负载 R_L 断开）及负载为零时的短路电流 I_{sc} 。

$$V_{oc} = \underline{\hspace{2cm}}, \quad I_{sc} = \underline{\hspace{2cm}}, \quad R_{ab} = V_{oc} / I_{sc} = \underline{\hspace{2cm}}。$$