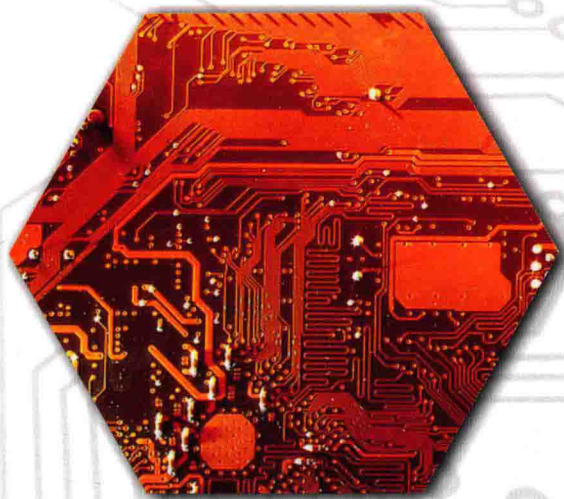


电工与电路 基础实践教程

©陈岚岚 闫博 张世英 主编



西北工业大学出版社

电工与电路基础实践教程

主编：陈岚岚 闫博 张世英

编者：陈岚岚 闫博 张世英

付凯 孟祥扬 周丽琛

李宗强 于湘珍 任惠

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书是根据高等学校电工电子实验课程的教学基本要求编写的实践教材。主要内容包括9个基础实验、4个仿真实验及4个综合实验,可满足不同专业、不同学时数和不同层次的教学需要。书后还附有常用电子仪器仪表的使用说明和 Multisim 仿真软件介绍。

本书可作为高等学校电气信息类和其他相关专业的本科、专科教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工与电路基础实践教程/陈岚岚,闫博,张世英主编. —西安:西北工业大学出版社, 2015.8(2016.4重印)

ISBN 978-7-5612-4591-0

I. ①电… II. ①陈… ②闫… ③张… III. ①电工—高等学校—教材②电路理论—高等学校—教材 IV. ①TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 202754 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)88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:陕西向阳印务有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:9.625

字 数:229千字

版 次:2015年9月第1版 2016年4月第3次印刷

定 价:38.00元

前 言

“电工与电路基础”实验课是高等工科院校电气类专业的基础课,目的是培养学生理论联系实际的能力、实践操作能力、综合应用能力以及学生创新意识、严谨求实的科学态度和踏实细致的工作作风。

本书根据电工与电路基础实验教学大纲的要求,在总结了多年的实验教学经验和实验教学改革的基础上编写而成。

全书共分为三章与两个附录。第一章为基础实验,第二章为仿真实验,第三章为综合实验,附录为常用电子仪器、仪表使用说明和 Multisim 仿真软件介绍。

本书对每个实验的原理都做了简明扼要的说明,便于学生课前预习和单独操作。根据循序渐进的原则,逐步培养学生独立实验的能力。在统筹安排时,建议不要拘泥于本书的实验顺序,可以根据实际情况进行取舍,把实验内容联系较紧、所用设备相近的若干个实验组成一个教学单元。

由于水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请读者给予批评指正。

编 者

2015年4月

目 录

第一章 基础实验	1
第一节 基尔霍夫定律	1
第二节 电压源与电流源的等效变换	3
第三节 电阻等效	6
第四节 线性电路的叠加性和齐次性	8
第五节 替代定理的验证	11
第六节 戴维南定理及功率最大传输条件	13
第七节 一阶 RC 电路的暂态分析	16
第八节 RLC 元件阻抗特性测定	19
第九节 变压器主要特性研究	22
第二章 仿真实验	25
第一节 直流电路的测量	25
第二节 求解戴维南和诺顿等效电路	28
第三节 一阶电路的瞬态分析	29
第四节 三相电路的测量	30
第三章 综合实验	35
第一节 正弦稳态交流电路相量的研究	35
第二节 RLC 串联谐振电路	38
第三节 双 T 型 RC 网络的研究	42
第四节 双口网络实验	47
附录一 常用电子仪器、仪表使用说明	51
附录 1.1 TKDL-1 型电路分析实验箱使用说明	51
附录 1.2 MCH-305DII 双路直流稳压电源使用说明	54
附录 1.3 VC86 数字万用表使用说明	55
附录 1.4 YT1931 数字全自动毫伏表使用说明	61
附录 1.5 SDG1025 函数信号发生器使用说明	63

附录 1.6 SDS1000CML 数字示波器	70
附录二 Multisim 仿真软件介绍	114
附录 2.1 Multisim 7 概述	114
附录 2.2 电路原理图设计	118
附录 2.3 虚拟仪器的使用	123
附录 2.4 Multisim 仿真实验实例	137
附录 2.5 常用的仿真分析方法	138

第一章 基础实验

第一节 基尔霍夫定律

一、实验目的

- (1) 验证基尔霍夫定律的正确性,加深对基尔霍夫定律的理解。
- (2) 学会用电流表测量各支路电流的方法。
- (3) 通过实验加强测量值、实际值的理解,学会分析实验误差。
- (4) 熟悉 TKDL-1 电路分析实验箱,掌握数字万用表的使用方法。

二、实验仪器

- (1) TKDL-1 电路分析实验箱。
- (2) 数字万用表。

三、实验原理

基尔霍夫定律是电路的基本定律,它包括基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律。

1. 基尔霍夫电流定律(简称 KCL)

KCL 用来确定电路中节点的电流关系:对电路中任何节点来说,在任一瞬间,流入节点的电流等于由该节点流出的电流;或者说,在任一瞬间,一个节点上电流的代数和为 0,即 $\sum I=0$ 。

2. 基尔霍夫电压定律(简称 KVL)

KVL 用来确定电路中回路的电压关系:对电路中的任一回路,沿任意循行方向绕行一周,电压降的代数和为 0,即 $\sum U=0$ 。

根据基尔霍夫定律图 1.1.1 所示的电路模型可以写出下述电流、电压方程式:

$$\begin{aligned}I_1 + I_2 &= I_3 \\U_1 &= I_1(R_1 + R_4) + I_3 R_3 \\U_2 &= I_2(R_2 + R_5) + I_3 R_3\end{aligned}$$

测量支路电流及元件两端的电压时必须注意要事先假定电流、电压的参考方向;若计算结果为正,则实际方向与参考方向一致;若计算结果为负,则实际方向与参考方向相反。

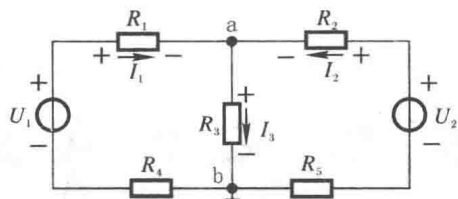


图 1.1.1 电路模型

四、实验内容

实验电路如图 1.1.2 所示。

(1) 设定三条支路电流参考方向如图 1.1.2 中的 I_1, I_2, I_3 所示, 并熟悉电路结构。

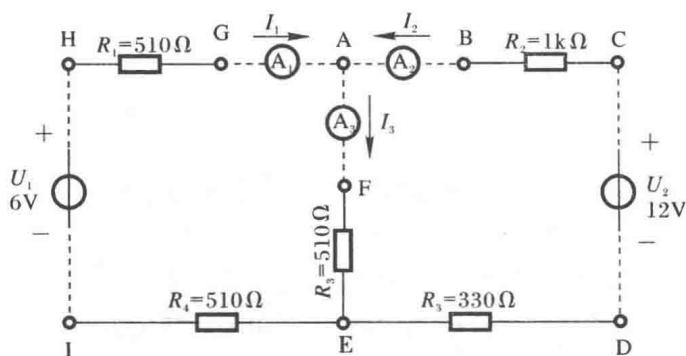


图 1.1.2

(2) 提前调节电位器, 令 $U_1 = 6V, U_2 = 12V$, 然后分别将两路直流稳压源 (如 U_1 接 1.3 ~ 15V 可调直流稳压源; 如 U_2 接另一路 1.3 ~ 15V 可调直流稳压源) 接入电路。

(3) 将电流表 A_1 的 G, A 两端接至数字毫安表的“+、-”两端, 将电流表 A_2 的两端 B, A, 电流表 A_3 的两端 A, F 两两短接。测量电流 I_1 , 记录在表 1.1.1 中。

(4) 再将电流表 A_2 的 B, A 两端接至数字毫安表的“+、-”两端, 将电流表 A_1 的两端 G, A, 电流表 A_3 的两端 A, F 两两短接。测量电流 I_2 , 记录在表 1.1.1 中。

(5) 最后将电流表 A_3 的 A, F 两端接至数字毫安表的“+、-”两端, 将电流表 A_1 的两端 G, A, 电流表 A_2 的两端 A, B 两两短接。测量电流 I_3 , 记录在表 1.1.1 中。

(6) 用直流数字电压表分别测量两路电源及电阻元件上的电压值, 记录在表 1.1.1 中。

表 1.1.1

被测量	I_1/mA	I_2/mA	I_3/mA	U_1/V	U_2/V	U_{HG}/V	U_{BC}/V	U_{FE}/V	U_{EI}/V	U_{DE}/V
理论值										
测量值										
相对误差										

五、实验报告要求

(1) 根据实验数据,选定实验电路中的任一节点,根据实验测量结果验证基尔霍夫电流定律(KCL)的正确性。

(2) 根据实验数据,选定实验电路中的任一闭合回路,根据实验测量结果验证基尔霍夫电压定律(KVL)的正确性。

(3) 计算实验误差,分析产生实验误差的原因,并提出进一步减小实验误差的方法。

六、思考题

了解实验误差产生的原因,并考虑如何减少实验误差。

第二节 电压源与电流源的等效变换

一、实验目的

- (1) 加深理解电压源、电流源的概念。
- (2) 掌握电源外特性的测试方法。

二、实验仪器

- (1) TKDL-1 电路分析实验箱。
- (2) 数字万用表。

三、实验原理

1. 电压源

电压源是有源元件,可分为理想电压源与实际电压源。理想直流稳压电源没有内阻,它的输出电压不因负载而改变。而实际电压源的端电压随着电流变化而变化,即它具有一定的内阻值。理想电压源与实际电压源以及它们的伏安特性如图 1.2.1 所示。

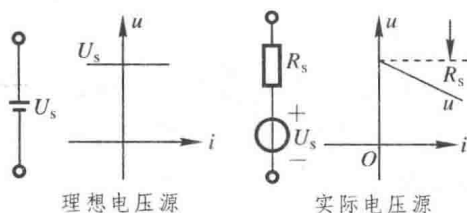


图 1.2.1 电压源

2. 电流源

电流源也分为理想电流源和实际电流源。理想电流源的电流是恒定的,不因外电路不同而改变。实际电流源的电流与所连接的电路有关。当其端电压增高时,通过外电路的电流降

低,其端电压越低,通过外电路的电流就越大。实际电流源可以用一个理想电流和一个内阻 R_S 并联来表示。图 1.2.2 所示为两种电流源的伏安特性。

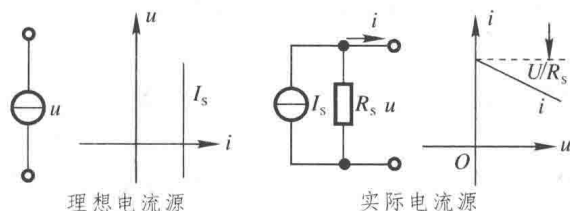


图 1.2.2 电流源

3. 电源的等效变换

一个实际电源,其外部特性可以看成为一个电压源,也可看成为一个电流源。两者是等效的,其中

$$I_s = U_s/R_s \text{ 或 } U_s = I_s R_s$$

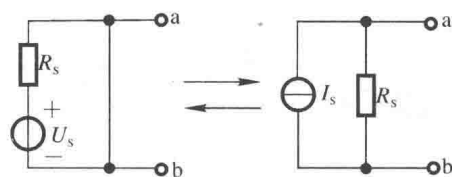


图 1.2.3 等效变换电路

图 1.2.3 为等效变换电路,由上式可以看出它可以很方便地把一个参数为 U_s 和 R_s 的电压源变换为一个参数为 I_s ($I_s = U_s/R_s$) 和 R_s 的等效电流源。

四、实验内容

1. 测试理想电压源的伏安特性

按图 1.2.5(a) 所示接线,调节直流稳压电源输出,使 U_s 为 10V,其中 R_L 可以用 1k Ω 的电位器,调节电位器使其阻值由小变大,观察电压表读数变化情况,将结果填入表 1.2.1 中。

2. 测试理想电流源的伏安特性

按图 1.2.4(a) 所示接线,调节恒流源输出,使 I_s 为 10mA,其中 R_L 可以用 1k Ω 电位器,调节电位器使其阻值由小变大,观察电压表读数变化情况,用间接的方法观察电流的变化。将结果填入表 1.2.1 中。

3. 测试实际电流源的伏安特性

按照图 1.2.4(b) 接线, I_s 仍为 10mA, R_s 可选 1k Ω ,改变 R_L 阻值(方法同上),将测试的结果 I_L 填入表 1.2.1 中。

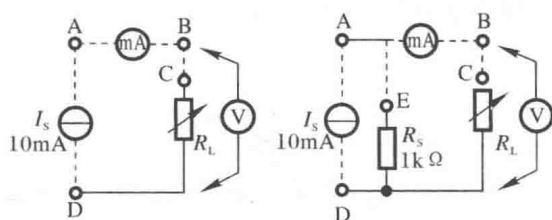


图 1.2.4 测试电流源的伏安特性

表 1.2.1

	R_L/Ω	0	200	300	510	1000
理想电压源	U_s/V					
	$I_L/mA = \frac{U_s}{R_s}$					
理想电流源	I_s/mA					
	$U/V = RI_s$					
实际电流源	U/V					
	$I_L/mA = \frac{U}{R_L}$					
等效实际电压源	U/V					
	$I_L/mA = \frac{U}{R_L}$					

4. 电流源与电压源的等效变换

按照等效变换的条件,上述电流源可以方便地变换为电压源,如图 1.2.5(b)所示,其中 $U_s = I_s R_s = 10 \times 1 = 10V$,内阻 R_s 仍为 $1k\Omega$,改变 R_L 值,将测试结果填入表 1.2.1 中,并与实际电流源的数据比较,验证其等效互换性。

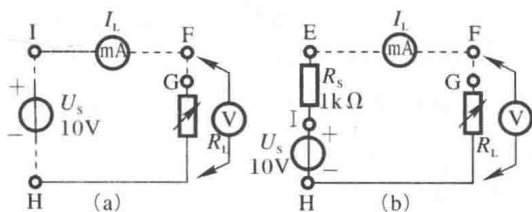


图 1.2.5 电流源与电压源的等效变换

五、实验报告要求

- (1) 根据测试数据绘出各电源的伏安特性曲线,并总结、归纳各类电源的特性。
- (2) 从实验结果,验证电源等效变换的条件。

(3) 总结对实际电源与理想电源的理解及心得体会。

六、思考题

(1) 为什么直流稳压电源的输出端不允许短路？为什么直流恒流源的输出端不允许开路？

(2) 为什么电压源与电流源的外特性呈现下降变化趋势，稳压源和恒流源的输出在任何负载下是否保持恒值？

第三节 电阻等效

一、实验目的

(1) 掌握电阻的串联、并联及混联。

(2) 加深对电阻等效的理解。

二、实验仪器

(1) TKDL-1 电路分析实验箱。

(2) 数字万用表。

三、实验原理

1. 电阻串联

电阻首尾相连，流过同一电流的连接方式，称为串联，如图 1.3.1 所示。

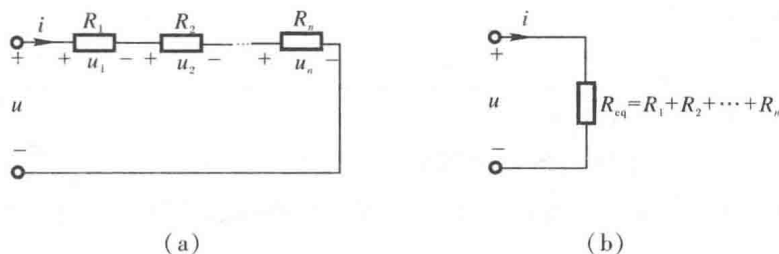


图 1.3.1 电阻串联

由图 1.3.1(a) 知，VAR 为

$$u = u_1 + u_2 + \cdots + u_n = R_1 i + R_2 i + \cdots + R_n i = (R_1 + R_2 + \cdots + R_n) i$$

由图 1.3.2(b) 知，VAR 为 $u = R_{eq} i$

即若干电阻串联等效于一个电阻，

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$$

分压公式为

$$u_k = R_k i = \frac{R_k}{R_{eq}} u$$

2. 电阻并联

电阻首尾分别相连，处于同一电压下的连接方式，称为并联，如图 1.3.2 所示。

由图 1.3.2(a) 知，VAR 为

$$i = i_1 + i_2 + \cdots + i_n = \frac{u}{R_1} + \frac{u}{R_2} + \cdots + \frac{u}{R_n} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n} \right) u$$

由图 1.3.2(b) 知, VAR 为 $i = \frac{1}{R_{\text{eq}}} u$

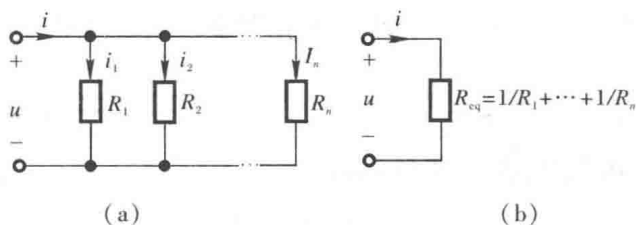


图 1.3.2 电阻并联

即若干电阻并联等效于一个电阻,即

$$R_{\text{eq}} = 1/R_1 + 1/R_2 + \cdots + 1/R_n$$

分流公式为

$$i_k = \frac{u}{R_k} = \frac{R_k}{R_k} i$$

3. 电阻的混联

几个连接起来的电阻所起的作用,可以用一个电阻来代替,这个电阻就是这些电阻的等效电阻。也就是说任何回路中的电阻,不论有多少只,都可等效为一个电阻来代替,而不影响原回路两端的电压和回路中电流强度的变化。这个等效电阻,是由多个电阻经过等效串并联公式,计算出等效电阻的大小值。也可以说,将这一等效电阻代替原有的几个电阻后,对于整个电路的电压和电流量不会产生任何的影响,这个电阻就称为回路中的等效电阻。

计算入端电阻的阻值,采用逐次等效的办法,如图 1.3.3 所示。

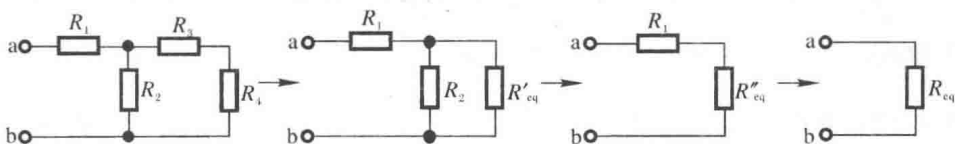


图 1.3.3 电阻的混联

注意:判别电路中电阻的串并联关系是分析混联电路的关键。一般应注意下述事项:

(1) 根据电压、电流关系判断。若流经两电阻的电流是同一电流,则为串联;若两电阻上承受的是同一电压,就是并联。注意不要被电路中的某些短接线所迷惑,对短接线可以做压缩或伸长处理。

(2) 根据电路的结构特点,如对称性、电桥平衡等,找出等电位点,连接或断开等电位点之间的支路,把电路变换成简单的并联形式。

(3) 应用 Y, Δ 结构互换把电路转化成简单的串并联形式,再加以计算分析。但要明确, Y, Δ 结构互换是多端子结构等效,除正确使用变换公式计算各阻值之外,务必正确连接各对应端子,更应注意不要把本是串并联的问题看做 Y, Δ 结构进行变换等效,那样会使计算过程更加复杂化。

(4) 当电路结构比较复杂时,可以根据电路的结构特点,设定电路中的支路电流,通过网

孔回路方程和节点电流方程确定支路电流分布系数,然后求出断口电压和电流的比值,得出等效电阻。

四、实验内容

按图 1.3.4 所示接线,计算 R_{AQ} 的电阻,并与用数字万用表测量的电阻值进行比较,实验步骤如下:

A 与 B 短接,A 与 F 短接,C 与 M 短接,N 与 L 短接,I 与 J 短接,E 与 I 短接,H 与 G 短接,G 与 Q 短接,用数字万用表的电阻挡测量 R_{AQ} 。

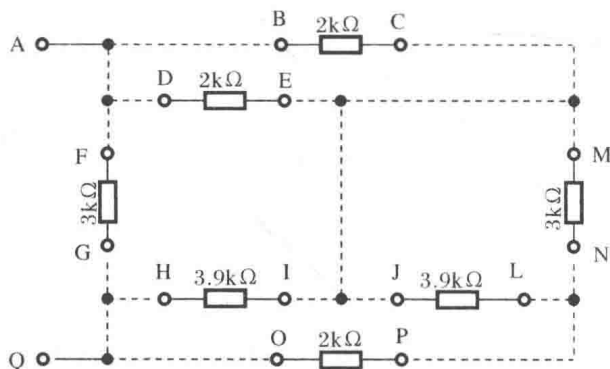


图 1.3.4 比较测量电阻值

表 1.3.1

	测量值	理论值	误差
R_{AQ}			

五、实验报告要求

- (1) 根据测量数据,验证电阻等效。
- (2) 总结、归纳分析误差产生的原因。

第四节 线性电路的叠加性和齐次性

一、实验目的

- (1) 验证叠加原理。
- (2) 了解叠加原理的应用条件。
- (3) 理解线性电路的叠加性和齐次性。

二、实验仪器

- (1) TKDL-1 电路分析实验箱。
- (2) 数字万用表。

三、实验原理

叠加原理指出:在几个电源共同作用下的线性电路中,通过每一个元件的电流或其两端的电压,可以看成是由每一个电源单独作用在该元件上所产生的电流或电压的代数和。

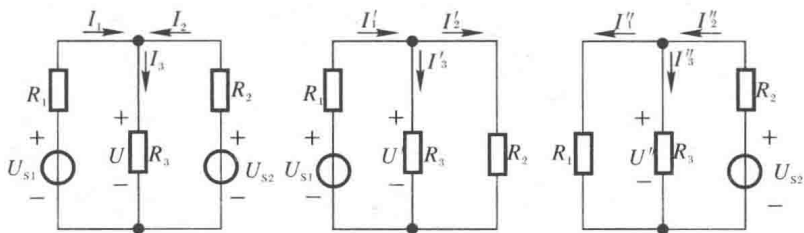


图 1.4.1 实验原理

注意事项:一个电源单独作用时,其他的电源必须去掉(电压源短路、电流源开路);在求电流或电压的代数和时,当电源单独作用时电流或电压的参考方向与共同作用时的参考方向一致时,符号取正,否则取负。

在图 1.4.1 中

$$I_1 = I_1' - I_1''$$

$$I_2 = I_2' + I_2''$$

$$I_3 = I_3' + I_3''$$

$$U = U' + U''$$

叠加原理反映了线性电路的叠加性,线性电路的齐次性是指当激励信号(如电源作用)增加或减小 k 倍时,电路的响应(即在电路其他各线性元件上所产生的电流和电压值)也将增加或减小 k 倍。叠加性和齐次性都只适用于求解线性电路中的电流、电压,不能用来求功率。对于非线性电路,叠加性和齐次性都不适用。

四、实验内容

实验电路如图 1.4.2 所示,图中: $R_1 = R_3 = R_4 = 510\Omega$, $R_2 = 1k\Omega$, $R_5 = 330\Omega$,电源 U_{s1} 用固定电压输出端,并将输出电压调到 +12V, U_{s2} 接 1.3 ~ +15V 可调电压输出端,并将输出电压调到 +6V(以直流数字电压表读数为准),将电阻 R_3 接入电路中(将 J 与 K,L 与 E 两两短接)。

(1) U_{s1} 电源单独作用(将 G 与 N,O 与 F,C 与 D 两两短接),画出电路图,标明各电流、电压的参考方向。

用直流数字毫安表测量各支路电流:将电流表 A_1 的 H,A 两端接至数字毫安表的“+、-”两端,将电流表 A_2 的两端 B,A,电流表 A_3 的两端 A,J 两两短接,测量电流 I_1 ,并将数据记入表 1.4.1 中。

测量电流 I_2, I_3 时,重复上述步骤。

按规定:在节点 A,电流表读数为“+”,表示电流流入节点,读数为“-”,表示电流流出节点,然后根据电路中的电流参考方向,确定各支路电流的正、负,并将数据记入表 1.4.1 中。

用直流数字电压表测量各电阻元件两端电压:电压表的红(正)接线端应接入被测电阻元

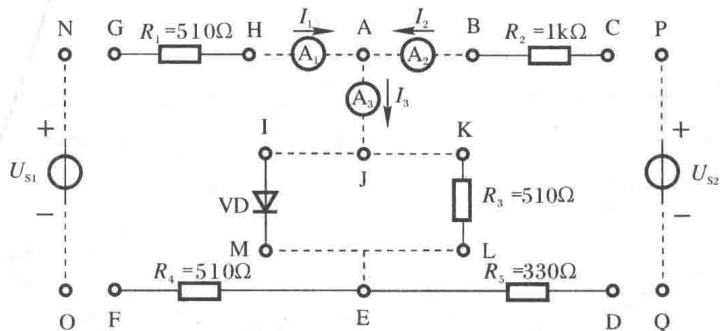


图 1.4.2

件电压参考方向的正端,电压表的黑(负)接线端插入电阻元件的另一端(电阻元件电压参考方向与电流参考方向一致),测量各电阻元件两端电压,并将数据记入表 1.4.1 中。

表 1.4.1

测量项目 实验内容	U_{s1}/V	U_{s2}/V	I_1/mA	I_2/mA	I_3/mA	U_{GH}/V	U_{BC}/V	U_{DE}/V	U_{EF}/V	U_{KL}/V
U_{s1} 单独作用	12	0								
U_{s2} 单独作用	0	6								
U_{s1}, U_{s2} 共同作用	12	6								
U_{s2} 单独作用	0	12								

(2) U_{s2} 电源单独作用(将 C 与 P, D 与 Q, G 与 F 两两短接),画出电路图,标明各电流、电压的参考方向。重复步骤(1)的测量过程,并将数据记入表 1.4.1 中。

(3) U_{s1} 和 U_{s2} 共同作用时(将 G 与 N, O 与 F, C 与 P, D 与 Q 两两短接),各电流、电压的参考方向见图 1.4.2。完成上述电流、电压的测量,并将数据记入表格 1.4.1 中。

(4) 将 U_{s2} 数值调至 +12V,重复第 2 步的测量,并将数据记录在表 1.4.1 中。

(5) 验证非线性电路没有叠加性和齐次性:断开 J 与 K, L 与 E 的连接,将 I 与 J, M 与 E 两两短接,即电阻 R_3 换成一只二极管 1N4007,重复步骤(1)~(4)的测量过程,并将数据记入表 1.4.2 中。

表 1.4.2

测量项目 实验内容	U_{s1}/V	U_{s2}/V	I_1/mA	I_2/mA	I_3/mA	U_{GH}/V	U_{BC}/V	U_{DE}/V	U_{EF}/V	U_{KL}/V
U_{s1} 单独作用	12	0								
U_{s2} 单独作用	0	6								
U_{s1}, U_{s2} 共同作用	12	6								
U_{s2} 单独作用	0	12								

五、实验报告要求

(1) 根据表 1.4.1 中的实验数据,通过求各支路电流和各电阻元件两端电压,验证线性电路的叠加性与齐次性。

(2) 各电阻元件所消耗的功率能否用叠加原理计算得出?

(3) 根据表 1.4.2 中的实验数据,说明叠加性与齐次性是否适用该实验电路?

六、思考题

(1) 叠加原理中 U_{s1} , U_{s2} 分别单独作用,在实验中应如何操作?

(2) 实验电路中,若有一个电阻元件改为二极管,试问叠加性与齐次性还成立吗?为什么?

第五节 替代定理的验证

一、实验目的

(1) 用实验方法验证替代定理的正确性。

(2) 加深对替代定理的理解。

二、实验仪器

(1) TKDL-1 电路分析实验箱。

(2) 数字直流电压表。

(3) 数字直流电流表。

三、实验原理

替代定理:如果网络 N 由一个电阻单口网络 N_R 和一个任意单口网络 N_L 连接而成,则:

(1) 如果端口电压 u 有唯一解,则可用电压为 u 的电压源来替代单口网络 N_L ,只要替代后的网络仍有唯一解,则不会影响单口网络 N_R 内的电压和电流;

(2) 如果端口电流 i 有唯一解,则可用电流为 i 的电流源来替代单口网络 N_L ,只要替代后的网络仍有唯一解,则不会影响单口网络 N_R 内的电压和电流。

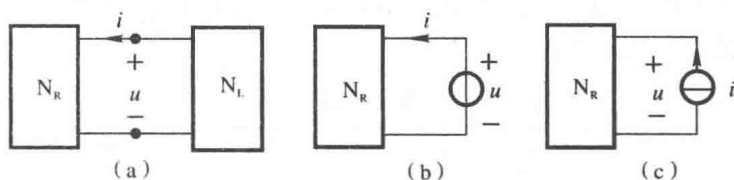


图 1.5.1 实验原理

替代定理的价值在于:一旦网络中某支路电压或电流成为已知量时,则可用一个独立源来替代该支路或单口网络 N_L ,从而简化电路的分析与计算。替代定理对单口网络 N_L 并无特殊