



高等教育“十二五”规划教材
国家级电工电子实验教学示范中心系列实验教材

电工学与电子技术 实验教程

DIANGONGXUE YU DIANZIJI SHU
SHIYAN JIAOCHENG

主编 韩太林 陈宇 唐雁峰 李洪祚

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

高等教育“十二五”规划教材

国家级电工电子实验教学示范中心系列实验教材

电工学与电子技术 实验教程

主 编：韩太林 陈 宇 唐雁峰
李洪祚

副主编：崔 炜 蔡立娟 张 瑜
杨 波 赵秋娣 孟庆东
王义君 程志刚

 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

电工学与电子技术实验教程 / 韩太林等主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2013. 12

ISBN 978 - 7 - 5640 - 8527 - 8

I. ①电… II. ①韩… III. ①电工实验 - 高等学校 - 教材②电子技术 - 实验 - 高等学校 - 教材 IV. ①TM - 33②TN - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 266912 号



出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

82562903 (教材售后服务热线)

68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京泽宇印刷有限公司

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 11.25

字 数 / 185 千字

版 次 / 2013 年 12 月第 1 版 2013 年 12 月第 1 次印刷

定 价 / 28.00 元

责任编辑 / 李炳泉

文案编辑 / 李炳泉

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强



前 言

本书是为高等院校非电类专业开设电工电子学实验而编写的实验教学用书。本书参考了长春理工大学以往的电工电子学实验指导书，并在此基础上结合当前电工电子学教学内容的改革、实验手段的更新和电工电子新技术的发展，对实验内容和实验手段做了较大幅度地调整和更新。

本书侧重科学实验方法的学习，加强基本电工实验技能的训练，强化对现代电气工程实验技术的理解，强调学生在整个实验过程中的参与。书中选编了电工技术、模拟电子技术、数字电子技术、PLC 技术等 40 余个实验。读者可根据学生专业和学时的不同，对实验内容进行组合，以满足实验教学的需要。

由于编者水平有限，书中难免存在错误及疏漏，恳请读者提出批评和指正。

编 者



目 录

第一章 电工技术实验	1
实验一 电路元件伏安特性的测试	1
实验二 基尔霍夫定律	6
实验三 叠加定理	8
实验四 戴维南定理	9
实验五 R 、 L 、 C 元件阻抗特性的测定	11
实验六 交流电路中的互感	14
实验七 三相电路电压、电流的测量	17
实验八 RC 电路的选频网络特性测试	20
实验九 RLC 串联谐振电路	22
实验十 一阶电路暂态响应的研究	25
实验十一 三相异步电动机直接启动控制	28
实验十二 三相异步电动机的点动和自锁控制	32
实验十三 三相异步电动机的正反转控制	35
电工部分综合性实验——电阻温度计的制作	37
第二章 模拟电子技术实验	39
实验一 常用电子仪器使用练习	39
实验二 共射放大电路	42
实验三 差分放大电路	48
实验四 负反馈放大电路	52
实验五 集成运放基本运算电路	55
实验六 RC 正弦波振荡器	59
实验七 功率放大电路	61

第三章 数字电子技术实验	65
实验一 TTL 门电路的测试与使用	65
实验二 SSI 组合逻辑电路的设计与测试	71
实验三 MSI 组合逻辑电路的应用	76
实验四 集成触发器和利用 SSI 设计同步时序逻辑电路	81
实验五 MSI 时序功能件的应用	88
附录 显示译码器和数码管	95
实验六 脉冲信号产生电路	99
实验七 顺序脉冲和脉冲分配器电路设计	108
实验八 四路优先判决电路设计	111
实验九 简易数字闹钟电路综合设计	112
附录 常用集成电路型号对照表与引出端排列图	114
通用实验底板及其使用方法	123
 第四章 可编程逻辑控制器实验	125
实验一 CXP 软件使用	125
实验二 PLC 逻辑指令实验	132
实验三 十字路口交通信号灯控制实验	140
实验四 混料罐控制实验	141
实验五 传输线控制实验	141
实验六 小车自动选向、定位控制实验	142
实验七 电梯控制实验	143
附录 1 TS1、TS2 实验挂板结构介绍	145
附录 2 欧姆龙 CPM1 PLC 编程指南	146
附录 3 CXP 编程软件	150
 参考文献	172

第一章

电工技术实验

实验一 电路元件伏安特性的测试

一、实验目的

1. 掌握线性、非线性电阻元件及电源的概念
2. 学习线性电阻和非线性电阻伏安特性的测试方法
3. 学习直流电压表、直流电流表及直流稳压电源等设备的使用方法

二、实验设备

1. 电工实验箱
2. 直流毫安表
3. 数字万用表

三、实验原理

电阻性元件的特性可用其端电压与通过它的电流之间的函数关系来表示，称为电阻的伏安特性。描述这种电压与电流关系的曲线称为伏安特性曲线。

1. 线性电阻元件的伏安特性曲线

线性电阻元件的伏安特性曲线是一条通过坐标原点的直线，该直线斜率的倒数就是电阻元件的电阻值，如图 1.1.1 所示。由图可知线性电阻的伏安特性对称于坐标原点，这种性质称为双向性，所有线性电阻元件都具有这种特性。

半导体二极管是一种非线性电阻元件，它的阻值随电流的变化而变化，电压、电流不服从欧姆定律。半导体二极管的伏安特性如图 1.1.2 所示。由图可见，半导体二极管的伏安特性曲线对

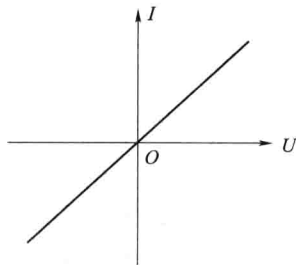


图 1.1.1 线性电阻的伏安特性曲线

于坐标原点是不对称的, 具有单向性特点。因此, 半导体二极管的电阻值随着端电压的大小和极性的不同而不同。当直流电源的正极加于二极管的阳极, 而负极与阴极连接时, 二极管的电阻值很小, 反之二极管的电阻值很大。二极管符号如图 1.1.3 所示。

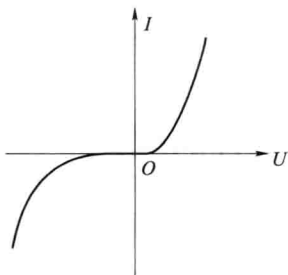


图 1.1.2 二极管的伏安特性曲线



图 1.1.3 二极管符号

2. 理想电压源与实际电压源

电压源能保持其端电压为恒定值且内部没有能量损失的电压源称为理想电压源。理想电压源的符号和伏安特性曲线如图 1.1.4 (a) 所示。

理想电压源实际上是不存在的, 实际电压源总具有一定的能量损失, 这种实际电压源可以用理想电压源与电阻的串联组合来作为模型 (如图 1.1.4 (b))。其端口的电压与电流的关系为:

$$U = U_S - IR_0$$

式中, 电阻 R_0 为实际电压源的内阻, 上式的关系曲线如图 1.1.4 (b) 所示。

显然实际电压源的内阻越小, 其特性越接近理想电压源。实验箱内直流稳压电源的内阻很小, 当通过的电流在规定的范围内变化时, 可以近似地当作理想电压源来处理。

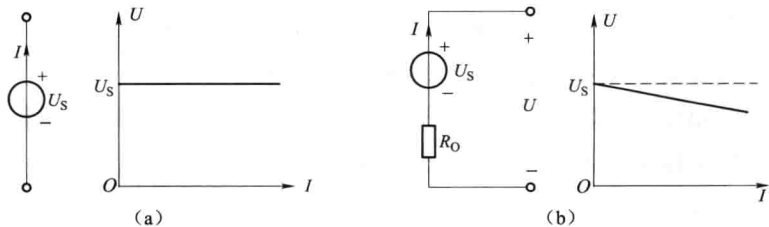


图 1.1.4 理想电压源与实际电压源的符号和伏安特性曲线

(a) 理想电压源的符号和伏安特性曲线; (b) 实际电压源的符号和伏安特性曲线

3. 电压、电流的测量

用电压表和电流表测量电阻时, 由于电压表的内阻不是无穷大, 电流表的内阻不是零, 所以会给测量结果带来一定的方法误差。

例如,在测量图 1.1.5 中的 R 支路的电流和电压时,电压表在线路中的连接方法有 2 种可供选择。如图中的 1-1' 点和 2-2' 点,在 1-1' 点时,电流表的读数为流过 R 的电流值,而电压表的读数不仅含有 R 上的电压降,而且含有电流表内阻上的电压降,因此电压表的读数较实际值为大;当电压表在 2-2' 处时,电压表的读数为 R 上的电压降,而电流表的读数除含有电阻 R 的电流外还含有流过电压表的电流值,因此电流表的读数较实际值为大。

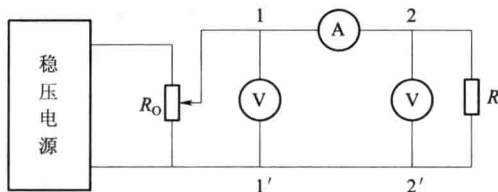


图 1.1.5 电压、电流测试电路

显而易见,当 R 的阻值比电流表的内阻大得多时,电压表宜接在 1-1' 处,而当电压表的内阻比 R 的阻值大得多时则电压表的测量位置应选择在 2-2' 处。实际测量时,某一支路的电阻常常是未知的,因此电压表的位置可以用下面方法选定:先分别在 1-1' 和 2-2' 两处试一试,如果这 2 种接法电压表的读数差别很小,甚至无差别,即可接在 1-1' 处。如果这 2 种接法电流表的读数差别很小或无甚区别,则电压表接于 1-1' 处或 2-2' 处均可。

四、实验内容

1. 测定线性电阻的伏安特性

按图 1.1.6 接好线路,经检查无误后,接入直流稳压电源,调节输出电压依次为表 1-1-1 中所列数值,并将测量所得对应的电流值记录于表 1-1-1 中。

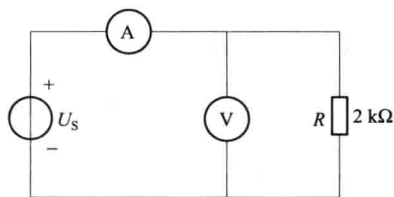


图 1.1.6 线性电阻的伏安特性测试电路

表 1-1-1 线性电阻测量数据记录

U/V	0	2	4	6	8
I/mA					

2. 测定半导体二极管的伏安特性

实验线路如图 1.1.7 所示。图中电阻 R 为限流电阻,用以保护二极管。在测二极管反向特性时,由于二极管的反向电阻很大,流过它的电流很小,电流表应选用直流微安挡。

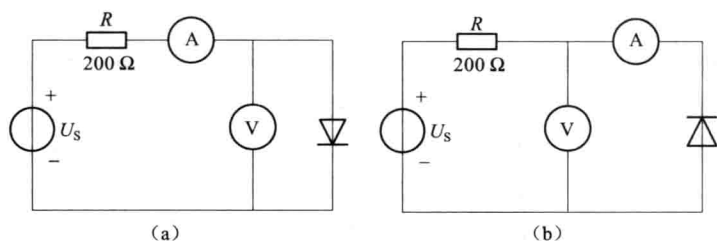


图 1.1.7 半导体二极管的伏安特性测试电路

(a) 二极管正偏测试电路；(b) 二极管反偏测试电路

(1) 正向特性

按图 1.1.7 (a) 接线，经检查无误后，开启直流稳压源，调节输出电压，使电流表读数分别为表 1-1-2 中的数值。对于每一个电流值测量出对应的电压值，记入表 1-1-2 中，为了便于作图，在曲线的弯曲部位可适当多取几个点。

表 1-1-2 二极管正向特性测量数据记录

I/mA	0	0.002	0.01	0.1	1	3	10	20	30	40	50	90	150
U/V													

(2) 反向特性

按图 1.1.7 (b) 接线，经检查无误后，接入直流稳压电源，调节输出电压为表 1-1-3 中所列数值，并将测量所得相应的电流值记入表 1-1-3 中。

表 1-1-3 二极管反向特性测量数据记录

U/V	0	5	10	15	20
$I/\mu\text{A}$					

3. 测定理想电压源的伏安特性

实验采用直流稳压电源作为理想电压源，因其内阻在和外电路电阻相比

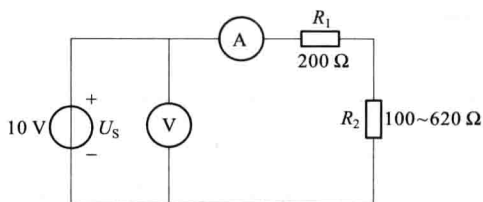


图 1.1.8 理想电压源的伏安特性测试电路

可以忽略不计的情况下，其输出电压基本维持不变，可以把直流稳压电源视为理想电压源，按图 1.1.8 接线，其中 R_1 为限流电阻， R_2 作为稳压电源的负载。

接入直流稳压电源，并调节输出电压 $U_s = 10 \text{ V}$ ，由大到小改

变电阻 R_2 的阻值,使其分别等于 $620\ \Omega$ 、 $510\ \Omega$ 、 $390\ \Omega$ 、 $300\ \Omega$ 、 $200\ \Omega$ 、 $100\ \Omega$,将相应的电压、电流数值记入表 1-1-4 中。

表 1-1-4 理想电压源测量数据记录

R_2/Ω	620	510	390	300	200	100
U/V						
I/mA						

4. 测定实际电压源的伏安特性

首先选取一个 $51\ \Omega$ 的电阻,作为直流稳压电源的内阻与稳压电源串联组成一个实际电压源模型,其实验线路如图 1.1.9 所示。其中,负载电阻仍然取 $620\ \Omega$ 、 $510\ \Omega$ 、 $390\ \Omega$ 、 $300\ \Omega$ 、 $200\ \Omega$ 、 $100\ \Omega$ 各值。实验步骤与前项相同,测量所得数据填入表 1-1-5 中。

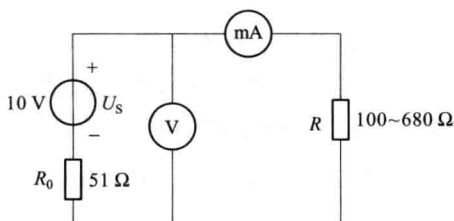


图 1.1.9 实际电压源的伏安特性测试电路

表 1-1-5 实际电压源测量数据记录

R/Ω	开路	620	510	390	300	200	100
U/V	10						
I/mA	0						

五、思考题

线性电阻和非线性电阻的概念是什么?电阻器与二极管的伏安特性有什么区别?

六、实验报告要求

1. 用坐标纸画出各元件的伏安特性曲线,并简要分析各特性曲线的物理意义。
2. 回答思考题,根据实验结果,总结、归纳被测各元件的特性。

实验二 基尔霍夫定律

一、实验目的

1. 验证基尔霍夫电流和电压定律的正确性
2. 加深对电路实际方向与参考方向的理解

二、实验设备

1. 电工实验箱
2. 数字万用表

三、实验原理

基尔霍夫定律是电路普遍适用的基本定律，它包括电流定律和电压定律。无论是线性电路还是非线性电路，无论是时变电路还是非时变电路，在任一瞬间测出各支路电流及元件、电源两端的电压都应符合上述定律，即在电路的任一节点必满足 $\sum I = 0$ 这一约束关系，对于电路中的任意闭合回路的电压必满足 $\sum U = 0$ 这一约束关系。这两个定律一个是基于电流连续性原理，另一个则是建立在电位的计算与途径无关（即电位的单值性）原理基础上的。

四、预习要求

计算图 1.2.1 电路中各支路的电压和电流。

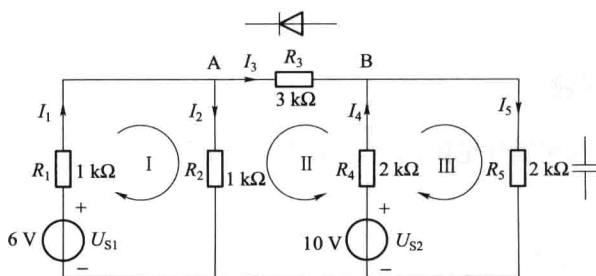


图 1.2.1 验证基尔霍夫定律实验电路图

五、实验内容

(1) 按图 1.2.1 所示接线并分别测量各电阻上的电压及流过各电阻的电流, 把结果记录于表 1-2-1 中。(测量时注意数字万用表的正负极亦即各电压电流的正、负) 对于 3 个回路和 A、B 2 个节点分别验证:

$$\sum U = 0 \text{ 和 } \sum I = 0$$

表 1-2-1 内容 1 测量结果

	U_1/V	U_2/V	U_3/V	U_4/V	U_5/V	I_1/mA	I_2/mA	I_3/mA	I_4/mA	I_5/mA
计算量										
测量值										

(2) 将图 1.2.1 电路中 R_3 换成二极管, 而 R_5 换成 $10\ \mu\text{F}$ 电容, 此时电路是非线性的, 重复上述实验步骤, 把结果记录于表 1-2-2 中, 看是否满足 $\sum U = 0$ 和 $\sum I = 0$ 。

表 1-2-2 内容 2 测量结果

	U_1/V	U_2/V	U_3/V	U_4/V	U_5/V	I_1/mA	I_2/mA	I_3/mA	I_4/mA	I_5/mA
计算量										
测量值										

半导体二极管的基本特征是单向导电。接电路时务必让其正向导通, 即正极接节点 B, 负极接节点 A。

电容是一种非线性电子元器件, 它具有储存电荷的功能, 实验箱中电容是电解电容, 其正极接在电路高电位。

六、思考题

1. 分析误差产生的原因。
2. 实验中的负值说明电压的实际方向如何?

七、实验报告要求

1. 选定实验路电路中的任一个节点, 验证基尔霍夫电流定律的正确性。
2. 选定实验电路中的任一闭合电路, 验证基尔霍夫电压定律的正确性。
3. 根据测量数据, 分析对于节点 A, 各支路之间的电流关系如何?

实验三 叠加定理

一、实验目的

1. 验证叠加定理的正确性
2. 通过实验加深对叠加定理的内容和适用范围的理解

二、实验设备

1. 电工实验箱
2. 直流毫安表
3. 数字万用表

三、实验原理

叠加定理不仅适用于线性直流电路，也适用于线性交流电路，为了测量方便，我们用直流电路来验证它。叠加定理可简述如下：

在线性电路中，任一支路中的电流（或电压）等于电路中各个独立源分别单独作用时在该支路中产生的电流（或电压）的代数和，所谓一个电源单独作用是指除了该电源外其他所有电源的作用都去掉，即理想电压源所在处用短路代替，理想电流源所在处用开路代替，但保留它们的内阻，电路结构也不作改变。

由于功率是电压或电流的二次函数，因此叠加定理不能用来直接计算功率。

四、实验内容

- (1) 按图 1.3.1 接线，调节输出电压，使第一路输出端电压 $U_{S1} = 6\text{ V}$ ，

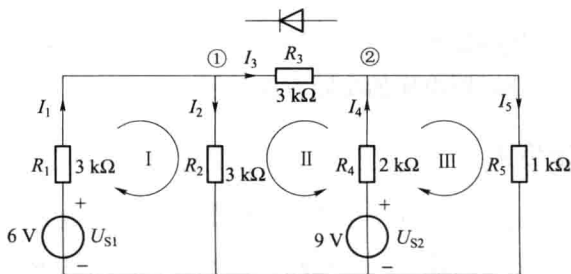


图 1.3.1 验证叠加定理实验电路图

第二路输出端电压 $U_{S2} = 9\text{ V}$ ，（带载调试）。

（2）测量 U_{S1} 、 U_{S2} 同时作用和分别单独作用时各电阻上的电压，数据记录于表 1-3-1。 U_{S1} 、 U_{S2} 单独作用时，不用的电源接线从电源上拔下来短接，以免烧坏电源。接线时注意 2 组电源负极要连线。

表 1-3-1 测量数据记录

	U_{R1}/V	U_{R2}/V	U_{R3}/V	U_{R4}/V	U_{R5}/V
$U_{S1} + U_{S2}$					
U_{S1}					
U_{S2}					

（3）选做实验：将图 1.3.1 中 R_3 用二极管代替，接在电路中时，使其正向导通，重复步骤 2，研究网络中含有非线性元件时叠加定理是否适用，数据记入表 1-3-2。

表 1-3-2 测量数据记录

	U_{R1}/V	U_{R3}/V	U_{R3}/V	U_{R4}/V	U_{R5}/V
$U_{S1} + U_{S2}$					
U_{S1}					
U_{S2}					

五、实验报告要求

- 1. 用实验数据验证支路的电流是否符合叠加定理，并对实验误差进行适当分析。
- 2. 用实测电流值、电阻值计算电阻 R_3 所消耗的功率为多少？能否直接用叠加定理计算？试用具体数值说明之。

实验四 戴维南定理

一、实验目的

- 1. 通过验证戴维南定理，加深对等效概念的理解
- 2. 掌握测量有源二端网络等效参数的一般方法

二、实验设备

- 1. 电工实验箱

2. 直流毫安表
3. 数字万用表

三、实验原理

(1) 戴维南定理指出：任何一个线性有源二端网络，对于外电路而言，总可以用一个理想电压源和电阻的串联形式来代替，理想电压源的电压等于原一端口的开路电压 U_{OC} ，其电阻（又称等效内阻）等于网络中所有独立源置零时的入端等效电阻 R_0 ，见图 1.4.1。

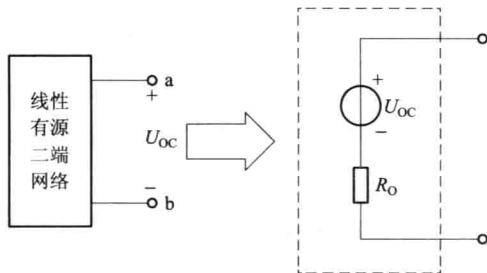


图 1.4.1 二端网络的戴维南等效电路图

(2) 内阻的测量可以用两种方法进行。

① 测量开路电压 U_{OC} 和短路电流 I_{SC} ，则内阻为 $R_0 = \frac{U_{OC}}{I_{SC}}$ ，如图 1.4.2 (a) 所示。

② 可以在网络两端接已知电阻 R ，用测量 R 两端的电压 U_R 的方法来计算等效内阻 R_0 ，即 $R_0 = \left(\frac{U_0}{U_R} - 1 \right) R$ ，如图 1.4.2 (b) 所示。

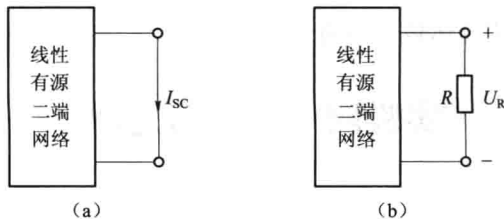


图 1.4.2 求解戴维南等效电阻方法图

(a) 测量方法一；(b) 测量方法二

四、预习内容

计算图 1.4.3 所示的戴维南等效电路。

五、实验内容

实验电路如图 1.4.3 所示。

(1) 用万用表测量网络 ab 端的开路电压 U_{OC} 和短路电流 I_{SC} ，结果记录在表 1-4-1 中。

(2) 将 $1.5\text{ k}\Omega$ 电阻接于 ab 端时电阻两端电压 U_R ，结果记录在表 1-4-1 中。

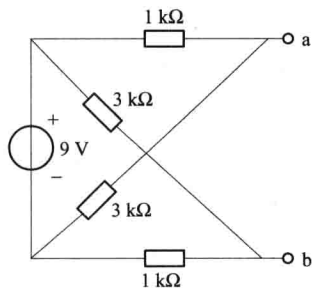


图 1.4.3 验证戴维南定理
实验电路图

表 1-4-1 测量数据记录

	U_{OC}/V	I_{SC}/mA	U_R/V	R_0/Ω
理论值				
测量值				

六、实验报告要求

- (1) 用 2 种方法计算 R_0 ，并与理论值进行比较，分析误差原因。
- (2) 在同一坐标纸上做出 2 种情况下的外特性曲线，并作适当分析，判断戴维南定理的正确性。

实验五 R 、 L 、 C 元件阻抗特性的测定

一、实验目的

1. 验证 R 、 L 、 C 元件阻抗随频率变化的关系
2. 测定电阻、电感和电容元件的交流阻抗及其参数 R 、 L 、 C 之值

二、实验设备

1. 电工实验箱
2. 信号发生器
3. 交流毫伏表
4. 数字万用表

三、实验原理

1. 电阻元件

在任何时刻电阻两端的电压与通过它的电流都服从欧姆定律，即