

# 电工及电子技术实验指导书

昆明理工大学电工电子中心

2005年2月

# 电工电子技术实验须知

实验课是高等学校理工科教育的一个重要环节，是一门独立的必修基础课程。实验教学程序由课前预习、课内操作与辅导、课后作业（实验报告）三个环节组成，它是对《电工学》理论课学习的有力配合。

## 一、实验目的

1. 通过观察实验现象和处理实验数据，培养学生研究基本电磁现象及规律的能力，巩固和加深理解所学到的理论知识，并提高学生用理论知识分析与解决实际问题的能力。

2. 培养学生实事求是、一丝不苟、严谨的科学态度，树立辩证唯物主义观。

3. 训练学生的基本实验技能，如正确使用常见的电工仪表、电子仪器及常用的电机、电器设备，掌握安全用电知识及基本电工测试技术、试验方法和实验数据的分析处理方法等。

4. 培养学生的科学实验素养和主动研究的探索精神，遵守纪律，爱护公共财产的优良品德。

## 二、实验课的要求

### 1. 实验课的预习（课前）：

学生在每次实验课前必须认真预习实验，复习相关理论知识。否则，实验的进行将事倍功半，而且有损坏仪器和发生人身事故的危险。凡没有达到预习要求的学生，均不得参加本次实验。

(1) 明确实验内容，掌握与实验有关的基本理论，了解实验仪器和设备的使用方法，知道实验的操作程序以及注意事项等。

(2) 简要写出实验预习报告。内容包括：实验目的、实验电路、数据记录表、实验中预先计算的理论值、预习思考题的解答等。

(3) 记住操作上需特别注意的问题和预习中尚欠理解，需在实验中弄清的问题。

### 2. 实验的进行（上课）：

良好的上课习惯、工作方法和正确的操作程序是实验顺利进行的有效保证。

(1) 实验课时不得无故迟到，以二人或一人为一个小组，分组对号入座。为了便于管理，要求小组成员及其实验台号在整个“电工学”实验中保持不变（为便于检查和临时计算实验数据，实验时应自带计算器）。同组合作者要团结协作、共同探讨，认真仔细地进行实验。

(2) 接线前，应先按设备清单清点设备，并了解各仪器设备和元器件的额定值、类型、使用方法和电源设备情况。

(3) 实验中所用的仪器、仪表、实验电路以及开关等，应根据连线清晰，调节顺手和读数观察方便的原则合理布局。

(4) 接线一般应遵循“先串联后并联”、“先接主电路后接辅助电路”的原则（检查电路时，也应按这样的顺序进行），先接无源部分再接有源部分。不得带电接线或拆线，接线前，应先将所有电源开关断开；为避免过电流、过电压损坏设备和元件，接线前应将可调设备的旋钮、手柄置于最安全的位置。

(5) 接线时电路的走线位置要合理，导线的粗细长短要合适，接线要牢固可靠并避免联

接三根以上的导线（可将其中的导线分散到等电位的其它接线柱上）。接好线路后，应先自行检查，再经教师复查后才能接通电源。闭合电源开关时，要告知同组同学，并注意各仪表的偏转是否正常。改接线路时，必须先断开电源。

(6) 实验中要胆大心细，一丝不苟，认真观察现象，同时分析研究实验现象的合理性。若发现异常现象，应及时查找原因。如果需要绘制曲线，则至少要读取 5 组数据，而且在曲线的弯曲部分应多读几组数据，这样得出的曲线就比较平滑准确。

(7) 实验完毕，先切断电源，再根据实验要求核对实验数据，然后请指导教师审核、签字，通过后再拆线，整理好导线并将仪器设备摆放整齐。

(8) 要爱护公物，注意仪器设备及人身安全。

### 3. 实验数据的整理工作（课后）：

数据整理工作主要是实验报告的编写内容见五（实验报告要求）。

## 三、故障的检查与处理

实验中常会遇到因断线、接错线、接触不良等原因造成故障，使电路工作状态异常，严重时还会损坏设备，甚至危及人身安全。

实验所用电源一般都是可调的，实验时电压应从零缓慢上升，同时注意仪表指示是否正常。加负荷或变电路参数时应监视各仪表，若有异常现象，如冒烟、烤糊味，指针到极限位置，指针打弯等，应立即断电。然后找老师一起分析原因，查找故障。

注意各种仪表仪器的保护措施。如电流表的短路开关（防止电动机起动电流冲击）；有些仪器作保险丝作过载保护，不得随便更换；监视仪表过载指示灯，过载跳闸机构等等。

## 四、安全及注意事项

实验证明，人体触电时，通过的电流超过 50mA 就有生命危险，超过 100mA 则在极短的时间内就能致人于死地。电工学实验经常使用 220V 和 380V 电源，而人体电阻在  $1k\Omega$  左右，实验中如有不慎，就可能发生触电和损坏仪器设备的严重事故。因此，在实验中切忌麻痹大意，必须严格遵守安全操作规程，以确保实验过程中的人身安全和设备安全。

1. 不擅自接通电源；不触及带电部分。严格遵守“先接线后通电”，“先断电后拆线”的操作顺序。

2. 使用电子仪器时应先熟悉仪器使用方法，了解各种旋钮的作用；使用仪表时应选择适当量程；使用电机与电器设备时应符合其铭牌上的额定值。

3. 分压器、调压器等可调设备的起始位置要放在最安全位置，仪表档位、量程、指零应先调好。

4. 接通电源或起动电机时，应先告知全组人员。

5. 发现异常现象（设备发热，发出焦味，电机转动声音不正常，以及电源短路保险丝熔断发出响声等）应立即断开电源，保持现场，报告指导教师。

6. 注意仪器设备的规格、量程和操作规程。搬动仪器设备时，必须双手轻拿轻放。

7. 仪器设备不准任意调换，非本次实验所用的仪器设备，未经教师允许不得动用。没有弄懂仪表、仪器及设备的使用方法前，不得贸然使用。若损坏仪器设备，必须立即报告教师，作书面检查，责任事故要酌情赔偿。

总之，实验中应当认真细致，反应灵敏。因此，不得大声喧哗，要保持实验室应有的和谐

与宁静的气氛，并保持好实验室的环境卫生。

## 五、实验报告要求

一律用学校规定的实验报告纸认真书写实验报告，不得复印。每次实验后每人必须独立完成一份实验报告。实验报告的具体内容为：

1. 实验目的。
2. 实验原理电路图，主要仪器设备的型号规格及编号等。
3. 课前完成的预习内容：包括指导书所要求的理论计算、回答问题、设计记录表格等。
4. 实验数据及处理：根据实验原始记录（数据、波形、现象等），分析、整理实验数据，找出误差原因，并按指导书要求加以必要处理。如有曲线应用坐标纸画出。
5. 实验总结：完成指导书要求的总结、问题讨论及心得体会，如果实验中出现故障，应将分析故障、查找原因作为重点报告内容。回答书后指定的思考题。
6. 实验报告封面上应写明实验名称、班级、学号、实验者姓名、实验日期和完成实验报告日期等，并将实验报告整理装订好，按任课教师指定的时间上交。

# 目 录

## 电工实验须知

### 第 1 部分 电工技术实验

实验 1 常用电子仪器的使用 .....	1
实验 2 基尔霍夫定律和叠加原理的验证 .....	4
实验 3 戴维宁定理的验证 .....	8
实验 4 $RLC$ 串联交流电路的研究 .....	10
实验 5 感性负载与功率因数的提高 .....	13
实验 6 三相交流电路的研究 .....	16
实验 7 一阶 $RC$ 电路的暂态过程 .....	20
实验 8 三相异步电动机的直接起动与正反转控制 .....	24
实验 9 单相双绕组变压器的研究 .....	27

### 第 2 部分 电子技术实验

实验 10 单管低频放大电路 .....	31
实验 11 多级放大电路与负反馈放大电路 .....	35
实验 12 差动放大电路 .....	39
实验 13 基本运算电路 .....	42
实验 14 功率放大电路 .....	46
实验 15 波形发生电路 .....	48
实验 16 直流稳压电源 .....	51
实验 17 组合逻辑门电路 .....	55
实验 18 双稳态触发器 .....	58
实验 19 计数器 .....	62
实验 20 555 集成定时器及应用 .....	66

### 附录

附录 1 指针式万用表使用说明 .....	70
附录 2 DF1930A 交流毫伏表使用说明 .....	72
附录 3 DF1641A1 函数发生器使用简介 .....	75
附录 4 YB4325 双踪示波器的使用说明 .....	78
附录 5 常用半导体元器件参数 .....	86
附录 6 集成电路主要性能及引脚图 .....	88
附录 7 误差理论及实验数据处理 .....	94

# 实验1 常用电子仪器的使用

## 一、实验目的

1. 学习函数发生器输出频率、幅值的调节，面板上各旋钮的作用及使用方法。
2. 学习双踪示波器测量信号电压的幅度、周期（或频率）及相位的基本方法，面板上各旋钮的作用及使用方法。
3. 熟悉智能电工实验台、交流毫伏表等仪器设备的使用，为后续实验做准备。

## 二、预习要求

1. 认真阅读“电工及电子技术实验须知”，了解如何进行电工实验、安全规程及应注意的问题。
2. 熟悉本次实验的具体内容，预习实验步骤。
3. 通过实验说明及附录，了解对双踪示波器、函数发生器、交流毫伏表等仪器的相关介绍。

## 三、实验仪器设备

名称	型号及参数说明	数量	编号
双踪示波器	YB4325	一台	
函数发生器	DF1641A1	一台	DY054-1T
交流毫伏表	DF1930A	一台	DY054-1T
实验电路	一阶二阶电路	一块	DY013T

## 四、实验原理

本实验所用电子仪器及主要技术指标：

### 1. YB4325 型双踪示波器

YB4325 型双踪示波器为一便携式晶体管类型的示波器，具有 CRT 读出功能。它能在屏幕上同时显示两个波形，可以方便、准确地测量信号的频率、相位和电压值。

灵敏度按 1-2-5 顺序从 1mV/格至 5V/格，20MHz 的频率特性响应。扫描速度以 1-2-5 为顺序从 1 $\mu$ s/格至 0.5s/格的扫描速度和用于观察李沙育图形的外水平/X-Y 显示功能。最大输入电压 400V（DC+AC 峰-峰值）。

### 2. DF1641A1 函数发生器/频率计

作为函数发生器可输出（FUNCTION）方波、三角波、正弦波、脉冲波等波形，输出频率范围 0.1Hz~2MHz，输出阻抗 50 $\Omega$  $\pm$ 10%，输出幅度不小于 20V（空载），输出幅度衰减 20dB、40dB。频率（RANGE）分七档 2Hz~20Hz/20Hz~200Hz/200Hz~2kHz/2kHz~20kHz/2MHz。

作为频率计时（探头接 COUNTER），可作为内部频率显示，也可作为外测频率，测量范围 1Hz~10MHz，输入阻抗不小于 1M $\Omega$ /20pF，灵敏度 100mVrms（有效值），最大输入 150V（AC+DC）（带衰减器），测量误差小于 3 $\times$ 10<sup>-5</sup> $\pm$ 1 个字。

### 3. DF1930A 交流毫伏表

交流毫伏表是测量正弦交流信号（有效值）的仪表。它与一般的交流电压表（万用表）相比，具有输入阻抗高、测量范围广的特点，能够完成工频及非工频下交流信号的测量。DF1930A 是一种智能型数字交流毫伏表，适用于测量频率 5Hz~2MHz，输入 100V~300V 的正弦波有效

值电压，最大输入电压 450Vrms。具备手动/自动 (MANU/AUTO) 测量功能，同时显示 dB/mdB 值，以及量程和通道。量程：3mV，30mV，300mV，3V，30V，300V。

### 五、注意事项

1. 仪器使用前，一定要阅读各仪器的使用说明（详见附录），并严格遵守操作规程。
2. 双踪示波器的电源开关不能频繁开启。关机后，应过一分钟后再次开机。光点不要长时间停留在一点上，否则荧光屏可能烧出斑点。
3. 仪器旋钮和按键用力不宜过猛，以免造成损坏。
4. 函数发生器、直流稳压电源的输出端不能短接。对交流电路观测时应共地连接。

### 六、实验内容及步骤

#### 1. 时基线的调节

接通电源，其指示灯亮。稍等预热，屏幕中出现光迹，分别调节亮度和聚焦旋钮，使光迹的亮度适中、清晰。垂直方式选择双踪，适当调节垂直位移旋钮，可在屏幕上观察到两条扫描时基线。

2. 观察示波器的校正电压波形；通过示波器专用（同轴电缆线）探头，将示波器内部的标准信号 1kHz、 $2V_{p-p}$  引入 CH1 输入 (X) 或 CH2 输入 (Y)，触发源开关选择 CH1 或 CH2 输入信号作为触发信号。调节触发电平旋钮，使屏上显示出稳定的波形，示波器面板的其它旋钮调节可参考表 1.1。

表 1.1 示波器面板调节

开关或旋钮名称	位置	开关或旋钮名称	位置
输入耦合开关	AC	触发极性	+
触发方式	自动	触发耦合	AC
垂直方式	CH1 或 CH2	触发源开关	CH1 或 CH2
SEC/DIV (扫描速率)	0.5ms/cm;	辉度、聚焦旋钮	适中
VOLTS/DIV (灵敏度)	1V/cm;		

(1) 将 SEC/DIV (扫描速度) 旋钮置于表 1.2 中所要求的各位置，记下波形在 X 轴方向一个周期所占的格数  $d$  (厘米数)，计算相应的频率；并与 1kHz 进行比较。

表 1.2 标准信号的测量

扫描速率 (ms/cm)	$d$ (cm)	$f$ (Hz)	灵敏度 (V/cm)	$h$ (cm)	$V_{p-p}$ (V)
1	1		0.5	4	
0.5	2		1	2	
0.2	5		2	1	

(2) 将 VOLTS/DIV (灵敏度) 旋钮置于表 1.2 中所要求的各位置，记下波形在 Y 轴方向所占的格数  $h$  (厘米数)，计算  $V_{p-p}$  (峰-峰值电压) 的值，并与 2V 进行比较。有关计算公式：

$$T = d \times \text{ms/cm}, \quad f = \frac{1}{T}; \quad V_{p-p} = h \times \text{V/cm}.$$

#### 4. 观察正弦交流电压波形

调节函数发生器细调旋钮，使输出频率 1kHz、幅度 5V（峰—峰值为 14.14V）的信号电压输出信号，用专用探头引入示波器的一个通道。调整示波器有关旋钮，使屏幕上呈大小适中、且稳定的正弦波。按表 1.3 的要求进行实验。

(1) 测出波形在 X 轴方向一个周期所占的格数  $D$ （厘米数），计算相应的频率。(2) 测出波形在 Y 轴方向的格数  $h$ （厘米数），按公式  $U = \frac{h \times \text{灵敏度}}{2} \times \frac{1}{\sqrt{2}}$  计算出电压的有效值。

表 1.3 正弦交流电压的测量

信号值	扫描时间 (ms/cm)	$D$ (cm)	灵敏度 (V/cm)	$h$ (cm)	$f$ (Hz)	$U$ (有效值) (V)
5V, 1kHz	0.5	2	5	3		
4V 正弦波	0.2	3.4	5	2.4		

### 3. 函数发生器及交流毫伏表的使用

将 DF1641A1 函数发生器输出幅度衰减 (ATTENUATOR) 分别按输出幅度衰减 “0dB” (无衰减)、“20dB”、“40dB” 三种情况，输出波形选择 “正弦波”。调节输出信号频率旋钮 (FREQUENCY) 和幅度旋钮 (AMPLITUDE)，使函数发生器输出频率 1kHz，峰—峰值 20V (示波器观测) 的信号，用 DF1930A 交流毫伏表测量相应的电压有效值，数据记入表 1.4 中。检查函数发生器的 “输出幅度衰减” 是否正确。

表 1.4 函数发生器幅度衰减

测定项目	测定的正弦波信号 1kHz, 20V <sub>pp</sub>		
函数发生器幅度衰减	0dB 衰减	20dB 衰减	40dB 衰减
交流毫伏表测量的有效值 (V)	7.07 V	0.707 V	70.8 mV

### 4. 相位差的测量

测量相位一般是指测两个信号的相位差，且两信号必须是同频率的。实验按图 1.1 接线，图中采用 1kHz、5V 的正弦信号，经 RC 移相网络获得同频不同相的两路信号。

(1) 用示波器观察 RC 移相网络的输入  $u_i$ 、输出  $u_o$  波形。记录相关波形，并标出有关数据。

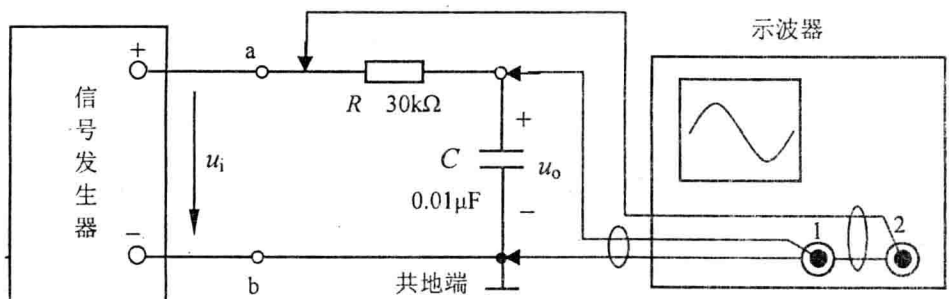


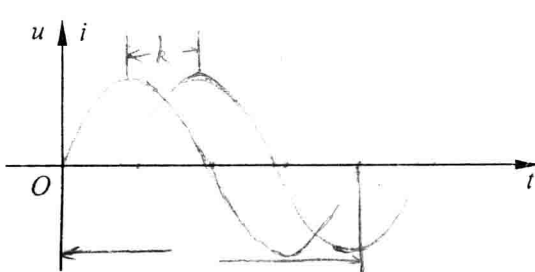
图 1.1 RC 移相网络接线图

(2) 测出上述两个波形之间的相位差。其方法为：调节扫描速度开关的位置，测出波形周期  $T$  在水平方向上所 占的格数  $d$ (cm)，以及两个波形的水平差距  $K$ (cm)，按下面公式可计算出



相位差  $\varphi$ 。将测量和计算结果记入表 1.5 中。

表 1.5 相位差的测量

$K$ (cm)	$d$ (cm)	相位差 $\varphi$ (测量值) $\varphi = \frac{360^\circ}{d} \times K$	理论值 $\varphi$ (测量值) $\varphi = \arctg(\omega RC)$
0.8	5		6.2
波形			

### 七、实验报告及思考题

1. 总结如何正确使用双踪示波器、函数发生器等仪器。总结用示波器读取被测信号电压值、周期（频率）的方法。
2. 欲测量信号波形上任意两点间的电压应如何测量？
3. 用示波器观察某信号波形时，要达到以下要求，应调节哪些旋钮？①波形清晰；②波形稳定；③改变所显示波形的周期数；④改变所显示波形的幅值。

## 实验 2 基尔霍夫定律和叠加原理的验证

### 一、实验目的

1. 验证基尔霍夫定律和叠加原理。
2. 学习电压表、电流表、万用表及实验台上几种常用电气仪表与仪器的使用。

### 二、预习要求

1. 参考附录（误差理论），了解本次实验中所用的仪器仪表的工作原理、特性及使用方法。
2. 根据图 2.2 所示的给定参数，用基尔霍夫定律计算支路与回路的理论值。
3. 根据图 2.3 所示的给定参数，用叠加原理计算各支路的理论值。

### 三、实验仪器设备

名称	型号及参数说明	数量	编号
双路直流稳压电源	+12V、-6V 切换	一台	DG031T
直流电压表	量程 0/2/200V	一台	DG054-1T
直流电流表	量程 0/200mA/2A	一块	DG054-1T
万用表	VC3010 或 VC3021	一台	
实验电路	直流电路基本定律及分析	一块	DG013T

### 四、实验原理

1. 基尔霍夫定律

(1) 基尔霍夫电流定律：任何时刻，对任一节点，所有支路电流的代数和恒等于零，即： $\Sigma I=0$ 。

(2) 基尔霍夫电压定律：任何时刻，沿任一回路内所有支路或元件电压的代数和恒等于零，即： $\Sigma U=0$ 。

## 2. 叠加原理

即多个独立电源作用于线性电路中，任何一条支路中的电流（或任意两点的电压）都可以看成是由电路中各个电源（电压源或电流源）单独作用时，在该支路中所产生的电流（或该两点的电压）的代数和。参考图 2.2，实验时使用双路输出的直流稳压源作为电压源  $E_1$  和  $E_2$ ，一般认为电源的内阻很小，可忽略不计。

## 3. 电流插座和插头的使用

DG013T 的各实验电路中，提供有多个独立的电流插座（一般标为 A），其原理如图 2.1 所示。当需要测量某一支路电流时，可利用串联在被测电流支路上的电流插座，将与一个电流表相联接的电流插头插入电流插座中，亦即将电流表接入了电路中，电流流经电流表而测得所需支路电流。如将电流插头拔出，就将电流表从该支路中取出，而该支路经过电流插口仍保持导通。

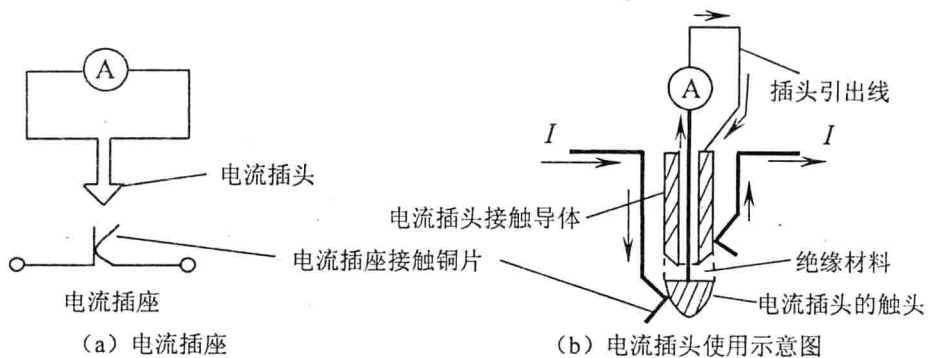


图 2.1 电流插座和插头结构

## 4. 万用表的使用方法

万用表可测量多种电量，虽然准确度不高，但是使用简单，携带方便，特别适用于检查线路和修理电气设备。万用表有磁电式（指针式）和数字式两种，本实验使用 VC3010 或 VC3021 指针式万用表。

### (1) 端钮(或插孔)的选择

a. 万用表一般配有红、黑两种颜色的表笔，面板上也有红、黑两色端钮或标有“+”、“-”极性的插孔。使用时应将红表笔接红色端钮或插入标有“+”号的插孔内，黑表笔接黑色端钮或插入标有“-”号的插孔内。

b. 测电流时串联接入电路，测电压时并联接入电路。测量直流时要注意正负极性，红表笔接正极，黑表笔接负极。

### (2) 转换开关位置的选择

a. 根据测量对象，将转换开关转至需要的位置上。例如测量电压，转换开关转至电压档；

测量电流，转换开关转至电流档。严禁在带电测量时旋转转换开关；严禁带电测电阻。

b. 合理选择量程。决定测量范围时，选择较高量程。如果测量值不可预测，应选最大范围。测量电压或电流时，应使被测量的值落在量程的  $1/2 \sim 2/3$  范围内；测量电阻时，测量值应尽量落在欧姆表中心值的  $0.1 \sim 10$  倍范围内。这样读数比较准确。

### (3) 机械调零和欧姆调零

用万用表测量前，应通过面板上的调零螺钉进行机械调零，以保证测量的准确性。在测量电阻时，每转换一次量程时，都要进行欧姆调零。方法是两根表笔短接，如指针不在  $R=0$  的位置上，则调整面板上的“零位欧姆调节”旋钮，使指针指零。

### (4) 结束测量

测量完毕，将转换开关转至交流电压档最大量程位置上或旋至“OFF”档。注意，万用表面板上的“+”端是接至内部电池的负极上的，而“-”端是接至内部电池的正极上的。

## 五、注意事项

1. 需要更改线路时，先断开电源以避免带电操作。
2. 要等待表中数据的稳定后读数，记录数据时要标出正负号。
3. 在起动实验台的电源之前，应使直流稳压电源、恒流源的输出旋钮置于零位，实验时再缓缓地增、减输出。恒压源的输出不允许短路。

## 六、实验内容及步骤

### 1. 验证基尔霍夫定律

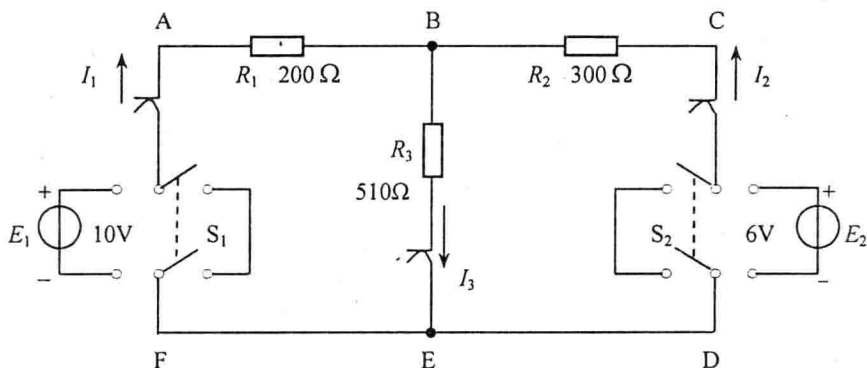


图 2.2 基尔霍夫定律实验电路图

(1) 按图 2.2 接线。其中  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  是电流插口（电流插头接 DG054-1T 的 2A 直流电流表）， $S_1$ 、 $S_2$  是双刀双掷开关。

(2) 先将  $S_1$ 、 $S_2$  合向短路线一边，调节双路直流稳压电源，使  $E_1=10V$ ， $E_2=6V$ ，（用万用表来分别测量 DY031T 的输出电压）。

表 2.1 基尔霍夫电流定律

$I_1(\text{mA})$	$I_2(\text{mA})$	$I_3(\text{mA})$	验证节点 B: $\Sigma I=0$
16.11	-2.78	13.33	0

(3) 将  $S_1$ 、 $S_2$  合向电源一边，按表 2.1 和表 2.2 中给出的各参量进行测量并记录，验证基尔霍夫定律。

表 2.2 基尔霍夫电压定律

$U_{AB}$ (V)	$U_{BC}$ (V)	$U_{CE}$ (V)	$U_{EA}$ (V)	$U_{BE}$ (V)	验证: $\Sigma U=0$	
					回路 ABCDEFA	回路 ABEFA
3.35	0.85	6.00	-10.6	7	-0.40	-0.25

2. 验证叠加原理

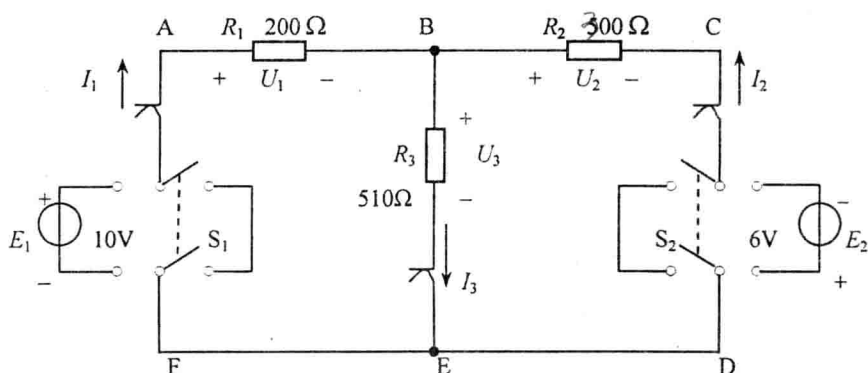


图 2.3 叠加原理实验电路图

(1) 取双路直流稳压电源输出:  $E_1=10V$ 、 $E_2=-6V$  (电源极性与图 2.2 相反)。根据电路中标明的支路电流及电阻端电压的参考方向, 进行实验验证。

(2) 按图 2.3 接线, 开关  $S_1$ 、 $S_2$  均置向各自的电源。测量  $E_1$ 、 $E_2$  共同作用下  $R_3$  支路的电流  $I_3$  及电压  $U_3$  的数值, 数据记入表 2.3 中。

(3) 在图 2.3 中将  $E_2$  断开,  $S_2$  置向短路线,  $S_1$  置向电源。测量  $E_1$  单独作用下  $R_3$  支路的电流  $I_3$  及电压  $U_3$  的数值, 数据记入表 2.3 中。

(4) 在图 2.3 中将  $E_1$  断开,  $S_1$  置向短路线,  $S_2$  置向电源。测量  $E_2$  单独作用下  $R_3$  支路的电流  $I_3$  及电压  $U_3$  的数值, 数据记入表 2.3 中。

表 2.3 叠加原理

待测量 外接电源	$I_3$ (mA)			$U_3$ (V)		
	测量值	计算值	相对误差	测量值	计算值	相对误差
$E_1$ 、 $E_2$ 同时作用	5.75	5.71	0.04	3.1	2.9	0.2
$E_1$ 单独作用	9.55	9.52	0.03	5.0	4.9	0.1
$E_2$ 单独作用	-3.77	-3.81	0.04	-2.0	-1.9	0.1

(5) 在图 2.3 的  $R_3$  下面串联一二极管 (4001), 重复步骤 (2) ~ (4) 的测量。验证该支路的电流或其两端的电压是否满足叠加原理。自拟表格记录数据 (与表 2.3 类似)。

七、实验报告要求及思考题

1. 说明基尔霍夫定律和叠加原理的正确性。计算相对误差, 并分析误差原因。
2. 使用万用表测量电阻、直流电压、直流电流时, 应注意些什么问题?
3. 实验时, 如果电源 (信号源) 内阻不能忽略, 应如何进行?

## 实验 3 戴维宁定理的验证

### 一、实验目的

1. 验证戴维宁原理；学习有源二端网络伏安特性的测试方法。
2. 学习通过实验来实现有源二端网络的等效变换。

### 二、预习要求

1. 根据实验内容估算电流及电压值并选择仪表量程。
2. 根据图 3.2 所示的给定参数，用戴维宁定理计算出 a、b 点左侧有源二端网络的开路电压  $U_0$ 、等效电阻  $R_0$  和短路电流  $I_s$ 。

### 三、实验仪器设备

名称	型号及参数说明	数量	编号
双路直流稳压电源	+12V	一台	DG031T
直流电压表/直流毫安表	量程 0/2/200V, 量程 0/200mA/2A	各一块	DG054-1T
万用表	VC3010 或 VC3021	一块	
实验电路	直流电路基本定律及分析	一块	DG013T
电阻箱	$R_X$ 100 $\Omega$ ~10k $\Omega$	一台	DG02

### 四、实验原理

#### 1. 戴维宁定理

任何一个线性有源二端网络都可以用一个电动势为  $E$  的理想电压源和内阻为  $R_0$  的电阻串联来等效替代。电动势  $E$  等于该二端网络的开路电压  $U_{ab}$  ( $U_{oc}$ )，内阻  $R_0$  等于二端网络内部除去理想电源（理想电压源短路，理想电流源开路）后该网络的入端电阻（等效电阻）。如图 3.2 所示。

2. 线性有源二端网络输出电压与电流间的关系称为这个网络的外特性（伏安特性），即： $U=f(I)$ 。用图 3.1 (a) 所示的线路测出网络在不同负载下的电压和电流，就能得到网络的外特性曲线，如图 3.1 (b) 所示，是一条直线。它与其等效的电压源的外特性 ( $U=E-IR_0$ ) 相同。

根据外特性曲线求出斜率  $\tan\varphi$ ，则等效电阻为  $R_0=\tan\varphi=\frac{\Delta U}{\Delta I}$ 。

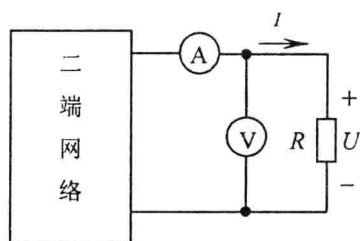


图 3.1 (a) 外特性测试电路

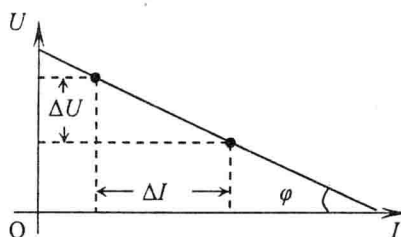


图 3.1 (b) 外特性曲线

$E$  可利用外特性关系式  $U=E-IR_0$  计算出，或用开路电压法直接测得。

### 五、注意事项

1. 参考实验 2 注意事项。

2. 图 3.2 的  $R_X$  电阻箱即是负载电阻  $R_L$ ，电流表（mA 电流插口）可参考实验 2 的接法。

## 六、实验内容及步骤

### 1. 验证戴维宁定理

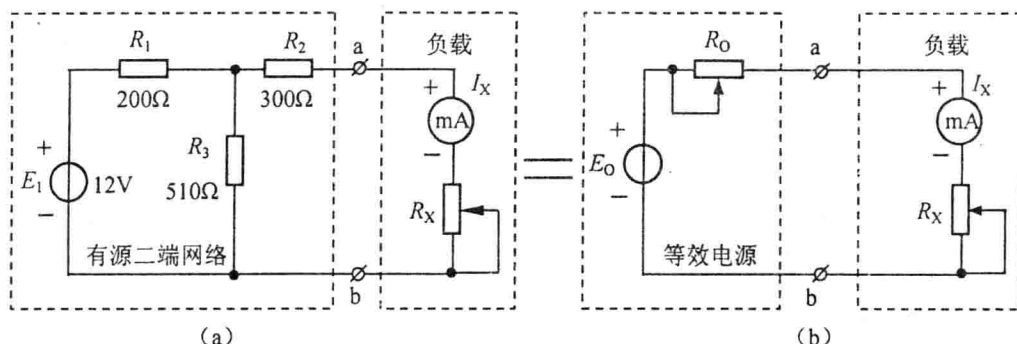


图 3.2 戴维宁定理实验电路图

取双路直流稳压电源，使  $E_1=12V$ 。按图 3.2 (a) 接线，a、b 端左边的电路为有源二端网络。其等效电压源参数  $E$  和  $R_0$  的测量，可采用以下 2 种方法：

a. 两次电压法：即先测量有源二端网络的开路电压  $U_{oc}(E)$ 。在端口外接已知负载电阻

$R_X$ （电阻箱  $R_X$  取  $1k\Omega$ ），再次测量端电压  $U_{cd}$ ，内阻  $R_0$  按公式  $R_0 = (\frac{U_{oc}}{U_{cd}} - 1) \times R_X$  计算。

b. 间接测量法：图 3.2 (a) 中移去负载电阻  $R_X$ ；将 a、b 两端串接一直流电流表（用电流插口），测出其短路电流  $I_S$ 。再测出 a、b 两端的开路电压  $U_{ab}$ （即  $U_{oc}$ ），数据记入表 3.1 中。利用  $R_0 = U_{oc} / I_S$  计算  $R_0$ 。这种方法仅适用于等效内阻  $R_0$  较大而短路电流  $I_S$  不大的情况（因短路电流太大会损坏电路的器件）。

表 3.1 验证戴维宁定理

实 测 值			理 论 值		
$U_{oc}$ (V)	$U_{cd}$ (V)	$R_0$ ( $\Omega$ )	$U_{oc}$ (V)	$U_{cd}$ (V)	$R_0$ ( $\Omega$ )
$U_{ab}$ (V)	$I_S$ (A)	$R_0$ ( $\Omega$ )	$U_{ab}$ (V)	$I_S$ (A)	$R_0$ ( $\Omega$ )

### 2. 有源二端网络的外特性

图 3.2 (a) 接线不变。在 a、b 两端接上负载  $R_X$  和电流表，调节电阻箱  $R_X$  上的倍率使其为表 3.2 中不同电阻值时，测量出  $R_X$  所在支路的电流  $I_X$  及端电压  $U_{ab}$ ，并将结果记入表 3.2 中。

### 3. 等效电压源的外特性

取表 3.1 中的一组测量数据，按图 3.2 (b) 接线，将  $E_0$  的值调到开路电压  $U_{oc}(U_{ab})$  的值，用  $1k\Omega$  电位器调到  $R_0$  的值（万用表测量）。a、b 两端接上负载电阻  $R_X$ ，调节  $R_X$  为表 3.2 中不同阻值时，测量电流  $I_X$  及端电压  $U_{ab}$ ，结果记入表 3.2 中。将表中  $U_{ab}=f(I_X)$  的数值，在坐标纸上用描点法画出等效电压源的外特性。

表 3.2 外特性测试

电阻 条件	$R_x(\Omega)$	400 $\Omega$	600 $\Omega$	800 $\Omega$	1k $\Omega$	1.2k $\Omega$	1.5k $\Omega$	2k $\Omega$	3k $\Omega$
有源 二端 网络	$I_x$ (mA)								
	$U_{ab}$ (V)								
	计算 $R_x$ ( $\Omega$ )								
等效 电压 源	$I_L$ (mA)								
	$U_{ab}$ (V)								
	计算 $R_x$ ( $\Omega$ )								

### 七、实验报告要求及思考题

1. 说明戴维宁定理的正确性。计算表 3.1 的相对误差，并分析误差原因。
2. 对有源二端网络内阻  $R_0$  的测量是否还有其它方法，若有说明其中一种方法。
3. 电压表、电流表的内阻分别是越大越好还是越小越好，为什么？

## 实验 4 $RLC$ 串联交流电路的研究

### 一、实验目的

1. 研究  $RLC$  串联电路中总电压与分电压，电压  $u$  与电流  $i$  之间的相位关系。
2. 研究  $R \neq 0$  时，感抗  $X_L$ 、容抗  $X_C$  的大小对电路性质的影响，了解串联谐振的特征。

### 二、预习要求

1. 已知： $R=510\Omega$ 、 $C=0.01\mu\text{F}$ 、 $L=33\text{mH}$ 、 $r=21\Omega$ （电感的内阻），实验前必须对表 4.1~4.3 中所要求的理论值计算。

2. 复习教材相关内容，自学电工测量的相关知识。
3. 学习附录中函数发生器、交流毫伏表及双踪示波器的基本用法。

### 三、实验仪器设备

名称	型号及参数说明	数量	编号
函数发生器/交流毫伏表	DF1641A1/DF1930A	各一台	DY054-1T
双踪示波器	YB4325	一台	
实验电路	谐振电路	一块	DY013T

### 四、实验原理

在  $RLC$  串联交流电路中，由电压相量  $\dot{U}$ 、 $\dot{U}_R$  及  $(\dot{U}_L + \dot{U}_C)$  所组成的电压三角形，可求得  $RLC$  串联交流电路中总电压与分电压有效值关系为：

$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = I\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (4.1)$$

实验中，由于电感元件本身具有电阻  $r$ ，因此上式为：

$$I = \frac{U}{\sqrt{(R+r)^2 + (X_L - X_C)^2}} \quad (4.2)$$

由电压三角形还可得

$$\varphi = \arctg \frac{U_L - U_C}{U_R} = \arctg \frac{X_L - X_C}{R+r} \quad (4.3)$$

因此，阻抗  $|Z|$ 、电阻  $R$ 、感抗  $X_L$  及容抗  $X_C$  不仅表示了电压  $u$ 、 $u_R$ 、 $u_L$ 、 $u_C$  与电流  $i$  之间的大小关系，而且也表示了它们之间的相位关系。随着电路参数的不同，相位差  $\varphi$  也就不同。故  $\varphi$  角的大小是由电路（负载）的参数决定的。

实验中，当电路中的  $R$ 、 $L$ 、 $C$  的参数一定时，改变信号源的频率，可改变电路性质，即电路呈现下面三种情况：(1)  $X_L < X_C$ ， $\varphi < 0$ ， $i$  超前  $u$ ，电路呈电容性。(2)  $X_L > X_C$ ， $\varphi > 0$ ， $i$  滞后于  $u$ ，电路呈电感性。(3)  $X_L = X_C$ ， $\varphi = 0$ ， $i$  与  $u$  同相，电路呈电阻性（即电路发生串联谐振）。

在具有电感和电容元件的电路中，电路两端的电压与其中的电流一般是不同相的。如果调节电路的参数或电源的频率而使它们同相，这时电路发生谐振现象。因为发生在串联电路中，所以称为串联谐振。电路发生串联谐振具有如下特征：(1)  $X_L = X_C$ ，电路的阻抗最小， $|Z| = R+r$ ，电流最大。(2) 电源电压波形与电流波形同相位（即  $u$  与  $i$  同相位）。(3) 当  $X_L = X_C > R$  时， $U_L$  和  $U_C$  高于电源电压  $U$ 。(4) 谐振频率： $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ ；品质因数： $Q = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{1}{\omega_0 RC}$

## 五、注意事项

1. 由于函数发生器内阻的影响，改变频率时，信号源的输出会有一定变化，应始终保持信号源的电压为 6V。不允许将信号源的输出端短接。
2. 双踪示波器的地端应与信号源的地端、电路板的地端连接在一起。

## 六、实验内容及步骤

按图 4.1 接线，按下面要求进行各项实验。

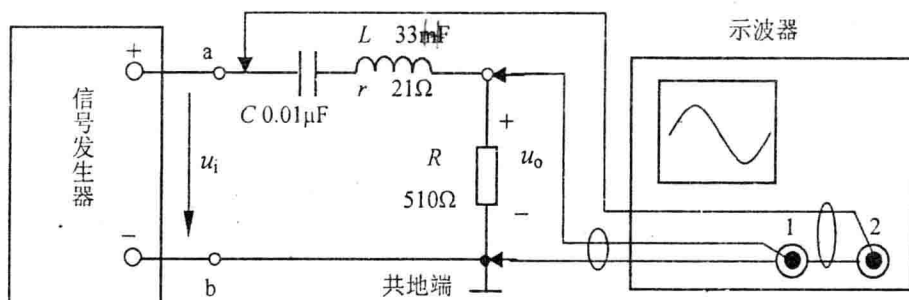


图 4.1 RLC 串联交流电路实验电路



1. 调节信号源频率, 使  $f=7.5\text{kHz}$  (此时  $X_L=1555\Omega$ ,  $X_C=2122\Omega$ , 即  $X_L < X_C$ ), 将信号源的输出电压调至  $6\text{V}$ , 用交流毫伏表分别测出  $U_R$ 、 $U_{Lr}$ 、 $U_C$  的值, 记入表 4.1 中。用示波器观察  $u$  与  $i$  的波形, 并画波形图。电流  $I$  的测量值采用间接测量法, 即用交流毫伏表测量  $R=510\Omega$  上的电压, 然后再计算电流。

表 4.1

测量参量	测量值	理论值	误差值
$U_R$			
$I (U_R/R)$			
$U_{Lr}$			
$U_C$			
电路特征			
波形图			

2. 调节信号源频率, 使  $f=11\text{kHz}$  (此时  $X_L=2281\Omega$ ,  $X_C=1447\Omega$ , 即  $X_L > X_C$ ), 保持信号源的输出电压  $6\text{V}$ , 用交流毫伏表分别测出  $U_R$ 、 $U_{Lr}$ 、 $U_C$  的值, 记入表 4.2 中。用示波器观察  $u$  与  $i$  的波形, 并画出波形图。

表 4.2

测量参量	测量值	理论值	误差值
$U_R$			
$I (U_R/R)$			
$U_{Lr}$			
$U_C$			
电路特征			
波形图			

3. 调整信号源频率, 当示波器上  $u$  与  $i$  的波形同相位, 且  $U_{Lr} \approx U_C$  (交流毫伏表测量) 时,