



韩明武 主编

电 工 学 实 验

DIANGONGXUESHIYAN



哈尔滨工业大学出版社

电 工 学 实 验

韩明武 主编

哈尔滨工业大学出版社

哈 尔 滨

内 容 简 介

本书是在丁继盛教授主编的《电工学实验指导》一书基础上编写而成的,并与秦曾煌教授主编的《电工学》第4版教材配套使用。

本书共十二个实验。包括:实验一 直流电路;实验二 正弦交流电路;实验三 三相电路;实验四 三相鼠笼式异步电动机的控制;实验五 PLC基本指令编程及其控制应用;实验六 PLC微机编程软件NPST-GR的使用;实验七 电子仪器仪表的使用;实验八 单管交流放大电路的调试;实验九 集成运算放大器的应用;实验十 通用电路仿真软件Pspice的应用;实验十一 组合逻辑电路及其应用;实验十二 时序逻辑电路。另外,在附录中还介绍了SS-5702A型双踪示波器的使用、EE1641B型函数信号发生器/计数器的使用,并列出了常用电路元件。

本书可作为高等院校非电类专业的本科生、专科生及中等专科学校的实验课教材,还可供有关专业的工程技术人员及科研人员参考。

电 工 学 实 验

Diangongxue Shiyan

韩明武 主编

*

哈尔滨工业大学出版社出版发行

哈尔滨市南岗区教化街21号

电话:0451-6414749 邮编:150006

哈尔滨市哈工大节能印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 6.5 字数 154千字

1999年9月第1版 1999年9月第1次印刷

印数 1~5 000

ISBN 7-5603-1419-8/TM·26 定价 9.00元

前 言

电工学实验是电工学课程重要的实践性教学环节。电工学实验的目的不仅是要帮助学生巩固和加深理解所学的知识,更重要的是要训练学生的实验技能,培养学生的动手能力和基本素质。

为适应实验教学的需要,哈尔滨工业大学电工学教研室自 1990 年以来已编写了两种版本的电工学实验教材,这些教材在各个不同的年代的教学过程中都起到了积极的作用,收到了较好的效果。但随着实验教学改革的不断深入,原教材已不能满足培养跨世纪人才的需要,故教研室又组织编写了《电工学实验》一书。与以往的实验教材相比,本书具有以下特点:

(1) 着重于学生实际技能的培养,使学生能独立组织和进行实验,提高学生的工程技能素质。因此,在实验内容中,增加了学生自己设计实验的内容,例如,实验五、实验六、实验九、实验十和实验十一。

(2) 为配合 21 世纪的教改,在实验中增加了可编程控制器(PLC)、电子线路的计算机仿真(Pspice)等高新技术的内容。

(3) 本书内容力求做到少而精,去掉了“变压器”和“整流、直流稳压电源”等实验,把实验的重点放在仪器仪表的使用、运算放大器、组合逻辑、时序逻辑、PLC 和通用电路计算机仿真等内容上。

(4) 对传统的实验增加了一些新的内容,如,在三相电路中增加了三相功率补偿,在三相电机控制中加入了时间控制和顺序控制等内容。

本书共 12 个实验,每个实验约 4 学时,可按 40~50 学时组织教学。

本书是在教研室全体教师多年的电工学实验教学经验基础上编写而成的,由韩明武主编。参加本书编写的有:毕淑娥(实验一、实验二)、马秀娟(实验三、实验四)、姜三勇(实验五、实验六)、张继红(实验八)、贾洪奇(实验九)、吴建强(实验十)、韩明武(实验七、实验十一、实验十二和附录)。

由于编者水平所限,书中难免有不妥和疏漏之处,衷心希望读者提出批评意见,以便完善和提高。

编 者

1999 年 7 月于哈尔滨

目 录

电工学实验的要求	(1)
实验一 直流电路	(3)
实验二 正弦交流电路	(11)
实验三 三相电路	(20)
实验四 三相鼠笼式异步电动机的控制	(28)
实验五 PLC 基本指令编程及其控制应用	(32)
实验六 PLC 微机编程软件 NPST-GR 的使用	(42)
实验七 电子仪器仪表的使用	(49)
实验八 单管交流放大电路的调试	(53)
实验九 集成运算放大器的应用	(58)
实验十 通用电路仿真软件 Pspice 的使用	(62)
实验十一 组合逻辑电路及其应用	(70)
实验十二 时序逻辑电路	(74)
附 录	(79)
附录 1 SS-5702A 型双踪示波器的使用	(79)
附录 2 EE1641B 型函数信号发生器/计数器的使用	(86)
附录 3 常用电路元件	(89)

电工学实验的要求

一、实验目的

(1) 通过实验巩固并加深理解“电工学”课程的基本理论,培养用理论知识分析和解决实际问题的能力。

(2) 通过实验训练以下几方面的基本技能:

- ① 能正确使用常用的电工仪表、电子仪器及常用的电机、电器设备。
- ② 能正确选用熔断器、导线、常用仪表和电子器件等。
- ③ 能阅读简单的电器设备原理电路图。
- ④ 能按预定要求独立安排和操作简单的电工学实验。
- ⑤ 能准确地读取数据,测绘波形和曲线,分析实验结果,撰写规范的实验报告。
- ⑥ 掌握一般的安全用电常识,遵守操作规程。

(3) 通过实验培养严肃认真的实验习惯和严谨的科学工作作风,为以后的学习和工作打下良好的基础。

二、实验的预习

每次实验前,应充分预习准备,否则将事倍功半,甚至有损坏仪器和发生人身事故的危险。为了确保达到预习要求,实验前,教师将对学生口头或书面检查。凡没有达到要求的学生,均不得参加本次实验。

预习的主要要求是:

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

(2) 简要写出实验的预习报告。其内容包括:实验内容、实验电路、实验仪器、实验步骤、计算公式、数据记录表、注意事项以及对本次实验存在的疑问等。

三、实验的进行

良好的操作方法和正确的操作程序是实验顺利进行的有效保证。为此,可以参照下列程序进行实验:

(1) 按实验指导书清点仪器设备,了解其使用方法。检查仪表的测量装置是否在应有的位置(例如零位),否则,应加以调整,以免产生测量误差。

(2) 实验台要合理布局,仪器设备的摆放位置既要整齐美观、易于接线,又要便于观察、操作和读取数据。

(3) 连接电路是实验的重要工作,应注意其规律性和技巧:

① 根据电路的结构和特点,采取合理的接线步骤。一般按“先并联后串联”、“先接主电路后接辅助电路”的顺序进行,以避免遗漏和重复。

② 电路的走线位置要合理,接触要良好,避免在一个接线柱上连接三根以上的导线

(可将其他的导线分散接到同电位的接线柱上)。

③ 接线完毕后,要养成自查的习惯。对于强电或可能造成设备损坏的实验电路,须经指导教师复查后,再接通电源。

(4) 实验操作、观察现象、测量数据:

① 电路接通后,不要急于测量数据。首先应按实验程序完整操作一遍,概略地观察全部现象以及仪表的读数变化范围。

② 如果需要绘制曲线,在曲线的弯曲部分多读几组数据,这样才能绘出平滑准确的曲线。

③ 测得的数据经自审,送指导教师复核无误后,方可拆掉电路,以免因数据错误,花费不必要的时间重新接线。

(5) 实验结束,做好仪器设备和导线的整理以及环境的清洁工作后,方可离开实验室。

(6) 实验要保证一人一组。

四、安全及注意事项

1. 人身安全方面

(1) 不准擅自接通电源,不允许人体触及带电部位。严格遵守“先接线后通电”、“先断电后拆线”的操作顺序。

(2) 接通电源或启动电动机时,应事先告知周围的相关人员。

(3) 电动机转动时,要防止人身触及电动机的转动部分,佩带的围巾及女同学的辫子当心不要被电动机的轴绞住。

(4) 电源切断后电动机尚在旋转时,不要用手去制动电动机。

2. 设备安全方面

(1) 移动仪器时,要轻拿轻放。

(2) 注意,由于电流表的内阻较小,若将电流表误作电压表,会因流过的电流过大而将电流表烧毁;同样的道理,切不可误将万用表的电阻挡作为电压表。

(3) 实验中随时注意有无异常现象。例如,电路中电流过大、设备过热、绝缘烧焦发出异味,电动机转动声音不正常,以及电源短路、保险丝熔断发出声响等等。出现上述情况时不必惊慌,应立即关闭电源,报告指导教师,共同分析事故原因,尽快排除故障,继续实验。

五、实验报告

实验报告是实验工作的全面总结,是教师考核学生实验成绩的主要依据。实验报告要用规定的实验报告用纸书写,要求语言通顺、图表清晰、分析合理。

实验报告的内容包括以下各项:

(1) 实验目的、实验设备、实验电路图、实验数据。

(2) 根据实验要求,绘制相关的曲线和图表。

(3) 分析实验结果,讨论实验思考题。

实验一 直流电路

电工仪表的使用及电阻元件伏安特性的测定

一、实验目的

- (1) 测定线性电阻元件和非线性电阻元件的伏安特性。
- (2) 了解安培计和万用表的使用方法,并熟悉电工仪表的表示符号、准确度等级与测量误差。
- (3) 学习直流稳压电源的使用方法。

二、预习要求

- (1) 阅读实验指导书,了解本次实验的内容和步骤。
- (2) 复习教材中直流电路的有关理论。
- (3) 预习教材中电工测量仪表的有关内容。

三、实验仪器与设备

直流稳压电源 1 台
直流毫安计 1 块
直流伏特计 1 块
数字万用表 1 块
电路实验板 1 块

四、实验简述

1. 电工仪表的一般介绍

电工仪表用来测量电流、电压、电功率、功率因数、电阻等物理量。实验者通过测量可了解电气设备的特性和运行情况。

电工仪表按其测量机构的不同,可分为磁电式、电磁式、电动式、整流式等多种型式,其表示符号如表 1.1 所示。

表 1.1 电工仪表的主要型式

型 式	符 号	测 量 对 象
磁电式		直流 (电流、电压、电阻)
电磁式		交、直流 (电流、电压)

续表

型 式	符 号	测 量 对 象
电动式		交、直流 (电流、电压、电功率、电能、功率因数)
整流式		交流 (电流、电压)

在仪表的表盘上,除标有仪表的型式外,一般还标有仪表所测电流的种类、仪表绝缘耐压强度、仪表放置位置以及仪表的准确度等符号,如表 1.2 所示。

表 1.2 表盘上的其他主要符号

符 号	意 义
-	直流
~	交流
≈	交直流
3~或≡	三相交流
 2 kV	仪表绝缘试验电压 2 000 V
↑	仪表直立放置
→	仪表水平放置
∠60°	仪表倾斜 60°放置
①.5	仪表准确度为 1.5 级

为了反映电工仪表的测量精度,我国直读式仪表的准确度分为 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 七个级别。通常 0.1 级和 0.2 级仪表作为标准表使用,并可进行精密测量;0.5~1.5 级仪表用于实验室测量;1.5~5.0 级仪表一般用于工程测量及指示电气设备的运行状况。

仪表的准确度是根据仪表的相对额定误差来分级的。所谓相对额定误差,就是指仪表在正常工作条件下进行测量可能产生的最大绝对误差(由于仪表本身结构的不精确所产生) ΔA 与仪表的满刻度量程 A_m 之比,以百分数表示,则准确度为

$$\alpha = \frac{\text{最大绝对误差}(\Delta A)}{\text{满刻度量程}(A_m)} \times 100\%$$

仪表测量时,相对误差可表示为

$$\gamma_m = \frac{\text{最大绝对误差}(\Delta A)}{\text{被测量的实际值}(A)} = \text{准确度等级}(\alpha) \times \frac{\text{满刻度量程}(A_m)}{\text{被测量的实际值}(A)}$$

由上式可见,当被测量的实际值一定时,相对误差决定于仪表的准确度等级 α 与其满刻度量程的乘积。若仪表量程相同,准确度等级愈高(α 值愈小),相对误差愈小;若仪表准确度相同,量程愈小,相对误差愈小。

例 某直流电源电压 $U = 100 \text{ V}$ 。今用一块 0.5 级的多量程伏特计的 150 V 挡和 300

V 挡分别进行测量时,产生的相对误差如下:

(1) 用 150 V 量程测量 100 V 时,产生的相对误差

$$\gamma_m = \alpha \times \frac{A_m}{A} = \pm 0.5\% \times \frac{150}{100} = \pm 0.75\%$$

(2) 用 300 V 量程测量 100 V 时,产生的相对误差

$$\gamma_m = \pm 0.5\% \times \frac{300}{100} = \pm 1.5\%$$

由上例可以看出,即使采用同一块电压表测量同一被测电压,不同的电压挡次所产生的相对误差也是不同的。被测量值愈是接近所选挡次的满刻度量程,产生的相对误差就愈小,测量的结果就愈准确。因此,同学们在以后的实验过程中,应根据被测量值的大小选择适当的仪表量程,使仪表的读数尽可能接近满刻度量程,以减小测量误差。

2. 伏特计、安培计的使用方法

(1) 伏特计应当并联于被测电路中,而安培计应当串联于被测电路中。若是直流仪表,还应注意“+”、“-”极性,而交流仪表无此要求。

(2) 测量时应当注意仪表量程的选择。为了保证测量精度,仪表指针的指示值不得小于整个量程的 2/3。如果不知被测量的大小,在使用多量程仪表时,应先用高档量程,如不合适,则逐次减小量程,直到合适的量程为止。读取数据时,为消除读数时的视差,应使眼睛、表针及表针镜像三者在一 条直线上。

(3) 一般的交流电工仪表频率适用范围为 0 ~ 400 Hz。如果频率太高,则测量精度降低,不宜用此种仪表测量。

(4) 在使用电工仪表之前,首先应注意表针是否指零;如不指零,则需通过调零装置把表针调到零位。

3. 电阻元件的伏安特性

电阻元件的特性是以该元件两端的电压 U 及流过该元件的电流 I 之间的关系来表征的,常以伏安特性 $U = f(I)$ 或 $I = f(U)$ 来表示。一般,伏安特性曲线常以电流为横坐标,但在电子技术中,半导体器件的伏安特性曲线习惯上以电压为横坐标。本次实验首先测试线性电阻元件,它的伏安特性是通过坐标原点的一条直线,符合欧姆定律,即 $R = U/I = \text{常数}$ 。然后测试半导体稳压管,它是一种特殊的电阻元件,它的电阻是非线性的,即 $U/I \neq \text{常数}$,其伏安特性曲线如图 1.1 所示。显然,稳压管的电阻值不但随电压和电流的大小而改变,还与电流的方向有关。半导体器件的伏安特性对分析电子电路和确定电路的工作点具有重要的意义。

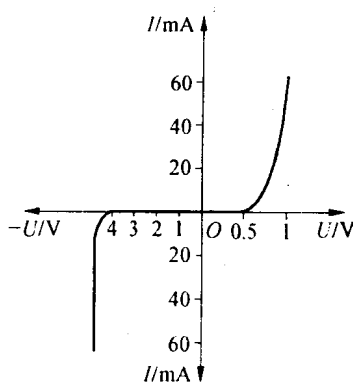


图 1.1

五、实验内容与步骤

1. 检查电阻元件和稳压管

(1) 从数字万用表的电阻挡中选取合适的挡次,测定电阻元件的阻值。

(2) 从数字万用表的电阻挡中选取合适的挡次,测定稳压管正、反向电阻的阻值。

2. 线性电阻元件伏安特性的测定

将稳压电源的输出调至 0 V,按图 1.2 连接电路,然后按表 1.3 所列数值改变稳压电源的输出电压,将测出相应的电流值填入表 1.3 中。

表 1.3

U/V	0	2	3	6	9
I/mA					

3. 稳压管伏安特性的测定

(1) 正向特性。按图 1.3 接线,先将稳压电源的输出电压由 0 V 调至 6 V,观察电流表上电流值的变化。然后用万用表测量稳压管两端电压,在 0 ~ 50 mA 范围内取 5 组数据。将测得稳压管正向电压值及相应的电流值填入表 1.4 中。

表 1.4

U/V	0	2	3	6	9
I/mA					

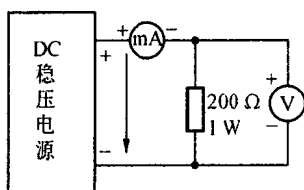


图 1.2

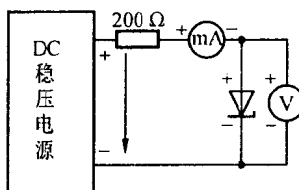


图 1.3

(2) 反向特性。按图 1.4 接线(只需将图 1.3 中稳压管反接即可)。先将稳压电源的输出电压由 0 V 调至 6 V,观察电流表上电流的变化。然后用万用表测量稳压管两端电压,在 0 ~ 5 mA 范围内取 5 组数据,注意取拐点值。将测得稳压管反向电压值及相应的电流填入表 1.5 中。

表 1.5

U/V	0	2	3	6	9
I/mA					

4. 思考题

(1) 当用万用表的电阻挡测量稳压管的正、反向电阻时,为什么不同量程有不同的读数? 量程应如何选择为好?

(2) 当 $R_V \gg R_L$ 和 $R_V \ll R_L$ 时,试分析图 1.5(a)、(b) 哪种电路测量结果较为准确 (R_V 为电压表的内阻)?

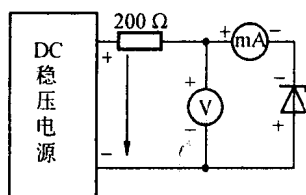


图 1.4

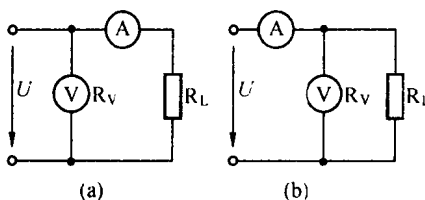


图 1.5

5. 注意事项

(1) 在实验过程中,如需换接电路,或出现故障时,都应先关闭电源,严禁带电操作。

(2) 万用表用完后,应将旋钮置于高压挡。

以上注意事项也适合于今后的各种实验。参加每次实验都要有科学的态度和安全意

识,逐步养成良好的实验习惯。

六、实验报告要求

(1) 实验报告可参照“电工学实验的要求”中的实验报告项书写。要求语言通顺,书写整洁,认真分析和讨论实验中的问题。以后各次实验报告要求与此相同,不再重复。

(2) 根据实验所测的数据,在坐标纸上选取适当的比例尺,画出线性电阻元件的伏安特性曲线和稳压管的正、反向伏安特性曲线。

(3) 讨论线性电阻和非线性电阻的伏安特性有何不同。

叠加原理和戴维南定理

一、实验目的

(1) 通过实验验证并加深理解叠加原理和戴维南定理。

(2) 进一步熟悉直流安培计、万用表、直流稳压电源的使用方法。

二、预习要求

(1) 复习叠加原理和戴维南定理,简述它们的基本要点。

(2) 看懂实验电路图 1.6,根据所给参数,预先用叠加原理计算出各支路电流和各电阻的电压(标出正方向),填入表 1.6、1.7、1.8 中。

(3) 看懂实验电路图 1.7,根据所给参数,预先用戴维南定理计算出 a、b 之间的有源二端网络的开路电压 U_0 、等效内阻 R_0 、短路电流 I_s ,并填入表 1.9 中。

三、实验仪器与设备

电路实验板	1 块
电位器板	2 块
双路直流稳压电源	1 台
直流毫安计	1 块
数字万用表	1 块

四、实验简述

在线性电路中,由于电流的大小和各电源的电压、电流的大小成正比,所以电路中任一支路的电流,可以看成是电路中的各个电源单独作用时,在这一支路中所产生的电流叠加的结果,这就是叠加原理。叠加原理是体现线性电路本质的最重要的电路定理,对于线性电路中电压、电流的分析计算有十分重要的作用。

任何一个有源二端网络,对于它的外部来说,都可以用一个等效电源来表示。如果将它等效为电压源,则这个等效电源的电动势等于二端网络的开路电压,内阻等于从二端网络看进去所有电源不起作用(电压源短路,电流源开路)时的等效电阻。这就是戴维南定理。用戴维南定理计算复杂电路是很方便的。

五、实验内容与步骤

1. 叠加原理

(1) 将双路稳压电源的电压粗调旋钮置于相应挡, 调节细调旋钮, 使一路输出电压为 $E_1 = 9\text{ V}$, 另一路输出电压为 $E_2 = -6\text{ V}$ (用万用表的直流电压挡测定), 然后关闭稳压电源, 待用。

(2) 按图 1.6 所示实验电路接线。

(3) 按以下三种情况进行实验:

① E_1 单独作用时, 分别测出各电阻上的电压 U'_1 、 U'_2 、 U'_3 之值, 填入表 1.6 中。

② E_2 单独作用时, 分别测出各电阻上的电压 U''_1 、 U''_2 、 U''_3 之值, 填入表 1.7 中。

③ E_1 、 E_2 共同作用时, 分别测出各电阻上的电压 U_1 、 U_2 、 U_3 之值, 填入表 1.8 中。

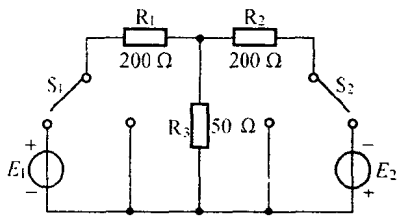


图 1.6

表 1.6

项 目	测 量 值			计 算 值		
	电压/V			电压/V		
	U'_1	U'_2	U'_3	U'_1	U'_2	U'_3
E_1 单独作用						

表 1.7

项 目	测 量 值			计 算 值		
	电压/V			电压/V		
	U''_1	U''_2	U''_3	U''_1	U''_2	U''_3
E_2 单独作用						

表 1.8

项 目	测 量 值			计 算 值		
	电压/V			电压/V		
	U_1	U_2	U_3	U_1	U_2	U_3
E_1 、 E_2 共同作用						

(4) 注意事项:

- ① 进行上述三项实验时, 注意各电压分量 U'_1 、 U'_2 、 U'_3 和 U''_1 、 U''_2 、 U''_3 之值的正负。
- ② 注意万用表直流电压挡量程的选择。

2. 戴维南定理

(1) 将双路稳压电源的电压粗调旋钮置于适当挡次, 调节细调旋钮, 使一路输出电压 $E_1 = 9\text{ V}$, 另一路输出电压 $E_2 = 5\text{ V}$ (用万用表的直流电压挡测定), 然后关闭稳压电源, 待用。

(2) 按图 1.7 所示实验电路接线。

(3) 用实验的方法测定有源二端网络的开路电压 U_o 及等效内阻 R_o 。

① 方法一：

开路电压 U_o 的测定：将图 1.7 中的 R_L 支路断开，得一有源二端网络，用万用表的直流电压挡测得的电压 U_{ab} ，即为开路电压 U_o 。

等效内阻 R_o 的测定：若有源二端网络各电源是理想电压源，可将电源取下，而后用短路线代替电源。这样，二端网络即变为无源，再用万用表的电阻挡测定该网络 a、b 两端间的电阻 R_{ab} ，即为等效内阻 R_o 。

② 方法二：

通过测量有源二端网络的外特性曲线 $U = f(I)$ ，找到 U_o 及 R_o 值。其步骤如下：

(a) 在图 1.7 实验电路中，调节负载 R_L 的电位器 (R_4)，用万用表的直流电压挡和直流毫安表读取三四组电压 U 和电流 I 的数据，填入表 1.9 中。

表 1.9

测 量 值						外特性求出值			计 算 值		
U/V			I/mA								
U ₁	U ₂	U ₃	I ₁	I ₂	I ₃	U _o /V	I _s /mA	R _o /Ω	U _o /V	I _s /mA	R _o /Ω

(b) 按一定的比例尺，在坐标纸上作出有源二端网络的外特性曲线 $U = f(I)$ ，如图 1.8 所示，它与两坐标轴的交点为 U_o 和 I_s 。其中 U_o 为有源二端网络的开路电压； I_s 为有源二端网络的短路电流。于是，得到有源二端网络的等效内阻， $R_o = \frac{U_o}{I_s}$ 。

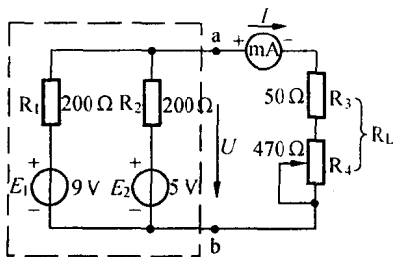


图 1.7

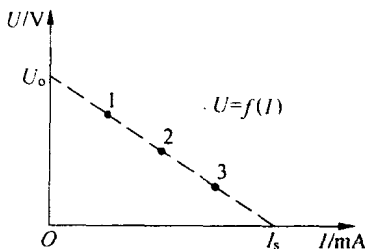


图 1.8

(4) 测定戴维南等效电源的外特性曲线。

① 由表 1.9 求出有源二端网络的 U_o 及 R_o 值。

② 将双路稳压电源任何一路的输出电压调至 U_o 值，关闭电源，待用。

③ 按图 1.9 (a) 所示电路接线，用万用表的电阻挡测 a、a' 端电阻值，调节电位器 R_6 ，使 $R_5 + R_6 = R_o$ (万用表用毕，旋至高压挡)。

④ 按图 1.9 (b) 接线。由 $E = U_o$ 与 R_o 组成一个新的电压源，它是图 1.7 电路中有源二端网络的戴维南等效电源。

⑤ 调节负载 R_L 的电位器 (R_4)，测出三四组电压 U 及电流 I 的数据，填入表 1.10 中。

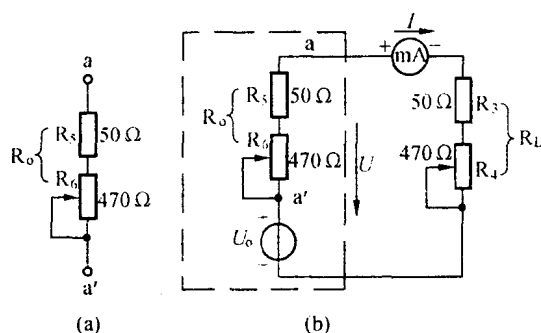


图 1.9

表 1.10

测 量 值						由外特性求出值		
U/V			I/mA					
U_1	U_2	U_3	I_1	I_2	I_3	U_o/V	I_o/mA	R_o/Ω

⑥ 由实验数据按一定比例尺作出戴维南等效电源的外特性曲线, 求出 U_o 、 I_o 和 R_o , 填入表 1.10 中。

六、实验报告要求

(1) 将按图 1.6 实验电路所测的数据与理论计算值进行比较, 分析误差原因, 验证叠加原理的正确性。

(2) 按图 1.7 电路所给的参数, 计算出 U_o 、 R_o 值, 与实验测出的 U_o 、 R_o 值进行比较, 分析误差原因。

(3) 将有源二端网络的外特性曲线与等效电源的外特性曲线进行比较, 以验证戴维南定理的正确性。

实验二 正弦交流电路

RLC 串联交流电路及串、并联谐振

一、实验目的

- (1) 测定 RLC 串联交流电路各元件的参数。
- (2) 观察 RLC 串联交流电路中电压与电流的波形及相位关系,并测定相位差。
- (3) 观察串联及并联谐振的特征。
- (4) 测定串联及并联谐振的谐振曲线。
- (5) 学习晶体管毫伏表、信号发生器和示波器的使用。

二、预习要求

- (1) 复习 RLC 串并联谐振的基本概念。
- (2) 阅读并熟悉实验内容和步骤。
- (3) 参看本书的有关示波器、晶体管毫伏表、信号发生器的内容。

三、实验仪器与设备

信号发生器	1 台
双踪示波器	1 台
晶体管毫伏表	1 块
电路实验板	1 块
电感线圈	1 个
数字万用表	1 块

四、实验简述

含有电感和电容元件的电路,在一定条件下,可以呈现电阻性,即整个电路的总电压与总电流同相位,这种现象称为谐振。由于电路结构不同,谐振可分为串联谐振和并联谐振。

1. 串联谐振

RLC 串联电路产生的谐振叫串联谐振,条件是 $X_L = X_C$,即 $2\pi fL = 1/2\pi fC$,这说明电路是否产生谐振决定于电路的参数和电源的频率。本实验在保持电路参数不变的情况下,改变电源频率,研究串联谐振。电路如图 2.1 所示。

保持电路参数 R 、 L 、 C 不变,电路的 X_L 、 X_C 、 $|Z|$ 和 I 等各量随频率变化的关系曲线,称为频率特性曲线,如图 2.2(a)、(b)所示。图 2.2(b)所示的电流 I 随频率变化的关系曲线,通常又称为

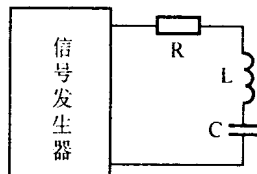


图 2.1

电流谐振曲线。由理论分析可知,串联谐振的谐振频率为

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

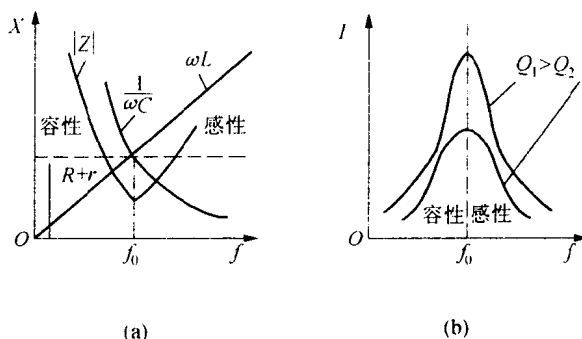


图 2.2

由图 2.2(a)可以看出,以谐振频率 f_0 为界,当电源频率 f 低于 f_0 时,电路呈容性;当电源频率 f 高于 f_0 时,电路呈感性。

由图 2.2(b)电流谐振曲线可以看出,品质因数 Q 值越高,曲线越陡,选择性越好; Q 值越低,谐振曲线越平坦,选择性越差。所以,电路选择性的优劣取决于电路的品质因数 Q 。 Q 通常以谐振时 U_L 或 U_C 与 U 之比值来表示,即

$$Q = \frac{U_L}{U} = \frac{U_C}{U} = \frac{1}{\omega_0 RC} = \frac{\omega_0 L}{R}$$

2. 电路参数 R 、 L 、 C 、 r_L 、 r_C 的测定

理想电感元件和理想电容元件是不消耗有功功率的,而实际的电感线圈和电容器却并非如此。本实验所用的电感线圈不仅存在感抗,它还含有线圈导线电阻(用 r_L)表示。因此线圈的端电压可以表示为

$$\dot{U}_L = \dot{U}_{Ll} + \dot{U}_{Lr}$$

实际的电容器都存在介质损耗,消耗一定的有功功率。用 r_C 表示电容器的等效电阻(质量好的电容器,功率损耗极小, r_C 可以忽略不计),电容器的端电压可以表示为

$$\dot{U}_C = \dot{U}_{Cc} + \dot{U}_{Cr}$$

用万用表测量出串联电阻 R 及电感线圈的电阻 r_L 的数值。用晶体管毫伏表测出总电压及电阻、电感线圈、电容器的端电压 U 、 U_R 、 U_L 、 U_C ,由此可求得 L 、 C 、 r_C 。

因为

$$I_0 = U_R/R$$

而

$$R + (r_L + r_C) = U/I_0$$

所以

$$r_C = U/I_0 - R - r_L$$

因为

$$X_C = \sqrt{(U_C/I_0)^2 - r_C^2}$$

$$X_L = \sqrt{(U_L/I_0)^2 - r_L^2}$$

所以

$$C = 1/\omega_0 X_C \quad L = X_L/\omega_0$$