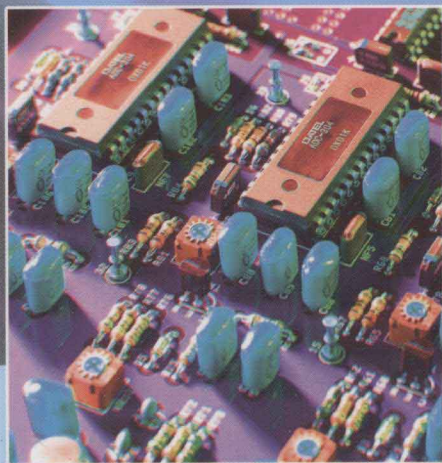


● 高等学校教材

电工电子创新实验

国家级实验教学示范中心联席会电子学科组 编
胡仁杰 主编 韩力 副主编



 高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

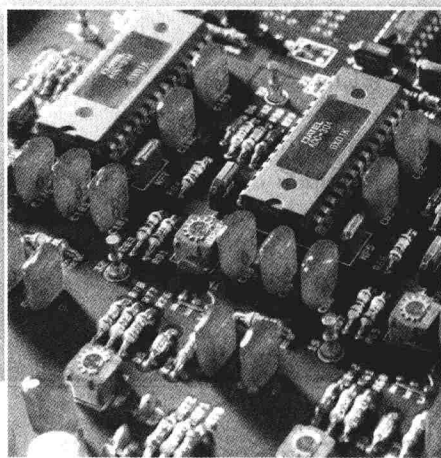
● 高等学校教材

电工电子创新实验

Diangong Dianzi Chuangxin Shiyān

国家级实验教学示范中心联席会电子学科组 编

胡仁杰 主编 韩力 副主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

国家级实验教学示范中心联席会电子学科组从全国 42 个电子、电气信息类国家级实验教学示范中心正在建设与实施的研究与创新性实验项目中,征集并遴选出相对易于实施推广的 48 个项目,先行编辑出版。

根据实验内容的相关性,将这些项目分成六个部分:第一部分主要是与电路基础相关的 6 个实验;第二部分是与模拟电子电路相关的 8 个实验;第三部分是数字逻辑电路相关的 9 个实验;第四部分是 2 个通信电路实验;第五部分是 10 个数模混合电路综合设计的实验;第六部分是融合了数字逻辑电路、模拟电子电路、处理器与 PLD 技术在内的 13 个电子系统综合设计项目。

应该指出的是,这些实验项目并没有刻意包罗电工电子基础课程的所有知识点,但大多都涉及电工电子实验的基本方法与技能,并从引导学生综合运用知识与自主学习研究的目的出发,以实验项目为载体,培养学生运用所学知识解决实际问题的基本能力,或根据项目的需求学习补充知识与相关技术,并通过教学要求引导学生学习、掌握科学研究与工程实践的基本方法。本书可以作为从事电工电子基础实验教学的教师的参考书,也可以作为学生的参考读物。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子创新实验/胡仁杰主编;国家级实验教学示范中心联席会电子学科组编. —北京:高等教育出版社,2010. 12

ISBN 978 - 7 - 04 - 030907 - 2

I. ①电… II. ①胡… ②国… III. ①电工技术 - 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(2010)第215557号

策划编辑	金春英	责任编辑	曲文利	封面设计	于文燕
责任绘图	尹莉	版式设计	余杨	责任校对	美国萍
责任印制	张泽业				

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京机工印刷厂

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 16.25
字 数 390 000

购书热线 010 - 58581118
咨询电话 400 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2010 年 12 月第 1 版
印 次 2010 年 12 月第 1 次印刷
定 价 24.10 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 30907 - 00

前 言

2005 年至 2009 年,教育部批准了 501 个不同学科的国家级实验教学示范中心及建设单位,并成立了高等学校国家级实验教学示范中心联席会,作为协调与宏观管理的组织机构。其中,电子、电气信息专业类国家级实验教学示范中心有 42 个,构成了联席会电子学科组。近年来,教育部和各高校都在重点关注实验教学思想、方法和内容的研究与改革。电子学科组各示范中心成员单位遵照教育部的要求,积极开展创新性实验项目的研究探索、建设开发与实施推广,努力开展创新型专业人才培养模式的改革,很多高水平教师都在积极研究和探索相关教学改革工作。编审组所选实验项目的共同特征是:在教学思想上,以实验项目为载体,以任务和要求为驱动,在实验过程中引导学生自主思考、拓展知识、发现问题、探寻方法,进而通过系统规划、分析论证、规划管理、设计实现和总结分析等过程,培养科学研究基本素质和工程实践综合能力;在设计实验项目中,尽可能选择实现方法具有多样性,或实验结果随外部条件变化具有不确定性的内容,来展示科学问题的研究和探索性;同时,内容的选择也侧重于学生在学习、生活和工程中可能遇到的问题,促进学习与实践的结合。

国家级实验教学示范中心联席会电子学科组组织征集研究创新性实验项目并编辑出版,试图将各学校的成功经验和成果介绍给同行,从不同侧面为本专业领域基础性实验教学内容改革和实验装置改造提供一些参考和借鉴。如能达到此目的和效果,将不胜欣慰。

根据对实验项目所必须具备的研究探索性与创新性的要求,兼顾实验项目“基于基础课程的基础理论和知识”和“适用于大多数学科专业,运行成本低和易于推广”的原则,编审组在从各示范中心征集到的 82 个创新性实验项目中先行遴选出 48 个项目编入本书。今后将在更广的范围内继续征集并创造条件陆续分类出版其他创新性实验项目。对于不同示范中心所提供的相似的项目,在实验信息表中做了相应说明。

本书是国家级实验教学示范中心联席会电子学科组 42 个实验教学示范中心成员单位共同智慧的结晶。在此向所有提供实验项目蓝本的实验中心和老师们致谢,感谢他们无私地将精心设计的创新性实验项目提供给大家,感谢他们对这项富有探索性和建设性工作的积极支持。编审组在尽量尊重原作者内容和风格的前提下,对书稿进行了分类、编辑和统稿。本书第一部分由浙江大学姚婴英教授编辑整理,第二部分由青岛大学徐淑华教授编辑整理,第三部分由北京交通大学侯建军教授编辑整理,第四部分由北京理工大学韩力教授编辑整理,第五部分由哈尔滨工程大学学习鸣教授编辑整理,第六部分由东南大学胡仁杰教授编辑整理。全书由胡仁杰教授统稿。书稿承华中科技大学严国萍教授和天津大学刘开华教授精心审阅,并提出许多宝贵意见,编者在此致以衷心的感谢。感谢高等教育出版社对本书出版给予的大力支持。

限于主客观原因,书中难免存在不妥之处,恳请读者及时批评斧正。

编审组

2010 - 10 - 3

目 录

第一部分 电路实验

实验 1.1 电子元器件参数测量	1	实验 1.4 黑箱式交流无源网络 结构与参数回归实验	14
实验 1.2 电工测量基本技能进 阶式训练	5	实验 1.5 连续时间信号的取样 实验	20
实验 1.3 双端口网络特性与参 数的判别	9	实验 1.6 信号的分解与合成	23

第二部分 模拟电路实验

实验 2.1 三极管 β 值测量仪的 设计	32	实验 2.5 增益自动切换电压放 大电路的设计	51
实验 2.2 高速交流耦合放大器的 研究	39	实验 2.6 数显可调式直流稳压 电源的设计	56
实验 2.3 音乐彩灯控制电路的 设计	44	实验 2.7 恒流式充电器电路的 设计	60
实验 2.4 电压超限指示和报警 电路的设计	47	实验 2.8 模拟混沌信号发生器 的设计与实现	66

第三部分 数字电路实验

实验 3.1 车轮测距测速实验	72	波器的设计与实现	93
实验 3.2 变步长可逆计数器	78	实验 3.7 基于 FPGA 的 FIR 滤波器 设计与实现	98
实验 3.3 防盗报警控制电路	81	实验 3.8 智能饮水机控制器设计	104
实验 3.4 基于可编程器件数字 钟的设计与调试	84	实验 3.9 基于 FPGA 的数字混沌 PN 序列的设计与实现	109
实验 3.5 机体反应测试仪的设计	89		
实验 3.6 带宽可调二阶低通滤			

第四部分 通信电路实验

实验 4.1 基于 RF 模块的短距离无 线数据传输系统	115	实验 4.2 混沌与保密通信电路 实验	121
---------------------------------------	-----	------------------------------	-----

第五部分 电子电路综合设计

实验 5.1 数字温度计的设计与实现 ...	128	实验 5.2 数字温度计的设计	134
------------------------	-----	-----------------------	-----

实验 5.3 数控音频功率放大器的设计	137	实验 5.8 红外遥控收发系统的设计与实现	164
实验 5.4 人体生理参数测量系统的设计与实现	141	实验 5.9 简易逻辑分析仪的设计与实现	167
实验 5.5 简易电容测量仪的实现	145	实验 5.10 简易电子琴的设计和制作	173
实验 5.6 电磁式继电器特性参数的测试	149		
实验 5.7 压力测量和虚拟电子称			

第六部分 电子系统设计

实验 6.1 太阳能充/放电控制器	177	实验 6.7 基于 LabVIEW 的数字万用表的设计	213
实验 6.2 基于 PLC 的停车场智能引导系统设计与实现	181	实验 6.8 有源消声实验	216
实验 6.3 基于 DSP 的语音变声系统的研究与实现	188	实验 6.9 简易数字存储示波器设计 ...	220
实验 6.4 基于 SOPC 的高精度数字频率计的设计与实现	193	实验 6.10 基于 DDS 技术的信号发生器设计	228
实验 6.5 太阳光源位置自动追踪系统	200	实验 6.11 非接触式温度测量系统设计	231
实验 6.6 混凝土材料强度超声检测仪	205	实验 6.12 城市交通运行控制系统	237
		实验 6.13 遥控电子记分牌的设计与实现	244

第一部分 电路实验

实验 1.1 电子元器件参数测量

【实验内容】

1. 设计电路分别测量电阻($100\ \Omega$ 、 $1\ \text{M}\Omega$)、电容($22\ \text{pF}$ 、 $470\ \mu\text{F}$ 电解电容)、电感($1\ \text{mH}$)的参数。
2. 标定电阻阻值,分析电压表、电流表内阻的大致范围。
3. 设计电路测量稳压二极管的 $U-I$ 特性。
4. 研究二极管正向导通电压随温度变化的规律。
5. 确定实际电感器与电容器的物理模型,设计实验电路,并测试相关参数(电感器的内阻、电解电容的漏电电阻)。

【实验目的】

1. 学习电路参数测量的基本方法,并学会针对不同对象的性质、参数范围而选择测量方法、实验方案;根据被测信号的强弱、精度要求选择测量仪器设备。
2. 在实验中分析数据、波形等现象,发现、了解实际元件与理想元件的差异,建立元件的电流、功耗、耐压、极性、漏电等概念。
3. 通过实验深入了解实验仪器的应用特性。

【实验要求】

1. 设计电路分别测量电阻($100\ \Omega$ 、 $1\ \text{M}\Omega$):
 - (1) 设计并画出测量电路。
 - (2) 设计数据记录表格。
 - (3) 每个元件用不同方法测量 3~5 组数据。
 - (4) 对比测量误差,分析误差原因。
2. 测量电容($22\ \text{pF}$ 、 $470\ \mu\text{F}$ 电解电容)、电感($1\ \text{mH}$)的参数:
 - (1) 选择信号源作为激励源,选择信号频率,计算相应感抗、容抗。
 - (2) 选择测量方法,画出测量电路。
 - (3) 在不同频率段分别测量并记录实验数据,计算电容、电感的参数。
3. 标定电阻阻值,分析电压表、电流表内阻的大致范围:
 - (1) 用电桥法借助标准电阻箱标定 $100\ \Omega$ 电阻的阻值。
 - (2) 利用前面测量电阻的实验数据,估算电压表、电流表的内阻。

4. 测量稳压二极管的 $U-I$ 特性:

- (1) 设计测量方法, 给出实验电路。
- (2) 选择实验仪器。
- (3) 分别在正向和反向电压下测量记录流经不同电流时的结电压。
- (4) 描绘 $U-I$ 曲线。

5. 研究二极管正向导通电压随温度变化的规律:

- (1) 构思建立温度变化的环境。
- (2) 测量并记录不同温度下的 PN 结电压。
- (3) 描绘 $U-T$ 曲线。
- (4) 分析 PN 结电压随温度的变化规律。

6. 测量实际电感器, 建立电感器的物理模型:

- (1) 设计电路, 选择几个频率点, 观察电感上电压、电流的相位关系。
- (2) 根据实验数据建立电感器的物理模型, 并计算各项参数。

7. 测量实际电容器, 建立电容器的物理模型(为了便于观察, 可选择容量较大的电解电容):

- (1) 设计实验测量电路, 选择测量仪器仪表。
- (2) 记录测量数据。
- (3) 根据实验数据建立电容器的物理模型, 并计算各项参数。

【教学指导】

1. 实验前介绍或要求学生通过自学了解常用电子元器件的参数、规格、精度、形式、用途等主要特点。

2. 介绍电流表、电压表的物理模型或等效电路, 常用测量仪表的基本工作原理, 使学生了解仪器仪表分辨率、精度、量程、频率范围等知识。

3. 引导学生分别采用“表前法”和“表后法”分别对大、小阻值电阻进行测量, 通过分析误差原因, 加深对电子测量方法和仪器仪表都有一定适用场合的理解。

4. 通过测量电容和电感, 学习选择实验仪器、激励频率, 理解实验条件对实验结果的影响程度。

5. 在测量电感器的内阻、电解电容的漏电电阻时, 引导学生使用示波器观察电容和电感上电压与电流波形的相位差, 分析电容和电感的实际物理模型; 通过改变激励电源的频率, 使观察效果更为明显。

6. 在确定元件模型的结构后, 设计实验方案、选择实验仪器, 进一步测量元件各部分参数。

【实验方案】

分别采用表前法和表后法测量大、小阻值电阻, 分析体验不同测量方法在不同测量对象时的测量误差。

在分析电容和电感的物理模型时, 建议电容选择耐压 25 V、470 μF 以上容量的电解电容; 电感选择线绕电感线圈或小型变压器一次线圈(220 V 侧)。

以函数信号发生器为激励源施加交流激励, 观察元件上电流、电压波形与相位关系; 在给电

解电容施加激励时,应叠加直流分量(电解电容在反向电压下的特性有变异)。

测量电感与电容时,通过改变激励频率,可使现象较为明显;在测量阻性参数时,施加直流激励,以排除容性和感性参数的影响。

电解电容的漏电流一般为几十微安,应选用直流微安表进行测量。但是在接通电源和关闭电源的瞬间,充电和放电电流将很大,会损坏电流表,必须提醒学生采取保护措施。可采用图 1.1.1 所示电路。

在进行稳压二极管的特性测量时,应在稳压二极管回路中串联适当阻值的限流电阻;测试中通过调节电源电压以改变稳压二极管中通过的电流,测量记录 PN 结电压与电流;实验中应注意电流表、电压表的量程与精度。

观察二极管结电压随温度变化时,可以用电吹风对二极管加热,并用玻璃温度计测量温度。但这种方式下温度不稳定。为了获得稳定的温度环境,可以由学生自行构思建立温度可控、温度较为稳定的环境,如在容器中注入热水,然后通过加入凉水逐步降温。

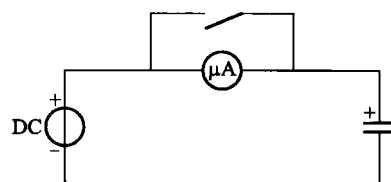


图 1.1.1 电容漏电电流测量

【报告要求】

根据【实验要求】,针对每一项实验内容,分析实验原理、构思实验方案、选择实验设备、设计实验步骤、记录实验过程、总结实验结果。

【实验考核】

1. 测量方法与实验电路是否正确。
2. 选择仪器设备是否合理。
3. 检查数据记录格式是否合理,参数是否正确,结果是否正确。

【特色创新】

1. 通过实际测量,加深对测量方法应用场合和测量仪器精度量程的认识。
2. 充分认识实际器件与理想器件间的差别。
3. 学习根据实验需求设计实验方案。

实验信息见表 1.1.1。

表 1.1.1 实验信息表

所在学校	东南大学		所在单位	电工电子实验中心
作者姓名	胡仁杰	电子邮箱	hurenjie@seu.edu.cn	
联系电话	025-52090857	通信地址 (含邮编)	江苏 南京 东南大学江宁校区电工电子实验中心(211189)	
实验形式	☒ 课内 ☐ 课外 ☐ 内外结合		课内、外学时	<u>3</u> + <u>3</u>
实验类别	☒ 电路 ☐ 模拟电路 ☐ 数字电路 ☐ 通信电路 ☐ 电子电路综合设计 ☐ 电子系统设计			

续表		
知识背景	为完成本实验,学生需先修的课程或应具备的相关知识和技能:大学物理电学知识,电路分析	
支撑 条件	仪器设备	稳压电源,函数信号发生器,示波器,数字电压表,交流毫伏表,交流微安表
	软件工具	
	实验平台	面包板
	主要器件	470 μ F 电解电容,1 mH 电感
	经费	每个实验每次消耗经费:2 ~ 3 元

实验 1.2 电工测量基本技能进阶式训练

【实验内容】

以直流电路的戴维宁等效和诺顿等效验证为主线,进行电工测量基本技能进阶式训练。

1. 基本实验内容:

- (1) 测量每个电阻的阻值,测量电压源、电流源的大小。
- (2) 测试有源一端口网络的戴维宁等效电路参数及其端口的输出特性。
- (3) 将非线性元件引入有源一端口网络,再测试其端口的输出特性。
- (4) 找出直流电源异动原因及其对策。

2. 提高选做内容:

- (1) 测试非线性元件的伏安特性;说明非线性元件的工作状态。
- (2) 拓展实验内容,充分利用已有测量数据,适当增加若干测量数据,顺势验证叠加定理、特勒根定理、替代定理、互易定理。

【项目背景】

本实验项目以直流电路的戴维宁等效和诺顿等效为切入点,在整个实验中精心设置实验参数。在实验过程中,通过实验现象凸显问题(电源异动的问题、非线性有源一端口貌似满足戴维宁定理的问题)。

【实验目的】

1. 通过精心设计测量电路、实验要求和步骤,取代了电阻、电容、电压和电流的测量,叠加定理、戴维宁定理和诺顿定理等常规实验。在实验过程中,不断提出问题、解决问题,层层递进,形成一个进阶式的组合实验,将相关知识点融入实验进程中。

2. 通过实验让学生了解不同仪器设备的基本用途和测量精度、了解电源的允许工作状态(电流、电压范围)以及非线性元件工作状态。

3. 在验证性实验中设置了实验结果与理论原理相违背的表象,提醒同学以事实为准绳,培养严肃认真的实验态度和严谨科学的工作作风。

【实验要求】

1. 学习实验原理:学习戴维宁定理、诺顿定理、叠加定理、特勒根定理、替代定理、互易定理的内容及其使用条件;学习元件伏安特性的测量。

2. 测量方案设计:拟定测量方案步骤及数据记录表格;拟定拓展实验内容的具体测量思路及其步骤。

3. 实验预习:利用 Multisim 软件进行虚拟实验,相应结果写进实验报告。

4. 实验过程:特别关注电源异动的理论分析值和实验测量值,关注非线性元件的工作状态,

采取恰当措施,消除电源异动对实验的影响。

5. 数据测量:按照拟定的步骤测量完整的实验数据(异动消除前后的数据)。适当增加测量数据,验证叠加定理、特勒根定理、替代定理和互易定理。

6. 数据处理分析:根据测量数据,画出有源端口的输出特性。对测量数据进行误差分析,在误差允许范围内,说明拓展内容得到验证。

7. 实验总结:对实验结果进行分析解释,得出戴维宁定理适用条件的实验结论,得出拓展实验的相关结论。

【教学指导】

将实验的教学活动分成原理解析(教师讲课)和实际测试(学生实验)两个阶段进行。每个阶段教师提出任务和要求;由学生在实验前自行设计实验方案,对关键测量电路实施方案进行理论设计与仿真分析,然后进行实验测量,再对整个实验过程写出总结报告。

1. 教师讲课引导:

(1) 解释电路各个元件的理论标称值与实际值的差别。

(2) 尤其关注直流电源的工作状态。在外界负载变化过程中,电源将出现异动,提示异动的的原因,引导同学思考对策,采用至少两种措施解决问题。

(3) 当将非线性元件引入电路后,应该关注非线性元件的工作状态。

(4) 对测量结果的分析应该全面而深入,如测量方法的适用范围、元件参数误差、仪器测量误差。

2. 实验前的仿真研究:

(1) 根据实验原理,用 Multisim 软件进行仿真分析,结合实际设备的允许条件,找出直流电源异动的临界点,以便指导实际实验操作。

(2) 在外界负载变化过程中,跟踪非线性元件的工作状态,用 Multisim 软件进行仿真,测量非线性元件的伏安特性。

3. 实验过程:

学生一人一组,测量相关数据。

4. 数据处理:

对测量数据进行分析 and 处理,推算一端口网络的戴维宁等效电路参数,画出完整(电源异动以及消除异动两种情况下)的输出特性曲线,分析实验结果。

当出现实验结果与理论原理产生差异或矛盾时,引导同学务必充分尊重实验数据,对实验数据务必进行全面深入的分析,去伪存真,最后得出科学的实验结论。

【实验方案】

1. 实验基本原理:

任何一个线性网络,如果只研究其中一条支路的电压和电流,则可将电路的其余部分看成一个有源一端口网络。这时可用一个等效电压源来代替其对外部电路的作用,该电压源的电动势等于这个有源一端口网络的开路电压,其等效内阻等于这个有源一端口网络中各独立电源均为零时无源一端口网络的入端电阻,这就是戴维宁定理。如果这个有源一端口网络用等效电流源

来代替,其等效电流就等于这个有源一端口网络的短路电流,其等效电导等于这个有源一端口网络各独立电源均为零时的无源一端口网络的入端电导,这就是诺顿定理。

2. 参考的实验方案:

针对一个特定实验电路,通过将负载电阻 R 从 0 到 ∞ 变化,完整测试有源一端口网络的电压、电流,验证直流电路的戴维宁等效和诺顿等效;将非线性元件接入有源一端口网络后,再次进行端口特性的测量,对测量数据进行思考和分析,得出戴维宁定理使用条件的结论。实验原理图如图 1.2.1 所示。

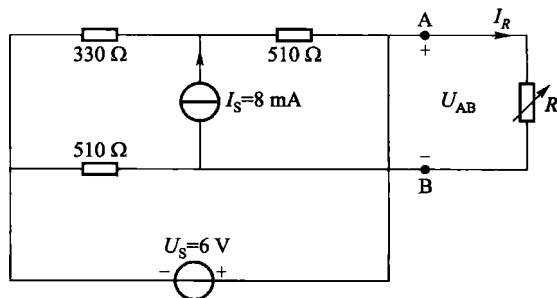


图 1.2.1 实验原理图

针对上述实验电路,按照以下 11 个子项目逐项进行测量:

- (1) 测量每个电阻的阻值,测量电压源、电流源的大小。
- (2) 改变负载电阻 R , 测量 AB 端口的电流、电压;在测量过程中,若电阻较小时,电流源发生了异动,可在电流源所在支路串联适当阻值的电阻,使电流源回归正常状态,继续测量。
- (3) 将有源一端口网络进行戴维宁等效后,测量 AB 端口的电流、电压。
- (4) 将有源一端口网络进行诺顿等效后,测量 AB 端口的电流、电压。
- (5) 把 $330\ \Omega$ 电阻变为普通二极管,测量 AB 端口的电流、电压;在测量过程中,若当电阻较大时,电压源发生了异动,可在电压源两端并联适当阻值的电阻,使电压源回归正常状态,继续测量。
- (6) 把 $330\ \Omega$ 电阻变为稳压二极管,测量 AB 端口的电流电压;在测量过程中,若电阻较小时,电流源发生了异动,可在电流源所在支路串联适当阻值的电阻,使电流源回归正常状态,继续测量。
- (7) 将普通二极管与左下方 $510\ \Omega$ 电阻并联,测量 AB 端口的电流、电压。
- (8) 在子项目(2)中,当电阻为零即 AB 端口短接时,采用叠加定理,测量 AB 支路的短路电流,这样可以避免电流源的异动状态。
- (9) 利用叠加定理的两个电源单独作用时的电路测量数据,验证特勒根定理。
- (10) 在子项目(6)的测量过程中,稳压二极管可以用一个电压源替代,验证替代定理。
- (11) 拓展实验内容,验证叠加定理、特勒根定理、替代定理和互易定理。

【报告要求】

实验报告中要求包含以下信息:

1. 推算原电路的戴维宁等效参数。

- 2. 在核查每一个元器件使用条件的基础上,推算外接电阻 R 对电压源、电流源工作状态的影响。
- 3. 记录实验测试的实际数据并绘制输出特性曲线。
- 4. 采取措施消除电源的异动现象。
- 5. 记录电源异动回归后的测试数据并绘制输出特性曲线。
- 6. 记录引入非线性元件后的测试数据并绘制输出特性曲线。
- 7. 测试非线性元件的伏安特性并解释报告要求 6 的测试结果。

【实验考核】

- 1. 当实验人数较多时,采用提问、现场观测和批阅实验报告的形式考核实验效果。
- 2. 当实验人数较少时,采用提问、分组答辩的形式考核实验效果。

【特色创新】

在实验过程中,刻意设置问题,以问题激发学生积极思考,查找原因,采取措施,在不断遇到问题和解决问题的过程中,增强实验的趣味性。

实验内容和过程连贯递进,与以往针对某一原理的单一实验项目相比,具有形式新颖、内容生动、主线关联、层层递进的鲜明特色。

实验信息见表 1.2.1。

表 1.2.1 实验信息表

所在学校	浙江大学		所在单位	电工电子实验教学中心	
作者姓名	孙盾,姚纁英		电子邮箱	sundun01@163.com	
联系电话	13515711037		通信地址 (含邮编)	浙江 杭州 浙江大学电气工程学院(310027)	
实验形式	☒ 课内 ☐ 课外 ☐ 内外结合			课内、外学时	<u>6</u> + <u>4</u>
实验类别	☒ 电路 ☐ 模拟电路 ☐ 数字电路 ☐ 通信电路 ☐ 电子电路综合设计 ☐ 电子系统设计				
知识背景	为完成本实验,学生需先修的课程或应具备的相关知识和技能:大学物理电学知识,电路分析				
支撑 条件	仪器设备	万用表、直流电源和仪表、示波器、可调电阻			
	软件工具	Multisim 软件			
	实验平台	电工电子综合实验系统装置			
	主要器件	DG07 电工实验板			
	其 他				
	经 费	全部利用实验室现有设备,不需要额外的实验经费			

实验 1.3 双端口网络特性与参数的判别

【实验内容】

1. 设计实验电路与方案,观察、研究如图 1.3.1(a)所示 L 形网络中,当 Z_1 和 Z_2 分别为电阻、电容时的时域响应。

2. 分别采用信号源和示波器、扫频仪观察,或应用 Multisim 软件工具仿真,研究如图 1.3.1(a)所示 L 形网络中,当 Z_1 和 Z_2 分别为电阻、电容时的幅频和相频特性,分析分别采用这几种实验方法时的效率和准确性;若有差异,则分析原因所在。

3. 针对图 1.3.1 所示已知内部结构的网络,试通过测量的方法判断网络中各元件的性质、计算元件的参数;在尽量提供多种方案并加以分析、论证的基础上,选择最优方法实施。

上述要求中, Z_1 、 Z_2 和 Z_3 分别可能是电阻、电容或电感等单一元件。

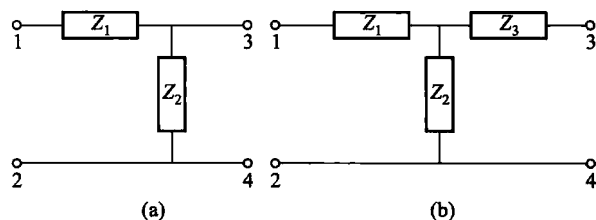


图 1.3.1 L 形和 T 形网络

【项目背景】

在工程实践中往往需要通过实验测量的方法获知电路的特性,以便了解其结构与参数,或以一个等效电路去替换。

【实验目的】

1. 通过实验的前两项任务,引导学生去了解分析、测试电子电路通常所采用的实验方法与分析工具,了解不同方法的应用场合与适用范围。

2. 实验的第三项任务,试图引导学生从分析任务要求着手,应用已经学习过的知识,寻找解决问题的方法;同时也希望拓宽视野,体验解决问题方法的多样性。

【实验要求】

针对【实验内容】中的各项任务,可分别提出不同的要求。

1. 对于任务 1:

(1) 构思观察阶跃响应的方法。

- (2) 设计实验电路,选择元件参数。
- (3) 观察并记录信号波形。
- (4) 分析解释产生该信号波形的基本原理。

2. 对于任务 2:

- (1) 设计一阶低通和高通电路,选择 R 、 C 元件,分别进行实验。
- (2) 设计采用信号源与示波器观察频率特性的实验电路。
- (3) 根据电路参数估算幅频特性截止频率范围,选择需观察的信号频率。
- (4) 测量记录幅频特性、相频特性数据,在变化较大的区域应增加一些观测点。
- (5) 使用扫频仪测量频率特性时,选择扫频范围,记录特性曲线。
- (6) 在 Multisim 软件环境中构建与前面实验中相同(结构与参数)的电路,运用电路分析工具,生成幅频特性和相频特性曲线。

(7) 对比三种不同模式实验获得的结果,观察现象,分析原因,并设法验证分析。

3. 对于任务 3:

(1) 分析图 1.3.1 所示电路,给出解决问题的思路,提出实验方案。

(2) 指定实验计划,明确各步骤中施加激励的方式、激励类型和状态,电路的连接方式,需要测量的参数等。

(3) 根据实验信号的波形、参数,判定元件性质、计算元件参数。

(4) 分析思考其他可能的方法,并进行论证。

(5) 提高要求:对于图 1.3.2 所示 H 形网络,思考如何判定各元件的性质。

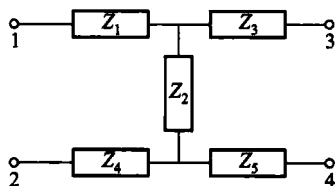


图 1.3.2 H 形网络

【教学指导】

1. 从理论上举例分析一阶网络的幅频特性、相频特性。

2. 介绍扫频仪的工作机理、应用特点。

3. 指导 Multisim 软件分析工具基本使用方法。

4. 引导性地举例分析如何利用电感、电容的频率特性,有选择地在某两个节点间施加直流或交流激励,根据电流是否为零、回路电流与电压间的相位差、相位差与频率的关系等判定元件的性质。

5. 示例:针对图 1.3.3 所示测试电路($Z_1 = C_1 = 1 \mu\text{F}$ 、 $Z_2 = L_1 = 1 \text{ mH}$ 、 $Z_3 = R_1 = 100 \Omega$)的实验方案。

(1) 首先在某两个节点间加直流电压,来判断元件的极性,若某一个元件是电容,则包含此元件的回路电流必为 0;为防止一个回路中的两个元件皆为电感,可以串接一个较小的限流电阻,且所加直流电压不宜太高,可逐渐增加。

① 在 IA1 - IC1 间加 1 V(DC) 时, $I = 0$, 可以判断 Z_1 、 Z_3 中至少有一个是电容。

② 在 IA1 - IB1 间加 1 V(DC) 时, $I = 0$; 可以判断 Z_1 、 Z_2

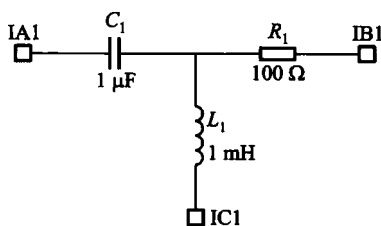


图 1.3.3 测试电路

中至少有一个是电容。

③ 在 IB1 - IC1 间加 1 V (DC) 时, $I = 10 \text{ mA}$; 可以判断 Z_2 、 Z_3 中至少有一个是电阻。

(2) 根据上述三点, 可以断定 Z_1 是电容。为了判断 Z_2 、 Z_3 的性质, 可以在 IB1 - IC1 间施加 1 V (AC)。如从 $f = 1 \text{ kHz}$ 开始, 若随着频率的增大:

① 电流保持不变, 则说明 Z_2 、 Z_3 都是电阻。

② 电流变小, 则说明 Z_2 、 Z_3 中有一个是电感; 因为前面施加直流电压时可以测出阻值, 此时电阻上电压已知, 可以得知电感上电压, 进而获知电感量。

(3) 为了进一步判断 Z_2 、 Z_3 中哪一个是电阻, 可以分别在 IA1 - IB1 和 IA1 - IC1 间施加交流电压, 用示波器观察回路电压和电流的相位, 如图 1.3.4 所示。

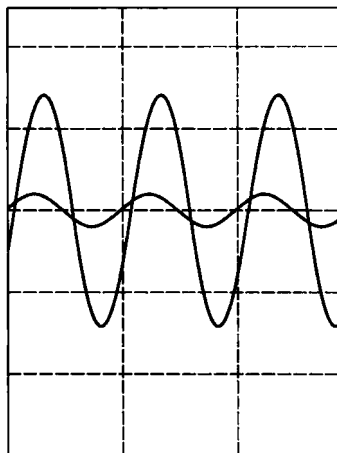


图 1.3.4 电流、电压相位

① 若电流与电压的相位角始终相差 90° , 且不随频率的改变而变化, 说明此回路是由电容和电感构成的。

② 若电流与电压的相位角随频率的增大而变小, 则说明此回路是由电容和电阻构成的 (频率增大时容抗变小)。

【实验方案】

1. 对于图 1.3.1 中两种电路结构, 可以采用不同方法分析。重要的是, 不拘泥于只是在 1 - 2 端口施加激励, 也可在 3 - 4 端口测量响应。

2. 针对图 1.3.1 中的 L 形网络可以有以下方法:

(1) 在 1 端测量电流 (或在 3 - 4 端间接电流表), 在 1 - 2 端施加交流激励时测量 1 - 3 端间电压响应, 就可以得知 Z_1 的性质与参数。

(2) 在 1 - 3 端施加交流激励, 测量 Z_1 上的电压、电流, 就可得知 Z_1 的性质与参数。

(3) 在 3 端串接电流表, 1 - 2 端开路, 在 3 - 4 端口施加交流激励, 就可以得知 Z_2 的性质与参数。

3. 针对图 1.3.1(b) 网络有多种测量方法, 下面是其中一些方法:

(1) 分别在 1 - 2 端间、1 - 3 端间和 3 - 4 端间施加同一交流激励, 根据欧姆定律, 建立联立方程, 计算 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 。这是最基本的方法, 但也是计算最复杂的方法。

(2) 电路采用如下连接方式: 3 - 4 端悬空时在 1 - 2 端间施加电压激励; 2 - 4 端悬空时在 1 - 3 端间施加电压激励; 1 - 2 端悬空时在 3 - 4 端间施加电压激励。每次测试中均只涉及两个串联元件, 根据电感在直流激励下的阻抗近似为零, 阻抗随交流激励信号的频率提高而变大, 电流相位超前于电压; 电容在直流激励下的阻抗为无穷大, 随交流激励信号的频率提高而变小, 电流相位滞后于电压的特点, 判断 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 的性质。

① 若阻抗与激励的频率无关, 则两元件基本上应为阻性。

② 若施加直流激励时阻抗无穷大, 则至少其中一个为容性。

③ 若施加直流激励时阻抗接近于零, 则可能两个均为感性。