

普通高等教育规划教材

电工电子技术 实验教程

主 编 孙玉杰
副主编 安兵菊 马献果



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育规划教材

电工电子技术实验教程

主 编 孙玉杰
副主编 安兵菊 马献果
参 编 蔡明伟
主 审 焦 阳



机械工业出版社

本书是与高校课程“电工学”配套的实验教材，涵盖了该课程的实验内容，并详细介绍了实验中常用电量的测量原理和常用电工电子实验仪器的使用方法。本书共分四章，第一章为电工电子实验的基础知识；第二章为电工技术实验；第三章为电子技术实验；第四章为常用电工电子实验仪器的使用。附录 A、B 介绍了 Y 系列三相异步电动机和常用交流接触器、熔断器、热继电器的主要技术数据；附录 C、D 介绍了常用半导体器件的识别及型号命名法和常用集成电路的型号命名法及引脚排列图。

本书兼顾了一定的深度和广度，可作为非电类专业本专科学生学习“电工学”的实验教材，也可供从事电工电子工程的技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

电工电子技术实验教程 / 孙玉杰主编. —北京: 机械工业出版社, 2009. 8

普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-111-27867-2

I. 电… II. 孙… 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. TM-33 TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 128469 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 王雅新 王保家 责任编辑: 王雅新 关晓飞

版式设计: 张世琴 责任校对: 陈延翔

封面设计: 鞠 杨 责任印制: 杨 曦

北京鑫海金澳胶印有限公司印刷

2009 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 8.75 印张 · 211 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-27867-2

定价: 15.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379727

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书是与高校课程“电工学”配套的实验教材,是根据国家教委电工学课程教学指导小组于2004年制定的“电工技术、电子技术”课程教学的基本要求,并结合当前的一些新技术及新实验设备编写的。“电工学”作为一门实践性较强的技术基础课,是高等院校机械、化工、纺织、环境工程等非电类专业的必修课。通过实验环节的学习,可帮助学生掌握“电工学”的基本理论、基本实验知识及实验技能,提高学生分析问题和解决问题的能力。

本书主要内容包括电工电子实验的基础知识、电工技术实验、电子技术实验及常用电工电子实验仪器的使用。电工技术与电子技术的实验各有14个,分为验证型实验、设计型实验和综合型实验三种类型。在内容选材和编排上,既考虑了实验教学与理论教学的相关性,又使其具有一定的独立性和实用性。有关专业可根据本专业的教学要求选择适合的实验内容。在常用电量测量基础部分介绍了基本电量的测试原理,可供学生学习相关内容时参考。常用电工电子实验仪器的使用部分配有仪器面板图及详细使用说明,学生完全可通过自学掌握这些实验仪器的使用方法。附录A、B中介绍了Y系列三相异步电动机和常用交流接触器、熔断器、热继电器的主要技术数据,附录C、D中介绍了常用半导体器件的识别及型号命名法和常用集成电路的型号命名法及引脚排列图,可作为手册查阅。

本书由河北科技大学信息科学与工程学院长期从事“电工学”教学的教师在总结多年实验教学经验的基础上编写的。参加本书编写的教师有孙玉杰、安兵菊、马献果和蔡明伟。孙玉杰编写了第一章、第二章的实验九~实验十四、第四章的第一节和附录A~B,安兵菊编写了第三章和附录C~D,马献果编写了第二章的实验一~实验八,蔡明伟编写了第四章的第二节。全书由孙玉杰统稿。

本书在编写过程中,得到了河北科技大学信息科学与工程学院有关领导和教师的支持和帮助,主审焦阳教授对全书的定稿提出了许多有建设性的修改意见,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有一些缺点、错误或不妥之处,恳请使用本书的教师和同学们批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 电工电子实验的基础知识	1
第一节 电工电子实验的基本要求	1
第二节 电工电子实验中常见故障的处理	2
第三节 常用电量测量基础	3
第二章 电工技术实验	11
实验一 电路元器件的伏安特性	11
实验二 电源外特性的测定及电源的等效变换	14
实验三 基尔霍夫定律和叠加定理的验证及电位的测量	17
实验四 戴维南定理的验证	20
实验五 单相交流电路及功率因数的提高	23
实验六 RLC 串联谐振	27
实验七 三相交流电路中电压和电流的测量	29
实验八 一阶 RC 电路的过渡过程	32
实验九 单相变压器的测试	36
实验十 三相异步电动机的使用	40
实验十一 异步电动机的单向运转控制	44
实验十二 异步电动机的正反转控制	46
实验十三 异步电动机的顺序控制设计	49
实验十四 PLC 的简单应用程序设计	51
第三章 电子技术实验	54
实验一 常用电子仪器的使用	54
实验二 单管共射放大电路	57
实验三 长尾式差动放大电路	60
实验四 集成运算放大器的线性应用	63
实验五 集成运算放大器的非线性应用	67
实验六 直流稳压电源	70
实验七 基本门电路逻辑功能的测试	72
实验八 组合逻辑电路的测试	76
实验九 组合逻辑电路的设计	78
实验十 触发器逻辑功能的测试	80

实验十一 时序逻辑电路	83
实验十二 计数、译码与显示电路	86
实验十三 集成同步计数器的应用电路设计	89
实验十四 555 定时器的应用	91
第四章 常用实验仪器的使用	94
第一节 常用电工实验仪器的使用	94
第二节 常用电子实验仪器的使用	103
附录	117
附录 A Y 系列三相异步电动机的主要技术数据	117
附录 B 常用交流接触器、熔断器、热继电器的主要技术数据	119
附录 C 常用半导体器件的识别及型号命名法	120
附录 D 常用集成电路的型号命名法及引脚排列图	123
参考文献	132

第一章 电工电子实验的基础知识

第一节 电工电子实验的基本要求

一、实验的意义和目的

“电工学”是一门实践性较强的技术基础课，实验是学习这门课程的重要实践环节，是理论联系实际的重要手段。通过实验环节，不仅可帮助学生巩固所学的理论知识、丰富学习内容，还能够使学生在基本实验方法和基本实验技能两个方面得到系统的训练，以培养学生分析和解决实际问题的能力，适应新技术发展和未来社会的需要。

通过实验课的学习，应能达到以下目的：

- 1) 能够正确选择和安全使用交、直流电源。
- 2) 能够根据实验中的电压、电流，选用相应的电工电子仪器进行测试。
- 3) 能够独立地连接实验电路，检查并排除简单的电路故障。
- 4) 掌握基本实验方法和数据的分析处理。
- 5) 能够应用已学的理论知识设计简单的应用电路，并能通过实验验证设计的电路。
- 6) 使学生养成严肃认真、实事求是的科学态度和严谨的工作作风。

二、实验的基本要求

实验是学生把所学的理论知识用于实践的开始，学生只有具备了一些基本实验技能才能灵活地运用所学的理论解决实际问题。因此，实验技能也是体现科技人员工作能力的一个重要方面。为了培养学生良好的实验习惯，提高实验质量，电工电子技术实验分为实验前的预习、实验操作和实验报告三个环节。

1. 实验前的预习

实验能否顺利进行，能否达到预期的效果，在很大程度上取决于实验前的预习是否充分，因此实验课之前必须进行预习。

- 1) 要仔细阅读实验内容以及与实验内容相关的理论知识，明确实验目的。
- 2) 根据实验要求，画出实验电路以及实验所需的数据记录表格，拟订实验步骤。
- 3) 根据每次实验用到的理论知识，估算实验结果。
- 4) 了解每次实验所用仪器设备的作用和使用方法。
- 5) 理解并记住每次实验中的注意事项。
- 6) 写出预习报告。每次实验课前要写预习报告，内容应包括实验目的、实验原理、实验电路、实验仪器、实验步骤、理论数据估算和数据记录表格等。

2. 实验操作

为了顺利完成实验操作，在实验过程中应注意以下几个方面：

- 1) 注意用电安全。在实验室用到 220V 或 380V 的交流电时，必须注意用电安全；严禁触摸带电部分；若发生意外触电事故，应立即切断电源。

2) 动手操作前,先对照实验指导书认真清点和熟悉实验中用到的实验设备和仪器。

3) 连接实验电路。连接实验电路必须在断开电源后进行,接线完毕后,要认真检查,经指导教师检查同意后,方可接通电源。

4) 实验过程中,如果出现任何异常现象或故障,应立即切断电源,并报告指导教师,共同查找原因,待排除故障后再通电继续实验。

5) 完成实验后,先切断电源,经指导教师允许,方可拆除实验电路,整理好导线和仪器,离开实验室。

3. 实验报告

编写完整的实验报告是对实验过程的全面总结。实验报告要求文理通顺、简明扼要、字迹工整、数据和图表齐全、分析合理、结论正确。实验报告可在预习报告的基础上完成,但需要再加入以下内容:

1) 整理和处理原始实验数据,绘制必要的图表、曲线。

2) 分析实验结果,包括实验结论、收获体会等。

3) 回答思考题。

三、实验室安全用电要求

为了确保实验过程中人员和仪器设备的安全,实验人员必须严格遵守实验室的各项安全操作规定。

1) 认真听取实验室指导教师的讲解。

2) 拆线、接线之前必须先切断电源。给实验电路送电后,身体不能再接触实验电路的带电部分。

3) 连接好实验电路后,应仔细检查,经指导教师允许后方可通电实验。

4) 实验过程中发生任何异常情况(如冒烟、打火、异常声响、过热、异味等)时,应立即切断电源,并报告指导教师。

5) 在进行有电动机的实验时,不要把导线、头发、衣物等靠近电动机的转轴,以防发生意外。

6) 当实验中用到的电源电压是可调电压时,应从零逐渐升高,如有异常,应立即切断电源。

第二节 电工电子实验中常见故障的处理

实验过程中,由于各种各样的原因,不可避免地会出现一些故障。如果不能及时发现并排除故障,不仅会影响实验的正常进行,还会造成不必要的损失。故障分为硬故障和软故障两大类。硬故障可以造成元器件或仪器设备的损坏,常常伴有元器件过热冒烟、有烧焦味、有吱吱声或炮竹似的爆炸声。软故障一般暂时不会造成元器件的损坏,但会使电路中电压、电流的数值不正常或者使信号的波形发生畸变,从而使电路不能正常工作。软故障通常是由接触不良、元器件性能变化等原因引起的,不易发现。

一、常见的故障

实验中发生的故障大概有以下几种:

1) 电源连接错误:①把交流电源的线电压当作相电压使用,或把相电压当作线电压使用(而线电压是相电压的 $\sqrt{3}$ 倍);②直流电压源的输出电压超出规定值或极性接反,直流电

流源的输出电流超出规定值或两个输出端接反。

2) 电路连接错误。这种故障主要是粗心大意造成的, 所以连接实验电路时要认真, 并且连接好电路后要仔细检查。

3) 电源、实验电路、仪器仪表之间公共参考点选择不当或公共参考点连接错误。

4) 仪器仪表使用不当, 如测量模式不对、量程选择不合适、读数错误等。

5) 干扰, 如电源线干扰、接地线干扰、人体干扰、输入端悬空干扰等。

6) 元器件老化, 如连接导线内部断裂、元器件参数值与标称值不符等。

二、故障的预防

为了能够顺利、安全地进行实验, 减少或避免出现故障, 应对实验中要用到的实验仪器设备、元器件进行必要的检查。

1. 通电前的检查

在连接实验电路前, 先对所用的实验元器件、导线、实验仪器设备进行必要的检查。连接好实验电路后, 不要立即通电, 应先对实验电路进行以下几个方面的检查:

1) 检查实验电路中的设备和元器件是否符合要求, 对有极性的元器件(如二极管、晶体管、电解电容等), 检查其接法是否正确。

2) 检查实验电路的连接线是否正确, 包括检查电源线、接地线、信号线连接是否正确; 有无接触不良或短路现象; 有无多接线或漏接的情况。

3) 检查所用实验仪器的工作模式是否正确、量程是否合适。

4) 检查电源电压是否正常。可用电压表检测电源电压是否符合要求。

2. 通电后的检查

接通电源后, 要注意观察实验电路有无异常现象, 如出现打火、冒烟、有异味、有异常声响时, 应立即切断电源, 并报告指导教师。待查出并排除故障后, 经指导教师同意方可重新接通电源。

三、故障的检查与排除

故障的检查主要是找出发生故障的原因或发生故障的部位, 进而排除故障。通常采用下面两种方法检查实验电路的故障。

1. 断电检查法

当出现具有破坏性的硬故障时, 应采用断电检查法。首先切断电源, 检查电路中是否有短路、开路、元器件损坏等情况。在排除故障之前, 不能通电, 以防止引起更大的损失。

2. 通电检查法

可用电压表、示波器等仪器对电路中某部分的电压或波形进行检测, 找出故障点, 加以排除。

另外, 电路中可能同时存在多个故障, 这些故障又可能相互影响。所以, 在检查电路故障时一定要耐心细致, 逐个检查、排除。

第三节 常用电量测量基础

在电工电子实验中, 常遇到的电量有电压、电流、功率、频率、时间、放大倍数、输入电阻和输出电阻等。掌握这些电量的测量原理和方法, 对顺利完成实验以及将来从事科技工

作都大有益处。常用电量的测量方法有直接测量法和间接测量法。直接测量法是一种对被测对象直接进行测量并获得其数据的方法。电工测量大多采用直接测量法,例如对电压、电流、电阻、功率的测量就是直接测量。间接测量法是对一个或几个与被测量有确切函数关系的电量进行测量,然后通过对函数关系的计算或推导得出被测量。电子测量往往采用间接测量法,例如对放大电路电压放大倍数的测量,就是先用电压表测得放大电路的输入电压 U_i 和输出电压 U_o ,再通过式 $A_u = U_o/U_i$ 求得。另外,测量时,要根据被测对象是电压、电流还是功率,是直流还是交流,对测量精度的要求以及被测电路阻抗的大小来选用测量仪表,才能取得较准确的测量结果。

一、常用电工电量的测量

常用的电工电量有电压、电流、电阻、功率等。测量这些电量的仪表称为电工仪表。

1. 电压的测量

电压从频率上分为直流电压、50Hz 工频电压、低频和高频信号电压等。测量电压的仪表称为电压表。电压表是由基本测量机构(电流表头)串联一定的固定电阻 R 构成的,如图 1-3-1 所示(图中 R_G 为表头的内电阻)。

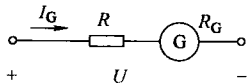


图 1-3-1 电压表的构成

$$I_G = \frac{U}{R + R_G}$$

I_G 与被测电压 U 成正比。因为允许流过表头的电流 I_G 很小(μA 级)且为有限值,所以测量的电压 U 越高, R 的阻值就越大。显然,表头串接不同阻值的电阻就可以构成不同量程的电压表。

测量电压时,应把电压表并接在被测电路两端,以使电压表两端的电压等于被测电压。由于电压表本身的内电阻为 $R_V = R + R_G$,电压表并接到电路中相当于把一个电阻 R_V 并接到电路中,这必然会对被测电路中的电压、电流产生影响,使其发生变化。为了使测量值较为真实地反映被测电路电压的真值,就要求电压表的内电阻 R_V 越大越好。所以,要使电压表的测量满足一定精度,除了要考虑电压表的测量范围及测量误差以外,还应考虑电压表的内阻对被测电路的影响。

测量电路的电压时,在选择好电压表的量程后,只需把电压表的两端并接在被测电路两端即可。电压表的量程选择以大于并接近于被测电压值为好。另外,测量直流电压时,要用直流电压表或万用表的直流电压档。还要注意,电压表的“+”、“-”端要与被测电路的“+”、“-”端对应相接,不能接反。

2. 电流的测量

测量电流的仪表称为电流表。电流表是由基本测量机构(电流表头)并联一定的固定电阻 R 构成的,如图 1-3-2 所示(图中 R_G 为表头的内电阻)。流过表头的电流 I_G 与被测电流 I 的关系为

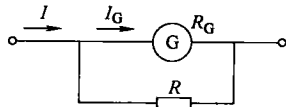


图 1-3-2 电流表的构成

$$I_G = I \frac{R}{R + R_G}$$

I_G 与被测电流 I 成正比。因为允许流过表头的电流 I_G 很小(μA 级)且为有限值,所以测量的电流 I 越大, R 的阻值就越小。显然,表头并接不同阻值的电阻就可以构成不同量

程的电流表。

测量电流时,应把电流表串接在被测支路中,以使流过电流表的电流等于被测支路的电流。由于电流表本身的内电阻为 $R_A = R_0/R_G$, 电流表串接到电路中相当于把一个电阻 R_A 串接到电路中,这必然会对被测电路中的电压、电流产生影响,使其发生变化。为了使测量值较为真实地反映被测电路电流的真值,就要求电流表的内电阻 R_A 越小越好。所以,要使电流表的测量满足一定精度,除了要考虑电流表的测量范围及测量误差以外,还应考虑电流表的内阻对被测电路的影响。

测量电路中某一支路电流时,在选择好电流表的量程后,应该把电流表的两端串接在被测支路中。电流表的量程选择以大于并接近于被测电流值为好。另外,测量直流电流时,要用直流电流表或万用表的直流电流档。还要注意,应使被测电流从电流表的“+”端流入、“-”端流出,不能接反。

测量某个支路电流时,也可通过测量该支路中某个已知电阻 R 两端的电压来间接测量支路电流 I 。电压和电流的关系,可由欧姆定律 $I = U_R/R$ 给出。如果被测支路中没有合适的电阻,可在被测支路中串入一个小阻值电阻 R ,如图 1-3-3 所示,这个电阻 R 称为采样电阻。在确定采样电阻的阻值时,既要考虑电阻的接入不能对被测电路产生太大的影响,又要使电阻两端的电压值不能太小。

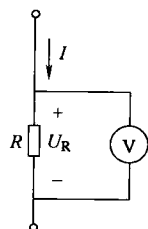


图 1-3-3 用采样电阻测电流

3. 功率的测量

(1) 间接测量法

对于直流电路,因为功率 $P = UI$, 所以可以用直流电压表测得负载 R_L 两端的电压 U , 用直流电流表测得流过负载 R_L 的电流 I , 两者相乘即得功率。图 1-3-4 是间接测量直流电路功率的两种方法。在负载电流较大时可采用图 1-3-4a 所示的方法, 这时电压表的分流作用相对较小, 若这时采用图

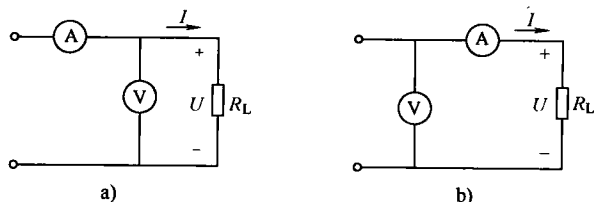


图 1-3-4 用间接测量法测量直流电路的功率

1-3-4b 所示的方法, 在电流表的内阻上电压降会更大。在负载电流较小时可采用图 1-3-4b 所示的方法, 因为若采用图 1-3-4a 所示的方法, 电压表的分流作用会使误差增大。

(2) 直接测量法

不管是直流电路, 还是交流电路, 都能用功率表直接测得功率, 而且测量的方法相同。功率表内有两个线圈: 一个用来反映负载电压, 与负载并联, 称为并联线圈或电压线圈; 另一个反映负载电流, 与负载串联, 称为串联线圈或电流线圈。由于交流电路的有功功率 $P = UI\cos\varphi$ 不仅与电压、电流的大小有关, 还与负载的功率因数 $\cos\varphi$ 有关, 所以交流电路的功率通常都用功率表直接测量。

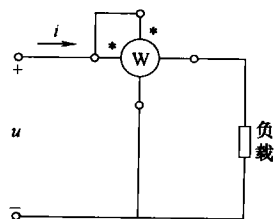


图 1-3-5 单相电路功率的测量

1) 单相电路有功功率的测量。单相电路功率的测量如图 1-3-5 所示。接入功率表时应注意将功率表的电流线圈串接到负载电路中, 将功率表的电压线圈并接在负载两端; 而且必须将

电流线圈和电压线圈的同名端“*”接到同一根线上,否则功率表的指针会反向偏转,不能读出测量结果,甚至损坏功率表。另外,使用功率表时,还要注意功率表的电流量程和电压量程的选择以大于且接近于被测电路的电流和电压为好。

2) 三相电路有功功率的测量。在三相电路中,对于三相四线制电路和三相三线制电路,采用不同的方法测量功率。

对于三相四线制电路,一般采用三表法测量功率,如图 1-3-6 所示。图中每个功率表的读数是一相负载的功率,三个功率表的读数之和就是三相负载的总功率。若三相负载对称,只需一个功率表测出一相负载的功率,再乘以 3 就得出三相负载的总功率。

对于三相三线制电路,常采用两表法测量功率,如图 1-3-7 所示。这里以星形联结的负载为例来说明图中两个功率表的读数之和就是三相负载的总功率。

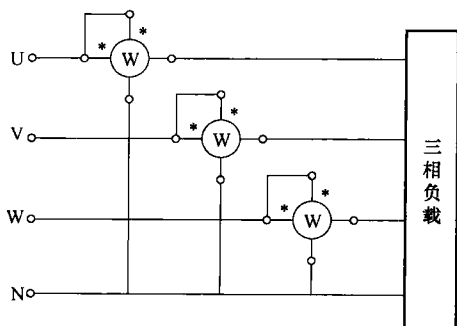


图 1-3-6 三相四线制电路功率的测量

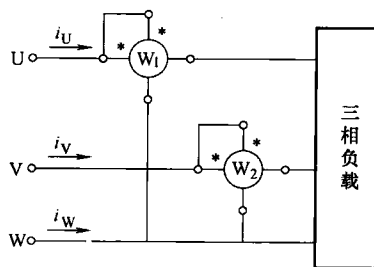


图 1-3-7 三相三线制电路功率的测量

三相三线制电路的瞬时功率等于各相负载的瞬时功率之和,即

$$\begin{aligned} p &= p_U + p_V + p_W \\ &= u_U i_U + u_V i_V + u_W i_W \end{aligned}$$

由于无中性线,因此

$$i_U + i_V + i_W = 0$$

或

$$i_W = -(i_U + i_V)$$

可得

$$\begin{aligned} p &= u_U i_U + u_V i_V - u_W (i_U + i_V) \\ &= (u_U - u_W) i_U + (u_V - u_W) i_V \\ &= u_{UW} i_U + u_{VW} i_V \end{aligned}$$

所以,三相负载的总功率为

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T (u_{UW} i_U + u_{VW} i_V) dt \\ &= U_{UW} I_U \cos \varphi_1 + U_{VW} I_V \cos \varphi_2 \\ &= P_1 + P_2 \end{aligned}$$

上面的结论虽从星形联结的负载导出,但在上式中,总功率 P 仅与线电压和线电流有关,因此,两表法测量功率也适用于三角形联结的负载。

用两表法测量三相电路的功率时,其中一个功率表在正常接法时指针也可能产生反偏

转,这是由于这个功率表所接的线电压和线电流之间相位差大于 90° 所致。为了读取数值,可将这个功率表的电流线圈反接一下,但在计算功率时,必须把这只反接功率表的读数计为负值。由此看出,两表法测量功率时,每一个功率表的单独读数是没有任何实际意义的。

二、常用电子电量的测量

在电子技术实验中,常遇到的电量有电压、电流、频率、时间、放大倍数和输入、输出电阻等。

1. 电压的测量

电压是最基本的参数之一,电子电路中的各种性能指标大多是通过电压的测量而换算得出的,如输入信号电压 U_i 、输出信号电压 U_o 。都是对地电压。电压测量基本上使用直接测量法测量,目前采用较多的是电压表法和示波器法。由于在电子电路中遇到的电压频率范围宽,从直流到数百兆赫;数值范围宽,从几微伏到数百伏;还具有非正弦电压、交直流并存的特点。所以选用正确的仪表类型十分重要。

(1) 直流电压的测量

通常用万用表的直流电压档测量直流电压。如果使用指针式万用表,因其输入电阻小,且量程不同内阻也不一样,所以只适用于被测电路等效内阻较小或信号源内阻较小的情况。若用数字式万用表,因其输入电阻高达 $10\text{M}\Omega$ 以上,所以对被测电路影响很小,还可直接显示被测电压的数值和极性。

(2) 交流电压的测量

可以用万用表的交流电压档测量交流电压。与上面测量直流电压一样,数字式万用表的内阻大、精度高;指针式万用表的内阻小、误差大;但在测量交流电压时,还应考虑被测电压的频率范围。而万用表的频率范围都较窄,指针式万用表一般只能测量 1kHz 以下的信号,数字式万用表如DT-830的频率范围为 $45\sim 500\text{Hz}$,所以不能用于测量高频信号。

晶体管毫伏表是测量交流电压的常用仪表。与万用表相比,晶体管毫伏表的输入阻抗高、量程范围广、频率范围宽。如DF1935A型晶体管毫伏表,其测量电压最大为 450V ,测量频率最高达到 2MHz ,输入阻抗为 $10\text{M}\Omega$,输入电容小于 30pF 。

综上所述,选用电压表时应注意以下几点:

1) 由于电压表并联于被测电路中,为减小仪表输入阻抗的影响,此类仪表的输入阻抗越高越好,一般应在 $1\text{M}\Omega$ 以上。

2) 选用电压表时,要注意电压表的频率范围和测量电压范围两个指标。根据被测信号的工作频率和电压选择适合的电压表。

3) 各种交流电压表如无特别声明,只能测量正弦电压的有效值,如用来测量非正弦波(如方波、三角波、尖脉冲等),将产生较大的误差。

4) 对于非正弦信号,常用的测量仪器是示波器,用示波器测量的最大优点是能够测量各种波形的电压。采用示波器测量电压的具体方法请参阅本书第四章第二节有关示波器使用的相关内容。

2. 频率和时间的测量

频率是电子技术中最基本的参数之一,测量频率的方法有频率计法和示波器法。测量时间主要使用示波器法。

(1) 频率计法

频率计法是严格按照频率的定义测量频率的方法。目前使用最多的是数字式频率计，其组成框图如图 1-3-8 所示。

频率计的工作原理：石英晶体振荡器提供的高稳定性振荡信号，经分频后产生准确的时基信号 T_0 ，用 T_0 作为门控信号控制主门的开启时间。被测信号经过放大整形后变换成方波，在主门开启时间 T_0 内通过主门，由计数器对通过的方波脉冲进行计数，测出计数值为 N ，则计算出频率值 $f = N/T_0$ ，经译码显示出结果。

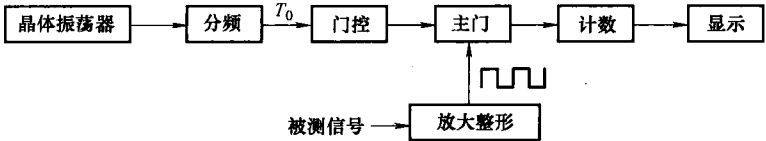


图 1-3-8 数字式频率计的组成框图

(2) 示波器法

用示波器测量频率和周期简便易行，常用于对测量精度要求不高的场合。

1) 利用定量扫描测量频率。示波器都有 X 轴水平扫描系统，它是一个线性良好的锯齿波电压，使得光点的 X 轴位移与时间成线性关系。目前广泛采用对 X 轴扫描时间进行定量校正后，再把定量值直接刻度在控制旋钮各档上的方法来测量周期和频率。

例如 6502 型示波器，当扫描时间因数开关“TIME/DIV”的微调旋钮置于校准（CAL）位置时，“TIME/DIV”上的档位值可以选择 $1\mu\text{s}/\text{div}$ 、 $10\text{ms}/\text{div}$ 等，表示荧光屏水平方向一个格（1div）的扫描时间分别为 $1\mu\text{s}$ 和 10ms 。当示波器上显示出稳定且最好是两个周期以上的电压波形时，就可以测量其周期值，周期值的倒数即为频率值。读数方法如下：在 X 轴上测出两个相邻周期同相位点之间的间隔为 d （div），若 X 轴的扫描速度为 S （t/div），则被测周期为

$$T = dS$$

再由下式计算出频率：

$$f = 1/T$$

2) 用李沙育图形测量频率。仍以 6502 型示波器为例作简要介绍：将示波器的“XY”显示方式键按下，从 CH1（X）端输入一个已知的标准信号 f_x ，CH2（Y）端输入被测信号 f_y 。调节标准信号的频率，当 $f_y = f_x$ 时，李沙育图形为一条直线或一个圆（或椭圆）。

采用示波器测量频率和时间的具体方法请参阅本书第四章第二节有关示波器使用的相关内容。

3. 放大电路电压放大倍数的测量

放大倍数是直接衡量放大电路放大能力的主要指标，它包括电压放大倍数 A_u 、电流放大倍数 A_i 和功率放大倍数 A_p 。图 1-3-9 为放大电路示意图。对于信号而言，放大电路可看成一个两端口网络，左边为输入端口，在正弦波信号源 u_s 、 R_s 作用时，放大电路得到输入电压 u_i ，同时产生输入电流 i_i ；右边为输出端口，输出电压为 u_o ，输出电流为 i_o ， R_L 为负载电阻。

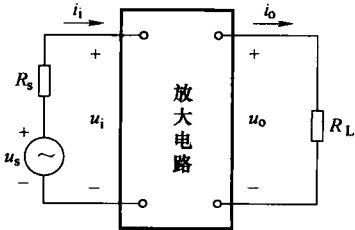


图 1-3-9 放大电路示意图

对于小功率放大电路,人们常常只关心放大电路单一指标的放大倍数,如电压放大倍数。对电压放大倍数的测量,实质上是对电压的测量,分别测出图 1-3-9 所示电路的输入电压 U_i 和输出电压 U_o ,则放大电路的电压放大倍数为

$$A_u = \frac{U_o}{U_i}$$

如果放大电路的电压放大倍数较大,要求输入电压 U_i 较小时,可在信号源与放大电路之间接入一个适当的分压器(由 R_1 、 R_2 组成),如图 1-3-10 所示。设 R_i 为放大电路的输入电阻,当 $R_2 \ll R_i$ 时,放大电路的输入电阻对分压器的影响可以忽略。通过测量 U'_s 和 U_o 的值,可求出电压放大倍数为

$$A_u = \frac{U_o}{U_i} = \frac{U'_s}{U_i} \frac{U_o}{U'_s} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \frac{U_o}{U'_s}$$

测量时应注意:

- 1) 将输入电压 u_i 的频率调在中频段。
- 2) 必须用示波器观察输出电压 u_o 的波形,只有在不失真的情况下,测试数据才有意义。

4. 放大电路输入电阻和输出电阻的测量

(1) 输入电阻的测量

输入电阻是放大电路的基本动态参数之一。放大电路与信号源相连接就成为信号源的负载,可用一个等效的阻抗表示,称为放大电路的输入阻抗。放大电路的输入阻抗与其工作频率有关,但在中频段,输入阻抗基本不变,可用输入电阻 R_i 来表示。输入电阻可采用串接取样电阻 R 的方法进行间接测量,电路如图 1-3-11 所示。只要分别测出 U'_s 和 U_i 的值,就可以用下式计算出输入电阻:

$$R_i = \frac{U_i}{I_i} = \frac{U_i}{U_R} R = \frac{U_i}{U'_s - U_i} R$$

测量时应注意:

- 1) 将输入电压 u_i 的频率调在中频段。
- 2) u_i 幅度要适当,应用示波器监测输出电压 u_o 的波形,保证输出信号不失真。
- 3) U'_s 和 U_i 应在毫伏表的同一量程档测量。

(2) 输出电阻的测量

输出电阻是衡量电路带负载能力的重要标志。对负载而言,放大电路的输出端可等效成一个电压源,该电压源的内阻 R_o 就称为放大电路的输出电阻。输出电阻通常采用加载测量法,电路如图 1-3-12 所示。

测试方法:打开开关 S,在不接入负载电阻 R_L

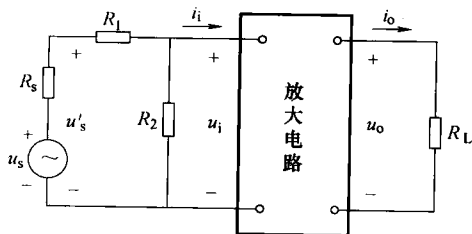


图 1-3-10 分压法测量电压放大倍数

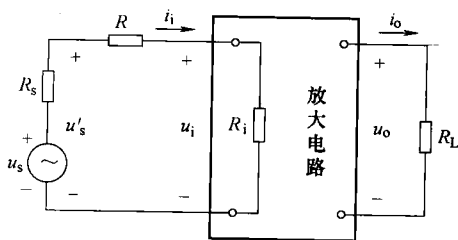


图 1-3-11 输入电阻的测量电路

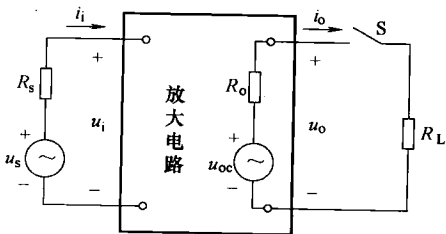


图 1-3-12 输出电阻的测量电路

时,测出输出电压为 U_{oc} ;合上开关 S,接入负载电阻 R_L 后,再测出输出电压为 U_o ,则输出电阻为

$$R_o = \frac{U_{oc} - U_o}{U_o} R_L$$

测量时应注意:

- 1) 将输入电压 u_i 的频率调在中频段。
- 2) u_i 幅度要适当,应用示波器监测输出电压 u_o 的波形,保证输出信号不失真。

5. 放大电路幅频特性的测量

放大电路的幅频特性就是其电压放大倍数与信号频率的关系曲线。在保持输入信号 u_i 幅度不变的情况下,改变信号源的频率,分别测出每个频率时放大电路的输出电压 U_o ,计算出电压放大倍数 $A_u = U_o/U_i$ 。以频率 f 为横坐标,以 A_u 为纵坐标,逐点画出幅频特性曲线,如图 1-3-13 所示。在中频段,电压放大倍数较大且近似为常数,设为 A_{um} ,当信号频率降低或升高时,电压放大倍数均要下降。当信号频率下降使放大倍数下降到 $0.707A_{um}$ 时,所对应的频率称为放大电路的下限截止频率 f_L ;当信号频率升高使放大倍数下降到 $0.707A_{um}$ 时,所对应的频率称为放大电路的上限截止频率 f_H 。上、下限截止频率之间的频率范围就是放大电路的通频带 BW ,即 $BW = f_H - f_L$ 。

实际测量时,只需选择一些具有代表性的频率点进行测量即可。应先粗略测出放大电路的上、下限截止频率,然后注意合理选择测试点的数目。在中频段,电压放大倍数基本为常数,曲线平坦,可少取几个测试点;在低频段或高频段,电压放大倍数下降,曲线下斜,应分别在 f_L 和 f_H 附近,多取几个测试点。注意,在测量过程中要用示波器监测输出电压的波形,保证输出信号始终不失真。

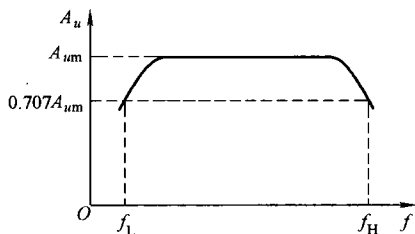


图 1-3-13 幅频特性曲线

第二章 电工技术实验

实验一 电路元器件的伏安特性

一、实验目的

- 1) 学习电阻元件伏安特性的逐点测试方法。
- 2) 加深对线性和非线性电阻元件的理解。
- 3) 掌握直流稳压电源及直流电表的使用方法。

二、实验原理

电阻元件的特性可用其端电压 u 与端电流 i 之间的函数关系 $u=f(i)$ 来表示, 或用 $u-i$ 平面上的一条曲线来描述, 这条曲线称为该元件的伏安特性。

1) 线性电阻元件的伏安特性是一条通过坐标原点的直线, 如图 2-1-1 所示, 该直线的斜率等于该电阻阻值的倒数。线性电阻元件的阻值为常数, 其电压和电流的关系满足欧姆定律。

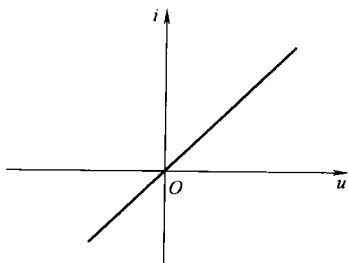


图 2-1-1 线性电阻的伏安特性

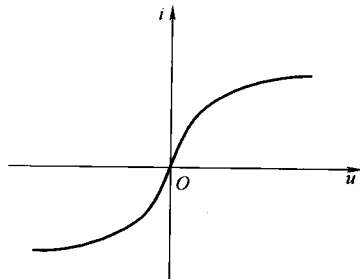


图 2-1-2 白炽灯的伏安特性

2) 一般的白炽灯在工作时灯丝处于高温状态, 其灯丝阻值随温度的升高而增大, 通过灯丝的电流越大, 其温度越高, 阻值也越大, 一般灯丝的“冷电阻”与“热电阻”的阻值可相差几倍至十几倍。白炽灯的伏安特性如图 2-1-2 所示。

3) 普通二极管是一种非线性器件, 其伏安特性如图 2-1-3 所示。其阻值与端电压的大小和极性有关。当所加正向电压很小时, 二极管的电流为零; 当正向电压超过某个值时, 电流随正向电压的增大而急剧增大, 二极管处于导通状态。可见, 二极管正向导通时的电阻很小。使二极管开始导通的临界电压称为开启电压, 硅管的开启电压约为 0.5V , 锗管约为 0.1V 。正向导通后管压降变化较小, 硅管为 $0.6\sim 0.8\text{V}$, 锗管为 $0.2\sim 0.3\text{V}$ 。而加反向电压时, 在一定范围内, 其反向电流很小, 几乎为零, 二极管处于

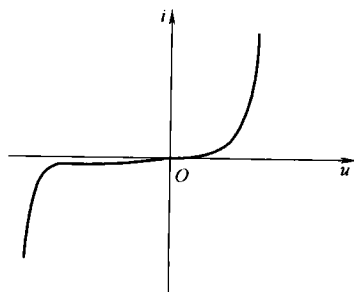


图 2-1-3 普通二极管的伏安特性