



21 世纪高等院校电气工程与自动化规划教材

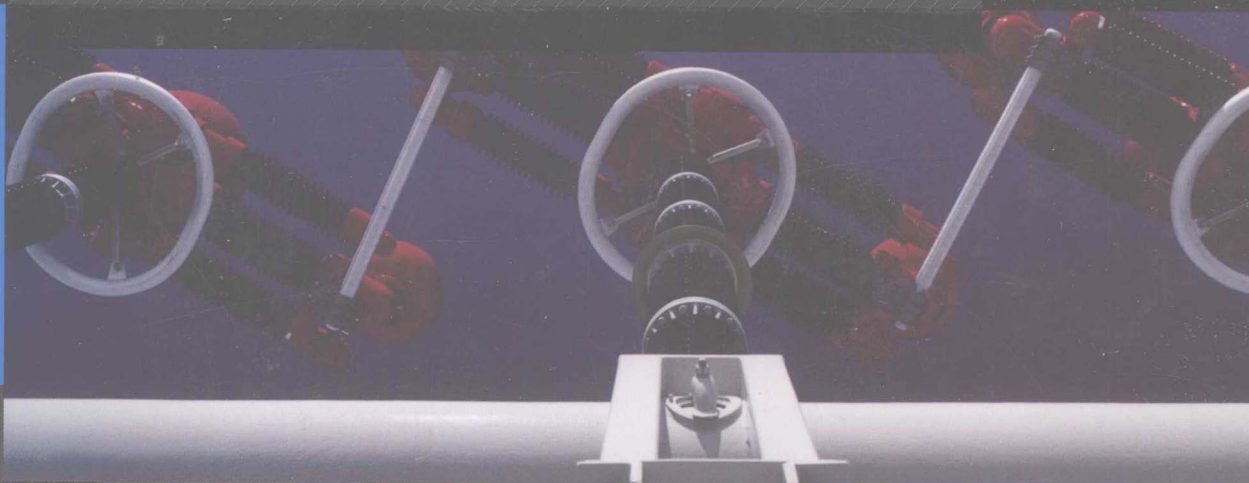
21 century institutions of higher learning materials of Electrical Engineering and Automation Planning

Experiment Tutorial of Electronic
Technology

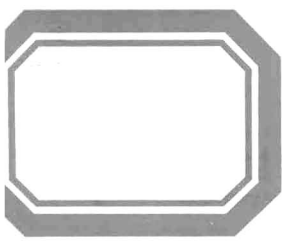
电子技术 实验教程

阚洪亮 主编

王长涛 冯群 马乔矢 尚文利 副主编



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS



记高等院校电气工程与自动化规划教材
stitutions of higher learning materials of Electrical Engineering and Automation Planning



Experiment Tutorial of Electronic
Technology

电子技术 实验教程

阚洪亮 主编

王长涛 冯群 马乔矢 尚文利 副主编

人 民 邮 电 出 版 社

北 京

图书在版编目(CIP)数据

电子技术实验教程 / 阚洪亮主编. — 北京 : 人民邮电出版社, 2014.9
21世纪高等院校电气工程与自动化规划教材
ISBN 978-7-115-36100-4

I. ①电… II. ①阚… III. ①电子技术—实验—高等学校—教材 IV. ①TN-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第142963号

内 容 提 要

本书从实验和实验教学的角度出发,在满足基本教学需要的同时,注重适应社会发展需要和提高学生工程实践能力。本书共分3章,分别介绍电子技术实验基本常识、电子技术基础实验和电子技术实验安全,内容深入浅出、实用性强。

本书可作为理工类院校本科、专科及高职相关专业学生的实践环节的指导书,也可作为相关工程技术人员的参考书。

-
- ◆ 主 编 阚洪亮
副 主 编 王长涛 冯 群 马乔矢 尚文利
责任编辑 张孟玮
执行编辑 税梦玲
责任印制 彭志环 焦志炜
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路11号
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京中新伟业印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 7.5 2014年9月第1版
字数: 187千字 2014年9月北京第1次印刷
-

定价: 22.00 元

读者服务热线: (010)81055256 印装质量热线: (010)81055316
反盗版热线: (010)81055315

“电子技术实验”是高校理工专业一门重要的技术基础实验课，是学习后续专业课的重要基础。由于电子技术课程理论性强，概念抽象，实践性强，涉及的基础理论较广，它对培养学生的科学思维能力、工程能力，提高学生分析问题和解决问题的能力起着至关重要的作用。

根据教育部“卓越工程师培养计划”的精神，为满足本科相关专业实验能力培养的需要，着力强化基础训练，加深理解课堂知识，提高学生的工程实践能力，编写了本教材。本教材在编写过程中，注重实践教学与理论教学内容紧密结合，大量吸取近年来电子技术课程教学改革的新成果，突出验证性实验与设计性实验的结合，对部分实验要求学生自主设计电路、表格和自主处理实验数据，为提升学生理论水平和实践能力做好铺垫。

本教材立足于本科应用型人才培养目标，适应于社会发展需要，提高学生工程实践能力。在教材编写过程中，参考了部分院校的教学大纲，以满足基本教学需要和有较宽适应面为出发点，全书分为3章：第1章为电子技术实验基本常识；第2章为电子技术基础实验，共分23个实验项目，其中前11个项目为模拟电子技术实验，后12个项目为数字电子技术实验，实验10、实验11、实验20、实验21和实验22适用于非电专业，内容较简单；第3章讲解电子技术实验安全。

本教材由阚洪亮任主编，王长涛、冯群、马乔矢、尚文利任副主编。除了主编、副主编外，参加本书编写的还有：张亚、阚凤龙、毛永明、张东伟、陈楠、吕九一、马强。参编的指导教师花费大量时间对实验项目进行了调研和预试。在此谨致以深切的谢意。

本教材主审是沈阳建筑大学信息与控制工程实验中心主任、高级实验师黄宽，他对本教材的编写提出了不少宝贵意见和建议。在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编者

2014年3月

目 录

第1章 电子技术实验基本常识	1	实验7 直流差动放大电路的设计	31
1.1 电子技术实验基本要求	1	实验8 集成运算放大器的设计	34
1.1.1 电子技术实验课的目的	1	实验9 线性集成稳压电源设计	35
1.1.2 电子技术实验规则	1	实验10 仪器使用	41
1.1.3 实验教学程序	3	实验11 共射极单级交流放大电路	43
1.2 常用元件识别	4	实验12 TTL 集成门逻辑功能 测试与设计	46
1.2.1 电阻元件	4	实验13 组合逻辑电路分析与设计	49
1.2.2 电感线圈	5	实验14 触发器的功能测试及其转换	51
1.2.3 电容元件	6	实验15 计数器电路设计	54
1.2.4 二极管	6	实验16 移位寄存器	57
1.2.5 三极管	7	实验17 移位寄存器型计数器	61
1.2.6 集成电路	9	实验18 计数、数值比较和译码 电路	65
1.3 实验常用测量仪器的使用方法	10	实验19 多谐振荡器和单稳态电路	67
1.3.1 示波器及其应用	10	实验20 简单逻辑电路的设计	69
1.3.2 信号发生器	11	实验21 JK 触发器	71
1.3.3 毫伏表	12	实验22 555 集成电路应用设计	73
1.3.4 万用表	13	实验23 综合设计	74
第2章 电子技术基础实验	15	第3章 电子技术实验安全	75
实验1 电子仪器的使用	15	3.1 触电与安全用电	75
实验2 晶体管极性的判别及参数 测试	19	3.2 安全用电与触电急救	77
实验3 单级放大电路	21	实验报告	81
实验4 两级阻容耦合放大器	24	附录 常用集成电路引脚排列	110
实验5 负反馈放大器设计	26	参考文献	116
实验6 RC 正弦波振荡器设计	29		

1.1 电子技术实验基本要求

1.1.1 电子技术实验课的目的

电子技术是为部分理工科专业开设的一门技术基础课,它面对生产技术实践的直接性决定了电子技术实验课在整个教学过程中的特殊重要地位。电子技术实验,不仅在于验证某些电子理论,更重要的是在于通过实验手段不断提高自己独立分析和解决实际问题的基本技能。关于这一教学目的,在国家教委颁布的、由电子技术课程指导委员会编写的《电子技术课程基本要求》中有非常明确的规定。具体地讲应当达到以下要求。

- (1) 能够正确使用常用的电子仪器和电器设备。
- (2) 能读懂基本的电路原理图,了解常用电气、电子元器件,并能组装成实际工作电路。
- (3) 能对组装的实际工作电路进行分析与故障排除,正确调试与测量。
- (4) 具有科学、安全用电的基本能力。
- (5) 具有正确归纳实验数据、运用理论科学地分析与指导实践活动的能力,以及严谨的科学态度与实事求是的工作作风。

1.1.2 电子技术实验规则

一、纪律规则

- (1) 按实验课表规定的时间、地点和编组按时上课,不得旷课、迟到、早退或擅自串组换课。
- (2) 教师讲解时,要聚精会神地听讲;进行实验时,要专心致志地操作,不能从事与本次实验无关的活动。
- (3) 实验课课堂应保持文明、安静和整洁的环境,组内研讨问题应当文明低语,严禁喧哗打闹和串组走动。
- (4) 未经教师许可,不得随意改变实验内容。
- (5) 必须严格服从指导教师的管理,不准私自查阅教师的随堂纪录和加以纠缠。

二、爱护公物规则

- (1) 应按仪器仪表和电器设备的技术要求精心操作,严禁漫不经心地使实验器具受到挤

压、折弯、冲击、振动、反复磨损或随意拆卸及污染等。

(2) 严禁擅自用本次实验使用设备之外的一切设备。

(3) 对本次实验发给的元器件、材料或工具应精心使用，结束实验时应仔细清点，如数归还，严禁私自携出。

(4) 实验中如发现仪器设备有异常或损坏，实验元件、材料和工具有遗失，应立即向指导教师申报并有义务提供笔录，备案。

(5) 自觉强化“节约意识”，应千方百计地将实验所耗能源和材料降为最低水平。

三、安全规则

实践证明，50 Hz、10 mA 以下的直流电流流经人体不会发生伤亡事故，而当工频(50 Hz) 50 mA 以上的交流电流流经人体就会发生危险，危险程度视电流大小和通电时间而定。

人体通电后的反应为：不舒适的感觉，肌肉痉挛，脉搏和呼吸失常，内部组织损伤，直到死亡。

人体电阻大约在 $800\ \Omega$ 到几百 $k\Omega$ 范围内（受表皮状况影响较大）。如按 $800\ \Omega$ 计，设通入危险电流为 50 mA，则人体承受电压为 $U=IR=0.05\times 800=40\text{ V}$ ，此值可作为“危险电压值”。因此，我国规定“安全电压”通常为 36 V，而在危险场所（如潮湿或含腐蚀性气体等环境），则安全电压降为 12 V。

人体被电流伤害分电伤和电击两类，其中电伤是指人体外部被电弧灼伤，电击是指人体内部因电流刺激而发生人体组织的损伤。

低压(380/220 V)系统中触电伤害主要是电击，而死亡事故也多为电击所致。

通过上述介绍，可以明确：在实验环境下，如果触摸电压高于 40 V 以上的带电物，均可能发生危险。还可以明确：为了防止触电，一是应与可能发生电弧的部位保持恰当距离；二是在任何瞬间、任何情况下绝对不应使自己的身体构成电流的通路（如脚踏良好绝缘物、不用双手触摸通电裸导体等）。为加强安全管理，制定如下规则。

(1) 实验线路的搭接、改装或拆除，均应在可靠断电条件下进行。

(2) 在电路通电情况下，人体严禁接触电路中不绝缘的金属导线和连接点带电部位，以免触电。万一发生触电事故，应立即切断电源，保证人身安全。

(3) 实验中，特别是设备刚投入运行时，要随时注意仪器设备的运行情况。如发生有超量程、过热、异味、冒烟、火花等，应立即断电，并请指导老师检查。

(4) 了解有关电器设备的规格、性能及使用方法，严格按照要求操作。注意仪器仪表的种类、量程和接线方法，保证设备安全。

(5) 实验时应精力集中，衣服、头发等不要接触电动机及其他可动电器设备，以免发生事故。

(6) 严禁到其他组任意取用物件或乱说乱动。

(7) 实验结束整理中，首先要关闭一切设备的电源开关。在整理中，也应精心处置实验所用的一切导体，以免为下一班实验留下隐患。

四、卫生规则

(1) 实验室内自觉保持卫生整洁，个人用品应合理放置。对实验台上的灰尘杂物应随时主动清除，严禁乱扔杂物、随地吐痰、抽烟和吃零食。

(2) 实验结束后，应认真做好整理。要将仪器设备、实验材料与工具、坐凳等整齐地归回原位。

(3) 每次做实验的学生均有清扫教室的劳动义务, 参加实验的班级均有在课余时间参加实验室大扫除的义务。

1.1.3 实验教学程序

一、预习要求

课前应认真阅读指导书中的《学生必读》和该次实验项目的全部内容, 并将所涉及的理论知识复习好。

应在实验课前按下述要求工整、清楚、整洁地将有关内容写入专门格式的《电子技术实验报告》内。

对于实验目的, 可按指导书抄写(或自己加以完整准确的表述)。

对于实验仪器与设备, 可按指导书抄写。

对于实验原理, 可按指导书“实验原理”中的相关内容, 自己做出逻辑层次清楚、内容完整准确的表述。表述一般要“文图并茂”, 即应当完整地画出实验电路示意图, 附必要的电路原理图和向量分析图, 对某些重要元器件(如集成片), 应画出引线示意图。这一环节既要正确地阐明原理, 又要便于指导自己参加实验。

对于实验内容与步骤, 可按指导书抄写(或自己加以完整准确的表述)。书写形式上应突出操作步骤的有序性和强调必要的注意事项。

“实验步骤”中的数据表格, 应按指导书规定格式画出, 注意做必要的“放大”, 以便在实验中填写。表内如列有“计算值”栏目, 系指就实验电路中所采用的元器件的标称值(即指导书中给定数值)作为电路参数, 依据理论公式进行计算的结果。书写预习报告时, 应写出理论公式的表达式并进行相应的计算, 将计算结果填入表中“计算值”栏目。事先的理论分析与计算, 对指导自己正确地实际操作和测试, 显然是有益的。

书写预习报告决不是一假思索地抄写指导, 而是以实验题目为“技术任务”, 根据所学到的基本知识和基本理论, 参照指导书给定的格式, 为“技术实现”而书写的技术性设计或报告。写出工整简洁、逻辑严谨的科学技术报告, 是工程师必须具备的基本技能。

二、课堂教学程序

(1) 学生应准时按规定到实验台前就坐、出示预习报告。

(2) 教师讲授。实验主讲教师以口头、板书和密切对照实物的方式讲授本次实验的精华(如: 线路板结构、仪器仪表使用要领、实验步骤和操作规程以及注意事项), 一般时间长度不超过 30 分钟。这就要求每个学生特别仔细地听取与记录。

(3) 学生搭接电路。教师讲授结束后, 在断电条件下搭接电路。搭接时应注意体会接线要领且应循序渐进, 已搭接的电路应确保其可靠性。事实证明, 对电路原理图熟悉的学生, 此项工作进行较快。

(4) 学生自检。电路搭接完毕, 应反复检查(必要时用万用表欧姆档观察线路搭接的可靠性)。如确认无误, 方可报告教师审查。

(5) 教师审查。指导教师对学生搭接电路的审查主要着眼两个方面: 一是安全用电方面, 即着眼电路不应危及人员安全; 二是实验设备与器件安全方面, 即着眼电路不应造成器材损失。教师此时不着眼电路搭接是否全面正确, 只要确认上述“两个安全”得以保证, 即允许该实验组通电操作。

(6) 通电操作。学生必须经教师审查电路允许后方可接通电源, 否则视为违章。通电后,

如发现自己接的电路不能正常工作,应积极思考,立足于自己排除故障,不应当不做任何努力而试图请教师代劳。

实验指导教师在学生进行实验过程中的“指导”职责体现在两方面:一是对“经过努力、仍感到困难”的学生进行启发、引导;二是注意观察并随时考核每个学生的动手能力。由此可见,每个学生必须以“勤于动脑、勤于动手”的操作主角身份投入实验,才能在教师指导下提高解决实验问题的基本技能,这一点与理论课堂上被动听课的身份相比,是一个转化,希望引为注意。

(7) 结束整理。下课前留 5~10 分钟作为整理时间,应按前述实验室规则要求完成整理,经教师允许后,方可离开。

1.2 常用元件识别

1.2.1 电阻元件

一、电阻元件的标称值

标称值是根据国家制定的标准系列标注的,不是生产者任意标定的,不是所有阻值的电阻器都存在,常见的电阻标称值系列如下。

E24 系列(误差 $\pm 5\%$): 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.4, 2.7, 3.0, 3.3, 3.6, 3.9, 4.3, 4.7, 5.1, 5.6, 6.2, 6.8, 7.5, 8.2, 9.1。

E12 系列(误差 $\pm 10\%$): 1.0, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.7, 3.0, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8, 8.2。

E6 系列(误差 $\pm 20\%$): 1.0, 1.5, 2.2, 3.3, 4.7, 6.8。

线绕电阻系列额定功率: 3 W, 4 W, 8 W, 10 W, 16 W, 25 W, 40 W, 50 W, 75 W, 100 W, 150 W, 250 W, 500 W。

非线性绕电阻系列额定功率: 0.05 W, 0.125 W, 0.25 W, 0.5 W, 1 W, 2 W, 5 W。

二、电阻的分类

- (1) 按阻值特性分: 固定电阻、可调电阻、特种电阻(敏感电阻)。
- (2) 按制造材料分: 碳膜电阻、金属膜电阻、线绕电阻、合成膜电阻。
- (3) 按安装方式分: 插件电阻、贴片电阻。
- (4) 按功能分: 高频电阻、高温电阻、采样电阻、分流电阻、保护电阻等。

三、普通电阻的选用常识

1. 正确选择电阻器的阻值和误差

阻值选用原则: 所用电阻器的标称阻值与所需电阻器阻值的差值越小越好。

误差选用: RC 暂态电路所需电阻器的误差尽量小,一般可选 5% 以内。反馈电路、滤波电路、负载电路对误差要求不太高,可选 10%~20% 的电阻器。

2. 额定电压和额定功率

额定电压: 实际电压不能超过额定电压。

额定功率: 所选电阻器的额定功率应大于实际承受功率的两倍以上才能保证电阻器在电路中长期工作的可靠性。

3. 首选通用型电阻器

通用型电阻器种类较多、规格齐全、生产批量大且阻值范围、外观形状、体积大小都有

挑选的余地，便于采购和维修。

4. 根据电路特点选用

高频电路：分布参数越小越好，应选用金属膜电阻、金属氧化膜电阻等高频电阻。

低频电路：线绕电阻、碳膜电阻都适用。

功率放大电路、偏置电路、取样电路：电路对稳定性要求比较高，应选温度系数小的电阻器。

5. 根据电路板大小选用电阻

1.2.2 电感线圈

一、电感线圈的基本知识

电感线圈是由导线一圈挨一圈地绕在绝缘管上，导线间互相绝缘，而绝缘管可以是空心的，也可以包含铁芯或磁粉芯，这样的二端元件简称电感。电感是利用电磁感应的原理进行工作的。电感量 L 表示线圈本身固有特性，与电流大小无关。除专门的电感线圈（色码电感）外，电感量一般不专门标注在线圈上，而以特定的名称标注。电感量 L 恒定的电感叫作线性电感，电感量 L 随通过的电流而变化的电感叫作非线性电感，一般空心线圈是线性电感，铁心线圈是非线性电感。

二、电感的分类

(1) 按电感形式分类：固定电感、可变电感。

(2) 按导磁体性质分类：空心线圈、铁氧体线圈、铁芯线圈、铜芯线圈等。

(3) 按工作性质分类：天线线圈、振荡线圈、扼流线圈、陷波线圈、偏转线圈等。

(4) 按绕线结构分类：单层线圈、多层线圈、蜂房式线圈等。

三、常用线圈简介

1. 单层线圈

单层线圈是用绝缘导线一圈挨一圈地绕在纸筒或胶木骨架上。如晶体管收音机中的天线线圈。

2. 蜂房式线圈

如果所绕制的线圈，其平面不与旋转面平行，而是相交成一定的角度，这种线圈称为蜂房式线圈。而其旋转一周，导线来回弯折的次数，常称为折点数。蜂房式绕法的优点是体积小，分布电容小，而且电感量大。蜂房式线圈都是利用蜂房绕线机来绕制，折点越多，分布电容越小。

3. 铁氧体磁芯和铁粉芯线圈

线圈的电感量大小与有无磁芯有关。在空心线圈中插入铁氧体磁芯或铁粉芯，可增加电感量和提高线圈的品质因数。

4. 铜芯线圈

铜芯线圈在超短波范围应用较多，利用旋转铜芯在线圈中的位置来改变电感量，这种调整比较方便、耐用。

5. 色码电感器

色码电感器是具有固定电感量的电感器，其电感量标记方法同电阻一样以色环来标记。

6. 阻流圈（扼流圈）

限制交流电通过的线圈称阻流圈，分高频阻流圈和低频阻流圈。

7. 偏转线圈

偏转线圈是电视机扫描电路输出级的负载。偏转线圈要求：偏转灵敏度高、磁场均匀、值高、体积小、价格低。

1.2.3 电容元件

一、电容的概念

电容元件是一种表征电路元件储存电荷特性的理想元件，其原始模型为由中间用绝缘介质隔开的两块金属极板组成的平板电容器。当在两极板上加上电压后，极板上分别积聚着等量的正负电荷，在两个极板之间产生电场。积聚的电荷越多，所形成的电场就越强，电容元件所储存的电场能也就越大。

二、电容的分类

电容按介质不同分为气体介质电容，液体介质电容，无机固体介质电容，有机固体介质电容和电解电容；按极性分为有极性电容和无极性电容；按结构分为固定电容，可变电容和微调电容。

三、电容的参数

电容器标称电容值，目前我国采用的固定式标称容量系列有 E24、E12 和 E6 系列。

E24 系列的电容量为：1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.4, 2.7, 3.0, 3.3, 3.6, 3.9, 4.3, 4.7, 5.1, 5.6, 6.2, 6.8, 7.5, 8.2, 9.1。

E12 系列的电容量为：1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.7, 3.3, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8, 8.2。

E6 系列的电容量为：1.5, 2.2, 3.3, 4.7, 6.8。

上述标称值 $\times 10^n$ 即可得电容的标称容量。

1. 电容器的允许误差

不同的标称系列允许误差是不同的，一般 E24 系列电容的允许误差是 $\pm 5\%$ ，E12 系电容的允许误差是 $\pm 10\%$ ，E6 系列电容的允许误差是 $\pm 20\%$ 。

2. 电容器的耐压

每一个电容都有它的耐压值，用 V 表示。一般无极电容的标称耐压值比较高，常见的有 63 V、100 V、160 V、250 V、400 V、600 V 和 1 000 V 等；有极电容的耐压相对较低，一般标称耐压值有 4 V、6.3 V、10 V、16 V、25 V、35 V、50 V、63 V、80 V、100 V、220 V 和 400 V 等。

1.2.4 二极管

一、二极管简介

二极管种类很多，常用的有下面几种。

1. 整流二极管

将交流电流整流成直流电流的二极管叫作整流二极管，它是面结合型的功率器件，因结电容大，故工作频率低。通常， I 在 1 A 以上的二极管采用金属壳封装，以利于散热。 I 在 1 A 以下的采用全塑料封装。由于近代工艺技术不断提高，国外出现了不少较大功率的管子，也采用塑封形式。

2. 检波二极管

检波二极管是用于把叠加在高频载波上的低频信号检出来的器件，它具有较高的检波效

率和良好的频率特性。

3. 开关二极管

在脉冲数字电路中，用于接通和关断电路的二极管叫开关二极管，它的特点是反向恢复时间短，能满足高频和超高频应用的需要。开关二极管有接触型、平面型和扩散台面型几种。一般 $I < 500 \text{ mA}$ 的硅开关二极管，多采用全密封环氧树脂，陶瓷片状封装引脚较长的一端为正极。

4. 稳压二极管

稳压二极管是由硅材料制成的面结合型晶体二极管，它是利用 PN 结反向击穿时的电压基本上不随电流的变化而变化的特点，来达到稳压的目的。因为它能在电路中起稳压的作用，故称为稳压二极管（简称稳压管）。

二、选用二极管要注意的几个方面

(1) 正向特性。加在二极管两端的正向电压（P 为正、N 为负）很小时（锗管小于 0.1 V ，硅管小于 0.5 V ），管子不导通，处于“死区”状态；当正向电压超过一定数值后，管子才导通，电压再稍微增大，电流就会急剧增加。不同材料的二极管，起始电压不同，硅管为 $0.5 \sim 0.7 \text{ V}$ ，锗管为 $0.1 \sim 0.3 \text{ V}$ 。

(2) 反向特性。二极管两端加上反向电压时，反向电流很小，当反向电压逐渐增加时，反向电流基本保持不变，这时的电流称为反向饱和电流。不同材料的二极管，反向电流大小不同，硅管约为 $1 \mu\text{A}$ 到几十微安，锗管可高达数百微安。另外，反向电流受温度变化的影响很大，锗管的稳定性比硅管差。

(3) 击穿特性。当反向电压增加到某一数值时，反向电流急剧增大，这种现象称为反向击穿。这时的反向电压称为反向击穿电压，不同结构、工艺和材料制成的管子，其反向击穿电压值差异很大，可由 1 V 到几百 V ，甚至高达数 kV 。

(4) 频率特性。由于结电容的存在，当频率高到某一程度时，容抗小到使 PN 结短路，导致二极管失去单向导电性，不能工作。PN 结面积越大，结电容也越大，越不能在高频情况下工作。

1.2.5 三极管

三极管的全称应为半导体三极管，也称双极型晶体管，晶体三极管，是一种电流控制电流的半导体器件，其作用是把微弱信号放大成幅值较大的电信号，也用作无触点开关。晶体三极管，是半导体基本元器件之一，具有电流放大作用，是电子电路的核心元件。三极管是在一块半导体基片上制作两个相距很近的 PN 结，两个 PN 结把这块半导体分成三部分，中间部分是基区，两侧部分是发射区和集电区，排列方式有 PNP 和 NPN 两种。

一、工作原理

晶体三极管（以下简称三极管）按材料分有两种：锗管和硅管。而每一种又有 NPN 和 PNP 两种结构形式，但使用最多的是硅 NPN 和锗 PNP 两种三极管（其中，N 表示在高纯度硅中加入磷，用磷原子取代一些硅原子，在电压刺激下产生自由电子导电；而 P 是加入硼取代硅，产生大量空穴利于导电）。两者除了电源极性不同外，其工作原理都是相同的，下面仅介绍 NPN 硅管的电流放大原理。

对于 NPN 管，它是由 2 块 N 型半导体中间夹着一块 P 型半导体所组成，发射区与基区之间形成的 PN 结称为发射结，而集电区与基区形成的 PN 结称为集电结，三条引线分别称

为发射极 e、基极 b 和集电极 c。

当 b 点电位高于 e 点电位零点几伏时, 发射结处于正偏状态, 而 c 点电位高于 b 点电位几伏时, 集电结处于反偏状态, 集电极电源 E_c 要高于基极电源 E_b 。

在制造三极管时, 有意识地使发射区的多数载流子浓度大于基区的, 同时把基区做得很薄, 而且, 要严格控制杂质含量。这样, 一旦接通电源后, 由于发射结正偏, 发射区的多数载流子(电子)及基区的多数载流子(空穴)很容易地越过发射结互相向对方扩散, 但因前者的浓度基大于后者, 所以通过发射结的电流基本上是电子流, 这股电子流称为发射极电流。

由于基区很薄, 加上集电结的反偏, 注入基区的电子大部分越过集电结进入集电区而形成集电极电流 I_c , 只剩下很少(1%~10%)的电子在基区的空穴进行复合, 被复合掉的基区空穴由基极电源 E_b 重新补给, 从而形成了基极电流 I_b 。根据电流连续性原理得: $I_c = I_b + I_e$ 。

这就是说, 在基极补充一个很小的 I_b , 就可以在集电极上得到一个较大的 I_c , 这就是所谓电流放大作用, I_c 与 I_b 维持一定的比例关系, 即: $\beta_1 = I_c / I_b$ (式中: β_1 称为直流放大倍数); 集电极电流的变化量 ΔI_c 与基极电流的变化量 ΔI_b 之比为: $\beta = \Delta I_c / \Delta I_b$ (式中: β 称为交流电流放大倍数)。由于低频时 β_1 和 β 的数值相差不大, 所以有时为了方便起见, 对两者不作严格区分, β 值为几十至一百多。

三极管是一种电流放大器件。但在实际使用中常常利用三极管的电流放大作用, 通过电阻转变为电压放大作用, 三极管放大时管子内部的工作原理如下。

1. 发射区向基区发射电子

电源 E_b 经过电阻 R_b 加在发射结上, 发射结正偏, 发射区的多数载流子(自由电子)不断地越过发射结进入基区, 形成发射极电流 I_e 。同时基区多数载流子也向发射区扩散, 但由于多数载流子浓度远低于发射区载流子浓度, 可以不考虑这个电流, 因此可以认为发射结主要是电子流。

2. 基区中电子的扩散与复合

电子进入基区后, 先在靠近发射结的附近密集, 渐渐形成电子浓度差, 在浓度差的作用下, 促使电子流在基区中向集电结扩散, 被集电结电场拉入集电区形成集电极电流 I_c 。也有很小一部分电子(因为基区很薄)与基区的空穴复合, 扩散电子流与复合电子流之比决定了三极管的放大能力。

3. 集电区收集电子

由于集电结外加反向电压很大, 这个反向电压产生的电场力将阻止集电区电子向基区扩散, 同时将扩散到集电结附近的电子拉入集电区从而形成集电极主电流 I_{cn} 。另外集电区的少数载流子(空穴)也会产生漂移运动, 流向基区形成反向饱和电流, 用 I_{cbo} 来表示, 其数值很小, 但对温度却异常敏感。

二、三极管的分类

- (1) 按材质分: 硅管、锗管。
- (2) 按结构分: NPN、PNP。
- (3) 按功能分: 开关管、功率管、光敏管等。
- (4) 按功率分: 小功率管、中功率管、大功率管。
- (5) 按工作频率分: 低频管、高频管、超频管。
- (6) 按结构工艺分: 合金管、平面管。
- (7) 按安装方式: 插件三极管、贴片三极管。

1.2.6 集成电路

集成电路 (Integrated Circuit) 是一种微型电子器件或部件。采用一定的工艺, 把一个电路中所需的晶体管、二极管、电阻、电容和电感等元件及布线互连在一起, 制作在一小块或几小块半导体晶片或介质基片上, 然后封装在一个管壳内, 使其成为具有所需电路功能的微型结构; 其中所有元件在结构上已组成一个整体, 使电子元件向着微小型化、低功耗、智能化和高可靠性方面迈进了一大步。它在电路中用字母“IC”表示。集成电路发明者为杰克·基尔比 (基于锗的集成电路) 和罗伯特·诺伊斯 (基于硅的集成电路)。当今半导体工业大多数应用的是基于硅的集成电路。

一、集成电路特点

集成电路或称微电路 (Microcircuit)、微芯片 (Microchip)、芯片 (Chip) 在电子学中是一种把电路 (主要包括半导体装置, 也包括被动元件等) 小型化的方式, 并通常制作在半导体晶圆表面上。

前述将电路制造在半导体芯片表面上的集成电路又称薄膜 (Thin-Film) 集成电路。另有一种厚膜 (Thick-Film) 混成集成电路 (Hybrid Integrated Circuit) 是由独立半导体设备和被动元件, 集成到衬底或线路板所构成的小型化电路。

本书主要应用单片集成电路 (Monolithic), 即薄膜集成电路。

集成电路具有体积小、重量轻、引出线和焊接点少、寿命长、可靠性高、性能好等优点, 同时成本低, 便于大规模生产。它不仅在工、民用电子设备如收录机、电视机、计算机等方面得到广泛的应用, 同时在军事、通信、遥控等方面也得到广泛的应用。用集成电路来装配电子设备, 其装配密度比晶体管可提高几十倍至几千倍, 设备的稳定工作时间也可大大提高。

二、集成电路分类

集成电路, 又称为 IC, 按其功能、结构的不同, 可以分为模拟集成电路、数字集成电路和数/模混合集成电路三大类。

集成电路按制作工艺可分为半导体集成电路和膜集成电路, 膜集成电路又分为厚膜集成电路和薄膜集成电路。

按集成度高低分类可分为如下 6 种:

SSI 小规模集成电路 (Small Scale Integrated Circuit);

MSI 中规模集成电路 (Medium Scale Integrated Circuit);

LSI 大规模集成电路 (Large Scale Integrated Circuit);

VLSI 超大规模集成电路 (Very Large Scale Integrated Circuit);

ULSI 特大规模集成电路 (Ultra Large Scale Integrated Circuit);

GSI 巨大规模集成电路也被称作极大规模集成电路或超特大规模集成电路 (Giga Scale Integration Circuit)。

集成电路按导电类型可分为双极型集成电路和单极型集成电路, 它们都是数字集成电路。双极型集成电路的制作工艺复杂, 功耗较大, 代表集成电路有 TTL、ECL、HTL、LST-TL、STTL 等类型。单极型集成电路的制作工艺简单, 功耗也较低, 易于制成大规模集成电路, 代表集成电路有 CMOS、NMOS、PMOS 等类型。

集成电路按用途可分为电视机用集成电路、音响用集成电路、影碟机用集成电路、录像

机用集成电路、计算机（微机）用集成电路、电子琴用集成电路、通信用集成电路、照相机用集成电路、遥控集成电路、语言集成电路、报警器用集成电路及各种专用集成电路。

集成电路按应用领域可分为标准通用集成电路和专用集成电路。

集成电路按外形可分为圆形（金属外壳晶体管封装型，一般适合用于大功率）、扁平型（稳定性好，体积小）和双列直插型。

1.3 实验常用测量仪器的使用方法

1.3.1 示波器及其应用

示波器是一种用途十分广泛的电子测量仪器。它能把肉眼看不见的电信号变换成看得见的图象，便于人们研究各种电现象的变化过程。示波器利用狭窄的、由高速电子组成的电子束，打在涂有荧光物质的屏面上，就可产生细小的光点。在被测信号的作用下，电子束就好像一支笔的笔尖，可以在屏面上描绘出被测信号瞬时值的变化曲线。利用示波器能观察各种不同信号幅度随时间变化的波形曲线，还可以用它测试各种不同的电量，如电压、电流、频率、相位差、调幅度等。

一、示波器的作用

用来测量交流电流或脉冲电流波的形状的仪器，由电子管放大器、扫描振荡器、阴极射线管等组成。除观测电流的波形外，还可以测定频率、电压强度等。凡可以变为电效应的周期性物理过程都可以用示波器进行观测。

二、示波器的分类及工作原理

示波器分为数字示波器和模拟示波器。

模拟示波器采用的是模拟电路（示波管，其基础是电子枪）电子枪向屏幕发射电子，发射的电子经聚焦形成电子束，并打到屏幕上。屏幕的内表面涂有荧光物质，这样电子束打中的点就会发出光来。

数字示波器则是数据采集，A/D 转换，软件编程等一系列的技术制造出来的高性能示波器。数字示波器一般支持多级菜单，能提供给用户多种选择和多种分析功能。还有一些示波器可以提供存储，实现对波形的保存和处理。

示波器工作原理是：利用显示在示波器上的波形幅度的相对大小来反映加在示波器 Y 偏转极板上的电压最大值的相对大小，从而反映出电磁感应中所产生的交变电动势的最大值的大小。因此借助示波器可以研究感应电动势与其产生条件的关系。

三、示波器的使用方法

示波器虽然分成好几类，各类又有许多种型号，但是一般的示波器除频带宽度、输入灵敏度等不完全相同外，在使用方法的基本方面都是相同的。以 SR-8 型双踪示波器为例介绍。

SR-8 型双踪示波器的面板图如图 1-1 所示。其面板装置按其位置和功能通常可划分为 3 大部分：显示、垂直（Y 轴）、水平（X 轴）。现分别介绍这 3 个部分控制装置的作用。

用示波器能观察各种不同电信号幅度随时间变化的波形曲线，在这个基础上示波器可以应用于测量电压、时间、频率、相位差和调幅度等电参数。下面介绍用示波器观察电信号波形的使用步骤。

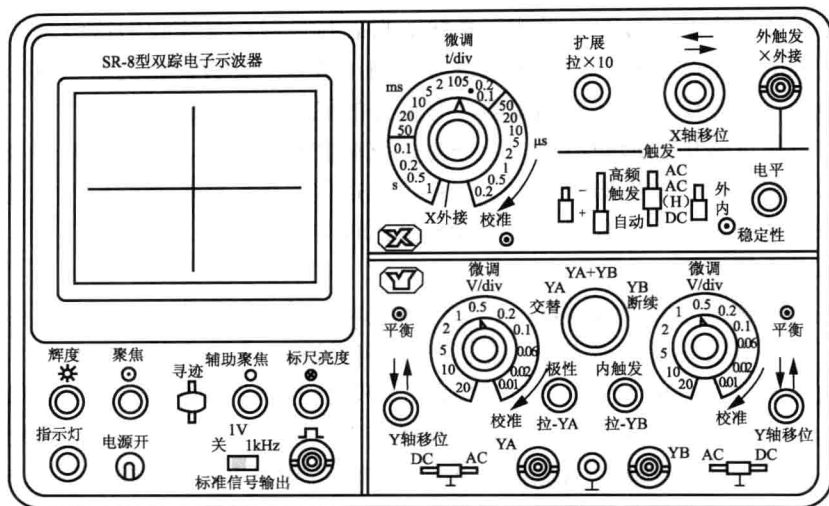


图 1-1 SR-8 型双踪示波器面板装置

1. 选择 Y 轴耦合方式

根据被测信号频率的高低，将 Y 轴输入耦合方式选择“AC-GND-DC”开关置于 AC 或 DC。

2. 选择 Y 轴灵敏度

根据被测信号的大约峰-峰值（如果采用衰减探头，应除以衰减倍数；在耦合方式取 DC 挡时，还要考虑叠加的直流电压值），将 Y 轴灵敏度选择 V/div 开关（或 Y 轴衰减开关）置于适当挡级。实际使用中如不需读测电压值，则可适当调节 Y 轴灵敏度微调（或 Y 轴增益）旋钮，使屏幕上显现所需要高度的波形。

3. 选择触发（或同步）信号来源与极性

通常将触发（或同步）信号极性开关置于“+”或“-”档。

4. 选择扫描速度

根据被测信号周期（或频率）的大约值，将 X 轴扫描速度 t/div（或扫描范围）开关置于适当挡级。实际使用中如不需读测时间值，则可适当调节扫速 t/div 微调（或扫描微调）旋钮，使屏幕上显示测试所需周期数的波形。如果需要观察的是信号的边沿部分，则扫速 t/div 开关应置于最快扫速档。

5. 输入被测信号

被测信号由探头衰减后（或由同轴电缆不衰减直接输入，但此时的输入阻抗降低、输入电容增大），通过 Y 轴输入端输入示波器。

1.3.2 信号发生器

信号发生器是指产生所需参数的电测试信号的仪器。

一、信号发生器简介

凡是产生测试信号的仪器，统称为信号源，也称为信号发生器，它用于产生被测电路所需特定参数的电测试信号。在测试、研究或调整电子电路及设备时，为测定电路的一些电参量，如测量频率响应、噪声系数，为电压表定度等，都要求提供符合所定技术条件的电信号，以模拟在实际工作中使用的待测设备的激励信号。当要求进行系统的稳态特性测量时，需使

用振幅、频率已知的正弦信号源。当测试系统的瞬态特性时,又需使用前沿时间、脉冲宽度和重复周期已知的矩形脉冲源。并且要求信号源输出信号的参数,如频率、波形、输出电压或功率等,能在一定范围内进行精确调整,有很好的稳定性,有输出指示。

信号源可以根据输出波形的不同,划分为正弦波信号发生器、矩形脉冲信号发生器、函数信号发生器和随机信号发生器四大类。正弦信号是使用最广泛的测试信号。这是因为产生正弦信号的方法比较简单,而且用正弦信号测量比较方便。

二、信号发生器应用

信号发生器又称信号源或振荡器,在生产实践和科技领域中有着广泛的应用。各种波形曲线均可以用三角函数方程式来表示。能够产生多种波形,如三角波、锯齿波、矩形波(含方波)和正弦波的电路被称为函数信号发生器。函数信号发生器在电路实验和设备检测中具有十分广泛的用途。例如在通信、广播、电视系统中,都需要射频(高频)发射,这里的射频波就是载波,把音频(低频)、视频信号或脉冲信号运载出去,就需要能够产生高频的振荡器。在工业、农业、生物医学等领域内,如高频感应加热、熔炼、淬火、超声诊断、核磁共振成像等,都需要功率或大或小、频率或高或低的振荡器。

三、信号发生器使用方法

选用与验电器相同电压等级的验电信号发生器。手持验电器工作部分(验电器头)将发生器的电极头接触被测验电器的电极头,按动“工作”开关,此时验电器发出声光信号表明验电器的性能完好,如无声光指示表明验电器有故障,应修理或更换后使用。检测近电报警安全帽时只须将高压信号发生器的电极头靠近报警器按动“工作”开关即可。

1.3.3 毫伏表

毫伏表是一种用来测量正弦电压的交流电压表,主要用于测量毫伏级以下(mV , μV)的交流电压。例如电视机和收音机的天线输入的电压,中放级的电压和这个等级的其他电压。

一、毫伏表工作原理

一般万用表的交流电压挡只能测量 1 V 以上的交流电压,而且测量交流电压的频率一般不超过 1 kHz 。这一节介绍的毫伏表,测量的最小量程是 10 mV ,测量电压的频率可以由 $50\text{ Hz} \sim 100\text{ kHz}$,是测量音频放大电路必备的仪表之一。毫伏表使用三个普通晶体管、一块 $100\text{ }\mu\text{A}$ 表头和一些其他元件,电路简单,制作容易。被测信号电压从接线柱输入到毫伏表中, $\text{R1} \sim \text{R18}$ 组成的衰减器是为适应不同量程而设置的。 10 mV 挡不经衰减直接输入,也就是毫伏表的最高灵敏度是 10 mV 。 R19 是为提高输入阻抗而设置的。 D1 、 D2 是为防止输入电压过大,使 BG1 的 $\text{B} \sim \text{E}$ 结被击穿而设置的。 $\text{BG1} \sim \text{BG3}$ 组成三级阻容耦合音频放大器。由 BG2 集电极经过 C5 、 R29 、 W 到 BG1 发射极引入的负反馈有稳定增益、减小放大器失真的作用,调整 W 可以调整毫伏表的灵敏度。 BG3 发射极的电阻 R33 起到稳定整机增益的作用, C3 是为防止自激而设置的。用 BG3 集电极输出放大的音频信号,经过 C9 隔直流, R35 限流, $\text{D4} \sim \text{D7}$ 整流,变成直流电,推动表头 CB 指针偏转。图 1-2 所示为双通道交流毫伏表。

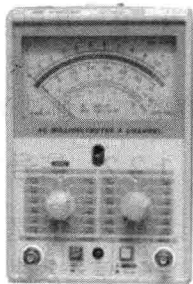


图 1-2 双通道交流毫伏表

二、毫伏表的用途

毫伏表的用途是测量毫伏级以下(mV , μV)的交流电压。例如电视机和收音机的天线