



高等学校信息工程类“十二五”规划教材

电子技术基础实验指导

◎主编 汪 峰

DIANZI JISHU JICHU
SHIYAN ZHIDAO



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校信息工程类“十二五”规划教材

电子技术基础实验指导

主 编	汪 峰	
	张博霞	郭世宁
副主编	陈 辉	汪正进

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书分为四部分：第一部分为模拟电路单元实验；第二部分为数字电路单元实验；第三部分为课程设计；第四部分为附录，介绍了部分常用电子元器件的基本知识。书中实验内容丰富，包含原理性实验、验证性实验、设计性实验以及综合性实验。

本书可作为高等学校电气类、电子类、自动化类和其他相近专业本科生模拟与数字电路课程的实验教材和实习指导，同时也可为本科生参加各类电子制作大赛、毕业设计提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础实验指导/汪峰主编. —西安：西安电子科技大学出版社，2015.7
高等学校信息工程类“十二五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 3755 - 6

I. ①电… II. ①汪… III. ①电子技术—实验—高等学校—教学参考资料 IV. ①TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 140614 号

策 划 马晓娟

责任编辑 马晓娟

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2015年7月第1版 2015年7月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 9.375

字 数 218千字

印 数 1~2000册

定 价 16.00元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 3755 - 6/TN

XDUP 4047001 - 1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜，谨防盗版。

电子技术基础实验是高等学校理工科专业实践教学课程中一门重要的实验课程。这门课程将电子技术基础理论与实际操作有机地联系起来,以求加深学生对所学理论的理解,培养和提高学生的实验能力、实际操作能力、独立分析问题和解决问题的能力,以及创新思维和理论联系实际的能力。

电子技术基础是实践性很强的专业基础课程,而实验教学是教学中不可缺少的重要环节。本书作为相关专业实验和课程设计教材,是根据模拟电子技术、数字电子技术课程的教学内容,针对高等工程技术教育特点,结合编者近几年在实验教学、课程设计、大学生电子设计竞赛等教学实践中的经验编写而完成的。

本书具有以下特点:

(1) 模拟电子技术实验和数字电子技术实验中,都有验证性实验和简单的设计性实验。这样有利于学生实验、分析设计能力的培养。

(2) 为了满足课程设计的要求,每一个设计性实验中,均给出了单元电路的设计方法及参考电路图,供读者设计电路时参考。

全书共分四个部分。第一部分为模拟电路单元实验,精选了13个实验项目,主要介绍了模拟电子电路的基本实验和基本测量方法,通过电子实验设备工作平台,来实现电路的连接及测试。第二部分为数字电路单元实验,精选了10个实验项目,主要介绍了数字电子电路的基本实验和基本测量方法,配以常用数字测量仪器进行练习,让读者逐步对数字器件及其测试方法有一定的了解。第三部分为综合设计性实验,在模拟电路和数字电路单元实验的基础上,各选编了3个综合实验,目的在于培养学生对本门课程多个知识点的综合运用能力,以及对电子电路的设计和调试能力。所选课题,既可供电子技术课程设计阶段使用,也可作为读者课外电子兴趣小组活动的选题。除了以上内容,还适当介绍了电子元器件的性能、选用及检测技术,印刷电路板的制作和焊接知识,电子制作的基本知识、基本方法和基本操作。第四部分为附录部分。附录一为常用的部分芯片管脚图。附录二为万用电表对常用电子元器件的检测方法。附录三为电阻器的标称值及精度色环标志法。

本书的模拟电路单元实验由汪峰编写，数字电路单元实验由汪峰和张博霞编写，课程设计和附录由陈辉、郭世宁和汪正进编写。

参加和支持本书编写的同志还有罗小莹老师和韩建设老师等，他们在本书编写过程中提出了宝贵的意见和建议，在此表示感谢。

由于编者的水平有限，书中难免存在一些缺点，真诚地希望各位兄弟院校的老师 and 读者在使用过程中提出宝贵意见。

编 著 者

2014 年 4 月于西安

目 录

第一部分 模拟电路单元实验

实验一	常用电子仪器的使用	3
实验二	晶体二、三极管的测试	8
实验三	基本放大电路	13
实验四	组合放大电路	18
实验五	负反馈放大电路	21
实验六	放大器的频率特性	26
实验七	场效应管放大电路	29
实验八	互补对称功率放大电路	33
实验九	集成功率放大电路	36
实验十	差动放大电路	40
实验十一	集成运算放大器的线性应用	45
实验十二	RC 桥式正弦波振荡器设计	50
实验十三	晶体管直流稳压电源	53

第二部分 数字电路单元实验

实验一	基本门电路逻辑功能验证	59
实验二	基本门电路功能测试	63
实验三	TTL 与非门参数测试及三态门	66
实验四	组合逻辑电路的设计	70
实验五	触发器	74
实验六	移位寄存器	78
实验七	二进制计数器	84
实验八	集成计数器应用及设计	87
实验九	计数译码和显示	93
实验十	555 定时器及其应用	97

第三部分 课 程 设 计

课程设计一	集成直流稳压电源的设计.....	103
课程设计二	用运算放大器组成万用电表的设计与调试.....	110
课程设计三	有源滤波器的设计.....	115
课程设计四	数字电子钟的设计与调试.....	119
课程设计五	数字式电容测量仪.....	123
课程设计六	多路竞赛抢答器设计.....	128

第四部分 附 录

附录一	部分芯片管脚图.....	135
附录二	万用电表对常用电子元器件的检测方法.....	137
附录三	电阻器的标称值及精度色环标志法.....	141

第一部分

模拟电路单元实验

实验一 常用电子仪器的使用

一、实验目的

- (1) 了解双踪示波器、函数信号发生器、交流毫伏表的原理和主要技术指标。
- (2) 掌握用示波器观察、测量波形的幅值、频率及相位的基本方法。
- (3) 熟悉函数信号发生器输出范围、幅值范围、面板各旋钮的作用及使用方法。
- (4) 掌握交流毫伏表的使用方法。

二、实验仪器设备

双踪示波器 1 台；
函数信号发生器 1 台；
交流毫伏表 1 台；
数字万用表 1 台。

三、实验原理

1. 示波器

示波器是一种用途广泛的电子测量仪器，它可直观地显示随时间变化的电信号图形。如电压(或转换成电压的电流)波形，并可测量电压的幅度、频率、相位等。示波器的特点是直观、灵敏度高、对被测电路的工作状态影响小，因此被广泛地应用于无线电测量领域。

示波器主要有两种工作方式： $y-t$ 工作方式(又称连续工作方式)和 $x-y$ 工作方式(又称水平工作方式)。

(1) 在 $y-t$ 工作方式下，示波器屏幕构成一个 $y-t$ 坐标平面，能够显示时间函数 $y=f(t)$ 的波形，例如电压 $u(t)$ 和电流 $i(t)$ 的波形。

(2) 在 $x-y$ 工作方式下，示波器屏幕构成一个 $x-y$ 坐标平面，屏幕上显示的图形具有函数关系 $y=f(x)$ ，该工作方式可测定元件特性曲线、同频率正弦量的相位差以及二维状态向量的状态轨迹等。

2. 函数信号发生器

函数信号发生器是用来产生各种波形(正弦波、方波、锯齿波、三角波等)的设备,是实验室中常用的交流信号源。

3. 交流毫伏表

交流毫伏表又称为交流电压表,是一种常用的电子测量仪器,主要用来测量正弦交流电压的有效值。该设备内阻大、误差小,量程选择范围很大。在实验中测量正弦信号的幅值时应该尽量选择使用该设备。正弦电压有效值和峰值的关系是: $U_{\text{峰值}} = \sqrt{2}U_{\text{有效值}}$ 。

当测量非正弦交流电压时,读数没有直接的意义。交流毫伏表不能用来测量直流电压。

四、实验内容及步骤

1. 函数信号发生器和交流毫伏表的使用

(1) 图 1-1-1 是用交流毫伏表直接测量函数信号发生器输出电压的连接图。在测量前,交流毫伏表量程应选择最大量程,以避免表头过载而打弯指针。测量时,根据所测信号大小选择合适的量程。在读取数值时应该根据选择的量程确定如何读取。为了减小误差,要求交流毫伏表指针位于满刻度的 $1/3$ 以上。当交流毫伏表接入被测信号电压时,一般应先接地线,再接信号线。

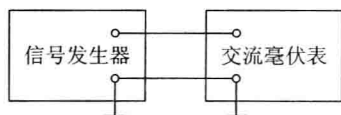


图 1-1-1 用毫伏表测量电压的连接图

(2) 用函数信号发生器的“波形输出”选择正弦信号,“频率范围”选择 1 kHz ,其他旋钮处于常规状态。调节“频率调整”旋钮,使“计数器”显示频率为 1 kHz ;调节“幅度输出”旋钮,使交流毫伏表测量的输出电压有效值为 1 V 。

(3) 记下函数信号发生器输出电压的频率和有效值的大小。

2. 示波器的使用

1) 测量信号电压

调节信号发生器使其分别输出频率为 1 kHz ,电压峰值为 2 V 、 0.1 V 的正弦信号,分别用示波器和交流毫伏表测量其输出电压峰值和有效值。将测量结果记录于表 1-1-1 中。

表 1-1-1 实验数据

电压有效值/ V	电压峰值 u_m/V	示波器 V/div 所在挡位	峰-峰波形高度 /格	峰-峰电压 u_{p-p}/V

2) 测量信号周期

信号发生器输出峰值为 5 V 的正弦信号，改变信号频率，测量信号的周期，将测量结果记入表 1-1-2 中。

表 1-1-2 实验数据

信号频率/Hz	50	250	500	1 k	5 k	25 k	100 k
T/div 所置刻度值							
一周所占水平格数							
信号周期 T/ms							

3) 测量两信号的相位差

测量相位差可用双踪测量法，也可用 $x-y$ 测量法。

(1) 双踪测量法。

双踪测量法的仪器连线如图 1-1-2(a)所示。示波器的显示方式切换开关“MODE”选择“CHOP”。将 $f=1\text{ kHz}$ 、幅度 $u_o=2\text{ V}$ 的正弦信号经过 RC 移相网络获得同频率、不同相位的两路信号分别加到示波器的 CH1 和 CH2 输入端，然后分别调节示波器的 CH1、CH2“位移”旋钮，以及“垂直灵敏度 V/div ”旋钮及其“微调”旋钮，就可以在屏幕上显示出如图 1-1-2(b)所示的两个高度相等的正弦波。为了显示波形稳定，应将“内部触发信号源选择开关”选在 CH2 处，使内触发信号取自 CH2 的输入信号，这样便于比较两信号的相位。

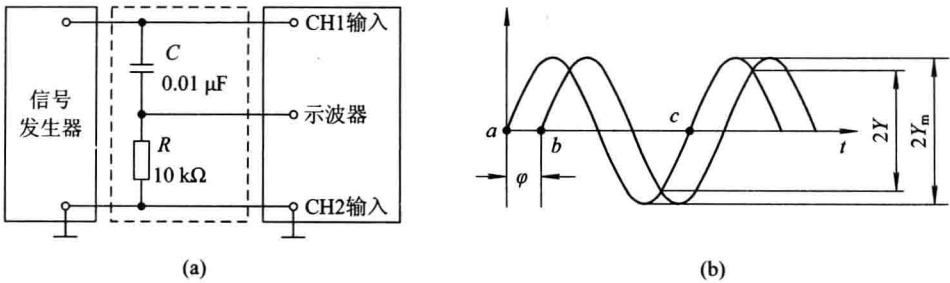


图 1-1-2 双踪测量法测量相位

(a) 连线图；(b) 显示波形

双踪测量法测量信号相位差的方法为：从图 1-1-2(b)显示图形读出 ac 和 ab 的长度（格数），根据 $ac : 360^\circ = ab : \varphi$ ，可求得两信号的相位差为

$$\varphi = \frac{ab}{ac} \times 360^\circ$$

将测量结果记入表 1-1-3 中。

表 1-1-3 实验数据

信号周期长度(ac 格数)	信号相位差长度(ab 格数)	相位差/ $(^\circ)$

由显示图形读出 Y 和 Y_m 的格数，则两信号的相位差为

$$\varphi = 2\arctan \sqrt{\left(\frac{Y_m}{Y}\right)^2 - 1}$$

将测量结果记录于表 1-1-4 中，并画出波形图，分析测量值与理论值的误差原因。

表 1-1-4 实验数据

波形高度 Y /格数	两交点间垂直距离 Y /格数	相位差/ $^\circ$

(2) $x-y$ 测量法(选做)。

将示波器“扫描速度开关”调至“ $x-y$ ”位置，即可进行测量，这时示波器成为 $x-y$ 工作方式，CH1 为 x 信号通道，CH2 为 y 信号通道。 $x-y$ 测量法的连接如图 1-1-2(a)所示，输入信号仍为 $f=1\text{ kHz}$ 、 $u_o=2\text{ V}$ 的正弦信号。

经过 RC 移相网络获得同频不同相的两路信号，一路加入到示波器 CH1 的输入端，一路加入到示波器 CH2 的输入端。调节“位移”、“垂直轴电压灵敏度”旋钮，使示波器荧光屏上显示出图 1-1-3 所示的椭圆图形。由图形直接读出 Y 和 Y_m 所占的格数，则两信号的相位差为

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{Y}{Y_m}\right)$$

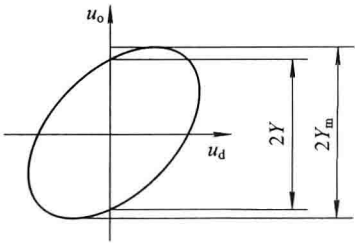


图 1-1-3 用椭圆载距法测量相位差时显示的图形

将测量结果记录于表 1-1-5 中。

表 1-1-5 实验数据

椭圆高度 Y_m /格数	在 y 轴的截距 Y /格数	相位差/ $^\circ$

注意：

- ① 函数信号的输出端不能短接。
- ② 注意仪器要“共地”连接。

五、实验报告及要求

- (1) 根据实验记录,列表整理实验数据及描绘移相器电路输入、输出波形。
- (2) 总结用示波器测量信号电压的幅值、频率和两个同频率信号相位差的步骤和方法。
- (3) 根据实验体会,总结示波器在调节波形、周期和波形稳定时,各自应调节哪些旋钮。

六、问题及思考题

- (1) 用示波器观察信号发生器的波形时,测试线上的红夹子和黑夹子应如何连接?
- (2) 交流毫伏表测量的电压是正弦波有效值还是峰值?

实验二 晶体二、三极管的测试

一、实验目的

- (1) 学习和掌握使用万用表测量晶体二极管和三极管的方法。
- (2) 通过万用表测量二极管的正向电阻，对二极管 PN 结极性晶体管材料作出判断。
- (3) 测量三极管，判断 b、c、e 各极，判断三极管的材料，并测量穿透电流的大小。
- (4) 用晶体管图示仪观测普通二极管和三极管的特性曲线。

二、实验仪器设备

晶体管图示仪 1 台；
万用表 1 台；
二极管、三极管若干个。

三、实验原理

1. 万用表测量原理

用万用表测量二极管、三极管，方法简单，无需复杂的专用仪表，就能较为迅速地确定被测管的类型、管脚极性，并判断它的好坏。

用万用表测试二极管和三极管时，使用万用表的欧姆挡。在测试时，必须注意万用表欧姆挡的以下几个特点：

(1) 万用表表面欧姆挡的刻度尺的中央刻度值称为万用表欧姆挡的“中值电阻”，它即为万用表欧姆挡的等效内阻。

(2) 一般万用表以 $R \times 1k$ 挡作为基本挡。这时表内电源(电池)为 1.5 V，为满足测量小电阻的需要，在基本挡的基础上增设电阻 r 。这样，使流经表头的电流值所表征的被测电阻值变小了，或者说仪表的等效内阻(中值电阻)变小了，能够输出的测量电流变大了。一般万用表 $R \times 100$ ， $R \times 10$ ， $R \times 1$ 挡级的中值电阻较之基本挡依次下降为其 $1/10$ 。为满足测量大电阻的需要，一般采用提高电源电压 E ，同时加大 r 值的方法，因为 E 提高后，更大的 E 能使万用表的表针有足够的偏转，一般万用表 $R \times 10k$ 挡的中值电阻较基本挡电阻

高 10 倍, 其 E 多采用 9 V 或 15 V。

2. 晶体二极管的测试

1) 判别二极管的极性

把万用表调到欧姆挡, 若将黑表笔接到二极管的阳极, 红表笔接到二极管的阴极, 则二极管处于正向偏置, 呈低阻, 表头偏转大; 反之, 则二极管处于反向偏置, 呈高阻, 表头偏转小。根据两次测得的阻值大小, 可以判别二极管极性。

注意: 万用表电阻挡不同, 其等效内阻也各不相同, 测试时一般先用 $R \times 1k$ 挡, 这时, 万用表等效内阻大, 可避免损坏二极管; 不宜用 $R \times 10k$ 挡, 因为此挡电源电压较高, 易损坏管子。

2) 判别二极管的好坏

用万用表欧姆挡测二极管反向电阻时, 若电阻在 $200\text{ k}\Omega$ 以上, 这时可以认为这只二极管基本上是好的。

若正反向测量时, 二极管所呈现的电阻都很小, 则这只二极管被击穿通路(坏)。

若正反向测量时, 二极管所呈现的电阻都很大, 则这只二极管是断路的(坏)。

3) 判别二极管的晶体材料

若正向测量二极管时, 电表指示在满刻度的 90% 左右(这时可参考 500 型万用表第二条标尺), 则这只二极管是一只锗管。

若正向测量二极管时, 电表指示在满刻度的 60% 左右, 则这只二极管是一只硅管。

4) 区分普通二极管和稳压管

大部分二极管反向击穿电压都在 15 V 以上。所以一般情况下, 用 $R \times 1k$ 挡测量二极管反向电阻时, 其阻值在 $200\text{ k}\Omega$ 甚至在数兆欧姆以上。然而用 $R \times 10k$ 挡测量时, 其反向电阻仍然很大。稳压管就不同, 用 $R \times 1k$ 挡测量时, 阻值很大, 而用 $R \times 10k$ 挡测量时, 阻值变得很小。原因是当万用表指针打到 $R \times 10k$ 挡时, 其内电源除了原来的一只 1.5 V 电池以外, 还串联了另一只 9 V 电池。其电压达到 10.5 V, 反向测量二极管时, 此电压不足以击穿普通二极管, 却能击穿 10 V 以下的稳压管, 当稳压管被击穿时其阻值将变得很小。由此可以区分普通二极管和稳压管。

3. 晶体三极管的测试

1) 判定基极和管子类型(用 $R \times 1k$ 挡)

三极管 b 到 c 和 b 到 e 分别是两个 PN 结, 如图 1-2-1 所示。首先将任一表笔接在假定的基极上(可以任意假定), 另一支表笔分别测试其他两支管脚。若测试得到两次测量的电阻都大(或者都小), 这时可将红、黑表笔互换, 再重复以上测量。若测得结果, 电阻变得很小(或很大), 则假定的基极就是正确的。如果假定的基极对其他两支管脚的电阻一大一小, 则应选择另外的管脚作为假定基极, 重复以上测量, 直至找出基极为止。

假若三个管脚都不能确认为基极, 则被测管不是一只晶体三极管, 或是一只坏管。

当基极确定后, 假若黑表笔接基极, 红表笔分别接 c 极和 e 极, 所测电阻很小, 则被测管为 NPN 管; 假若红表笔接 b 极, 黑表笔分别接 c 极和 e 极, 所测电阻很小, 则被测管为 PNP 管。

可把晶体三极管结构看作是两个背靠背的 PN 结，如图 1-2-1 所示。

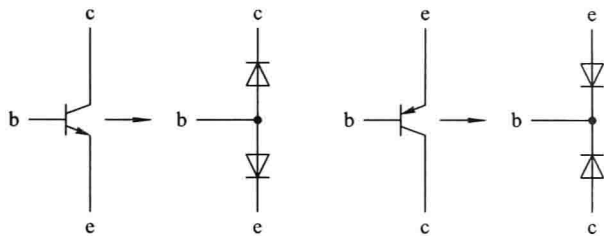


图 1-2-1 把晶体三极管看作两个背靠背的 PN 结

2) 判断发射极 e 和集电极 c

若已确定三极管为 NPN 型，这时，把黑表笔接假定的集电极“c”，红表笔接假定的发射极“e”，并用手捏住 b、c 二极（但不能使 b、c 二极接触）。通过人体，相当于在 c、b 间接入偏置电阻，读出此时 c~e 间电阻值；然后，将两表笔对调重测，并与前一次读数相比较。若第一次测量阻值小，则原来的假设成立。即黑表笔接的是集电极“c”，红表笔对应为发射极“e”，因为 c、e 间电阻值较小，说明通过万用表的电流较大，偏置正常。

3) 检查穿透电流 I_{CEO} 的大小

检查方法是，将基极开路，测量 c、e 间电阻，黑表笔接 c 极，红表笔接 e 极（PNP 管相反），如阻值较高，（几十千欧以上），则说明穿透电流较小，管子能正常工作；反之，若 c、e 间电阻小，则穿透电流大，受温度影响大，工作不稳定。

4. 用数字万用表测量二、三极管

1) 用数字万用表检测二极管

在用数字万用表测量二极管时，红表笔接二极管的正极，黑表笔接二极管的负极，此时测得的阻值才是二极管的正向导通阻值，这与指针式万用表的指法正好相反，但由于电阻挡的测试电流很小，所以不适宜检测二极管。

若用数字万用表的二极管挡检测二极管则更方便。将数字万用表置在二极管挡，然后将二极管的负极与数字万用表的黑表笔相接，正极与红表笔相接，此时显示屏上即显示二极管正向压降值。不同材料的二极管，其正向压降值不同：硅二极管为 $0.550\text{ V} \sim 0.700\text{ V}$ ，锗二极管为 $0.150\text{ V} \sim 0.300\text{ V}$ 。若显示屏显示“0000”，说明管子已短路；若显示“1”，说明二极管内部开路或处于反向状态，此时可对调表笔再测。

2) 用数字万用表检测三极管

利用数字万用表不仅能判定三极管电极，测量管子的共发射极电流放大系数 h_{FE} ，还可鉴别硅管与锗管。数字万用表的电阻挡不适宜测量三极管，应是用二极管挡或者 h_{FE} 挡进行测试。

将数字万用表拨至二极管挡，红表笔固定任接某个引脚，用黑表笔依次接另外两个引脚，如果两次显示值均小于 1 V ，则该管子为 NPN 管，那么红表笔所接的引脚就是基极。如果在两次测试中，一次显示值小于 1 V ，另一次显示溢出符号“1”，则表明红表笔接的引脚不是基极，此时应改换其他引脚重新测量，直到找出基极为止。