

应用型本科高校系列教材·电气信息类

电子技术 基础实验

第2版

吕承启 林其斌 ◎ 主编

中国科学技术大学出版社



应用型本科高校系列教材 · 电气信息类



电子技术 基础实验

第2版

吕承启 林其斌 主编

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书参照原国家教委颁布的《高等工业学校电子技术基础课程教学基本要求》和《高等工程专科电子技术基础课程教学基本要求》而编写,再版加入了近年来在电子技术基础实验教学改革中的部分新成果。

本书包括模拟电路实验和数字电路实验两部分,每个实验都附有实验原理、参考电路和思考题。本书覆盖面较广,既有验证性实验也有设计性或综合性实验,供教师选用。同时,考虑到电子仿真实验技术在电子技术基础实验中的不断引进,我们在实验项目中编入了相关内容,并在附录中介绍了部分软件的使用说明。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术基础实验/吕承启,林其斌主编.—2版.—合肥:中国科学技术大学出版社,2014.8

ISBN 978-7-312-03586-9

I. 电… II. ①吕…②林… III. 电子技术—实验—高等学校—教材
IV. TN-33

中国版本图书馆(CIP)数据核字(2014)第186500号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路96号,邮编:230026
<http://press.ustc.edu.cn>
印刷 安徽省瑞隆印务有限公司
发行 中国科学技术大学出版社
经销 全国新华书店
开本 710 mm×960 mm 1/16
印张 13.25
字数 266 千
版次 2014年8月第2版
印次 2014年8月第4次印刷
定价 25.00元

第2版前言

本书自2008年出版以来,先后印刷多次,颇受师生青睐。同行们在使用过程中也提出了许多宝贵意见和建议,在此表示衷心的感谢!

这次再版除了对原书中电路、图表和文字的错误作了修订外,又根据教学实践增加和改写了部分相关内容。

本书内容包括模拟电路实验和数字电路实验两部分,林其斌编写了模拟电路实验部分,吕承启编写了数字电路实验部分,第2版由吕承启老师对全书进行统稿。由于我们水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2014年6月

第1版前言

随着电子技术应用领域的不断扩大,《电子技术基础》几乎成为大中专院校理工科学生的一门必修课程。鉴于该课程是一门实践性很强的基础课程,实验环节显得尤为重要,为此我们编写了这本实用性较强的实验教材,希望能为该门课程的实验教学提供一些帮助。

编写过程中,我们参照了原国家教委颁布的《高等工业学校电子技术基础课程教学基本要求》和《高等工程专科电子技术基础课程教学基本要求》,并吸取了近年来该门课程教学改革的部分新成果。

本书包括模拟电路实验和数字电路实验两部分,覆盖面较广,既有验证性实验也有设计性或综合性实验,供教师选用。同时,考虑到电子设计自动化(EDA)技术在该门课程中的不断渗透,我们在实验项目中编入了相关内容,并在附录中介绍了部分软件的使用说明。

本书由吕承启、林其斌主编,林其斌编写了模拟电路部分,其余各部分由吕承启编写,姚有峰主审并对初稿进行了认真审阅,提出了许多宝贵的意见和修改建议,在此表示衷心的感谢。

由于水平有限,加之时间仓促,书中定有许多错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2008年6月

目 录

第 2 版前言	(I)
第 1 版前言	(III)
第一部分 模拟电路实验	(1)
实验一 常用电子仪器的使用	(1)
实验二 晶体管特性参数的测试	(8)
实验三 单管共射放大电路	(12)
实验四 单管共射放大电路(仿真)	(20)
实验五 场效应管放大器	(22)
实验六 射极跟随器	(27)
实验七 负反馈放大电路	(32)
实验八 差动式放大电路	(38)
实验九 集成运算放大器的参数测试	(42)
实验十 基本运算电路	(50)
实验十一 有源滤波电路	(56)
实验十二 集成运放构成波形产生电路的研究	(60)
实验十三 RC 正弦波振荡器	(64)
实验十四 LC 正弦波振荡器	(68)
实验十五 OTL 功率放大器	(72)
实验十六 集成稳压器	(79)
实验十七 波形发生器设计	(83)

实验十八 运算放大器应用(一)——温度监测及控制电路	(87)
实验十九 运算放大器应用(二)——万用表的设计与调试	(93)
 第二部分 数字电路实验	 (98)
实验一 晶体管开关特性、限幅器与钳位器	(98)
实验二 基本门电路的逻辑功能和参数测试	(103)
实验三 用SSI设计组合电路	(109)
实验四 MSI组合功能件的应用	(112)
实验五 译码与显示电路	(118)
实验六 触发器 RS 、 D 、 JK	(125)
实验七 集成计数器及其应用	(133)
实验八 脉冲波形产生实验	(139)
实验九 移位寄存器及其应用	(146)
实验十 数/模、模/数转换的应用	(153)
实验十一 编码器及其应用(仿真)	(160)
实验十二 数字钟的设计与调试(仿真)	(162)
实验十三 智力竞赛抢答装置	(163)
实验十四 电子秒表	(165)
实验十五 数字频率计的设计和实验(设计举例)	(170)
 附录一 常用电子仪器	 (176)
附录二 集成电路命名规则	(190)
附录三 部分集成电路引脚排列	(195)
附录四 EWB软件简介	(200)

第一部分 模拟电路实验

实验一 常用电子仪器的使用

一、实验目的

- (1) 学习电子技术实验中常用的电子仪器——示波器、函数信号发生器、交流毫伏表、万用表等的主要技术指标、性能及正确使用方法。
- (2) 初步掌握用双踪示波器观察正弦信号波形和读取波形参数的方法。

二、实验仪器与设备

序号	名称	数量	备注	序号	名称	数量	备注
1	示波器	1		3	交流毫伏表	1	
2	函数信号发生器	1		4	万用表	1	

三、实验原理

电子技术实验系统通常如图 1.1.1 所示,是由被测网络、直流稳压电源、信号源、示波器、晶体管毫伏表以及万用表等电子仪器组成。在基本的正弦信号测试系

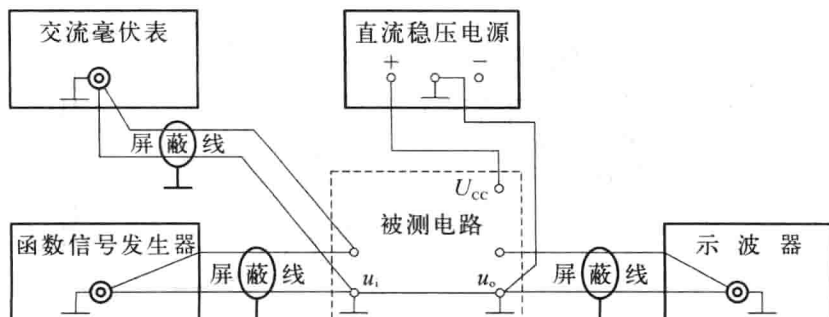


图 1.1.1 基本电子技术实验系统

统中,信号源选用多功能函数发生器,也可以选用其他种类的低频信号发生器。示波器是常用的基本测试仪器,在模拟电路实验中通常选用的示波器是典型的20 MHz通用双踪示波器。

1. 示波器

示波器是一种用来观察各种周期性变化的电压和电流波形的电子测量仪器,它具有输入阻抗高、频率响应好、灵敏度高等优点,可用来测量电压或电流的幅度、频率、相位、功率等。因此,用途很广泛。

示波器的种类很多,但无论何种类型都包含有如图 1.1.2 所示的六大部分:Y轴放大器、X轴放大器、触发同步、锯齿波扫描发生器、显像管(CRT)和电源。

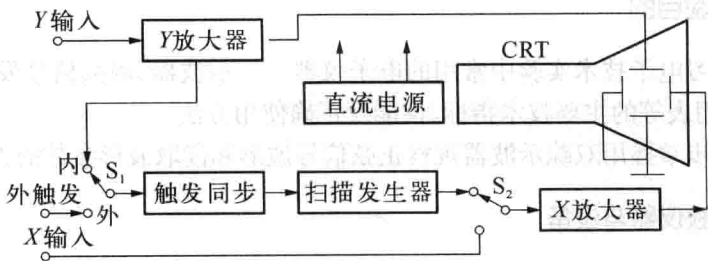


图 1.1.2 电子示波器的基本组成

(1) 电子示波管。

如图 1.1.3 所示,它主要由电子枪、偏转系统、荧光屏三部分组成。电子枪包括灯丝、阴极、栅极和阳极。偏转系统包括Y轴偏转板和X轴偏转板两部分,它们能将电子枪发射出来的电子束,按照加于偏转板上的电压信号作出相应的偏移。荧光屏是位于示波管顶端涂有荧光物质的透明玻璃屏,当电子枪发射出来的电子束轰击荧光屏时,荧光屏被击中的点上会发光,显示出曲线或波形。

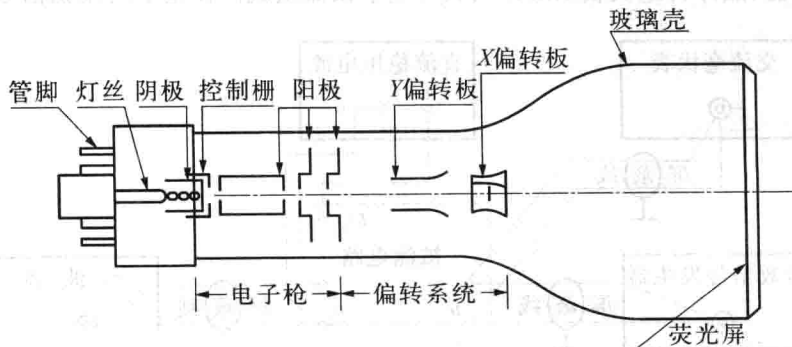


图 1.1.3 示波管结构图

(2) X 轴(水平)和 Y 轴(垂直)放大器部分。

示波器的 X 轴放大器部分主要是对锯齿波信号进行放大产生扫描电压,使电子在水平方向上偏转,形成时间轴; Y 轴放大器部分用来处理被测信号,在荧光屏上还原出被测信号的电压波形。

(3) 触发同步部分。

为了使波形稳定地显示在示波管的荧光屏上,扫描信号锯齿波的频率与被测信号的频率必须同步,也就是说使扫描电压的周期 T_X 与被测信号的周期 T_Y 必须成整数倍关系,即 $T_X = nT_Y$ (n 为正整数)。因为,若 n 不为正整数,相对于被测信号来说,每次扫描的起始点就不同,其结果是造成波形不断地发生水平移动而不稳定,如图 1.1.4 所示。

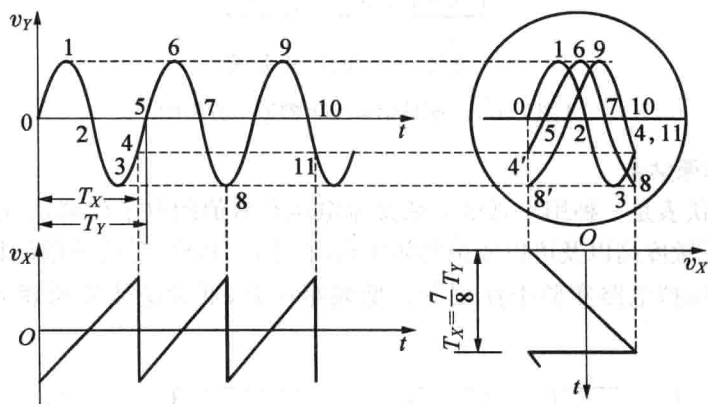


图 1.1.4 $T_X = \frac{7}{8} T_Y$ 时荧光屏上显示的波形

由此可见,为了在荧光屏上获得稳定的图像,就必须保证每次扫描的起始点都对应信号电压 T_Y 的相同相位点上,这种过程称为“同步”。

示波器中,通常利用被测信号 V_Y (或用与 V_Y 相关的其他信号)去控制扫描电压发生器的振荡周期,以迫使 $T_X = nT_Y$ 。被测信号可以取之仪器内部 Y 轴通道(称为内触发),也可以取之仪器外部(称为外触发)。

(4) 扫描发生器。

扫描发生器电路的作用,主要是产生合乎要求的锯齿波电压。

(5) 电源。

提供各部分电路所需要的电压。

2. 函数信号发生器

函数信号发生器是一种能输出正弦波、方波、三角波等多种信号波形的信号发生器,函数信号发生器的基本原理方框图如图 1.1.5 所示。由图可以看出函数信

号发生器的工作过程是:双稳态触发器电路产生方波信号,用积分电路将方波信号转变为三角波信号,用函数变换网络将三角波信号变换为正弦波信号。各种信号通过各自独立的输出电路同时输出,或通过同一个输出电路,用开关进行转换。

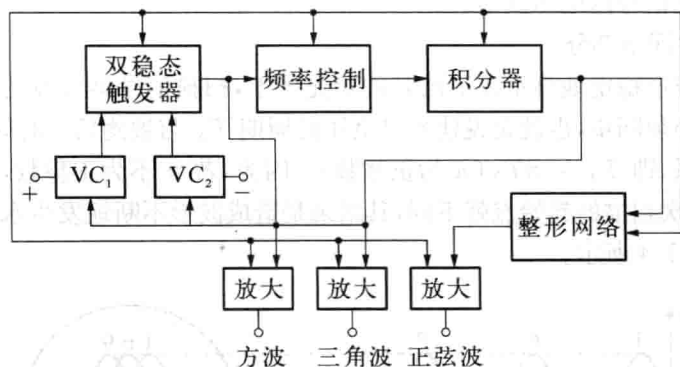


图 1.1.5 函数信号发生器原理方框图

3. 交流毫伏表

交流毫伏表是一种用于测量正弦交流电压有效值的电子仪器,它的优点是输入阻抗高、灵敏度高以及可以使用的频率高,在生产、科研、教育等部门得到了广泛的应用。在模拟电路实验中使用的是低频毫伏表,低频毫伏表原理方框图如图 1.1.6 所示。

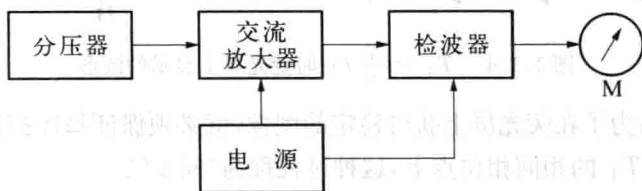


图 1.1.6 低频毫伏表原理方框图

分压器用来扩大被测电压的量程,它分取被测电压的一部分或全部,送到具有反馈的二级或三级交流放大器进行放大,以提高测量的灵敏度。放大后的交流信号输至检波器,将交流信号电压进行峰值检波。检波后直流分量用磁电式电表来指示,电表的刻度换算为交流有效值。

四、实验内容及步骤

1. 用校正信号对示波器进行自检

(1) 扫描基线调节。

将示波器的显示方式开关置于“单踪”显示(“ Y_1 ”或“ Y_2 ”),输入耦合方式开关置于“GND”,触发方式开关置于“自动”。开启电源开关后,调节“辉度”、“聚焦”、“辅助聚焦”等旋钮,使荧光屏上显示一条细长且亮度适中的扫描基线。然后调节“ X 轴位移”(↔)和“ Y 轴位移”(↑↓)旋钮,使扫描线位于屏幕中央,并且能上下左右移动自如。

(2) 测试“校正信号”波形的幅度、频率。

将示波器的“校正信号”通过电缆线引入选定的“ Y 通道”(“ Y_1 ”或“ Y_2 ”),将 Y 轴输入耦合方式开关置于“AC”或“DC”,触发源选择开关置于“内”,内触发源选择开关置于“ Y_1 ”或“ Y_2 ”。调节 X 轴“扫描速率”旋钮(t/div)和 Y 轴“输入灵敏度”旋钮(V/div),使示波器显示屏上显示出一个或数个周期稳定的方波波形。

a. 校准“校正信号”幅度

将“ Y 轴灵敏度微调”旋钮置于“校准”位置,“ Y 轴灵敏度”旋钮置于适当位置,读取校正信号幅度,记入表 1.1.1。

表 1.1.1 校正信号测量数据

	标准值	实测值
幅度 $U_{p-p}(V)$		
频率 $f(\text{kHz})$		

b. 校准“校正信号”频率

将“扫速微调”旋钮置于“校准”位置,“扫速”旋钮置于适当位置,读取校正信号周期,记入表 1.1.1。

c. 测量“校正信号”的上升时间

调节“ Y 轴灵敏度”及微调旋钮,并移动波形,使方波波形在垂直方向上正好占据中心轴上,且上、下对称,便于阅读。通过扫速开关逐级提高扫描速度,使波形在 X 轴方向扩展(必要时可以利用“扫速扩展”开关将波形再扩展 10 倍),并同时调节触发电平旋钮,从显示屏上可清楚地读出上升时间,记入表 1.1.1。

2. 用示波器和交流毫伏表测量信号参数

调节函数信号发生器有关旋钮,使输出频率分别为 100 Hz、1 kHz、10 kHz、100 kHz,有效值均为 1 V(毫伏表测量值)的正弦波信号。

调节示波器“扫速”及“ Y 轴灵敏度”等旋钮,将测量信号源输出电压频率及峰—峰值,记入表 1.1.2。

表 1.1.2 测量信号参数

信号源 频率	示波器测量值		信号源电压 毫伏表读数 (V)	示波器测量值	
	周期(ms)	频率(Hz)		峰—峰值(V)	有效值(V)
100 Hz					
1 kHz					
10 kHz					
100 kHz					

3. 测量两波形间相位差

(1) 观察“交替”与“断续”两种显示方式的特点。

Y_1 、 Y_2 均不加输入信号,输入耦合方式置于“GND”,扫速旋钮置于扫速较低挡位(如 0.5 s/div 挡)和扫速较高挡位(如 5 μ s/div 挡),把显示方式开关分别放在“交替”和“断续”位置,观察两条扫描基线的显示特点。

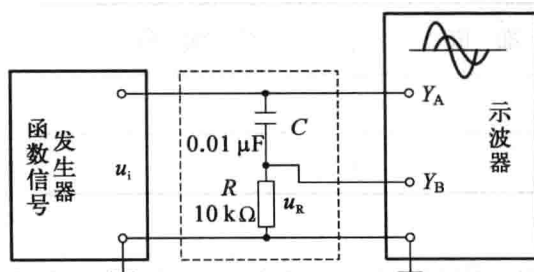


图 1.1.7 两波形间相位差测量电路

(2) 测量两波形间相位差。

① 按图 1.1.7 连接实验电路,将函数信号发生器的输出调至频率为 1 kHz,幅值为 2 V 的正弦波,经 RC 移相网络获得频率相同但相位不同的两路信号 u_i 和 u_R ,分别加到双踪示波器的 Y_1 和 Y_2 输入端。

② 把显示方式开关置于“交替”或“断续”挡位,将 Y_1 和 Y_2 输入耦合方式开关置于“ $\perp$ ”挡位,调节 Y_1 、 Y_2 的($\updownarrow$)移位旋钮,使两条扫描基线重合。

③ 将 Y_1 、 Y_2 输入耦合方式开关置于“AC”挡位,调节触发电平、扫速旋钮及 Y_1 、 Y_2 灵敏度旋钮位置,使在荧屏上显示出易于观察的两个相位不同的正弦波形 u_i 及 u_R ,如图 1.1.8 所示。根据两波形在水平方向差距 X ,及信号周期 X_T ,则可求得两波形相位差。

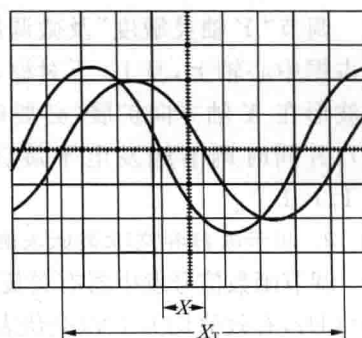


图 1.1.8 双踪示波器显示两相位不同的正弦波

$$\theta = \frac{X(\text{div})}{X_T(\text{div})} \times 360^\circ$$

式中, X_T ——一周期所占格数;

X ——两波形在 X 轴方向差距格数。

两波形相位差数据记入表 1.1.3。

表 1.1.3 相位差测量数据

一周期格数	两波形 X 轴 差距格数	相 位 差	
		实 测 值	计 算 值
$X_T =$	$X =$	$\theta =$	$\theta =$

为读数和计算方便,可适当调节扫速及微调旋钮,使波形一周期占整数格。

五、实验报告要求

- (1) 认真记录数据,并绘出有关波形。
- (2) 根据测量数据和波形,分析测试结果,总结相关内容。
- (3) 简述用示波器观察波形时,怎样操作才能最快? 哪些是关键步骤?

六、实验思考题

- (1) 用示波器观察信号波形时,要达到下列要求,应调节哪些旋钮?

① 波形清晰;② 波形稳定;③ 改变示波器屏幕上可视波形的周期数;④ 改变示波器屏幕上可视波形的幅度。

- (2) 说明用示波器观察电压时,若荧光屏上分别出现如图 1.1.9 所示的波形是什么原因? 应调节哪些旋钮(可在实验中验证)?

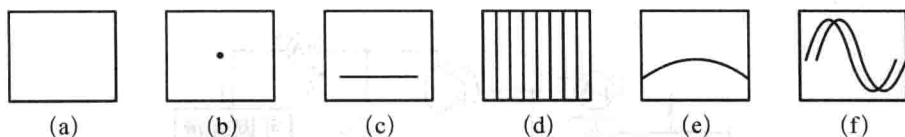


图 1.1.9 示波器荧光屏可能出现的波形

- (3) 函数信号发生器有哪几种输出波形? 它的输出端能否短接,如用屏蔽线作为输出引线,则屏蔽层一端应该接在哪个接线柱上?

- (4) 交流毫伏表是用来测量正弦波电压还是非正弦波电压? 它的表头指示值是被测信号的什么数值? 它是否可以用来测量直流电压的大小?

实验二 晶体管特性参数的测试

一、实验目的

- (1) 加深对三极管的输入特性、输出特性曲线的理解和掌握。
- (2) 学会逐点测绘晶体三极管共发射极输入特性曲线族和输出特性曲线族的方法。

二、实验仪器与设备

序号	名称	数量	备注
1	模拟电路实验装置	1	
2	万用表	4	

三、实验原理及参考电路

直接利用直流电源和直流电表对晶体三极管的输入和输出特性曲线进行逐点测量,这种方法称为逐点测量法。采用逐点测量法,必须根据晶体管特性曲线的特点测量选用合适的直流供电电源。图 1.2.1 是晶体三极管输入输出特性曲线测试原理图。图中输入端用一个可调直流恒流源提供基极电流,这样可以平稳地调节基极电流 I_B , 同时当集电极电压 U_{CE} 变化时(特别在饱和区),能够保持基极电流 I_B 不变。同样理由,集电极电压 U_{CE} 用一个可调直流恒压源供电。在测量特性曲线时,在 I_B 变化引起集电极电流 i_c 变化的情况下, U_{CE} 能够维持恒定;同时,调节直流恒压源可以平稳地改变 U_{CE} 的数值,以便于测量。

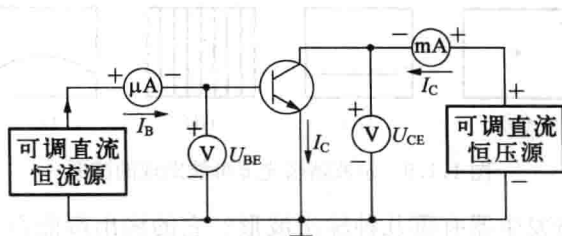


图 1.2.1 晶体三极管特性曲线测试原理图

1. 测绘输入特性曲线族

共发射极输入特性曲线表示以集电极电压 U_{CE} 作为参变量,输入电压 U_{BE} 与

输入电流 I_B 之间的关系,即

$$U_{BE} = f_{1e}(I_B) \mid U_{CE} = \text{常数}$$

晶体管的共发射极输入特性曲线族如图 1.2.2 所示。NPN 型三极管的测试线路如图 1.2.4 所示。图中,为了近似实现可调直流恒压源,在输入端由可调直流电压源(由 E_B 和 R_{w1} 组成)串接 $51 \text{ k}\Omega$ 的大阻值电阻 R 加到三极管的基极上。为了便于调节集电极电压 U_{CE} 在输出端,可调直流恒压源的两端并接一个电位器 R_{w2} 。

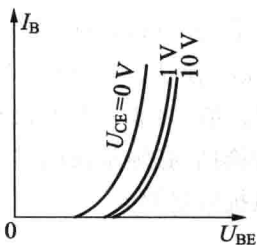


图 1.2.2 晶体管的共发射极输入特性曲线族

2. 测绘输出特性曲线族

共发射极输出特性曲线表示以输入电流 I_B 作为参变量输出电流 I_C 与输出电压 U_{CE} 的关系,即

$$I_C = f_{2e}(U_{CE}) \mid I_B = \text{常数}$$

晶体三极管的共发射极输出特性曲线族如图 1.2.3 所示。图中,为了将截止区表示出来,故意将 $I_B = 0$ 的输出特性曲线加以抬高(截止区加以放大)。

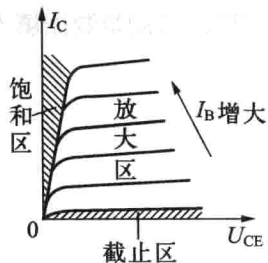


图 1.2.3 晶体三极管的共发射极输出特性曲线族

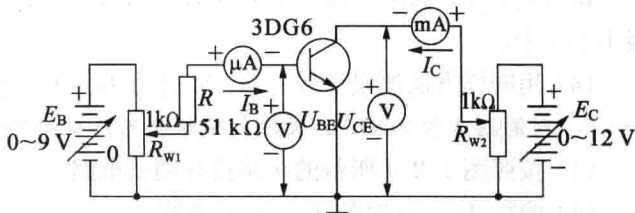


图 1.2.4 NPN 型三极管的输出、输入特性曲线的测试电路

由图 1.2.3 可见,三极管的输出特性曲线族由三个工作区域组成,即饱和区、放大区和截止区。进行线性放大时,晶体管应工作在放大区。NPN 型三极管的输出特性曲线的测试线路如图 1.2.4 所示,它的工作原理与图 1.2.1 相同,这里不再赘述。

四、实验内容和步骤

1. 测量晶体管 3DG6 的输入特性曲线族

- (1) 按照图 1.2.4 接好测试电路。
- (2) 测量 $u_{CE} = 0 \text{ V}$ 时的 $I_B - U_{BE}$ 曲线。

断开 E_C , 直接将晶体管 C、E 之间短接,使 $U_{CE} = 0$ 。用电压表测量 U_{BE} 值,电

压表的“测量选择”旋钮置于 V, “测量范围”旋钮置于 1 V 挡。调节 E_B 及电位器 R_{w1} , 使 I_B 等于表 2.1.1 所示的各个数值(由 μA 表读出), 由电压表读出相应的 U_{BE} 值, 并填入表 1.2.1。注意, 测量前电压表应先调零, 测量过程中如果电压表量程换挡, 必须重新调零。为了减小通过电压表的电流对读数的影响, 电压表的输入阻抗应足够大。

表 1.2.1 三极管 3DG6 输入特性测量数据

$I_B (\mu A) \backslash U_{BE} (V)$	0	0.2	0.4	0.5	0.55	0.6	0.65	0.7	0.75
U_{CE}									
0									
1									
10									

(3) 测量 $U_{CE} = 1 V$ 时的 $I_B - U_{BE}$ 曲线。

调节电源 E_C 和电位器 R_{w2} 使 $U_{BE} = 1 V$, 重复上面的测试, 将测量数据填入表 1.2.1 中。

(4) 用同样方法测量 $U_{CE} = 10 V$ 时的 $I_B - U_{BE}$ 曲线。

2. 测量晶体管 3DG6 的共发射极输出特性曲线族

(1) 按照图 1.2.4 所示的线路接好测试电路。

(2) 测量 $I_B = 0$ 时的 $I_C - U_{CE}$ 曲线。

将基极 B 开路, 使 $I_B = 0$, 然后调节稳压电源 E_C 和电位器 R_{w2} , 使 U_{CE} 在 0~10 V 之间变化。由直流毫安表读出相对应的 I_C 值, 并填入表 1.2.2 中。

表 1.2.2 三极管 3DG6 输出特性测量数据

$I_C (mA) \backslash U_{CE} (V)$	0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	3.0	5.0	10
$I_B (\mu A)$										
0										
20										
40										
60										

(3) 调节电源 E_B 和电位器 R_{w1} 使 I_B 分别为 0、20、40、60 μA , 重复上面的测