



高职高专规划教材

侯 睿 朱漱玉 编



电子技术 实训教程

西北工业大学出版社

／ 高职高专规划教材

电子技术实训教程

侯 睿 朱淑玉 编

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书分为模拟部分与数字部分两部分,每部分又各包含实验教程与实训教程。内容包括:常用电子仪器的使用,模拟电路基础实验,模拟电路设计实训,数字电路基础实验,数字电路设计实训等。本书设置了较多的实验课题,包括很多实验项目,其内容和难易程度基本满足了不同层次的教学要求,任课教师可以根据实际情况灵活运用。为了适应不同类型实验课程的需求,每个实验项目都附有实验原理、参考实验电路等内容。

本书可作为高等院校电子、电气、信息类及相关专业的专科实验教材,还可供从事电子技术研究和开发的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术实训教程/侯睿,朱漱玉编. —西安:西北工业大学出版社,2007.8
ISBN 978-7-5612-2287-4

I. 电… II. ①侯… ②朱… III. 电子技术—教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 132925 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电话:(029)88493844 88491757

网址:www.nwpup.com

印刷者:陕西向阳印务有限公司

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:10.625

字数:256 千字

版次:2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

定价:16.00 元

前 言

电子技术是高等工科院校实践性很强的技术基础课程。为了培养高素质的专业技术人才,在理论教学的同时,必须十分重视和加强实验教学环节。如何在实验教学过程中培养学生的实践能力、独立分析问题和解决问题的能力、创新思维能力和理论联系实际的能力及书面表达能力,是高等院校着力探索与实践的重大课题。

本书内容分为模拟部分与数字部分,各部分又分为实验教程与实训教程两部分。这样的结构安排较好地满足了实践教学基本知识和基本技能训练的需要。本实训教程是配合实验装置而编写的。

全书以电子技术的基础实验和设计实验为主要内容,介绍了模拟电子技术实验、数字电子技术实验的设计方法,还包含了多个电子技术课程设计的课题内容。此外,书中还阐明了一些常用电子仪器的工作原理、性能指标、使用方法及注意事项,并附有实验台操作使用说明。

本书可作为高等院校电子、电气、信息类及相关专业的专科实验教材,还可供从事电子技术研究和开发的工程技术人员参考。

候睿编写了数字电路部分,并负责全书的体系结构和审稿工作,朱漱玉编写了模拟电路部分。本实训教程在编写过程中得到了西安航空技术高等专科学校电气工程系、实验实训中心和教务处的大力支持,在此,谨向他们致以最诚挚的谢意。

由于编者水平所限,书中缺点、错误在所难免,恳请读者批评、指正。

编者

2007年6月

目 录

模拟部分

实验一	常用电子仪器的使用	3
实验二	晶体管共射极单管放大器	8
实验三	场效应管放大器	16
实验四	负反馈放大器	20
实验五	射极跟随器	24
实验六	模拟运算电路	28
实验七	电压比较器	33
实验八	波形发生器	37
实验九	RC 正弦波振荡器	42
实验十	函数信号发生器的组装与调试	46
实验十一	集成功率放大器	49
实训一	串联型晶体管稳压电源	53
实训二	集成稳压器	58
实训三	温度监测及控制电路	63
* 实训四	函数发生器的设计	68
* 实训五	水温控制系统	73

数字部分

实验一	TTL 集成逻辑门的逻辑功能与参数测试	79
实验二	TTL 集电极开路门与三态输出门的应用	85
实验三	组合逻辑电路的设计与测试	88
实验四	译码器及其应用	91
实验五	数据选择器及其应用	97
实验六	触发器及其应用	102

* 为选作内容,正文中亦同。

实验七	计数器及其应用.....	109
实验八	移位寄存器及其应用.....	114
实验九	555 时基电路及其应用	120
实验十	D/A 和 A/D 转换器	126
实训一	智力竞赛抢答装置.....	132
实训二	电子秒表.....	134
实训三	$3\frac{1}{2}$ 位直流数字电压表	139
实训四	数字频率计.....	145
实训五	拔河游戏机.....	151
附录	实验台操作、使用说明	156

模 拟 部 分

实验一 常用电子仪器的使用

一、实验目的

- (1) 学习电子电路实验中常用的电子仪器——示波器、函数信号发生器、直流稳压电源、交流电压毫伏表、频率计等的主要技术指标、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、实验原理

在模拟电子电路实验中,经常使用的电子仪器有示波器、函数信号发生器、直流稳压电源、交流电压毫伏表及频率计等。它们和万用电表一起,可以完成对模拟电子电路的静态和动态工作情况的测试。

实验中要对各种电子仪器进行综合使用,可按照信号流向,以连线简捷,调节顺手,观察与读数方便等原则进行合理布局,各仪器与被测实验装置之间的布局与连接如图 I-1-1 所示。接线时应注意,为防止外界干扰,各仪器的公共接地端应连接在一起,称共地。信号源和交流毫伏表的引线通常用屏蔽线或专用电缆线,示波器接线使用专用电缆线,直流电源的接线用普通导线。

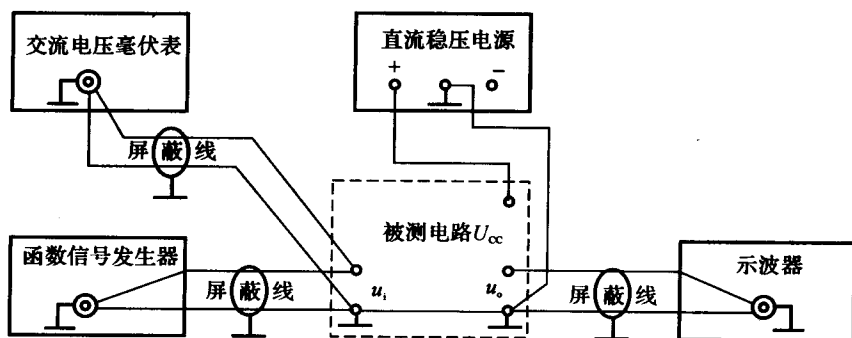


图 I-1-1 模拟电子电路中常用电子仪器布局图

1. 示波器

示波器是一种用途很广的电子测量仪器,它既能直接显示电信号的波形,又能对电信号进行各种参数的测量。现着重指出下列几点:

(1) 寻找扫描光迹。将示波器 Y 轴显示方式置“Y₁”或“Y₂”,输入耦合方式置“GND”,开机预热后,若在显示屏上不出现光点和扫描基线,可按下列操作去找到扫描线:① 适当调节亮度旋钮;② 触发方式开关置“自动”;③ 适当调节垂直(↑↓)、水平(↔)“位移”旋钮,使扫描光迹位于屏幕中央(若示波器设有“寻迹”按键,可按下“寻迹”按键,判断光迹偏移基线的方向)。

(2) 双踪示波器一般有五种显示方式,即“Y₁”,“Y₂”,“Y₁ + Y₂”三种单踪显示方式和“交

替”“断续”两种双踪显示方式。“交替”显示一般适宜于输入信号频率较高时使用，“断续”显示一般适宜于输入信号频率较低时使用。

(3) 为了显示稳定的被测信号波形，“触发源选择”开关一般选为“内”触发，使扫描触发信号取自示波器内部的Y通道。

(4) 触发方式开关通常先置于“自动”调出波形后，若被显示的波形仍稳定，可置触发方式开关于“常态”，通过调节“触发电平”旋钮找到合适的触发电压，使被测试的波形稳定地显示在示波器屏幕上。

有时，由于选择了较慢的扫描速率，显示屏上将会出现闪烁的光迹，但被测信号的波形仍在X轴方向左右移动，这样的现象仍属于稳定显示。

(5) 适当调节“扫描速率”开关及“Y轴灵敏度”开关使屏幕上显示1~2个周期的被测信号波形。在测量幅值时，应注意将“Y轴灵敏度微调”旋钮置于“校准”位置，即顺时针旋到底，且听到关的声音。在测量周期时，应注意将“X轴扫速微调”旋钮置于“校准”位置，即顺时针旋到底，且听到关的声音，还要注意“扩展”旋钮的位置。

根据被测波形在屏幕坐标刻度上垂直方向所占的格数(div或cm)与“Y轴灵敏度”开关指示值(v/div)的乘积，即可算得信号幅值的实测值。

根据被测信号波形一个周期在屏幕坐标刻度水平方向所占的格数(div或cm)与“扫描速率”开关指示值(t/div)的乘积，即可算得信号频率的实测值。

2. 函数信号发生器

函数信号发生器按需要输出正弦波、方波、三角波三种信号波形。输出电压最大可达 $20V_{p-p}$ 。通过输出衰减开关和输出幅度调节旋钮，可使输出电压在毫伏级到伏级范围内连续调节。函数信号发生器的输出信号频率可以通过频率分挡开关进行调节。

函数信号发生器作为信号源，它的输出端不允许短路。

3. 交流电压毫伏表

交流电压毫伏表只能在其工作频率范围之内，用来测量正弦交流电压的有效值。为了防止过载而损坏，测量前一般先把量程开关置于量程较大位置上，然后在测量中逐挡减小量程。

三、实验设备与器件

- (1) 函数信号发生器。
- (2) 双踪示波器。
- (3) 交流电压毫伏表。

四、实验内容

1. 用机内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“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而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”通过专用电缆线引入选定

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“内”,内触发源选择开关置“ Y_1 ”或“ Y_2 ”。调节X轴“扫描速率”开关(t/div)和Y轴“输入灵敏度”开关(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。

1) 校准“校正信号”幅度。将“Y轴灵敏度微调”旋钮置“校准”位置,“Y轴灵敏度”开关置适当位置,读取校正信号幅度,记入表 I-1-1。

表 I-1-1

	标准值	实测值
幅度 U_{p-p}/V		
频率 f/kHz		
上升沿时间 $/\mu\text{s}$		
下降沿时间 $/\mu\text{s}$		

注:不同型号示波器标准值有所不同,请按所使用示波器将标准值填入表格中。

2) 校准“校正信号”频率。将“扫速微调”旋钮置“校准”位置,“扫速”开关置适当位置,读取校正信号周期,记入表 I-1-1。

3) 测量“校正信号”的上升时间和下降时间。调节“Y轴灵敏度”开关及微调旋钮,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,从显示屏上清楚地读出上升时间和下降时间,记入表 I-1-1。

2. 用示波器和交流电压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(交流电压毫伏表测量值)的正弦波信号。

改变示波器“扫速”开关及“Y轴灵敏度”开关等位置,测量信号源输出电压频率及峰峰值,记入表 I-1-2。

表 I-1-2

信号电压频率	示波器测量值		信号电压毫伏表读数 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) 观察双踪显示波形“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“GND”,“扫速”开关置扫速较低挡位(如0.5 s/div 挡)和扫速较高挡位(如5 $\mu\text{s}/\text{div}$ 挡),把显示方式开关分别置“交替”和“断续”位置,观察两条扫描基线的显示特点,记录之。

(2) 用双踪显示测量两波形间相位差。

1) 按图 I-1-2 连接实验电路, 将函数信号发生器的输出电压调至频率为 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。

为便于稳定波形, 比较两波形相位差, 应使内触发信号取自被设定作为测量基准的一路信号。

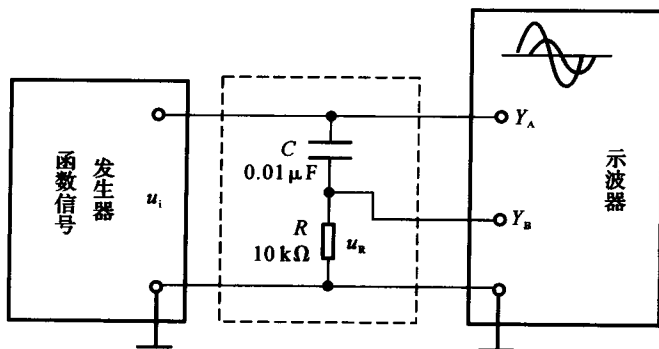
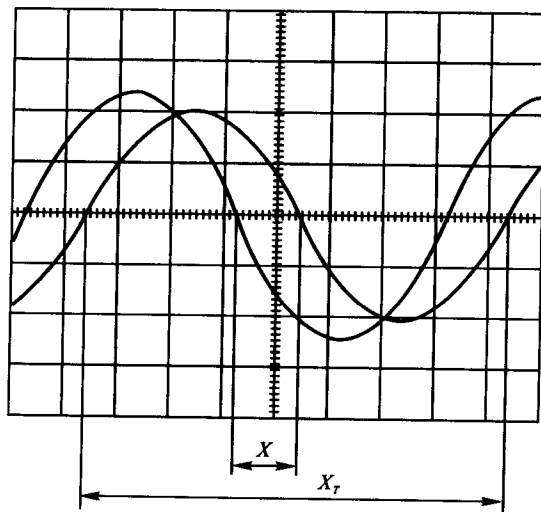


图 I-1-2 两波形间相位差测量电路

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

3) 将 Y_1 , Y_2 输入耦合方式开关置“AC”挡位, 调节触发电平、扫速开关及 Y_1 , Y_2 灵敏度开关位置, 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 I-1-3 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。



I-1-3 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。

记录两波形相位差于表 I-1-3 中。

表 I-1-3

一周期格数	两波形 X 轴差距格数	相位差	
		实测值	计算值
$X_T =$	$X =$	$\theta =$	$\theta =$

为数读和计算方便,可适当调节扫速开关及微调旋钮,使波形一周期占整数格。

五、实验总结

(1) 整理实验数据,并进行分析。

(2) 问题讨论:

1) 如何操纵示波器有关旋钮,以便从示波器显示屏上观察到稳定、清晰的波形?

2) 用双踪显示波形,并要求比较相位时,为在显示屏上得到稳定波形,应怎样选择下列开关的位置?

a. 显示方式选择(Y_1 ; Y_2 ; $Y_1 + Y_2$; 交替; 断续);

b. 触发方式选择(常态; 自动);

c. 触发源选择(内; 外);

d. 内触发源选择(Y_1 ; Y_2 交替)。

(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) 交流电压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?

六、实验预习要求

已知 $C = 0.01 \mu\text{F}$, $R = 10 \text{ k}\Omega$, 计算图 I-1-2 所示 RC 移相网络的阻抗角 θ 。

实验二 晶体管共射极单管放大器

一、实验目的

- (1) 学会放大器静态工作点的调试方法,分析静态工作点对放大器性能的影响。
- (2) 掌握放大器电压放大倍数、输入电阻、输出电阻及最大不失真输出电压的测试方法。
- (3) 熟悉常用电子仪器及模拟电路实验设备的使用。

二、实验原理

图 I - 2 - 1 为电阻分压式工作点稳定单管放大器实验电路图。它的偏置电路采用 R_{B1} 和 R_{B2} 组成的分压电路,并在发射极中接有电阻 R_E ,以稳定放大器的静态工作点。在放大器的输入端加入输入信号 u_i 后,在放大器的输出端便可得到一个与 u_i 相位相反,幅值被放大的输出信号 u_o ,从而实现了电压放大。

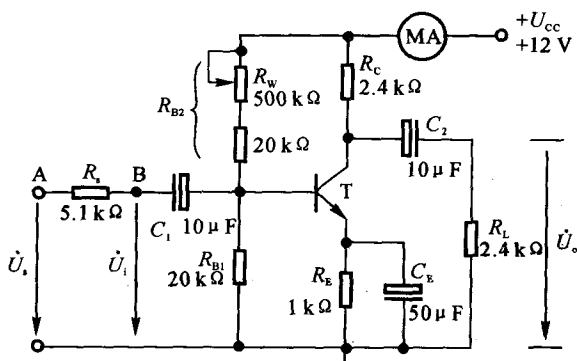


图 I - 2 - 1 共射极单管放大器实验电路

在图 I - 2 - 1 所示电路中,当流过偏置电阻 R_{B1} 和 R_{B2} 的电流远大于晶体管 T 的基极电流 I_B 时(一般 5 ~ 10 倍),则它的静态工作点可用下式估算。

$$U_B \approx \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} U_{CC}$$

$$I_E \approx \frac{U_B - U_{BE}}{R_E} \approx I_C$$

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C (R_C + R_E)$$

电压放大倍数

$$A_V = -\beta \frac{R_C // R_L}{r_{be}}$$

输入电阻

$$R_i = R_{B1} // R_{B2} // r_{be}$$

输出电阻

$$R_o \approx R_C$$

由于电子器件性能的分散性比较大,因此在设计和制作晶体管放大电路时,离不开测量和

调试技术。设计前应测量所用元器件的参数,为电路设计提供必要的依据,完成设计和装配以后,还必须测量和调试放大器的静态工作点和各项性能指标。一个优质放大器,必定是理论设计与实验调整相结合的产物。因此,除了学习放大器的理论知识和设计方法外,还必须掌握必要的测量和调试技术。

放大器的测量和调试一般包括:放大器静态工作点的测量与调试,消除干扰与自激振荡及放大器各项动态参数的测量与调试等。

1. 放大器静态工作点的测量与调试

(1) 静态工作点的测量。测量放大器的静态工作点,应在输入信号 $u_i = 0$ 的情况下进行,即将放大器输入端与地端短接,然后选用量程合适的直流电流毫安表和直流电压表,分别测量晶体管的集电极电流 I_C 以及各电极对地的电位 U_B , U_C 和 U_E 。一般实验中,为了避免断开集电极,所以采用测量电压 U_E 或 U_C ,然后算出 I_C 的方法。例如,只要测出 U_E ,即可用 $I_C \approx I_E = \frac{U_E}{R_E}$

算出 I_C (也可根据 $I_C = \frac{U_{CC} - U_C}{R_C}$,由 U_C 确定 I_C),同时也能算出 $U_{BE} = U_B - U_E$, $U_{CE} = U_C - U_E$ 。

为了减小误差,提高测量精度,应选用内阻较高的直流电压表。

(2) 静态工作点的调试。放大器静态工作点的调试是指对管子集电极电流 I_C (或 U_{CE}) 的调整与测试。

静态工作点是否合适,对放大器的性能和输出波形都有很大影响。如工作点偏高,放大器在加入交流信号以后易产生饱和失真,此时 u_o 的负半周将被削底,如图 I - 2 - 2(a) 所示;如工作点偏低则易产生截止失真,即 u_o 的正半周被缩顶(一般截止失真不如饱和失真明显),如图 I - 2 - 2(b) 所示。这些情况都不符合不失真放大的要求。所以在选定工作点以后还必须进行动态调试,即在放大器的输入端加入一定的输入电压 u_i ,检查输出电压 u_o 的大小和波形是否满足要求。如不满足,则应调节静态工作点的位置。

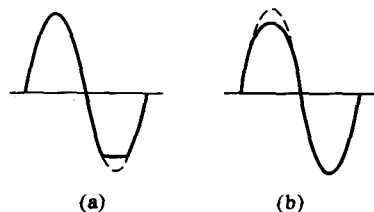


图 I - 2 - 2 静态工作点对 u_o 波形失真的影响

改变电路参数 U_{CC} , R_C , R_B (R_{B1} , R_{B2}) 都会引起静态工作点的变化,如图 I - 2 - 3 所示。但通常多采用调节偏置电阻 R_{B2} 的方法来改变静态工作点,如减小 R_{B2} ,则可使静态工作点提高等。

最后还要说明的是,上面所说的工作点“偏高”或“偏低”不是绝对的,应该是相对信号的幅度而言,如输入信号幅度很小,即使工作点较高或较低也不一定会出现失真。所以确切地说,产生波形失真是信号幅度与静态工作点设置配合不当所致。如需满足较大信号幅度的要求,静态工作点最好尽量靠近交流负载线的中点。

2. 放大器动态指标测试

放大器动态指标包括电压放大倍数、输入电阻、输出电阻、最大不失真输出电压(动态范围)和通频带等。

(1) 电压放大倍数 A_v 的测量。调整放大器到合适的静态工作点,然后加入输入电压 u_i ,在输出电压 u_o 不失真的情况下,用交流毫伏表测出 u_i 和 u_o 的有效值 U_i 和 U_o ,则

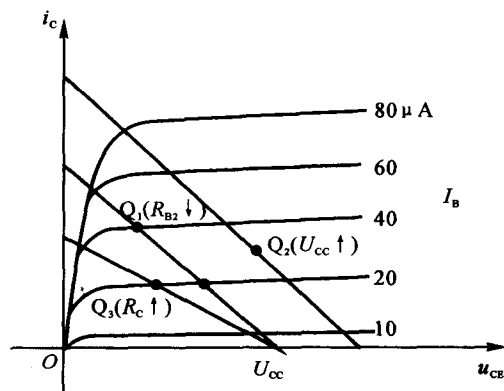


图 I-2-3 电路参数对静态工作点的影响

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

(2) 输入电阻 R_i 的测量。为了测量放大器的输入电阻,按图 I-2-4 电路在被测放大器的输入端与信号源之间串入一已知电阻 R ,在放大器正常工作的情况下,用交流电压毫伏表测出 U_s 和 U_i ,则根据输入电阻的定义可得

$$R_i = \frac{U_i}{I_i} = \frac{U_i}{\frac{U_s}{R}} = \frac{U_i}{U_s - U_i} R$$

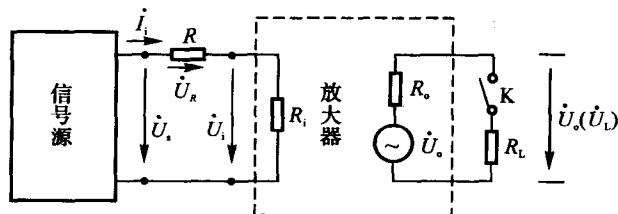


图 I-2-4 输入、输出电阻测量电路

测量时应注意下列几点:

1) 由于电阻 R 两端没有电路公共接地点,所以测量 R 两端电压 U_R 时必须分别测出 U_s 和 U_i ,然后按 $U_R = U_s - U_i$ 求出 U_R 值。

2) 电阻 R 的值不宜取得过大或过小,以免产生较大的测量误差,通常取 R 与 R_i 为同一数量级为好,本实验可取 $R = 1 \sim 2 \text{ k}\Omega$ 。

(3) 输出电阻 R_o 的测量。按图 I-2-4 电路,在放大器正常工作条件下,测出输出端不接负载 R_L 的输出电压 U_o 和接入负载后的输出电压 U_L ,根据

$$U_L = \frac{R_L}{R_o + R_L} U_o$$

即可求出

$$R_o = \left(\frac{U_o}{U_L} - 1 \right) R_L$$

在测试中应注意,必须保持 R_L 接入前、后输入信号的大小不变。

(4) 最大不失真输出电压 U_{opp} 的测量(最大动态范围)。如上所述,为了得到最大动态范

围,应将静态工作点调在交流负载线的中点。为此在放大器正常工作情况下,逐步增大输入信号的幅度,并同时调节 R_w (改变静态工作点),用示波器观察 u_o ,当输出波形同时出现削底和缩顶现象(见图 I - 2 - 5)时,说明静态工作点已调在交流负载线的中点。然后反复调整输入信号,使波形输出幅度最大,且无明显失真时,用交流毫伏表测出 U_o (有效值),则动态范围等于 $2\sqrt{2}U_o$ 。或用示波器直接读出 U_{opp} 来。

(5) 放大器幅频特性的测量。放大器的幅频特性是指放大器的电压放大倍数 A_u 与输入信号频率 f 之间的关系曲线。单管阻容耦合放大电路的幅频特性曲线如图 I - 2 - 6 所示, A_{um} 为中频电压放大倍数,通常规定电压放大倍数随频率变化下降到中频放大倍数的 $1/\sqrt{2}$ 倍,即 $0.707A_{um}$ 所对应的频率分别称为下限频率 f_L 和上限频率 f_H ,则通频带 $f_{BW} = f_H - f_L$ 。

放大器的幅率特性就是测量不同频率信号时的电压放大倍数 A_u 。为此,可采用前述测 A_u 的方法,每改变一个信号频率,测量其相应的电压放大倍数,测量时应注意取点要恰当,在低频段与高频段应多测几点,在中频段可以少测几点。此外,在改变频率时,要保持输入信号的幅度不变,且输出波形不得失真。

(6) 干扰和自激振荡的消除(略)。

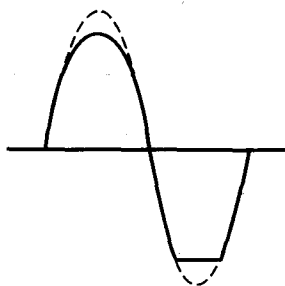


图 I - 2 - 5 静态工作点正常,输入信号太大引起的失真

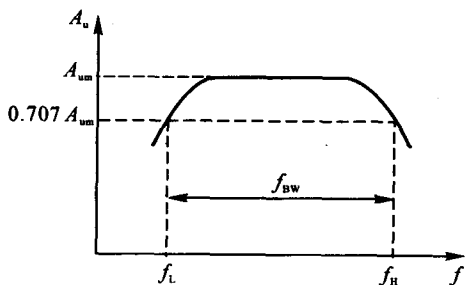


图 I - 2 - 6 幅频特性曲线

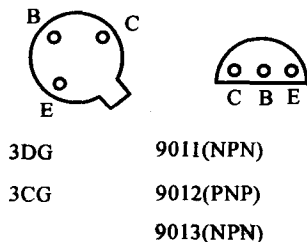


图 I - 2 - 7 晶体三极管管脚排列

三、实验设备与器件

- | | |
|----------------|--------------|
| (1) +12V 直流电源。 | (2) 函数信号发生器。 |
| (3) 双踪示波器。 | (4) 交流电压毫伏表。 |
| (5) 直流电压表。 | (6) 直流电流毫安表。 |
| (7) 频率计。 | (8) 万用电表。 |

(9) 晶体三极管 3 DG6 $\times$ 1($\beta = 50 \sim 100$)或 9011 $\times$ 1(管脚排列见图 I - 2 - 7) 电阻器、电容器若干。

四、实验内容

实验电路如图 I - 2 - 1 所示。各电子仪器可按实验一中图 I - 1 - 1 所示方式连接,为防止