



高等学校“十一五”精品规划教材

模拟电子技术基础实验

金 燕 方迎联 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



高等学校“十一五”精品规划教材

模拟电子技术基础实验

金燕 方迎联 主编

本书是模拟电子技术仿真实验教材，共分3个实验。旨在将模拟电子技术基础理论与实验相结合，使学生在学习理论知识的同时，能够掌握实验技能，提高解决实际问题的能力。本书可作为高等院校电子技术专业及相关专业的教材，也可供从事电子技术工作的工程技术人员参考。

本书由金燕、方迎联主编。全书共分三章。第一章为实验基础知识，包括实验目的、实验原理、实验步骤、实验数据记录及处理等。第二章为基本电路实验，包括放大电路、滤波电路、稳压电路等。第三章为综合实验，包括信号发生器、函数发生器、比较器等。本书可作为高等院校电子技术专业及相关专业的教材，也可供从事电子技术工作的工程技术人员参考。

本书由金燕、方迎联主编。全书共分三章。第一章为实验基础知识，包括实验目的、实验原理、实验步骤、实验数据记录及处理等。第二章为基本电路实验，包括放大电路、滤波电路、稳压电路等。第三章为综合实验，包括信号发生器、函数发生器、比较器等。本书可作为高等院校电子技术专业及相关专业的教材，也可供从事电子技术工作的工程技术人员参考。



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

编者
2008年3月

内 容 提 要

本书是在长期实验教学的基础上编写而成,并充分体现电子技术新理论、新技术和新应用,旨在加强学生模拟电子技术实验技能和 EDA 技术应用能力。全书由上篇、下篇和附录组成。上篇为模拟电子技术基础实验;下篇为基于 Multisim 软件的仿真实验;附录部分主要介绍了实验室常用电子仪器的使用,万用电表对常用电子元器件检测方法,放大器干扰、噪声抑制和自激振荡的消除方法,电阻器的标称值及精度色环标志法。

本书可作为普通高等学校电气、电子信息类、自动化类和其他相近专业本科和专科学生的模拟电子技术基础实验教材,也可供相关工程专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础实验/金燕,方迎联主编. —北京:
中国水利水电出版社, 2008
高等学校“十一五”精品规划教材
ISBN 978-7-5084-5470-2

I. 模… II. ①金…②方… III. 模拟电路—电子技术—
实验—高等学校—教材 IV. TN710-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 042872 号

书 名	高等学校“十一五”精品规划教材 模拟电子技术基础实验
作 者	主编 金燕 方迎联
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市地矿印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 7 印张 166 千字
版 次	2008 年 4 月第 1 版 2008 年 4 月第 1 次印刷
印 数	0001—5000 册
定 价	14.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

本书是参照教育部电子信息与电气信息类基础课程教学指导分委员会修订的“模拟电子技术基础”课程教学基本要求中“实验教学部分”的教学基本要求编写的高等学校模拟电子技术基础实验教材。

全书共分为上篇、下篇和附录三部分。

上篇是模拟电子技术基础实验，内容涉及常用电子仪器使用练习、基本放大电路、反馈放大电路、功率放大电路、信号基本运算与处理电路、波形发生电路、直流稳压电源等基本实验和综合性实验，共有 11 个实验。目的是培养学生模拟电子技术基础方面的基本实验技能。

下篇是模拟电子技术仿真实验（基于电子电路仿真软件 Multisim 的仿真实验），共有 3 个实验。旨在将模拟电子技术基础实验与电子电路仿真技术有机地结合起来，使学生在巩固基础的同时，具有应用新技术、新器件、新设计手段的能力，进一步加强学生的实践和创新能力。

附录部分主要介绍了实验室常用电子仪器的使用，万用电表对常用电子元器件检测方法，放大器干扰、噪声抑制和自激振荡的消除方法，电阻器的标称值及精度色环标志法。

书中注有 * 部分是实验选做内容，可视具体情况选择做或不做。

本书由金燕、方迎联主编。参与编写的还有李如春。实验二、三、四、九、十一、十三由方迎联编写，实验十四和附录 II 至附录 IV 由李如春编写，其余部分由金燕编写。金燕提出编写思路、编写提纲并最后定稿。另外，王军伟参与上篇实验的验证工作，王明参与下篇实验的验证工作。李国丽、贾立新、王涌、周文委、章旌红、王辛刚、何剑春和刘国越对本书编写和修改提出了很多帮助。在本书编写过程中，参考和引用了有关专家的教材。在此一并向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，不足与疏漏之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

2008 年 3 月

目 录

前言

上篇 模拟电子技术基础实验

实验一 实验室常用电子仪器使用练习	1
实验二 三极管单管放大器	8
实验三 场效应管放大器	13
实验四 负反馈对放大电路性能影响研究	17
实验五 差分放大电路	22
实验六 集成运放组成的基本运算电路	27
实验七 RC 桥式正弦波振荡器	33
实验八 直流稳压电源	37
实验九 低频功率放大电路	44
实验十 有源滤波器	50
实验十一 低频信号发生器	56

下篇 模拟电子技术仿真实验

实验十二 三极管单管放大器仿真实验	59
实验十三 负反馈对放大电路性能影响研究仿真实验	68
实验十四 矩形波和锯齿波发生器仿真实验	74

附录

附录 I 常用仪器使用说明	77
附录 II 万用表对常用电子元器件检测	99
附录 III 放大器干扰、噪声抑制和自激振荡的消除	103
附录 IV 电阻器的标称值及精度色环标志法	106

参考文献	108
------------	-----

上篇 模拟电子技术基础实验

实验一 实验室常用电子仪器使用练习

一、实验目的

1. 熟悉双踪示波器、函数信号发生器、直流稳压电源、交流毫伏表及万用表的正确使用。
2. 初步掌握用示波器观察波形、测量波形主要参数的方法。
3. 掌握仪器共地的概念、意义和接法。
4. 了解电阻、电容、晶体管等电子元件的基本常识。

二、实验原理

在模拟电子技术实验中，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、交流毫伏表、万用电表等。

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，各仪器与被测实验电路之间连接如图 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，称为共地。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。

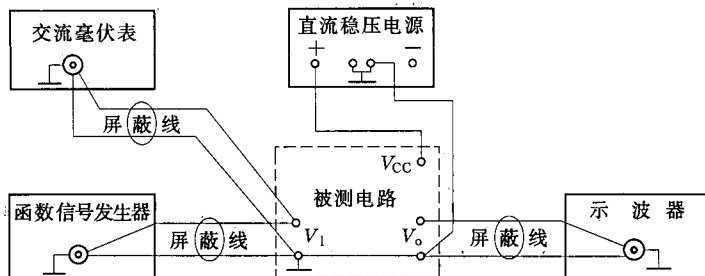


图 1.1 模拟电子电路中常用电子仪器布局图

1. 示波器

示波器是一种用途很广的电子测量仪器，它既能直接显示电压信号的波形，又能对电压信号进行多种参数的测量。现以 GOS-6021 示波器为例，着重指出下列几点：

(1) 双踪示波器显示方式。GOS - 6021 示波器有六种显示方式, 即“CH1”、“CH2”、“CH1+CH2”、“CH1-CH2”四种单踪显示方式和“交替 (ALT)”、“断续 (CHOP)”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。

(2) 寻找扫描基线的方法。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) 将示波器显示方式置“CH1”或“CH2”, 输入耦合方式置“GND”。
- 2) 适当调节亮度旋钮。
- 3) “触发方式选择 (ATO/NML)”按钮置“自动 (ATO)”。
- 4) 适当调节“垂直位置调整 (▲ POSITION)”、“水平位置调整 (◀ POSITION ▶)”

旋钮, 使扫描光迹位于屏幕中央。

(3) 显示稳定的被测信号波形。

1) 取消“GND”输入耦合状态。根据波形显示需要, 选择交流耦合 (AC, ~) 或直流 (DC, —) 耦合。

2) “触发信号源选择 (SOURCE)”按钮一般选为“CH1”或“CH2”触发, 使扫描触发信号取自示波器内部的 Y 通道。

3) “触发方式选择 (ATO/NML)”按钮通常先置于“自动 (ATO)”, 调节“触发电平 (LEVEL)”旋钮, 调出波形后, 若被显示的波形不稳定, 可将“触发方式选择 (ATO/NML)”按钮置于“常态 (NML)”, 通过调节“触发电平 (LEVEL)”旋钮找到合适的触发电压, 使被测试波形稳定地显示在示波器屏幕上。

4) 适当调节“扫描速度调节 (TIME/DIV)”旋钮及“电压灵敏度调节 (VOLTS/DIV)”旋钮使屏幕上稳定显示 1~2 个周期的被测信号波形。

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

(4) 用示波器测量被测信号电压。示波器可以方便地作为电压表使用。在测量信号电压

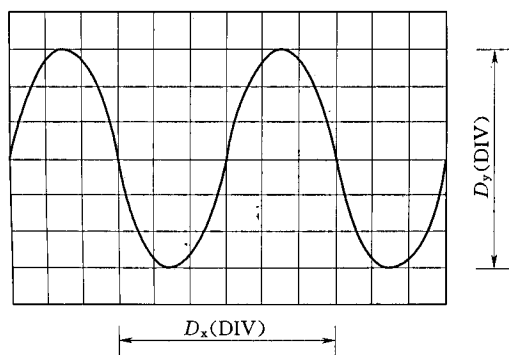


图 1.2 用示波器测量正弦电压
信号峰峰值和频率

时, 应注意将“电压灵敏度调节 (VOLTS/DIV)”旋钮的微调功能 (VAR) 置校准状态, 即按动该旋钮, 使该旋钮上方的指示灯不亮。根据被测波形峰峰值在屏幕坐标刻度上垂直方向所占的格数 D_y (DIV) 与“电压灵敏度调节”旋钮挡位指示值 S_y (VOLTS/DIV), Y 轴探头衰减系数 K_y (即用 $K_y: 1$ 衰减探头), 可得信号峰峰值的实测值 V_y , 即

$$V_y = D_y S_y K_y \quad (1.1)$$

如果启用了示波器的 $P \times 10$ 扩展功能,

则在式 (1.1) 计算基础上应再除以 10。

如果被测的是正弦电压, 则其有效值等于峰峰值除以 $2\sqrt{2}$ 。

例如某正弦电压信号在示波器上显示出如图 1.2 所示波形, 从示波器上读得 $D_y = 6$ (DIV), $S_y = 1$ (V/DIV), 无 $P \times 10$ 扩展, 而 Y 轴探头无衰减, 即 $K_y = 1$, 则根据式 (1.1) 可得该正弦电压峰峰值: $V_y = 6 \times 1 \times 1 = 6$ (V), 而有效值等于 $6/(2\sqrt{2}) \approx 2.12$ (V)。

(5) 用示波器测量被测信号周期 (或频率)。在测量周期时, 应注意将“扫描速度调节 (TIME/DIV)”旋钮的微调功能 (VAR) 置校准状态, 即按动该旋钮, 使该旋钮上方的指示灯不亮。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 D_x (DIV) 与“扫描速度调节”旋钮挡位指示值 S_x (TIME/DIV) (在附录 I 的 GOS-6021 示波器使用说明中也称为时间偏向系数), 可得信号周期 T (或频率 f) 的实测值, 即

$$T = D_x S_x \quad (1.2)$$

$$f = 1/T \quad (1.3)$$

对图 1.2 所示的信号, 读得其 $D_x = 6$ (DIV), 若此时示波器的 $S_x = 2$ (ms/DIV), 则由式 (1.2), 得该信号的周期 $T = 6 \times 2 = 12$ (ms)。

也可以利用示波器本身已有的其他测量功能来测量信号幅值、周期、频率等, 具体测量方法参阅附录 I。

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、锯齿波、脉冲波等几种信号波形。通过“输出衰减”按钮和“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。在前面板上显示其输出电压峰峰值。函数信号发生器的输出信号频率可以通过“频率范围选择”、“频率调节”旋钮进行调节, 其值在前面板上显示。

函数信号发生器作为信号源, 它的输出端不允许短路。

有的函数信号发生器还有频率测量功能, 如 DF1641B 的频率测量范围为 10Hz~100MHz。

3. 交流毫伏表

交流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, 读完数据后, 再把量程开关拨回量程较大位置上。

用交流毫伏表测正弦波信号有效值时, 要先连接地线, 再接信号线; 拆线时, 则要先拆信号线, 再拆地线。

三、实验设备与器件

序号	名 称	型号规格	数量	序号	名 称	型号规格	数量
1	模拟电子技术实验箱		1	5	交流毫伏表		1
2	双踪示波器		1	6	直流稳压电源		1
3	万用电表		1	7	晶体管特性图示仪		1
4	函数信号发生器		1				

四、预习要求

1. 阅读实验附录中有关示波器、函数信号发生器、直流稳压电源等仪器的使用说明。
2. 阅读实验附录中有关色环电阻的标志法和万用表检测常用电子元器件的方法。
3. 已知 $C=0.01\mu\text{F}$ 、 $R=10\text{k}\Omega$ ，计算图 1.4 中 RC 移相网络的移相角 φ 。

五、实验内容

1. 用示波器机内“校准信号 (CAL, $0.5V_{P-P}$, 1kHz)”对示波器进行自检

(1) 扫描基线调节。将示波器的显示方式置于单踪显示 (CH1 或 CH2)，输入耦合方式置“GND” (即按动“GND/ $P\times 10$ ”按钮)，“触发方式选择”按钮置“自动”。开启电源开关后，调节“亮度 (INTEN)”、“聚焦 (FOCUS)”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“水平位置调整 (◀POSITION▶)”和“垂直位置调整 (▲POSITION) 旋钮”，使扫描线位于屏幕中央，并且能上下左右移动自如。

(2) 测量“校准信号”波形的峰峰值 V_{P-P} 、频率 f 。将示波器的“校准信号”通过专用电缆线引入选定的输入通道 (CH1 或 CH2)。按动“GND/ $P\times 10$ ”按钮，取消“GND”输入耦合状态，将“输入方式选择 (AC/DC)”按钮置于“DC (—)”，“触发信号源选择 (SOURCE)”按钮置“CH1”或“CH2” (与被测信号所选的输入通道一致)。调节“扫描速度调节 (TIME/DIV)”和“电压灵敏度调节 (VOLTS/DIV)”旋钮，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) 测量“校准信号”峰峰值 V_{P-P} 。将“电压灵敏度调节”旋钮置适当位置，注意之前应先将其微调功能 (VAR) 置校准状态。读取校准信号峰峰值，记入表 1.1。

注意：不同型号示波器校准信号标准值有所不同，请按所使用示波器将标准值填入表 1.1 中。

2) 测量“校准信号”频率。将“扫描速度调节”旋钮置适当位置，注意之前应先将其微调功能 (VAR) 置校准状态，读取校准信号周期，换算成频率后记入表 1.1。

表 1.1 示波器机内校准信号参数标准值和实测值

校准信号参数	标准值	实测值	校准信号参数	标准值	实测值
峰峰值 V_{P-P} (V)			上升沿时间 t_r (μs)	—	
频率 f (kHz)			下降沿时间 t_f (μs)	—	

* 3) 测量“校准信号”的上升时间和下降时间。图 1.3 是脉冲波形的主要参数示意图，其中 t_r 表示上升沿时间， t_f 表示下降沿时间， A 表示脉冲幅度， T_w 表示脉冲宽度， T 是脉冲周期。

调节“电压灵敏度调节 (VOLTS/DIV)”旋钮 (包括微调)，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“扫描速度调节 (TIME/DIV)”旋钮 (注意应将该旋钮的微调功能置于校准状态)，使波形在 X 轴

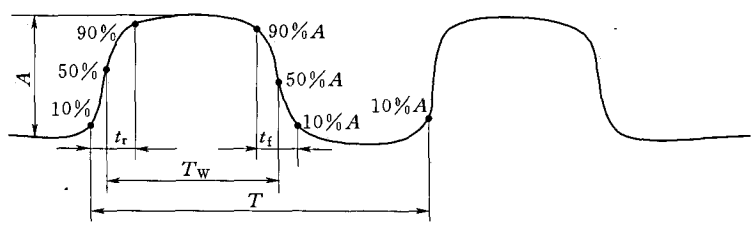


图 1.3 脉冲波形的主要参数示意图

方向扩展 [必要时可以利用“扩展 (×1/MAG)”开关将波形再扩展几倍], 并同时调节触发电平旋钮, 从显示屏上清楚的读出上升时间 t_r 和下降时间 t_f (参见图 1.3), 记入表 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 100Hz、1kHz、100kHz, 有效值均为 1V (用交流毫伏表测量) 的正弦波信号。

改变示波器“扫描速度调节 (TIME/DIV)”旋钮及“电压灵敏度调节 (VOLTS/DIV)”等旋钮, 测量信号源输出电压频率及峰峰值, 记入表 1.2。

表 1.2 用示波器和交流毫伏表测量信号参数

信号频率 (kHz)	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 (kHz)		峰峰值 (V)	有效值 (V)
0.1					
1					
100					

3. 用示波器测量直流电压

调节直流稳压电源, 送出一个 10V 直流电压 (由万用表测得), 用双踪示波器测试该直流电压, 其值等于_____。

注意: 用示波器测量直流电压时, “输入耦合方式选择 (AC/DC)” 应置 “DC (—)”。

4. 测量两波形间相位差

(1) 按图 1.4 连接实验电路, 将函数信号发生器的输出电压调至频率为 1kHz, 有效值为 2V 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 v_i 和 v_R , 分别加到双踪示波器的 CH1 和 CH2 输入端。示波器显示方式置“交替 (ALT)”位置, CH1 和 CH2 的“输入耦合方式选择 (AC/DC)”按钮置 “AC (—)” 挡位, “触发信号源选择 (SOURCE)” 按钮置 “CH1” (为便于稳

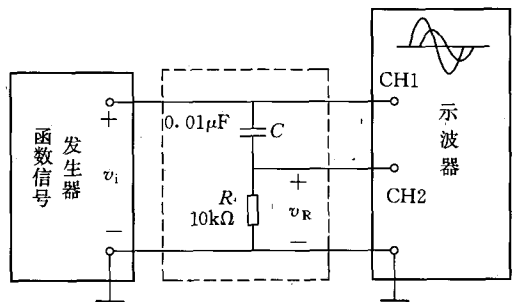


图 1.4 两波形间相位差测量电路

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)。调节“触发电平 (LEVEL)”旋钮使示波器稳定显示双踪波形。

(2) 将 CH1 和 CH2 输入耦合置 “GND”, 分别调节 CH1 和 CH2 的 “垂直位置调整 (POSITION)” 旋钮, 使两条扫描基线重合于示波器屏幕中间位置。然后取消 “GND” 输入耦合状态, 使 CH1、CH2 的 “输入耦合方式选择 (AC/DC)” 按钮置 “AC (～)”, 此时示波器屏幕上应稳定显示两条正弦波曲线。

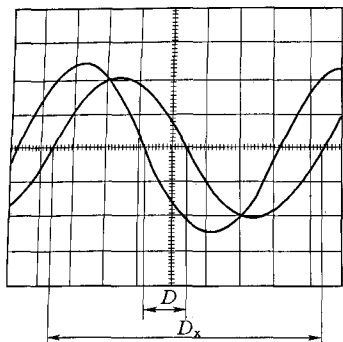


图 1.5 用双踪示波器测量两波形相位差示意图

(3) 调节 “触发电平 (LEVEL)” 旋钮、“扫描速度调节 (TIME/DIV)” 旋钮、CH1 和 CH2 “电压灵敏度调节 (VOLTS/DIV)” 旋钮, 使双踪示波器屏幕上显示两个易于观察的正弦波形。波形显示如图 1.5 所示。

(4) 根据两波形在水平方向的差距 D 格, 及信号一个周期在水平方向所占格数 D_x , 即可求得两波形相位差 φ 为

$$\varphi = \frac{360^\circ}{D_x} \times D$$

(5) 为读数和计算方便, 可适当调节 “扫描速度调节 (TIME/DIV)” 旋钮及微调旋钮, 使波形一周期占整数格。

(6) 记录两波形相位差于表 1.3。

表 1.3

测量两波形相位差数据表

一周期格数 D_x	两波形水平方向的 差距格数 D	相 位 差 φ		v_R 与 v_i 的相位关系
		实测值	计算值	

5. 常用电子元件参数测试

(1) 用万用表测出任意一个电阻的阻值 R , 并与其标称值 R_N 进行比较; 计算实测值与标称值之间的相对偏差 $\left(\frac{R-R_N}{R_N} \times 100\%\right)$, 并与其允许偏差相比较, 实测的偏差应在允许偏差范围内。记入表 1.4 中。

(2) 用万用表测出任意一个电位器的阻值, 与标称值进行比较, 并改变电位器阻值, 观测其最大阻值和最小阻值, 判断其质量的好坏。记入表 1.4 中。

(3) 用万用表测量并记录一个二极管的正、反向电阻值, 判明二极管的好坏以及正负极性 (请注明用万用表电阻挡的哪一档量程)。记入表 1.4 中。

* (4) 用晶体管特性图示仪测量一个小功率三极管的输出特性曲线, 并测量 $I_C = 3\text{mA}$, $V_{CE} = 6\text{V}$ 时的直流电流放大系数 $\bar{\beta}$ 和交流电流放大系数 β 。比较它们的相同之处和不同之处。

* (5) 用晶体管特性图示仪测量一个小功率场效应管的输出特性曲线, 测量恒流区中某一点的跨导 g_m , 并记录该测试点的 I_D 和 V_{GS} 的值, 记入表 1.4 中。

表 1.4 常用电子元件参数测试表

电阻测量	电阻的标称值 R_N	允许偏差	电阻实测值 R	偏差计算
电位器测量	阻值的标称值	实测值	最大阻值	最小阻值
二极管测量	被测二极管型号	万用表量程	二极管正向电阻	二极管反向电阻
三极管测量	被测三极管型号	β 值	β 值	
场效应管测量	被测场效应管型号	跨导 g_m	测试点的 I_D 值	测试点的 V_{GS} 值

六、实验报告要求

1. 整理用示波器测量的各信号周期、频率、峰峰值、有效值的实验数据，并进行误差分析。
2. 画出 RC 移相网络的波形，将实测的相位差与理论值比较，分析产生误差的原因。
3. 整理测得的常用电子元件参数。
4. 总结本实验所用电子仪器使用时的注意事项。

七、思考题

1. 用示波器观察波形时，要达到以下要求，应调节哪些旋钮？
 - (1) 波形细而清晰。
 - (2) 亮度适中。
 - (3) 波形稳定显示。
 - (4) 移动波形上下、左右位置。
 - (5) 改变波形垂直方向的大小。
 - (6) 改变波形显示周期数。
2. 用双踪显示波形，并要求比较两波形相位时，为在显示屏上得到稳定波形，下列按钮应怎样设定？
 - (1) 显示方式选择 (CH1、CH2、CH1+CH2、CH1-CH2、ALT、CHOP)。
 - (2) 触发方式选择 (NORMAL、AUTO)。
 - (3) 触发信号源选择 (CH1、CH2、VERT、LINE、EXT)。
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 三极管单管放大器

一、实验目的

1. 学习放大电路静态工作点的调试方法。
2. 掌握晶体管电压放大器动态性能指标的调测方法。
3. 巩固实验室常用电子仪器的使用操作技能。

二、实验原理

1. 实验电路

实验电路如图 2.1 所示, 由图可知, 该电路为共射电压放大器, 射极偏置决定静态工作点。

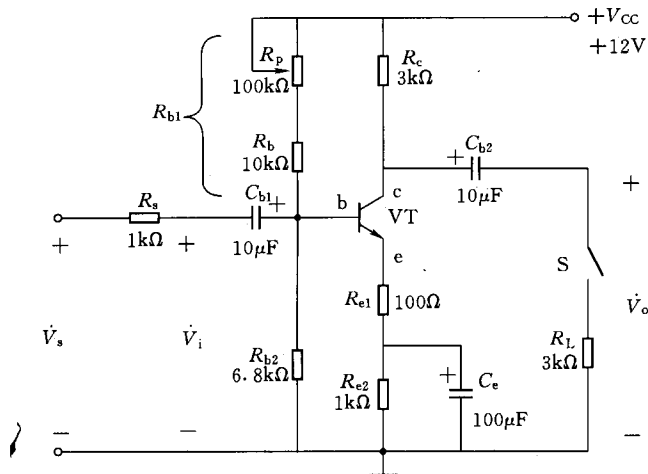


图 2.1 单管放大器原理图

2. 静态工作点估算

$$V_B = \frac{R_{b2} V_{CC}}{R_{b1} + R_{b2}} \quad (2.1)$$

$$V_E = V_B - V_{BE} \quad (2.2)$$

式中: V_{BE} 硅管取 0.7V, 锗管取 0.3V。

$$I_C \approx I_E \approx \frac{V_E}{R_{e1} + R_{e2}} \quad (2.3)$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C (R_c + R_{e2} + R_{e1}) \quad (2.4)$$

I_B 的大小无需计算。

3. 交流等效电路如图 2.2 所示

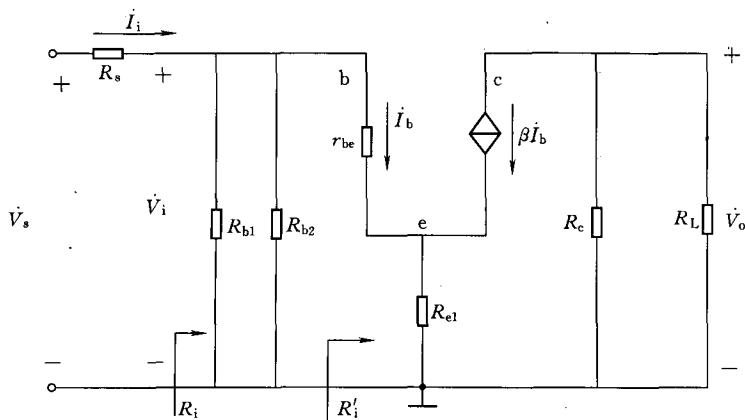


图 2.2 交流微变等效电路

4. 电压放大倍数估算

$$A_v = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i} = \frac{-\beta I_b (R_c // R_L)}{I_b r_{be} + (1 + \beta) I_b R_{e1}} = \frac{-\beta (R_c // R_L)}{r_{be} + (1 + \beta) R_{e1}} \quad (2.5)$$

5. 放大器输入电阻

$$R_i = \frac{\dot{V}_i}{\dot{I}_i} = R'_i // R_{b1} // R_{b2} = [(1 + \beta) R_{e1} + r_{be}] // R_{b1} // R_{b2} \quad (2.6)$$

6. 放大器输出电阻

忽略三极管的输出电阻, 则放大器的输出电阻为 $R_o \approx R_c$ 。

三、实验设备与器件

序号	名 称	型号规格	数量	序号	名 称	型号规格	数量
1	模拟电子技术实验箱		1	5	直流稳压电源		1
2	双踪示波器		1	6	交流毫伏表		1
3	万用电表		1	7	晶体管特性图示仪		1
4	函数信号发生器		1	8	主要元器件	晶体三极管 3DG6	

四、预习要求

1. 复习所学的理论知识, 对实验电路进行理论分析, 了解每个元件的作用。掌握色标电阻的识读及有关知识。

2. 若要求电路的静态工作电流为 $I_C = 1.4\text{mA}$ 时, 请估算电路的基极偏置电阻 R_{b1} 的阻值, 并估算相应的管压降 V_{CE} 。

3. 设三极管的 $\beta = 100$, $I_C = 1.4\text{mA}$ 时, 画出微变等效电路, 并估算出放大器的电压

放大倍数 A_v 、输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o 的数值。

4. 预习实验内容, 了解放大电路的静态工作点及动态性能指标的测试方法。
5. 用图解分析法求直流负载线、交流负载线和静态工作点。
6. 复习示波器、函数信号发生器、交流毫伏表等仪器的使用方法。

五、实验内容

* 1. 用晶体管特性图示仪测绘三极管的输出特性曲线, 并计算出三极管的电流放大倍数 $\beta =$ _____

2. 按原理图接成实际电路
3. 静态工作点的调测

- (1) 令 $V_i = 0$ (即放大器的输入端与地短接), 接好 +12V 电源。
- (2) 调节电位器 R_p , 用万用表直流电压挡测发射极对地电位 V_E 约为 1.5V 为止, 根据式 (2.3), 计算 I_C 。
- (3) 测得集电极对地电位 V_C 的值, 计算管子静态压降 V_{CE} ($=V_C - V_E$)。
- (4) 测取基极对地电位 V_B , 计算 V_{BE} ($=V_B - V_E$)。
- (5) 测取基极上偏置电阻 $R_{b1} = R_p + R_b$ 的值 (注意脱开 R_b 电阻的支路)。
- (6) 把上述数据记录于表 2.1 中。根据这些数据, 可以判断三极管是否工作于放大状态。

表 2.1 静态工作点测试数据表

实际测量值				测量计算值		
V_E (V)	V_C (V)	V_B (V)	R_{b1} (k Ω)	V_{CE} (V)	V_{BE} (V)	I_C (mA)

4. 调测电压放大倍数 A_v

音频 (20Hz~20kHz) 电子线路常以 1000Hz 的正弦波为调测信号 (中频信号)。在此调测操作中, 要用到示波器、信号发生器、交流毫伏表及稳压电源。一定要注意各仪器与被测线路的共地连接。其作用是让各信号有一个共同的参考电位, 各信号有其自己的回路以及防止 50Hz 电磁场的严重干扰。

(1) 调节函数信号发生器输出一个频率为 1000Hz、有效值为 40mV 的正弦波, 并送到放大器的输入端作为 $\dot{V}_i$ 信号。

(2) 调节双踪示波器, 观察放大器输入输出的稳定波形。注意观察输出有无失真情况, 如有失真, 应减少信号输入幅度。在输出不失真条件下, 用毫伏表测取输入电压 ($\dot{V}_i$) 和输出电压 ($\dot{V}_o$) 的有效值, 填入表 2.2。

表 2.2 电压放大倍数 A_v 数据表

V_i (mV)	有负载的情况, $R_L =$ _____			负载断开的情况, $R_L = \infty$		
	V_o (V)	A_v (理论估算)	A_v (实际测量)	V_{oc} (V)	A_v (理论估算)	A_v (实际测量)

(3) 去掉 R_L 负载电阻 (即 $R_L = \infty$), 保持 $\dot{V}_i$ 幅度不变。再测输出电压有效值 V_{oc} , 填入表 2.2。

在上述两种情况下分别计算出 A_v , 并与理论估算值进行比较。

5. 测试放大器输入电阻 R_i 和输出电阻 R_o 。

在放大器输入端加接一个 $R_s = 1\text{k}\Omega$ 电阻, 函数信号发生器输出一个频率 1000Hz 、有效值为 40mV 的正弦波, 送到 R_s 前端作为 $\dot{V}_s$ 信号。测得该电阻前后两个电压有效值 V_s 和 V_i , 由式 (2.7) 便可计算出放大器的输入电阻 R_i 。其测试原理如图 2.3 所示。

$$R_i = \frac{V_i}{I_i} = \frac{V_i}{\frac{V_s - V_i}{R_s}} = \frac{V_i}{V_s - V_i} R_s \quad (2.7)$$

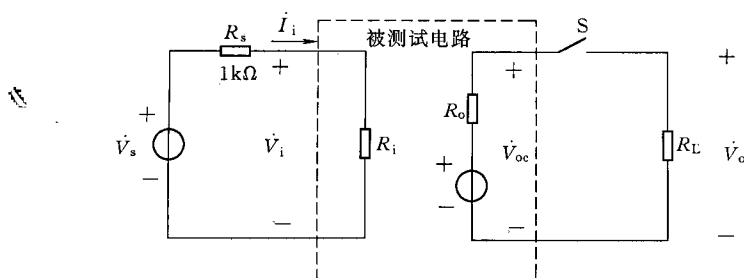


图 2.3 R_i 及 R_o 的测试原理图

同理, 保持 $\dot{V}_s$ 不变, 测得输出电压有效值 V_{oc} ($R_L = \infty$ 时) 及 V_o ($R_L = 3\text{k}\Omega$ 时) 的值, 可由式 (2.8) 算得放大器输出电阻 R_o 。

$$R_o = \frac{V_{oc} - V_o}{\frac{V_o}{R_L}} = \frac{V_{oc} - V_o}{V_o} R_L \quad (2.8)$$

将所测数据填入表 2.3, 并分析测试结果。

表 2.3 输入电阻和输出电阻测试数据表

V_s (mV)	测输入电阻 R_i				测输出电阻 R_o				
	实际测量		测量计算	理论估算	实际测量			测量计算	理论估算
	V_i (mV)	R_s (kΩ)	R_i (kΩ)	R_i (kΩ)	V_o (V) (接 R_L 时)	V_{oc} (V) ($R_L = \infty$)	R_L (kΩ)	R_o (kΩ)	R_o (kΩ)

6. 观察静态工作点调试不当引起的波形失真

置 $R_L = \infty$ (开关 S 断开)、 $\dot{V}_i = 0$, 调节 R_p 使 $V_E \approx 1.5\text{V}$ ($I_C \approx 1.4\text{mA}$), 测出 V_{CE} 的值, 再逐步适当加大输入信号 $\dot{V}_i$ 幅度, 使输出 $\dot{V}_o$ 足够大且不失真。然后保持输入信号不变, 分别增大或减少 R_p , 观察静态工作点调试不当所引起的波形失真, 记录 $\dot{V}_o$ 饱和失真和截止失真的波形。并测出失真情况下的 I_C 和 V_{CE} 的值, 记入表 2.4, 测试方法同实验内

容 3 静态工作点的调测。

注意：测 I_C 和 V_{CE} 的值时，都要使 $\dot{V}_i = 0$ 。

表 2.4 静态工作点调测不当引起的放大器工作情况记录 ($R_L = \infty$)

静态工作点		失真类型	工作状态	v_o 波形
I_C (mA)	V_{CE} (V)			

* 7. 调测最大不失真输出电压 V_{opp}

在调节电位器 R_p 改变静态工作点的同时，仔细调节输入信号的幅度，用示波器观察输出波形，当输出波形的波峰波谷均刚好不失真的情况时，静态工作点调在交流负载线的中点，用交流毫伏表分别测量此时的输出电压和输入电压值，即为该放大器的最大不失真输出电压有效值 V_{om} 和最大不失真输入电压有效值 V_{im} ，则输出电压最大动态范围 $V_{opp} = 2\sqrt{2}V_{om}$ ，也可以在示波器上直接读出 V_{opp} 。把测试结果记入表 2.5 并加以比较。

表 2.5 最大不失真输出电压 V_{opp} 测试数据表

负载 R_L	I_C (mA)	V_{im} (mV)	V_{om} (V)	V_{opp} (V)
3k Ω				
∞				

注意： R_L (3k Ω) 接入电路与不接入电路的两种情况都需要测试。

六、实验报告要求

1. 列表整理测量结果，并把实测的静态工作点、电压放大倍数、输入电阻、输出电阻之值与理论计算值比较，分析产生误差原因。
2. 讨论 R_L 及静态工作点对放大器电压放大倍数、输入电阻、输出电阻的影响。
3. 讨论静态工作点变化对放大器输出波形的影响。
4. 记录在调试过程中出现的故障，分析产生故障的原因及排除故障的方法。

七、思考题

1. 当调节偏置电阻 R_p ，使放大器输出波形出现饱和或截止失真时，晶体管的管压降 V_{CE} 怎样变化？
2. 如何判断截止失真和饱和失真？
3. 要将输出波形不失真且幅值最大，最佳的静态工作点是否应选在直流负载线的中点上？
4. 测试中，如果将函数信号发生器、交流毫伏表、示波器中任一仪器接地端不再连在一起，将会出现什么问题？