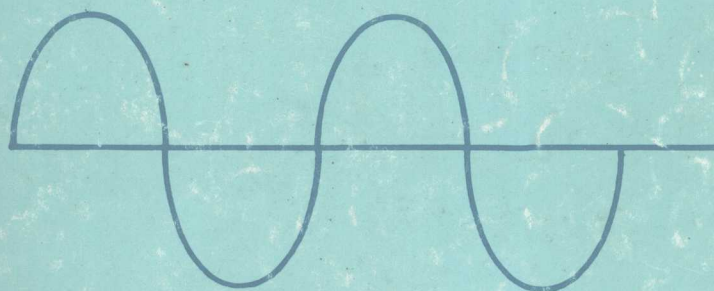


模拟电子技术 基础实验

黄冬明 龚三明 编



重庆大学出版社

模拟电子技术基础实验

黄冬明 龚三明 编

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书是根据国家教委工科电工课程指导委员会电子线路课程教学指导小组制定,并经国家教委批准的《电子线路实验教学基本要求》编写的。

全书分为四部分,第 I 部分为模拟电子技术实验,其中基本实验 17 个,综合性设计实验 3 个;第 II 部分为电子电路检测的基本知识,介绍用常用仪器进行基本测量的知识,以及模拟电子技术实验中常见故障的分析与排除;第 III 部分为仪器简介,介绍几种常用低频仪器的工作原理及使用方法;第 IV 部分为附录,附录中介绍常用元器件的使用知识、最新型号及最新颁布的国家标准图形符号。

本书为高等学校工科电子类各专业的实验教材,也可供非电类专业选用及工程技术人员参考。

模拟电子技术基础实验

黄冬明 龚三明 编

责任编辑 何均正

*

重庆大学出版社出版发行

新华书店经销

重庆建筑大学印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:7.75 字数:193 千

1996 年 10 月第 1 版 2000 年 1 月第 2 次印刷

印数:3001—4200

ISBN 7-5624-1312-6/TN·22 定价:9.00 元

前 言

随着电子技术的迅速发展,电子技术基础实验课程建设不断更新,课程改革不断深化。为了适应新的形势,根据国家教委工科电工课程指导委员会电子线路课程教学指导小组制定,并经国家教委批准的《电子线路实验教学基本要求》,结合多年实践教学的体会和经验编写了这本教材。

电子技术的发展及在通讯、信号处理、自动控制等领域的广泛应用,对工科大学生提出了更高的要求,即不但要牢固掌握理论知识,还要加强理论联系实际,逐步培养基本实验技能,培养分析问题,解决实际工程问题的能力,以及实事求是、严谨的科学作风。因而,模拟电子技术基础实验课的重要性日益突出,成为工科院校电类专业大学生必不可少的重要实践教学环节之一。

本书的一个特点是在保证基本实验的基础上,扩充了集成运算放大器应用方面的实验内容;加强了设计性、综合性实验,并注重基本实验技术与方法的培养和训练。另一个特点是,图形符号采用了最新颁布的国家标准(GB)图形符号,并在附录中对新颁国家标准作了介绍,同时还介绍了元器件使用常识及最新型号。

本书内容包括四部分。第Ⅰ部分为模拟电子技术实验,其中基本实验主要是对学生进行常用低频实验仪器的使用及基本实验能力的培养和训练;综合性设计实验通过较系统的实践能力锻炼,使学生初步具有模拟电子线路的工程设计、安装调试技能,提高独立分析和处理实际问题的能力。这一部分可根据不同专业及层次灵活选择与安排。第Ⅱ部分为电子电路检测的基本知识,提供了实验中必须掌握的基础实验知识及技巧,其目的是配合实验教学,使学生掌握正确使用仪器进行常规测量的基本方法;初步具有分析、寻找和排除电子电路中一般故障的能力。第Ⅲ部分为常用仪器简介,对几种仪器的工作原理及操作方法作了较为全面的叙述,便于学生预习与参考。第Ⅳ部分为附录,附录包括常用元器件型号、参数及使用中应注意的问题,并对新颁国家标准图形符号作了部分介绍。

每个基本实验须3学时完成,综合性设计实验须安排较多的学时数。为了达到实验目的,应要求学生实验前,做好实验预习、详细阅读实验教材及有关附录内容,认真预习思考题、计算题;实验中应独立思考,踏实认真、独立完成实验规定的所有内容。实验结束后,应写出完整的实验报告,报告内容包括:实验目的、步骤、实验电路、实验数据及其处理、绘制曲线或波形等;同时,应在报告中回答教材中提出的问题,以加深对实验效果的分析和理解。

本教材第Ⅰ部分中,实验2、3、4、5、6、7、12、13、14、15、16及第Ⅱ部分由黄冬明编写;第Ⅰ部分中,实验1、8、9、10、11、17、18、19、20及第Ⅲ、Ⅳ部分由龚三明编写,黄冬明负责统稿。

本书承重庆大学电子工程系金吉成教授审阅,金吉成教授对本书编写给予了指导,并提出了许多宝贵的意见和建议,在此致以衷心的感谢!

本书也得到重庆大学电子工程系及中心实验室各级领导的大力支持,在此一并表示深切的谢意!

由于编者水平有限,书中如有不妥或错漏之处,敬请读者批评指正。

编 者

1995年12月

目 录

非正弦信号波形发生电路 方 矩 三 锯
占空比可调

I 模拟电子技术实验	1
实验一 常用低频电子仪器的调整使用	1
实验二 测试晶体二极管和晶体三极管	5
实验三 单级低频放大器	8
实验四 两级阻容耦合放大器	11
实验五 负反馈放大器	15
实验六 RC 正弦波振荡器	18
实验七 集成运算放大器组成的 RC 正弦波振荡器	21
实验八 场效应管放大器	23
实验九 无输出变压器低频功率放大器	27
实验十 集成功率放大器	30
实验十一 集成运算放大器参数测试	32
实验十二 集成运算放大器的基本运算电路	36
实验十三 有源滤波器的设计与调试	41
实验十四 集成运算放大器组成的比较器和三角波发生器	45
实验十五 直流稳压电源	49
实验十六 线性集成稳压电源	52
实验十七 运算放大器组成恒流源电路	57
实验十八 用集成运算放大器组成万用表	60
实验十九 平衡式无输出变压器(BTL)功率放大器	64
实验二十 自动增益控制放大器	65
II 电子电路检测的基本知识	68
第一节 电压的测量	68
一、电压表测量法	68
二、示波器测量法	70
第二节 频率和相位的测量	71
一、李沙育图形测频率	71
二、相位的测量	72
第三节 模拟电子电路实验中常见故障的检测	74
一、电子电路故障的检测方法	74
二、模拟电子电路实验中常见故障分析与排除	75

Ⅲ 常用仪器简介	77
仪器一 示波器	77
仪器二 信号发生器	80
仪器三 电子管毫伏表	83
仪器四 XJ4810 型半导体管特性图示仪	84
仪器五 500 型万用表	91
仪器六 DT-830 数字万用表	93
Ⅳ 附录	96
附录一 常用元器件	96
附录二 电子线路中常用图形及文字符号	111
主要参考书目	118

21个学时. 9次 experiments.
要求: 考勤. 检查数据.

I 模拟电子技术实验

信号输出: 入接线头: $\begin{cases} \text{红(R)} + \\ \text{黑(B)} - \text{也是接地板} \end{cases}$

实验一 常用低频电子仪器的调整使用

一、实验目的

1. 通过实验, 了解示波器、函数信号发生器、低频电子管电压表的主要技术指标、性能和面板上各旋钮的功能。
2. 初步掌握用示波器观察正弦波、三角波和方波及测量波形基本参数的方法, 学会正确使用这些仪器。

二、实验原理及预习要求

1. 实验原理

本实验采用的三种常用电子仪器, 即函数发生器, 电子管毫伏表和示波器, 它们之间的连接方式如图 1-1-1 所示。

函数发生器(459 型)可产生正弦波、三角波、方波。频率范围为 $0.01\text{Hz} \sim 1\text{MHz}$ 。输出电压幅度最大为 20V 峰-峰值(对正弦波, 最大幅度有效值 $> 7\text{V}$)。分别给毫伏表和示波器提供信号。

电子管毫伏表是用来测量正弦波信号电压有效值的仪表。本实验用 GB-9B 型电子管毫伏表。它能测量频率范围为 $25\text{Hz} \sim 200\text{kHz}$, 幅度有效值为 $1\text{mV} \sim 300\text{V}$ 的正弦信号电压。

示波器是一种用来观测各种周期电压(或电流)波形的仪器, 能观察到的最高信号频率主要决定于 Y 轴通道的频带宽度。本实验采用 538AC 型示波器, 可以观测频率为 5MHz 以下的各种周期信号。

2. 预习要求

认真阅读第三部分仪器简介中的下述内容:

- (1) 示波器的原理和 538AC 型示波器的使用方法。
- (2) 459 型函数发生器面板上旋钮的作用及使用方法。
- (3) GB-9B 型电子管毫伏表的原理。

三、实验内容及步骤

1. 459 型函数信号发生器的使用

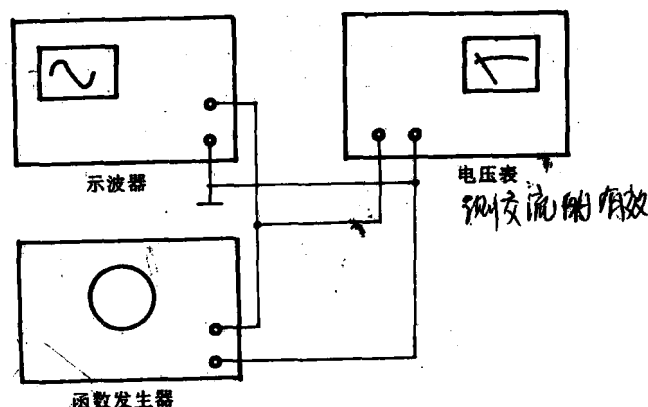


图 1-1-1 仪器之间的连线图

459 型函数发生器是一多功能函数发生器。它可以输出正弦波、三角波、方波,作为一般振荡器用。该函数发生器与其它设备配合,还可以用作扫频信号发生器,这里仅介绍作为振荡器的使用方法。

(1)459 型函数发生器面板如图 1-1-2 所示。

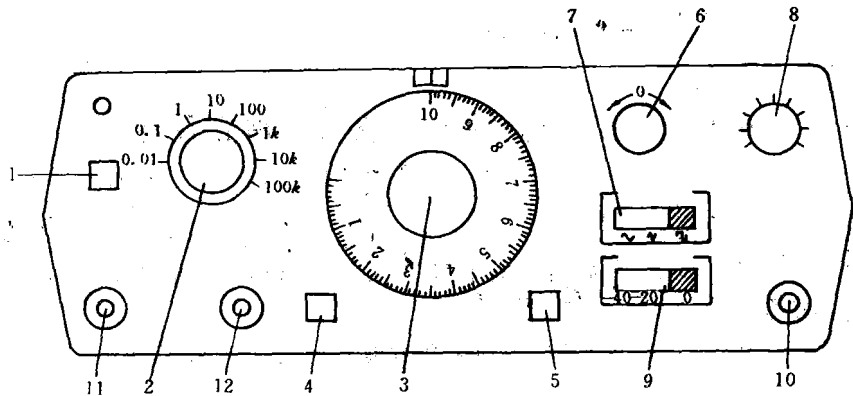


图 1-1-2 459 型函数发生器面板图

- 1-电源开关 2-频率范围选择 3-频率调节度盘 4-压控工作开关 5-启动按钮 6-直流补偿
7-功能选择开关 8-输出幅度调节 9-衰减开关 10-输出插孔 11-TTL 输出 12-压控输入

其中④压控工作开关、⑫压控输入、⑪TTL 输出是作为特殊应用,详见第Ⅲ部分仪器二。

①打开电源开关①后,首先将启动按钮⑤按下,使仪器工作在自激振荡器状态,此时仪器可输出不同波形。调节直流补偿旋钮⑥,使旋钮上“·”点对准面板上 0,根据所需的输出波形拨动功能选择开关⑦选择对应输出所需的正弦波、三角波和方波。

(2)频率的调节

振荡器输出频率为 0.01Hz~1000kHz(1MHz)的信号,通过频率范围位置②与频率调节度盘③配合调节,可以获得 0.01Hz~1MHz 的正弦波、三角波、方波信号。根据“频率范围”位置指示的值 m 与“频率调节”度盘指示值 N ,则可得到输出的频率 $f=m \times N$ 。

例如“频率范围”位置在 100Hz($m=100$),而“频率调节”度盘指示的刻度为 3.5($N=3.5$),则输出频率 $f=m \times N, f=100 \times 3.5=350(\text{Hz})$ 。

(3)输出幅度的调节

面板上的输出幅度调节旋钮⑧和衰减器⑨,用于调节输出电压的幅度。

由于函数信号发生器可以输出正弦波、三角波、方波信号,因此输出电压的幅度通常用峰-峰值 V_{PP} 来表示,如图 1-1-3 所示。

表 1-1-1

衰减	输出最大 V_{PP}	正弦波输出有效值
0dB	>20V	0— >7V 7.8V
20dB	>2V	>700mV 790mV
40dB	>200mV	>70mV 79mV

60dB
输入 1000Hz

8.5mV

衰减 20dB -10dB
40dB -100dB
两个按钮同时按下 -100dB

0dB: 0~8V左右
-20dB 0~0.8V
-40dB 0~0.08V
-60dB 0~0.008V

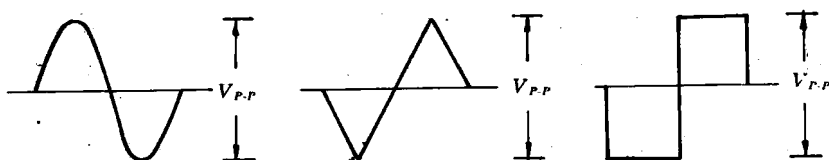


图 1-1-3 函数发生器输出波形

本仪器输出电压 V_{P-P} 最大值不小于 20V。对于正弦波,还可以用有效值来表示,则输出电压的最大值(有效值)不小于 7V。

输出衰减器⑨拨动开关有三挡:“0dB”表示输出信号未经过衰减器,不对信号进行衰减;“-20dB”表示输出电压衰减 10 倍;“-40dB”衰减 100 倍。输出幅度调节旋钮⑧可对输出电压作均匀的调节。不同衰减时,能够得到的最大峰-峰电压值列于表 1-1-1 中。

2. 示波器的使用

图 1-1-4 为 538AC 型示波器的面板图。使用示波器时,先将垂直增益开关⑤置 GND(地),将示波器“X 轴位移”②和“Y 轴位移”③旋钮放在中间位置。接通电源预热 3 分钟,屏幕上显示出光点后,将垂直增益开关置于 1/10,使屏幕上显示出一条细的水平扫描线。微调“X 轴位移”和“Y 轴位移”旋钮,使水平扫描基线位于屏幕中央。注意切忌将光点长时间停留在某一点上,以免烧坏萤光屏。

(1) 观察校准信号波形

操作示波器,把示波器面板上的校准电压②输出的电压,作为被测电压 V_Y 加到 Y 轴输入端,调节垂直增益开关⑤、垂直增益微调④、扫描范围⑩及扫描微调⑫,使屏幕上显示出清晰、稳定的一个或两个周期的波形,并描绘出观察到的波形图。

(2) 应用示波器测量波形

本实验要求在信号发生器输出为最大(对 459 型函数发生器,输出衰减器置于 0dB,输出微调顺时针旋至最大)时,分别观察频率为 100Hz、500Hz、1kHz、5kHz、10kHz、100kHz,正弦波、三角波、方波信号。调节 Y 轴增益开关及 Y 轴增益微调,使屏幕上显示高度为 6 格,同时根据信号频率合理选择扫描范围,并调节扫描微调使萤光屏上显示出一个或二个完整、稳定的正弦波,并描绘出观察到的波形。

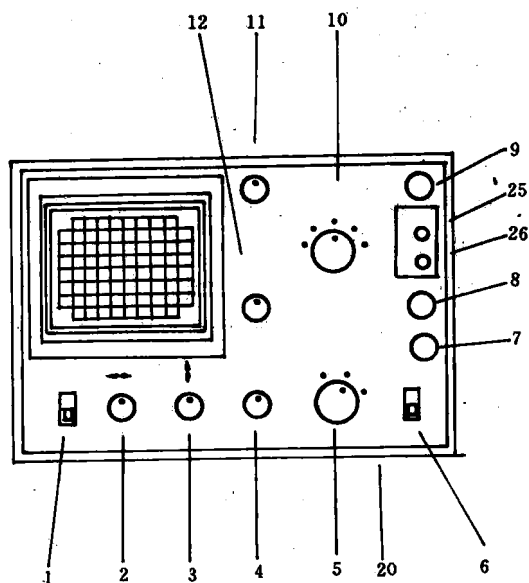


图 1-1-4 538AC 型示波器面板图

- 1-电源开关 2-水平位移 3-垂直位移 4-垂直增益微调 5-垂直增益开关 6-垂直放大器耦合方式 7-垂直输入端子 8-接地端子 9-水平输入端子 10-扫描范围 11-水平增益 12-扫描微调 25-校准信号 $1V_{P-P}$ 26-校准信号 $50mV_{P-P}$ 20-机壳

3. 电子管毫伏表的使用

电子管毫伏表是用来测量正弦波信号电压有效值的仪表,本实验采用 GB-9B 型电子管毫伏表。它能测量频率范围为 25Hz~200kHz、幅度有效值为 1mV~300V 的正弦信号电压。

(1) 使用方法

调零: 在接通电源前,对表头进行机械零点的校准。先将量程开关放在量程最大档,接通电源预热 3 分钟。将输入端短接后,把量程开关放在最小档,调节“零点调整”旋钮,使表针指在零位。

在接线时应注意,由于一般电子电压表灵敏度较高,为避免因 50Hz 交流电的感应将表头指针打弯,在测量时应将量程开关放在大于 10V 档,并应先接地线后再接信号线,测量结束后拆连线时则应先拆信号线后再拆地线。

估计被测电压的大小,选出合适的量程;若事先不知道被测电压大小,应将量程放到最大档(300V),然后逐次减小,使表针偏转大于满刻度的 $\frac{1}{3}$ 以上区域,以提高测量精度。

使用完毕后,应将量程开关转到最大量程档,以免下次使用时损坏仪表。

由于电表指示值是以正弦电压有效值刻度的,若被测电压波形为非正弦波,测量电压的读数就会引入一定误差。

(2) 用电子管毫伏表测量电压

将 459 型函数发生器置于正弦波档,频率调至 1kHz,衰减置于 0dB,用 GB-9B 电子管毫伏表直接测量。调节函数发生器输出幅度调节旋钮,使输出电压值为 5V,然后将衰减器分别放在 20dB 和 40dB 测量出对应的电压值,记入表 1-1-2 中。

表 1-1-2 精确到 μmV 2 位

函数发生器 “输出衰减”所在位置	0dB	20dB	40dB
电压表读数(V)	5V	5mV	0.5V
	1000Hz 5V	0.507V	50.5mV

4. 三种仪器的使用

首先将函数发生器波形选择开关置于正弦波,信号频率为 1kHz,衰减器置于 0dB,调节信号发生器输出电压调节旋钮,使输出为 6V,毫伏表量程开关置于 10V 档。固定示波器屏幕上波形的幅度为 6 格,保持波形为 1 个或 2 个周期。改变函数发生器输出的频率,用毫伏表测量相应的电压值,计入表 1-1-3 中。

6V 表 1-1-3

信号频率(Hz)	25	50	100	500	1k	5k	10k		200k
电压表读数(V)	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.09	2.08		
	5.9V	5.96	6	5.98	5.98	6.12			

五、实验报告及问题回答

1. 根据实验记录,列表整理,并描绘观察到的波形图。

2. 用交流电压表测量交流电压时,信号频率的高低对读数有无影响? 能否用 GB-9B 型毫伏表测量 25Hz 以下的交流电压? 为什么一般不用三用表来测量高频交流电压?

3. 用示波器观察波形时,要达到下述要求,应调节哪些旋钮?

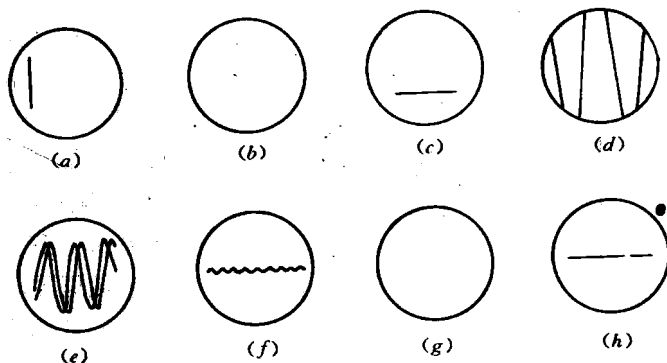


图 1-1-5

(1)波形完整(一个周期以上);(2)波形清晰;(3)波形稳定;(4)移动波形位置;(5)改变波形个数;(6)改变波形高度。

4. 电压表电压读数和示波器的电压读数有什么不同?

5. 用 538AC 型示波器观察正弦波电压时,若荧光屏上出现图 1-1-5 所示情况,试说明哪些开关或旋钮的位置不对,应如何调节?

实验二 测试晶体二极管和晶体三极管

一、实验目的

1. 学习使用万用表检测晶体二极管、晶体三极管的方法。
2. 加深巩固对元器件特性和参数的理解。

二、实验原理及预习要求

1. 实验原理

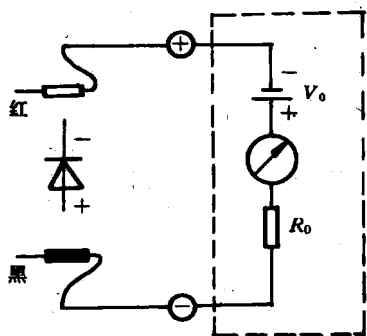


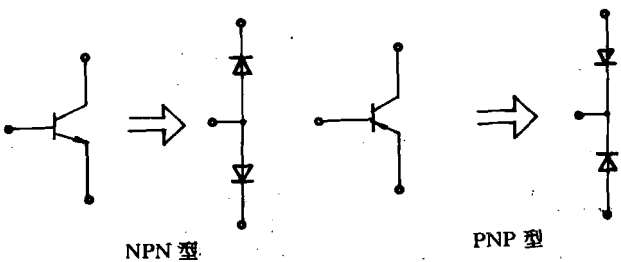
图 1-2-1 二极管测试原理图

晶体二极管和晶体三极管是电子电路和电子设备的基本元件之一,为了能正确的加以选用,必须了解它们的特性、参数以及测试方法。这里介绍使用万用表检测的方法。

使用万用表检测时,一般应使用该表的 $R \times 1k$, $R \times 100$ 档。因为 $R \times 10k$ 档,表内装有较高电压的电池,易将 PN 结击穿;若用 $R \times 1$ 档,表内等效内阻较小,会有较大的电流流过 PN 结,也易烧坏晶体管。还应注意,用万用表欧姆档(仅对指针式万用表适用,数字式表不适用),正端(红表笔)带负电,负端(黑表笔)带正电。

二极管测试的原理如图 1-2-1 所示。如果二极管处

于正向偏置,呈现低电阻,表针偏转大;若处于反向偏置,呈现高电阻,表针偏转小。正向偏置时,黑表笔接触的那一端是二极管的正极(或阳极)。



NPN 型

PNP 型

图 1-2-2 三极管基极的判别

得低电阻,则该管为 NPN 型管;反之,将红表笔固定,对另两个极同时测得低电阻,则为 PNP 型管。

测试三极管时,可以将三极管的结构看作由两个 PN 结所组成,如图 1-2-2 所示。基极与另处两个极的正向电阻都很小,反向电阻都很大。测试时,可将三个电极分别设为基极进行测试,其中只有一个极所测数据同时呈现低电阻(正向)或同时呈现高电阻(反向),则该极为基极,同时可判断出管子类型。若将黑表笔固定,对另两个电极同时测

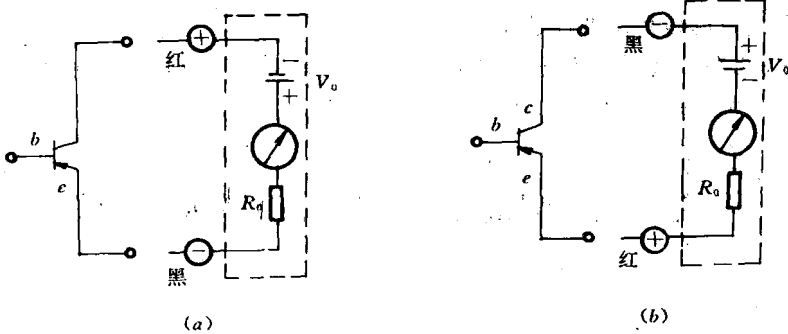


图 1-2-3 晶体三极管反向穿透电流的测试

基极及管子类型判别出来以后,可进一步判别集电极 c 和发射极 e 。对于锗材料 PNP 管,一般可采用测反向穿透电流的方法来判断,如图 1-2-3 所示,图(a)测得的为 I_{CEO} ,阻值约为几千欧姆,图(b)测得的为 I_{ECO} ,阻值约几十至几百千欧姆,因 $I_{CEO} > I_{ECO}$,故红表笔接的那个极为集电极 c 。

对于硅材料管,例如 NPN 管,可利用晶体管电流放大原理进行测试,测试原理如图 1-2-4 所示。

要体现出晶体管的电流放大作用,首先要使晶体管内部有载流子运动。为有利于发射区多子(电子)的扩散,对 NPN 型晶体管的发射结要加正向偏置,而集电结应加反向偏置,以利于集电极电流的形成。集电极电流是由发射区越过基区到达集电结边沿的电子,在电场作用下漂移到集电区形成的电子流,并不是集电区

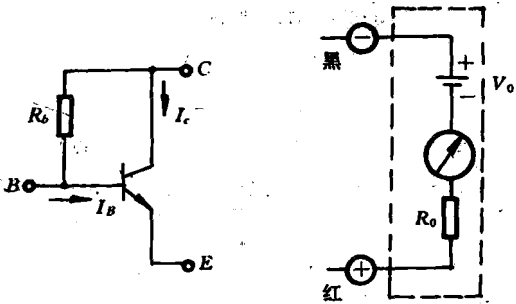


图 1-2-4 估测晶体三极管 β 值原理图

本身多子(空穴)运动所形成,从而体现基极对集电极的电流控制作用。

如上所述,NPN型晶体三极管正常工作的条件是,发射极接电源负端(发射结正向偏置),集电极接电源正端(集电结反向偏置),同时应向基极提供一个电流 I_B 。测试时,先用黑表笔接集电极(电源正端),红表笔接发射极(电源负端),并在 $b-c$ 间接入电阻 R_b ,电源通过 R_b 向基极提供一个电流(用两只手分别捏住 b 、 c 两极可代替 R_b 的作用,但 b 、 c 两极不能相碰),此时三极管有较大的 β 值, $I_c = \beta I_B + I_{cEO}$ 。被三极管放大后的电流流过电表,使表针发生偏转,由于 I_c 较大,表针的偏转就大(电阻小)。再将表笔交换,用红表笔接集电极(电源负端),黑表笔接发射极(电源正端),这样的偏置电压使三极管内部载流子运动的规律发生改变,电表指针偏转就小(电阻大),这是由于三极管本身构造所决定的(三极管发射区是高浓度掺杂区,而集电区掺杂少)。比较两次测试,其中电表指针偏转大的那次 β 值大,在偏转大的那次测试中,黑表笔接的那个电极就是集电极。

2. 预习要求

- (1)复习教材上有关晶体二极管、晶体三极管特性、参数的内容。
- (2)阅读本实验内容及有关附录内容。

三、实验内容及步骤

1. 测试晶体二极管

- (1)测试并判断二极管的正、负极。
- (2)用同一个二极管,分别用 $R \times 100$ 和 $R \times 1k$ 档测量其正向电阻。

2. 测试晶体三极管

- (1)判别三极管的基极和管子类型。
- (2)判别管子所用的材料。
- (3)判别三极管的集电极 c 和发射极 e 。

四、实验仪器及元件

- | | |
|---------------------|-----|
| 1. 万用电表(500型) | 1只 |
| 2. 二极管(2AP, 2CP) | 各1只 |
| 3. 三极管(3DG6, 3AX31) | 各1只 |

五、实验报告及问题回答

1. 实验报告

- (1)整理实验数据,画出实验原理图。
- (2)对实验结果进行分析总结。

2. 问题回答

- (1)为什么用万用表 $R \times 1k$, $R \times 100$ 档测量同一个管子,所测得的正向电阻不相等?
- (2)能否用双手分别将表笔和管脚连接的二端捏住进行测量?这样会产生什么影响?

实验三 单级低频放大器

一、实验目的 加深理解单级放大器的放大特性，学习静态工作点的调测方法和电压放大倍数。

1. 进一步熟悉几种常用低频电子仪器的使用方法。
2. 掌握单级放大器静态工作点的调测方法。
3. 观察静态工作点的变化对输出波形的影响。
4. 学习电压放大倍数及最大不失真输出电压幅度的测试方法。

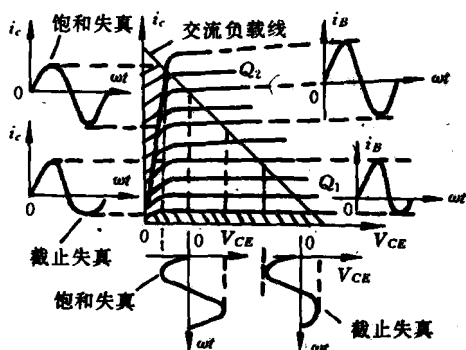


图 1-3-1 静态工作点不合适引起放大器失真

二、实验原理及预习要求

1. 实验原理

(1) 放大器的基本任务是不失真地放大信号，即实现输入变化量对输出变化量的控制作用。要使放大器正常工作，除必须有保证晶体管正常工作的偏置电压外，还须有合理的电路结构形式和配置恰当的元器件参数，使得放大器工作在放大区内，即设置合适的静态工作点。静态工作点设置过高，会引起饱和失真，如图 1-3-1 中的 Q_2 点；设置太低，会造成截止失真，如图 1-3-1 中的 Q_1 点所示。

对于小信号单级放大器而言，由于输出交流信号幅度很小，非线性失真不是主要问题，可根据具体要求设置工作点。例如，希望放大器耗电小，噪声低，工作点 Q 可适当选得低一些；希望放大器增益高，工作点可适当选得高一些。如果输入信号幅度较大，则要保证输出波形基本不失真，此时的工作点应选在交流负载线的中点，以获得最大不失真输出电压幅度，如图 1-3-2 所示。

衡量单级放大器性能的主要指标有：

① 电压放大倍数。电压放大倍数定义为输出电压变化量的幅值与输入电压变化量幅值之比，表达式为：

$$A_v = \frac{V_o}{V_i}$$

式中 V_o 、 V_i 分别代表输出、输入正弦电压信号的有效值。

② 输入电阻。输入电阻是从放大器输入端看进去的等效电阻(或等效阻抗)，它表明放大电路对信号源影响的程度。放大电路输入电阻越高，对信号源影响越小，输入信号就越接近于恒压输入，即 $V_i = V_s$ 。输入电阻的表达式为：

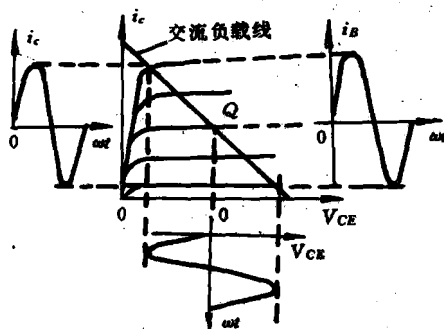


图 1-3-2 具有最大动态范围的静态工作点

$$R_i = \frac{V_i}{I_i}$$

③输出电阻。从放大器输出端看进去的等效电阻称为输出电阻,它表明放大电路带负载的能力,输出电阻越小,带负载的能力越强。其表达式为:

$$R_o = \left. \frac{V_o}{I_o} \right|_{V_i=0 \text{ 或 } I_i=0}$$

(2)单级共射极低频放大电路是由分立元件组成的,它是放大器中最基本的单元电路之一,本实验采用的是分压式工作点稳定电路,它具有自动调节静态工作点的能力。在元件参数已确定的条件下,当温度变化或外界某种条件发生变化时(如更换晶体三极管,使 β 值发生变化),均能保证 V_B 基本稳定不变,从而使得静态工作点保持基本不变。

实验电路如图 1-3-3 所示。

在元件参数已确定的情况下,该电路的一般工程估算如下:

①静态参数

发射极电压一般取 $V_E = (0.1 \sim 0.3)V_{CC}$, 或取 $V_{EQ} = 1 \sim 3V$

$$V_B = V_{CC} \frac{R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} \quad (\text{当满足 } I_B \ll I_1 \text{ 时})$$

$$I_{EQ} = \frac{V_{EQ}}{R_e}$$

$$I_{CQ} \approx I_{EQ}$$

$$\text{令 } \beta \approx \beta$$

$$\text{则 } I_{BQ} = \frac{I_{CQ}}{\beta}$$

$$V_{CEQ} \approx V_{CQ} - V_{EQ} = V_{CC} - I_{CQ}(R_c + R_L)$$

②动态参数

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = - \frac{\beta R_L'}{r_{be}}$$

$$r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26(\text{mV})}{I_{EQ}(\text{mA})}$$

其中低频管 $r_{bb'} \approx 300\Omega$, 高频管 $r_{bb'} \approx 30 \sim 50\Omega$,

$$R_i = R_b // r_{be}, \quad R_b = R_{b1} // R_{b2}$$

$$R_o \approx R_c$$

$$R_L' = R_L // R_c$$

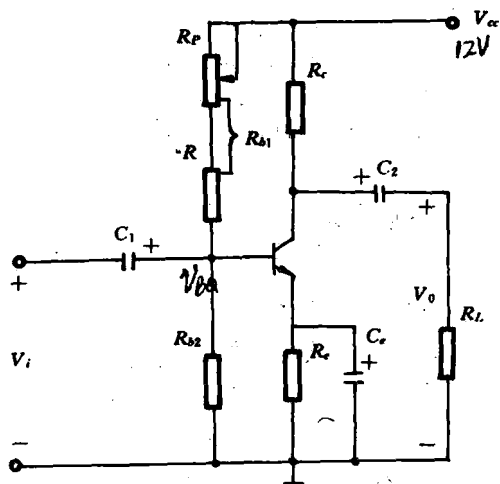


图 1-3-3 单级低频放大器实验电路

电路参数: $V_{CC} = 12V$; $R_P = 1M\Omega$,

$R = 10k\Omega$, $R_{b1} = R_P + R$,

$R_{b2} = 7.5k\Omega$; $R_C = R_L = 4.7k\Omega$,

$R_e = 1k\Omega$; 三极管为 3DG6。

2. 预习要求

- (1) 复习几种常用低频电子仪器的正确使用方法。
- (2) 复习教材中单级共射放大器的有关内容。
- (3) 掌握小信号低频放大器静态工作点的选择原则。
- (4) 阅读本实验全部内容。
- (5) 按照实验电路的元件参数, 估算电压放大倍数。($r_w = 300\Omega$, 设 $\beta = 50$)

三、实验内容及步骤:

1. 调节 $V_{CC} = +12V$, 信号电压 $V_i = 10mV$, $f = 1kHz$ 。
2. 将实验原理图与实验底板对照, 检查无误后, 再按要求连接, 接入 V_{CC} , 输入 V_i 。
3. 观察不同静态工作点对放大器输出波形的影响。调节 RP , 使 R_1 的阻值处于逐渐增大、合适、逐渐减小等几种不同状态, 分别测出工作点 V_{EQ} 、 V_{CQ} , ($V_{CEQ} = V_{CQ} - V_{EQ}$, $I_{CQ} \approx I_{EQ} = \frac{V_{EQ}}{R_E}$), 描绘所观察到的波形, 若有失真, 判断属于何种失真, 将数据填入表 1-3-1 中。

表 1-3-1

测试项目 RP	V_{EQ}	V_{CQ}	V_{CEQ}	$R = 5k\Omega$ I_{CQ}	输出波形	判别工作状态
$R_1 \uparrow$ 阻值最大	0.12	11.72	11.6			截止
R_1 阻值适中	2.20	5.92				
$R_1 \downarrow$ 阻值最小	2.86	4.38				饱和

4. 电压放大倍数的测试

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} \quad \text{标准条件: 放大区}$$

$R_L = \infty$ 时, 输出波形基本上不失真, 再分别测出当 $R_L = \infty$ 与 $R_L = 4.7k\Omega$ 时的 V_o , 算出 A_v , 描绘输出电压波形, 填入表 1-3-2 中。

表 1-3-2

测试项目 R_L	V_i	V_o	电压增益 A_v	输出波形
$R_L = \infty$	10mV	1.35V	135	
$R_L = 4.7k\Omega$ 5.1k Ω	10mV	0.725V	72.5	

5. 测量电路的最大电压放大倍数和最大不失真输出电压幅度。

(1) 当 $R_L = 4.7k\Omega$ 时输入 $V_i = 10mV$, $f = 1kHz$ 正弦信号, 调节 RP , 使输出波形不产生失真, 且幅值最大, 此时的电压放大倍数最大。测量此时的静态工作点及输出电压 V_{om} , 计算出 A_{vm} 。

(2) 输入 $V_i = 10mV$, $f = 1kHz$ 正弦信号, 并逐渐增大 V_i , 观察输出波形有无失真, 如只出现上峰或下峰失真, 则调节 RP , 使其上、下峰同时出现削顶失真, 此时, 则须减小输入信号 V_i , 并反复调节 RP , 直至输出电压波形刚好同时退出削顶失真为止。此时的工作点已位于交流负

载线中点,测出的 V_i 即为放大器的最大允许输入电压幅值,测出的 V_o 即为最大不失真输出电压幅值。

四、实验仪器及实验底板(或元件)

1. 低频信号发生器	(459 型函数发生器)	1 台
2. 示波器	(538AC 型)	1 台
3. 电子管毫伏表	(GB-9B 型)	1 台
4. 直流稳压电源	(QF1720M 型)	1 台
5. 万用表	(500 型)	1 只

五、实验报告及问题回答

1. 实验报告

(1)整理实验数据,填入表格。

(2)总结 R_P 的变化对静态工作点及输出波形的影响,分析波形失真的原因。

(3)将电压放大倍数的实验数据与估算值进行比较,若有误差,分析其原因。

2. 问题回答

(1)使用由 NPN 管和 PNP 管组成的放大器,其输出电压的饱和失真波形与截止失真波形是否相同?

(2)静态工作点偏高(或偏低)是否一定会出现饱和或截止失真?为什么?若出现失真,应如何调节予以消除?

(3)在 $R'_L = R_L // R_c$ 时,最大允许输出波形不失真,若断开 R_L ,此时波形可能出现什么变化?

实验四 两级阻容耦合放大器

一、实验目的

1. 了解阻容耦合放大器级间的相互影响。

2. 学会两级放大器的调整 and 性能指标的测试方法。

3. 了解放大器静态工作点对动态范围的影响。

学习两级阻容耦合放大器的静态工作点的调整方法,进一步 understand 各级阻容耦合放大器各级间联系和相互影响

二、实验原理及预习要求

1. 实验原理

阻容耦合放大器是多级放大器中常见的一种,其特点是各级直流工作点相互独立,可分别进行调整。由于各级大多采用工作点稳定电路,使得放大器性能比较稳定。

在阻容耦合多级放大器中,由于输出级的输出电压和输出电流都比较大,因而输出级的静态工作点一般都设置在交流负载线的中点,这样能获得最大动态范围或最大不失真输出电压幅值。

本实验电路为两级阻容耦合放大器,如图 1-4-1 所示。利用级间接插件改变放大器为单级