

高等学校教学用书

电子技术 基础实验

(模拟电子技术部分)

刘 钰 王兆香 编



中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书根据国家教委高等学校工科电子技术教学指导小组制订的电子技术基础课程教学基本要求,在中国矿业大学电子技术教研室多年来实验教学的基础上,吸取兄弟院校的经验,总结了近几年来教学改革的实践编写而成。本书选编了模拟电子电路实验十七个(其中包括综合性设计性实验三个)和七个附录。学生通过实验掌握常用电子仪器的使用方法,电子电路的基本测试方法、理论验证和根据任务查阅手册,合理选择元器件,寻找、分析、排除故障,以及了解元器件的使用知识。

本书可作为煤炭电气工程、电气技术、电力系统及其自动化专业等电力类、自动化类以及相近专业的模拟电子技术课程实验教材,也可供有关教师和科技工作者参考。

责任编辑: 周宪一

技术设计: 杜锦芝

责任校对: 关湘雯

高等学校教学用书

电子技术基础实验

(模拟电子技术部分)

刘 钰 王兆香 编

中国矿业大学出版社出版

江苏省新华书店经销 中国科学院开封印刷厂印刷

开本787×1092毫米1/16 印张6.25 字数145千字

1990年5月第一版 1990年5月第一次印刷

印数: 1—2000册

ISBN 7-81021-276-1

TM·5

定价: 1.35元

前 言

本书是根据国家教委高等学校工科电子技术教学指导小组制订的《电子技术基础课程教学基本要求》(模拟电子技术部分)编写成的,作为煤炭电气工程、电气技术、电力系统及其自动化专业等电力类、自动化类专业的实验教材。

本书选编了十七个实验。其中分为(1)常用电子仪器的使用(以使用示波器为主)。考虑到各校示波器种类不一,编写了XJ-17型和SB-10型示波器的使用练习。(2)基本电子电路的测量和实验。对放大器的静态工作点、放大倍数、输入电阻、输出电阻、频率特性的上限频率和下限频率等的测试方法反复练习,以求熟练掌握。(3)元、器件的使用知识。除分立元件二极管、三极管、场效应管外,对集成电路:运算放大器、稳压器等给了较多的篇幅,另外还有常用电阻器、电容器的基本知识。(4)综合性、设计性实验。这是课程教学基本要求新增加的内容。这类实验为实验十五、十六、十七。以此培养学生根据任务或要求,查阅手册、合理选择元器件、构成比较复杂的典型电路或小的电子系统的能力。

本书按章节方式编写,每章节包括若干实验。每节对该类实验有一个概括的描述,以求对同类实验的总体测试、技术性能指标有个提纲挈领的概念。本书实验原理写得很少,读者可参阅高等教育出版社的下列教材:《模拟电子技术基础》上、下册(童诗白主编),《电子技术基础》(模拟部分)(康华光主编,第二版、第三版),《模拟电子技术基本教程》(邓汉馨主编)或各校自编教材。

本书是在中国矿业大学电子技术教研室多年实验教学的基础上,吸收了兄弟院校的经验,并总结了近几年来教学改革的实践编写成的。教研室主任朱建铭教授和教研室其他同志在编写过程中给予多方指导和关心,教编室胡玉雁同志为本书的出版付出了辛勤的劳动,在此向他们表示感谢。由于编者水平不高,书中有错误和不妥之处,恳请读者批评和指正。

编 者

1989年1月

目 录

第一章 电子电路实验概述	(1)
实验一 常用电子仪器的使用练习 (一)	(2)
实验二 常用电子仪器的使用练习 (二)	(3)
第二章 基本电子电路测量及 实验	(6)
第一节 放大器的一般测量.....	(6)
实验三 单级放大器.....	(12)
实验四 多级放大器.....	(15)
实验五 负反馈放大器.....	(16)
实验六 场效应管放大器.....	(18)
实验七 变压器耦合推挽功率放大器.....	(19)
实验八 无变压器互补对称功率放大器.....	(21)
第二节 差动直流放大器的一般 测量.....	(22)
实验九 差动放大器.....	(24)
第三节 集成运算放大器的主要参数测试及 应用.....	(26)
实验十 集成运算放大器主要参数的测试.....	(36)
实验十一 集成运算放大器的线性应用.....	(39)
实验十二 集成运算放大器的非线性应用.....	(43)
第四节 正弦波振荡电路的一般 测量.....	(45)
实验十三 RC正弦波振荡 器.....	(46)
第五节 直流稳压电源的一 般 测量.....	(47)
实验十四 稳压电源.....	(50)
第三章 综合性设计性实验	(53)
实验十五 用集成运算放大器构成实用电路.....	(53)
实验十六 集成运算放大器的实际应用研究.....	(54)
实验十七 集成稳压器的应用研究.....	(55)
附录一 示波器显示原理简述	(57)
附录二 SB-10型示 波器	(59)
附录三 XJ-17型通用示波器	(62)
附录四 XD-1型信号发生器	(69)
附录五 BS-2型失真度测量 仪	(72)
附录六 JT-1型晶体管特性图 示 仪	(75)
附录七 常用电阻 器、电 容 器	(82)

第一章 电子电路实验概述

模拟电子电路是一门具有自身的体系而且实践性很强的技术基础课,必须十分重视和加强实验教学。实验课的目的是培养学生的电子电路实验研究能力;培养学生理论联系实际的能力,即学生根据实验结果,利用所学理论知识,通过分析找出内在联系,从而对电子电路参数进行调整,使之符合技术性能要求;培养学生实事求是、严谨的科学作风。

模拟电子电路实验的基本要求是:

1. 正确使用常用的电子仪器,如示波器、信号发生器、数字多用表、参数测试仪、稳压电源等。
2. 掌握基本的测试技术,如测量频率、相位、时间、电压电流的平均值、有效值、峰值,以及电子电路的主要技术指标。
3. 具有查阅器件手册的能力。
4. 根据技术要求能选用合适的元器件,设计常用小的电子系统,并进行组装和调试。
5. 初步具有分析、寻找和排除电子电路中常见故障的能力。
6. 初步具有正确处理实验数据、分析误差的能力。
7. 能独立写出严谨、有理论分析、实事求是、文理通顺、字迹端正的实验报告。

为达到上述的实验目的和基本要求,一般实验的方法大体为:(1)根据技术要求,查阅器件手册,选择合适的元器件,设计典型的电子电路,并组装成实验装置;(2)进行测试,发现故障,通过分析寻找故障的原因,并排除之,使电路工作正常;(3)电路技术指标的测量,测定所构成的实验装置的技术指标或按实验要求测定规定的参数,记录并整理,看其是否符合要求。

为了保证实验质量及人身、仪器设备的安全,应注意如下事项:

1. 实验前必须做好预习,弄清实验目的、原理、内容和要求,并根据所学理论估计所做实验的预期结果。
2. 实验中必须严格按照操作规程正确使用仪器设备。发现仪器故障,立即切断电源,并报告指导教师处理,不得擅自拆修仪器设备。
3. 实验结束,应将实验数据送指导教师审阅,然后关断电源,整理好所使用的仪器设备、工具和实验装置,而后离开实验室。

实验后要认真编写实验报告,报告必须文理通顺,字迹工整,抄写清楚、整齐,曲线和图表齐全,除实验数据和实验现象同组学生可共用外,分析和计算必须由学生独立完成。报告的内容应包括实验名称、目的和要求,使用的仪器设备,实验电路,实验内容,实验数据,实验结果和现象的分析讨论,以及实验所规定的其它内容。报告还应写明实验日期、班级、同组同学姓名,并附有经指导教师审阅的实验数据记录。

实验一 常用电子仪器的使用练习(一)

一、实验目的

学习示波器(XJ-17)、低频信号发生器(XD-1)、晶体管毫伏表(DA-16型或JB-B型晶体管毫伏表)、稳压电源(JWY-30C)的使用方法;进一步熟悉MF-30型万用表的使用。

二、实验内容和步骤

1. 认清示波器面板上各旋钮的位置,了解并熟悉各旋钮的用途和使用方法。

2. 将仪器面板上各个控制机件置于附录三所述附表3-1所示的位置。接通电源,指示灯应有红光显示,稍待片刻,仪器就能进入正常工作。

3. 观察示波器本身校准信号的波形

将校准信号接至“Y输入”端,调节辉度电位器,此时屏幕上应显示出不同步的校准信号方波,调节触发“电平”使方波波形得到同步。然后将方波波形移至屏幕中间,若仪器性能基本正常,则此时屏幕显示的方波垂直幅度约为5cm,方波周期在水平轴上的宽度约为10cm。

4. 认清低频信号发生器面板上各旋钮的位置,了解并熟悉它们的用途和使用方法。

5. 用示波器观察低频信号发生器的输出波形。

(1)开启低频信号发生器,调节其输出电压(有效值)为1~5V,频率为1kHz,接到示波器的Y轴输入端,用示波器观察信号电压波形。

(2)调节扫描速度选择开关(K7-1)和扫描“微调”旋钮(W6-3)使荧光屏上显示出的波形增加或减少(例如:1个、3个或6个完整的正弦波)。

(3)将信号频率改为100Hz、1.5kHz、15kHz,调节有关旋钮使波形清晰稳定。

6. 用示波器测量低频信号发生器的输出电压。

将信号发生器的输出细调置于某合适位置(例如1V),输出衰减开关置于0dB。将通用示波器的输入耦合选择开关置于“AC”,而“V/cm”挡级开关和“t/cm”开关根据被测信号的幅度和频率选择适当的挡级,微调(W4-4)置于“校准”状态,并将被测信号直接通过10:1探头输入示波器的Y轴输入端,调节触发“电平”使波形稳定。

根据屏幕上的坐标刻度,读测显示信号的波形的峰-峰值为 D cm,如示波器的“V/cm”挡级标称值为 A V/cm,则被测信号的峰-峰值为

$$V_{p-p} = A \times D \times 10, \text{ V}$$

把所测结果与直接用毫伏表所测数据进行比较,看是否一致。注意,毫伏表所测电压为正弦波的有效值。

再调节输出衰减开关,分别置于10dB、20dB、40dB,重复上述测量,把所测结果与计算值相比较。

7. 用示波器测量输出电压的频率

对于重复信号的频率测量,可按下述时间测量的步骤测出信号的周期,并按其倒数算出其频率值 $f = \frac{1}{T}$ 。

时间测量可按以下步骤进行:按被测信号的重复频率或信号波形上两特定点 P 与 Q

的时间间隔, 选择适当的“t/cm”挡级, 务使两特定点的距离在屏幕的有效工作面积内达到最大限度, 以便提高测量精度(见图1-1)。W6-3置于“校准”位置。

根据屏幕坐标片的刻度, 读被测信号两特定点P与Q间的距离为Dcm, 如果“t/cm”开关挡级的标称值为Ams/cm则PQ两点间间隔值t为

$$t = A \times D = T, \text{ ms}$$

则频率

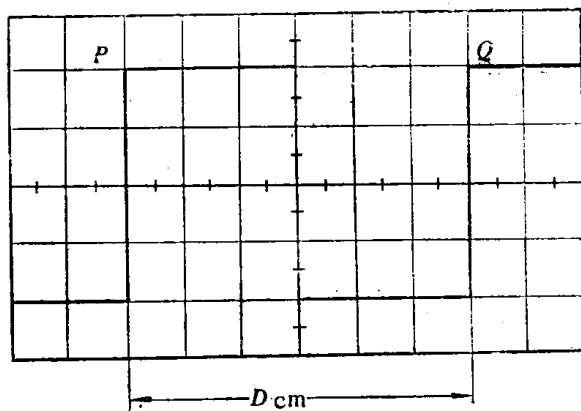


图1-1

$$f = \frac{1}{T}$$

8. 用MF-30型万用表的直流电压挡测稳压电源的输出电压3V、6V、9V、12V。

三、实验预习要求

1. 阅读附录三, 了解XJ-17型通用示波器的原理、使用及使用中的注意事项。
2. 阅读附录四, 了解XD-1型低频信号发生器的原理和使用方法。

四、实验报告要求

1. 使用示波器观察波形时, 为了达到下列要求, 应调节哪些旋钮?
 - (1) 波形清晰, 亮度适中;
 - (2) 波形在荧光屏中央, 大小适中;
 - (3) 波形完整;
 - (4) 波形稳定。
2. 将第6、第7步骤所测信号发生器的输出电压大小和所测频率高低进行计算和分析。

实验二 常用电子仪器的使用练习(二)*

一、实验目的

学习示波器(SB-10)、低频信号发生器(XD-1)、真空管毫伏表(GB-9B真空管毫伏表)、稳压电源(JWY-30C)的使用方法; 进一步熟悉MF-30型万用表的使用方法。

二、实验内容和步骤

1. 认清示波器面板上各旋钮的位置, 了解并熟悉各旋钮的用途和使用方法。
 2. 开启电源, 预热5min, 调节“辉度”旋钮, 使光点亮度适中。将“X轴衰减”置于“扫描”挡, 并调节“聚焦”、“X轴移位”、“Y轴移位”等旋钮, 使荧光屏上显示出一条水平的、清晰的、细而均匀的扫描基线。
 3. 观察示波器本身试验电压的波形
- 由示波器“试验电压”接线柱引出50Hz的交流电压接到Y轴输入端, 调节Y轴增幅、Y轴衰减、扫描频率(粗调和细调), 选择同步信号的类型(内⁺、内⁻、电源、外)及同步信号

* 该实验是专门为没有XJ-17型通用示波器和晶体管毫伏表, 而有SB-10型示波器和真空管毫伏表进行常用电子仪器使用练习而编写的。

的大小,使荧光屏上显示一清晰且稳定的1、2或3个周期的试验电压的波形。

应当指出,同步信号不宜过大,否则会使被显示的波形失真。

4. 认清低频信号发生器面板上各旋钮的位置,了解并熟悉它们的用途及使用方法。

5. 用示波器观察低频信号发生器的输出波形。

(1)开启低频信号发生器,调节其输出电压(有效值)为1~5V,频率为1kHz,接到示波器的Y轴输入端,用示波器观察信号电压波形。

(2)调节示波器扫描旋钮,使荧光屏上显示出的波形增加或减少(例如1个、3个或6个完整的正弦波)。

(3)将信号频率改为100Hz、1.5kHz、15kHz,调节有关旋钮使波形清晰稳定。

6. 用真空管毫伏表测量低频信号发生器的输出电压,将信号发生器的输出衰减开关置于0dB、10dB、20dB、40dB测量其对应的输出电压值。

7. 用MF-30型万用表测稳压电源的输出电压3V、6V、9V、12V。

8. 用李沙育图形法测量试验电压的频率。以低频信号发生器输出信号为标准信号,用李沙育图形法测定试验电压的频率,接线如图1-2a。

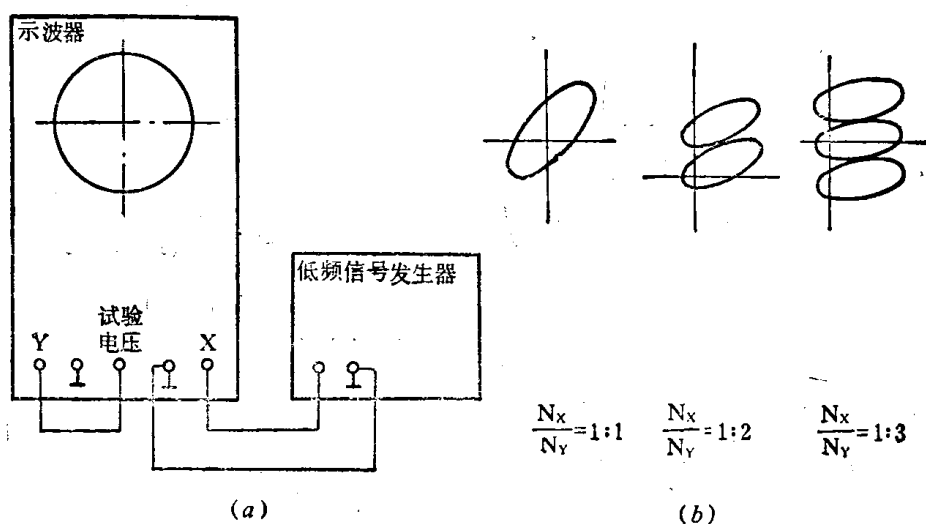


图 1-2

具体作法是:将“Y轴衰减”打到10,“X轴衰减”打到1,信号发生器的输出电压调到1V,适当调节X轴、Y轴移位和增幅,使荧光屏上显示出位置和宽度适当(约为荧光屏尺寸的一半)的波形。调节信号发生器的频率,在荧光屏上出现如图1-2b所示的波形,计算出被测的试验电压的频率。

用李沙育图形测量频率主要是把未知频率的信号(通常加在示波器的Y轴输入端)与已知频率的标准信号进行比较。当两个信号频率相同时,其李沙育图形为一直线、一个圆或一个椭圆。当两个信号的频率不相同,可以产生不同的图形。当两个信号的频率比为整数时,可在荧光屏上形成简单清楚的图形。在李沙育图形上确定两信号频率比的方法是在荧光屏表面水平方向和垂直方向上作出二条互相垂直的线,这两条线都不通过李沙育图形的任何一个交点。数出水平直线与李沙育图形的交点数目 N_x 和垂直线与李沙育图形的交点数目 N_y ,两个交点数目之比就是频率的反比,即

$$\frac{N_x}{N_y} = \frac{f_y}{f_x}, f_y = \frac{N_x}{N_y} f_x.$$

三、实验预习要求

1. 阅读附录二，了解示波器的原理、使用及使用中的注意事项。
2. 阅读附录四，了解低频信号发生器的原理和使用方法。

四、实验报告要求

1. 使用示波器观察波形时，为了达到下列要求，应调节哪些旋钮？

- (1) 波形清晰，亮度适中；
- (2) 波形在荧光屏中央，大小适中；
- (3) 波形完整；
- (4) 波形稳定。

2. 说明用示波器观察正弦波电压时，若荧光屏上分别出现下列波形(如图 1-3 所示)，是哪些旋钮位置不对，应如何调节？

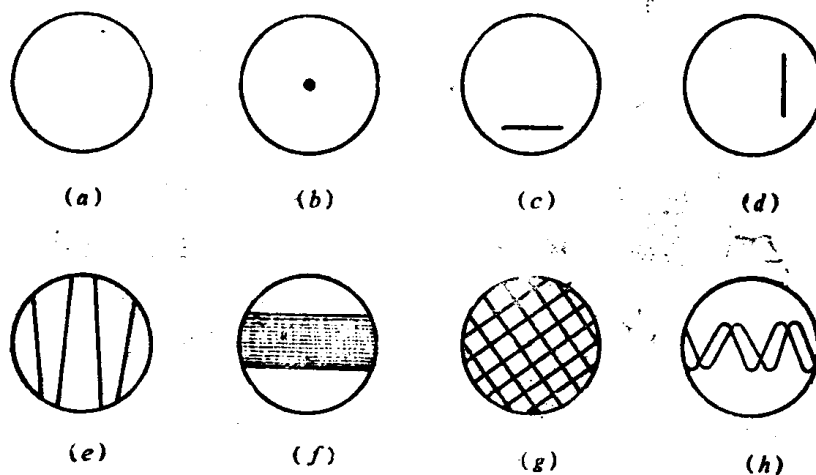


图 1-3

第二章 基本电子电路测量及实验

第一节 放大器的一般测量

一、静态工作点的调整和测量

放大器的基本任务是不失真地放大信号。要使放大器能够正常工作，必须设置合适的静态工作点 Q 。为了获得最大不失真的输出电压，静态工作点应该选在输出特性曲线上交流负载线的中点。若工作点选得太高，就会引起饱和失真；若选得太低，就会产生截止失真。注意，这是指输入信号幅度足够大的情况。

对于小信号放大器而言，由于输入交流信号的幅度很小，非线性失真不是主要问题。因此， Q 点不一定要选在交流负载线的中点，而可以根据其它要求来选择。例如，希望放大器的功耗小，噪声低或输入阻抗高， Q 点可以选得低一些；希望放大器增益高就要求 Q 点适当地高一些。

影响工作点的因素很多，其中主要的是晶体管特性。但是，当晶体管确定以后，电源电压 E_c 的变动，集电极负载电阻 R_c 的改变，基极电流 I_b 的变化都会影响工作点。一般当电路确定之后， R_c 和 E_c 也就确定，这时静态工作点主要取决于 I_b 的选择。因此，调整工作点主要是调整偏置电路的 R_b 值。环境温度对工作点的影响可能严重影响到放大器的性能指标，所以在具体电路中应采取措施来稳定工作点。

静态工作点必须在没有输入信号的情况下测试。没有输入信号不仅是指输入端不接信号源，还应防止外界干扰信号进入放大器和放大器本身产生的自激振荡。因此，测试工作点最好使输入端交流短路。

测量仪器应该用内阻较高的万用电表(例如，MF-30型，其内阻为 $20\text{k}\Omega/\text{V}$)或数字万用表。

静态工作点由静态时管子的 I_b 、 I_c 、 V_{ce} 、 V_{be} 确定。由于 I_b 很小(μA 级)，一般测量工作点不直接测 I_b ，只测 I_c 、 V_{ce} 、 V_{be} ， $V_{ce} = V_c - V_e$ ， $V_{be} = V_b - V_e$ 。其中， V_b 、 V_c 、 V_e 均是指晶体管电极 b 、 c 、 e 对地的电压。

在实际测量中，一般不是测电流而是测电压，因为测电流必须把电流表串入测试点，十分不便；而测电压只要把电压表并联于被测电路两端，无需对被测电路进行任何改动。因为 $I_c \approx I_b$ ，实际应用中一般都是通过测 V_{be} 来换算 I_b ($I_b \approx \frac{V_{be}}{R_b}$)。当 I_b 不符合要求时，调整 R_b 的大小改变 I_b ，以达到调整工作点电流 I_c 及电压 V_{ce} 之目的。

二、放大器主要性能指标的测量

1. 放大倍数的测量

放大倍数是反映放大器对信号放大能力的一个参数，有电压放大倍数、电流放大倍数和功率放大倍数之分。低频放大器电压放大倍数是指输出与输入电压的有效值之比，即

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

放大倍数测量实际上是交流电压的测量。通常有二种方法：(1)用交流电压表测量读数，它适用于正弦电压(图2-1)；(2)通过示波器比较的测量方法，既适用于正弦电压，更适用于非正弦电压(图2-1)。

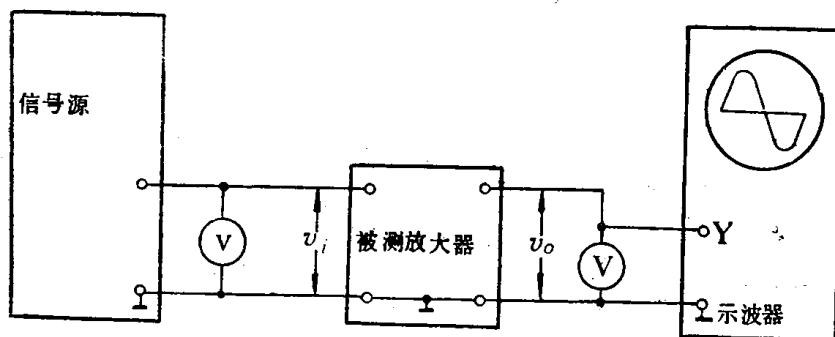


图 2-1

在实际测试时应注意两点：第一，测电压放大倍数时，输入信号不可太大。否则放大器输出波形将因限幅而使测试不准。故必须在输出波形不失真的条件下测试 A_v ，输入信号越小，与计算值越接近。第二，因 A_v 是 V_o 与 V_i 之比。因此，用示波器测试 A_v 时，为了简化手续，没有必要去计算 V_o 、 V_i 的电压数值，只要测出 V_o 、 V_i 在荧光屏上的格数比，乘上相应的量程比即可。

2. 输入电阻的测量

放大器的输入电阻就是从输入端向放大器看进去的等效电阻。其大小等于输入电压和输入电流的比值。即

$$r_i = \frac{v_i}{i_i} = \frac{V_i}{I_i}$$

放大器输入电阻的大小表示该放大器从信号源或前级放大器那里获取电流的大小，是为前级电路设计提供负载条件。

测量 r_i 的方法很多，最常用的方法是串联电阻法、替代法。

(1) 串联电阻法

串联电阻法原理如图2-2所示。在被测放大器与信号源间串入一个已知标准电阻 R ，只要分别测出放大器的输入电压 V_i 和输入电流 I_i ，就可求出

$$r_i = \frac{V_i}{I_i} = \frac{V_i}{V_R/R} = \frac{V_i}{V_R} \cdot R$$

但是，要直接用交流毫伏表或示波器测试 R 两端电压 V_R 是有困难的，因 V_R 两端不接地。由于测试仪器和放大器没有公共地线，干扰太大，不能准确测试。为此，通常是直接测出 V_o 和 V_i 来计算 r_o ，由图不难求得：

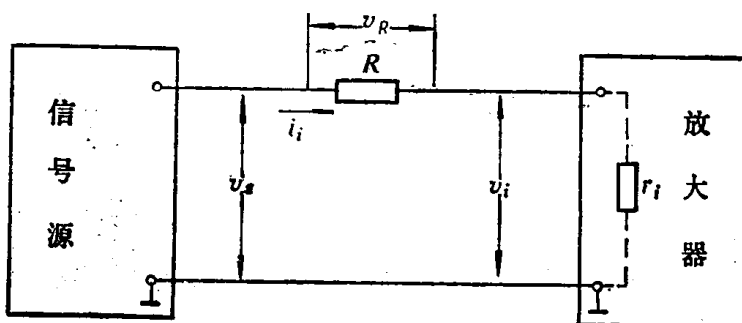


图2-2

$$r_i = \frac{V_i}{V_o - V_i} \cdot R$$

在具体测试过程中,还必须注意三点:①已知标准电阻 R 不宜选得过大,也不宜选得过小。 R 过大, V_i 过小,将使测试误差加大; R 过小,则 V_o 与 V_i 十分接近, V_o 、 V_i 的读数误差也会使 r_i 的测试误差大大增加。通常应选取 $R \approx r_i$ 为宜。为了测试方便,也可以用电位器代替 R ,测试时使 $V_i = 0.5V_o$,则电位器之值就是被测输入电阻,而电位器之值可用万用表或电桥直接测出。②如果被测输入电阻 r_i 很高(在数百 $k\Omega$ 以上),在测试过程中放大器输入端呈现高阻抗,容易引起各种干扰(主要是50Hz干扰),在这种情况下,放大器输入端应置于屏蔽盒内。③ V_o 不应取得过大,否则将使晶体管工作在非线性状态,从而使测试不准。因此,最好用示波器监视被测放大器的输出波形,应在不失真条件下测试。

(2) 替代法

测量电路如图2-3所示。当开关 K 置于“1”位置时,测量 ab 两点之间电压; K 置于“2”位置时,调节电位器 R_w ,使 ab 两端间电压仍为原来的值,则电位器 R_w 之值即为放大器的输入电阻 r_i 的值。

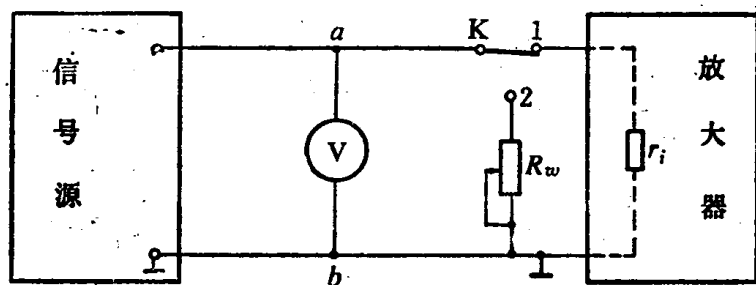


图 2-3

3. 输出电阻的测量

放大器的输出电阻是没有输入信号作用时从输出端向放大器看进去的等效电阻 r_o 。它的大小表明放大器带负载的能力。 r_o 越小,放大器输出电压受负载变化的影响越小,也就是带负载能力越强。

输出电阻 r_o 常用两种方法求得。第一种方法是:通过测量放大器接入负载前后的输出

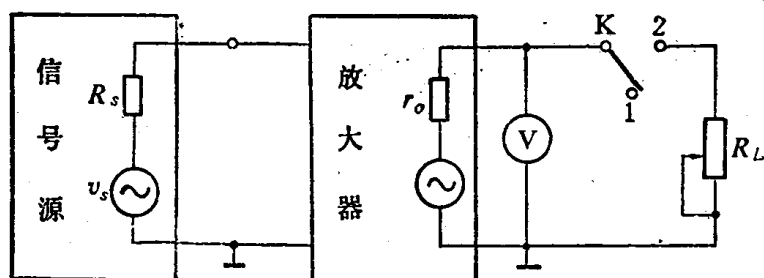


图 2-4

电压的变化来求出 r_o 。其测量电路如图2-4所示。在放大器输入端加入一固定电压,先不接负载电阻 R_L ,即 K 置于“1”位置,测出放大器的输出电压 $V_{o\infty}$, $V_{o\infty}$ 称做开路电压。然后,接入适当的负载电阻 R_L ,即 K 置于

“2”位置。再测出输出电压 V_{oL} 。由图不难求出输出电阻 r_o 之值

$$r_o = \left(\frac{V_{o\infty}}{V_{oL}} - 1 \right) \cdot R_L$$

在测试中必须注意三点(1) R_L 过大或过小都将加大测量误差, 应取 $R_L \approx r_o$ 为宜。也可以用电位器 R_W 来代替 R_L , 调节电位器使 $V_{oL} = \frac{1}{2} V_{o\infty}$, 则 $r_o = R_W$, 而电位器之值 R_W 可用万用表或电桥测出。(2) 最好用示波器监视放大器输出波形, 应保证 R_L 接入前后都在不失真的条件下测试。(3) 测试过程中, 输入信号幅度必须保持不变, 信号频率应选在所需工作频率上。

r_o 的第二种求法是: 先除去输入信号源(电压源短路, 电流源开路), 然后在输出端拿掉负载电阻 R_L , 加上一交流电压 V_o , 再找出由它产生的输出电流变化 I_o , 即可由下式求出输出电阻 r_o 。

$$r_o = \frac{V_o}{I_o} \bigg|_{R_L = \infty, V_i = 0}$$

4. 幅频特性的测量

放大器幅频特性的测试, 可用逐点测试法, 亦可用扫频法。

(1) 逐点测试法

以正弦信号为输入信号, 只要测出不同频率时的放大倍数即可。其方法是: 维持输入信号电压幅度不变, 改变输入信号频率, 测量放大器相应的输出电压, 计算对应于不同频率放大器的电压增益, 便可得到放大器增益的幅频特性。测试中应注意: ①幅频特性曲线的横坐标一般用对数坐标, 在选择测试频率时也应按照对数规律来选取。②曲线的纵坐标, 常用相对变化量 $A_v(f)/A_{vo}$ 来标度。因此, 要使输入信号幅度在改变频率时保持不变, 则所测输出电压幅度就代表了相对变化量, 只差了 $1/A_{vo}$ 倍。③幅频特性曲线的测试应在输出波形不失真的条件下进行。

测试中还应注意对高频段、低频段在转折频率附近的测试点稍密些, 中频段可稍稀些。

(2) 扫频法

用扫频仪直接测取放大器的幅频特性, 测量原理电路如图2-5所示。

测试时, 将扫频仪的扫频电压输出与被测放大器的输入端用 75Ω 电缆连接起来, 而被测放大器输出通过 75Ω 电缆连到扫频仪的Y轴输入端。要注意的是, 若被测放大器输出电路有检波电路, 则用开路电缆; 若被测放大器输出电路无检波电路, 则用带有检波头的输入电缆。

扫频仪的波段开关置于所需要的波段。将两只“输出衰减(分贝)”开关放到所需要的分贝数, 从荧光屏上即可得到被测放大器的频响曲线。为了不使被测电路产生饱和失真, 输出衰减不宜过小, 否则测出的曲线不真实。

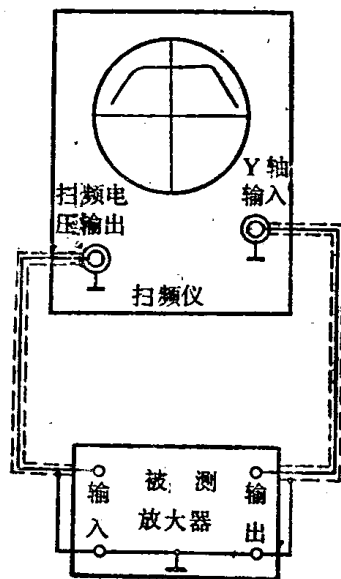


图 2-5

5. 最大不失真输出电压(动态范围)的测量

测量最大不失真输出电压电路原理如图2-1所示。逐渐加大输入信号电压, 观察

示波器显示的输出电压波形最大而不失真，若再增大输入则示波器显示的输出波形正负峰值同时刚好开始产生失真，此时的输出电压幅值即为最大不失真输出电压幅值 V_{om} ，用毫伏表量得为

$$V_o = \frac{V_{om}}{\sqrt{2}}$$

其峰-峰值为 $V_{opp} = 2V_{om} = 2\sqrt{2}V_o$ 。

三、功率放大器

当放大器用来为负载提供足够大的功率时，我们经常将这种放大器叫做功率放大器。它与小信号放大器的相同点：都是利用晶体管将直流能量转换成交流能量。不同点：小信号放大器着重于电压(或电流)的放大，以波形不失真为主要矛盾；而功率放大器着重于输出功率放大，以提高输出功率为主要目的。但是提高输出功率会使晶体管集电极承受的功率损耗增大，同时又要求输出的动态范围增大，于是输出波形的非线性失真也随之增大。因此功率放大器的输出功率与晶体管本身功率损耗成为功率放大器的主要矛盾，而且非线性失真要限制在一定范围之内。

功率放大器的电路形式很多，但主要有两类：一类是通过变压器实现级间耦合；一类是不用变压器耦合。通常，前者就是变压器耦合甲乙类推挽功率放大器。它的静态电流很小，因此静态管耗小，而动态时两管在信号的正负半周交替工作，从而在负载上得到的合成波形与输入波形很相似，既提高了效率，又改善了波形的失真，还使管子尽限运用；此外，变压器除实现耦合外，还能进行阻抗变换，把不同的实际负载变换成管子的最佳负载。不用变压器耦合的功率放大器就是无变压器功率放大器 (OTL 和 OCL 电路)，它具有频率响应好，非线性失真小，便于集成化等优点，因此获得越来越广泛的应用。

功率放大器的性能指标测量，主要是测量最大不失真输出功率 P_{omax} 、直流电源供给功率 P_E 、效率 η 、管耗 P_T 、非线性失真及功率放大倍数 A_P 。

1. 最大不失真输出功率 P_{omax}

输出功率的测量一般采用“间接测量法”，调节输入幅度，用示波器监视输出波形刚好不失真，用电压表测得此时负载两端的电压，从而求得

$$P_{omax} = \frac{V_{o^2max}}{R_L}$$

2. 直流电源供给功率 P_E

用电流表串接于输出回路，测得集电极平均电流 I_C ，求得

$$P_E = I_C \cdot E_C$$

也可以通过测试发射极电阻 R_e 上的电压 V_E 来换算， $I_C \approx I_E = \frac{V_E}{R_e}$ 。

3. 效率 η

效率用下式求得

$$\eta = \frac{P_o}{P_E} \times 100\% ; \quad \eta_{max} = \frac{P_{omax}}{P_E} \times 100\%$$

4. 管耗 P_T

K_5 置于2，将 24Ω 电阻短路。

K_6 和 K_7 ——用来构成多级放大器的开关。 K_6 置于1， K_7 置于1，将第一、三级连接起来构成两级放大器（若 T_3 未插入，相当于第一级接入了新的负载）； K_6 置于2， K_7 置于2，把一、二、三级连接起来构成三级放大器； K_6 置于1， K_7 置于2，构成单级放大器。

K_8 ——为了测量第三级放大器输出电阻用来给第三级加负载的开关。 K_8 置于1，断开负载电阻 $2.4k\Omega$ ； K_8 置于2，负载电阻 $2.4k\Omega$ 接入电路。

K_9 ——与 K_5 配合使用，构成负反馈放大器的反馈支路。 K_5 置于1， K_9 置于1，构成负反馈放大器的基本放大器； K_5 置于1， K_9 置于2，构成负反馈放大器； K_5 置于2， K_9 置于1，构成无反馈的两级放大器。

实验中根据实验电路的要求，把各开关置于相应的位置上，就可以构成所需要的实验电路或完成所要进行的测量。

实验三 单级放大器

一、实验目的

1. 测定放大器的静态工作点和电压放大倍数。
2. 测定放大器的动态范围，观察非线性失真。
3. 熟悉晶体管偏置对工作点及动态范围的影响。
4. 学习放大器输入电阻、输出电阻的测试方法。
5. 研究负载对非线性失真和放大倍数的影响。

二、实验原理

1. 实验电路如图2-7所示。

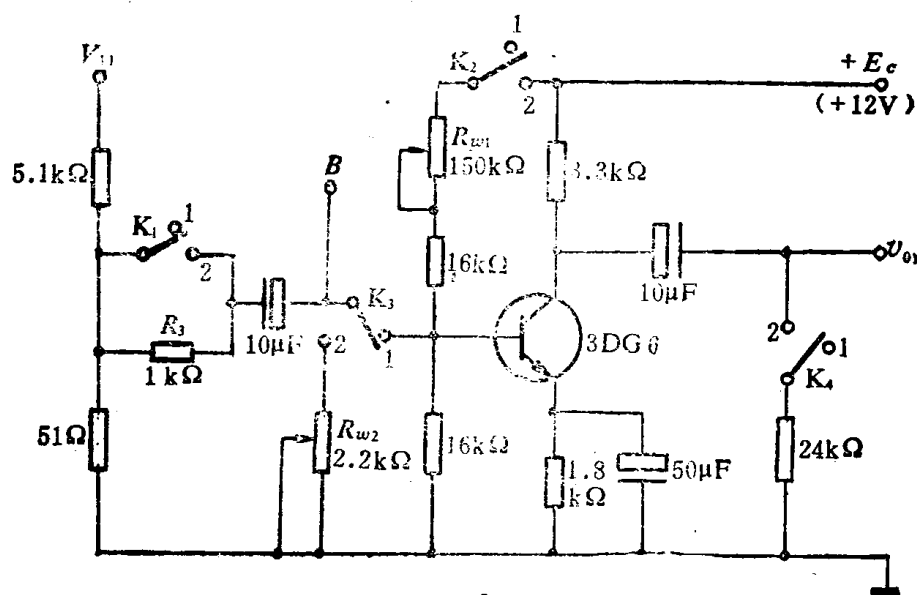


图2-7

2. 工作原理

(1) 静态工作点

$$\begin{cases} I_C \doteq \left(\frac{R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} E_C - V_{BE} \right) / R_B \\ V_{CE} \doteq E_C - I_C (R_C + R_E) \\ I_B = \frac{I_C}{\beta} \end{cases}$$

(2) 动态参数

电压放大倍数 $A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\beta \frac{R_L'}{r_{be}}$

其中 $R_L' = \frac{R_C \cdot R_L}{R_C + R_L}$, $r_{be} = r_{bb'} + (1 + \beta) \frac{26(\text{mV})}{I_E(\text{mA})}$

输入电阻 $r_i = R_b \parallel r_{be}$, 其中 $R_b = R_{b1} \parallel R_{b2}$

输出电阻 $r_o \doteq R_C$

输入电阻测量用替代法, 输出电阻测量用带载与无载法, 即输入电阻 $r_i = R_{w2}$, 输出电阻 $r_o = \left(\frac{V_{o\infty}}{V_{oL}} - 1 \right) R_L$.

(3) 动态范围

为使负载得到最大幅度的不失真输出电压, 静态工作点应设在交流负载线的中点。如图 2-8 所示, Q 点在交流负载线的中点。静态工作点满足下列条件:

$$\begin{cases} E_C - V_{CE} = I_C R_C + V_{BE} \\ V_{CE} = I_C R_L' \end{cases}$$

为了使电路不产生饱和失真, 应满足 $V_{CE} \geq V_{CEM} + V_{CES}$

为了使电路不产生截止失真, 应满足 $I_C R_L' \geq V_{CEM}$

若静态工作点不在交流负载线的中点, 取上二式中较小者为最大不失真输出电压幅值。

本实验输入端加一个 $\frac{51}{5.1 \times 10^3 + 51}$

$\doteq \frac{1}{100}$ 分压器, 这是为了检测时可以用毫伏

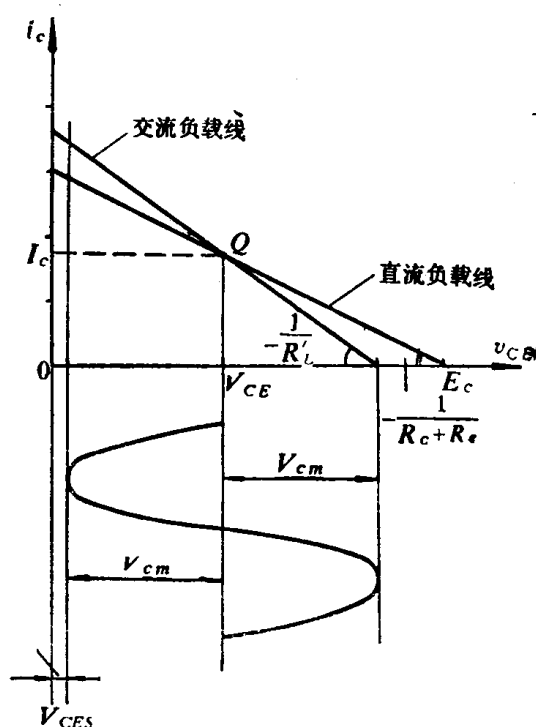


图 2-8

表同一量程测取输入、输出信号, 以减小由于量程不同而造成的误差。电阻 $5.1\text{k}\Omega$ 和 51Ω , 应选精密电阻, 且 $51\Omega \ll r_i$ 。

三、实验内容和步骤

1. 用图示仪测量所用晶体管的 β 值

测量 $V_{CE} = 6\text{V}$, $I_C = 1.3\text{mA}$ 和 $I_C = 4\text{mA}$ 时的 β 值。

2. 对照实验电路, 熟悉实验板上各元件位置, 按电路图检查晶体管插座的接线方