

中等专业学校试用教材

模拟电子技术基础实验

周良权 王凤岐 编

高等教育出版社

内 容 简 介

本书是与福建机电学校主编的《模拟电子技术基础》配套的中专实验教材。

全书共分二篇。第一篇为实验指导书,共十九个实验项目,除了介绍晶体管分立元件电路的基本实验以外,还列入了模拟集成运放、功放、稳压电源组件的应用实验。第二篇列举了十三种较为普及的电子仪器,分别介绍了它们的原理及其使用方法。

本书可作为中专工科电工类专业或相近专业的“模拟电子技术基础实验”课程的试用教材,也可作为工厂业余学校、职业学校和技术训练班的模拟电子技术基础实验参考书。

中等专业学校试用教材
模拟电子技术基础实验

周良权 王凤岐 编

高等教育出版社出版
新华书店上海发行所发行
上海商务印刷厂印装

开本 787×1092 1/16 印张 10.75 字数 239,000

1986年5月第1版 1986年5月第1次印刷

印数 00,001—18,700

书号 15010·0737 定价 1.45 元

前 言

本书是根据教育部一九八一年十月在南京召开的中等专业学校技术基础课大纲审定会议所通过的《模拟电子技术基础教学大纲(试行草案)》中提出的实验项目,以及为达到课程的基本技能方面要求编写的,也是与福建机电学校主编的《模拟电子技术基础》一书配套的实验试用教材。本教材目的在于使学生熟悉常用电子仪器的使用方法,培养学生对电子线路的调试和测试实验技能、理论联系实际能力、分析和解决电子线路的故障与干扰的能力以及处理实验数据书写实验报告能力等。

为了适应我国集成电路迅速发展情况,书中除了介绍晶体管分立元件电路的基本实验以外,还列入了模拟集成运放、功放、稳压电源组件的应用实验。

在第一篇的实验指导书中大多数实验项目列有实验目的、实验原理(包括实验电路与元器件参考参数)、实验仪器、实验内容与步骤、预习内容、思考题。其中实验原理简要介绍了与实验内容有关的工作和测试原理。每个实验的课内时数约为2学时左右。部分实验项目还列有开拓内容和打(*)号内容,以供有余力的学生进一步选做。也有少量的实验项目,在实验内容方面仅提出要求,具体方法和数据记录、处理方法由学生自行考虑。为培养学生的基本实验技能,在前几个实验项目中,对实验具体方法和仪器的接线方法介绍较为详细;在以后实验项目中,大多不再列出仪器与测试电路的连线和具体使用仪器要求。这希望学生通过实验二、三、四的实验后,对各类仪器的用途建立较为明确的概念,基本上要求掌握仪器的正确使用方法。因此在安排这些实验项目时尽可能每组一人,并配合必要的成绩考核,以检验学生在仪器使用方法和实验的基本技能掌握程度。在这个基础上对以后各个实验项目,要求实验前充分预习有关课堂理论、教学内容和实验指导书,事先写好实验提纲。在具体实验时要求能独立完成实验内容。在实验结束后,必须及时写出较为全面的实验报告。报告内容除了实验名称、目的、电路、使用仪器、测试记录的数据和图表、曲线,还要求对实验结果进行分析,探索思考题内容,总结实验经验以及发表通过实验后的独立见解,以培养思考能力。

实验项目的类型有所重复,根据具体情况和要求,以供各校参考选择。

本书第二篇常用电子仪器列举了十三种较为普及、价格较为低廉、适用性广、性能稳定的电子仪器,以适应各校教学和选用。电子仪器从使用规律性角度进行介绍,以便于学习掌握。在附录中还介绍了电子线路常见故障和维修方法、一般的干扰和抑制方法。在实验中还安排了有关故障排除和干扰抑制内容,使初学者有初步感性知识。另外在附录中还简要介绍了电子线路安装技术、焊接工艺和常用阻容元件的型号、外形和性能参数规范,以期望对初学电子电路者有所帮助。对于常用半导体器件型号和主要参数,鉴于《模拟电子技术基础》教材已有介绍,故不再重列。关于电子线路焊接工艺的训练,由于各校具体措施不同,在教材中未列入要求,可由各校按实际情况适当安排。

本教材中所采用的符号含义与《模拟电子技术基础》相同,不再另附说明。

本书是在模拟电子电路实验多年来教学经验基础上,经过大量的修改和补充编写而成。由上海机械专科学校周良权同志任主编和负责统稿,并编写实验一、三至七、九、十一至十九,常用电子仪器二、五(二),附录三至五;由哈尔滨机电专科学校王凤岐同志编写实验二、八、十,常用电子仪器一、三至五(一),附录一、二。在编写过程中还吸取了上海机电工业学校、上海电机制造学校、福建机电学校等兄弟学校编写的实验讲义的部分内容。

本书由上海电机制造学校柯节成同志主审,参加上海审稿会议的有:天津第一轻工业学校、河北化工学校、东北水利水电学校、河北纺织工业学校、杭州机械工业学校、重庆机器制造学校、山东省机械工业学校、咸阳机器制造学校、黑龙江机械制造学校、河北省机电学校、福建机电学校、上海机电工业学校、上海航空工业学校、北京机械管理专科学校、南京机械专科学校、郑州机械专科学校、上海电机制造学校、哈尔滨机电专科学校、上海机械专科学校等。兄弟学校的教师代表们对初稿进行了认真审阅和讨论,并提出了许多宝贵的意见和建议,上海工业大学顾立麓副教授对本书提出了宝贵的建设性建议。对所有为本教材进行审阅并提出宝贵意见以及在编写出版过程中给予热情帮助和支持的同志们,我们在此一并表示衷心的感谢。

由于我们业务水平有限,离实验教学要求尚有差距,书中错误和不妥之处在所难免,殷切希望使用本教材的师生和其他读者给予批评和指正。

编 者

1985年2月

目 录

第一篇 实验指导书

实验一 二极管和三极管测试	1
方法(一) 用万用电表简易判别	1
方法(二) 用逐点法测试二极管和三极管的特性曲线	3
方法(三) 用 JT-1 型晶体管特性图示仪测试特性曲线	6
实验二 常用电子仪器的使用	10
实验三 单相整流和滤波电路	14
实验四 单管低频放大器	17
实验五 射极跟随器	23
*实验六 变压器耦合推挽功率放大器	27
实验七 互补对称式功率放大器	32
实验八 负反馈放大器	37
*实验九 多级放大器的故障排除与干扰抑制	43
实验十 文氏桥式正弦波振荡器	46
实验十一 差动式放大器	49
*实验十二 集成运算放大器的简易测试和检查	54
实验十三 运算放大器的信号运算关系测试	58
实验十四 直流稳压电源	65
*实验十五 场效应管放大器	68
*实验十六 集成功率放大器	73
*实验十七 LC 振荡器开关量控制应用	76
*实验十八 运算放大器的应用	79
*实验十九 集成稳压器	83

第二篇 常用电子仪器

一、电子示波器	89
(一) 示波器的组成和基本原理	89
(二) 扫描的作用和方式	90

(三) 示波器测试电信号参数的方法	93
(四) SB-10 型普通示波器	96
(五) SBT-5 型同步示波器	98
(六) ST-16 型通用示波器	100
(七) SR-8 型二踪宽带示波器	102
二、JT-1 型晶体管特性图示仪的工作原理及使用方法	105
(一) 基本原理	105
(二) 仪器面板各块功能和各开关旋钮作用	107
(三) 仪器使用方法	111
(四) 三极管特性参数测试举例	112
(五) 其它半导体器件特性测试原则	117
(六) JT-1 型晶体管特性图示仪使用注意事项	119
三、音频信号源	120
(一) 音频信号源的组成和基本工作原理	120
(二) XFD-7A 型低频信号发生器	120
(三) XFS-8 型音频信号发生器	123
(四) XD-2 型信号发生器	124
(五) XD-7 型低频信号发生器	125
四、电子电压表	127
(一) 电子电压表的结构和基本原理	127
(二) GB-9B 型电子管毫伏表	127
(三) DA-16 型晶体管毫伏表	129
(四) DYC-5 型超高频电子管电压表	129
五、万用电表	131
(一) MF-30 型袖珍万用电表	131
(二) 数字式万用电表简介	135
附录一 电子线路常见故障与维修方法	136
附录二 电子线路中常见干扰及其抑制方法	140
附录三 电子线路的安装技术	146
附录四 焊接基本工艺	149
附录五 常用电路元件的性能和规格	152
参考文献	163

第一篇 实验指导书

实验一 二极管和三极管测试

方法(一) 用万用电表简易判别

一、实验目的

1. 学会使用万用电表判别晶体二极管的极性和三极管的管脚。
2. 熟悉用万用电表判别晶体二极管和三极管的质量。

二、实验原理

1. 万用电表测试二极管原理

晶体二极管内部实质上是一个PN结。当外加正向电压,也即P端电位大于N端电位,二极管导通呈低电阻;当外加反向电压,也即N端电位大于P端电位,二极管截止呈高电阻。因此可应用万用电表的电阻档鉴别二极管的极性和判别其质量的好坏。图1-1-1所示为万用电表电阻档的等效电路。由图可知,表外电路的电流方向从万用电表负端(-)流向正端(+),即万用电表处于电阻档时,其(-)端为内电源的正极, (+)端为内电源的负极。 R_0 是电阻档表面刻度中心阻值, n 是电阻档旋钮所指倍率。由等效电路图可计算出电阻档在 n 倍率下输出的短路电流值。测试时,由指针偏转角占全量程刻度的百分比 θ (可通过指针所处直流电压刻度位置估算之),估算流经被测元器件的电流值。可用下式计算

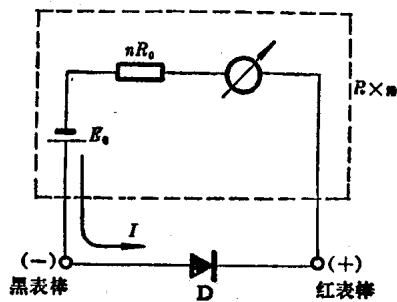


图 1-1-1 万用电表电阻档
等效测试电路

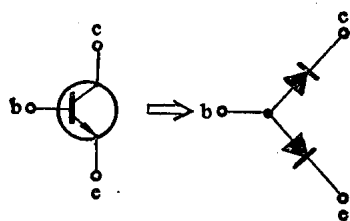
$$I = \theta \cdot \frac{E_0}{nR_0} \quad (1-1-1)$$

在测试小功率二极管时一般使用 $R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 档,不致损坏管子。

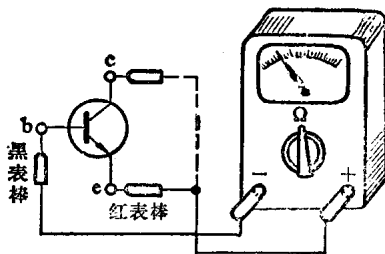
2. 万用表测试三极管的原理

(1) 先判别基极和管型

三极管内部有二个PN结,即集电结和发射结,图1-1-2(a)所示为NPN型三极管。与二极管相似,三极管内的PN结同样具有单向导电特性。因此可用万用电表电阻档判别出基极b和管型。例如测NPN型三极管,当用黑表棒接基极b,用红表棒分别搭试集电极c和发射极e,测得阻值均较小;反之,表棒位置对换后,测得电阻均较大。但在测试时未知电极和管型,因此对三个电极脚要调换测试直到符合上述测量结果为止。然后,再根据在公共端电极上表棒所代表的电源极性,可判别出基极b和管型。如图1-1-2(b)所示。



(a) NPN 型三极管内部 PN 结



(b) 判别三极管电极

图 1-1-2 用万用电表判别三极管电极

(2) 其次判别集电极和发射极

这可根据三极管的电流放大作用进行判别。图 1-1-3 所示的线路, 当未接上 R_b 时, 无 I_B ,

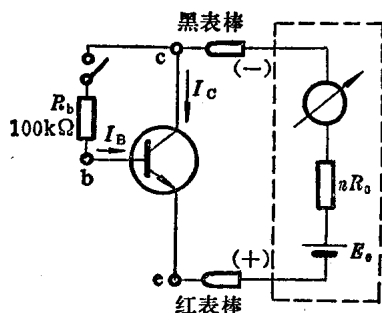


图 1-1-3 用万用电表判别
三极管 c 和 e 极

则 $I_C = I_{CEO}$ 很小, 测得 ce 间电阻大; 当接上 R_b , 则有 I_B , 而 $I_C = \beta I_B + I_{CEO}$, 因此, I_C 显然要增大, 测得 ce 间电阻比未接 R_b 时为小。如果 ce 调头, 三极管成反向运用, 则 β 小, 无论 R_b 接与不接, ce 间电阻均较大, 因此可以判断出 c 和 e 极。例如测的管型是 NPN 型, 符合 β 大的情况下, 则与黑表棒相接的是集电极 c。

(3) 反向穿透电流 I_{CEO} 的检查

I_{CEO} 的大小是衡量三极管质量的一个重要指标, 要求

越小越好。按产品指标是在 U_{CE} 某定值下测 I_{CEO} , 因此用

万用表电阻档测试时, 仅为—参考值。测试方法仍如图 1-1-3 所示, 此时基极应开路, 根据指针偏转角的百分比 θ , 由式(1-1-1)可估算出 I_{CEO} 大小。

(4) 共发射极直流电流放大系数 $\bar{\beta}(h_{FE})$ 性能测试

测试方法与(2)中判别 c、e 极方法相似。由三极管电流放大原理可知, 在接 R_b 时测得阻值比未接 R_b 时为小时, 即 θ 角百分比越大, 表明三极管的电流放大系数越大。

在掌握上述一些测试方法后, 即可判别二极管和三极管的 PN 结是否损坏, 是开路还是短路。这是在实用上判断管子是否良好所经常采用的简便方法。

三、实验设备和器件

万用电表: 一只; 二极管: 2AP 型、2CP 型各一只; 三极管: 3AX31、3DG6 各一只; 电阻: 100 kΩ 一只; 质差或废次的各类二极管、三极管若干只。

四、实验内容

1. 测试二极管的正、负极性和正反向电阻

用万用表电阻档($R \times 100$ 或 $R \times 1k$ 档)判别二极管的正、负极, 并记录正、反向电阻值于表 1-1-1。

2. 判别三极管的管脚和管型(NPN 型和 PNP 型)

(1) 用万用表电阻档($R \times 100$ 或 $R \times 1k$)先判别出基极 b 和管型。

(2) 判别集电极 c 和发射极 e, 测定 I_{CEO} 和 $\bar{\beta}$ 大小情况。

表 1-1-1

二极管型号	2AP 型		2CP 型	
万用表电阻档	$R \times 100$	$R \times 1k$	$R \times 100$	$R \times 1k$
正向电阻				
反向电阻				

3. 用万用表测试废次的二极管和三极管, 鉴别管子质量和损坏情况。

五、预习内容

1. 预习 PN 结外加正、反向电压时的工作原理和三极管电流放大原理。
2. 预习万用表电阻档表面电阻刻度中心阻值含义和使用电阻档时的测量方法, 并估算所用万用表 $R \times 100$ 和 $R \times 1k$ 档的短路输出电流值^①。
3. 能否用双手各将表棒测端与管脚捏住进行测量? 这将会发生什么问题?
4. 为何不能用 $R \times 1$ 或 $R \times 100k$ 档测试小功率管?

六、思考题

1. 能否用万用表测量大功率三极管? 测量时用哪一档较为合理, 为什么?
2. 为什么用万用表不同电阻档测二极管的正向(或反向)电阻值时, 测得的阻值不同?

方法(二) 用逐点法测试二极管和三极管的特性曲线

一、实验目的

1. 通过用普通电表测试二极管和三极管的特性曲线, 加深理解其特性曲线的物理意义。
2. 了解被测管子各极间的电压和电流在数值上的关系和特点。

二、实验原理

1. 实验电路

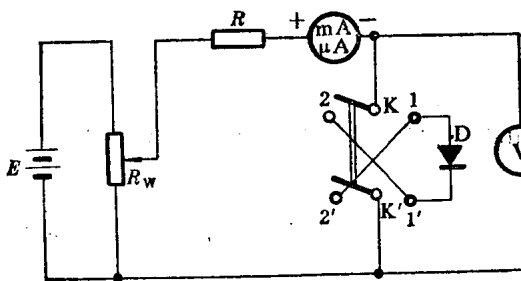


图 1-1-4 二极管特性测试电路图

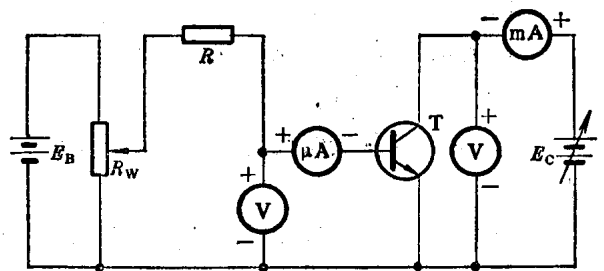


图 1-1-5 三极管特性测试电路图

元件参考数值:

$R_W = 1.5k\Omega$, $R = 200\Omega$, $E = 3V$ (测正向特性), $E = 30V$ (测反向特性), D : 2AP1。

2. 基本原理

元件参考数值:

$R_W = 1.5k\Omega$, $R = 200\Omega$, $E_B = 3V$
 $E_C = 10V$, T : 3DG6

^① 参阅第二篇常用电子仪器, 五. 万用电表

(1) 二极管伏安特性测试

用逐点法测试二极管正、反向伏安特性。逐点改变加在二极管两端电压 U_D , 测出各点电压 u_D 和与 u_D 相对应的电流 i_D , 即可描绘出伏安特性曲线。

(2) 三极管共发射极组态伏安特性测试

三极管共发射极组态的伏安特性有输入特性和输出特性。

输入特性可用函数式

$$i_B = f(u_{BE}) |_{u_{CE}=\text{常数}}$$

来表示, 即在 u_{CE} 电压保持不变情况下, 基极输入回路中 u_{BE} 和 i_B 之间关系。一般当 $u_{CE} > 2V$ 后, 输入特性基本重合。

输出特性可用函数式

$$i_C = f(u_{CE}) |_{i_B=\text{常数}}$$

来表示, 即在基极电流 i_B 保持不变情况下, 在集电极输出回路中 u_{CE} 和 i_C 之间关系。

3. 实验注意事项

(1) 在同一条伏安特性测量过程中, 不宜改变测量电表量程, 以免由于各档量程内阻不同而引起测量误差不一致。

(2) 若测试锗材料三极管特性曲线, 在后阶段由于测试时间过长引起管温升高, 使被测参数受到明显影响, 此时, 在管壳上加散热器或尽可能采用瞬时通电测量, 以获得较正确的测量结果。

(3) 在测量三极管输入特性中 u_{BE} 电压值时, 由于一般万用电表内阻较小, 测量误差较大, 有条件的最好用晶体管万用电表或数字式万用电表测之。

三、实验仪器

双路稳压电源: 一台; 直流电流表 ($0 \sim 500 \mu A$)、($0 \sim 20 \text{ mA}$): 各一只 (或用万用电表代); 直流电压表 ($0 \sim 15 \sim 30 \text{ V}$): 一只 (或用万用电表代)。

四、实验内容与步骤

1. 测量二极管正、反向伏安特性

按图 1-1-4 接线。

(1) 测正向伏安特性时, 将 K、K' 各与 1、1' 相接, 电源 $E=3 \text{ V}$, 电流用直流毫安表档测量。

(2) 测反向伏安特性时, K、K' 各与 2、2' 相接, 电源 $E=30 \text{ V}$, 电流用直流微安档测量。

测量时, 调节 R_w 使二极管两端电压从零开始逐点增加, 并测出各点电压相对应的电流值 i_D , 记录于表 1-1-2 和表 1-1-3 内。

2. 测量三极管的输入特性

(1) 按图 1-1-5 接线, 稳压电源在开启电源前, 将 E_C 、 E_B 置于零位, 然后开启电源, 仍使 $E_C=0 \text{ V}$, 并维持不变, 即 $u_{CE}=0 \text{ V}$, 然后调节 R_w , 使 u_{BE} 由零伏开始逐渐增大, 读测并记录与 u_{BE} 各点相对应的 i_B , 填入表 1-1-4 中。

表 1-1-2 二极管的正向特性

$u_D(\text{V})$	0	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70
$i_D(\text{mA})$										

表 1-1-3 二极管的反向特性

$-u_D(\text{V})$	0	2	4	8	12	16	20	24	28	32
$-i_D(\mu\text{A})$										

表 1-1-4 三极管的输入特性

$u_{BE}(\text{V})$		0	0.10	0.30	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80
$u_{CE}=0\text{V}$	$i_B(\text{mA})$										
$u_{CE}=2\text{V}$											

(2) 再调节电源 $E_C=2\text{V}$, 并维持不变, 即 $u_{CE}=2\text{V}$ 。再调节 R_W , 仍使 u_{BE} 由零伏开始增大, 记下与各点 u_{BE} 相对应的 i_B , 填于表 1-1-4 中。

3. 测量三极管的输出特性

连接线路不变, 调节 R_W 使 $i_B=0\mu\text{A}$, 并维持不变, 再调节稳压电源, 使 E_C 由零伏逐点增大, 读测相应 i_C , 记于表 1-1-5 中。

表 1-1-5

i_B	$u_{CE}(\text{V})$					
	0	0.20	0.50	1	5	10
	$i_C(\text{mA})$					
0						
20 μA						
40 μA						
60 μA						
80 μA						
100 μA						
120 μA						

4. 根据测试结果参数, 用方格坐标纸描绘二极管正、反向特性曲线和三极管输入、输出特性曲线。

5. 通过输出特性曲线, 在 $u_{CE}=6\text{V}$, $i_B=60\mu\text{A}$ 的工作点上求取共发射极直流电流放大系数 $\bar{\beta}$ 和交流电流放大系数 β 。

五、预习内容

1. 测量二极管的正向和反向伏安特性对电源的连接和数值有什么要求? 在测试同一条伏

安特性过程中,为什么不要变更电表量程?

2. 共发射极直流与交流电流放大系数概念上有什么区别?
3. 三极管的输入特性和输出特性在什么条件下进行测量?对测量电表有什么要求?
4. 测试锗材料三极管的伏安特性时,若测试时间过长,为什么会影响测量结果?

六、思考题

1. 如果要测试硅二极管的正向特性,应如何安排测试点较合理,为什么?
2. 测试 PNP 型三极管时,电源应如何连接?

方法(三) 用 JT-1 型晶体管特性图示仪测试特性曲线

一、实验目的

1. 了解 JT-1 型图示仪面板上各开关旋钮的作用。
2. 学会测试方法的规律,能合理地选择各开关量程。
3. 掌握测试三极管和二极管的基本特性曲线和主要参数。

二、实验原理

晶体管特性图示仪,利用示波管来显示各种特性曲线,所以基本原理与示波器有相近的地方,即用 X 和 Y 轴偏转板上信号电压共同控制光点轨迹的运动。如测三极管的输出特性, X 轴代表 u_{CE} 的电压信号, Y 轴代表与 u_{CE} 相对应变化的 i_C 电流信号。而在三极管的基极则注入按等差级数递增的阶梯电流,这样就能显示出一族输出特性曲线。各条输出特性曲线的最大 u_{CE} 值受 $i_C \cdot R_c$ 值限制,所以在测小功率管时,由于 i_C 小, R_c 可大些,约 $1\text{k}\Omega$ 左右;测大功率管时, i_C 很大, R_c 要小些,约 10Ω 左右或更小。各条输出特性曲线的最大 u_{CE} 值连线的斜率 $\tan \alpha$ 反映了功耗限制电阻 R_c 的大小,即 R_c 大,则 α 角小。

当基极阶梯信号中“零电流和零电压”板键处于“零电流”位置,表示基极开路。此时,输出特性即可表示出 I_{CEO} 和 $U_{(BR)CEO}$ 的值;而后者由加大集电极扫描信号的“峰值电压”使之达击穿状态。

在测输入特性时, X 轴代表基极电压 u_{BE} , Y 轴代表基极阶梯电流 i_B 。当不加峰值电压时,即代表 $u_{CE}=0\text{V}$ 时的输入特性;当峰值电压加到近 -6V 时,则特性曲线再向外延伸出一条 $u_{CE}=-6\text{V}$ 的输入特性。

在测输出特性的基础上,将 X 轴旋钮处于“基极电流”位置时,则 X 轴坐标反映了 i_B 值,得到的为 $i_C=f(i_B)$ 的电流放大特性。

当测试二极管特性时, X 轴的集电极电压 u_{CE} 即为二极管两端电压 u_D , Y 轴的集电极电流即为流过二极管电流 i_D 。根据 u_{CE} 极性可测出正、反向特性。具体方法可见 JT-1 型晶体管特性图示仪的工作原理及使用方法。

三、实验仪器与器件

1. JT-1 型晶体管特性图示仪:一台。

2. 三极管:3AX31(或 3DG6)一只。

二极管:2AP1(或 2CP10)一只。

四、实验内容

1. 测试三极管 3AX31 特性和参数。

- (1) 测试输出特性曲线, 描录于图 1-1-6: $i_C = f(u_{CE})|_{i_B=\text{常数}}$, 读测 $\bar{\beta}$, β 及 r_{ce} 值。
- (2) 测试电流放大特性曲线, 描录于图 1-1-7: $i_C = f(i_B)$, 读测 $\bar{\beta}$ 和 β 值。
- (3) 测试输入特性曲线, 描录于图 1-1-8: $i_B = f(u_{BE})|_{u_{CB}=\text{常数}(0V, -6V)}$, 读测静态、动态输入

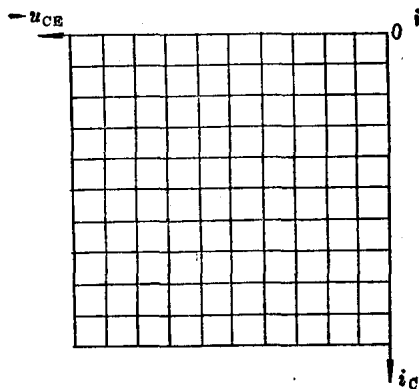


图 1-1-6 输出特性曲线

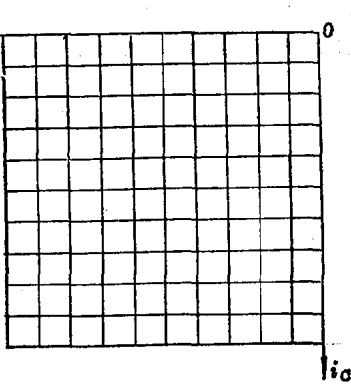


图 1-1-7 电流放大特性曲线

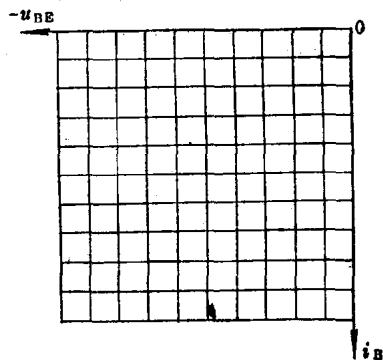


图 1-1-8 输入特性曲线

表 1-1-6 三极管特性参数测试

项目	测试的特性与参数	输出特性	电流放大特性	输入特性	CE 极反向穿透电流	CE 极反向击穿电压
主要旋钮位置及量程	X 轴作用	集电极电压 V/度	基极电流或基极源电压	基极电压 V/度	集电极电压 V/度	集电极电压 V/度
	Y 轴作用	集电极电流 mA/度	同 左	基极电流或基极源电压	集电极电流 mA/度	集电极电流 mA/度
	基极阶梯信号	基极阶梯电流 mA/级	同 左	基极阶梯电流 mA/级	—	—
	功耗电阻	Ω	同 左	同 左	同 左	同 左
	峰值电压范围	0~20V	同 左	同 左	同 左	0~20 或 0~200 V
	零电流零电压位置	—	—	—	零电流	零电流
读测有关参数	参数读测条件和计算 (共发射极组态)	静态电流放大系数 $\bar{\beta} \approx \frac{i_C}{i_B} \Big _{u_{CE}=\text{V}}$ =	静态电流放大系数 $\bar{\beta} \approx \frac{i_C}{i_B} \Big _{u_{CE}=\text{V}}$ =	静态输入电阻 $R_{BE} = \frac{u_{BE}}{i_B} \Big _{i_B=\text{mA}}$ = Ω	集电极-发射极反向穿透电流 $I_{CEO} _{u_{CB}=-6V}$ = mA	集电极-发射极反向击穿电压 $U_{(BR)CEO} _{i_C=2mA}$ = V
		动态电流放大系数 $\beta = \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B} \Big _{u_{CE}=\text{V}}$ =	动态电流放大系数 $\beta = \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B} \Big _{u_{CE}=\text{V}}$ =	动态输入电阻 $r_{be} = \frac{\Delta u_{BE}}{\Delta i_B} \Big _{i_B=\text{mA}}$ = Ω		
		输出电阻 $r_{ce} = \frac{\Delta u_{CE}}{\Delta i_C} \Big _{i_B=\text{mA}}$ = Ω				

电阻 R_{BE} 、 r_{be} 。

(4) 测试集电极-发射极反向穿透电流 $I_{CEO} | u_{CE} = -6V$, 读测 I_{CEO} 值。

(5) 测试集电极-发射极反向击穿电压 $U_{(BR)CEO} | i_C = 2mA$, 读测 $U_{(BR)CEO}$ 值。

记录旋钮量程位置及根据特性曲线读测有关静态和动态参数, 记录于表 1-1-6(图示仪面板上各有关波段开关和旋钮位置的选取规律参阅第 112 页)。

2. 测试二极管 2AP1 的正、反向伏安特性和参数

特性曲线、旋钮量程位置和读测参数分别记录于图 1-1-9、图 1-1-10 和表 1-1-7。

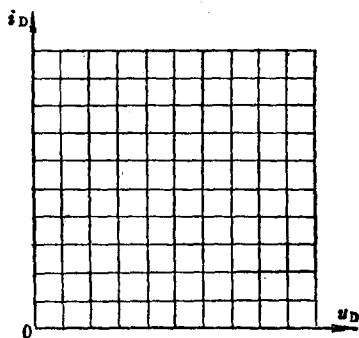


图 1-1-9 二极管正向特性

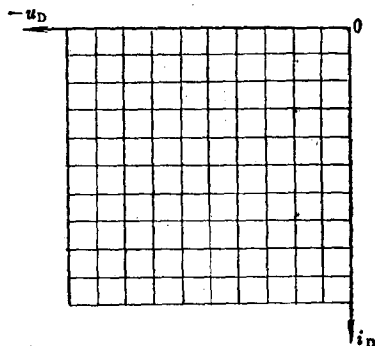


图 1-1-10 二极管反向特性

表 1-1-7 2AP1 型二极管特性测试

项 目	测试的特性与参数	正向伏安特性	反向伏安特性
主要旋钮的位置与量程	X 轴作用	集电极电压 V/度	集电极电压 V/度
	Y 轴作用	集电极电流 mA/度	集电极电流 mA/度
	集电极扫描电压极性	+	-
	峰值电压范围	V	V
	功耗电阻	Ω	Ω
读测有关参数	参数读测条件与计算	静态电阻 $R_D = \frac{u_D}{i_D} i_D = 2mA = \Omega$	反向漏电流 $I_R U_D = -20V = mA$
		动态电阻 $r_D = \frac{\Delta u_D}{\Delta i_D} i_D = 2mA = \Omega$	反向击穿电压 $U_B I_R = 800\mu A = V$

*3. 展开并观察三极管输出特性曲线的饱和区。

*4. 测试其他类型的三极管和二极管。

*5. 测试已损坏的三极管和二极管, 根据图形曲线判别是属于何种情况。测试时, 应缓慢施加峰值电压, 以免损坏仪器。

五、预习内容

1. 预习二极管、三极管特性曲线和各种静态、动态参数的物理意义。

2. 了解 JT-1 型晶体管特性图示仪面板上各旋钮作用。使用时量程选择的依据是

什么?

3. 如何从各种特性曲线求取静态和动态参数?

六、思考题

1. 测试 NPN 型三极管与测试 PNP 型三极管, 哪几个旋钮位置有区别?

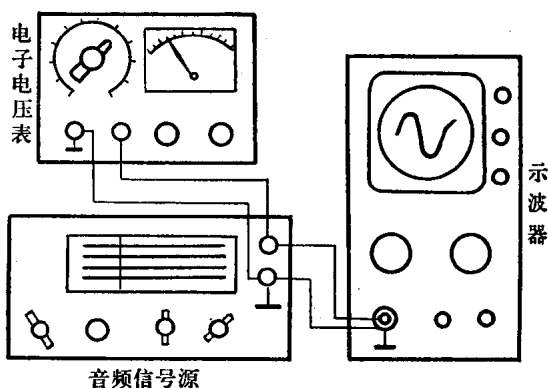
2. 如果要读取三极管饱和压降, 集电极电压量程如何选择才较合理?

3. 当测试大功率管, 一般功耗限制电阻值多大较适宜? 依据是什么?

实验二 常用电子仪器的使用

一、实验目的

1. 学会正确使用音频信号源和电子电压表。
2. 学会示波器的调整方法, 初步掌握用示波器观察和测量正弦波信号。



音频信号源

图 1-2-1 仪器间的接线

二、实验原理

1. 仪器线路连接

本实验对电子线路实验中常用的电子电压表、音频信号源、示波器的三种电子仪器进行综合使用练习。各仪器间连线如图 1-2-1 所示。要求各仪器的接地端子连接在一起, 并与实验室的接地系统保持良好接触。

2. 实验基本原理

音频信号源用来输出一定频率和一定电压幅度的正弦波信号电压。其频率和幅度可在信号源频率范围和输出电压范围内任意选择。电子电压表用来测试正弦波信号电压的有效值。示波器用来观察正弦波信号的波形, 并通过读取正弦波的峰值电压可换算成有效值, 另外还可以根据扫描时间刻度值来读取正弦波信号的周期。

三、实验仪器

电子电压表: 一台; 音频信号源: 一台(参考型号: XD-2 型); 电子示波器: 一台(参考型号: ST-16 型, SR-8 型); 万用电表: 一只; 滑线变阻器($0 \sim 100 \Omega / 1A$): 一只; 直流稳压电源: 一台(或 1.5V 干电池一节)。

四、实验内容与步骤

1. 用音频信号源测试电子电压表和万用电表的频率响应特性

由于电子电压表和万用电表在测试不同频率的正弦波信号电压时具有不同频率响应, 因此, 给测试值带来一定误差。测试方法如下: 将音频信号源的输出电压值调到最大并保持不变, 改变输出信号的频率, 用电子电压表和万用电表测量相应的电压值, 记于表 1-2-1。

表 1-2-1 电子电压表和万用电表测不同频率电压值信号源电压 ___ V

信号频率 (Hz)	10	50	100	1k	10k	50k	100k	500k	1M
电压表读数 (V)									
万用电表读数 (V)									

2. 测试音频信号源在不同“输出衰减”档时的输出电压; 测试输出衰减为 0dB 和 90dB 时音频信号源的输出阻抗。

测试方法是: 将音频信号源的频率调整到 1kHz 保持不变, 先将“输出衰减”调节到“0 dB”, 再调节“输出细调”, 使输出电压达到最大值, 并保持不变。然后逐档改变输出衰减档级, 测音频信号源的输出电压, 记于表 1-2-2。测输出阻抗可采用“半电压法”, 测试时将变阻器连于输出端, 调节变阻器使输出电压为未接变阻器时的一半, 则此时变阻器的阻值即为输出阻抗 r_o 。其测试电路如图 1-2-2 所示。测试值记于表 1-2-3。

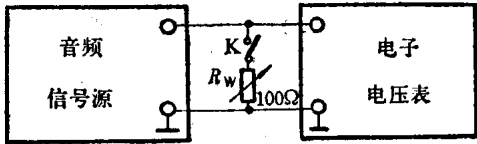


图 1-2-2 测音频信号源的输出阻抗

表 1-2-2 不同输出衰减时的输出电压 0dB 时输出最大电压 ____ V

“输出衰减” dB 值	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
电子电压表测试值(V)										

表 1-2-3 音频信号源的输出阻抗

dB 数	测 试 参 数		
	未接 R_w 时输出电压值 (V)	接上 R_w 并调节 R_w 后的半电压值 (V)	输出阻抗 (Ω)
0dB			
90dB			

当音频信号源输出阻抗较小时, 可采用实验五中式(1-5-6)求测。

3. 用示波器测试音频信号源输出电压波形

音频信号源的输出电压的幅度和频率, 一般是根据使用的要求进行调节。而其输出的参数是否符合要求, 可用示波器来检测其幅值和频率, 还可进一步用电子电压表测试其有效值, 两者测试结果应基本符合。利用示波器的“扫描时间”调节或“X 轴扩展”调节可进一步将波形扩展, 对某段波形细节观察得更清楚。

(1) 用示波器和电子电压表、万用表测试表 1-2-4 所列的音频信号源的信号

测试前要求对 Y 轴灵敏度和 X 轴扫描时间进行校准, 且“增益微调”和“扫描微调”处于校准位置。其他型号示波器应按“标尺法”读数使用要求调节(见“电子示波器”中内容)。

(2) 用示波器测直流电压

当示波器 Y 轴输入有“AC、 $\perp$ 、DC”耦合选择开关时, 利用“DC”档可作直流电压和具有直流成分的信号电压的测试。

① 测试稳压电源输出电压(或干电池电压)

将稳压电源输出电压调至 1.5 V, 用示波器测之。测试前将输入耦合选择开关置“ $\perp$ ”, 调出扫描时基线, 并选择合适 Y 轴电压灵敏度 V/div 档级。用“Y 轴移位”调节基准零线位置后测量之。测试过程中, 若改变 V/div 档级, 应重新调整基准零线, 再测之。测试值记于表 1-2-5。

表 1-2-4 电子仪器测试练习读数

对音频信号源的输出要求			示波器测试时旋钮刻度和量值							电子电压表测试电压值(V)	万用电表测试电压值(V)
信号频率 f (Hz)	波形周期 T (ms)	输出电压峰峰值 (示波器测) U_{P-P} (V)	在屏幕上要求显示波形周期数	Y轴灵敏度选择 V/div	波形峰峰值在Y轴上格数	换算后电压有效值(V)	扫描时间选择 t /div	X轴上周期格数	换算后信号频率(Hz)		
250	4	4	1								
			4								
5k	0.2	0.8	1								
			5								
100k	0.01	2.8	2								
			20								

注: 由于各种示波器扫描时间档级不同, 显示波形周期数在屏幕上不限于完整周期。

表 1-2-5 用示波器测直流电压

Y轴输入耦合选择开关位置	Y轴电压灵敏度 V/div	测试时光线移动格数	直流电压值	万用表测试值

② 测试交、直流叠加信号电压

将音频信号源的输出电压与稳压电源串接, 如图 1-2-3 所示。稳压电源调到 1.5 V, 音频信号源输出要求为 $f=1\text{kHz}$, $U_{P-P}=1\text{V}$ (用示波器观察之)。为了当示波器测试时, 避免稳压电源被短路及引进干扰信号, 对音频信号源尽可能采用低阻抗的对称形式功率输出 (即其输出与地脱开)。若音频信号源无功率输出端子, 采用示波器的接地端与音频信号源的地端相接, 而示波器测试端与稳压电源相接, 如图 1-2-4 所示。其测试方法与上述 ① 相同。这时交流波形的对称零线与时基线相距格数的电压值即为被测信号的直流成分电压值。将测试值和波形记于表 1-2-6。

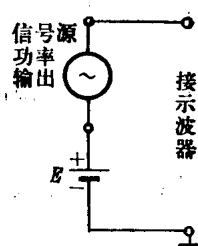


图 1-2-3 信号源与稳压电源串接

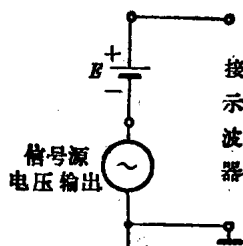


图 1-2-4 信号源用电压输出接法

表 1-2-6 交流、直流信号叠加测试读数

Y轴输入耦合开关	显示波形周期数	Y轴灵敏度 V/div	扫描时间选择 t /div	直流成分		交流成分		测试波形(注明直流、交流格数)
				格数	电压	格数	电压(有效值)	
DC	5个周期							