

高等学校教材

模拟电子线路实验

朱耀国 编



高等教育出版社

TN 710-33

2206

707336

高等学校教材

模拟电子线路实验

朱耀国 编

高等教育出版社

(京) 112 号

内 容 提 要

本书是根据国家教育委员会颁发的《电子线路实验教学基本要求》编写的。

全书共分三篇：第一篇为教学实验，共十七个基本教学实验，包括用图示仪测量半导体器件特性、各种放大电路、振荡电路、频率变换电路、集成稳压电路等；第二篇为课题设计性实验，选编了七个设计型课题，包括多级放大器，扩音系统，低频信号源，小型收、发系统，锁相频率合成器等；第三篇为实验仪器，选编了模拟电子线路实验中常用的如示波器、信号发生器、电压表等七种仪器，主要介绍它们的工作原理、性能特点和使用方法。

书末附录中介绍了测量误差和测量数据处理的基本知识及常用元、器件型号命名、主要参数。

本书可供高等学校工科电子、通信类各专业作实验教材，也可供工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

模拟电子线路实验/朱耀国编. —北京：高等教育出版社，1996. 12
ISBN 7-04-005771-9

I. 模… II. 朱… III. 模拟电路-实验 IV. TN710-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 02307 号

*

高等教育出版社出版

北京沙滩后街 55 号

邮政编码：100009 传真：64014048 电话：64054588

新华书店总店北京发行所发行

北京印刷一厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 14 字数 340 000

1996 年 12 月第 1 版 1996 年 12 月第 1 次印刷

印数 0001—2 502

定价 11.00 元

凡购买高等教育出版社的图书，如有缺页、倒页、脱页等质量问题者，请与当地图书销售部门联系调换。

版权所有，不得翻印

前 言

根据国家教育委员会颁发的《电子线路实验教学基本要求》，在总结多年来的教学实践并结合当前教学改革需要的基础上，汲取南京工学院无线电工程系电子线路实验编写组编《电子线路实验》（高等教育出版社，1982年）教材中的部分内容，编写了本教材——《模拟电子线路实验》。总的指导思想是，加强基本技能训练，加强模拟集成电路应用，加强工程设计能力培养。

模拟电子线路实验是高等学校工科电子、通信类专业学生的重要实践性环节，对于培养和提高独立工作、解决实际问题的能力起着十分重要的作用。它包括基本仪器的正确使用，元、器件参数和电路性能的测试，电路的安装调整及故障排除，对电路的工程设计和工程估算，实验数据的记录、处理、分析、综合和实验报告的撰写等。通过学习，不仅使学生具有进行科学实验的动手能力，而且要培养出具有一丝不苟、严谨求实的科学研究作风。

鉴于以上考虑，本教材选编了电子线路中最基本内容和常用电路的实验作为第一篇，共十七个教学实验。其目的是巩固和拓宽课堂所学理论，熟悉仪器使用，培养基本技能，初步学会工程设计和估算方法。每个教学实验的课内学时一般为3学时左右。其中单级低频放大器、集成运算放大器、振幅调制器与检波器、频率调制器与鉴频器的实验内容较多，可安排4~6学时。

每个教学实验均包括实验目的、实验原理、实验仪器、实验内容、预习要求、实验报告要求及思考题七个部分。不少实验还提出了工程估算内容，在大信号应用和工作频率较高的实验中介绍了印刷电路板图和电感线圈的结构参数，为的是使学生对排板布线和线圈的绕制工艺有所了解。根据循序渐进的教学原则，开头的几个实验中，对实验步骤等规定得比较详细，如仪器面板旋钮位置、仪器与实验底板间的连线以及实验数据表格等，以后逐步简略，最后只提出实验任务，要求学生自拟实验步骤和数据表格。实验内容中打“*”号的为选做内容。

为了进一步提高工程设计能力，加强对集成电路的应用，在第二篇中选编了七个不同类型的课题设计性实验，要求学生在基本教学实验的基础上，综合运用已学知识，完成小型系统的设计制作任务。它包括确定方案、电路选择、元件参数值的计算、印刷电路板的设计与制作、电路的安装与调整、组织仪器进行指标测试直至写出综合实验报告、完成实物验收整个过程。每个课题的课内学时一般为6~9学时。

第三篇为实验仪器篇，共选编了模拟电子线路实验中常用的七种电子仪器，包括它们的工作原理、性能指标和使用方法。为了更好地掌握仪器的正确使用，该内容除了供学生在实验前进行预习外，还应结合“电子测量技术”讲课内容分散在实验过程中进行必要的讲解。

本书末附录中还编入了测量误差和测量数据处理的基本知识以及常用电路元、器件型号命名及主要参数，以供查阅。

实践证明，为了保证实验教学质量，在实验的各个环节对学生提出严格的要求是十分必要的。

实验前必须认真预习有关内容，弄清实验原理，根据实验内容拟好实验步骤和记录表格，对所用仪器必须熟悉其使用方法，工程估算内容应在课外完成并经指导教师审阅。

实验时要严格遵守实验守则，提倡独立思考，对实验中的现象和问题，要多加分析，自行解决，独立地完成实验任务。

实验结束后必须及时写好实验报告。报告内容应包括实验名称、实验目的、实验电路、仪器名称及型号、实验内容及步骤、实验结果及分析以及思考题解答等。要求条理清楚、文字简明、字迹工整、图形曲线符合规范。

本书在编写过程中，得到了东南大学电子线路教研组全体同志的关心和支持。谢嘉奎教授审阅了本书的初稿并提出了不少宝贵的修改意见，方九如高级工程师为有关内容的取舍提出了积极的建议，徐国华、茅洁、严世鸿同志在本书编写过程中做了不少具体工作。

本书稿由清华大学诸昌清教授审阅，提出了许多宝贵意见。

编者对上述同志表示由衷的感谢！

由于编者水平有限，编写时间仓促，难免有不少错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

1995年8月于南京

责任编辑
封面设计
责任绘图
版式设计
责任校对
责任印制

张	培	东
刘	晓	翔
黄	建	英
焦	东	立
于		红
孔		源

期限表

请于下列日期前将书还回

This image shows a blank sheet of primary-ruled paper. It features three vertical columns created by solid black lines. The first column on the left is narrow, while the other two are wider and of equal width. Horizontal dashed lines run across the entire page, providing guides for letter height. There are no pre-written words or markings on the paper.

目 录

第一篇 教学实验

实验一 三种常用电子仪器的使用	1	实验十 集成化中频放大器	58
实验二 晶体管特性曲线的测量	7	附录 1-10-1 集成化中频放大器的工程估算	62
实验三 单级低频放大器	13	实验十一 集成低频功率放大器	64
附录 1-3-1 单级低频放大器的工程估算	18	附录 1-11-1 集成低频 OTL 功率放大器的工程估算	68
实验四 场效应管放大器	20	实验十二 高频功率放大器	70
附录 1-4-1 FET 前置放大器的工程估算	22	实验十三 LC 正弦波振荡器	75
实验五 负反馈放大器	24	附录 1-13-1 LC 正弦波振荡器的工程估算	78
实验六 差分放大器	28	实验十四 集成模拟相乘器	81
实验七 集成运算放大器	32	实验十五 振幅调制器与检波器	88
附录 1-7-1 自制可调直流信号源电路	40	实验十六 频率调制器与鉴频器	93
实验八 波形产生电路	41	实验十七 整流与稳压电路	100
附录 1-8-1 双基极二极管	45	附录 1-17-1 整流与稳压电路的工程估算	105
实验九 RC 有源滤波器	48		
附录 1-9-1 有源滤波器设计	53		

第二篇 课题设计性实验

课题一 多级低频放大器	108	课题五 小功率调频发射机	121
课题二 扩音系统	111	课题六 集成化调频接收机	126
课题三 低频正弦波信号源	116	课题七 锁相频率合成器	129
课题四 正、负跟踪双路直流稳压电源	119		

第三篇 实验仪器

仪器一 示波器	135	附录	181
仪器二 晶体管特性图示仪	147	附录一 测量误差和测量数据处理的基本知识	181
仪器三 频率特性测试仪	156	附录二 常用电路元、器件型号及主要性能参数	185
仪器四 电压表	162	主要参考资料	216
仪器五 失真度测量仪	166		
仪器六 正弦波信号发生器	170		
仪器七 调制度测量仪	177		

第一篇 教学实验

实验一 三种常用电子仪器的使用

一、实验目的

通过实验,掌握用示波器观察正弦信号波形、测量波形参数的方法,并学会正确使用低频正弦信号发生器和晶体管毫伏表。

二、实验原理

本实验采用的三种常用电子仪器,即正弦信号发生器、晶体管毫伏表和示波器,它们之间的连接方式如图 1-1-1 所示。

其中,正弦信号发生器用来产生一定频率范围和一定电压大小的正弦信号,并提供给晶体管毫伏表和示波器直接测量和观察用;晶体管毫伏表是用于测量交流信号电压大小的电压表,对于正弦信号,其读数即为电压的有效值;示波器是用来观测各种周期电压(或电流)波形的仪器,为了减小其输入阻抗对被测信号的影响,常用 10:1 衰减探头将信号加到示波器的 Y 轴输入端,这时,其输入阻抗为原来的 10 倍。

上述三种仪器的性能指标及使用方法,详见本教材第三篇实验仪器中的有关内容。

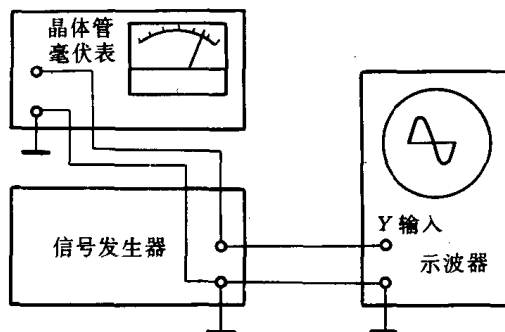


图 1-1-1 仪器之间的连线图

三、实验仪器

- | | |
|--------------------|-----|
| 1. 信号发生器 (XD2 型) | 1 台 |
| 2. 晶体管毫伏表 (DA16 型) | 1 台 |
| 3. 二踪示波器 (SR8 型) | 1 台 |

四、实验内容

1. 使用晶体管毫伏表测量信号电压

图 1-1-2 是用晶体管毫伏表直接测量信号发生器输出电压的连线图。

(1) 将 XD2 型信号发生器的频率调至 1kHz，调节“输出细调”旋钮，使指示表头指针在 4V，用晶体管毫伏表测量信号发生器在不同“输出衰减”挡位时的输出电压值，记入表 1-1-1。

表 1-1-1

信号发生器“输出衰减” 旋钮所在挡位 (dB)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
信号发生器应有的输出 电压值 (V)										
晶体管毫伏表读数 (V)										

当毫伏表接入被测信号电压时，一般应先接地线，再接信号线；为了避免表头过载而打弯指针，在接入信号电压前，毫伏表应先置大量程挡，接入信号后，再逐次向小量程挡转换；为了减小读数误差，要求毫伏表指针位于满刻度的 $\frac{1}{3}$ 以上。

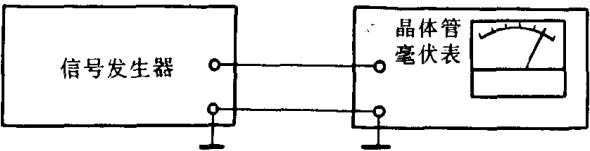


图 1-1-2 用电压表测量信号电压

(2) 将信号发生器“输出衰减”旋钮置于 10dB 挡，并保持指示表针在 4V 位置。改变信号频率，用晶体管毫伏表测量相应的电压值，记入表 1-1-2。

表 1-1-2

信号频率 (Hz)	50	100	1×10^3	10×10^3	50×10^3	100×10^3	500×10^3	1×10^6
毫伏表读数 (V)								

2. 示波器的使用

图 1-1-3 是用示波器观察信号电压波形的连接图。

(1) 观察信号波形

接通电源，在加入被测信号前，应先调节“辉度”、“聚焦”、“辅助聚焦”各旋钮，使荧光屏上显示一条细而清晰的扫描基线，调节 X 轴“位移”和 Y 轴“位移”旋钮，使基线位于屏幕中央，然后将被测信号从 Y_A (或 Y_B) 输入端加入，这时的显示方式开关旋钮也应拨到 Y_A (或 Y_B)，再调节所在通道的灵敏度选择开关“V/div”^①及其微调旋钮，可以控制显示波形的高度；调节 X 轴扫描速率选择开关“t/div”及其微调旋钮，可以改变扫描电压周期 T_s ，当 T_s 为被测信号周期 T_x 的整数倍时，屏幕上就能稳定地显示出被测信号电压的波形。改变 T_s 和 T_x 的倍数关系，就能控制显示波形的个数。

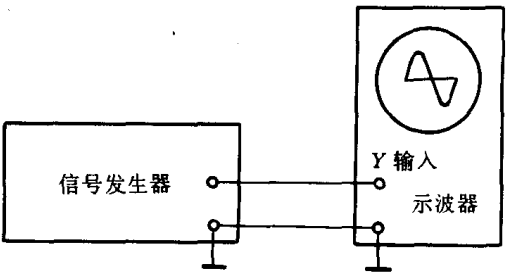


图 1-1-3 用示波器观察信号波形

本实验提供的被测信号电压为 3V，改变信号频率，要求在屏幕上显示出高度为 6 格并有 3

① 符号“div”表示荧光屏幕上的格数，下同。

个完整周期的波形，将有关旋钮所在挡位填入表 1-1-3。

表 1-1-3

被测信号频率	25Hz	150Hz	1.7kHz	29kHz	195kHz	1MHz
“V/div” 挡位						
“t/div” 挡位						

(2) 测量信号电压

将示波器灵敏度微调旋到“校准”位置（即顺时针旋到底），此时灵敏度选择开关“V/div”所在挡位的刻度值表示着屏幕上纵向每格的伏特数。这样就能根据显示波形高度所占格数，直接读出电压的大小。为了保证测量精度，在屏幕上应显示足够高度的波形。为此，应将灵敏度选择开关置于合适的挡位。

本实验要求将信号频率固定为 10kHz，保持信号发生器表头指示为 4V，用示波器测量在信号发生器“输出衰减”置于不同挡位时的输出电压值，将测量结果记入表 1-1-4。

表 1-1-4

信号发生器“输出衰减”旋钮挡位 (dB)	0	10	20	30	40
信号发生器应有的输出电压值 (V)					
示波器 V/div 所在挡位					
峰-峰波形高度 (格)					
峰-峰电压 V_{P-P} (V)					
电压有效值 (V)					

使用探头测量时，在计算中应考虑其 10 : 1 的衰减。

(3) 测量信号周期

固定信号发生器输出电压为 4V，将示波器扫描速率“微调”旋钮旋至“校准”位置（即顺时针旋到底），此时扫描速率选择开关“t/div”所置挡位的刻度值表示着屏幕上横向每格的时间值。这样就能根据屏幕上所显示波形在水平轴上所占格数直接读出信号周期。为了保证测量精度，通常要求一个周期在水平方向上应占足够的格数（或者 10 个周期应占足够的格数，然后取其平均值）。为此，应将扫描速率选择开关置于合适挡位。

改变信号频率，将测量结果记入表 1-1-5。

表 1-1-5

信号频率 (kHz)	1	5	25	50	100	1000
t/div 所置刻度值						
一周期所占水平格数						
信号周期 T_s (μs)						

* (4) 测量信号频率^[4]

信号频率可由上法测得周期的倒数来求得，此外，还可以用 X-Y 显示法（又称李沙育图形

法) 来测得。这种方法的仪器连线如图 1-1-4 所示。

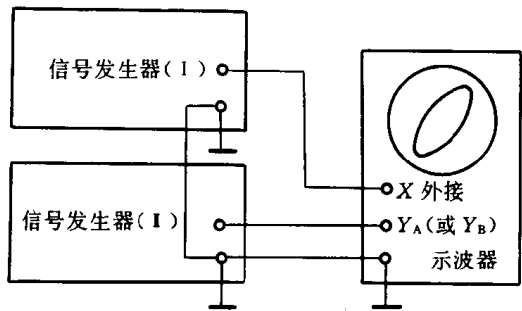


图 1-1-4 用李沙育图形测定信号频率

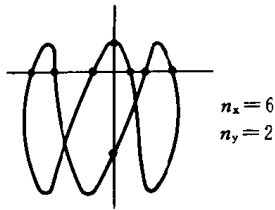


图 1-1-5 由李沙育图形
确定频率

图中, 信号发生器 (Ⅱ) 作为未知频率 f_y 的信号, 从示波器的 Y_A 输入端输入, 信号发生器 (Ⅰ) 作为已知频率 f_x 的信号, 从示波器 “X 外接” 插座输入, 这时扫描速率选择开关应置 “X 外接” 挡, 调节信号发生器 (Ⅰ) 的频率 f_x , 当 f_x 和 f_y 之间成一定倍数关系时, 屏幕上就显示李沙育图形。根据李沙育图形和 f_x 的读数, 即可定出被测信号的频率 f_y 。例如, 显示的李沙育图形如图 1-1-5 所示。由李沙育图形确定未知频率的方法是这样的: 若在图形上画一条水平线和一条垂直线 (注意: 不要画在交点处), 它们与图形的交点数分别为 $n_x=6$, $n_y=2$ 。若 $f_x=2.5\text{kHz}$, 则被测信号频率为

$$f_y = \frac{n_x}{n_y} f_x = \frac{6}{2} \times 2.5 = 7.5\text{kHz}$$

为了便于从李沙育图形确定未知频率, n_x 和 n_y 应成简单倍数, 一般取 $\frac{1}{2}$ 、1、1.5、2 和 3 等值。本实验建议 f_y 选在 6kHz 左右。将测量结果记入表 1-1-6。

表 1-1-6

f_x 读数 (kHz)			
李沙育图形			
$f_y : f_x = n_x : n_y$			
f_y (kHz)			

(5) 测量两信号的相位差

测量相位差可用双踪显示法。也可用 X-Y 显示法 (又称椭圆截距法)。

双踪显示法的连线如图 1-1-6 (a) 所示。它是将 1kHz 的正弦信号经过 RC 移相网络获得同频不同相的两路信号, 并被分别加到了二踪示波器的 Y_A 和 Y_B 输入端, 显示方式置于 “交替” 或 “断续” 挡, 然后分别调节两通道的 “位移”、“V/div” 及其微调和 “t/div” 及其微调旋钮, 就可在荧光屏上显示出如图 1-1-6 (b) 所示两高度相等的正弦波形。为了使显示的波形稳定, 便于两信号的相位比较, 必须将 “内触发、拉 Y_B ” 推拉式开关拉出, 使内触发源只取自 Y_B 通道的输入信号。

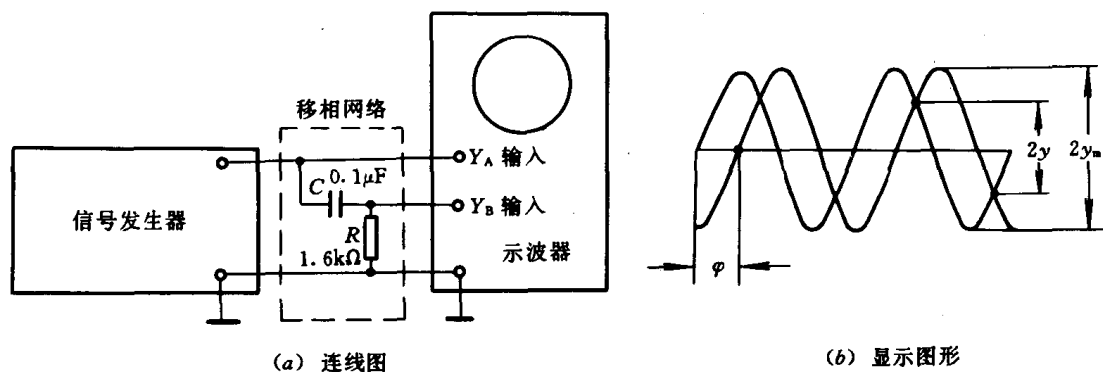


图 1-1-6 双踪显示测量相位

由显示图形上读出 y 和 y_m ，则两信号的相位差为

$$\varphi = 2 \arctg \sqrt{\left(\frac{y_m}{y}\right)^2 - 1} \quad (\text{弧度})$$

将测量结果记入表 1-1-7。

表 1-1-7

波形高度 (格数)	两交点间垂直距离 (格数)	相位差 (弧度)
$2y_m =$	$2y =$	

上述测量方法必须采用二踪示波器。如果只有普通示波器时，则可采用 X-Y 显示法。图 1-1-7 (a) 就是这种测量法的连线图。若仍用 1kHz 正弦信号，经 RC 移相网络获得同频不同相的两路信号，一路加入到 Y_A 的输入端 (相应的显示方式开关应拨到 “ Y_A ”), 另一路从 “X 外接” 插孔输入 (相应的扫描速率选择开关应拨到 “X 外接” 挡, 这时调节 “位移”、“V/div” 及其微调旋钮, 只要信号发生器输出电压大小合适, 就能在荧光屏上显示出如图 1-1-7 (b) 所示的椭圆

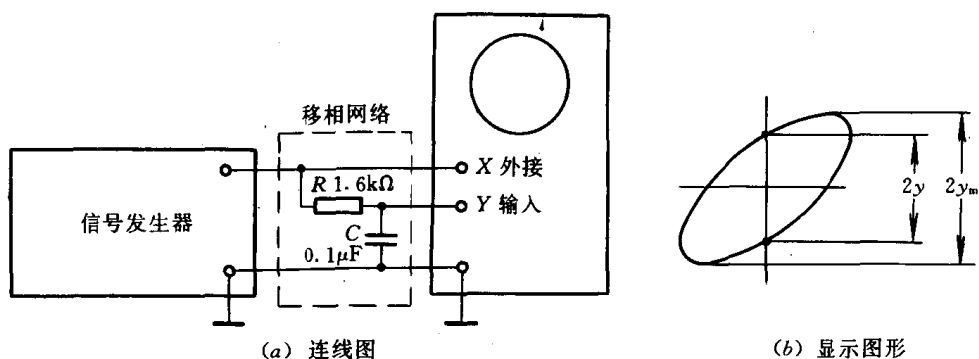


图 1-1-7 用椭圆截距法测量相位差

图形。由图形上可直接读出 y 和 y_m 所占的格数，则两信号的相位差为

$$\varphi = \arcsin \left(\frac{y}{y_m} \right) \quad (\text{弧度})$$

将测量结果记入表 1-1-8。

表 1-1-8

椭圆高度（格数）	在 y 轴上的截距（格数）	相位差（弧度）
$2y_m=$	$2y=$	$\varphi=$

五、预习要求

认真阅读本教材第三篇中下列有关内容：

- 1. 示波器部分的波形显示原理及 SR8 型二踪示波器的使用方法。
- 2. XD2 型信号发生器面板上各旋钮的作用及使用方法。
- 3. DA16 型晶体管毫伏表的使用方法及注意事项。

六、实验报告要求

根据实验记录，列表整理、计算实验数据，并描绘观察到的有关波形图。
分析实测值与计算值之间的误差及产生误差的原因。

七、思考题

- 1. 用交流毫伏表测量交流信号电压时，信号频率的高低对读数有无影响？能否用 DA16 型晶体管毫伏表来测量直流电压和 20Hz 以下的交流电压？又为什么一般不用普通三用表来测量高频信号电压？
- 2. 若将 XD2 型信号发生器输出端短路，将会引起什么后果？
- 3. 解释示波器出现图 1-1-8 不正常现象的原因以及消除这些不正常现象的方法。其中 1~4 是接通电源但未输入信号时的情况；5~8 是观察正弦信号时的情况。

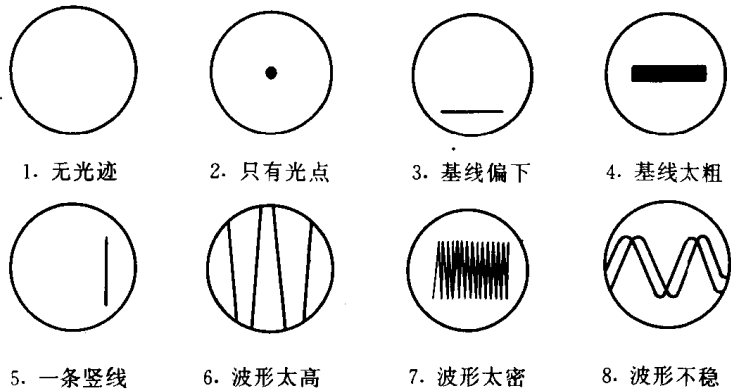


图 1-1-8 示波器出现的各种不正常现象

- 4. 用示波器测量交流电压大小及其周期时，如何才能保证其测量精度？

实验二 晶体管特性曲线的测量

一、实验目的

1. 了解 JT-1 型晶体管特性图示仪的基本工作原理。
2. 学会用 JT-1 型晶体管特性图示仪显示晶体管特性曲线和晶体管参数的测量方法。

二、实验原理

JT-1 型晶体管特性图示仪（简称 JT-1 型图示仪）是由基极阶梯信号发生器、集电极扫描信号发生器及示波器等部分组成。图 1-2-1 是用它显示一 PNP 管输出特性曲线的原理框图。图中，集电极扫描电压通过“功耗限制电阻”被加到了被测管的 CE 极间产生了管压降 v_{CE} ，同时在基极注入一定值的电流（阶梯电流），由于管子的受控作用，这时集电极将产生随集电极扫描电压而变的集电极电流 i_C 。其中集电极扫描电压是通过 X 轴放大器被加到了 X 轴偏转板上，而 i_C 又通过取样电阻被转换为电压，经 Y 轴放大器加到了 Y 轴偏转板上。因此，在荧光屏上就能显示出以基极电流为参变量、集电极电流 i_C 随集电极电压 v_{CE} 而变化的输出特性曲线。

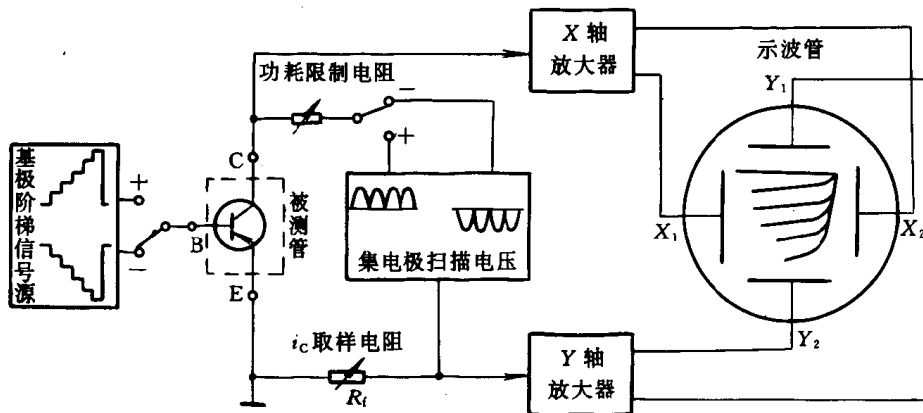


图 1-2-1 JT-1 型晶体管特性图示仪的原理方框简图

下面再通过举例说明用 JT-1 型图示仪测试晶体管的方法。

1. 测试晶体三极管

JT-1 型图示仪面板上有关旋钮名称及符号均与晶体三极管（BJT 管）的特性曲线坐标量相对应，故使用较方便。但有两点必须注意：

为了正确显示晶体管特性曲线，首先应根据管子类型和所需显示的特性，确定坐标原点（光点）位置和所加信号的极性。例如，NPN 型管的共发射极各种特性曲线均在坐标轴的第一象限，则坐标原点应调到屏幕的左下角，基极阶梯信号和集电极扫描信号的极性均为“+”。而 PNP 型管的所有共发射极特性曲线均在第三象限，则坐标原点应在屏幕的右上角，而基极阶梯信号

和集电极扫描信号的极性均为“-”。然后再根据特性曲线坐标轴的含义（电压或电流），分别
将“X轴作用”旋钮和“Y轴作用”旋钮拨到相应量的合适挡位上。

为了避免被测晶体管被损坏，在插入晶体管前，应先将扫描“峰值电压”旋钮调到零，“功
耗限制电阻”旋钮先置于较大阻值（如1kΩ）挡，“阶梯作用”旋钮先置于基极电流的较小值，
对于小功率管常置“0.01毫安/级”挡。插上晶体管后，扫描“峰值电压”由零缓慢增大，只要
有关旋钮挡位合适，即可显示出所需的特性曲线。各项测试完毕，“峰值电压”旋钮应回调到零。

现以测试3AX31型小功率管的共发射极特性为例，说明操作步骤。

(1) 测量共发射极输出特性曲线

将晶体管的三个引脚分别插入测试台的E、B、C插孔中，将接地选择开关拨到“发射极接
地”。调节“移位”旋钮使坐标原点位于屏幕右上角。根据共发射极输出特性表达式

$$i_C = f_e(v_{CE}) \Big|_{i_B = \text{常数}}$$

可以定出X轴、Y轴及参变量的对应关系。表1-2-1为测试3AX31输出特性曲线给出有关旋钮
位置，以供测试时参考。

表 1-2-1

旋 钮 名 称	旋 钮 位 置
X轴作用	集电极电压 1V/度 ^①
Y轴作用	集电极电流 1mA/度
阶梯选择	基极电流 0.01mA/级
阶梯作用	重复
级/秒	200
基极阶梯“极性”	—
集电极扫描“极性”	—
峰值电压范围	0~20V
功耗限制电阻	1kΩ

将上述旋钮拨到位后，接着将“峰值电压”由零增大到10V左右，屏幕上就能显示如图1-
2-2所示的输出特性曲线。调节基极阶梯信号的“级/族”旋钮，使曲线族为11条（对应于10个
阶梯信号），适当调整Y轴“mA/度”旋钮，使屏幕上显示的曲线族高度在5~10格之间。

从输出特性曲线上可测出晶体三极管的下列参数：

① 管子的输出电阻 r_{ce}

由图可见，曲线在Q点处的输出电阻是以对应于 I_{BQ} 的那条曲线为斜边作直角三角形，两直
角边分别为 ΔV_{CE} 和 ΔI_C ，则

$$r_{ce} = \frac{1}{h_{oe}} = \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C} \Big|_{i_B = I_{BQ}}$$

而在Q点的直流输出电阻为 $\frac{V_{CEQ}}{I_{CQ}}$ ，显然它比 r_{ce} 小得多。

② 饱和压降 $V_{CE(sat)}$

根据产品手册规定的测试条件可知，它是将C-B极短接后插入“C”孔（而E极仍插入

① 这里的“度”表示荧光屏上的格数。下同。

“E”孔), 改变“峰值电压”使 i_c 在一定值 (如 3AX31 为 125mA) 的条件下, 测量曲线上所对应的电压值。一般小功率管 $V_{CE(sat)}$ 只有零点几伏, 有些大功率管可达 2~3V。

③ 电流放大倍数 β

根据定义 $\beta = h_{fe} = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right|_{V_{CE}=V_{CEQ}}$ 可知, 欲测 Q 点处的 β 值, 只需过 Q 点作一垂线与相邻两曲线相交而得 ΔI_B , 与之对应的纵坐标截距为 ΔI_C , 由此可得 β 值。而 Q 点处的直流电流放大倍数为 $\frac{I_{CQ}}{I_{BQ}}$ 。一般情况下两者并不相等。其实, 电流放大倍数用下述放大特性显示, 更是一目了然。

(2) 测量共发射极放大特性

在测量输出特性曲线的基础上, 只需将“X 轴作用”旋钮由“V/度”拨到“基极电流或基极源电压”挡。这时 X 轴将以基极电流为标称刻度, 荧光屏即显示出如图 1-2-3 所示的放大特性曲线。特性曲线上点的连线之斜率反映了电流放大倍数的大小, 显然, Q 点处的交流电流放大倍数与直流电流放大倍数是不相等的。一般在小电流工作时, 放大特性才呈线性状态。

(3) 显示穿透特性, 测量穿透电流 I_{CEO}

穿透电流是指当基极开路时, 接上电源电压后流过管子 C-E 极的静态电流值。性能好的管子 I_{CEO} 较小, 硅管比锗管要小。它的测量也是在测量输出特性的基础上进行的。为了保证测量精度, 只需将 Y 轴的集电极电流拨到较小量程挡, 同时将“零电流/零电压”按键扳向“零电流”, 这时增大“峰值电压”至规定值 (如 -6V), 便能在荧光屏上显示出如图 1-2-4 所示的穿透特性曲线。由图可见, 该管的 $I_{CEO} = 25\mu A$ 。

曲线中出现回线状是由仪器本身的容性电流引起的, 不影响测量结果。

(4) 显示击穿特性, 测量击穿电压 $V_{(BR)CEO}$

$V_{(BR)CEO}$ 是指基极开路时, C-E 间的耐压大小。测量时, “峰值电压范围”应置 0—200V 挡, 相应的 X 轴“V/度”旋钮也应拨到较大量程挡。为了不使管子在测试中损坏, “功耗限制电阻”应取较大值 ($>1k\Omega$), “集电极电流”应取较小值。“零电流/零电压”按键置于“零电流”。其它各旋钮位置仍按表 1-2-1 规定。然后将“峰值电压”由小增大, 直到曲线出现明显的拐弯状,

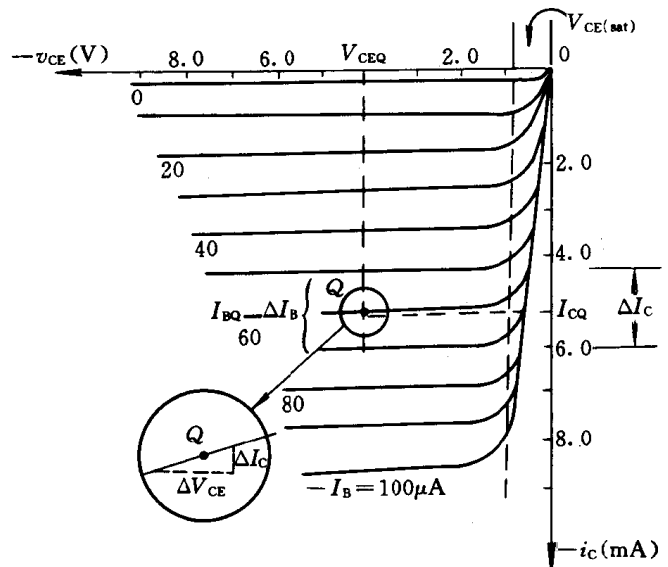


图 1-2-2 共发射极输出特性曲线

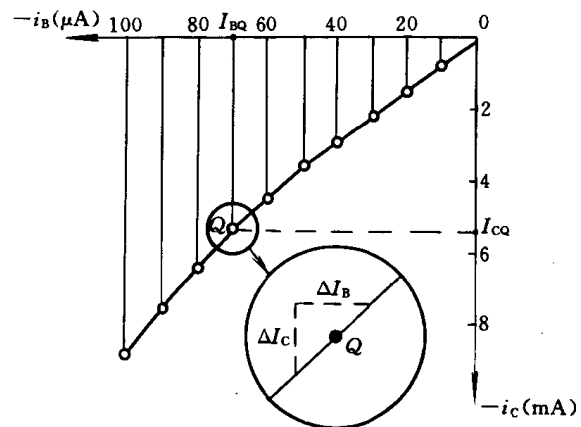


图 1-2-3 共发射极放大特性曲线

这就是如图 1-2-5 所示的击穿特性曲线。根据测试条件，在 i_c 为一定值（如 1mA）时所测得的电压即为击穿电压。显然，图示的击穿电压 $V_{(BR)CEO} = -27V$ 。

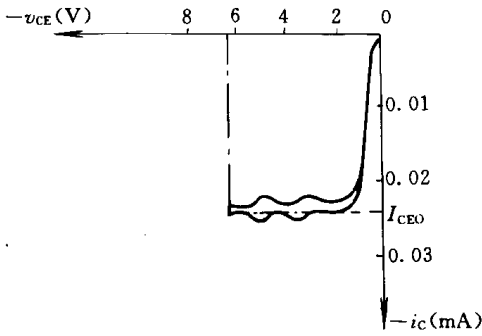


图 1-2-4 穿透电流 I_{OEO} 的测量

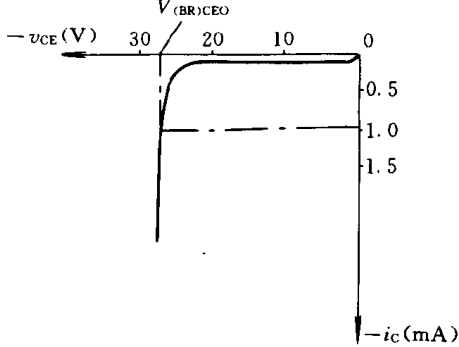


图 1-2-5 击穿电压 $V_{(BR)CEO}$ 的测量

(5) 测量共发射极输入特性
输入特性的表达式为

$$i_B = f_e(v_{BE}) \mid v_{CE} = V_{CEQ}$$

由此可知，除了将“X 轴作用”旋钮置于“基极电压 0.1V/度”、“Y 轴作用”旋钮置于“基极电流或基极源电压”挡外，其它各旋钮仍按表 1-2-1 规定，这样就能显示如图 1-2-6 所示的输入特性曲线。将“峰值电压增加到 -6V 左右时可以发现输入特性曲线向左移动。显然，从曲线上可测出 Q 点处的交流等效输入电阻

$$r_{be} = h_{ie} = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B} \mid v_{CE} = V_{CEQ}$$

对于场效应管的有关特性曲线（如共源转移特性和输出特性）的测试和上述晶体三极管测试方法基本相同，只需将引脚 S、G、D 和 E、B、C 相对应插入测试台插孔中，测试时必须注意两点：

- A. 由于场效应管为电压控制性器件，这时阶梯信号应改用阶梯电压（阶梯选择拨到“V/级”）。当需用较大阶梯信号电压时，可采用将阶梯电流转换为栅极阶梯电压的办法，即在测试台的 B-E 端接上 1kΩ 电阻，当阶梯电流为 1mA/级时，则相当于阶梯电压为 1V/级。
- B. 对于结型场效应管，其漏极电压和栅极电压必须极性相反。以 N 沟道为例，漏极为“+”，栅极为“-”；而对于耗尽型 MOS 管，其栅极电压可正亦可负，因此完整的特性曲线，必须分两次显示。

2. 测试二极管

测试二极管不需要基极信号，因此只要将二极管如图 1-2-7 (a) 插入测试台的 C-E 插孔中。为了显示二极管的伏-安特性，“Y 轴作用”应置于“mA/度”挡，“X 轴作用”应置于“V/度”挡。完整的伏-安特性应分为正向和反向两次显示：

(1) 正向特性的显示

集电极扫描电压“极性”置于“+”，调节“移位”使光点位于左下角。“X 轴作用”旋钮置于“0.1V/度”、“Y 轴作用”旋钮置于“0.5mA/度”，且“峰值电压”由小增大时，荧光屏上即显示出如图 1-2-7 (b) 中第一象限的特性曲线。由这条曲线上可测得下列参数：