

电工及电子实验

(二)

模拟电子实验部份



上海交通大学电工学教研组

1981.8.

前 言

“电工及电子实验(二)”包括模拟电子线路实验 16 个, 根据电工学教学大纲(150 学时类型)中所规定的实验时数, 建议实验一、三、四、六、七、(九或十)、十二、十三、十四、十六、作为必做内容, 其余作为选做内容。

这部分内容是在“电工及电子实验”单独设课以后选编的, 由于非电专业学生刚开始接触到电子线路及电子设备, 所以实验课的基本教学要求仍旧是基本电子仪器的使用、电子线路的基本测试方法、实验基本操作技能等三方面, 此外还要求学生通过实验能够巩固一些基本概念以及接受一些新的概念, 以扩大知识面, 增强自学能力。在本实验课中不要求学生具有设计实验的能力; 但是, 同学们经过电工及电子部分共计二十次实验的操作训练, 应该能够在已有资料的基础上, 根据测试要求自行拟出一些基本测试步骤, 独立完成有关电路及电子线路的基本测试工作。在期末考查时, 就按上述要求, 在实验室已有的器材条件下, 由同学独立完成规定的电子线路测试工作。

常用电子测量仪器中除晶体管特性图示仪以外, 基本上都已在电路实验中使用过, 在电子线路实验中就要求做到正确而熟练地使用仪器, 而且要培养判别和排除线路故障的能力。由于经过电路实验的训练, 同学们已经具有正确地按图接线的能力, 在电子实验中线路不再规定由教师统一检查, 而由同组同学互相检查, 若有疑问再请教师解决, 凡因接线及操作错误而损坏器材者, 均应作事故登记。在实验考查中, 仪器使用、接线能力、故障判别、测试步骤及方法等都是实验操作的主要要求, 同学们在平时实验中就应该注意操作能力的培养和锻炼, 积累一定的实践知识。

根据实验结果独立编写报告, 独立地分析电子线路性能, 对实验现象进行讨论, 是培养实验工作能力的一个重要方面。实验报告应该字迹清楚, 作图正规, 数据表格正确有效, 电路符号正确标注。电子线路部分实验中对实验报告的格式与要求规定得比较具体, 其中“实验目的”一项应由参加实验的同学自拟。在实验考查时也应该根据考查要求对实验结果进行分析、讨论、描绘曲线, 较好地完成考查答卷。

对实验的科学态度应该贯彻于整个实验过程的始终, 即包括在实验的准备、进行、总结等几个阶段中。事先充分预习, 做好规定的准备工作; 提出一些准备在实验中弄清的问题等等, 这些都属于实事求是, 认真负责的科学作风的具体体现。在实验之中, 必须有全神贯注、一丝不苟的精神, 必须实事求是地对待实验结果, 不得抄袭及修改数据, 如果发现弄虚作假行为, 除取消该次实验成绩外, 还要在期末考查成绩中扣分, 而且该次实验不予补做。遵守实验纪律及实验规则也是科学作风的体现, 学生必须按时上课, 凡因迟到而被取消实验者不予补做。学生必须注意设备及人身安全, 不要任意玩弄仪器, 防止损坏事故及器材丢失, 凡发生事故除按章赔偿以外, 还要影响期末考查成绩。

电子技术实验较电路实验内容更为复杂、操作要求更高, 往往有多台仪器、仪表同时

使用，更需要同学们认真对待，切勿以为已经做了一定数量实验，大致知道一些，以后就可以马虎从事，或是自以为内容大同小异而有放松。对于一些实验讲解及仪器介绍，也应该认真听取，往往一些实际知识并非都能在书本上找得到的。另外，在电子实验开始时，首先应该通电检查仪器是否正常、检查器材数量及参数是否与规定的一致、认识接线板布线，然后再进行接线。实验完毕同样要检查一次仪器及器材。这些方面看起来是小事，有时却会影响实验的顺利进行，所以平时就要养成检查仪器、器材的习惯。

“电工及电子实验”教学小组

1981.6

电工及电子实验规则

1. 接通电源前，必须由教师检查线路。
2. 注意人身安全，严禁带电改接线路。
3. 爱护仪器仪表，遵守使用规则，防止设备事故。
4. 不要随意动用与实验无关的设备。
5. 发生事故及设备故障，均需由指导教师处理。
6. 保持环境整洁，不要随地吐痰，实验室内严禁吸烟。
7. 实验结束，拆除线路，做好整理工作。
8. 对于违反操作规程及玩弄仪器设备而造成事故或损坏器材者，除予以批评教育外，并视情节轻重责令书面检查，停止实验、以至赔偿部份或全部损失等处理。

目 录

前言

电工及电子实验规则

实 验 一	晶体管特性图示仪的使用	1
附录 1-1	JT-1 型晶体管特性图示仪的使用	8
实 验 二	晶体三极管特性及其应用	13
实 验 三	单管电压放大器	17
附录 3-1	低频扫频讯号发生器的使用	24
实 验 四	负反馈放大器	26
实 验 五	二级阻容耦合放大电路的频率特性	32
实 验 六	场效应管放大电路	39
实 验 七	直流差动放大器	46
实 验 八	推挽互补功率放大电路的调试	53
实 验 九	LC 振荡器及其应用	58
实 验 十	RC 振荡电路	68
附录 10-1	DS-83 A 型多用数字计数器的使用	72
实验十一	集成运算放大器的参数测量	77
实验十二	集成运算放大器的基本接法	84
实验十三	积分器和微分器	92
实验十四	二极管特性及其应用	99
实验十五	直流稳压电源	108
附录 15-1	集成稳压器 5 G 14 简介	114
实验十六	可控硅器件的原理及其应用	117
附 录	实验用电子器件的主要参数	127

实验一 晶体管特性图示仪的使用

一、实验教学要求：

晶体管特性图示仪是电子技术实验的基本设备，每个同学都必须掌握图示仪的基本使用方法，这也是电子技术实验考查的主要内容之一。本实验将通过观看录像、实验课的讲解以及同学的实际操作，使每一个同学都了解图示仪的工作原理、面板上各控制旋钮及开关的作用，并学会用晶体管特性图示仪测试小功率晶体三极管特性参数。在实验过程中，同学们不仅应该记住一些主要控制旋钮所置的位置，而且也应该了解为什么要这样选择，这样就能使印象更为深刻。

图示仪的使用在以后各次实验中还应该逐步巩固，而且还要熟悉用图示仪测试大功率三极管、场效应管、二极管、稳压管、单结晶体管等的操作方法。

在本次实验中同学们还应该学会如何用万用电表来判别晶体三极管的类型和管脚。这种简易的测试方法在实际工作中是有用的，有时还能粗略的判别晶体管是否已经损坏。

在实验以前，每个同学都应该把指导书及附录预习一遍，并结合电子技术课程的复习，做好以下准备工作，由指导教师检查。

1. 大致了解图示仪的结构，并列出图示仪有哪几个主要的控制旋钮或控制开关。（表示在面板图上）
2. 熟悉晶体三极管输入、输出特性的形状， X 、 Y 轴所代表的物理量，大致的数值范围，以及在特性曲线上求取三极管输入电阻 r_{be} 、共射电流放大倍数 β 的方法。
3. 用图示仪测试 I_{co} 及 BV_{co} 的读数方法及操作注意事项。
4. 用万用表判别晶体三极管管脚及管型的操作方法。（这部分内容教师不再重复讲解。）

本实验中播放录像及教师的补充讲解、预习检查约需60分钟，实际操作约60~80分钟，每四人为一组，相互轮流操作，必须使每一位同学都有操作的机会，以学会实际测试方法。

二、实验内容说明：

1. 用万用表判别晶体三极管管型管脚

NPN型及PNP型晶体三极管都可看作是由二个PN结反向串接而成的（图1-1），因为P-N结的正、反向电阻差别很大，所以可以利用测量极间电阻的方法来判别管型及确定基极。

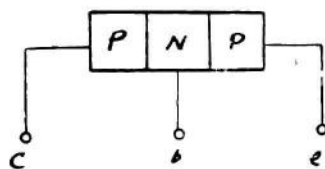
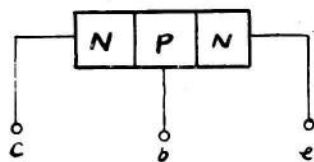


图 1-1

测量时，应先假定某一极为基极，将万用表量程置于 $R \times 100$ 或 $R \times 1 K$ 档（不允许用

R×1、×10、×10 K 档),用红表棒(内接电池负极)接在“假定基极”上,而黑表棒(内接电池正极)分别接在另外二个管脚上,若二次测得的阻值都很小,则说明假定基极为“N”,被测管为 PNP 型。反之,二次测得的阻值都很大,而红、黑表棒对调后二次测得的阻值很小,则说明假定基极为“P”,被测管为 NPN 型。若二次测得的阻值一大一小,则应重新再假定基极,另行测试。

由于晶体三极管的正向电流放大系数大,反向电流放大系数很小,当基极确定以后,通过比较其正、反向电流放大作用的大小,可以确定其集、射极。

测量时,如图 1-2 所示,用万用表红、黑表棒接另外二个管脚,对 PNP 管,再用一个 100 KΩ 电阻接在基极和红表棒(电源负极)之间[对 NPN 管,电阻应接在基极和黑表棒(电源正极)间],观察万用表指针偏转的幅度,然后将二个管脚对调,重测一次作为比较。当万用表指针偏转较大时,说明三极管的 β 较大,即此时为正向接法,红表棒所接的为集电极,黑表棒接发射极。(对 NPN 管,黑表棒接的为集电极,红表棒接的是发射极。)

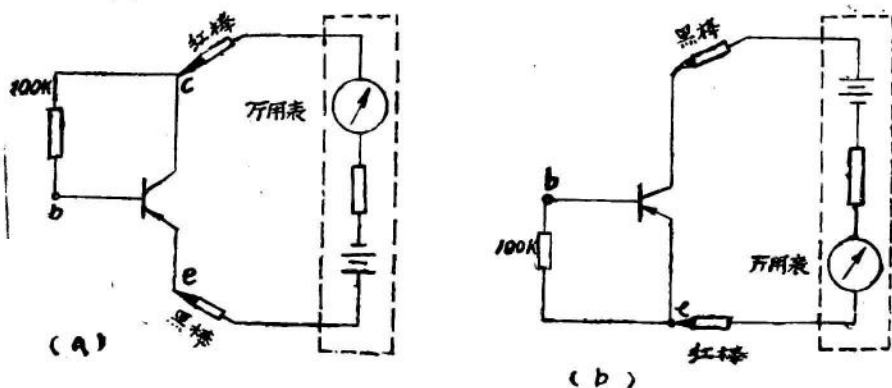


图 1-2

2. 晶体三极管特性及参数

晶体三极管的输入特性是指在集电极电压 V_{ce} 保持一定的条件下,基极电流 I_b 随基极电压 V_{be} 变化的曲线,即 $I_b = f(V_{be}) | V_{ce} = \text{常数}$ 。其形状如图 1-3 所示,在输入特性上过某一工作点所作切线的斜率的倒数,为三极管的动态输入电阻。即

$$r_{be} = h_{11} = \frac{\Delta V_{be}}{\Delta I_b} \Big|_{V_{ce} = \text{常数}}$$

晶体三极管的输出特性是指在基极电流 I_b 保持一定的条件下,集电极电流 I_c 随集电极电压 V_{ce} 变化的曲线,即 $I_c = f(V_{ce}) | I_b = \text{常数}$ 。输出特性的形状如图 1-4 所示,取不同的 I_b 值,可得一簇输出特性。从输出特性上可以求取三极管的共发射极电流放大倍数 β ,根据定义

$$\beta = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b} \Big|_{V_{ce} = \text{常数}}$$

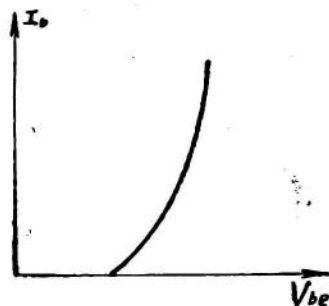


图 1-3

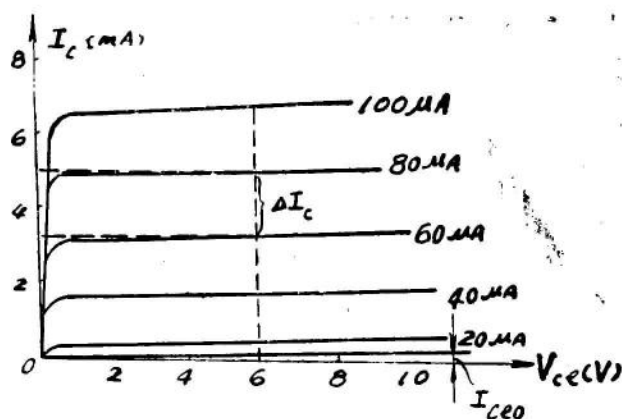


图 1-4

因此在输出特性上过某一工作点作 $V_{CE} = \text{常数}$ 的垂直线，读出该垂直线与工作点相邻的二根输出特性交点之间的 ΔI_C 及 ΔI_B ，即能求得 β 。

3. 晶体管特性的图示法

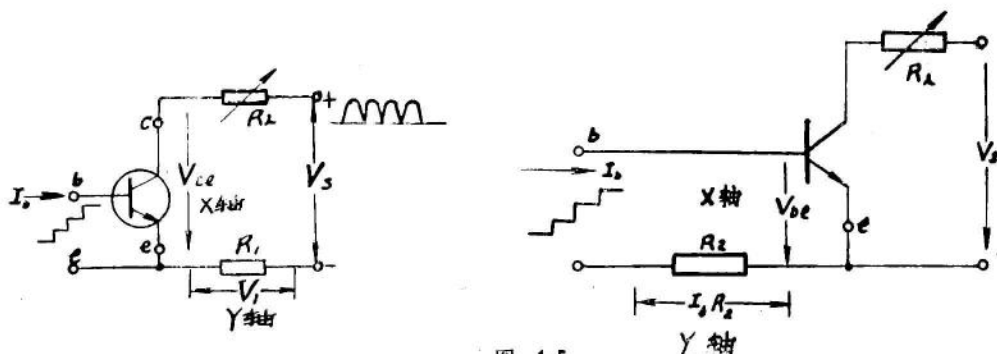


图 1-5

利用示波器显示输出特性的接线及原理如图 1-5 及图 1-6 所示。在集电极和发射极之间加入全波整流电压 V_s ，在基极上注入按阶梯型式增加的基极电流 I_B ，而且每个阶梯电流的时间间隔是和全波整流电压周期相等。此时把取样电阻 R_1 上的电压降 $I_C R_1$ 送入示波器 Y 轴，把晶体管集电极电压 V_{CE} 送入示波器 X 轴，在示波器上对应每一个阶梯电流可以得到一条 $I_C = f(V_{CE})$ 曲线，若基极电流有 N 个阶梯就可得到一组具有 N 根曲线的输出特性曲线簇。

同理，如在基极电路中串入取样电阻 R_2 ，把阶梯电流通过取样电阻 R_2 所产生的压降 $I_B R_2$ 送入示波器 Y 轴，把基极电压 V_{BE} 送

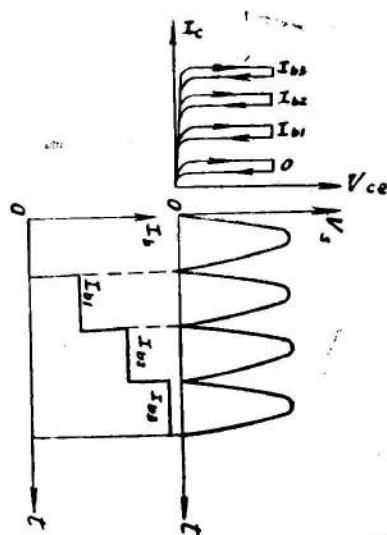


图 1-6

入示波器 X 轴, 当 V_s 为某一固定值时, 则在示波器上可以得到如图 1-7 的一系列平行线, 如把其端点连起来, 就可见到一条输入特性曲线。

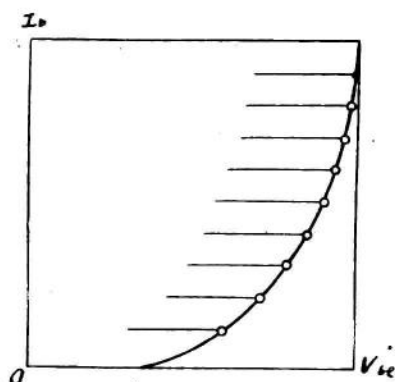


图 1-7

三、实验仪器设备

- | | | | |
|-------------|------------------------|--------|-------|
| 1. 晶体管特性图示仪 | JT-1 型 | (二组合用) | 1 台 |
| 2. 万用电表 | MF-500 型 | | 1 只 |
| 3. 晶体管插座及电阻 | | | 1 只 |
| 4. 晶体管 | 3 AX 31、3 DG 6、3 CG 14 | | 各 1 只 |

四、实验步骤:

1. 利用万用表判别晶体管管型及管脚

把被测晶体管插入晶体管插座, 用万用表判别管型及管脚, 把结果记录在下表内。
(管脚图是从底面向上看的。)

型 号	3 AX 31	3 DG 6	3 CG 14
管 型			
管 脚 图			

2. 用图示仪测定晶体管的特性曲线及参数

测定小功率晶体管特性及参数时, 图示仪各主要旋钮的参考位置见附表。晶体管 3 AX 31 的典型特性见图 1-8~图 1-12。

实习使用图示仪测定小功率管的输入、输出特性, 以及直接读出其 β 、 I_{co} 及 BV_{ceo} 。把一种晶体管的输入、输出特性描在 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 的方格纸上 (型号由教师决定) (图 1-13、图 1-14), 把三个晶体管主要参数填入表内。

附表

图示仪各主要旋钮位置

控制器 名 称	共 射 极 输出特性	共 射 极 输 入 特 性	共射电流 放大特性	穿 透 电 流 I_{ceo}	集-射反向 击 穿 特 性
峰值电 压范围	0~20 伏				0~20 伏 或 0~200 伏
峰值电压	10 伏				开始应置零
集电极 扫描极性	NPN 型接(+) PNP 型接(-)				
集电极 功耗电阻	1 K Ω (可以置 500 Ω 或 2 K Ω)				
Y 轴作用	I_c (1 毫安/度)	基 极 电 流	I_c (1 毫安/度)	I_c (0.01毫安/度)	I_c ($\begin{smallmatrix} 0.01 \\ 0.05 \end{smallmatrix}$ 毫安/度)
Y 轴作用	V_c (1 伏/度)	V_B (0.02—0.1 伏/度)	基极电流	V_c (1 伏/度)	V_c (2~10伏/度)
阶梯选择	I_B (0.01毫安/度)			—	
阶梯极性	共射接法 NPN 型接(+) PNP 型接(-)				
阶梯作用	重 复			关	
级/族	10 级/族			—	
零电流	—			接通	
被测参数	$h_{22}=\frac{\partial I_c}{\partial V_c}$ $h_{21}=\beta=\frac{\partial I_c}{\partial I_b}$	$h_{11}=r_{be}=\frac{\partial V_b}{\partial I_b}$	$h_{21}=\beta=\frac{\partial I_c}{\partial I_b}$	I_{ceo} ($V_{ce}=10$ 伏 或 6 伏时的 I_c 值)	BV_{ceo} I_{ceo} 达规定值 或曲线进入弯 陡段时的 V_c 值
3AX31 显示图形	图 1-8	图 1-9	图 1-10	图 1-11	图 1-12

注意：在测定 BV_{ceo} 时，一开始应把“峰值电压”旋钮置于零位。操作时，逐渐调节峰值电压，使所显示的反向击穿特性逐渐展伸，到 I_{ceo} 达到规定值或开始进入弯曲陡升阶段时，不能再增加峰值电压，否则晶体管可能被击穿，此时所读出的 V_{ce} 值即为 BV_{ceo} 。

型 号	3 A X 31	3 D G 6	3 C G 14
β			
I_{ceo}			
BV_{ceo}			

测试中应该记下图示仪的主要控制旋钮（峰值电压、集电极扫描极性、集电极功耗电阻、Y轴作用、X轴作用、阶梯选择、阶梯极性等）的实际位置，并写入报告。在测试不同类型晶体管特性曲线时，应注意硅管及锗管的输入、输出特性，工作点 V_{be} 及饱和压降有何不同，温度对二种管子的影响有什么不同（用手捏住晶体管加温，观察特性曲线有何变化）。

五、实验报告

1. 实验目的
2. 测试时图示仪主要控制旋钮的实际位置及使用图示仪的注意事项（自行列表）
3. 实验结果
 - (1) 晶体管管脚、主要参数。
 - (2) 指定的晶体管特性曲线（必须用方格纸）。
 - (2) 比较硅管和锗管输入、输出特性及温度的影响（自行列表）。

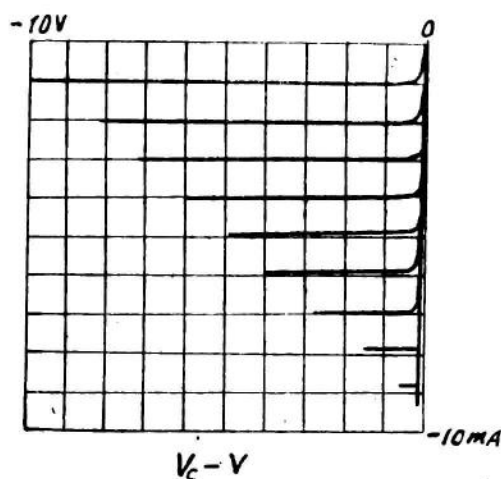


图 1-8

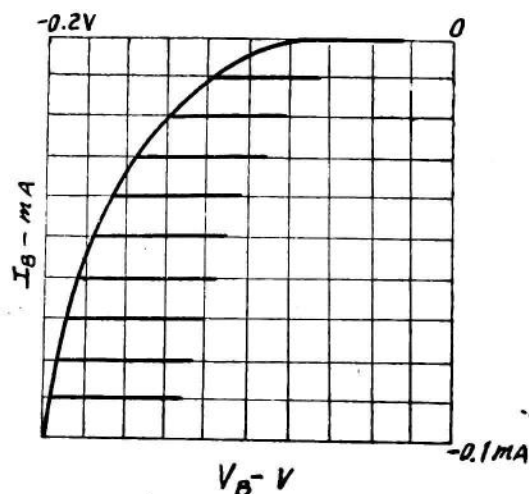


图 1-9

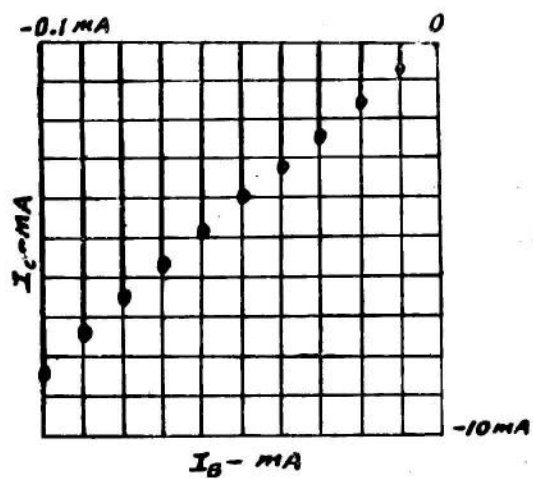


图 1-10

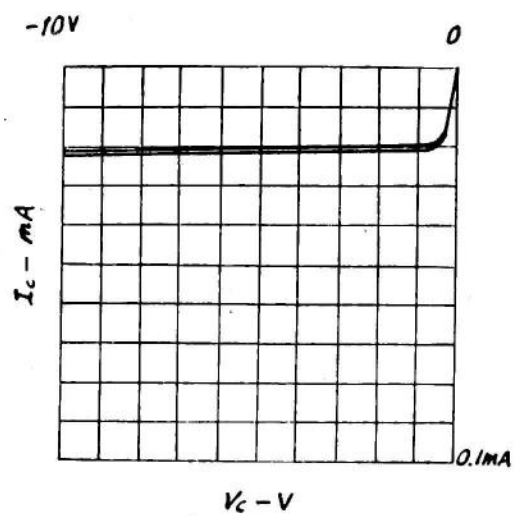


图 1-11

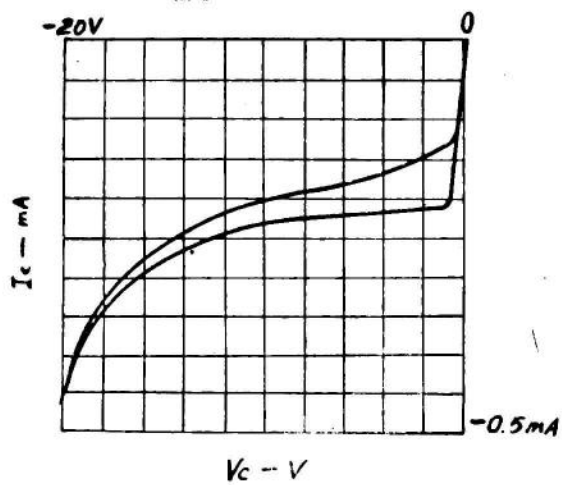


图 1-12

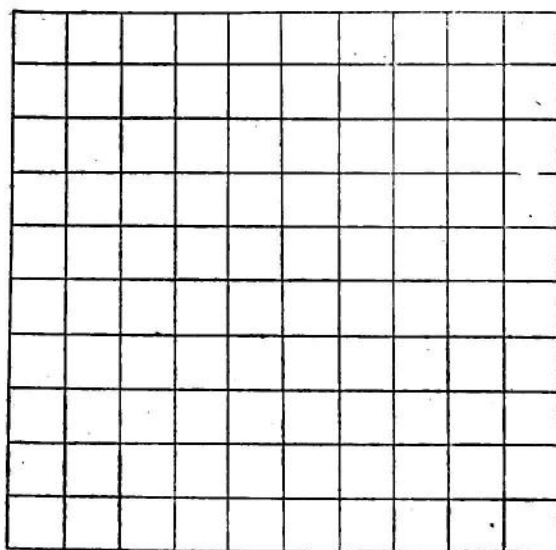


图 1-13

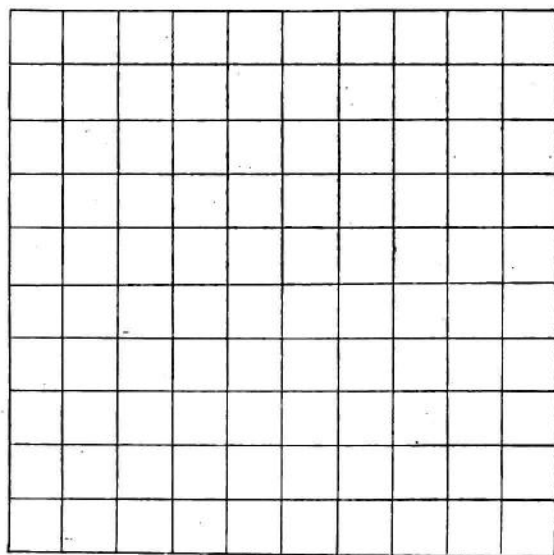


图 1-14

附录 1-1 JT-1 型晶体管特性图示仪的使用

JT-1 型晶体管特性图示仪用以测定晶体管的共基、共集、共射电路的输入特性、转换特性、电流放大特性和输出特性；也可以测量各种反向饱和电流和击穿电压。还可用来测定场效应管、各种二极管以及可控硅元件的特性、参数，用途极为广泛。

一、主要技术性能

Y 轴偏转因数

集电极电流 0.01~1000 毫安/度 分 16 档 $\pm 3\%$

基极电压 0.01~0.5 伏/度 分 6 档 $\pm 3\%$

基极源电压 0.5 伏/度 $\pm 3\%$

X 轴偏转因数

集电极电压 0.01~20 伏/度 分 11 档 $\pm 3\%$

基极电压及基极源电压指标同 Y 轴。

基极阶梯信号

阶梯电流 0.001~200 毫安/级 分 17 档 $\pm 5\%$

阶梯电压 0.01~0.2 伏/级 分 5 档 $\pm 5\%$

每簇级数 4~12

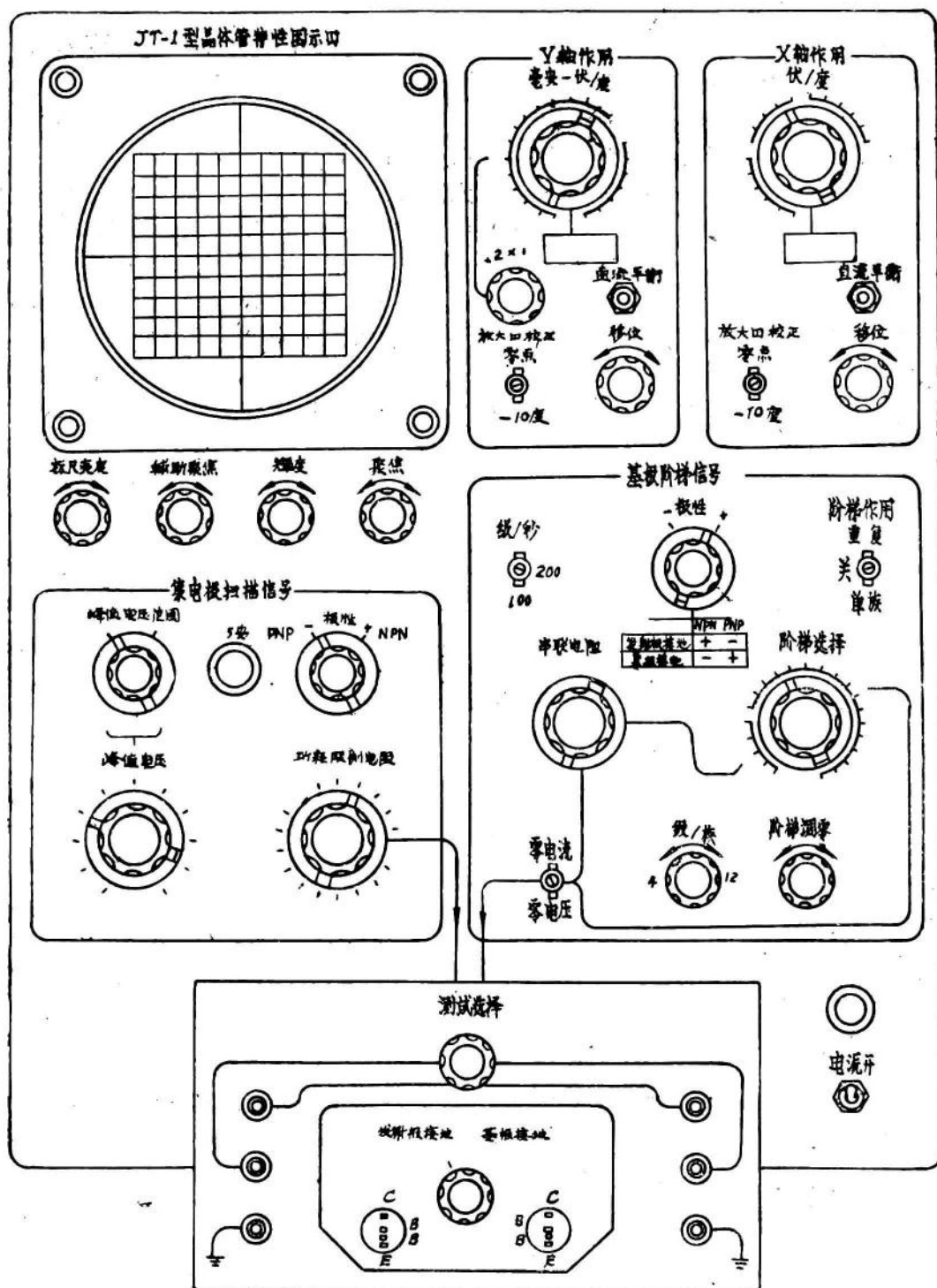
每秒级数 100 或 200

集电极扫描信号

峰值电压 0~20 伏及 0~200 伏二档，正或负，连续可调。

功耗限制电阻 0~100 千欧 分 17 档

电流容量 0~20 伏档为 10 安, 0~200 伏档为 1 安。
 图示仪面板布置如图附 1-1 所示。



图附 1-1

二、结构原理

图示仪由五大部分组成：

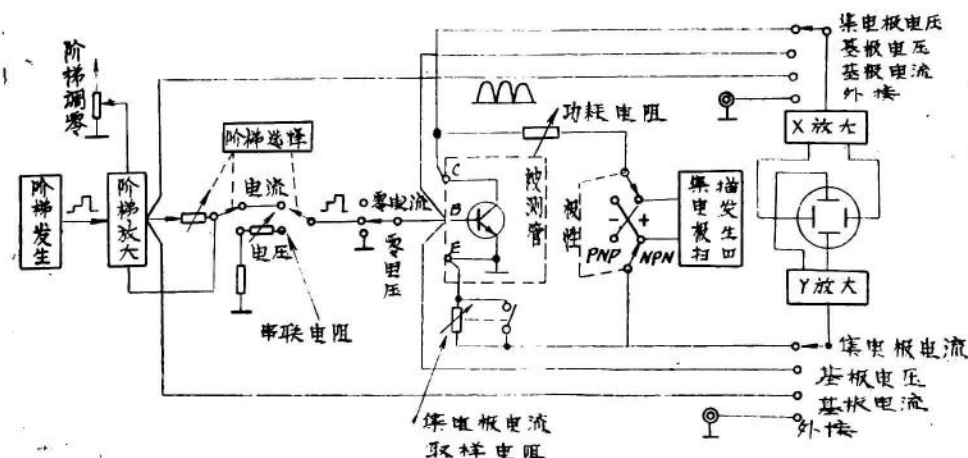
(1) 阶梯波信号源——包括阶梯波发生器及阶梯波放大器，通过阶梯选择开关对被测晶体管提供大小和极性可变的输入电流源或电压源。

(2) 集电极扫描电源——利用 50 Hz 220 V 电源降压，并经过全波整流后的脉动电压源，通过转换开关提供大小和极性可变的集电极扫描电压。

(3) 示波显示部分——包括 X 轴、Y 轴放大器及示波管控制电路。

(4) 被测晶体管部分——包括测试台和各种控制转换开关，以便测量晶体管的各种参数。

(5) 电源供给——结构原理可用图附 1-2 所示的方框图来说明，阶梯发生器输出的阶梯信号经放大后，送入被测晶体管。通过各种控制开关的转换，能够显示集电极电流、基极电压、基极电流或基极源电压对集电极电压、基极电压、基极电流之间的关系。当被测管插入晶体管插座并接通测试电路时，即能在萤光屏上显示出所需的各种特性曲线簇。



图附 1-2

三、使用前的调整

1. 接通电源，调节“辉度”、“聚焦”及“辅助聚焦”旋钮，使示波管屏面上能看到清晰的光点或光线。

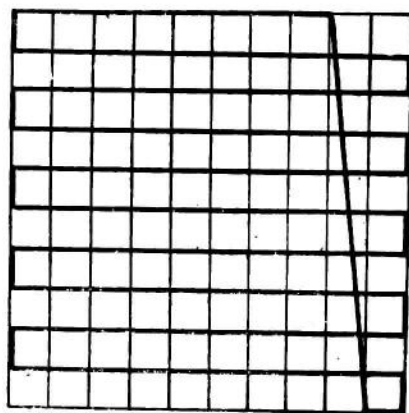
2. 阶梯信号零电位的调整

(1) 将图示仪旋钮置于下表所列的位置，在屏幕上应出现如图附 1-3 所示的波形，调节“级/族”旋钮使波形为十一条横条，调节“X 轴作用”的移位旋钮使波形处于中间位置。

Y 轴 作 用	基 极 电 压 —— 0.01 伏/度
X 轴 作 用	集 电 极 电 压 —— 1 伏/度
阶 梯 选 择	0.01 伏/级 (阶梯作用——重复)
峰 值 电 压 范 围	0~20 伏
峰 值 电 压	10 伏 (X 轴标尺 10 格)

(2) 将 Y 轴“放大器校正”开关拨向“零点”，调 X 轴移位旋钮使光条与零线重合。(集电极扫描及其基极阶梯的极性为“+”时，零线为最下面的标尺，反之，极性为“-”时，零线为最上面的标尺。)

(3) 将 Y 轴“放大器校正”开关复原，再调节“阶梯调零”旋钮使阶梯波形的光条与标尺重合，这时阶梯信号的起始值就调在零电平上，消除了因起始值不为零所引起的测量误差。



附图 1-3

3. 直流平衡的检查

(1) 将 Y 轴“放大器校正”开关置于“零点”，调节“移位”把光条移到中间，当“Y 轴作用”开关置于基极电压 0.5~0.01 伏/度各档级时，光条的零位不应发生位移，否则应调节 Y 轴的“直流平衡”以校正之。

(2) 将 X 轴“放大器校正”开关置于“零点”，“X 轴作用”置于基极电压 0.5~0.01 伏/度各档级时，光点在 X 轴方向的零位不应发生位移，否则应校正 X 轴的“直流平衡”。

四、测试方法

1. 预选所需的旋钮位置

(1) 集电极扫描

“峰值电压范围”一般置于 0-20 伏。若测试高反压管或是测定 BV_{ceo} 时才能置于 0-200 伏，但测试完毕必须随手把旋钮拨到 0-20 伏位置。

“极性”对 NPN 管置“+”，对 PNP 管置“-”。

“峰值电压”根据需要进行调节，一般测试时置于 10 伏位置。

“功耗限制电阻”先预计被测管的最大电流，然后把峰值电压值除以最大电流值得。

(2) Y 轴作用

“毫安-伏/度”根据测试需要选择，一般在测输出特性、 BV_{ceo} 、 I_{ceo} 、 β 时，均置于“集电极电流”范围，其数值为被测管最大电流的 1/10。测输入特性时应置于“基极电流”档。

(3) X 轴作用

“伏/度”一般在测输出特性、 BV_{ceo} 、 I_{ceo} 时，置于“集电极电压”范围，其数值为“峰值电压”的1/10。测 β 时置于“基极电流”，测输入特性时置于基极电压，一般选0.1伏/度或0.05伏/度。

(4) 基极阶梯信号

“极性”对NPN管共发射极接法置“+”，共基极接法置“-”。

对PNP管共发射极接法置“-”，共基极接法置“+”。

“阶梯选择”测输出特性及 β 时，一般取“Y轴作用”的1/100，必要时可减为1/50、1/40。小功率管一般为0.01毫安/级，中功率管取0.1~0.2毫安/级，大功率管取10~20毫安/级。

“阶梯作用”一般置“重复”，测 BV_{ceo} 及 I_{ceo} 时置“关”。

“级/秒”一般选200级/秒。

“零电流、零电压”测 BV_{ceo} 及 I_{ceo} 时置零电流，此时基极断开。测 BV_{cbo} 及 I_{cbo} 时置零电压，此时基、射极短接。