



21世纪 高等职业技术教育通用教材

模拟电子技术 实验与实训教程



● 邓延安 主编

交通大学出版社

01-33
30

21 世纪高等职业技术教育通用教材

模拟电子技术实验与实训教程

主编 邓延安

上海交通大学出版社

内容提要

本书为 21 世纪高等职业技术教育通用教材《模拟电子技术》配套使用实验与实训教材, 包含了主教材中各章所需的实验及相应的实训内容。全书分三个部分: 第一部分为基础部分, 介绍了常用仪器的使用, 常用电子元器件的识别与选择; 第二部分为实验与实训部分, 介绍了各类模拟电路的实验与实训; 第三部分介绍了 PSPICE 软件对电子电路进行分析与设计的新方法。

全书针对高职教育教学的特点, 在加强学生基本理论的基础上, 注意培养学生的实际动手能力, 为生产一线培养应用型高级技术人才。本书可供高职高专机电类、电气类、电子工程类专业使用。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术实验与实训教程/邓延安主编. —

上海: 上海交通大学出版社, 2002

21 世纪高职高专通用教材

ISBN7-313-03095-9

I. 模... II. 邓... III. 模拟电路—
电子技术—实验—高等学校—技术学校—教材
IV. TN710-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 040429 号

模拟电子技术实验与实训教程

邓延安, 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话: 64071208 出版人: 张天蔚

常熟市华通印刷有限公司 印刷 全国新华书店经销

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 7.75 字数: 185 千字

2002 年 6 月第 1 版 2002 年 6 月第 1 次印刷

印数: 1-3 050

ISBN7-313-03095-9/TN·089 定价: 12.00 元

版权所有 侵权必究

21 世纪高等职业技术教育通用教材

编 审 委 员 会

主 任 名 单

(以姓氏笔划为序)

编审委员会顾问

白同朔 詹平华

编审委员会名誉主任

王式正 叶春生

编审委员会主任

闵光太 潘立本

编审委员会常务副主任

东鲁红

编审委员会副主任

王永祥	王俊堂	王继东	牛宝林
东鲁红	冯伟国	朱家建	朱懿心
吴惠荣	房世荣	郑桂富	赵祥大
秦士嘉	黄 斌	黄永刚	常立学
薛志兴			

序

发展高等职业技术教育,是实施科教兴国战略、贯彻《高等教育法》与《职业教育法》、实现《中国教育改革与发展纲要》及其《实施意见》所确定的目标和任务的重要环节;也是建立健全职业教育体系、调整高等教育结构的重要举措。

近年来,年青的高等职业教育以自己鲜明的特色,独树一帜,打破了高等教育界传统大学一统天下的局面,在适应现代社会人才的多样化需求、实施高等教育大众化等方面,做出了重大贡献。从而在世界范围内日益受到重视,得到迅速发展。

我国改革开放不久,从1980年开始,在一些经济发展较快的中心城市就先后开办了一批职业大学。1985年,中共中央、国务院在关于教育体制改革的决定中提出,要建立从初级到高级的职业教育体系,并与普通教育相沟通。1996年《中华人民共和国职业教育法》的颁布,从法律上规定了高等职业教育的地位和作用。目前,我国高等职业教育的发展与改革正面临着很好的形势和机遇:职业大学、高等专科学校和成人高校正在积极发展专科层次的高等职业教育;部分民办高校也在试办高等职业教育;一些本科院校也建立了高等职业技术学院,为发展本科层次的高等职业教育进行探索。国家学位委员会1997年会议决定,设立工程硕士、医疗专业硕士、教育专业硕士等学位,并指出,上述学位与工程学硕士、医学科学硕士、教育学硕士等学位是不同类型的同一层次。这就为培养更高层次的一线岗位人才开了先河。

高等职业教育本身具有鲜明的职业特征,这就要求我们在改革课程体系的基础上,认真研究和改革课程教学内容及教学方法,努力加强教材建设。但迄今为止,符合职业特点和需求的教材却还不多。由泰州职业技术学院、上海第二工业大学、金陵职业大学、扬州职业大学、彭城职业大学、沙洲职业工学院、上海交通高等职业技术学院、上海交通大学技术学院、上海汽车工业总公司职工大学、立信会计高等专科学校、江阴职工大学、江南学院、常州技术师范学院、苏州职业大学、锡山职业教育中心、上海商业职业技术学院、潍坊学院、上海工程技术大学等百余所院校长期从事高等职业教育、有丰富教学经验的资深教师共同编写的《21世纪高等职业技术教育通用教材》,将由上海交通大学出版社等陆续向读者朋友推出,这是一件值得庆贺的大好事,在此,我们表示衷心的祝贺。并向参加编写的全体教师表示敬意。

高职教育的教材面广量大,花色品种甚多,是一项浩繁而艰巨的工程,除了高职院校和出版社的继续努力外,还要靠国家教育部和省(市)教委加强领导,并设立高等职业教育教材基金,以资助教材编写工作,促进高职教育的发展和改革。高职教育以培养一线人才岗位与岗位群能力为中心,理论教学与实践训练并重,二者密切结合。我们在这方面的改革实践还不充分。在肯定现已编写的高职教材所取得的成績的同时,有关学校和教师要结合各校的实际情况和实训计划,加以灵活运用,并随着教学改革的深入,进行必要的充实、修改,使之日臻完善。

阳春三月,莺歌燕舞,百花齐放,愿我国高等职业教育及其教材建设如春天里的花园,群芳争妍,为我国的经济建设和社会发展作出应有的贡献!

叶春生

前 言

实验和实训是高等职业教育的重要方面。为了更好地使学生加深对模拟电路的知识理解,提高学生的实际动手能力和学习兴趣,我们根据《模拟电子技术》各章节的内容,选取了一些有代表性的实验作为对有关理论知识的验证和演示。为了便于学生的操作,叙述时力求做到全面、具体。同时为了培养学生的实际动手能力,本书选择了一些电子制作作为实训内容。这些制作均有一定的实用性,部分制作有一定的难度,需花费较多的时间。各校可根据不同情况选择一些内容,组织学生在课余时间完成。由于计算机技术的迅猛发展,CAD 技术在电子线路的设计上作用日益突出,本书专门安排了一章介绍目前比较流行的 PSPICE 软件。

本书由芜湖职业技术学院邓延安老师主编,安徽电力职工大学陈学敏老师、芜湖职业技术学院宫含生、孙晓雷老师参编。第三、四、五章由陈学敏编写,第二、六、十、十一、十二章由邓延安编写,第七、八、九章由宫含生编写,第一、十三章由孙晓雷编写。全书由芜湖职业技术学院张学亮副教授主审。

限于我们的水平和经验,不足之处欢迎批评指正。

编 者

2002 年 5 月

目 录

1 常用仪器仪表简介	1
1.1 双踪示波器	1
1.2 JT-1 晶体管特性图示仪	7
1.3 YB1631 型功率函数发生器	10
1.4 WYJ-3A 型晶体管直流稳压电源	12
1.5 万用表	13
2 常用元器件简介	14
2.1 电阻器	14
2.2 电位器	16
2.3 电容器	18
2.4 晶体二极管	21
2.5 晶体三极管	23
2.6 晶闸管	25
3 常用电子仪器的使用与二极管的测试	28
3.1 实验 1: 常用电子仪器的使用	28
3.2 实验 2: 二极管的测试	29
3.3 实训: 二极管整流电路	31
4 三极管及其放大电路	32
4.1 实验 1: 三极管特性的测试	32
4.2 实验 2: 基本单管放大电路	34
4.3 实验 3: 多级放大器	36
4.4 实训: 音频混合器	37
5 场效应管及放大电路	39
5.1 实验: 场效应管特性及其放大电路	39
5.2 实训: 场效应管声控电路	41
6 功率放大器实验与实训	43
6.1 实验: OTL 互补对称功率放大器	43
6.2 实训: OCL 功率放大器的设计、安装与调试	45
7 集成电路的实验与实训	50

7.1 实验: 集成运算放大器的参数测试.....	50
7.2 实训: 巧用 μ A741 作触摸报警器.....	54
8 负反馈放大器.....	56
8.1 实验 1: 电压串联负反馈电路	56
8.2 实验 2: 电流串联负反馈电路	59
9 信号运算与处理的实验与实训	61
9.1 实验 1: 信号运算电路	61
9.2 实验 2: 信号处理电路	63
9.2 实训: 有源滤波器的设计和测试.....	65
10 波形发生器实验与实训	67
10.1 实验: 方波-三角波发生器和锯齿波发生器	67
10.2 实训: 正弦波发生器的设计与制作.....	70
11 稳压电源实验与实训	73
11.1 实验: 晶体管串联型稳压电路.....	73
11.2 实训: 彩电开关稳压电源的制作.....	76
12 晶闸管的应用实验与实训	81
12.1 实验: 单相桥式半控整流电路实验.....	81
12.2 实训: 声光控制楼道灯开关的制作.....	83
13 PSPICE 简介	86
13.1 概述	86
13.2 绘制电路图	89
13.3 仿真分析	96
13.4 PSPICE 应用实例	112
参考文献.....	114

1 常用仪器仪表简介

1.1 双踪示波器

1.1.1 概述

示波器是一种能把随时间变化的电过程用图像显示出来的电子仪器。可用它来观察电压(或转换成电压的电流)的波形,测量电压幅度、频率和相位等。因此,示波器被广泛应用于电子测量中。

虽然通用示波器的型号很多,但使用方法却大体相同。本书以 SR-701 型示波器为例介绍示波器的一般使用方法。

SR-701 型双踪示波器是一种全晶体管化的宽频带示波器,它能同时显示两个信号,实现双踪显示。通过面板上的位置,可以定量地测定被测信号的幅值、频率、相位以及重复周期等。

1.1.2 SR-071 型双踪示波器主要技术指标

(1) Y 轴系统:

- ①频带宽度 输入耦合为 DC (直流) 时: DC~7MHz -3dB
 输入耦合为 AC (交流) 时: 10 Hz~7MHz -3dB
- ②灵敏度 5mV/cm~10V/cm 1-2-5 进位
- ③输入阻抗: 直接: 1MΩ/40pF
 经 10:1 探头: 10MΩ/15pF
- ④上升时间: 约 50ns, 上冲≤5%
- ⑤工作方式: Y₁、Y₂、Y₁+Y₂、交替、断续
- ⑥最大输入电压: 400V

(2) X 轴系统:

- ①扫描时间范围: 0.1 μs/cm~1s/cm 1-2-5 进位
- ②频带宽度: 输入耦合为 DC (直流) 时: DC~1MHz -3dB
 输入耦合为 AC (交流) 时: 10 Hz~1MHz -3dB
- ③灵敏度: 同 Y 轴
- ④触发极性: “+” 或 “-”
- ⑤输入阻抗: 直接: 1MΩ/40pF
 经 10:1 探头: 10MΩ/15pF

- ⑥触发源：内、外、电视
- ⑦触发电平：内：10Hz~2MHz $\geq 1\text{cm}$
外：DC~7MHz $\geq 0.5V_{p-p}$
- (3) 高频：2~7MHz $\geq 2\text{cm}$
- (4) 标准信号：波形：方波
频率：1kHz
幅度：0.02V、0.2V、2V 共三档
- (5) 其他
- ①电源：220 $\times$ (1 $\pm$ 0.1)V，(50 $\pm$ 2) Hz
- ②消耗功率：约 50VA
- ③工作时间：连续使用 8h
- ④外形尺寸：320mm (B) $\times$ 166mm (H) $\times$ 440mm (L)
- ⑤质量：约 10kg

1.1.3 面板上主要旋钮的作用

SR-071 型双踪示波器面板图如图 1.1 所示。

1.1.4 基本使用方法

为了得到正确的使用结果，有必要介绍几种常用的测量方法，供使用者掌握。

1. 使用前检查

(1) 各控制机件如下表所示：

控制机件	作用位置	控制机件	作用位置
辉度	居中	拉 Y_2 (x)	按
⊙	居中	← →	居中
○	居中	触发方式	自激 (高频)
显示方式	Y_1	触发源	内
↓ ↑	居中	触发极性	+
DC- $\perp$ -AC	$\perp$	T/cm	0.5ms
V/cm	0.05V		

(2) 接通电源，电源指示灯发光，经示波管灯丝预热后，显示屏上显示出一条扫描基线，调整“辉度”，“⊙”，“○”使基线清晰。

(3) 将本机 0.2V 校正信号连至 Y_1 输入端，输入耦合置于“AC”位置，触发方式置于“触发”位置，调节电平，使屏上显示 4cm 的方波，且水平方向每 2cm 一个周期。

2. 电压的测量

观察偏转放大器的校准偏转因数，可以测量被观察波形的电压。正确的测量方法虽根据不同的电压有所出入，但测量的基本原理相同。在一般情况下，多数被测波形的电压同时包含交流分量和直流分量，而测量时经常需要测量两种分量复合的数值，或是分别的数值。

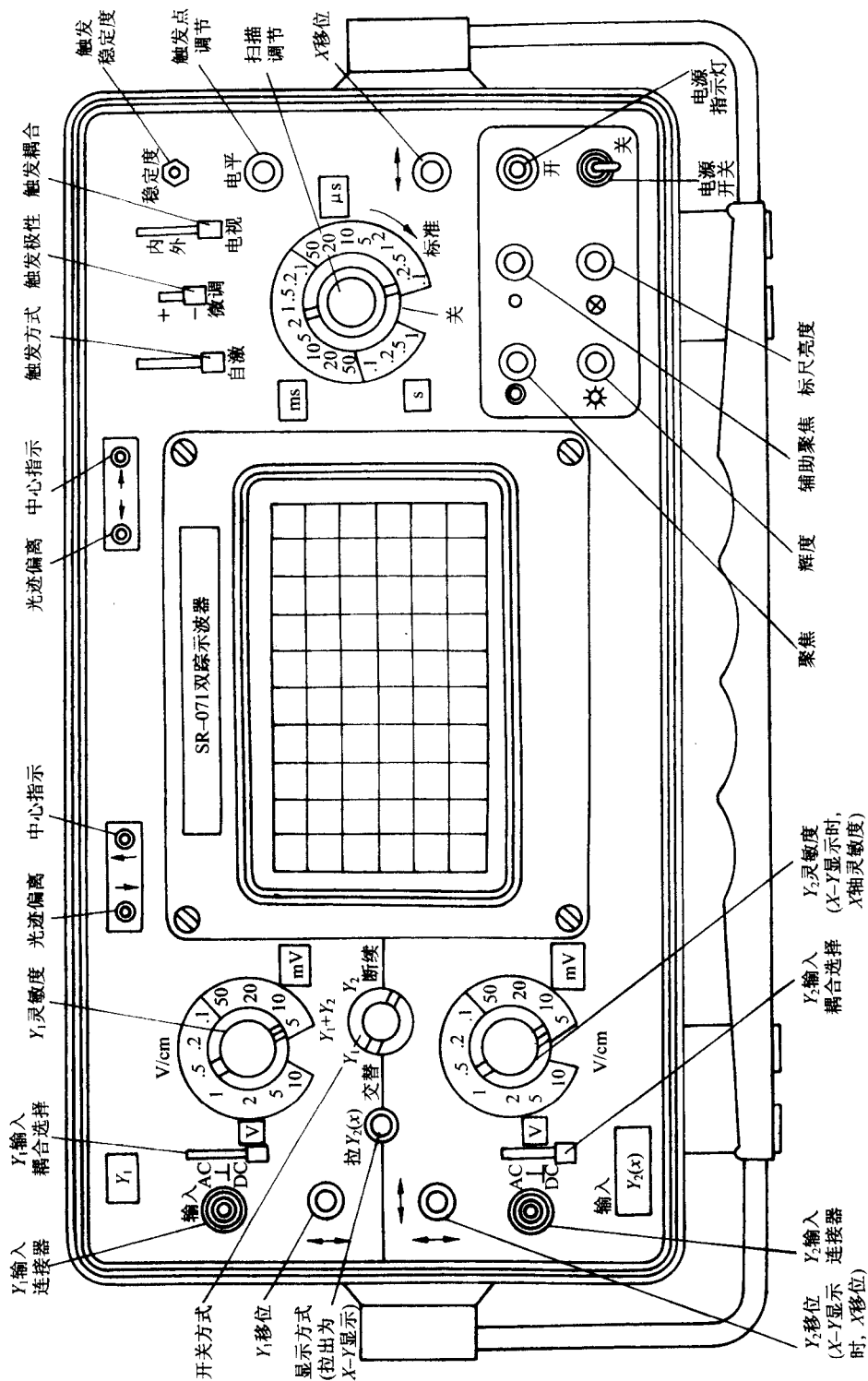


图 1.1 SR-071 型面板控制部位位置图

(1) 交流分量电压测量。多数是测量峰到峰之间的数值，或者是测量峰到某一个波谷之间的数值，根据坐标上两者之间的 Y 轴偏转距离，乘以偏转放大器的输入偏转因数，再乘以所用测试探极的衰减因数，得出的读数即为实际的峰峰值电压。通常情况下，测量交流电压应将输入选择开关放在“AC”位置，使被测信号上的直流分量隔开，否则，如果直流分量的叠加值超过偏转放大器的线形偏转范围，则得到的测试结果不准确；但如果测量重复频率极低的交流分量电压时，应将输入选择开关放到“DC”位置，否则，由于频响的限制，使所测的电压结果不真实。

测量的方法可按照以下的步骤进行：

①从正峰到负峰根据坐标片（单位：cm）读出 Y 轴偏转的距离。

②根据输入偏转因数“V/cm”开关所放的位置，每厘米偏转电压值乘以峰峰之间的 Y 轴偏转距离。

③再乘以所用探极的衰减因数，即得到实际的峰峰值电压。

例：设所用测试探极为 10:1 衰减探极，偏转放大器的输入偏转因数“V/cm”开关放在“0.05V/cm”位置，所测得的峰到峰之间 Y 轴偏转距离为 2.5cm，在此情况下得到的实际峰峰值电压为：

$$10 \times 0.05 \text{V/cm} \times 2.5 \text{cm} = 1.25 \text{V}$$

如测量的信号为正弦波时，则可用公式转换成峰值、有效值或平均值。

(2) 瞬时电压测量与交流电压的测量的主要区别是：瞬时电压需要一个相对的参考基准电压，一般情况下基准电位是对地电位而言，但也可能是幅度一定的其他参考电位，测量时先在荧光屏上按坐标片确定参考电位的基准线位置，相对这基本位置读出所测电压值，测量瞬时电压，同时可以测量被测波形的直流分量值。由于被测信号波形的平均电压可以依据瞬时电压换算而来，如果将平均电压确定，即取得被测波形的直流分量值。相对地电位或其他参考电位的测量方法，可以按照下述步骤进行：

①将输入选择开关放到“DC”位置，将测试探极的探针接地或接入其他所需要的参考电位，触发使之连续扫描，然后调节“Y 轴移位”使光迹移到坐标片合适的位置，该位置是按照输入被测信号的幅度以及极性而定的；同时，为便于读数，一般都采取将光迹所放位置与坐标片的厘米格刻线相重合，在参考基准线确定后，测试时切勿再移动 Y 轴移位，这时各个电压测定，即相对于从所确定的基准线读取的数值。

②将测试探极离开参考基准电压或接地点，接入到被测信号端，然后调节触发电平使波形稳定。

③根据坐标片的刻度，读出从所确定的基准线到被测波形上所需要测定的某一点的两点之间 Y 轴偏转距离。

④将所测得的偏转距离乘以输入偏转因数“V/cm”开关所置的每厘米电压值，再乘以所用探极的衰减倍数。

例：设所用测试探极为 10:1 衰减探极，“V/cm”开关在“0.2V/cm”位置，所测得从参考基准线到波形上需要测定一点的偏转距离为 2.7cm，在此情况下得实际瞬时电压为：

$$10 \times 0.2 \text{V/cm} \times 2.7 \text{cm} = 5.4 \text{V}$$

测量交流分量电压、直流分量电压，瞬时电压典型示例见图 1.2。

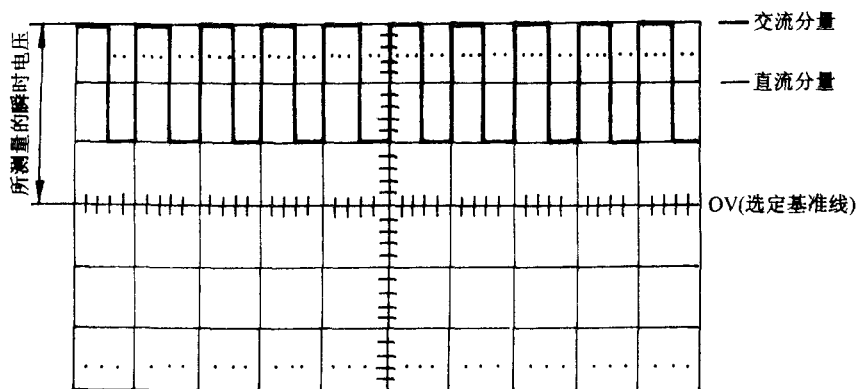


图 1.2 电压测量示意图

3. 周期测量

在示波管有效面内读出被测波形的一个周期的水平距离。乘以“ T/cm ”开关的指示值，即为信号的一个周期的时间值。

4. 时间测量

(1) 在示波管有效面内读出所需两点的水平距离，乘以“ T/cm ”开关的指示值，即为被测信号时间变化值。

(2) 若要读出脉冲的前、后沿时间，可按图 1.3 所示，读出的 t_r 值即为信号的上升时间，但当 t_r 值接近本机上升时间（50ns）时，信号的实际上升时间可由下式计算：

$$t_r = \sqrt{t_r'^2 - t_s^2}$$

式中， t_r' 为测量量； t_s 为本机固有上升时间； t_r 为信号的实际上升时间。

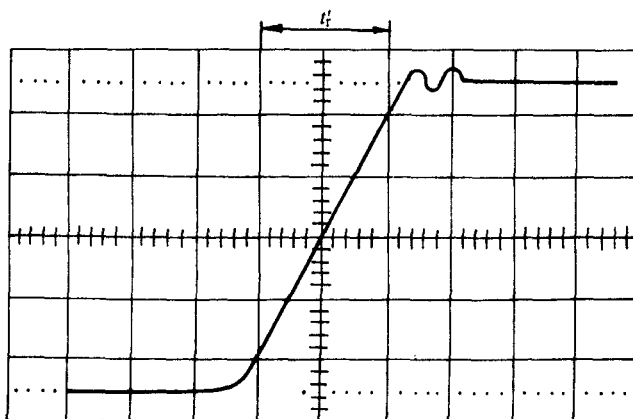


图 1.3 脉冲前沿上升时间的测量

5. 频率测量

对于重复信号的频率测量，只要运用以上测周期的方法，精确地测量出周期，即可按倒数的方法，求得频率值，其测量精度决定于周期测量的精度，例如某一重复信号已测其周期 T 为 $0.1\mu\text{s}$ ，则 $f=1/T=1/(0.1\times 10^{-6})=10\text{MHz}$ 。

6. 相位测量

在许多场合下，需要测量某一网络的相移，例如要测量一个正弦波经放大器放大后，相位滞后角度等等，其方法如下：

在双踪显示时，应用相位超前的信号触发扫描电路，根据本机特点，应将相位超前的信号输入 Y_1 通道，然后用内触发形式启动扫描。所显示的波形，使其在坐标刻度上占 9cm，则每厘米为 40° 相位，一个周期 360° ，二信号的信号差 θ 可按下式计算：

$$\theta = \text{两波水平距离 } d(\text{cm}) \times 40^\circ$$

测量相位差，还可采用李沙育图形，参见下节。

7. X—Y 显示

将面板上 $Y_2(X)$ 开关拉出，此时 Y_2 通道前置放大器转换为 X 放大器的前置放大器，仪器成为 $X(Y_1) - X(Y_2)$ 工作状态， $Y_2(X)$ 输入成为 X 输入， Y_2 移位成为 X 移位，原有 X 移位失去作用。这时从“ Y_1 输入”送入 Y 轴信号，“ Y_2 ”输入 X 轴信号，即可达到观察李沙育图形的目的，从而可以利用李沙育图形法测出信号的频率和相位来。

(1) 用李沙育图形测量相位。

①将超前信号 A 接入仪器“ Y_1 ”插座，调节“ V/cm ”开关，使输入信号幅度在屏幕 X 轴方向显示的幅度为 $A(\text{cm})$ ，然后再将滞后信号 B 接入“ Y_2 ”输入插座，调节“ V/cm ”开关，使屏幕 Y 轴方向所显示波形幅度亦为 $A(\text{cm})$ ，图 1.4 为李沙育图形测相位典型示例。

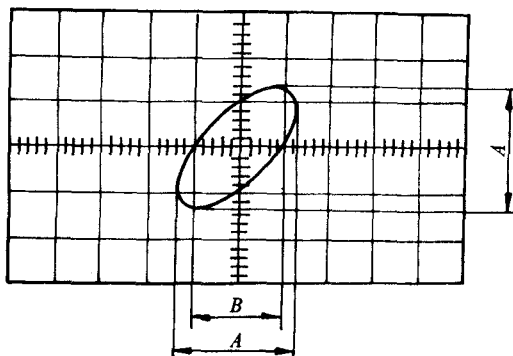


图 1.4 用李沙育图形测相位

②读出图形曲线与 X 轴的两个截点的 $B(\text{cm})$ ，则两信号间的相角差为 ϕ ， $\phi = \arcsin(A/B)$ 。

(2) 利用李沙育图形测量频率。

借助于已知频率的信号发生器，并利用李沙育图形方法，可测出信号频率，其精度将直接决定于已知频率的精度。

①将被测频率信号 $f(y)$ 输入仪器“ Y_1 ”输入端，而将已知频率信号 $f(x)$ 输入仪器“ Y_2 ”输入端。

②调节标准信号发生器的频率，使屏幕上出现如图 1.5 所示的李沙育图形，根据李沙育图形的频率比值及已知频率信号 $f(x)$ ，就可计算出被测信号的频率 $f(y)$ 。

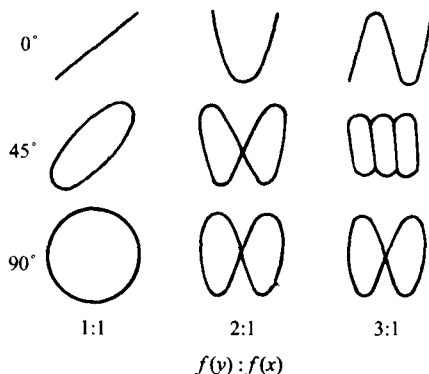


图 1.5 正弦波 $f(y): f(x)$ 的李沙育图形

1.2 JT-1 晶体管特性图示仪

1.2.1 概述

JT-1 型特性图示仪实际上是一种专用的 $X-Y$ 图示仪,它能在示波管荧光屏上观察各种晶体管特性曲线,通过标尺刻度可以直接读出晶体管的各项参数。它用途广泛,读测简便,可以测定 PNP 型和 NPN 型晶体管共发射极、共基极和共集电极的 h 参数,并可测定晶体管的各项极限参数以及反向饱和电流等。另外,加以灵活使用,它还可测定稳压管、晶闸管和集成电路的特性。

1.2.2 面板图

JT-1 型晶体管特性图示仪面板如图 1.6 所示。

1.2.3 主要技术指标

1. Y 轴作用

集电极电流范围: (0.01~1000) mA/度 (分 16 档), 误差 $\leq\pm 3\%$

集电极电流倍率: $\times 2$, $\times 1$, $\times 0.1$ (分三档), 误差 $\leq\pm 3\%$

基极电压范围: (0.01~0.5) V/度 (分 6 档), 误差 $\leq 3\%$

基极电流或基极源电压: 0.5V/度, 误差 $\leq\pm 3\%$

2. X 轴作用

集电极电压范围: (0.01~20)V/度 (分 11 档), 误差 $\leq\pm 3\%$

基极电压范围: (0.01~0.5)V/度 (分 6 档), 误差 $\leq\pm 3\%$

基极电流或基极源电压: 0.5V/度, 误差 $\leq\pm 3\%$

3. 基极阶梯信号

阶梯电流: (0.001~200)mA/级 (分 17 档), 误差 $\leq\pm 5\%$

阶梯电压: (0.01~0.2)V/级 (分 5 档), 误差 $\leq\pm 5\%$

每族级数: 4~12, 连续可调

每秒级数: 100 或 200

极性: 正或负 (2 档)

阶梯作用: 分“重复”、“关”、“单族” (3 档)

4. 集电极扫描信号

峰值电压: 0~20V (正或负); 0~200V (正或负) 连续可变

功耗限制电阻: 0~100k Ω (分 17 档)

电流容量: 0~20V 档为 10A (平均值); 0~200V 档为 1A (平均值)

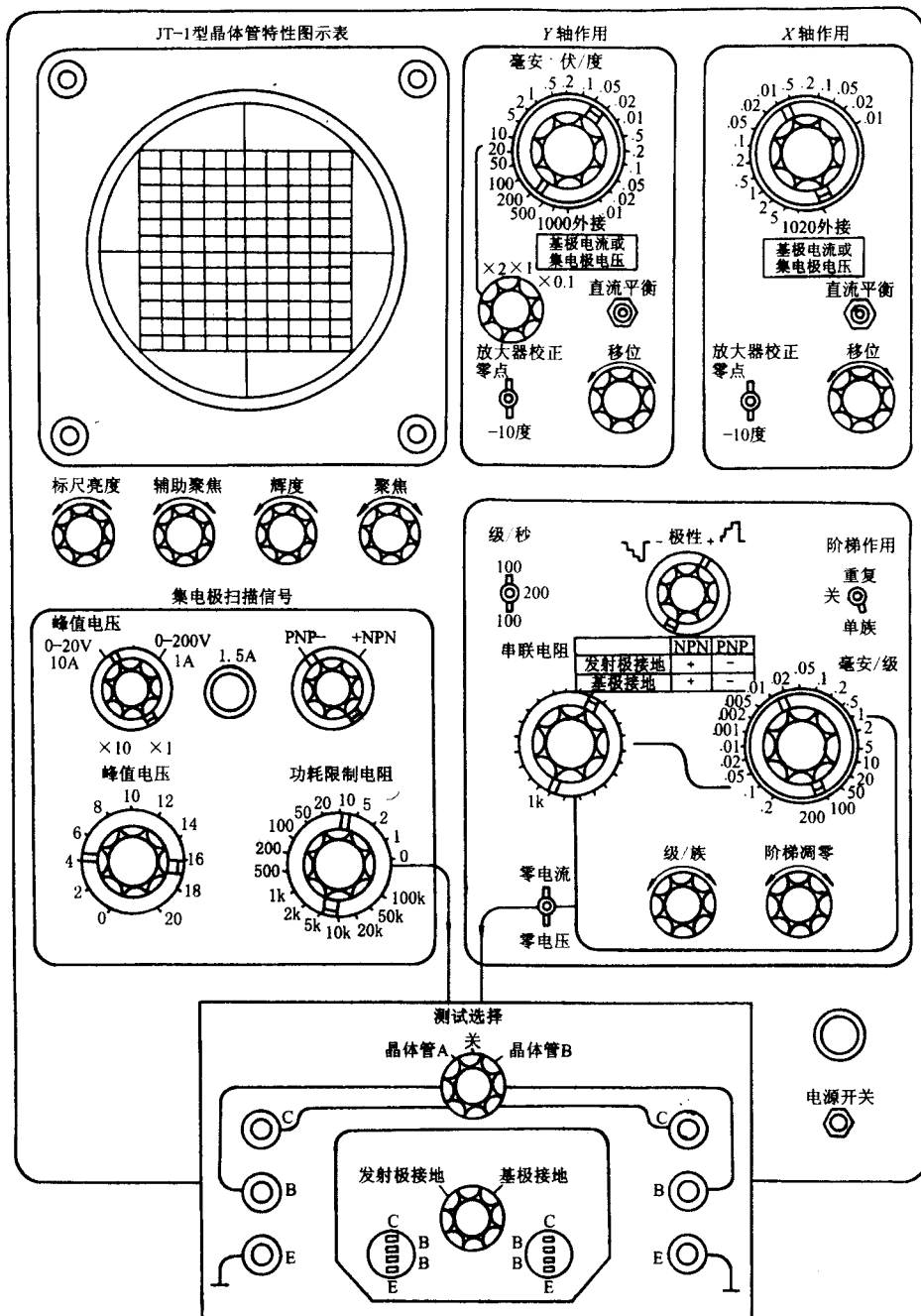


图 1.6 JT-1 型晶体管特性图示仪面板图

1.2.4 面板上各旋钮的作用

1. 示波管控制部分

(1) 标尺亮度。当电位器置于两端时，分别呈黄、红两色，黄色供摄影，红色供一般观察。

(2) 聚焦和辅助聚焦。两个旋钮配合调节使图形清晰。

(3) 辉度。调节该旋钮是改变栅、阴极间电压来控制发射电子量，从而调节显示图形的辉度。

2. Y轴作用

(1) 毫安·伏/度开关。使Y轴为集电极电流、基极电压、基极电流、基极源电压或外接，改变Y轴每一格代表的量值。

(2) 倍乘开关。配合上面开关以改变电流偏转的倍乘。

(3) 直流平衡。用螺丝刀调节。实际上是调节垂直放大器中差分放大器的直流平衡，使Y走基极电压各档(0.1~0.5V/度)变化时不影响放大器校正信号的“零度”位置。

(4) 移位。用来调节图形沿Y轴方向移动，使达到所需位置。

(5) 放大器校正。一般测量置中间；向上无信号；向下(-10)偏10度。

3. X轴作用

其中伏/度开关用来改变X轴为集电极电压、基极电压、基极电流、基极源电压或外接，改变X轴每一格代表的量值。其他如移位、校正、直流平衡等旋钮作用与Y轴对应旋钮的作用类似。

4. 集电极扫描信号

(1) 峰值电压范围。粗调集电极电压，分0~20V(10A)和0~200V(1A)两档。通常用前面一档。如果需要用0~200V档时，必须先将峰值电压电位器旋到0V，然后再根据需要逐渐增大到所要求的电压值。

(2) 极性开关。根据PNP管集电极电压(取“-”)和NPN管集电极电压(取“+”)不同要求，正确选择极性。

(3) 峰值电压。细调集电极扫描电压的幅度，实际幅度值从X轴作用偏转灵敏度测读：若基线长6格，X轴作用的集电极电压为2伏/度，则集电极峰值电压为12V。

(4) 功耗限制电阻。它是串在扫描电源与被测管集电极之间用于控制被测管功耗的电阻，也作为被测管的负载电阻。适当选择其大小以保证功耗小于被测管最大允许功耗。

5. 基极阶梯信号

(1) 级/秒开关。选择每秒显示的阶梯级数，分上100、下100和200三档。

(2) 极性开关。按晶体管类型和接地方式选择，可按面板上指示的表格正确使用。如NPN管共射极接法应置“+”极性。

(3) 阶梯作用。分重复、关、单族三档。重复指阶梯信号按集电极扫描频率重复地作用被测管基极(或射极)上，作连续测试，用于被测管特性图示或一般测试；单族是将阶梯信号一次作用于被测管上，然后又处于等待状态，每按动一下出现一次，用于瞬态观察极限特性；关是停止输入阶梯信号。

(4) 阶梯选择。控制阶梯电压和阶梯电流每级的幅度。