

电子学实验技术

上海交通大学电力学院应用电子技术教研室编

上海交通大学出版社

内 容 提 要

电子技术实验在各方面都获得广泛的应用。实验测试及电路调整与工程技术人员与大学、专科学生必须熟悉和掌握的一门技能性学科,各方面都迫切需要一本专业书来作实践指导。

本实验室经过多年教学实践,并结合目前电子学技术发展的现状,编写了这本实验指导书。内容包括电子常用仪器的原理及使用方法和实验、模拟电子电路的简要原理及实验大纲和方法、数字电子电路的常用线路和集成元件原理和实验方法、模拟集成电路的原理及常用电路实验方法、常用中小规模集成电路的型号及管子排列。适用于电子技术界的中高级科技人员自学进修及大学、专科学生在电子电路的实践和实验中作指导书。

电子学实验技术

出 版: 上海交通大学出版社
(淮海中路1984弄19号)

发 行: 新华书店上海发行所

印 刷: 常熟文化印刷厂

开 本: 787×1092(毫米)1/16

印 张: 10.5

字 数: 257000

版 次: 1991年6月 第一版

印 次: 1991年8月 第一次

印 数: 1—3450

科 目: 449—330

ISBN 7—313—00849—X/TN·710

定价: 2.75元

前 言

电子学实验技术着重培养学生的实验技能,巩固、加深他们的理论知识,并提高学生分析、解决问题及动手的能力和 design 能力。

本书共分电子学实验常用仪器的使用、晶体管电子学、数字集成电路和模拟集成电路四章,每一章先对有关电路的工作原理作概括介绍,然后提出实验目的、内容、实验报告要求等。学生在做实验前必须预习,认真阅读基本工作原理,搞清实验内容和目的要求,然而再动手进行实验。

根据循序渐进的原则,在前面几个实验中,实验方法及步骤比较详细,以后逐步简略,并引入设计性实验,以培养学生实验技能和提高工程设计能力。

本书根据分立元件电路、数字集成电路和模拟集成电路的主要内容编排实验,总学时为 45—54 学时,每个实验约为 2—3 学时。针对不同专业的要求选取有关实验和上课内容。

书中的附录给出了常用电子元器件的主要参数,可供学生实验、课程设计或其它工作时参考。

本书是在上海交大电子技术教研组编写的《电子学实验技术》的讲义基础上,经过多年使用修改而成,其中第 1 章由方士公同志编写,第 2 章由贾学堂同志编写,第 3 章由汪嘉永同志编写,第 4 章由张华宋同志和陈昇同志编写,附录由周德新同志编写。最后由何绍雄同志对全书作了审阅。在编写过程中,原讲义编写人员郑家麟同志、方荣贵同志非常关心本书编写工作,提出了不少有益意见,给了不少帮助,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,时间仓促,不足之处在所难免,请读者指正。

编者 1990.9

目 录

第1章 电子学实验常用仪器的使用	1
第1节 示波器的使用	1
第2节 晶体管特性图示仪的使用	11
第3节 其它常用电子仪器介绍	21
第4节 实验	34
第2章 晶体管电子学	39
第1节 晶体管单级低频放大器	39
第2节 负反馈放大器	43
第3节 互补对称功率放大器	48
第4节 2 W OTL 扩大机整机	50
第5节 正弦波振荡器	53
第3章 数字集成电路	57
第1节 TTL 与非门电路	57
第2节 CMOS 集成门电路	59
第3节 基本组合逻辑电路	62
第4节 触发器	71
第5节 计数器和寄存器	74
第6节 单稳触发器和多谐振荡器	78
第7节 数/模(D/A)和模/数(A/D)转换器	81
第8节 综合实验	84
第4章 模拟集成电路	90
第1节 集成运算放大器	90
第2节 模拟乘法器(模拟相乘器)	105
第3章 集成稳压器	110
第4节 集成定时器	114
附录	116
A 半导体分立元件	116
B 模拟集成电路器件	127
C 数字集成电路的器件	138
D 标称电阻的色码识别法	161

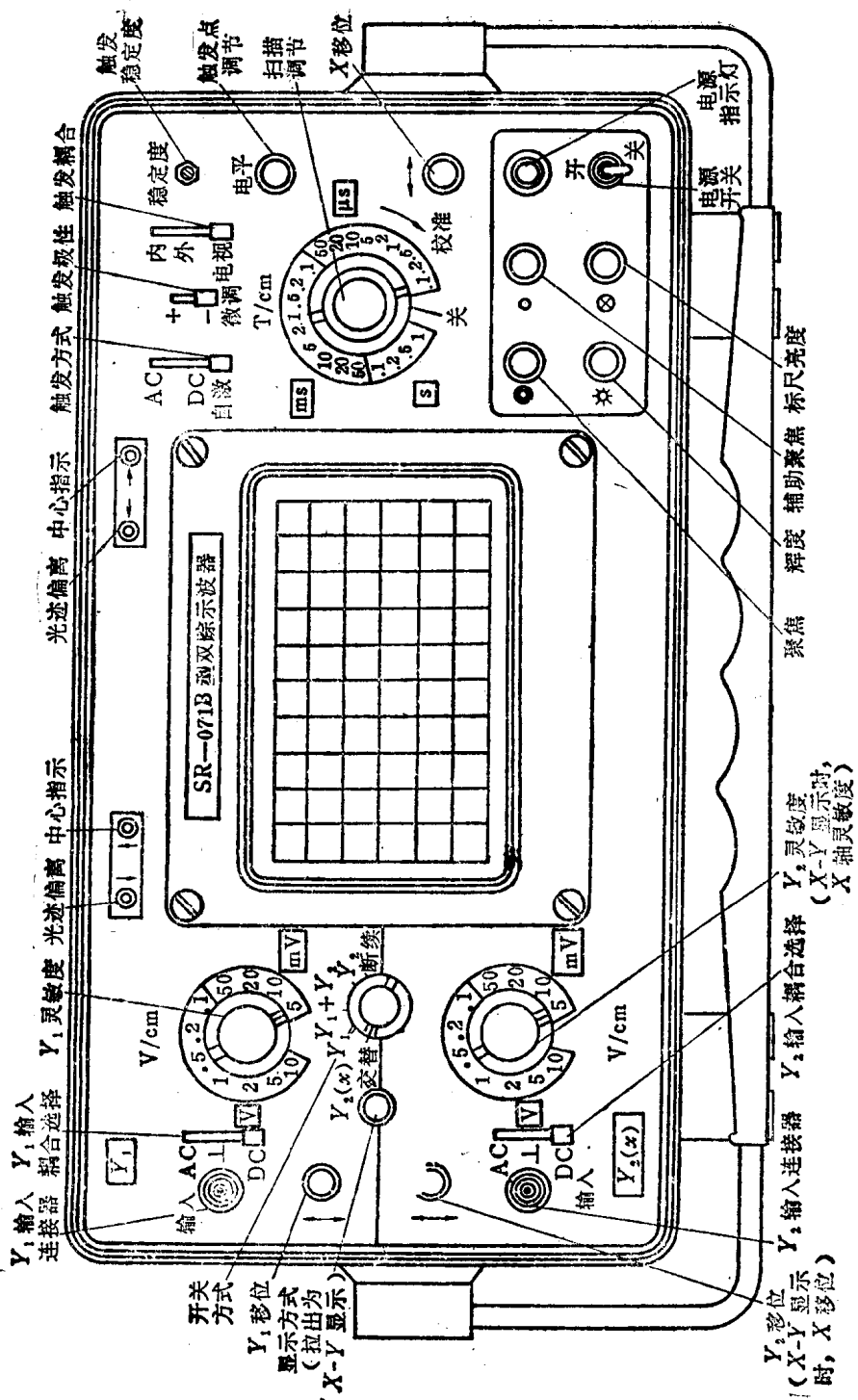


图 1-1-2 SR-071 型面板控制器位置图

本机外触发输入插孔在仪器右侧板, Y_2 极性开关在左侧板。

被测信号同步。

在双踪示波器中 Y 通道有 Y_1 和 Y_2 两个输入端, 分别经前置放大器放大, 在电子开关控制下, 输入 Y 轴放大器, 去推动垂直偏转板。

三、 X 通道(或称水平通道)部分

X 通道包括内触发放大器、触发电路、扫描电路。 X 轴放大器的功能是产生随时间作线性变化的锯齿波电压, 经 X 轴放大器去推动水平偏转板, 使光点均匀地沿水平方向移动。而触发电路保证了锯齿波和输入电压严格同步, 在屏幕上出现稳定图像。

1-1-2 通用示波器的 Y 通道

SR—071 是双踪示波器, 二个被测信号分别由 Y_1 和 Y_2 探极输入, 最终显示在屏幕上, 它们经过下面几个主要环节:

一、衰减器

输入信号通过“DC— $\perp$ —AC”耦合选择开关后送至衰减器, 即“V/cm”偏转灵敏度选择开关。此开关共分11档, 在“5 mV/cm”位置, 输入信号不经衰减, 直接馈至 Y 放大器。

衰减器实际上就是 RC 分压器, 输入信号的低频成分由 R 分压, 而高频部分由电容分压, 图 1-1-3 就是阻容衰减器基本电路, 直流分压比为 $R_2/(R_1 + R_2)$, 交流分压比为 $C_1/(C_1 + C_2)$, 电路在设计时就使得这两个分压比相等。因此 $R_2/(R_1 + R_2) = C_1/(C_1 + C_2)$ 或 $R_1 C_1 = R_2 C_2$ 。在满足这一条件时, 无论高频和低频信号都能获得确当的衰减。

二、输入级

输入级采用结型场效应管, 用以提高放大器的输入阻抗。为了进一步降低输出阻抗, 又接入射极跟随器。其输出信号分二路, 一路送至 Y 轴前置放大器, 另一路送至内触发放大器。在 Y_2 通道中, 还插入了极性转换开关。

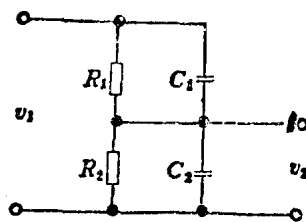


图1-1-3 阻容衰减器的基本电路

三、前置放大级

前置放大级由一级共发射极放大器组成, 来自电子开关的控制信号作用在其发射极回路中, 以切断发射极电源与否来实现其控制。

四、电子开关

电子开关由晶体管电路组成, 它可有五种工作状态:

1. 当开关打在“交替”位置时, 来自扫描闸门的信号经放大并微分后去触发双稳电路, 这时电子开关两只晶体管工作在双稳电路状态, 双稳态的两个输出端使前置放大器也相应轮流工作, 实现交替显示。

2. 当开关置于“ Y_1 ”时, 电子开关两只晶体管处于一只饱和一只截止的状态。截止管使 Y_1 前置放大器进入放大区, 显示 Y_1 的信号, 饱和管使 Y_2 前置放大器进入截止区, 这样就不能显示 Y_2 输入信号, 实现了 Y_1 信号的单一显示。

3. 当开关置于“ Y_2 ”时, 上述各晶体管就进入相反工作状态, 实现了“ Y_2 ”信号的单一显示。

4. 当开关置于“断续”位置, 电子开关中两只晶体管组成多谐振荡器, 振荡频率约 100 kHz, 使 Y_1 和 Y_2 前置放大器轮流工作而在屏幕上同时显示两个波形, 与“交替”不同的是

在多谐振荡器工作状态改变时经脉冲变压器输出一个负电压至增辉放大器,以消除“断续”双踪转换时荧光屏上的纵向光迹,保证了显示图像的清晰。

5. 当开关置于“ $Y_1 + Y_2$ ”时,两只电子开关晶体管发射极开路,全部进入截止状态,两个前置放大器都正常工作,显示信号为两通道信号代数和。

五、内触发放大器

由二级晶体三极管组成的电压串联负反馈电路,电路增益大于100倍,具有较大的通频带,经内触发放大器放大信号,去触发扫描电路,使信号与扫描信号能严格同步。

六、 Y 轴主放大器

由晶体管组成的二级放大电路,使信号放大后去推动垂直偏转板。

1-1-3 通用示波器的 X 通道

一、触发电路

对由 Y 轴输入的信号经过整形放大,形成一快速阶跃脉冲,再通过微分电路,形成一个尖脉冲,然后启动扫描电路。

二、时基扫描发生器

为观察被测信号随时间变化的波形,示波管的水平偏转板上必须加线性扫描电压(锯齿波电压),这一扫描电压就是由时基扫描发生器产生的,当触发脉冲未来到之前,扫描开关管处于饱和状态,充电电路中的电容处于低电平;触发脉冲来到时,扫描开关管截止,使时间电容处于高电平,通过恒流源充电,其电容电压随时间线性上升,形成正向扫描电压,充电的速率可由扫描开关上的电阻电容决定,同时还可借助“扫速校正”电位器微调充电电流,达到扫速校正目的。

三、 X 轴放大器

X 轴放大器的基本作用是放大扫描电压,使电子射线在水平方向达到满偏转。在扫描电路工作时,扫描电压经二级放大送至 X 偏转板。

在 SR—071 示波器中,当 Y_2 被拉出时,扫描电压被断开, Y_2 前置电压放大器成为 X 轴前置放大器, Y_2 移位即 X 移位,此时示波器成为 $X-Y$ 显示方式。

1-1-4 示波器的使用方法

在使用示波器之前除了了解一般原理之外,我们还得熟悉它面板上各部件的功能,才能获得理想波形显示,以 SR—071 型双踪示波器为例,按其功能可划分为三大部分:

一、示波管及其控制部分(见图 1-1-2)

电源开关 当拨向开时,指示灯发亮,经预热后,仪器即可正常工作。

辉度调节 $\odot$ 它是调节示波管栅极和阴极间直流电压以改变屏幕上光迹的亮度。顺时针转动时亮度增加,反之减弱,直至消失。若光点长时间停留在荧光屏上,应将辉度减弱,以延长示波管寿命。

聚焦调节 $\odot$ 用以调正示波管电子束焦距,使其焦点刚好会聚于屏幕上,此时呈现的光点为圆点,以保证显示波形清晰。

辅助聚焦 $\bigcirc$ 用以控制光点在有效工作面内的任何位置都能保持良好聚焦,通常与聚焦电位器(2 W 2)配合调节。

标尺亮度⊗ 调节这一电位器,屏幕上角指示灯 Δ 光亮,使屏幕前坐标片刻度线颜色和亮度随之变化,以便观察显示波形的尺寸。

二、垂直系统部分

Y_1 位移 顺时针旋转时光点向上移动,反之向下移。

Y_1 V/cm 或 V/div 开关 Y_1 通道灵敏度选择开关,量程从 5 mV/cm—10V/cm,俗称粗调。在较高档示波器例如 YB—4322 型中,在此开关中心还有“微调”旋扭,它可以在粗调的二档之间连续调节垂直放大器的灵敏度,以达到各档之间全部覆盖,但在作定量测试时“微调”应旋至“校准”位置。

AC— $\perp$ —DC(交流—地—直流)开关 Y_1 通道的输入信号耦合开关,在 AC 位置时,输入信号直流分量被隔开,只有交流信号通过,适宜于频率较高信号的观察,当信号频率低于 10 Hz 或要测直流信号时,应将此开关置于 DC 位置。在 $\perp$ 位置时,放大器输入端被接地,此时往往被用于确定零电平的位置。

Y_1 输入 Y_1 通道输入信号连接器。

方式开关 用以选择示波器 Y_1 和 Y_2 通道工作方式,在“交替”位置,两通道交替工作,转换频率由扫描重复频率控制,“交替”方式适用于观察较高频率的信号。在 Y_1 位置时作单踪显示,只显示来自 Y_1 通道的信号。在 $Y_1 + Y_2$ 位置时显示两个输入信号的代数和,当 Y_2 的极性开关(在仪器左侧)置于“+”的位置,两信号相加,反之相减。在 Y_2 位置时,只是显示来自 Y_2 通道的信号。在断续位置时,两通道高速转换,同时工作。由于基线是由点组成,所以使用断续工作方式不宜观察高频信号,一般适用于观察频率较低信号。

Y_2 通道位移 在 X-Y 显示时,用作 X 方向位移。

Y_2 V/cm 或 V/div 开关 Y_2 通道灵敏度选择开关,在 X-Y 显示时,此开关就成了 X 轴灵敏度选择开关。

$Y_2(X)$ 此开关拉出时,本仪器用作 X-Y 显示器, Y_2 作为 X 轴通道, Y_1 作为 Y 通道,扫描系统自动停止工作。

AC— $\perp$ —DC Y_2 通道的输入信号耦合开关,其作用类似 Y_1 的耦合开关。

三、水平系统部分

触发信号选择开关 在内或电视位置时,触发信号来自内触发放大器;在外位置时,触发信号取自外触发输入连接器。这时触发信号必须由外部经右侧外触发输入端子引入。当置于电视位置时,被观察的电视信号将由电视信号中的场同步信号去启动扫描电路。

触发信号的极性选择开关 在 + 位置时,由信号前沿触发扫描电路;在 - 位置时,由后沿触发扫描电路。

触发电路工作方式选择开关 此开关有 AC、DC、自激三个位置。在“AC”位置时,触发信号经交流耦合至触发电路,产生扫描电压,但当信号频率低于 10 Hz 时应将此开关置于 DC 位置。在“自激”位置时,扫描电路自激扫描,外来信号与其分频和同步,当外来信号的频率低于扫描重复频率时,可调整扫描微调与其同步。

稳定度调节器 这是一只电位器,用来调节触发灵敏度。

触发电平电位器 触发电平是指触发点位于触发信号波形的上部、中部还是下部,触发电平电位器可以调整触发信号的触发点,这一点对于显示脉冲信号或者周期连续信号某一段是特别重要的。

扫描时间量程开关 共分 22 档, 量程为 $0.1 \mu\text{s}/\text{cm}$ — $1 \mu\text{s}/\text{cm}$, 此开关用来改变扫描速度(扫速)。

扫描微调旋钮 它可以在一定范围内连续地调节扫描速度, 与扫描时间量程开关相配合, 使扫描速度在整个(例如 $0.5 \text{ ms}/\text{cm}$ — $0.2 \text{ ms}/\text{cm}$)扫描范围内连续调节, 这一旋钮顺时针到底为校准位置, 这时扫描速度即为量程开关的标定值。所以在确定被测信号的周期时, 必须将微调钮顺时针旋到底, 即置于校准位置时方可读数。

1-1-5 示波器测量波形的的方法

示波器可以对被测信号进行电压测量, 正确测量方法虽然根据不同电压有所出入, 但测量基本原理相同。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的电压值或它们的复合值。

一、直流电压的测量

下面是直流波形的测量:

把待测信号接入输入插座, 将垂直方式置于所要用的通道, 调节电压和扫速开关, 以获得待测波形常态显示, 置微调旋钮于校准位置。

将触发方式置于自动, 交流—地—直流开关置于地, 该档为给定的零电压基准。使用位移旋钮, 将扫描位置调到所用的基准电平位置, 一旦调好, 注意不要变动这一位置。

将交流—地—直流开关置于直流, 以观测输入包括直流分量的波形, 如果基准电平或 V/div 档位不适当, 则在示波管屏幕上该点可能看不到波形, 这时应重新调节电压或位移旋钮。

用 $\blacktriangleleft\blacktriangleright$ 位移旋钮将待测波形部分调至示波管屏幕上中心垂直刻度线。

测量由基准电平到待测点的垂直距离 (基准电位可以通过重置交流—地—直流开关于地档来检验)。

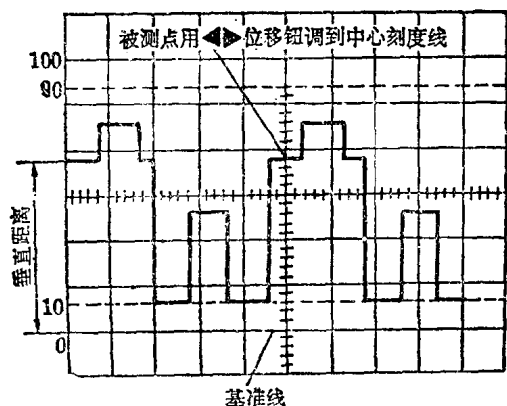


图 1-1-4 直流波形测量图

用电压档位和探头衰减率按上述测得的距离, 高于或低于零电平的电压分别为正值和负值, 使用公式:

$$\text{直流电平} = \text{垂直距离}(\text{div}) \times \text{电压}(\text{V}/\text{div}) \times \text{探头衰减率}$$

[举例]

例如, 被测点距基准电平 3.8 div (地电位), 如果电压档位置于 0.2 V , 并使用 $10:1$ 探头 (见图 1-1-4), 代入给定值:

$$\text{直流电平} = 3.8 \text{ div} \times 0.2 \text{ V} \times 10 = 7.6 \text{ V}$$

二、波形上两点间电压测量

此方法可用于测量峰—峰值电压。

步骤:

1. 将待测信号加到输入插座, 垂直方式置于通道, 交流—地—直流开关置于交流, 调节电压和扫速取得常态显示, 置微调于校准档。

2. 用位移旋钮调节波形位置, 使两点中的一点落在示波管刻度线上, 另一点落在显示屏幕上。

3. 用◀▶位移旋钮调节第二点,使与中心垂直刻度线重合。

4. 测量两点间垂直距离并乘以电压开关档位。如果使用探头,再乘以衰减率,使用公式
电压峰—峰值 = 垂直距离 (div) × 电压 (V/div) × 探头衰减率

[举例]

例如,两点垂直距离为4.4div,电压置于0.2V/div,探头衰减为10:1(见图1-1-5),代入给定值:

两点间电压 = 4.4 div × 0.2 V × 10 = 8.8 V

三、清除不需要的信号成分

相加性能可方便地用于消除叠加在待测信号上的无用信号成分。

步骤:

1. 把含有无用成分的信号加在通道1输入插座,把不需要的信号单独加在通道2输入插座。

2. 将垂直方式置于断续档,检验通道2是否相当于反相的不需要的信号,如果必要,将通道2置于相反来翻转极性。

3. 将垂直方式置于“ADD”,调节通道2的电压和微调,使无信号成分尽可能多地被消除,所余信号应当是所要观测的信号而不含无用的信号(见图1-1-6)。

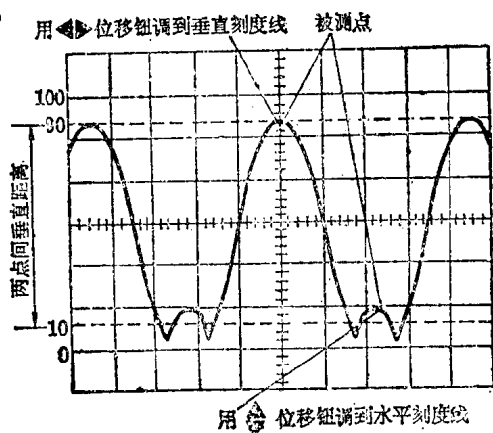


图1-1-5 波形上两点间电压测量图

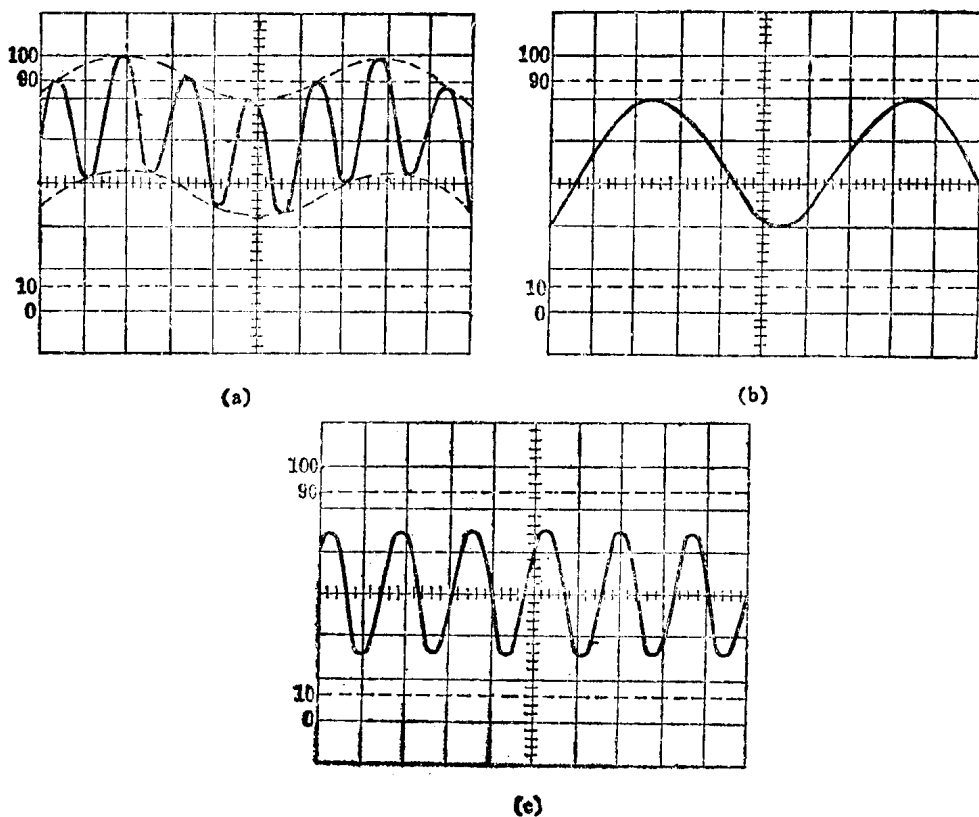


图1-1-6 波形图

(a) 含有不需要部分的信号(虚线是不需要部分包络线) (b) 不需要部分信号 (c) 实际信号

四、时间测量

此步骤为进行波形两点间的时间测量,用扫速和两点间水平距离来计算。

步骤:

1. 将待测信号加入到输入插座。将垂直方式置于所用通道。调节电压和扫速取得常态显示。必须使微调旋钮置于校准档。

2. 用◀位移旋钮,将用作基准的一点调至与水平中心线重合。用▶位移旋钮将该点置于与任一垂直刻度线的交点。

3. 测量两点间的水平距离。

将该距离乘以扫速,获得两点间的时间。如果使用水平“×5扩展”再乘1/5,使用公式:

$$\text{时间} = \text{水平距离}(\text{div}) \times \text{扫速}(\text{t/div}) \times \text{扩展值的倒数}(1/5)$$

[举例]

例如,两点间水平距离为 5.4 div,如果扫速用 0.2 ms 计算(见图 1-1-7),代入给定值:

$$\text{时间} = 5.4 \text{div} \times 0.2 \text{ms} = 1.08 \text{ms}$$

五、频率测量

通过测量一周波形的周期,并将该时间值倒数作为频率进行频率测量。

步骤:

1. 调节示波器使其显示一周波形(一周)。

2. 频率为测得的周期的倒数,使用公式:

$$\text{频率} = 1/\text{周期}$$

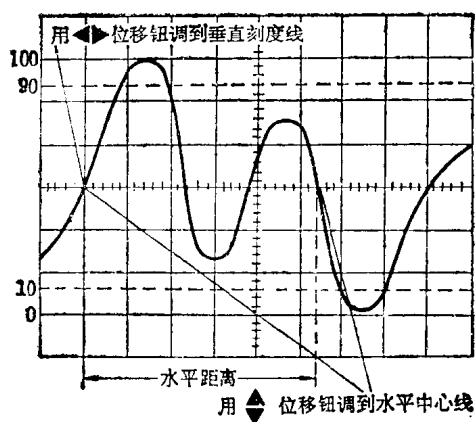


图 1-1-7 时间的测量

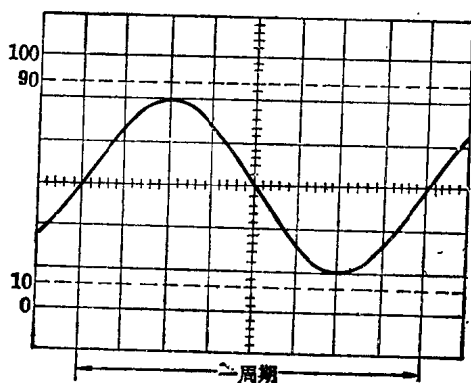


图 1-1-8 频率的测量

[举例]

观测的波形周期为 40 μs (见图 1-1-8),代入给定值:

$$\text{频率} = 1/(5 \mu\text{s}/\text{div} \times 8 \text{div}) = 1/(40 \times 10^{-6} \text{s}) = 2.5 \times 10^4 \text{Hz} = 25 \text{kHz}$$

上述测量方法是直接测量一个周期算得频率。频率也可通过计算在给定的时间周期内的几周来测得。

(1) 将信号加在输入插座,使垂直方式置于所用的通道,并调节各种旋钮获得常态显示,微调置于校准档。

(2) 计算一组选择的垂直刻度线之间的波形周期数。

用上述垂直线之间的水平距离和扫速可以计算出时间间隔, 将其倒数乘以给定时间间隔出现的周数。如果用“×5扩展”, 再乘以5, 使用公式:

$$\text{频率} = \frac{\text{周数} \times \text{“} \times 5 \text{扩展”值}}{\text{水平距离}(\text{div}) \times \text{扫速}(\text{t/div})}$$

注意: 只有几个周期时会产生误差。

【举例】

例如, 在7格内有10周, 扫速为5 μs, 代入给定值:

$$\text{频率} = \frac{10}{7 \text{ div} \times 5 \mu\text{s}} = 285.7 \text{ kHz}$$

六、脉冲宽度测量

步骤:

1. 将脉冲信号加到输入插座, 垂直方式置于所用通道。

2. 用电压微调 and 位移旋钮调节波形, 使脉冲便于观测, 并使中心脉冲宽度与示波管屏幕中心水平线重合。

3. 测量脉冲波形与中心水平线相交点之间距离, 务必使微调旋钮置校准位置, 用扫速乘测得的距离。如使用“×5扩展”, 则再乘1/5, 使用公式:

$$\text{脉宽} = \text{水平线距离}(\text{div}) \times \text{扫速}(\text{t/div})$$

【举例】

例如, 水平线距离(宽度)为4.6 div, 扫速为0.2 ms(见图1-1-9), 代入给定值:

$$\text{脉宽} = 4.6 \text{ div} \times 0.2 \text{ ms} = 0.92 \text{ ms}$$

七、脉冲上升时间和下降时间的测量

对于上升和下降时间测量, 用幅度的10%和90%点处作起始和终止基准点。

步骤:

1. 将信号加到输入插座, 置垂直方式于所用通道。用电压和微调旋钮, 将波形峰一峰高度调到6 div。

2. 用位移旋钮和其它旋钮调节波形, 使其显示在屏幕垂直中心, 将扫速开关调到尽可能快速的档位, 能同时观测10%和90%两个点, 将微调置于校准挡。

用位移旋钮调节10%点, 使与垂直刻度线重合。测量波形上10%和90%点之间距离, 将该值乘以扫速。如果用“×5扩展”方式, 再乘以1/5。

注意:

务必正确使用10%、90%点, 每个0、10、90%和100%测量点都标记在示波管屏幕上, 使用公式:

$$\text{上升时间} = \text{水平距离}(\text{div}) \times \text{扫速}(\text{t/div}) \times \text{“} \times 5 \text{扩展”的倒数}(1/5)$$

【举例】

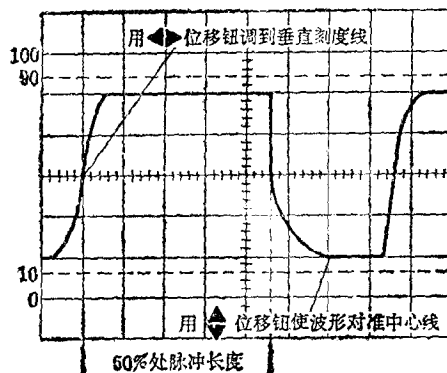


图 1-1-9 脉冲宽度的测量

例如,水平距离为 4 div,扫速是 $2 \mu\text{s}$ (见图 1-1-10(a)),代入给定值:

$$\text{上升时间} = 4.0 \text{ div} \times 2 \mu\text{s} = 8 \mu\text{s}$$

上升时间和下降时间也可利用下述步骤来测量:

用◀位移旋钮将 10% 点调到与中心垂直刻度线重合位置,测量波形与中心水平线交点的水平距离,令该距离为 D_1 。然后调节波形位置,使 90% 点与垂直中心线重合。并测量该线到波形与水平中心线交点的距离,令此距离为 D_2 。然后使用上述计算上升和下降时间的关系式。全部水平距离为 $D_1 + D_2$ 。使用公式:

$$\text{上升时间} = (D_1 + D_2)(\text{div}) \times \text{扫速}(\text{t/div}) \times \text{"}\times 5 \text{ 扩展"} \text{ 值的倒数}(1/5)$$

[举例]

例如,测得 D_1 为 1.8 div, D_2 为 2.2 div,如果扫速为 $2 \mu\text{s}$,使用下列关系式(见图 1-1-10(b)),代入给定值:

$$\text{上升时间} = (1.8 + 2.2) \text{ div} \times 2 \mu\text{s} = 8 \mu\text{s}$$

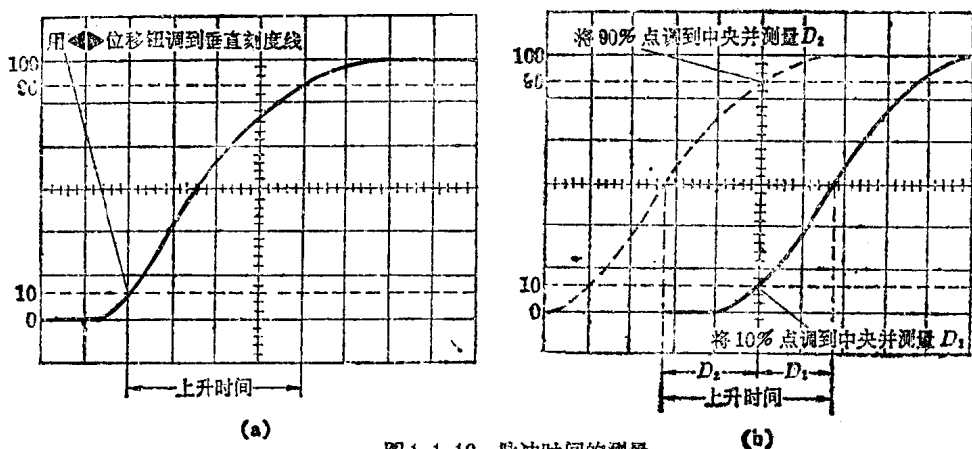


图 1-1-10 脉冲时间的测量
(a) 方法一 (b) 方法二

八、时间差测量

此步骤用于测量两个互相同步,但具有时滞现象的信号之间的时间差。

步骤:

1. 将两信号加到通道 1 和通道 2 输入插座,垂直方式置于交替或断续方式。
2. 通常低频信号用断续方式,高频信号用交替方式。
3. 选择两信号较快的一个作触发源,调节电压档位和扫速档位以取得便于观测的显示。

将微调置于校准档。

4. 用◀位移旋钮将波形调到示波管显示中心,并用◀位移旋钮将基准信号调到与垂直刻度线重合。

5. 测量两信号间的水平距离,将该距离乘以扫速。如果用“ $\times 5$ 扩展”,再乘以 $1/5$,使用公式:

$$\text{时间} = \text{水平距离}(\text{div}) \times \text{扫速}(\text{t/div}) \times \text{"}\times 5 \text{ 扩展"} \text{ 值的倒数}(1/5)$$

[举例]

例如,水平距离为 4.4 div,扫速为 0.2 ms (见图 1-1-11),代入给定值:

$$\text{时间} = 4.4 \text{ div} \times 0.2 \text{ ms} = 0.88 \text{ ms}$$

九、相差测量

1. 将两个信号加到通道 1 和通道 2 输入插座。通道 1 输入相位超前的信号, 将垂直方式置于断续或交替方式。

2. 用电压档位调节两信号使其幅度相等, 调节其它旋钮取得常态显示。

3. 用扫速档位和微调旋钮调节显示波形, 使信号一周占水平显示的 8 div。用 $\blacklozenge$ 位移旋钮将信号调到屏幕中心。按上述调节好波形显示后, 1 div 就代表相位的 45° 。

4. 测量两波形上相应点之间的水平距离, 使用公式:

$$\text{相差} = \text{水平距离}(\text{div}) \times 45^\circ / \text{div}$$

[举例]

例如, 水平距离为 1.7 div (见 1-1-12)。代入给定值:

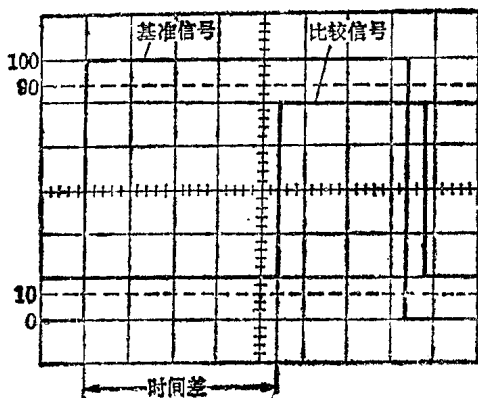


图 1-1-11 时间差的测量

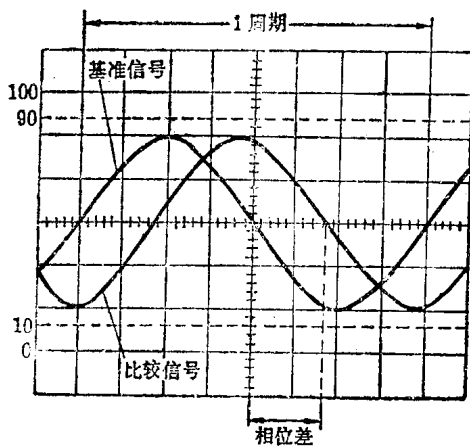


图 1-1-12 相差的测量

$$\text{相差} = 1.7 \text{div} \times 45^\circ / \text{div} = 76.5^\circ$$

上面所述波形显示允许 $45^\circ / \text{div}$, 但如需要更精确, 扫速可以改变和扩展而不用动微调旋钮。如果必要, 可以重新调节触发电平。

对于这种操作, 1 div 表示 45° 关系式不再成立, 相差由下列公式确定:

$$\text{相差} = \text{新扫描范围的水平距离}(\text{div}) \times 45^\circ / \text{div} \times \frac{\text{新的扫速档位}}{\text{原扫速档位}}$$

另一个更精确简便的方法是直接用“ $\times 5$ 扩展”作 $45^\circ / \text{div}$ 刻度。

第 2 节 晶体管特性图示仪的使用

特性曲线图示仪是半导体测试仪器中最常用的仪器。它通过事先已经校准并刻有标称值的旋钮所在档位和荧光屏标尺刻度, 可以直接读出晶体管各项参数和显示出各种特性曲线。目前使用比较广泛的是 JT—1 型晶体管图示仪和集成运放测试仪, 数字集成电路测试仪等。

1-2-1 JT—1 型晶体管图示仪

一、JT—1 型晶体管图示仪工作原理

JT-1 型晶体管特性图示仪主要由示波器、集电极扫描信号和基极阶梯信号三部分组成，如图 1-2-1 所示。

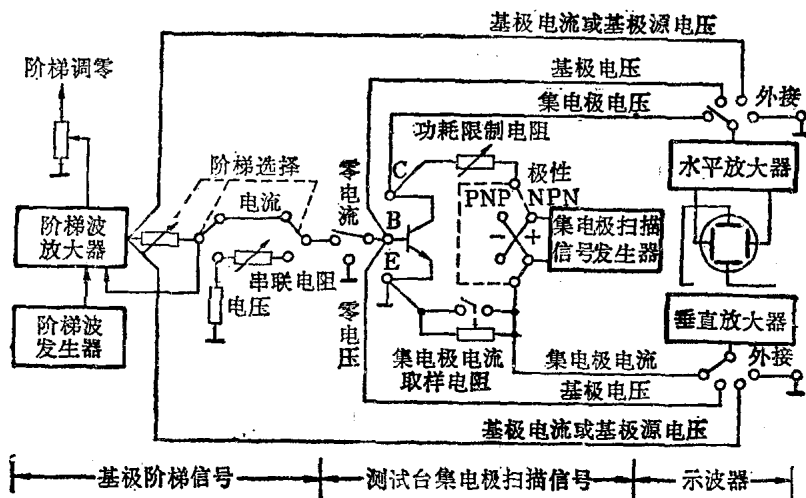


图 1-2-1 JT-1 型晶体管特性图示仪原理方框图

示波器部分，包括水平放大器、垂直放大器和示波管，其原理已经在示波器部分叙述过。

集电极扫描信号部分，主要是集电极扫描信号发生器。它直接采用 220 V、50 Hz 的交流市电经全波整流后产生如图 1-2-2(a) 所示的半波正弦电压，作为被测管集电极扫描电压，其极性和大小通过转换开关来改变。

基极阶梯信号部分，包括阶梯波发生器和阶梯波放大器，为被测管基极提供如图 1-2-2(b) 所示的阶梯信号(基极电流或基极源电压)。由图可见，阶梯跳变时间和集电极扫描电压的周期是一一对应的，其极性和大小可以通过转换开关来改变。

根据需要显示的特性曲线，示波器的水平偏转板和垂直偏转板应分别加不同的电压。例如，要求显示 NPN 型晶体管的共发射极输出特性曲线族，这时 X 轴应为 v_{ce} 轴，所以水平偏转板上应加与 W_{ce} 成正比的集电极扫描电压； Y 轴应为 i_c 轴，所以垂直偏转板上应加与 i_c 成正比的电压(这电压是集电极电流通过取样电阻获得的)，同时应以 i_b 为参变量，为此在基极上加相应的阶梯电流 i_{b0} ，这样，在屏幕上就会显示如图 1-2-3 所示的输出特性曲线族。

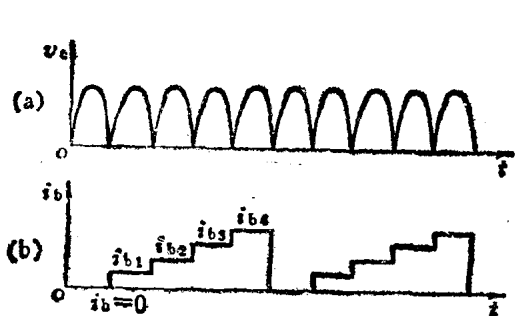


图 1-2-2 集电极扫描信号与基极阶梯信号的对应关系
(a) 集电极扫描信号 (b) 基极阶梯信号

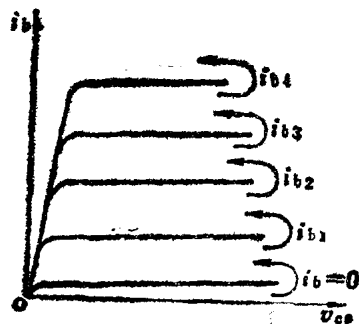


图 1-2-3 NPN 型管的共发射极输出特性曲线族

将图 1-2-2 和图 1-2-3 进行比较就可看出，在每个集电极电压的扫描周期内，电子束在屏

幕上完成正程和逆程各一次。由于扫描电压的上升和下降是对称的,故正程和逆程重合。特性曲线族的各条曲线不是同时出现的。不过由于荧光屏的余辉作用和人眼视觉残留效应,只要扫描频率足够高,就会感觉到显示的各条曲线是同时存在的。改变阶梯信号的级数,可以显示不同根数的输出特性曲线族。

1-2-2 JF-1 型晶体管特性图示仪的使用方法

它的面板图示于图 1-2-4。

一、面板旋钮的作用

1. 示波器部分

这部分位于面板上半部,左边是示波管屏幕,右边是 X 轴作用和 Y 轴作用两个单元。和普通示波器一样,它有辉度、聚焦、标尺亮度、 X 轴移位、 Y 轴移位等调节旋钮。

为了定量地测量不同管子的特性曲线, X 轴和 Y 轴放大器的增益都用步进式多档开关来改变,各档位置旁都标有已校准的标称值。下面具体说明它们的工作情况。

(1) X 轴作用单元的伏/度开关,相当于普通示波器的 X 轴增益旋钮。它是一个 19 档步进式开关,这 19 档分为四种不同的转换作用,其中:

“集电极电压”占 11 档。0.01—20 伏/度^①。当被测管的集电极电压作为 X 轴变量时,将开关拨至该档位。

“基极电压”占 6 档。0.01—0.5 伏/度。当被测管的基极电压作为 X 轴变量时,将开关拨至该档位。

“基极电流或基极源电压”占 1 档。当被测管的基极电流或基极源电压作为 X 轴变量时,将开关置于该档位。这时,它的数值应从阶梯选择开关刻度“毫安/级”或“伏/级”读测。

“外接”占 1 档。当显示外接信号时,将开关置于该档位。外接信号从后箱板的 $X(+)$ 或 $X(-)$ 处接入,其灵敏度为 0.1 伏/度。

(2) Y 轴作用单元的毫安-伏/度开关,相当于普通示波器的 Y 轴增益旋钮,是一个 24 档的步进式开关。其中:

“集电极电流”占 16 档。0.01—1000 毫安/度。当被测管的集电极电流作为 Y 轴变量时,将开关拨至该档位。

“基极电压”占 6 档。0.01—0.5 伏/度。当被测管的基极电压作为 Y 轴变量时,将开关拨至该档位。

“基极电流或基极源电压”占 1 档。当基极电流或基极源电压作为 Y 轴变量时,将开关拨至该档位。这时,其数值应由阶梯选择开关刻度(毫安/级或伏/级)读测。

“外接”占 1 档。当显示外接信号时,将开关拨至该档位,外接信号从后箱板上 $Y(+)$ 或 $Y(-)$ 处接入。此时, Y 轴放大器的灵敏度为 0.1 伏/度。

(3) 为了保证屏幕标尺刻度能够准确读数, X 轴作用单元和 Y 轴作用单元都配有放大器校正开关。在进行定量测量时,应先对放大器进行零位和放大倍数的校正。

(4) 为了扩大 Y 轴作用单元的量程,在该单元设有毫安/度倍率开关,共有 $\times 2$ 、 $\times 1$ 、 $\times 0.1$ 三档。例如,开关置于“ $\times 2$ 档”,表示将毫安/度开关的集电极电流的读数加倍。

① “度”是指屏幕上标尺的格子,以下类同。