



北京市高等教育精品教材立项项目

电子技术实验

Experiment of Electron Technology

董平 主编 姜燕钢 付平 李春雷 编著

电子信息
与电气学科
基础教材



附光盘

33



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

北京市高等教育精品教材立项项目

电子技术实验

董 平 主编

姜燕钢 付 平 李春雷 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是电子技术实验课程教材,全书按照实验教学平台构建,分为常用仪器使用平台;基础电路实验平台;电路设计平台;EDA 系统设计平台。本书可适应于不同基础、不同兴趣的学生对电子技术实验课程的要求。教师也可根据不同的实验平台,安排几种实验组合课程表,供学生任选。

EDA 系统设计介绍了最新的 Multisim 2001 和 Max-plus II 软件基本分析、设计方法。

本书配有多媒体实验光盘(VCD),可在计算机中利用媒体播放软件演示,方便教师和学生使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术实验/董平主编. —北京:电子工业出版社,2003.8

北京市高等教育精品教材立项项目

ISBN 7-5053-8941-6

I. 电… II. 董… III. 电子技术—实验—高等学校—教材 IV. TN-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 063636 号

责任编辑:陈晓莉

印 刷:北京牛山世兴印刷厂

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×980 1/16 印张:16 字数:345 千字 附光盘 1 张

版 次:2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月第 1 次印刷

印 数:6 000 册 定价:26.00 元(含光盘)

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077

前 言

电子技术实验是一门经典的课程，当电子技术理论课程不断发展时，使人们感觉电子技术实验课程更多的是处于初级阶段，原本最该被人们重视的实验过程，在各种的原因下反而在有意无意间被人们所淡化。但在实际工程中和各类人才招聘会对工程师硬件设计调试，动手能力的要求上，人们却实在地感受到实验课程在电子技术领域中的技术会计师。无论如何，电子技术实验是一个以全面训练来完成对电子工程师的培养过程。不论是从基础的三极管、门电路实验开始，还是从基本单元电路设计完成；不论是对 EDA 技术的了解使用，还是对 VHDL 语言的进一步应用；电子技术实验都包含了这些环节，而且，这些环节不是简单的重复，而是对电子工程师培养过程的升级和完善。

本书是为老师写的：

任何一位常年从事实验课的老师，都会被超时的实验工作量、一天内不断重复的语言所困扰。同样的实验设备，却是一名教师与百名学生的沟通。本书利用多媒体技术，拍摄了实验光盘，按照书中目录的次序，介绍了常用电子仪器的使用；基本电子线路的连接线路和测量；EDA 技术的基本应用。使教师在每堂实验课前，在实验室中，利用计算机和投影仪器集中或分班播放，再分班进行实验操作。总之，本书为与我們有着同样工作的教师们提供了一个新的教学手段。

本书是为学生写的：

考试是学生每门课程结束前最为焦虑的事情。而实验课的考试又受到实验设备的约束。考试前没有充足的时间提供实验设备进行复习，而实验操作过程也需要熟练掌握。本书为学生提供了从简单到复杂，从经典到现代的电子技术实验实例。按照这个过程实验后，你可以找到对电路性能的“感觉”；也可体会到 EDA 技术带给你的强有力的功能。我们希望培养你解决实际问题的能力，这种能力不一定仅从常规的实际操作实验中获得，而掌握已被证实了的实验方法可以大大地加速这种能力的培养。本书提供的实验光盘可使你对电子技术实验课程学习发现新的方法。

本书的编写工作主要是由北京科技大学和中国地质大学的老师们完成的。长期的从事电子技术教学和实验课程，使我们有一种冲动感——写点东西。当我们完成最后的校稿后，我们已尽了我们最大可能来完善本书，其余的就靠它的读者了。本书电子技术基础实验平台由姜燕钢、吴龙波编写；电路设计平台由傅平编写；EDA 系统设计平台由董平、李春雷编写。全书内容由董平审阅。北京科技大学电教中心承担光盘制作。摄像：谢玉浩、赵京石；录像：魏乃玲、沈鹏辉；灯光：刘涛；电子编辑：郭奕智、段海涛；录音：姜燕钢、傅平、李春雷；监制：牛长山。

本书的最早构思体系，得到了清华大学何丽静教授、北京科技大学钟家桢教授的帮助。正是有了前辈们的提携，才使我们有了今天的成果。

感谢中国台湾掌宇公司与我们的合作，使本书具有了最新的 EDA 软件资料。

编 者

2003 年 3 月

于北京科技大学

目 录

第 1 篇 电子技术基础实验平台

第 1 章 实验室常用电子仪器的使用	3
实验一 示波器的使用	3
实验二 低频信号发生器的使用	11
实验三 晶体管毫伏表的使用	15
第 2 章 模拟电子技术实验	19
实验一 晶体管共射极单管放大电路	19
实验二 差动放大电路实验	25
实验三 集成运算放大器应用 (I) ——比例运算电路	30
实验四 集成运算放大器应用 (II) ——反相积分电路	34
实验五 集成运算放大器应用 (III) ——电压比较电路	38
实验六 集成运算放大器应用 (IV) ——波形发生电路	41
实验七 直流稳压电源电路	45
实验八 互补对称功率放大器 (OCL 电路)	50
附录 A 模拟电子技术基本元器件介绍	54
附录 B 常用模拟集成电路器件	65
第 3 章 数字电子技术实验	69
实验一 TTL 集成电路的逻辑功能及特性测试	69
实验二 组合逻辑电路 (I) ——采用小规模集成器件	75
实验三 组合逻辑电路 (II) ——采用中规模集成器件	79
实验四 触发器逻辑功能测试	85
实验五 时序逻辑电路 (I) ——采用小规模集成器件	89
实验六 时序逻辑电路 (II) ——采用中规模集成器件	93
实验七 555 定时器电路的功能及应用	97
实验八 数-模转换器 (D/A) 和模-数转换器 (A/D)	102
附录 C 常用数字集成电路器件	108

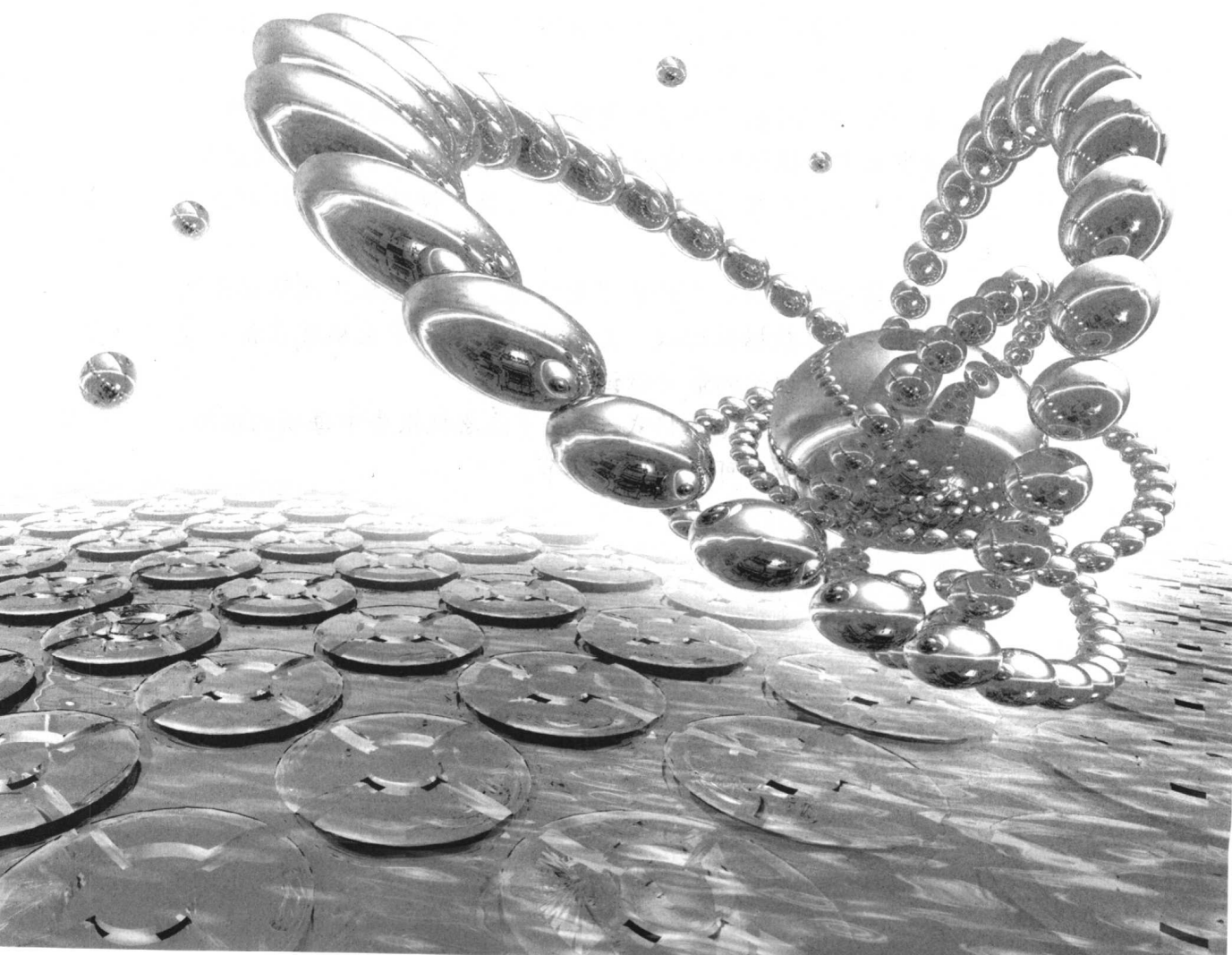
第 2 篇 电子技术设计平台

第 4 章 模拟电子电路设计	119
----------------------	-----

实验一 测量放大器设计	119
实验二 函数信号发生器的设计	125
实验三 可调直流稳压电源设计	129
第5章 数字电子电路设计	133
实验一 多组竞赛抢答器设计	133
实验二 数字电子钟设计	137
实验三 数字压力秤设计	141
第3篇 EDA 系统设计平台	
第6章 大规模可编程逻辑器件 (CPLD) 开发实验系统	149
实验一 CPLD 开发实验系统认识	149
实验二 反相器	153
实验三 门电路	172
实验四 组合逻辑电路	178
实验五 显示驱动电路	190
实验六 触发器	195
实验七 时序逻辑电路	203
实验八 综合电路	215
第7章 模拟及数字电路设计仿真	219
实验一 系统认识	219
实验二 积分电路仿真	231
实验三 RC 振荡电路仿真	234
实验四 低通滤波器仿真	236
实验五 555 定时器仿真	238
实验六 多数人表决电路仿真	240
实验要求	243
实验规则	243
实验报告要求	244
实验报告表格式	245
参考文献	247

第1篇

电子技术基础 实验平台



在基础电路实验平台中，学生主要是对模拟电子技术实验和数字电子技术实验的调试，是属于电子技术的基本验证实验，这个过程将有效地帮助学生巩固理论学习中的基本概念。通过实验室的实际操作，了解工程中实验元器件参数、电路连接布线、干扰等问题。

电子技术实验中常用仪器有：万用表；毫伏表；信号发生器；示波器；频率分析仪等。在测量中，各类仪器的使用，反映了在电子线路中不同测量参数地要求。因此，在仪器使用平台实验过程中，学生要掌握各类常用电子仪器的使用方法，正确读出测量参数，掌握必要的换算公式。

每个实验都给出了典型的电路，学生按照电路图连接好线路，按实验步骤中的提示测量电路中关键点的参数，这是重要的过程，它将帮助学生建立起对于不同形式的电路，调试中必须检测的部位。

每个实验完成后，都给出了思考题，学生应根据实验记录的参数与理论计算数据做比较，分析实验结果。学生从现在就应建立起“实验是对理论的最好验证”的概念。

实验报告给出了基本格式，学生不能忽视报告中每项的填写，这是科学训练中必不可少的一个环节。

第1章 实验室常用电子仪器的使用

实验一 示波器的使用

一、实验目的

- 了解示波器的工作原理。
- 初步掌握示波器的正确使用方法。

二、原理说明

1. 示波管的基本原理

图 1-1-1 是示波器的基本结构图,示波管是示波器的重要组成部分,它主要由电子枪、偏转系统、荧光屏三大部分组成。这三部分都密封在一个真空的玻璃壳内,其作用是把电信号转变成发光的图形。示波管的工作原理如下:

① 电子枪由灯丝、阴极、控制栅极等组成,其作用是发射电子束和聚焦。当调节阴极与栅极间的电压时,可控制发射电子的多少,从而调节荧光屏上光点的大小和亮度。示波器面板上辉度调节和聚焦调节旋钮即作用在此。

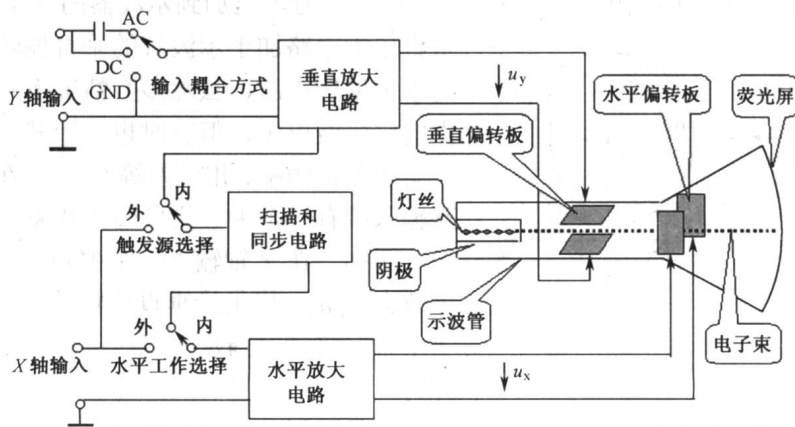


图 1-1-1 示波器的基本结构图

② 偏转系统由垂直(Y轴)和水平(X轴)偏转板组成,其作用是将被测信号变成电子束的运动轨迹。当偏转板存在电位差,则偏转板间就形成了电场,电子就朝着电位比较高的偏转板偏转。于是垂直电场与水平电场分别控制电子束的垂直方向和水平方向的运动。

③ 荧光屏是用荧光粉涂在玻璃屏内壁形成的。当电子束打到荧光屏上的某一点时,那一点就显现出荧光。使用示波器时不要让光点长时间的停留在一点上,否则会烧坏该点的荧光物质。

2. 示波器的主要控制系统

① 垂直(Y轴)放大电路

由于示波管垂直方向的偏转灵敏度很低,所以一般的被测信号电压都要先经过垂直放大电路的放大,再加入到示波管的垂直偏转板上,以得到垂直方向的适当大小的图形。

② 水平(X轴)放大电路

由于示波管水平方向的偏转灵敏度很低,所以接入示波管水平偏转板的电压(锯齿波电压或其他电压)也要先经过水平放大以后,再加入到示波管的水平偏转板上,以得到水平方向的适当大小的图形。

③ 扫描和同步电路

这个电路产生一个锯齿波电压,该锯齿波的频率能在一定范围内连续可调。锯齿波电压的作用是使示波管阴极发射出的电子束在荧光屏上形成周期性的与时间成正比的水位移,即形成时间基线。这样,才能把加在垂直方向的被测信号按时间的变化波形展现在荧光屏上。

3. 示波器的工作原理

参见示波器的基本结构图(图 1-1-1),被测信号电压加到示波器的 Y 轴输入端,经

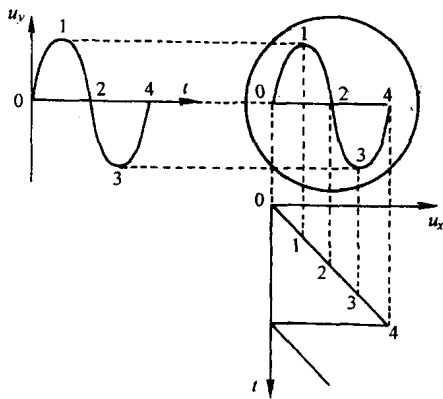


图 1-1-2 显示波形的原理图

垂直放大电路加于示波管的垂直偏转板。示波器的水平偏转电压,虽然多数情况下采用机器内提供的锯齿波电压,但有时也采用其他的外加电压(用于测量频率、相位差等),因此在水平放大电路输入端有一个水平信号选择开关。

例如,在 Y 轴输入一个被测的正弦信号,经过放大为 u_y ,提供给垂直偏转板,控制电子束作上下方向移动;当水平工作选择、触发源方式选择为“INT”(内部),则 u_x 为锯齿波电压,提供给水平偏转板,使光点进行水平方向的扫描,在屏幕上即显示出被测信号的波形曲线,其简要原

理如图 1-1-2 所示。图中圆圈内的波形为荧光屏显示，当 $t=1$ 时，在 u_y 和 u_x 同时作用下，荧光屏显示光点位置为“1”；以下依次类推。“ t ”从“0”到“4”时显示光点沿“0、1、2、3、4”移动。 u_y 变化一周， u_x 从最大值立即回到“0”，只要保证每次移动的起点一样，荧光屏上就能显示出一个稳定的波形。

为了使荧光屏上显示的波形保持稳定，要求锯齿波电压的频率和被测信号的频率保持同步，即整数倍的关系。示波器是取用被测信号部分电压或电源部分电压，来调整锯齿波的周期，强迫扫描电压与被测信号同步。示波器面板有关触发的旋钮和按键即是用来调整同步的。为了适应各种要求，同步信号可以通过同步选择开关来选择，电子技术实验中最常用的水平工作选择和触发源选择用“INT”（内部），触发方式用“AUTO”（自动触发）；触发耦合用“AC”（交流耦合）或“DC”（直流耦合）。

三、实验内容

1. 电子示波器扫描初态调整（YB4322 型双踪示波器）

YB4322 型双踪示波器面板开关及控制旋钮如图 1-1-3 所示。使用时操作步骤如下。

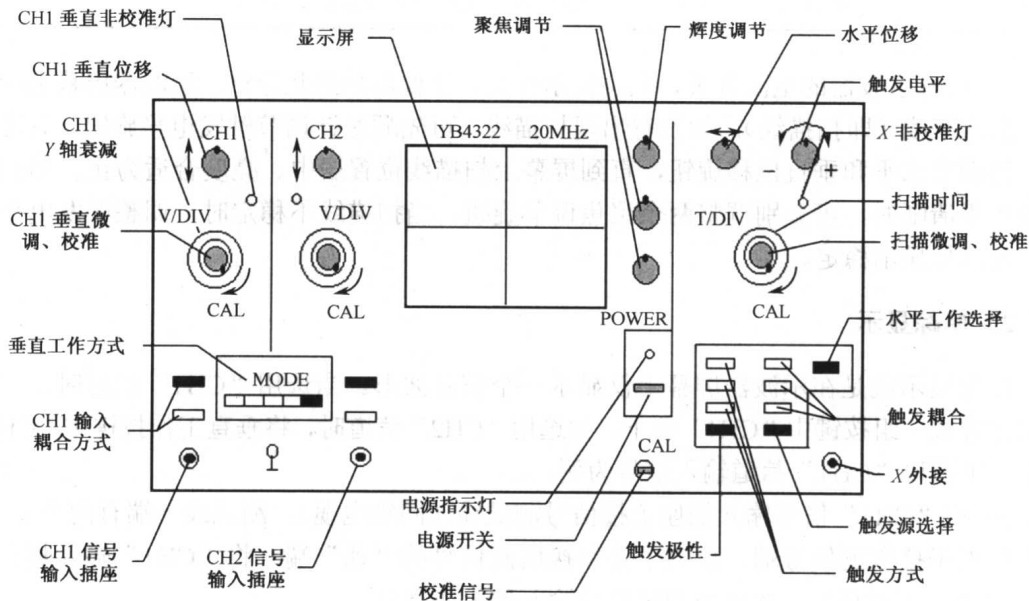


图 1-1-3 YB4322 型双踪示波器面板图

① 示波器接通电源前，其面板上各旋钮、按键应按照表 1-1-1 所列的初始位置设定。

表 1-1-1 示波器接通电源前各旋钮、开关的设定位置

项 目		位 置 设 置
光点亮度及 清晰度	辉度调节旋钮	旋至中间位置
	聚焦调节旋钮	旋至中间位置
X 轴方向控制	水平工作选择按键	“INT”（内部）（即此黑键在释放状态）
	水平位移按键	旋至中间位置
	触发方式按键	“AUTO”（自动）（即此键按入）
	触发源选择按键	“INT”（内部）（即此黑键在释放状态）
	扫描时间旋钮	旋至“0.2ms/DIV”挡位（即 0.2ms/格）
	触发极性按键	“+”（即此黑键在释放状态）
Y 轴方向控制	垂直工作方式按键	“CH1”通道 1（一组键中仅此键按入）
	“CH1”垂直位移旋钮	旋至中间位置
	“CH1”输入耦合方式按键	“GND”内部“地”（即此黑键按入）
	“CH1”Y 轴衰减旋钮	旋至“0.5V/DIV”挡位（即 0.5V/格）

② 打开示波器的电源开关，电源指示灯亮，让仪器预热几分钟。示波器屏幕上应出现一条水平线（即扫描线）。如没有出现扫描线，可先顺时针调节触发电平旋钮、辉度旋钮，再调节水平和垂直位移旋钮，直到屏幕上扫描线位置居中、亮度合适为止。当扫描线较粗不清晰时，可分别调整两个聚焦调节旋钮。当扫描线不稳定时，调整触发电平旋钮，使信号显示稳定。

2. 单踪显示

单踪显示就是在示波器屏幕上仅显示一个信号波形。当选用“CH1”信道时，将垂直工作方式一组按键中“CH1”按下。如选用“CH2”信道时，将垂直工作按键中“CH2”按下。下面以“CH1”信道输入信号为例：

① 在“CH1”信号输入插座上接信号测试线（同轴电缆），测试线一端有两个夹子，其中红夹子接所测信号端，黑夹子必须接所测信号的“地”端。将“CH1”输入耦合方式“GND”黑键释放，才能使测试信号输入到示波器中。

② 观察示波器提供的自校信号“CAL”：将测试线上的红夹子夹在示波器面板上的校准信号“CAL”输出端，这时测试线上黑夹子悬空（因“CAL”信号的“地”已与示波器内部“地”接在一起）。从示波器屏幕上可观察到“CAL”信号（方波）。

3. 用示波器测量信号的电压大小和周期的基本方法

将被测信号波形在屏幕上显示出来,一般调整波形峰峰值占显示屏的 $1/2 \sim 2/3$ 高度, X 轴方向显示 $1.5 \sim 2$ 个周期为好。具体操作步骤如下:

① 调整 Y 轴衰减旋钮 (V/DIV)。根据被测信号的大约峰峰值 (在输入耦合方式取 DC 挡时,波形的交直流分量都能显示,故还要考虑叠加的直流电压值),将 V/DIV 置于适当的挡级,这类似于测试仪表中的量程选择,不过这里 V/DIV (伏/格) 为屏幕上标尺 Y 轴向每一大格 (1cm) 所代表的电压值。

② 调整 X 轴扫描时间旋钮 (T/DIV)。根据被测信号大约的周期值,将 “T/DIV” 旋钮置于适当档级。“T/DIV” 指示为屏幕上标尺 X 轴向每一大格 (1cm) 所代表的时间值。

③ 将 CH1 (或 CH2) 垂直微调、校准旋钮和扫描微调、校准旋钮 (红色旋钮) 置于校准位置,即:该旋钮沿顺时针方向旋到底 (观察到 X 非校准灯和垂直非校准灯都灭)。这样 “V/DIV” 和 “T/DIV” 旋钮指示才为标称值,测量结果才会正确。当 X 非校准灯和垂直非校准灯亮时,示波器处于 X 轴和 Y 轴微调功能状态,如果在此状态下测量,读数结果是不正确的。

4. 练习用示波器测量 “CAL” 信号

① 可由 CH1 输入 “CAL” 信号,调整 Y 轴衰减旋钮 (V/DIV) 和 X 轴扫描时间旋钮 (T/DIV),在屏幕中显示合适的波形大小。选择 CH1 输入耦合方式为直接耦合 “DC”,即可观察到 “CAL” 交直流分量叠加波形。(参见图 1-1-1 中 Y 轴输入耦合方式,当选择输入耦合方式为 “AC” 时,信号通过电容隔直后输入到垂直放大电路中。由此可知,如果选择输入耦合方式为 “AC”,则观察不到 “CAL” 波形中的直流分量。)

② 波形输入后,首先要进行 Y 轴校零:将 CH1 输入耦合方式置 “GND” 位置,即 “GND” 黑键按入,调整垂直位移旋钮,使扫描线对准屏幕上某一条水平标尺线 (图 1-1-4 中虚线为屏幕上的标尺线),即设定好零电平参考基准线,然后释放 “GND” 黑键,使信号输入。可参见图 1-1-4。注意:校准后不要再随便调整垂直位移,否则已校准的零电平会产生移动。

③ 测量信号幅值:

$$U_{p-p} (\text{峰峰值}) = (V/DIV) \times A \text{ 格}$$

④ 测量信号周期和频率:

$$T (\text{周期}) = (T/DIV) \times B \text{ 格}$$

$$f (\text{频率}) = 1/T$$

⑤ 将用示波器测量的 “CAL” 信号数据记录在表 1-1-2 中。并将 “CAL” 波形画在图 1-1-5 中 (波形画一个半周期以上)。

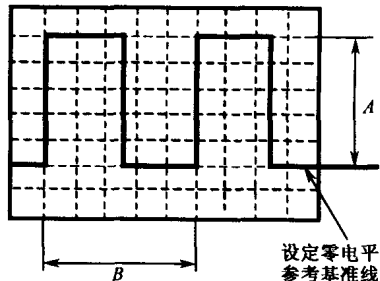


图 1-1-4 屏幕显示 CAL 信号

表 1-1-2

U_{p-p} (V)	T (ms)	f (Hz)

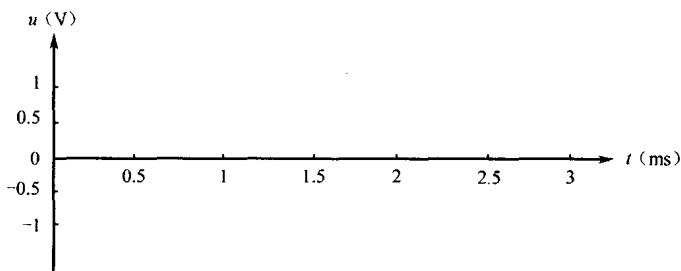


图 1-1-5 记录“CAL”波形

5. 示波器常见操作问题故障分析

在示波器仍显示“CAL”信号的同时,将示波器面板上的旋钮按键分别放在不正确的位置上,观察示波器显示中容易出现的问题。(每进行完一步,观察后,即恢复原态,再进行下一步。)

- ① 水平工作选择按键(黑键)按入,因示波器处于X外接工作状态,则无扫描线。
- ② 触发源选择按键(黑键)按入,因示波器处于外触发信号启动扫描工作状态,则无扫描线。
- ③ “CH1”输入耦合方式按键(黑键)按入,因示波器内部断开“CH1”输入信号,并且提供一条零电平基线,故仅显示一条扫描直线。
- ④ “CH1”Y轴衰减旋钮旋至“50mV/DIV”挡位,因选择Y轴挡位太小,示波器观察不到正确的波形。调整Y轴位移上下移动,分别可显示出方波上部或下部的波形。
- ⑤ 扫描时间旋钮旋至“0.2s/DIV”挡位,因选择X轴挡位太大,扫描速度慢,仅能看到光点在移动,示波器观察不到正确的波形。

从上面的几种情况可知:使用示波器时应注意对输入信号的大小及频率有初步估算,将挡位选择合适。所有黑键一般情况下要放在释放状态,使用时要谨慎,否则会出现错误。

6. 双踪显示

双踪显示就是在示波器屏幕上同时显示两个信号波形。用两条信号线,两个信号分别由“CH1”和“CH2”两信道同时输入,YB4322示波器面板上“CH2”的Y轴控制旋钮对应应在“CH1”的右侧,见图1-1-3。操作方法可参照“CH1”的情况进行。

双踪显示根据信号频率有两种选择:

① 一般情况垂直工作方式选择“ALT”。

② 当输入信号频率较低时（100Hz 以下），垂直工作方式可选择“CHOP”（两个信号断续扫描）

在观察两个波形相位关系、比较相位差时应选择“ALT”或“CHOP”工作方式，而不能由垂直工作方式“CH1”和“CH2”分别进行观察，这样两波形相位关系并不对应。用双踪显示“CAL”信号。仅观察波形。

7. 两信号相加或相减（下面的内容仅要求了解，在以后的实验中再具体实践）

① 显示两信号相加的波形，垂直工作方式要选择同时按入 CH1、CH2 键，其他键在释放状态，即实现 CH1、CH2 两信道信号相加，其和显示为单踪。

② 显示两信号相减的波形，垂直工作方式同上，并配合按入黑键“POL”，这时 CH2 信号极性倒置，可实现两信道信号相减，其差值显示为单踪。

③ 显示两信号相加或相减的波形时，如测量波形幅值，CH1、CH2 在 Y 轴衰减旋钮应旋在同一挡位。这时 Y 轴位移可调 CH1、CH2 任一旋钮。

四、预习要求

（1）阅读本实验内容，了解示波器的工作原理、性能及面板上常用的各主要旋钮、按键的作用和调节方法。试填写表 1-1-3。

表 1-1-3 选定示波器正确的操作方法（正确的在方框内画√，错误的在方框内画×）

显示情况	操作方法
显示出的波形亮度低	调整聚焦调节旋钮□ 调整辉度调节旋钮□
显示出的波形线条粗	调整聚焦调节旋钮□ 调整辉度调节旋钮□
显示出的波形不稳定 (波形在 X 轴方向移动)	调整触发电平旋钮□ 调整水平位移旋钮□
显示出的波形幅值太小	调整 Y 轴衰减旋钮□ 调整垂直位移旋钮□
显示出的波形 X 轴太密	调整扫描时间旋钮□ 调整 Y 轴衰减旋钮□

（2）当用仪器、仪表进行信号测量或观察时，必须先正确选择好量程。回答和填充下面的问题：当示波器观测“CAL”的方波信号，已知它频率为 1kHz（周期为 1ms），峰峰值为 1V，则应将 Y 轴衰减选择_____/格的挡位；扫描时间选择_____/格的挡位（要求：波形 Y 轴占约 5 格，X 轴一个周期约占 5 格）。

五、实验总结报告分析提示

- (1) 通过实验说明示波器 Y 轴校零的方法。
- (2) 整理实验数据 (包括 “CAL” 的波形图、表 1-1-2)。总结示波器使用时出现的问题及解决方法。

六、思考题

- (1) 示波器上的信号测试线 (同轴电缆) 上黑夹子和红夹子在测试信号时能否互换使用? 如何正确使用黑夹子?

提示: 在一般电工测量中, 当测量交流电压时, 可任意互换电极而不影响测量读数, 但在电子电路中, 由于工作频率和电路阻抗较高, 故功率较低。为避免外界干扰信号, 多数电子仪器采用单端输入、单端输出的形式, 即仪器的两个测量端总有一个与仪器外壳连接, 并与信号测试电缆的外屏蔽线连接在一起接黑夹子, 通常这个端点用符号 “ $\perp$ ” 表示。应用时, 将仪器的 “ $\perp$ ” 和被测电路中的 “ $\perp$ ” 都连接在一起, 才能防止引入干扰, 即称为共地。

- (2) 当需要示波器双踪显示时, 输入信号的频率在 100Hz 以上, 说明垂直工作方式要选择哪一档?

- (3) 当用示波器测 “CAL” 的波形时, 说明 Y 轴输入耦合方式选 “DC” 挡与 “AC” 挡有什么不同?