

高 等 学 校 教 材

电子线路实验

王景华 黄毅 杨鸣 殷奎喜 吴晓葆 / 著

DIANZI XIANLU SHIYAN

南京师范大学出版社

电子线路实验

——以EDA为工具——

DIANZI XIANLU SHIYAN

清华大学出版社

南京师范大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

电子线路实验/王景华等著. —南京: 南京师范大学出版社, 2004.10

ISBN 7-81101-143-3/O·24

I. 电... II. 王... III. 电子电路—实验—教材
IV. TN710-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 108082 号

内容提要

本书分为上、下两篇。上篇为模拟电路实验,其中第一部分是利用电子元件搭接的电路,共 22 个实验;第二部分是电子仿真实验。下篇为数字电路实验,共 11 个实验,其前一部分是利用电子元件搭接的电路,后一部分是电子仿真实验。

本书可作为高等院校电子信息工程、通讯工程等类的电子技术专业的实验指导书,也可作供从事电子技术工作的工程技术人员参考。

书 名	电子线路实验
作 者	王景华 黄 毅 杨 鸣 殷奎喜 吴晓葆
责 编	赵民初 杨爱玲
出版发行	南京师范大学出版社
社 址	南京市宁海路 122 号(邮编: 210097)
电 话	(025)83598077(传真) 83598412(营销部) 83598297(邮购部)
网 址	http://press.njnu.edu.cn
电子邮件	nnuniprs@publicl.ptt.js.cn
照 排	江苏兰斯印务发展有限公司
印 刷	南京大众新科技印刷有限公司
开 本	787 × 960 1/16
印 张	16.75
字 数	300 千
版 次	2004 年 10 月第 1 版 2004 年 10 月第 1 次印刷
印 数	1 - 3 200 册
书 号	ISBN 7 - 81101 - 143 - 3 / O·24
定 价	29.00 元

南京师大版图书若有印装问题请与销售商调换
版权所有 侵犯必究

前 言

随着电子科学技术的迅猛发展,许多新技术,尤其是电子设计自动化(EDA)技术的日臻完善,为复杂电子电路的设计、调试提供了更加方便、高效的方法和手段。为此,我们在总结四十多年来的实验教学经验,并结合当前实验教学改革的需要,编写了这本电子线路实验。这本书既保留了传统的实验方法,即在实验装置上用电子元器件搭接成的电路进行实验,使学生对电子电路有比较深的感性认识;又利用了计算机软件的仿真技术,对每个实验进行仿真实验,也就是实现了两条腿走路的方法,既有硬件、又有软件;使学生从理性上、实践上对其有更全面的理解。

本书上篇为模拟电路实验。分为两部分,第一部分是利用电子元器件搭接的电路,共选编了 21 个实验,第 22 个为学生自己设计电路的选做实验。第二部分是电子仿真实验。下篇为数字电路实验。共选编了 11 个实验。同样,第一部分是利用电子元器件搭接的电路,第二部分是电子仿真实验。每个实验的课内学时一般为 3 学时左右。实验要求学生熟悉模拟电路和数字电路的测量方法,熟练掌握常用电子测量仪器的操作。重点在于要求学生掌握常用电子电路的原理、调试方法,目的是巩固和拓宽课堂所学理论,培养基本的实验技能。在实验的基础上,也要求学生综合运用已学知识,独立设计电路,并实践之。至于电子仿真部分,应在实验装置上进行实验后,再在电脑上进行仿真,或交叉进行。

全书共有六个附录,第一个附录是:数字电路实验所用集成电路的引脚图。第二到第五个附录分别是常用电阻器、电容器、二极管、三极管。以供参阅。

为便于读者学习,我们另附有一张光碟(另售),它是电子线路基础习题辅导部分,内容上很有创新,是计算机辅助动态题库。有三大特点:1. 渐进性。对精心选出来的约 300 多道题目,按内容、按章节由浅入深,渐渐引入。2. 重点突出。如反馈是学生最头疼、最难学的部分,这部分选用了较多的题目,详细讲解。3. 形象化。每题都配有图形,并按解题的先后步骤,逐步逐点地出现相关的电流、电压波形及其相位或方向。这种形象化的动态解题,使抽象的理论易于理解,便于学生掌握解题的思路和方法。因此这本书又是一本优秀的学习辅导书。

本书模拟电路部分实验一到实验十,附录三由王景华编写;实验十一到实验二十二,附录二由黄毅编写;数字电路实验,附录一、四、五由杨鸣编写;电子仿真部分由吴晓葆指导;习题辅导由殷奎喜等编写。全书由王景华统稿。此外研

究生陈年凤、汤敏、马静、李忠慧同学,电子信息专业本科生韦义刚、王永亮等同学,也参与一些编写工作,在此深表感谢。

软件用的电子工作台(Electronics Workbench 简称 EWB)是(Interactive Image Technologies)公司 1988 年推出的电路仿真分析、设计软件。它除具有界面形象直观、操作方便、采用图形方式创建电路的特点外,还提供了多种虚拟仪器。EWB 软件方便的操作方式,直观的电路图和仿真分析结果的显示形式非常适合于电子技术课程的辅助教学,有利于提高学生对理论知识的理解和掌握。目前,国内已有许多大学将 EWB 作为 EDA(电子设计自动化)技术的学习内容,纳入了电子类课程的实验教学。因为学习电子技术,不仅要求掌握原理和计算公式,还要注重锻炼对电路的分析、应用、开发能力。用 EWB 在计算机上虚拟出一个完整的电子电路,可以培养学生综合分析能力、排除故障和开发创新能力,是对电子线路实验与技能训练的有力补充。

本书得到江苏省品牌特色专业(南京师范大学电子信息工程专业)经费资助。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏和错误之处,恳请读者批评指正。

目 录

上篇 模拟电路实验

实验一 双踪示波器的使用	(1)
实验二 晶体管单级放大器	(10)
实验三 射极跟随器	(16)
实验四 互补对称功率放大器	(20)
实验五 集成功率放大器	(23)
实验六 差动放大电路	(25)
实验七 电压串联负反馈放大电路	(28)
实验八 比例求和运算电路	(33)
实验九 积分电路	(37)
实验十 微分电路	(39)
实验十一 RC 正弦波振荡器	(41)
实验十二 LC 振荡器及选频放大器	(44)
实验十三 集成电路 RC 正弦波振荡器	(49)
实验十四 有源滤波器	(52)
实验十五 电压比较器	(56)
实验十六 电压/频率转换电路.....	(61)
实验十七 波形变换电路	(63)
实验十八 非正弦波波形发生电路	(67)
实验十九 整流滤波与并联稳压电路	(70)
实验二十 串联稳压电路	(74)
实验二十一 集成稳压器	(78)
实验二十二 过压报警电路的设计(选做)	(82)

电子仿真部分

实验二	晶体管单级放大器	(83)
实验三	射极跟随器	(87)
实验四	互补对称功率放大器	(89)
实验五	集成功率放大器	(92)
实验六	差动放大电路	(94)
实验七	电压串联负反馈放大电路	(96)
实验八	比例求和运算电路	(99)
实验九	积分电路	(102)
实验十	微分电路	(104)
实验十一	RC 正弦波振荡器	(107)
实验十二	LC 振荡器及选频放大器	(110)
实验十三	集成电路 RC 正弦波振荡器	(115)
实验十四	有源滤波器	(117)
实验十五	电压比较器	(120)
实验十六	电压/频率转换电路	(125)
实验十七	波形变换电路	(128)
实验十八	非正弦波波形发生电路	(131)
实验十九	整流滤波与并联稳压电路	(134)
实验二十	串联稳压电路	(137)
实验二十一	集成稳压器	(138)
实验二十二	过压报警电路的设计(选做)	(140)

下篇 数字电路实验

实验一	门电路的逻辑功能	(141)
实验二	组合逻辑电路	(147)
实验三	触发器的逻辑功能	(153)
实验四	D 锁存器及三态输出触发器	(161)
实验五	计数器	(167)

实验六 集成计数器及其使用·····	(174)
实验七 译码器及数据选择器的应用·····	(177)
实验八 脉冲信号的产生与整形·····	(182)
实验九 555 集成定时器及其应用·····	(188)
实验十 优先权编码电路与应用·····	(194)
实验十一 寄存器的应用·····	(196)

电子仿真部分

实验一 门电路的逻辑功能·····	(200)
实验二 组合逻辑电路·····	(203)
实验三 触发器的逻辑功能·····	(205)
实验四 D 锁存器及三态输出触发器·····	(208)
实验五 计数器·····	(211)
实验六 集成计数器及其使用·····	(214)
实验七 译码器及数据选择器的应用·····	(217)
实验八 脉冲信号的产生与整形·····	(220)
实验九 555 集成定时器及其应用·····	(224)
实验十 优先权编码电路与应用·····	(229)
实验十一 寄存器的应用·····	(230)
附录一 部分数字集成电路引脚排列图·····	(233)
附录二 电阻器·····	(237)
附录三 电容器·····	(243)
附录四 常用二极管·····	(248)
附录五 常用三极管·····	(254)

参考文献

上篇 模拟电路实验

实验一 双踪示波器的使用

一、实验目的

1. 掌握双踪示波器的工作原理及使用方法。
2. 学习用双踪示波器测量交流信号的幅度、瞬时值、周期。

二、实验仪器

双踪示波器, 函数信号发生器。

三、预习要求

1. 熟悉示波器面板上各开关与旋钮的作用。
2. 熟悉 EE1461E 函数信号发生器面板上各开关与旋钮的作用。

四、实验原理

电子示波器是电子测量仪器中最基本、最重要的仪器之一。通过示波器可观察和测量被测电信号随时间的变化规律及其幅度、瞬时值、周期等参数。双踪示波器甚至可观察两条信号波形间的相位关系, 从而为电子线路实验提供直观、准确的实验数据。因此学生开始电子线路实验前首先要掌握这一双踪示波器的工作原理和使用方法。

1. 示波器的构造。

示波器一般由示波管、Y 轴放大器、X 轴放大器、扫描发生器(也叫时基发生器)、电源、控制面板和测试探头等几个部分组成, 如图 1-1 所示。

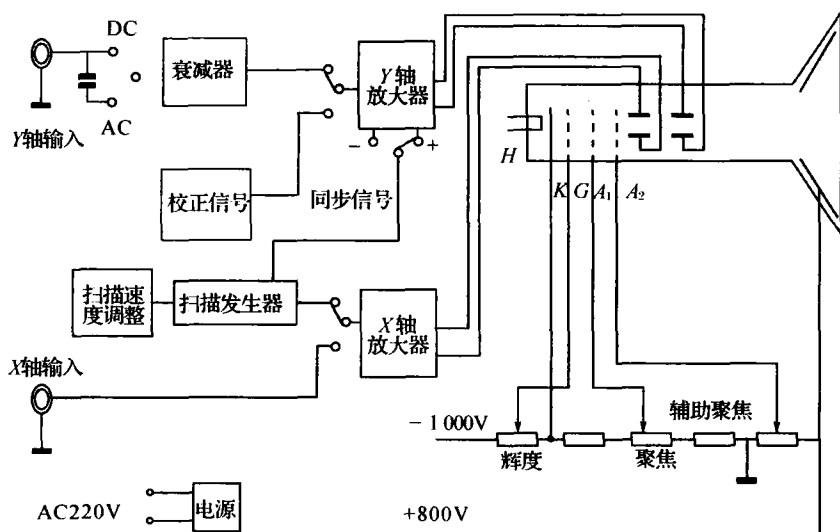


图 1-1

现将各部分的主要作用简述如下：

(1) 示波管。

静电偏转的阴极示波管是一个形状特殊的玻璃真空管，管内有三个基本组成部分：电子枪、荧光屏和偏转板，其结构如图 1-2 所示。

①电子枪：它是由灯丝 H 、阴极 K 、栅极 G 和第一阳极 A_1 、第二阳极 A_2 组成。电子枪的任务就是要产生一束很细的高速电子流。各电极的作用如下：阴极的形状为一个小圆筒，内有灯丝，当灯丝通电发热对涂有氧化物的阴极加热后，阴极就会发射电子束。控制栅

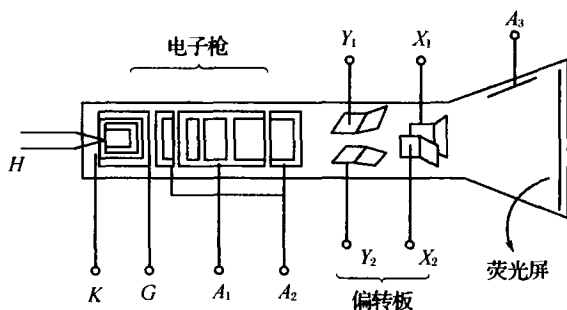


图 1-2

极是一个围着阴极的圆筒，底部的中央开了一个圆孔，阴极的电子就通过这圆孔射向荧光屏。在栅极加一个比阴极略负的电位，改变这个电位至 -50 V 到 -100 V 时，阴极发射的电子束就全部不能穿过栅极而终止，荧光屏上就不出现

亮点。示波器面板上的“辉度”旋钮就是调节栅极和阴极之间的电位差的电位器。第一、第二阳极都做成圆盘形,相对阴极而言,第一阳极上加有几百伏的正电压,由阴极发射出来的电子进入第一、第二阳极后,一方面受到由 A_1 、 A_2 构成的加速电场的加速,使电子获得足够的速度,另一方面该电场形成电子透镜,使电子束聚焦,适当调节 A_1 、 A_2 的电位,就可使电子束的焦点正好落在屏幕上。示波器面板上的“聚焦”旋钮调节 A_1 的电位;“辅助聚焦”旋钮调节 A_2 的电位。

② 荧光屏:示波管的荧光屏是在玻璃管的底部内壁涂上一层荧光物质构成。荧光屏在由阴极射来的高速电子流的轰击下,受到轰击的部位,就会局部发光。光点发光后,如无电子连续轰击,该点尚能延续发光一段时间,这种现象称为示波管的发光延续性,又称“余辉”。示波管按余辉长短可分为三类:短余辉管,延续发光时间 $1\ \mu\text{s}\sim 1\ \text{ms}$;中余辉管,延续发光时间 $1.2\ \text{ms}\sim 1.2\ \text{min}$;长余辉管,延续发光时间 $1.2\ \text{min}$ 以上。通常使用的双踪示波器采用短余辉管。光点的亮度除与材料有关,还与电子流的能量及密度有关。为增加发光亮度,且又不影响示波器的偏转灵敏度,荧光屏附近设置了后加速阳极 A_3 ,此电极的电压可达数千至上万伏。

③ 偏转板:示波管的偏转系统通常采用静电偏转系统。在示波管内安装了两对互相垂直的平行金属板。一对是垂直偏转板 Y_1 、 Y_2 ,另一对是水平偏转板 X_1 、 X_2 。前者用来控制电子流沿垂直方向作上、下运动,后者用来控制电子流沿水平方向作左、右运动。

当垂直、水平偏转板上都没有加偏转电压时,电子束没有受到任何方向电场力的作用而直射到荧光屏中央,在屏中心出现一个光点。如果只在水平偏转板上加直流电压,电子束通过 X_1 、 X_2 两板间时,受到电场力的作用而发生偏转,使光点向左或向右偏移。同理,如只在垂直偏转板上加直流电压,光点就向上或向下偏移。光点偏移的距离与所加的电压成正比,而偏转的方向取决于偏转板上所加电压的极性。因此,示波器面板上的“Y 位移”和“X 位移”,就是调节这两种偏转板上所加电压的。

(2) Y 轴放大器。

由于电子示波管灵敏度低(如加在偏转板上的控制电压过小,光点位移很小,甚至观察不到它的位置偏移),为了保证有足够的偏转电压,需用放大器将被测信号先进行放大,然后再将放大的信号加到 Y_1 、 Y_2 垂直偏转板上。

(3) X 轴通道。

由时基发生器、扫描速度调节电路和 X 轴放大器组成。时基发生器产生一个与时间呈线性关系的锯齿波电压,即扫描电压。时基发生器配合扫描速度调节可产生不同扫描速度的锯齿波,经过 X 通道放大后,再加在 X_1 、 X_2 水平偏转板上。

(4) 电源。

电源部分用来向示波管和其他功能单元电路提供所需的各组高低压电源，以保证示波器各部分的正常工作。

2. 示波器显示波形的原理。

现以正弦信号为例，简单介绍示波器显示波形的原理。正弦信号的波形如图 1-3 所示。把正弦信号加到垂直偏转板，同时在水平偏转板上加一个随时间

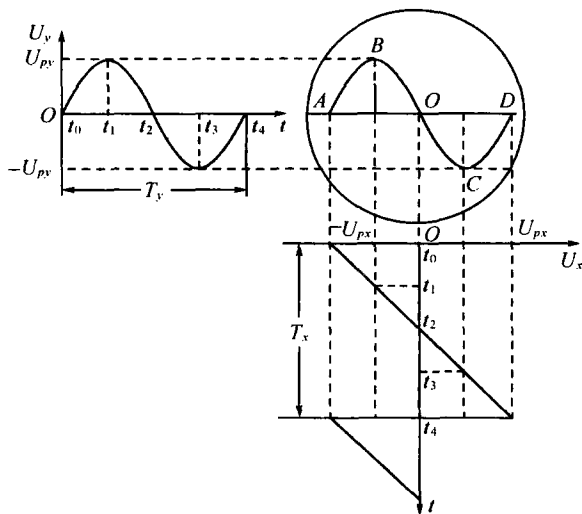


图 1-3

作线性变化的锯齿波，设锯齿波 U_x 的周期 T_x 与正弦信号 U_y 的周期 T_y 相同，起始点也相同。在 t_0 时刻，因 $U_y = 0$ ，光点在垂直方向没有偏转。但因 $U_x = -U_{px}$ ，水平偏转板上电压最负，光点沿水平轴有最大的负向偏移。合成的结果，光点落在 A 点；在 t_1 时刻，因 $U_y = U_{py}$ ，光点沿垂直轴有最大的正向偏移。而 $U_x = -U_{px}$ ，光点沿水平轴也有一定的负向偏移。合成的结果，光点落在 B 点。同理，在 t_2 时刻，因 $U_y = 0$ ， $U_x = 0$ ，故光点落在荧光屏的中心 O 点；在 t_3 时刻，因 $U_y = -U_{py}$ ， $U_x = U_{px}$ ，故光点落在 C 点；在 t_4 时刻，光点将落在 D 点。一个周期结束，锯齿波电压 U_x 立即跳回到 $-U_{px}$ ，光点也由 D 点跳回到 A 点，开始第二个周期的变化，荧光屏上再次出现与第一个周期相重合的正弦波。只要正弦信号的频率足够高，由于光点的余辉及视觉的残留效应，人们就能在荧光屏上看到一个稳定的正弦波形。

从上面可看出，时基信号（锯齿波）周期 T_x 等于被测信号的周期 T_y ，荧光屏上出现一个被测信号的波形，如 $T_x = 2T_y$ ，出现 2 个被测信号的波形，而如 $T_x =$

$\frac{1}{2}T_y$, 则看不到一个完整的被测信号的波形。因此, 为在荧光屏上显示出完整、稳定的波形图, 必须使时基信号(锯齿波)周期 T_x 等于被测信号的周期 T_y 的整数倍。即

$$T_x = Nt_y \quad N = 1, 2, 3, \dots$$

示波器上“电平”旋钮, 就是用来调整时基信号(锯齿波)周期 T_x 的, 使其周期 $T_x = Nt_y$, 从而出现完整、稳定的波形图。

上述时基信号(锯齿波)是由示波器内的自激振荡器产生的。如无论 Y 轴是否有信号加入, 时基信号总是连续不断地产生, 这种扫描方式叫做“连续扫描”。用连续扫描显示正弦波、方波或比较对称的波比较满意, 而对于不对称的波形则需要用“触发扫描”。所谓“触发扫描”, 就是时基信号(锯齿波)需要在外加触发信号的作用下才开始扫描, 否则不扫描。这个外加触发信号就是被测信号。

3. 双踪示波器的使用方法。

(1) 示波器面板上各旋钮、开关的作用和调节。(详见示波器说明书)

(2) 使用方法。

使用示波器可以测量波形的三个主要参数: 电压幅度, 即光点在 Y 轴上的偏移; 波形周期, 即光点在 X 轴上的偏移; 相位关系, 即两个波形之间的相位关系。

① 电压测量:

在一般情况下, 被测信号的电压同时含有交流分量和直流分量。如整流器的输出电压, 既有直流电压, 又有交流纹波; 再如晶体管放大器的集电极既有静态工作电压, 又有交流输出信号。对于这样的情况, 要根据需要分别测量。

a. 交流分量电压测量:

一般测量被测信号波形峰与峰之间数值, 测量时通常将 Y 输入选择开关置于“AC”位置, 将被测信号中的直流分量分开, 以免使信号偏离 Y 轴中心, 甚至使测量无法进行。当测量重复频率极低的交流分量时, 应将 Y 输入选择开关置于“DC”位置, 否则因频响的限制, 将会产生不真实的测试结果。测量步骤如下:

④ 将 Y 微调按顺时针旋足并接通开关, 即“校准”位置, 根据被测信号波幅度和频率适当选择“V/div”和“t/div”开关档级, 并将被测信号直接或通过 10:1 探极输入仪器的 Y 轴输入端, 调节触发“电平”使波形稳定在示波管的有效工作面内。

⑤ 根据图 1-4 屏幕上的坐标刻度, 读出显示波形的峰峰值为 A, 则被测电压 $= n \times A \times B$ 。n 为探极衰减比, B 为 Y 轴“V/div”开关所处档级。

图 1-4 所测时,探极衰减比 $n=1$,Y 轴“V/div”处在 0.2 V/格档,被测信号的峰峰值 $A=2$ 格;则被测信号的交流电压即峰峰值:
 $U_{p-p}=1 \times 2 \times 0.2 \text{ V/格} = 0.4 \text{ V}$ 。

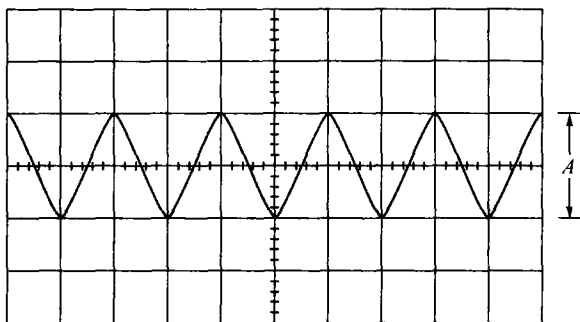


图 1-4

b. 瞬时电压测量:

瞬时电压测量需要一个相对的参考基准电位,一般情况下,基准电位是对地电位而言的,但也可以是其他参考单位,其测量方法如下:

①选基准刻度:

将触发选择置于“自动”,Y 轴输入选择开关置“DC”,此时出现一条水平扫描亮线,调节 Y 上下移位旋钮,使此亮线位于自己选定的某一位置,作为基准刻度。也可以把 Y 轴输入另一选择开关置于“地”,调节水平亮线与 X 轴重合,作为基准刻度。此时 Y 移位旋钮不能再动。

②“V/div”选择开关选于适当电压档级,使输入波形幅度适当。

③读出被测波形上的某一瞬时(P 点)相对基准刻度,在 Y 轴的距离为 A 格,则

被测瞬时(P 点)电压 $= n \times A \times B$ 。

n 为探极衰减比, B 为 Y 轴“V/div”开关所处档级。

如图 1-5 所示, $n=10$, $B=20 \text{ mV/格}$,被测点 P 与其基准刻度为 5 格,则

瞬时电压 $V = 10 \times 5 \text{ 格} \times 20 \text{ mV/格} = 1 \text{ V}$ 。

②时间(周期)测量:

用示波器来测量各种波形的周期(时间),可以取得简便和较精确的效果,因示波器在荧光屏 X 方向上的每格的扫描速度是定量的,通常测量时间的步骤是:

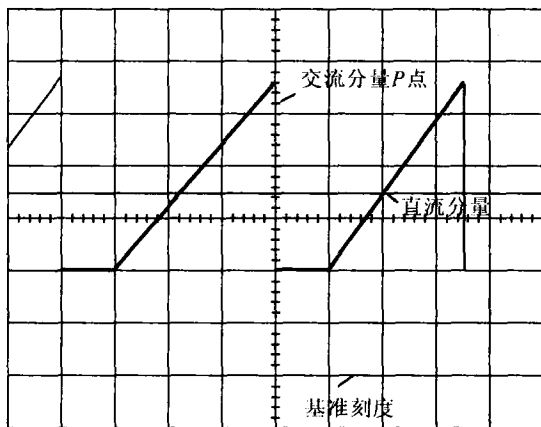


图 1-5

a. 将扫描时间“t/div”置于适当的档级 b /格, 调节“电平”旋钮和其他有关控制件, 使波形稳定。

b. 根据“X”轴上的刻度, 读出被测波形上一个周期 P 、 Q 两点间的距离为 a 。

c. 被测两点之间的时间为 $a \times b$ 。

d. 如测量时 X 扩展置于“拉出 $\times 10$ ”, 则应将测得的时间除以 10。

如图 1-6 所示, 扫描时间“t/div”置于 2 ms/格, 被测两点 P 、 Q 之间距离为 5 格, 则 P 、 Q 两点时间间隔为:

$$t = 5 \text{ 格} \times 2 \text{ ms/格} = 10 \text{ ms}$$

③相位测量:

对于两个同频率的信号间的相位差, 可以用示波器的双踪功能来进行。其步骤如下:

a. 将垂直方式开关置于“交替”ALT(频率低时可用“断续”)。触发源置于“垂直 VERT”。

b. 用 CH_1 、 CH_2 两根示波器衰减探头将两个被测信号输入, 并使波形稳定。

c. 调节 CH_1 、 CH_2 位移, 使两踪波形均移到上下对称于 X 轴 ($O-O'$), 读出 A 、 B , 则相位差 = $A/B \times 360^\circ$ 。如图 1-7 所示, CH_2 信号滞后于 CH_1 信号 φ 角。

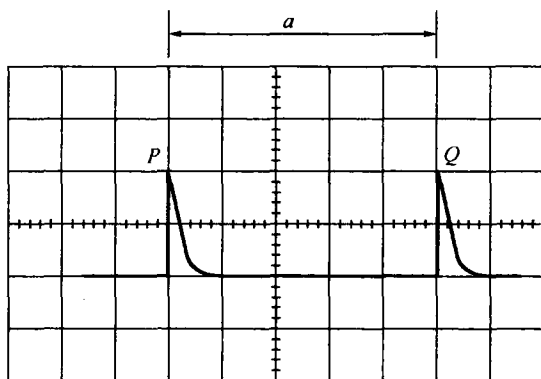


图 1-6

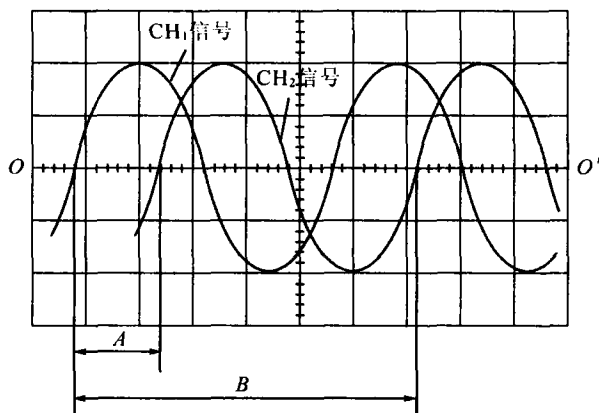


图 1-7

五、实验内容

1. 示波器的准备工作。

(1) 打开电源,指示灯亮。调节亮度旋钮,使亮度适中。(注意:不要在很亮的情况下长时间使亮点照在屏幕某一点或一线上,以免损坏荧光屏。)调节聚焦旋钮,使显示清晰的亮点或亮线。

(2) 检查本机标准信号。

示波器本身有 1 kHz、0.5 V 的标准方波输出信号,用于检查示波器的工作状态。将 CH₁ 通道输入探头接至校准信号的输出铜端子上,探头衰减开关置于 1:1 上。按表 1-1 调节示波器的控制开关以显示稳定方波。

表 1-1

控制件名称	作用位置	控制件名称	作用位置
垂直工作方式	CH ₁	内触发源	CH ₁
输入耦合方式	AC	触发耦合方式	AC
幅度衰减	0.1 V/格	扫描方式	AUTO
幅度微调	顺时针关断	扫描速率	0.2 ms/格
触发源	INT	扫描微调	顺时针关断

如方波在垂直方向占 5 格(0.5 V),波形的一个周期在水平方向占 5 格(1 ms,即 1 kHz),说明示波器的工作基本正常。

2. 函数信号发生器的准备工作。

函数信号发生器可产生正弦波、三角波、方波、单脉冲,信号频率从 1 Hz 到 2 MHz。输出电压峰峰值分四档:

无衰减	$10 \sim 1V_{p-p}$
衰减 20 dB	$1 \sim 0.1V_{p-p}$
衰减 40 dB	$100 \sim 10mV_{p-p}$
衰减 60 dB	$10 \sim 1mV_{p-p}$

(1) 打开 EE1461E 函数信号发生器的电源开关,调节频率选择按键为 $\times 1$ K,再调频率细调旋钮,使屏幕上频率显示为 1 kHz;调节电压输出屏幕显示 $10V_{p-p}$ 。

(2) 注意将“SYM”旋钮和“OFFSET”两旋钮逆时针旋到底,即实行关闭。

3. 用双踪示波器测量交流电压峰峰值 U_{p-p} 。

用双踪示波器测量函数信号发生器输出的下表所列各档交流峰峰值 U_{p-p} 。调整示波器的电压档级将实测的 U_{p-p} 填入表 1-2。