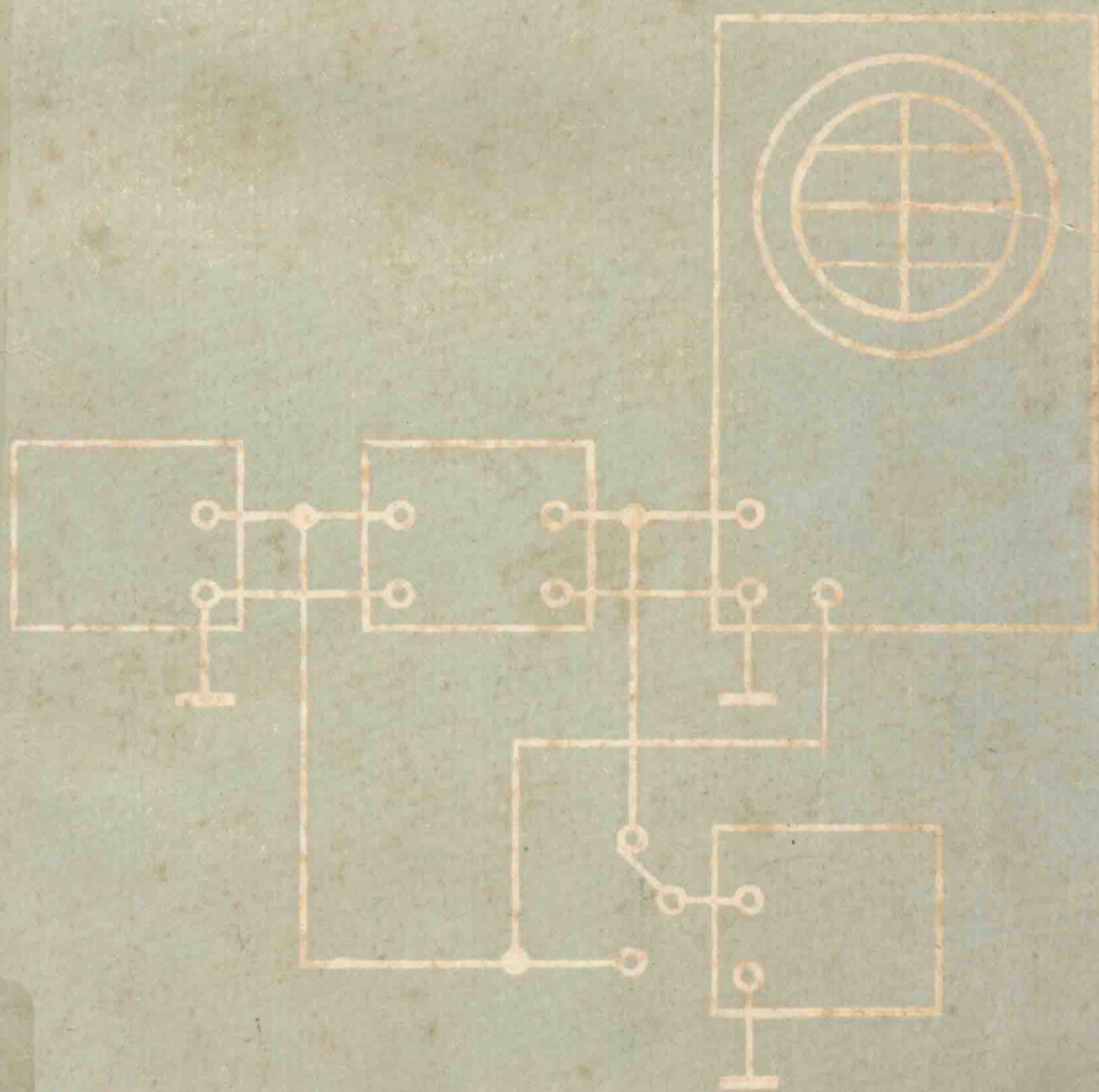


电子电路实验

中山大学电子系
电子电路实验室 编



前 言

本教材是根据1978年10月，教育部在苏州召开的理科物理基础课教材编写会议，讨论拟定的同名课程教材编写大纲所编写，编写于1979年，经77届和78届同学试用后，再次修改而成，它适用于理科各专业使用。

本教材共计有20个实验：包括(1)学习仪器使用方法的实验，如示波器的使用、低频电压表的使用、晶体管特性图示仪的使用……等。(2)验证单元电路原理的实验，如单级放大器放大特性的研究、负反馈放大器的研究之一、互补对称式功率放大器、双稳态触发器和锯齿波的产生与同步等，(3)综合性的实验，如收音机、计数器及其应用等。根据目前实验室的条件、整个内容以分立元件为主，有少量集成电路实验。

本教材附录中，简单介绍了焊接技术，电路元件和部分常用仪器的使用方法，以对同学们学习电子电路实验有所帮助。

教材中引进了结合实验内容的原理部分，若课堂上已经讲过的内容同学可以不看原理部分，只看操作和要求部分。由于编写时考虑内容力求全面，故使有些实验内容较多，教师可按实验条件，学生实际情况自行取舍。

本教材由中山大学电子系第一教研室电子电路实验教学组，在多年电子电路实验教学经验的基础上编写于1979年，由邓珏璞同志主编。实验一、二、三、四、五、六、十一、十八由邓珏璞同志编；实验七、八、十二、由林镇材同志编；实验九、十六、十七、十八由陈学泮同志编；实验十、十三、十四、十五、二十由庞杰才同志编。

本修改稿由电子系付主任赖德锦同志主持审稿，本教学组的何应麟同志、吕志民同志、陈汝和同志、唐锦成同志参加审稿，对修改稿提出了许多宝贵意见。

由于我们水平有限，修改时间仓促，教材中一定会有错误和不妥之处，希望同志们批判指正。

目 录

绪言:

实验一示波器的使用	(4)
实验二低频电压表的使用	(11)
实验三晶体管特性图示仪的使用	(16)
实验四单级阻容耦合放大器	(28)
实验五阻容耦合放大器的设计与测试	(37)
实验六负反馈放大器	(51)
实验七互补对称式功率放大器	(65)
实验八差动式直流放大器	(70)
实验九集成运算放大器的应用	(75)
实验十晶体管直流稳压电路	(83)
实验十一高频信号发生器和同步示波器的使用	(91)
实验十二文氏桥振荡器(RC振荡器)	(96)
实验十三LC正弦振荡器	(100)
实验十四调幅与检波	(104)
实验十五晶体管超外差收音机的调整	(114)
实验十六双稳态触发器	(120)
实验十七多谐振荡器与脉冲波形变换	(125)
实验十八锯齿波的产生与同步	(130)
实验十九TTL“与非”门电路参数测试	(136)
实验二十数字式计数器及其应用	(144)
附录一焊接技术简介	(153)
附录二电路元件介绍	(155)
附录三部分电子仪器使用说明	(169)

緒 言

一、实验意义

电子线路是理科各专业的基础课又是工具课。由于这门课的技术性很强，为了学好这门课，理论课和实验课必须同时进行，作到互相配合，相互补充，对于任何一方面的忽视都是不能学好这一门科学的。理论课可以把前人总结的科学规律，一个个的电子线路的工作原理和设计计算方法很详细的讲授。而实验课则是训练学生的实验操作技能，即学习怎样安装、调整和检验所学过的基本电路，并培养学生能正确分析实验结果和处理实验数据，写出实验报告等；通过实验还可以帮助同学验证，消化和巩固所学过的基本理论，并学会运用理论处理实际问题。“只有人们的社会实践，才是人们对外界认识的真理性的标准。”“通过实践而发现真理，又通过实践而证实真理和发展真理……”所以我们除了学习理论课外，还必须学习实验课，通过亲自去实践才能真正掌握它。

二、实验课的目的

1. 通过实验进一步深入理解理论知识。
2. 熟悉电子线路中常用元器件（例如晶体管，线性集成电路，数字集成电路、电阻，电容……等等）了解它们的特征，性能和使用时的注意事项，并初步掌握各元器件的特征和参数的测量方法。
3. 初步掌握各电路中的电流、电压、功率，放大倍数，输入阻抗，输出阻抗和脉冲幅度，宽度、周期……等等的测量方法。
4. 了解和正确使用一般常用的电子仪器，例如电子管毫伏表，晶体管稳压电源、高、低频信号发生器，示波器……等等。
5. 对简单的电子线路能根据电性能要求，合理地安排元件和正确地进行安装焊接，初步学会电子电路的设计，调整和检验的方法与步骤。
6. 通过实验培养同学分析问题和解决问题的能力，例如学习排除故障的基本知识，正确的解释实验中出现的物理现象等等。
7. 通过总结实验报告，学会判断实验的正确与否，对实验误差能进行定性分析。

三、实验进行中注意事项与安全操作规则

实验工作是科学研究的一个重要部分，因此首先必须有科学的态度，同时要注意安全操作，因此特订出如下几条安全操作规则供大家遵守。

1.进实验室要穿胶鞋，注意人身安全，不要随便接触市电，以免发生触电事故，如果发生触电事故，周围的同志应立即拔掉总电源。

2.爱护国家财产，在未弄懂仪器的使用方法之前不要随便通电以免损坏；不要随便旋转不使用的仪器旋钮；尽量节省消耗性物资，如仪器发生故障，应立即报告教员方可更换。如仪器设备、材料发生损坏，应向老师办理事故登记和处理手续。

3.实验完毕后要实验报告，这是进行科学实验不可缺少的环节，方法是：准备一本专门记录测量结果的笔记本，忠实记录实验所测数据，并把实验过程中发生的现象、心得、经验教训记录下来，将测量结果在实验后整理写成报告，交由教师改阅，在第二次实验时交第一次（前一次的）实验报告。

4.测量前应考虑合理布置好仪器设备的位置，以利于调节和读取读数，减少干扰来源，然后方可接线，接好线后应检查一遍才通电进行测量。

5.实验完毕，应整理好仪器用具，捆好导线，搞好清洁，在实验牌上签名，并经教师检查数据和实验仪器、工具，由教师再签名后方可离开实验室。

四、无线电测量概述

1.无线电测量的特点：

无线电测量的主要任务是测量无线电技术中全部频率范围内的一切电气特性，它与电学测量，电工测量比较，有许多不同的特点，因此必须根据自身的特点，选择测量方法和测量仪器。其特点如下：

(1)频率范围极其广阔。无线电所用频率范围，通常低自十分之几(10^{-1})赫，以至高达几万兆(10^{10})赫，或更高，因此一般电工仪表如电磁式、电动式仪表就不能单独使用，必须配备无线电本身所用的特殊仪器才能测量，而且被测量的频率范围不同，所用仪器也不同，例如一般万用表可以测量市电50周220V的交流电。但如果被测的是20千赫的音频电压，万用电表就不能胜任了。测出的结果误差很大，必须采用频率范围高一些的电子管（或晶体管）电压表了。所以工作者必须根据这一频率范围宽的特点，视被测量频率范围，正确选用测量仪器，否则得不到准确的结果。

(2)量程宽：例如电压自几微伏(10^{-6})，以至高达几十万伏(10^8)。又如功率，被测量最弱为几微瓦(10^{-6})到最强为几十兆瓦(10^9)，量程共达 10^{15} 之广。由于量程广，人们不能用最大量程为1V的电压表去测量毫伏级的电压，所以不同的被测量，要选不同的电子管电压表（或晶体管电压表），否则得不到真实的结果。

(3)被测系统一般都具有较高的输入阻抗：因此要求测量仪器要有更高的输入阻抗，否则接入被测系统会引起分路作用，使测量结果不准确，同时还要注意无线电测量中，当被测量的频率很高时，还要要求测量仪器的输入电容要小，因为输入电容已经构成输入阻抗的一部分，起到主要分流作用了。

此外，由于被测信号微弱，除要求测量仪器的灵敏度要高，和输入阻抗要大外，往往在测量过程中，容易受到不同程度的外界干扰，这些干扰有时会严重地影响到测量的正常进行，因此，测量时还必须很好的考虑如何避免干扰的影响问题。

2. 测量误差:

无线电测量和其它测量一样,对于任何一次测量总是有误差的,即使我们使用准确的仪器,极其精细地进行测量,所得的结果也永远不一定是被测量的真实值,而只是它的近似值。测量误差,是由各式各样的原因产生的,要完全掌握并消除一切测量误差的来源是不可能的。实践告诉我们,不同的误差来源,在测量过程中出现的方式也各不相同。

测量误差是判断测量准确度的依据,测量结果的误差愈小,则测量的准确度愈高,因此要提高准确度,只有在实践中才能掌握产生测量误差的原因及其规律,并与之斗争以提高测量精度。

误差的计算,实验数据的处理,在物理实验中已很详细的介绍了。我们这里不再重复,电子线路实验的数据处理完全和物理实验一样,只是要提出的是,电子线路的测量误差在一般情况下约10%左右。

3. 提高电子线路测量准确度的方法简介:

①消除系统误差:

(A)检查系统误差的来源

系统误差不被人知道地存在着时,是最可怕的,它严重地影响到测量的准确度,因此,在进行测量之前,必须检查一下所有可能产生系统误差的来源,并设法消除它,或者决定它的大小,也就是说应当预先校对好所有的测量仪器,并将被测电路的各元件数值校准,然后决定出各种不同外界因素对于读数的影响,给予适当的修正。此外,还应细心地做好仪器的测量准备工作,以消除误差的来源(例如,减小接线长度,按要求严格地水平或垂直地装置指示仪)。

(B)改善测量方法:

在可能的场合中,为了消除固定性的系统误差,可以采用下面的方法之一:代替法,补偿法和对照法。

(C)正确选择仪器:

正确地选择仪器的类型,可以大大地减小系统误差,在选择仪器时,不仅应考虑被测系统和被测量量的性质,而且还要考虑进行测量时所用的频率,被测量的大小,以及将在怎样的环境条件下进行测量。

②多次重复测量,减少偶然误差。

实验一、示波器的使用

一、实验目的

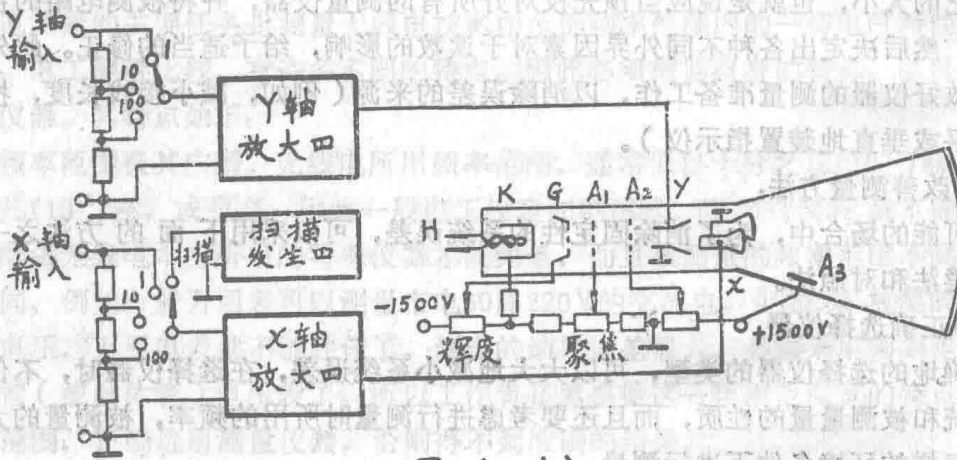
掌握示波器的基本特性。

熟练掌握示波器的使用方法。

二、实验原理

1. 示波器结构

示波器是用来观察被模拟成电信号的各种物理图象的一种电子仪器。一般示波器包括有：示波管、Y轴放大器、X轴放大器、扫描发生器及电源五个主要部分，其结构方框图如(图1.1)所示。



图(1.1)

示波管是示波器的核心，它包括电子枪、偏转系统及荧光屏三部分。电子枪包括旁热式阴极K，加热阴极用的灯丝H，控制栅极G，第一阳极A₁，第二阳极A₂和第三阳极A₃（A₃的作用是使电子再度加速及吸收荧光粉的二次发射电子）。阴极发射出电子流经控制栅极的限流和第一阳极与第二阳极的加速聚焦，形成很细的具有一定能量的电子束，打到荧光屏上激发荧光物质发光。通常A₂的电势高于A₁，而A₁上的电势高于K，这样能对阴极发射出的电子加速，且因A₁和A₂组成一个电子透镜，使电子束聚焦，故改变第一阳极(A₁)电势就可以改变聚焦情况，这叫做聚焦调节。另外由于控制栅G上的电势比阴极低，因而调节G的电势就能控制射向荧光屏的电子流密度，从而控制荧光屏上光点亮度，这叫做辉度调节。由于X偏转板（水平）和Y偏转板（垂直）组成静电偏转系统，在偏

转板间加上电势差，则偏转板间形成电场。当电子束进入偏转板间就会受到垂直于运动方向的电场力的作用，使电子束运动轨迹偏离轴线。因此，当X、Y偏转板上加上不同电压时，荧光屏上亮点可以到达屏面上任一位置。

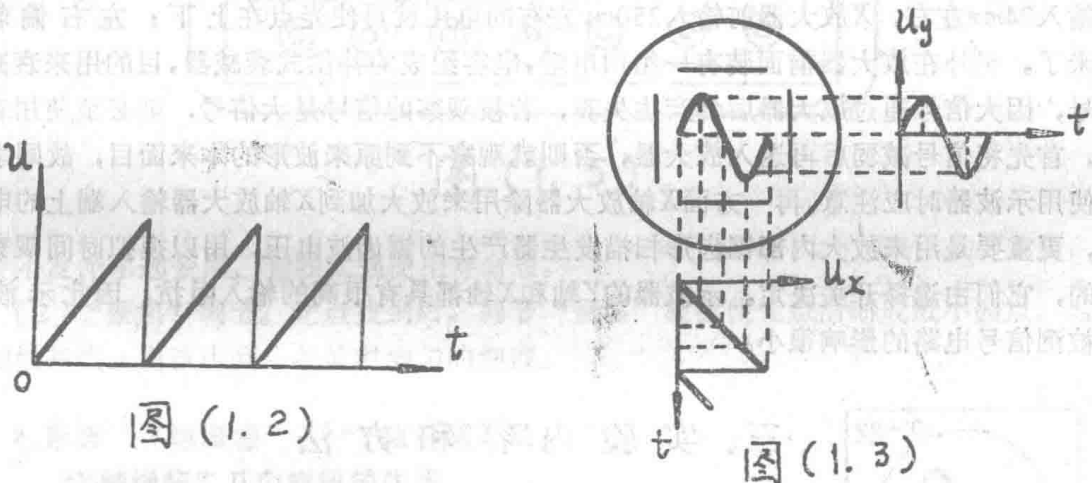
荧光屏内表面上涂有荧光粉，它是非导体，电子束轰击荧光粉激发产生光点，荧光粉从激发停止时的瞬间亮度下降到该亮度的10%所经过的时间称为余辉时间。荧光粉的成份不同，其余辉时间也不同。为了适应不同需要，一般可分为长余辉（100毫秒—1秒），中余辉（1毫秒—100毫秒）短余辉（1微秒—10微秒）等不同规格。

Y放大器和X放大器中包括衰减器和放大电路，用以使外加信号电压适合示波管的偏转灵敏度。

扫描发生器包括锯齿波发生器及同步电路*和抹迹电路，用以提供线性的扫描电压，通过X放大器后加到X轴偏转板上。

2. 示波器显示波形的原理

如果在Y偏转板上加上被测信号电压，X偏转板上加上锯齿形扫描电压，由于锯齿电压是在一定范围与时间成正比的线性电压，因此X轴被模拟成时间轴，如（图1.2）所示。当电子束进入偏转区后同时受到Y方向和X方向偏转电压的作用，在荧光屏上将扫出被测信号电压随时间变化的波形图。（图1.3）为Y偏转板上加上正弦波电压，X偏转板上加上锯齿波电压所显示的波形的原理图。当正弦波电压周期 $T_{信}$ 与扫描电压周期 $T_{扫}$ 完



全相等时，正弦波电压变化一个周期光点扫描一次，所以电子束在每一周期里能在荧光屏上描绘出一个周期的正弦电压的波形图，而每次扫描的图形完全重合。若扫描电压周期为正弦波电压周期的两倍时（ $T_{扫} = 2T_{信}$ ）则屏上将出现两个周期的正弦电压波形图，若扫描电压周期为正弦波电压周期三倍时，荧光屏上将出现三个周期的正弦波波形图。如（图14.a), b), c)）所示。

注意！如果 $T_{扫}$ 与 $T_{信}$ 之间不是整数倍关系，则每次扫描的光点轨迹都不重合，因此无法在荧光屏上观察到清晰稳定的波形。由此可见要在荧光屏上显示出稳定的被测信号电压的波形，必须使扫描电压周期为被测信号电压周期的整数倍，即 $T_{扫} = NT_{信}$ ， N 为

正整数。但实际上扫描电压与被测信号电压来自两个不同信号源，周期的整数倍关系不可能在长时间内保持绝对准确。因此，即使一开始出现整数倍关系，但稍后在屏上将出现波形的移动和重迭现象，如〔图1.4 d), e)〕。

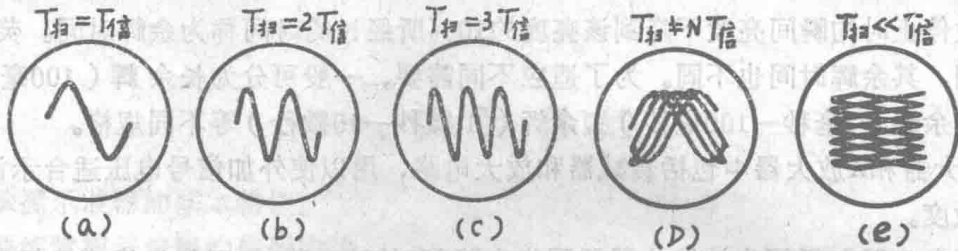


图 (1.4)

为了能清晰地观察被测信号，必须设法强迫扫描电压的周期与被测信号的周期成整数倍，这种作用在习惯上称为同步。在示波器中实现这一功能的电路称为同步电路。

为了使示波器既能观察微弱信号，也能观察大信号，因此，Y轴和X轴都装有放大倍数很高，且可调的放大器、用以放大微弱信号，以提高灵敏度。因此根据示波管的性能，Y偏转板的灵敏度为 $24V/cm$ ，那么，当Y放大器的总放大倍数 $K_{vy} > 10^3$ 倍时，示波器的灵敏度提高为 $24mv/cm$ ；而X偏转板的灵敏度为 $25v/cm$ ，通常X放大器的总放大倍数 $K_{vx} > 10^2$ 以上，故示波器X轴的灵敏度提高到了 $250mv/cm$ 。即是说只需要在Y放大器前输入 $24mv$ 左右，X放大器前输入 $250mv$ 左右的电压就可使光点在上下，左右偏转1厘米了。另外在放大器前面装有一组由电阻，电容组成的补偿式衰减器，目的用来衰减大信号，因大信号通过放大器后会产生失真，若被观察的信号是大信号，则必须使用衰减器，首先将信号减弱后再送入放大器，否则就观察不到原来波形的本来面目，故同学们在使用示波器时应注意。再一方面X轴放大器除用来放大加到X轴放大器输入端上的电压外，更重要是用来放大内部锯齿形扫描发生器产生的锯齿波电压，用以模拟时间观察波形的，它们由选择开关决定。示波器的Y轴和X轴都具有很高的输入阻抗，因此示波器对被测信号电路的影响很小。

三、实验内容和方法

(图1.5)是国产SB—10型示波器的面板图，下面介绍其使用方法：

1. 熟悉“辉度”“聚焦”及“位置”旋钮的作用

(1) 开启电源预热几分钟后，调节“辉度”旋钮，加大光点亮度，如果看不到光点亮度，可以转动“X轴位置”和“Y轴位置”两旋钮来找到光点（注意：将“X轴衰减”旋钮不要放在扫描上，X和Y增幅旋钮应转到零），并将光点移到屏中间。假若“X轴衰减”旋钮仍放在扫描上，“X轴增幅”旋钮放在0—2之间，则屏上应出现一条水平的扫描基线。通常在找光点时辉度可以加大，当找到以后辉度应减小一点以看见为适中，不要太亮，或把光点停留在一点上而时间又过长，就容易使荧光粉疲劳，以后此点

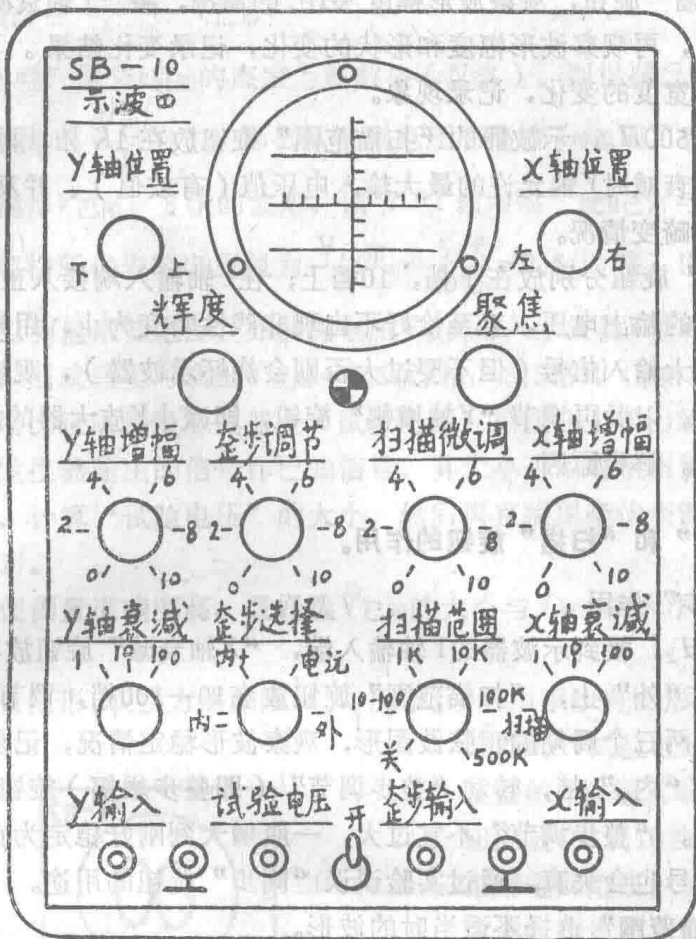


图 (1.5)

就会不发光永远变黑，光线太强使用寿命短。

(2) “聚焦”调节。光点找到后，调节“聚焦”旋钮使光点清晰成最小园点。若调节扫描基线，应该达到一条清晰均匀的细线。

2. 熟悉“Y轴增幅”，“Y轴衰减”及“X轴增幅”几个旋钮的作用。

将低频信号发生器的输出电压作为被测信号 f 信，接至示波器的“Y轴输入”接线柱上，示波器的“X轴衰减”旋钮放在扫描上(如图(1.6)所示)。

(1) 选用 $f_{信} = 100\text{Hz}$ ，示波器的“扫描范围”旋钮放在10—100档，“整步选择”旋钮放在“内+”上，“整步增幅”旋钮放适当大小。调节“扫描微调”使荧光屏上依次出现一个，二个、三个周期的正弦波形

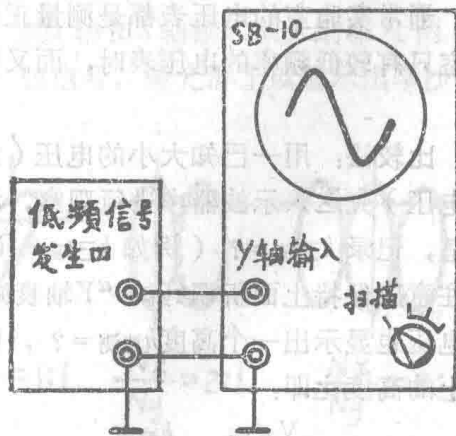


图 (1.6)

图。转动“Y轴增幅”旋钮，观察波形幅度变化的情况，将“Y轴衰减”旋钮分别放在1、10、100位置上，再观察波形幅度和形状的变化，记录变化结果。再转动“X轴增幅”旋钮观察波形宽度的变化，记录现象。

(2) 选用 $f_{信} = 500H_z$ ，示波器的“扫描范围”旋钮放在1K档，再重复上述步骤。

(3) 测量不同衰减时Y轴允许的最大输入电压值（有效值），并观察当输入超过这个电压值后波形的畸变情况。

将“Y轴衰减”旋钮分别放在1档，10档上，在Y轴输入端接入正弦信号，逐步加大低频信号发生器的输出电压，直至恰好不出现非线性畸变为止，用毫伏表测出输入电压值。然后继续加大输入信号（但不要过大否则会烧坏示波器），观察荧光屏上使波形刚好出现畸变为止。以后再调节“Y轴增幅”旋钮，即减小Y放大器的放大倍数，观察波形畸变是否消失。解释原因。

3. 熟悉“同步”和“扫描”旋钮的作用。

(1) 观察“同步”作用

选择 $f_{信} = 100H_z$ ，接到示波器的Y轴输入端，“X轴衰减”旋钮放在扫描上，“整步选择”旋钮放在“外”上，“扫描范围”旋钮放在10—100档，调节“扫描微调”旋钮使荧光屏上出现两三个周期的正弦波图形，观察波形稳定情况，记录现象。然后再将“整步选择”放在“内”档，转动“整步调节”（即整步增幅）旋钮从零向大变化，观察波形稳定情况。“整步调节”不宜过大，一般增大到刚好稳定为止，否则锯齿波会变形，被观察的信号也会失真。通过实验谈谈“同步”旋钮的用途。

(2) 观察“扫描范围”选择不适当时的波形。

(a) 当 $f_{信} \gg f_{扫}$ 。选用 $f_{信} = 10KH_z$ ，“扫描范围”旋钮放在10—100档上，观察荧光屏上的波形图。记录波形形状。

(b) 当 $f_{信} \ll f_{扫}$ 。选用 $f_{信} = 200H_z$ ，“扫描范围”旋钮放在10KH_z档上，观察荧光屏上的波形图，记录波形形状。

4. 用比较法使用示波器测量交流电压

通常实验室的电压表都是测量正弦电压有效值的，当被测电压是非正弦波时，或实验室只有较低频率的电压表时，而又要测量较高频率的电压，就可以用示波器进行测量。

比较法：用一已知大小的电压（或用低频电压表可测的电压，例如低频信号发生器的电压）先送入示波器中进行观察，调节“Y轴衰减”和“Y轴增幅”旋钮使信号的高度合适，记录 $h_{已知} = ?$ （例如 $h_{已知} = 10格 = 10cm$ ）。然后再将被测电压送入示波器观察（注意应保持上面所调好的“Y轴衰减”和“Y轴增幅”旋钮的位置不变），此时，被测电压也显示出一个高度 $h_{被测} = ?$ ，则被测电压与已知电压之比就等于它们先后在示波器上的高度比即：

$$\frac{V_{被测}}{V_{已知}} = \frac{h_{被测}}{h_{已知}}$$

因此只要记录了两个高度，再用电压表测出已知电压的大小，则被测电压的大小为：

$$V_{\text{被测}} = \frac{h_{\text{被测}}}{h_{\text{已知}}} V_{\text{已知}}$$

若用“Y轴增幅”调节 $h_{\text{已知}}$ 的高度为整数格(N 格),则根据已知电压大小可确定Y轴每格代表多少伏($\frac{V_{\text{已知}}}{N}$),那么从被测电压的高度 $h_{\text{被测}}$ 则可直接读出 $V_{\text{被测}}$ 电压的大小。例如若测得 $V_{\text{已知}} = 5$ 伏的波形,调节“Y轴增幅”使 $h_{\text{已知}} = 10$ 格,则可定出示波器在此时的每格所代表的电压值为 $\frac{V_{\text{已知}}}{N} = \frac{5 \text{伏}}{10 \text{格}} = 0.5 \text{伏/格}$,以后不要再改变“Y轴增幅”旋钮用以测量未知电压,如被测电压 $V_{\text{被测}}$ 送入示波器Y轴后观察到它的高度为 $h_{\text{被测}} = 3.5$ 格,则就马上可读出 $V_{\text{被测}} = 0.5 \text{伏/格} \times 3.5 \text{格} = 1.75 \text{伏}$ 。

实验内容:用比较法测量示波器上“试验电压”接线柱上输出的电压大小。

将低频信号发生器输出的信号作已知信号,其大小可用毫伏表测量。再用“试验电压”作被测信号,计算“试验电压”的大小,然后再直接用毫伏表测量“试验电压”的大小,看是否测对。

注意:为了使测量准确度高,最好选 $V_{\text{已知}}$ 的大小与 $V_{\text{被测}}$ 的大小接近,即使 $h_{\text{已知}}$ 和 $h_{\text{被测}}$ 高度接近。

5 观察李沙育图形,联接方法如图(1.7)所示。学习用李沙育图形法测量频率。将示波器的“试验电压”端用导线接至示波器的X轴输入端,“X轴衰减”旋钮应放在1或10档上,因试验电压是市用电网电压,其频率为 $50H_z$ 的正弦波,这里把它作已知频率的标准信号,然后将低频信号发生器的输出电压作为被测信号 $f_{\text{信}}$ 接至示波器的Y轴输入端。分别选择 $f_{\text{信}} = 50H_z$ 、 $100H_z$ 、 $150H_z$ 、观察三种情况下的李沙育图形。

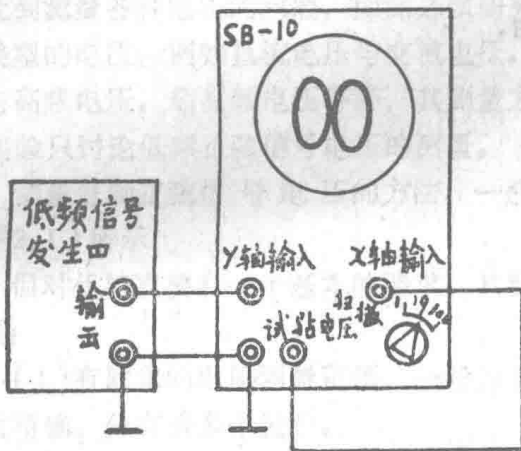


图 (1.7)

这些图形告诉人们,在示波器的Y轴和X轴输入端分别输入两个正弦信号,荧光屏上就显示出李沙育图形如图(1.7),当两个信号频率相同时,其李沙育图形为一条直线、一个圆或一个椭圆。当两个频率成简单整数比时,对应于不同的频率比可以产生不同的图形如图(1.8)所示。若频率不是简单的整数比时,在荧光屏上就不能形成一个简单清楚的图形。

用李沙育图形测量频率主要是把未知频率的信号(通常加在示波器的Y轴

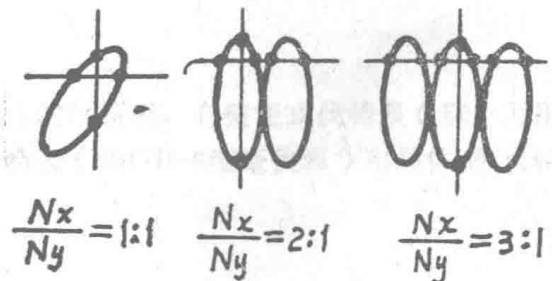


图 (1.8)

输入端)与已知频率的标准信号(通常加在示波器的X轴输入端)进行比较。利用李沙育图形可以决定两信号的频率比,然后根据频率比从已知频率求出未知频率。决定比值的方法是:在李沙育图形的水平和垂直方向上作两条互相垂直的线,这两条线都不通过李沙育图形的任何一个交点。数出水平直线与李沙育图形的交点数目 N_x 和垂直直线与李沙育图形的交点数目 N_y , 两个交点数目之比就是频率比即:

$$\frac{N_y}{N_x} = \frac{f_x}{f_y}, \quad f_y = \frac{N_x}{N_y} \cdot f_x$$

李沙育图形法比较适用于测量较低的频率范围。

四、实验预习要求:

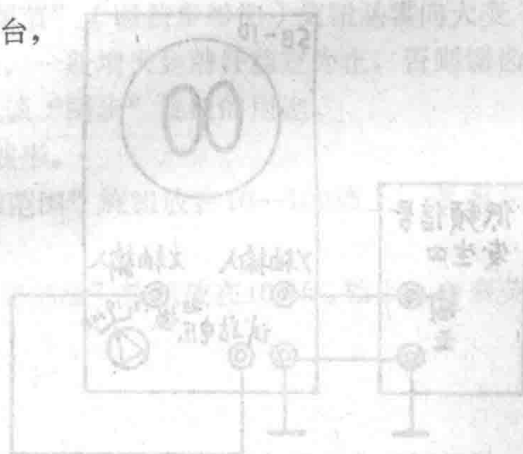
- 1.了解SB-10示波器的使用方法,记清各旋钮的用途。
- 2.理解示波器显示波形的原理。
- 3.熟悉用李沙育图形法测量频率。
- 4.熟悉用比较法测量电压。

五、实验报告要求:

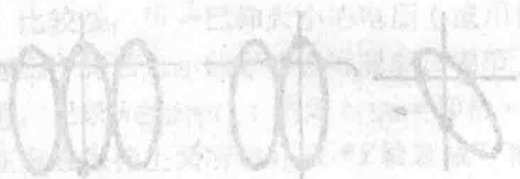
- 1.记录观察到的波形图及现象,解释原因?
- 2.从实验结果总结出如何正确使用示波器?

六、实验仪器:

SB-10示波器一台,低频信号发生器一台,
毫伏表 一台 万用电表一台



(5.1) 图



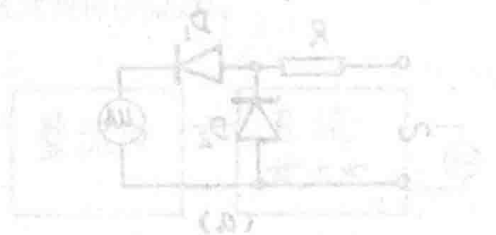
$$1:1 = \frac{N_x}{N_y}, \quad 1:2 = \frac{N_x}{N_y}, \quad 1:3 = \frac{N_x}{N_y}$$

(8.1) 图

实验二 低频电压表的使用

一、实验目的

1. 学习测量低频正弦信号电压的方法。
2. 了解测量仪表对被测电路的影响。
3. 学会根据测量要求，正确选用测量仪表。
4. 学习电子管毫伏表的使用方法。



二、实验原理

1. 概述:

在电子技术中，因为测量电压比较方便，测量精度也比较高，并且可以用测量电压的方法来间接测量电流，电路品质因数(Q值)等很多其他电路参量，所以实验室中多数是迂到测量各种电压的问题，因此必须研究测量电压的方法和应该注意的问题。对于不同类型的电压，例如直流电压与交流电压，正弦信号电压与非正弦信号的电压，低频电压与高频电压，超高频电压等等，其测量方法和所使用的测量仪表，都是很不相同的。本实验只讨论低频正弦信号电压的测量。

测量低频正弦信号电压的方法，一般都用伏特表并联在被测电路上直接读数。如(图2.1)所示

但对伏特表要有一个基本的要求，其要求是:

(1) 有较宽的电压测量范围，一般为了读数精确，分有很多个量程。

(2) 频率响应平直，即在一个宽的频率范围里保证测量的一致性。

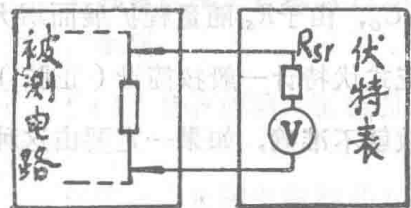
(3) 输入阻抗高，即尽可能对被测电路影响小些。

(4) 有较高的灵敏度与稳定性。

因此，实验室里常用的测量低频正弦电压的伏特表，有整流式伏特表(例、万用表的交流电压档)，以及各种类型的电子管伏特表(例GB-9型毫伏表)和晶体管伏特表(例DA-16型晶体管毫伏表)等。

2. 几种常用伏特表的介绍

(1) 整流式伏特表(万用表的交流电压档)



图(2.1)

电子技术实验室中，所用的整流式伏特表是组装在万用表里的，它由整流器，磁电式电流计和限流电阻构成。其原理图如（图2,2）所示

被测低频信号电压，经电阻R降压，二极管整流后，由电流计指示被测电压值。其中整流电路有采用半波整流电路（图2,2a），由二极管D₁整流；接入二极管D₂可以免除反向电压击穿D₁，但是，接入D₂使整流器的输入电容增大。另外也有采用桥式整流电路（图2,2b）

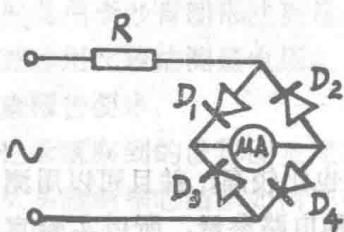
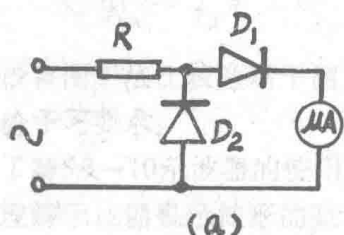


图 (2.2)

整流式伏特表的灵敏度以欧/伏表示。即表示测量1单位电压使表头满偏转所需的电流，此电流愈小，则灵敏度愈高，它的大小主要取决于电流计的灵敏度与整流器的效率*，例如表头的灵敏度，即满偏转电流为100μA，整流器效率为45%，则整流式伏特表的灵敏度为4500欧/伏。

一般整流式伏特表，可以测量1伏以上的电压，加大串联电阻R，可扩大量程。其输入电阻与量程有关，量程愈大，则输入电阻愈大。例如灵敏度为5千欧/伏的整流式伏特表，在10伏量程档，其输入电阻R_{sr}为10×5千欧/伏=50千欧。

如果没有隔直电容，它的下限测量频率很低，约为10赫芝以下，如果测量含有直流成分的被测电压，需要在输入端接一个隔直电容C_c（一般C_c>0.1μf），此时，下限频率由时间常数τ_d决定，τ_d=R_{sr}·C_c。τ_d愈大，则下限频率愈低。

整流式伏特计的上限测量频率与整流器的输入电容C_o有关，取决于时间常数τ_g。τ_g=R_{sr}·C_o，由于R_{sr}随量程扩展而增大，所以上限测量频率随量程扩展而下降。

整流式伏特计一般按简谐（正弦）电压的有效值刻度，当被测电压是非正弦电压时，读数就不准确，如果一定要由这种仪器测量非正弦电压，则测量结果必须作相应的修正。

由于整流式伏特表不需要另外的电源，一般体积小，使用方便。在实验室里使用极为普遍，但是由于适用的频率范围窄，若测量频率为1千赫芝以上的电压时，将引入较大的测量误差。输入阻抗也较低，不适合测量阻抗较高的电路。且灵敏度较低，不宜于测量小电压，仪器量程最低只能做到1伏，若用电流表档代，则可做到0.5伏，但内阻

* 整流器效率K₀=η×K×100%。其中η为整流管效率，K为整流因子，而整流管效率η=1-
正向电阻 / 反向电阻。对于氧化铜整流器η=0.98，锗=极管，η=0.98~1.00，硅二极管η=1.00。定义整流
因子K= 整流后的平均电压 / 整流前的有效电压。对于半波整流器，K=0.45，所以，对于用硅二极管的半波整流
器，K₀=η×K×100%≈45%。

太小会分流被测系统，使测量结果误差太大，一般最好使用5伏，10伏档以上。因此，使用时应注意判断，以免引入大的测量误差。

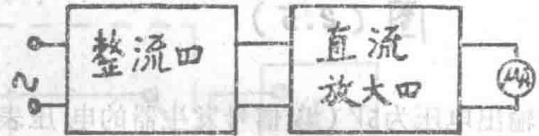
(2) 电子伏特表(毫伏表)

电子管伏特表与晶体管伏特表，我们总称其为电子伏特表。各类电子伏特表具有频率范围宽，输入阻抗高，灵敏度高等一系列优点。与整流式伏特计一样是实验室里常用的仪器。

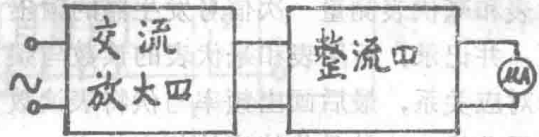
电子伏特表，分整流—放大式与放大—整流式两种(图2,3)。

但因整流—放大式伏特表(例如电子管繁用表)的测量范围一般为0.5伏—300伏，而晶体管电路中经常需要测量毫伏数量级的电压，所以用得较少。而用得更多的是放大—整流式伏特表，它的量程可从1毫伏到300伏，由于能测量毫伏数量级的电压，故又称为毫伏表。

毫伏表灵敏度高，输入阻抗 Z_{sr} 也较高，一般 Z_{sr} 即是其中交流放大器的输入阻抗，其输入电阻在500千欧左右，输入电容约为40PF—70PF。它的频率范围，主要取决于放大器的频率响应，一般为25赫芝—200千赫芝。毫伏表也只能测量正弦电压(且以有效值刻度)。

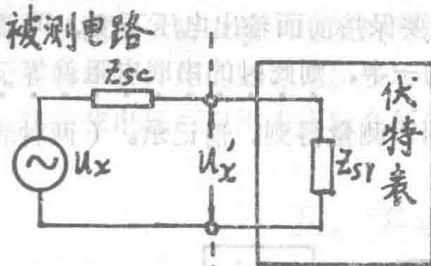


(a) 整流—放大式



(b) 放大—整流式

图(2.3)



图(2.4)

3. 测量低频正弦电压应该注意的事项

(1) 伏特表的输入阻抗引入的测量误差。

任何一个被测电路都可用(图2,4)虚线左边所示的电路等效， Z_{sc} 为被测电路的输出阻抗。由于伏特表输入阻抗 Z_{sr} 存在而引入的测量误差为

$$\frac{\Delta U_x}{U_x} = \frac{U_x - U'_x}{U_x} = \left| \frac{Z_{sc}}{Z_{sc} + Z_{sr}} \right|$$

所以当 Z_{sr} 相对于 Z_{sc} 愈大时，测量误差愈小，因此，当选用伏特表时应考虑输入阻抗与被测电路输出阻抗的大小关系。否则将引起较大的误差。

例如用伏特计测量谐振电路时，因谐振电路并联等效阻抗很大，伏特表的输入阻抗将使谐振电路的品质因数下降，谐振频率也因其输入电容影响而降低(图2,5)所示。

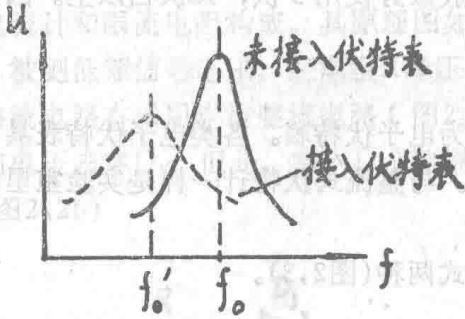


图 (2.5)

按(图2,6)联接线路, 固定低频信号发生器的输出电压为 $5V$ (以信号发生器的电压表为准), 分别测量整流式伏特表 (万用表) 和放大一整流式伏特表 (毫伏表) 的频率响应。方法是: 逐点改变信号发生器的频率 (由 $20H_E$ — $200KH_E$), 每改变一点, 分别用万用表和毫伏表测量一次信号发生器的输出电压, 并记录, 万用表和毫伏表的读数与频率的对应关系, 最后画出频率与伏特表读数的关系曲线, 这就是伏特表的频率响应。

三、实验内容和方法

1. 测量伏特表的频率响应

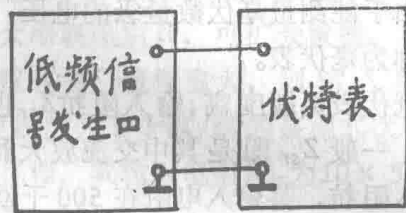


图 (2.6)

2. 测量伏特表的输入阻抗

按(图2,7)联接线路, 测量整流式伏特表 (万用表) 和放大一整流式伏特表 (毫伏表) 的输入电阻。测量时, 用低频信号发生器作电压源使信号发生器输出 $f = 1000H_z$ 的信号, 先联成(图2,7a)调节信号发生器的输出电压使电表读数为满度, 然后再按(图2,7b)联接, 相当于输入回路串联了一个可变电阻 R , 但要保持前面输出电压不变, 再调节可变电阻 R 的大小, 使伏特表的读数下降为原满度的一半, 则此时的串联电阻就等于伏特表的输入电阻。此串联电阻的大小, 可取下用万用表测量得到。请记录。(两种表分别做一次)。

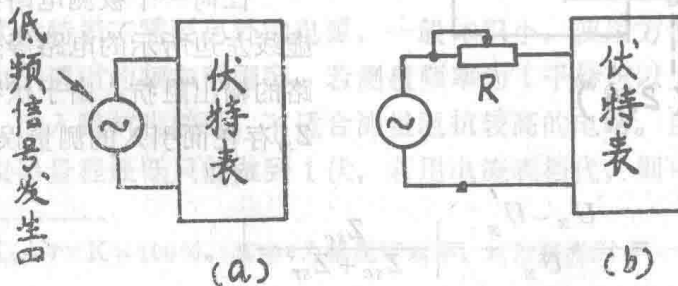


图 (2.7)

改变伏特表量程〔万用表 $10V, 50V$; 毫伏表 $10V, 30V$, 〕两种情况下重复上述测量, 比较测量结果。