

电工电子技术 实验指导书



台州学院

电子与信息工程学院计算机系

2024.9

目录

第 1 章 绪论	1
1.1 课程性质与任务	1
1.2 误差分析与数据处理	2
1.3 基本实验规程	7
第 2 章 常用仪器仪表简介	11
2.1 数字万用表	11
2.2 函数信号发生器	15
2.3 示波器	17
第 3 章 实验项目	24
3.1 电路元件伏安特性的测量	24
3.2 叠加定理的验证	28
3.3 单级晶体管放大电路	30
3.4 基本运算电路及其应用	34
3.5 组合逻辑电路实验验证与设计	38
3.6 计数、译码及显示电路实验	43

第1章 绪论

1.1 课程性质与任务

随着我国高等教育的不断普及和电类学科的多领域渗透，对课程体系建设必然提出了更新更高的要求。我们认为，在电类基础学科的实践环节，应该模糊电类和非电类专业界限，敷设全方位多层次结构，扩展多元化功能。目前，本科教育正由精英化教育模式向大众化、普及化教育模式转变，生源队伍的多层次结构已经形成。同时，随着社会的发展和进步，对人才的需求已不再是少数高尖端研究型人才，大量的各种层面上的应用型人才同样受到青睐。

为此，我们明确了实验课程的设置原则：

(1)全方位，即在课程体系中的课程群架构和知识型结构等方面与实践环节要有接口和反馈，要有核心和辐射，要有关键和路线。

(2)多层次，即运用“宝塔式”设计思想优化选择实验内容，分基础验证型实验、辅助提高型实验、综合设计型实验和自主创新型实验等几个层次。

(3)多样式，即可以采用引导式、自主式和开放式等形式，并根据授课条件和授课对象的不同，灵活地将各种形式进行有机组合，注重与网络化、虚拟化实验融合。

实验课程的基本任务是使学生在“基本实践知识、基本实践理论和基本实践技能”三方面得到较为系统的学习和训练，逐步培养他们“爱实验、敢实验、会实验”，从而做到善于观察、善于发现、善于思考、善于分析、善于动手、善于合作、善于交流、善于创造和善于总结。

1.2 误差分析与数据处理

在实验中，任何测量都不可避免地存在误差，对测量结果进行误差分析与数据处理是必要的。分析误差的基本性质可以有效指导测试方法和测试技巧，充分提高测量准确度；通过分析产生误差的根源，可以显著减小、消除或者确定误差对测量结果的影响；对测量结果进行正确的数据处理，可以进一步得到更近于真值的数据。

1.2.1 误差的基本概念

1. 测量误差的表示方法

(1) 绝对误差

如果用 X_0 表示被测量的真值， X 表示测量仪器的示值，则绝对误差为

$$\Delta X = X - X_0$$

所谓真值即被测量的实际值，是一个理想的概念，一般是无法测知的，通常用高一级标准测量仪器所测得的值近似作为真值。在实际工作中，还经常使用修正值，即将测得值加修正值后可得到近似真值，可见修正值仅仅是绝对误差的负值而已。

(2) 相对误差

相对误差 δ_0 是绝对误差 ΔX 与被测量真值 X_0 的比值，常用百分数表示，即

$$\delta_0 = \frac{\Delta X}{X_0} \times 100\%$$

对于相同的被测量，绝对误差可以评定其测量精度的高低，但对于不同的被测量，评定其测量精度的高低不能采用绝对误差。所以，通常采用相对误差来评定测量精度。

(3) 容许误差(又称最大误差)

容许误差就是仪器仪表指针满刻度相对误差 δ_m 。如果用 δ_m 表示表头满刻度读数， $\Delta \delta_m$ 表示最大绝对误差(注意 $\Delta \delta_m$ 不一定出现在满刻度测量状态下)，则一般测量仪器仪表的准确度用 δ_m 表示。我国电工仪表按 δ_m 值分为 0.1、0.2、0.5、1、1.5、2.5 和 5 七个级别。

2. 测量误差的分类

根据测量误差的特点和性质，误差可分为三类：

(1) 系统误差

在同一条件下，多次测量同一量值时，绝对值和符号保持不变，或在条件改变时按一定规律变化的误差称为系统误差。

(2) 偶然误差(又称随机误差)

在同一条件下，多次测量同一量值时，绝对值和符号以不可预定方式变化着的误差称

为偶然误差。

(3)过失误差(又称粗大误差)

在一定条件下，测量值明显偏离真值的误差称为过失误差。

3.测量误差的来源

(1)仪器误差

仪器误差是指测量仪器本身电气或机械性能不完善所造成的误差，如校准误差、刻度误差等。

(2)人员误差

人员误差是指由于测量人员本身感觉器官和运动器官的限制所造成的误差。

(3)操作误差

操作误差是指在使用仪器过程中，因安装、布置、调节和使用不当所造成的误差。

(4)方法误差

方法误差是指由于采用近似的测量方法所造成的误差。例如，用伏安法测电阻时，若直接以电压表与电流表的示值比作为测量结果，忽略仪表本身内阻的影响，就会带来方法误差。

(5)环境误差

环境误差是指由于各种环境因素与要求的标准状态不一致所造成的误差。如温度、湿度、气压、振动、电磁场、声音、光照和放射等。

1.2.2 测量精度的提高

1.测量精度的概念

反映测量结果与真值接近程度的量称为精度，它与测量误差大小有关，误差小则精度高。一般精度可分为：

(1)准确度：反映系统误差的影响程度。

(2)精密度：反映偶然误差的影响程度。

(3)精确度：反映系统误差和偶然误差的综合影响程度。

2.提高测量精度的方法

(1)削弱和消除系统误差，以提高准确度。

首先要仔细分析各个系统误差的原因和特点，从中抓住主要的予以削弱和消除。一般从以下几个方面考虑：

①测量仪器的安放必须遵守使用规定，并注意避开过强外部电磁场影响。

②对于预先需要校准的仪器必须预先校准或确定其修正值，以便在测量结果中引入适当的补偿值来消除这部分误差。

③选择能满足测试要求的环境进行测量，一般要考虑温度、湿度、气压、振动和电磁场等因素。

④某些系统误差在一定条件下多次重复测量时给出的误差不定，这类系统误差可以用替代法或正负误差抵消法予以消除。

所谓替代法，即在测量时，先对被测量进行测量，记录测量数据；然后用一已知标准量代替被测量，改变已知被测量的数据，使得测量仪器恢复到记取的测量数据，这时已知标准量的数值就是被测量的数值。由于两者测量条件相同，因此可以消除包括仪器内部结构、各种外界因素和装置不完善等引起的系统误差。

所谓正负误差抵消法，即利用在相反的两种情况下分别进行测量使得两次测量所产生的误差等值异号，然后取两次测量结果的平均值，从而将误差抵消。

(2) 削弱偶然误差，以提高精密度。

偶然误差一般具有以下特征：

- ①绝对值相等，正负出现的几率相同；
- ②绝对值小的误差比绝对值大的误差出现的几率大；
- ③绝对值不会超过一定界限；
- ④随着测量次数的增加，偶然误差的算术平均值趋近于零；

由此可知，可以采用多次测量求平均值的办法减小偶然误差。但是已经有人证明，测量精度与测量次数的平方根成反比。因此，要显著地提高测量精度，必须付出较多的劳动，而且测量次数越多，越难保证测量条件的稳定，所以一般取测量次数为 10 就可以了。

(3) 剔除过失误差

首先找出可疑测得值，然后根据有关准则判断其可取性，属过失误差者予以剔除。过失误差的判断准则见有关参考文献。

1.2.3 误差计算及数据处理

1. 单次测量时的误差计算

在许多场合，测量只进行一次。测量方法有直接测量和间接测量两种。直接测量指直接对被测量进行测量；间接测量指通过测量与被测量有一定函数关系的其他量，然后换算到被测量的值。直接测量的误差计算显而易见。至于间接测量的误差计算，可通过下面计算公式得到

$$\Delta X = \frac{\partial f}{\partial A} \Delta A + \frac{\partial f}{\partial B} \Delta B + \frac{\partial f}{\partial C} \Delta C + \dots$$

其中：f 为被测量 X 与相关量 A、B、C 之间的函数关系， ΔA 、 ΔB 、 ΔC 分别为 A、B、C 的直接测量误差。

2.测量数据的处理

(1)有效数字的概念

在记录和计算数据时，必须掌握对有效数字的正确取舍。不能认为一个数据中的小点后面的位数越多，这个数据就越准确。一般测量的结果都是近视值，所以都应用有效数表示。所谓有效数字，是指左边第一个非零的数字开始直到最后一个数字为止所包含的字，一般称最右边的一个数字为欠准数字，其他数字为准确数字。

(2)有效数字的表示

有效数字只允许保留一个欠准数字，欠准数字可以是零。如果用 10 的幂来表示，则前面的数字都是有效数字。例如， 12.70×10^5 。表明有效数由准确数字 1、2、7 和欠准数字 0 四位组成。

对于具有无限位数的有效数字，在运算时，可根据需要取适当的位数。

3.有效数字的处理

在一般的数字计算中，都简单地采用“四舍五入”原则，但会带来较大的累计误差，所以在许多要求较高的测量计算过程中，一般采用的办法是：当数字为 5，而 5 之后有不 0 的数字时，则舍 5 进 1；当 5 之后无数字或为 0 时，再看 5 前面的一个数字若为奇数，则舍 5 进 1，若为偶数，则舍 5 不进位。

4.有效数字的运算

(1)加减运算

将各数据所保留的小数点后的位数处理成与精度最差的数据相同，然后进行加减。例如，

$$\begin{array}{r} 127.31 \rightarrow 127.31 \\ 30.8465 \rightarrow 30.85 \\ 3.203 \rightarrow 3.20 \\ +0.007 \rightarrow 0.01 \\ \hline 161.37 \end{array}$$

(2)乘除运算

运算前对各数据处理以有效数字位数最少的为标准，所得积和商的有效数字位数应与有效数字位数最少的那个数据相同。

若有效数字位数最少的数据中，其最左边一位数字为 8 或 9。则其他有效数字位数应多保留一位。

例如，计算 $0.0121 \times 25.645 \times 1.057282$

因为，0.0121 为三位有效数字，位数最少，且最左边一位为 1，所以其他数据均处理

为三位有效数字：

$$25.645 \rightarrow 25.6$$

$$1.057282 \rightarrow 1.06 \text{ 所以, } 0.0121 \times 25.6 \times 1.06 = 0.3283456 \rightarrow 0.328$$

$$\text{又例如, 计算 } 0.0921 \times 25.645 \times 1.057282$$

因为, 0.0921 为三位有效数字, 位数最少, 且最左边一位为 9, 所以其他数据均处理为四位有效数字:

$$25.645 \rightarrow 25.64$$

$$1.05782 \rightarrow 1.058$$

$$\text{所以, } 0.0921 \times 25.64 \times 1.058 = 2.498407752 \rightarrow 2.50$$

1.3 基本实验规程

1.3.1 实验规则

实验室是进行科学实验的主要场所，为确保实验的顺利进行及人身和设备的安全，学员们应自觉遵守各项实验规则，养成良好的实验习惯。

(1)注意安静。实验需要安静的环境，这样有利于集中精力做实验，有利于思考问题、解决问题，因此学员们在讨论问题时应轻声讲话，不要干扰其他同学的实验。

(2)遵守实验时间不准迟到、旷课。

(3)实验前必须预习，写好预习报告，否则不允许参加实验或另行安排时间做实验。

(4)各组设备都已配备齐全并进行了编号。各组间不得自行互换和借用仪器设备，若仪器设备有问题，可请教师来解决。

(5)严禁带电接线、拆线。

(6)如果想在实验中增加实验内容，应事先提出，经教师同意后方能进行。

(7)如果在实验中发生意外情况，应立即断开电源、保护现场，并立即报告教师。

(8)要爱护国家财产，对所用仪器设备要了解使用方法后再做实验，如发生仪器设备损坏事故，根据具体情况按学校规定处理。

(9)保持实验室整洁，实验完毕后要整理好一切用具。

1.3.2 预习要求

实验收获的大小和实验进行是否顺利，在很大程度上取决于学员的预习和准备情况。

预习的内容和要求主要有以下几点：

(1)明确实验目的，彻底搞懂实验线路的工作原理和测量仪器的使用方法。

(2)思考实际操作的具体步骤，明确要测量的数据和测量方法，对被测数据的范围要有初步估计，明确要通过计算得到的数据和计算公式。

(3)完成预习报告，其内容包括：实验名称、记录用的表格、有关实验中给出的预习要求(如理论数据公式、测试方案、设计电路)，以及需要在实验中解决的问题，等等。

1.3.3 实际操作要求

实际操作大致可分为接线、查线、测试及数据检查、分析等几个方面。

1.接线

首先要熟悉一下本次实验中所用的各种仪器设备，然后分工按照有关线路接线。接线时先将主要回路逐个接通，由电源端开始，按照线路图由前向后顺序连接，然后并接电压表及功率表的电压线圈等。电路中各元件及测试仪表等位置的安排应以实际操作及仪表读数均感方便为标准，一般按电路图的顺序排列，同时还应避免感应线圈磁场对仪表产生的

影响。接线时必须拧紧接线柱上的螺帽或塞紧接线插头，一个接线柱上的连接线不要太多，以防连接松动引起导线脱落造成事故。

连接仪表时，对于电工仪表应注意类别，如：是电压表还是电流表，是交流表还是直流表，等等，并且要注意其量程和极性。对于电子仪器应注意使用电源电压的大小，输出信号的大小和频率，测量的量程及频率范围，连接导线的屏蔽作用。

必须指出，电源线应在整个线路检查无误后才能连接上。严格禁止将导线的一端接在电源上，而把另一端随便地放在桌上或悬空。个别实验须经教师准许后方可通电。

2.查线

同一组的同学在接线及查线上应有分工。未接通电源前的查线方法与接线情况一样，即按照电路图先查主要回路，后查并联的支路，再查各类测试仪表的量程、极性、输出信号的大小及频率、测量频率的范围等。

若上述查线没有查出毛病，但在接通电源后出现故障，则应断开电源后仔细查找故障，排除故障，确认无误后，才能通电进行测试。

一般故障现象及产生的原因有以下几个方面：

(1)开路故障。其现象有：电路无电压、无电流；示波器无波形显示；电表无读数等。造成开路故障的原因有：保险丝熔断，接线柱松动、接触不良，连接导线的根部被折断，个别元件已损坏断线等。

(2)短路故障。其现象有：电流急剧增加而将电流表指针打弯，保险丝熔断，电路元件冒白烟，有烧焦气味等。造成短路故障的原因有：接线错误，如把大电阻负载短路了；仪表接错，如把电流表并联在电路中了；连接导线脱落；多余导线遗留在电路中等。

排查故障的办法有：

(1)外表观察。如电源是否已经连接上；电源保险丝是否良好；连接导线是否脱落；是否有多余导线混杂在电路中。

(2)断电检查。从电源端拆下一根导线后，用万用表欧姆档逐点测试观察线路是否通路，即从电源端开始逐个检查元件是否损坏，导线是否断开，接线柱上接线接触是否良好等。

(3)通电检查。在电子线路输入端加上适当的信号，逐级测试输出情况，或观察各级测试点的波形，逐步缩小故障范围，以便迅速找出故障所在。在开路故障时，可以在通电情况下用电压表测量各点的电位并判断是否正常。

3.测试

为了保证实验高速度、高质量完成，在读取数据之前应试做一遍，注意观察被测量的变化情况和出现的现象，并与事先估计的变化规律是否接近，同时合理地选择几个测试点。

读取数据时应注意以下几点：

- (1)当电源电压或信号不稳定时，对几个仪表要同时进行读数。
- (2)对指针式仪表读数时，要在指针与小镜中的针影相重合的情况下读取。
- (3)为减小误差，测试点不应跳跃。
- (4)读取数值的有效位数应充分利用测试仪器的准确度等级。

4.数据的检查与分析

首先应检查数据是否已测量，若有遗漏应马上补测。然后检查测试点的间隔选择是否合适，在曲线的平滑部分可少测几点而曲线的弯曲部分要多测几点。最后再与事先估计的数据进行比较，当发现测得的数据或通过实验算出的数据与事先估计的数据有较大出入时应及时分析，找出原因。实验中产生这种情况的原因一般有：线路中可能还存在着故障未被查出，测试方法上存在较大误差，测试点搞错，读数错误，测试仪器有毛病等。如果在排除上述所有故障后重新测得的数据仍有较大出入时，则应尊重事实，实事求是地把数据记录于表格中，以后要进行仔细分析，提出自己的见解。切忌弄虚作假或抄袭他人数据。

在结束实际操作之前还应注意以下几点：

(1)把使用仪器设备的名称、规格和编号记录下来，以后如对实验测量的结果有怀疑，或对仪器设备的准确度有怀疑时，可仍用原来的仪器设备重做实验，以便校核。但有些不影响实验准确度的设备，如自耦变压器、滑线电阻、开关等，可不必记录。

(2)把自己已检查过的测量数据交给教师审阅，并与教师一起检查仪器设备的使用情况，然后再进行拆线。注意拆线时，一定要先将本组的电源断开，以免发生人身或设备事故。

(3)将仪器设备整理好，安放在原来的位置上，等教师认可签字后方可离开实验室。

1.3.4 实验报告要求

实验结束后，必须认真及时地编写好实验报告。实验报告是实验结果的总结和反映，一个实验的价值在很大程度上取决于报告质量的高低。同时，编写实验报告也是培养综合能力的绝好途径，因此对实验报告必须予以充分的重视。其内容主要包含以下几方面：(1)实验目的。

(2)本实验中所用仪器设备的名称、规格和编号。

(3)将实验最终的数据结果抄入表格中，并记入经计算得到的数据，列出计算公式和计算举例。

(4)根据实验测得的或计算得到的数据绘制曲线，以便从曲线中能直观地看到各物理量之间的关系或演化趋势。绘制曲线时应注意下列几点：

①应写明实验和曲线名称。

②曲线要用坐标纸绘制，一般绘制在第一象限，以自变量为横坐标，以函数为纵坐标，

并注明单位。

③标尺比例要选择得当，使图形不偏于一角或一边。

④实验点的位置须在坐标纸上用“○”、“△”和“×”等符号表示出来。连接这些实验点时必须成一平滑曲线，不必机械地要求每个实验点都在曲线上。

⑤将曲线图粘贴在实验报告中。

(4) 讨论与总结。

(5) 对实验结果的讨论，包括进行误差分析和数据处理，以及就实验结果得出结论并提出自己的见解，这是实验报告的核心部分。通过讨论与总结应明确地告诉看报告的人(包括自己在内)：本实验是否已达到实验项目中所提出的各项要求；实验结论如何；实验解决了哪些问题，还有哪些问题没有解决；实验中发现了哪些新问题，是如何处理的；实验后有何收获和体会。

第 2 章常用仪器仪表简介

2.1 数字万用表

万用表是一种多量程和测量多种电量的便携式复用电工测量仪表。一般的万用表以测量电阻、交直流电流，交直流电压为主。有的万用表还可以用来测量音频电平、电容量、电量和晶体管的 β 值等。

由于万用表结构简单，便于携带，使用方便，用途多样，量程范围广，因而它是维修仪器和调试电路的重要工具，是一种最常用的测量仪表。

万用表的种类很多，按其读数方式可分为模拟式万用表和数字式万用表两类。当前实验室主要使用的是数字万用表，下面就数字万用表的进行介绍。

数字万用表也称数字多用表(DMM)，它采用了先进的集成电路模数转换器和数显技术，将被测量的数值直接以数字形式显示出来。数字万用表显示清晰直观，读数准确，与模拟万用表相比，其各项性能指标均有大幅度的提高。

2.1.1. 组成与工作原理

数字万用表除了具有模拟万用表的测量功能外，还可以测量电容、二极管的正向压降、晶体管直流放大系数 β 及检查线路短路告警等。

数字万用表的测量基础是直流数字电压表，其他功能都是在此基础上扩展而成的。为了完成各种测量功能，必须增加相应的转换器，将被测量转换成直流电压信号，再经过 A / D 转换器转换成数字量，然后通过液晶显示器以数字形式显示出来，其原理框图如图 2-1 所示。

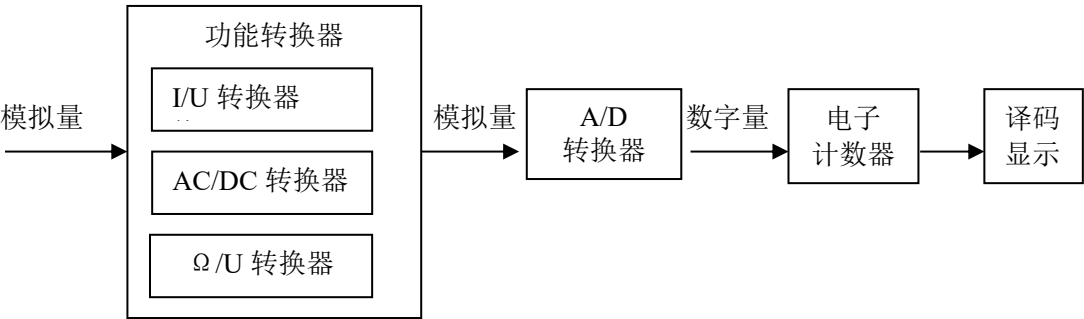


图 2-1 数字万用表原理框图

转换器将各种被测量转换成直流电压信号，A / D 转换器将随时间连续变化的模拟量变换成数字量，然后由电子计数器对数字量进行计数，再通过译码显示电路将测量结果显示出来。

数字万用表的显示位数通常为三位半~八位半，位数越多，测量精度越高，但位数多的，其价格也高。一般常用的是三位半、四位半数字万用表，即显示数字的位数分别是四位和五位，但其最高位只能显示数字 0 或 1，称为半位，后几位数字可以显示数字 0~9，称为整数位。对应的数字显示最大值为 1999(三位半)、19999(四位半)，满量程计数值分别为 2000、20000。

2.1.2 数字万用表的主要特点

- ①数字显示，直观准确，无视觉误差，并且有极性自动显示功能；
- ②测量精度和分辨率高，功能全；
- ③输入阻抗高(大于 $1\text{M}\Omega$)，对被测电路影响小；

- ④电路的集成度高，产品的一致性，可靠性强；
- ⑤保护功能齐全，有过压、过流、过载保护和超量程显示；
- ⑥功耗低，抗干扰能力强；
- ⑦便于携带，使用方便。

2.1.3 使用方法及注意事项

①插孔的选择

数字万用表一般有四个表笔插孔，测量时黑表笔插入 COM 插孔，红表笔则根据测量需要，插入相应的插孔。测量电压和电阻时，应插入 V/ Ω 插孔；测量电流时注意有两个电流插孔，一个是测量小电流的，一个是测量大电流的，应根据被测电流的大小选择合适的插孔。

②测量量程的选择

根据被测量选择合适的量程范围，测直流电压置于 DCV 量程、交流电压置于 ACV 量程、直流电流置于 DCA 量程、交流电流置于 ACA 量程、电阻置于 Ω 量程。

- 当数字万用表仅在最高位显示“1”时，说明已超过量程，须调高一挡。
- 用数字万用表测量电压时，应注意它能够测量的最高电压(交流有效值)，以免损坏万用表的内部电路。
- 测量未知电压、电流时，应将功能转换开关先置于高量程挡，然后再逐步调低，直到合适的挡位。

③测量交流信号时，被测信号波形应是正弦波，频率不能超过仪表的规定值。否则将引起较大的测量误差。

④与模拟表不同，数字万用表红表笔接内部电池的正极，黑表笔接内部电池的负极。

测量二极管 1IF 时，将功能开关置于“ ∇ ”挡，这时的显示值为二极管的正向压降，单位为 V。若二极管接反，则显示“1”。

⑤测量晶体管的 h_{FE} 时，由于工作电压仅为 2.8V，测量的只是一个近似值。

⑥测量完毕，应立即关闭电源；若长期不用，则应取出电池，以免电池漏电。

2.1.4 数字万用表 UT56 的使用方法

全新 UT50 系列中的 UT56(图 2-2)是一种性能稳定、高可靠性手持式四位半数字多用表，整机电路设计以大规模集成电路，双积分 A/D 转换器为核心并配以全功能过载保护，可用来测量直流和交流电压及电流、电阻、电容、二极管、三极管、频率以及电路通断，是用户的理想工具。

(1)面板操作说明

- ①液晶显示器：显示仪器测量的数据及单位。
- ②电源开关。
- ③旋钮开关：用于改变测量功能及量程。
- ④ h_{FE} 测试插座：用于测量晶体三极管放大倍数的数值大小。
- ⑤电容测量插座。
- ⑥电压、电阻、测量插座。
- ⑦公共地。
- ⑧小于 200mA 电流测试。
- ⑨20A 电流测试插座。

(2)直流电压测量

- ①将黑表笔插入“COM”插孔，红表笔插入“V/ Ω ”插孔。
- ②将功能开关转至“DCV”量程范围。并将测试表笔接触测试点，红表笔所接的该点电压与极性将同时显示在屏幕上。

注意：

- a. 如果不知被测电压范围，将功能开关置于最大量程并逐渐下降。
- b. 如果显示器只显示“1”，表示超过量程，功能开关应置于更高量程。



图 2-2 UT56 数字万用表面板

c. Δ 表示不要输入高于 1000V 的电压，显示更高的电压值是可能的，但有损坏线路的危险。

d. 当测量高电压时要格外注意避免触电。

(3)交流电压测量

①将黑表笔插入“COM”插孔，红表笔插入“V/Ω”插孔。

②将功能开关转至“ACV”量程范围，并将测试表笔连接到测试负载的两端，表笔所接的两点电压显示在屏幕上。

注意：参看直流电压测量注意 a、b。

Δ 表示不要输入高于 700V 有效值的电压，显示较高的电压值是可能的，但有损坏线路的危险。

(4)直流电流测量

①将黑表笔插入“COM”插孔，当测量最大值为 200mA 的电流时，红表笔插入“mA”测量大于 200mA 的电流时，红表笔插入“20A”插孔中。

②将功能开关转至 DCA 量程，然后将万用表的表笔串连接入被测电路中，被测电流及红表笔所测点的电流极性将同时显示在屏幕上。

注意：

a. 如果使用前不知被测电流范围，将功能开关置于最大量程并逐渐下降。

b. 如果显示器只显示“1”，表示过量程，功能开关应置于更高量程。

c. Δ 表示最大输入电流为 200mA 或 20A 取决于所使用的插孔，过量的电流将烧坏保险丝。应再更换，20A 量程无保险丝保护。

d. 最大测试压降为 200mV。

(5)交流电流测量

①将黑表笔插入“COM”插孔，当测量最大值为 200mA 的电流时，红表笔插入“mA”测量大于 200mA 的电流时，红表笔插入“20A”插孔中。

②将功能开关转至 ACA 量程，然后将万用表的表笔串连接入被测电路中，被测电流将显示在屏幕上。

注意：参看直流电压测量注意 a、b、c、d。

(6)电阻测量

①将黑表笔插入“COM”插孔，红表笔插入“V / Ω ”插孔。

②将功能开关转至“ Ω ”挡，将两表笔跨接在被测电阻上。


注意：

a. 如果被测电阻值超过所选择量程的最大值，将显示过量程“1”，应选择更高的量程，对于大于 1M Ω 或更高的电阻，要几秒钟后读数才能稳定。

b. 当无输入时，如开路情况，显示为“1”。

c. 当检查内部线路阻抗时，要保证被测试线路所有电源移开，所有电容放电。

(7)电容测量

①将功能开关转至“”挡。

②将被测电容插入电容测试座中(不要通过表笔插孔测量)将显示电容容量。

③测量大于 40 μ F 的电容时需用 5 秒钟才能稳定。


(8)测量三极管的 hFE 值

①将功能开关转至“hFE”挡。

②决定所测晶体管为 NPN 型或 PNP 型，将发射极、基极、集电极分别插入相应插孔，显示器显示三极管电流放大倍数近似值。

(9)二极管测试

①黑表笔插入“COM”插孔，红表笔插入“V / Ω ”插孔(注意红表笔极性为“+”)。

②将功能开关转至“”挡。

③正向测量：将红表笔接到被测二极管正极，黑表笔接到二极管负极，显示器显示为二极管的正向压降的近似值。

注意：请勿在二极管挡输入电压。

(10)通断测试

①将黑表笔插入“COM”插孔，红表笔插入“V / Ω ”插孔。

②将功能开关转至“ \cdot)))”挡。

③将红表笔连接到待测线路的两点，如果电阻值低于约 50 Ω ，则内置蜂鸣器发声。

(11)自动断电

①仪表设有自动电源切断电路，当仪表工作时间约 30 分钟左右，电源自动切断，仪表进入睡眠状态。

②当仪表电源切断后若要重新开起电源，请重复按动电源开关两次。

2.2 函数信号发生器

函数信号发生器是一种能够产生多种波形的信号发生器。它的输出可以是正弦波、方波或三角波，输出电压的大小和频率都可以方便地调节，所以它是一种用途广泛的通用仪器。一台性能良好的通用信号源应具备以下基本要求：

- (1)具有较宽的频率范围，且频率连续可调；
- (2)在整个频率范围内具有良好的输出波形，即波形失真要小；
- (3)输出电压幅度可连续调节，且基本不随频率的改变而改变；
- (4)具有输出指示(电压幅度、频率)。

随着电子技术的发展，目前的信号源一般可输出多种波形，如能输出正弦波、方波、三角波、TTL 电平和直流电平。在方波和三角波的基础上，还可以调出各种矩形波和斜波。因此，现在的信号源又称为函数信号发生器。有的函数信号发生器还具有调制和扫频的功能。函数信号发生器输出信号的波形、幅度、频率，都可以通过仪器前面板上的旋钮、开关方便的调节、设定。

1. 函数信号发生器的工作原理

函数信号发生器能输出多种波形，其工作原理框图如图 2-6 所示。由图可以看出，方波是由三角波通过比较器转换而成的，正弦波则是通过正弦波整形电路由三角波变换而成的；然后经过波形选取、放大、衰减输出。图 2-6 函数信号发生器原理框图直流偏置电路的作用是提供直流补偿，使函数信号发生器输出的交流信号可加进直流分量，而且直流分量的大小可以调节。

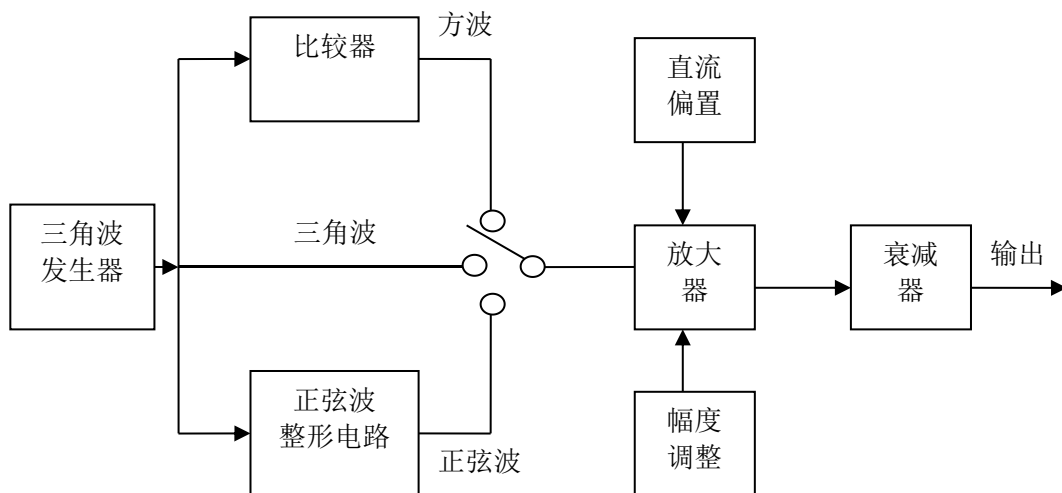


图 2-3 函数信号发生器原理框图

通常函数信号发生器还具有输出显示部分(图 2-3 中未给出)，用于显示输出频率、幅度。频率显示电路除显示输出频率外，还可作为计数器(频率计)使用。在函数信号发生器的操作面板上有一个“计数频率”输入端口，在这个端口输入交流信号的同时，按下“计数”按键。这时函数信号发生器显示的是输入信号的频率。

2. 函数信号发生器输出信号的调整

函数信号发生器的型号不同，它们面板上的旋钮等排列及标注也不同，图 2-4 是 YB1602 函数信号发生器实物照片图。



图 2-4 YB1602 函数信号发生器实物图

如前所述，函数信号发生器有直流补偿电路，与其对应，前仪器面板有一电平按键(OFFSET)或旋钮，用于设置输出信号的直流电平。当不需要输出直流电平时，此按键(旋钮)应放在关的位置。

函数信号发生器输出信号的频率是分段调整的，它有一组频率范围选择键，在每一个按键的上方标有效字，这个数字表示按下该键能够输出频率的最高值。使用时可根据测试需要，选择相应的键，然后再通过调节“频率调节”旋钮(F~REQIJENCY)，就可以在一定范围内改变输出信号的频率。

函数信号发生器使用时的操作步骤如下：

- (1)按下电源开关(POWER);
- (2)对于有功率输出的，根据需求选择电压输出或功率输出方式;
- (3)“计数”(COUNTER)键弹出(或“内/外”测频选择键置于“内”)，使函数信号发生器工作于信号源方式;
- (4)根据需要按下“波形选择”开关(WAVE FORM)，选择输出信号的波形(正弦、方波或三角波);
- (5)“频率选择”按键置某一挡。确定输出信号的频率范围;
- (6)调整“频率调节”旋钮(FREUNCY)，改变输出信号的频率;
- (7)调节“幅度”旋钮(AMPLITUDE)，改变输出信号的幅度;当需要输出小信号时。按下“衰减”键，输出信号的幅度将被衰减 20dB(0.1 倍)、40dB(0.01 倍)或 60dB(0.001 倍)。

函数信号发生器通常有“占空比”(有时标“对称性”)按键和调节旋钮，它的作用是改变输出波形的对称度(正半周和负半周的宽度)。在不要求改变波形的对称度时，此按键应弹出。

3. 函数信号发生器使用注意事项

(1)函数信号发生器前面板的按键及旋钮较多，使用前应认真阅读仪器使用说明书，弄清仪器前面板各按键及旋钮的作用;使用时对照说明书细心操作。

(2)信号源的输出端不允许短路。

2.3 示波器

示波器是最常用的测试仪器之一，它可将电信号波形形象而直观地显示在荧光屏上。利用示波器，可以测量信号的幅值、瞬时值、频率、周期、相位和脉冲信号的宽度、上升时间、下降时间等参量。通过传感器，还能测量各种非电量，如温度、压力、振动、冲击、距离、热、光、声音和磁效应等。

示波器的种类较多，按用途和特点可分为通用示波器、取样示波器、记忆与数字存储示波器、专用示波器。

通用示波器是示波器中应用最广泛的一种，它采用单束示波管，包括单踪型和双踪型。

取样示波器是采用取样原理，将高频信号转换为低频信号，再进行显示。

记忆与数字存储示波器具有记忆、存储信号波形功能，可以用来观测和比较单次过程和非周期现象、超低频信号，以及在不同时间、不同地点观测到的信号。记忆示波器采用记忆示波管，数字存储示波器则应用了数字存储技术。

专用示波器则是为满足特殊用途而设计的示波器。

下面以电路实验中常用的通用示波器为例，说明其组成、工作原理和应用。

1. 通用示波的组成与原理

通用示波器主要由示波管、垂直通道和水平通道三部分组成。此外，还有电源电路和产生校准信号的标准信号发生器。如图 2-5 所示。

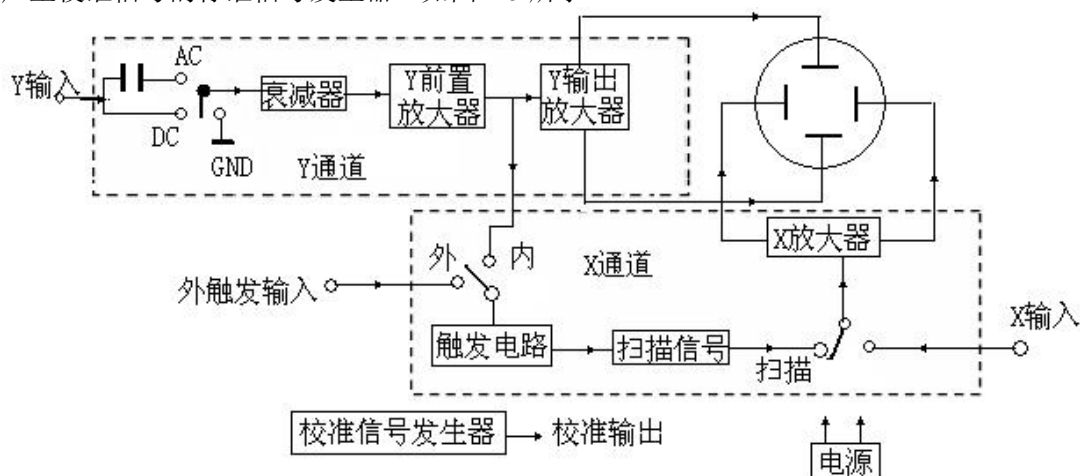


图 2-5 通用示波器原理方框图

(1) 示波管

示波管是示波器的一个关键部件，其作用是把被测信号变换成荧光屏上可见的图形，主要由电子枪、偏转系统和荧光屏三部分组成，其结构如图 2-6 所示。

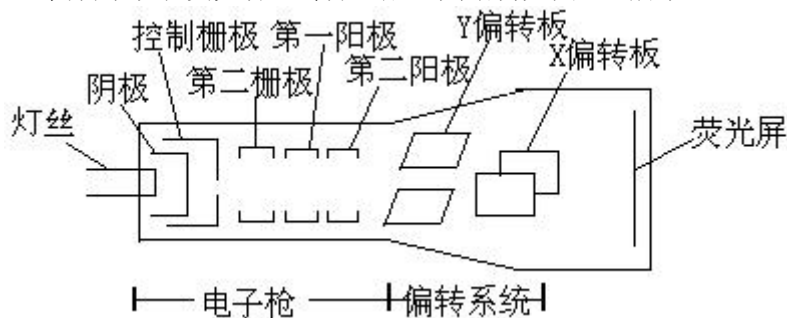


图 2-6 波管结构示意图

电子枪产生聚焦良好的高速电子束，高速电子束打在荧光屏上便可产生光点，偏转系统

能改变电子束打到荧光屏上的位置。当偏转系统使高速电子束按照一定的规律产生位移时。在荧光屏上就可显示出一条光迹。

当灯丝加热阴极时，涂有氧化物的阴极会发射出大量的电子。控制栅极加负电压，对穿越控制栅极的电子密度进行调节。从而达到调节光点亮度的作用，故调节控制栅极电位的旋钮(电位器)称为“辉度”旋钮。第二栅极及第一阳极、第二阳极的电位远高于阴极，它们与控制栅极组成聚焦、加速系统，对阴极发射的电子束进行加速并聚焦，使得电子束以很高的速度射到荧光屏上，故改变第一阳极电位的旋钮称为“聚焦”旋钮。

偏转系统有 Y 偏转板和 X 偏转板各一对。通常 Y 偏转板上加被观察信号电压，这样光点沿 Y 轴的运动规律就被测信号幅值的变化规律一致；X 偏转板上加一个随时间而线性变化的电压(锯齿波电压)，称为扫描电压。若 Y 偏转板加上被观察信号，X 偏转板不加扫描电压，则在荧光屏上产生一条正比于被测电压的垂直亮线；若只有 X 偏转板加扫描电压，Y 偏转板不加被观察信号(输入选择开关接地)，则在荧光屏上显示一条反映时间变化的水平亮线。电子束在两个偏转电压的作用下，荧光屏上会显示出被观察信号随时间变化的波形。

示波管顶端内壁上涂有一层荧光物质(荧光屏)，当高速电子束打在荧光屏上时使它发光。电子束停止轰击后，荧光物质的发光作用要经过一段时间后才停止，这段时间叫余辉时间。由于余辉现象和人眼的残留特性，所以能在荧光屏上观测到稳定的波形。

(2) 垂直通道和水平通道

示波器的垂直通道通常又称为 Y 通道，它包括输入选择、衰减器、前置放大器和输出放大器。输入选择用来确定输入直流信号(DC)还是交流信号(AC)。或者输入接地(GND)。衰减器用来衰减被观察的大信号(幅度)，以保证显示在荧光屏上的信号不致因过大而失真。示波器操作面板上与其相对应的旋钮为 Y 轴灵敏度粗调开关，也称 Y 轴衰减，常用 V / DIV 标记，其含意为 Y 轴上每格(1cm)表示的电压数。

由于 Y 放大器的作用，使示波器具有观测微弱信号的能力。与调整放大器增益对应的旋钮为 Y 轴灵敏度微调。在示波器做定量测量时，放大器的增益应是固定的，这时灵敏度微调应放在“校准”(CAL,)位置，通常是顺时针旋到底。

示波器的水平通道又称为 X 通道，它由扫描信号发生器、触发电路和 X 放大器组成。

扫描发生器产生随时间线性变化的锯齿波扫描电压，又称为时基电压。触发电路用来产生周期与被测信号有关的触发脉冲，用这个触发脉冲控制扫描电压的周期与被测信号的周期同步。扫描电压通过 X 放大器放大，加至 X 偏转板。电子束在扫描电压的作用下做水平运动。可在荧光屏上显示出一条水平亮线。由于这个电压在一周期内是线性增长的，与时间成正比，故电压的增长速度对应着光点的运动速度，光点从荧光屏左边到达右边移动的距离即为扫描电压的周期时间，因此荧光屏的水平距离代表的是时间，X 轴为时间轴。

因荧光屏几何尺寸固定。光点从荧光屏左边到达右边移动的距离一定。改变扫描电压的频率，即改变了光点从左到右所需时间。与这一操作对应的旋钮开关称为扫描速度旋钮，也称 X 轴灵敏度，常用。TIME / DIV 标注，其含义为 X 轴上每格(1cm)表示的时间数。改变扫描速度旋钮的位置，即改变了 X 轴的时间刻度。

示波器型号很多，图 2-7 给出了 YB43020B 的实物图片。



图 2-7 YB43020B 示波器实物图片

2. 基本操作

使用示波器前应仔细阅读使用说明书，被测信号的电压不能超过允许范围。光点和扫描线不可调得过亮，否则会带来读数不准，不仅使眼睛疲劳，而且当光点长时间停留不动时，还会使荧光屏变黑，产生斑点。

(1) 调整旋钮

①亮度旋钮(INTENSITY)：调整光点和扫描线的亮度。顺时针方向旋转旋钮，亮度增强。

②聚焦旋钮(FOCUS)：调整光迹的清晰程度。测量时需要调节此旋钮，以使波形的光迹达到最清晰的程度。

(2) 垂直系统

①信号输入通道 1(CH1 INPUT (X))：是被测信号的一个输入端。在 X—Y 方式时，变为 X 通道，X 轴信号由此端输入。

②信号输入通道 2(CH2 INPUT(Y))：是被测信号的另一输入端。在 X—Y 方式时，输入端的信号仍为 Y 轴信号。

③输入耦合(AC-GND-DC)选择开关：用于选择输入信号进入 Y 放大器的耦合方式。

- 置于 AC 时，输入信号经电容耦合到 Y 放大器，信号中的直流分量被电容阻隔，交流分量可以通过。

- 置于接地时，输入端对地短路，没有信号输入 Y 通道，通常用于确定(调整)基准电平位置。

- 置于 DC 时，输入信号直接耦合到 Y 放大器，用于观测含有直流分量的交流信号或直流电压，频率较低的交流信号(低于 10Hz)也应采用 DC 输入。

④Y 位移旋钮(PPOSITION)：调节光迹在荧屏垂直方向的位置。

⑤电压灵敏度选择开关(VOLT / DIV)：用于垂直偏转灵敏度的调节。电压灵敏度微调旋钮在校准位置时。VOLT / DIV 刻度值为荧光屏上每一个大格所代表的电压值。

⑥电压灵敏度微调旋钮(VARIABLE)：可在电压灵敏度开关两挡之间连续调节，改变波形的大小。顺时针旋转到底时。为“校准”位置。在做电压测量时，此旋钮应放在校准位置。

⑦垂直工作方式选择(VERTICAL MODE)：有 CH1、CH2、DUAL、ADD 四挡。

- 通道 1 选择(CH1)：荧光屏上只显示 CH1 的信号。

- 通道 2 选择(CH2)：荧光屏上只显示 CH2 的信号。

- 双踪选择(DUAL)：荧光屏上同时显示 CH1 和 CH2 两个输入通道输入的信号。

- 叠加(ADD)：显示 CH1 和 CH2 两个输入通道的输入信号的代数和。

⑧交替 / 断续选择键(ALT / CHOP): 当同时观察两路信号时, 交替方式适合于在扫描速度较快时使用; 断续方式适合于在扫描速度较慢时使用。

(3) 触发(TRIGGER)

①触发源选择(TRIGGER SOURCE): 用于选择触发信号。各种型号示波器的触发源选择有所不同, 一般有以下几种。

- 内触发(INT): 触发信号来自通道 1 或通道 2。
- 通道 1 触发(CH1): 触发信号来自通道 1。
- 通道 2 触发(CH2): 触发信号来自通道 2。
- 电源触发(LINE): 触发信号为 50Hz 交流电压信号。
- 外触发(EXT): 触发信号来自外触发输入端, 用于选择外触发信号。

②极性(SLOP): 选择触发信号的极性。

- “+”表示在触发信号上升时触发扫描电路。
- “-”表示在触发信号下降时触发扫描电路。

③触发电平(LEVEL)旋钮: 用于调整触发电平, 在荧光屏上显示稳定的波形。并可设定显示波形的起始点(初始相位)。

④触发方式(TRIGGER MODE)按键: 用于选择合适的触发方式, 通常有以下几种。

• 自动(AUTO): 当没有输入信号或输入信号没有被触发时, 荧光屏上仍可显示一条扫描基线。

• 常态(NORM): 当没有触发信号时, 处于等待扫描状态, 一般用于观测频率低于 25 Hz 的信号或在自动方式时, 不能同步时使用。

- 场信号触发(TV-V): 用于观测电视信号中的场信号。
- 行信号触发(TV-H): 用于观测电视信号中的行信号。

(4) 水平系统

①扫描时基因数(又称为扫描速度)开关(TIME / DIV): 用于设定扫描速度。当扫描微调在较准位置时, 其刻度值为屏幕上水平方向每一个大格所代表的时间。

②扫描微调(SWEEP VARIABLE): 可以在扫描速度开关两挡之间连续调节, 改变周期个数。该旋钮逆时针方向旋转到底, 扫描速度减慢 2.5 倍以上。在做定量测量时, 该旋钮应顺时针旋转到底, 即在校准位置。

③水平移位(POSITION): 用于调节光迹在水平方向的位置。

3. 操作准备工作

(1) 聚焦旋钮置于中间位置, Y 输入耦合方式置于接地(GND), 垂直位移(POSITION)旋到中间位置, 垂直工作方式(MODE)置于 CH1, 触发方式(TRIG MODE)置自动(AUTO), 触发源(SOURCE)置内触发(INT), 扫描速度(TIME / DIV)置于 0.5ms / div。

(2) 打开电源。顺时针旋转辉度旋钮, 调整 Y 位移旋钮, 直到显示出光迹。调节聚焦旋钮使光迹最清晰, 为使聚焦效果最好, 光迹不可调得过亮。

(3) 调整输入耦合方式于 AC, 将示波器的校准信号输入至通道 1(CH1), 适当调节电平旋钮使波形稳定, 屏幕上应显示方波信号。将 Y 轴灵敏度旋钮、扫描速度旋钮置于适当位置, 若波形在垂直方向占格数、水平方向占格数与校准信号要求的相符, 则表示波器工作基本正常。

4. 电压测量

(1) 直流电压的测量

电压灵敏度微调放在校准位置, 输入耦合方式开关置于 GND, 调整 Y 位移旋钮, 使光迹对准任一条水平刻度线, 此时扫描基线即为零基准线。将耦合方式换到 DC, 输入直流电压, 如图 2-8 所示。即根据波形(直线)偏离零基准线的垂直距离和电压灵敏度 VOLT / DIV 旋钮的指示值 K_U 可以算出直流电压的数值, 即 $U=K_U h$ 。

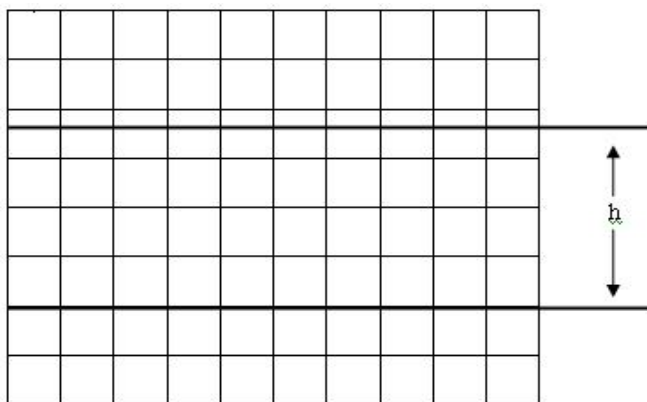


图 2-8 直流电压的测量

(2) 交流电压的测量

按操作准备工作调整好示波器，然后输入信号。

测量交流电压分为两种情况：一种是只测量被测信号中的交流分量，另一种是测量含有直流分量的交流信号。

只测量被测信号的交流分量时，应将 Y 输入耦合方式置 AC 位置。输入信号，调节电平(LEVEL)旋钮，使波形稳定，调节电压灵敏度(VOLT / DIV)开关，使屏幕上显示的波形幅度适中，便于读数，如图 2-9 所示。由波形峰一峰在垂直方向的距离 h 和 VOLT / DIV 的指示值 K_U 。(微调在校准位置)，就可以计算出电压的峰-峰值 U_{P-P} ，即 $U_{P-P}=K_U h$ 。

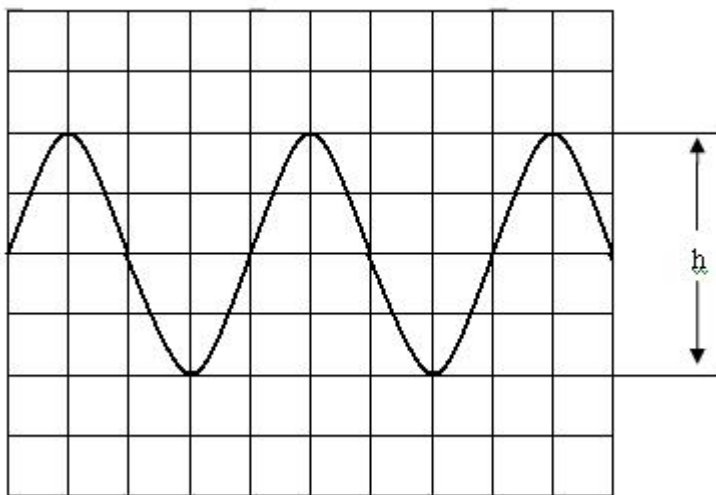


图 2-9 交流电压的测量

【例 1】测得波形峰-峰值之间的距离为 4.0 格，电压灵敏度 $1V / div$ ，则被信号的测峰-峰值为：

$$U_{P-P}=K_U h=4.0 \times 1=4.0V$$

当被测交流信号含有直流成分时，输入耦合方式应放在 DC，这样才能同时观测到被测信号的交流分量和直流分量。

【例 2】已知一正弦信号的电压峰-峰值为 4V，直流分量为 1V，要求用示波器测量出其实际峰一峰值和直流分量的电压值。

置输入耦合方式为 DC，电压灵敏度调为 $1V / div$ ，输入信号后，荧光屏显示波形如图 2-10 所示。

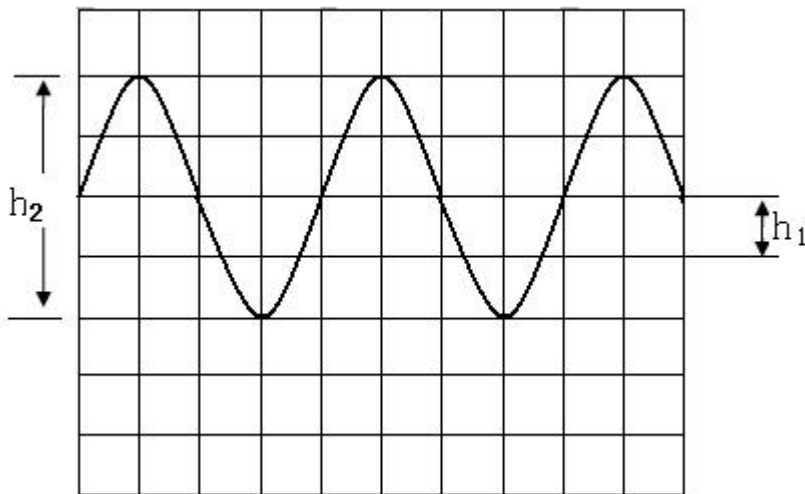


图 2-10 含有直流成分的交流信号的测量

由图 2-15，可以测量出直流电压分量 U 和交流电压峰-峰值 U_{P-P} 。分别为

$$U = K_U h_1 = 1.0 \times 1 = 1.0V$$

$$U_{P-P} = K_U h_2 = 4.0 \times 1 = 4.0V$$

5. 时间的测量

用示波器能测量周期信号的频率、周期、波形任意两点之间的时间和两个同频信号的相位差。

(1) 周期和频率的测量

“扫描微调”放校准位置，“扫描速度”(TIME / DIV)开关置于合适的位置，使荧光屏上显示的波形便于观测。调节“电平”(LEVEL)旋钮，使显示的波形稳定；调节“X 位移”和“Y 位移”，使波形位于荧光屏的中间位置(一般示波器在测量时间时，不宜使用荧光屏的边缘部分)，如图 2-16 所示。由于此时“扫描微调”在校准位置，所以，测得波形一个周期在水平方向的距离 d ，乘以 TIME / DIV 的指示值 K ，就可以计算出信号的周期 T 和频率 f ，即

$$T = dK \quad f = 1/T$$

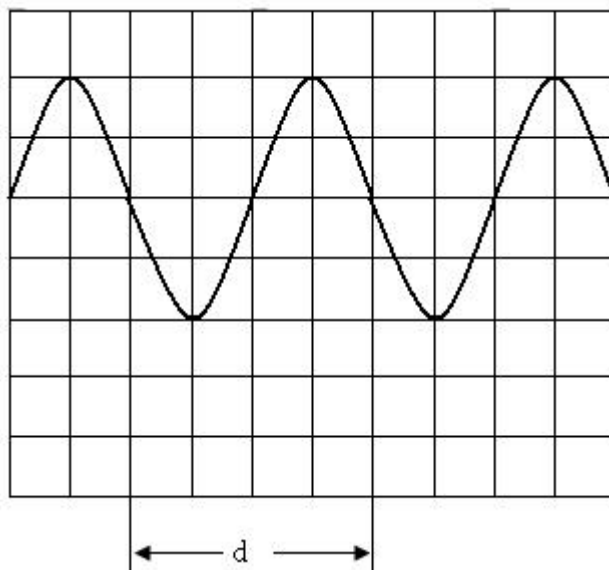


图 2-11 周期的测量

【例 3】如图 2-11，测得波形一周对应两点间的水平距离为 4.0，“扫描速度”旋钮

的指示值为 0.2ms/div, 则被测波形的周期 T 和频率 f 为

$$T=0.2\text{ms}\times 4.0=0.8\text{ms}$$

$$f=1/T=1.25\text{kHz}$$

同样, 可以测量波形上任意两点间的时间。

(2)两个同频信号相位差的测量

测量两条同频信号的相位差有双线法和椭圆法, 下面就双线法进行简单介绍。

垂直工作方式置于双踪显示(DUAL), 分别调节两通道的位移旋钮, 使两条时基线重合, 选择作为测量基准的信号为触发源信号, 两个被测信号分别由 CH1 和 CH2 输入, 在屏幕上可显示出两个信号波形, 见图 2-12。测量出波形一个周期在水平方向的长度挖及两个信号波形与 X 轴相交对应点的水平距离 m, 可由下式计算出两个信号间的相位差 φ , 即

$$\varphi=\frac{m}{d}360$$

通常为读数方便, 可调节扫描微调旋钮, 使信号的一个周期占 10 格(DIV), 每格表示的相角为 36° ($36^\circ/\text{DIV}$), 则相位差为 $\varphi=36^\circ\times m$

用双线法测量相位差时, 应使两条时基线严格与 X 轴重合。

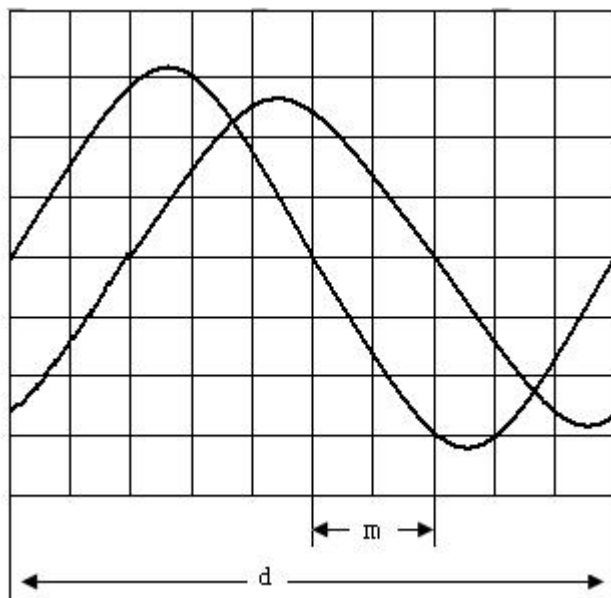


图 2-12 双线法测量相位差

6. 使用注意事项

(1)辉度不宜调得过亮, 且光点不应长时间地停留在一点上, 以免损坏荧光屏。通电后若暂时不观测波形, 应将辉度调暗。。

(2)定量观测波形时, 尽量在屏幕的中心区域进行, 以减小测量误差。

(3)测试过程中, 应避免手指或人体其他部位接触信号输入端, 以免对测试结果产生影响。

(4)若示波器暂停使用并已关上电源, 如需继续使用时, 应待数分钟后再开启电源, 以烧坏保险丝。

第 3 章 实验项目

3.1 电路元件伏安特性的测量

一、实验目的

- 1、学会识别常用电路和元件的方法。
- 2、掌握线性电阻、非线性电阻元件及电压源和电流源的伏安特性的测试方法。
- 3、学会常用直流电工仪表和设备的使用方法。

二、实验原理

任何一个二端元件的特性可用该元件上的端电压 U 与通过该元件的电流 I 之间的函数关系 $I=f(U)$ 表示，即 I - U 平面上的一条曲线来表征，即元件的伏安特性曲线。

- 1、线性电阻器的伏安特性曲线是一条通过坐标原点的直线，如图 3.1-1 中 a 曲线所示，该直线的斜率等于该电阻器的电阻值。
- 2、一般的白炽灯在工作时灯丝处于高温状态，其灯丝电阻随着温度的升高而增大。通过白炽灯的电流越大，其温度越高，阻值也越大。一般灯泡的“冷电阻”与“热电阻”的阻值相差几倍至几十倍，所以它的伏安特性曲线如图 3.1-1 中 b 曲线所示。
- 3、一般的半导体二极管是一个非线性电阻元件，其伏安特性曲线如图 3.1-1 中 c 曲线所示。正向压降很小（一般的锗管约为 $0.2\sim 0.3V$ ，硅管约为 $0.5\sim 0.7V$ ），正向电流随正向压降的升高而急剧上升，而反向电压从零一直增加到几十伏时，其反向电流增加很小，粗略地可视为零。可见，二极管具有单向导电性，但反向电压加得过高，超过管子的极限值，则会导致管子击穿损坏。
- 4、稳压二极管是一种特殊的半导体二极管，其正向特性与普通二极管类似，但其反向特性较特别，如图 3.1-1 中 d 曲线所示。在反向电压开始增加时，其反向电流几乎为零，但当电压增加到某一数值时（称为管子的稳压值，有各种不同稳压值的稳压管）电流将突然增加，以后它的端电压将维持恒定，不再随外加的反向电压升高而增大。注意：流过稳压二极管的电流不能超过管子的极限值，否则管子会被烧坏。

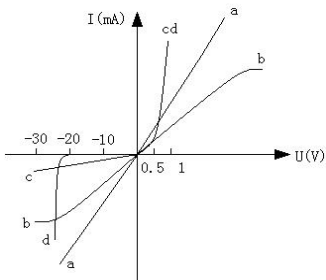


图 3.1-1 各种电路元件的伏安特性曲线

三、实验设备

序号	名称	型号与规格	数量	备注
1	台式直流电源	0~30V	1	
2	台式万用表或者手持万用表		1	
3	实验箱-直流电流测量 0~200mA		1	
4	子板-通用参数选择板（黑色）		1	

四、实验内容

1、测定线性电阻器的伏安特性

按图 3.1-2 接线，调节台式直流电源的输出电压 U ，从 0 伏开始缓慢地增加，一直到 10V，记下相应的电压表和电流表的读数 U_R 、 I 。

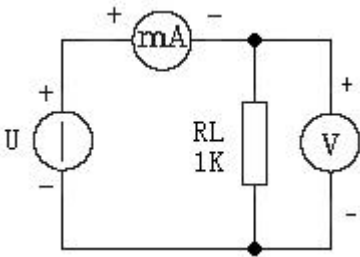


图 3.1-2

$U_R(V)$	0	2	4	6	8	10
$I(mA)$						

2、测定非线性白炽灯泡的伏安特性

将图 3.1-2 中的 RL 换成一只 6.3V 的灯泡，重复 1 的步骤。

$U_R(V)$	0	2	4	5	6	6.3
$I(mA)$						

3、测定半导体二极管的伏安特性

按图 3.1-3 接线， $D1$ 为 1N4007， $R2$ 为限流电阻器。测二极管的正向特性时，其正向电流不得超过 35mA，二极管 D 的正向施压 U_{D+} 可在 0~0.75V 之间取值，特别是在 0.5~0.75V 之间更应多取几个测量点。做反向特性实验时，只需将图 3.1-3 中的二极管 D 反接，且其反向施压 U_{D-} 可加到 12V 以上。

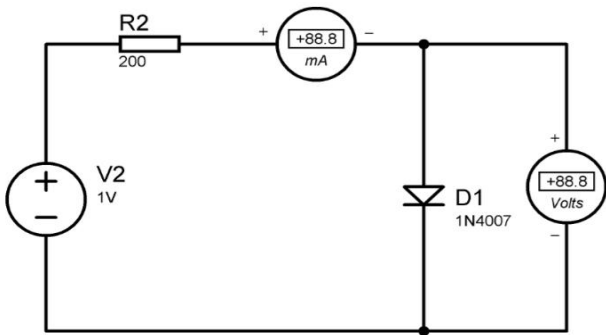


图 3.1-3

正向特性实验数据

$U_{D+}(V)$	0	0.2	0.4	0.5	0.6	0.65	0.7	0.75
$I(mA)$								

反向特性实验数据

$U_{D-}(V)$	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30
$I(mA)$							

4、测定稳压二极管的伏安特性

只要将图 1-3 中的二极管换成底板上的稳压二极管 1N4735，重复实验内容 3 的测量。测量点自定。

正向特性实验数据

UD+(V)	0	0.2	0.4	0.5	0.6	0.65	0.7	0.75
I (mA)								

反向特性实验数据

UD-(V)	0	2	4	6	6.1	6.15	6.2	
I (mA)								

五、实验注意事项

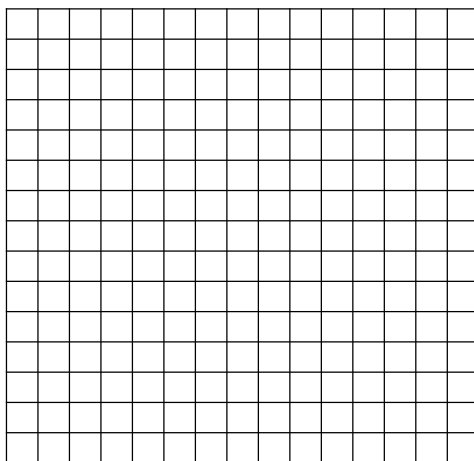
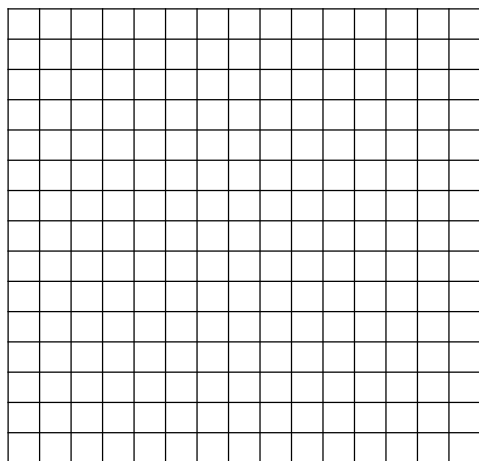
- 1、测二极管正向特性时，稳压电源输出应由小至大逐渐增加，应时刻注意电流表读数不得超过 35mA。
- 2、进行不同实验时，应先估算电压和电流值，合理选择仪表的量程，切勿使仪表超量程，仪表的极性亦不可接错。

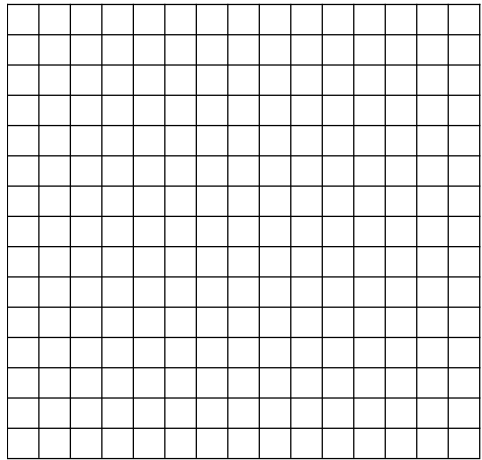
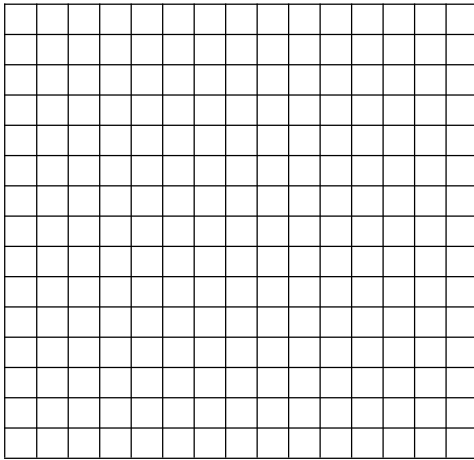
六、思考题

- 1、线性电阻与非线性电阻的概念是什么？电阻器与二极管的伏安特性有何区别？
- 2、设某器件伏安特性曲线的函数式为 $I = f(U)$ ，试问在逐点绘制曲线时，其坐标变量应如何放置？
- 3、在图 1-3 中，设 $U=3V$ ， $UD+=0.7V$ ，则毫安表（mA）表读数为多少？
- 4、稳压二极管与普通二极管有何区别，其用途如何？

七、实验报告

- 1、根据各实验数据，分别在方格纸上绘制出光滑的伏安特性曲线。（其中二极管和稳压管的正、反向特性均要求画在同一张图中，正、反向电压可取为不同的比例尺）。
- 2、根据实验结果，总结、归纳各被测元件的特性。
- 3、必要的误差分析。





3.2 叠加定理的验证

一、实验目的

- 1、验证线性电路叠加原理的正确性，加深对线性电路的叠加性和齐次性的认识和理解。
- 2、学习复杂电路的连接方法

二、实验原理

如果把独立电源称为激励，由它引起的支路电压、电流称为响应，则叠加原理可以简述为：在有多多个独立源共同作用下的线性电路中，通过每一个元件的电流或其两端的电压，可以看成是每一个独立源单独作用时在该元件上所产生的电流或电压的代数和。

在含有受控源的线性电路中，叠加定理也是适用的。但叠加定理不适用于功率计算，因为在线性网络中，功率是电压或者电流的二次函数。

线性电路的齐次性是指当激励信号（某独立源的值）增加或减少 K 倍时，电路的响应（即在电路其他各电阻元件上所建立的电流和电压值）也将增加或减小 K 倍。

三、实验设备

序号	名称	型号与规格	数量	备注
1	台式直流电源	0~30V	1	
2	实验箱-可调电源	+1.3V~+12V	1	
3	万用表		1	
4	实验箱-直流电流测量 0~200mA		3	
5	子板-叠加定理实验板（绿色）		1	
6	子板-通用参数选择板（黑色）		1	

四、实验内容

实验线路如图 3.2-1 所示。

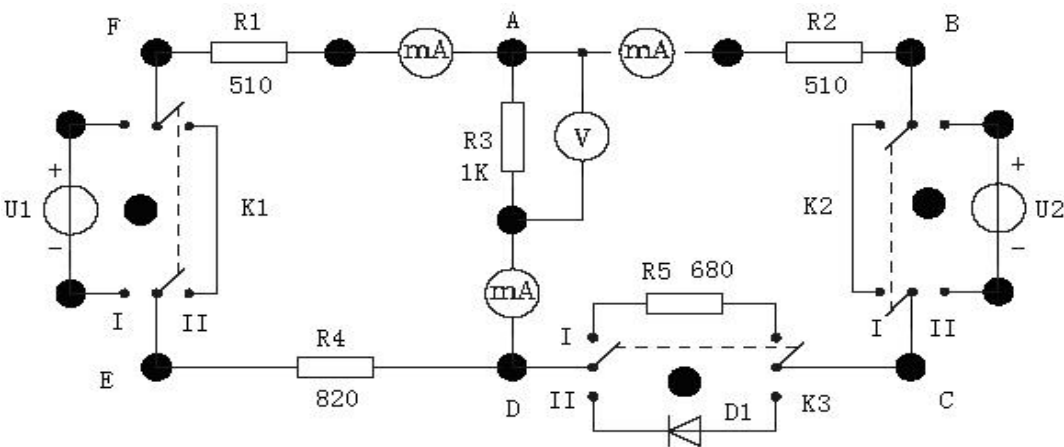


图 3.2-1 叠加原理验证单元

- 1、将两路稳压源的输出分别调节为 12V 和 6V，接到 U_1 和 U_2 处。
- 2、令 U_1 电源单独作用（将开关 K_1 投向 U_1 , 开关 K_2 投向短路侧）。用直流数字电压表和毫安表分别测量各支路电流及各电阻元件两端的电压，数据记入表 3.2-1。
- 3、令 U_2 电源单独作用（将开关 K_1 投向短路侧，开关 K_2 投向 U_2 侧），重复实验步骤 2

的测量并记录，数据记入表 5-1。

4、令 U_1 和 U_2 共同作用（开关 K_1 和开关 K_2 分别投向 U_1 和 U_2 侧），重复上述测量，重复实验步骤 2 的测量并记录，数据记入表 3.2-1。

5、将 U_2 的数值调至+12V，重复上述第 3 项的测量并记录，数据记入表 3.2-1。

表 3.2-1 线性元件伏安特性的测量

测量项目 实验内容	U_1 (V)	U_2 (V)	I_1 (mA)	I_2 (mA)	I_3 (mA)	U_{AB} (V)	U_{CD} (V)	U_{AD} (V)	U_{DE} (V)	U_{FA} (V)
U_1 单独作用										
U_2 单独作用										
U_1 、 U_2 共同作用										
U_1 、 U_2 共同作用										

6、将 R_5 换成二极管 IN4007，重复步骤 1~5。数据记入表 3.2-2。

表 3.2-2 非线性元件伏安特性的测量

测量项目 实验内容	U_1 (V)	U_2 (V)	I_1 (mA)	I_2 (mA)	I_3 (mA)	U_{AB} (V)	U_{CD} (V)	U_{AD} (V)	U_{DE} (V)	U_{FA} (V)
U_1 单独作用										
U_2 单独作用										
U_1 、 U_2 共同作用										
U_1 、 U_2 共同作用										

五、实验注意事项

1、用电流表测量各支路电流时，或者用电压表测量电压降时，应注意仪表的极性，正确判断测得值的+、一号后，记入数据表格。

2、注意仪表量程的及时更换。

六、预习思考题

1、可否直接将不作用的电源（ U_1 或 U_2 ）短接置零？

2、实验电路中，若有一个电阻器改为二极管，试问叠加原理的叠加性与齐次性还成立吗？为什么？

七、实验报告

1、根据实验数据表格，进行分析、比较、归纳、总结实验结论，即验证线性电路的叠加性与齐次性。

2、各电阻器所消耗的功率能否用叠加原理计算得出？试用上述实验数据，进行计算并作结论。

3、通过实验步骤 6 及分析表格 5-2 的数据，你能得出什么样的结论？

3.3 单级晶体管放大电路

一、实验目的

- 1、熟悉和掌握模拟电路实验箱的使用方法。
- 2、掌握单管放大器静态工作点的调试方法并测定中频电压放大倍数。
- 3、掌握放大电路输出电阻 R_o 和输入电阻 R_i 的测定方法。
- 4、观察 $W1$ 、 R_c 、 R_L 变化对放大倍数和输出波形的影响。

二、实验仪器

序号	名称	型号与规格	数量	备注
1	台式万用表或者手持万用表		1	
2	双踪示波器		1	
3	交流毫伏表		1	
4	函数信号发生器		1	
5	实验箱-电源接口	+12V	1	
6	实验箱-直流电流测量 0~200mA		1	
7	子板-通用参数选择板		1	
8	子板-单级多级负反馈放大电路实验板		1	

三、实验电路

实验电路如图 3.3-1 所示。其中， $W1$ 用于调整电路的静态工作点； R_L 为可调负载电阻。另外，为了减小噪声影响，提高放大器输入端的信噪比，电路左侧设置了 R_{O1} 、 R_{O2} 构成的输入信号分压器，其分压比设计为：

$$\frac{u_s}{u_1} = \frac{R_{O2}}{R_{O1} + R_{O2}} = \frac{0.1K\Omega}{3.9K\Omega + 0.1K\Omega} = \frac{1}{40}$$

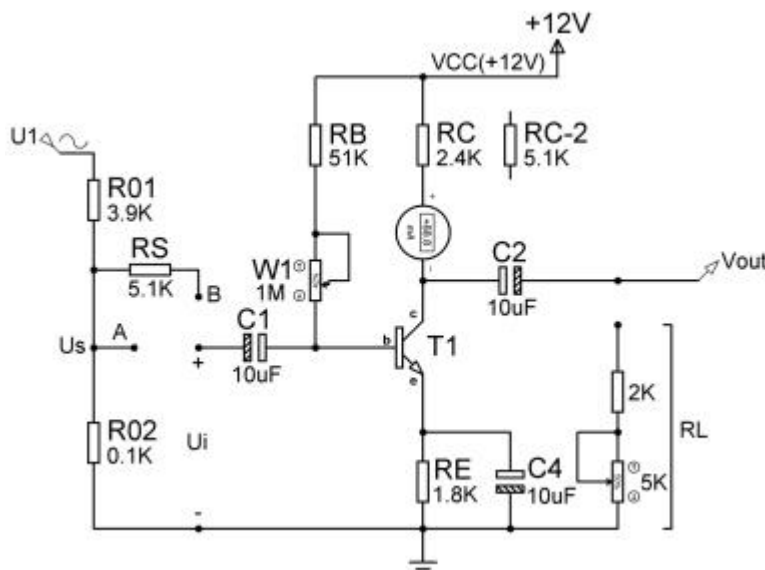


图 3.3-1 单级晶体管放大电路

注意：所有电子仪器仪表的“接地”端必须与实验板上的“参考地”连接！

四、实验内容及步骤

由于电子器件性能分散性比较大，因此在设计和制作晶体管放大电路时，离不开测量和调

试技术。在设计前应测量所用元器件的参数，为电路设计提供必要的依据，在完成设计和装配以后，还必须测量和调试放大器的静态工作点和各项性能指标。一个优质的放大器，必定是理论设计和实验调整相结合的产物。因此，除了学习放大器的理论知识和设计方法外，还必须掌握必要的测量和调试技术。

放大器的测量和调试一般包括：放大器静态工作的的测量和调试，放大器各项动态参数的测量和调试等。

- 注意：实验前应完成以下任务：**
- a、用万用表判断实验箱上三极管 T 的极性和好坏，电解电容 C 的极性和好坏，所需实验连线的好坏并测量+12V 直流电源好坏。**
 - b、断开电源后，连接电路**

1、静态工作点的调整与测试

- (1) 按原理图在实验板上正确连线，仔细检查，**确认无误后接通电源。**
- (2) 测量三极管的直流放大倍数和静态工作点

将万用表置直流电压档，监测晶体管 T₁ 集电极对地电压，调节 W₁ 使 VC=6~8V，然后测量 VE、VBE；再将万用表置直流电流档，分别测量 IB 和 IC。

将上述测量结果记录于表 3.3-1 中。

表 3.3-1

VC (V)	VE (V)	VBE (V)	IB (mA)	IC (mA)

2、放大器动态性能指标测试

(1) 电压放大倍数

令 $R_L = \infty$ ，将低频信号发生器的输出端接至 u_i 端。调节信号发生器的幅度和频率，使输入正弦信号 $f_i = 1\text{kHz}$ 、 $u_s = u_i = 5\text{mV}$ （用毫伏表在 A 点监测），然后用示波器观察输入、输出波形及相位关系。波形无失真时测量输出电压 u_o' ，计算空载时的电压放大倍数：

$$A_v' = \frac{u_o'}{u_i}$$

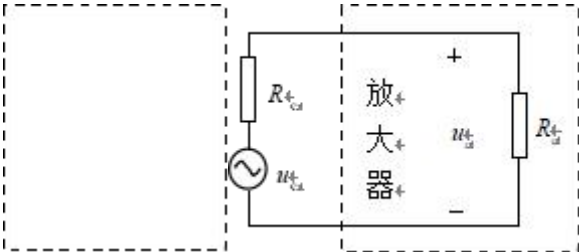
接上负载（ $R_L = 5.1\text{KW}$ ），重测输出电压 u_o ，计算带载时的电压放大倍数：

$$A_v = \frac{u_o}{u_i}$$

(2) 输出电阻 R_o

测量放大器输出电阻的原理电路如图 3.3-2 所示，其戴维南等效电压源 u_o' 即为空载时的输出电压，等效内阻 R_o 即为放大器的输出电阻。显然

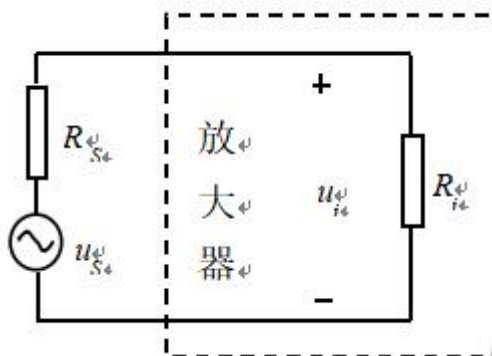
$$R_o = \frac{u_o' - u_o}{I_L} = \frac{u_o' - u_o}{u_o / R_L} = (\frac{u_o'}{u_o} - 1) R_L$$



3.3-2 R_o 测试原理示意

(3) 输入电阻 R_i

测量放大器输入电阻的原理电路如图 3.3-3 所示，由图可见



3.3-3 R_i 测试原理示意

$$R_i = \frac{u_i}{I_i} = \frac{u_i}{(u_S - u_i)/R_S} = \frac{u_i}{u_S - u_i} R_S$$

其中电阻 $R_S=5.1\text{KW}$ 。本实验中可在实验板上 C_1 之前串入 R_S (u_i 接 B 点)，保持 $u_S=5\text{mV}$ ，并测量 u_i 。

3、观测 W_1 、 R_c 、 R_L 变化对放大电路的影响

* (1) 将 u_i 重新接至 A 点，断开负载 R_L ，增大输入信号 u_i 的幅度，同时用示波器观察输出波形，记录 u_O 出现失真前的幅值。将 R_c 更换为 3KW 电阻，调节输入信号 u_i 幅度，测出新的最大不失真输出电压。

* (2) 将 R_c 恢复为 2.4KW 电阻，接入负载电阻 $R_L=5.1\text{KW}$ ，用示波器观察输出波形，调节 u_i 的幅度，记录带载条件下的最大不失真输出电压。

(3) 保持 $U_i=5\text{mV}$ 不变，增大和减小 R_P ，观察 U_O 波形变化，测量并填入表 2-2。

表 2-2 R_P 变化对放大电路的影响

R_P 值	U_B	U_C	U_E	输出波形情况
最大				
合适				
最小				

注意：若失真观察不明显，可增大或减小 U_i 幅值重测。

五、预习要求

- 1、观察单级放大电路实验板电路图，设计图 3.4-1 实验电路接线方案。
- 2、预习单管放大电路原理，估算静态工作点及 A_V 、 R_i 和 R_O 。
- 3、估计实验电路中 W_1 、 R_c 和 R_L 变化对电压放大倍数和输出波形的影响。
- 4、熟悉 R_i 、 R_O 的测量原理。

六、实验报告

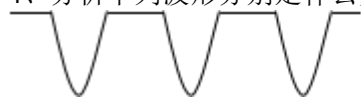
记录实验数据及波形，将实测 A_V 、 R_i 、 R_O 数值。与理论估算值比较，并分析误差原因。

七、思考题

- 1、能否不经隔直电容把输入信号直接接在放大器的输入端，为什么？
- 2、测量静态工作点用什么仪表；测量放大器的输入信号和输出信号用什么仪表；为什么？

3、若测出 $V_{CEQ} \approx 0V$ 或 $V_{CEQ} \approx +V_{CC}$ ，分别说明什么问题？

4、分析下列波形分别是什么失真？产生原因是什么？如何解决？



(1)



(2)



(3)

3.4 基本运算电路及其应用

一、实验目的

- 1、掌握用集成运算放大器组成的比例、加法、减法、积分等运算电路的性能及其测试方法。
- 2、了解 $\mu A741$ 运算放大器使用中的一些注意事项。

二、实验设备

序号	名称	型号与规格	数量	备注
1	台式万用表或者手持万用表		1	
2	双踪示波器		1	
3	交流毫伏表		1	
4	函数信号发生器		1	
5	实验箱-电源接口	+12V, -12V	1	
6	实验箱-直流可调信号源	-0.5V~+0.5V	1	
7	子板-集成运放电路实验板		1	

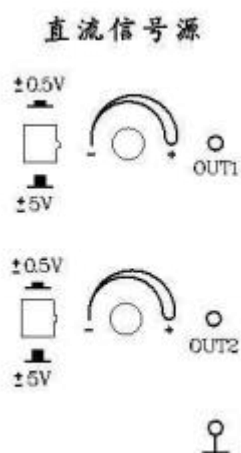


图-1

三、预备知识

1、直流信号源

图 3.4-1 所示直流信号源由 A5 实验板左测提供。将 $\pm 12V$ 电源接入 A5 实验板，调节信号源两电位器，可在 $-5V \sim +5V$ 范围内分别获得两路独立可调的直流信号；电压选择按键按下时，两路直流信号的可调范围则为 $-0.5V \sim +0.5V$ 。该直流信号源在以下比例放大、加法、减法、积分等运算电路中均有应用。图 3.4-2 所示 $\mu A741$ 构成的反相比例运算电路， $\mu A741$ 是一个高增益的直流放大器，属第二代通用型运放，其 DIP 封装的引脚分布如图 3.4-2 所示。

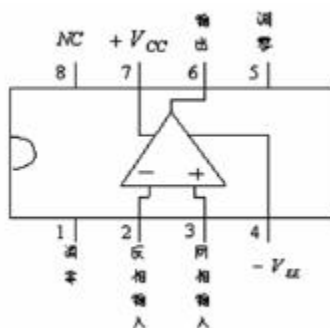


图 3.4-2 $\mu A741$ DIP 封装

四、实验内容及要求

1、反相比例运算放大器：

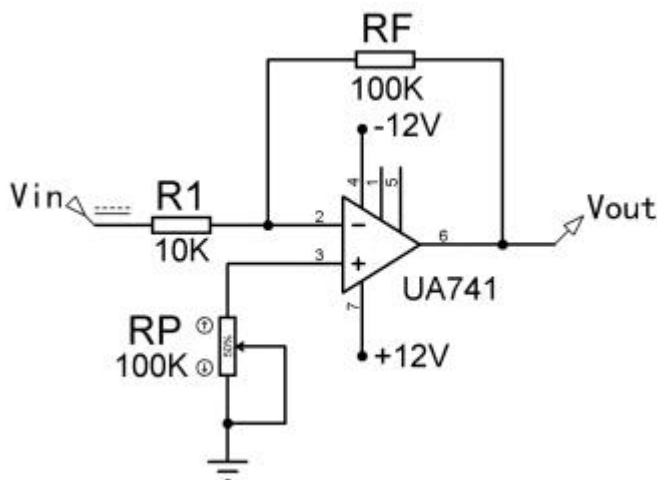


图 3.4-3 反相比例运算放大器原理图

实验电路如图 3.4-3，试确定电路中元件参数，以实现 $V_o = -10V_i$ 的运算关系。

(1)调零：比例运算电路首先要进行闭环调零。如图 3.4-3 连接电路，将 3 号管脚接地，令输入 $V_i=0$ ，用万用表直流电压挡监测输出电压 V_o ，调节运算放大器的调零电位器 R_p ，使 $V_o=0V$ 。

(2)测量电压放大倍数：用直流电压表测量输出电压，验证反相比例运算放大器的传输特性，测量 U_i 和 U_o ，将数据记录在表 3.2-1 中，并计算理论值与实测值之间的误差。

表 3.2-1

输入电压 V_i		-0.8 V	-0.4 V	0V	+0.4 V	+0.8V	+1V	+1.2 V	V_{max}
输出电压 V_o (V)	理论值								
	实测值								
	计算误差								

(3) 将 V_i 改为 0.1~0.5V 的正弦交流信号输入时，观察测量输出波形，并记录交流输出结果。

2、反相输入加法器：

实验电路如图 3.4-4 所示，试确定电路中元件参数，以实现 $V_o = -10(V_{i1} + V_{i2})$ 。

注意：合理给定直流输入电压信号 V_{i1} 、 V_{i2} 的量值。

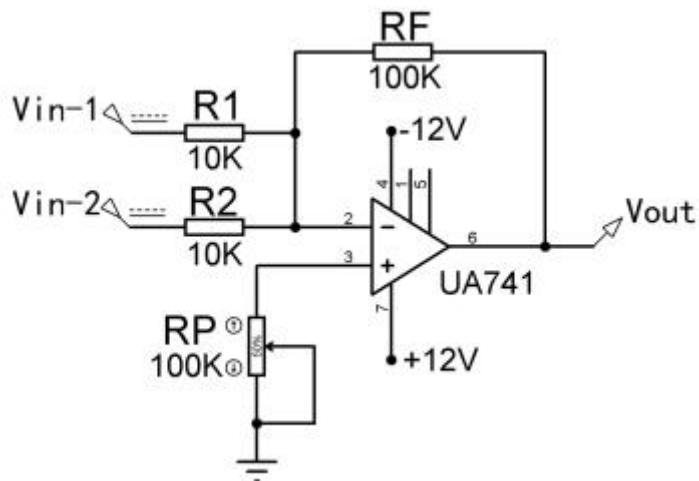


图 3.4-4 反相输入加法器原理图

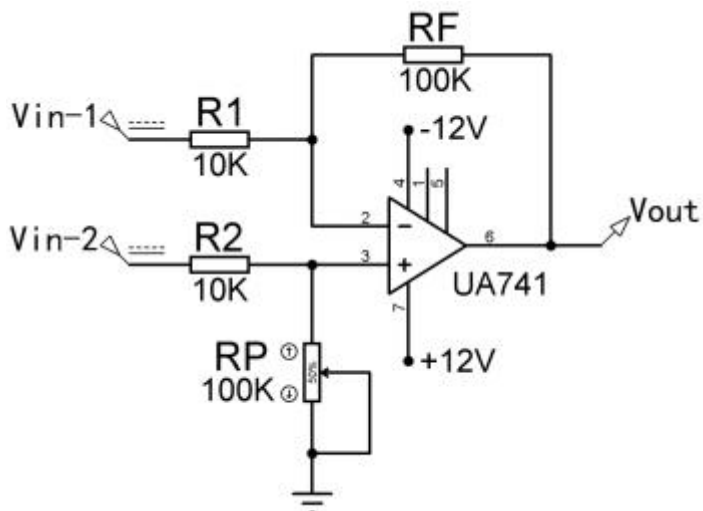


图 3.4-5 差动输入减法器原理图

3、差动输入减法器：

实验电路如图 3.4-5，试确定电路中元件参数，以实现 $V_o = 10(V_{i2} - V_{i1})$ 。

注意：合理给定直流输入电压信号 V_{i1} 、 V_{i2} 的量值。

4、反相输入积分器：

实验电路如图 3.4-6 所示：输入信号 V_i 为 $\sqrt{2} \sin 314t$ 正弦信号或为 1000~5000Hz、2V 的方波信号时，分别观测并记录输出信号 V_o 的波形。

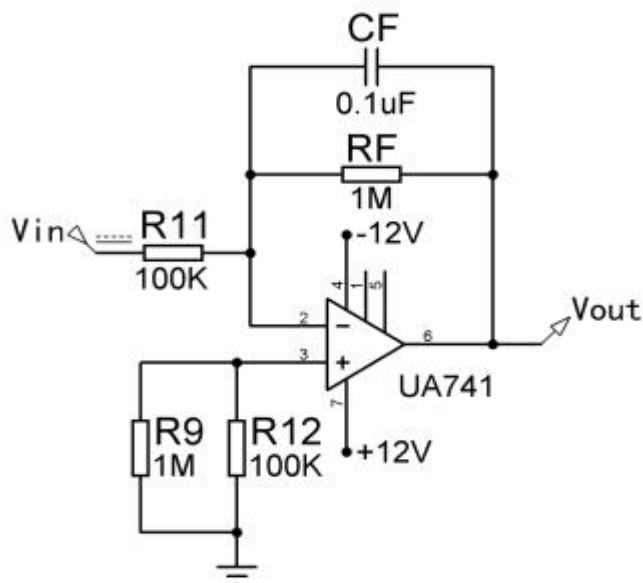


图 3.4-6 反相输入积分器原理图

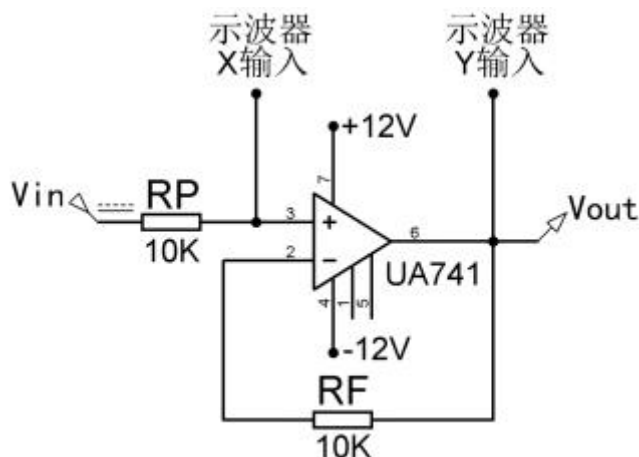


图 3.4-7 电压跟随器原理图

5、电压跟随器：

实验电路如图 3.4-7 所示，输入正弦电压信号，令 $V_i=2V$ ，将示波器置“X—Y”工作模式，并选择合适量程。由于 V_i 、 V_o 同频同相，故利用李沙育波形合成法可以观测电压跟随器的电压传输特性。记录示波器所显示的波形，并标注其坐标参数。

五、预习要求

- 1、复习教材中“信号运算电路”的工作原理。
- 2、参照 A2 实验板结构图及可选元件的标定数值，设计各实验电路接线方案，计算确定各电路元件参数。
- 3、自拟实验步骤和各种数据记录表格，自选仪器设备、自定信号的有关参数。

六、实验报告

- 1、整理实验数据，并与理论值比较，分析误差原因。
- 2、记录、分析实验中出现的异常现象与故障排除方法。

七、思考题

- 1、实验中，各运算电路的集成运放工作于线性状态还是非线性状态？
- 2、造成积分漂移的主要原因是什么？

3.5 组合逻辑电路实验验证与设计

一、实验目的

1. 掌握组合逻辑电路的分析方法与测试方法;
2. 验证半加器、全加器的逻辑功能;
3. 了解组合逻辑电路的设计过程。

二、预习要求

1. 复习组合逻辑电路的分析方法;
2. 复习用与非门和异或门等构成的半加器、全加器的工作原理;
3. 复习组合电路设计过程。

三、实验原理

1、组合逻辑电路

由很多常用的门电路组合在一起, 实现某种功能的电路, 它在任意时刻的输出, 仅取决于该时刻输入信号的逻辑取值, 而与信号作用前电路原来的状态无关。

2、组合逻辑电路的分析

是指根据所给的逻辑电路, 写出其输入与输出之间的逻辑函数表达式或真值表, 从而确定该电路的逻辑功能。其分析步骤为:



图 3-5-1 组合逻辑电路的分析

3、组合逻辑电路设计举例

设计的主要过程: 根据设计任务的要求建立输入、输出变量, 并列出真值表。然后用逻辑代数或卡诺图化简法求出简化的逻辑表达式。并按实际选用逻辑门的类型修改逻辑表达式。根据简化后的逻辑表达式, 画出逻辑图, 用标准器件构成逻辑电路。最后, 用实验来验证设计的正确性。

例: 用“与非”门设计一个表决电路。当四个输入端中有三个或四个为“1”时, 输出端才为“1”。

设计步骤: 根据题意列出真值表如表 3.5-1 所示, 再填入卡诺图表 3.5-2 中。由卡诺图得出逻辑表达式, 并演化成“与非”的形式

表 3.5-1 真值表

D	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
A	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
B	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
C	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0
Z	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1

表 3.5-2 Z 的卡诺图

DA \ BC	00	01	11	10
00				
01			1	
11		1	1	1

10			1	
----	--	--	---	--

$$Z = ABC + BCD + ACD + ABD = \overline{ABC} \cdot \overline{BCD} \cdot \overline{ACD} \cdot \overline{ABC}$$

根据逻辑表达式画出用“与非门”构成的逻辑电路如图 3.5-2 所示。

图 3.5-2 表决电路逻辑图

4、半加器

两个二进制数相加，叫做半加，实现半加操作的电路，称为半加器。表 3.5-3 是半加器的真值表，图 3.5-3 为半加器的符号，A 表示加数；B 表示被加数；S 表示半加和；C 表示向高位的进位。

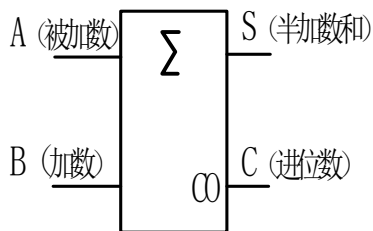


图 3.5-3

A	B	S	C
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

表 3.5-3

从二进制数加法的角度看，真值表中只考虑了两个加数本身，没有考虑低位来的进位，这就是半加器一词的由来。由真值表可得半加器逻辑表达式

$$S = \overline{A}B + A\overline{B} = A \oplus B$$

$$C = AB$$

5、全加器

全加器能进行加数、被加数和低位来的进位信号相加，并根据求和的结果给出该位的进位信号。图 3.5-4 是全加器的符号，如果用 A_i 、 B_i 表示 A、B 两个数的第 i 位， C_{i-1} 表示为相邻低位来的进位数， S_i 表示为本位和数（称为全加和）， C_i 表示为向相邻高位的进位数，则根据全加运算规则可列出全加器的真值表如表 3.5-4。利用图形法可以很容易地求出 S、C 的简化函数表达式。

$$S_i = A_i \oplus B_i \oplus C_{i-1}$$

$$C_i = (A_i \oplus B_i)C_{i-1} + A_i B_i$$

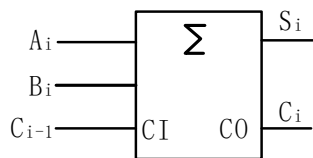


图 3.5-4

A_i	B_i	C_{i-1}	S_i	C_i
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

表 3.5-4

四、实验器件

1. 数字电路实验箱

2. 双踪示波器 YB4320G

3. 74LS00

74LS86

74LS02

4. 若干导线

五、实验内容

1、用异或门及与非门实现半加器

下图是一个用异或门 74LS86 及与非门 74LS00 实现的一个半加器。

(1) 标出与非门的各个引脚编号。

(2) 按照电路图在实验箱连接硬件，实验时需要给芯片上电，即芯片上 VCC 引脚接 +5V，GND 引脚接地（GND）。接线检查无误后打开实验箱电源，进行实验。

(3) 验证实验结果，完成下表。

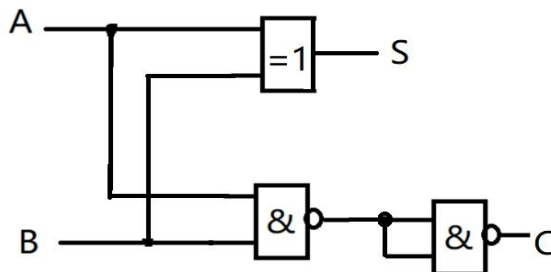


图 用异或门及与非门实现半加器

表 2.3 用与非门组成的半加器实验结果

A	B	S	C
0	0		
0	1		
1	0		
1	1		

2、用与非门实现半加器

用与非门 74LS00 设计一个半加器。

- (1) 列出真值表。
- (2) 由真值表用卡诺图写出逻辑表达式。
- (3) 画出逻辑电路接线图。
- (4) 在实验箱连接硬件电路。
- (5) 验证实验结果，并记录(表格自拟)。

3、用异或门及与非门实现全加器

下图是一个用异或门 74LS86 及与非门 74LS00 实现的一个全加器。

- (1) 标出与非门的各个引脚编号。
- (2) 按照电路图在实验箱连接硬件，实验时需要给芯片上电，即芯片上 VCC 引脚接+5V，GND 引脚接地（GND）。接线检查无误后打开实验箱电源，进行实验。
- (3) 验证实验结果，完成下表。

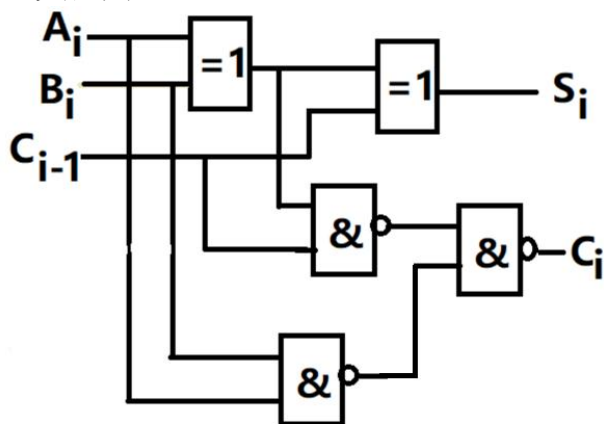


图 用异或门及与非门实现全加器
表 用异或门及与非门实现全加器实验结果记录

Ai	Bi	Ci-1	Ci	Si
0	0	0		
0	1	0		
1	0	0		
1	1	0		
0	0	1		
0	1	1		
1	0	1		
1	1	1		

4、用与非门实现全加器(选做)

用异或门 74LS86 及与非门 74LS00 设计一个全加器。

- (1) 列出真值表。
- (2) 由真值表用卡诺图写出逻辑表达式。
- (3) 画出逻辑电路接线图。
- (4) 自拟记录表格，根据自己设计的逻辑电路图在硬件上验证逻辑功能

(5)根据自己设计的逻辑图连接硬件,实验时需要给芯片上电,即芯片上 VCC 引脚接+5V, GND 引脚接地(GND)。接线检查无误后打开实验箱电源,进行实验。

(6)完成下表。

六、实验报告与思考

- 1、写出图 2-3 的输出表达式并化简并列出实验结果。
- 2、写出图 2-4 的输出表达式并化简并列出实验结果。
- 3、写出图 2-5 的输出表达式并化简并列出实验结果。
- 4、列出三路表决器的设计过程,并列出实验结果。
- 5、总结组合逻辑电路的分析、设计步骤。

七、实验注意事项

- 1、实验中要求使用+5V,电源极性绝对不允许接错。
- 2、插集成块时,要认清定位标记,不得插反。
- 3、连线之前,先用万用表测量导线是否导通。
- 4、输出端不允许直接接地或直接接+5V 电源,否则将损坏器件。

3.6 计数、译码及显示电路实验

一、实验目的

- 1、熟悉常用中规模计数器的逻辑功能。
- 2、掌握计数、译码、显示电路的工作原理及其应用。

二、实验设备

序号	名称	型号与规格	数量	备注
1	台式万用表或者手持万用表		1	
2	子板-DIP_14 紧锁座模块（白色）		1	
3	子板-DIP_16 紧锁座模块（白色）		1	

三、预习要求

- 1、复习教材中有关中规模集成芯片 74LS90、74LS47 和 BT5161 数码管引脚的逻辑功能。
- 2、拟出用 74LS90 构成 8421BCD 码十进制计数器的实验线路图。
- 3、拟出用 74LS90、74LS47 和 BT5161（数码管）构成的计数、译码、显示电路的电路图。

四、实验内容及步骤

1、4 线 BCD-7 段译码器（74LS48）

74LS48 为有内部上拉电阻的 BCD-7 段译码器/驱动器，其中 A-D 管脚为译码地址输入端，QA-QG 管脚为译码输出端，BI 非/RBO 非为消隐输入（低电平有效）/脉冲消隐输出（低电平有效），LT 非为灯测试输入端（低电平有效），RBI 非为脉冲消隐输入端（低电平有效）。

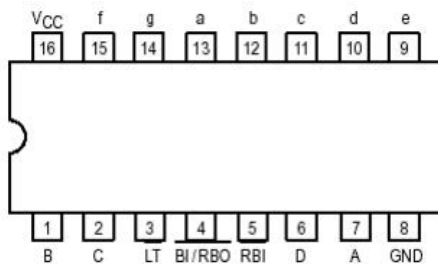
74ls48 的真值表：

DECIMAL OR FUNCTION	INPUTS						OUTPUTS							NOTE	
	$\overline{\text{LT}}$	$\overline{\text{RBI}}$	D	C	B	A	$\overline{\text{BI/RBO}}$	a	b	c	d	e	f		g
0	H	H	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	L	1
1	H	X	L	L	L	H	H	L	H	H	L	L	L	L	1
2	H	X	L	L	H	L	H	H	H	L	H	H	L	H	
3	H	X	L	L	H	H	H	H	H	H	H	L	L	H	
4	H	X	L	H	L	L	H	L	H	H	L	L	H	H	
5	H	X	L	H	L	H	H	H	L	H	H	L	H	H	
6	H	X	L	H	H	L	H	L	L	H	H	H	H	H	
7	H	X	L	H	H	H	H	H	H	H	L	L	L	L	
8	H	X	H	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	
9	H	X	H	L	L	H	H	H	H	H	L	L	H	H	
10	H	X	H	L	H	L	H	L	L	L	H	H	L	H	
11	H	X	H	L	H	H	H	L	L	H	H	L	L	H	
12	H	X	H	H	L	L	H	L	H	L	L	L	H	H	
13	H	X	H	H	L	H	H	H	L	L	H	L	H	H	
14	H	X	H	H	H	L	H	L	L	L	H	H	H	H	
15	H	X	H	H	H	H	H	L	L	L	L	L	L	L	
BI	X	X	X	X	X	X	L	L	L	L	L	L	L	L	2
RBI	H	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	3
LT	L	X	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H	4



输出样式

下图为 74ls48 的引脚图：

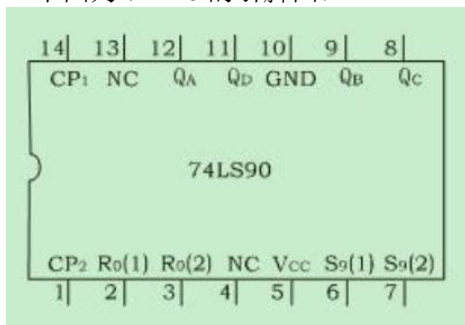


2、用 74LS90 芯片、分别构成五分频、六分频、九分频、十分频（5421）计数器。

输 入						输 出				功 能
清 0	置 9	时 钟				Q _b	Q _c	Q _s	Q _a	
R ₀ (1)、R ₀ (2)	S ₉ (1)、S ₉ (2)	CP ₁	CP ₂							
1 1	0 × × 0	×	×			0	0	0	0	清 0
0 × × 0	1 1	×	×			1	0	0	1	置 9
0 × × 0	0 × × 0	↓	1			Q _a 输 出				二进制计数
		1	↓			Q _b Q _c Q _s 输出				五进制计数
		↓	Q _a			Q _b Q _c Q _s Q _a 输出 8421BCD 码				十进制计数
		Q _b	↓			Q _a Q _b Q _c Q _s 输出 5421BCD 码				十进制计数
		1	1			不 变				保 持

图 3.4-74LS90 功能表

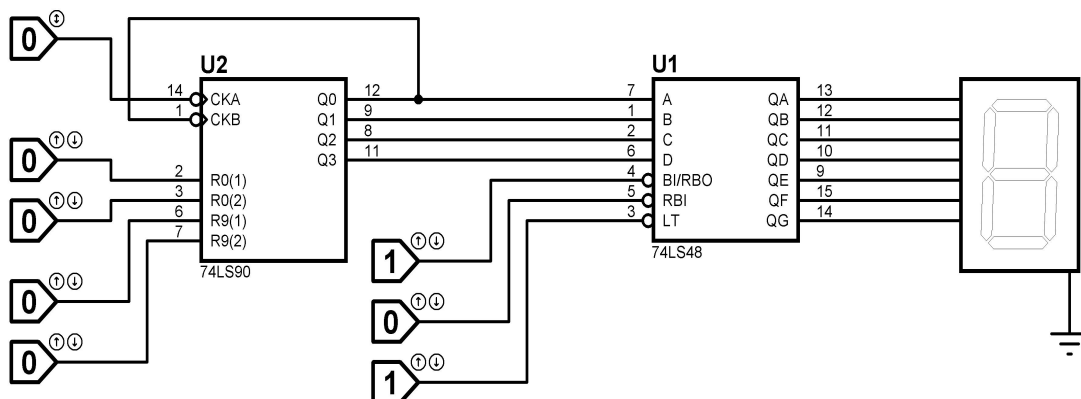
下图为 74ls48 的引脚图：



- (1) 画出四种工作方式的实验电路图。
- (2) 输入连续脉冲信号，用示波器观察记录输出波形。

3、用 74LS90 构成 8421BCD 码十进制计数器

- (1) 画出实验电路图。
- (2) 输入端 CP1 接单脉冲信号源，Q3、Q2、Q1、Q0 分别接指示灯（发光二极管）。观察在单脉冲源作用下，Q3、Q2、Q1、Q0 按 8421BCD 码变化规律。
- (3) 输入端 CP1 接连续脉冲源，用示波器观察 Q3 和输入端相对波形，并记录。



4、计数、译码、显示

- (1) 用 74LS90、74LS48 及数码管 BT5161（数码管）构成计数、译码、显示实验电路。
- (2) 硬件连接表（参照仿真电路）

74LS90	74LS48	拨码开关	数码管	脉冲	电源
1,12	7				
2		SW1（置 0）			
3		SW2（置 0）			
6		SW3（置 0）			
7		SW4（置 0）			
8	2				
9	1				
11	6				
14				单脉冲	
	3	SW5（置 1）			
	4	SW6（置 1）			
	5	SW7（置 0）			
	13		SA		
	12		SB		
	11		SC		
	10		SD		
	9		SE		
	15		SF		
	14		SG		
5	16				+5V
10	8				GND

注意：芯片目录下的数字表示该芯片的引脚数字标号，实验时确保给芯片上电，接线检查无误后打开实验箱电源，进行实验。

五、实验报告

- 1、整理实验数据，分析实验结果与理论值是否相等。
- 2、总结中规模集成电路的使用方法及功能。