

习 题 一

1.1 什么是测量？什么是电子测量？

答：测量是人们为了确定被测对象的量值或确定一些量值的依从关系而进行的实验过程。电子测量是指在电子学中测量有关电的量值。

1.2 简述电子测量的意义和特点。

答：电子测量的意义除具体运用电子科学的原理、方法和设备对各种电量、电信号及电路元器件的特性和参数进行测量外，还可通过各种敏感器件和传感装置对非电量进行测量，而且往往更加方便、快捷、准确，是用其他测量方法所不能替代的。

它的特点：1. 测量频率范围宽 2. 量程范围宽 3. 测量准确度高 4. 测量速度快 5. 易于实现遥测 6. 易于实现测量过程的自动化和测量仪器微机化

1.3 常用的电子测量仪器有哪些？

答：（1）信号发生器 （2）信号分析仪 （3）频率时间相位测量仪器 （4）网络特性测量仪 （5）电子元器件测试仪 （6）电波特性测试仪

1.4 按具体测量对象来分，电子测量包括哪些内容？

答：电子测量包括：（1）电能量的测量 （2）电路参数的测量 （3）电信号特征的测量 （4）电子设备性能的测量 （5）特性曲线的显示

1.5 电子测量的主要方法有哪些？

答：（1）直接测量 （2）间接测量 （3）组合测量 （4）时域测量 （5）频域测量 （6）数据域测量 （7）随机测量

习 题 二

1. 下列几种误差中，属于系统误差的有（1），属于随机误差的有（4），属于粗大误差的有（2）、（3）。

（1）仪表未校零所引起的误差； （2）测频时的量化误差；

（2）测频时的标准频率误差； （4）读数错误。

2. 对某电感进行了 12 次等精度测量，测得的数值（mH）为 20.46，20.52，20.50，20.52，20.48，20.47，20.50，20.49，20.47，20.49，20.51，20.51，若要求在 $P=95\%$ 的置信概率下，该电感真值应在什么置信区间内？

答：根据第 6-17 做

3. 对某信号源的输出频率进行了 12 次等精度测量，结果为

110.105，110.090，110.090，110.070，110.060，110.055，
110.050，110.040，110.030，110.035，110.030，110.020（kHz）

试分别用残差观察法、马利可夫及阿贝—郝梅特判据判别是否存在变值系统误差。

答：解：①平均值

$\bar{X}=110.05625$

②计算测量值残差为 0.04875、0.03375、0.03375、0.01375、0.00375、-0.00125、-0.00625

-0.01625、-0.02625、-0.02125、-0.02625、-0.03625

③实验偏差)

④ 的标准偏差

根据计算结果可知

4. 对某电阻进行多次重复测量，所得结果列于表，试检查测得数据中有无异常数据。

序号	测得值	序号	测得值
1	10.32	6	10.33
2	10.28	7	10.55
3	10.21	8	10.30
4	10.41	9	10.40
5	10.25	10	10.36

答：若，则该误差为粗大误差，所对应的测量值为异常数据。判据中 v_i 为残差，为标准差的估计值。使用时要求测量次数充分大。

(1)求出算术平均值

(2)计算，并列于表中，验证。

(3)计算标准偏差：

(4)按莱特准则判断有无，

(5)重新计算剩余数据的平均值：

重新计算，列于表中，并验证。

5. 用一电压表测量某电压，使用 0~10V 量程档，在相同条件下重复测量 7 次，测量值分别为：7.53，7.52，7.49，7.50，7.59，7.56，7.45（单位 V）。检定证书给出电压表该量程的允许误差为 $\pm 0.5\%F.S.$ 。要求报告该电压的测量结果及其扩展不确定度。

答：(1)求出算术平均值 $\bar{x} = 7.52$

(2)计算 v_i : 0.01、0.00、-0.03、-0.02、0.07、0.04、-0.07

(3)计算标准偏差：0.046188

(4)按莱特准则判断有无 $= 1.3302$ ，加以剔除。本题剔除数据如下：

(5)重新计算剩余数据的平均值：

(7)计算算术平均值的标准偏差：

(8)写出测量结果表达式： $A_0 =$

6. 将下列数字保留 3 位有效数字

45.77 36.251 43.149 38.050 47.15 3.995

答：45.8 36.3 43.1 38.1 47.2 4.00

习 题 三

3.1 测量电阻、电容、电感的方法有哪些？它们各有什么特点？对应于每一种方法举出一种测量仪器。

答：电阻的测量方法有（1）万用表测量电阻 它的特点只能做一般性的粗略检查测量，但当它用以测量阻值较小的电阻时，相对误差仍然是比较大的。测量仪器：万用表（2）电桥法测量电阻 它的特点是工作频率较宽，测量精度较高，可达 10^{-4} ，比较适合低频阻抗元件的测量。测量仪器：检流计（3）伏安法测量电阻 它的特点是原理简单，测量方便，尤其是用于测量非线性电阻的伏安特性。测量仪器：电流表

电容的测量方法有（1）谐振法测量电容量 它的特点较符合高频电容元件的实际情况，容易获得较为可靠的测量结果。测量仪器：交流电压表（2）交流电桥法测量电容量 它的特点是根据电桥的连结方法不同，可以测量损耗小或大的电容器。测量仪器：检流计（3）用万用表估测电容 它的特点是不能测出其容量和漏电阻的确切数值，更不能知道电容器所能承受的耐压，但对电容器的好坏程度能粗略判别。测量仪器：万用表

电感的测量方法有（1）谐振法测量电感 它的特点较符合高频电感元件的实际情况，容易获得较为可靠的测量结果。（2）交流电桥法测量电感 它的特点是测量品质因数不同的电感，适用测量低频用电感，尤其适用于铁心的大电感。测量仪器：检流计（3）通用仪器测量电感它的特点是精确度较高。测量仪器：交流电压表

3.2 画出在高频情况下实际电阻、电容、电感器件的等效电路。

电阻的等效电路

电感的等效电路

电容的等效电路

3.3 简述直流电桥法测量电阻的基本方法。

答：电桥法是利用示零电路作测量指示器，根据电桥电路平衡条件来确定阻抗值的测量方法。利用两个固定电阻（ R_1 、 R_2 ）作为比率臂，比例系数 $K=R_1/R_2$ 可通过量程开关进行调节，标准电阻（ R_n ）作为标准臂，可设电阻（ R_x ）为被测电阻， G 为检流计。当被测电阻接上时，接通直流电源，调节比例系数 K 和标准电阻（ R_n ），使电桥平衡，即检流计指示为零，读出 K 和 R_n 的值，即可求得 R_x 。其公式为：

$$R_x = \frac{R_1}{R_2} R_n$$

3.4 电解电容的漏电流与所加电压有关系吗？为什么？

答：电解电容的漏电流与所加电压有关系。因为它有正、负极之分，只能工作在直流状态，如果极性用反，将使漏电流剧增，电解电容将会急剧变热而使电容损坏，甚至引起爆炸。

3.5 图 3.27 所示的串联电桥到达了平衡，其中 $R_2=100\Omega$ ， $C_2=0.1\mu F$ ， $C_4=0.01\mu F$ ， $R_3=1000\Omega$ 。试求 R_x 和 L_x 的值。

答：

3.6 一个电解电容器，它的“+”、“-”极标志已经脱落，如何用万用表去判定它的“+”、“-”极？

答：可先假定某极为“+”极，让其与万用表的黑表笔相接，另一个电极与万用表的红表笔相接，同时观察并记录表针向右摆动的幅度；将电容放电后，两只表笔对调，重新进行测量。哪一次表针最后停留的摆动幅度小，说明该次测量中对电容的正、负假设是对的。

习 题 四

4.1 简述电压测量的基本要求及电压测量仪器的分类方法。

答：电压测量的基本要求是直接、方便，将电压表直接并联在被测元件两端，只要电压表的内阻足够大，就可以在几乎不影响电路工作状态的前提下得到满意的测量结果。和电流测量比较来说，电压测量以不改变电路结构而显得更加方便。

电压测量仪器分为模拟式电压表、电子式电压表、数字式电压表

4.2 交流电压表都是以何值来标定刻度读数的？真、假有效值的含义是什么？

答：交流电压都是以有效值来标定刻度读数的。

4.3 利用全波平均值电子电压表测量图 4.12 所示三种不同波形（正弦波、方波、三角波）的交流电压，设电压表的读数都是 1V，问：

- (1) 对每种波形，电压表的读数各代表什么意义？
- (2) 三种波形的峰值、平均值及有效值分别为多少？
- (3) 根据测量结果，将三个波形画在同一坐标图上以进行比较。

图 4.12 习题 4.3 图

答：(1) 电压表的读数代表波形的有效值

(2) 正弦波的峰值 1.414 V、平均值 0.64 V 方波的峰值 1 V 方波的平均值 1 V

三角波的峰值 1.73 V 平均值 0.58 V

(3)略

4.4 若在示波器上分别观察峰值相等的正弦波、方波、三角波，得 $U_p=5V$ ；现在分别采用三种不同检波方式并以正弦波有效值为刻度的电压表进行测量，试求其读数分别为多少？

答：正弦波的读数 3.54 V 方波的读数 5V 三角波的读数 2.89V

4.5 用峰值表和均值表分别测量同一波形，读数相等。这可能吗？为什么？

答：这不可能，因为同一波形的峰值和均值是不相等的。

4.6 已知某电压表采用正弦波有效值为刻度，如何以实验方法判别它的检波类型？试列出两种方案，并比较哪一种方案更合适。

答：略

4.7 简述逐次逼近比较型数字电压表和双积分型数字电压表的工作原理，并比较它们的优缺点。

答：逐次逼近比较型数字电压表的工作原理用被测电压和一个可变的已知电压（基准电压）进行比较，直至比较结果相等，达到测出被测电压值的目的。其工作过程可与天平称重物类比。图中的电压比较器A相当于天平，被测模拟电压 U_x 相当于重物，基准电压 U_{ref} 相当于电压砝码，且电压砝码具有按 8421 编码递进的各种规格。根据 $U_x < U_{ref}$ 或 $U_x > U_{ref}$ ，比较器有不同的高低电平输出，该输出用以打开或关闭逐次逼近寄存器的各位开关。D/A转换器输入数字量的位数与逐次逼近寄存器的位数相同其权电阻网络的数码开关受逐次逼近寄存器各位的控制。

双积分型数字电压表的工作原理在一个测量周期内，借助于积分器的两次积分过程，获得与积分电压成比例的时间间隔。如图 4.10 所示，首先将被测电压 U_x 加到积分器的输入端，在确定的时间 T_1 内（采样时间）进行积分，也称定时积分，然后切断 U_x ，在积分器的输入端加上与 U_x 极性相反的标准电压 U_{ref} ，由于 U_{ref} 一定，所以称定值积分，但积分方向相反，直到积分输出达到起如电平为止，从而将 U_x 转换成时间间隔进行测量。对时间间隔的测量技术已很成熟，只要用电子计数器累计此时间间隔的脉冲数，脉冲数即为 U_x 对应的数量值，从而完成模拟量到数字量的转换。

逐次比较式测量速度快，抗干扰能力差。双积分式测量速度慢，抗干扰能力强。

4.8 DS-18 型五位双积分型数字电压表中 $U_s = -6.0000V$ ， $f_c = 0.75MHz$ ，计数器满量程 $N_1 = 60000$ ，求被测电压 $U_x = 2.5000V$ 时，计数器计数值 N_2 为多大？采样时间 T_1 和测量时间 T_2 分别为多大？

4.9 某脉冲调宽式DVM，其节拍方波的频率为 25Hz、幅度为 $E_c = \pm 15V$ ，基准电压为 $E_r = \pm 7V$ 。假设输入电压 $U_i = +3V$ ，试求 T_2 及 T_1 等于多少？

4.10 某逐次逼近比较型模数转换器采用12 位二进制码，其内部的数模转换器最高位输出为 2048mV，最低位输出为 1mV，设输入电压 $U_x = 1893mV$ 。

(1) 列表说明逐次逼近的比较过程。

(2) 画出输出电压 U_o 的时间波形图。

(3) 输出数字量是什么？

答：(1)：被测电压和基准电压砵码的比较过程从最高位开始。当逐次逼近寄存器输出的数码从大到小变化时，D/A转换器也由大到小输出基准电压砵码，该基准电压与被测模拟输入电 U_x 比较，按“大者弃、小者留”的原则，并逐次减小寄存器的数值，使输出的基准电压砵码与被测电压逼近相等。当 $U_x = U_{ref}$ 时，比较器输出为零，相当于天平平衡，最后数字输出显示的数值即为被测信号的电压值。

(2)：缺

(3)：输出数字量是指数字输出显示所需的数据。

4.11 简述影响电压测量精度的因素有哪些？并采用什么办法抑制它们对测量的影响？

答：影响电压测量精度的因素有读数不准、电压不稳。读数不准采用多测几次，求其平均值。电压不稳采用稳定的电压。

4.12 在双斜式DVM中，假设采样期 $T_1 = 100ms$ ，工频干扰的频率为 49Hz、幅度 $U_n = 2V$ 、初相角。试求：

(1)由此干扰引起的测量误差；

(2)该DVM的串模抑制比NMRR为多少？

答：根据公式计算

4.13 一台DVM，技术说明书给出的准确度为 $\Delta V = \pm 0.01\% V_x \pm 0.01\% \times V_m$ ，试计算用 1V量程分别测量 1V和 0.1V电压时的的绝对误差和相对误差，有何启示？

答：根据公式

1V绝对误差正负 0.02%

0.1V的绝对误差正负 0.011%

习题五

1、测量频率的方法按照测量原理可以分为那几类？

答：频率测量方法按照工作原理来分可以分为两大类：一类是直接法；一类是间接法。

2、说明通用计数器测量频率、周期、时间间隔和自检的工作原理。

答：电子计数器测频是严格按照频率的定义进行的。它在某个已知的标准时间间隔 T_s 内,测出被测信号重复的次数 N ，然后由公式 $f=N/T_s$ 计算出频率。

测量周期时，被测信号放大整形后成方波脉冲，形成时基，控制闸门，使主门开放的时间等于被测信号周期 T_x ；晶体振荡器产生标准振荡信号 f_c ，经 k 分频输出频率 f_s 、周期为 T_s 的时标脉冲；时标脉冲在主门开放时间进入计数器，计数器对通过主门的脉冲个数进行计数。若计数值为 n 。则：

$$T_x = nT_s$$

3 分析通用计数器测量频率和周期的误差，以及减小误差的方法。

答：采用通用计数器测量频率的误差主要有三个：量化误差，闸门开启时间误差，测频计数误差。

利用电子计数器测量频率时要提高频率测量的准确度（减少测量误差）可采取如下措施：

（1）选择准确度和稳定度高的晶振作为时标信号发生器，以减小闸门时间误差；

（2）在不使计数器产生溢出的前提下，加大分频器的分频系数 k ，扩大主门的开启时间 T_s ，以减小量化误差的影响。

（3）当被测信号频率较低时，用测频方法测得的频率误差较大应选用其他方法进行测量；

（4）对随机的计数误差，可通过提高信噪比或调小通道增益来减小误差程度。

测量周期时的误差主要有两个：公式误差，触发误差。

减小误差的主要方法有：

（1）测量被测周期比较大的信号可以减小误差；

（2）触发误差与被测信号的信噪比有关，信噪比越高，触发误差越小，测量越准确。

4 长期频率稳定性和短期频率稳定性是怎样定义的？如何测量？

缺

5 天文（历书）秒准确度可达 $\pm 1 \times 10^{-9}$ ，问一天的误差几秒？某铯原子钟准确度可达 $\pm 5 \times 10^{-14}$ ，问一天的误差几秒？要多少年才会产生 1 秒的误差？

答： $\pm 8.64 \times 10^{-5}$ 秒。 $\pm 4.32 \times 10^{-9}$ 秒。126839.168 年。

6 用计数式频率计测量频率，闸门时间（门控时间）为 1 s 时，计数器读数为 5400，这时的量化误差为多大？如将被测信号倍频 4 倍，又把闸门时间扩大到 5 倍，此时的量化误差为多大？

答：

$$(1) \quad \frac{\Delta N}{N} = \frac{\pm 1}{N} = \pm \frac{1}{f_x T_s} = \pm \frac{1}{5400} \times 100\% = 0.185\%$$

$$(2) \quad \frac{\Delta N}{N} = \frac{\pm 1}{N} = \pm \frac{1}{f_x T_s} = \pm \frac{1}{5400 \times 4 \times 5} \times 100\% = 9.26 \times 10^{-4}\%$$

.7 用一个 7 位电子计数器测量一个 $f_x = 5\text{MHz}$ 的信号频率，试分别计算当“闸门时间”置于 1s、0.1s 和 10ms 时，由 ± 1 误差产生的测频误差。

答：

(1) $T = 1\text{s}$

$$\frac{\Delta N}{N} = \frac{\pm 1}{N} = \pm \frac{1}{f_x T_s} = \pm \frac{1}{5 \times 10^6 \times 1} \times 100\% = 0.2 \times 10^{-4}\%$$

(2) $T = 0.1\text{s}$

$$\frac{\Delta N}{N} = \frac{\pm 1}{N} = \pm \frac{1}{f_x T_s} = \pm \frac{1}{5 \times 10^6 \times 0.1} \times 100\% = 0.2 \times 10^{-3}\%$$

(3) $T = 10\text{ms}$

$$\frac{\Delta N}{N} = \frac{\pm 1}{N} = \pm \frac{1}{f_x T_s} = \pm \frac{1}{5 \times 10^6 \times 0.01} \times 100\% = 0.002\%$$

8 用某计数式频率计测频率，已知晶振频率 f_c 的相对误差为 $\Delta f_c / f_c = \pm 5 \times 10^{-8}$ ，门控时间 $T = 1\text{s}$ ，求：

(1) 测量 $f_x = 10\text{MHz}$ 时的相对误差；

(2) 测量 $f_x = 10\text{KHz}$ 时的相对误差，并找出减小测量误差的方法。

答：

$$(1) \quad \pm \frac{\Delta f_x}{f_x} = \pm \left(\frac{1}{f_x T_s} + \left| \frac{\Delta f_c}{f_c} \right| \right) = \pm \left(\frac{1}{10 \times 10^6 \times 1} + 5 \times 10^{-8} \right) = \pm 15 \times 10^{-8}$$

$$(2) \quad \pm \frac{\Delta f_x}{f_x} = \pm \left(\frac{1}{f_x T_s} + \left| \frac{\Delta f_c}{f_c} \right| \right) = \pm \left(\frac{1}{10 \times 10^3 \times 1} + 5 \times 10^{-8} \right) = \pm 1.0005 \times 10^{-4}$$

9 用某计数式频率计测周期，已知晶振频率 f_c 的相对误差为 $\Delta f_c / f_c = \pm 5 \times 10^{-8}$ ，时基频率为 10MHz ，周期倍乘 100。求 测量 $10\mu\text{s}$ 周期时的测量误差。

答：

$$\gamma_T = \pm \left(\frac{k}{T_x f_c} + \left| \frac{\Delta f_c}{f_c} \right| \right) = \pm \left(\frac{1}{10 \times 10^{-6} \times 10^6 \times 100} + 5 \times 10^{-6} \right) = \pm 1.0005 \times 10^{-3}$$

.10 用某电子计数器测一个 $f_x = 10\text{Hz}$ 的信号频率，当信号的信噪比 $S/N = 20\text{dB}$ 时，分别计算当“周期倍乘”置于 $\times 1$ 和 $\times 100$ 时，由于转换误差所产生的测周误差，并讨论计算结果。

答：“周期倍乘”置于 $\times 1$ 时：

$$\gamma_T = \pm \left(\frac{k}{T_x f_c} + \frac{S}{N} \right) = \pm \left(\frac{1}{10 \times 1} + 10 \right) = \pm 10.1$$

“周期倍乘”置于 $\times 10$ 时：

$$\gamma_T = \pm \left(\frac{k}{T_x f_c} + \frac{S}{N} \right) = \pm \left(\frac{1}{10 \times 10} + 10 \right) = \pm 10.01$$

结论：测周误差主要由测量中信号的信噪比决定。

11 用多周期法测量某被测信号的周期，已知被测信号重复周期为 50Hz 时，计数值为 100000，内部时标信号频率为 1MHz。若采用同一周期倍乘和同一时标信号去测量另一未知信号，已知计数值为 15000，求未知信号的周期？

答：

$$k = \frac{T_x f_c}{N} = \frac{10^6}{10^5 \times 50} = 2$$

$$T = N \frac{k}{f_c} = 15000 \times \frac{2}{10^6} = 0.003s$$

12 某计数式频率计，测频闸门时间为 1s，测周期时倍乘最大为 $\times 10000$ ，时基最高频率为 10MHz，求中界频率。

答：

$$f_0 = \sqrt{\frac{k f_c}{T_s}} = \sqrt{\frac{10^4 \times 10^7}{1}} = 0.31MHz$$

13 提高时间测量分辨力的方法有哪些？简述每种方法的特点。

答：

利用电子计数器测量频率时要提高频率测量的准确度（减少测量误差）可采取如下措施：

- （1）选择准确度和稳定度高的晶振作为时标信号发生器，以减小闸门时间误差；
- （2）在不使计数器产生溢出的前提下，加大分频器的分频系数 k ，扩大主门的开启时间 T_s ，以减小量化误差的影响。
- （3）当被测信号频率较低时，用测频方法测得的频率误差较大应选用其他方法进行测量；
- （4）对随机的计数误差，可通过提高信噪比或调小通道增益来减小误差程度。

习题六

1. 简述信号发生器是如何进行分类的？

答：信号发生器一般是按用途、频率范围、输出波形、调制方式进行分类的。

2. 文氏桥振荡器是如何进行工作的？

答：通过负温度系数热敏电阻 R_t 和电阻 R_1 构成电压负反馈电路。当振荡器起振时，由于流过 R_t 的电流小，温度低而阻值大，负反馈小，放大器实际总增益（ $A = 1 + R_t/R_1$ ）较大，振荡器易于起振；随着输出信号幅度的增加，流过 R_t 的电流也增加， R_t 的温度也会升高，阻值减小，负反馈较大，电路增益降低，使输出电压减小，达到稳定输出信号振幅的目的。

3. 结合图 6.5，说明差频式振荡器的工作原理及其优缺点。

答：固定频率振荡器的频率为 f_0 ，可变频率振荡器的输出频率为 f ，二者进入混频器后发生混频（即 $\Delta f = f_0 - f$ ），差频 Δf 经过低通滤波器，放大后输出一低频信号。当 f 从 $f_{\max}$ 变化到 $f_{\min}$ 时， Δf 也将随之改变，从 $(f_0 - f_{\max})$ 到 $(f_0 - f_{\min})$ ，以达到调整输出信号频率的目的。

差频式振荡器的主要缺点是电路较复杂，频率准确度、稳定度差，波形失真大；优点是在整个频段内频率可连续调节而不用更换波段。

4. 根据图 6.6 接线图，阐述如何测量低频放大器的放大倍数。

答：首先开关 S 拨至位置“1”，用毫伏表测出信号发生器输出电压 U_i （即是放大器的输入电压）；然后开关 S 拨至位置“2”，用毫表测出放大器的输出电压 U_o ；最后可得增益 $A_v = U_o/U_i$ 。

5. 讨论高频信号发生器的分类，结合图 6.8，说明 LC 调谐高频振荡器的工作原理。

答：LC 调谐高频振荡器是通过电感与电容的并联构成振荡器的主振荡级回路，利用感性（或容性）的反馈元件，为振荡器提供反馈信号使之产生振荡。LC 谐振回路具有很好地选频特性，其谐振频率 f_0 均为：

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

通常改变电感 L 来调整频段，改变电容 C 进行频段内微调。

6. 合成信号发生器是用频率合成技术代替信号发生器中的主振荡器。频率合成又分为直接合成法和间接合成法两类，试说明二者的工作过程和优缺点。

答：直接合成法是将基准晶体振荡器产生的标准频率信号，利用倍频器、分频器、混频器及滤波器等进行一系列的四则运算获得所需的频率信号。间接和成法（即锁相环法）利用锁相环与分频器相结合，组成频率可控反馈系统。

直接合成法转换频率速度快，所得信号频率纯度高。但是它需要用较多的混频器和滤波器，这样显得体积大而笨重。间接式频率合成器的优点是省去了直接合成器所用的混频器和滤波器，使电路结构简单，价格低廉，便于集成。但因间接式合成器受锁相环锁定过程的限制，转换速度较慢。

7. 锁相环路的基本组成包括那些部分，各部分的作用是什么？

答：锁相环路的基本组成包括压控振荡器、鉴相器、分频器、低通滤波器。压控振荡器 VCO 输出频率经分频后得频率为 f/n_1 的信号，该信号与来自晶振分频后的信号 f_0/n_2 在鉴相器中进行相位比较，再经过低通滤波器得到一个与相位差成比例的电压信号去控制压控振荡器的输出频率。

8. 脉冲式函数信号发生器是一种由双稳态触发器电路产生方波，再经变换得到三角波和正弦波。常用脉冲式函数信号发生器的组成原理如图 6.14 所示，请简述其各部分的作用和工作原理。

答：双稳态触发器直接输出方波，密勒积分器输出三角波，三角波再经二极管整形网络后，输出正弦波。当双稳态触发器工作于第一稳态时，接到密勒积分器的输入端电压为 U_1 ，积分器开始积分，其输出电压 U_2 立即线性下降。当 U_2 下降到参考电压 E_{r2} 时，电压比较器 2 使双稳态触发器翻转，进入第二稳态， U_1 就会由正突然变成负值 ($-U_1$)，积分器输出电压 U_2 开始线性上升。当 U_2 上升至参考电压 E_{r1} 时，电压比较器 1 又使双稳态触发器翻转，使 U_1 由负值变成正值，即完成了一个振荡周期。

9. 简述 AS101D 型函数信号发生器的使用方法与要求。

答：（1）电源要求：仪器使用要求供电电源为 220V、50Hz，接通电源后，预热 15 分钟以后开始使用。

（2）输出波形与频率选择：通过波形选择键和“频率倍乘”开关来选择合适的波形和频率，以满足实际测量需要。

（3）占空比与逻辑电平调节：脉冲的占空比、三角波（锯齿波）的上升沿（或下降沿）时间可连续调节。“占空比”调节旋钮置于校准位置时，输出波形占空比为 1:1；逻辑电平按钮按下时为 TTL 电平输出，拔出为 CMOS 电平输出，且可调。

（4）可由外部输入直流电压控制输出频率。当控制信号变化时，输出信号的频率也会随之变化，输入直流电压越低，输出信号频率越高。

10. 如何用扫频信号发生器测试电路网络的幅频特性？

答：扫频信号发生器产生扫频信号作为被测网络的测试信号。同时产生锯齿波扫描信号，扫描信号电压变化与扫频信号频率变化同步。当等幅度扫频信号加于被测网络时，网络的输出信号不再是等幅的扫频信号，而是按被测网络的幅频特性变化的信号。该信号经过检波后，加至示波器的 Y 轴输入端，同时扫描信号加至示波器的 X 轴输入端，这样示波器上的波形即是被测网络的幅频特性曲线。

11. 什么是噪声？噪声信号发生器有那些组成部分，在哪些场合得到应用？

答：噪声通常指对有用信号不可期望的、不可预测的干扰，它将干扰有用信号而造成失真，降低了信号观察和测量的可靠性。因而噪声测量技术也是测量领域的重要组成部分，而且在能源、地理和水文等方面得到广泛地应用。噪声信号发生器主要包括噪声原、变换器、电平指示器以及输出衰减器等。

习 题 七

7.1 简述电子示波器是如何进行分类的？

答：电子示波器种类繁多、门类齐全，按性能和结构特点进行分类，可分为通用示波器、多束示波器、取样示波器、记忆示波器、特种示波器、数字存储示波器。

7.2 电子示波器由哪些组成部分？说明各部分作用是什么？

答：电子示波器由示波管、Y 通道、X 通道、幅度校正器、扫描时间校正器以及电源等几部分组成。示波管显示出测量的波形；通道输入被测量的信号；校正器可用来校正示波器的主要性能特征，一般有幅度校正器和扫描校正器；电源通常由两个整流器组成，高压整流器提供示波管高压电极电压，低压整流器提供其他电路和示波管低压电极电压。

7.3 电子示波器有那些主要技术指标？各表示什么意义？

答：1. 频率响应：示波器的频率响应是其工作特性的重要指标之一，也称频带宽度，指示波器垂直偏转通道（Y 方向）对正弦波的幅频响应下降到中心频率的 $1/\sqrt{2}$ 时的频率响应。

2. 偏转灵敏度：偏转灵敏度是指示波器能够分辨的最小信号幅度和输入信号的动态范围。其单位一般用 cm/V 、 cm/mV 或 div/V （格/伏）。

3. 输入阻抗：输入阻抗指示波器输入端对地的电阻和电容并联阻抗。在测量时，输入阻抗越大，示波器对测量电路的影响就越小。

4. 扫描速率：扫描速率指光点水平移动地速度，一般用 cm/s 或 div/s （格/秒）来表示。扫描速度越快，表明示波器能够展开高频信号或窄脉冲信号波形的能力越强。

5. 示波器的瞬态响应：瞬态响应指示波器的垂直系统电路在方波脉冲输入信号作用下的过渡特性，一般可用上升时间和下降时间来表示。瞬态响应指标在相当大的程度上反映了示波器所能观测的脉冲信号的最小宽度。

7.4 怎样对信号的电压进行测量？示波器应如何调整？

答：1、首先将示波器的垂直偏转灵敏度微调旋钮置于校准挡，否则电压读数不准确。

2、把被测信号送入示波器垂直输入端。

3、将示波器输入耦合开关置于“GND”地输入位置，调节垂直位移旋钮，使屏幕上的扫描线（零电平线）移到荧光屏的中间位置，即确定零电平线。以后不再调制垂直位置旋钮。

4、调节垂直灵敏度开关至适当位置，将示波器输入耦合开关拨至“DC”（或“AC”）挡，调节扫描速度，使显示的波形稳定。

5、调节垂直灵敏度开关，使荧光屏上的波形位置适当，记下 D_y 值。

7.5 怎样对信号的调幅系数进行测量？

答：（1）直线扫描法：将被测信号加到示波器 Y 轴输入端，选择合适地垂直衰减和扫描速度，在荧光屏上得到稳定地波形，测出 A、B 的长度，代入式（7.13）计算即可。

（2）梯形法：采用梯形法测量调幅系数，示波器应工作于 X-Y 方式，将调幅波和调制信号分别加至示波器的 X 和 Y 轴输入端，在荧光屏上显示如图 7.9 所示。测出 A、B 的长度，利用式（7.13）计算即可。

(3) 椭圆法：将被测信号用 RC 电路移相后加到示波器 X-Y 方式下的 X 和 Y 输入端，得到如图 7.10 所示的图形，测出 A、B 的长度，利用式 (7.13) 计算即可。

7.6 已知被测脉冲上升时间为 10ns ，应选用什么样的示波器？示波器的频带宽度应为多少？忽略示波器本身上升时间的影响。

答：应选用通用型的示波器（如 XJ4316 型双踪示波器），频带宽度： -3dB ， $0\sim 20\text{MHz}$ 。

7.7 一被测信号频率为 5MHz ，所用示波器荧光屏水平长度为 10cm ，示波器的扫描速度应为多少？

答：示波器的扫描速度应为 $0.1\mu\text{s}$ 。

7.8 用双踪示波器测量信号相位差，显示波形如图 7.17 所示，已知 $AB = 3\text{cm}$ ， $AC = 24\text{cm}$ ，试求这两个信号的相位差 $\Delta\psi$ 。

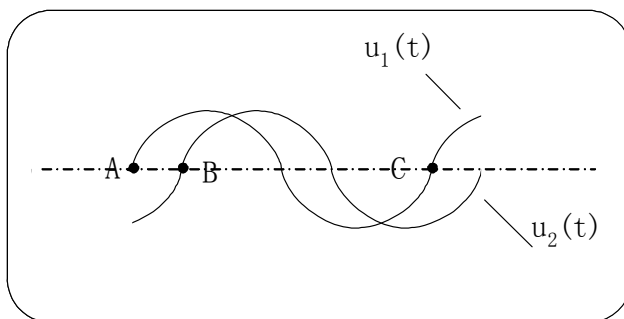


图 7.17 测量相位差波形

答：因已知 $AB = 3\text{cm}$ ， $AC = 24\text{cm}$ ，代入下式得相位差为

$$\Delta\phi = \frac{AB}{AC} * 360^\circ = 45^\circ (\text{度})$$

7.9 如何选择合适的示波器？其选择依据是什么？

答：1. 根据被测信号选用合适的示波器

2. 根据示波器的性能选用合适的示波器：（1）频带宽度和上升时间；（2）垂直偏转灵敏度；（3）应选用输入阻抗较高的示波器

7.10 使用示波器，有那些注意事项？

答：（1）使用前应检查市电电压与示波器所要求电压是否一致。

（2）通电预热一定时间，使系统达到稳定后再进行测量，这样可以增加测量精度。

（3）示波器的输入信号幅度决不能超出示波器的最大允许输入电压范围。

（4）示波器的亮度不宜调到最大，暂时不用时应将辉度调暗，以延长示波器的使用寿命。

（5）聚焦要合适，不宜过细或太散。

（6）示波器进行定性测量时，一定要进行校正。

（7）如使用带有衰减器的探头，读数时要给予校正。

7.11 简述 XJ4316 型双踪示波器的面板结构。

答：XJ4316 型双踪示波器外部可调较多，应用灵活，一些较为常用的旋钮是电源开关、辉度、聚焦、输入通道选择开关、输入插座、Y 移位、偏转因数开关、波形幅度微调、垂直方式开关、外触发输入插座、触发源选择开关、耦合方式选择开关、扫描方式、扫描速度开关、扫

描微调、X 移位控制、校准信号输出。

7.12 取样示波器与普通示波器有什么不同？其特点是什么？

答：通用示波器由于受到本身垂直放大器频带和扫描速度等方面的影响，对于 100MHz 以上的信号，一般是不能观测地。为了观测 100MHz 以上的信号，通常使用取样示波器。特点是通过取样技术，将高频信号变换成低频信号，再运用通用示波器的测量原理进行观测和显示。

7.13 什么是实时取样和非实时取样？二者有什么不同点？

答：如果输入信号的周期为 T ，当取样脉冲的周期 $T_s < T$ 时，并且取样持续的时间等于输入信号的一个周期或输入信号实际所经历的时间，这种取样方式为实时取样。取样点如果不是取自于输入信号的一个周期，而是来自若干个周期的取样方式称为非实时取样，或跨周期取样。可见，实时取样的取样脉冲信号的频率要高于输入信号的频率，故实时取样常用于非周期信号或单次过程的观测。而非实时取样可将高频信号变换成低频信号，送至示波器进行显示。

7.14 取样示波器的主要技术指标有那些？与通用示波器有那些异同点？各部分含义是什么？

答：取样示波器除了具有通用示波器的性能技术指标外，还有以下几种：

- 1、取样密度：取样密度是指荧光屏在水平方向上单位长度内的亮点个数，如果取样密度过低，显示波形将会产生闪烁。
- 2、等效扫描速度：通用示波器的扫描速度是指单位时间内电子束在水平方向的位移。对于取样示波器，若信号波形由 N 个取样点组成，则信号实际经历的时间为 $N\Delta t$ ，等效扫描速度为 $N\Delta t/L$ (L 为扫描线长度)，因为电子束扫描整个荧光屏的时间与显示波形代表的时间不一致，所以用“等效扫描速度”来表示。
- 3、取样频率：取样频率即是取样脉冲的重复频率，取样频率越高，越能反映被测信号的特性。

7.15 数字存储示波器有什么性能特点？

答：数字存储示波器在微型计算机的控制下，与普通示波器相比，具有以下特点：1. 可长期存储波形；2. 可进行负延时触发；3. 具有多种显示方式；4. 便于观察单次过程和突发事件；5. 便于数据分析和处理；6. 显示数据测量结果；7. 具有多种输出方式；8. 便于进行功能扩展

7.16 简述数字存储示波器的工作原理，其显示方式有那些？

答：数字存储示波器首先将被测的模拟信号经过 A/D 转换后，得到数字信号存储于随机存储器 RAM 中。在显示时，再将数字信号读出，经 D/A 转换恢复为模拟信号，加在普通示波器的 Y 偏转板上。此时，X 偏转板上不再加入锯齿波电压信号，而是与取样示波器类似地，加入由数码经过 D/A 产生的阶梯波。

数字示波器的显示方式较为灵活，有基本显示、抹迹显示、卷动显示、放大显示和 X-Y 显示等。

7.17 如何用数字存储示波器测量信号的 Δt 、 ΔV ？

答：数字存储示波器可以测量 Δt 和 ΔV ，即是可以测量信号波形任意局部的时间和电压。

在对 Δt 和 ΔV 的测量时，其测量精度远远超过模拟示波器的测量能力，它可在显示屏上对要测量的信号部位加上游标，数字存储示波器就能记录下相应采样点的位置和数据，并计算出

Δt 和 ΔV ，然后以字符形式自动表示出结果。

7.18 用数字存储示波器如何捕捉信号的尖峰干扰？对机电信号如何进行测试？

答：数字存储示波器中设置了峰值检测模式。在一个采样区间对应很多采样时钟，但是，该模式在一个采样区间内只能检测出其中的最大值和最小值作为有效采样点。这样，宽范围的高速采样保证了峰值总能够被数字化，并且采样点必然是本区间的最大值或最小值，其中正峰值对应最大值，负峰值对应最小值。所以，尖峰脉冲就能可靠被检出、存储和显示。

数字存储示波器如果配以适当的传感器就能测量振动、加速度、角度、位移、功率等机电参数。

习 题 八

8.1 什么是数据域测试？它与频域测试和时域测试有何不同？

答：为了解决数字设备在研制和生产、检修中的测试问题，一种新的测试技术便应运而生了，由于这些设备的信息载体主要是二进制数，为了区别时域和频域的测量，常把这一类测试技术称为数据域测试技术。数据域测试的对象主要是数字系统，包括芯片、印刷电路板（PCB）、设备乃至系统。与传统的测试相比较，数据域测试有许多优点：（1）被测信号持续时间短；（2）被测信号故障定位难；（3）被测信号的非周期性；（4）信息传递方式的多样化；（5）解决了数字电路的测试问题。

8.2 数据域测试的基本原理和方法是什么？

答：数据域测试技术的最新发展之一是无接触测试，即在测试仪器与被测板之间没有接触，省去了各种测试夹具及连接器。AVT 技术利用摄像机采集被测板的图像信息，通过计算机处理来发现故障。热图像处理技术利用红外线扫描，获取并分析被测板的热图像信息，找出异常的冷点和热点以确定故障。

8.3 数字信号源的工作原理及其应用场合是什么？

缺

8.4 试述逻辑分析仪的组成及各部分的作用？

答：逻辑分析仪主要由数据捕获和数据显示两部分组成。数据捕获部分用来捕获并存储要观察的数据。数据显示部分则将存储器里的有效数据以多种显示方式显示出来，以便对捕获的数据进行分析。

8.5 逻辑分析仪的主要技术指标有哪些？

8.6 逻辑分析仪如何分析数字系统的时间特性和状态特性？

缺

8.7 试述逻辑分析仪检测毛刺的原理。

答：利用滤波器从信号中取出一定宽度的干扰脉冲作为触发信号，然后存储毛刺出现前后

的数据流，以利于观察和寻找由于外界干扰而引起的数字电路误动作的现象和原因。

8.8 逻辑分析仪的触发起什么作用？触发方式主要有哪些？

答：逻辑分析仪设置触发的目的就在于选择数据流，以便对关键数据流进行存储和分析。一般有以下七种触发方式：1. 组合触发；2. 手动触发；3. 延迟触发；4. 序列触发；5. 限定触发；6. 计数触发；7. 毛刺触发。

8.9 逻辑分析仪的显示方式有哪些？

答：逻辑分析仪的显示方式有：1. 状态表显示；2. 反汇编显示；3. 图解显示；4. 影射图显示；5. 分解模块显示。

8.10 什么是可测性设计？有哪些可测性设计方法？

缺

习 题 九

9.1 计算机测试的基本概念是什么？

答：计算机技术的进步为新型的测控仪器产生提供了现实基础，以计算机或微处理器为核心，将检测技术、自动控制技术、通信技术、网络技术和电子信息等技术完美地融合在一起的现代计算机测试技术将逐渐变得现实。

9.2 计算机测试与传统仪器测试相比有哪些特点？

答：（1）现代测控要求仪器不仅仅能单独测量到某个量，而更希望它们之间能够互相通信，实现信息共享，从而完成对被测系统的综合分析、评估，得出准确判断。传统仪器在这方面显然存在严重不足，甚至根本不可能实现；（2）对于复杂的被测系统，面对各个厂家的不同测试设备，使用者需要的知识很多。这样的仪器不仅使用频率和利用率低，而且硬件存在冗余。

9.3 智能仪器的结构特点是什么？

答：仪器与微处理器相结合，取代了许多笨重的硬件，内部结构和前面板大为改观，节省了许多开关和调节旋钮。智能仪器不再时简单的硬件实体，而是硬件与软件相结合，微处理器通过键盘或遥控接口接收命令和信号，并用来控制仪器的运行，执行常规测量，对数据进行智能分析和处理，并对数字显示和传送，软件在仪器的智能化程度的高低方面起着重要的作用。

9.4 智能仪器是如何进行测量的？

答：智能仪器的测量功能是由硬件和软件按一定的顺序共同完成的。其工作过程如下：

- （1）仔细阅读仪器的使用说明，确定测试内容。
- （2）通过键盘或遥控接口选择测试功能，如选择测量参数和量程。
- （3）将被测信号通过输入断口接入测试电路。
- （4）选择工作方式，运行测试程序，输出测试结果。
- （5）对测量结果进行数据处理并显示。

9.5 自动测试系统的结构特点是什么？它对计算机有什么要求？

答：自动测试系统一般由五部分组成：

- (1) 控制器，主要是计算机，是系统的指挥、控制中心。
- (2) 程控仪器、设备，包括各种程控仪器、激励源、程控开关、程控伺服系统、执行元件，以及显示、打印、存储记录等器件，能完成一定的具体的测试、控制任务。
- (3) 总线与接口，是连接控制器与各程控仪器、设备的通路。
- (4) 测试软件，为了完成系统测试任务而编制的各种应用软件。
- (5) 被测对象，随测试任务不同，被测对象往往是千差万别的，由操作人员采用非标准方式通过电缆，接插件、开关等与程控仪器和设备相连。

9.6 GPIB 接口起什么作用？

答：GPIB 标准包括接口与总线两部分。接口部分是由各种逻辑电路组成，与各仪器装置安装在一起，用于对传送的信息进行发送、接受、编码和译码；总线部分是一条无源的多芯电缆，用作传输各种消息。将具有 GPIB 接口的仪器用 GPIB 总线连接起来就构成标准接口总线系统。

9.7 VXI 总线仪器有何优点？为何能得到广泛应用？

答：VXI 总线是一种高速计算机总线 VME 总线在仪器领域的扩展。由于它的标准开放，结构紧凑，具有数据吞吐能力强，定时和同步精确，模块可重复利用，众多仪器厂商支持等优点，很快得到了广泛的应用。

9.8 何为虚拟仪器？虚拟仪器是仿真仪器吗？

答：虚拟仪器是指通过应用程序将通用计算机与功能化模块硬件结合起来，用户可以通过友好的图形界面来操作这台计算机，就像在操作自己定义、自己设计的一台单个仪器一样，从而完成对被测试量的采集、分析、判断、显示、数据存储等。虚拟仪器是测量仪器。

9.9 虚拟仪器的硬件系统一般包括哪几个部分？

答：虚拟仪器的硬件构成有多种方案，但是，目前较为常用的虚拟仪器系统是数据采集系统、GPIB 仪器控制系统、VXI 仪器系统以及他们三者之间的任意组合。

9.10 虚拟仪器的设计主要包括哪些内容？一般有几个步骤？

答：构造一个虚拟仪器系统，基本硬件确定以后，就可以通过不同的软件实现不同的功能。软件是虚拟仪器系统的关键。即一般需要二个主要的步骤，先硬件后软件。

9.11 说明 LabVIEW 和 LabWindows/CVI 两种软件主要功能及特点。

答：1、LabVIEW 是一种基于图形的程序设计语言 G 语言构成的，它可用来进行数据采集和控制、数据分析和数据表达。LabVIEW 的主要特点如下：

- (1) LabVIEW 使用“所见即所得”的可视化技术建立人机界面。
- (2) LabVIEW 使用图标表示功能模块，使用图标间的连线表示在各功能模块间的数据传递。
- (3) LabVIEW 提供程序调试功能，可以在源代码中设置断点、单步执行源代码、在源代码中的数据流连线上设置探针，观察程序运行过程中数据流的变化等。
- (4) LabVIEW 提供了大量的函数库供用户直接调用。
- (5) LabVIEW 提供 DLL 库接口和 CIN 节点来使用户有能力在 LabVIEW 平台上使用其它

软件平台编译的模块。

2、LabWindows/CVI 是以 ANSI C 为核心，将功能强大、使用灵活的 C 语言平台与用于数据采集、分析和表达的测控专业工具有机地结合起来。其主要特点如下：

（1）LabWindows/CVI 将源代码编辑、32 位 ANSI C 编译、联接、调试及标准 ANSI C 库等集成在一个交互式开发环境中。

（2）LabWindows/CVI 独有的人机交互界面编辑器，运用“所见即所得”的可视化交互技术，使人机界面的实现直观简便。

（3）LabWindows/CVI 对每一个函数都提供了一个函数面板，用户可以在函数面板上交互式输入函数的各个参数。

（4）LabWindows/CVI 针对测控领域的应用提供了功能强大、使用方便的库函数、ANSI C 库函数、高级数据分析库函数、GPIB、数据采集、VXI、RS232 硬件驱动函数库、DDE 和 TCP/IP 网络函数库等。

（5）LabWindows/CVI 提供变量显示窗口，以便观察程序变量和表达式的变化情况。同时还具备单步执行、断点执行、过程跟踪、参数检查、运行间内存检查等多种调试手段。