

电子测量复习

第1章 绪论

一、填空题

- 1、测量是为确定被测对象的量值而进行的实验过程。
- 2、计量的分类：(1)科学计量 (2)工程计量 (3)法制计量
- 3、计量是为了保证量值的统一和准确一致的一种测量。
- 4、单位制是经国际或国家计量部门以法律形式规定的自然科学中各种物理量的单位体系。
- 5、计量的三个主要特征是统一性、准确性和法制性。
- 6、计量可分为科学计量、工程计量、法制计量三大类。
- 7、国际单位制(SI)：经1960年第11届国际计量大会(CGPM)通过，并经1971年第14届(CGPM)修订的单位制。有7个基本单位，分别是米、千克、秒、安培、开尔文、摩尔、坎德拉。
- 8、测量按其性质分类，可分为时域测量、频域测量、数据域测量、随机量测量。
- 9、电子测量按测量方法分类分为直接测量、间接测量、组合测量
- 10、电子测量仪器的发展经历了四个阶段模拟仪器、数字仪器、智能仪器、虚拟仪器
- 11、计量基准通常可分为主基准、副基准、工作基准、主基准一般不轻易使用，只用于对副基准、工作基准的定度或校准，不直接用于日常计量。

二、选择题

- 1、电子测量是泛指以（ C ）为手段的测量。
A、电参数 B、电性能
C、电子技术 D 其他
- 2、下列测量中属于电子测量的是（ C ）
A、用天平测量物体的质量 B、用水银温度计测量温度
C、用数字温度计测量温度 D、用游标卡尺测量圆柱体的直径
- 3、下列测量中属于间接测量的是（ B ）
A、用万用欧姆挡测量电阻 B、用电压表测量已知电阻上消耗的功率
C、用逻辑笔测量信号的逻辑状态 D、用电子计数器测量信号周期
- 4、下列各项中不属于测量基本要素的是（ C ）。
A、被测对象 B、测量仪器系统 C、测量误差 D、测量人员

三、简答题

1、简述电子测量的特点。（略）

2、试述测量和电子测量的定义。

答：测量是为确定被测对象的量值而进行的实验过程。在这个过程中，人们借助专门的设备，把被测量与标准的同类单位量进行比较，从而确定被测量与单位量之间的数值关系，最后用数值和单位共同表示测量结果。从广义上说，凡是利用电子技术进行的测量都可以说是电子测量；从狭义上说，电子测量是指在电子学中测量有关电的量值的测量。

3、将下列数据进行舍入处理，要求保留三位有效数字。

86.7852；0.7453；33.65407；210000。

答案规则：

- ◆（1）小于5舍去——末位不变。
- ◆（2）大于5进1——在末位增1。
- ◆（3）等于5时，取偶数——当末位是偶数，末位不变；末位是奇数，在末位增1（将末位凑为偶数）。

4、解释名词：① 计量基准；② 主基准；③ 副基准；④ 工作基准。

答：① 用当代最先进的科学技术和工艺水平，以最高的准确度和稳定性建立起来的专门用以规定、保持和复现物理量计量单位的特殊量具或仪器装置等。

② 主基准也称作原始基准，是用来复现和保存计量单位，具有现代科学技术所能达到的最高准确度的计量器具，经国家鉴定批准，作为统一全国计量单位量值的最高依据。因此，主基准也叫国家基准。

③ 副基准：通过直接或间接与国家基准比对，确定其量值并经国家鉴定批准的计量器具。其地位仅次于国家基准，平时用来代替国家基准使用或验证国家基准的变化。

④ 工作基准：经与主基准或副基准校准或比对，并经国家鉴定批准，实际用以检定下属计量标准的计量器具。

5、请说明以下术语的定义：量值；被测量；影响量；量的真值；约定真值；准值；示值；额定值

第2章 测量误差分析与数据处理

一、填空题

1、测量误差按来源(产生的原因)不同可分为 (仪器误差)、(影响误差)、(方法误差)和(理论误差)和(人身误差)；根据误差的性质不同，可分为(随机误差)、(系统误差)、(疏失误差)。

2、相对误差又叫相对真误差，它是(绝对误差)与(被测量的真值)的比值。

3、随机误差的大小，可以用测量误差值的标准偏差来衡量，其值越小，测量值越(集中)，测量的(精密度)越高。

4、随机误差具有(有界性)、(对称性)与(可抵偿)特点，因此可通过(多次等精密度测量)，求算术平均值的方法来削弱随机误差对测量结果的影响。

5、将下列数据进行舍入处理，要求保留三位有效数字

86.3724 ()、3.175 ()、0.003125 ()、58350 ()

6、测量数据处理中，常用坏值(粗大误差)的剔除方法：

① 在随机误差符合正态分布且测量次数充分大时，采用拉依达准则(3σ准则)；

② 当测量次数小于20时，采用格拉布斯准则。

7、当等精密度测量足够多次，置信概率为95%时，对应的区间约()，为置信概率为99%时，对应的区间约()。

$$x \in [E(x) - k\sigma, E(x) + k\sigma]$$

置信概率为95%时 $k=2$

置信概率为99%时 $k=3$

8、判别测量数据中存在周期性变化系统误差的方法是(阿卑—赫梅特)准则。

9、减小系统误差可从以下途径着手：从产生系统误差的根源上采取措施、用修正法减小系统误差、采用减小恒值误差的技术措施。

10、对于只知道误差限，而不掌握其大小和符号的系统误差称为(系统不确定度)。

11、对大小及符号均已确定的系统误差，可直接由误差传递公式()合成。

书 P46。

12、1.5级指针式电流表的引用误差不超过_____。

13、某仪器等级为 $S=0.5$ ，说明该仪器满度相对误差不超过+0.5%

14、在相同条件下，多次测量同一个量值时，误差的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)。

15、在相同条件下，多次测量同一个量值时，误差的绝对值和符号均以不可预定方式变化的误差称为(随机误差)。

16、判断系统误差的方法有多种，其中常用的方法有实验对比法、剩余误差观察法、马利科夫判据、阿卑--赫梅特判

据

- 17、满度（引用）误差表示为（绝对误差与满量程）之比，是用（量程满度值）代替（测量真值）的相对误差。
- 18、精密度用以表示（方差或随机误差）的大小，准确度用以表示（平均值或系统误差）的大小，精确度用以表示（系统误差与随机误差综合影响）的大小。
- 19、测量仪器准确度等级一般分为7级，其中准确度最高的为0.1级，准确度最低的为5.0级。
- 20、在选择仪器进行测量时，应尽可能小的减小示值误差，一般应使示值指示在仪表满刻度值的（ $\frac{2}{3}$ ）以上区域。
- 21、随机误差的大小，可以用测量值的标准偏差来衡量，其值越小，测量值越集中，测量的精密度越高。
- 22、测量误差是测量结果与被真值的差异。通常可以分为（绝对误差）和（相对误差）。
- 23、在测量数据为正态分布时，如果测量次数足够多，习惯上取 3σ 作为判别异常数据的界限，这称为（莱特准则）。
- 24、常用电工仪表分为 ± 0.1 、 ± 0.2 、 ± 0.5 、 ± 1.0 、 ± 1.5 、 ± 2.5 、 ± 4.0 七级。

二、选择题

- 1、n次测量值平均值的方差比总体或单次测量值的方差小（C）倍。
A n B. $1/n$ C \sqrt{n} D. n^2
- 2、测量值的数学期望偏离被测量真值的原因是（B）。
A存在随机误差 B.存在系统误差 C存在粗大误差
- 3、测量的准确度是表示测量结果中（B）大小的程度。
A 系统误差 B. 随机误差 C 粗大误差 D. 标准偏差
- 4、测量误差是指被测量值与（A）之间的差异。
A、真值
B、测量值
C、估计值
- 5、使用误差是调节、使用不当、（A）等引起的误差。
A、固有习惯
B、安装
C、计算公式过于简化
- 6、在相同的测试条件下多次测量同一量值时，绝对值和符号都以不可预知的方式变化的误差，称（C）误差。
A、系统误差
B、粗大误差
C、随机误差
- 7、无论被测量总体的分布是什么形状，随着测量次数的增加，测量值算术平均值的分布都越来越趋近于（A）分布。
A、正态
B、t
C、均匀
D、非正态
- 8、下列不属于测量误差来源的是可能 B。
A、仪器误差和（环境）影响误差 B、满度误差和分贝误差
C、人身误差和测量对象变化误差 D、理论误差和方法误差
- 9、下列几种误差中，属于系统误差的有____、____，属于随机误差的有____，属于粗大误差的有____。
（1）仪表未校零所引起的误差；（2）测频时的量化误差；
（3）测频时的标准频率误差；（4）读数错误。
- 答案：系统误差（1）；（3）；随机误差（2）；粗大误差（4）
- 7、通用计数器测量周期时由石英振荡器引起的主要是____误差（C）。
A 随机

- B. 量化
- C. 变值系统
- D. 引用

10、根据测量误差的性质和特点，可以将其分为_____三大类（ C ）。

- A. 绝对误差、相对误差、引用误差
- B. 固有误差、工作误差、影响误差
- C. 系统误差、随机误差、粗大误差
- D. 稳定误差、基本误差、附加误差

11、判别数据中存在周期性系统误差的方法是(B)

- A. 马利科夫判据
- B. 阿卑—赫梅特判据
- C. 莱特准则
- D. 肖维纳准则

12、要测量一个 10V 左右的电压，手头有两块电压表，其中一块量程为 150V，1.5 级，另一块为 15V，2.5 级，问选用哪一块合适？ 答：（ C ）

- A、两块都一样 B、150V，1.5 级 C、15V，2.5 级 D、无法进行选择

三、简答题

1、解释下列名词术语的含义：真值、实际值、标称值、示值、测量误差、修正值。

答：真值：一个物理量在一定条件下所呈现的客观大小或真实数值。

指定值：由国家设立尽可能维持不变的实物标准(或基准)，以法令的形式指定其所体现的量值作为计量单位的指定值。

实际值：实际测量时，在每一级的比较中，都以上一级标准所体现的值当作准确无误的值，通常称为实际值，也叫作相对真值。

标称值：测量器具上标定的数值。

示值：测量器具指示的被测量量值称为测量器具的示值。

测量误差：测量仪器仪表的测得值与被测量真值之间的差异。

修正值：与绝对误差绝对值相等但符号相反的值。

2、按照表示方法的不同，测量误差分成哪几类？

答：1、绝对误差： 定义为： $\Delta x = x - A_0$

2、相对误差

(1) 实际相对误差：
$$r_A = \frac{\Delta x}{A} \times 100\%$$

(2) 示值相对误差：
$$r_x = \frac{\Delta x}{x} \times 100\%$$

(3) 满度相对误差：
$$r_n = \frac{\Delta x_n}{x_n} \times 100\%$$

(4) 分贝误差: $G_x = 20 \lg A_x \text{ (dB)}$

3、说明系统误差、随机误差和粗差的主要特点。

答: 系统误差的主要特点是: 只要测量条件不变, 误差即为确切的数值, 用多次测量取平均值的办法不能改变或消除系差, 而当条件改变时, 误差也随之遵循某种确定的规律而变化, 具有可重复性。

随机误差的特点是: ① 有界性; ② 对称性; ③ 抵偿性。

粗差的主要特点是: 测得值明显地偏离实际。

4、已学过的判断异常数据的准则有那些 (至少回答两种)? 简述一种准则的判断过程。(略)

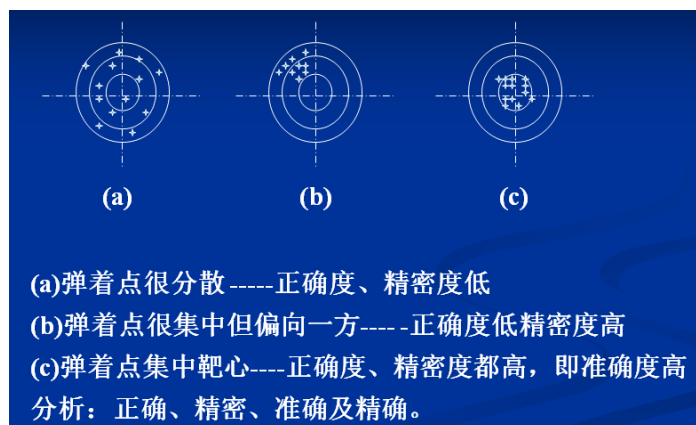
5、设某待测量的真值为 ± 0.00 , 用不同的方法和仪器得到下列三组测量数据。试用精密度、正确度和准确度说明三组测量结果的特点:

① 10.10, 10.07, 10.12, 10.06, 10.07, 10.12, 10.11, 10.08, 10.09, 10.11;

② 9.59, 9.71, 10.68, 10.42, 10.33, 9.60, 9.80, 10.21, 9.98, 10.38;

③ 10.05, 10.04, 9.98, 9.99, 10.00, 10.02, 10.01, 9.99, 9.97, 9.99。

答: ① 精密欠正确; ② 准确度低; ③ 准确度高。



四、计算题

1、测量电流时, 若测量值为 100Ma, 实际值为 98.7Ma, 则绝对误差和修正值各位多少? 若测量值为 99Ma, 修正值为 2Ma, 则实际值和绝对误差又各为多少?

2、测量上限为 500V 的电压表, 在示值 450V 处的实际值为 445V, 求该示值的:

(1) 绝对误差 (2) 相对误差 (3) 修正值 (本题 10 分)

解: (1) 绝对误差

$$\Delta_x = x - A = 450 \text{ V} - 445 \text{ V} = 5 \text{ V}$$

(2) 相对误差

$$\gamma_x = \frac{\Delta_x}{x} \times 100\% = \frac{5}{450} \times 100\% = 1.11\%$$

(3) 修正值

$$c = -\Delta_x = -5V$$

3、某单级放大器电压放大倍数的实际值为 100，某次测量时测得值为 95，求测量值的相对误差和分贝误差是多少？

$$G_x = G + 20\lg(1 + \gamma_A)$$

4、检定一个 1.0 级 100mA 的电流表，发现在 45mA 处的误差最大，其值为 0.93mA，其它刻度处的误差均小于 0.93mA，试问这块电流表是否达到 ±1.0 级？

5、现检定一只 2.5 级、量程为 100V 的电压表，在 50V 刻度上标准电压表读数为 48V，问在这一点上该电压表是否合格？
解： $\Delta x_m = \pm 2.5\% \times 100 = \pm 2.5V$ $\Delta x = 50 - 48 = 2V < 2.5V$ 电压表合格。

6、用量程是 10mA 电流表测量实际值为 8mA 的电流，若读数为 7.85mA，试求测量的绝对误差、相对误差和电流表的最大引用误差。

7、要测量一个 10V 左右的电压，手头有两块电压表，其中一块量程为 150V，1.5 级，另一块为 15V，2.5 级，选用哪一块合适？ 答：（为 15V，2.5 级） ∵ 测量的绝对误差 $\Delta U = S \cdot x_m$

8、被测电压 8V 左右，现有两只电压表，一只量程 0 ~ 10V，准确度 $s_1 = 1.5$ ，另一种量程 0 ~ 50V，准确度 $s_2 = 1.0$ 级，问选用哪一只电压表测量结果较为准确？

$$\text{解：} \Delta x_1 = \Delta x_{m1} = r_{m1} \times x_{m1} = \pm 1.5\% \times 10 = \pm 0.15V$$

$$r_1 = \Delta x_1 / x_1 = \pm 0.15 / 8 = \pm 1.88\%$$

$$\Delta x_2 = \Delta x_{m2} = r_{m2} \times x_{m2} = \pm 1.0\% \times 50 = \pm 0.5V$$

$$r_2 = \Delta x_2 / x_2 = \pm 0.5 / 8 = \pm 6.25\%$$

$r_1 < r_2$ ，选用准确度 $s_1 = 1.5$ 电压表测量结果较为准确。

9、用电压表测量电压，测得值为 5.42V，改用标准电压表测量示值为 5.60V，求前一只电压测量的绝对误差 ΔU ，示值相对误差 r_x 和实际相对误差 r_A 。

$$\text{解：} \Delta U = 5.42 - 5.60 = -0.18V$$

$$r_x = -0.18 / 5.42 = -3.32\%$$

$$r_A = -0.18 / 5.60 = -3.21\%$$

10、标称值为 1.2kΩ，容许误差 ±5% 的电阻，其实际值范围是多少？

$$\text{解：} \Delta x = r_x \times x = \pm 5\% \times 120 = \pm 60\Omega$$

$$\text{实际值范围是：} 1200 \pm 60\Omega$$

11、选择测量仪器时，通常要根据被测量的大致大小选择合适的测量量程。例如仍采用题 1.10 所示的测量电路，现分别用 MF-20 晶体管电压表的 6V 档和 30V 档测量负载 R_L 上电阻 U_o ，已知电压表的电压灵敏度为 20kΩ / V（由此可算出各档量程电压表输入电阻 $R_v = \text{电压灵敏度} \times \text{量程}$ ），准确度等级为 2.5 级（准确度等级 s 表示仪表的满度相对误差不超过 $s\%$ ，即最大绝对误差为 $\Delta x_m = \pm s\% x_m$ ）。试分别计算两个量程下的绝对误差和相对误差。

解：6V 档时：

$$R_{v1} = 120k\Omega \quad R_{外1} = 30 / 120 = 24 k\Omega$$

$$U_{x1} = \frac{24}{30 + 24} \times 5 = 2.222V$$

$$\Delta x_{11} = U_{x1} - A = 2.222 - 2.5 = -0.278V \quad \Delta x_{12} = \pm 2.5\% \times 6 = \pm 0.15V$$

$$\Delta x_1 = |\Delta x_{11}| + |\Delta x_{12}| = 0.482V$$

$$\gamma_1 = \frac{\Delta x_1}{A} \times 100\% = \frac{0.428}{2.5} \times 100\% = 17\%$$

30V档时:

$$R_{v2} = 30 \times 20 = 600K\Omega \quad R_{外2} = 30 // 600 = 28.57 K\Omega$$

$$U_{x2} = \frac{28.57}{30 + 28.57} \times 5 = 2.244V$$

$$\Delta x_{21} = 2.244 - 2.5 = -0.06V \quad \Delta x_{22} = \pm 2.5\% \times 30 = \pm 0.75V$$

$$\Delta x_2 = 0.81V$$

$$\gamma_2 = \frac{0.86}{2.5} \times 100\% = 32.4\%$$

11、有一个 100V 的被测电压，若用 0.5 级、量程为 0~300V 和 1.0 级、量程为 0~100V 的两只电压表测量，问哪只电压表测得更准些？为什么？

要判断哪块电压表测得更准确，即判断哪块表的测量准确度更高。

(1) 对量程为 0~300V、±0.5 级电压表，根据公式有

$$\begin{aligned} \gamma_{x1} &= \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \leq \frac{x_n \bullet s\%}{x} \times 100\% \\ &= \frac{300 \times 0.5\%}{100} \times 100\% = 1.5\% \end{aligned}$$

(2) 对量程为 0~100V、±1.0 级电压表，同样根据公式有

$$\begin{aligned} \gamma_{x2} &= \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \leq \frac{x_n \bullet s\%}{x} \times 100\% \\ &= \frac{100 \times 1.0\%}{100} \times 100\% = 1.0\% \end{aligned}$$

从计算结果可以看出，用量程为 0~100V、±1.0 级电压表测量所产生的示值相对误差小，所以选用量程为 0~100V、±1.0 级电压表测量更准确。

12、现校准一个量程为 100 mV，表盘为 100 等分刻度的毫伏表，测得数据如下：

| | | | | | | | | | | | |
|------------|----|-----|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|
| 仪表刻度值(mV) | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| 标准仪表示值(mV) | 0. | 9.9 | 20. | 30. | 39. | 50. | 60. | 70. | 80. | 89. | 100. |
| | 0 | | 2 | 4 | 8 | 2 | 4 | 3 | 0 | 7 | 0 |
| 绝对误差 (mV) | 0. | 0.1 | -0.2 | -0.4 | 0.2 | -0.2 | -0.4 | -0.3 | 0.0 | 0.3 | 0.0 |
| | 0 | | | | | | | | | | |
| 修正值 c (mV) | 0. | -0. | 0.2 | 0.4 | -0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.3 | 0.0 | -0.3 | 0.0 |
| | 0 | 1 | | | | | | | | | |

求：① 将各校准点的绝对误差 ΔU 和修正值 c 填在表格中；

② 10 mV 刻度点上的示值相对误差 r_x 和实际相对误差 r_A ；

③ 确定仪表的准确度等级；

④ 确定仪表的灵敏度。

$$\text{解：② } r_x = 0.1/10 \times 100\% = 1\% \quad r_A = 0.1/9.9 \times 100\% = 1.01\%$$

$$\text{③ 因为：} \Delta x_m = -0.4 \text{ mV} \quad r_m = -0.4/100 = -0.4\%$$

所以: $s = 0.5$

④ $100/100 = 1 \text{ mV}$

13、对某电阻进行等精度测量 10 次, 数据如下 (单位 $\text{k}\Omega$): 0.992、0.993、0.992、0.991、0.993、0.994、0.997、0.994、0.991、0.998。试给出包含误差值的测量结果表达式。

答:

1). 将测量数据按先后次序列表。

| n | $\nu_j(\nu)$ | $\nu_j(\nu)$ | $\nu_j^2(\nu^2)$ | n | $\nu_j(\nu)$ | $\nu_j(\nu)$ | $\nu_j^2(\nu^2)$ |
|---|--------------|--------------|------------------|----|--------------|--------------|------------------|
| 1 | 0.992 | -0.0015 | 0.00000225 | 6 | 0.994 | 0.0005 | 0.00000025 |
| 2 | 0.993 | -0.0005 | 0.00000025 | 7 | 0.997 | 0.0035 | 0.00001225 |
| 3 | 0.992 | -0.0015 | 0.00000225 | 8 | 0.994 | 0.0005 | 0.00000025 |
| 4 | 0.991 | -0.0025 | 0.00000625 | 9 | 0.991 | -0.0025 | 0.00000625 |
| 5 | 0.993 | -0.0005 | 0.00000025 | 10 | 0.998 | 0.0045 | 0.00002025 |

2). 用公式 $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j$ 求算术平均值。

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{10} (\nu_1 + \nu_2 + \dots + \nu_{10}) = \frac{0.992 + 0.993 + \dots + 0.998}{10} = 0.9935$$

3). 用公式 $\nu_j = x_j - \bar{x}$ 求每一次测量值的剩余误差, 并填入上表中。

4). 用公式 $\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n \nu_j^2}$ 计算标准差的估计值 $\hat{\sigma}$ 。

$$\begin{aligned} \hat{\sigma} &= \sqrt{\frac{1}{10-1} \sum_{j=1}^{10} \nu_j^2} = \sqrt{\frac{1}{9} (0.00000225 + 0.00000025 + \dots + 0.00002025)} \\ &= \sqrt{\frac{1}{9} \times 0.0000505} = 0.00237 \end{aligned}$$

5). 按莱特准则判断粗大误差, 即根据 $|\nu_j| = |x_j - \bar{x}| > 3\hat{\sigma}(x)$ 剔除坏值。

$$3\hat{\sigma}(x) = 3 \times 0.00237 = 0.00711$$

从表中可以看出, 剩余残差最大的第 10 个测量数据, 其值为:

$$|\nu_{10}| = |x_{10} - \bar{x}| = |0.998 - 0.9935| = 0.0045 < 3\hat{\sigma}(x)$$

所以该组测量数据中无坏值。

6). 根据系统误差特点, 判断是否有系统误差, 并修正。

测量数据分布均匀, 无规律分布, 无系统误差。

7). 用公式 $\hat{\sigma}_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ 求算术平均值的标准差估计值。

$$\hat{\sigma}_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0.00237}{\sqrt{10}} = \frac{0.00237}{3.16228} = 0.00075$$

8). 用公式 $\lambda_{\bar{x}} = 3\hat{\sigma}_{\bar{x}}$ 求算术平均值的不确定度。

$$\lambda_{\bar{x}} = 3\hat{\sigma}_{\bar{x}} = 3 \times 0.00075 = 0.00225$$

9). 写出测量结果的表达式。

$$A = \bar{x} \pm \lambda_{\bar{x}} = 0.9935 \pm 0.0023$$

14、对某电阻进行 10 次测量，数据如下(单位: k Ω):

0.992, 0.993, 0.992, 0.993, 0.993, 0.991, 0.993, 0.993, 0.994, 0.992

若测量的随机误差为正态分布，系统误差为 $\pm 1\%$ (均匀分布)，试给出包含误差值的测量结果表达式。提示：因测量次数较少，用格拉布斯准则检验坏值，置信概率取 95%。按绝对值合算。

15、对某电感进行了 12 次精度测量，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？

16、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 5 次，测量值分别为：2.2V, 2.3V, 2.4V, 2.2V, 2.5V，检定证书给出电压表的最大允许误差为 $\pm 1\%$ ，经鉴定合格，要求求出 A 类标准不确定度，B 类标准不确定度，及合成不确定度。

解：标准不确定度分量的评定

1) 电压测量引入的标准不确定度

(a) 电压表不准引入的标准不确定度分量 u_1 (V)。已知电压表的最大允许误差为 $\pm 1\%$ ，且该表经鉴定合格，所以 u_1 (V) 按 B 类评定。测量值可能的区间半宽度 a_1 为 $a_1 = 2.32V \times 1\% = 0.023V$ 。设在该区间内的概率分布为均匀分布，所以取置信因子 $k_1 = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_1(V) = \frac{a_1}{k_1} = \frac{0.023}{\sqrt{3}} = 0.013V$$

(b) 电压测量重复性引入的标准不确定度分量 u_2 (V)。已知测量值是重复测量 5 次的结果，所以 u_2 (V) 按 A 类评定。

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n} = 2.32V$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (x_i - \bar{x})^2}{5-1}} = \sqrt{\frac{0.12^2 + 0.02^2 + 0.08^2 + 0.12^2 + 0.18^2}{4}} = 0.13V$$

$$u_2(V) = S(\bar{x}) = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{0.13}{\sqrt{5}} = 0.058V$$

(c) 由此可得： $u(V) = \sqrt{u_1(V)^2 + u_2(V)^2} = \sqrt{0.013^2 + 0.058^2} = 0.059V$

17、一整流电路，在滤波电容两端并以泄放电阻，欲测量其消耗功率，要求功率测量误差不大于 5%，初测电阻上的电

压 $U_R=10V$, 电流 $I_R=80mA$ 。当采用对总误差影响相同的原则来分配误差时, 问应分配给 U_R 、 I_R 的误差各是多少?

$$P_R = U_R I_R = 10 \times 80 = 800 \text{ (mW)}$$

$$\epsilon_P \leq 800 \times (\pm 5\%) = \pm 40 \text{ (mW)}$$

即总误差不能超过 40 mW。

即电压的误差不能超过 0.25 V(应选 1.5 级的 10 V 或 15 V 电压表进行测量)。

$$\begin{aligned} \epsilon_I &\leq \frac{\epsilon_P}{n \frac{\partial P}{\partial I}} = \frac{\epsilon_P}{n \frac{\partial (U_R I_R)}{\partial I_R}} = \frac{\epsilon_P}{n U_R} \\ &= \frac{40}{2 \times 10} = 2 \text{ (mA)} \end{aligned}$$

即电流的误差不能超过 2 mA(应选 1.5 级的 100 mA 电流表进行测量)。可见 ϵ_U 及 ϵ_I 的分项误差的值不同, 但对功率误差的影响是相同的。因为

$$\frac{\partial P}{\partial U} \epsilon_U = 80 \text{ mA} \times 0.25 \text{ V} = 20 \text{ mW}$$

体现了对总误差影响相同的原则。

18、 推导当测量值 $x = A^m \cdot B^n$ 时的相对误差 γ_x 的表达式。设 $\gamma_A = \pm 2.5\%$, $\gamma_B = \pm 1.5\%$, $m=2$, $n=3$, 求这时的 γ_x 的值。

$$\text{解: } \because \Delta x = \sum_{i=1}^n \frac{\partial x}{\partial x_i} \Delta x_i = m \sum_{i=1}^m \frac{\partial x}{\partial A} \Delta A + n \sum_{i=1}^n \frac{\partial x}{\partial B} \Delta B = mA^{m-1} B^n \cdot \Delta A + nA^m B^{n-1} \cdot \Delta B$$

$$\therefore \frac{\Delta x}{x} = \frac{mA^{m-1} B^n \cdot \Delta A + nA^m B^{n-1} \cdot \Delta B}{A^m B^n} = m \frac{\Delta A}{A} + n \frac{\Delta B}{B}$$

$$\begin{aligned} \gamma_y &= m\gamma_A + n\gamma_B \\ \gamma_y &= \pm (|m\gamma_A| + |n\gamma_B|) \end{aligned}$$

19、 求电能 ($W = \frac{U^2}{R} t$) 的测量误差。已知 $\gamma_U = \pm 1\%$, $\gamma_R = \pm 0.5\%$, $\gamma_t = \pm 1.5\%$, 求 γ_W 的值。

$$\text{解: } \because W = \frac{U^2}{R} t$$

$$\text{根据积商函数误差传递公式可得合成误差: } \frac{\Delta y}{y} = 2|\gamma_U| + |\gamma_R| + |\gamma_t| = \pm 2 \times 0.01 \pm 0.005 \pm 0.015 = \pm 4\%$$

20、已知两电阻分别为 $R_1=20\Omega \pm 2\%$, $R_2=(100 \pm 0.4)\Omega$, 试求两电阻串联及并联时的总电阻和相对误差。(8分)

$$\text{解: } \Delta R_1 = \pm 2\% \times 20\Omega = \pm 0.4\Omega; \quad \Delta R_2 = \pm 0.4\Omega; \quad \gamma_1 = \pm 2\%; \quad \gamma_2 = \pm 0.4/100 = \pm 0.4\%$$

$$\because RS = R_1 + R_2 = 120\Omega;$$

$$\text{根据误差传递公式, } \Delta RS = \Delta R_1 + \Delta R_2 = \pm 0.8\Omega; \quad \gamma_S = (\Delta R_1 + \Delta R_2)/(R_1 + R_2) = \pm 0.8/120 = 0.67\%$$

$$\because RP = R_1 R_2 / (R_1 + R_2) = 16.7\Omega; \therefore \text{根据误差传递公式.}$$

$$\Delta RP = \frac{\partial R}{\partial R_1} \Delta R_1 + \frac{\partial R}{\partial R_2} \Delta R_2 = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)^2 \Delta R_1 + \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right)^2 \Delta R_2 = 0.28\Omega + 0.01\Omega = 0.29\Omega$$

$$\gamma_P = \frac{\Delta R}{R} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \frac{\Delta R_2}{R_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \gamma_{R1} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \gamma_{R2} = \pm 2\% \times 100/120 \pm 0.4 \times 20/120 = 1.73\%$$

第3章 示波测试和测量技术

一、填空题

- 1、通用示波管阴极的作用是____产生电子____，调节示波管栅极 G1 电位的电位器常称为____辉度____旋钮。
- 2、通用示波管的第一阳极 A1 与第二栅极、第二阳极组成____、若改变 A1 工作电压，可调节示波屏上的____。
- 4、示波器的水平通道主要由____扫描发生环____、____触发电路____和 X 放大器组成。
- 5、取样示波器采用____非实时____取样技术扩展带宽，但它只能观测____重复____信号。
- 6、当观测两个频率较低的信号时，为避免闪烁可采用双踪显示的____断续____方式。
- 7、电子示波器的核心是阴极射线示波管，它主要由____、____和____三部分组成。
- 8、示波器的衰减器实际上由一系列 RC 分压器组成，改变分压比即可改变示波器的____。
- 9、现代示波器通常用扫描发生器环来产生扫描信号，它常由____、____及____组成。
- 10、双踪示波器采用“断续”转换方式时，电子开关工作于____状态。
- 11、当示波器两个偏转板上都加（正弦信号）时，显示的图形叫李沙育图形，这种图形在（相位和频率）测量中常会用到。
- 12、在示波器上要获得同步图形，待测信号周期 T_x 与扫描信号周期 T_s 之比要符合（ $T_s = nT_x$ ）。
- 13、在双踪示波器的面板上，当“微调”增益控制旋钮顺时针方向转至____校准____位置时，才能使显示波形的偏转幅度对应于偏转因数选择开关所指示的位置。
- 14、在没有信号输入时，仍有水平扫描线，这时示波器工作在（连续扫描）状态；若工作在（触发扫描）状态，则无信号输入时就没有扫描线。
- 15、用示波器观察到正弦电压波形如图 6-6 所示。如果示波器垂直显示幅度控制旋钮在 1V/DIV 档，扫描速率调节旋钮在 1ms/DIV 档，则该信号的：
 - 峰-峰值 $U_{PP} =$ _____ (V)
 - 幅 值 $U_m =$ _____ (V)
 - 有 效值 $U =$ _____ (V)
 - 周期 $T =$ _____ (ms)
 - 频率 $f =$ _____ (Hz)

若要在荧光屏上显示四个波形，则扫描速率调节旋钮应置于_____档位。

说明：“DIV”在这里是指示波器显示屏上的一个方格的距离。

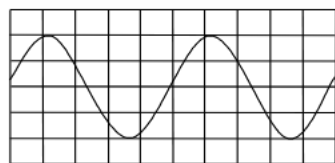


图 6-11 正弦电压波形

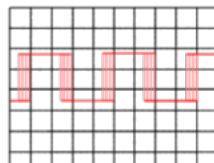


图 6-12 示波屏上显示

二、选择题

- 调节示波器中Y输出差分放大器输入端的直流电位即可调节示波器的（ A ）。
A 偏转灵敏度
B. Y轴位移
C 倍率
D. X轴位移
 - 用示波器测量直流电压。在测量时，示波器的Y轴偏转因数开关置于 $0.5V/div$ ，被测信号经衰减 10 倍的探头接入，屏幕上的光迹向上偏移 5 格，则被测电压为（ A ）
A、 25V B、 15V C、 10V D、 2.5V
 - 在用李沙育图形法测相位时，示波器应选（ C ）扫描方式。
A 连续 B. 触发
C x-y D. 交替
 - 用通用示波器观测正弦波形，已知示波器良好，测试电路正常，但在荧光屏上却出现了如下波形，应调整示波器（ A ）
旋钮或开关才能正常观测。
A偏转灵敏度粗调
B.Y轴位移
CX轴位移
D.扫描速度粗调
-
- 用示波器李沙育图形法测频率，在X-Y显示方式时，如果X轴和Y轴分别加上正弦波信号，若显示的图形为一个向左倾斜的椭圆，则 f_y/f_x (即Y轴信号频率与X轴信号频率之比) 为：（ B ）
A、 2 : 1 B、 1 : 1 C、 3 : 2 D、 2 : 3
 - 用示波器测量直流电压。在测量时，示波器的Y轴偏转因数开关置于 $0.5V/div$ ，被测信号经衰减 10 倍的探头接入，屏幕上的光迹向上偏移 5 格，则被测电压为（ A ）
A、 25V B、 15V C、 10V D、 2.5V
 - 在没有信号输入时，仍有水平扫描线，这时示波器工作在____状态，若工作在____状态，则无信号输入时就没有扫描线。（ ）
A连续扫描 触发扫描
B.触发扫描 连续扫描
C常态 自动
D.内触发扫描 外触发扫描
 - 当示波器所观测的输入信号幅度变小，导致触发扫描所显示的波形消失时，应设法调整____，以便波形重现。（ D ）

- A.触发方式
- B.稳定度
- C.频率微调
- D.触发电平

9、通用示波器可观测（ C ）。

- A.周期信号的频谱； B.瞬变信号的上升沿
- C.周期信号的频率； D.周期信号的功率

10、当示波器的扫描速度为 20 s/cm 时，荧光屏上正好完整显示一个的正弦信号，如果显示信号的 4 个完整周期，扫描速度应为（ A ）。

- A 80 s/cm ； B 5 s/cm ； C 40 s/cm ； D:小于 10 s/cm

11、给示波器 Y 及 X 轴偏转板分别加 $u_y = U_m \sin \omega t$, $u_x = U_m \sin(\omega t/2)$, 则荧光屏上显示（ C ）图形。

- A.半波； B.正圆； C.横 8 字； D.竖 8 字

12、为了在示波器荧光屏上得到清晰而稳定的波形，应保证信号的扫描电压同步，即扫描电压的周期应等于被测信号周期的 C 倍。

- A.奇数； B.偶数； C.整数； D.2/3

13、用示波器显示两个变量 a 与 b 的关系时，a、b 分别接在示波器的 Y、X 通道，显示图形为椭圆，则 C

- A.a 与 b 同相，且幅度相同；
- B.a 与 b 相差 90° ，且幅度一定相同；
- C.a 与 b 相差 90° ，但其幅度不一定相同，其关系依 x、y 输入增益而定；
- D.a 与 b 幅度、相位关系不能确定。

14、用通用示波器观测正弦波形，已知示波器良好，测试电路正常，但在荧光屏上却出现了如下波形，应调整示波器（ C ）旋钮或开关才能正常观测。



- A. Y 轴位移
- B. X 轴位移
- C. 偏转灵敏度粗调
- D. 扫描速度粗调

三、简答题

1、利用示波器测量直流电压的基本方法是怎么样的？

- (1) 将待测信号送至示波器的垂直输入端。
- (2) 确定直流电压的极性。将示波器的输入耦合开关置于 "GND" 档，调节垂直位移旋钮，将荧光屏上的水平亮线(时基线)移至荧光屏的中央位置，即水平坐标轴上。调整垂直灵敏度开关于适当档位，将示波器的输入耦合开关置于 "DC" 档，观察水平亮线的偏转方向（灵敏度不合适时，亮线可能消失，此时需要调整灵敏度）。若向上偏转，则被测直流电压为正极性，若向下偏转，则被测直流电压为负极性。
- (3) 定零电压线。将示波器的输入耦合开关置于 "GND" 档，调节垂直位移旋钮，将荧光屏上的水平亮线(时基线)向其极性相反的方向移动，置于荧光屏的最顶端或最底端的坐标

线上,即被测电压为正极性,就将时基线移至最底端的坐标线上,反之则将时基线移至最顶端的坐标线上,此时基线所在位置即为零电压所在位置,在此后的测量中不能再移动零电压线。即不能再调节垂直位移旋钮。

(4)将示波器的输入耦合开关置于"DC"档,调整垂直灵敏度开关于适当档位,读出此时荧光屏上水平亮线与零电压线之间的垂直距离 Y (如图 1.2.12 所示),将 Y 乘以示波器的垂直灵敏度即可得到被测电压 U_x 的大小,即 $U_x = S_Y \times Y$ 。

2、通用示波器主要由哪几部分组成的? 各部分的作用是什么?

3、简述通用示波器 Y 通道的主要组成部分。

4、比较触发扫描和连续扫描的特点。

答:连续扫描和触发扫描 示波器扫描的两种方式。为了更好地观测各种信号,示波器应该既能连续扫描又能触发扫描,扫描方式的选择可通过开关进行。在连续扫描时,没有触发脉冲信号,扫描闸门也不受触发脉冲的控制,仍会产生门控信号,并启动扫描发生器工作;在触发扫描时,只有在触发脉冲作用下才产生门控信号。对于单次脉冲或者脉冲周期长的信号采用触发扫描方式更能清晰观测。

5、通用示波器中扫描发生器环常由哪三部分电路组成?

(1)积分器;

(2)扫描门;

(3)比较和释抑电路。

6、请简明阐述数字存储示波器的基本工作原理。

7、被测脉冲信号峰—峰值为 5V, 频率为 1kHz, 经衰减量为 10 倍的探头引入示波器, " 偏转灵敏度微调" 置" 校正" 位置, 荧光屏有效宽度为 10cm, " 扫描速度微调" 置" 校正" 位置。

(1) 要想在荧光屏上获得峰—峰值高度为 5cm 的波形, " Y 轴偏转灵敏度" 开关应置哪一档?

(2) 要想在荧光屏上刚好显示有 2 个周期的波形, " 扫描灵敏度" 开关应置哪一档?

8、用示波器观察正弦波电压时, 若荧光屏出现如图 1-5 所示的波形, 该调节哪些旋钮才能出现满意的波形?

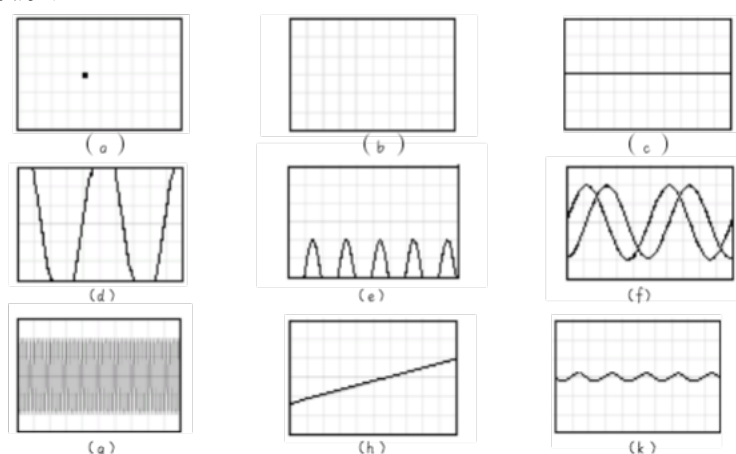
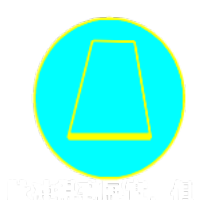
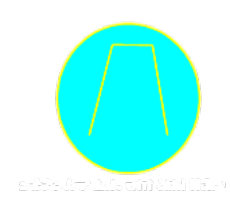
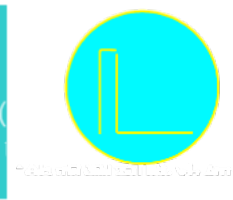


图 6-10 不合适的波形显示



9、用示波器观测占空比很小的脉冲波形（如图 4-1 所示）时，由于选择的扫描方式及扫描周期的不同，荧光屏上分别出现如图 a**b**c 三种波形，试分析出现 a**b**c 三种图形的原因？并比较说明采用哪种方式能较好的观察脉冲波形？

图：被测信号波形

图 a

图 b

图 c

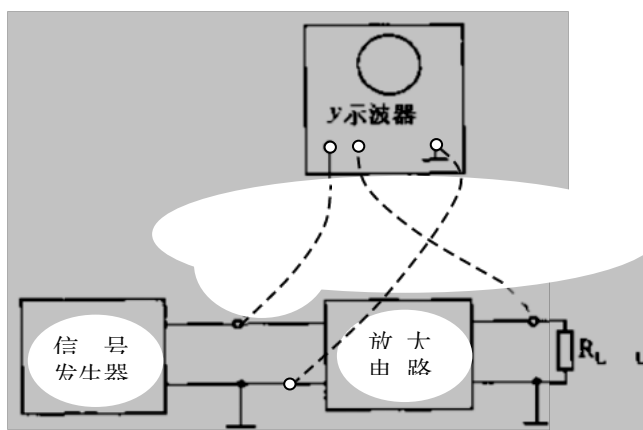
答案：图 a: 不能观测到脉冲细节。原因：选择的扫描方式为连续扫描，且扫描周期与被测信号周期相同

图 b: 脉宽得到展宽，但波形显示暗，时基线太亮。原因：选择的扫描方式为连续扫描，且扫描周期与脉冲底宽相同

图 c: 能较好的观测脉冲细节，原因：选择的扫描方式为触发扫描，且扫描脉冲只在被测脉冲到来时才扫描一次；没有被测脉冲时，扫描发生器处于等待工作状态，可以避免扫描基线太亮。

四、画图题

1、有一放大电路，要求在输出波形基本不失真情况下测其电压增益与最大输出范围，请设计测试连线图。



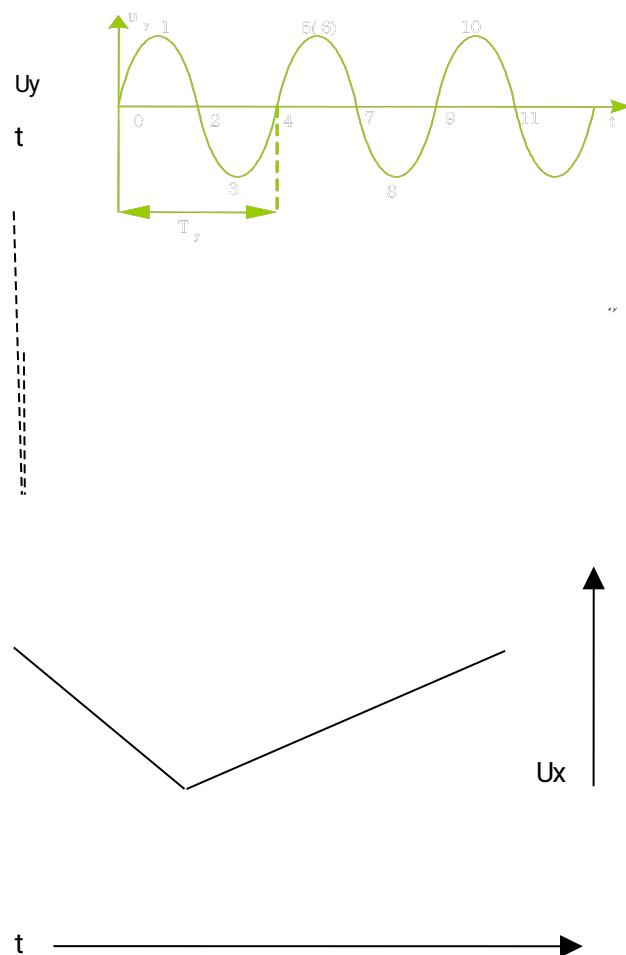
2、画出下图所示被测信号及扫描电压在荧光屏上合成的波形，并说明原因，可以采取什么样的解决办法使能正确的显示被测信号的波形？

答：原因：回扫总是需要一定的时间的，由于示波器增辉电路不良或对回扫的消隐不好，

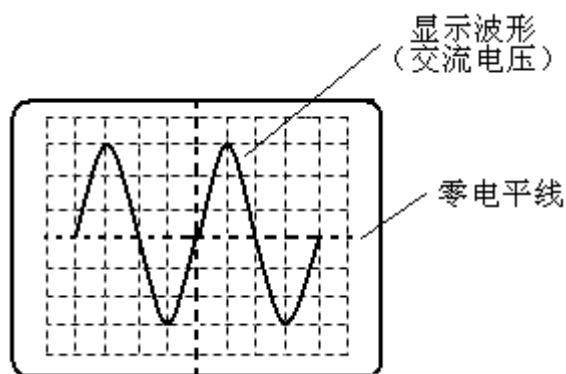
使得扫描正程和回程在荧光屏上的亮度相差不多，出现回扫轨迹。

措施：为了使回扫轨迹不在荧光屏上显示，可以设法在扫描正程期间，使电子枪发射更多的电子，即给示波器增辉。或是利用闸门信号作为增辉脉冲控制示波管，起扫描正程加亮的作用。

画图参考第 3 章课件



6、用示波器测量某正弦波电压，若垂直灵敏度开关的位置为“0.5V/div”， $k=1$ ，屏幕上显示的波形如题 3-6 图所示，求被测正弦信号的峰-峰值和有效值。



题 3-6 图

五、计算题

1、一示波器的荧光屏的水平长度为 10cm，现要求在上面最多显示 10MHz 正弦信号两个周期（幅度适当），问该示波器的扫描速度应该为多少？

解：正弦信号频率为 10MHz, $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{10 \times 10^6} = 1 \times 10^{-7} s$ ，要在屏幕上显示两个周期，

则显示的时间为 $t = 2T = 2 \times 10^{-7} s$ ，扫描速度为 $\frac{10}{2 \times 10^{-7}} = 50 \times 10^6 cm/s$

2、波器观测周期为 8ms，宽度为 1ms，上升时间为 0.5ms 的矩形正脉冲。试问用示波器分别测量该脉冲的周期、脉宽和上升时间，时基开关（t/cm）应在什么位置（示波器时间因数为 0.05μs~0.5s，按 1-2-5 顺序控制）。

解：

在示波器屏幕上尽量显示一个完整周期，而水平方向为 10cm，所以

测量周期时， $8ms/10cm = 0.8ms/cm$ ，时基开关应在 1ms 位置，

测量脉宽时， $1ms/10cm = 0.1ms/cm$ ，时基开关应在 100μs 位置，

测量上升时间时， $0.5ms/10cm = 50μs/cm$ 时基开关应在 50μs 位置

3、有一正弦信号，使用垂直偏转因数为 100mV/div 的示波器进行测量，测量时信号经过 10:1 的衰减探头加到示波器，测得荧光屏上波形的高度为 7.07div，问该信号的峰值、有效值各为多少？

解：示波器测量的是峰-峰值。

$$V_{p-p} = h \times D_v \times k_v$$

$$V_{p-p} = 7.07 \times 10 \times 100 mV = 7.07 V$$

$$\text{正弦信号的峰值 } V_p = \frac{V_{p-p}}{2} = \frac{7.07}{2} mV = 3.535 V$$

正弦信号的有效值

$$V = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = \frac{V_{p-p}}{2\sqrt{2}} = \frac{7.07}{2\sqrt{2}} V = 2.5V$$

4、有一信号在荧光屏一周期的水平长度为 7cm，扫描速度开关置于“10ms/cm”位置，扫描扩展置“拉出×10”位置，求被测信号的周期。

解：根据 $T = xD_x / k_x$ 可得测交流信号的周期为

$$T = xD_x / k_x = \frac{7 \times 10}{10} ms = 7ms$$

5、已知示波器偏转灵敏度 $D_y=0.2V/cm$ ，荧光屏有效宽度 10cm

- (1)若扫描速度为 0.05ms/cm(放“校正”位置)，所观察的波形如下图所示，求被测信号的峰—峰值及频率；
- (2)若想在屏上显示 10 个周期该信号的波形，扫描速度应取多大？

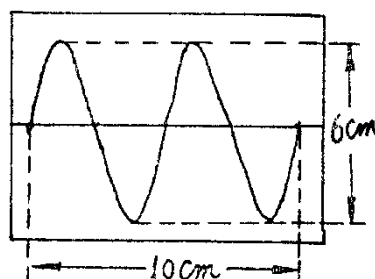
解：(6 分)

$$V_{p-p} = D_y \cdot h = 0.2 \times 6 = 1.2V$$

$$T = s \cdot x = 0.05 \times 5 = 0.25ms$$

$$f = 1/T = 1/0.25ms = 4KHz$$

$$S = \frac{t}{x} = \frac{10T}{x} = \frac{10 \times 0.25ms}{10cm} = 0.25ms/cm$$



第 4 章 信号源

一、填空题

- 1、正弦信号源的频率特性指标主要包括频率范围、频率准确度和频率稳定度。
- 2、合成信号发生器根据其原理可分为 3 类：直接合成方法、间接合成方法、数字直接合成方法。
- 3、传统信号源中的振荡器常采用（正弦振荡器）、（脉冲振荡器）两种类型。
- 4、合成信号发生器中，锁相环构成间接合成法的最基本电路。
- 5、设信号源预调输出频率为 1MHz，在 15 分钟内测得频率最大值为 1.005MHz，最小值为 998KHz，则该信号源的短期频率稳定度为 0.7%。
- 6、信号发生器的核心部分是振荡器。
- 7、函数信号发生器中正弦波形成电路用于将三角波变换成正弦波。
- 8、评价正弦信号发生器的技术指标归纳为三大指标，即频率特性 输出特性 调制特性
- 9、若 DDS 频率合成信号源的相位累加器位宽为 32 位，输入参考时钟频率为 100MHz，频率控制字为 5000，则输出频率为（116.42Hz）。

二、选择题

1、分频是对信号频率进行 D 运算。

A、加法混频 B、减法 C、乘法 D、除法

2、低频信号发生器中能产生低频正弦波信号的是 (A)。

A、主振器

B、放大器

C、衰减器

D、匹配器

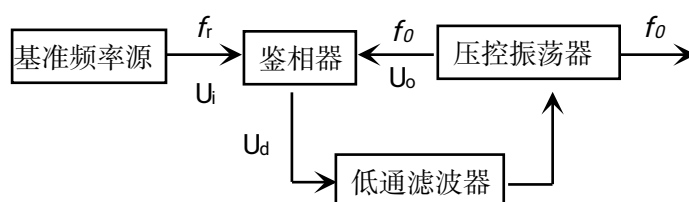
3、高频信号发生器的工作频率一般为 (C)

A、1Hz~1MHz B、0.001Hz~1kHz C、200kHz~30MHz D、300MHz 以上

三、简答题

1、锁相环有哪几个基本组成部分，各起什么作用？

答：如图所示，基本锁相环是由基准频率源、鉴相器 (PD)、环路滤波器 (LPF) 和压控振荡器 (VCO) 组成的一个闭环反馈系统。



鉴相器是相位比较器，它将两个输入信号 U_i 和 U_o 之间的相位进行比较，取出这两个信号的相位差，以电压 U_d 的形式输出给低通滤波器 (LPF)。当环路锁定后，鉴相器的输出电压是一个直流量。

环路低通滤波器用于滤除误差电压中的高频分量和噪声，以保证环路所要求的性能，并提高系统的稳定性。

压控振荡器是受电压控制的振荡器，它可根据输入电压的大小改变振荡的频率。

2、试说明触发电平、触发极性调节的意义。

答：在电路中设置触发电平和触发极性调节两种控制方式，通过这两种方式可任意选择被显示信号的起始点，便于对波形的观测和比较。触发极性是指触发点位于触发源信号的上升沿还是下降沿。触发点位于触发源信号的上升沿为“+”极性；触发点位于触发源信号的下降沿则为“-”极性；触发电平是指触发脉冲到来时所对应的触发放大器输出电压的瞬时值，触发极性和触发电平决定触发脉冲产生的时刻，并决定扫描的起点。

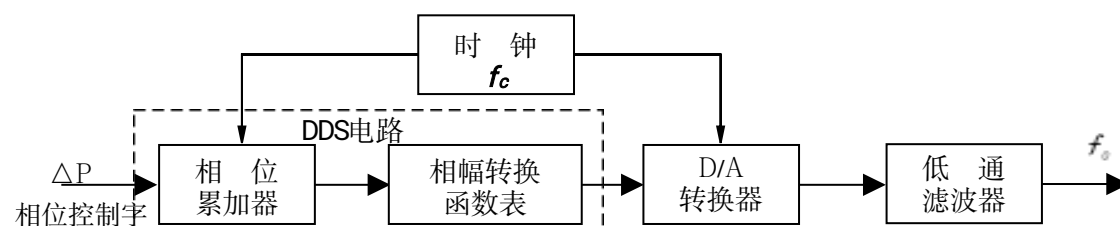
3、简述合成信号源的各种频率合成方法及其优缺点。

答：合成信号源的各种频率合成方法主要有模拟直接合成法，数字直接合成法和锁相环频率合成法。

模拟直接合成法特点：虽然转换速度快（ μs 量级），但是由于电路复杂，难以集成化，因此其发展受到一定限制。

数字直接合成法：基于大规模集成电路和计算机技术，尤其适用于函数波形和任意波形的信号源，将进一步得到发展。但目前有关芯片的速度还跟不上高频信号的需要，利用 DDS 专用芯片仅能产生 100MHz 量级正弦波，其相位累加器可达 32 位，在基准时钟为 100MHz 时输出频率分辨力可达 0.023Hz，可贵的是这一优良性能在其它合成方法中是难以达到的。锁相环频率合成法：虽然转换速度慢（ms 量级），但其输出信号频率可达超高频频段甚至微波、输出信号频谱纯度高、输出信号的频率分辨力取决于分频系数 N ，尤其在采用小数分频技术以后，频率分辨力大力提高。

4、图为一测量仪器的核心部件框图，请回答：



- ① 它有何功能？
- ② “相幅转换函数表”有何功能？它输出的是
- ③ “低通滤波器”有何作用？
- ④ 输出信号与 ΔP 有怎样的关系？

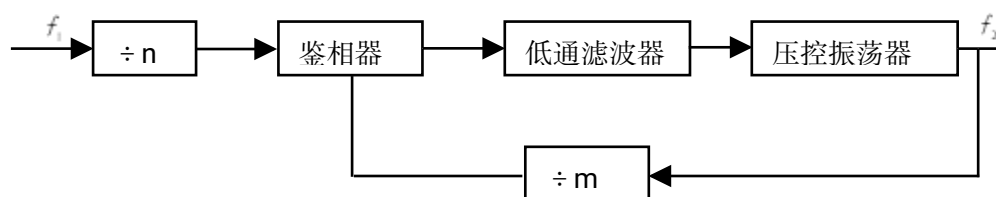
答：① 它是采用 DDS 技术的信号产生电路。
 ② “相幅转换函数表”将累加的相位值转换成相应波形在该相位时的幅度值。
 ③ “低通滤波器”滤除合成信号中的谐波分量。

④ 时钟电路与输出频率有关，时钟频率与输出频率关系为：

$$f_o = \frac{f_c}{x} = \frac{\Delta P}{2^N} f_c$$

四、计算题

1、下图是简化了的频率合成器框图， f_1 为基准频率， f_2 为输出频率，试确定两者之间的关系。若 $f_1=1\text{MHz}$ ，分频器 $\div n$ 和 $\div m$ 中可以从 1 变到 10，步长为 1，试确定的频率范围。



解：基准频率 f_1 通过分频器 $\div n$ 得到频率为 f_1/n 的信号，输出频率 f_2 通过分频器 $\div m$ 得到频率为 f_2/m 的信号。这两个信号再通过鉴相器，取出这两个信号的相位差，以电压的形式通过低通滤波器加到压控振荡器以控制基准频率，直至环路进入“锁定状态”。

$$f_2 = \frac{m}{n} f_1$$

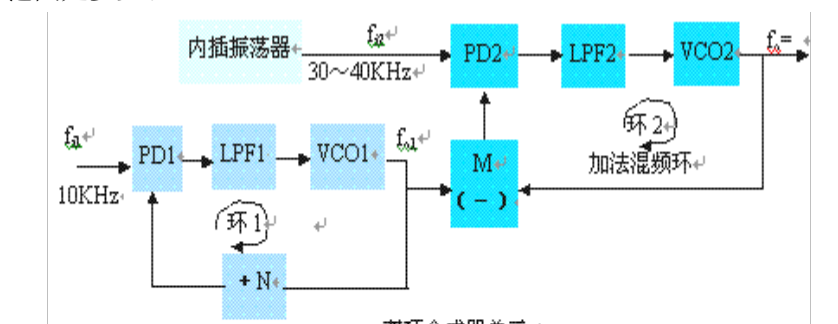
若 $f_1 = 1\text{MHz}$

$$f_{2\max} = \frac{m_{\max}}{n_{\min}} f_1 = \frac{10}{1} \times 1\text{MHz} = 10^7 \text{Hz}$$

$$f_{2\min} = \frac{m_{\min}}{n_{\max}} f_1 = \frac{1}{10} \times 1\text{MHz} = 10^5 \text{Hz}$$

所以确定的频率的范围为 $10^5\text{Hz} \sim 10^7\text{Hz}$ 。

2、下图为一双环合成单元,其中内插振荡器的输出频率范围为 $30\text{KHz} \sim 40\text{KHz}$, 环 1 的分频比 N 变化范围为 $200 \sim 500$, 输入参考频率为 10KHz , 问该合成单元的输出频率范围是多少?



由图知环 1 为一倍频环, 其输出频率为: $f_{o1} = Nf_0$

N 的变化范围为 $200 \sim 500$, 则 f_{o1} 的变化范围为: $2000 \sim 5000\text{KHz}$

环 2 为加法混频环, 故 $f_o = f_{o1} + f_{i2}$

因此 f_o 的范围为: $2030\text{KHz} \sim 5040\text{KHz}$

3、有一频率合成器如图 3.37 所示，求：

- (1) f_0 的表达式；
- (2) f_0 的范围；
- (3) 最小步进频率。

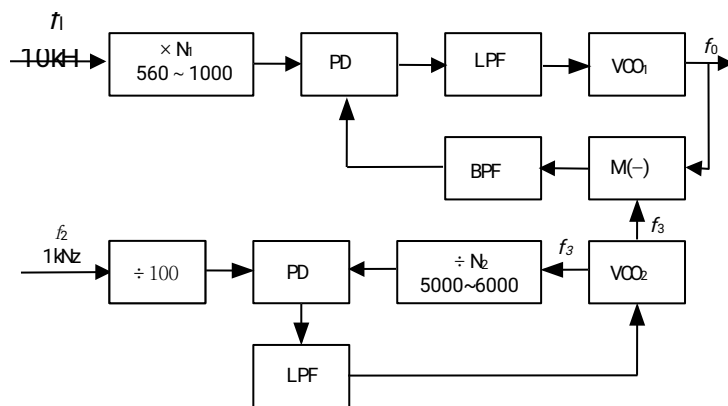


图 3.37 题 3.12 图

解：由图可知：

$$(1) N_1 f_1 = f_0 - f_3$$

$$\frac{f_2}{100} = \frac{f_3}{N_2}$$

$$\text{所以 } f_0 = N_1 f_1 + \frac{N_2 f_2}{100}$$

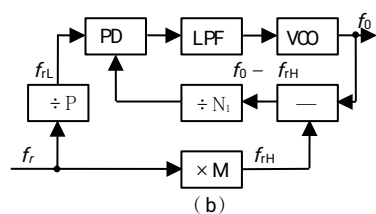
$$(2) N_1 = 560 \sim 1000 \quad N_2 = 5000 \sim 6000$$

$$f_{0 \min} = 560 f_1 + \frac{5000 f_2}{100} = 560 \times 10 \text{ kHz} + \frac{5000 \times 1 \text{ kHz}}{100} = 5650 \text{ kHz} = 5.650 \text{ MHz}$$

$$f_{0 \max} = 1000 f_1 + \frac{6000 f_2}{100} = 1000 \times 10 \text{ kHz} + \frac{6000 \times 1 \text{ kHz}}{100} = 10060 \text{ kHz} = 10.060 \text{ MHz}$$

(3) 因为 N_1 和 N_2 均可改变，但 f_0 表达式中， N_2 的系数小，所以 N_2 变化 1 得到的 f_0 的

变化最小，即 f_0 的最小步进频率为 $\Delta f_0 = \frac{f_2}{100} = \frac{1 \text{ kHz}}{100} = 10 \text{ Hz}$



4、计算下图所示锁相环的输出频率范围及步进频率。

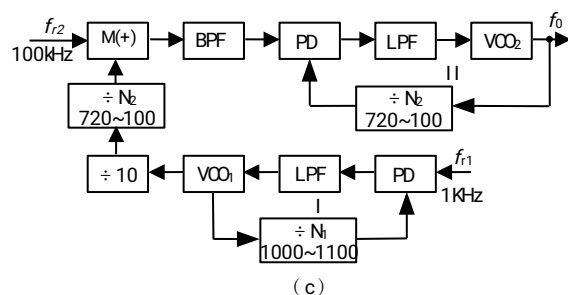
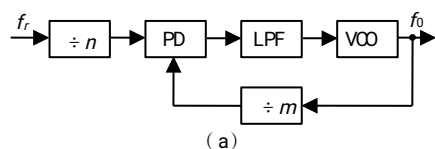


图 3.38 题 3.13 图

解：(a) $\frac{f_r}{n} = \frac{f_0}{m}$ ，所以 $f_0 = \frac{f_r m}{n}$ ，步进 $\frac{f_r}{n_{\max}}$

(b) $\frac{f_r}{P} = \frac{f_0 - f_{rH}}{N_1}$ ，所以 $f = \frac{f_r N_1}{P} + f_{rH}$ ，步进 $\frac{f_r}{P_{\max}}$

(c) 设 VCO1 输出频率为 f_1 ，则 $f_{r1} = \frac{f_1}{N_1}$ ， $f_1 = f_{r1} N_1$ ，

$$\frac{f_1}{10 N_2} + f_{r2} = \frac{f_0}{N_2}, \quad f_0 = \left(\frac{f_1}{10 N_2} + f_{r2} \right) N_2 = \left(\frac{f_{r1} N_1}{10 N_2} + f_{r2} \right) N_2 = \frac{f_{r1} N_1}{10} + f_{r2} N_2$$

$$f_0 = \frac{1 \text{ kHz} (1000 \sim 1100)}{10} + 100 \text{ kHz} (720 \sim 1000)$$

$$f_{0L} = \frac{1 \text{ kHz} \times 1000}{10} + 100 \text{ kHz} \times 720 = 72.1 \text{ MHz}$$

$$f_{0H} = \frac{1 \text{ kHz} \times 1100}{10} + 100 \text{ kHz} \times 1000 = 100.11 \text{ MHz}$$

$$\text{步进} \frac{1 \text{ kHz} \times 1}{10} = 100 \text{ Hz}$$

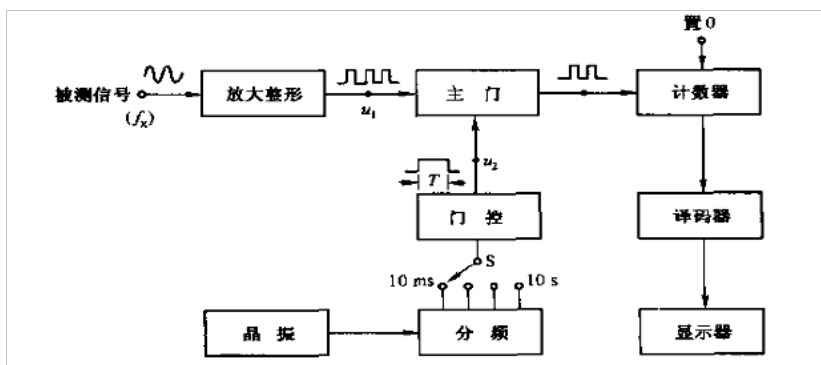
第 5 章 时间、频率测量

一、选择题

- 1、通用计数器测量周期时由石英振荡器引起的主要是(C)误差。
A.随机 B.量化 C.变值系统 D.引用
- 2、设计数器直接测周的分辨力为 1ms，若采用多周期测量法，欲将测周分辨力提高到 1,应选择的“周期倍乘”为(D)。
A.10； B.102； C.103； D.104。
- 3、用计数器测频的误差主要包括：(B)
A. 量化误差、触发误差 B. 量化误差、标准频率误差
C. 触发误差、标准频率误差 D. 量化误差、转换误差
- 4、下列哪种方法不能减小量化误差：(A)
A. 测频时使用较高的时基频率； B. 测周时使用较高的时基频率
C. 采用多周期测量的方法； D. 采用平均法

二、简答题

- 1、绘出计数式频率计测频原理图，并简述各部分作用。



2、说明通用计数器测量周期的工作原理。

答：将被测信号整形转换后作为闸门时间，而用标准频率作为计数脉冲，进行计数，同样通过改变标准频率的分频，即改变时标信号，来测量更宽的范。

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：通用计数器测量频率的误差：

即 ± 1 误差和标准频率误差。一般总误差可采用分项误差绝对值合成，即

$$\frac{\Delta f_x}{f_x} = \pm \left(\frac{1}{f_x T} + \left| \frac{\Delta f_c}{f_c} \right| \right)$$

通用计数器测量周期的误差：

主要有三项，即量化误差、转换误差以及标准频率误差。其合成误差可按下式计算

$$\frac{\Delta T_x}{T_x} = \pm \left(\frac{1}{10^{-6} T_x f_c} + \frac{1}{\sqrt{2} \pi} \times \frac{U_x}{U_n} + \left| \frac{\Delta f_c}{f_c} \right| \right)$$

减少测频误差的方法：在 f_x 一定时，闸门时间 T 选得越长，测量准确度越高

减少测周误差的方法：1)采用多周期测量可提高测量准确度；

2)提高标准频率，可以提高测周分辨力；

3)测量过程中尽可能提高信噪比 V_m / V_n 。

4、简述计数式频率计测量频率的原理，说明这种测频方法测频有哪些测量误差？对一台位数有限的计数式频率计，是否可无限制地扩大闸门时间来减小 ± 1 误差，提高测量精确度？

答：是根据频率的定义来测量频率的。若某一信号在 T 秒时间内重复变化了 N 次，则根据频率的定义，可知该信号的频率 f_x 为：

$$f_x = N / T$$

测量误差主要有： ± 1 误差：

$$\frac{\Delta N}{N} = \pm \frac{1}{N} = \pm \frac{1}{f_x T}$$

标准时间误差：

$$\frac{\Delta T}{T} = - \frac{\Delta f_c}{f_c}$$

不可无限地扩大闸门时间来减小 ± 1 误差，提高测量精确度。一台位数有限的计数式频率计，闸门时间取得过大会使高位溢出丢掉。

5、简述测量频率比原理。

6、简述示波器上用李沙育图形法进行测频、测时间间隔的原理。

答：用李沙育图形法进行测频的原理是：示波器荧光屏上的李沙育图形与水平轴的交点 n_x 以及与垂直轴的交点 n_y 来决定频率比，即：

$$\frac{f_y}{f_x} = \frac{n_y}{n_x}$$

若已知频率信号接于 X 轴，待测频率信号接于 Y 轴，

则：

$$f_y = \frac{n_y}{n_x} \cdot f_x = \frac{m}{n} \cdot f_x$$

用示波器测时间间隔的原理是：在波形上找到要测时间间隔所对应的两点，如 A 点、B 点。读出 A、B 两点间的距离 $x(\text{cm})$ ，由扫描速度 $v(\text{t/cm})$ 的标称值及扩展倍率 k ，即可算出被测的时间间隔：

$$T_x = \frac{x \cdot k}{v}$$

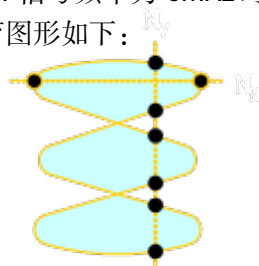
7、什么是李沙育图形？说明李沙育图形测量频率的原理，根据此原理，画出当 X 信号频率为 2MHz 时，Y 信号的频率为 6MHz 的李沙育图形。（6 分）

答：示波器两个偏转板上都加正弦电压时显示李沙育（Lissajous）图形，这种图形在相位和频率测量中常会用到。 N_H 和 N_V 分别为水平线、垂直线与李沙育图形的交点数； f_x 、 f_y

$$\frac{f_y}{f_x} = \frac{N_H}{N_V}$$

分别为示波器 X 和 Y 信号的频率。李沙育图形存在关系：

所以当 X 信号频率为 2MHz 时，Y 信号频率为 6MHz 时，水平交点个数为与垂直交点个数的比值为 1：3。画出的李沙育图形如下：



8、根据李沙育图形法测量相位的原理，试用作图法画出相位差为 0° 和 180° 时的图形。说明图形为什么是一条直线？

解：（1）同幅度、相位差为 0° 、频率比为 1:1、周期为 T 的正弦信号分别送入示波器的 Y 通道和 X 通道。

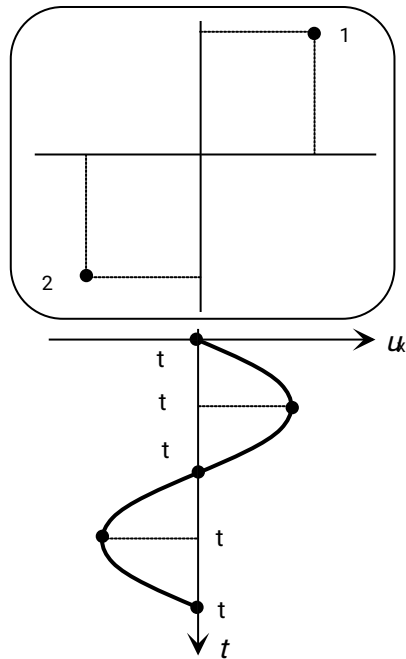
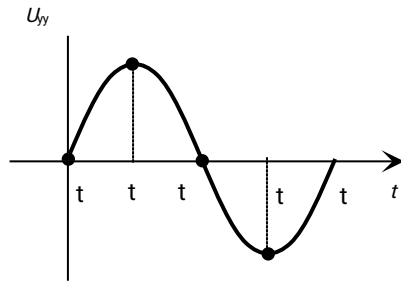
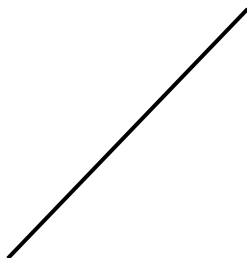


图 X、Y 偏转板加同频、同相信号时光点的轨迹图



●0●
0

- ①当时间 $t=t_0$ 时, $V_y=0, V_x=0$ 光点出现在荧光屏上的中点“0”点。
- ②当时间 $t=t_1$ 时, $V_y=V_x=V_m$, 光点同时受到水平和垂直偏转板的作用, 在 x、y 方向位移最大且相同, 光点将会出现在屏幕的第 1 象限的“1”点。
- ③当时间 $t=t_2$ 时, $V_y=0, V_x=0$, 光点从“1”点回到荧光屏上的中点“0”点。
- ④当时间 $t=t_3$ 时, $V_y=V_x=-V_m$, 光点同时受到水平和垂直偏转板的作用, 与“1”点情况类似, 光点将会出现在屏幕第 3 象限的“2”点。
- ⑤当时间 $t=t_0$ 时, 光点从“2”点回到荧光屏上的中点“0”点。

因此, 荧光屏显示的是一条过原点的, 斜率为 45° 的直线。

(2) 同幅度、相位差为 180° 、频率比为 1:1、周期为 T 的正弦信号分别送入示波器的 Y 通道和 X 通道, 图形是一样的。

三、计算题

1、用计数器测频率, 已知闸门时间 T 和计数值 N 如下表所示, 求各对应情况下的 f_x 。

| | | | |
|-------|-----------|------------|-------------|
| T | 1s | 0.1s | 10ns |
| N | 10 000 | 10 000 | 10 000 |
| f_x | 10 000 Hz | 100 000 Hz | 1000 000 Hz |

2、欲用电子计数器测量一个 $f_x=400\text{Hz}$ 的信号频率, 采用测频 (选闸门时间为 1s) 和测周 (选时标为 $0.1\mu\text{s}$) 两种方法, 试比较这两种方法由 ± 1 误差所引起的测量误差。

解 ①测频时, 量化误差为

$$\frac{\Delta N}{N} = \pm \frac{1}{f_x \cdot T_x} = \pm \frac{1}{400 \times 1} = \pm 2.5 \times 10^{-3}$$

②测周时, 量化误差为

$$\frac{\Delta N}{N} = \pm \frac{1}{T_x \cdot f_c} = \pm \frac{f_x}{f_c} = \pm \frac{400}{10^7} = \pm 4 \times 10^{-5}$$

从计算结果可以看出, 采用测周方法的误差小些。

3、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;

并提出减小测量误差的方法。

解：根据电子计数器测量频率的最大相对误差计算公式为

$$\gamma_f = \frac{\Delta f_x}{f_x} = \pm \left(\frac{1}{f_x \cdot T_x} + \left| \frac{\Delta f_c}{f_c} \right| \right)$$

(1) 测量 $f_x = 10 \text{ MHz}$ 时的相对误差

$$\gamma_f = \pm \left(\frac{1}{f_x \cdot T_x} + \left| \frac{\Delta f_c}{f_c} \right| \right) = \pm \left(\frac{1}{10 \times 10^6 \times 1} + 5 \times 10^{-8} \right) = \pm 1.5 \times 10^{-7}$$

(2) 测量 $f_x = 10 \text{ KHz}$ 时的相对误差

$$\gamma_f = \pm \left(\frac{1}{f_x \cdot T_x} + \left| \frac{\Delta f_c}{f_c} \right| \right) = \pm \left(\frac{1}{10 \times 10^3 \times 1} + 5 \times 10^{-8} \right) \approx \pm 10^{-5}$$

当被测信号频率一定时，主门开启时间越长，量化的相对误差就越小；当主门开启时间一定时，提高被测信号的频率，也可减小量化误差的影响。

4、用双踪示波器观测两个同频率正弦波 a, b, 若扫描速度为 $20 \mu\text{s}/\text{cm}$, 而荧光屏显示两个周期的水平距离是 8cm , 问：

(1) 两个正弦波的频率是多少？

(2) 若正弦波 a 比 b 相位超前 1.5cm , 那么两个正弦波相差为多少？用弧度表示。

解：(1) 根据被测交流信号的周期为 $T = xD_x$ 则

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4 \times 20 \mu\text{s}} = 12.5 \text{ kHz}$$

(2) 根据两信号的相位差为 $\Delta\varphi = \frac{x}{x_T} \times 360^\circ$ 则

$$\Delta\varphi = \frac{1.5}{4} \times 360^\circ = \frac{3\pi}{4}$$

5、利用频率倍增方法，可提高测量准确度，设被测频率源的标称频率为 $f_0 = 1\text{MHz}$, 闸门时间置于 1s , 欲把 ± 1 误差产生的测频误差减少到 1×10^{-11} , 试问倍增系数应为多少？

解：倍增前量化误差为

$$\frac{\Delta N}{N} = \pm \frac{1}{f_x \cdot T_x} = \pm \frac{1}{1 \times 10^6 \times 1} = \pm 1 \times 10^{-6}$$

$$\text{倍增系数为 } M = \frac{1 \times 10^{-6}}{1 \times 10^{-11}} = 10^5$$

6、用计数式频率计测量频率，闸门时间（门控时间）为 1s 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？

解：（1）量化误差 $\frac{\Delta N}{N} = \frac{\pm 1}{5400} = \frac{\pm 1}{f_x T} = \pm 0.019\%$

（2）量化误差 $\frac{\Delta N}{N'} = \frac{\pm 1}{f_x' T'} = \frac{\pm 1}{4 f_x \times 5 T} = \frac{\pm 1}{20 f_x T} = \frac{\pm 0.019\%}{20} = \pm 0.00095\%$

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。

解：闸门时间为 1s 时， ± 1 误差 $\frac{\Delta N}{N} = \frac{\pm 1}{f_x T} = \frac{\pm 1}{5\text{MHz} \times 1} = \pm 2 \times 10^{-7}$

闸门时间为 0.1s 时， ± 1 误差 $\frac{\Delta N}{N} = \frac{\pm 1}{f_x T} = \frac{\pm 1}{5\text{MHz} \times 0.1} = \pm 2 \times 10^{-6}$

闸门时间为 10ms 时， ± 1 误差 $\frac{\Delta N}{N} = \frac{\pm 1}{f_x T} = \frac{\pm 1}{5\text{MHz} \times 0.01} = \pm 2 \times 10^{-5}$

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。

解：测频 ± 1 误差 $\frac{\Delta f_x}{f_x} = \pm \left(\frac{1}{T_x f_x} + \frac{\Delta f_c}{f_c} \right)$

（1） $\frac{\Delta f_x}{f_x} = \pm \left(\frac{1}{1 \times 10 \times 10^6} + 5 \times 10^{-8} \right) = \pm 1.5 \times 10^{-7}$

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

对相同闸门时间下，当被测频率越高时，测频相对误差越小，同时晶振频率误差影响也越大。

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。

解：计数器测周期误差

$$\frac{\Delta T_x}{T_x} = \pm \left(\frac{1}{10^6 T_x f_c} + \frac{\Delta f_c}{f_c} \right) = \pm \left(\frac{1}{100 \times 10 \times 10^{-6} \times 10 \times 10^6} + 5 \times 10^{-8} \right) = 1.0005 \times 10^{-5}$$

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。

解：由转换误差产生的测周误差为： $\frac{\Delta T_x}{T_x} = \frac{1}{\sqrt{2} \times 10^6 \pi} \times \frac{U_n}{U_s}$

因为: $20 \lg \frac{U_n}{U_n} = 20$, 所以 $\frac{U_n}{U_n} = 10$

所以“周期倍乘”置于 $\times 1$ 时: $\frac{\Delta T_x}{T_x} = \frac{1}{\sqrt{2} \times \pi} \times \frac{1}{10} = 0.0282$

所以“周期倍乘”置于 $\times 100$ 时: $\frac{\Delta T_x}{T_x} = \frac{1}{\sqrt{2} \times 100 \times \pi} \times \frac{1}{10} = 0.000282$

由测周误差可知, 增大“周期倍乘”可以减少由转换误差产生的测周误差。

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?

解: 因为多周期法测被测信号周期, $N = kT_x f_c$

$$\text{所以 } k = \frac{N}{T_x f_c} = \frac{100000}{\frac{1}{50} \times f_c} = \frac{5000000}{f_c}$$

$$T_x \frac{N}{kf_c} = \frac{N}{kf_c} = \frac{15000}{\frac{5000000}{f_c} f_c} = 0.003 \text{ s}$$

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。

解: 测频和测周 ± 1 误差分别为:

$$\frac{\Delta f_x}{f_x} = \frac{1}{f_x T}, \quad \frac{\Delta T_x}{T_x} = \frac{1}{10^4 T_x f_c}, \quad \frac{\Delta f_x}{f_x} = \frac{\Delta T_x}{T_x}$$

$$\frac{1}{f_x T} = \frac{1}{10^4 T_x f_c} = \frac{f_x}{10^4 f_c}, \quad \text{所以 } f_m = \sqrt{\frac{10^4 f_c}{T}}$$

$$\text{中界频率 } f_m = \sqrt{\frac{10^4 \times 10 \text{ MHz}}{1}} = 316 \text{ kHz}$$

13、欲测量一个标称频率 $f_0 = 1\text{MHz}$ 的石英振荡器, 要求测量精确度优于 $\pm 1 \times 10^{-6}$, 在下列几种方案中, 哪一种是正确的? 为什么?

- (1) 选用 E312 型通用计数器 ($\Delta f/f_c \leq \pm 1 \times 10^{-6}$), “闸门时间”置于 1s 。
- (2) 选用 E323 型通用计数器 ($\Delta f/f_c \leq \pm 1 \times 10^{-7}$), “闸门时间”置于 1s 。
- (3) 选用 E323 型通用计数器 ($\Delta f/f_c \leq \pm 1 \times 10^{-7}$), “闸门时间”置于 10s 。

解: (1) 测频时, 其误差 $\frac{\Delta f_x}{f_x} = \pm \left(\frac{1}{T_x f_x} + \frac{\Delta f_c}{f_c} \right) = \pm \left(\frac{1}{1 \times 1 \times 10^6} + 1 \times 10^{-6} \right) = \pm 2 \times 10^{-6}$

$$(2) \frac{\Delta f_s}{f_s} = \pm \left(\frac{1}{T_s f_s} + \frac{\Delta f_c}{f_c} \right) = \pm \left(\frac{1}{1 \times 1 \times 10^6} + 1 \times 10^{-7} \right) = \pm 1.1 \times 10^{-6}$$

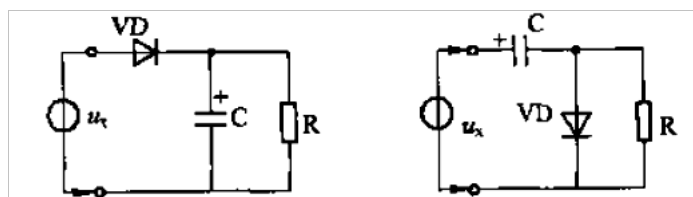
$$(3) \frac{\Delta f_s}{f_s} = \pm \left(\frac{1}{T_s f_s} + \frac{\Delta f_c}{f_c} \right) = \pm \left(\frac{1}{10 \times 1 \times 10^6} + 1 \times 10^{-7} \right) = \pm 2 \times 10^{-7}$$

由以上计算结果可知，采用第三种方案是正确的。

第6章 电压测量

一、填空题

- 1、指针偏转式电压表和数码显示式电压表测量电压的方法分别属于模拟____测量和数字____测量。
- 2、交流电压的波峰因数 K_p 定义为（峰值与有效值）之比____，波形因数 K_f 定义为（有效值与平均值）之比____。
- 3、按检波器在放大器之前或之后，电子电压表有两种组成形式，即放大-检波式和检波-放大式。
- 4、峰值电压表使用的峰值检波器有并联式、串联式两种；其中并联式的输出电量只反映被测电压交流分量的峰值。
- 5、电压测量仪器总的可分为____式的和____式两大类。
- 6、作为集总电路中表征电信号能量的三个基本参数(____、____和功率)，其中____测量是不可缺少的基本测量。
- 7、根据检波特性不同，交流电压的测量方法可分为：（平均值检波）、（峰值检波）和（有效值检波），相应的电压表简称为（平均值电压表）、（峰值电压表）和（有效值电压表）。
- 8、图所示为（峰值表）的检被电路



- 9、DVM按AD转换方式分类有逐次逼近型、并行比较型/串并行型、积分型、压频变换型等。
- 10、DVM的固有测量误差通常用____误差和____误差共同表示。
- 11、计数器测周的基本原理刚好与测频相反，即由被测信号控制主门通断，而用分频后的时钟进行计数。
- 12、某DVM的最大读数容量为19999，则该表属于____位表，在0.2V量程的分辨力为____ μV 。

二、选择题

- 1、用具有正弦有效值刻度的峰值电压表测量一方波电压，读数为10V，问该方波的有效值为()

- A、10V
- B、17.3V
- C、14.1V
- D、1.41V

2、数字多用表中，电阻的测量通常采用 ()来实现。

- A恒流源通过电阻测电压 B恒压源加于电阻测电流 C R-T变换法 D.电桥平衡法

3、某 DMM 在 1.000V 量程上，最大显示为 1.999V，该 DMM 位数为()。

- A、3 位
- B、3 位
- C、4 位
- D、4 位

4、数字电压表显示位数越多，则__D__。

- A、测量范围越大 B、测量误差越小 C、过载能力越强 D、测量分辨力越高

5、用全波均值电压表测量某三角波信号，读数为 10V，则该三角波的峰值电压为 (C)

- A、10V B、9V C、18V D、14.13V

6、直流数字电压表的核心是(B)

- A、数字逻辑控制电路 B、A/D 转换器 C、显示器 D、积分器

7、用 3 1/2 位数字万用表测量一个 10KΩ 的电阻，档位在 2k，结果表上显示值为“1”，则表明(B)

- A、表已损坏 B、超过量程 C、电阻值过小 D、3 1/2 位表精确度不够

8、交流电压的波峰因素 K_p 定义为_ C _。

- A:峰值/平均值 B:有效值/平均值 C:峰值/有效值 D:平均值/峰值

9、波形因素为__B__

A:平均值与有效值之比 B:有效值与平均值之比 C:峰值与平均值之比 D:峰值与有效值之比

10、交流电压 $V(t)$ 的有效值的表达式为__ D _。

$$A: \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt \quad B: \frac{1}{T} \sqrt{\int_0^T v^2(t) dt} \quad C: \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt} \quad D: \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt}$$

11、一台 5 位 DMM，其基本量程为 10V，则其刻度系数（即每个字代表的电压值）为__mV/字 B

- A:0.01 B:0.1 C:1 D:10

12、一台 5 位半 DMM，其基本量程为 2V，则其刻度系数（即每个字代表的电压值）为__mV/字。A

- A:0.01 B:0.1 C:1 D:10

13、在双斜式积分 DVM 中，积分过程可简述为___。B

- A 对被测信号定斜率正向积分，对基准电压 定时反向积分
- B 对被测信号定时正向积分，对基准电压 定斜率反向积分
- C 对被测信号定时正向积分，对基准电压 定时反向积分
- D 对被测信号定斜率正向积分，对基准电压 定斜率反向积分

三、简答题

1、若没有有效值电压表，但需测量失真的正弦波，该选用峰值表还是均值表来进行测量？为什么？

2、画出双积分式 DVM 原理结构框图及有关波形，简述工作过程。

3、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：

- 1) 应有足够宽的电压测量范围
- 2) 应有足够宽的频率范围
- 3) 应有足够高的测量准确度
- 4) 应有足够高的输入阻抗
- 5) 应具有高的抗干扰能力

电压测量仪器的分类方法：

- 1) 按频率范围分类
- 2) 按被测信号的特点分类
- 3) 按测量技术分类

4、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：交流电压表都是以正弦波有效值为刻度的，

真有效值：我们认为有效值表的读数就是被测电压的有效值，即有效值表是响应输入信号有效值的。因此，有效值表中 $\alpha=U$ ，并称这种表为真有效值表。

假有效值：有效值表的读数不能反映被测电压的有效值真实大小。

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：峰值表和均值表的读数均是以正弦波有效值为刻度的，

对峰值表：有 $\alpha = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$

对均值表：有 $\alpha = 1.11\bar{V}$

对任一波形有 $k_p \bar{V} = \frac{V_p}{k_p}$ ，即 $V_p = k_p k_p \bar{V}$

先两电压表读数若相同，则 $a = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = \frac{k_p k_p \bar{V}}{\sqrt{2}} = 1.11 \bar{V}$

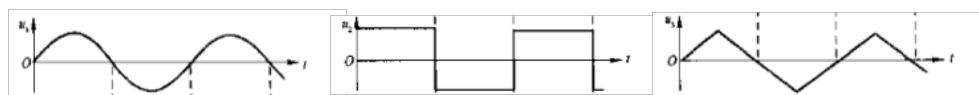
即 $\frac{k_p k_p}{\sqrt{2}} = 1.11$ ，所以只要被测波形为正弦波即可满足该条件。

四、计算题

1、用 D26 型电压表对题 1 图所示三种波形的交流电压进行测量，指示值均为 10V，问各种波形的有效、平均值及值峰值分别是多少？

其中：各波形系数：正弦波的 $KF1=1.11$ 、方波的 $KF2=1$ 、三角波的 $KF3=1.15$

各波峰系数：正弦波的 $KP1=1.414$ 、方波的 $KP2=1$ 、三角波的 $KP3=1.73$



题 1 图

解：∵ $K_a = 1.414$

∴ $U_{P1} = U_{P2} = U_{P3} = U_P = K_a U_x = 14.14 \text{ V}$

∴ 正弦波： $U_{P1} = 14.14 \text{ V}$ ； $U_1 = U_{P1} / KP1 = 14.1 / 1.41 = 10 \text{ V}$ ； $U_1 = U_1 / KF1 = U_{P1} / (KP1 KF1)$
 $= 14.14 / (1.414 \times 1.11) = 9 \text{ V}$ ；

∴ 方波： $U_{P2} = 14.14 \text{ V}$ ； $U_2 = U_{P2} / KP2 = 14.1 / 1 = 14.1 \text{ V}$ ； $U_2 = U_2 / KF2 = U_{P2} / (KP2 KF2)$
 $= 14.14 / (1.0 \times 1.0) = 14.14 \text{ V}$ ；

∴ 三角波： $U_{P3} = 14.14 \text{ V}$ ； $U_2 = U_{P3} / KP3 = 14.1 / 1.73 = 8.17 \text{ V}$ ； $U_3 = U_3 / KF3 = U_{P3} / (KP3 KF3)$
 $= 14.14 / (1.73 \times 1.15) = 7.10 \text{ V}$ ；

2、某电压放大器，测得输入端电压 $U_i = 1.0 \text{ mV}$ ，输出端电压 $U_o = 1200 \text{ mV}$ ，两者相对误差均为 $\pm 2\%$ ，求放大器增益的分贝误差。

解： $r_e = \pm (|r_{v_o}| + |r_{v_i}|) = \pm (2\% + 2\%) = \pm 4\%$

$r_{dB} = 20 \lg (1 + 4\%) = \pm (20 \times 0.017) = \pm 0.34 \text{ dB}$

3、若在示波器上分别观察峰值相等的正弦波、方波、三角波，得 $U_p = 5 \text{ V}$ ；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？

解：已知各波形 $V_p = 5 \text{ V}$

均值表： 正弦波 $a = 1.11 \bar{V} = 1.11 \times \frac{V_p}{k_{f-} k_{p-}} = 1.11 \times \frac{5}{1.11 \times \sqrt{2}} \approx 3.54 \text{ V}$

方波 $a = 1.11 \bar{V} = 1.11 \times \frac{V_p}{k_{f\Pi} k_{p\Pi}} = 1.11 \times \frac{5}{1 \times 1} \approx 5.55 \text{ V}$

$$\text{三角波} \quad \bar{a} = 1.11 \bar{V} = 1.11 \times \frac{V_p}{k_{\Delta} k_{p\Delta}} = 1.11 \times \frac{5}{1.15 \times 1.75} \approx 2.79 \text{ V}$$

峰值表：因为各波形峰值相同，所以三种波形的读数均为： $a = \frac{V_p}{\sqrt{2}} \approx 3.54 \text{ V}$

$$\text{有效值表：正弦波：} a = V = \frac{V_p}{k_p} = \frac{5}{\sqrt{2}} \approx 3.54 \text{ V}$$

$$\text{方波：} a = V = \frac{V_p}{k_{p\Pi}} = \frac{5}{1} = 5 \text{ V}$$

$$\text{三角波：} a = V = \frac{V_p}{k_{p\Delta}} = \frac{5}{\sqrt{3}} \approx 2.89 \text{ V}$$

4、用正弦有效值刻度的均值电压表测量正弦波、方波和三角波电压，读数均为18V，求三种波形电压的均值、有效值和峰值。

解：（1）三种波形电压的均值相同： $\bar{V}_\sim = \bar{V}_\Pi = \bar{V}_\Delta = \bar{a} / k_{p\sim} = 18 / 1.11 = 16.2 \text{ V}$ 。

（2）三种波形电压的有效值： $V_\sim = \bar{a} = 18 \text{ V}$ ， $V_\Pi = k_{p\Pi} \bar{V}_\Pi = 1.0 \times 16.2 = 16.2 \text{ V}$ ，

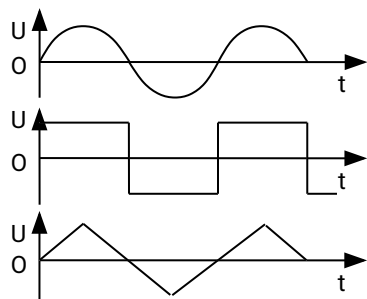
$$V_\Delta = k_{p\Delta} \bar{V}_\Delta = 1.15 \times 16.2 = 18.63 \text{ V}。$$

（3）三种波形电压的峰值： $V_{p\sim} = k_{p\sim} V_\sim = 1.414 \times 18 = 25.45 \text{ V}$ ，

$$V_{p\Pi} = k_{p\Pi} V_\Pi = 1.0 \times 16.2 = 16.2 \text{ V}，V_{p\Delta} = k_{p\Delta} V_\Delta = 1.732 \times 18.63 = 32.27 \text{ V}。$$

5、利用全波平均值电子电压表测量图所示三种不同波形（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。



解：（1）对正弦波，读数为有效值，对其他波形，读数仅能间接反应被测量的大小。

图 5.70 习题 5 图 （2）因为 $a = U_{\sim} = k_{p\sim} \bar{U}$ ，所以 $\bar{U} = \frac{a}{k_{p\sim}} = \frac{1}{1.11} = 0.901 \text{ V}$

因为 $U = k_p \bar{U}$ ， $U = U_p / k_p$ 即 $U_p = k_p U = k_p k_p \bar{U}$

所以正弦波有效值为 1V，峰值为 $U_p = 1.414 \times 1 = 1.414 \text{ V}$ ，均值为 0.901V。

方波有效值为 $U = k_{p\sqcap} \bar{U} = 1 \times 0.901 = 0.901 \text{ V}$ ，峰值为 $U_p = 1 \times 0.901 = 0.901 \text{ V}$ ，均值为 0.901V。

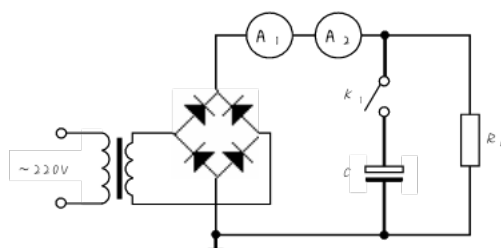
三角波有效值为 $U = k_{p\Delta} \bar{U} = 1.15 \times 0.901 = 1.036 \text{ V}$ ，峰值为

$U_p = 1.73 \times 1.036 = 1.792 \text{ V}$ ，均值为 0.901V。

三种波形在同一坐标图为：

6、利用正弦有效值刻度的峰值电压表测量正弦波、方波和三角波的电压，读数均为 5V，问三种波形的有效值各为多少？

7、试验电路如图，A1 为 D26 型电流表，A2 为 C31 型电流表；两表置于相同量程。问：当开关 K1 打开时，两表的示值相同吗？问：当开关 K1 闭合时，两表的示值相同吗？



题 3.2 图 电流测量电路

答：当开关 K1 打开时，两表的示值相同，当开关 K1 闭合时，两表的示值不相同。

∵ D26 型电流表为有效值响应，正弦有效值刻度，其示值为真有效值。

而 C31 型电流表为平均值响应，正弦有效值刻度，其示值为： $I_{\text{示值}} = \bar{I} \cdot k_a$ 。∴ 对各种波形的被测电流，

$$I = \frac{I_{\text{示值}}}{k_F} \cdot k_F$$

其有效值为：其中 k_F 为波形系数。

$$\frac{k_F}{k_o} = 1$$

当开关 K1 打开时，被测电流为正弦全波，此时

$$\therefore I_{\text{示值}} = I_{\text{有效值}}$$

$$\frac{k_F}{k_o} \neq 1$$

当开关 K1 闭合时，被测电流为占空比很小的脉冲，此时

$$\therefore I_{\text{示值}} \neq I_{\text{有效值}}$$

8、用一台 $\frac{1}{2}$ 位的 2V 量程档测量 1.2V 电压。已知该仪器的固有误差 $\Delta U = (\pm 0.05\% \text{读数} \pm 0.01\% \text{满度})$ 。求由于固有误差产生的绝对误差、相对误差、并分析其满度误差相当于几个字？

$$\text{解： } \Delta U = \pm 0.05\% \times 1.2 \pm 0.01\% \times 2 = \pm 0.8 \text{ mV}, \quad \therefore \gamma = \frac{\pm 0.8 \text{ mV}}{1.2 \text{ V}} = 0.067\%$$

$$\pm 0.01\% \text{ 满度} = \pm 0.01\% \times 2 \text{ V} = 0.2 \text{ mV}; \quad \text{而该 DVM 的分辨力} = 2 \text{ V} / 20000 = 0.1 \text{ mV}$$

\therefore 其满度误差相当于两个字。

8、由函数信号发生器分别产生正弦波、方波和三角波，调节其幅度使有效值读数的电压表读数都为 0.7V，问这三种信号的峰值分别为多少？

解：利用有效值电压表可直接从电表上读出被测电压的有效值而无须换算

$$\text{根据波峰因数 } k_F = \frac{U_F}{U} \text{ 得 } U_F = U k_F$$

$$\text{对于正弦波, } U_F = U k_{F\text{正}} = 0.7 \times \sqrt{2} \text{ V} = 0.9899 \text{ V}$$

$$\text{对于方波, } U_F = U k_{F\text{方}} = 0.7 \times 1 \text{ V} = 0.7 \text{ V}$$

$$\text{对于三角波, } U_F = U k_{F\text{三}} = 0.7 \times \sqrt{3} \text{ V} = 1.212 \text{ V}$$

9、在示波器上分别观察到正弦波、方波的峰值为 1V，分别用都是正弦有效值刻度的、三种不同的检波方式的电压表，试求读数分别为多少？

解：(1) 用峰值检波方式电压表测量，读数都是 0.707V，与波形无关。

(2) 用有效值检波正弦有效值刻度的电压表测量

①正弦波

$$U_{\text{正弦波}} = \frac{U_{P\text{正弦波}}}{k_{P\text{正弦波}}} = \frac{1}{1.414} = 0.707 \text{ V}$$

②方波 $U_{\text{方波}} = \frac{U_{P\text{方波}}}{k_{P\text{方波}}} = \frac{1}{1} = 1 \text{ V}$

(3) 用均值检波正弦有效值刻度的电压表测量

①正弦波 $U_{\text{正弦波}} = \frac{U_{P\text{正弦波}}}{k_{P\text{正弦波}}} = \frac{1}{1.414} = 0.707 \text{ V}$

②方波波形因数和波峰因数均为 1，所以其平均值为 1V，相应此平均值的正弦有效值即为读数值。

$$U_{\text{正弦波}} = k_{P\text{正弦波}} \times \overline{U_{\text{正弦波}}} = 1.11 \times 1 = 1.11 \text{ V}$$

10、用全波整流均值电压表分别测量正弦波、三角波和方波，若电压表示值均为 10V，那么被测电压的有效值各为多少？

解：对于正弦波，由于电压表本来就是按其有效值定度的，即电压表的示值就是正弦波的有效值，因此正弦波的有效值为

$$U = U_{\text{有效}} = 10 \text{ V}$$

对于三角波，其波形系数 $K_F = 1.15$ ，所以有效值为

$$U = 0.9 K_F U_{\text{有效}} = 0.9 \times 1.15 \times 10 = 10.35 \text{ V}$$

对于方波，其波形系数 $K_F = 1$ ，所以有效值为

$$U = 0.9 K_F U_{\text{有效}} = 0.9 \times 1 \times 10 = 9 \text{ V}$$

11、用四位半 DVM 的 2V 量程档测量 1.5V 电压，已知 2V 挡上 $\Delta U = \pm 0.01\% U_x \pm 2$ 个字，求测量的相对误差。

12、用一块正弦波有效值刻度的峰值电压表测某三角波电压，示值（读数）为 5V，该三角波有效值为多少？

13、在示波器上分别观察到正弦波、方波的峰值为 1V，分别用都是正弦有效值刻度的、三种不同的检波方式的电压表，试求读数分别为多少？

解：(1) 用峰值检波方式电压表测量，读数都是 0.707V，与波形无关。

(2) 用有效值检波正弦有效值刻度的电压表测量

①正弦波

$$U_{\text{正弦波}} = \frac{U_{P\text{正弦波}}}{k_{P\text{正弦波}}} = \frac{1}{1.414} = 0.707 \text{ V}$$

②方波 $U_{\text{方波}} = \frac{U_{P\text{方波}}}{k_{P\text{方波}}} = \frac{1}{1} = 1 \text{ V}$

(3) 用均值检波正弦有效值刻度的电压表测量

$$\textcircled{1} \text{正弦波} \quad U_{\text{正弦波}} = \frac{U_{p\text{正弦波}}}{k_{p\text{正弦波}}} = \frac{1}{1.414} = 0.707 \text{ V}$$

②方波波形因数和波峰因数均为 1，所以其平均值为 1V，相应此平均值的正弦有效值即为读数值。

$$U_{\text{正弦波}} = k_{p\text{正弦波}} \times \overline{U_{\text{正弦波}}} = 1.11 \times 1 = 1.11 \text{ V}$$

14、用全波整流均值电压表分别测量正弦波、三角波和方波，若电压表示值均为 10 V，那么被测电压的有效值各为多少？

解：对于正弦波，由于电压表本来就是按其有效值定度的，即电压表的示值就是正弦波的有效值，因此正弦波的有效值为

$$U = U_a = 10 \text{ V}$$

对于三角波，其波形系数 $K_F = 1.15$ ，所以有效值为

$$U = 0.9 K_F U_a = 0.9 \times 1.15 \times 10 = 10.35 \text{ V}$$

对于方波，其波形系数 $K_F = 1$ ，所以有效值为

$$U = 0.9 K_F U_a = 0.9 \times 1 \times 10 = 9 \text{ V}$$

15、测量电阻 R 消耗的功率时，可间接测量电阻值 R ，电阻上的压降 U ，流过电阻的电流 I 。设电阻、电压、电流的相对误差分别为 $\gamma_R = \pm 2\%$ 、 $\gamma_U = \pm 2\%$ 、 $\gamma_I = \pm 3\%$ ，试确定测量的最佳方案。

解：间接测量电阻 R 消耗的功率有三种方案，即 $P = UI$ 、 $P = \frac{U^2}{R}$ 、 $P = I^2 R$ ，根据误差合成公式可分别算出每种方案的测量误差。

差合成公式可分别算出每种方案的测量误差。

(1) $P = UI$ 方案

$$\begin{aligned} \gamma_P &= \frac{\partial \ln P}{\partial U} \Delta U + \frac{\partial \ln P}{\partial I} \Delta I \\ &= \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I} \\ &= \pm(2\% + 3\%) \\ &= \pm 5\% \end{aligned}$$

(2) $P = \frac{U^2}{R}$ 方案

$$\begin{aligned}
 \gamma_P &= \frac{\partial \ln P}{\partial U} \Delta U + \frac{\partial \ln P}{\partial R} \Delta R \\
 &= 2 \frac{\Delta U}{U} - \frac{\Delta R}{R} \\
 &= [2 \times \pm(2\%) \pm 2\%] \\
 &= \pm 6\%
 \end{aligned}$$

(3) $P = I^2 R$ 方案

$$\begin{aligned}
 \gamma_P &= \frac{\partial \ln P}{\partial I} \Delta I + \frac{\partial \ln P}{\partial R} \Delta R \\
 &= 2 \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta R}{R} \\
 &= [2 \times \pm(3\%) \pm 2\%] \\
 &= \pm 8\%
 \end{aligned}$$

可见，在给定的各分项误差的条件下，选择第一种方案 $P = UI$ 的合成误差最小。

16、甲、乙两台 DVM，甲的显示器显示的最大值为 9999，乙为 19999，问：

(1) 它们各是几位的 DVM，是否有超量程能力？

(2) 若乙的固有误差为 $\Delta U = \pm(0.05\% U_x + 0.02\% U_m)$ ，分别用 2V 和 20V 档测量

$U_x = 1.56V$ 电压时，绝对误差和相对误差各为多少？

解：(1) 超量程能力是 DVM 的一个重要的性能指标。1/2 位和基本量程结合起来，可说明 DVM 是否具有超量程能力。甲是 4 位 DVM，无超量程能力；乙为 4 位半 DVM，可能具有超量程能力。

(3) 用 2V 档测量

绝对误差 $\Delta U = \pm(0.05\% U_x + 0.02\% U_m)$

$$= \pm(0.05\% \times 1.56 + 0.02\% \times 2) = 0.00118 V$$

$$\text{相对误差 } \gamma_x = \frac{\Delta U}{U} \times 100\% = \frac{0.00118}{1.56} \times 100\% = 0.076\%$$

用 20V 档测量

绝对误差 $\Delta U = \pm(0.05\% U_x + 0.02\% U_m)$

$$= \pm(0.05\% \times 1.56 + 0.02\% \times 20) = 0.00478 V$$

$$\text{相对误差 } \gamma_x = \frac{\Delta U}{U} \times 100\% = \frac{0.00478}{1.56} \times 100\% = 0.31\%$$

17、DS-18 型五位双积分型数字电压表中 $U_0 = -6.0000V$ ， $f_c = 0.75MHz$ ，计数器满量程 $M = 60000$ ，求被测电压 $U_x = 2.5000V$ 时，计数器计数值 N 为多大？采样时间 T 和测量时间

T_2 分别为多大?

解: 根据双积分原理, 可知

(1) 在准备期, 进行定时积分, $\overline{U_x} = \frac{U_x}{N_1} N_2$

$$2.5000 = \frac{6.0000}{60000} N_2$$

所以 $N_2 = 25000$

$$T_1 = N_1 \times T_c = \frac{N_1}{f_c} = \frac{60000}{0.75 \text{ MHz}} = 0.08 \text{ s} = 80 \text{ ms}$$

$$T_2 = N_2 \times T_c = \frac{N_2}{f_c} = \frac{25000}{0.75 \text{ MHz}} = 0.033 \text{ s} \approx 33 \text{ ms}$$

18、试画出图 5.71 积分器的输出时间波形图 (U_0-t), 假设图中 $C=1\mu\text{F}$, $R=10\text{k}\Omega$, 图中模拟开关的接通时间为:

$0-t_1(10\text{ms})$ S_0 、 S_1 接通, S_2 、 S_3 开关断开;

$t_1-t_3(20\text{ms})$ S_1 接通, 其他开关断开;

$t_3-t_4(10\text{ms})$ S_2 接通, 其他开关断开;

$t_4-t_5(10\text{ms})$ S_3 接通, 其他开关断开;

$t_5-t_6(10\text{ms})$ S_0 、 S_3 接通, S_1 、 S_2 开关断开。

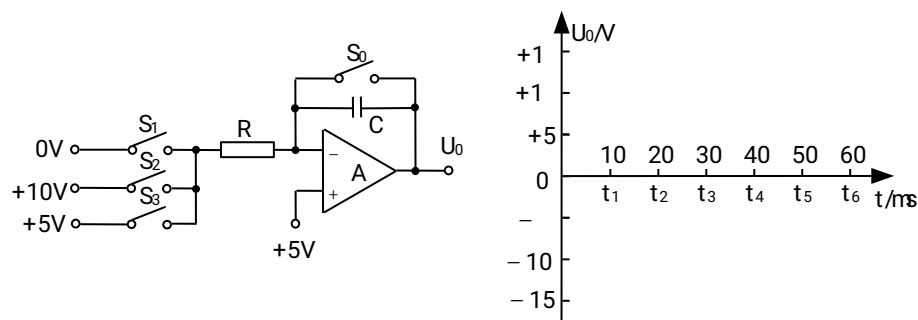


图 5.71 题 5.9 图

图中假设模拟

开关($S_0 \sim S_3$) 和运算放大器 A 均是理想器件。

解：按照积分器工作原理，其输出电压和输入电压之间的关系为：

$$V_o = -\frac{1}{RC} \int_{t_1}^{t_2} V_i dt = -\frac{1}{10 \times 10^3 \times 1 \times 10^{-6}} \int_{t_1}^{t_2} V_i dt = -100 \int_{t_1}^{t_2} V_i dt$$

0 - t₁(10ms): S₀、S₁ 接通, S₂、S₃ 断开, A 的同向与反向输入端虚短, 所以 $V_{o1} = 5V$;

t₁ - t₃(20ms): S₁ 接通, 其他开关断开, 输入端电压等效为 0 - 5V = -5V,

$$V_{o2} = V_{o1} - 100 \int_{t_1}^{t_3} V_i dt = 5 - 100 \int_{10}^{30} -5 dt = 15 V$$

t₃ - t₄(10ms): S₂ 接通, 其他开关断开, 输入端电压等效为 10 - 5V = 5V,

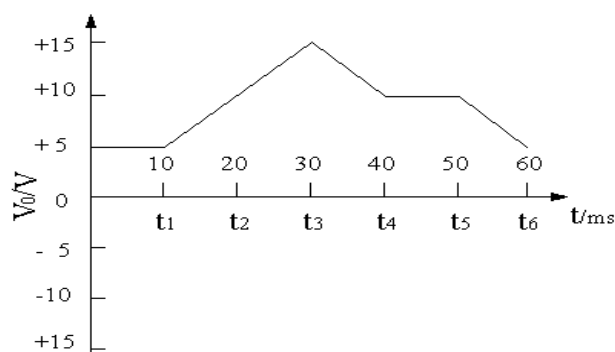
$$V_{o3} = V_{o2} - 100 \int_{t_3}^{t_4} V_i dt = 15 - 100 \int_{30}^{40} 5 dt = 10 V$$

t₄ - t₅(10ms): S₃ 接通, 其他开关断开, 输入端电压等效为 5 - 5V = 0V,

$$V_{o4} = V_{o3} - 100 \int_{t_4}^{t_5} V_i dt = 10 - 100 \int_{40}^{50} 0 dt = 10 V$$

t₅ - t₆(10ms): S₀、S₃ 接通, S₁、S₂ 断开, $V_{o5} = 5V$

所以输出波形图如下:



19、两台 DVM , 最大计数容量分别为①19999; ②9999。若前者的最小量程为 200mV, 试问:

(1) 各是几位的 DVM ;

(2) 第①台 DVM 的分辨力是多少?

(3) 若第①台 DVM 的工作误差为 $0.02\% U_k \pm 1$ 字, 分别用 2V 档和 20V 档测量 $U_k=1.56V$ 电压时, 问误差各是多少?

解: (1) 计数容量为 19999 的 DVM 为 4 位半, 计数容量为 9999 的 DVM 为 4 位;

(2) 第①台 DVM 的最小量程为 200mV, 所以 DVM 显示数据应为 199.99mV, 即最小分辨力为 0.01mV;

(3) 当用 2V 档测量时: 为 1.9999V, 所以一个字误差为: 0.0001V, 测量误差为: $0.02\% \times 1.56 + 0.0001V = 0.000412V = 0.41mV$

当用 20V 档测量时: 为 19.999V, 所以一个字误差为: 0.001V, 测量误差为: $0.02\% \times 1.56 + 0.001V = 0.001312 V = 1.3mV$

20、图 5.72 为双积分 A/D 转换器, 已知 $T_1=100ms$, $T_0=100\mu s$, 试求:

(1) 刻度系数;

(2) 画出工作流程图。

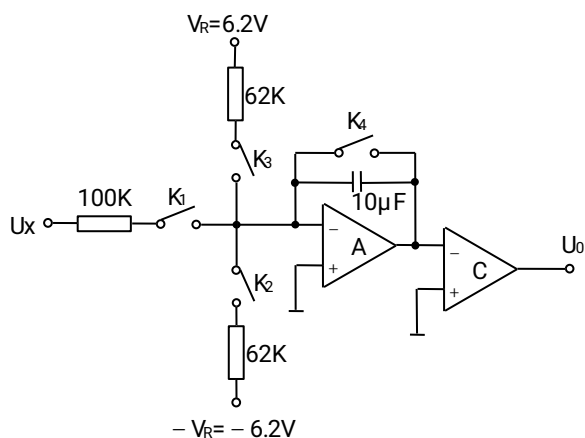


图 5.74 题 5.18 图

解：方法一：利用双积分原理，(1) 在准备期，K4 合进行清零，采样期 K1 合进行定时积分，

$$U_{o1} = -\frac{1}{R_1 C} \int_{t1}^{t2} U_x dt = -\frac{T_1}{R_1 C} U_x ;$$

比较期 K1 关 K2 合进行定值积分， $0 = U_{o1} - \int_{t2}^{t3} -U_r dt = -\frac{T_1}{R_1 C} U_x + \frac{T_2}{R_2 C} U_r$ ，所以

$$U_x = \frac{R_1 U_r T_2}{R_2 T_1} = \frac{R_1 U_r}{R_2 N_1} N_2 = \frac{R_1 U_r}{R_2 T_1 / T_0} N_2 \quad , \text{ 所以刻度系数为:}$$

$$e = \frac{R_1 U_r}{R_2 T_1 / T_0} = \frac{100 \times 10^3 \times 6.2}{62 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-3} / 100 \times 10^{-6}} = 0.01V / \text{字}$$

方法二：利用电荷平衡原理， $Q_1 = Q_2$ ，采样期 $Q_1 = \frac{U_x}{R_1} T_1$ ，比较期 $Q_2 = \frac{U_r}{R_2} T_2$ ，

$$\text{所以 } \frac{U_x}{R_1} T_1 = \frac{U_r}{R_2} T_2, \quad \frac{U_x}{R_1} N_1 T_0 = \frac{U_r}{R_2} N_2 T_0, \quad U_x = \frac{U_r R_1 N_2}{R_2 N_1} = \frac{U_r R_1}{R_2 T_1 / T_0} N_2$$

$$\text{所以 } e = \frac{U_x R_1}{R_2 T_1 / T_0} = \frac{100 \times 10^3 \times 6.2}{62 \times 10^3 \times 100 \times 10^{-3} / 100 \times 10^{-5}} = 0.01 \text{ V / 字}$$

21、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 电压时的绝对误差和相对误差，有何启示？

解：(1) $\Delta = 0.01\% \times 1 + 0.01\% \times 1 = 2 \times 10^{-4} \text{ V}$,

$$\gamma = \frac{\Delta}{V_x} = \frac{2 \times 10^{-4}}{1} = 0.02\% ,$$

(2) $\Delta = 0.01\% \times 0.1 + 0.01\% \times 1 = 1.1 \times 10^{-4} \text{ V}$,

$$\gamma = \frac{\Delta}{V_x} = \frac{1.1 \times 10^{-4}}{0.1} = 0.11\% , \text{由此可见相对误差明显增大, 可知在相同量程下, 被}$$

测值越接近量程, 那么相对误差相对较小。

22、某 $\frac{1}{2}$ 位(最大显示数字为 19 999)数字电压表测电压, 该表 2V 档的工作误差为 \pm

0.025%(示值) ± 1 个字, 现测得值分别为 0.0012V 和 1.988 8V, 问两种情况下的绝对误差和示值相对误差各为多少?

$$\text{解: } \Delta x_1 = \frac{\pm 0.025}{100} \times 0.0012 \pm 1 \times \frac{2}{19999} = \pm 0.1 \text{ mV}$$

$$r_{x1} = \frac{\pm 1.003 \times 10^{-4}}{0.0012} \times 100\% = \pm 8.36\%$$

$$\Delta x_2 = \frac{\pm 0.025}{100} \times 1.9888 \pm 1 \times \frac{2}{19999} = \pm 0.6 \text{ mV}$$

$$r_{x2} = \frac{\pm 5.972 \times 10^{-4}}{1.9888} \times 100\% = \pm 0.03\%$$

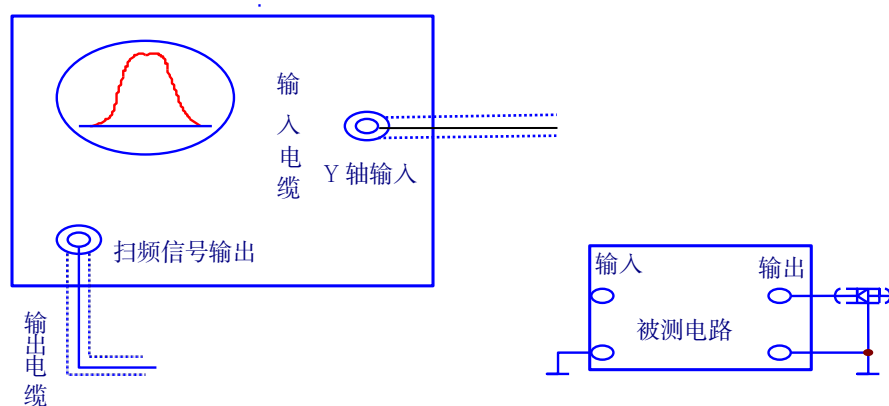
第7章 频域测量

一、填空题

- 1、模拟通用示波器用来测量信号的 时域波形；频谱分析仪用来测量信号的 频谱。
- 2、在变容二极管扫频电路中，改变扫描锯齿波电压的 频率，可改变扫频速度；而改变锯齿波电压的幅度，可改变扫频 范围。
- 3、频谱分析仪按信号处理方式不同可分为模拟式 频谱仪、数字式 和 模拟数字混合式。
- 4、扫频仪电路主要由 扫频信号源 和显示系统两大部分组成。
- 5、测量网络的幅频特性通常有两种方法，它们是 点频 测量法和 扫频 测量法。
- 6、BT-3 型频率特性测试仪中，频率标记是用一定形式的标记来对图形的频率轴进行定量，常用的频标有 针形频标 和 菱形频标。

二、综合题

- 1、画出扫频仪原理框图，简要解释其工作原理。



答：扫频测量法是将等幅扫频信号加至被测电路输入端，然后用示波器来显示信号通过被测电路后振幅的变化。由于扫频信号的频率是连续变化的，在示波器屏幕上可直接显示出被测电路的幅频特性。扫描电压发生器产生的扫描电压既加至 X 轴，又加至扫频信号发生器，使扫频信号的频率变化规律与扫描电压一致，从而使得每个扫描点与扫频信号输出的频率有一一对应的确定关系。因为光点的水平偏移与加至 X 轴的电压成正比，即光点的偏移位置与 X 轴上所加电压有确定的对应关系，而扫描电压与扫频信号的输出瞬时频率又有一一对应关系，故 X 轴相应地成为频率坐标轴。扫频信号加至被测电路，检波探头对被测电路的输出信号进行峰值检波，并将检波所得信号送往示波器 Y 轴电路，该信号的幅度变化正好反映了被测电路的幅频特性，因而在屏幕上能直接观察到被测电路的幅频特性曲线

2、扫频测量与点频测量相比有什么优点？

答：与点频法相比，扫频法测频具有以下优点：

（1）可实现网络频率特性的自动或半自动测量，特别是在进行电路测试时，人们可以一面调节电路中的有关元件，一面观察荧光屏上频率特性曲线的变化，从而迅速地将电路性能调整到预定的要求。

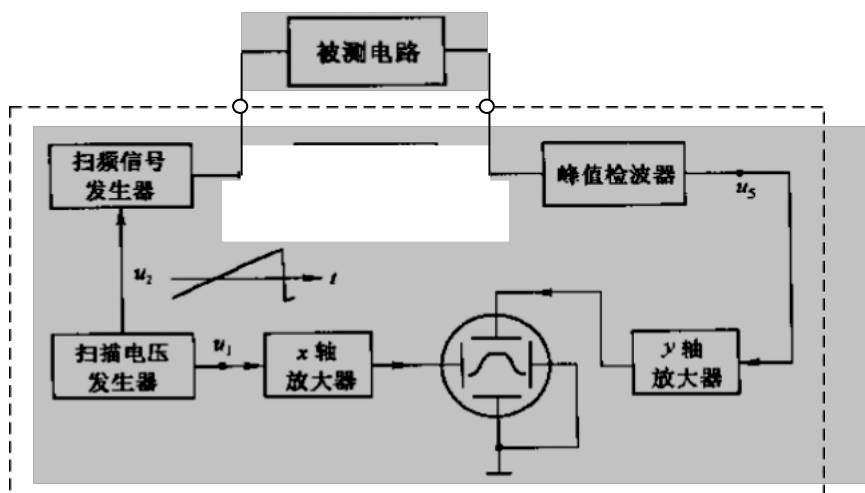
（2）由于扫频信号的频率是连续变化的，因此，所得到的被测网络的频率特性曲线也是连续的，不会出现由于点频法中频率点离散而遗漏掉细节的问题。

（3）点频法是人工逐点改变输入信号的频率，速度慢，得到的是被测电路稳态情况下的频率特性曲线。扫频测量法是在一定扫描速度下获得被测电路的动态频率特性，而后者更符合被测电路的应用实际。

3、扫频图示仪可测量那些参数？

答：① 电路幅频特性的测量，② 电路增益的测量，③ 电路带宽的测量，④ 电路 Q 值的测量

4、观察如题图所示功能框图，回答以下问题：



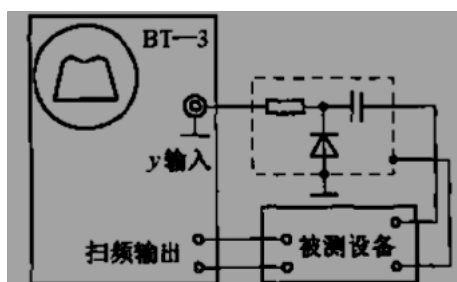
①虚线框中电路构成了什么仪器的功能。

②若扫频信号源采用变容二极管电路，当扫描锯齿波电压的频率改变时，将使该仪器的什么参数发生改变？

③当扫描锯齿波电压的幅度改变时，将使该仪器的什么参数发生改变？

5、有一放大器，需测出其电压增益、幅频特性及 $2\Delta f_{0.7}$ ，请选择测试仪器并连接测试电路。

解：



第 8 章 数据域测量

一、选择与填空

1、数据域范畴中以离散时间或事件出现的次序为自变量，数据状态值作为因变量。

2、逻辑分析仪主要用于对微处理机为主的数字系统进行监测、分析，以排除数字系统中产生的故障。

3、按显示方式类分，逻辑分析仪可分为两大类：逻辑状态分析仪、逻辑定时分析仪。

4、逻辑定时分析仪常用于对硬件电路的检测分析；逻辑状态分析仪常用于软件分析。

5、逻辑分析仪按其工作特点可分逻辑状态分析仪和逻辑定时分析仪。

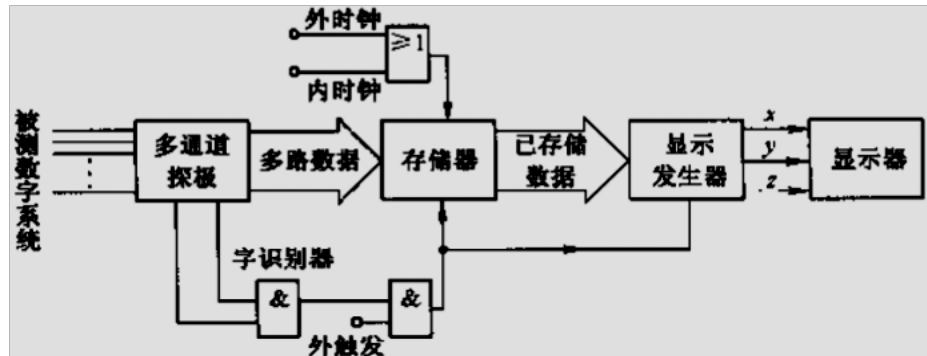
6、逻辑笔用于测试 单路信号，逻辑夹则用于 多路信号。

7、用逻辑笔测量信号的逻辑状态属于（ D ）

A、时域测量 B、频域测量 C、组合测量 D、数据域测量

二、综合题

1、试说明逻辑定时分析仪的基本组成原理。



2、与模拟信号发生器相比，数字信号发生器的特点：

- (1) 足够多的输入通道；
- (2) 记忆功能；
- (3) 丰富的触发功能；
- (4) 灵活而直观的显示方式；
- (5) 具有驱动时域仪器的功能；
- (6) 限定功能

3、为测量功能选择最佳测量仪器，将仪器序号填在测量功能后的空白处。

测量功能列

测量仪器列

A、测量电压 ▾_____

(1)、函数信号发生器

B、测量频率 ▾_____

(2)、电子计数器

C、测量网络的幅频特性 ▾_____

(3)、DVM

D、产生三角波信号 ▾_____

(4)、频谱分析仪

E、分析信号的频谱特性 ▾_____

(5)、晶体管特性图示仪

F、测量三极管的输入或输出特性 _____

(6)、频率特性测试仪

D、测量调幅波的调幅系数 ▾_____

(7)、逻辑分析仪

H、微机系统软、硬件调试 ▾_____

(8)、电子示波器

答案：（3）（2）（6）（1）（4）（5）（8）（7）