

实验 1.1 示波器的使用

实验预习

阅读本实验内容，了解示波器的工作原理、性能及面板上常用的各主要旋钮、按键的作用和调节方法。试填写表 1-3 的选项内容。

表 1-3 选定示波器正确的操作方法（正确的在方框内画√，错误的在方框内画×）

显示情况	操作方法
显示出的波形亮度低	调整聚焦调节旋钮（×）； 调整辉度调节旋钮（√）
显示出的波形线条粗	调整聚焦调节旋钮（√）； 调整辉度调节旋钮（×）
显示出的波形不稳定 （波形在 X 轴方向移动）	调整触发电平旋钮（√）； 调整水平位移旋钮（×）
显示出的波形幅值太小	调整垂直衰减旋钮（√）； 调整垂直位移旋钮（×）
显示出的波形 X 轴太密	调整扫描时间旋钮（√）； 调整垂直衰减旋钮（×）

填空：当用示波器观测信号，已知信号频率为 1KHz，峰-峰值为 1V，则应将 Y 轴衰减选择 0.2V /格的档位，扫描时间选择 0.2ms /格的档位。（要求：波形 Y 轴显示占 5 格，X 轴显示一个周期占 5 格）

实验总结

1、说明示波器 Y 轴校零的方法，以及作用。

答：Y 轴校零，把耦合方式放“GND”，调整输入通道的垂直“POSITION”旋钮，将零基准线调到合适的位置。

Y 轴校零作用：确定信号零的位置，能看出波形相对于零是高还是低。

2、示波器上的信号测试线（同轴电缆）上黑夹子和红夹子在测试信号时能否互换使用：

1) 可以（ ）； 2) 不可以（√）。

在用示波器观测波形时，一般情况下黑夹子接被测电路何处：

1) 接被测信号“地”（√）；

2) 悬空不接 ();

3) 接电路任意地方 ()。 (在正确的答案后画 ✓)

3、用示波器测“CAL”的波形时,说明 Y 轴输入耦合方式选“DC”挡与“AC”挡观测时,波形有什么不同?为什么不同?

答:波形样子相同,但垂直方向上有位移。

原因:

1、示波器的“CAL”有 1V 的直流分量。

2、选“DC”档:波形的交、直流分量都能显示。

选“AC”档:输入信号要经过电容滤波,因此只能显示交流分量,无直流分量。

4、示波器使用注意事项。

(1) 要确定 Y 轴零电平的位置,此位置是作图时时间轴的位置。

(2) 当波形不能停下来,一直在水平方向移动时,先检查触发源与输入信号的通道是不是一致,再细调触发电平“LEVEL”旋钮。

(3) 扫描时间旋钮的挡位要和信号的周期匹配,垂直衰减旋钮的挡位要和信号的幅度匹配。

实验 1.2 数字信号发生器的使用

实验总结

1、用示波器观测信号发生器输出的波形时,两仪器测试线的连接方式如下:

1) 必须红夹子和红夹子连,黑夹子和黑夹子连。(✓)

2) 可任意相连。() (在正确的答案后画 ✓)

2、信号发生器在输出不同信号时,设置波形参数“Amplitude”时,rms 标识是什么含义:(在正确的答案后画 ✓)

1) 正弦交流电压: 1) 有效值 (✓)、2) 峰值 ()

2) 方波电压: 1) 峰-峰值 ()、2) 峰值 (✓)

实验 1.3 数字交流毫伏表的使用

实验预习

阅读本实验内容，了解双路数字交流毫伏表功能及技术指标。当测量信号发生器的输出交流信号 $U_i = 10\text{mV}$ ；频率为 1KHz 时，试填写表 1-6。

表 1-6 选定双路数字交流毫伏表正确使用方法（正确的在方框内画勾）

项 目	位 置 设 置
量程的选择	300V (×) ; 30mV (√)
电压表头显示的电压值	交流有效值 (√) ; 峰值 (×)
信号超过量程会出现什么现象?	量程指示灯会闪烁 (√); 无指示反映 (×)
能测信号中的直流量吗?	能 (×); 不能 (√)

实验总结

1、数字交流毫伏表测试线上的红夹子和黑夹子在测量交流信号时是否可以互换：

1) 可以 (), 2) 不可以 (√)。 (在正确的答案后画√)

2、示波器、信号发生器和交流毫伏表都使用的是同种测试线，哪种仪器的测试线在使用时红夹子和黑夹子可以短接而不会损坏仪器：(在可以的仪器后画√)

示波器 (√)、信号发生器 () 和交流毫伏表 (√)

为什么这些仪器的红黑夹子可以短接？

答：示波器和交流毫伏表在单独使用时，红黑夹子可以短接。因为它们是信号的输入端，短接时，输入信号为零。

信号发生器的红黑夹子不可短接，因为它们是信号的输出端，短接相当于把信号端直接接地，负载过小导致电流过大，会损坏设备。

实验 2.1 晶体管共射极单管放大电路

实验预习

1、设： $R_{B1}=40K\Omega$ ， $\beta=50$ ， $U_{BE}=0.7V$ ，估算图 2-2 静态理论值，并将数值填入表 2-1 中。

表 2-1 放大器静态工作点

	$U_B(V)$	$U_{BE}(V)$	$U_{CE}(V)$	R_{B1} ($k\Omega$)	$I_B(\mu A)$	$I_C(mA)$	β (I_C/I_B)
理论估算值	3.724	0.7	1.965	40	27.5	1.375	50

2、表 2-2 的理论值：

空载时大电压放大倍数 $A_u = -201.6$ ；负载 $R_L=5.1k$ 时， $A_u = -100.8$ 。

空载和负载时放大电路： $R_i=R_{B1}/R_{B2}/r_{be}=1.148K\Omega$ ， $R_o=R_c=5.1K\Omega$

实验所测数据计算： $R_i = \frac{U_i}{U_i - U_i'} R = \frac{U_i}{U_i - U_i'} \times 1K\Omega$

$$R_o = \frac{U_{o0} - U_{oL}}{U_{oL}} R = \frac{U_{o0} - U_{oL}}{U_{oL}} \times 5.1K\Omega$$

3、阅读完本课实验内容后，填写表 2-4，见下页。

实验总结

1、通过实验，说明放大器静态工作点设置的不同对放大器工作有何影响。

答：静态工作点不合适，放大器会处于饱和或者截止的工作状态。

R_p 减小， U_B 过高，容易导致饱和；

R_p 增加， U_B 过低，容易导致截止。

还会影响 R_{be} ， R_i ， A_u 等数值。

2、根据表 2-2 的实验结果，说明放大器负载 R_L 减小时，放大器的放大倍数 A_u 如何变化。

答： R_L 的加入，会使得 A_u 变小。因为 $A_u = -\frac{\beta R_L'}{r_{be}}$ ， $R_L' = R_c // R_L$ 。而当 R_L 减小时， A_u

减小。

注意:公式中的负号只是表示相位相反！输入信号和输出信号均为交流的正弦波。

表 2-4 选定仪表正确使用的方方法（正确的在方框内画√，错误的在方框内画×）

项 目	操作步骤
测电阻	先选择合适的量程，将指针万用表测试笔输入端短接起来，调节调零旋钮，使指针调在电阻表盘零位置。（√） 指针万用表和数字万用表都要断开测量电路的电源（√）； 断其并联回路测电阻（√）
测电流	将指针万用表表串接到电路中（√）； 测 I_B 用 μA 档（√）； 测 I_C 用 mA 档（√）； 不用断开其测量两点间的导线（×）
电压表选择	测量静态工作点使用：万用表（√）；使用交流毫伏表（×） 测量交流参数 u_i 、 u_o 使用：万用表（×）；使用交流毫伏表（√）
示波器观测两波形的相位差	示波器垂直工作方式分别选“CH1”、“CH2”通道单独进行观察（×） 示波器垂直工作方式选用“DUAL”，同时观测两信号（√）
实验结束仪器复位	先关所有仪器电源开关，再拆线（√） 毫伏表的测量夹子夹在一起（√）； 毫伏表放在 30mV 档（×）； 毫伏表放在 300V 档（√） 万用表放在电阻档位（×）； 万用表放在交流最大档位或“OFF”档（√）

3、思考题：当 U_o 波形失真时，用晶体管毫伏表测量 U_o 的电压值是否有意义？

答：没有意义。

1、放大电路要求不失真放大。

2、晶体管毫伏表测量的是交流正弦信号的有效值，当波形失真时，测量没有意义。

实验 2.4 比例运算电路

实验预习

表 2-16 选定正确的测量方法（正确的在方框内画√，错误的在方框内画×）

项 目	测量方法
使用运算放大器	开环过零是检测运算放大器的好坏（√） 闭环调零可以减少运算放大器比例运算电路中的误差（√）
用示波器观测信号，当信号中含有交、直流分量时	要显示全波形，选择 Y 轴耦合方式为： “DC”耦合（√）、“AC”耦合（×） 仅显示交流波形，则选择 Y 轴耦合方式为： “DC”耦合（×）、“AC”耦合（√）

实验总结

1、电路的特点：

- 同相比例电路： $U_o = (1 + \frac{R_F}{R_1})U_i$ ，输入电阻理想值 $R_i = \infty$ （输入电阻大，计算公式

$R_i = \frac{U_i}{I_i} = \frac{U_i(R_1' // R_F')}{U_i - U_+}$ ）。输出电阻 $R_o = 0$ 。同相放大，比例系数只可大于 1。集成运放有共模输入，应选高共模抑制比的集成运放。

- 反相比例电路： $U_o = -\frac{R_F}{R_1}U_i$ 。输入电阻理想值 $R_i = R_1$ （输入电阻小，比如 20K，计算公

式： $R_i = \frac{U_i}{I_i} = \frac{U_i R_1}{U_i - U_-}$ ）。输出电阻 $R_o = 0$ 。反相放大，比例系数可随意。

3、分析表 2-13、表 2-14 中的误差原因

答：（1）电阻等元件参数有误差。

（2）工作在非线性区域导致很大误差。

（3）测量仪器仪表——万用表、示波器的误差。

（4）运放非理想状态：开环放大倍数非 ∞ ，同相、反相输入端电流非零。实际运放存在输入偏置电流，输入失调电压。

4、思考题：当表 2-14 中 $U_i \geq 4V$ 时，会有 $U_o \geq 12V$ 吗？ $U_i \leq -4V$ 时，会有 $U_o \leq -12V$ 吗？为什么？

答：不会。因为运算放大器的直流电源是 $\pm 12V$ 供电，其输出不会大于电源电压。

实验 2.5 反相积分电路

实验预习

阅读本实验内容。熟练掌握示波器的使用，试填写表 2-17。

表 2-17 选定正确的测量方法（正确的在方框内画√，错误的在方框内画×）

项 目	测量方法
图 2-18 中输入直流信号 $U_i = -0.1V$ 时，用示波器测积分波形	示波器扫描时间选择“0.5s/格”档位（√） 示波器扫描时间选择“2ms/格”档位（×） 示波器 Y 轴衰减选择“0.2V/格”档位（×） 示波器 Y 轴衰减选择“2V/格”档位（√） 因输出电压是缓慢变化的信号，则选择输入耦合方式为“DC”（√） 因输出电压是缓慢变化的信号，则选择输入耦合方式为“AC”（×） 将 Y 轴零点调在显示屏的上方（×） 将 Y 轴零点调在显示屏的下方（√）
图 2-20 中，输入交流信号 $U_{im} = 1V$ ； $f = 100Hz$ ，用示波器观测两波形相位关系	示波器扫描时间选择“0.5s/格”档位（×） 示波器扫描时间选择“2ms/格”档位（√） 示波器 Y 轴工作方式分别选用 CH1、CH2 通道进行观察（×） 示波器 Y 轴工作方式选用“DUAL”（双踪显示）（√） U_{im} 是正弦交流信号有效值（×） U_{im} 是正弦交流信号峰值（√）

1、图 2-18 中，开关 K 由闭合到长时间打开，理论估算积分器 U_o 从零上升到最大值所用的时间 $t_m = \underline{2S}$ 。（设： $U_i = -0.1V$ ，运算放大器的饱和输出电压 $U_{omax} = \pm 10V$ ）。

答： $U_{om} = -\frac{U_i}{RC}t$, $t = -\frac{U_{om}RC}{U_i} = -\frac{10 \times 20 \times 10^3 \times 1 \times 10^{-6}}{-0.1} = 2S$

2、图 2-19 中，当 $u_i = U_{im} \sin \omega t$ （ $U_{im} = 1V$ ； $f = 100Hz$ ）时，分析积分器输出端 u_o 的情况，理论估算输出幅值 $U_{om} = \underline{1.59V}$ 。

答： $U_{om} = \frac{U_{im}}{RC\omega} = \frac{1}{10 \times 10^3 \times 0.1 \times 10^{-6} \times 2 \times \pi \times 100} = 1.59V$

实验总结

1、积分电路特点

答：反馈回路采用电容取代电阻，可实现对输入电压的积分。

直流电压输入时，反方向积分，线性增长到饱和值。

正弦交流输入时，可得超前 90° 的正弦波，幅值也发生变化。

2、误差分析

答：（1）电阻、电容等元件参数有误差。电容还存在漏电流。

（2）信号发生器产生的输入信号有误差。

（3）测量仪器仪表——示波器的误差。

（4）运放非理想状态：开环放大倍数非 ∞ ，同相反相输入端电流非零。实际运放存在输入偏置电流，输入失调电压。

3、积分器输入正弦信号时分析 u_i 和 u_o 之间的相位关系。

答：当输入信号为 $u_i = U_{im} \sin \omega t$ 时，积分器的输出表达式： $u_o = \frac{U_{im}}{RC\omega} \sin(\omega t + 90^\circ)$ 。所

以 u_i 与 u_o 之间的相位关系： u_o 相位超前 u_i 相位 90° 。

4、思考题 1：当输入直流信号 $U_i = +0.1V$ 时，积分器的输出会出现什么情况？

答：输出反方向积分，输出从零开始线性变化，最终会达到负饱和值。

5、思考题 2：当输入正弦交流信号的频率发生变化时，积分器的输出会出现什么变化（分析相位差、幅值、周期）？

答：当输入正弦交流信号的频率 f 增大时，积分器的输出会下列变化：

输出信号和输入信号的相位差：**不变**。因为相位差与 f 无关。

输出信号的幅值：**减小**。因为输出信号的幅值为 $\frac{U_{im}}{RC\omega}$ ，所以输入信号频率增加，输出信号幅值减小。

输出信号的周期：**减小**。输出信号周期和输入信号一样，当输入信号频率增加，输出信号频率也增加，因而周期减小。

实验 2.6 电压比较器、波形发生电路

实验预习

1) 理论计算图 2-23 电路中，上限门电压 $U_{T+} = 0.73V$ ；下限门电压 $U_{T-} = -0.73V$ 。

答： $U_{T+} = \frac{R_1 U_{OH}}{R_1 + R_2}$ ， $U_{T-} = \frac{R_1 U_{OL}}{R_1 + R_2}$ ，其中 $U_{OH} = 8V$ ， $U_{OL} = -8V$

2) 计算 RC 正弦波发生器（图 2-24）的输出振荡频率 $f_0 = 159Hz$ 。

答： $f = \frac{1}{2\pi RC}$ ，其中 $R = 10K$ ， $C = 0.1 \mu F$ 。

表 2-20 选定正确的操作方法（正确的在方框内画√，错误的在方框内画×）

项 目	操作方法
运算放大器使用	运算放大器使用时须提供直流电源（±12V 和地）（√） 运算放大器须检测好坏，方法是开环过零（√） 电压比较器仍须要调零（×）
滞回比较器	利用滞回比较器将输入的正弦波转换为输出的矩型波， 对输入信号幅值大小没有要求（×）

实验总结

1、总结电压比较器的工作原理。

答：比较器是一种用来比较输入信号 u_i 和参考信号 U_{REF} 的电路。这时运放处于开环状态，具有很高的开环电压增益，当 u_i 在参考电压 U_{REF} 附近有微小的变化时，运放输出电压将会从一个饱和值跳变到另一个饱和值。

2、将滞回比较器的门限电压理论值和实测值进行比较，并分析误差原因。

答：门限电压理论值为 $U_{T+} = \frac{R_1 U_{OH}}{R_1 + R_2}$ ， $U_{T-} = \frac{R_1 U_{OL}}{R_1 + R_2}$ 。稳压二极管稳压值不是正好 ±8V，电

阻 R_1 和 R_2 阻值的误差。

3、思考题：当滞回比较器输入交流信号 U_{im} 值小于门限电压 U_T 时，比较器输出会出现什么情况？

答：比较器的输出不会发生跳变，输出为保持为 -8V 或者 +8V。

4、通过实验整理波形发生电路实验数据，将波形周期的实测值和理论值进行比较，并分析误差原因。

答：正弦波频率为 $f = \frac{1}{2\pi RC}$ ，主要是 10K 电阻和 0.1 μ F 电容数值的误差。

方波周期表达式为周期为 $T = 2R_F C \ln(1 + 2\frac{R_1}{R_2})$ ，可见 R_F 、 C 、 R_1 和 R_2 的精度都

影响周期。

7、思考题 3：RC 正弦波发生器图 2-24 中，电位器 R_P 的作用是调节正弦波的频率吗？它的作用是什么？

答：不是调节正弦波的频率。它的作用是调节放大电路的 A_v 值，使之满足振幅平衡条件 $A_v=3$ （ $|AF|=1$ ）。