

# 实验一 常用电子仪器的原理与使用

## 1.1 实验目的

常用电子仪器是电子技术实验的基本设备，只有借助仪器设备才能将物理现象和电路的功能显现出来，所以正确使用常用电子仪器是做好实验的基本条件。

本实验的目的是：

1. 了解电子示波器（DSO-X 2012 A）、函数信号发生器（TFG6920）等几种常用电子仪器的原理、主要技术指标。
2. 熟悉示波器状态的正确调整方法（包括触发源与触发方式、耦合方式、Y 衰减器与时基单元等），掌握用示波器测量直流电压，波形的幅度、频率、相位差、时间间隔，脉冲波形的上升沿、下降沿等参数的方法。
3. 掌握函数信号发生器的正确调整方法。包括：频率范围、频率微调、占空比、直流偏置、输出衰减、输出幅度等的调节与用途。
4. 结合常用电子仪器的使用，学习二端口网路主要参数（输入电阻、输出电阻、增益、幅频特性等）的测量方法。

## 1.2 实验原理

1. 示波器的基本原理（见参考文档中附录 2）；使用方法见讲义《电子电路实验绪论与常用电子仪器的使用》。

2. TFG6920 型函数信号发生器原理与使用方法（见参考文档中附录 7）。

3. 二端口网路参数的测量方法（见参考文档中附录 1）。

4. 脉冲波形的参数

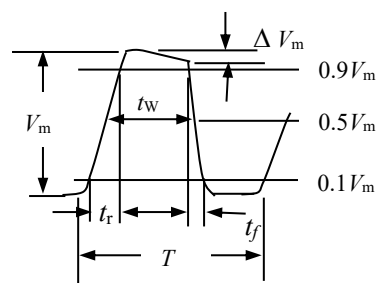
典型矩形(方波)脉冲波形及其参数如图 1.1 所示。这样波形的特性常用下面的参数来描述。

（1）脉冲幅度  $V_m$ ：指波形高低电平的差，它表示信号的大小。

（2）平均脉宽  $t_w$ ：脉冲前后沿瞬时值为  $0.5 V_m$  的对应点之间的时间间隔称为平均脉冲宽度。

（3）重复周期  $T$ ：相邻两个脉冲对应点之间的时间间隔，它的倒数为重复频率  $f$ 。

（4）上升时间  $t_r$ ：脉冲波形从  $0.1 V_m$  上升到  $0.9 V_m$  所需的时间。



1.1 矩形脉冲的波形参数

(5) 下降时间  $t_f$ : 脉冲波形从  $0.9V_m$  下降到  $0.1V_m$  所需的时间。

(6) 占空比  $D$ : 通常将平均脉宽  $t_w$  与重复周期  $T$  的比值称为占空比。方波的  $D=50\%$ 。

(7) 顶部倾斜  $\Delta V_m$ : 指脉冲波形顶部下降的大小。

电路的频域响应特性和时域响应特性有密切的关系。将一个“理想”跳变 ( $t_r \approx 0, t_f \approx 0, \Delta V_m \approx 0$ ) 的矩形脉冲加至上限截止频率为  $f_H$  的电路的输入端, 电路输出波形的跳变沿将变缓。理论推导表明, 输出波形的上升时间  $t_r$  (下降时间  $t_f$ ) 与电路的  $f_H$  近似成反比, 它们的关系是:

$$t_r \approx 0.35/f_H \quad (1.1)$$

如果被观察的信号不是理想阶跃信号, 而是具有上升时间为  $t_{rx}$  的电压信号, 示波器垂直放大电路引起的上升时间为  $t_{r0}$ , 则示波器荧光屏显示波形的上升时间  $t_r = \sqrt{t_{r0}^2 + t_{rx}^2}$ , 所以被测信号的实际上升时间为

$$t_{rx} = \sqrt{t_r^2 - t_{r0}^2} \quad (1.2)$$

只有  $t_r \gg t_{r0}$ ,  $t_{rx} \approx t_r$ 。所以在测量上升沿比较陡的信号 ( $t_{rx}$  与  $t_{r0}$  接近) 时要考虑示波器对测量结果的影响。

## 1.3 实验内容

### 1. 示波器和函数信号发生器的应用

#### (1) 观察示波器的校准信号

观测示波器上 Demo 2 信号。正确接入该信号, 分别用自动定标方式和手动调节方式稳定该信号的波形。分别用光标测量和自动测量方式测量 Demo 2 的峰-峰值及频率, 并将波形以 8 位 BMP 格式保存到 U 盘。

#### (2) 用示波器测量函数信号发生器输出的正弦交流电压的幅度、周期 (频率)

调节函数信号发生器使 CHA 输出幅度为  $1V_{PP}$  (峰峰值, 下同), 频率为 10kHz 的正弦电压。记录示波器测得的峰峰值、有效值、周期和频率。

#### (3) 测量不同频率下两正弦交流电压 $v_i$ 和 $v_o$ 的相位差

实验电路如图 1.2 所示。输入电压  $v_i$  的峰峰值为  $2V_{PP}$ , 频率分别为 10kHz 和 20kHz, 测量  $v_i$  和  $v_o$  的有效值与相位差。

#### (4) 测量函数信号发生器输出的方波信号

调节函数信号发生器, 令 Amplitude 显示值为  $2.5V_{PP}$ ; Frequency 显示值为 1kHz; 令

Duty Cyc 显示值分别为 50%、99.9%和 0.1% 。用示波器测量方波信号的周期、频率、占空比和最大电平、最小电平值。

#### (5) 测量方波信号的上升沿、下降沿

实验电路如图 1.2 所示， $v_i$  是方波信号，幅度（即方波正半周电压）为  $1V_P$ ，频率为  $5kHz$  的，记录示波器测得的  $v_i$  与  $v_o$  的波形及其上升时间  $t_r$ 、下降时间  $t_f$ 。

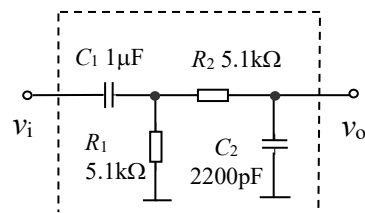


图 1.2 RC 网络

#### (6) 示波器探头“×1”、“×10”档对测量结果的影响

测量电路如图 1.3 所示。输入信号  $v_i$  是峰峰值为  $2V_{PP}$ ，频率分别为  $100kHz$ 、 $400kHz$  的正弦信号。分别用示波器探头的“×1”、“×10”档测量输出电压  $v_o$ ，总结示波器的输入电容的影响和示波器探头的用途。

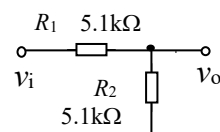


图 1.3 电阻分压网络

#### (7) 示波器测量直流电压

在图 1.3 电路中，输入加  $12V$  的直流电压。用示波器分别测量输入、输出电压值。

## 2. 二端口网络参数的测量

测量电路如图 1.2 所示，测量下列参数：

- (1) 测量图 1.2 电路的输入电阻（频率为  $1kHz$ ）。
- (2) 测量图 1.2 电路的输出电阻（频率为  $1kHz$ ）。
- (3) 测量图 1.2 电路电压“增益”的幅频特性，确定  $f_L$ 、 $f_H$  之值。

## 3. 测量三极管 2N2222A 的 $\beta$ 值

用示波器测量三极管 2N2222A 的  $\beta$  值，并记录。（测试方法见《测量特性曲线和 multisim 使用入门》）

## 1.4 实验注意事项

1. 函数信号发生器的两输出端不得短路。
2. 所有实验仪器、实验电路要接公共地（简称共地）。

## 1.5 实验报告

1. 认真总结示波器(DSO-X 2012 A)、函数信号发生器(TFG6920)的正确使用方法。
2. 整理实验数据，总结示波器测量各种时域波形参数的方法。

3. 总结测量输入电阻、输出电阻、增益、幅频特性的方法。
4. 为保证仪器安全及测量精度，使用上述仪器时应注意哪些问题。
5. 回答思考题

## 1.6 思考题

1. 用示波器观察信号波形时，要达到下面的要求，应分别调整哪些旋钮。
  - (1) 使波形清晰
  - (2) 波形稳定
  - (3) 改变能观察到的波形的个数
  - (4) 改变波形的高度
2. 示波器的 Y 轴输入什么时候用交流耦合，什么时候用直流耦合？用示波器测量带有直流分量的信号时要注意什么问题？
3. 在测量电路的输入电阻时，信号源与电路之间串联的电阻的大小应如何选择？为什么？
4. 在测量电路的输出电阻时，输出端接入的负载电阻一般应如何选择？为什么？如果被测电路的输出电阻极小，按上述原则选用负载电阻可以吗？为什么？

## 附录：

### 一. 阻抗的测量

二端口网络是电子电路中一类很重要的网络，放大电路、滤波器、变换器等都是二端口网络。二端口网络有一个输入端口，接激励信号源，另一个为输出端口，接负载。一般线性有源二端口网络可以用图 1.4.3 所示的框图来表示。图中  $\dot{V}_S$ 、 $R_S$  代表信号源的电压与内阻， $R_L$  是电路的负载电阻。 $\dot{V}_i$ 、 $\dot{I}_i$  分别是网络的输入电压和电流， $\dot{V}_o$ 、 $\dot{I}_o$  分别是网络的输出电压和电流。

## 1. 输入电阻的测量

在网络的输入端施加信号  $\dot{v}_i$  时就会产生一定的信号电流  $\dot{I}_i$ ，因而网络的输入端呈现出阻抗特性，该等效阻抗就是网络的输入阻抗，用  $Z_i$  表示，即

$$Z_i = \frac{\dot{V}_i}{\dot{I}_i} \quad (1.4.1)$$

一般，在频率比较低时可不考虑电抗元件的作用，网络近似于纯阻性电路，此时可用输入电阻  $R_i$  代替输入阻抗  $Z_i$ ，即

$$R_i = \frac{\dot{V}_i}{\dot{I}_i} \quad (1.4.2)$$

常用测量输入电阻的原理电路如图 1.4.4 所示。在被测电路的输入回路中串入一个已知电阻  $R_1$ ，分别测量电阻  $R_1$  两端对地的电压  $\dot{V}'_i$  和  $\dot{V}_i$ ，则可求出输入电流  $\dot{I}_i$ 。不难推出输入电阻为

$$R_i = \frac{\dot{V}_i}{\dot{V}'_i - \dot{V}_i} R_1 \quad (1.4.3)$$

需要注意，电阻  $R_1$  最好选择与输入电阻  $R_i$  接近，这样测量误差较小。

如果电路的输入电阻很高（如场效应管放大电路），需串入的电阻  $R_1$  的阻值也很大，同时测量仪表的等效电阻和电路的输入电阻  $R_i$  可以比拟，此时会引起很大的测量误差。因此不能直接在输入端进行测量。解决此问题的方法如图 1.4.5 所示。

在输入回路串入一个已知电阻  $R_1$ （与输入电阻  $R_i$  接近）和开关  $S$ ，电压表接于电路的输出端。分别测量开关  $S$  闭合与断开时的输出电压  $V_{o1}$  和  $V_{o2}$ ，设信号源内阻  $R_S$  可以忽略，则不难推导输入电阻为

$$R_i = \frac{V_{o2}}{V_{o1} - V_{o2}} R_1 \quad (1.4.4)$$

## 2. 输出电阻的测量

线性二端口网络的输出端可以等效于一个电压源，如图 1.4.6 所示。等效电压源的内阻

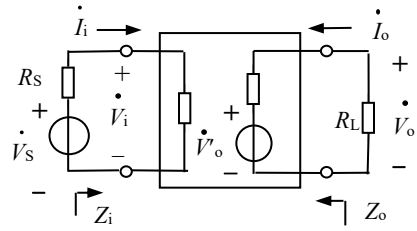


图 1.4.3 线性二端口网络的等效电路

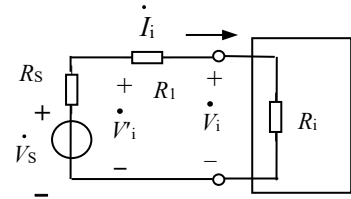


图 1.4.4 测试输入电阻的原理电路

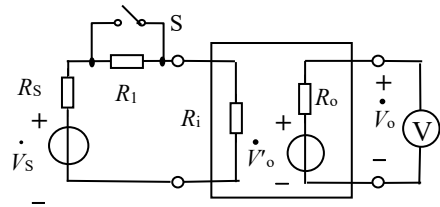


图 1.4.5 高输入电阻的测量方法

抗（即从输出端往网络看进去的等效阻抗）就是电路的输出阻抗，用  $Z_o$  表示。类似地，在频率比较低时可不考虑电抗元件的作用，可用输出电阻  $R_o$  代替输出阻抗  $Z_o$ 。

测量输出电阻的方法如图 1.4.6 所示。将负载电阻开路，测量电路的开路输出电压  $\dot{V}'_o$ ，然后接入合适的负载电阻  $R_L$ ，测量有载输出电压  $\dot{V}_{oL}$ 。不难推导出输出电阻为

$$R_o = \left( \frac{\dot{V}'_o}{\dot{V}_{oL}} - 1 \right) R_L \quad (1.4.5)$$

类似地，电阻  $R_L$  最好选择与输出电阻  $R_o$  接近，以减小误差。

## 二. 电压增益及幅频特性的测量

### 1. 电压增益的测量

增益是网络传输特性的重要参数。电压增益  $A_v$  定义为输出电压  $\dot{V}_o$  与输入电压  $\dot{V}_i$  的比值，即

$$A_v = \frac{\dot{V}_o}{\dot{V}_i} \quad (1.4.6)$$

分别测量出输入电压和输出电压的大小即可计算出电压增益  $A_v$ 。

### 2. 频率响应特性的测量

电路内一般含有电抗元件，因此输出电压  $\dot{V}_o$  随频率的变化而变化，亦即电压增益是频率的函数，表示为  $\dot{A}_v = A_v(f) \angle \varphi(f)$ 。其中  $A_v(f)$

称为幅频特性， $\varphi(f)$  称为相频特性。图 1.4.7 示出了典型的幅频特性曲线。该曲线大致分为三个区域：在中频区，增益  $A_v$  基本不变（与频率几乎无关），其增益用  $A_{vM}$  表示。在高频区，增益  $A_v$  随频率的升高而下降。在低频区，电压增益随频率的下降而下降。当电压增益下降至  $A_{vM}/\sqrt{2}$  时对应的频率分别称为上限截止频率和下限截止频率，

分别用  $f_H$ 、 $f_L$  表示， $f_H$  与  $f_L$  之间的频率范围称为通频带，通常用  $BW$  表示，

$$BW = f_H - f_L \quad (1.4.7)$$

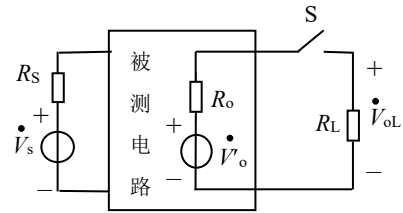


图 1.4.6 测量输出电阻的原理图

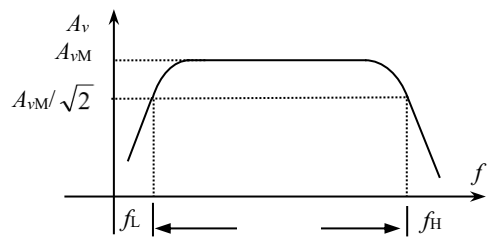


图 1.4.7 典型的幅频特性曲线

一般  $f_H \gg f_L$  , 所以  $BW \approx f_H$ 。

在实验中, 测量幅频特性曲线的常用方法有逐点法和扫频法两种。

(1) 逐点法: 将信号源加至被测电路的输入端, 保持输入电压幅度不变, 改变信号的频率, 用示波器或毫伏表等仪器测量电路的输出电压。将所测各频率点的电压增益绘制成曲线, 即为被测电路电压增益的幅频特性曲线。为了节省时间而又能准确地描绘出测试曲线, 在曲线平滑的地方 (如图 1.4.7 中的中频区) 可以少测几点, 而在曲线变化较大的地方 (如图 1.4.7 中的上、下限截止频率点附近) 应多测几点。

(2) 扫频法: 应用扫频的原理制成专门测量二端口网络幅频特性的仪器称为频率特性测试仪或扫频仪。扫频仪内部有一扫频信号发生器, 产生频率随时间变化的信号 (扫频信号, 幅度保持不变), 加至被测网络的输入端。将被测网络的输出信号取出, 经过检波后送至示波管的垂直偏转板 (Y 轴), 光点在荧光屏垂直方向上的偏转距离就代表被测网络输出电压的幅度。示波管的水平偏转板 (X 轴) 施加扫描电压, 其变化规律与上述扫频信号频率的变化规律相同, 因此光点在荧光屏水平方向上的偏转距离就代表了频率的变化。这样, 示波管屏幕上就可以显示出输出信号幅度随频率变化的曲线即为幅频特性曲线。

需要指出, 在测量电压、电流、阻抗、增益、频响特性等等参数时必须保证信号不失真, 只有在信号不失真的条件下测量数据才是有意义的。因此要合理选择信号的大小, 并使用示波器进行监视。