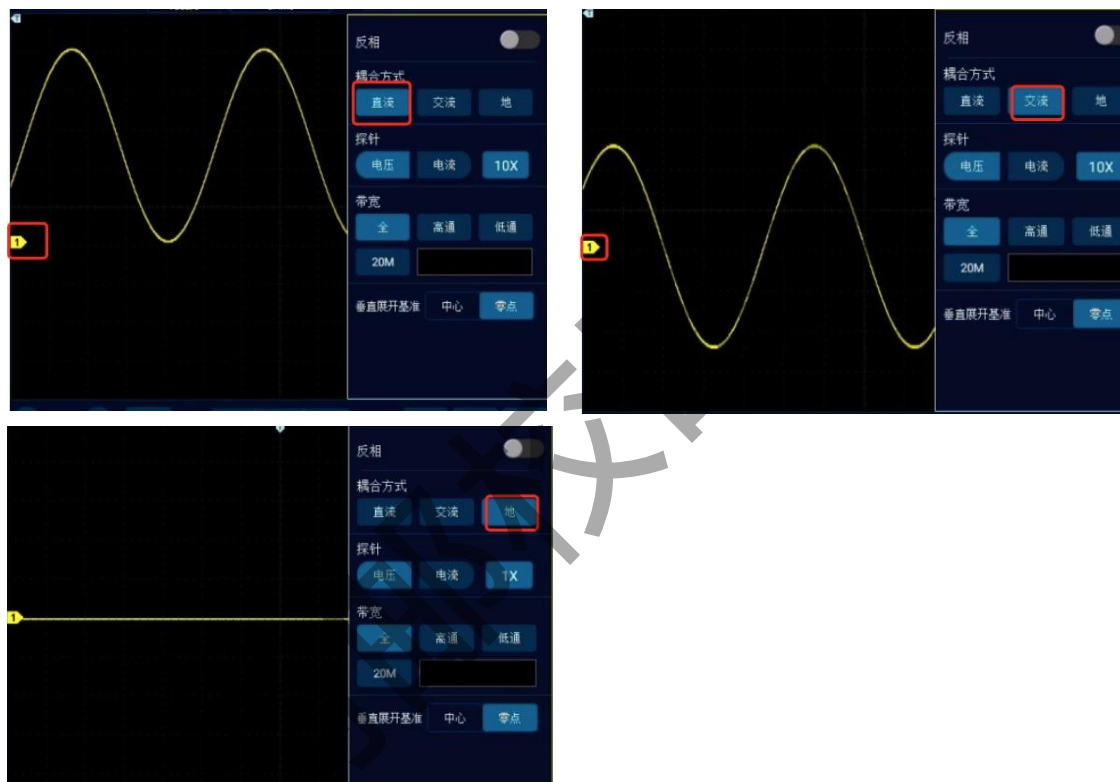


## 《电工电子基础实验 B》模电部分复习重点(作为参考, 原则上所有讲过的内容都是重点, 都有可能涉及)

### 1. 仪器的使用

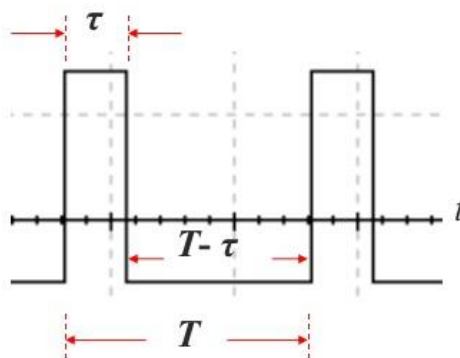
- A. 示波器触发源的选择, 能稳定显示不同周期、不同幅度的信号(边沿触发);  
两“大”: 同幅不同频选大周期(小频率) 同频不同幅选大幅度
- B. 正确选择示波器的输入通道的耦合方式(DC 耦合、AC 耦合、接地);  
直流耦合也叫 DC 耦合, 被测信号含有的直流分量和交流分量都能通过  
交流耦合也叫 AC 耦合, 被测信号的直流信号被阻隔, 只允许交流分量通过  
当耦合方式为接地时, 代表内部输入接地, 断开外部输入



- C. 理解自动测量选项中顶端值、底端值、峰峰值、最大值、均方根值、平均值电压(波形意义)、周期、频率、占空比的定义。会直接通过屏幕刻度测量、手动(或追踪)光标测量、自动测量信号的周期、峰峰值、有效值、上峰值(顶端值)、下峰值(底端值)、占空比等基本参数;

## 时间参数

- ✓ 周期  $T$
- ✓ 频率  $f = 1/T$
- ✓ 占空比  $\theta = \tau/T \times 100\%$



通常将占空比为50%的矩形波称为方波。  
将占空比小于50%的矩形波称为脉冲波。

## 电压参数

- ✓ 正峰值  $U_P$  高电平到0点的电压值
- ✓ 负峰值  $U_{-P}$  低电平到0点的电压值

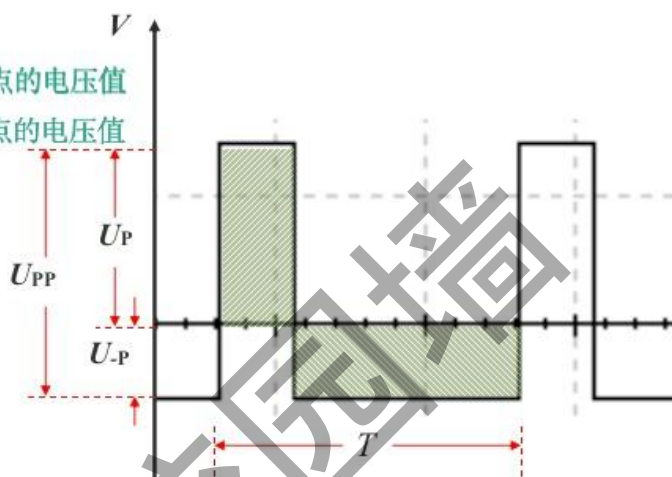
思考

高电平一定大于零?  
低电平一定小于零?

- ✓ 峰峰值  $U_{PP}$
- ✓ 平均值  $U$

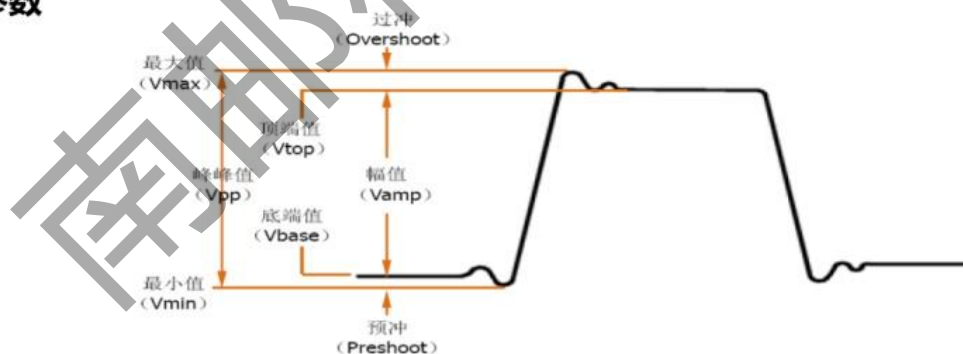
$$U = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt$$

平均值亦称作直流分量



## 电压参数

- 最大值
- 最小值
- 峰峰值
- 顶端值
- 底端值
- 幅度值
- 平均值
- 均方根值
- 过冲
- 预冲
- .....



## 对称于横坐标的正弦波

✓ 最大值  $U_m = U_P$

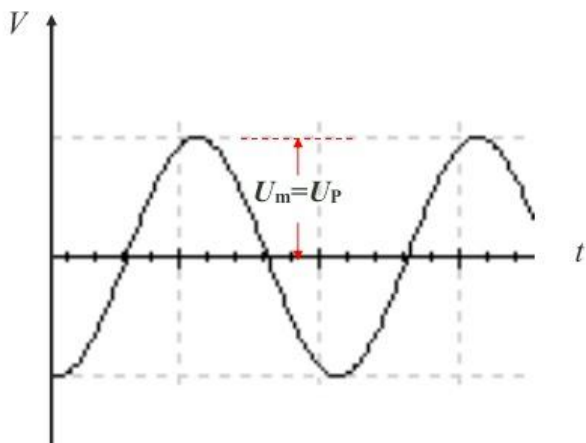
✓ 瞬时值  $u(t)$

$$u(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi)$$

✓ 有效值  $U_{RMS}$

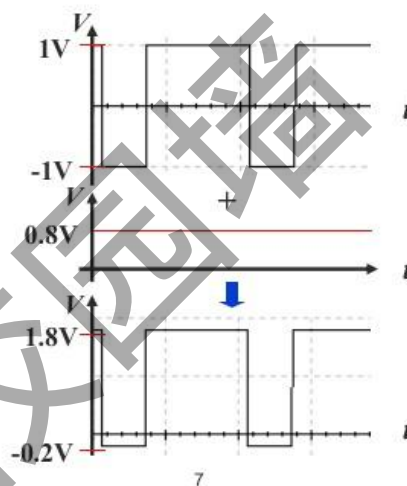
(RMS, Root mean Square)

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{U_P}{\sqrt{2}} = \frac{U_{PP}}{2\sqrt{2}}$$



## 直流偏置

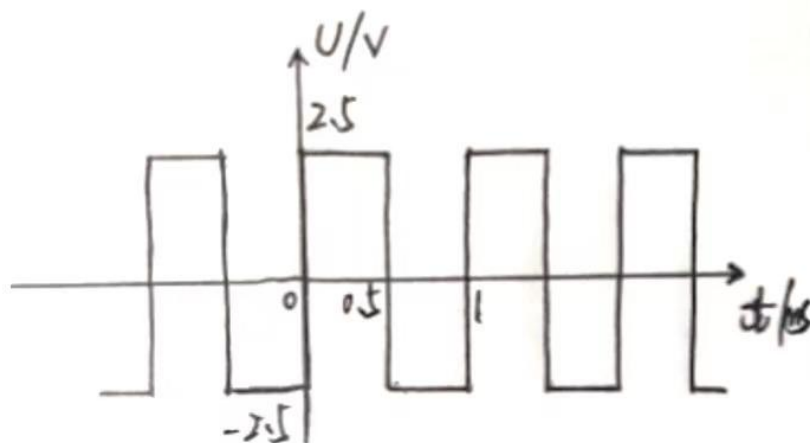
- ✓ 将一个周期信号叠加一个直流电压的过程称为直流偏置。
- ✓ 直流偏置的结果是使周期信号在坐标系中上移或下移。
- ✓ 直流偏置的结果改变了周期信号的平均值



- D. 用函数发生器产生一定频率、幅值（峰峰值或有效值）的正弦波、三角波、方波，会设置占空比，直流偏置等参数并能根据这些参数正确绘制出标注规范的波形图。

设置完成要按 output

波形图绘制：坐标含义及单位



## 2、线性电阻和非线性电阻伏安特性

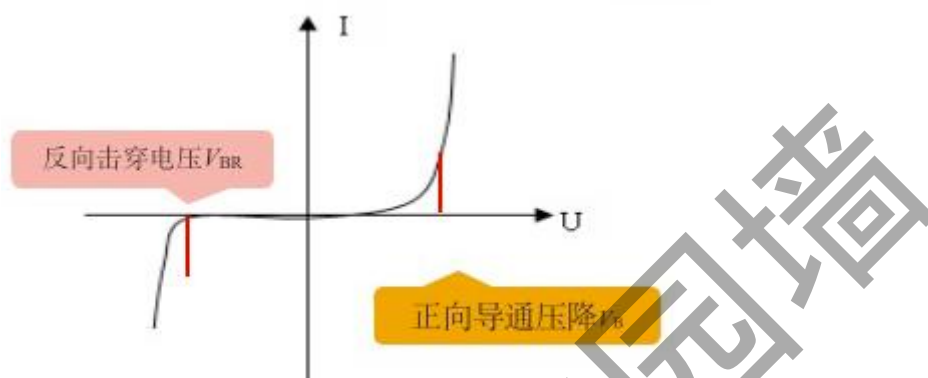
A. 掌握线性电阻和非线性电阻伏安特性曲线的测量方法；

电压为横坐标，电流为纵坐标（VA 对应 xy）

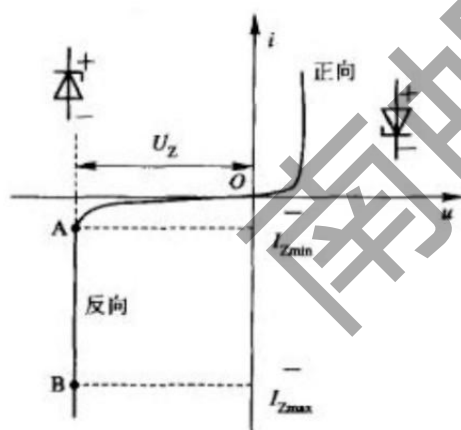
限流电阻的作用：正向状态下，保证稳压管在不因正向电阻小导致电流过大烧毁管子；在反向状态下，控制反向电流不至于过大击穿管子，导致管子损坏

B. 能绘制电阻、发光二极管和稳压二极管的伏安特性曲线，理解二极管正向导通电压，反相击穿电压等概念；

正向导通压降  $V_F$ ：0.3V（锗管）、0.7V（硅管）、1.5~2.3V（发光管）



图b 非线性器件二极管的伏安特性曲线



稳压二极管的正向特性和普通二极管差不多。

稳压二极管反向特性是在反向电压低于反向击穿电压时，反向电阻很大，反向漏电流极小。当反向电压临近反向电压的临界值时，反向电流骤然增大，称为**击穿**，在这一临界击穿点上，反向电阻骤然降至很小值。

稳压二极管在被反向击穿后，尽管流过**稳压管**的反向击穿电流变化很大，但管子两端的电压却几乎不变

稳压二极管一般用来获得**基准电压**或**用作电平转移**

C. 掌握稳压管、发光二极管好坏判别的方法；

发光二极管极性判断：外观长正短负

此时发光二极管不亮，说明没有导通。



调换两管脚测量，此时发光二极管发光，说明已导通，红表笔接的是二极管的正极



将档位开关置二极管测量档，红黑表笔分别接二极管的两个引脚，观察显示屏的数值，然后互换两表笔，再次观察显示屏的数值。

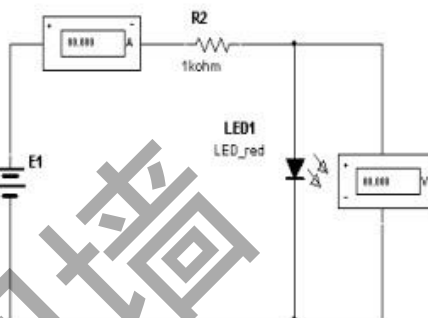
若两次显示屏都显示“1”，则二极管可能开路；

若两次显示屏均显示具体数值，则二极管可能短路。

D. 理解万用表内阻对测量结果的影响，在实际测量中会合理选用电流表内接法和电流表外接法电路。

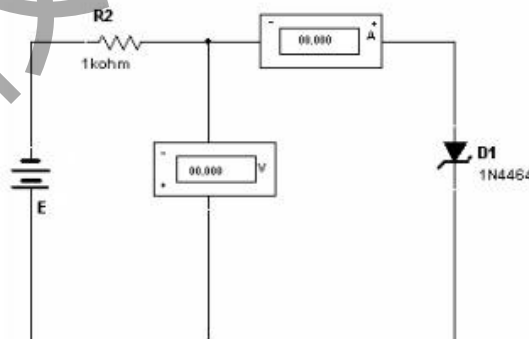
### 流过电流表的读数与流过发光二极管的电流是否一致？

**回答：**是不一致的。原因是电压表上有内阻 $=10V \times 20K\Omega = 200K\Omega$ ，有一定的分流作用。但是，由于发光二极管的正向电阻很小只有几十或几百 $\Omega$ ， $R_{\text{电表内阻}} \gg R_{\text{二极管内阻}}$ 其分流作用很小可以忽略不计。这时，可认为电流表的读数与流过发光二极管的电流近似一致。



### 电压表的读数与稳压管上的电压是否一致？

**回答：**是不一致的。原因是电流表上有内阻 $=0.25V/25mA=10\Omega$ ，有一定的分压作用。但是，由于稳压管的反向导通电阻很大只有几百K或几M $\Omega$ ， $R_{\text{电表内阻}} \ll R_{\text{稳压管反向内阻}}$ 其分压作用很小可以忽略不计。这时，可认为电压表的读数与稳压管上的电压基本上是一致的。



## 3、戴维南定理和诺顿定理的验证

A. 加深理解戴维南定理，掌握线性二端网络等效参数的测量方法

测量等效电阻的四种测量方法：直接法、开路电压短路电流法、加压定流法、半电压法

开路电压的测量方法：直接法和零示法

直接测试法是指独立源置零，用万用表欧姆档直接测量端口电阻

加压定流法是指独立源置零，在电路的端口接入电压源  $U$ ，测量此处对应的电流  $I$ ，则等效电阻为  $R=U/I$

开、短路法是指测量开路电压  $U_{oc}$  及短路电流  $I_{sc}$ ，则等效电阻为  $R=U_{oc} / I_{sc}$

半电压法是指用电压表测出端口的开路电压，然后将电压表与另一个可调标准电阻一起并接在该端口上，改变可调电阻的阻值，使电压表的读数降至开路电压的一般，则此时



的可调电阻的阻值即为等效电阻

零示法是指用一个低内阻的稳压电源与被测有源一端口网络并联在电压表两端，当稳压电源的输出电压与有源一端网络的开路电压相等时，电压表的读数为零，然后将电路断开，测量此时的稳压电源的输出电压即为要测电路的开路电压

B. 理解上述方法的优缺点及适用范围。

#### 4、传输网络频率特性

A. 熟练掌握波特图仪的使用方法，会观测四种无源滤波电路的频率特性曲线；



两个负极接地，正极分别接输入、输出。

F、I 的含义、对数、线性的设置

如何找到半功率点：先在幅值找 0.707，记录下频率，再去相位，将频率设置成前面记录的值，看相位。



B. 掌握截止频率（半功率点）的定义，掌握低通、高通电路的截止频率的计算和测试方法，掌握 RLC 带通电路、RC 双 T 带阻电路的中心频率的定义、计算方法、测量方法以及截止频率（半功率点）的测量方法；

半功率点指输出功率为最大输出功率一半时的频率点。

$$\frac{P_c}{P_{oMAX}} = \frac{1}{2} \Rightarrow \frac{U_2^2}{U_1^2} = \frac{1}{2} \Rightarrow \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707$$

$$20\log 0.707 = -3\text{dB}$$

因此，半功率点又称为3dB点。

### 低通 半功率点的相位差 -45

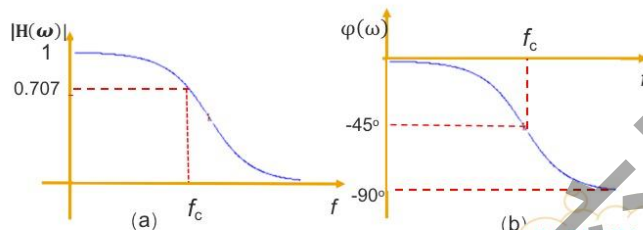
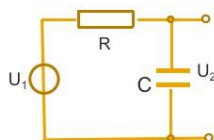
如图所示低通电路，输入信号 $U_1$ 为频率可变的正弦波

传递函数:  $H(\omega) = \frac{U_2}{U_1} = \frac{-j\frac{1}{\omega C}}{R - j\frac{1}{\omega C}}$

幅频特性:  $|H(\omega)| = \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}$

相频特性:  $\varphi(\omega) = -\arctan(\omega RC)$

截止频率:  $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$



$f_c$  称为半功率点频率 或者称为截止频率

输出信号与输入信号的相位差慢慢变大，直到相差90度，能量损耗最大。

### 高通 半功率点的相位差 45

如图所示高通电路，输入信号 $U_1$ 为频率可变的正弦波

传递函数:  $H(\omega) = \frac{U_2}{U_1} = \frac{R_1}{R - j\frac{1}{\omega C}}$

幅频特性:  $|H(\omega)| = \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{1}{\omega RC})^2}}$

相频特性:  $\varphi(\omega) = \arctan \frac{1}{\omega RC}$

截止频率:  $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$

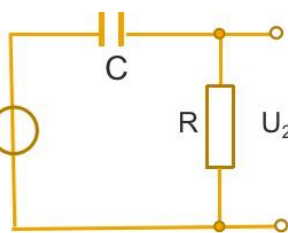
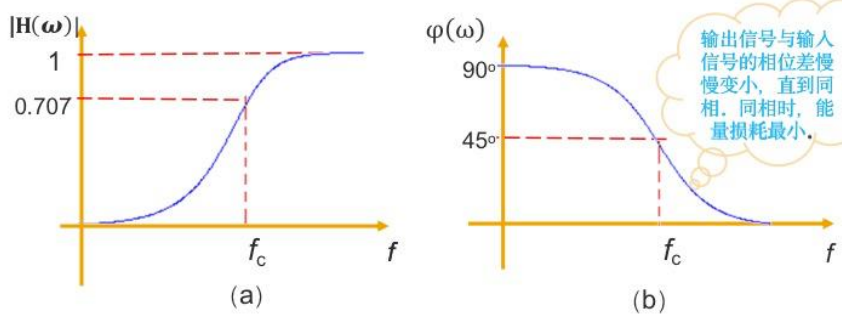


图 (a) 为高通电路的幅频特性曲线, 图 (b) 为高通电路相频特性曲线

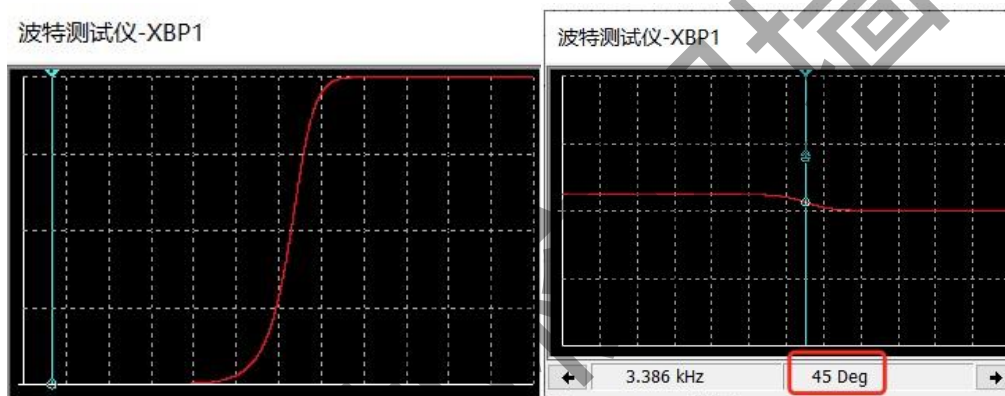


$f_c$ —称为半功率点频率 或者称为截止频率

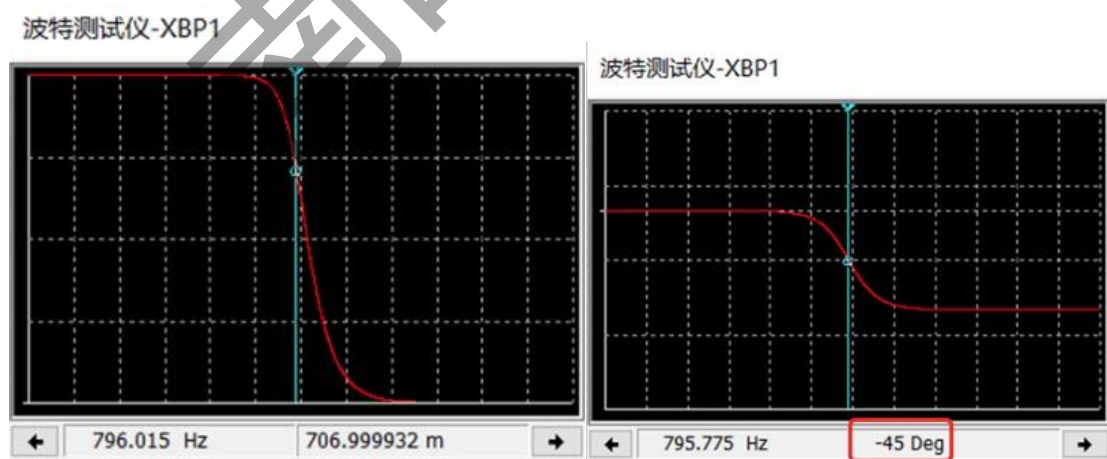
C. 会画四种电路的幅频特性和相频特性曲线 (特征频率点及其对应的电压比和相位差标注完整);

例如给出一组曲线, 要能看出是哪种电路

RC:

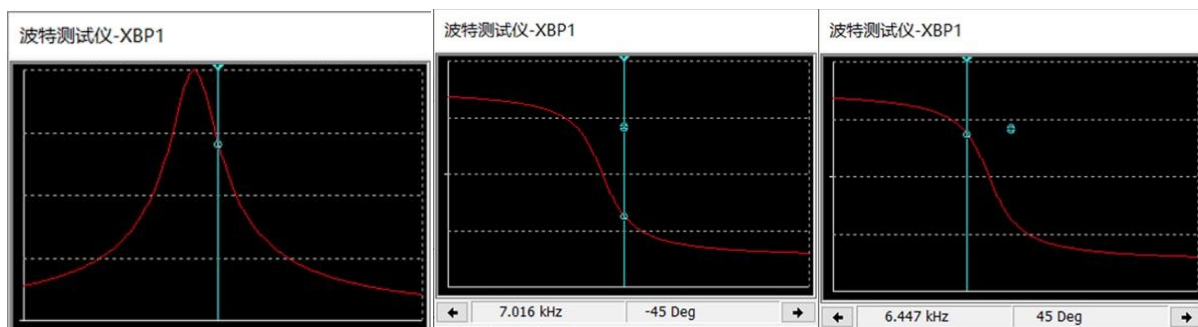


RL:

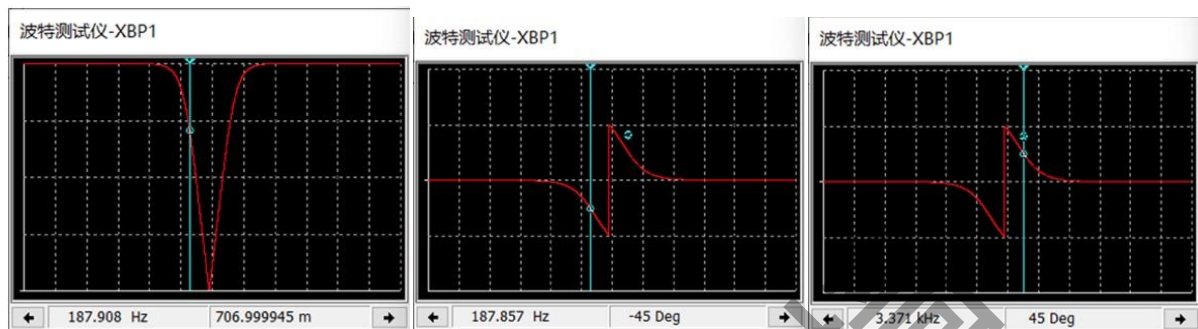


RLC: (两个半功率点, +/-45)





双 T 电路:



D. 会根据截止频率的要求设计计算无源一阶 RC 高通、低通滤波器的元件参数（根据半功率点的幅度的绝对值——>半功率点频率——>半功率点的角度）。

$$f_c = 1/2\pi RC$$

## 5、串联谐振电路

A. 理解 RLC 串联谐振电路的特性，掌握 RLC 串联谐振电路的谐振频率、谐振角频率、品质因数、带宽等特征参数的计算方法；

R、L、C 元件串联构成的一端口电路，在特定条件下出现端口电压、电流同相位的现象时，称电路发生了谐振。

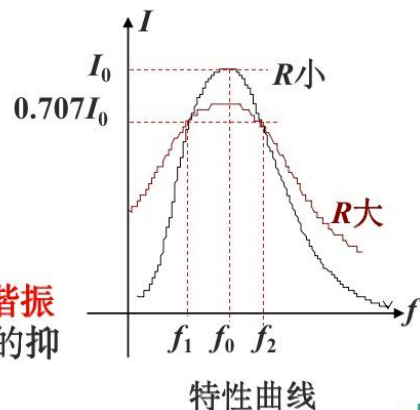
例如右下的图，哪一个 Q 值大？

回路电流  $I$  与输入信号的频率关系曲线称为串联谐振特性曲线，如下图所示。

➤ 回路电流  $I$  随输入信号频率的改变而变化。RLC 串联电路谐振时（ $\omega = \omega_0$ ）， $I$  达到最大值  $I = I_0$ ，且与输入电压同相。此时的频率  $f_0$  称为谐振频率。

➤ 对应  $I = 0.707I_0$  的频率称为半功率点频率，分别为  $f_1$ ， $f_2$ 。半功率点的电压与电流相位差为  $\pm 45^\circ$ 。 $f_2 - f_1$  为通频带。

➤ Q 是反映谐振电路性能的重要指标。Q 越大，谐振曲线越尖。电路对非谐振频率下的电流具有较强的抑制能力，所以选择性好。



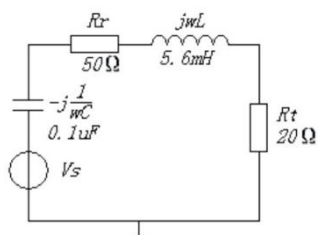
特性曲线

## (三) RLC串联电路谐振时的特点

1. 感抗等于容抗:  $X_{L0} - X_{C0} = 0$
2. 谐振频率:  $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$   $f_0 = 1/(2\pi\sqrt{LC})$
3. 等效阻抗最小且为纯电阻:  $Z_0 = R = R_l + R_r$
4. 回路电流最大:  $I_0 = V_s/R$
5.  $L$ 和 $C$ 上的电压:  $V_{C0} = V_{L0} = QV_s$ , 达到最大值 (\*可据此寻找谐振频率)  
电阻上电压 $V_R$ 与 $V_s$ 同相: (\*可据此寻找谐振频率)
6. 电路 $Q$ 值:  $Q = \omega_0 L/R = 1/(\omega_0 RC)$   
 $= \sqrt{LC}/R = f_0/(f_2 - f_1)$
7. 通频带:  $B = f_2 - f_1 = f_0/Q = R/(2\pi L)$

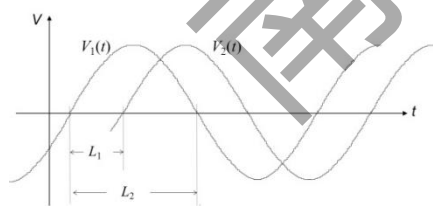
B. 会根据给定的特征参数设计计算 RLC 串联电路的元件参数;

C. 掌握测量谐振频率、半功率点频率、带宽、品质因数的测量方法;



测量谐振频率  $f_0$ : 调整信号源频率, 根据谐振时回路电流最大, 即电阻  $R_t$  上电压  $V_{Rt}$  最大, 找出谐振频率  $f_0$ 。

测量半功率点频率  $f_1$  和  $f_2$  (双迹法)



① 用示波器测量同频信号相位差一般用双迹法测量。

② 将电压  $V_1(t)$ ,  $V_2(t)$  分别加到双踪示波器的“CH1”和“CH2”两个输入端, 调节示波器在荧光屏上显示出稳定清晰的波形, 并使两个波形都对称于横坐标。读取波形半周所占横轴长度, 设为  $L_2$ , 读出两波形过零点的间隔  $L_1$ , 则相位差。

$$\varphi = 180^\circ L_1 / L_2$$

D. 理解信号源内阻对 RLC 串联电路的影响, 实际测量中消除这种影响的措施。理解电感内阻对测量品质因数、带宽的影响;

E. 会测量并绘制 RLC 串联谐振电路的谐振曲线;

点测法画串联谐振曲线的取点原则: 谐振频率  $f_0$  和半功率点  $f_1$  和  $f_2$  必须取; 曲线变化剧烈的地方多取点, 变化平坦的地方少取点。

E. 正确记录谐振频率点、上下限截止频率点、输入电压信号和电阻两端的电压信号波形, 能够正确标注两个波形之间的相位关系。

## 6. 周期信号频谱分析

A. 了解和掌握周期信号频谱分析的基本概念，什么是直流分量  $a_0$ ，单位是什么？周期信号本身的频率怎么计算？

一个非正弦周期信号运用傅氏级数总可分解为直流分量与许多正弦分量之线性叠加。这些正弦分量的频率必定是基波  $f_1$  的整数（ $n$ ）倍，称之为谐波分量。

将周期信号  $f(t)$  展开为三角形式的傅氏级数：

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega_1 t + \varphi_n)$$

直流分量值
各次谐波分量的幅度值
各次谐波分量的初相角

次数  $n=0$  所对应的分量，就是直流分量  $a_0$ ；

次数  $n=1$  所对应的分量叫做基波，其频率  $\omega_1/2\pi$  就是该周期信号本身的频率；

次数  $n \geq 2$  所对应的分量称为  $n$  次谐波分量，其频率  $n\omega_1/2\pi$  是基波频率  $\omega_1/2\pi$  的  $n$  倍。

B. 周期信号的频谱分为幅度谱、相位谱和功率谱三种；

C. 七种波形对应的频谱特点，周期信号频谱的特性，特别是正弦波对应的波形特点；

周期信号频谱具有离散性、谐波性、收敛性的特点。

离散性：由无数条分立谱线构成，每条谱线就是一个谐波；

谐波性：每条谱线所对应的频率只能是基频的整数倍，间隔即为基频；

收敛性：随着谐波次数增大，谱线幅值总体上趋于 0；

正弦波只有 1 条谱线，只有基波。

第一零点：谱线幅值第一次衰减到 0V 的点。从 0Hz 到这里的频带范围就称为该信号的有效频带宽度，是信号能量最集中的频带，

D. 正确理解课后思考题（填空题）。

1. 非正弦周期信号的谱线是离散的（连续、离散），其角频率间隔为 $2\pi/T$ ，且只存在于基波频率的整数倍上。

2. 大多数周期信号的幅度谱包含 无数条 条谱线，但其主要能量集中在谱线幅度包络线的第 1 个零点以内，这段包络线称为主峰，其频率范围称为有效频带宽度。
3. 矩形周期信号的直流、基波和各谐波分量的幅值与矩形脉冲幅度成 正 比。
4. 在有效频带宽度内，矩形周期信号的谐波幅度按 抽样函数 规律收敛，三角形周期信号谐波幅度按 抽样函数的平方 规律收敛。
5. 矩形周期信号的幅度和周期保持不变，随着占空比的增加（即脉宽增大），主峰高度 增大，主峰宽度 减小，各谱线间隔 不变，主峰内包含的谱线数量 减小，有效频带宽度 减小，主峰内高次谐波分量 减小。
6. 理想的正弦波的幅度谱包含 1 条谱线，证明其只有 基波，而无 谐波分量 分量，如果能测出谐波分量，说明该正弦波已有 失真。

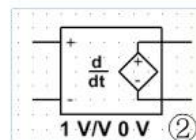
## 8.连续时间系统的模拟

A. 了解 Multisim 14 软件中控制器件库所提供的加法器、积分器、比例放大器模块；

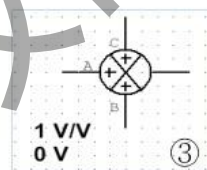
① 积分器



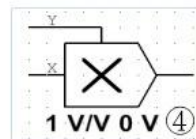
② 微分器



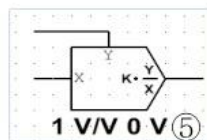
③ 加法器



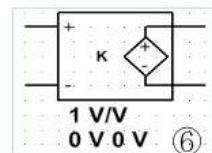
④ 乘法器



⑤ 除法器



⑥ 比例放大器



“Sources” → “CONTROL-FUNCTION-BLOCKS”

B. 把传输函数化成 Multisim 所需的标准形式的三个要求；

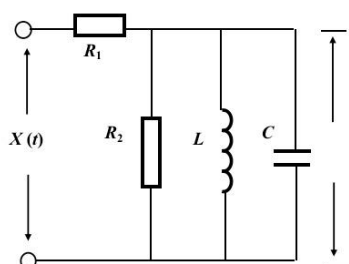
见下面 step2 的图

C. 会根据时域电路转换成复频域电路，可以正确将其转换成用基本运算单元组成的对应的系统模拟测试电路，掌握测量幅频、相频传输特性的步骤和过程；

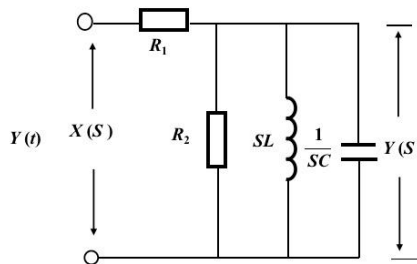


时域	复频域
$\frac{df(t)}{dt}$	$\leftrightarrow SF(S)$
$\int_0^t f(\xi)d\xi$	$\leftrightarrow \frac{F(S)}{S}$
$R$	$\leftrightarrow R$
$C$	$\leftrightarrow \frac{1}{SC}$
$L$	$\leftrightarrow SL$

试求下图所示电路的系统传输函数H(S)



图a 时域电路模型



图b 复频域电路模型

系统传输函数H(S):

$$Y(S) = \frac{\frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{SL} + SC}}{R_1 + \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{SL} + SC}} X(S) = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_1}{SL} + R_1 SC} X(S)$$

$$\text{所以 } H(S) = \frac{Y(S)}{X(S)} = \frac{S}{R_1 CS^2 + \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)S + \frac{R_1}{L}}$$

当  $R_1 = 10\Omega$   $R_2 = 10k\Omega$   $L = 10mH$   $C = 10\mu F$  时

$$H(S) = \frac{S}{10^{-4}S^2 + 1.001S + 10^3} \quad \text{式1}$$

Step2: 把传输函数化成Multisim 所需的标准形式

$$\begin{aligned} H(S) = \frac{Y(S)}{X(S)} &= \frac{S}{R_1 CS^2 + \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)S + \frac{R_1}{L}} \times \frac{\frac{1}{S^2}}{\frac{1}{S^2}} \\ &= \frac{\frac{1}{S}}{R_1 C + \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)\frac{1}{S} + \frac{R_1}{L} \times \frac{1}{LS^2}} \times \frac{\frac{1}{R_1 C}}{\frac{1}{R_1 C}} \\ &= \frac{\frac{1}{R_1 C} \frac{1}{S}}{1 + \left(\frac{1}{R_1 C} + \frac{1}{R_2 C}\right)\frac{1}{S} + \frac{1}{LC} \frac{1}{S^2}} \end{aligned}$$

当  $R_1 = 10\Omega$ ,  $R_2 = 10k\Omega$ ,  $L = 10mH$ ,  $C = 10\mu F$

$$H(S) = \frac{\frac{10^4}{S}}{1 + \frac{10010}{S} + \frac{10^7}{S^2}} \quad \text{式2}$$

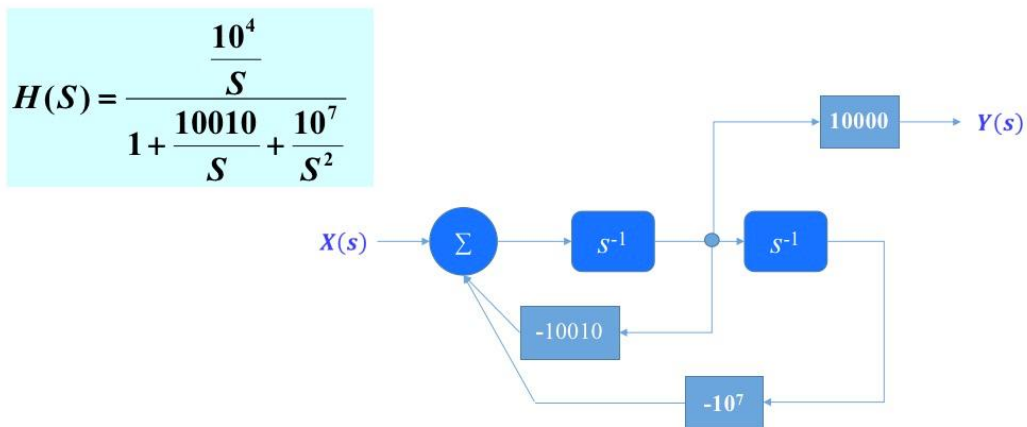
(A) 真分式: 算子S 在分子的幂次不高于分母的幂次。

(B) 因需用积分器仿真, 算子 $S^n$  应化成 $S^{-n}$ 。

(C) 分母的常数项化成1。



### Step3: 画出模拟框图



再例如:



传递函数:

$$H_9(S) = \frac{(\frac{1}{SC} + R) // \frac{1}{SC} \times \frac{1}{SC}}{[(\frac{1}{SC} + R) // \frac{1}{SC} + R] \times (\frac{1}{SC} + R)}$$

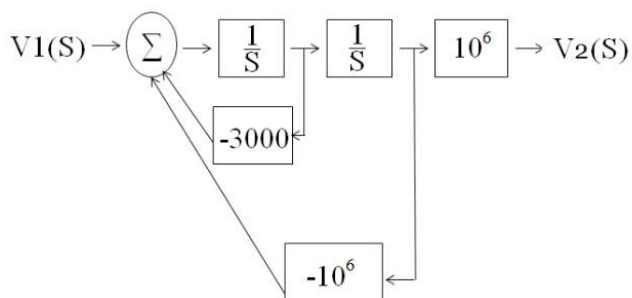
$$= \frac{10^6 S^{-2}}{10^6 S^{-2} + 3000 S^{-1} + 1}$$

1. 最高次幂为2, 因此需要2个积分器
2. 分子的幂次为2, 因此输出项是第二个积分器的输出乘以放大器系数, 然后输出
3. 加法器的反馈端要改负号

构造连续时间系统模拟框图

$$H_9(S) = \frac{(\frac{1}{SC} + R) // \frac{1}{SC} \times \frac{1}{SC}}{[(\frac{1}{SC} + R) // \frac{1}{SC} + R] \times (\frac{1}{SC} + R)}$$

$$= \frac{10^6 S^{-2}}{10^6 S^{-2} + 3000 S^{-1} + 1}$$



B. 熟悉波特仪上各个窗口的含义，及其对应参数的设置方法；

E. 能正确记录输入输出波形。

南邮校园墙