



河南理工大学

# 信号与系统实验指导书

通信工程教研室

# 目 录

实验箱使用说明 .....	1
实验一 阶跃响应与冲激响应 .....	3
实验二 滤波器（有源、无源） .....	7
实验三 锯齿波信号的分解 .....	17
实验四 方波信号的分解 .....	20
实验五 锯齿波信号的合成 .....	21
实验六 方波信号的合成 .....	23
实验七 相位、幅度对信号合成的影响 .....	25
实验八 抽样定理与信号恢复 .....	28

# 实验箱使用说明

## 一、概述

该实验箱是专门为《信号与系统》课程而设计，提供了信号频域时域分析实验手段。利用该实验箱可进行阶跃响应与冲激响应的时域分析；信号频谱的分析与研究；信号的分解与合成的分析与实验；抽样定理与信号恢复分析与研究；连续时间系统的模拟；二阶网络状态轨迹显示、非线性系统的混沌现象的研究等内容的学习与研究。使学生既可以方便测试，观察信号的时域特性，又可以观察测试信号的频域特性；把信号源和各滤波器组合在一起，既可以把信号分解，又可以合成，从而加深学生对信号频谱本质的认识；实验箱所设计的抽样定理、系统模拟等实验模块，采用自由布线的方法来实现。

该实验箱具有开放性和综合性，可以激发学生创新思维。它对于学习信号与系统、通信原理、数字信号处理等课程起到很好的帮助作用。

## 二、主要功能介绍

### 1. 函数信号发生器

波形种类： 正弦波、方波、三角波、锯齿波

频率范围： 1Hz—250KHz

I: 1Hz—30Hz

II: 30Hz—1KHz

III: 1KHz—40KHz

IV: 40KHz—250KHz

2. 数显频率计： 测频范围： 0—500KHz ；

3. 数显交流电压表： 0—20V， 测量频率范围： 1MHz

4. 扫频信号源： 扫频范围： 1Hz—250KHz

5. 电源： AC 220V±10%

DC ±12V、±5V 500mA 采用自恢复保险丝

6. 体积： 450mm×330mm×130mm

7. 重量： 2.5kg

## 三、实验项目介绍：

1、阶跃响应与冲激响应

2、滤波器（有源、无源）

3、锯齿波信号的分解

4、方波信号的分解

5、锯齿波信号的合成

6、方波信号的合成

7、相位、幅度对信号合成的影响

8、抽样定理与信号恢复

## 四、维修及故障排除

### 1. 维护

- (1) 防止撞击跌落
- (2) 用后拔出电源插头，并关闭机箱，防止灰尘、杂物进入箱内。
- (3) 做完实验后板上连线全部整理好。

### 2. 故障排除

- (1) 指示灯不亮、电源无输出  
电源接有 0.5A 熔断器（在板上）。短路或过载时可能烧断，更换熔断管时必须保证同规格。
- (2) 信号源无输出  
检查实验板接线，更换相应元器件  
注意：打开实验板时必须拔出电源插头。
- (3) 正反向选择器不正常  
检查三极管、开关等元器件。
- (4) 输出不正常
  - a、由原理框图从后向前逐级检查，每个环节的幅度、相移、波形是否正常。
  - b、某种谐波无输出，查相应开关是否损坏。
  - c、各次谐波均无输出，更换加法器组件。

注意：打开电源板时必须拔出电源插头。

## 五、随机附件

- |          |      |
|----------|------|
| 1. 插头线   | 10 根 |
| 2. 电源线   | 1 根  |
| 3. 使用说明书 | 1 本  |

# 实验一 阶跃响应与冲激响应

## 一、实验目的

- 1、观察和测量 RLC 串联电路的阶跃响应与冲激响应的波形和有关参数，并研究其电路元件参数变化对响应状态的影响；
- 2、掌握有关信号时域的测量方法。

## 二、实验设备

双踪示波器	1 台
信号系统实验箱	1 台

## 三、实验原理说明

实验如图 1—1 所示为 RLC 串联电路的阶跃响应与冲激响应，其响应有以下三种状态：

- 1、当电阻  $R > 2\sqrt{LC}$  时，称过阻尼状态；
- 2、当电阻  $R = 2\sqrt{LC}$  时，称临界状态；
- 3、当电阻  $R < 2\sqrt{LC}$  时，称欠阻尼状态。

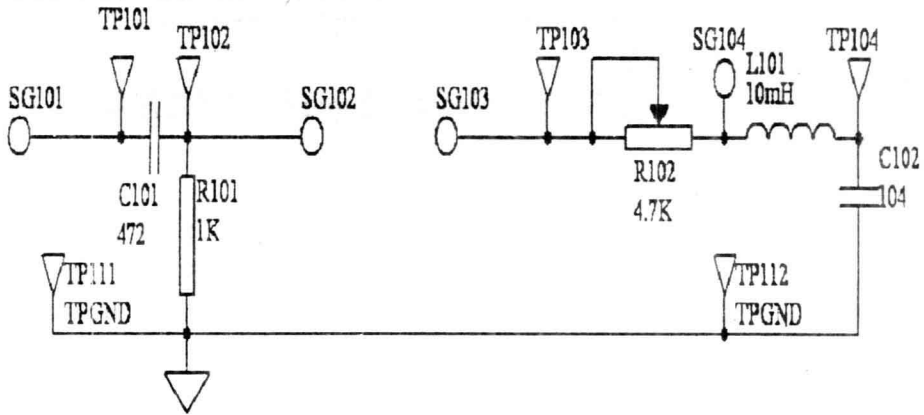


图 1-1

冲激信号是阶跃信号的导数，所以对线性时不变电路冲激响应也是阶跃响应的导数。为了便于用示波器观察响应波形，实验用中用周期方波代替阶跃信号。而用周期方波通过微分电路后得到的尖顶脉冲代替冲激信号。

## 四、实验内容

- 1、阶跃响应波形观察与参数测量设激励信号为方波，其幅度为  $4\text{vp-p}$ ，频

率为 1KHz。

- ①将函数信号源的频率调为 1KHz，幅度为 4vp-p 接于 TP103。
- ②示波器接于 TP104。
- ③调整 R 使其工作在三种状态，并将实验数据填入表格 1—1 中。

表 1—1

状 态 参数测量	欠阻尼状态	临界状态	过阻尼状态
参数测量	R= t <sub>r</sub> = t <sub>s</sub> = ä=	R= t <sub>r</sub> =	R=
波形观察			

注：描绘波形要使三种状态的 X 轴坐标（扫描时间）一致。

## 2、冲激响应的波形观察

冲激信号的产生是由阶跃信号经过微分电路得到。实验电路如图 1—1 左侧所示。

- ①将函数信号源接于 TP101。（频率与幅度不变）
- ②示波器接于 TP102，观察经微分后响应波形（等效为冲激激励信号）
- ③连接 TP102 与 TP103
- ④示波器接于 TP104
- ⑤观察 TP104 端三种状态波形，并填于表 1—2 中。

表 1—2

	欠阻尼状态	临界状态	过阻尼状态
激励波形			
响应波形			

## 五、实验报告要求

1、描绘同样时间轴阶跃响应与冲激响应的输入、输出电压波形时，要标明信号幅度  $A$ 、周期  $T$ 、方波脉宽  $T_1$  以及微分电路的  $\tau$  值。

2、分析实验结果，说明电路参数变化对状态的影响。

### 注：阶跃响应的动态指标

二阶系统的微分方程常有如下的形式：

$$y''(t) + 2\hat{\imath}\hat{\omega}_0 y'(t) + \hat{\omega}_0^2 y(t) = \hat{\omega}_0^2 f(t) \quad (1-1)$$

式中： $\hat{\imath}$  为阻尼系数， $\hat{\omega}_0$  为无阻尼振荡角频率。当  $\hat{\imath} > 1$  时为过阻尼， $\hat{\imath} = 1$  时为临界阻尼， $0 < \hat{\imath} < 1$  时为欠阻尼， $\hat{\imath} = 0$  时为无阻尼。在工程上，系统在欠阻尼状态下的阶跃响应最为有用。在工程测量和理论分析中规定了响应的若干指标，如上升时间、调节时间、超调量等。这里简要说明欠阻尼情况下的重要结论。

式 (1-1) 的特征方程为

$$\ddot{e}^2 + 2\hat{\imath}\hat{\omega}_0 \dot{e} + \hat{\omega}_0^2 e = 0$$

在  $0 < \hat{\imath} < 1$  的情况下，其特征根为

$$\ddot{e}_{1,2} = -\hat{\imath}\hat{\omega}_0 \pm j\hat{\omega}_d$$

式中

$$\hat{\omega}_d = \hat{\omega}_0 \sqrt{1 - \hat{\imath}^2}$$

设输入  $f(t) = \hat{a}(t)$ ，则阶跃响应

$$\begin{aligned} s(t) &= \hat{\omega}_0^2 \hat{a}(t) * (e^{\lambda_1 t} * e^{\lambda_2 t}) \hat{a}(t) \\ &= \frac{1}{\sqrt{1 - \xi^2}} e^{-\xi \omega_0 t} \sin(\omega_d t + \varphi) \end{aligned} \quad (1-2)$$

式中

$$\varphi = \arctg \frac{\sqrt{1 - \hat{\imath}^2}}{\hat{\imath}}$$

式 (1-2) 的大致波形如图 1-2 所示。

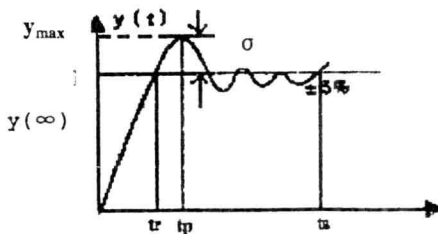


图 1—2

现将阶跃响应的动态指标定义如下：

上升时间  $t_r$ :  $y(t)$  从 0 到第一次达到 1 所需的时间。

峰值时间  $t_p$ :  $y(t)$  从 0 上升到  $y_{\max}$  所需的时间。

调节时间  $t_s$ :  $y(t)$  的振荡包络线进入到稳态值的  $\pm 5\%$  误差范围所需的时间。

最大超调量  $\ddot{a}$ :

$$\ddot{a}_p = \frac{y_{\max} - y(\infty)}{y(\infty)} \times 100\%$$

根据上述定义，各动态指标既可以直接用示波器测量，也可以依据系统参数计算。可以证明，各指标的计算公式如下：

$$t_s = \frac{1}{\hat{u}_d} \left( \delta - \text{tg}^{-1} \frac{\sqrt{1-\hat{i}^2}}{\hat{i}} \right) \quad (1-3)$$

$$t_p = \frac{\delta}{\hat{u}_o \sqrt{1-\hat{i}^2}} = \frac{\delta}{\hat{u}_d} \quad (1-4)$$

$$t_s = \frac{3}{\hat{i} \hat{u}_o} \quad (1-5)$$

$$\ddot{a} = \exp \left( - \frac{\hat{i} \delta}{\sqrt{1-\hat{i}^2}} \right) \times 100\% \quad (1-6)$$



## 实验二 滤波器（有源、无源）

### 一、实验目的

1. 熟悉有源滤波器构成及其特性。
2. 学会测量有源滤波器幅频特性。

### 二、实验设备

1. 双踪示波器 1台
2. 信号与系统实验箱 1台
3. 函数信号源 1台

### 三、实验原理说明

滤波器是一种能使有用频率信号通过而同时抑制（或大为衰减）无用频率信号的电子装置。工程上常用它作信号处理、数据传送和抑制干扰等。这里主要是讨论模拟滤波器。以往这种滤波电路主要采用无源元件 R、L 和 C 组成，60 年代以来，集成运放获得了迅速发展，由它和 R、C 组成的有源滤波电路，具有不用电感、体积小、重量轻等优点。此外，由于集成运放的开环电压增益和输入阻抗均很高，输出阻抗又低，构成有源滤波电路后还具有一定的电压放大和缓冲作用。但是，集成运放的带宽有限，所以目前有源滤波电路的工作频率难以做得很高，这是它的不足之处。

#### 基本概念及初步定义

##### 1. 初步定义

滤波电路的一般结构如 3—1 所示。图中的  $V_i(t)$  表示输入信号， $V_o(t)$  为输出信号。

假设滤波器是一个线形时不变网络，则在复频域内有

$$A(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)}$$

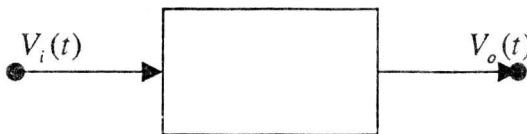


图 2-1 滤波电路的一般结构图

式中  $A(s)$  是滤波电路的电压传递函数，一般为复数。对于实际频率来说 ( $s=j\omega$ ) 则有

$$A(j\omega) = |A(j\omega)| \cdot e^{j\theta(\omega)} \quad 2-1$$

这里  $|A(j\omega)|$  为传递函数的模， $\theta(\omega)$  为其相位角。

此外，在滤波电路中关心的另一个量是时延  $\delta(\omega)$ ，它定义为

$$\delta(\omega) = - \frac{d\theta(\omega)}{d\omega} (\text{s}) \quad 2-2$$

通常用幅频响应来表征一个滤波电路的特性，欲使信号通过滤波器的失真很小，则相位和时延响应亦需考虑。当相位响应  $\theta(\omega)$  作线性变化，即时延响应  $\delta(\omega)$  为常数时，输出信号才可能避免失真。

## 2. 有源滤波电路的分类

对于幅频响应，通常把能够通过的信号频率范围定义为**通带**，而把受阻或衰减的信号频率范围称为**阻带**。通带和阻带的界限频率叫做**截止频率**。

理想滤波电路在通带内应具有零衰减的幅频响应和线性的相位响应，而在阻带内应具有无限大的幅度衰减 ( $|A(j\omega)| = 0$ )。通常通带和阻带的相互位置不同，滤波电路通常可分为以下几类：

**低通滤波电路** 其幅频响应如图 3-2a 所示，图中  $A_0$  表示低频增益， $A$  增益的幅值。由图可知，它的功能是通过从零到某一截止角频率  $\omega_H$  的低频信号，而对大于  $\omega_H$  的所有频率完全衰减，因此其带宽  $BW = \omega_H$ 。

**高通滤波电路** 其幅频响应如图 3-2b 所示，由图可以看到，在  $0 < \omega < \omega_L$  范围内的频率为阻带，高于  $\omega_L$  的频率为通带。从理论上来说，它的带宽  $BW = \infty$ ，但实际上，由于受有源器件带宽的限制，高通滤波电路的带宽也是有限的。

**带通滤波电路** 其幅频响应如图 3-2c 所示，图中  $\omega_L$  为低边截止角频率， $\omega_H$  高边截止角频率， $\omega_0$  为中心角频率。由图可知，它有两个阻带： $0 < \omega < \omega_L$  和  $\omega > \omega_H$ ，因此带宽  $BW = \omega_H - \omega_L$ 。

**带阻滤波电路** 其幅频响应如图 3-2d 所示，由图可知，它有两个通带： $0 < \omega < \omega_H$  和  $\omega > \omega_L$ ，和一个阻带： $\omega_H < \omega < \omega_L$ 。因此它的功能是衰减  $\omega_L$

到  $\omega_H$  间的信号。同高通滤波电路相似，由于受有源器件带宽的限制，通带  $\omega > \omega_L$  也是有限的。

带阻滤波电路抑制频带中点所在角频率  $\omega_0$  也叫中心角频率。

全通滤波电路没有阻带，它的通带是从零到无穷大，但相移的大小随频率改变。如图 3-2e 所示。

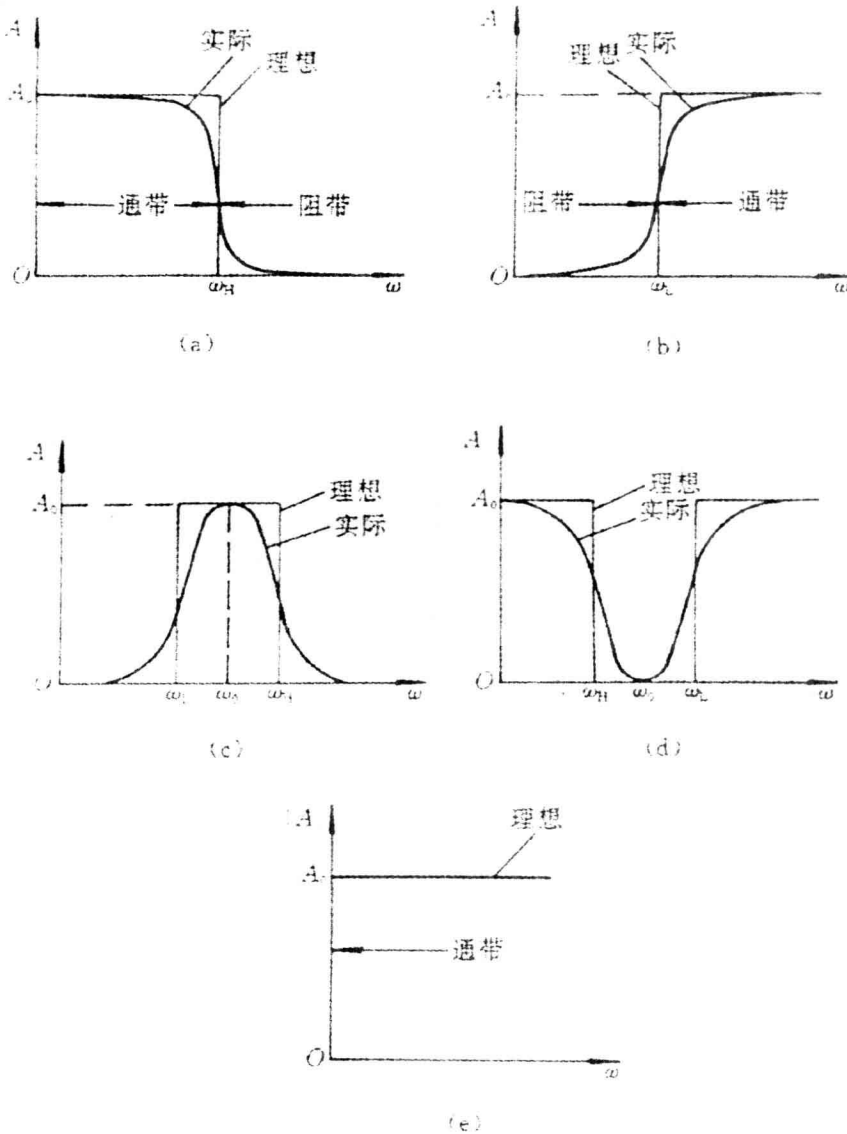


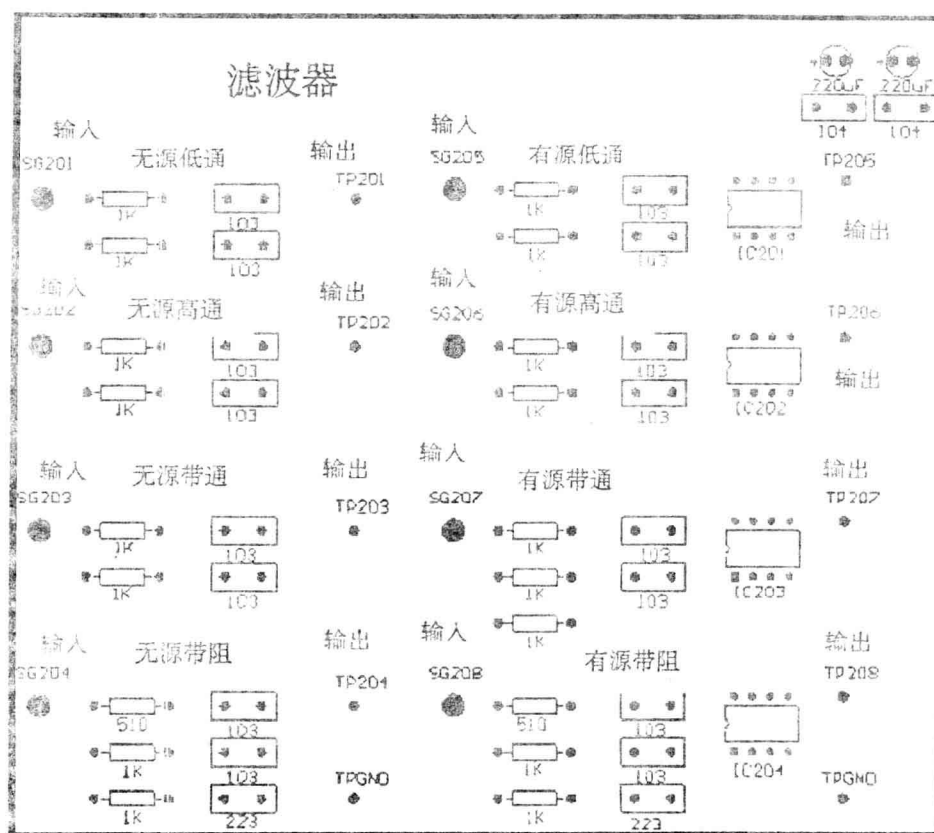
图 2-2 各种滤波电路的幅频响应

(a) 低通滤波电路(LPF①) (b)高通滤波电路(HPF) (c)带通滤波电路(BPF)

(d) 带阻滤波电路(BEF)

(e) 理想滤波电路(APF)

#### 四、实验内容



#### (一) 低通滤波器

1、图示 2-3 为低通滤波器。

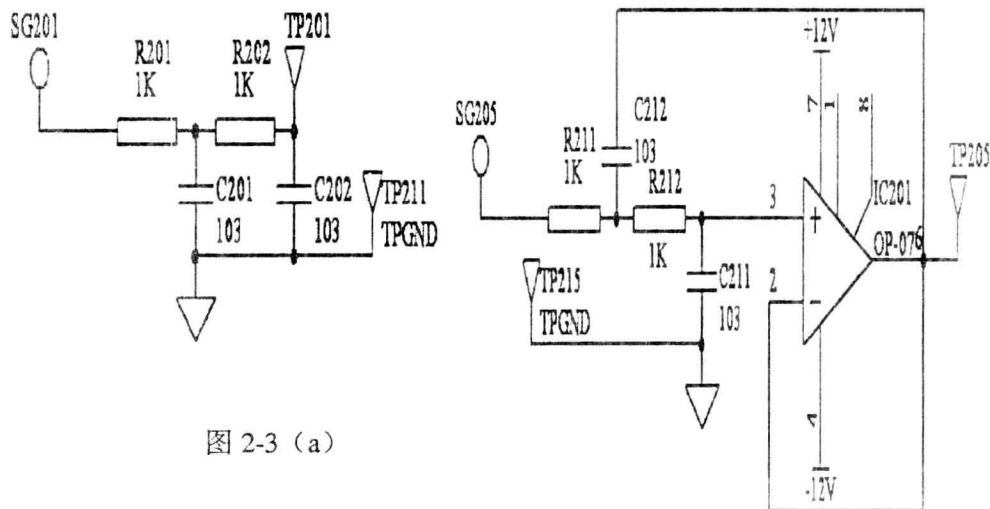


图 2-3 (a)

$$A_0 = A_{VF} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

$$Q = \frac{1}{3 - A_{VF}} \quad A_{VF} = 1$$

$$\omega_n = \frac{1}{RC}$$

幅度响应:

$$20 \lg \left| \frac{A(j\omega)}{A_0} \right| = 20 \lg \frac{1}{\sqrt{[1 - (\frac{\omega}{\omega_n})^2]^2 + (\frac{\omega}{Q\omega_n})^2}}$$

当  $\omega = 0$  时,  $|A(j\omega)| = A_{VF} = A_0$ ;

当  $\omega \rightarrow \infty$  时,  $|A(j\omega)| \rightarrow 0$

$$\text{当 } \frac{\omega}{\omega_n} = 1, Q = \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ 时, } 20 \lg \left| \frac{A(j\omega)}{A_0} \right| = 3\text{dB}$$

$$\text{当 } \frac{\omega}{\omega_n} = \omega, Q = \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ 时, } 20 \lg \left| \frac{A(j\omega)}{A_0} \right| = -40\text{dB}$$

从而计算  $f_0$ .

其幅频响应见图 2-4

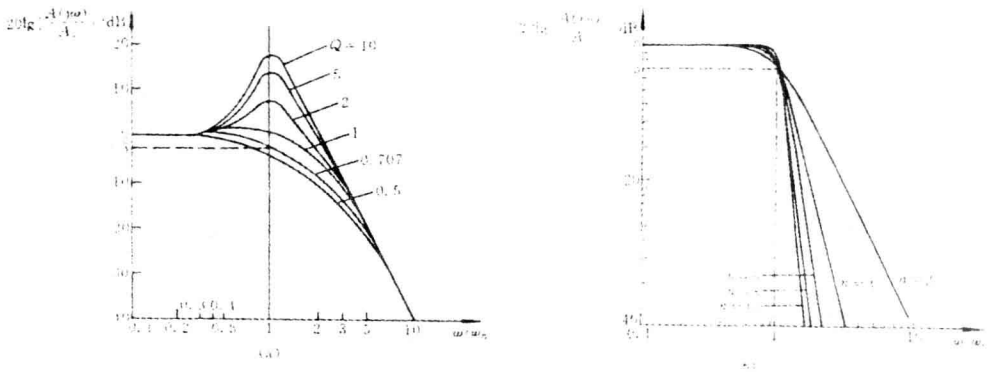


图 2-4

2、计算低通滤波器的截止频率  $f_H$ ；

3、幅频响应测量并填表 2-1；

表 2-1

Vi(V)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
f(Hz)	5	10	15	30	60	100	150	200	300	400
Vo(V)										

4、相频响应测量并填表 2-2；

表 2-2

Vi(V)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
f(Hz)	5	10	15	30	60	100	150	200	300	400
Vo(V)										
ö										

## (二) 高通滤波器

1、图 2-5 为高通滤波器。

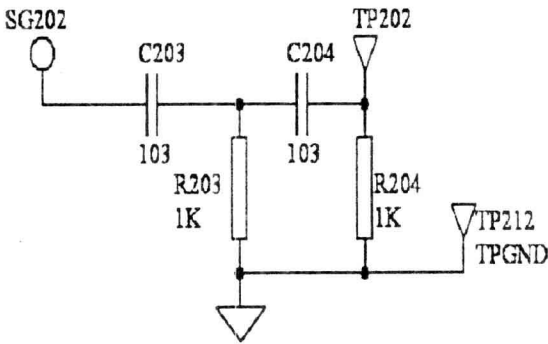


图 2-5 (a)

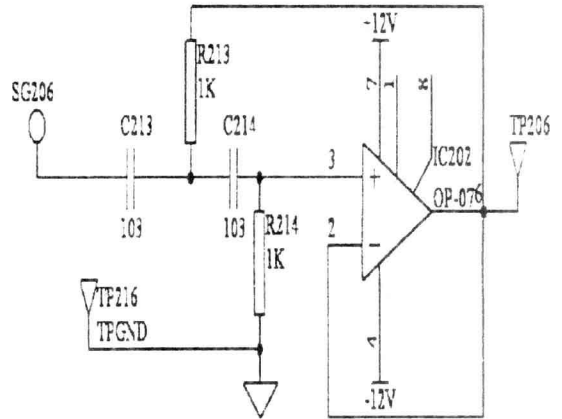


图 2-5 (b)

$$A_0 = A_{VF} = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

$$Q = \frac{1}{3 - A_{VF}} \quad \omega_n = \frac{1}{RC}$$

$$\text{幅度响应: } 20 \lg \left| \frac{A(j\omega)}{A_0} \right| = 20 \lg \frac{1}{\sqrt{[(\frac{\omega_n}{\omega})^2 - 1]^2 + (\frac{\omega_n}{Q\omega})^2}}$$

其幅频响应见图 2-6

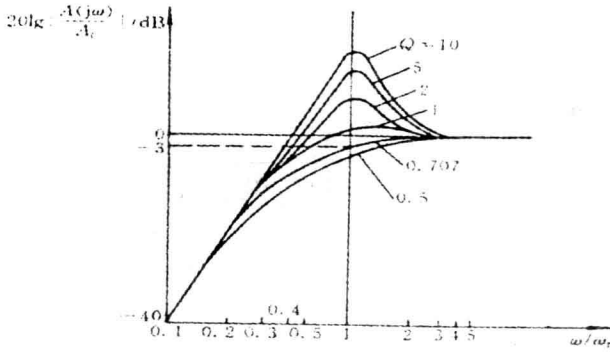


图 2-6

2、计算图示 2-5 的  $f_L$ ;

3、测量高频滤波器的幅频响应，并填表 2-3:

表 2-3

$V_i$ (V)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
f(Hz)	10	16	50	100	130	160	200	300	400
$V_o$ (V)									

### (三) 带通滤波器

1、图示 2-7 为带通滤波器

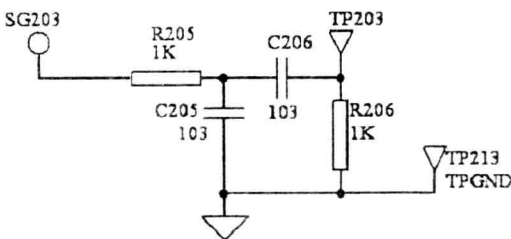


图 2-7 (a)

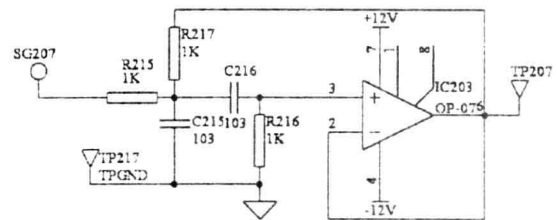


图 2-7 (b)

$$A_{VF} = 1 + \frac{R_f}{R_1} \quad A_0 = \frac{A_{VF}}{3 - A_{VF}}$$

$$\omega_n = \frac{1}{RC} \quad (\text{中心频率})$$

$$Q = \frac{1}{3 - A_{VF}}$$

$$A(j\omega) = \frac{A_0 \frac{1}{Q} \cdot \frac{j\omega}{\omega_0}}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 + j \frac{\omega}{\omega_0 Q}} = \frac{A_0}{1 + jQ\left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega}\right)}$$

其幅频响应如图 2-8 所示

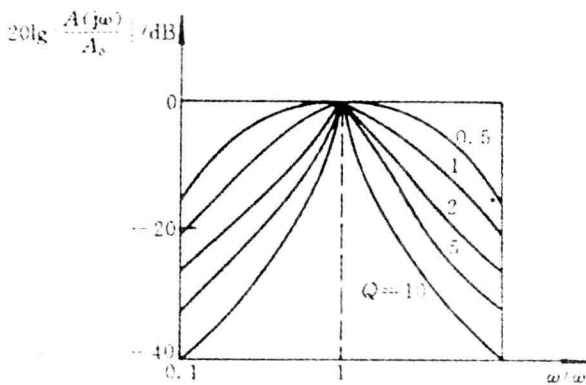


图 2-8

当  $\omega = \omega_0$  时,  $|A(j\omega)| = A_0 = \frac{A_{VF}}{3 - A_{VF}}$  此时电压增益最大

$$B\omega = \frac{f_0}{Q} \quad (\text{通带宽度})$$

2、设计一个中心频率  $f_0=1\text{KHZ}$ 、 $B\omega=100\text{HZ}$  的带通滤波器, 确定其电路参数 ( $C=0.01\mu\text{F}$ )

3、测量其幅频响应, 填入表 2-5

表 2-5

$V_i(\text{V})$	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$f(\text{Hz})$	10	16	50	100	130	160	200	300	400
$V_o(\text{V})$									

#### (四)带阻滤波器

1、图示 2-9 为带阻滤波器



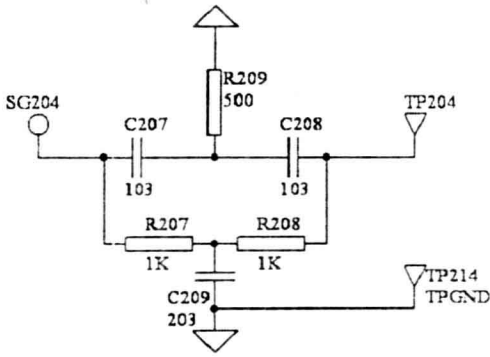


图 2-9 (a)

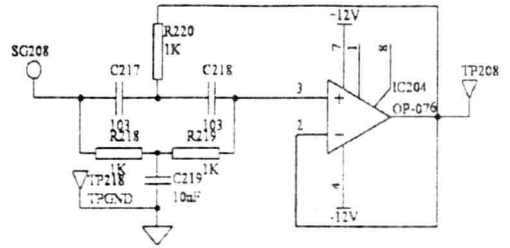


图 2-9 (b)

$$\dot{u}_n = \frac{1}{RC} \quad R_b = 0$$

$$A_{VF} = 1 + \frac{R_b}{R_a}$$

$$Q = \frac{1}{2(2 - A_{VF})} \quad (Q=0.5)$$

$$A(j\omega) = \frac{A_{VF} [1 + (\frac{j\omega}{\omega_n})^2]}{1 + \frac{1}{Q} \cdot \frac{j\omega}{\omega_n} + (\frac{j\omega}{\omega_n})^2}$$

其幅频响应如图 2-10

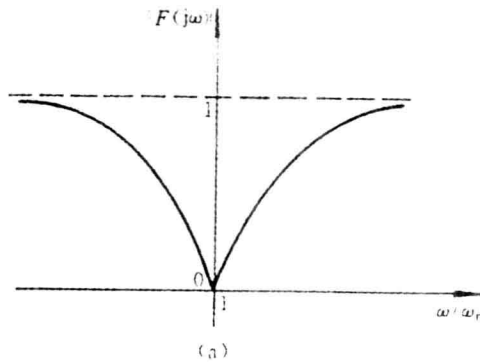


图 2-10

- 2、实测电路中心频率。
- 2、测量幅频响应，并填入表 2-6。

表 2-6