

# 目 录

目 录 .....	0
<b>第一章 信号与系统综合实验平台概述 .....</b>	<b>1</b>
第一节 XH 系列信号与系统实验平台总体介绍 .....	1
第二节 实验平台各模块介绍 .....	2
第三节 信号源 .....	6
<b>第二章 信号与系统基本实验 .....</b>	<b>8</b>
实验一 阶跃响应与冲激响应 .....	8
实验二 连续时间系统的模拟 .....	12
实验三 有源无源滤波器 .....	17
实验四 抽样定理与信号恢复 .....	25
实验五 二阶网络状态轨迹的显示 .....	32
实验六 一阶电路的暂态响应 .....	37
实验七 二阶电路的暂态响应 .....	41
实验八 二阶电路传输特性 .....	46
实验九 矩形脉冲信号的分解 .....	49
实验十 矩形脉冲信号的合成 .....	53
实验十一 谐波幅度对波形合成的影响 .....	56
实验十二 AM 调制与解调 .....	60

# 第一章 信号与系统综合实验平台概述

## 第一节 XH 系列信号与系统实验平台总体介绍

“XH 系列信号与系统实验平台”是为配合《信号与系统》课程教学，在多年进行信号与系统实验的基础上，经过不断改进研制成功的实验设备。它提供了信号的频域、时域分析的实验手段，利用该实验平台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；AM 调制与解调、FDM 频分复用；可进行连续时间系统的模拟和抽样定理与信号恢复的分析与研究；可实现一阶、二阶电路的暂态响应及二阶网络状态轨迹显示以及各种滤波器设计与实现。

该平台设计采用模块化形式，以功能单元来划分，电路原理一目了然。

XH 系列信号与系统实验平台由以下模块组成：

1. 电源输入模块
2. 信号源模块
3. 模拟滤波器模块
4. 无失真传输系统
5. 一阶电路暂态响应模块
6. 二阶电路传输特性模块
7. 二阶网络状态轨迹模块
8. 二阶电路暂态响应模块
9. 阶跃响应与冲激响应模块
10. 抽样定理模块
11. AM 调制解调模块
12. FDM 频分复用模块
13. 频率表与毫伏表
14. 二次开发区
15. 信号分解与合成模块

各模块的具体作用将在第二节中介绍。

## 第二节 实验平台各模块介绍

在本节中，将分别介绍实验平台上的各个模块单元。在第一节系统介绍中，已介绍了本实验系统由 15 个模块组成。

### 1. 电源输入模块

此模块位于实验平台的右上角部分，分别提供 +12v、+5v、-12 v、-5 v 的电源输出。4 组电源对应 4 个发光二极管，电源输出正常时对应的发光二极管亮。

### 2. 信号源模块

提供的波形种类有：正弦波、三角波、方波、扫频信号

信号的频率范围：1Hz—200KHz，可分别通过电位器按钮调节信号的频率、信号的幅度、占空比和扫速。

输出信号测量点：

H701 (H702)：输出的信号波形（正弦波、三角波、方波、扫频信号）；

信号插孔：

H704 (H705)：扫频控制电压输出。

### 3. 模拟滤波器模块

提供了多种有源无源滤波器，包括低通无源滤波器、低通有源滤波器、高通无源滤波器、高通有源滤波器、带通无源滤波器、带通有源滤波器、带阻无源滤波器和带阻有源滤波器。根据自己的需要进行实验。

有 8 个测量点：

TP302：信号经低通无源滤波器后的输出信号波形观测点；

TP304：信号经低通有源滤波器后的输出信号波形观测点；

TP306：信号经高通无源滤波器后的输出信号波形观测点；

TP308：信号经高通有源滤波器后的输出信号波形观测点；

TP310：信号经带通无源滤波器后的输出信号波形观测点；

TP312：信号经带通有源滤波器后的输出信号波形观测点；

TP314：信号经带阻无源滤波器后的输出信号波形观测点；

TP316：信号经带阻有源滤波器后的输出信号波形观测点；

信号插孔：

P301、P303、P305、P307、P309、P311、P313、P315：信号输入插孔。

P302、P304、P306、P308、P310、P312、P314、P316：信号输出插孔。

### 4. 无失真传输模块

可完成信号的无失真传输实验。

一个输入信号测量点 TPE01。

一个输入信号输入插孔 HE01。

一个信号输出插孔 HE02。

### 5. 一阶电路暂态响应模块

此模块可根据自己的需要搭接一阶电路，观测各点的信号波形。

有 6 个测量点：

TP601、TP607：输入信号波形测量点；

TP604、TP605：一阶 RC 电路输出信号波形测量点；

TP609、TP610：一阶 RL 电路输出信号波形测量点。

信号插孔：

P601、P607：信号输入插孔；

P601、P602、P604、P603、P605、P606、P609：电路连接插孔。

### 6. 二阶电路传输特性模块

此模块亦可根据需要搭接二阶电路，观测各测量点的信号波形。

有两个测量点：

TP801：二阶 RC 电路传输特性测量点；

TP807：二阶 RL 电路传输特性测量点。

信号插孔：

P801、P803：信号输入插孔。

### 7. 二阶网络状态轨迹模块

此模块除完成二阶网络状态轨迹观察的实验，还可完成二阶电路暂态响应观察的实验。

有三个测量点：

TP501：输入信号波形观测点；

TP502、TP503：输出信号波形观测点

信号插孔：

P501、P502：信号输入插孔。

### 8. 阶跃响应与冲激响应模块

接入适当的输入信号，可观测输入信号的阶跃响应与冲激响应。

有四个测量点：

TP101：进行冲激响应实验时的输入信号波形的测量点；

TP102：进行阶跃响应实验时的输入信号波形的测量点；

TP103：冲激信号观测点；

TP104：冲激响应，阶跃响应信号输出观测点。

信号插孔：

P101、P103、P104：信号输入插孔；

P102、P103：电路连接插孔。

### 9. 抽样定理模块

通过本模块可观测到抽样过程中各个阶段的信号波形。

有四个测量点：

TP401：输入信号波形观测点；

TP402：开关信号观测点；

TP403：输入信号经采样后的信号波形观测点；

TP404：抽样信号经滤波器恢复后的信号波形观测点。

信号插孔：

P401：信号输入插孔；

P403：抽样信号输出插孔；

H406：电路连接插孔；

### 10. AM 调制解调模块

该模块包括载波信号发生器、调制波信号发生器、调制器、解调器、检波器。

#### (1) 载波信号发生器

载波 1 发生的是固定频率为 16KHZ 的正弦波，幅值由电位器 RW26 调节，通过 VC1 插孔输出。

载波 2 发生的是固定频率为 32KHZ 的正弦波，幅值由电位器 RW28 调节，通过 VC2 插孔输出。

#### (2) 调制波信号发生器

调制波 1 发生的是固定频率为 160HZ 的正弦波。幅值由电位器 RW27 调节，通过 VS1 插孔输出。

调制波 2 发生的是固定频率为 800HZ 的正弦波。幅值由电位器 RW29 调节，通

过 VS2 插孔输出。

### (3) 调制器

调制器 1 是完成 AM 调制。只要将载波 1 和调制波 1 所产生的信号 VC1、VS1 分别加到调制器 1 输入 HC03、HC01, 就可以产生 AM 调制信号, 由 UAM1 插孔引出。

调制器 2 是完成 AM 调制。只要将载波 2 和调制波 2 所产生的信号 VC2、VS2 分别加到调制器 2 输入 HC12、HC10, 就可以产生 AM 调制信号, 由 UAM2 插孔引出。

### (4) 解调器

解调器 1 是将 AM 调制信号 UAM1 进行解调, 解调输出由 HC06 插孔引出。

解调器 2 是将 AM 调制信号 UAM2 进行解调, 解调输出由 HC15 插孔引出。

### (5) 检波器

检波器 1 是对 AM 调制信号 UAM1 进行解调, 解调输出由 HC17 插孔引出。

检波器 2 是对 AM 调制信号 UAM2 进行解调, 解调输出由 HC09 插孔引出。

## 11. FDM 频分复用模块

该模块包含 AM 调制与解调模块的所有单元, 及有源加法器单元、八阶巴特沃斯高通滤波器单元、八阶巴特沃斯低通滤波器单元。

(1) 有源加法器: 在做 FDM 频分复用实验时, 对两路 AM 调制信号进行代数运算, 生成复用信号, 由 FDM 插孔引出。

(2) 八阶巴特沃斯高通滤波器, 截止频率为 30KHZ, 用来将载波频率高的一路 AM 调制信号分离出来, 由 HE05 插孔引出。

(3) 八阶巴特沃斯低通滤波器, 截止频率为 20KHZ, 用来将载波频率低的一路 AM 调制信号分离出来, 由 HE07 插孔引出。

## 12. 二次开发区

本模块提供了很多开放的电阻、电容、电位器和运放单元, 可根据需要搭接不同的电路, 进行各种测试。如可实现加法器、比例放大器、积分器及一阶系统的模拟等。

## 13. 频率表与毫伏表

频率表显示信号源输出信号的频率值, 指示的频率范围为 0 – 100KHz, 毫伏表显示信号源输出信号的幅度的平均值(正弦信号有效值), 指示范围为 0-1999mv。

## 14. 信号分解与合成模块

此模块是一个独立的模块, 使用时要先连接上电源+12V、-12V、GND, 该模块主要完成信号的分解与合成, 模块的上半部分为信号的分解, 下半部分为信号

的合成。信号的分解部分提供了七个波形输出测量点，PIN 是待分解的信号输入点，TPF1~TPF6 分别为信号的 2~7 次谐波输出波形，TPDC 是基波输出波形；信号合成的部分中，把分解输出的各次谐波信号对应连接至合成部分的输入端 P\_\_DC、P\_\_F1~P\_\_F6，在合成的输出测量点 POUT 上可观察到合成后的信号波形。

### 第三节 信号源

本节将对信号源部分作进一步的介绍和讲解。首先，对信号源部分的各个元器件作一个介绍：

SW702：矩形波和函数波选择开关；

SW703：函数波选择开关（正弦波、三角波、方波）；

SW701：函数波频率选择开关，分 4 档。

WR706：函数波信号幅度调节旋钮；

WR704、WR705：函数波频率粗调和细调旋钮；

H702：函数信号输出测量点。

H701：函数信号输出插孔。

SW704：矩形波频段选择开关，分二档；

SW705：扫频电压频段选择开关，分二档；

WR708：矩形波频率调节旋钮；

WR709：矩形波占空比调节旋钮；

WR707：扫速调节旋钮；

J701：跳线器在左边时，扫速旋钮不可用，跳线器在右边时，扫速旋钮可用。

#### 信号源波形的观测实验步骤：

1. 实验系统加电，SW703 选择开关上选择一种信号，如正弦信号；
2. SW701 频率选择开关选择一档频率值，连接 H701 和频率计模块中 IN1 插孔，此时频率表应显示某一频率值“×××××”；
3. 在 H702 上接示波器进行观察；
4. 调节 WR706 信号幅度调节旋钮，可在示波器上观察到信号幅度的变化；
5. 调节 WR704、WR705 函数波频率粗调和细调旋钮，观察到信号频率的变化；
6. 将 J701 跳线器置右边时，调节 WR707 扫速旋钮，在 H704、H705 上可观察到扫速的变化；

7. 如果选择矩形波，则调节 WR708 可改变矩形波频率，调节 WR709 可改变矩形波的占空比；
8. 开关 SW703 选择其它的信号类型，重复上面的步骤进行波形的观察。请学生们务必熟悉信号源的操作，才能熟练的进行以后的实验。

## 第二章 信号与系统基本实验

### 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的电路连接图，图 1-1 (a) 为阶跃响应电路连接示意图；图 1-1 (b) 为冲激响应电路连接示意图。

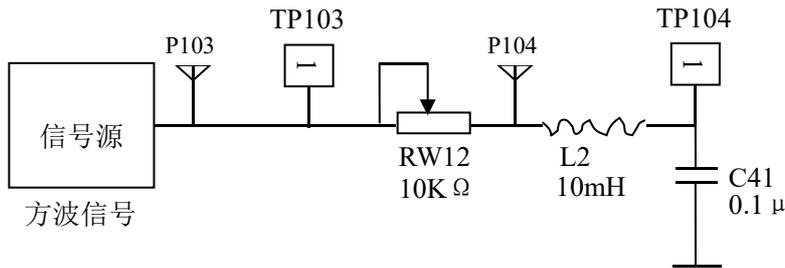


图 1-1 (a) 阶跃响应电路连接示意图

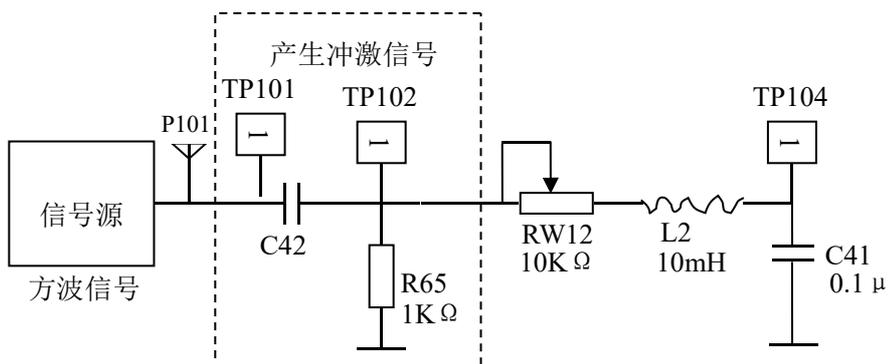


图 1-1 (b) 冲激响应电路连接示意图

其响应有以下三种状态：

- (1) 当电阻  $R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$  时，称过阻尼状态；

- (2) 当电阻  $R = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$  时，称临界状态；
- (3) 当电阻  $R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$  时，称欠阻尼状态。

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 到第一次达到稳态值  $y(\infty)$  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  $\delta$ ：

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

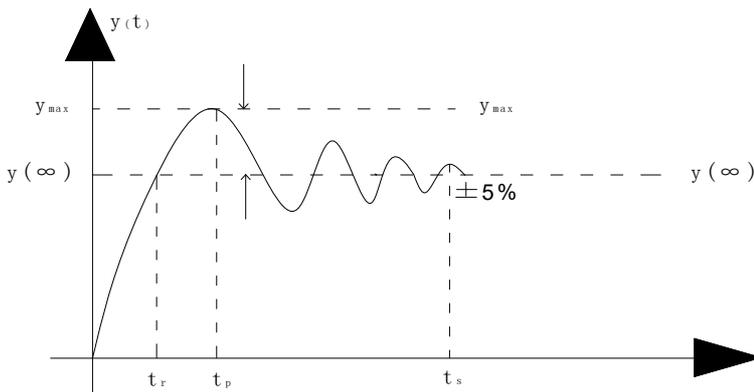


图 1-1 (c) 阶跃响应动态指标示意图

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。

### 三、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 1.5V，频率为 500Hz。

实验电路连接图如图 1-1 (a) 所示。

- ① 连接 H701 与 P103;
- ② SW703 置于选择方波输出;
- ③ SW701 置于 90HZ-1KHZ 档, 调节 WR704、WR705 使频率  $f=500\text{Hz}$ , 调节 WR706 幅度旋钮, 使信号幅度为 1.5V。(注意: 实验中, 在调整信号源的输出信号的参数时, 需连接上负载后调节)
- ④ 示波器 CH1 接于 TP104, 调整 RW12, 使电路分别工作于欠阻尼、临界和过阻尼三种状态, 并将实验数据填入表格 1—1 中。
- ⑤ TP101 为输入信号波形的测量点, 可把示波器的 CH2 接于 TP101 上, 便于波形比较。

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	$R <$ $tr =$ $ts =$ $\delta =$	$R =$ $tr =$	$R >$
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

冲激信号是由阶跃信号经过微分电路而得到。

实验电路如图 1—1 (b) 所示。

- ① 将信号 H701 输入接于 P101。(频率与幅度不变);
- ② 将示波器的 CH1 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 P102 与 P103
- ④ 将示波器的 CH2 接于 T104, 调整 RW12, 使电路分别工作于欠阻尼、临界和过

阻尼三种状态

⑤观察 TP104 端三种状态波形，并填于表 1—2 中。

表 1—2

状 态	欠阻尼状态	临界状态	过阻尼状态
激励波形			
响应波形			

表中的激励波形为在测量点 TP102 观测到的波形（冲激激励信号）。

### 四、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。

### 五、实验设备

1. 双踪示波器 1 台
2. 信号系统实验箱 1 台

## 实验二 连续时间系统的模拟

### 一、实验目的

1. 了解基本运算器—加法器、标量乘法器和积分器的电路结构和运算功能；
2. 掌握用基本运算单元模拟连续时间系统的方法。

### 二、实验原理说明

#### 1. 线性系统的模拟

系统的模拟就是用由基本运算单元组成的模拟装置来模拟实际的系统。这些实际系统可以是电的或非电的物理量系统，也可以是社会、经济和军事等非物理量系统。模拟装置可以与实际系统的内容完全不同，但是两者的微分方程完全相同，输入、输出关系即传递函数也完全相同。模拟装置的激励和响应是电物理量，而实际系统的激励和响应不一定是电物理量，但它们之间的关系是一一对应的。所以，可以通过对模拟装置的研究来分析实际系统，最终达到一定条件下确定最佳参数的目的。

#### 2. 三种基本运算电路

- a. 比例放大器，如图 2-1。

$$u_0 = -\frac{R_2}{R_1} \cdot u_1$$

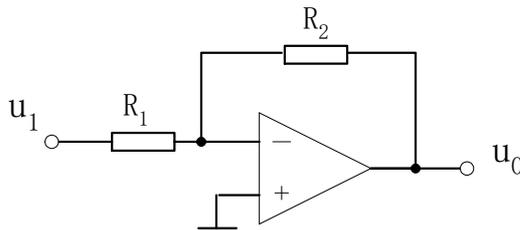


图 2-1 比例放大器电路连接示意图

- b. 加法器，如图 2-2。

$$u_o = -\frac{R_2}{R_1} (u_1 + u_2) = - (u_1 + u_2) \quad (R_1 = R_2)$$

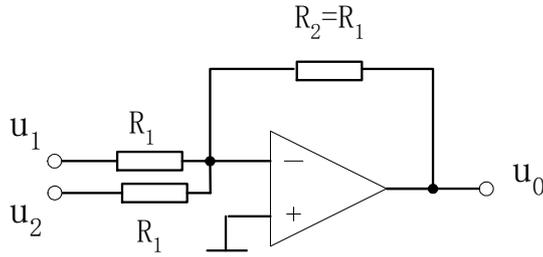


图 2-2 加法器电路连接示意图

c. 积分器，如图 2-3。

$$u_o = -\frac{1}{RC} \int u_1 dt$$

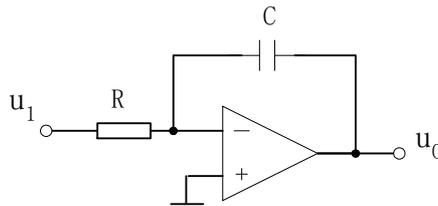


图 2-3 积分器电路连接示意图

### 3. 一阶系统的模拟

图 2-4 (a)。它是最简单 RC 电路，设流过 R · C 的电流为  $i(t)$ ：

则我们有  $x(t) - y(t) = Ri(t)$

根据电容 C 上电压与电流关系  $i(t) = c \frac{dy(t)}{dt}$

因此  $x(t) - y(t) = RC \frac{dy(t)}{dt}$

上式亦可写成  $\frac{dy(t)}{dt} + \frac{1}{RC} y(t) - \frac{1}{RC} x(t) = 0$

这是最典型的一阶微分方程。由于图 2-4

(a) 的 RC 电路输入与输出信号之间关系可用一阶微方程来描述，故常称为一阶 RC

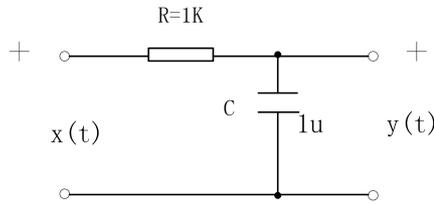
电路。

上述典型的微分方程我们可以改变形式，写成如下表示式：

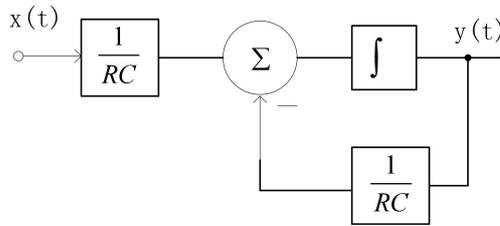
$$\frac{1}{RC}x(t) - \frac{1}{RC}y(t) = \frac{dy(t)}{d(t)} \quad \dots\dots\dots (1) \text{ 式}$$

$$y(t) - x(t) = -RC \frac{dy(t)}{d(t)} \quad \dots\dots\dots (2) \text{ 式}$$

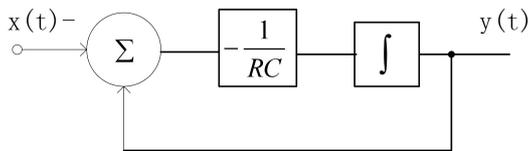
(1) 式是和 (2) 式的数学关系正好用图 2-4 的 (b)、(c) 表示，图 (b) 和图 (c) 在数学关系上是等效的。应用比例放大，加法器和积分器电路 (2) 式可用图 2-4 (d) 所示的电路表示：它是最简单的一阶模拟电路。



(a)



(b)



(c)

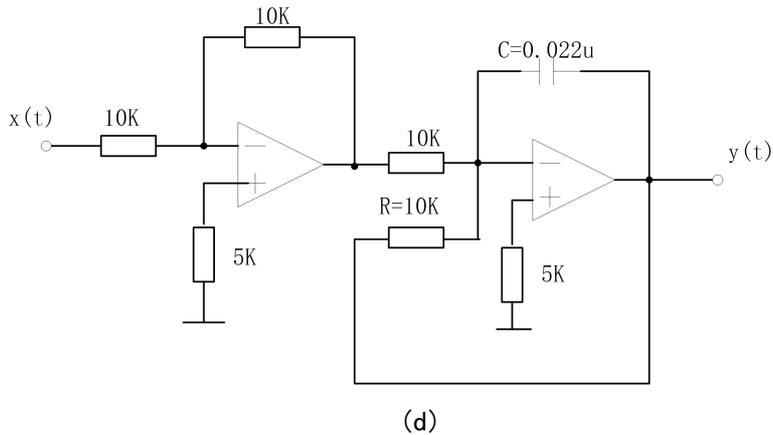


图 2-4 一阶系统的模拟

### 三、实验内容

在实验平台上，利用二次开发区的基本运算单元和组容元件进行实验。

#### 1. 基本运算器—加法器的观测

①学生们自己动手连接如图 2-5 所示实验电路。

②连接 H701 和 P601，将正弦信号的幅度调整为 1V，频率为 1KHz，再将 P602 的信号和信号源的信号分别送往  $u_1$  和  $u_2$  端，调节 WR706 可改变信号幅度。

③用示波器测量  $u_0$  端信号幅度。是否为两输入信号幅度之和。

#### 2. 基本运算器——比例放大器的观测

①学生们自己动手连接如图 2-6 所示实验电路。

②信号发生器产生  $A=1V$ ， $f=1KHz$  的正弦波或方波送入输入端，示波器同时观察输入、输出波形并比较。

#### 3. 基本运算器——积分器的观测

①学生们自己动手连接如图 2-7 所示实验电路。

②信号发生器产生  $A=1V$ ， $f=1KHz$  的方波送入输入端，示波器同时观察输入、输出波形并比较。

#### 4. 一阶 RC 电路的模拟

如图 2-4 (a) 为已知的一阶 RC 电路。图 2-4 (d) 是它的一阶模拟电路。

①学生们自己动手连接如图 2-4 (d) 所示实验电路。

②信号发生器产生  $A=1V$ ， $f=1KHz$  的方波送入一阶模拟电路输入端，用示波器观测输出电压波形，验证其模拟情况。

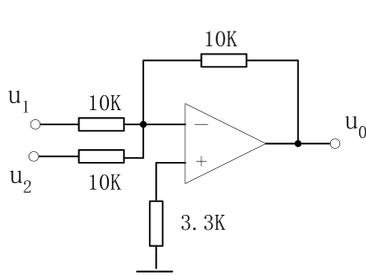


图 2—5 加法器实验电路图

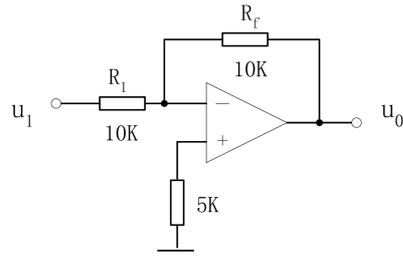


图 2—6 比例放大器实验电路图

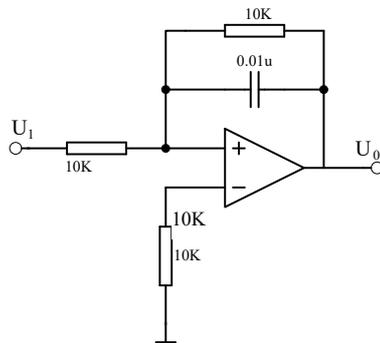


图 2—7 积分器实验电路图

#### 四、实验报告要求

1. 准确绘制各基本运算器输入输出波形，标出峰-峰电压及周期；
2. 绘制一阶模拟电路阶跃响应，标出峰-峰电压及周期。

#### 五、实验设备

1. 双踪示波器                      1 台
2. 信号系统实验箱                1 台

## 实验三 有源无源滤波器

### 一、实验目的

1. 熟悉滤波器的构成及其特性；
2. 学会测量滤波器幅频特性的方法。

### 二、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图 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

$$A(s) = V_o(s)/V_i(s)$$

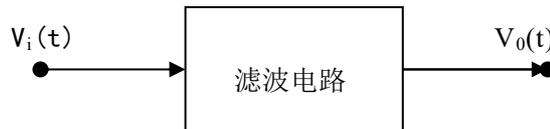


图 3-1 滤波电路的一般结构图

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

$$A(j\omega) = |A(j\omega)| e^{j\phi(\omega)} \quad 3-1$$

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

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

$$\tau(\omega) = -\frac{d\varphi(\omega)}{d\omega}(s) \quad 3-2$$

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  $\varphi(\omega)$  作线性变化,即时延响应  $\tau(\omega)$  为常数时,输出信号才可能避免失真。

## 2. 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称为截止频率。

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 3-2 (a) 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  $B_w = \omega_H$ 。

**高通滤波电路:** 其幅频响应如图 3-2 (b) 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  $B_w = \infty$ ,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 3-2 (c) 所示,图中  $\omega_L$  为低频截止角频率,  $\omega_H$  为高频截止角频率,  $\omega_0$  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  $B_w = \omega_H - \omega_L$ 。

**带阻滤波电路:** 其幅频响应如图 3-2 (d) 所示,由图可知,它有两个通带: 在  $0 < \omega < \omega_H$  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。

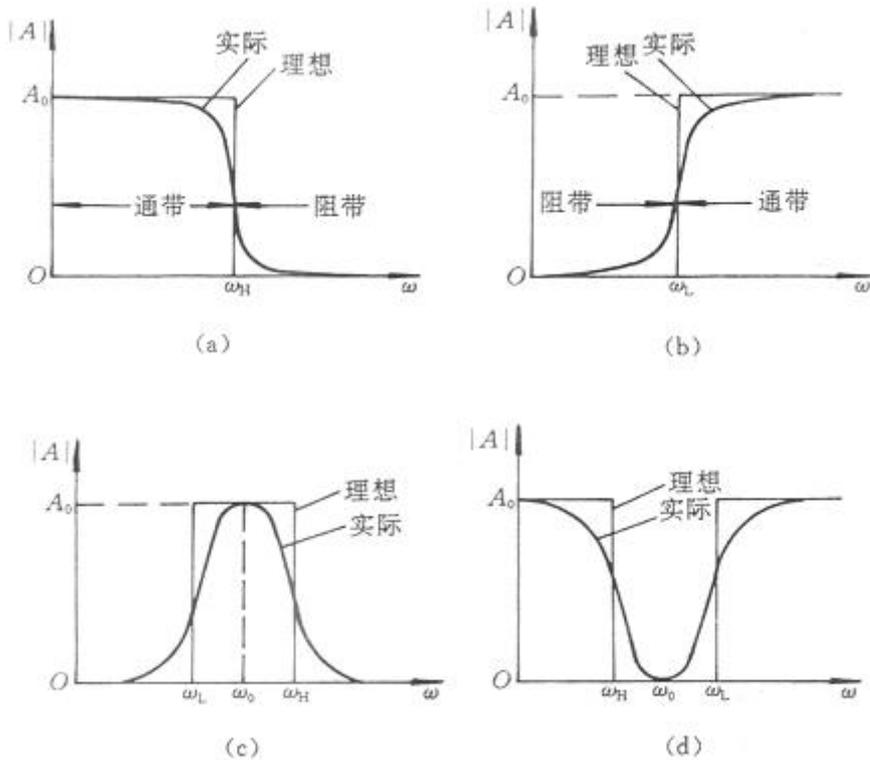


图 3-2 各种滤波电路的幅频响应

- (a) 低通滤波电路 (LPF)
- (b) 高通滤波电路 (HPF)
- (c) 带通滤波电路 (BPF)
- (d) 带阻滤波电路 (BEF)

### 三、实验内容

实验中的输入信号均为 1V 的正弦波。

信号源：SW703 置于“正弦波”位置上，调节幅度旋钮，使信号幅度为 1V。

#### 1. 测量低通滤波器的频响特性

图示 3-3 (a) 为无源低通滤波器。图 3-3 (b) 为有源低通滤波器。

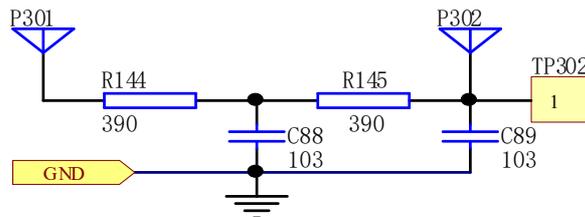


图 3-3 (a) 无源低通滤波器

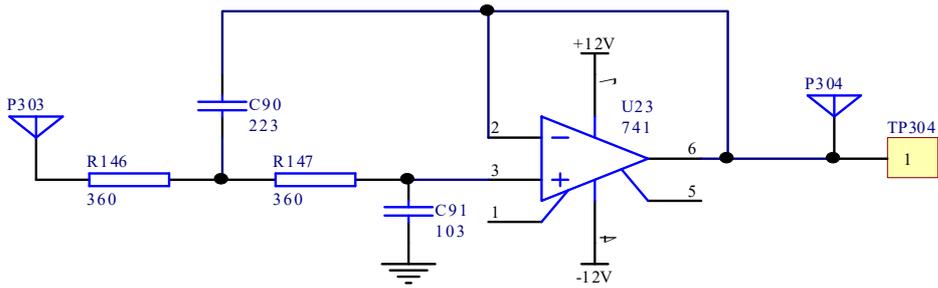


图 3-3 (b) 有源低通滤波器

(1) 逐点测量法

- ① 信号发生器产生正弦波，连接 H701 与 P301（低通无源），保持信号发生器输入幅度不变。
- ② 逐次改变信号发生器频率，并测量其 TP302 的电压有效值。
- ③ 并将数据填入表 3-1 (a) 中。
- ④ 连接 H701 与 P303（低通有源）。
- ⑤ 逐次改变信号发生器频率，并测量其 TP304 的电压有效值。
- ⑥ 将数据填入表 3-1 (b) 中。

(2) 扫频法测量

利用扫频仪测量其幅频响应及截止频率。

表 3-1 (a) 低通无源滤波器逐点测量法

$V_i$ (V)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$f$ (Hz)										
$V_o$ (V)										

表 3-1 (b) 低通有源滤波器逐点测量法

$V_i$ (V)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$f$ (Hz)										
$V_o$ (V)										

2. 测量高通滤波器的频响特性

图 3-4 (a) 为高通无源滤波器；图 3-4 (b) 为高通有源滤波器。

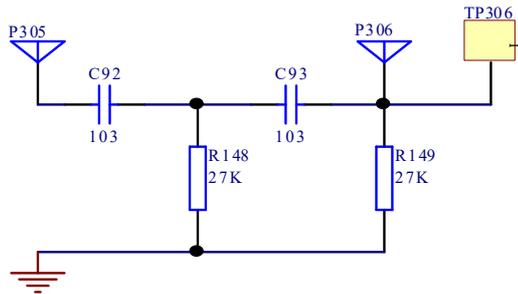


图 3-4 (a) 高通无源滤波器

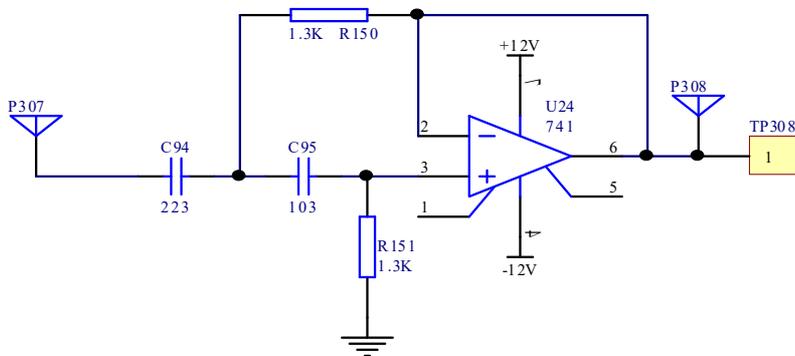


图 3-4 (b) 高通有源滤波器

(1) 逐点测量法

- ① 信号发生器产生正弦波，连接 H701 与 P305（高通无源），保持信号发生器输入幅度不变。
- ② 逐次改变信号发生器频率，并测量其 TP306 的电压有效值。
- ③ 并将数据填入表 3-2 (a) 中。
- ④ 连接 H701 与 P307（高通有源）。
- ⑤ 逐次改变信号发生器频率，并测量其 TP308 的电压有效值。
- ⑥ 将数据填入表 3-2 (b) 中

(2) 扫频法测量

利用扫频仪测量滤波器的幅频响应及截止频率。

表 3-2 (a) 高通无源滤波器逐点测量法

$V_i$ (V)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$f$ (Hz)										
$V_o$ (V)										

表 3-2 (b) 高通有源滤波器逐点测量法

$V_i$ (V)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$f$ (Hz)										
$V_o$ (V)										

3. 测量带通滤波器的频响特性

图示 3-5 (a) 为带通无源滤波器，图 3-5 (b) 为带通有源滤波器。

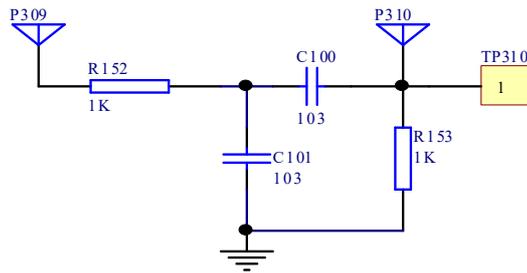


图 3-5 (a) 带通无源滤波器

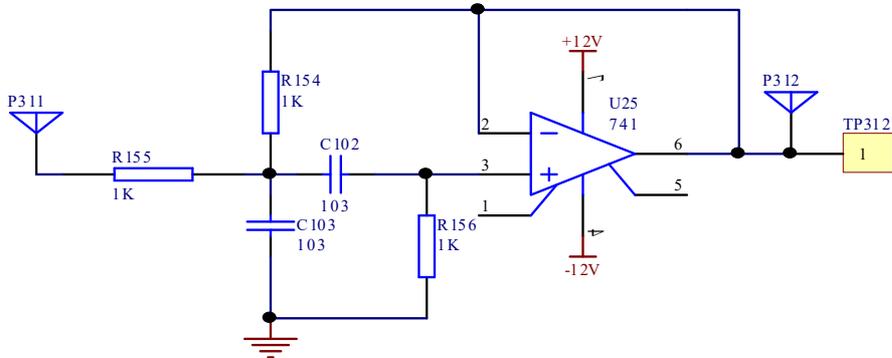


图 3-5 (b) 带通有源滤波器

(1) 逐点测量其幅频响应

- ① 信号发生器产生正弦波，连接 H701 与 P309（带通无源），保持信号发生器输入幅度不变。
- ② 逐次改变信号发生器频率，并测量其 P310 的电压有效值。
- ③ 并将数据填入表 3-3 (a) 中。
- ④ 连接 H701 与 P311（带通有源）。
- ⑤ 逐次改变信号发生器频率，并测量其 TP312 的电压有效值。
- ⑥ 将数据填入表 3-3 (b) 中。

(2) 扫频法测量

利用扫频仪测量其幅频响应及截止频率。

表 3-3 (a) 带通无源滤波逐点测量法

$V_i$ (V)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$f$ (Hz)									
$V_o$ (V)									

表 3-3 (b) 带通有源滤波逐点测量法

$V_i$ (V)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$f$ (Hz)									
$V_o$ (V)									

4. 测量带阻滤波器的频响特性

图示 3-6 (a) 为带阻无源滤波器，图 3-6 (b) 为带阻有源滤波器。

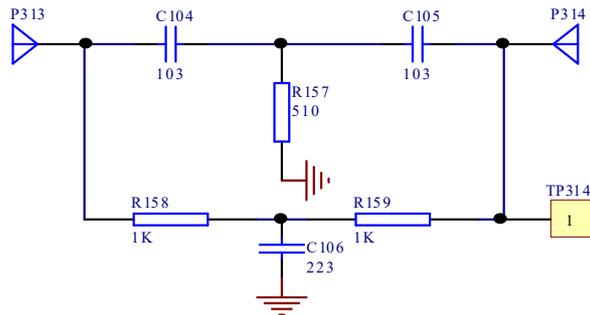


图 3-6 (a) 带阻无源滤波器

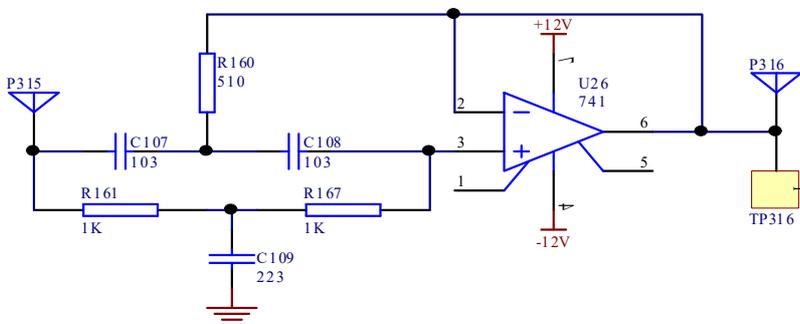


图 3-6 (b) 带阻有源滤波器

- (1) 实测电路中心频率。
- (2) 测量幅频响应，并填入表 3-4
  - ① 信号发生器产生正弦波，连接 H701 与 P313（带阻无源），保持信号发生器输入幅度不变。
  - ② 逐次改变信号发生器频率，并测量其 TP314 的电压有效值。
  - ③ 并将数据填入表 3-4（a）中。
  - ④ 连接 H701 与 P315（带阻有源）。
  - ⑤ 逐次改变信号发生器频率，并测量其 TP316 的电压有效值。
  - ⑥ 将数据填入表 3-4（b）中
- (3) 扫频法测量  
利用扫频仪测量带阻滤波器的幅频响应及截止频率。

表 3-4（a） 带阻无源滤波逐点测量法

$V_i$ (V)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
F (Hz)									
$V_o$ (V)									

表 3-4（b） 带阻有源滤波逐点测量法

$V_i$ (V)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
F (Hz)									
$V_o$ (V)									

### 四、实验报告要求

整理实验数据，并根据测试所得的数据绘制各个滤波器的幅频响应曲线。

### 五、实验设备

- |             |     |
|-------------|-----|
| 1. 双踪示波器    | 1 台 |
| 2. 信号与系统实验箱 | 1 台 |
| 3. 频率计      | 1 台 |
| 4. 扫频仪（可选）  | 1 台 |

## 实验四 抽样定理与信号恢复

### 一、实验目的

1. 观察离散信号频谱，了解其频谱特点；
2. 验证抽样定理并恢复原信号。

### 二、实验原理说明

1. 离散信号不仅可从离散信号源获得，而且也可从连续信号抽样获得。抽样信号  $F_s(t) = F(t) \cdot S(t)$

其中  $F(t)$  为连续信号（例如三角波）， $S(t)$  是周期为  $T_s$  的矩形窄脉冲。 $T_s$  又称抽样间隔， $F_s = \frac{1}{T_s}$  称抽样频率， $F_s(t)$  为抽样信号波形。 $F(t)$ 、 $S(t)$ 、 $F_s(t)$  波形如图 4-1。

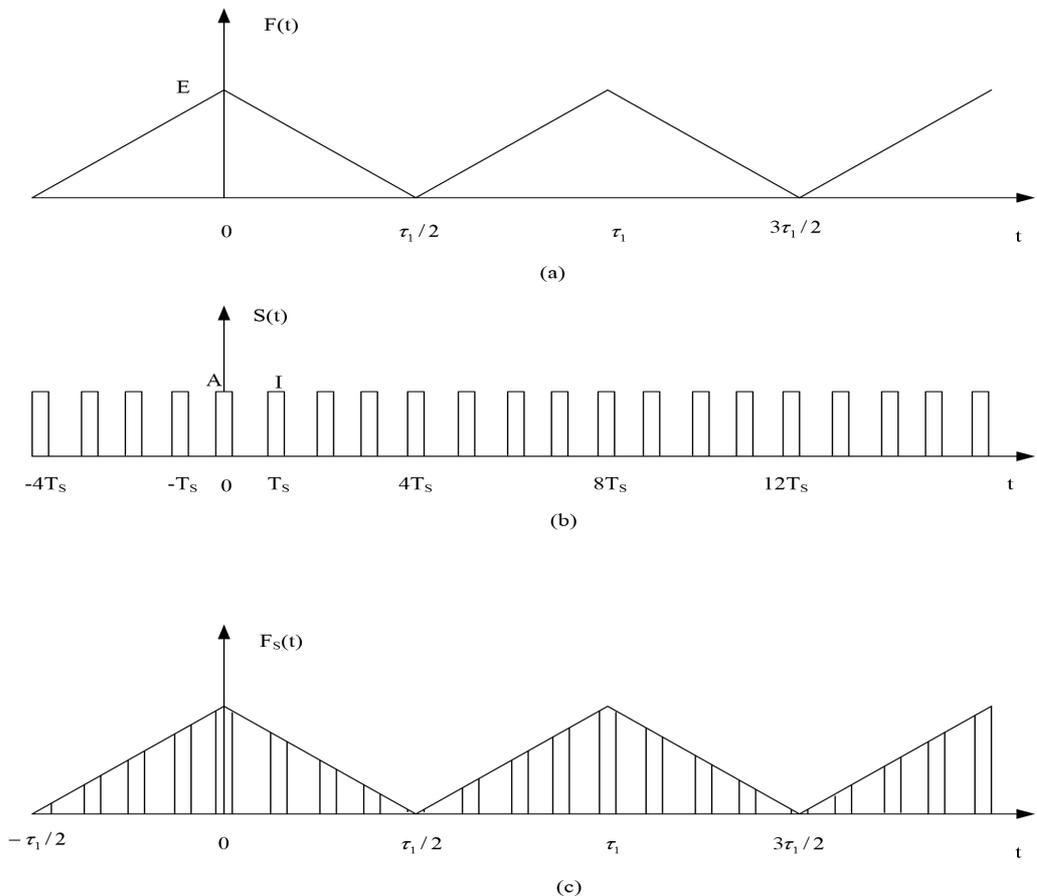


图 4-1 连续信号抽样过程

将连续信号用周期性矩形脉冲抽样而得到抽样信号，可通过抽样器来实现，实验原理电路如图 4-2 所示。

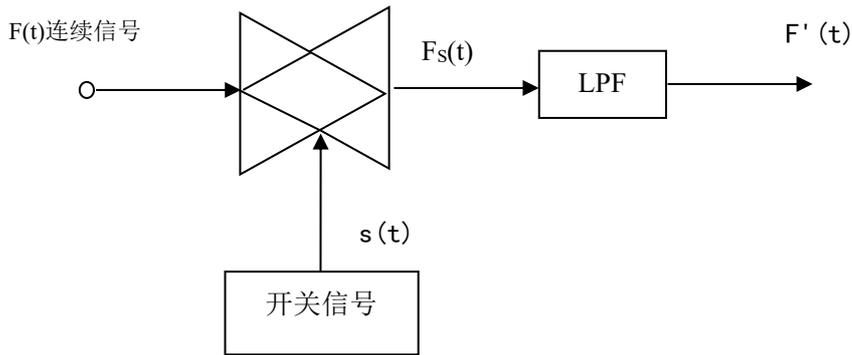


图 4-2 信号抽样实验原理图

2. 连续周期信号经周期矩形脉冲抽样后，抽样信号的频谱

$$F_s(j\omega) = \frac{A\tau}{T_s} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \text{Sa} \left( \frac{m\omega_s\tau}{2} \right) \cdot 2\pi\delta(\omega - m\omega_s)$$

它包含了原信号频谱以及重复周期为  $f_s$  ( $f_s = \frac{\omega_s}{2\pi}$ 、幅度按  $\frac{A\tau}{T_s} \text{Sa} \left( \frac{m\omega_s\tau}{2} \right)$ ) 规律变

化的原信号频谱，即抽样信号的频谱是原信号频谱的周期性延拓。因此，抽样信号占有的频带比原信号频带宽得多。

以三角波被矩形脉冲抽样为例。三角波的频谱

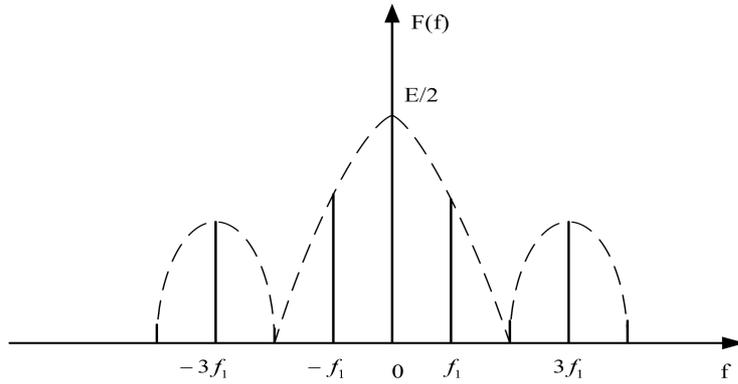
$$F(j\omega) = E\pi \sum_{k=-\infty}^{\infty} \text{sa}^2 \left( \frac{k\pi}{2} \right) \delta \left( \omega - k \frac{2\pi}{\tau_1} \right)$$

抽样信号的频谱

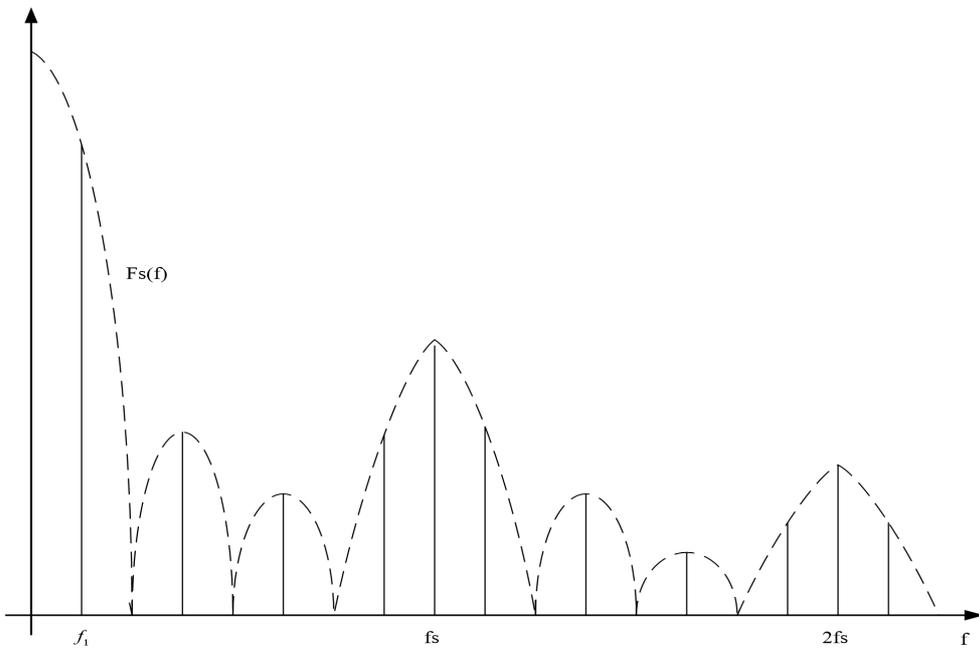
$$F_s(j\omega) = \frac{EA\tau\pi}{TS} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \text{Sa} \left( \frac{m\omega_s\tau}{2} \right) \cdot \text{sa}^2 \left( \frac{k\pi}{2} \right) \cdot \delta(\omega - k\omega_1 - m\omega_s)$$

式中  $\omega_1 = \frac{2\pi}{\tau_1}$  或  $f_1 = \frac{1}{\tau_1}$

取三角波的有效带宽为  $3\omega_1$   $f_s = 8f_1$  作图，其抽样信号频谱如图 4-3 所示。



(a) 三角波频谱



(b) 抽样信号频谱

图 4-3 抽样信号频谱图

如果离散信号是由周期连续信号抽样而得，则其频谱的测量与周期连续信号方法相同，但应注意频谱的周期性延拓。

3. 抽样信号在一定条件下可以恢复出原信号，其条件是  $f_s \geq 2B_f$ ，其中  $f_s$  为抽样频率， $B_f$  为原信号占有频带宽度。由于抽样信号频谱是原信号频谱的周期性延拓，因此，只要通过一截止频率为  $f_c$  ( $f_m \leq f_c \leq f_s - f_m$ ， $f_m$  是原信号频谱中的最高频率) 的低通滤波器就能

恢复出原信号。

如果  $f_s < 2B_f$ ，则抽样信号的频谱将出现混迭，此时将无法通过低通滤波器获得原信号。

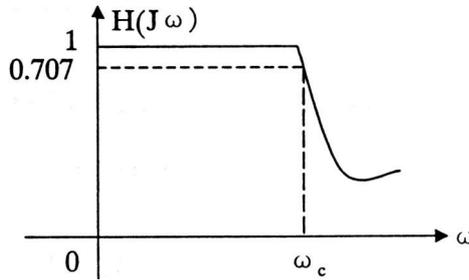


图 4-4 实际低通滤波器在截止频率附近频率特性曲线

在实际信号中，仅含有有限频率成分的信号是极少的，大多数信号的频率成分是无限制的，并且实际低通滤波器在截止频率附近频率特性曲线不够陡峭（如图 4-4 所示），若使  $f_s = 2B_f$ ， $f_c = f_m = B_f$ ，恢复出的信号难免有失真。为了减小失真，应将抽样频率  $f_s$  取高（ $f_s > 2B_f$ ），低通滤波器满足  $f_m < f_c < f_s - f_m$ 。

为了防止原信号的频带过宽而造成抽样后频谱混迭，实验中常采用前置低通滤波器滤除高频分量，如图 4-5 所示。若实验中选用原信号频带较窄，则不必设置前置低通滤波器。

本实验中的有源低通滤波器如图 4-6 所示。若给定截止频率  $f_c$ ，并取  $Q = \frac{1}{\sqrt{2}}$ （为避免幅频特性出现峰值）， $R_1 = R_2 = R$ ，则：

$$C_1 = \frac{Q}{\pi f_c R} \quad (4-1)$$

$$C_2 = \frac{1}{4\pi f_c Q R} \quad (4-2)$$

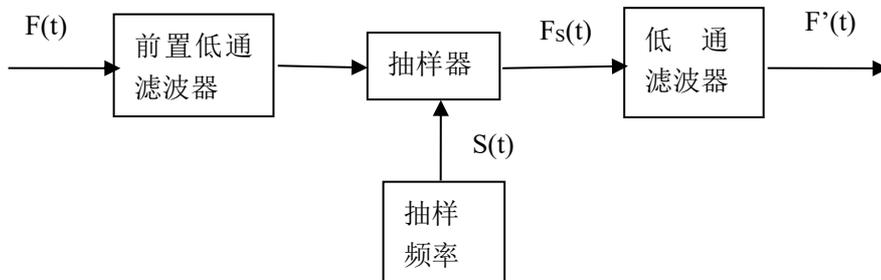


图 4-5 信号抽样流程图

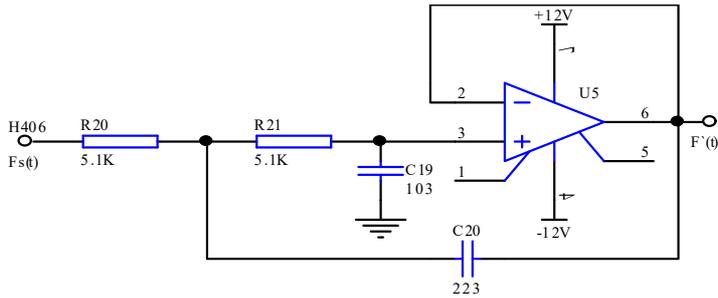


图 4-6 有源低通滤波器实验电路图

### 三、实验内容

1. 观察抽样信号波形。

- ① 信号发生器 H701 输出  $f=1\text{KHz}$ ,  $A=1\text{V}$  有效值的三角波。
- ② 连接 H701 与 P401, 示波器观察 TP403 ( $F_s(t)$ ) 的波形。
- ③ 调整 RW1 可改变抽样频率。

2. 验证抽样定理与信号恢复

- (1) 信号恢复实验方案方框图如图 4-7 所示。

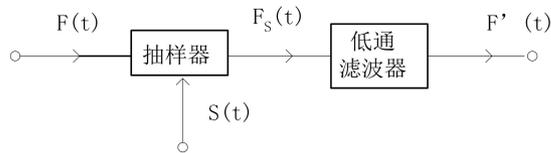


图 4-7 信号恢复实验方框图

(2) 分别设计两个有源低通滤波器, 电路形式如图 4-6 所示。分别设  $f_{c1}=2\text{KHz}$ ,  $f_{c2}=4\text{KHz}$ ,  $R_1=R_2=5.1\text{K}\Omega$ , 试计算  $C_1$  和  $C_2$  值 (计算公式见 4-1, 4-2)。

(3) 信号发生器输出  $f=1\text{KHz}$ ,  $A=1\text{V}$  有效值的三角波接于 P401,  $F_s(t)$  的输出端 (P403) 与低通滤波器输入端 H406 相连, 示波器 CH1 接于 TP401 观察抽样信号, CH2 接于 F'(t) 观察恢复的信号波形。

(4) 设  $1\text{KHz}$  的三角波信号的有效带宽为  $3\text{KHz}$ ,  $F_s(t)$  信号分别通过截止频率为  $f_{c1}$  和  $f_{c2}$  低通滤波器, 观察其原信号的恢复情况, 并完成下列观察任务。

1. 当抽样频率为 3KHz、截止频率为 2KHz 时：

Fs(t)的波形	F'(t)波形

2. 当抽样频率为 6KHz、截止频率为 2KHz 时：

Fs(t)的波形	F'(t)波形

3. 当抽样频率为 12KHz、截止频率为 2KHz 时：

Fs(t)的波形	F'(t)波形

4. 当抽样频率为 3KHz、截止频率为 4KHz 时：

Fs(t)的波形	F'(t)波形

5. 当抽样频率为 6KHz、截止频率为 4KHz 时：

$F_s(t)$ 的波形	$F'(t)$ 波形

6. 当抽样频率为 12KHz、截止频率为 4KHz 时：

$F_s(t)$ 的波形	$F'(t)$ 波形

### 四、实验报告要求

1. 整理数据，正确填写表格，总结离散信号频谱的特点；
2. 整理在不同抽样频率（三种频率）情况下， $F(t)$ 与 $F'(t)$ 波形，比较后得出结论；
3. 比较 $F(t)$ 分别为正弦波和三角形，其 $F_s(t)$ 的频谱特点；
4. 通过本实验你有何体会。

### 五、实验设备

1. 双踪示波器                    1 台
2. 信号系统实验箱                1 台
3. 频率计                            1 台

## 实验五 二阶网络状态轨迹的显示

### 一、实验目的

1. 掌握观察二阶电路状态轨迹的方法。
2. 检验根据给定任务，自行拟定实验方案的能力。

### 二、实验原理说明

1. 实验电路图如图 5-1 所示。这是典型的二阶电路。

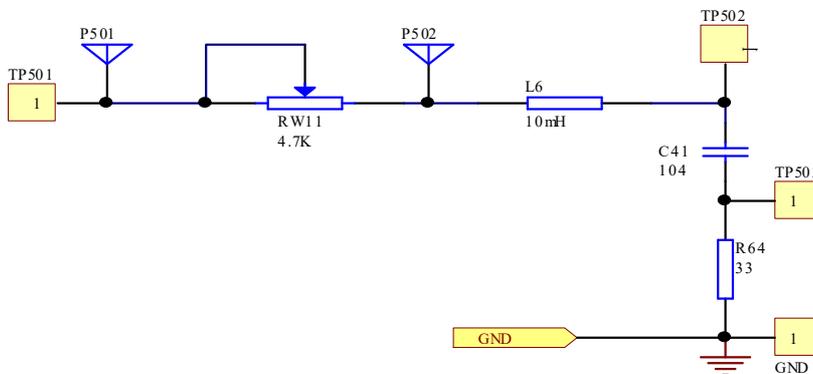
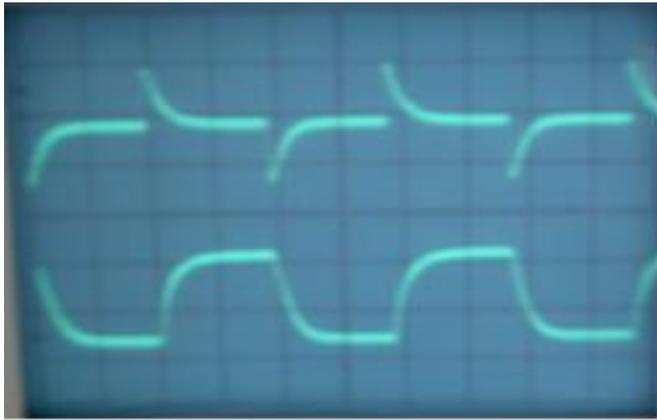


图 5-1 二阶网络状态轨迹实验电路图

2. 任何变化的物理过程在第一时刻所处的“状态”（状况、形态或姿态），都可以用若干被称为“状态变量”的物理量来描述。电路也不例外，若一个含储能元件的网络在不同时刻各支路电压、电流都在变化，那么电路在不同时刻所处的状态也不相同。在电路中是选电容的电压和电感的电流为状态变量，所以了解了电路中  $V_c$  和  $i_L$  的变化就可以了解电路状态的变化。

3. 对  $n$  阶网络可以用  $n$  个状态变量来描述。可以设想一个  $n$  维空间，每一维表示一个状态变量，构成一个“状态空间”。网络在每一时刻所处的状态可以用状态空间中的一个点来表达，随着时间的变化，点的移动形成一个轨迹，称为“状态轨迹”。二阶网络的状态空间就是一个平面，状态轨迹是平面上的一条曲线。电路参数不同状态轨迹也不相同，电路处于过阻尼、欠阻尼和无阻尼情况的状态轨迹如图 5-2、5-3 和 5-4 所示。



(a)  $-i_L$ (上)和 $-U_C$ (下) 波形



(b) 状态轨迹

图 5-2 RLC 电路在过阻尼时的状态轨迹

图 5-2 (a) 中上面为过阻尼  $-i_L(t)$  波形，下面为过阻尼  $-U_C(t)$  波形，图 5-2 (b) 为过阻尼状态轨迹图。



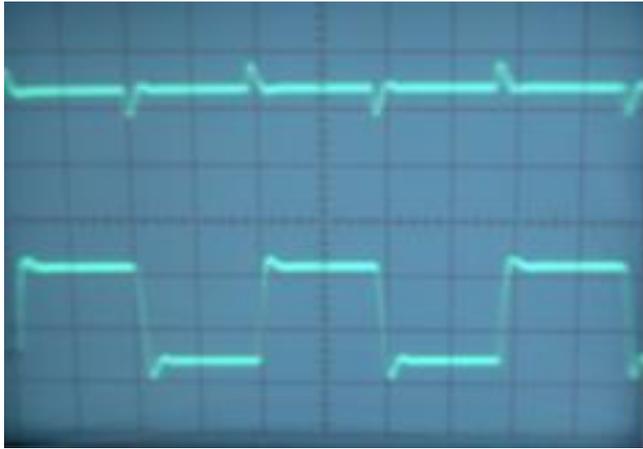
(a)  $-i_L$  (上) 和  $-U_C$ (下) 波形



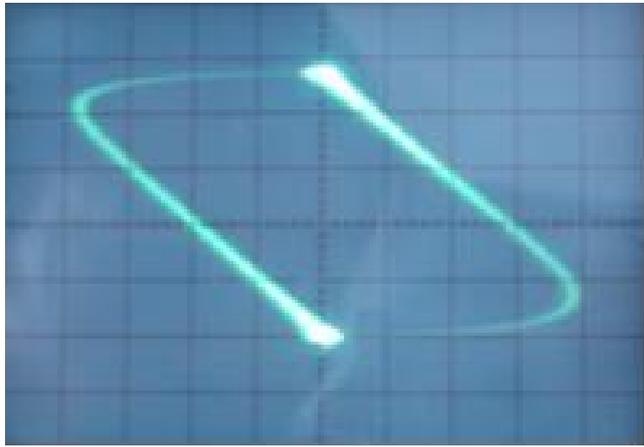
(b) 状态轨迹

图 5-3 RLC 电路在欠阻尼时的状态轨迹

图 5-3(a) 上面为欠阻尼  $-i_L(t)$  的波形，下面为欠阻尼  $-u_C(t)$  波形。图 5-3(b) 为欠阻尼状态轨迹图。



(a)  $-i_L$  (上) 和  $-U_C$ (下) 波形



(b) 状态轨迹

图 5-4 RLC 电路在无阻尼状态时的状态轨迹

图 5-4 (a) 上面为临界  $-i_L(t)$  波形，下面为临界  $-u_c(t)$  波形，图 5-4(b) 为临界状态轨迹图。

### 三、实验内容

用示波器显示二阶网络状态轨迹的原理与显示李沙育图形完全一样。它采用方波作为激励源，使过渡过程能重复出现，以便于用一般示波器观察。

- ① 将  $f=1\text{KHz}$ 、幅度为  $1.5\text{V}$  的方波激励接于 P501 处；
- ② 示波器工作方式为“X-Y”，CH1 “+” 接地，“-” 接 TP503，CH2 “+” 接 TP502，“-” 接于 TP503 处，并且 CH2 波形反向。

③ 调整 RW11，使电路工作于不同状态（欠阻尼、过阻尼、无阻尼）。可观察到如图 5-2（b）、5-3（b）及 5-4（b）所示的轨迹状态图。

请特别注意，示波器如上连接，则观察到的是  $-U_R$  和  $-U_C$  波形，而  $i_L$  与  $U_R$  波形一致，因此 CH<sub>1</sub> 观察的是  $-i_L$  波形、CH<sub>2</sub> 观察的是  $-U_C$  波形。因为由方波激励，它有正负两次跳变，因此所观察到的状态轨迹如图 5-2(b)、5-3（b）和 5-4(b) 所示，图中左半边对应于正跳变引起的状态变化，右半边则是负跳变相应的状态变化。

注：当用万用表测量可变电阻 WR11 的电阻值时，信号源要撤离（断开 H701 与 P501 之间的连接）。

### 四、实验报告要求

绘制不同状态的轨迹。

### 五、实验设备

- |             |     |
|-------------|-----|
| 1. 双踪示波器    | 1 台 |
| 2. 信号与系统实验箱 | 1 台 |

## 实验六 一阶电路的暂态响应

### 一、实验目的

1. 掌握一阶电路暂态响应的原理；
2. 观测一阶电路的时间常数  $\tau$  对电路暂态过程的影响。

### 二、实验原理说明

含有 L、C 储能元件的电路通常用微分方程来描述，电路的阶数取决于微分方程的阶数。凡是用一阶微分方程描述的电路称为一阶电路。一阶电路由一个储能元件和电阻组成，有两种组合：RC 电路和 RL 电路。图 6-1 和图 6-2 分别描述了 RC 电路与 RL 电路的基本连接示意图。

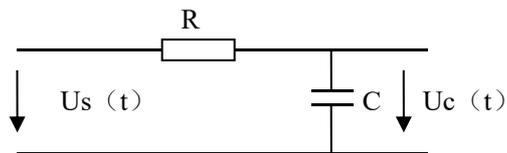


图 6-1 RC 电路连接示意图

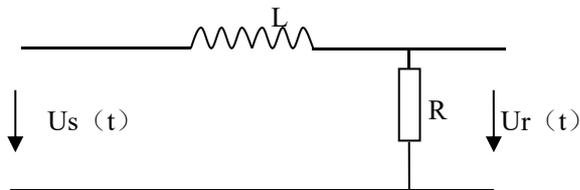


图 6-2 RL 电路连接示意图

根据给定的初始条件和列写出的一阶微分方程以及激励信号，可以求得一阶电路的零输入响应和零状态响应。当系统的激励信号为阶跃函数时，其零状态电压响应一般可表示为下列两种形式：

$$u(t) = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (t \geq 0)$$

$$u(t) = U_0 (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (t \geq 0)$$

其中， $\tau$  为电路的时间常数。在 RC 电路中， $\tau = RC$ ；在 RL 电路中， $\tau = L/R$ 。零状态电流响应的形式与之相似。本实验研究的暂态响应主要是指系统的零状态电压响应。

### 三、实验内容

一阶电路的零状态响应，是系统在无初始储能或状态为零情况下，仅由外加激励源引起的响应。

为了使我们能够在仪器上看到稳定的波形，通常用周期性变化的方波信号作为电路的激励信号。此时电路的输出即可以看成是研究脉冲序列作用于一阶电路，也可看成是研究一阶电路的直流暂态特性。即用方波的前沿来代替单次接通的直流电源，用方波的后沿来代替单次断开的直流电源。方波的半个周期应大于被测一阶电路的时间常数的 3-5 倍；当方波的半个周期小于被测电路时间常数 3-5 倍时，情况则较为复杂。

#### 信号源：

① SW703 置于“方波”，SW701 置于“900HZ-10KHZ”档；

② 调节 WR704 和 WR705，使频率为 2.5KHz，调节电位器 WR706 使输出幅度为 1.5V；

#### 1. 一阶 RC 电路的观测

实验电路连接图如图 6-3 (a) 所示。

① 连接 H701 与 P601，将信号输入一阶电路；

② 连接 P602 与 P604；

③ 将示波器连接在 TP604 上，观测输出波形；

④ 根据 R、C 计算出时间常数  $\tau$ ；

⑤ 根据实际观测到的波形计算出实测的时间常数  $\tau$ ；

⑥ 改变 P602 与 P604 间的连接，可改变为 P602 连 P605、P603 连 P604、P603 连 P605（注：当连接点改在 P605 时，输出测量点应该在 TP605）；

⑦ 重复上面的实验过程，将结果填入表 6-1 中

表 6-1 一阶 RC 电路

连接点	R (k $\Omega$ )	C (pF)	$\tau = RC$ ( $\mu s$ )	实测 $\tau$ 值	测量点
P602—P604	10	2200			TP604
P602—P605	10	4700			TP605
P603—P604	20	2200			TP604
P603—P605	20	4700			TP605

2. 一阶 RL 电路的观测

实验电路连接图如图 6-3 (b) 所示。

信号源：频率和幅度保持不变。

- ① 连接 P701 与 P607，将信号输入一阶电路；
- ② 连接 P606 与 P609
- ③ 将示波器连接在 TP609 上，观测输出波形
- ④ 根据 R、L 计算出时间常数  $\tau$
- ⑤ 根据实际观测到的波形计算出实测的时间常数  $\tau$
- ⑥ 改变 P606 与 P909 间的连接，可改变为 P606 连 P610，此时输出测量点也需相应的改为 TP610
- ⑦ 重复上面的实验过程，将结果填入表 6-2 中

表 6-2 一阶 RL 电路

连接点	R (K $\Omega$ )	L (mH)	$\tau=L/R$ ( $\mu$ s)	实测 $\tau$ 值	测量点
P606—P609	1	10			TP609
P606—P610	0.47	10			TP610

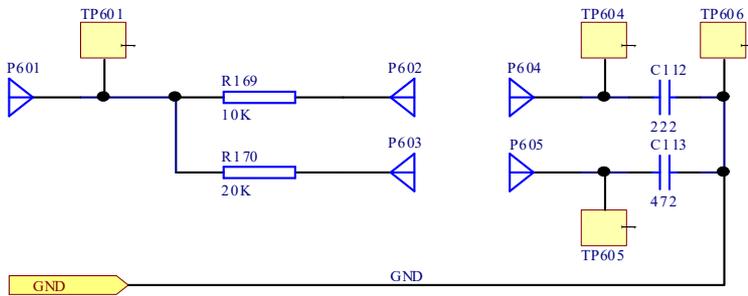


图 6-3 (a) RC 一阶电路实验连接图

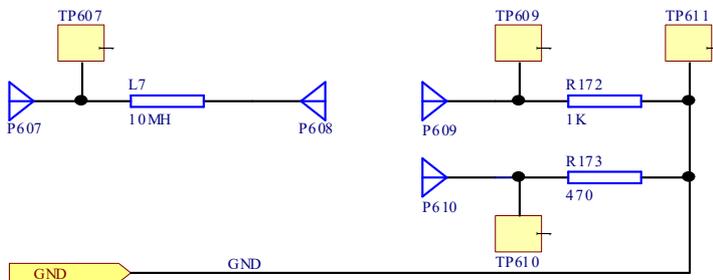


图 6-3 (b) RL 一阶电路实验连接图

### 四、实验报告要求

1. 将实验测算出的时间常数分别填入表 6-1 与表 6-2 中，并与理论计算值进行比较。
2. 画出方波信号作用下 RC 电路、RL 电路各状态下的响应电压的波形（绘图时注意波形的对称性）。

### 五、实验设备

- |             |     |
|-------------|-----|
| 1. 双踪示波器    | 1 台 |
| 2. 信号与系统实验箱 | 1 台 |

## 实验七 二阶电路的暂态响应

### 一、实验目的

观测 RLC 电路中元件参数对电路暂态的影响。

### 二、实验原理说明

#### 1. RLC 电路的暂态响应

可用二阶微分方程来描绘的电路称为二阶电路。RLC 电路就是其中一个例子。

由于 RLC 电路中包含有不同性质的储能元件，当受到激励后，电场储能与磁场储能将会相互转换，形成振荡。如果电路中存在着电阻，那么储能将不断地被电阻消耗，因而振荡是减幅的，称为阻尼振荡或衰减振荡。如果电阻较大，则储能能在初次转移时，它的大部分就可能被电阻所消耗，不产生振荡。

因此，RLC 电路的响应有三种情况：欠阻尼、临界阻尼、过阻尼。以 RLC 串联电路为例：

设  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  为回路的谐振角频率， $\alpha = \frac{R}{2L}$  为回路的衰减常数。当阶跃信号

$u_s(t) = U_s(t \geq 0)$  加在 RLC 串联电路输入端，其输出电压波形  $u_c(t)$ ，由下列公式表示。

(1)  $\alpha^2 < \omega_0^2$ ，即  $R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ ，电路处于欠阻尼状态，其响应是振荡性的。其衰减振

荡的角频率  $\omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}$ 。此时有：

$$u_c(t) = [1 - \frac{\omega_0}{\omega_d} \bullet e^{-\alpha t} \cos(\omega_d t - \theta)] U_s \quad (t \geq 0)$$

其中  $\theta = \arctg \frac{\alpha}{\omega_d}$

(2)  $\alpha^2 = \omega_0^2$ ，即  $R = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ ，其电路响应处于临近振荡的状态，称为临界阻尼状

态。

$$u_c(t) = [1 - (1 + \alpha t)e^{-\alpha t}]U_s \quad (t \geq 0)$$

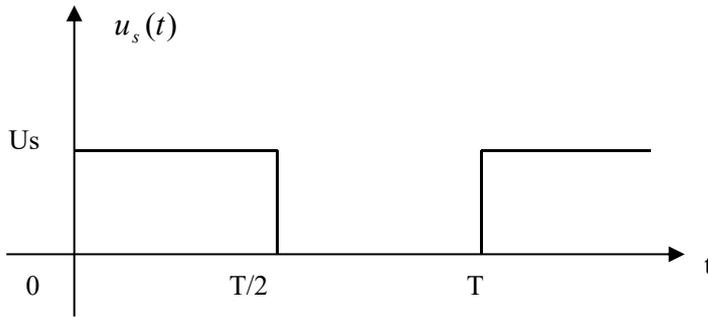
(3)  $\alpha^2 > \omega_0^2$ , 即  $R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ , 响应为非振荡性的, 称为过阻尼状态。

$$u_c(t) = [1 - \frac{\omega_0}{\sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}} e^{-\alpha t} \text{sh}(\sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2} t + x)]U_s \quad (t \geq 0)$$

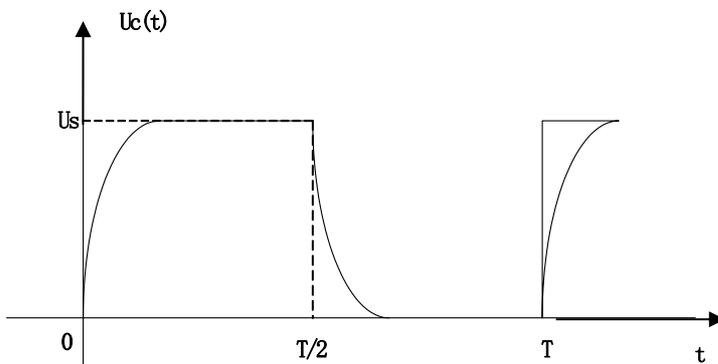
其中,  $x = th^{-1} \sqrt{1 - (\frac{\omega_0}{\alpha})^2}$

## 2. 矩形信号通过 RLC 串联电路

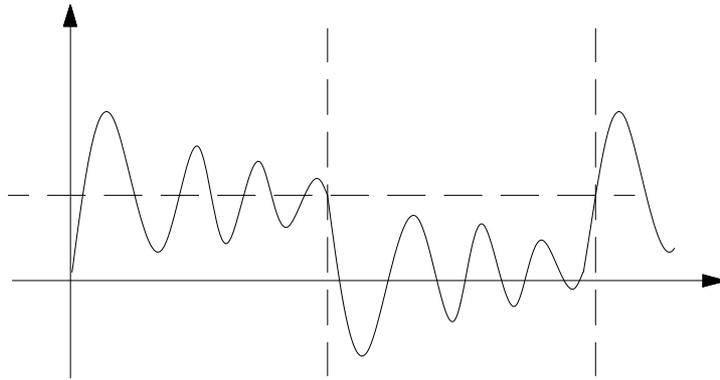
由于使用示波器观察周期性信号波形稳定而且易于调节, 因而在实验中我们用周期性矩形信号作为输入信号, RLC 串联电路响应的三种情况可用图 7-1 来表示。



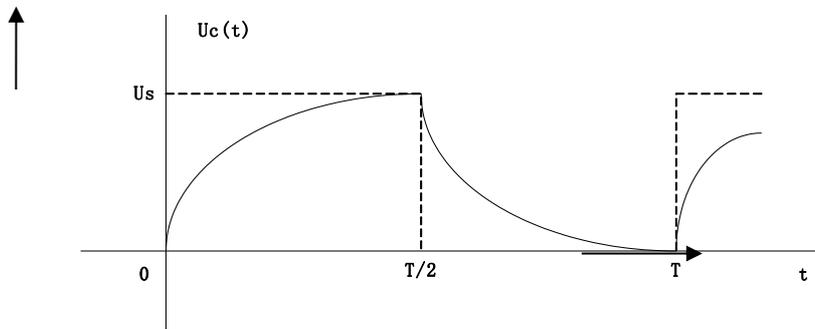
(a) 输入矩形波



(b) 临界阻尼波形



(c) 欠阻尼波形



(d) 过阻尼波形

图 7-1 RLC 串联电路的暂态响应

### 三、实验内容

实验平台上没有专门的二阶电路暂态响应模块，此实验电路可在二阶网络状态轨迹模块上实现。图 7-2 为 RLC 串联电路连接示意图，图 7-3 为实验电路图。

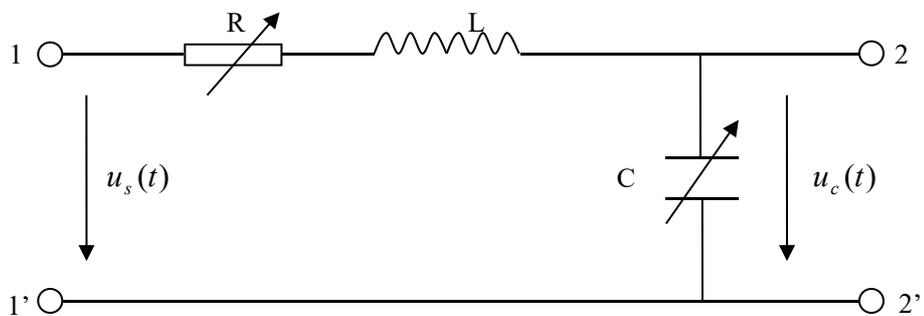


图 7-2 RLC 串联电路

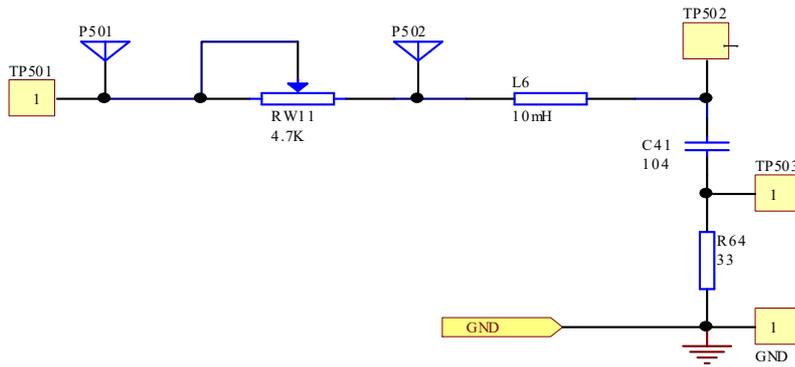


图 7-3 二阶暂态响应实验电路图

实验步骤：

- ① 连接 H701 与 P501；
- ② SW703 置于“方波”，SW701 置于 900HZ-10KHZ 档；
- ③ 调节 WR704 和 WR705 按钮,使频率为 1.2KHz，调节电位器 WR706 使输出幅度为 1.5V。
- ④ 将示波器接于 TP502 上，观测  $u_c(t)$  的波形；
- ⑤ 完成观测要求：

(1) 观测  $u_c(t)$  的波形

RLC 串联电路中的电感  $L=10\text{mH}$ ，电容  $C=0.1\ \mu\text{F}$ ，调节 RW11 的阻值为  $100\ \Omega$ ，观察示波器上  $u_c(t)$  的波形的变化，并描绘其波形图，与理论计算值进行比较。

(2) 观测 RLC 串联电路振荡、临界、阻尼三种工作状态下  $u_c(t)$  的波形，

改变 RW11 的阻值由  $100\ \Omega$  逐步增大，观察其  $u_c(t)$  波形变化的情况。

a.记下临界阻尼状态时 RW11 的阻值，并描绘其  $u_c(t)$  的波形。

b.描绘过阻尼状态下 RW11 的阻值  $R=4\text{k}\ \Omega$  时  $u_c(t)$  的波形。

四、实验报告要求

描绘 RLC 串联电路振荡、临界、阻尼三种状态下的  $u_c(t)$  波形图，并将各实测数据列写成表，与理论计算值进行比较。

## 五、实验设备

1. 双踪示波器 1 台
2. 信号系统实验箱 1 台

## 实验八 二阶电路传输特性

### 一、实验目的

1. 了解二阶有源滤波网络的结构组成及电路传输特性；
2. 了解负阻抗在串联振荡电路中的应用。

### 二、实验原理说明

1. 二阶有源带通滤波网络如图 8-1 所示。

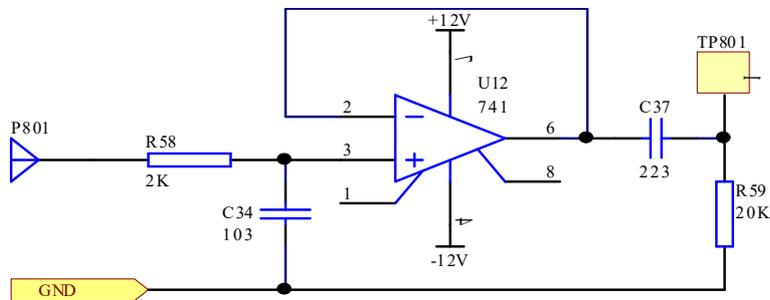


图 8-1 二阶有源带通滤波网络

其系统转移函数为：

$$H(s) = \frac{U_o(s)}{U_i(s)} = \frac{k}{R_1 C_1} \cdot \frac{s}{(s + \frac{1}{R_1 C_1})(s + \frac{1}{R_2 C_2})}$$

带通滤波器的幅频特性如图 8-2 所示。

$$f_{p1}、f_{p2} \text{ 的理论值计算公式分别为 } f_{p1} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} \text{ 和 } f_{p2} = \frac{1}{2\pi R_2 C_2}, \text{ 其中 } R_1、$$

$C_1、R_2、C_2$  分别为图 8-1 中的 R201、C201、R202、C202。

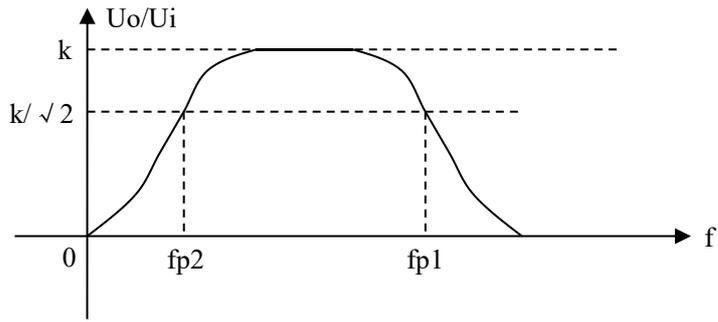


图 8-2 带通滤波器的幅频特性

即在低频端，主要由  $R_2C_2$  的高通特性起作用；在高频端，则由  $R_1C_1$  的低通特性起作用；在中频段， $C_1$  相当于开路， $C_2$  相当于短路，它们都不起作用，输入信号  $U_i$  经运算放大器后送往输出端。由此形成其带通滤波特性。

### 2. 负阻抗在串联振荡电路中的应用

在实验七“二阶电路的暂态响应”实验中，已知 RLC 串联电路工作于欠阻尼状态时，其输出电压  $U_c(t)$  波形是一个衰减振荡波形。若此时电路中电阻  $R=0$ ，则输出电压  $U_c(t)$  波形应当是一个等幅振荡波形。由于电路中电感  $L$  一般存在着较大的损耗电阻，因此，必须在电路中加上相同的负阻抗，使电路中的总电阻为 0。实际电路如图 8-3 所示。

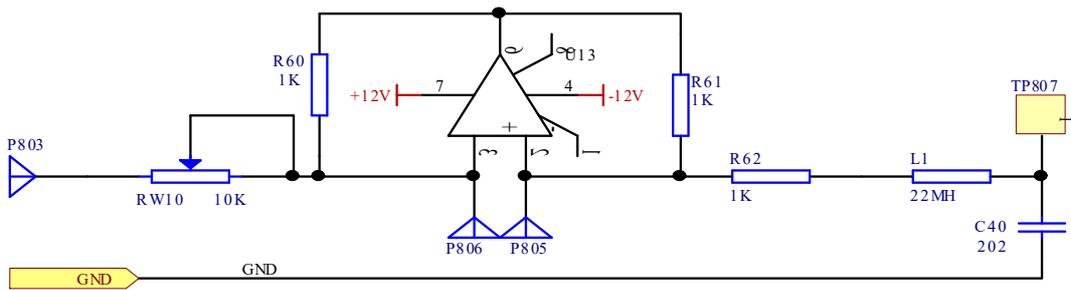


图 8-3 负阻抗在 RLC 串联振荡电路中的应用

## 三、实验内容

### 1. 测量一个有源带通滤波器的幅频特性

- ① 连接 H701 与 P801；
- ② SW703 置于“正弦波”；
- ③ 调节幅度旋钮 WR705 使信号输出幅度为 1.5V, 将示波器接于 TP801；
- ④ 分别连续调节 RW704、RW705 按钮，改变频率值，频率范围为 100Hz-10KHz。

⑤ 把测量的数据填入表 8-1 中，并绘出带通滤波器的幅频特性曲线。

表 8-1 测试数据

理论值 $f_{p1} = \text{---} \text{Hz}$ , $f_{p2} = \text{---} \text{Hz}$						实测值 $f'_{p1} = \text{---} \text{Hz}$ , $f'_{p2} = \text{---} \text{Hz}$					
$f$ (kHz)											
$U_i(V)$											
$U_o(V)$											
$ H(jf)  = \frac{U_o}{U_i}$											

其中， $f_{p1}$ 、 $f_{p2}$ 为截止频率的理论值； $f'_{p1}$ 、 $f'_{p2}$ 为截止频率的实测值。

2. 负阻抗在串联振荡电路中的应用

- ① 信号源产生一个频率为 500Hz，幅度为 1.5V 的方波。
- ② 连接 H701 与 P803，将示波器接于 TP807。
- ③ 调节电位器 RW10 的阻值。
- ④ 观察并记录示波器上波形的变化。

四、实验报告要求

填写各项实验任务的数据表格，描绘幅频特性曲线，并分析实验结果。

五、实验设备

- 1. 双踪示波器                      1 台
- 2. 信号系统实验箱                1 台

## 实验九 矩形脉冲信号的分解

### 一、实验目的

1. 分析典型的矩形脉冲信号，了解矩形脉冲信号谐波分量的构成；
2. 观察矩形脉冲信号通过多个数字滤波器后，分解出各谐波分量的情况。

### 二、实验原理

#### 1. 信号的频谱与测量

信号的时域特性和频域特性是对信号的两种不同的描述方式。对于一个时域的周期信号  $f(t)$ ，只要满足狄利克莱(Dirichlet)条件，就可以将其展开成三角形式或指数形式的傅里叶级数。

例如，对于一个周期为  $T$  的时域周期信号  $f(t)$ ，可以用三角形式的傅里叶级数求出它的各次分量，在区间  $(t_1, t_1 + T)$  内表示为

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\Omega t + b_n \sin n\Omega t)$$

即将信号分解成直流分量及许多余弦分量和正弦分量，研究其频谱分布情况。

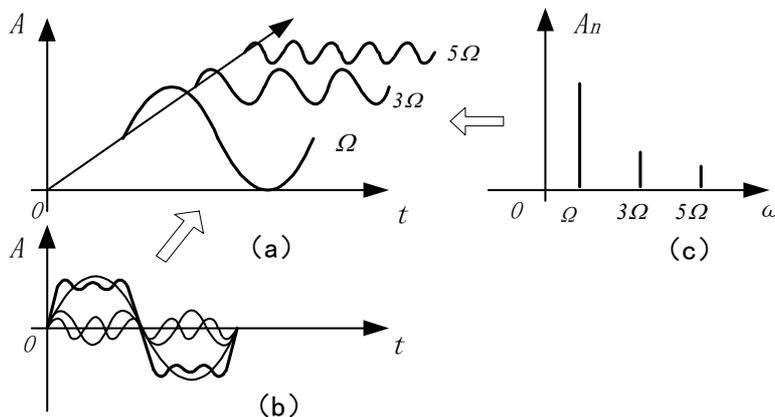


图 9-1 信号的时域特性和频域特性

信号的时域特性与频域特性之间有着密切的内在联系，这种联系可以用图 9-1 来形象地表示。其中图 9-1(a)是信号在幅度--时间--频率三维坐标系统中的图形；图 9-1(b)是信号

在幅度--时间座标系统中的图形即波形图；把周期信号分解得到的各次谐波分量按频率的高低排列，就可以得到频谱图。反映各频率分量幅度的频谱称为振幅频谱。图 9-1(c)是信号在幅度--频率座标系统中的图形即振幅频谱图。反映各分量相位的频谱称为相位频谱。在本实验中只研究信号振幅频谱。周期信号的振幅频谱有三个性质：离散性、谐波性、收敛性。测量时利用了这些性质。从振幅频谱图上，可以直观地看出各频率分量所占的比重。测量方法有同时分析法和顺序分析法。

同时分析法的基本工作原理是利用多个滤波器，把它们的中心频率分别调到被测信号的各个频率分量上。当被测信号同时加到所有滤波器上，中心频率与信号所包含的某次谐波分量频率一致的滤波器便有输出。在被测信号发生的实际时间内可以同时测得信号所包含的各频率分量。在本实验中采用同时分析法进行频谱分析，如图 9-2 所示。

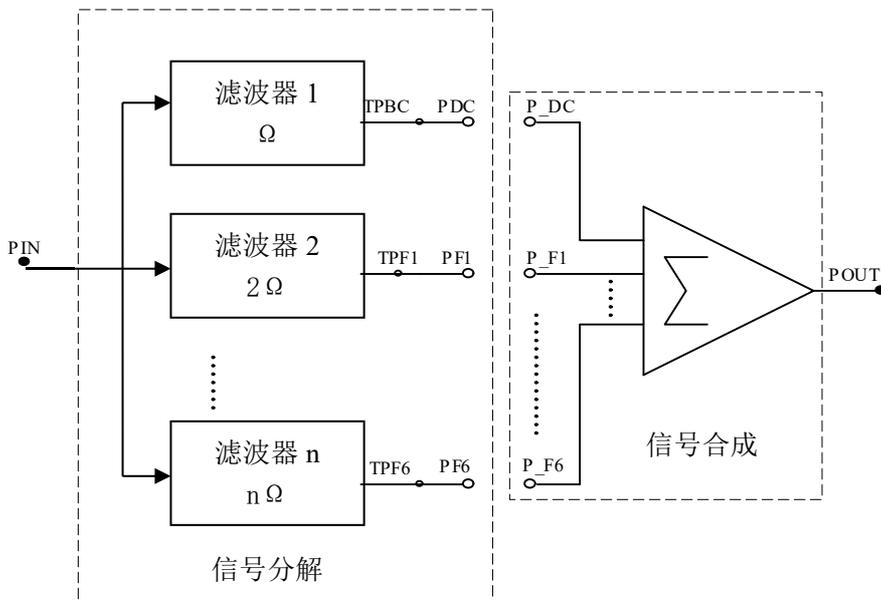


图 9-2 用同时分析法进行频谱分析

其中，PDC 出来的是基频信号，即基波；PF1 出来的是二次谐波；PF3 出来的是三次谐波，依此类推。

## 2. 矩形脉冲信号的频谱

一个幅度为  $E$ ，脉冲宽度为  $\tau$ ，重复周期为  $T$  的矩形脉冲信号，如图 9-3 所示。

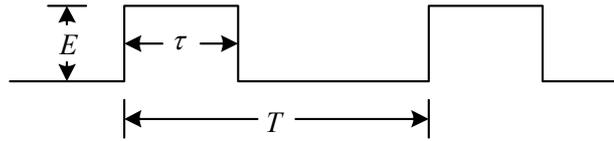


图 9-3 周期性矩形脉冲信号

其傅里叶级数为:

$$f(t) = \frac{E\tau}{T} + \frac{2E\tau}{T} \sum_{i=1}^n Sa\left(\frac{n\pi\tau}{T}\right) \cos n\omega t$$

该信号第  $n$  次谐波的振幅为:

$$a_n = \frac{2E\tau}{T} Sa\left(\frac{n\tau\pi}{T}\right) = \frac{2E\tau}{T} \frac{\sin(n\tau\pi/T)}{n\tau\pi/T}$$

由上式可见第  $n$  次谐波的振幅与  $E$ 、 $T$ 、 $\tau$  有关。

### 3. 信号的分解提取

进行信号分解和提取是滤波系统的一项基本任务。当我们仅对信号的某些分量感兴趣时，可以利用选频滤波器，提取其中有用的部分，而将其它部分滤去。

这里采用传统的模拟滤波器来实现信号的分解。因此设计了七个滤波器，其中一个低通滤波器，六个带通滤波器，将复杂信号分解提取某几次谐波。

分解输出的七路信号可以用示波器观察，测量点分别是 TPDC、TPF1、TPF2、TPF3、TPF4、TPF5、TPF6。

## 三、实验内容

1. 矩形脉冲信号的脉冲幅度  $E$  和频率  $f$  按要求给出，改变信号的脉宽  $\tau$ ，测量不同  $\tau$  时信号频谱中各分量的大小。

2. 将主板上的电源+12V、-12V、GND 接入信号分解和合成模块的相应插孔。

3. 连接 H701 与 PIN。

4. 示波器可分别在 TPDC、TPF1、TPF2、TPF3、 TPF4、TPF5、TPF6 上观测信号各次谐波的波形。

根据表 9-1、表 9-2 中给定的数值进行实验，并记录实验获得的数据填入表中。

**注意：**在调节输入信号的参数值（频率、幅度等）时，需在 H701 与 PIN 连接后，用示波器在 PIN 上观测调节。

(1)  $\frac{\tau}{T} = 1/2$ ： $\tau$  的数值按要求调整，测得的信号频谱中各分量的大小，其数据按表的要求记录。

表 9-1  $\frac{\tau}{T} = 1/2$  的矩形脉冲信号的频谱

谐波频率 (kHz)		1f	2f	3f	4f	5f	6f	7f
理论值	电压有效值							
	电压峰峰值							
测量值	电压有效值							
	电压峰峰值							

(2)  $\frac{\tau}{T} = 1/4$  : 矩形脉冲信号的脉冲幅度  $E$  和频率  $f$  不变,  $\tau$  的数值按要求调整, 测得的信号频谱中各分量的大小, 其数据按表的要求记录。

表 9-2  $\frac{\tau}{T} = 1/4$  的矩形脉冲信号的频谱

谐波频率 (kHz)		1f	2f	3f	4f	5f	6f	7f
理论值	电压有效值							
	电压峰峰值							
测量值	电压有效值							
	电压峰峰值							

#### 四、实验报告要求

1. 按要求记录各实验数据, 填写表 9-1、表 9-2。
2. 描绘三种被测信号的振幅频谱图。

#### 五、实验设备

1. 信号与系统实验箱 1 台
2. 双踪示波器 1 台
3. 毫伏表 1 台

#### 六、思考题:

1.  $\frac{\tau}{T} = 1/4$  的矩形脉冲信号在哪些谐波分量上幅度为零? 请画出基波信号频率为 5KHz 的矩形脉冲信号的频谱图 (取最高频率点为 10 次谐波)。
2. 要提取一个  $\frac{\tau}{T} = 1/4$  的矩形脉冲信号的基波和 2、3 次谐波, 以及 4 次以上的高次谐波, 你会选用几个什么类型 (低通? 带通? ...) 的滤波器?

## 实验十 矩形脉冲信号的合成

### 一、实验目的

1. 进一步了解波形分解与合成原理；
2. 进一步掌握用傅里叶级数进行谐波分析的方法；
3. 观察矩形脉冲信号分解出的各谐波分量可以通过叠加合成出原矩形脉冲信号。

### 二、实验原理说明

实验原理部分参考实验九矩形脉冲信号的分解实验。

矩形脉冲信号通过七路滤波器输出的各次谐波分量可通过一个加法器，合成还原为原输入的矩形脉冲信号，合成后的波形可以用示波器在观测点 POUT 进行观测。如果滤波器设计正确，则分解前的原始信号（观测 PIN）和合成后的信号应该相同。信号波形的合成电路图如图 10-1 所示。

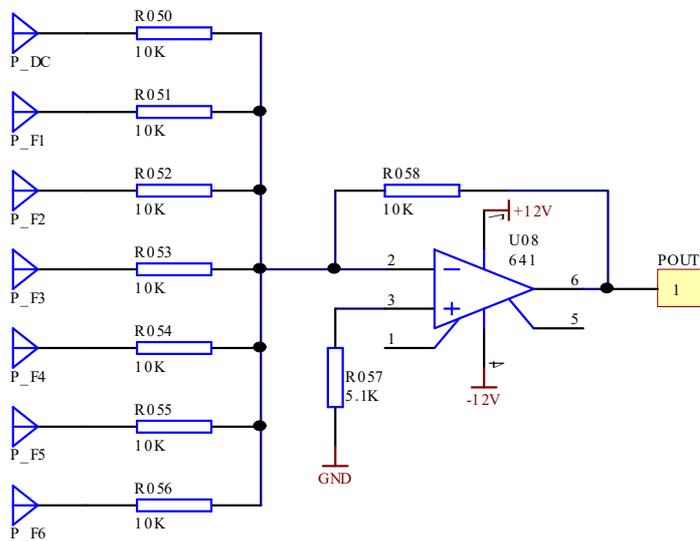


图 10-1 信号合成电路图

### 三、实验内容

1. 按实验九矩形脉冲信号分解中的实验步骤，使各输出端输出 50HZ 方波的各次谐波。

2. 电路中用七根导线分别控制各路滤波器输出的谐波是否参加信号合成，用导线把 PDC 与 P\_DC 连接起来，则基波参于信号的合成。用导线把 PF1 与 P\_F1 连接起来，则二次谐波参于信号的合成，以此类推，若七根导线依次连接 PDC 与 P\_DC、PF1 与 P\_F1、PF2 与 P\_F2、PF3 与 P\_F3、PF3 与 P\_F3、PF4 与 P\_F4、PF5 与 P\_F5、PF6 与 P\_F6，则各次谐波全部参于信号合成。另外可以选择多种组合进行波形合成，例如可选择基波和三次谐波的合成；可选择基波、三次谐波和五次谐波的合成等等。按表 10-1 的要求，在输出端观察和记录合成结果。

表 10-1 矩形脉冲信号的各次谐波之间的合成

波形合成要求	合成后的波形
基波与三次谐波合成	
三次与五次谐波合成	
基波与五次谐波合成	
基波、三次与五次谐波合成	
基波、二、三、四、五、六、七及八次以上高次谐波的合成	
没有二次谐波的其他谐波合成	
没有五次谐波的其他谐波合成	
没有八次以上高次谐波的其他谐波合成	

### 四、实验报告要求

1. 据示波器上的显示结果，画图填写表 11-1。
2. 矩形脉冲信号为例，总结周期信号的分解与合成原理。

### 五、实验设备

- |             |     |
|-------------|-----|
| 1. 信号与系统实验箱 | 1 台 |
| 2. 双踪示波器    | 1 台 |

### 六、思考题

方波信号在哪些谐波分量上幅度为零？请画出信号频率为 2KHz 方波信号的频谱图。

## 实验十一 谐波幅度对波形合成的影响

### 一、实验目的

1. 理解谐波幅度对波形合成的作用；
2. 进一步加深理解时域周期信号的各频率分量在振幅频谱图上所占的比重。

### 二、实验原理说明

#### 1. 矩形脉冲信号的频谱

一个幅度为  $E$ ，脉冲宽度为  $\tau$ ，重复周期为  $T$  的矩形脉冲信号，如图 11-1 所示。

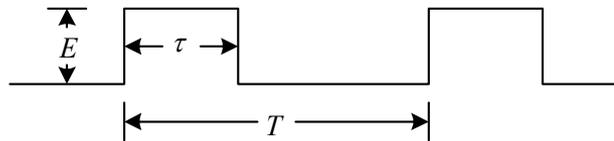


图 11-1 周期性矩形脉冲信号

其傅里叶级数为：

$$f(t) = \frac{E\tau}{T} + \frac{2E\tau}{T} \sum_{i=1}^n Sa\left(\frac{n\pi\tau}{T}\right) \cos n\omega t$$

该信号第  $n$  次谐波的振幅为：

$$a_n = \frac{2E\tau}{T} Sa\left(\frac{n\tau\pi}{T}\right) = \frac{2E\tau}{T} \frac{\sin(n\tau\pi/T)}{n\tau\pi/T}$$

由上式可见第  $n$  次谐波的振幅与  $E$ 、 $T$ 、 $\tau$  有关，在矩形脉冲信号的  $E$ 、 $T$ 、 $\tau$  决定后，各次谐波的幅度就决定了。

#### 2. 方波信号的振幅频谱图

$\frac{\tau}{T} = 1/2$  的矩形脉冲信号就是方波信号，若基波（即 1 次谐波）的振幅归一化为 1。根据上式可得到它的各次谐波的振幅（归一化值）：

表 11-1 方波的振幅频谱表

谐波	振幅
1	1
2	0
3	三分之一
4	0
5	五分之一
6	0
7	七分之一
...	...

### 3. 调节谐波分量

通过调整可变电阻 RW1、RW3、RW5、RW7、RW9、RW11、RW13 来调整各次谐波输出幅度。

## 三、实验内容

1. 按实验十矩形脉冲信号合成中的实验步骤，使 POUT 端输出 50HZ 的合成波形。
2. 分别按表 11-2、表 11-3、表 11-4、表 11-5、表 11-6、表 11-7，调整各谐波幅值，观察并记录合成后的波形。

表 11-2 各谐波振幅频谱表

谐波	振幅	合成后的波形
1	二分之一	
2	0	
3	三分之一	
4	0	
5	五分之一	
6	0	
7	七分之一	

表 11-3 各谐波振幅频谱表

谐波	振幅	合成后的波形
1	1	
2	0	
3	三分之一	
4	0	
5	五分之一	
6	0	
7	七分之一	

表 11-4 各谐波振幅频谱表

谐波	振幅	合成后的波形
1	1	
2	0	
3	二分之一	
4	0	
5	五分之一	
6	0	
7	七分之一	

表 11-5 各谐波振幅频谱表

谐波	振幅	合成后的波形
1	1	
2	0	
3	三分之一	
4	0	
5	四分之一	
6	0	
7	七分之一	

表 11-6 各谐波振幅频谱表

谐波	振幅	合成后的波形
1	1	
2	0	
3	三分之一	
4	0	
5	三分之一	
6	0	
7	七分之一	

表 11-7 各谐波振幅频谱表

谐波	振幅	合成后的波形
1	1	
2	0	
3	三分之一	
4	0	
5	五分之一	
6	0	
7	五分之一	

#### 四. 实验报告要求

认真填写表 11-2、表 11-3、表 11-4、表 11-5、表 11-6、表 11-7，可根据教学情况选择以上各表的进行实验。

#### 五、实验设备

1. 双踪示波器 1 台
2. 信号系统实验箱 1 台

## 实验十二 AM 调制与解调

### 一、实验目的

1. 掌握 AM 调制器的组成；
2. 掌握非相干 AM（检波）解调器的基本原理；
3. 掌握相干 AM 解调器的基本原理。

### 二、实验原理

如图 12-1 所示，在通信过程中，一般一个用户只占据某一特定的频点与宽带，将信号的频谱搬移到载频  $f_0$  上，这一过程称为调制，最简单的调制方式有 AM 调制。如果一输入信号  $S(t)$ ，载频信号为  $X(t)$ ，则 AM 调制输出信号为：

$$y(t)=[1+a \times s(t)] \times x(t)$$

在接收端从 AM 已调制信号中恢复原始信号  $S(t)$  的过程称之为解调。对 AM 常用的解调方式有：非相干 AM（检波）解调和相干 AM 解调。

AM 非相干解调是将接收的 AM 信号通过一检波二极管，再经过一低通滤波器即可获得原始的模拟信号  $S(t)$ 。AM 的非相干解调不需要本地载波，此方法常用于民用通信设备中，可大大降低接收机的成本，提高整机通信的可靠性。

AM 的同步解调是将接收的 AM 信号与本地相干载波（同步载波）相乘。经过一低通滤波器获取原始的模拟信号  $S(t)$ 。同步解调需要在接收端产生与发送端频率相同的本地载波，该方法可以提高解调器的性能，也就是提高接收机的灵敏度。

### 三、实验模块说明

在本实验中有两路“AM 传输系统”模块，每个模块主要有四个单元组成：

- 1、信号发生单元，由载波、调制波两个部分组成。
- 2、一个乘发器，即调制器单元， $y(t)=s(t) \times x(t)$ 。
- 3、一个解调单元。
- 4、一个检波单元。

### 四、实验步骤

- 1、载波信号的产生

“载波 1”单元产生约 16KHZ 的正弦波信号。用小起子调节电位器 RW26，可以调节“载

波 1” 输出 VC1 的幅度。

“载波 2”单元产生约 32KHZ 的正弦波信号。用小起子调节电位器 RW28, 可以调节“载波 1” 输出 VC2 的幅度。

“调制波 1” 单元产生约 160HZ 的正弦波信号。用小起子调节电位器 RW27, 可以调节“调制波 1” 输出 VS1 的幅度。

“调制波 2” 单元产生约 800HZ 的正弦波信号。用小起子调节电位器 RW29, 可以调节“调制波 2” 输出 VS2 的幅度。

通常载波的输出幅度在 200mv 左右, 调制波输出幅度在 80mv 左右。可以用示波器来测量。

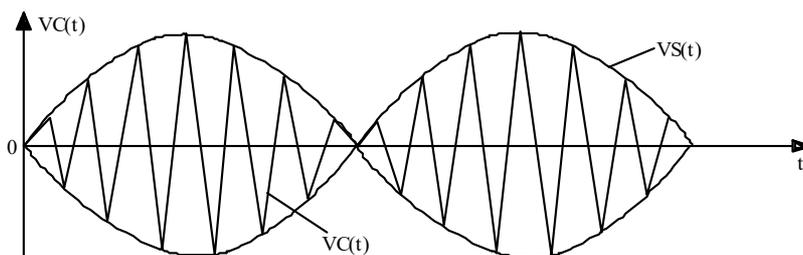
### 2、AM 调制波形的产生

(1) 将正弦波信号 VC1 作为 AM 的发送载波, 通过双头线将 VC1 与调制器 1 的输入 HC03 相连。

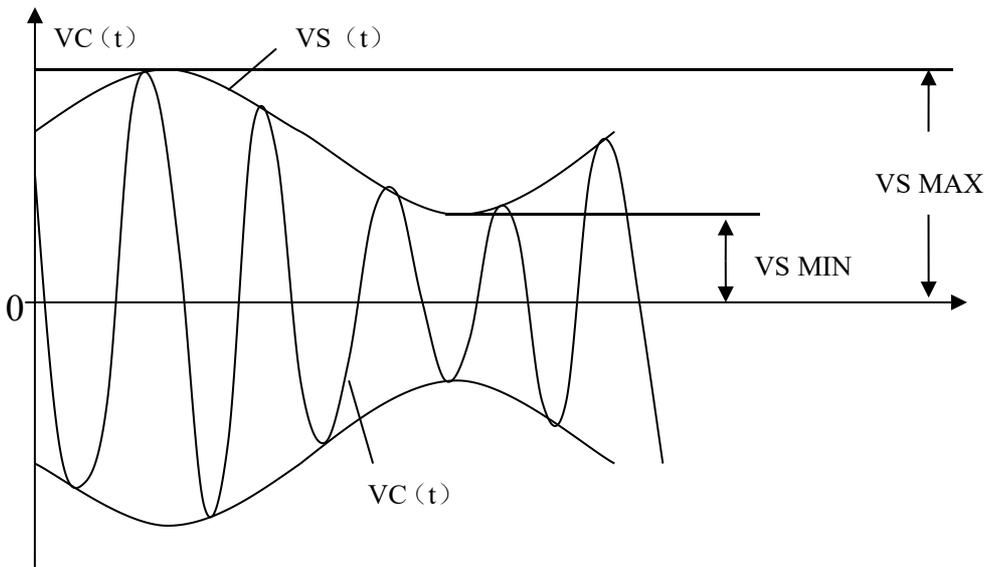
(2) 将正弦波信号 VS1 作为 AM 的发送信号, 通过双头线将 VS1 与调制器 1 的输入 HC01 相连。

(3) 调节调制器 1 单元的电位器 RW17 和 RW18, 可以在调制器 1 的输出端 UAM1 得到一抑制载波的 AM 调制信号。RW17 用来调节调制波的上下对称性, RW18 用来调节调制制度。

理想情况下, 可获得如下波形:



(a) 抑制载波的双边带调幅波



(b) 有载波的调幅波  
图 12-2 调制器输出的波形

### 3、AM 的检波解调

将上一步获得的 AM 调制信号送入检波器的输入端，即将“调制器 1”的输出端 UAM1 用双头线接至“检波器 1”的输入端 HC16，则在“检波器 1”的输出端 HC17 可得到解调信号，可用示波器观察。

### 4、AM 的同步解调

用双头线将“载波 1”的输出 VC1 接到“解调器 1”的输入 HC05，再将上一步获得的 AM 调制信号送入“解调器 1”的输入端，即将“调制器 1”的输出端 UAM1 用双头线接至“解调器 1”的输入端 HC04，则在“解调器 1”的输出端 HC06 可得到解调信号，可用示波器观察。

5、重复 1~4 步，对另一路“AM 传输系统”进行实验，即“载波 2”、“调制波 2”、“调制器 2”、“解调器 2”、“检波器 2”，并观察实验结果。

## 五、实验报告

- 1、画出 AM 调制器产生的框图；
- 2、在坐标纸上记录调制波、调制信号、解调信号和载频的波形；
- 3、解释幅度调制的原理；

4、比较非相干 AM 解调与相干 AM 解调的差别及它们的性能差异。

### 六、实验设备

- |            |     |
|------------|-----|
| 1. 双踪示波器   | 1 台 |
| 2. 信号系统实验箱 | 1 台 |

## 实验十三 FDM 频分复用实验

### 一、实验目的

- 1、掌握 FDM 复用的基本原理；
- 2、掌握 FDM 解复接的常用方法。

### 二、实验原理

在信道上（如无线信道）将若干路信号以某种方式汇合，统一在同一信道中进行传输称之为多路复用。在近代通信系统中普遍采用多路复用技术，如频分复用技术。

频分复用要求设备在发送端将各路信号频谱搬移到各不相同的频率范围内，使它们互不重叠，这样就可以复用同一信道传输。

接收端得用若干滤波器将各路信号分离，再经解调即还原为各路原始信号，如图 13-1 所示。

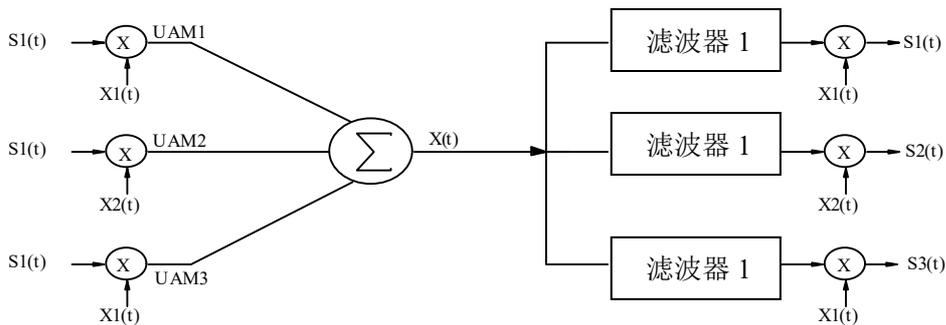


图 13-1 频分复用示意图

### 三、实验模块说明

在本实验箱中，FDM 传输系统包括了实验十二中的 AM 调制系统，一个有源加法器和一个八阶巴特沃斯高通滤波器，以及一个八阶巴特沃斯低通滤波器，其中：

- 1、AM 调制系统见实验十二，这里不再介绍。
- 2、有源加法器，主要是将各路调制信号进行汇合，生成 FDM 复用信号。
- 3、八阶巴特沃斯高通滤波器的截止频率为 30KHZ，可以分离 AM 信号 2。
- 4、八阶巴特沃斯低通滤波器的截止频率为 20KHZ，可以分离 AM 信号 1。

#### 四、实验步骤

1、载波信号的产生：见实验十二。

2、第一路 AM 调制波形的产生： $y(t) = s(t) \times x(t)$ ，其调制在 16KHZ 的载频上，见实验十二中步骤 2 的 AM 调制波形的产生。

3、第二路 AM 调制波形的产生： $y(t) = s(t) \times x(t)$ ，其调制在 32KHZ 的载频上，见实验十二中步骤 2、5 的 AM 调制波形的产生。

4、两路 AM 的复用：用双头线将上一步实验所获得的 AM 调制信号 UAM1 和 UAM2 送入“有源加法器”的两个响应的输入端，则在其输出端就得到一个 FDM 复用信号。

5、FDM 解复接（第一路信号）

(1) 将实验步骤 4 所获得的 FDM 信号送入“八阶巴特沃斯高通滤波器”和“八阶巴特沃斯低通滤波器”模块，分别观察相应的输出信号。

(2) 将“八阶巴特沃斯高通滤波器”的输出信号 HE05 接到“解调器 2”的一输入 HC13，“载波 2”的输出端 VC2 接到“解调器 2”的另一个输入 HC14，然后观察“解调器 2”的输出 HC15 的波形，与“调制波 2”输出波形 VS2 进行比较。

(3) 将“八阶巴特沃斯低通滤波器”模块的输出信号 HE07 接到“解调器 1”的一输入 HC04，“载波 1”的输出端 VC1 接到“解调器 1”的另一个输入 HC05，然后观察“解调器 1”的输出 HC06 的波形，与“调制波 1”输出波形 VS1 进行比较。

#### 五、实验报告

1、画出 AM 调制器产生的框图；

2、在 FDM 解复接中，可以观察到信号串扰（在第一路信号输出端可检测到第二路用户信号），产生串扰信号的原因是什么？如何减少这类串扰信号的产生？

#### 六、实验设备

- |            |     |
|------------|-----|
| 1. 双踪示波器   | 1 台 |
| 2. 信号系统实验箱 | 1 台 |

## 实验十四 信号的无失真传输

### 一、实验目的

- 1、了解信号的无失真传输的基本原理；
- 2、熟悉信号无失真传输系统的结构特性。

### 二、实验原理

1、信号的无失真传输是指通过系统以后的输出信号的波形与输入信号的波形完全相同，只有幅值上的差异和产生一定的延时时间，具有这种特性的系统称为无失真传输系统。令输入信号为  $X(t)$ ，则系统的输出为：

$$Y(t) = kx(t - t_0)$$

式中  $k$ 、 $t_0$  为常量，对上式取付氏变换，则有

$$Y(j\omega) = kx(j\omega)e^{-j\omega t_0}$$

$$H(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} = ke^{-j\omega t_0} = |H| e^{-j\phi(\omega)}$$

$$|H| = k, \quad k \text{ 为常数}; \quad \phi(\omega) = -t_0\omega, \quad t_0 > 0$$

### 2、实验电路

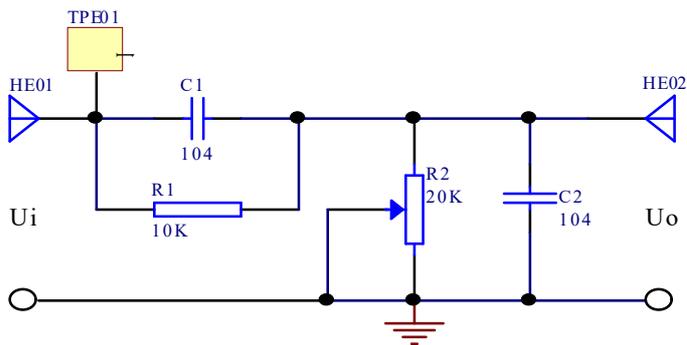


图 14-1 无失真传输的电路图

其中  $R1=10K$ ， $R2$  为  $20K$  可调电位器， $C1=C2=0.1\mu f$ ，它的频率特性为：

$$H(j\omega) = \frac{U_0(j\omega)}{U_i(j\omega)} = \frac{\frac{R_2}{1+j\omega R_2 C_2}}{\frac{R_1}{1+j\omega R_1 C_1} + \frac{R_2}{1+j\omega R_2 C_2}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = K$$

#### 四、实验内容

- 1、使函数发生器输出一个正弦信号  $f=1\text{KZ}$ ，幅值为  $1.5\text{V}$ 。
- 2、将输出端 H701 连到无失真传输系统的输入端 HE01。
- 3、改变正弦信号的频率，用示波器观察输入、输出信号的幅值和相位。
- 4、改变电位器 RW21 的值，用示波器观察输入、输出信号的变化。

#### 五、实验报告

- 1、画出信号无失真传输系统输入、输出信号的比较图。
- 2、分析无失真传输系统的结构和特点，如果  $R_1 \neq R_2$ 、 $C_1 \neq C_2$ ，则系统的  $|H(j\omega)|$  和  $\phi(\omega)$  会产生什么变化？

#### 六、实验设备

- |            |     |
|------------|-----|
| 1、 双踪示波器   | 1 台 |
| 2、 信号系统实验箱 | 1 台 |