



# 模电第七章习题课



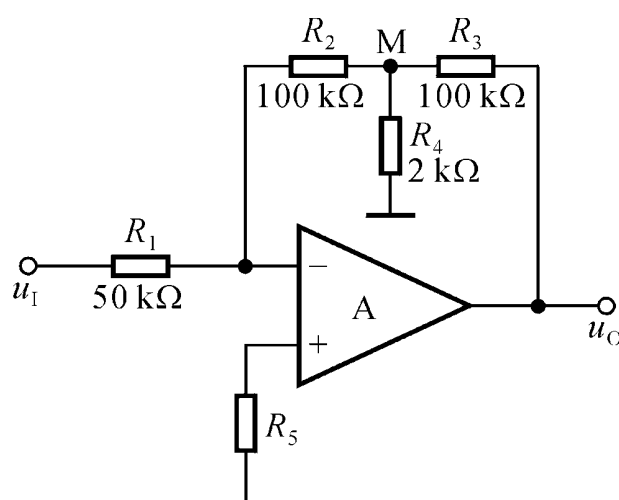
谢旭东

二零零九年十二月十三日

## 第七章模电习题课

7.5 电路如图所示，集成运放输出电压的最大幅值为  $\pm 14\text{V}$ ， $u_I$  为  $2\text{V}$  的直流信号。分别求出下列各种情况下的输出电压。

1.  $R_2$  短路; 2.  $R_3$  短路; 3.  $R_4$  短路; 4.  $R_4$  断路



## 第七章模电习题课

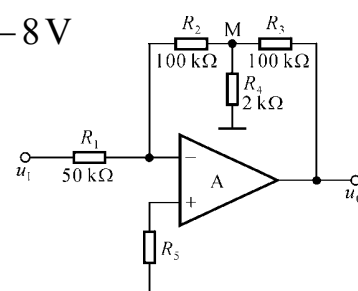
7.5 题解：该电路为一T型反馈网络反相比  
例运算电路，则  $u_o = -\frac{R_2 + R_3}{R_1} \left( 1 + \frac{R_2 // R_3}{R_4} \right) u_i$

1.  $R_2$ 短路时,  $u_o = -\frac{R_3}{R_1} u_i = -2 u_i = -4 \text{ V}$

2.  $R_3$ 短路时,  $u_o = -\frac{R_2}{R_1} u_i = -2 u_i = -4 \text{ V}$

3.  $R_4$ 短路时, 电路无反馈,  $u_o = -14 \text{ V}$

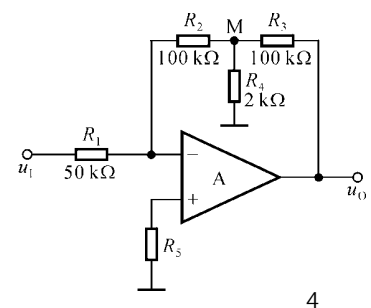
4.  $R_4$ 断路时,  $u_o = -\frac{R_2 + R_3}{R_1} u_i = -4 u_i = -8 \text{ V}$



## 第七章模电习题课

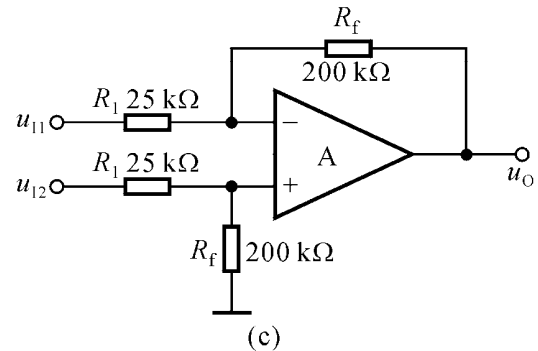
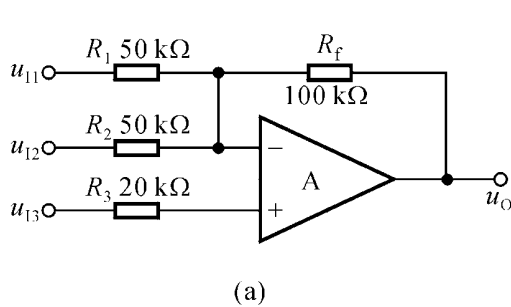
## 7.5 体会

- 1, 准确判断电路特性, 善用通用表达式
- 2, 把握数学公式及其物理意义之间的对应关系, 简化判断过程



## 第七章模电习题课

7.6-7(a, c) 电路如图所示, 求电路输出电压与输入电压的运算关系式, 集成运放的共模信号分别为多少? 要求写出表达式。



## 第七章模电习题课

## 7.6-7(a) 加减运算电路

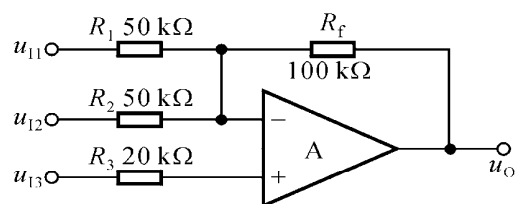
由于

$$R_1 // R_2 // R_f = R_3$$

反相求和运算电路输出电压

同相求和运算电路输出电压

则最终输出电压为



$$u_{o1} = -R_f \left( \frac{u_{11}}{R_1} + \frac{u_{12}}{R_2} \right)$$

$$u_{o2} = R_f \cdot \frac{u_{13}}{R_3}$$

$$u_o = u_{o1} + u_{o2} = -2u_{11} - 2u_{12} + 5u_{13}$$

集成运放同相输入端和反相输入端之间净输入电压为0，他们电位就是共模输入电压

$$u_{IC} = u_{13}$$

## 第七章模电习题课

## 7.6-7(c) 加减运算电路

由于  $R_1 // R_f = R_1 // R_f$

反相求和运算电路输出电压

$$u_{O1} = -R_f \cdot \frac{u_{11}}{R_1}$$

同相求和运算电路输出电压

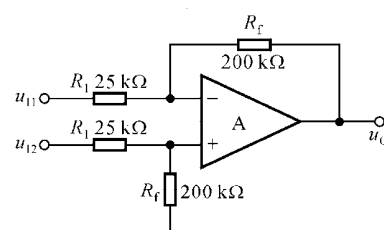
$$u_{O2} = R_f \cdot \frac{u_{12}}{R_1}$$

则最终输出电压为

$$u_O = u_{O1} + u_{O2} = 8(u_{12} - u_{11})$$

集成运放同相输入端和反相输入端之间净输入电压为0，他们电位就是共模输入电压

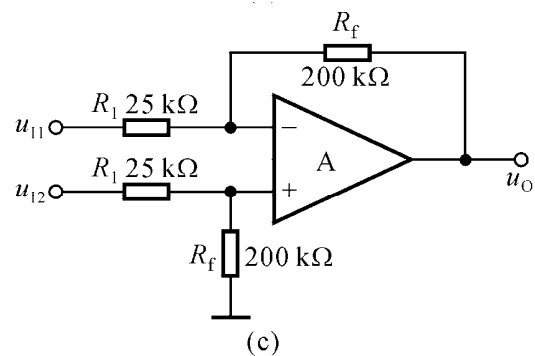
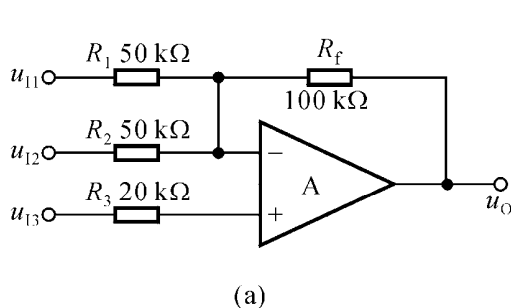
$$u_{IC} = \frac{R_f}{R_1 + R_f} u_{12} = \frac{8}{9} u_{12}$$



## 第七章模电习题课

## 7.6-7(a, c) 体会

- 1, 首先判断电路性质
- 2, 判断同相输入端和反相输入端电阻关系, 简化运算
- 3, 了解运算放大器的电压输入特性





## 第七章模电习题课

7.8 电路如图所示为恒流源电路，已知稳压管工作在稳压状态，试求负载电阻中的电流。

1, 电流串联负反馈电路

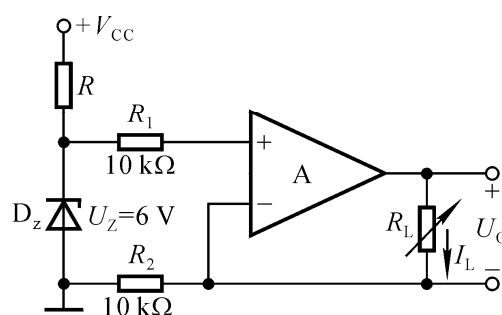
$$I_L = \frac{u_N}{R_2}$$

2, 根据运放特性

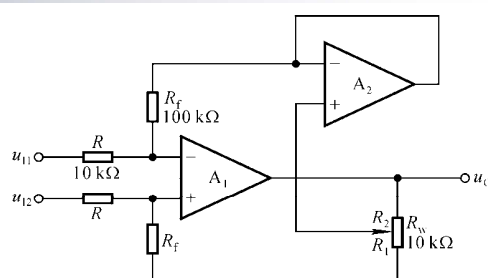
$$u_N = u_P = U_Z$$

3, 可得  $I_L = \frac{U_Z}{R_2} = 0.6 \text{ mA}$

体会：正确运用运放特性：“虚短” “虚断”



## 第七章模电习题课



7.9 电路如图所示，

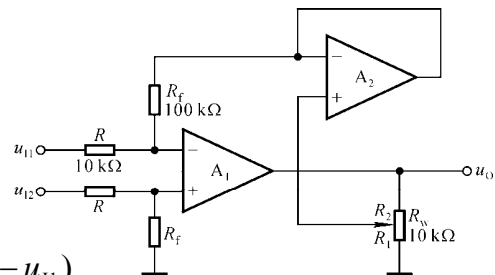
- 1) 写出  $u_o$  与  $u_{i1}$ 、 $u_{i2}$  的运算关系式；
- 2) 当  $R_W$  的滑动端在最上端时，若  $u_{i1} = 10\text{mV}$ ， $u_{i2} = 20\text{mV}$ ，则  $u_o = ?$
- 3) 若  $u_o$  的最大幅值为  $\pm 14\text{V}$ ，输入电压最大值  $u_{i1\text{max}} = 10\text{mV}$ ， $u_{i2\text{max}} = 20\text{mV}$ ，最小值均为  $0\text{V}$ ，则为了保证集成运放工作在线性区， $R_2$  的最大值为多少？

## 第七章模电习题课

7.9 1)  $A_2$ 同相输入端电位

$$u_{P2} = u_{N2} = \frac{R_f}{R}(u_{I2} - u_{I1}) = 10(u_{I2} - u_{I1})$$

输出电压  $u_O = (1 + \frac{R_2}{R_1}) \cdot u_{P2} = 10(1 + \frac{R_2}{R_1})(u_{I2} - u_{I1})$



2) 将  $u_{I1} = 10\text{mV}$ ,  $u_{I2} = 20\text{mV}$ ,  $R_2 = 0$  代入上式, 得  $u_O = 100\text{mV}$

3) 根据题目所给参数,  $(u_{I2} - u_{I1})$  的最大值为  $20\text{mV}$ 。若  $R_1$  为最小值, 则为保证集成运放工作在线性区,  $(u_{I2} - u_{I1}) = 20\text{mV}$  时集成运放的输出电压应为  $+14\text{V}$ , 写成表达式为

$$u_O = 10 \cdot \frac{R_W}{R_{1\min}} \cdot (u_{I2} - u_{I1}) = 10 \cdot \frac{10}{R_{1\min}} \cdot 20 = 14$$

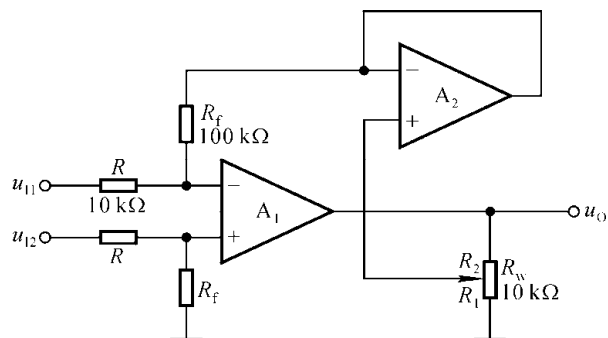
故  $R_{1\min} \approx 143\Omega$

$$R_{2\max} = R_W - R_{1\min} \approx (10 - 0.143) \text{ k}\Omega \approx 9.86 \text{ k}\Omega$$

## 第七章模电习题课

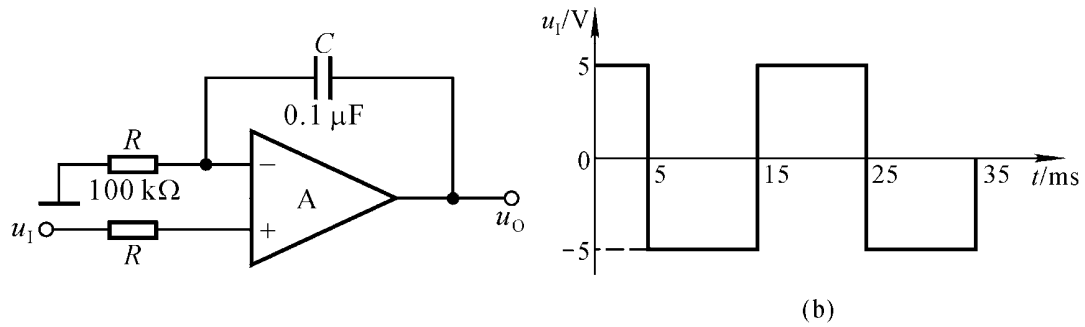
## 7.9 体会

- 1) 善于利用运放特性：虚短、虚断、最大工作电压
- 2) 对电路进行合理简化： $A_2$ 可以先不考虑
- 3) 计算时需要考虑参数特性  $R // R_f = R // R_f$



## 第七章模电习题课

7.12 电路如图所示，已知输入电压 $u_i$ 的波形如图（b）所示，当 $t=0$ 时 $u_o=0$ 。试画出输出电压 $u_o$ 的波形。



## 第七章模电习题课

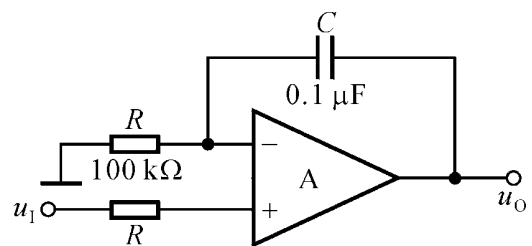
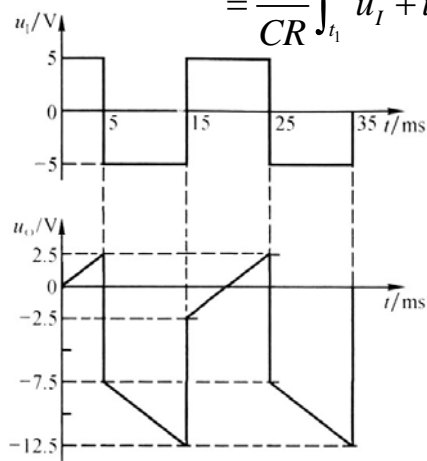
7.12 由图可知,  $u_N = u_P = u_I$ , 则

$$i_C = i_R = \frac{u_N}{R} = \frac{u_I}{R}$$

输出电压等于  $R$  和  $C$  上的电压之和, 即

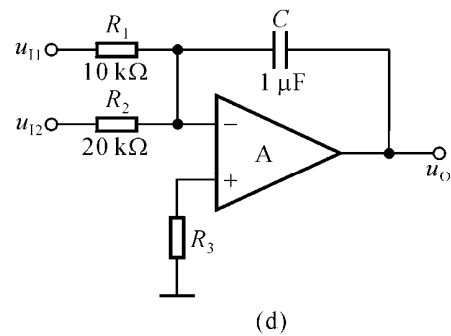
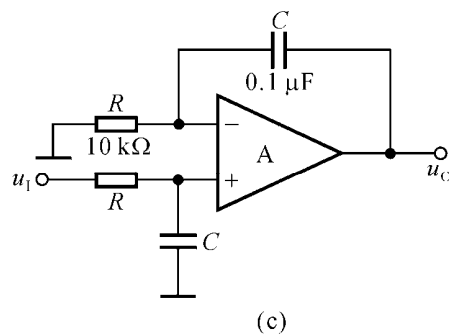
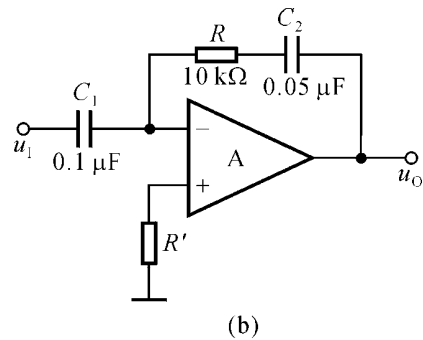
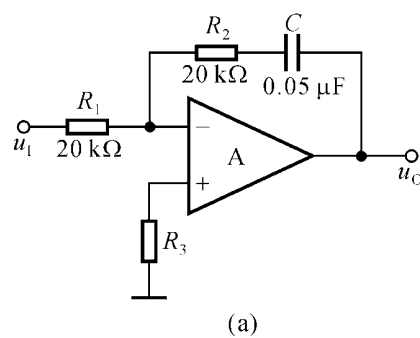
$$u_O = u_N + u_C = u_I + \frac{1}{C} \int \frac{u_I}{R} = \frac{1}{CR} \int u_I + u_I$$

$$= \frac{1}{CR} \int_{t_1}^{t_2} u_I + u_I + u_C(t_1) = 100u_I(t_2 - t_1) + u_I + u_C(t_1)$$



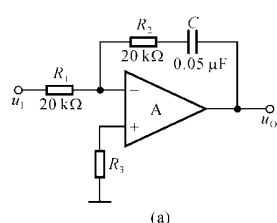
## 第七章模电习题课

## 7.13 试分别求解如图所示各电路的运算关系。

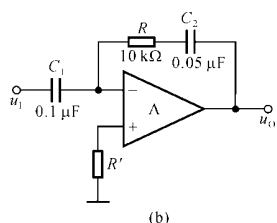


## 第七章模电习题课

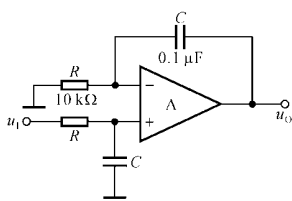
## 7.13 利用节点电流法，可解出各电路的运算关系分别为：



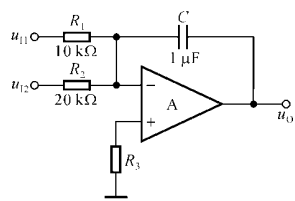
(a)



(b)



(c)



(d)

$$u_O = -\frac{R_2}{R_1} u_I - \frac{1}{R_1 C} \int u_I dt = -u_I - 100 \int u_I dt$$

$$u_O = -RC_1 \frac{du_I}{dt} - \frac{C_1}{C_2} u_I = -10^{-3} \frac{du_I}{dt} - 2u_I$$

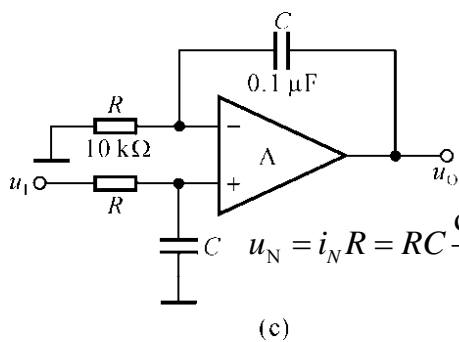
$$u_O = \frac{1}{RC} \int u_I dt = 10^3 \int u_I dt$$

$$u_O = -\frac{1}{C} \int \left( \frac{u_{I1}}{R_1} + \frac{u_{I2}}{R_2} \right) dt = -100 \int (u_{I1} + 0.5u_{I2}) dt$$



## 第七章模电习题课

7.13 (c) 为例:



$$u_I - u_P = i_P R = RC \frac{du_P}{dt} \rightarrow u_I = u_P + RC \frac{du_P}{dt}$$

$$u_N = i_N R = RC \frac{d[u_O - u_N]}{dt} = RC \left( \frac{du_O}{dt} - \frac{du_N}{dt} \right) \rightarrow RC \frac{du_O}{dt} = u_N + RC \frac{du_N}{dt}$$

$$u_N = u_P$$

$$RC \frac{du_O}{dt} = u_I$$

$$u_O = \frac{1}{RC} \int u_I dt = 10^3 \int u_I dt$$

### 7.13 体会

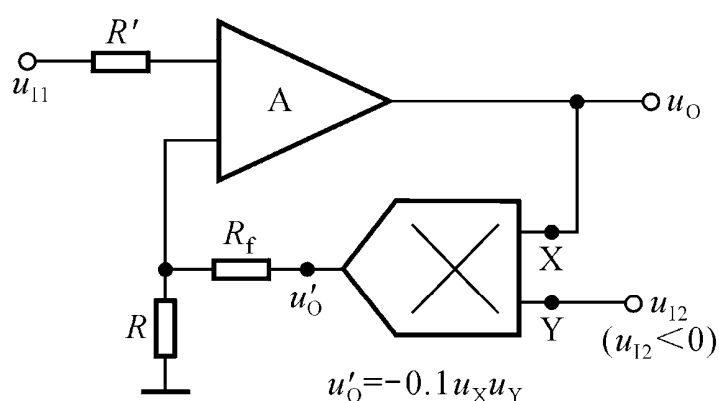
- 1, 利用运放虚断、虚短特性找对应关系
- 2, 根据电路特性列节点方程（电路原理）

## 第七章模电习题课

7.17 为了使图P7.21所示电路实现除法运算

(1) 标出集成运放的同相输入端和反相输入端；

(2) 求出 $u_O$ 和 $u_{I1}$ 、 $u_{I2}$ 的运算关系式。



## 第七章模电习题课

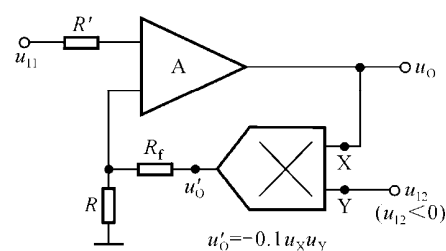
7.17 (1) 为了保证电路引入负反馈，A的上端为“+”，下端为“—”。

(2) 根据模拟乘法器输出电压和输入电压的关系和节点电流关系，可得

$$\begin{aligned} u'_O &= k u_O u_{I2} \\ u_{I1} &= \frac{R}{R + R_f} u'_O \\ &= \frac{R}{R + R_f} \cdot (-0.1 u_O u_{I2}) \end{aligned}$$

所以

$$u_O = -\frac{10(R + R_f)}{R} \cdot \frac{u_{I1}}{u_{I2}}$$



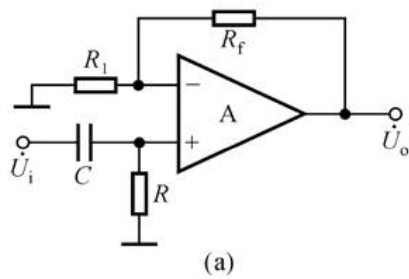
7.19 在下列各种情况下，应分别采用哪种类型（低通、高通、带通、带阻）的滤波电路。

- (1) 抑制50Hz交流电源的干扰
- (2) 处理具有1Hz固定频率的有用信号
- (3) 从输入信号中取出低于2kHz的信号
- (4) 抑制频率为100kHz以上的高频干扰

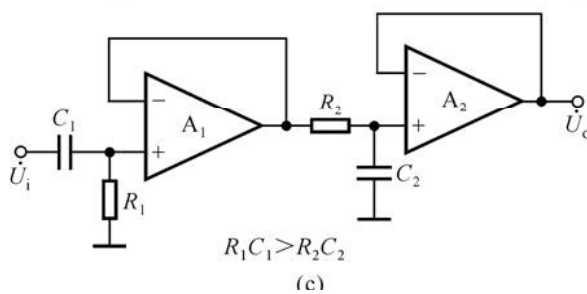
答案 (1) 带阻滤波器 (2) 带通滤波器  
(3) 低通滤波器 (4) 低通滤波器

## 第七章模电习题课

7.20 试说明图示各电路属于哪种类型的滤波电路，是几阶滤波电路。



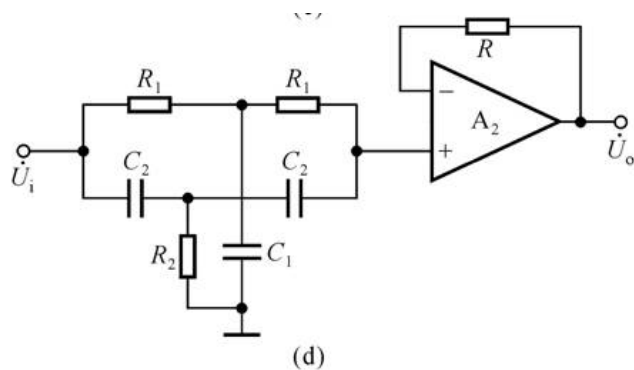
一阶高通滤波器



二阶带通滤波器

## 第七章模电习题课

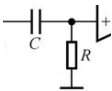
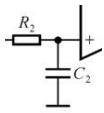
7.20 试说明图示各电路属于哪种类型的滤波电路，是几阶滤波电路。



二阶带阻滤波器  
滤波部分采用双T网络

## 第七章模电习题课

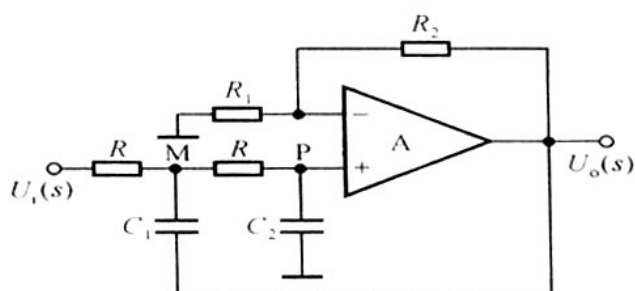
## 7.20 体会

- 1, 区分高通和低通:  还是 
- 2, 区分带通还是带阻: 串联还是并联
- 3, 阶数: 电路中串并联的基本RC单元的个数 (T形网络的个数)



## 第七章模电习题课

7.22 在图示电路中，已知通带放大倍数为2，截止频率为1kHz，C取值为 $1\mu\text{F}$ 。试选取电路中各电阻的阻值。



## 第七章模电习题课

7.22 因为通带放大倍数  $\dot{A}_{up} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = 2$

可得  $R_1 = R_2$

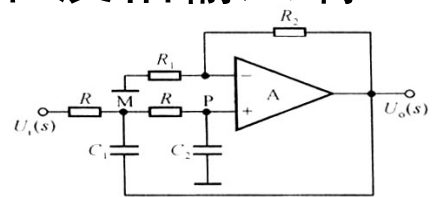
因为  $\dot{A}_u = \frac{\dot{A}_{up}}{1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2 + j(3 - \dot{A}_{up})\frac{f}{f_0}} = \frac{2}{1 - \left(\frac{f}{f_0}\right)^2 + j\frac{f}{f_0}}$

令分母的模等于  $\sqrt{2}$ ，可解  $f_p = \sqrt{\frac{1 + \sqrt{5}}{2}} f_0$ ，又  $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$

可解  $R \approx 202\Omega$

为使得集成运放同相输入端和反相输入端所接电阻相等，则

$$R_1 = R_2 = 4R \approx 808\Omega$$



## 第七章模电习题课

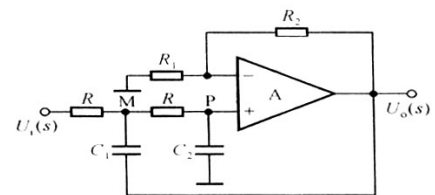
## 7.22 近似解法

如果近似认为  $f_p \approx f_0$  ,

可解  $R \approx 160\Omega$

此时有

$$R_1 = R_2 = 4R \approx 640\Omega$$





谢谢大家！

