

## 第7节 RC 有源滤波器的快速设计

**[学习要求]** 掌握低通、高通、带通、带阻等最基本的二阶 RC 有源滤波器的快速设计方法与性能参数的测试技术。

### [重点与难点]

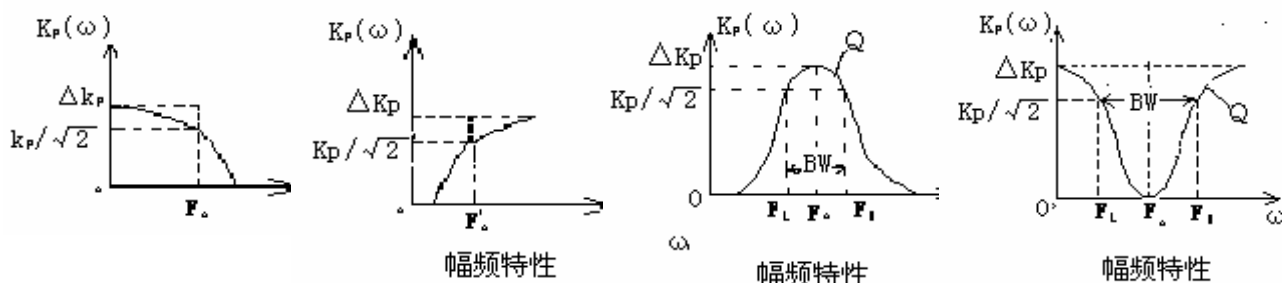
**重点：**二阶 RC 有源滤波器的快速设计方法。

**难点：**二阶 RC 滤波器的传输函数。

### [理论内容]

#### 一、滤波器的传输函数与性能参数

由 RC 元件与运算放大器组成的滤波器称为 RC 有源滤波器，其功能是让一定频率范围内的信号通过，抑制或急剧衰减此频率范围以外的信号。因受运算放大器带宽限制，这类滤波器仅适用于低频范围。根据频率范围可将其分为低通、高通、带通与带阻等四种滤波器，它们的幅频特性如图所示。具有理想特性的滤波器是很难实现的，只能用实际特性去逼近理想的。常用的逼近方法是巴特沃斯(butterwoth)最大平坦响应和切比雪夫(chebyshev)等波动响应。在不允许带内有波动时，用巴特沃斯响应较好。如果给定带内所允许的纹波差，则用切比雪夫响应较好。



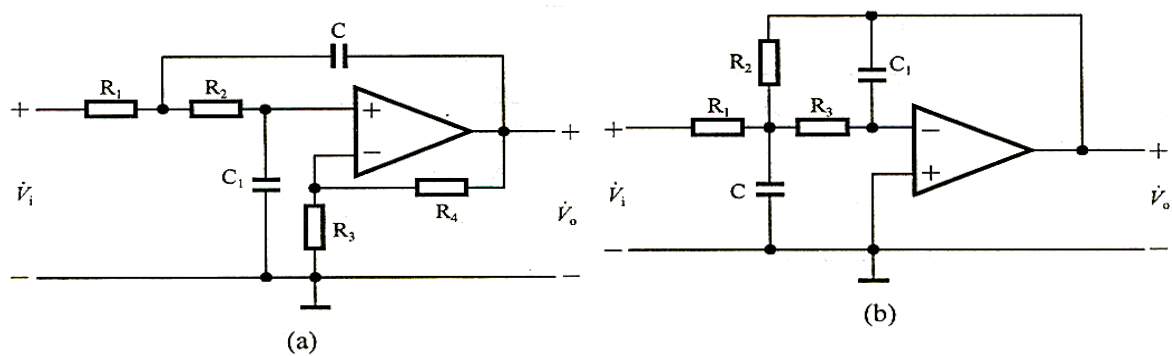
#### 二、二阶 RC 滤波器的传输函数

二阶 RC 滤波器的传输函数如表 1 所示。其常用电路有电压控制电压源(VCVS)电路和无限增益多路反馈(MFB)电路。图(a)所示电路为压控电压源电路，其中运放为同相输入，输入阻抗很高，输出阻抗很低，滤波器相当于一个电压源，故称电压控制电压源电路。其优点是电路性能稳定、增益容易调节。图(b)所示电路为无限增益多路反馈电路，其中运放为反相输入，输出端通过 C1、R2 形成两条反馈支路，故称无限增益多路反馈电路。其优点是电路有倒相作用，使用元件较少，但增益调节对其性能参数会有影响，

故应用范围比 VCVS 电路要小。

表 1 二阶 RC 滤波器的传输函数

类 型	传 输 函 数	性 能 参 数
低 通	$A(s)=\frac{A_v \omega_c^2}{s^2+\frac{\omega_c}{Q} s+\omega_c^2}$	$A_v$ ——电压增益
高 通	$A(s)=\frac{A_v s^2}{s^2+\frac{\omega_c}{Q} s+\omega_c^2}$	$\omega_c$ ——低、高通滤波器的截止角频率 $\omega_0$ ——带阻、带通滤波器的中心角频率
带 通	$A(s)=\frac{A_v \frac{\omega_c}{Q} s}{s^2+\frac{\omega_0}{Q} s+\omega_0^2}$	$Q$ —— 品 质 因 数 ， $Q \approx \frac{\omega_0}{BW}$ 或 $\frac{f_0}{BW}$ (当 $BW \ll \omega_0$ 时)
带 阻	$A(s)=\frac{A_v (s^2+\omega_0^2)}{s^2+\frac{\omega_0}{Q} s+\omega_0^2}$	$BW$ —— 带通、带阻滤波器的带宽



分析表明，图（a）所示电路的传输函数的表达式为：

$$A(s)=\frac{A_v \frac{1}{R_1 R_2 C C_1}}{s^2+\left[\frac{1}{R_1 C}+\frac{1}{R_2 C}+(1-A_v) \frac{1}{R_2 C_1}\right] s+\frac{1}{R_1 R_2 C C_1}}$$

与表中低通滤波器传输函数的通用表达式相比较，可得滤波器性能参数的表达式为

$$\omega_c^2 = \frac{1}{R_1 R_2 C C_1}$$

$$\frac{\omega_c}{Q} = \frac{1}{R_1 C} + \frac{1}{R_2 C} + (1 - A_v) \frac{1}{R_2 C_1}$$

$$A_v = 1 + \frac{R_4}{R_3}$$

在设计滤波器时，通常给定的性能指标有截止频率  $f_c$  或截止角频率  $\omega_c$ ，带内增益  $A_v$ ，以及滤波器的品质因数  $Q$ 。对于二阶低通(或高通)滤波器，通常取  $Q=0.707$ 。在设计中，如果仅由  $f_c$ 、 $A_v$  及  $Q$  这三个数求出电路中的所有  $R$ 、 $C$  元件的值，是相当困难的。通常是先设定一个或几个元件的值，再由以上公式建立方程组，求其它元件值。设定的元件参数越少，方程求解越难，但电路调整较方便。现在已经用计算机完成了方程组的求解，并将具有巴特沃斯响应、切比雪夫响应的  $n=2, 3, \dots, 8$  阶各种类型的有源滤波器的电路及其所用的  $RC$  元件的值制成设计表，设计人员只需要查表就能得到滤波器的电路及  $RC$  元件的值，称这种查表法为有源滤波器的快速设计方法。

### 三、滤波器的快速设计方法

#### (1) 已知条件

已知滤波器的响应特性(巴特沃斯或切比雪夫)、滤波器的电路形式(VCVS 或 MFB)，滤波器的类型(低通、高通、带通、带阻及阶数  $n$ )、滤波器的性能参数  $f_c$ 、 $A_v$ 、 $Q$  或  $BW$ 。

#### (2) 设计步骤

① 先选择电容  $C$  的标称值，电容  $C$  的初始值靠经验决定，通常以下面的数据作参考：

$f_c \leq 100\text{Hz}$	$C = (10-0.1) \mu\text{F}$
$f_c = (100-1000)\text{Hz}$	$C = (0.1-0.01) \mu\text{F}$
$f_c = (1-10\text{k})\text{Hz}$	$C = (0.01-0.001) \mu\text{F}$
$f_c = (10-1000\text{k})\text{Hz}$	$C = (1000-100)\text{pF}$
$f_c \geq 100\text{kHz}$	$C = (100-10)\text{pF}$

② 所选择的电容  $C$  的实际值，再按照下式计算电阻换标系数  $K$

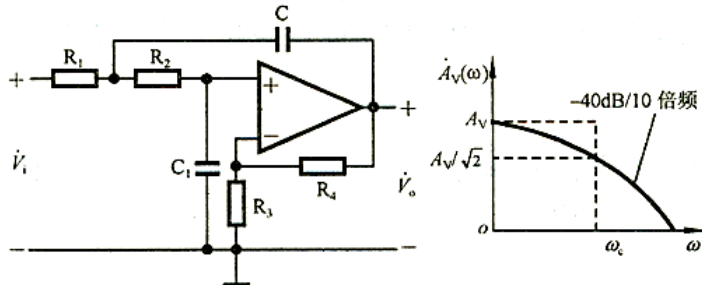
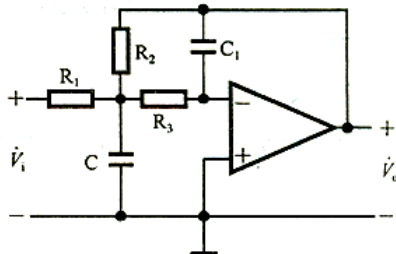
k = 100 / (f\_c C)

其中 f\_c 的单位为 Hz；C 的单位为 μF。

[注意]K 值不能太大，否则会使电阻的取值较大，从而使引入的误差增加，通常取 I≤K ≤10。

③ 从设计表中 1~4 查出与 Av 对应的电容值及 K=1 时的电阻值。再将这些电阻值乘以参数 K，得电阻的设计值和 C1 的设计值。

表 1 二阶低通滤波器（巴特沃斯响应）设计表

	压控电压源(VCVS)电路	无限增益多路反馈(MFB)电路
电 路 形 式		
性 能 参 数	$\omega_c^2 = \frac{1}{R_1 R_2 C C_1}$ $Q \approx 0.707$ $A_v = 1 + \frac{R_4}{R_3} \text{ (} A_v \leq 2 \text{ 时电路稳定)}$	$\omega_c^2 = \frac{1}{R_2 R_3 C C_1}$ $Q \approx 0.707$ $A_v = -\frac{R_2}{R_1}$

	压控电压源(VCVS)电路	无限增益多路反馈(MFB)电路																																																																			
设 计 表	电路元件值*	电路元件值*																																																																			
	<table><tr><th><math>A_v</math></th><th>1</th><th>2</th><th>4</th><th>6</th><th>8</th><th>10</th></tr><tr><td><math>R_1</math></td><td>1.422</td><td>1.126</td><td>0.824</td><td>0.617</td><td>0.521</td><td>0.462</td></tr><tr><td><math>R_2</math></td><td>5.399</td><td>2.250</td><td>1.537</td><td>2.051</td><td>2.429</td><td>2.742</td></tr><tr><td><math>R_3</math></td><td>开路</td><td>6.752</td><td>3.148</td><td>3.203</td><td>3.372</td><td>3.560</td></tr><tr><td><math>R_4</math></td><td>0</td><td>6.752</td><td>9.444</td><td>16.012</td><td>23.602</td><td>32.038</td></tr><tr><td><math>C_1</math></td><td>0.33C</td><td>C</td><td>2C</td><td>2C</td><td>2C</td><td>2C</td></tr></table>	$A_v$	1	2	4	6	8	10	$R_1$	1.422	1.126	0.824	0.617	0.521	0.462	$R_2$	5.399	2.250	1.537	2.051	2.429	2.742	$R_3$	开路	6.752	3.148	3.203	3.372	3.560	$R_4$	0	6.752	9.444	16.012	23.602	32.038	$C_1$	0.33C	C	2C	2C	2C	2C	<table><tr><th><math>A_v</math></th><th>1</th><th>2</th><th>6</th><th>10</th></tr><tr><td><math>R_1</math></td><td>3.111</td><td>2.565</td><td>1.697</td><td>1.625</td></tr><tr><td><math>R_2</math></td><td>3.111</td><td>5.130</td><td>10.180</td><td>16.252</td></tr><tr><td><math>R_3</math></td><td>4.072</td><td>3.292</td><td>4.977</td><td>4.723</td></tr><tr><td><math>C_1</math></td><td>0.2C</td><td>0.15C</td><td>0.05C</td><td>0.033C</td></tr></table>	$A_v$	1	2	6	10	$R_1$	3.111	2.565	1.697	1.625	$R_2$	3.111	5.130	10.180	16.252	$R_3$	4.072	3.292	4.977	4.723	$C_1$	0.2C	0.15C	0.05C	0.033C
	$A_v$	1	2	4	6	8	10																																																														
	$R_1$	1.422	1.126	0.824	0.617	0.521	0.462																																																														
$R_2$	5.399	2.250	1.537	2.051	2.429	2.742																																																															
$R_3$	开路	6.752	3.148	3.203	3.372	3.560																																																															
$R_4$	0	6.752	9.444	16.012	23.602	32.038																																																															
$C_1$	0.33C	C	2C	2C	2C	2C																																																															
$A_v$	1	2	6	10																																																																	
$R_1$	3.111	2.565	1.697	1.625																																																																	
$R_2$	3.111	5.130	10.180	16.252																																																																	
$R_3$	4.072	3.292	4.977	4.723																																																																	
$C_1$	0.2C	0.15C	0.05C	0.033C																																																																	
* 电阻为参数 $K=1$ 时的值，单位为 $k\Omega$ 。		* 电阻为参数 $K=1$ 时的值，单位为 $k\Omega$ 。																																																																			
说 明	增益容易调整，输入阻抗高、输出阻抗低。 运放 $R_1 > 10(R_1+R_2)$ ，输入端到地要有一直流通路。 在 $\omega_c$ 处，运放的开环增益至少应是滤波器增益的 50 倍。	有倒相作用，输出阻抗低。 运放的 $R_1 > 10(R_3+R_1//R_2)$ ，输入端到地的直流通路已由 $R_1$ 和 $R_3$ 完成。 同相端可接电阻 $R_p$ ，减小失调。																																																																			

(3) 注意事项

① 电阻的标称值尽可能接近设计值，可适当选用几个电阻串、并联；尽可能采用金属

膜电阻及容差小于 10% 的电容, 影响滤波器性能的主要因素是  $\Delta R/R$ 、 $\Delta C/C$  及运放的性能。  
 实验前应测量电阻、电容的准确值。

- ② 在测试过程中, 若某项指标偏差较大, 则应根据设计表调整修改相应元件的值。
- ③ 滤波器电路形式的选择, 可参考设计表中的应用说明。

四、设计任务

设计课题: 语音滤波器设计

性能指标: 截止频率 $f_H=30000\text{Hz}$ ,  $f_L=300\text{Hz}$ ,  $A_v=10$ , 阻带衰减速率为-40dB/10 倍频程。

(提示: 一级二阶低通与一级二阶高通级联)

表 2 二阶高通滤波器(巴特沃斯响应)设计表

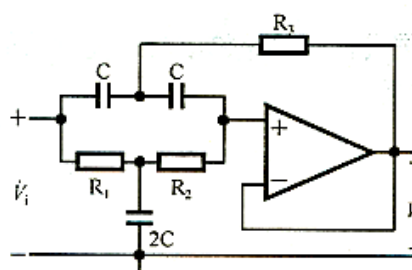
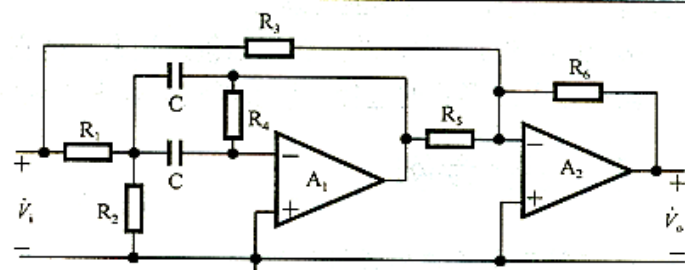
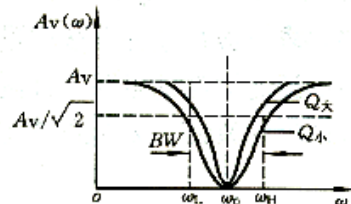
	压控电压源(VCVS)电路	无限增益多路反馈(MFB)电路																																																																			
电 路 形 式																																																																					
性 能 参 数	$\omega_c^2 = \frac{1}{R_1 R_2 C^2}$ $Q \approx 0.707$ $A_v = 1 + \frac{R_4}{R_3} \quad (A_v \leq 2)$	$\omega_c^2 = \frac{1}{R_1 R_2 C^2}$ $Q \approx 0.707$ $A_v = -\frac{C}{C_1}$																																																																			
设 计 表	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="7">电路元件值*</th> </tr> <tr> <th><math>A_v</math></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>4</th> <th>6</th> <th>8</th> <th>10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>R_1</math></td> <td>1.125</td> <td>1.821</td> <td>2.592</td> <td>3.141</td> <td>3.593</td> <td>3.985</td> </tr> <tr> <td><math>R_2</math></td> <td>2.251</td> <td>1.391</td> <td>0.977</td> <td>0.806</td> <td>0.705</td> <td>0.636</td> </tr> <tr> <td><math>R_3</math></td> <td>开路</td> <td>2.782</td> <td>1.303</td> <td>0.968</td> <td>0.806</td> <td>0.706</td> </tr> <tr> <td><math>R_4</math></td> <td>0</td> <td>2.782</td> <td>3.910</td> <td>4.838</td> <td>5.640</td> <td>6.356</td> </tr> </tbody> </table>	电路元件值*							$A_v$	1	2	4	6	8	10	$R_1$	1.125	1.821	2.592	3.141	3.593	3.985	$R_2$	2.251	1.391	0.977	0.806	0.705	0.636	$R_3$	开路	2.782	1.303	0.968	0.806	0.706	$R_4$	0	2.782	3.910	4.838	5.640	6.356	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">电路元件值*</th> </tr> <tr> <th><math>A_v</math></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>5</th> <th>10</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>R_1</math></td> <td>0.750</td> <td>0.900</td> <td>1.023</td> <td>1.072</td> </tr> <tr> <td><math>R_2</math></td> <td>3.376</td> <td>5.627</td> <td>12.379</td> <td>23.634</td> </tr> <tr> <td><math>C_1</math></td> <td><math>C</math></td> <td><math>0.5C</math></td> <td><math>0.2C</math></td> <td><math>0.1C</math></td> </tr> </tbody> </table>	电路元件值*					$A_v$	1	2	5	10	$R_1$	0.750	0.900	1.023	1.072	$R_2$	3.376	5.627	12.379	23.634	$C_1$	$C$	$0.5C$	$0.2C$	$0.1C$
电路元件值*																																																																					
$A_v$	1	2	4	6	8	10																																																															
$R_1$	1.125	1.821	2.592	3.141	3.593	3.985																																																															
$R_2$	2.251	1.391	0.977	0.806	0.705	0.636																																																															
$R_3$	开路	2.782	1.303	0.968	0.806	0.706																																																															
$R_4$	0	2.782	3.910	4.838	5.640	6.356																																																															
电路元件值*																																																																					
$A_v$	1	2	5	10																																																																	
$R_1$	0.750	0.900	1.023	1.072																																																																	
$R_2$	3.376	5.627	12.379	23.634																																																																	
$C_1$	$C$	$0.5C$	$0.2C$	$0.1C$																																																																	
	* 电阻为参数 $K=1$ 时的值, 单位为 $k\Omega$ 。																																																																				
说 明	要求运放 $R_1$ 大于 $10R_2$ , $R_3$ 、 $R_4$ 的选取要考虑对失调的影响, 在 $\omega_c$ 处, 运放的开环增益 $A_{vo}$ 至少是滤波器增益的 50 倍。																																																																				
	* 电阻为参数 $K=1$ 时的值, 单位为 $k\Omega$ 。																																																																				
	同相端接等于 $R_1$ 的电阻可减小失调, 微调 $C$ 或 $C_1$ 对 $A_v$ 实现调整。																																																																				

表3 二阶带通滤波器(巴特沃斯响应)设计表

	压控电压源(VCVS)电路	无限增益多路反馈(MFB)电路																																																																																																																														
电 路 形 式																																																																																																																																
性 能 参 数	$\omega_0^2 = \frac{1}{R_2 C^2} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} \right)$ $Q = \frac{\omega_0}{BW} \text{ 或 } \frac{f_0}{BW} \quad (BW \ll \omega_0 \text{ 时})$ $A_V = 1 + \frac{R_5}{R_4} \quad (A_V \leq 2)$	$\omega_0^2 = \frac{R_1 + R_2}{R_2 R_1 R_3 C^2}$ $Q = \frac{\omega_0}{BW} \text{ 或 } \frac{f_0}{BW} \quad (BW \ll \omega_0 \text{ 时})$ $A_V = \frac{-R_3}{2R_1}$																																																																																																																														
设 计 表	<p>电路元件值*(Q=4)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>A<sub>V</sub></th><th>1</th><th>2</th><th>4</th><th>6</th><th>8</th><th>10</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>R<sub>1</sub></td><td>12.732</td><td>6.366</td><td>3.183</td><td>2.122</td><td>1.592</td><td>1.273</td></tr> </tbody> </table> <p>电路元件值*(Q=5)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>A<sub>V</sub></th><th>1</th><th>2</th><th>4</th><th>6</th><th>8</th><th>10</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>R<sub>1</sub></td><td>15.915</td><td>7.958</td><td>3.979</td><td>2.653</td><td>1.989</td><td>1.592</td></tr> <tr> <td>R<sub>2</sub></td><td>2.251</td><td>2.416</td><td>2.778</td><td>3.183</td><td>3.626</td><td>4.100</td></tr> <tr> <td>R<sub>3</sub></td><td>1.211</td><td>1.208</td><td>1.183</td><td>1.137</td><td>1.077</td><td>1.010</td></tr> <tr> <td>R<sub>4</sub>, R<sub>5</sub></td><td>4.502</td><td>4.832</td><td>5.556</td><td>6.366</td><td>7.252</td><td>8.200</td></tr> </tbody> </table> <p>* 电阻为参数 K=1 时的值, 单位为 kΩ.</p>	A <sub>V</sub>	1	2	4	6	8	10	R <sub>1</sub>	12.732	6.366	3.183	2.122	1.592	1.273	A <sub>V</sub>	1	2	4	6	8	10	R <sub>1</sub>	15.915	7.958	3.979	2.653	1.989	1.592	R <sub>2</sub>	2.251	2.416	2.778	3.183	3.626	4.100	R <sub>3</sub>	1.211	1.208	1.183	1.137	1.077	1.010	R <sub>4</sub> , R <sub>5</sub>	4.502	4.832	5.556	6.366	7.252	8.200	<p>电路元件值*(Q=5)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>A<sub>V</sub></th><th>1</th><th>2</th><th>4</th><th>6</th><th>8</th><th>10</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>R<sub>1</sub></td><td>7.958</td><td>3.979</td><td>1.989</td><td>1.326</td><td>0.995</td><td>0.796</td></tr> <tr> <td>R<sub>2</sub></td><td>0.162</td><td>0.166</td><td>0.172</td><td>0.181</td><td>0.180</td><td>0.100</td></tr> </tbody> </table> <p>电路元件值*(Q=6)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>A<sub>V</sub></th><th>1</th><th>2</th><th>4</th><th>6</th><th>8</th><th>10</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>R<sub>1</sub></td><td>9.549</td><td>4.775</td><td>2.387</td><td>1.592</td><td>1.194</td><td>0.955</td></tr> <tr> <td>R<sub>2</sub></td><td>0.134</td><td>0.136</td><td>0.140</td><td>0.145</td><td>0.149</td><td>0.154</td></tr> <tr> <td>R<sub>3</sub></td><td>19.099</td><td>19.099</td><td>19.099</td><td>19.099</td><td>19.099</td><td>19.099</td></tr> </tbody> </table> <p>电路元件值*(Q=7)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>A<sub>V</sub></th><th>1</th><th>2</th><th>4</th><th>6</th><th>8</th><th>10</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>R<sub>1</sub></td><td>11.141</td><td>5.570</td><td>2.785</td><td>1.857</td><td>1.393</td><td>1.114</td></tr> <tr> <td>R<sub>2</sub></td><td>0.115</td><td>0.116</td><td>0.119</td><td>0.121</td><td>0.124</td><td>0.127</td></tr> <tr> <td>R<sub>3</sub></td><td>22.282</td><td>22.282</td><td>22.282</td><td>22.282</td><td>22.282</td><td>22.282</td></tr> </tbody> </table> <p>* 电阻为参数 K=1 时的值, 单位为 kΩ.</p>	A <sub>V</sub>	1	2	4	6	8	10	R <sub>1</sub>	7.958	3.979	1.989	1.326	0.995	0.796	R <sub>2</sub>	0.162	0.166	0.172	0.181	0.180	0.100	A <sub>V</sub>	1	2	4	6	8	10	R <sub>1</sub>	9.549	4.775	2.387	1.592	1.194	0.955	R <sub>2</sub>	0.134	0.136	0.140	0.145	0.149	0.154	R <sub>3</sub>	19.099	19.099	19.099	19.099	19.099	19.099	A <sub>V</sub>	1	2	4	6	8	10	R <sub>1</sub>	11.141	5.570	2.785	1.857	1.393	1.114	R <sub>2</sub>	0.115	0.116	0.119	0.121	0.124	0.127	R <sub>3</sub>	22.282	22.282	22.282	22.282	22.282	22.282
A <sub>V</sub>	1	2	4	6	8	10																																																																																																																										
R <sub>1</sub>	12.732	6.366	3.183	2.122	1.592	1.273																																																																																																																										
A <sub>V</sub>	1	2	4	6	8	10																																																																																																																										
R <sub>1</sub>	15.915	7.958	3.979	2.653	1.989	1.592																																																																																																																										
R <sub>2</sub>	2.251	2.416	2.778	3.183	3.626	4.100																																																																																																																										
R <sub>3</sub>	1.211	1.208	1.183	1.137	1.077	1.010																																																																																																																										
R <sub>4</sub> , R <sub>5</sub>	4.502	4.832	5.556	6.366	7.252	8.200																																																																																																																										
A <sub>V</sub>	1	2	4	6	8	10																																																																																																																										
R <sub>1</sub>	7.958	3.979	1.989	1.326	0.995	0.796																																																																																																																										
R <sub>2</sub>	0.162	0.166	0.172	0.181	0.180	0.100																																																																																																																										
A <sub>V</sub>	1	2	4	6	8	10																																																																																																																										
R <sub>1</sub>	9.549	4.775	2.387	1.592	1.194	0.955																																																																																																																										
R <sub>2</sub>	0.134	0.136	0.140	0.145	0.149	0.154																																																																																																																										
R <sub>3</sub>	19.099	19.099	19.099	19.099	19.099	19.099																																																																																																																										
A <sub>V</sub>	1	2	4	6	8	10																																																																																																																										
R <sub>1</sub>	11.141	5.570	2.785	1.857	1.393	1.114																																																																																																																										
R <sub>2</sub>	0.115	0.116	0.119	0.121	0.124	0.127																																																																																																																										
R <sub>3</sub>	22.282	22.282	22.282	22.282	22.282	22.282																																																																																																																										

	压控电压源(VCVS)电路							无限增益多路反馈(MFB)电路						
设计表	电路元件值*(Q=8)							电路元件值*(Q=8)						
	A <sub>v</sub>	1	2	4	6	8	10	A <sub>v</sub>	1	2	4	6	8	10
	R <sub>1</sub>	25.465	12.732	6.366	4.244	3.183	2.546	R <sub>1</sub>	12.732	6.336	3.183	2.122	1.592	1.273
	R <sub>2</sub>	2.251	2.352	2.569	2.802	3.052	3.318	R <sub>2</sub>	0.100	0.101	0.103	0.104	0.106	0.108
	R <sub>3</sub>	1.177	1.176	1.167	1.148	1.123	1.090	R <sub>3</sub>	25.465	25.465	25.465	25.465	25.465	25.465
	R <sub>4</sub> ,R <sub>5</sub>	4.502	4.704	5.138	5.604	6.104	6.636							
计	* 电阻为参数 K=1 时的值, 单位为 kΩ.							* 电阻为参数 K=1 时的值, 单位为 kΩ.						

表 4 二阶带阻滤波器（巴特沃斯响应）设计表

电 路 形 式	<div> <div> 压控电压源(VCVS)电路 <math>Q \leq 10</math> </div> <div>  </div> </div>	<div> <div> 无限增益多路反馈(MFB)电路 <math>Q \leq 25</math> </div> <div>  </div> </div>																					
																							
	性 能 参 数	<div> <div>压控电压源(VCVS)电路 <math>Q \leq 10</math></div> <div> 条件: <math>\frac{1}{R_3} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}</math>  <math>\omega_0^2 = \frac{1}{R_1 R_2 C^2}</math>  <math>A_v = 1</math> </div> </div>	<div> <div>无限增益多路反馈(MFB)电路 <math>Q \leq 25</math></div> <div> 条件: <math>R_3 R_4 = 2 R_1 R_6</math>  <math>\omega_0^2 = \frac{1}{R_4 C^2} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)</math>  <math>A_v = -\frac{R_6}{R_3}</math> </div> </div>																				
设 计 表	电路元件值*																						
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>元件</th> <th>值</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>R_1</math></td> <td><math>0.796/Q</math></td> </tr> <tr> <td><math>R_2</math></td> <td><math>3.183Q</math></td> </tr> <tr> <td><math>R_3</math></td> <td><math>R_2/(4Q^2+1)</math></td> </tr> </tbody> </table>	元件	值	$R_1$	$0.796/Q$	$R_2$	$3.183Q$	$R_3$	$R_2/(4Q^2+1)$	<table border="1"> <thead> <tr> <th>元件</th> <th>值</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>R_1</math></td> <td><math>0.796Q</math></td> </tr> <tr> <td><math>R_2</math></td> <td><math>R_1/(Q^2-1)</math></td> </tr> <tr> <td><math>R_3</math></td> <td>1.0</td> </tr> <tr> <td><math>R_4</math></td> <td><math>4R_1</math></td> </tr> <tr> <td><math>R_5</math></td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td><math>R_6</math></td> <td><math>A_v R_3</math></td> </tr> </tbody> </table>	元件	值	$R_1$	$0.796Q$	$R_2$	$R_1/(Q^2-1)$	$R_3$	1.0	$R_4$	$4R_1$	$R_5$	2.0	$R_6$
元件	值																						
$R_1$	$0.796/Q$																						
$R_2$	$3.183Q$																						
$R_3$	$R_2/(4Q^2+1)$																						
元件	值																						
$R_1$	$0.796Q$																						
$R_2$	$R_1/(Q^2-1)$																						
$R_3$	1.0																						
$R_4$	$4R_1$																						
$R_5$	2.0																						
$R_6$	$A_v R_3$																						
	* 电阻为参数 $K=1$ 时的值, 单位为 $k\Omega$ , 增益为 1; 品质因数为 $Q$ .																						
说 明	<div> <math>Q</math> 值较高, 改变 <math>R_1</math> 可以调整 <math>f_0</math>, 且 <math>BW</math> 或 <math>Q</math> 保持不变, 缺点是增益 <math>A_v=1</math>. </div> <div> <math>Q</math> 值高, <math>A_v</math> 可用电位器代替 <math>R_6</math> 进行调整. 改变 <math>R_4</math> 可调整 <math>BW</math> 而不影响 <math>f_0</math>. 到地的直流通路已由 <math>R_4</math> 完成. </div>																						

