

仪器科学与工程学院

检测技术与系统设计

任课教师：李煊鹏

联系方式：li_xuanpeng@seu.edu.cn

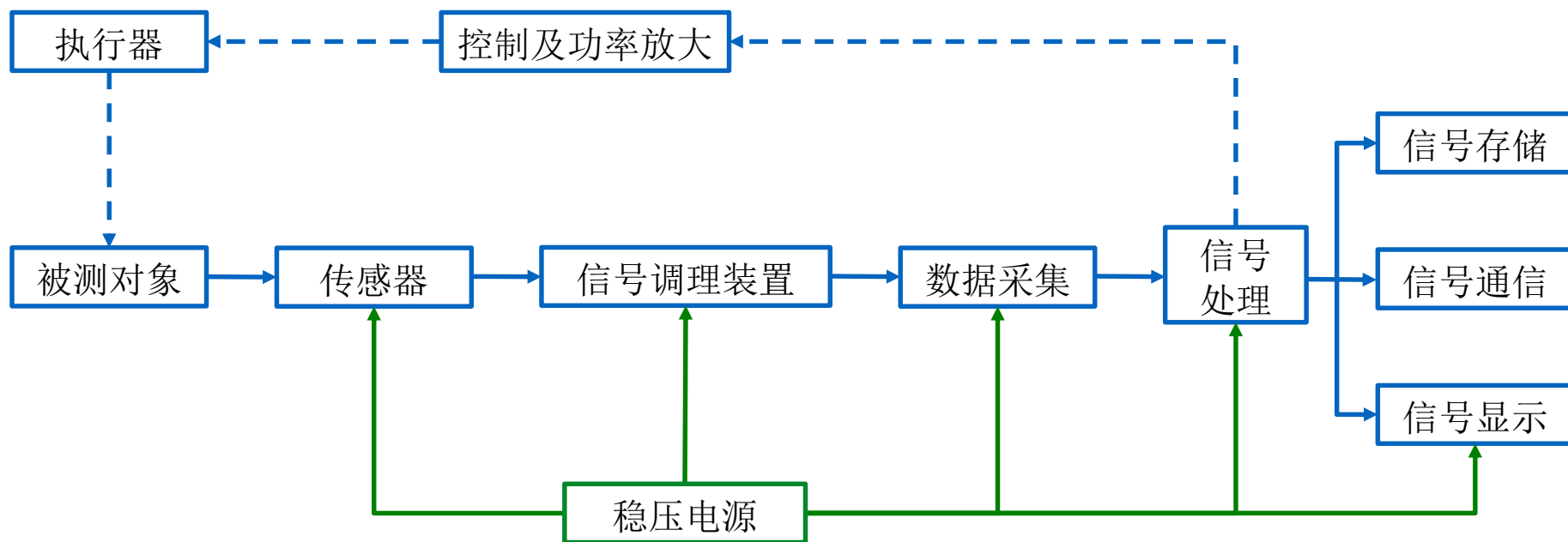
办公室：中心楼330

手机：13770666889

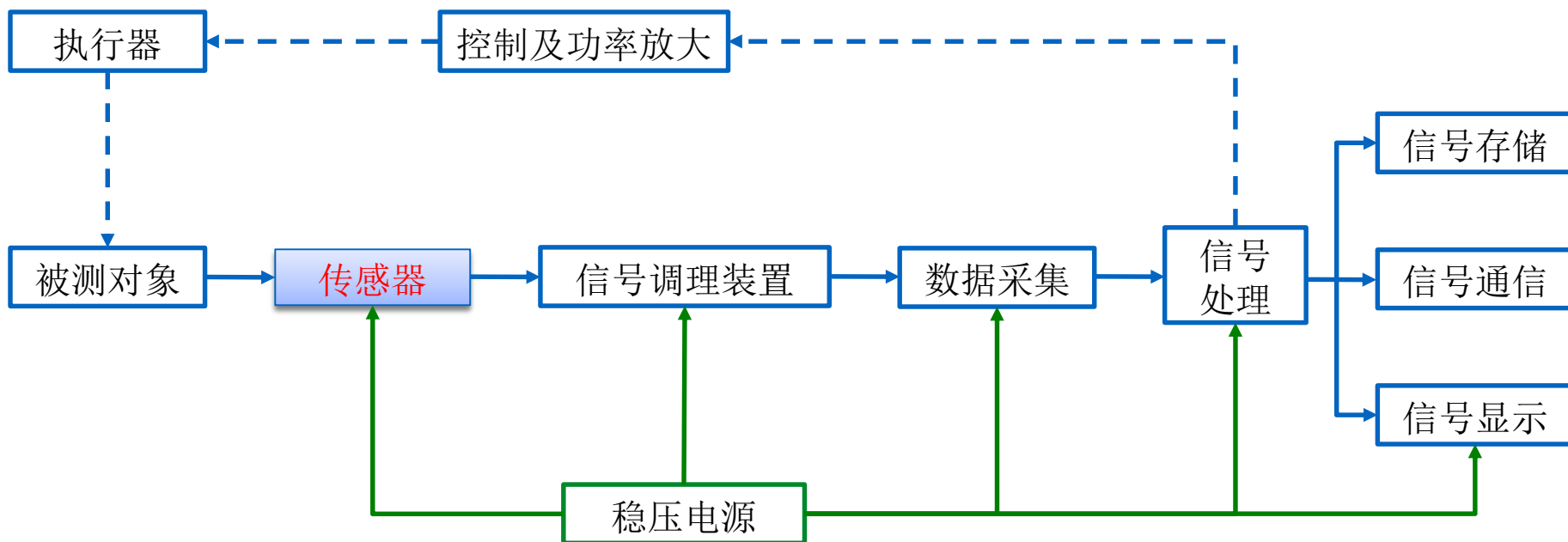
東南大學



第二章 检测系统组成



2.1 检测系统组成—传感器

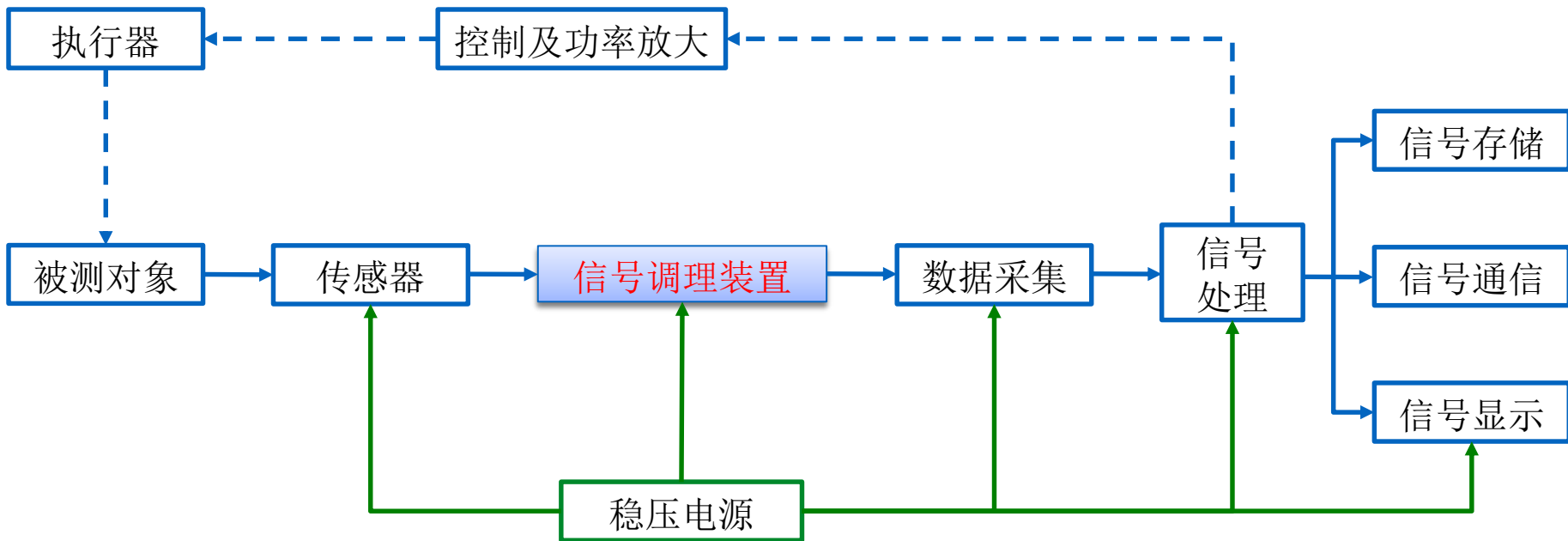


定义：系统与被测对象直接发生联系的器件

作用：感受被测对象指定被测参量的变化，并按一定的规律转换成一个相应的便于传递的输出信号。

通常是将非电被测物理、化学成分参量转换成电信号

2.2 检测系统组成—信号调理



作用：对传感器输出的微弱、含噪声信号再进行预处理、包括**检波、放大、转换、滤波**等步骤，以便显示或供进一步处理。

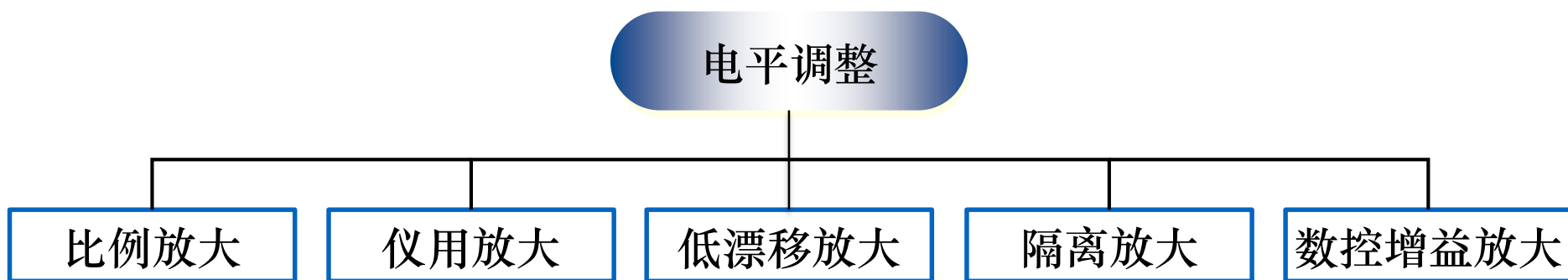
电平调整

信号形式变换

滤波

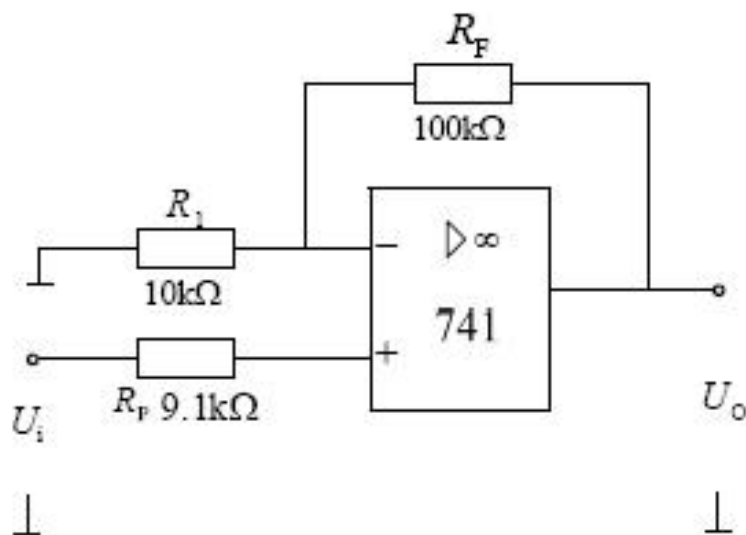
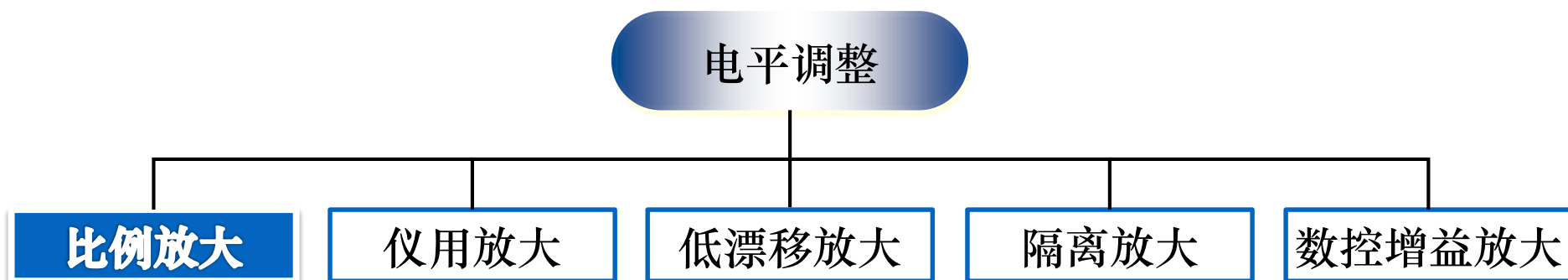
2.2 检测系统组成—电平调整

电平调整：最常见的信号调理，如对电压信号进行放大或衰减



怎么选，如何用？

2.2 检测系统组成—电平调整（1）



$$\frac{U_o}{U_i} = 1 + \frac{R_F}{R_1}$$

通用型运放:

UA741, MA741, LM358, LM324

另根据需求可选用高阻型、低温漂型、高速型、低功耗型等



东南大学

2.2 检测系统组成—电平调整（2）

电平调整

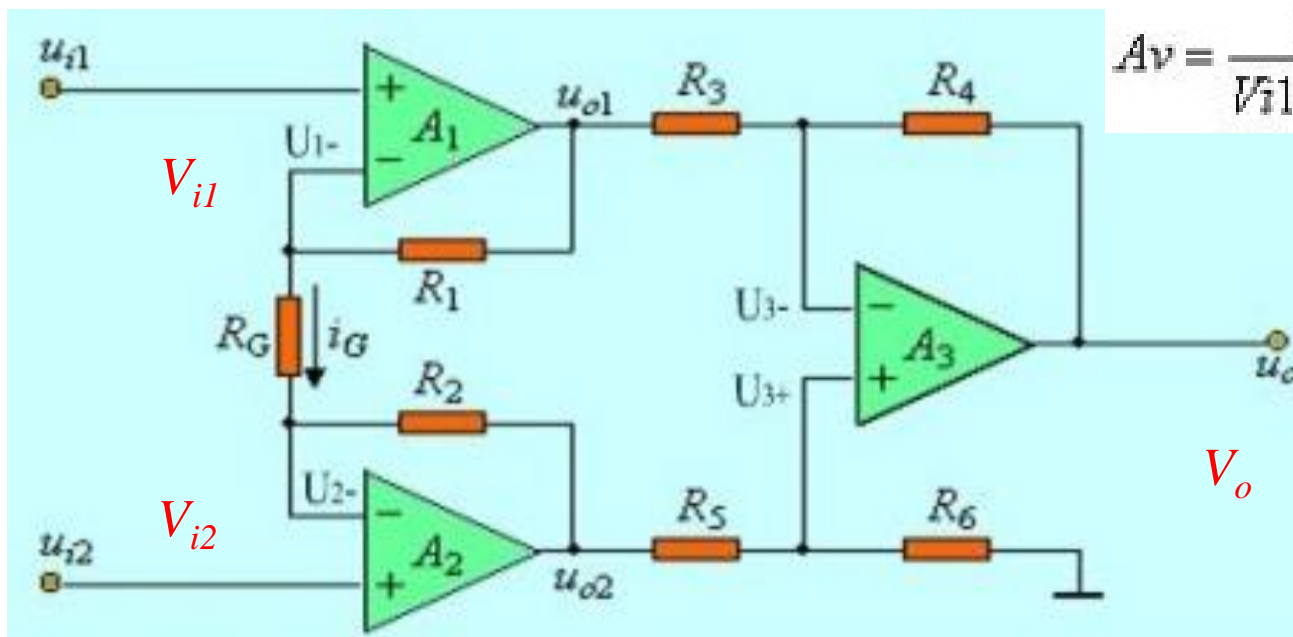
比例放大

仪用放大

低漂移放大

隔离放大

数控增益放大



$$A_v = \frac{V_o}{V_{i1} - V_{i2}} = -\frac{R_4}{R_3} \left(1 + 2 \frac{R_1}{R_g} \right)$$

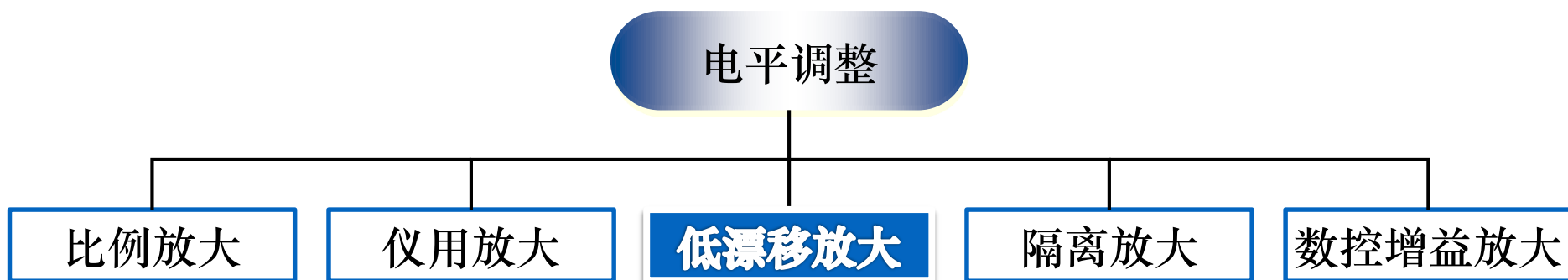
- 高输入阻抗
- 低噪声
- 低线性误差
- 低失调漂移增益

应用于医疗心电、
脑电、音频信号、
视频信号采集等



东南大学

2.2 检测系统组成—电平调整（3）



输入为0时（输入端对地短接），放大器输出端电压偏离初始值漂动，称为零点漂移。

1. 自稳零型放大器
2. 斩波型放大器

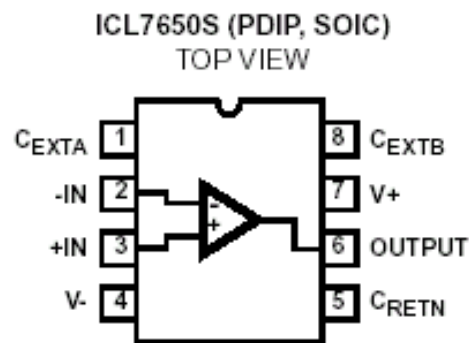
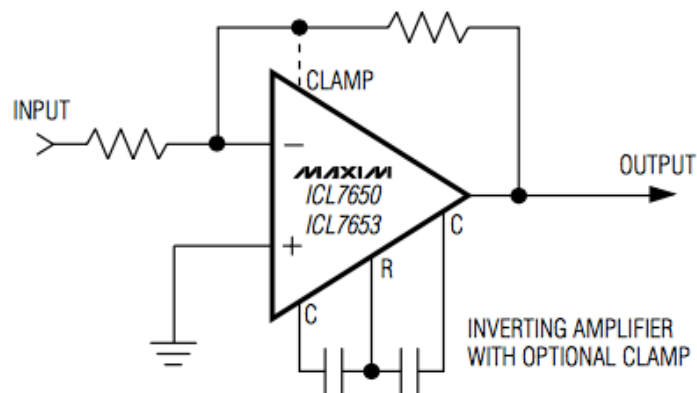
自稳零型	斩波型	斩波 + 自稳零
极低失调	极低失调	极低失调
采样保持	调制 / 解调	采样保持 + 调制 / 解调
混叠导致低频噪声较高	类似于平带噪声	随频率分布的组合噪声
功耗较高	功耗较低	功耗较高
宽带宽	窄带宽	带宽最宽
纹波最小	纹波最大	纹波水平中等
在自稳零频率上能量很小	在斩波频率上能量很大	在自稳零频率上能量很小



2.2 检测系统组成—电平调整（3）

低漂移放大

ICL7650 斩波自稳零型运算放大器（直流/低频）

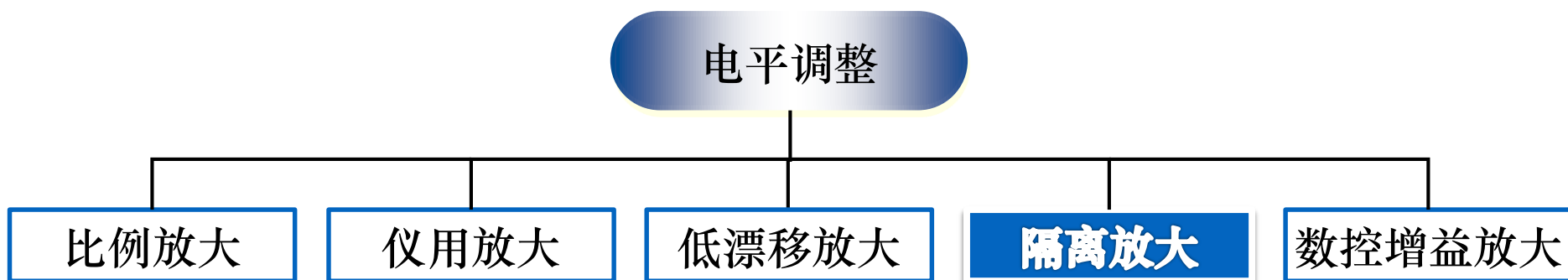


适用于预期寿命10年以上的系统，以及使用高闭环增益和低频、低幅度信号



東南大學

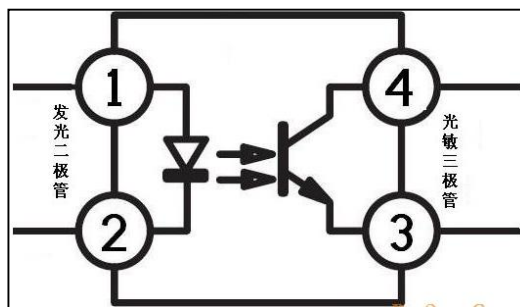
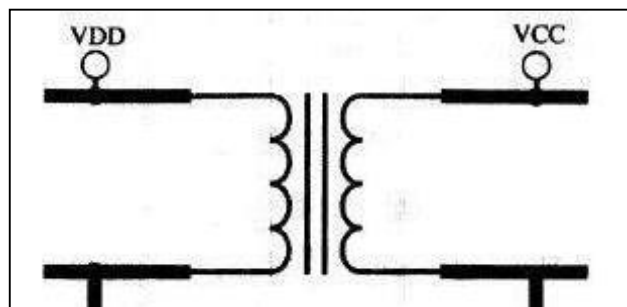
2.2 检测系统组成—电平调整（4）



- 隔离放大器是一种输入电路和输出电路之间电气绝缘的放大器
- 采用**变压器**和**光耦合**传递信号输入电路、输出电路和电源间无直接电路耦合

优点：

- 可承受上千伏共模电压
- 保护仪器设备和人身安全



东南大学

2.2 检测系统组成—电平调整 (5)

电平调整

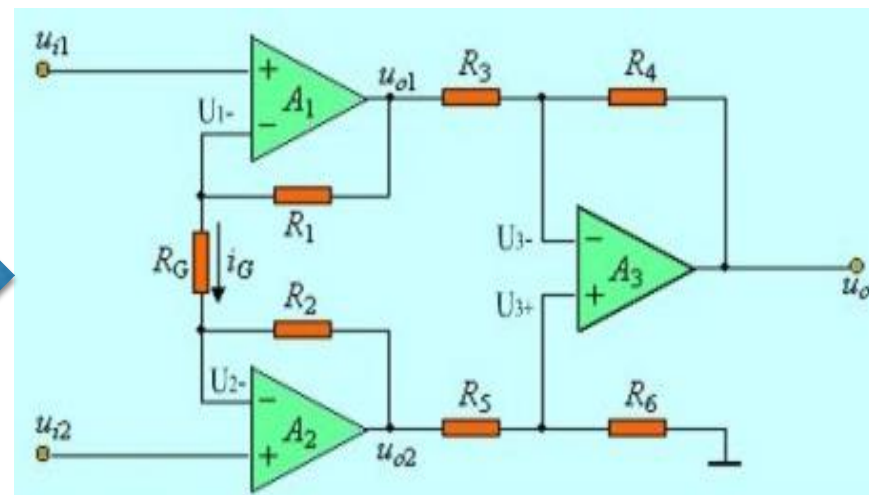
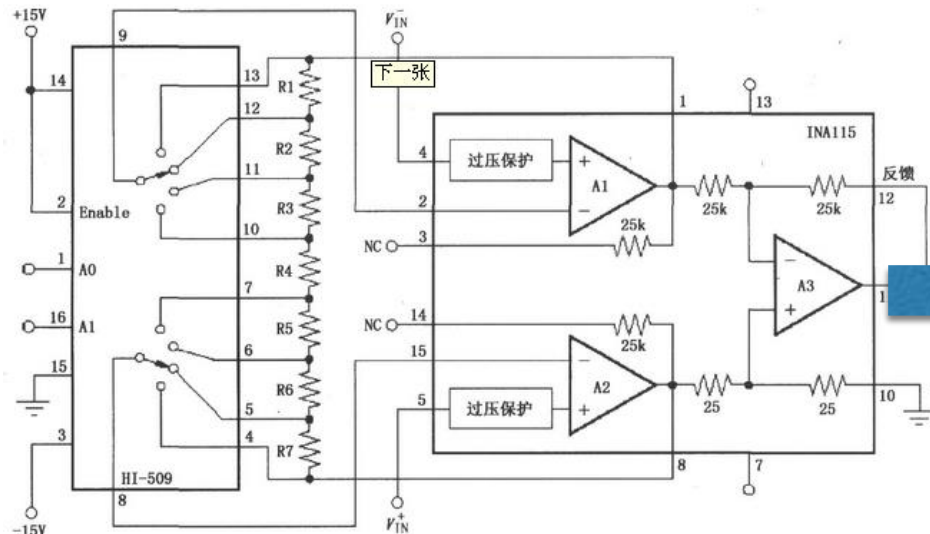
比例放大

仪用放大

低漂移放大

隔离放大

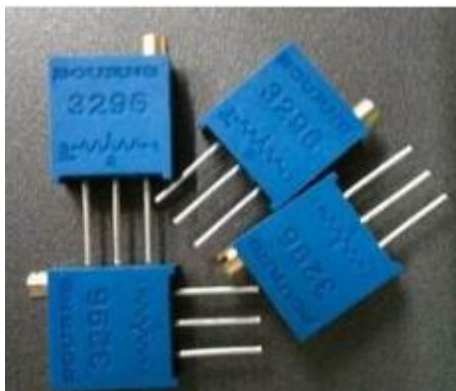
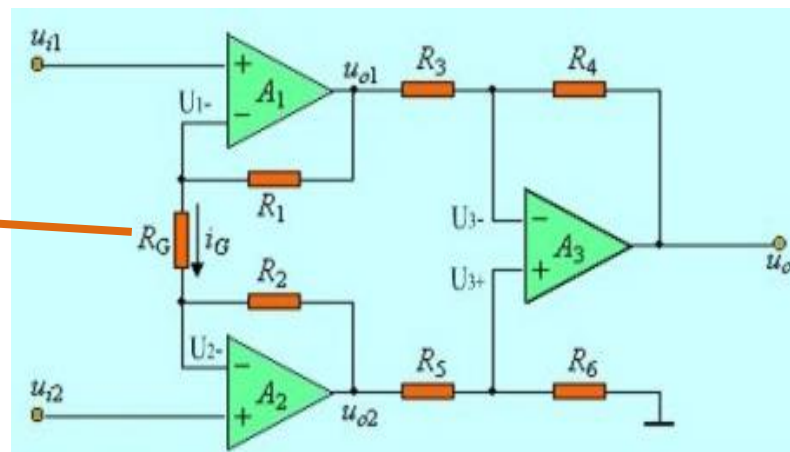
数控增益放大



电阻网络 + 差分放大器 \Rightarrow 放大倍数可调

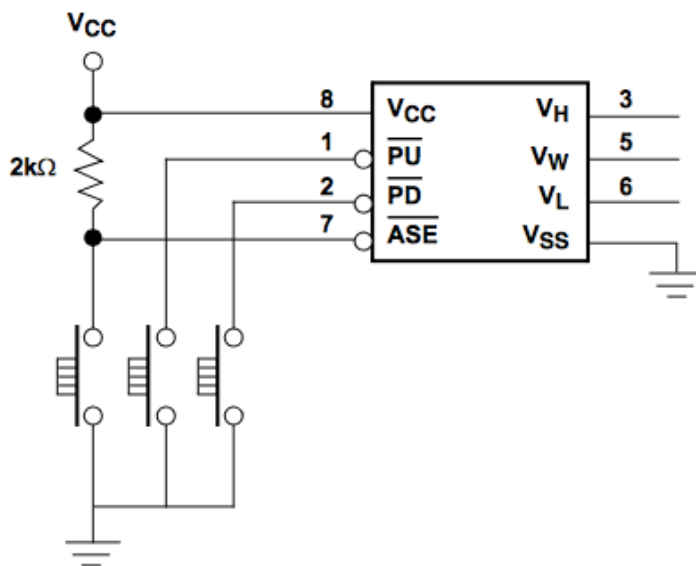
2.2 检测系统组成—电平调整（6）

电位器

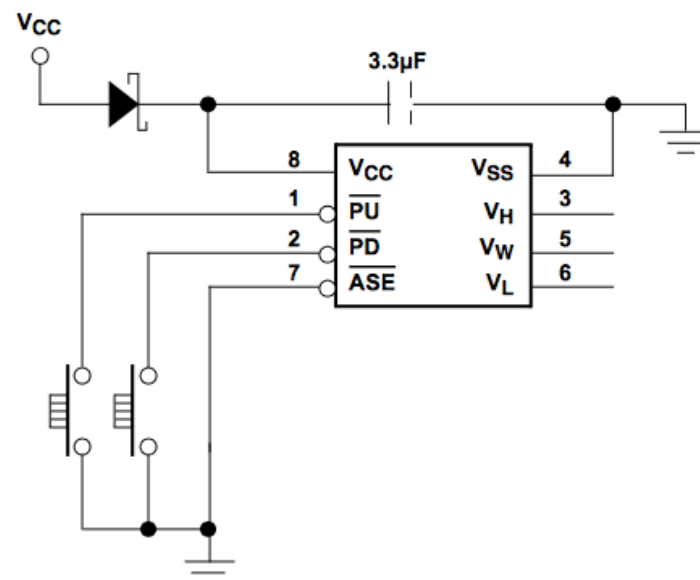


2.2 检测系统组成—电平调整（7）

X9511直插数字电位器



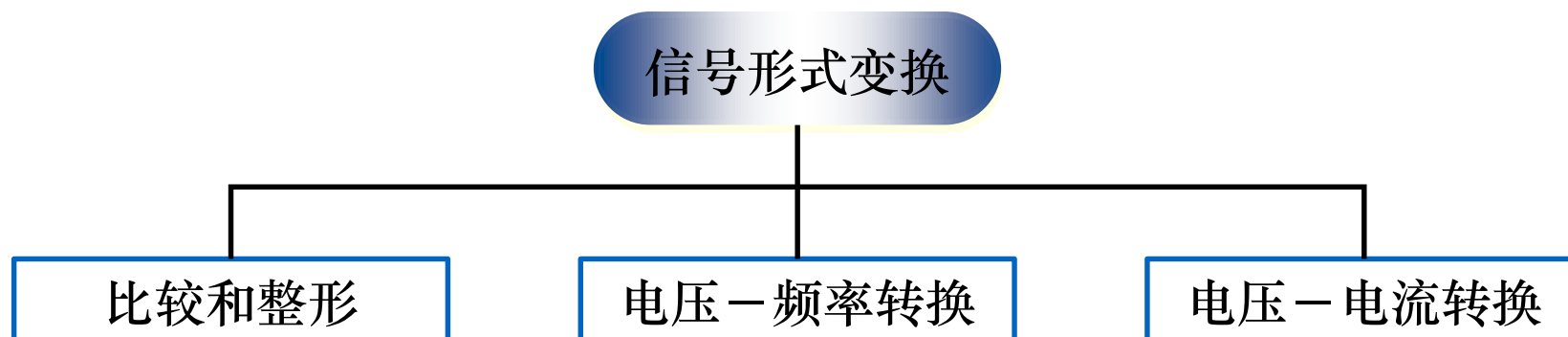
手动模式：按钮选择切换



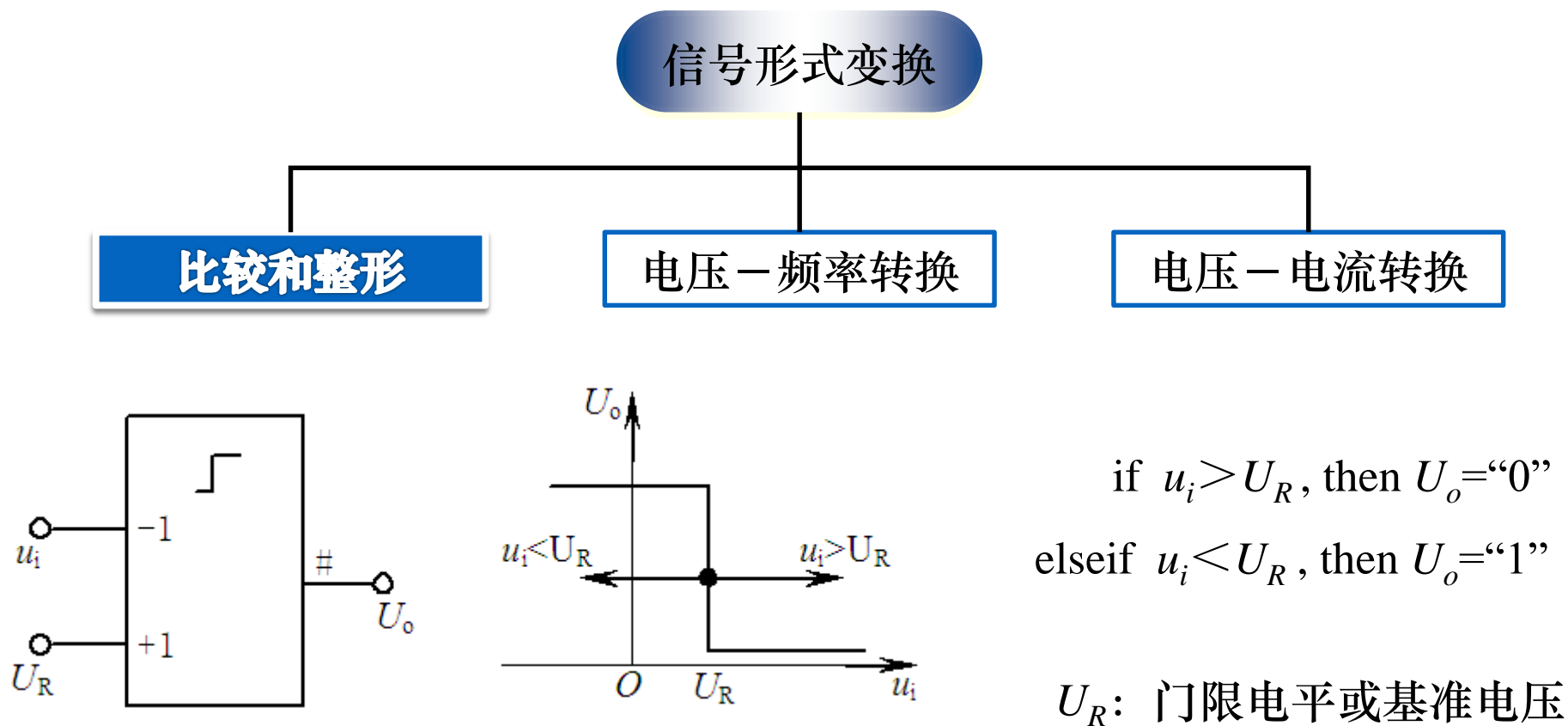
自动模式：自动存储模式

2.2 检测系统组成—信号形式变换

信号形式变换：将传感器输出信号从一种形式变换为另一种形式，如电压—电流间相互转换。



2.2 检测系统组成—信号形式变换（1）



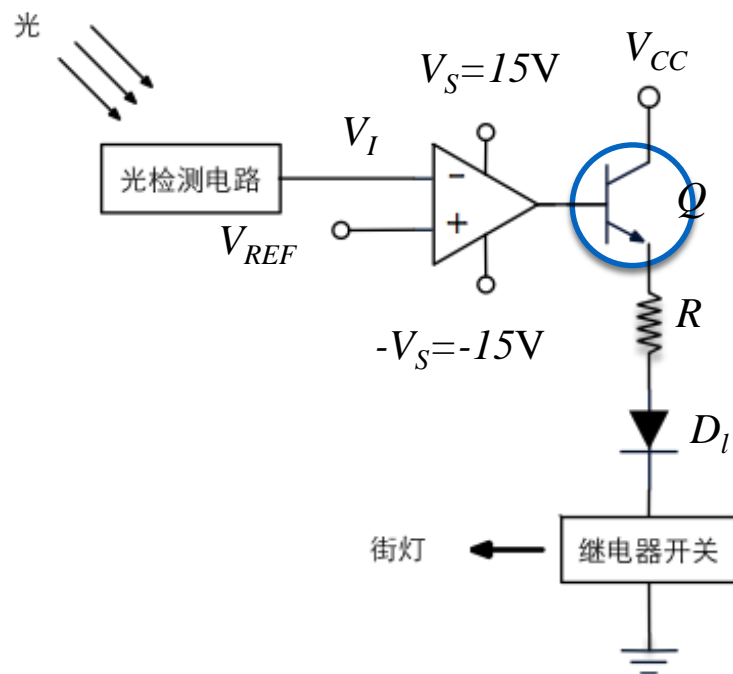
2.2 检测系统组成—信号形式变换（1）

比较和整形

比较器的应用1

V_I 和光强度成正比，

- 白天， $V_I > V_{REF}$ ，晶体管截止，继电器中无电流，使得街灯关闭。
- 夜间， $V_I < V_{REF}$ ，晶体管导通，继电器开关中的电流使街灯打开。

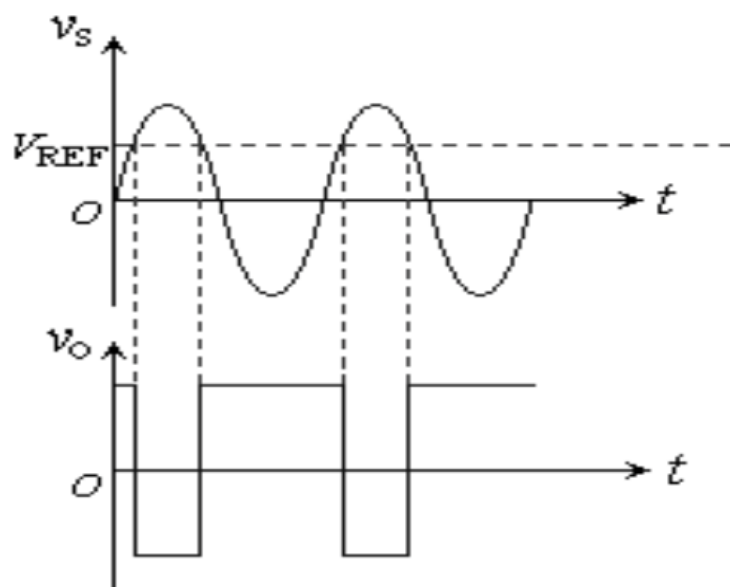


2.2 检测系统组成—信号形式变换（1）

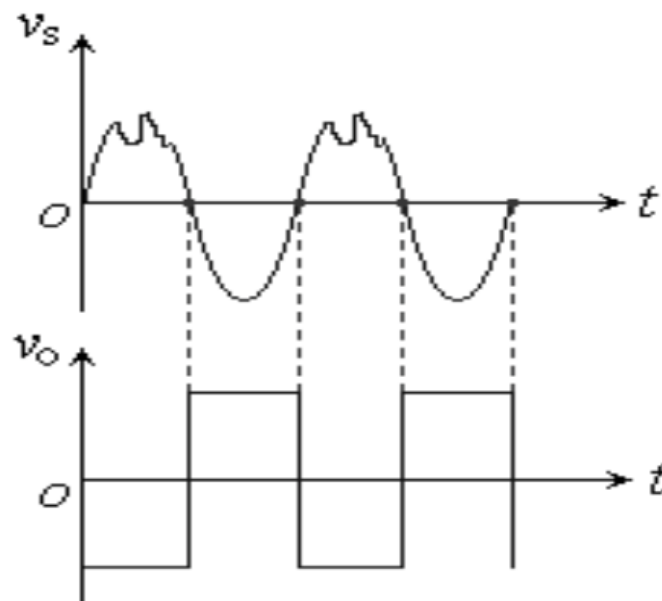
比较和整形

比较器的应用2

单门限电压比较器



正弦波变换为矩形波



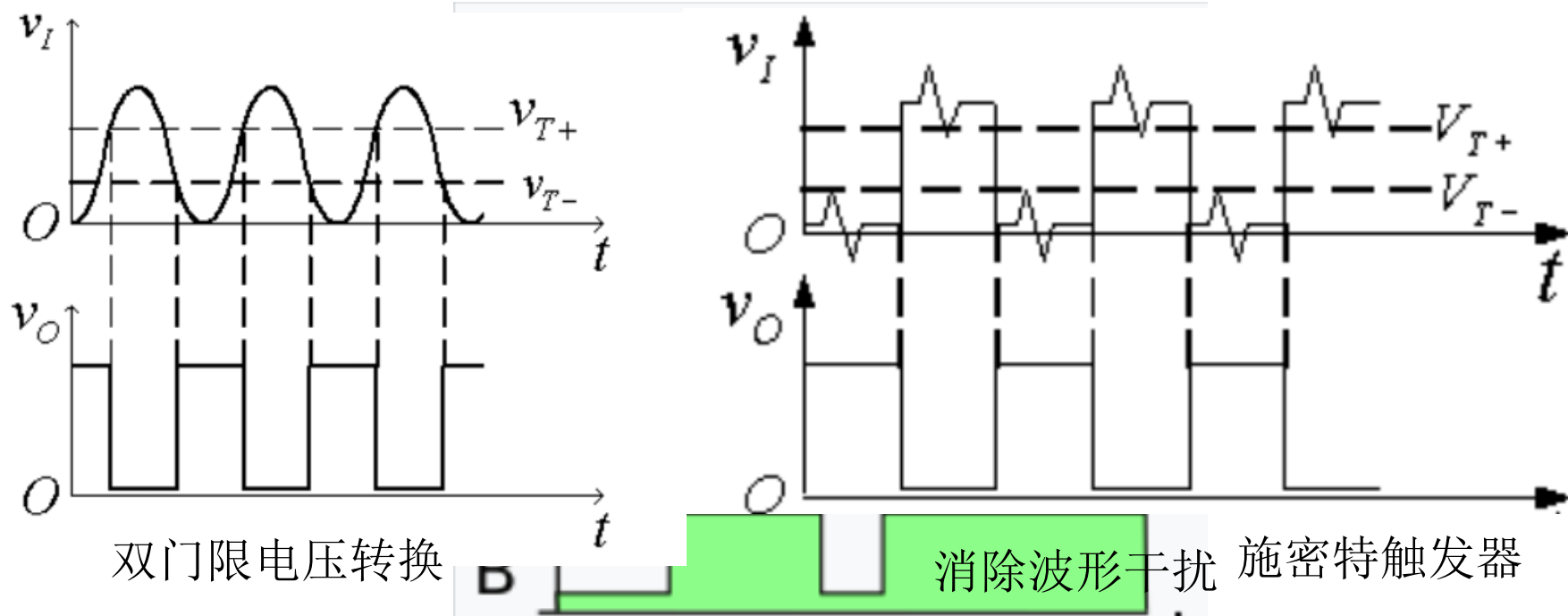
有干扰正弦波变换为方波

2.2 检测系统组成—信号形式变换（1）

比较和整形

比较器的应用2

双门限电压比较器（施密特触发器）

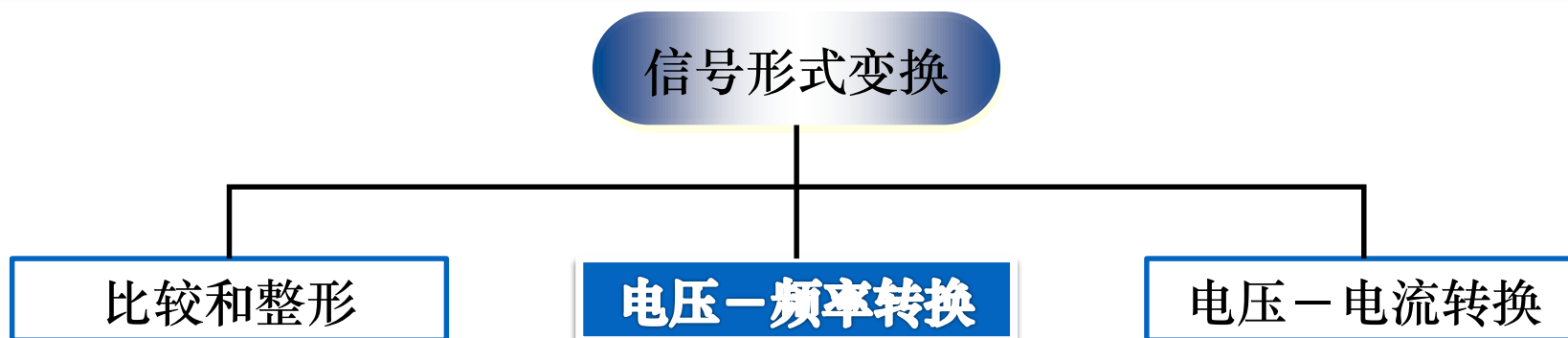


专用电压比较芯片用作比较器比通用的运放速度快

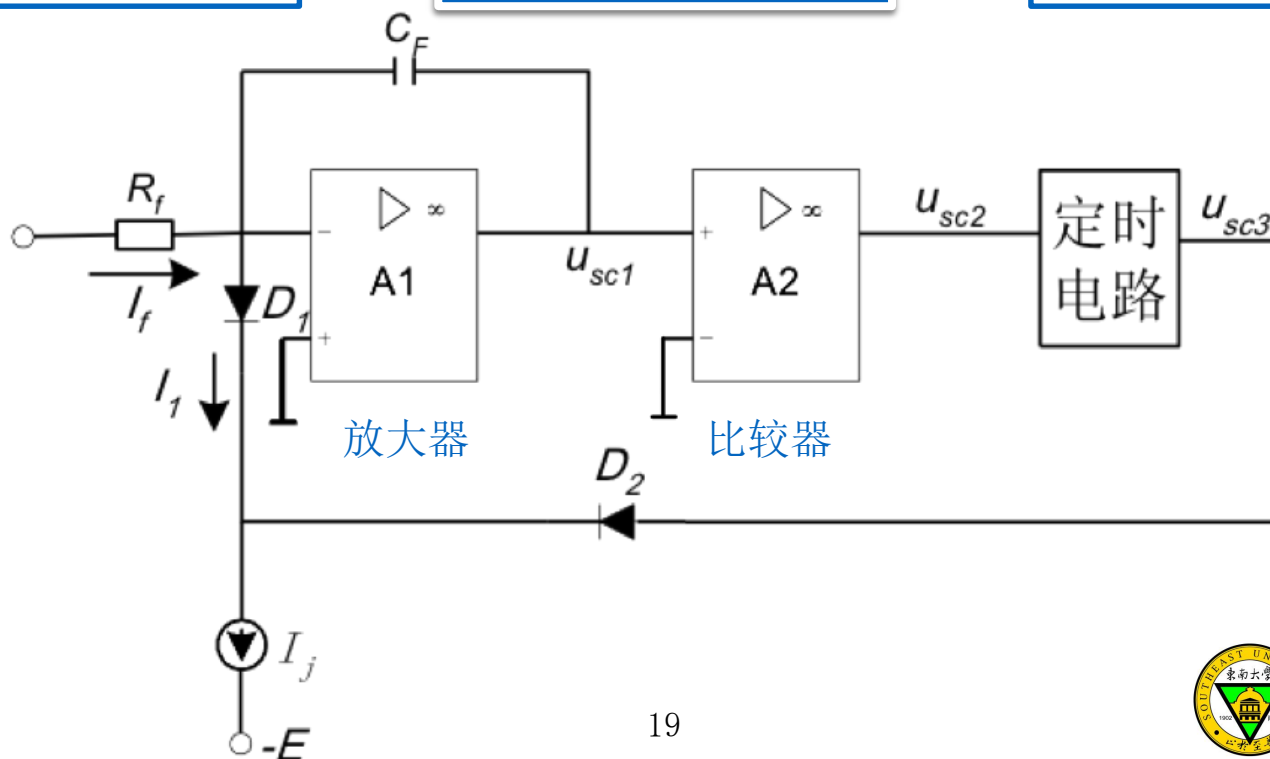


东南大学

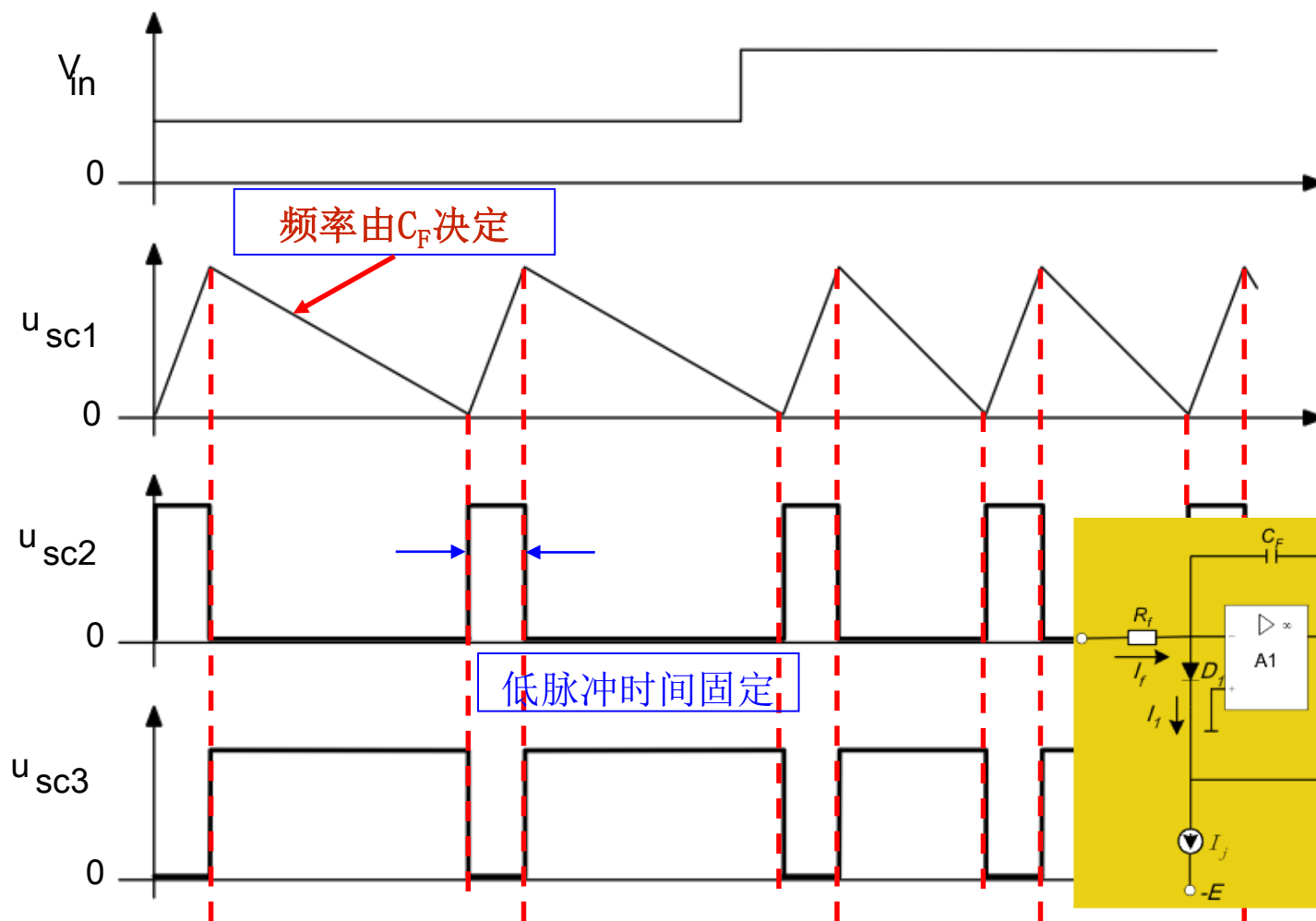
2.2 检测系统组成—信号形式变换（2）



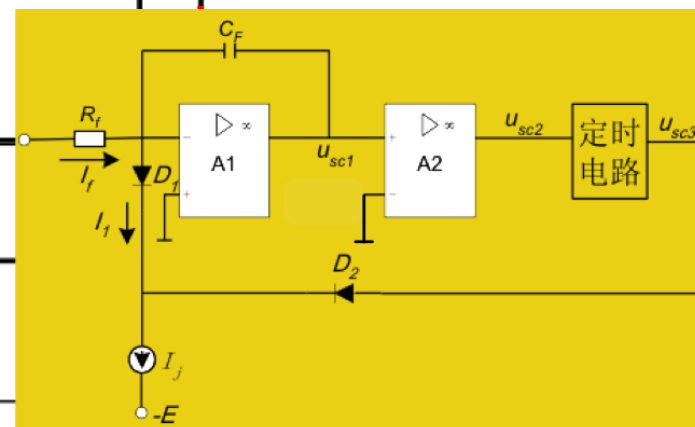
电荷平衡型转换电路



2.2 检测系统组成—信号形式变换（2）



功能芯片：
VFC32



2.2 检测系统组成—信号形式变换（3）

信号形式变换

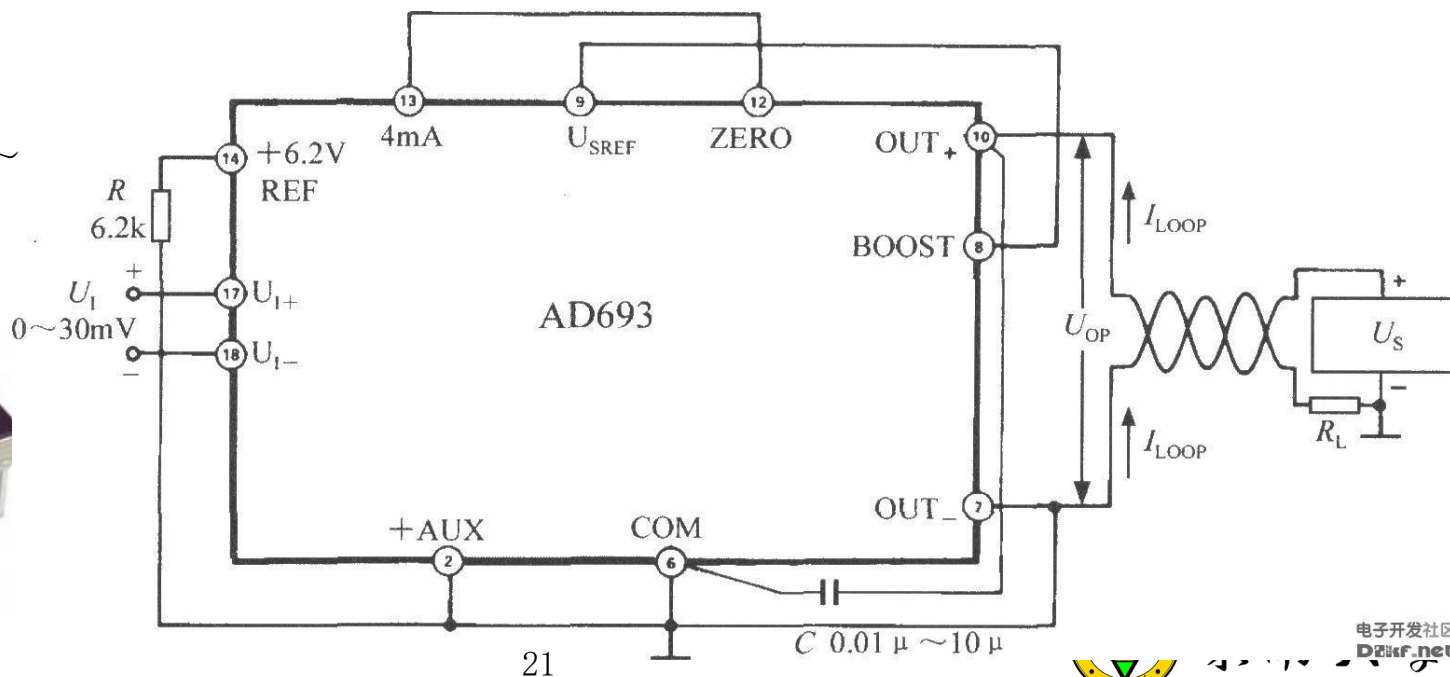
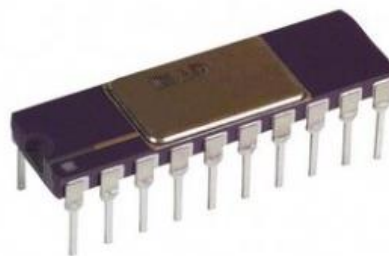
比较和整形

电压—频率转换

电压—电流转换

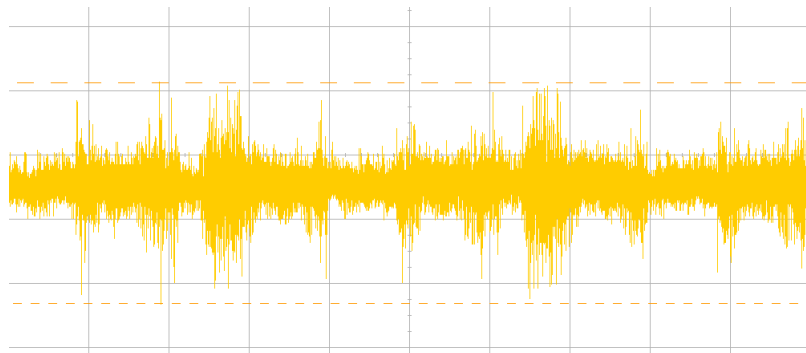
AD693集成芯片

- 0~30mV 或 0~60mV电压输入
- 4~20mA电流输出

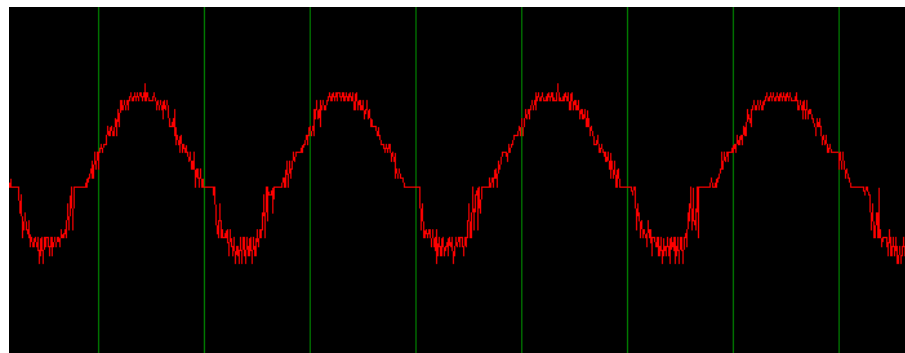


2.2 检测系统组成—滤波

滤波：滤除信号中的噪声，减小由于传感器内阻或传输线阻抗等因素带来的测量误差，达到提高测量精度的目的。



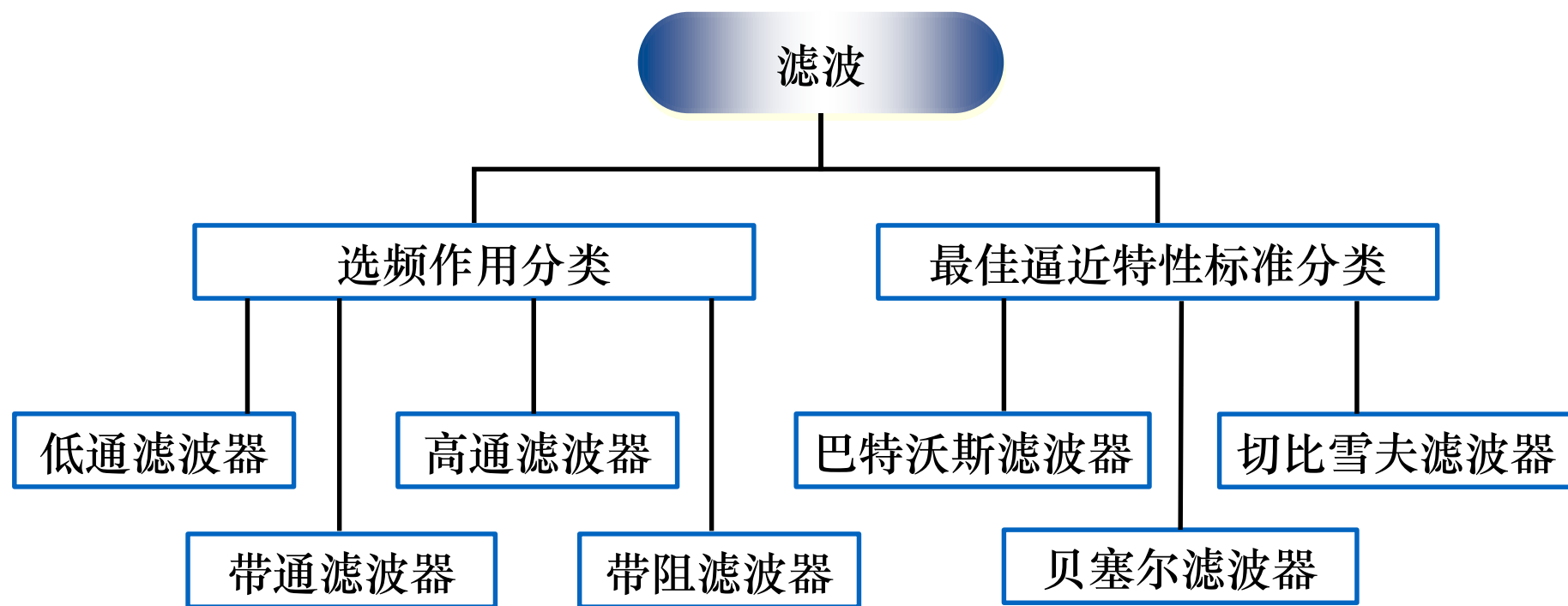
电源噪声



信号噪声

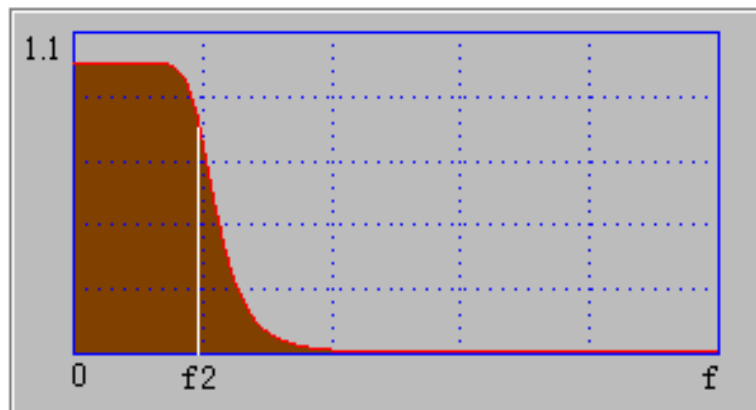
- 分贝 (dB) 来表示噪声的强度
- 信噪比 (S/N) 来衡量噪声对有用信号的影响程度

2.2 检测系统组成—滤波

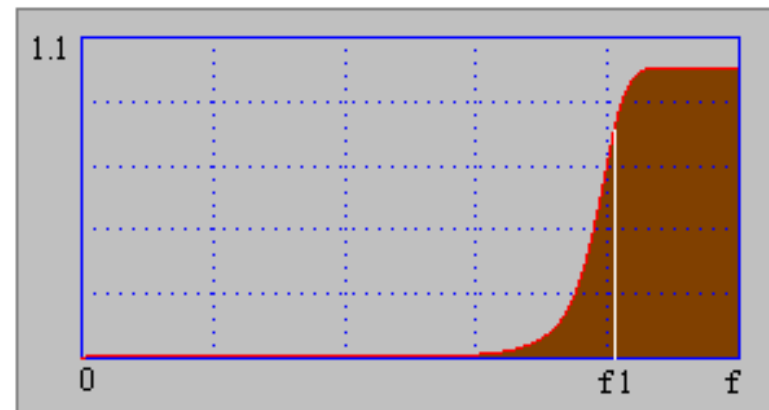


2.2 检测系统组成—选频作用分类（1）

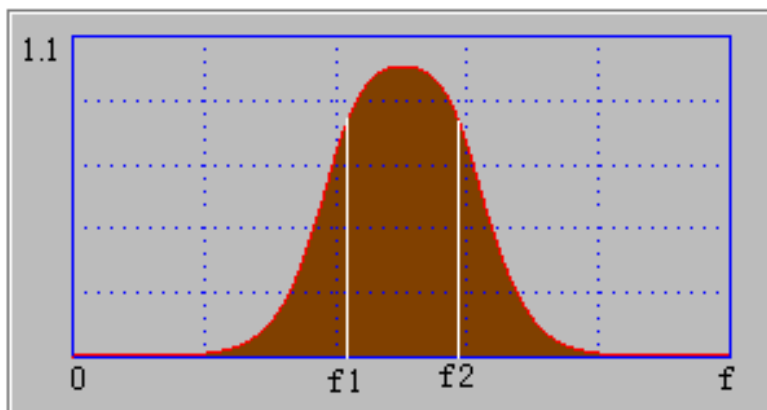
低通滤波器



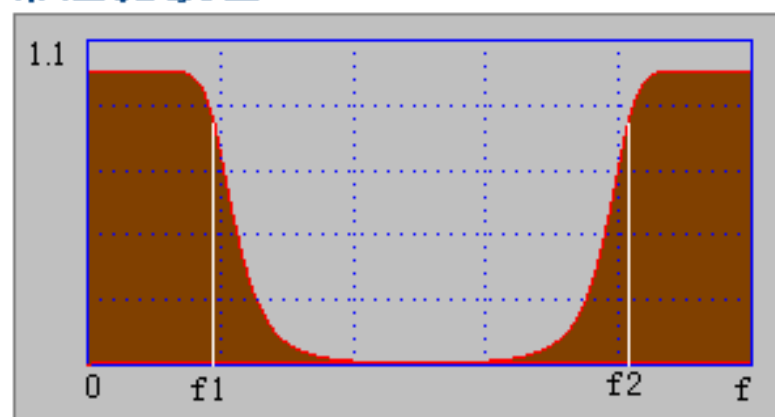
高通滤波器



带通滤波器

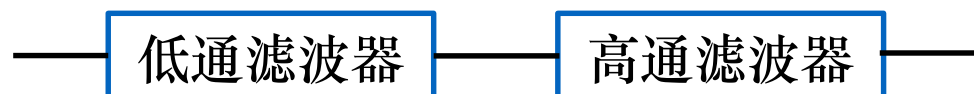


带阻滤波器

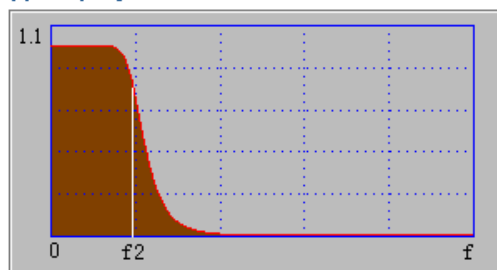


2.2 检测系统组成—选频作用分类（2）

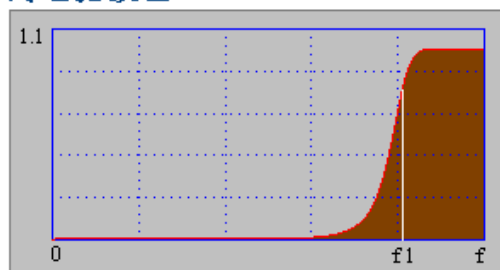
串联结构



低通滤波器



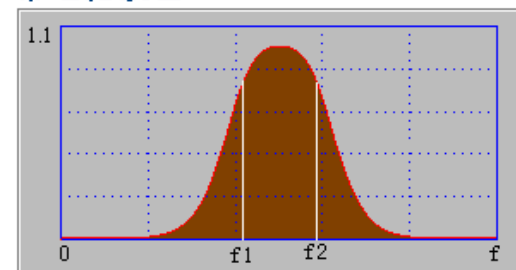
高通滤波器



*

=

带通滤波器



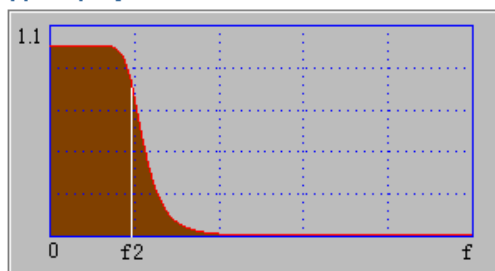
2.2 检测系统组成—选频作用分类（3）

并联结构

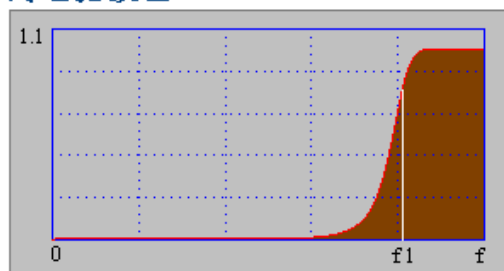


带阻滤波器

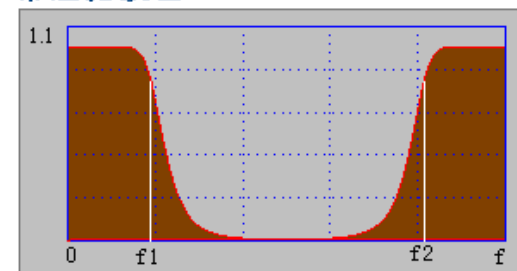
低通滤波器



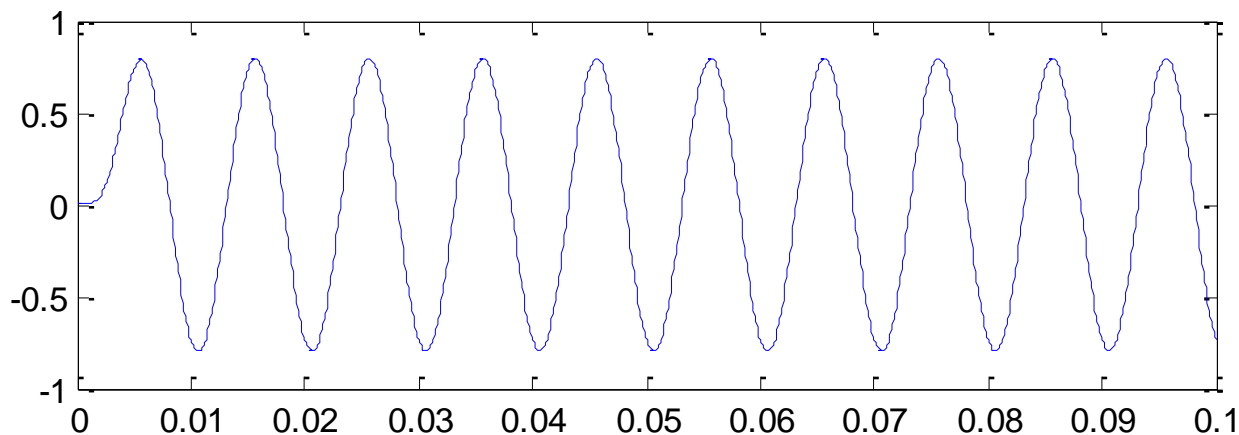
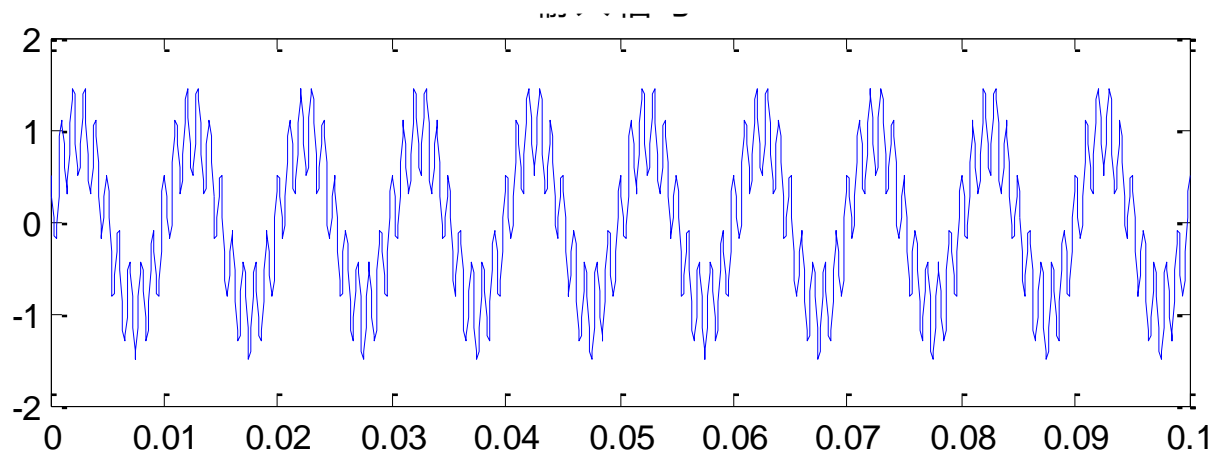
高通滤波器



带阻滤波器



2.2 检测系统组成—低通滤波器（1）



低通滤波器

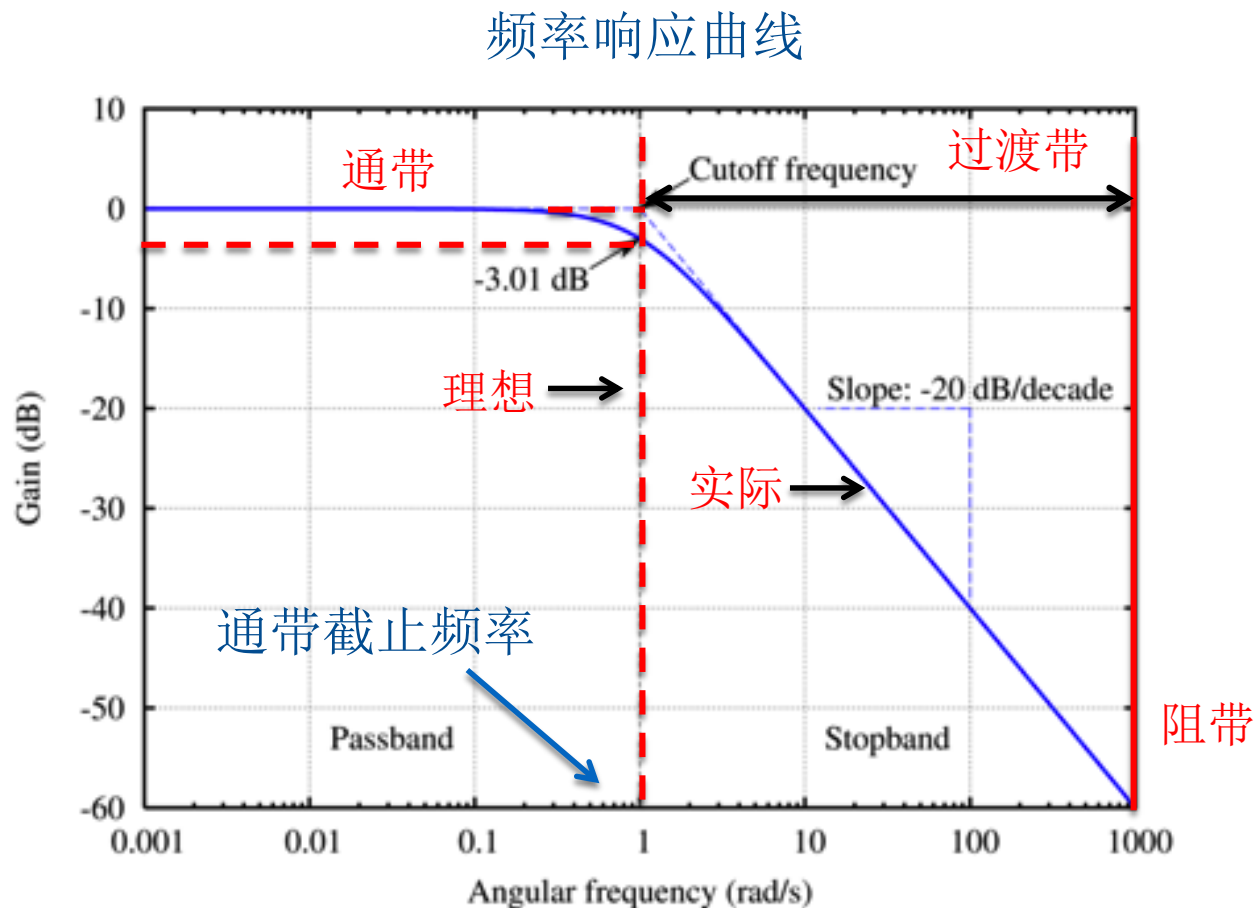


東南大學

2.2 检测系统组成—低通滤波器（2）

低通滤波器的主要技术指标

- 通带截止频率
- 通带增益



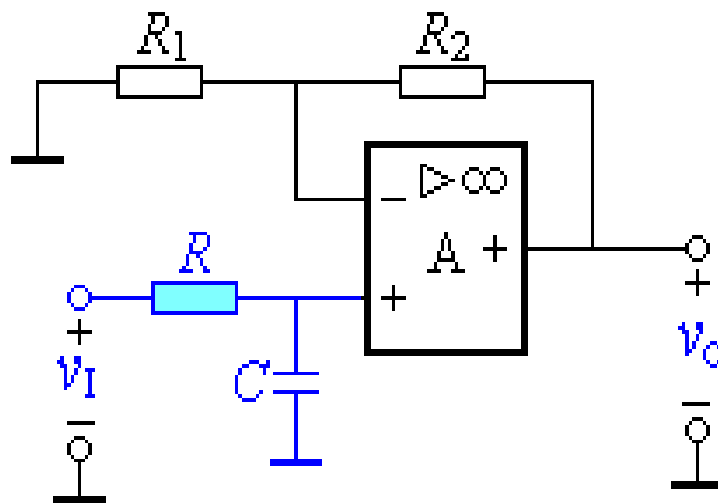
我们希望曲线平坦，过渡带短



东南大学

2.2 检测系统组成—低通滤波器（3）

一阶低通滤波器



1. 通带增益 A_{vp}

当 $f=0$ 或频率很低时，各电容器可视为开路，通带内的增益为

$$A_{vp} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

2. 通带传递函数 $A_v(s)$

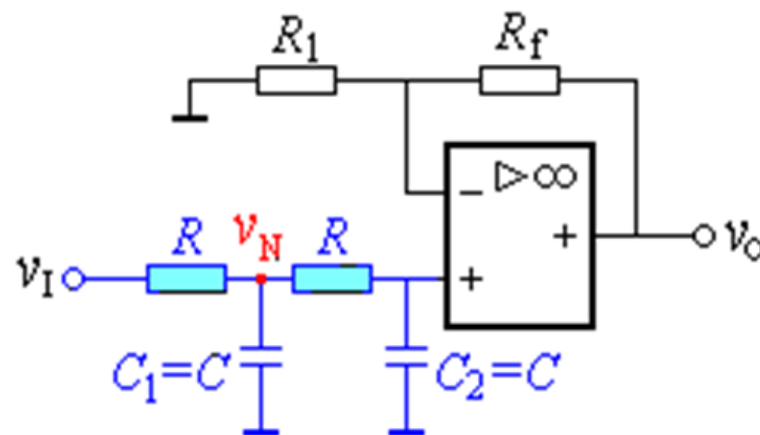
$$\begin{aligned} V_o(s) &= A_{vp} V_-(s) \\ V_+(s) &= V_i(s) \frac{1}{1 + sCR} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow A_v(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{A_{vp}}{1 + sCR}$$



2.2 检测系统组成—低通滤波器（4）

二阶低通滤波器



1. 通带增益

当 $f=0$ 或频率很低时，各电容器可视为开路，通带内的增益为

$$A_{vp} = 1 + \frac{R_f}{R}$$

2. 通带传递函数

$$V_o(s) = A_{vp} V_-(s)$$

$$V_+(s) = V_N(s) \frac{1}{1 + sC_2 R}$$

$$V_N(s) = \frac{\frac{1}{sC_1} // (R + \frac{1}{sC_2})}{R + [\frac{1}{sC_1} // (R + \frac{1}{sC_2})]} V_i(s)$$



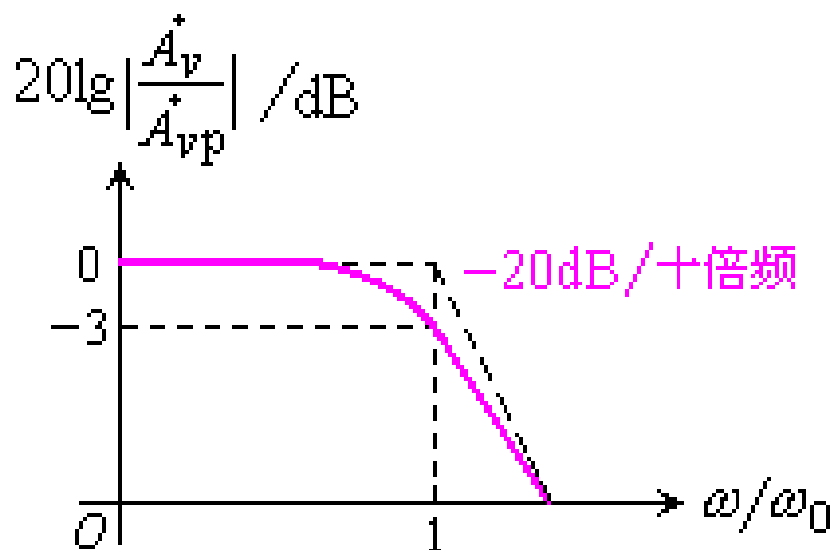
$$A_v(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} = \frac{A_{vp}}{1 + 3sCR + (sCR)^2}$$



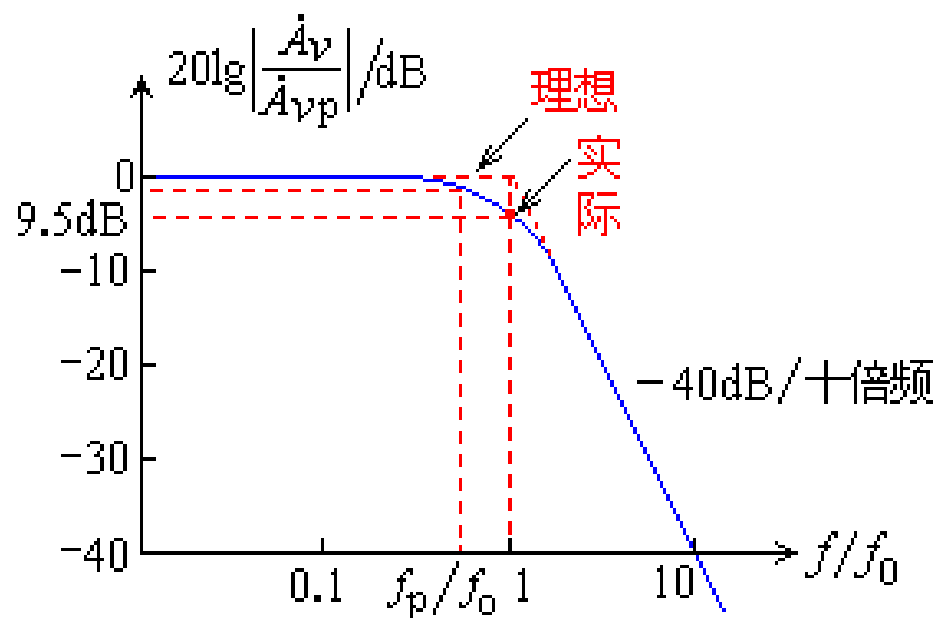
东南大学

2.2 检测系统组成—低通滤波器（5）

一阶低通滤波器



二阶低通滤波器



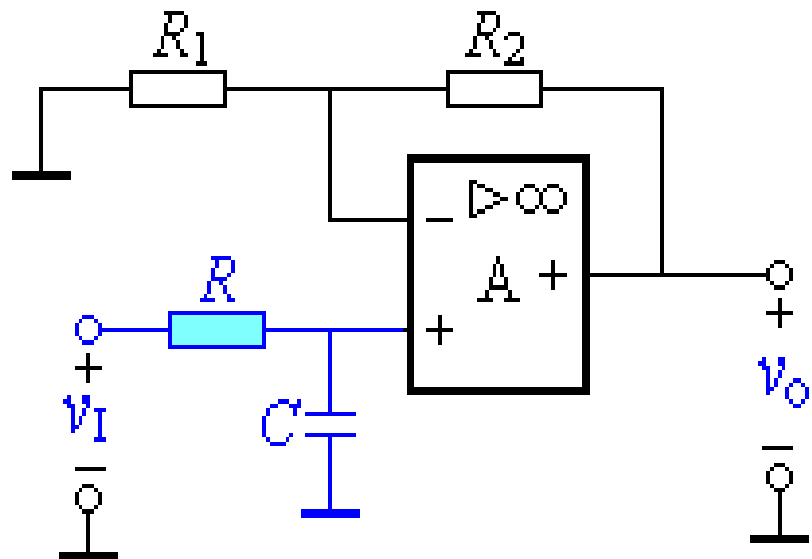
阻带衰减快，选择性较好



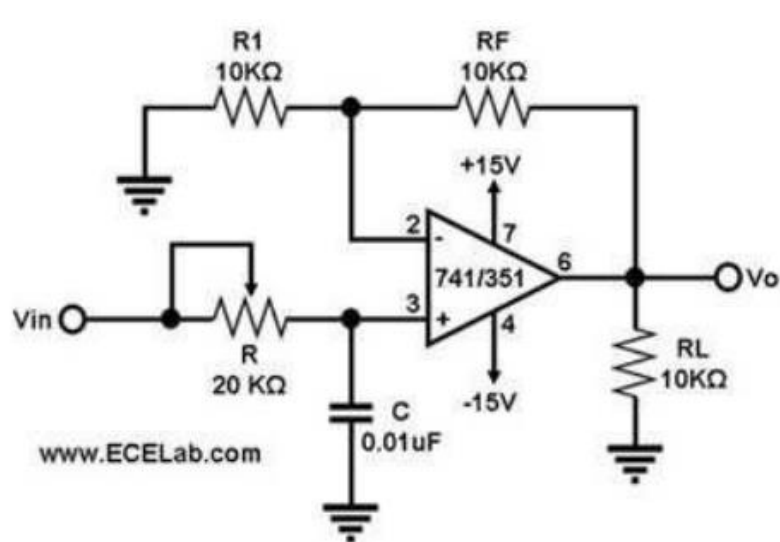
2.2 检测系统组成—最佳逼近特性标准（1）

最佳逼近特性标准分类

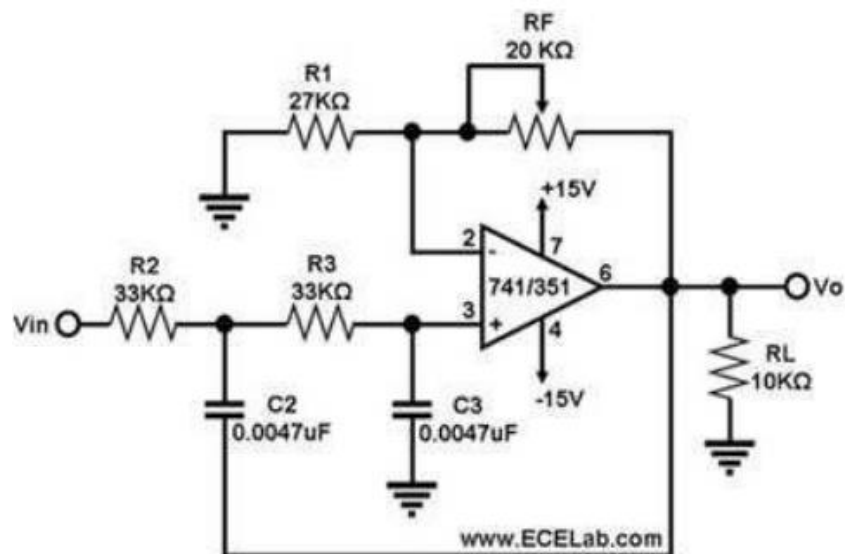
- 巴特沃斯
- 切比雪夫
- 贝塞尔
- 电路形式是一样的，只是数值不同
- 只能通过频率响应识别



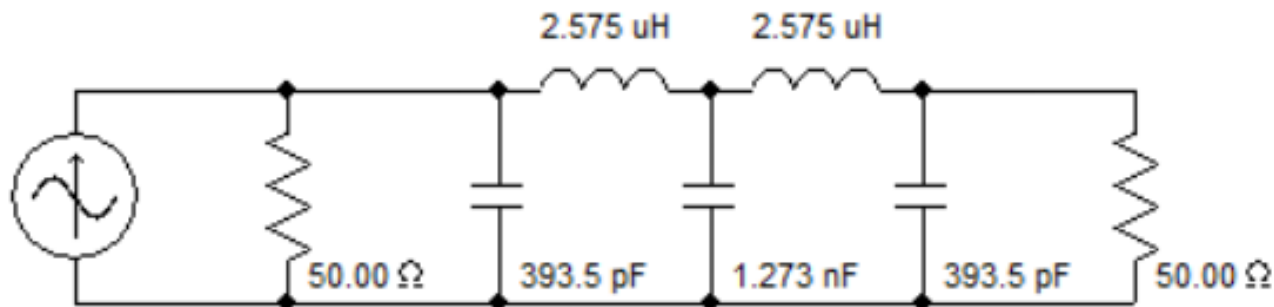
2.2 检测系统组成—最佳逼近特性标准（2）



一阶巴特沃斯低通滤波器



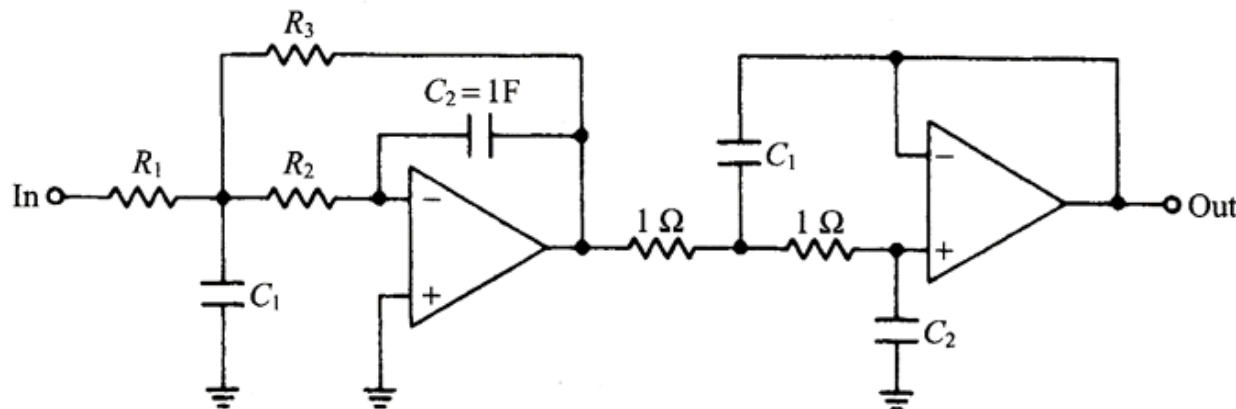
二阶巴特沃斯低通滤波器



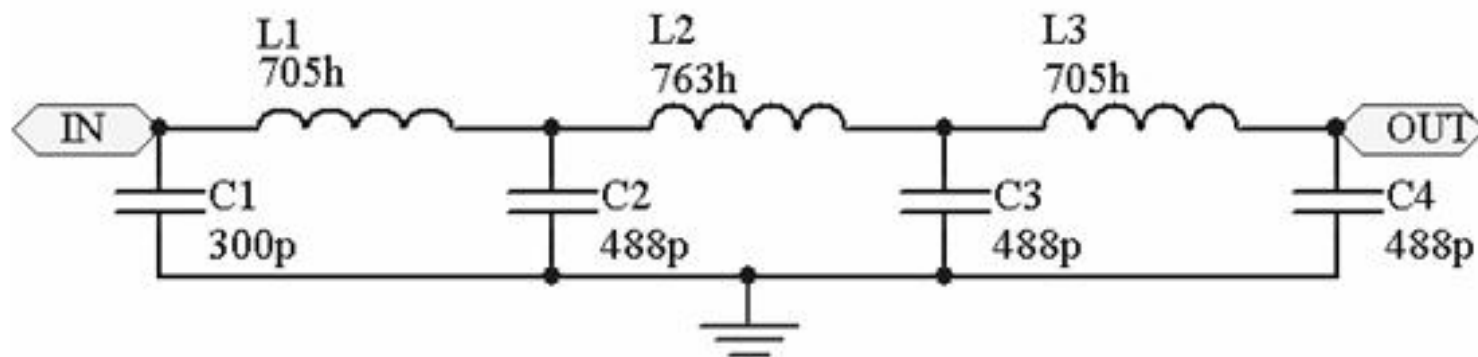
五阶巴特沃斯低通滤波器



2.2 检测系统组成—最佳逼近特性标准 (3)



4阶贝塞尔低通滤波器



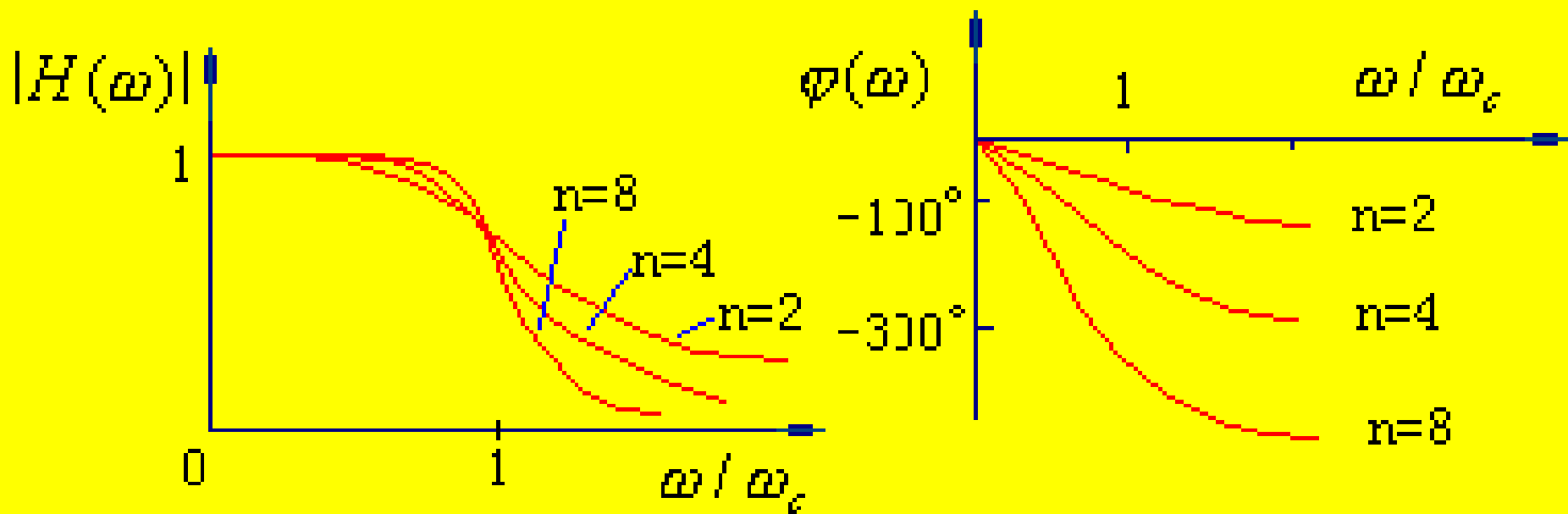
7阶切比雪夫低通滤波器



2.2 检测系统组成—最佳逼近特性标准（4）

巴特沃斯滤波器

波特图



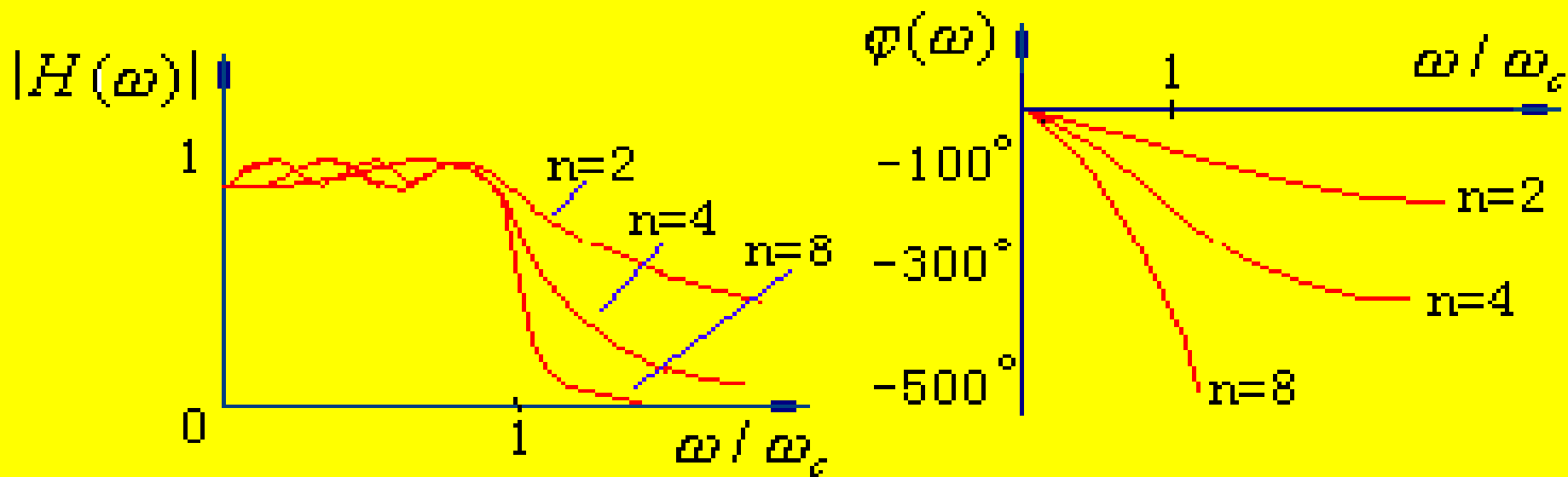
通带内最大平坦幅度特性，不考虑相频特性



2.2 检测系统组成—最佳逼近特性标准 (5)

切比雪夫滤波器

波特图



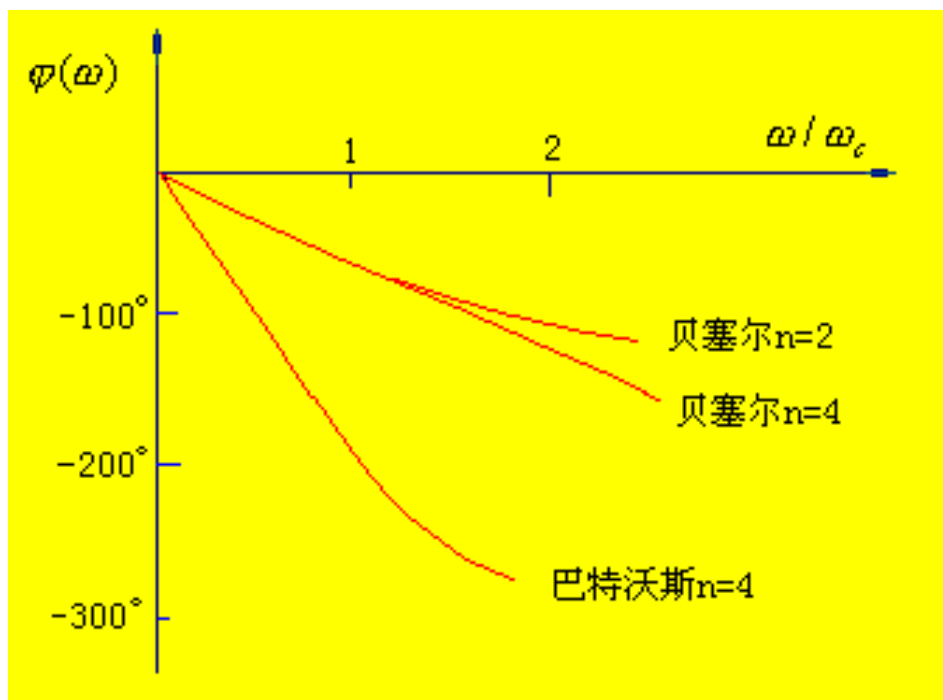
通带或阻带有波纹，过渡带衰减更陡峭



東南大學

2.2 检测系统组成—最佳逼近特性标准（6）

贝塞尔滤波器

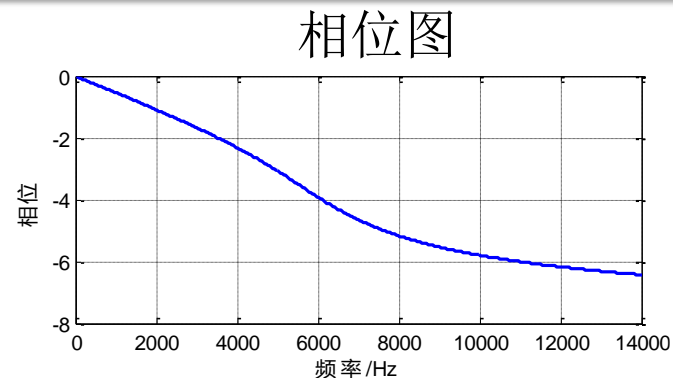
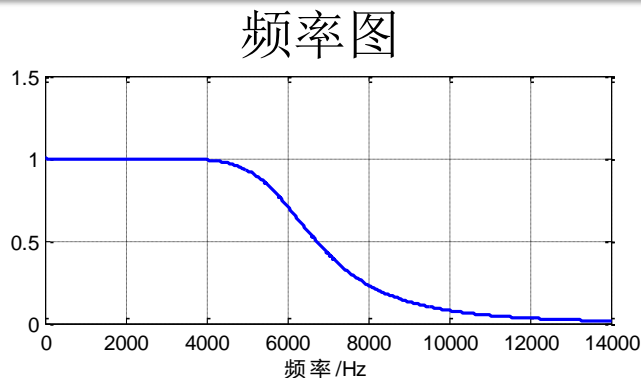


具有较高线性度的相脚位移，可减少非线性相位失真，用于音频系统中

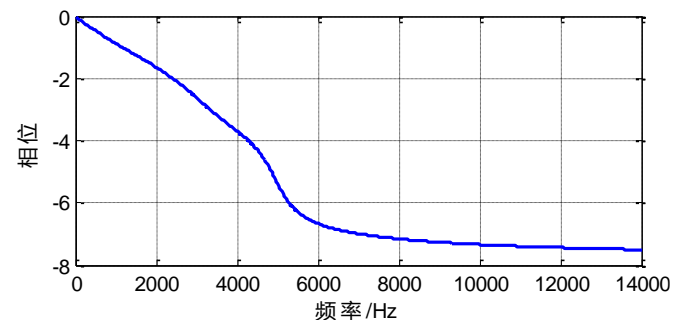
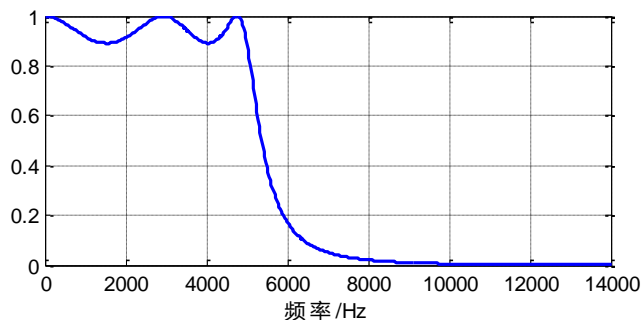


2.2 检测系统组成—最佳逼近特性标准 (7)

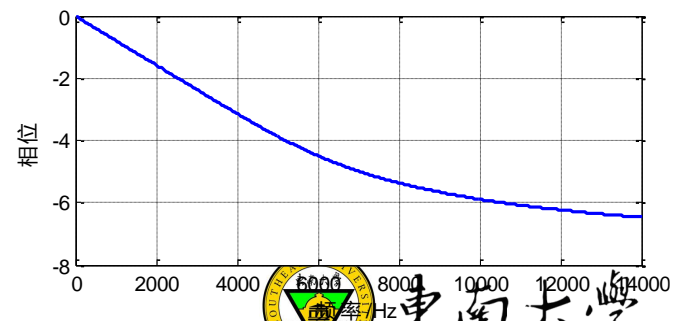
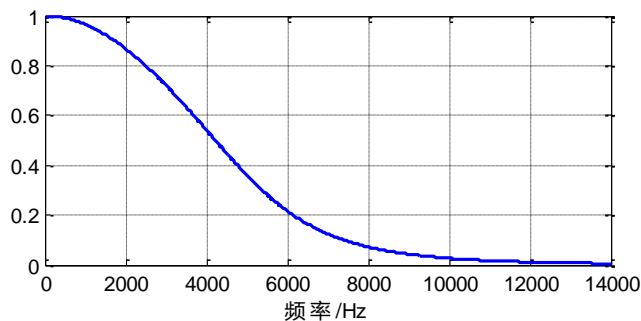
巴特沃斯滤波器



切比雪夫滤波器



贝塞尔滤波器



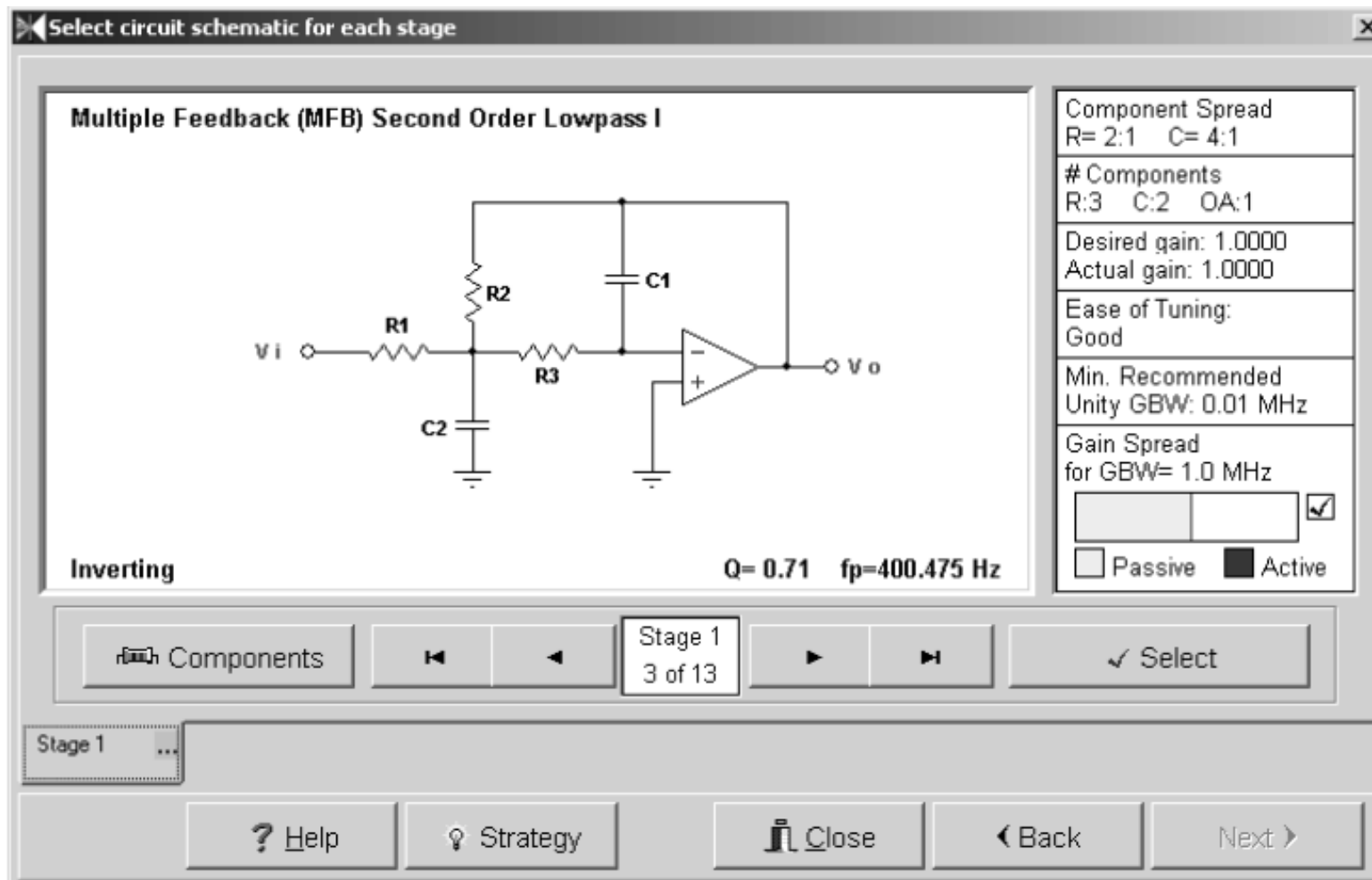
2.2 检测系统组成—滤波器设计（1）

模拟滤波器设计基本步骤

- ✚ 根据实际需要确定滤波器相关参数，如截止频率等
- ✚ 寻求一个合适的、可实现的传递函数，该函数的特性应该符合所提出的要求
- ✚ 选择合适的电路结构来实现所选定的有理函数
- ✚ 计算电路中各器件的参数，如电阻阻值和电容容值，选择合适的运算放大器



2.2 检测系统组成—滤波器设计（2）

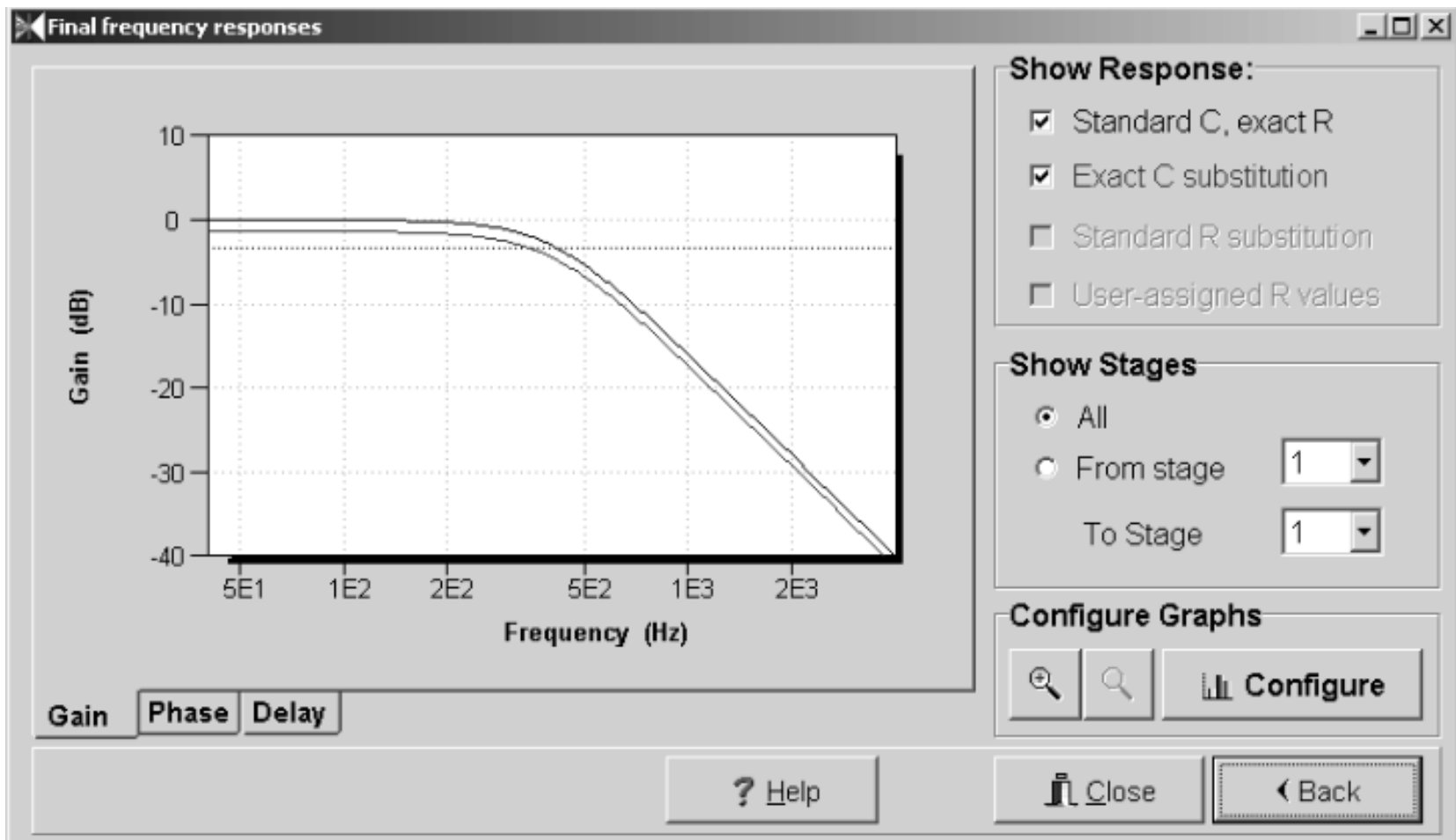


用Filter Wiz Pro 3.0进行滤波器设计



東南大學

2.2 检测系统组成—滤波器设计（3）



用Filter Wiz Pro 3.0进行滤波器设计



東南大學

2.2 检测系统组成—滤波器设计（4）

```
5 % 巴特沃斯低通滤波器
6 - fp=5000; % 通带截止频率, HZ
7 - Ap=2; % 通带最大衰减, dB
8 - fs=12000; % 阻带截止频率, HZ
9 - As=30; % 阻带最大衰减, dB;
10 - wp=2*pi*fp;ws=2*pi*fs;
11 - [N,wc]=buttord(wp,ws,Ap,As,'s'); % 求模拟滤波器的最小阶数和截止频率(-3dB)
12 % N = 3;
13 % wc = wp;
14 - [B,A]=butter(N,wc,'s'); % 设计带阻滤波器
15 - k=0:511;fk=0:14000/512:14000;wk=2*pi*fk;
16 - [Hk Wb]=freqs(B,A,wk); % 计算给定频率点的复数频率响应, Wb是以rad/second为单位的
17 - Wb = Wb/(2*pi);
18 - subplot(3,2,1);
19 - plot(Wb,abs(Hk),'LineWidth',2);grid on;
20 - xlabel('频率/Hz');ylabel('幅值');
21 - subplot(3,2,2);
22 - plot(Wb,unwrap(angle(Hk)),'LineWidth',2);grid on;
23 - xlabel('频率/Hz');ylabel('相位');
```

用Matlab进行滤波器设计



東南大學

2.2 检测系统组成—参考书目

- ❖ 《电子滤波器设计》
- ❖ 《LC滤波器设计》
- ❖ 《Filter Theory and Practice》



2.2 检测系统组成—信号调理总结

电平调整

信号形式变换

滤波

对信号调理电路的一般要求

- 能准确转化、稳定放大、可靠地传输信号
- 信噪比高，抗干扰性能要好



東南大學