



# 时间安排

时间	内容	讲课
8月3日	模拟小信号调理技术	田社平
8月8日	模一数系统抗干扰技术 嵌入式系统及可编程逻辑器件 (I)	田社平
8月10日	嵌入式系统及可编程逻辑器件 (II) PID控制技术	田社平
8月15日	可编程逻辑器件开发演示 Protel、Orcad	田社平 诸勤敏

主讲：田社平 ([sptian@sjtu.edu.cn](mailto:sptian@sjtu.edu.cn))



# 模拟小信号调理技术

1 引言

2 信号放大技术

3 开关滤波技术

4 高速高分辨率**A/D**技术

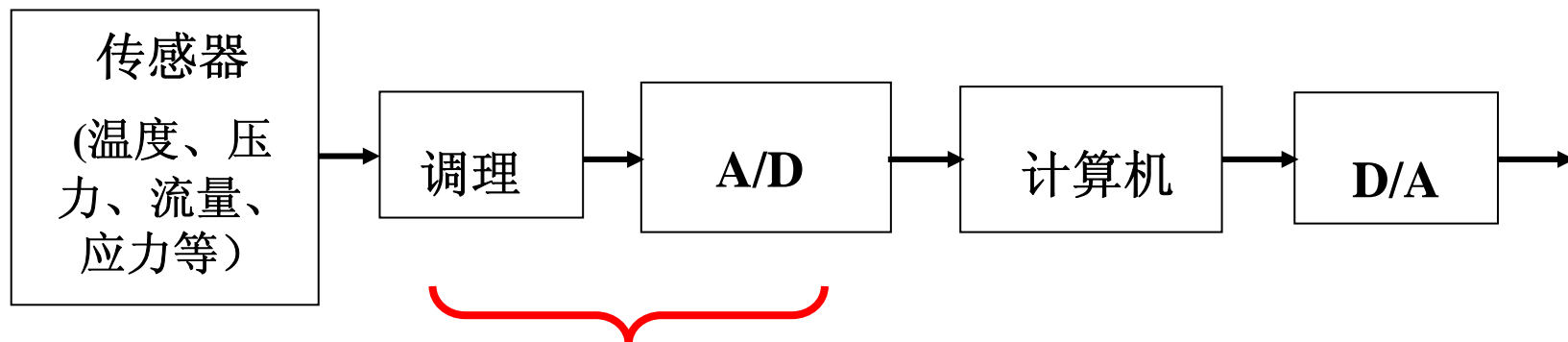
5 模拟调理技术的新趋势

主讲：田社平（[sptian@sjtu.edu.cn](mailto:sptian@sjtu.edu.cn)）



# 1 引言

## 1.1 模拟信号调理技术



要求:

- ❑ 正确度 低噪声与高抗干扰能力；低漂移与高稳定性；合适的通频带；线性；合适的输入输出阻抗
- ❑ 响应速度 好的频率特性和高的响应速度
- ❑ 可靠性 简化电路结构以提高可靠性
- ❑ 经济性 优良的性能与低廉的价格



## 1.2 信号调理电路的类别

- 基本运放电路：放大、单位换算、隔离输入失调去除
- 变换电路：滤波、**A/D**、**V/F**
- 调制解调电路：
- 高等运算电路：微分、积分（空间与时间）、同步相加
- 比较电路：阈值
- 补偿电路：校正、补偿、去除噪声
- 控制电路：零位法计测、伺服型计测
- 驱动电路：恒压源、恒流源、驱动信号补偿

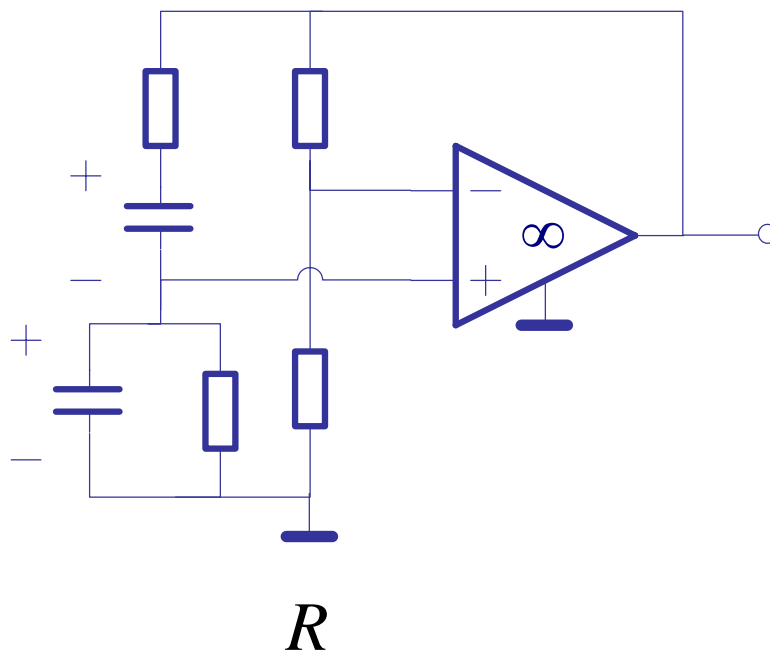


## 1.3 电路的一般分析方法

- $S$ 域分析方法：线性电路
- 工程分析方法：具有简便性
- 数值分析方法：便于理解电路性质
- EDA技术：Protel、Orcad、Multisim等



## 文氏振荡器



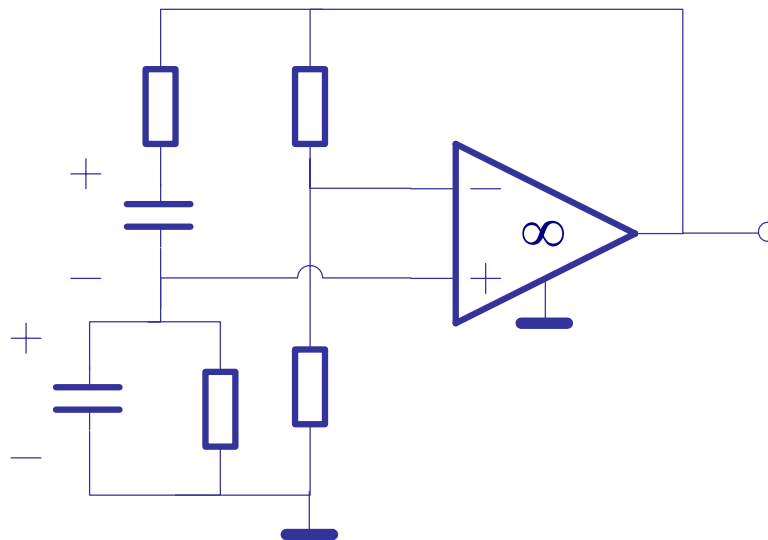
$$\begin{cases} 2R_1 = R_f \\ s_{1,2} = \pm j \frac{1}{RC} \end{cases}$$

$$\frac{R_1}{R_1 + R_f} U_o(s) = \frac{1 + RCs}{R + \frac{1}{Cs} + \frac{R}{1 + RCs}} U_o(s)$$

$$\left( \frac{R_1}{R_1 + R_f} R^2 C^2 s^2 + \frac{2R_1 - R_f}{R_1 + R_f} RCs + \frac{R_1}{R_1 + R_f} \right) U_o(s) = 0$$



## 文氏振荡器



$$\begin{cases} 2R_1 \leq R_f \\ \omega_0 = \frac{1}{RC} \end{cases}$$

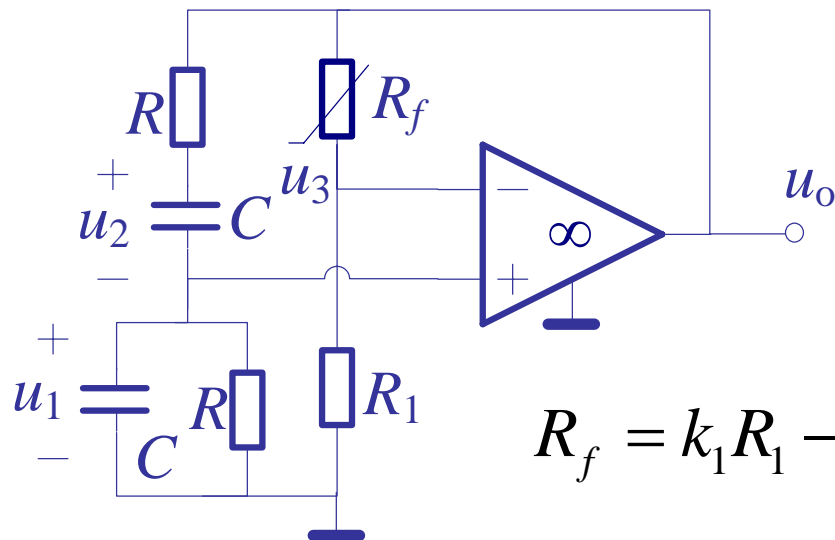
$R$

$u_2$   $C^{u_3}$

$u_1$   $C^R$



## 文氏振荡器



$$R_f = k_1 R_1 - k_2 (u_o - u_1)^2$$

$$\begin{cases} \frac{du_1}{dt} = \omega_0 (u_o - 2u_1 - u_2) \\ \frac{du_2}{dt} = \omega_0 (u_o - u_1 - u_2) \\ \frac{du_o}{dt} = \frac{\omega_0 [R_1 + k_1 R_1 - k_2 (u_o - u_1)^2 + 2k_2 u_1 (u_o - u_1)] (u_o - 2u_1 - u_2)}{R_1 + 2k_2 u_1 (u_o - u_1)} \end{cases}$$

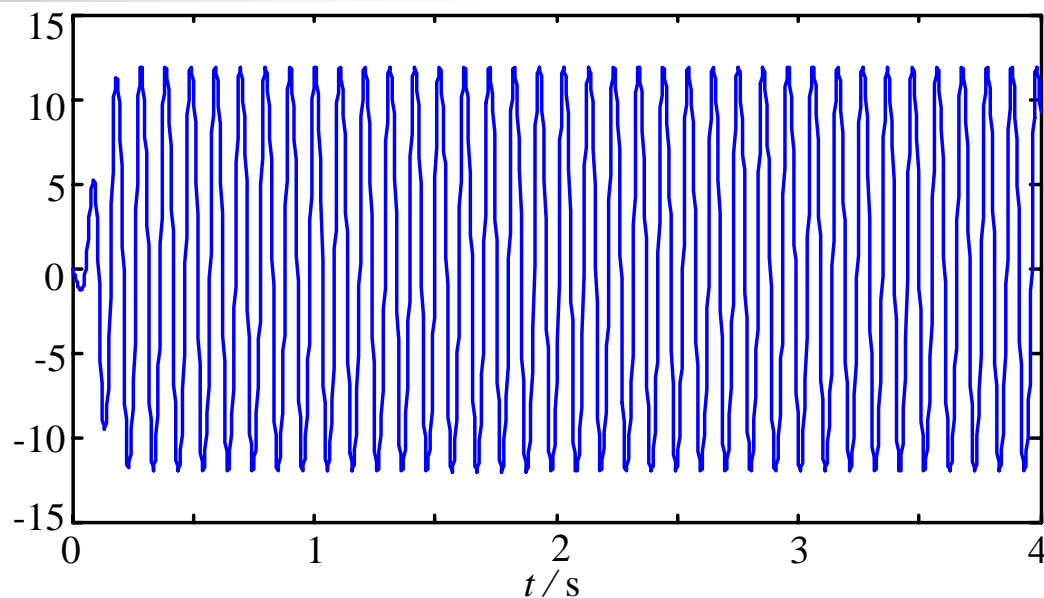




$$\omega_0 = 62.8\text{rad/s}, R_1 = 1\text{k}\Omega,$$

$$k_1 = 3, k_2 = 20,$$

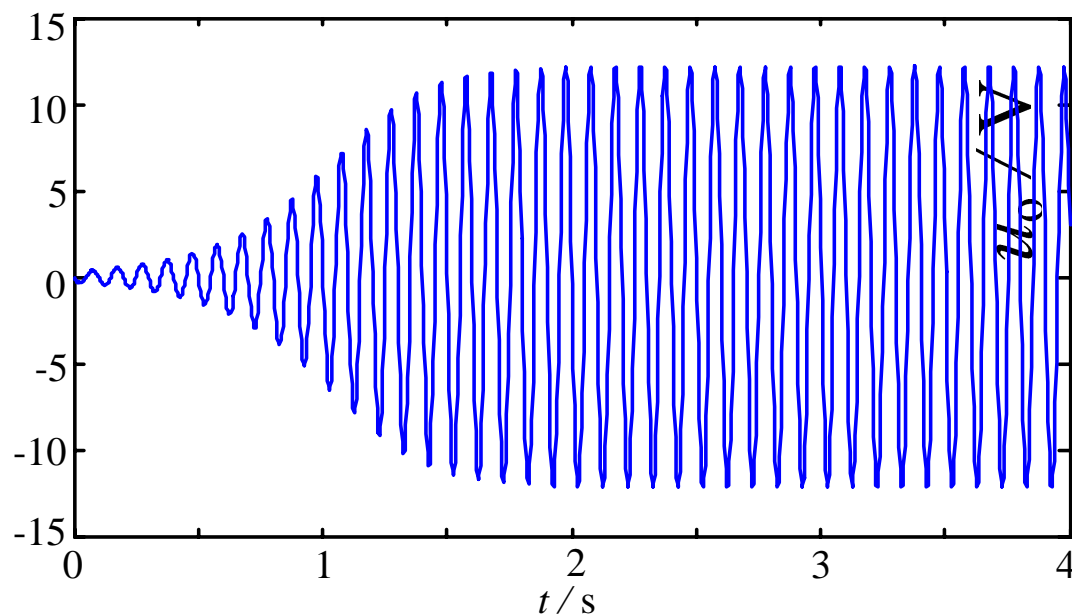
$$u_1(0) = u_o(0) = 0\text{V}, u_2(0) = 0.1\text{V}$$



$$\omega_0 = 62.8\text{rad/s}, R_1 = 1\text{k}\Omega,$$

$$k_1 = 2.1, k_2 = 2,$$

$$u_1(0) = u_o(0) = 0\text{V}, u_2(0) = 0.1\text{V}$$

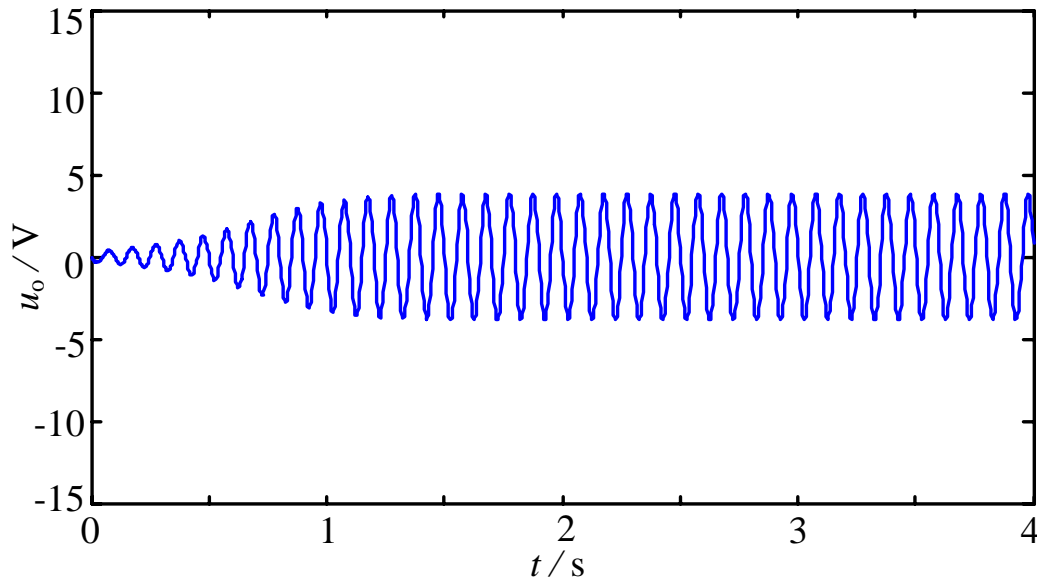




$$\omega_0 = 62.8\text{rad/s}, R_1 = 1\text{k}\Omega,$$

$$k_1 = 2.1, k_2 = 20,$$

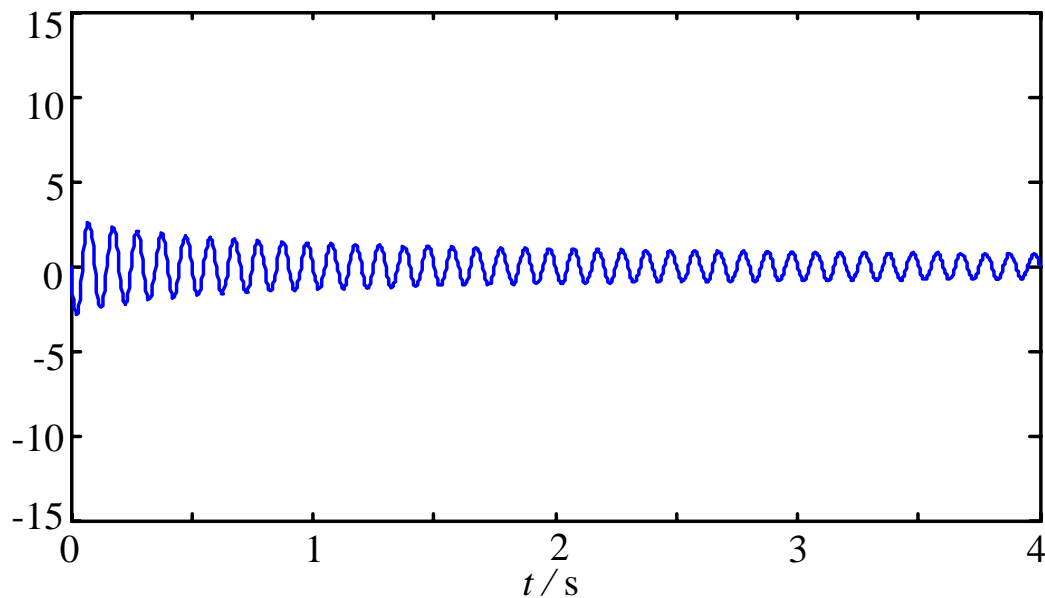
$$u_1(0) = u_o(0) = 0\text{V}, u_2(0) = 0.1\text{V}$$

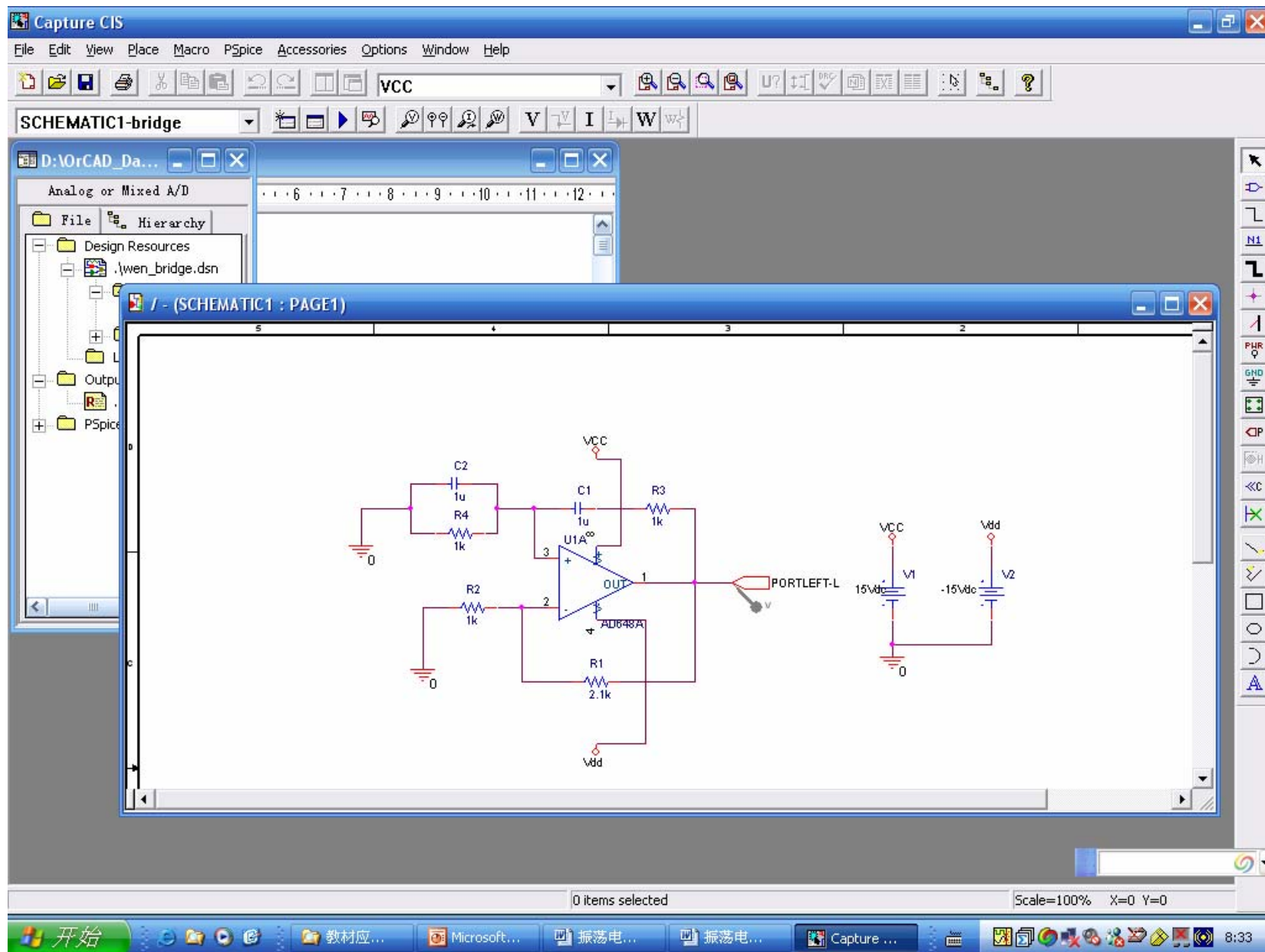


$$\omega_0 = 62.8\text{rad/s}, R_1 = 1\text{k}\Omega,$$

$$k_1 = 2, k_2 = 20,$$

$$u_1(0) = u_o(0) = 0\text{V}, u_2(0) = 1\text{V}$$







## 2 信号放大技术

### 2.1 概述

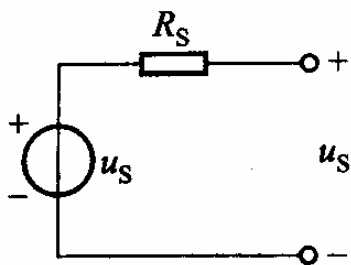
#### 1、几个基本概念

等效电路

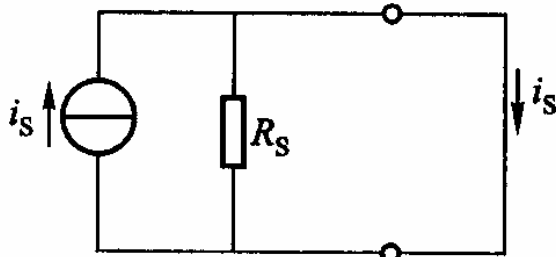
共模电压、差模电压（常模电压）

差模放大倍数、共模放大倍数

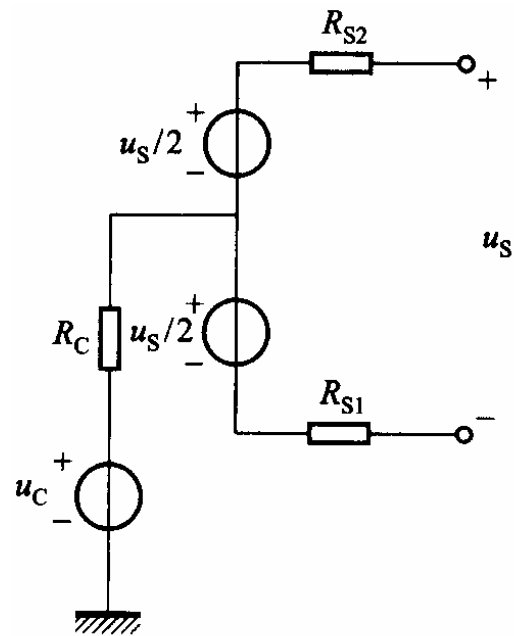
共模抑制比



(a) 电压源等效电路



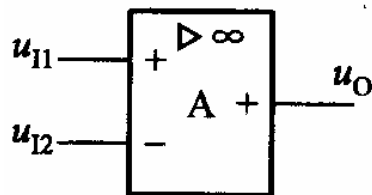
(b) 电流源等效电路



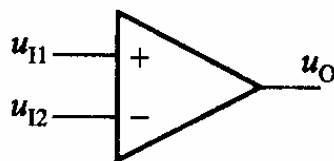
(c) 存在共模电压时的电压源等效电路



## 2、集成运算放大器



(a)



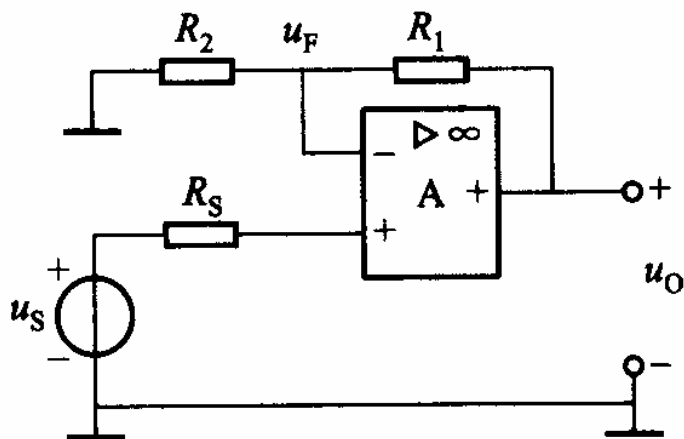
(b)

## 3、比例放大电路

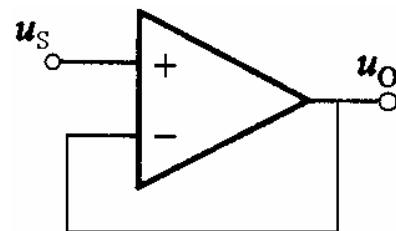
虚短

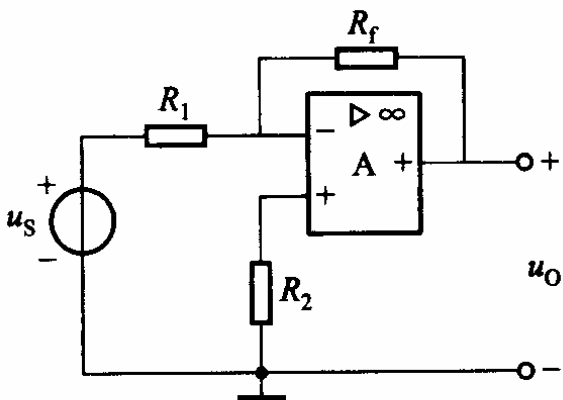
虚断

$$A_U = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$



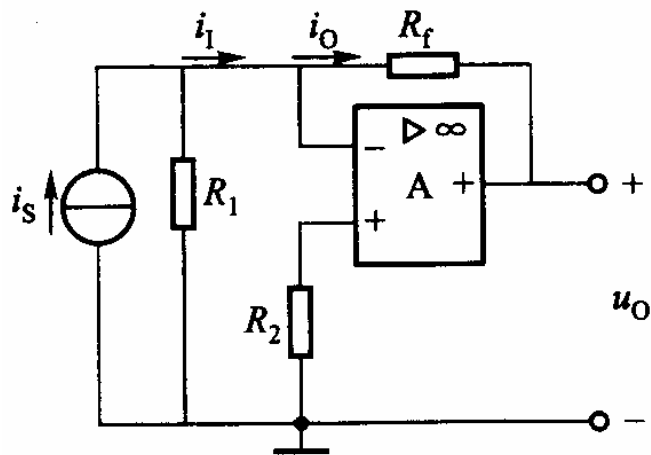
(a) 同相比例放大





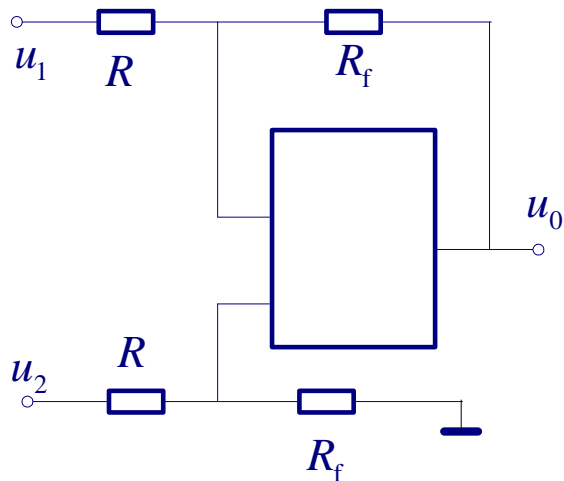
(b) 反比例放大

$$A_U = -\frac{R_f}{R_1}$$

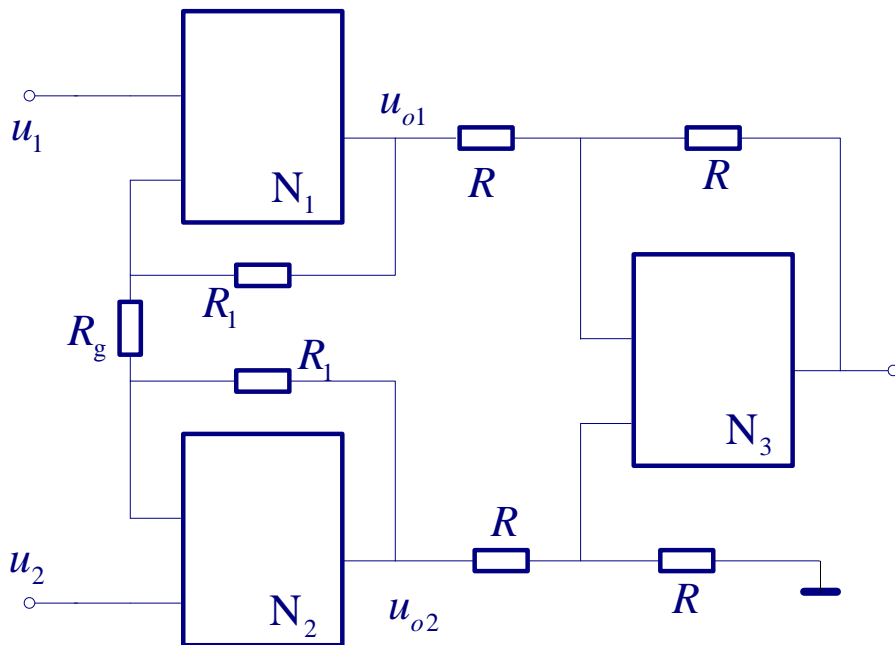


(c) 电流电压变换放大

$$u_O = -R_f i_S$$



#### 4、仪用放大电路



$$\begin{cases} \frac{u_o - u_-}{R_f} = \frac{u_- - u_1}{R} \\ \frac{u_+}{R_f} = \frac{u_2 - u_+}{R} \end{cases}$$

$$u_+ = u_-$$

$$u_o = -\frac{R_f}{R}(u_2 - u_1) = -\frac{R_f}{R}u_s$$

▷ ∞

$$\begin{cases} u_o = u_{o2} - u_{o1} \\ \frac{u_{o2} - u_{o1}}{2R_1 + R_g} = \frac{u_{I2} - u_{I1}}{R_g} \end{cases}$$

$$A_U = \frac{u_o}{u_{I1} - u_{I2}} = -(1 + \frac{2R_1}{R_g})$$



## 5、集成运放使用时应注意的事项

按照说明书辨认管脚，以便正确路线。

参数测量：用万用表测试有无断路或电路现象，必要时，采用测试设备测量其主要参数。

调零或调整偏置电压：内部或外加调零电路，使输入为零时输出为零；对于单电源运放，有时要在输入端加直流偏置电压，设置合适的静态工作点。

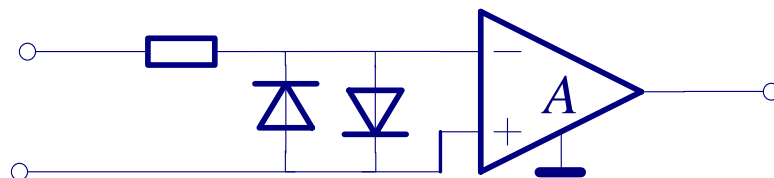
消除自激振荡。



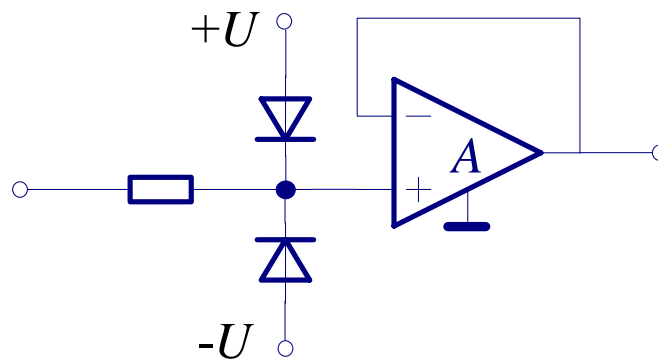


## 5、集成运放使用时应注意的事项（续）

### 保护措施



防止差模信号过大



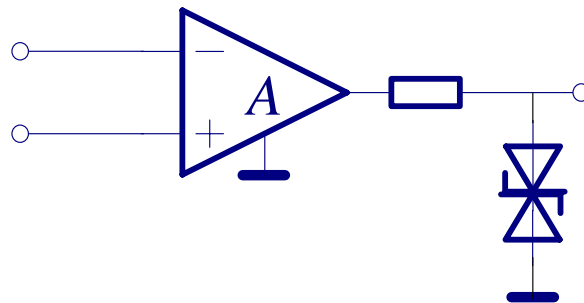
防止共模信号过大



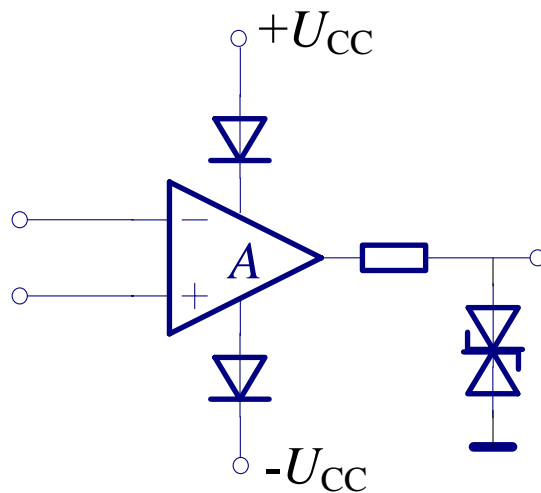
## 5、集成运放使用时应注意的事项（续）

### 保护措施

输出保护



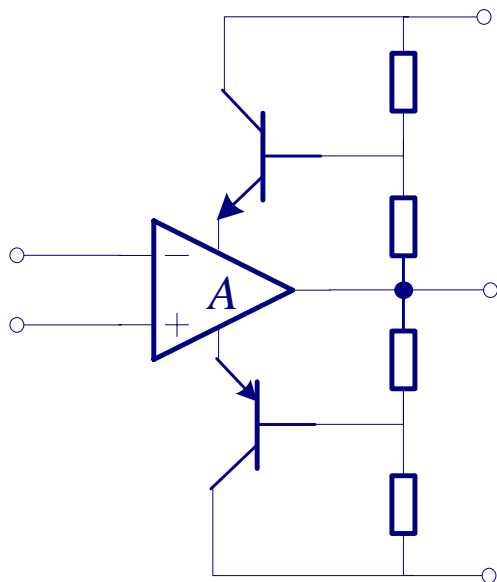
电源保护



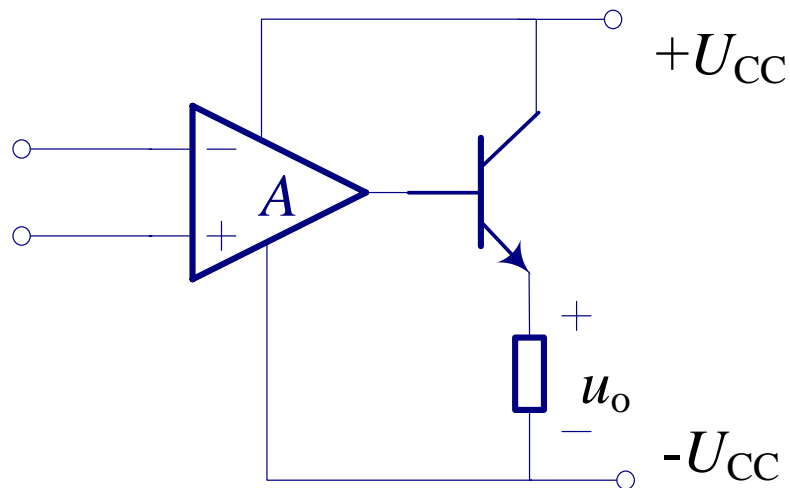


## 5、集成运放使用时应注意的事项（续）

### 输出扩展



提高输出电压



提高输出电流

$+U_{CC}$



## 2.2 高输入阻抗放大器

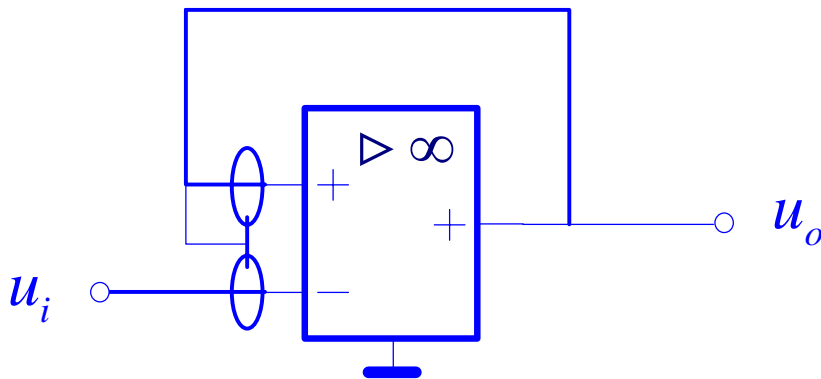
### 1. 高输入阻抗放大器的形式及屏蔽

由通用放大器构成自举电路；

直接采用单片的高输入阻抗放大器

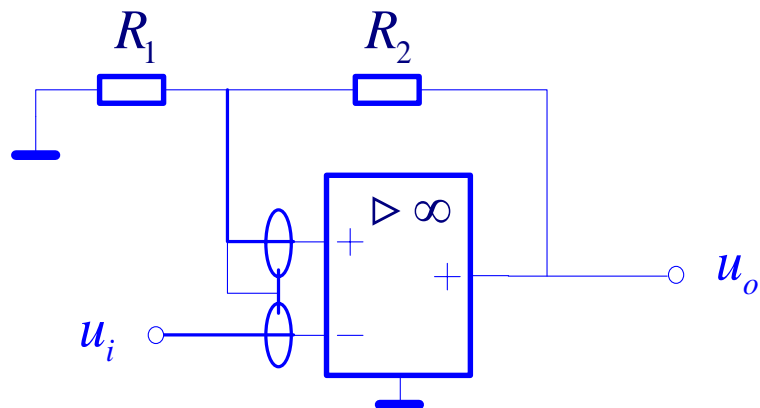
屏蔽：减少周围的漏电流流入高输入阻抗而形成干扰

电压跟随器

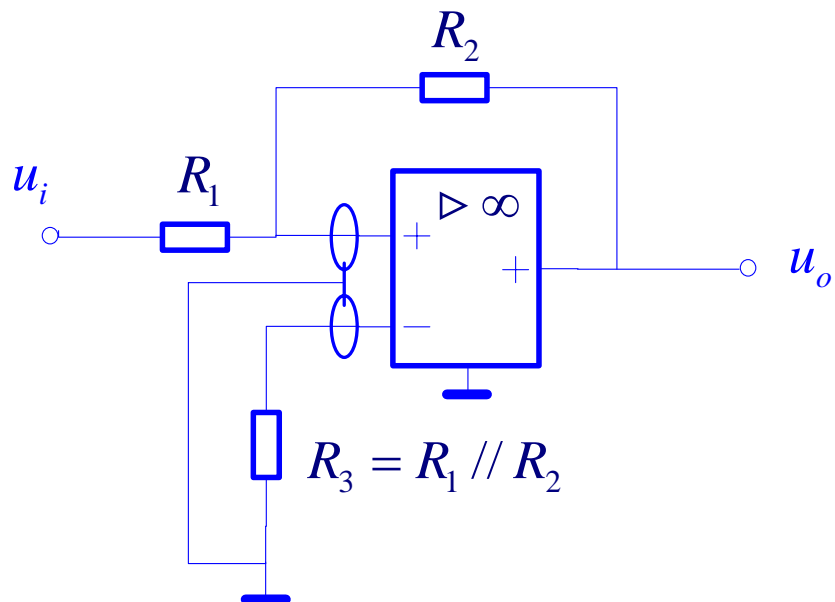




同相放大器



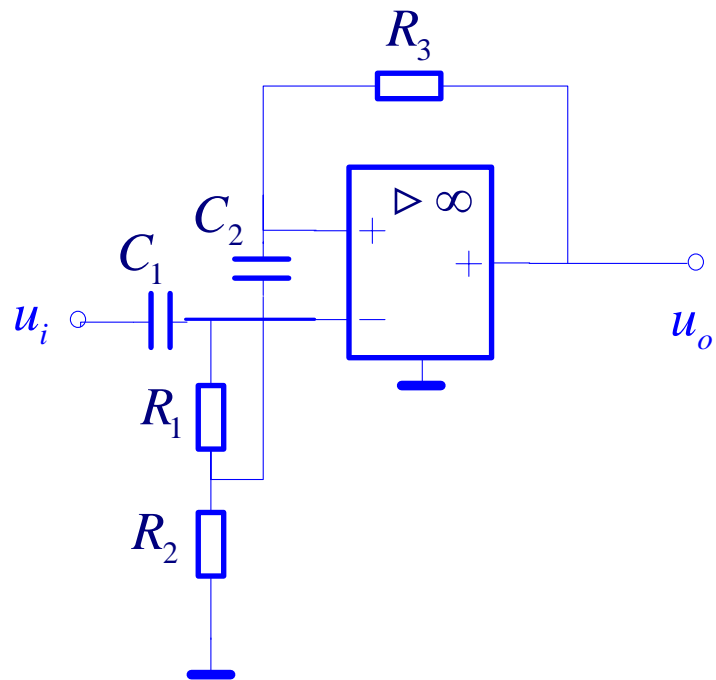
反相放大器



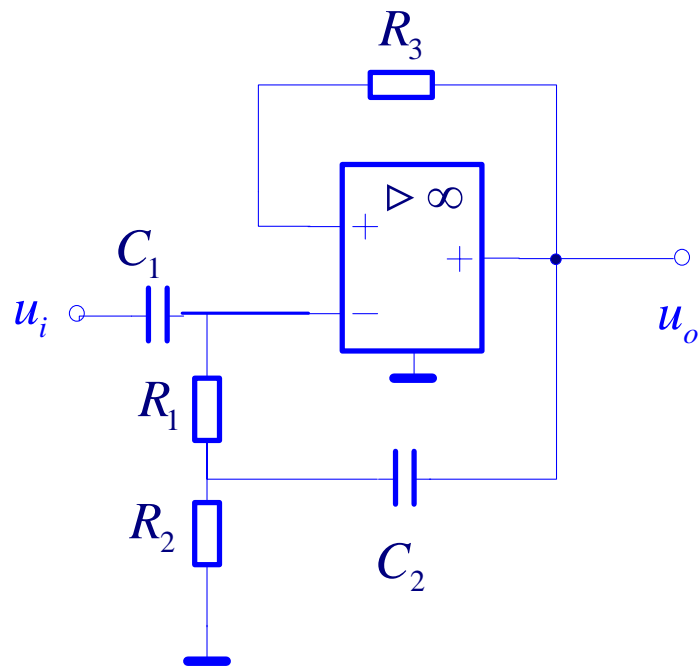


## 2. 自举式高输入阻抗放大器

同相交流放大器



交流电压跟随器





## 自举式组合电路

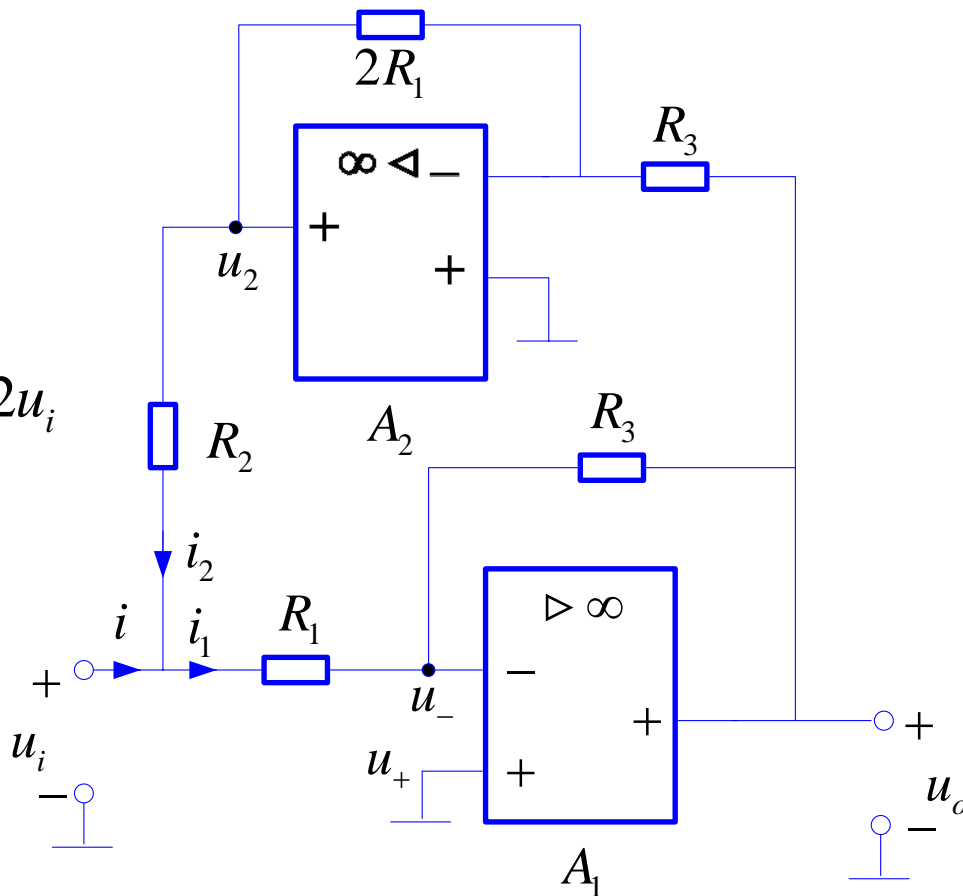
$$u_o = -\frac{R_3}{R_1} u_i$$

$$u_2 = -\frac{2R_1}{R_3} u_o = \left(-\frac{2R_1}{R_3}\right) \left(-\frac{R_3}{R_1}\right) u_i = 2u_i$$

$$i_2 = \frac{u_2 - u_i}{R_2} = \frac{2u_i - u_i}{R_2} = \frac{u_i}{R_2}$$

$$i_1 = \frac{u_i - u_-}{R_1} = \frac{u_i}{R_1}$$

$$i = i_1 - i_2 = \frac{u_i}{R_1} - \frac{u_i}{R_2} = \frac{R_2 - R_1}{R_1 R_2} u_i$$



$$R_i = \frac{u_i}{i} = \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1}$$



### 3 .单片式高输入阻抗放大器

根据要求直接选用相应的芯片 ( $10^{14} \Omega$  量级)

如:

□采用MOS-FET作为输入级: CA3140、CA3260

□采用FET作为输入级: LF356/A、LF412、LM310  
(性能较MOS-FET稳定)

□CMOS型: ICL7613、F7613  
(具有过压保护和补偿电路)





## 举例：AD549

### FEATURES

#### Ultralow input-bias current

**60 fA max (AD549L) ; 250 fA max (AD549J)**

**Input-bias current guaranteed over common-mode voltage range**

#### Low offset voltage

**0.25 mV max (AD549K) ; 1.00 mV max (AD549J)**

#### Low offset drift

**5  $\mu$  V/ $^{\circ}$  C max (AD549K); 20  $\mu$  V/ $^{\circ}$  C max (AD549J)**

#### Low power

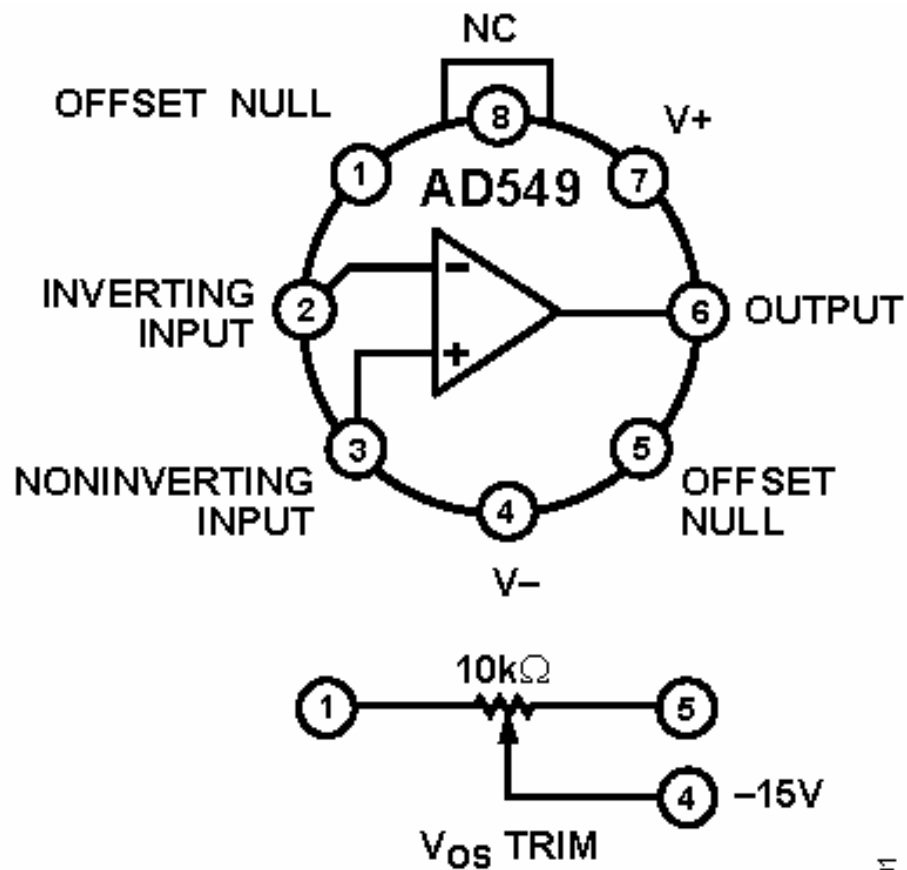
**700  $\mu$  A max supply current**

#### Low input voltage noise

**4  $\mu$  V p-p 0.1 Hz to 10 Hz**



## 框图



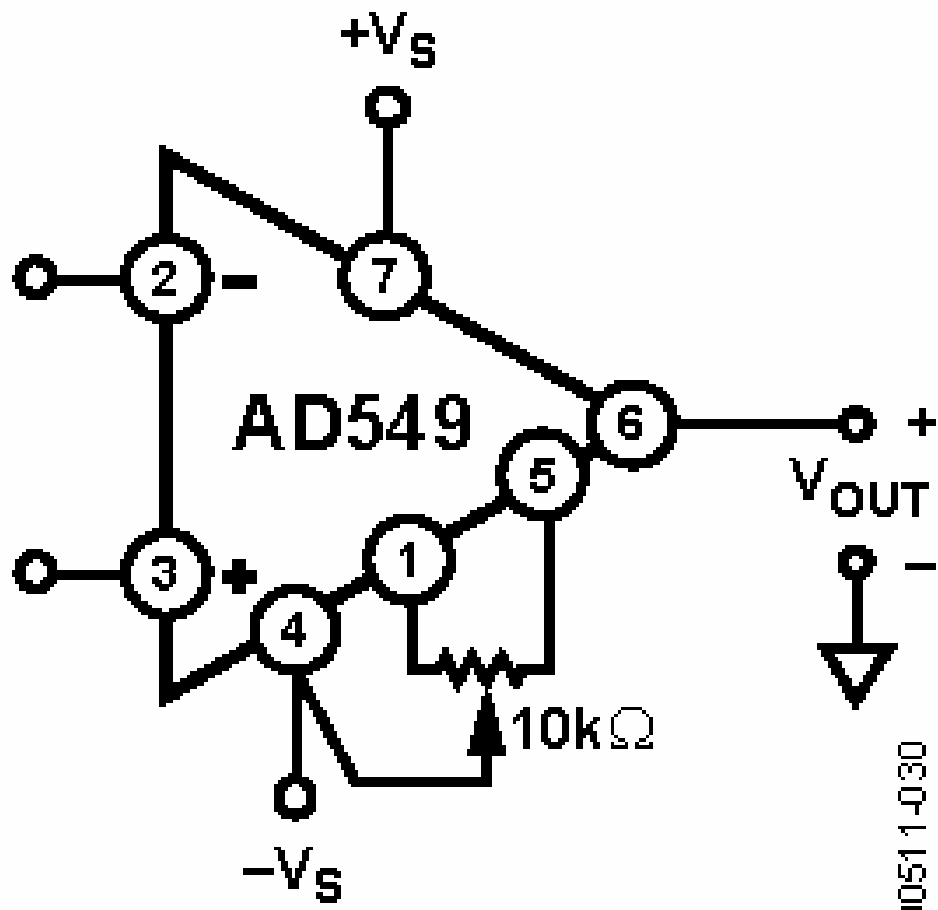
NC = NO CONNECTION

00511-001



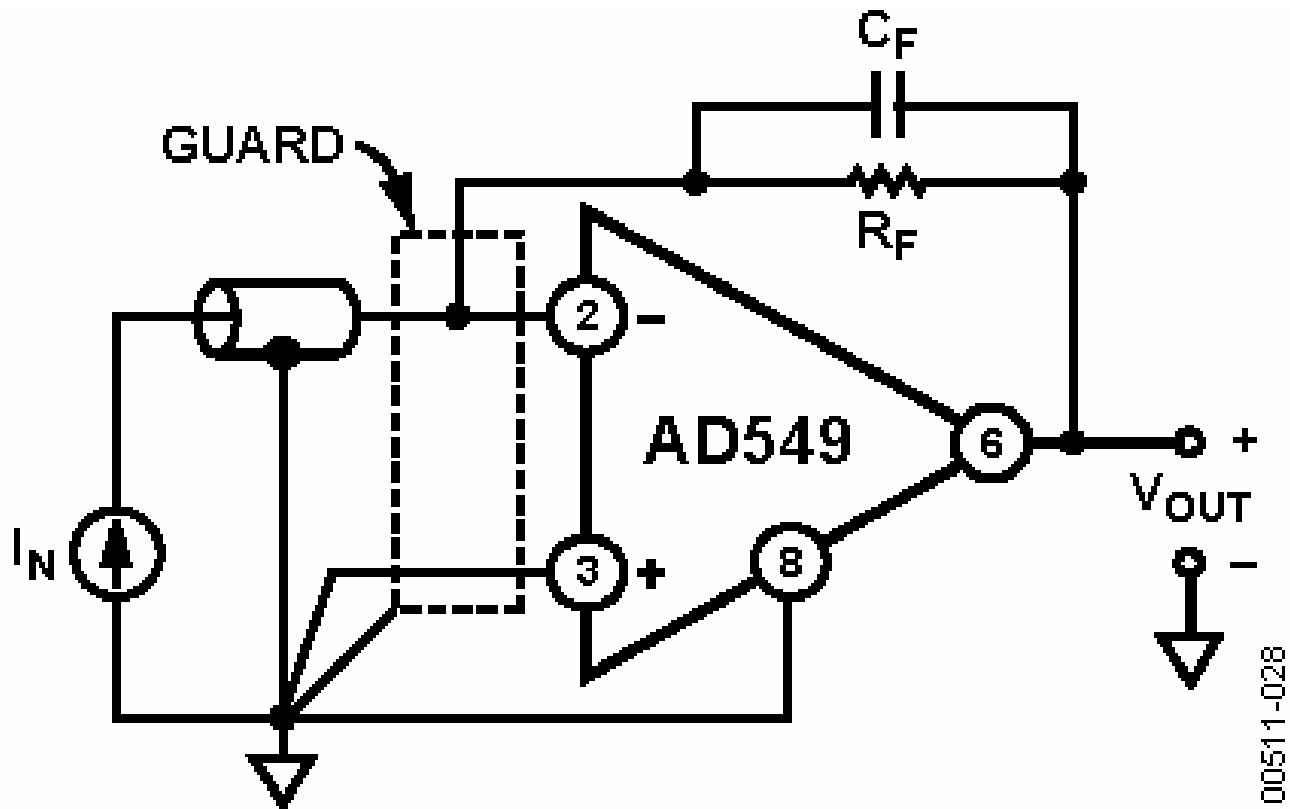
应用:

调零电路





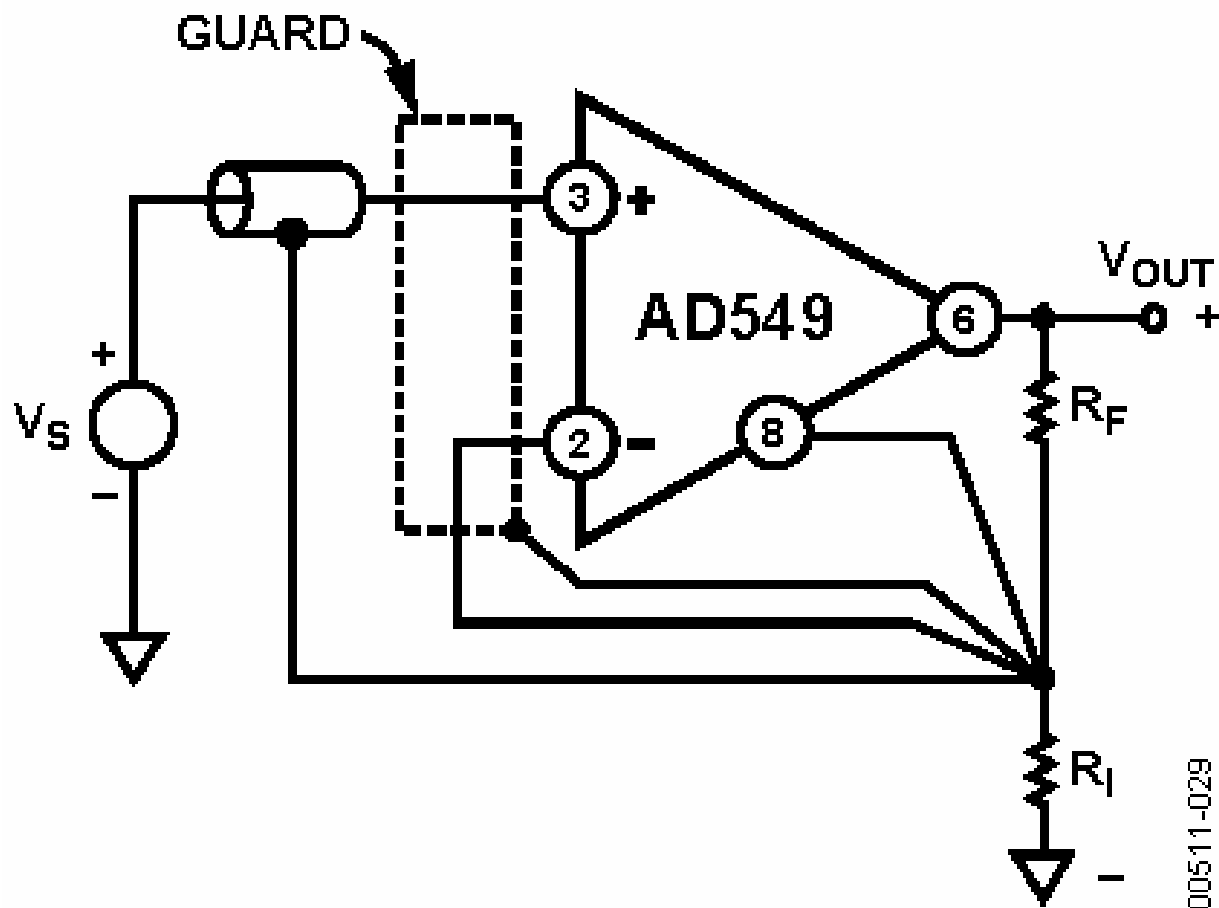
应用:



反相放大（**8**脚接屏蔽层以减少共模干扰）



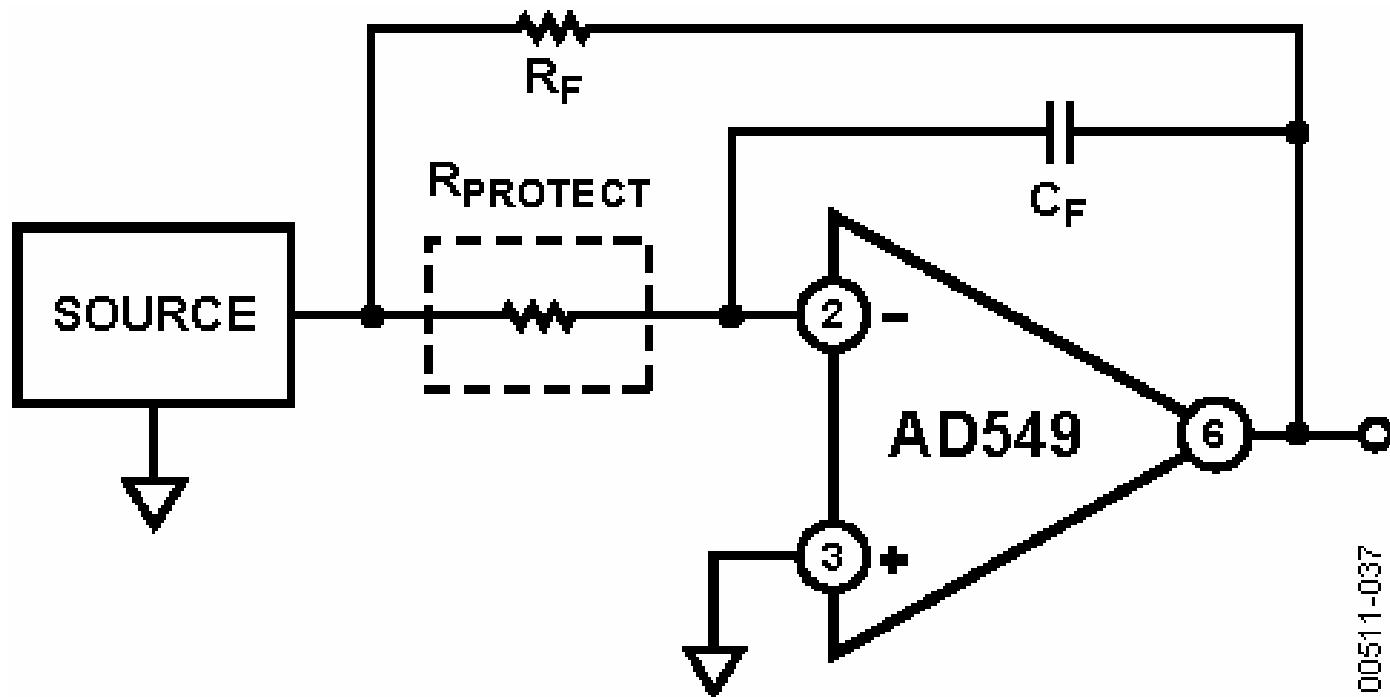
应用:



同相放大（**8**脚接屏蔽层以减少共模干扰）



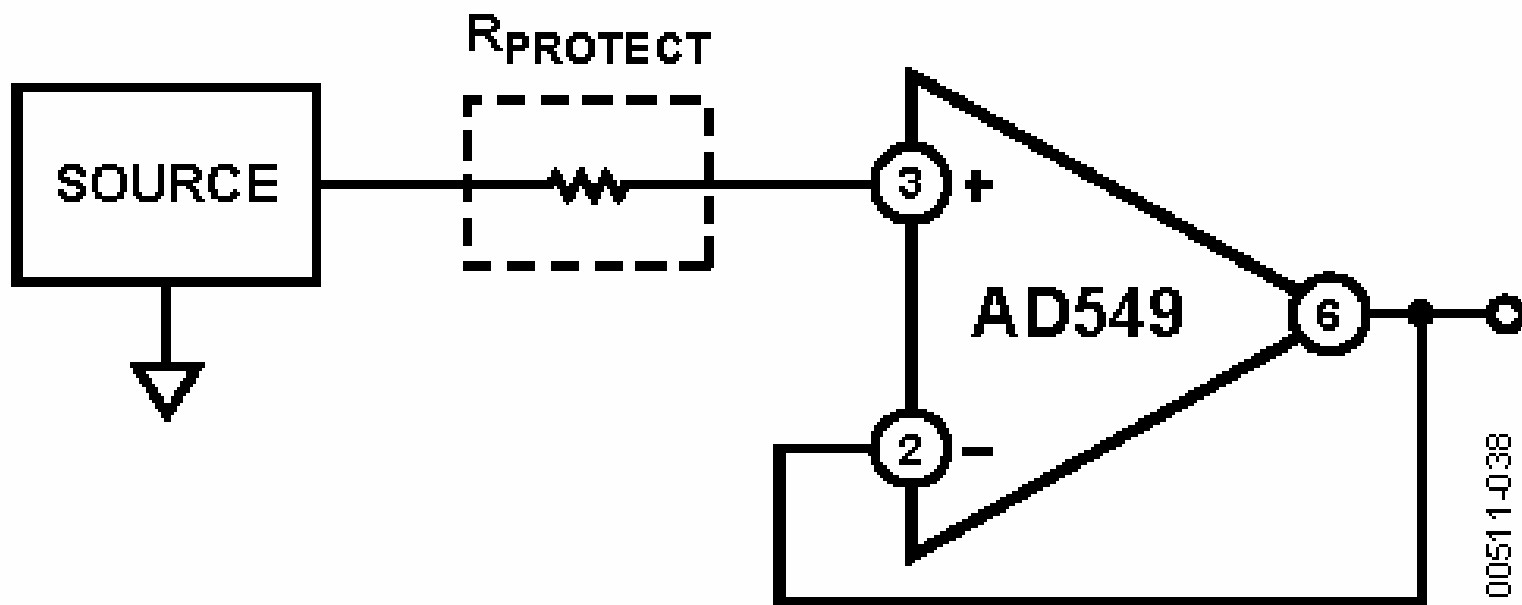
应用:



保护电阻保证信号源对反相端的过载冲激电流小于**1mA**。



应用：

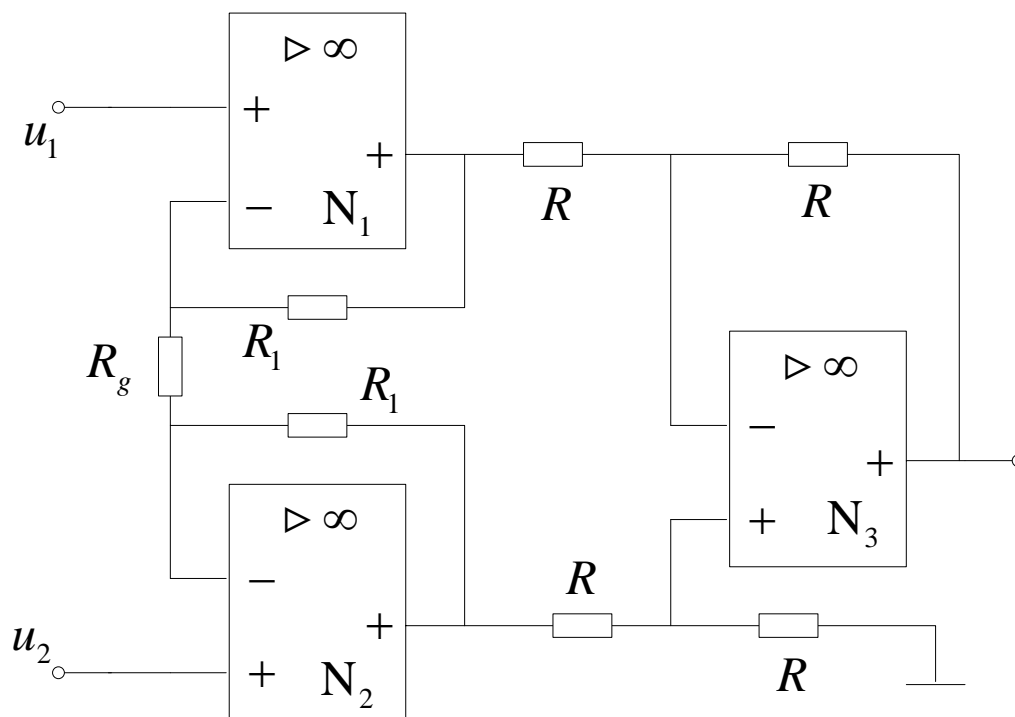


跟随器



## 2.3 高精度仪表放大器

### 1. 概述



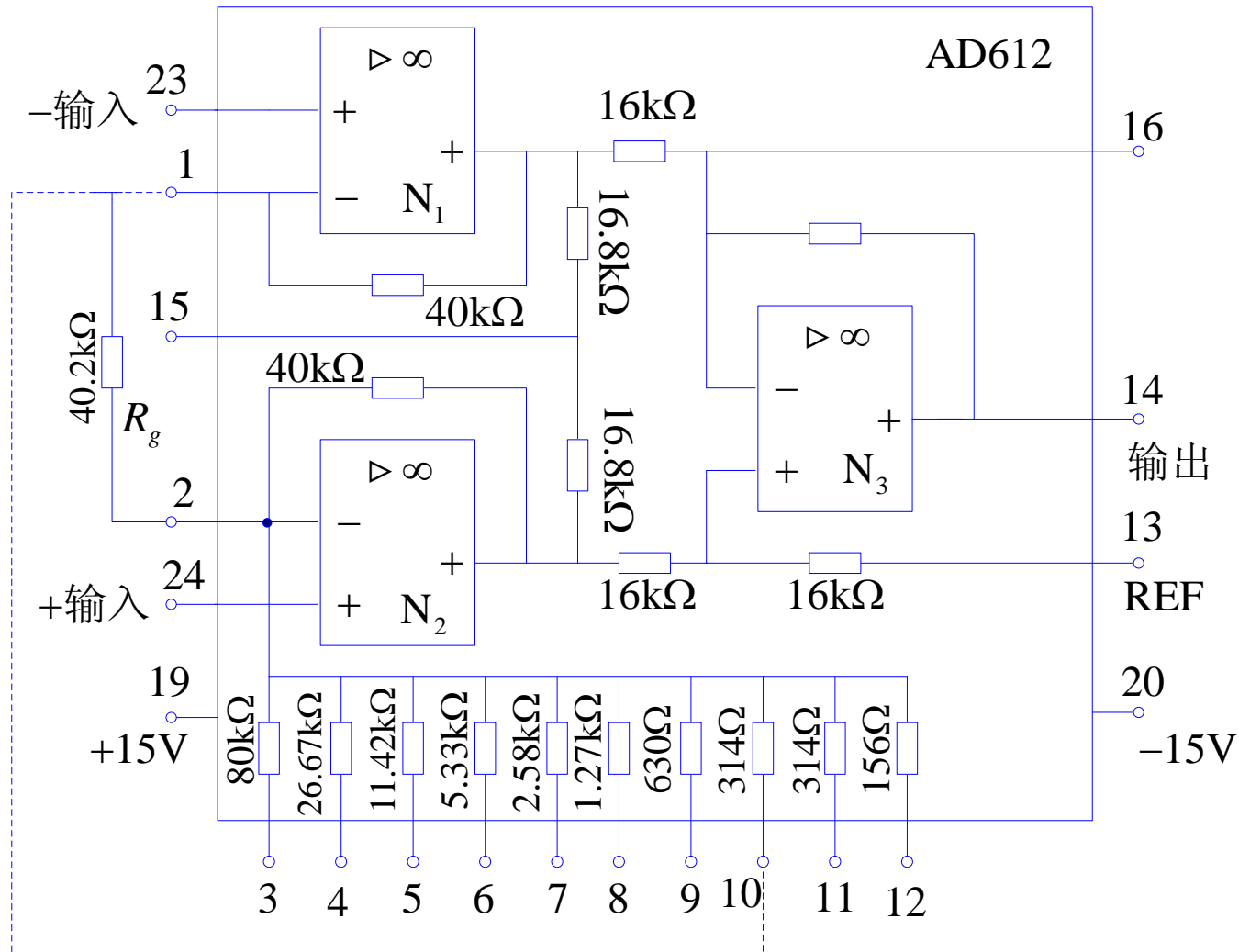
$$A_U = \frac{u_o}{u_{I1} - u_{I2}} = -\left(1 + \frac{2R_1}{R_g}\right)$$





## 可编程单片仪用放大器AD612

$$A_U = 1 + \frac{80}{R_g}$$





## 2. 高精密仪表放大器LTC6915

### 基本特性

14级可编程的增益

与增益无关的125dB CMRR

增益准确度: 0.1%(典型值)

最大失调电压:  $10\mu\text{V}$

最大失调电压漂移:  $50\text{nV}/^\circ\text{C}$

轨至轨输入和输出

用于增益设置的并行

和串行(SPI)接口

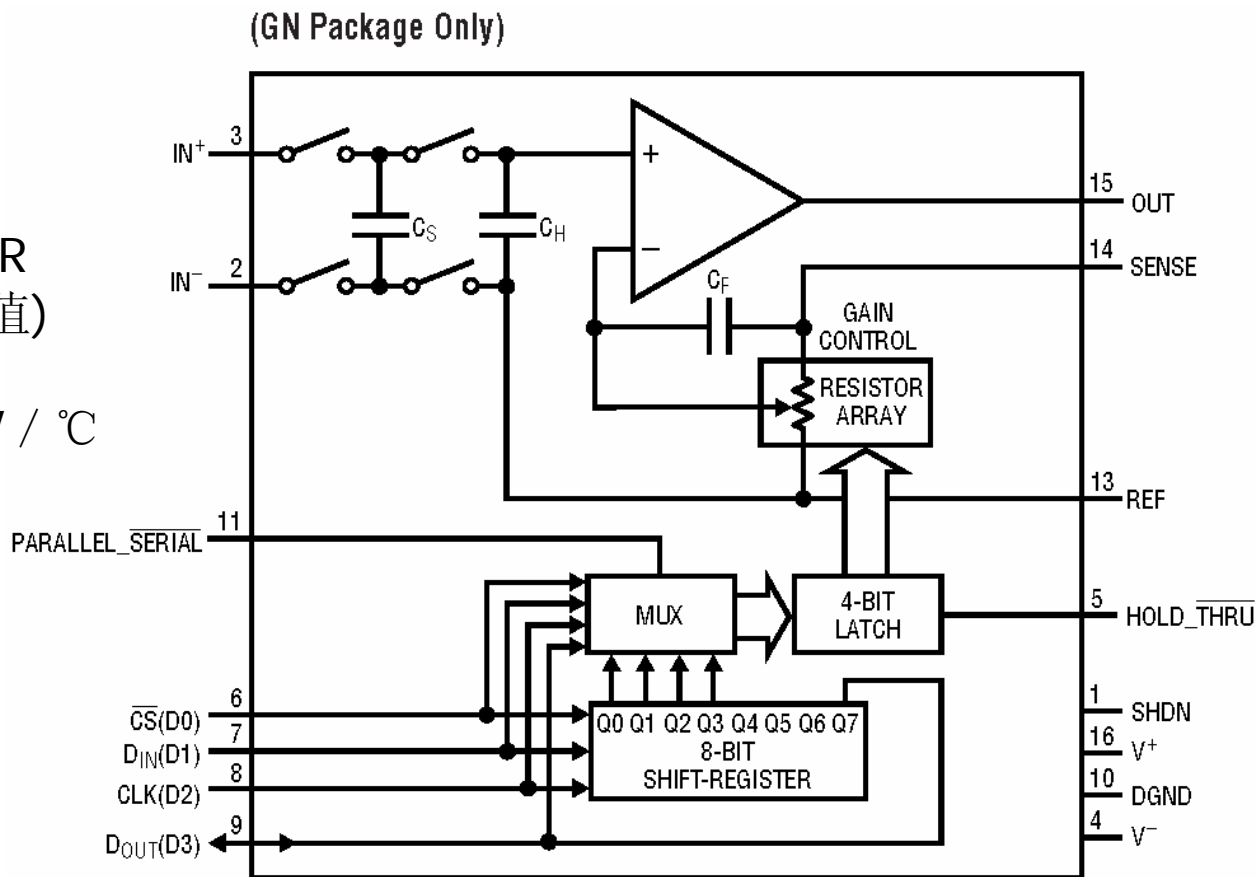
工作电源: 2.7V至 $\pm 5.5\text{V}$

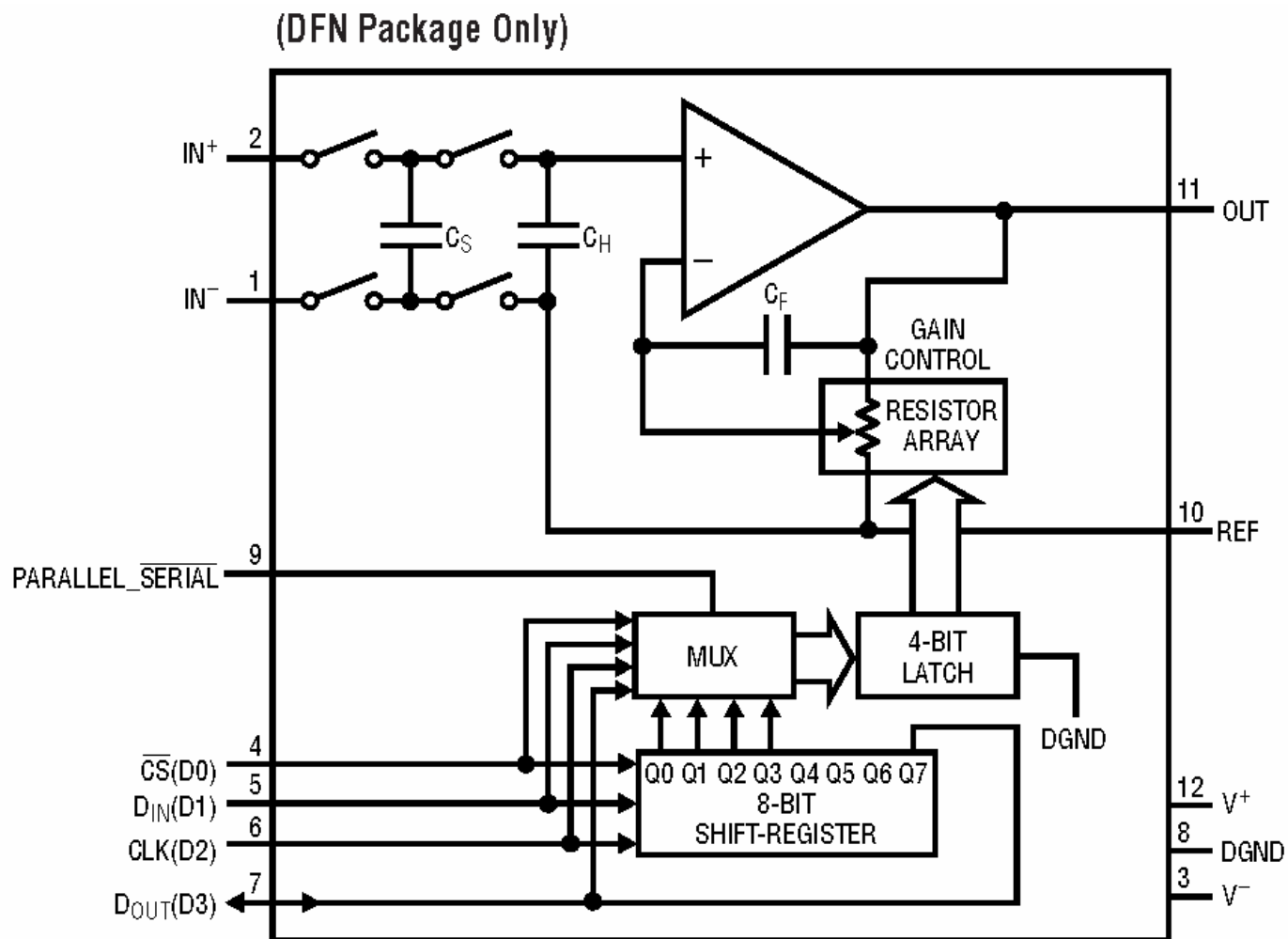
典型噪声:  $2.5\mu\text{V}_{\text{p-p}}$

(0.01Hz至10Hz)

采用16引线SSOP和

12引线DFN封装

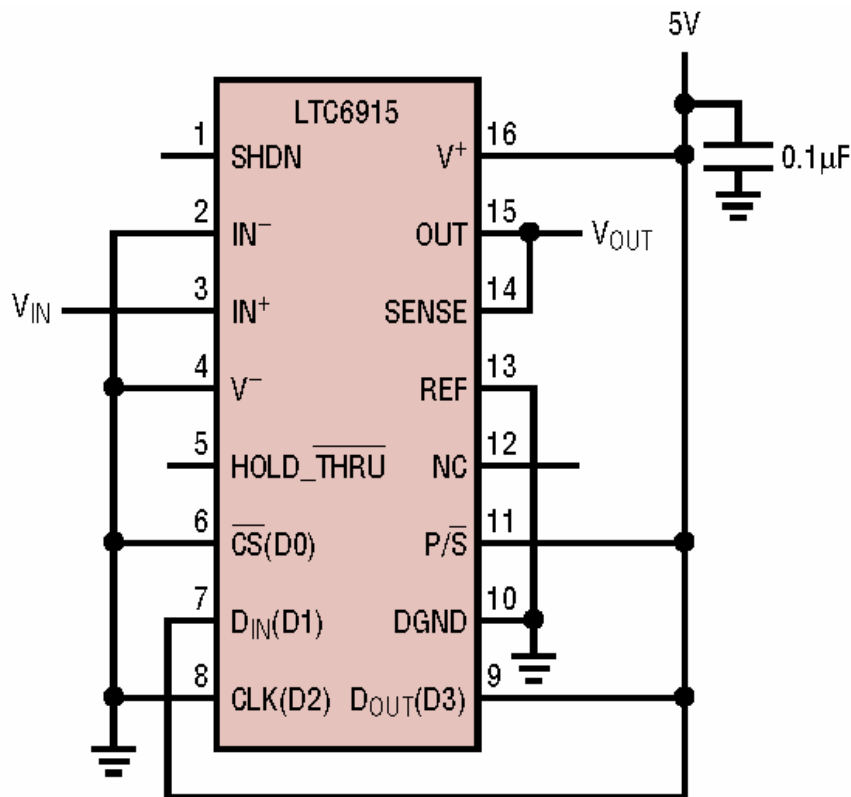






## 并行方式1

$$V_{out} = 2^{n-1} V_{in}$$
$$n = (D_3 D_2 D_1 D_0)_B$$

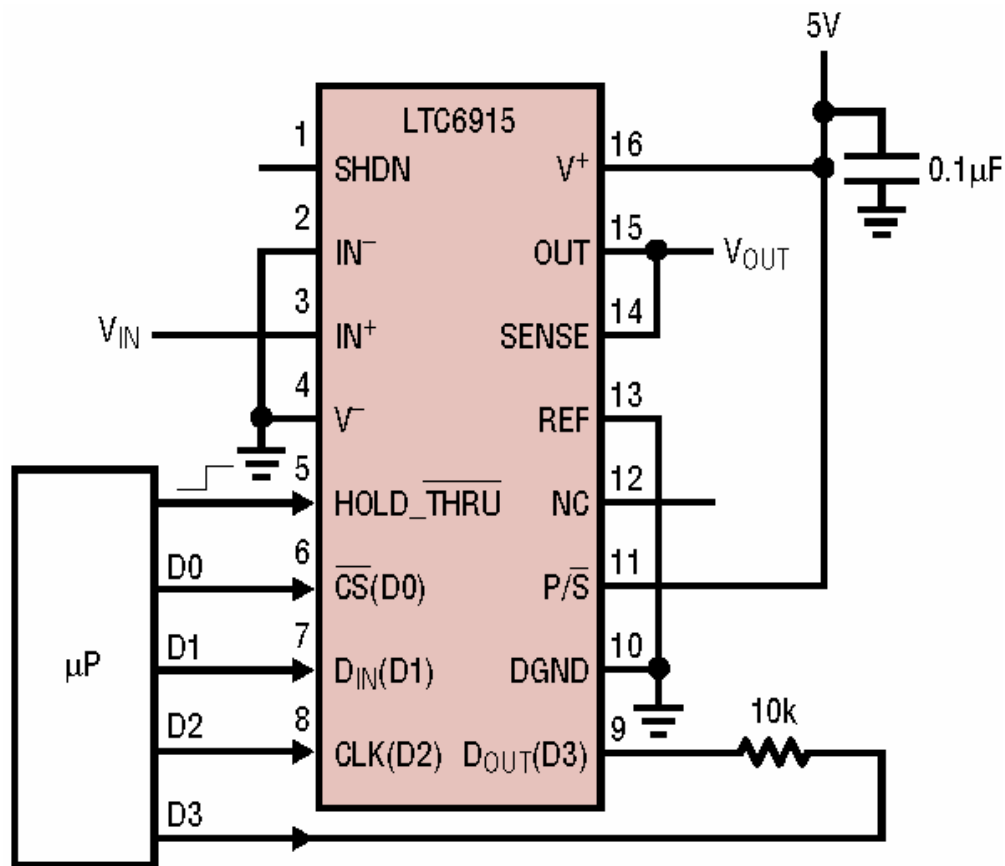


PARALLEL GAIN CONTROL CODE = 1010

$$V_{OUT} = 2^9 V_{IN} = 512 V_{IN}$$



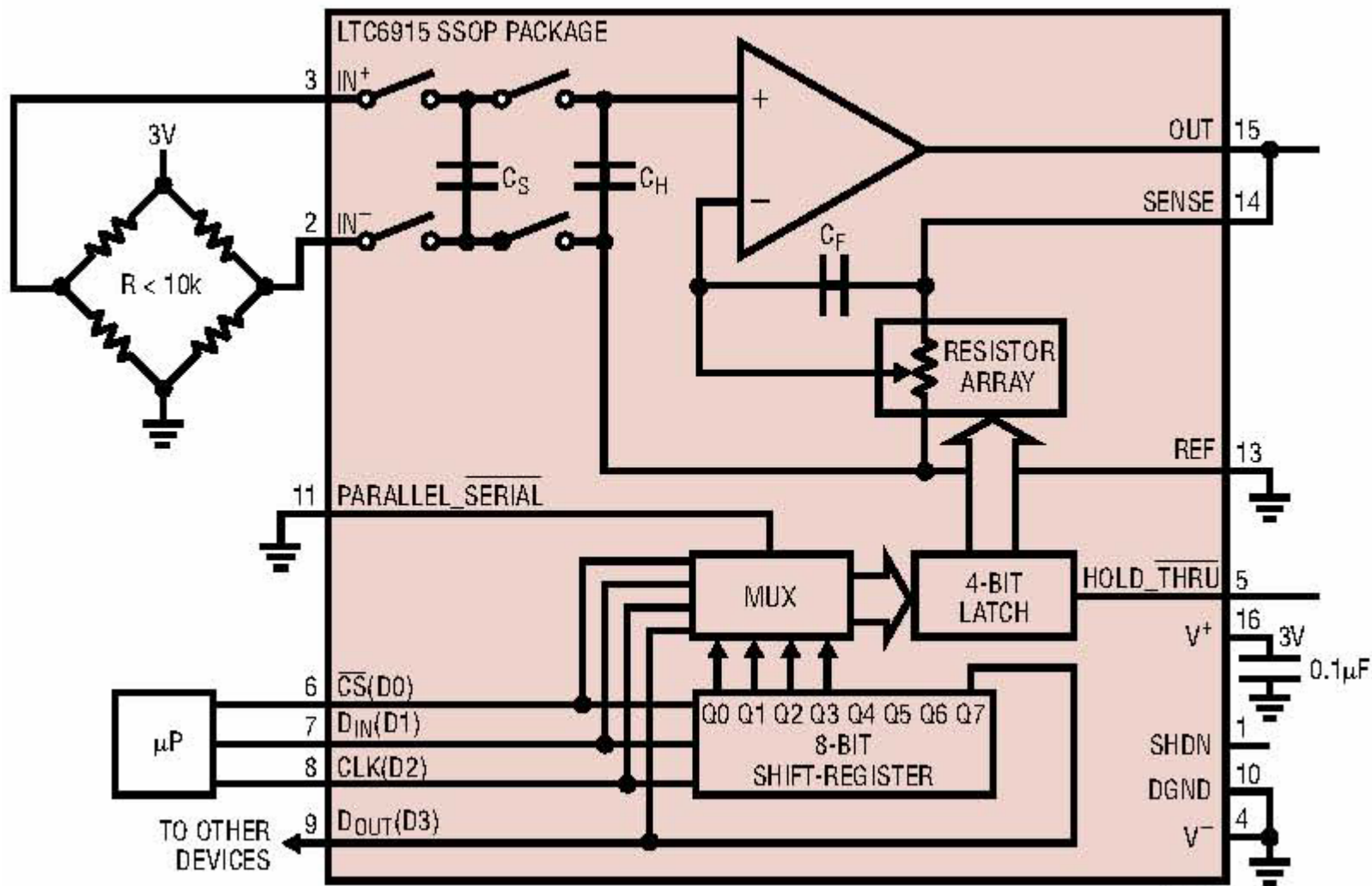
## 并行方式2



GAIN IS SET BY MICROPROCESSOR. A 10k RESISTOR ON  $D_{OUT}(D3)$  PROTECT THE DEVICE WHEN  $V_{D3} > V^+$



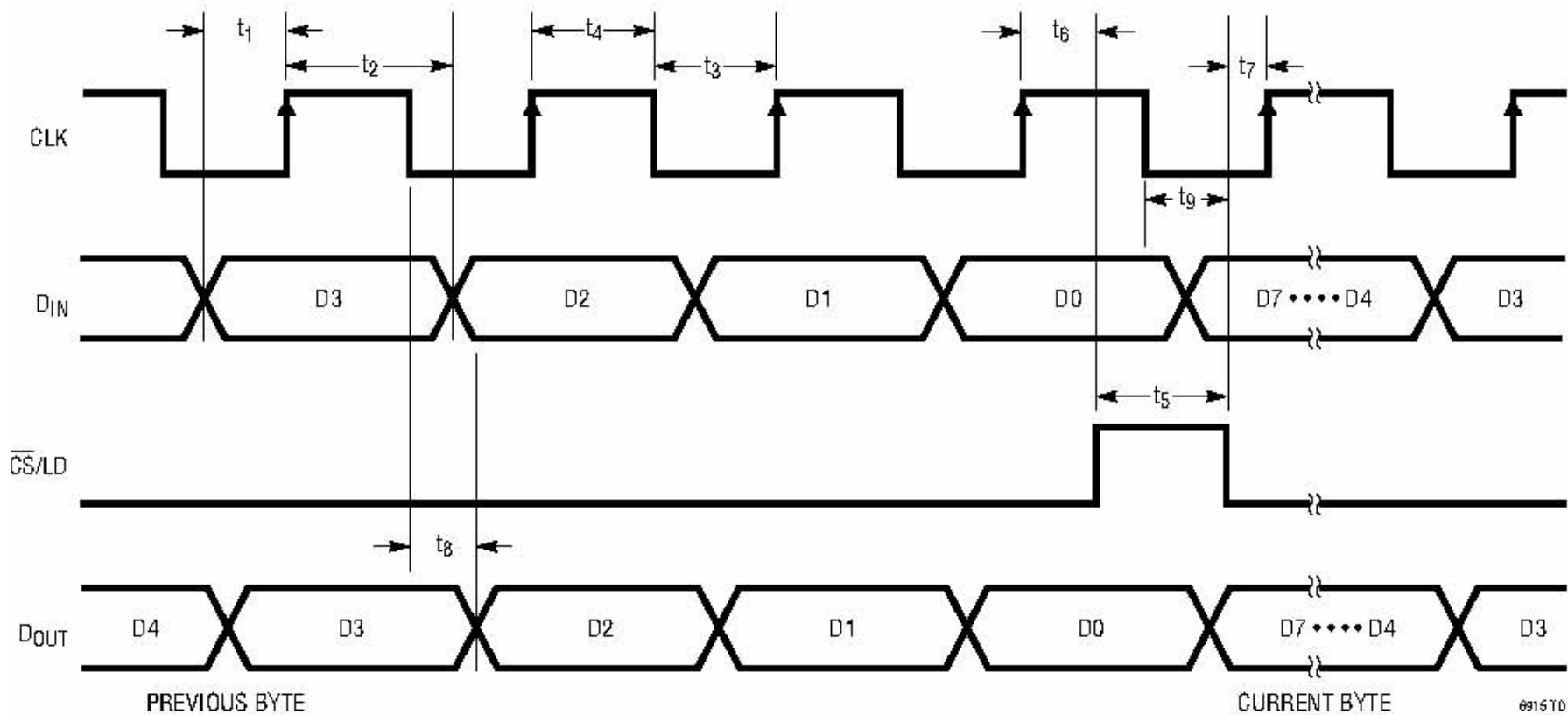
## 串行方式





## 串行方式

串行接口的时序图



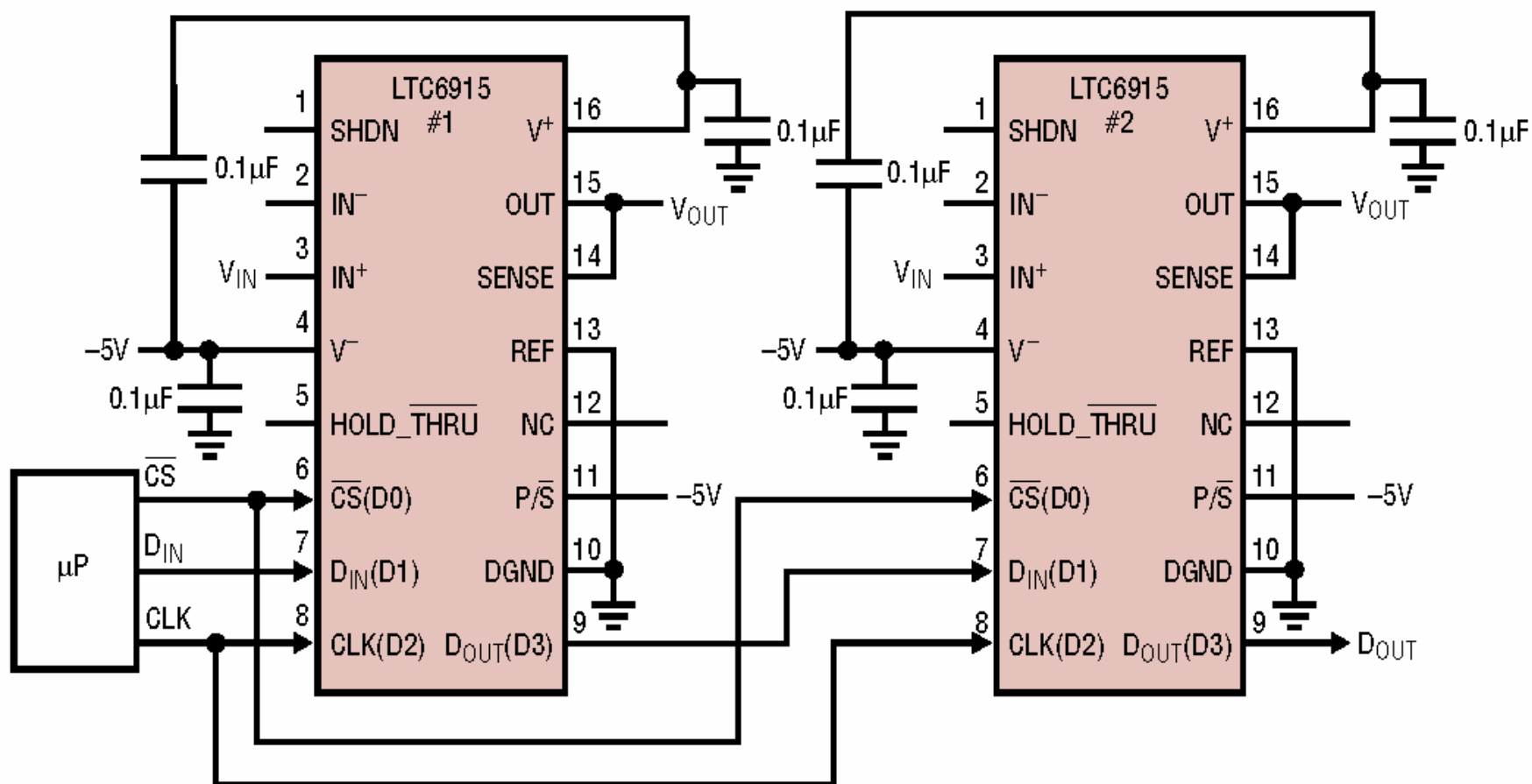
CLK上升沿读数据；CS置低时CLK须为低





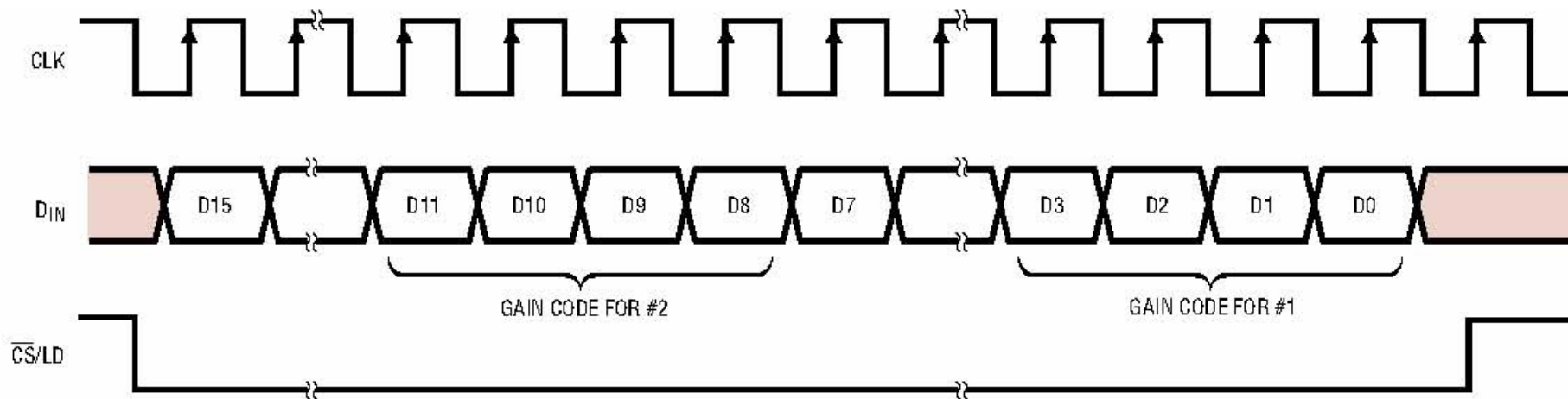


## 串行方式（菊花链）



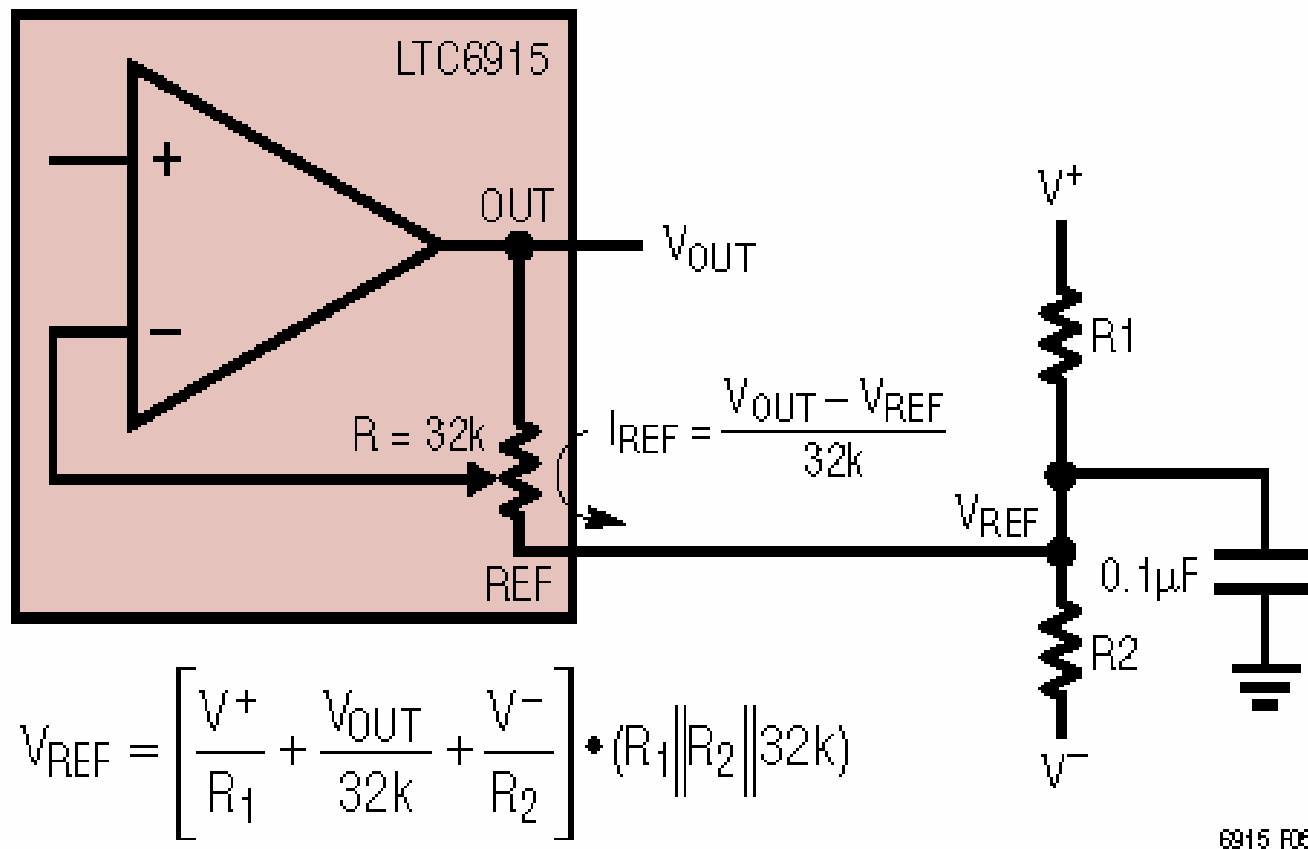


## 串行方式（菊花链）





## 设定REF引脚的电压





## 2.4 SOC: ispPAC系列

### 1. 概述

**ispPAC**到目前为止已推出了**6种**:

**ispPAC10**: 信号的调理和滤波

**ispPAC20**: 信号的转换和监视

**ispPAC30**: 通用的模拟前段

**ispPAC80/81**: 实现多种类型的滤波器电路

**ispPAC-Power604/1028/1028P1**: 电源设计

**ispPAC-CLK5510/5520/5620**: CLK电路设计



## ispPAC的特点:

□isp技术可以在器件被焊接在电路板上的情况下对系统编程或重构

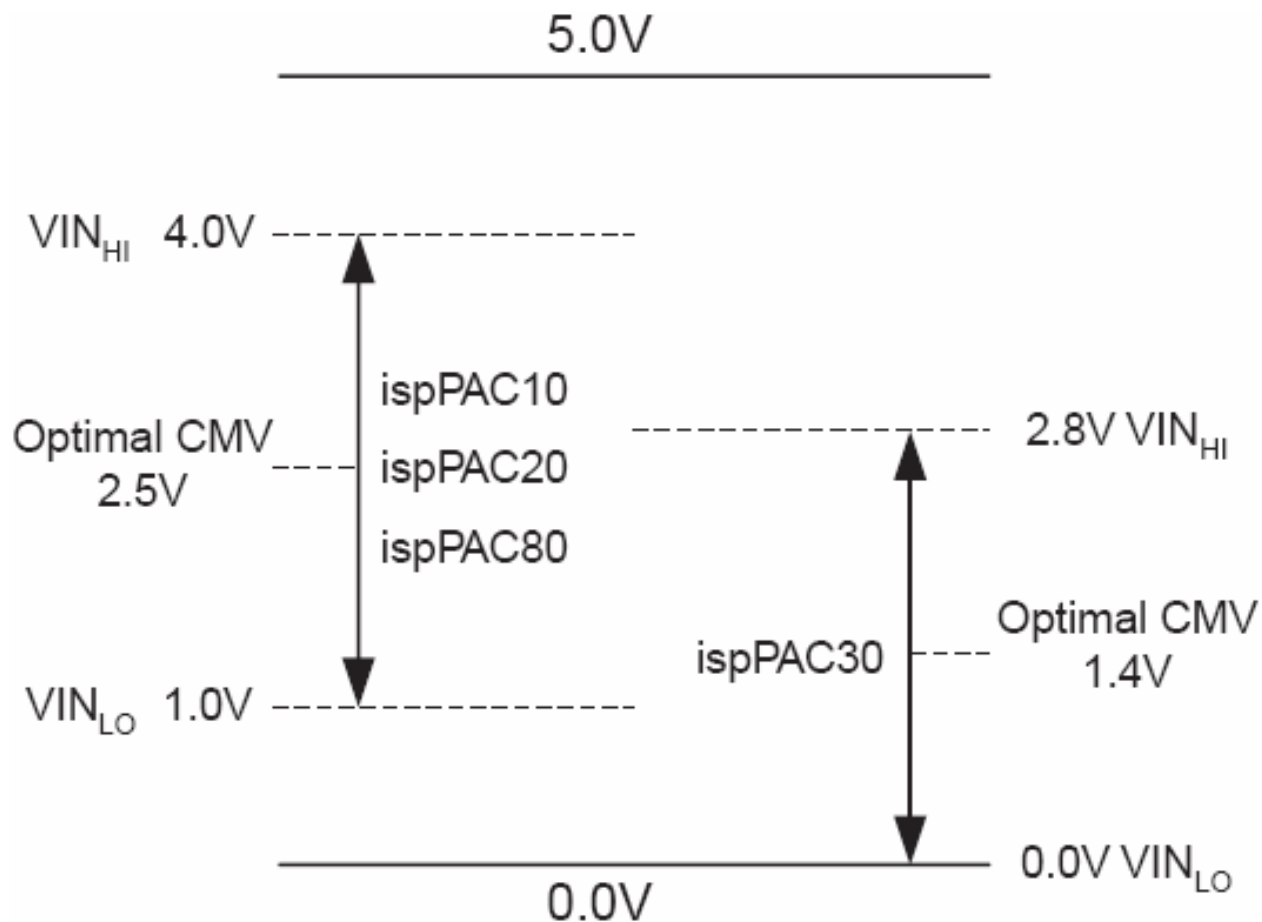
□改变设计时，无需改动元器件或印制板，只需通过Lattice的开发系统软件在数分钟内即可完成

□虽然设计的是硬件，却像软件一样方便，这就缩短了设计试制的周期，降低了试制成本，省去了编程器等设备和器件插拔的手续，是一种全新的设计方法

□IspPAC器件的出现必将使电子系统设计、生产、维护及更新诸环节发生革命性的变化



## ispPAC芯片的输入电平:





## 2. ispPAC10

### ispPAC10内部结构框图

.每个**PAC**块均为差分输入、差分输出，输入阻抗为 $10^9 \Omega$ ，共模抑制比为**69dB**；

.**PAC**块中电路的增益和特性可以编程改变，增益可调范围为**0dB - 40dB**；

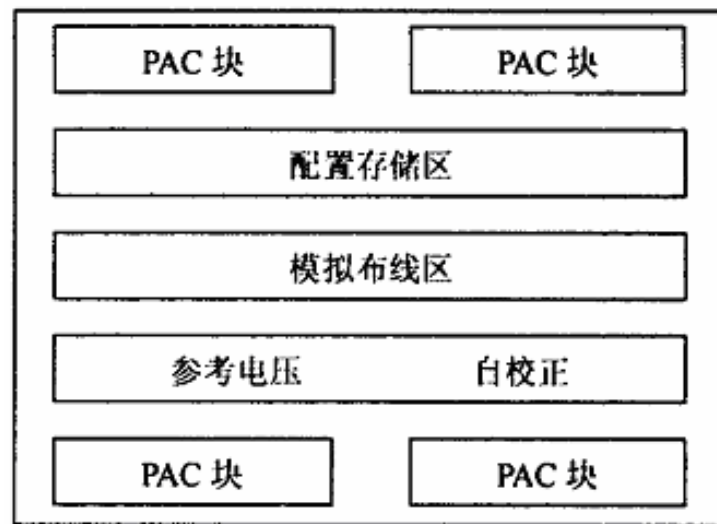
.输出放大器的电容有**128**种可选择值，反馈电阻可编程为连通或断开状态；

.采用**5V**电源供电，内含**2.5V**参考电压；

.可自动校准；

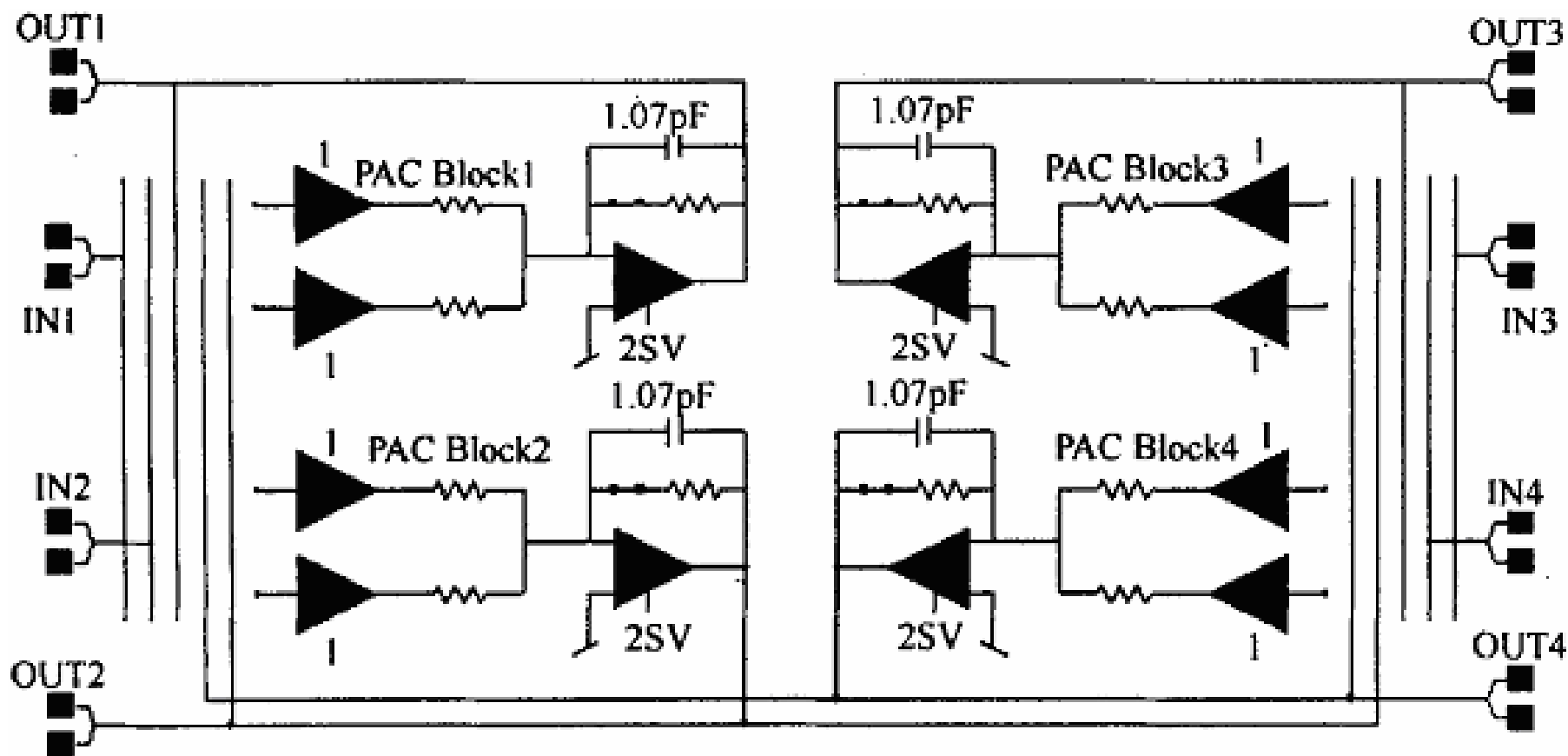
.不需外接电阻、电容即可构造放大器、有源滤波器、求和、求差和积分电路；

.**IEEE1149 0 I JTAG**串行编程。





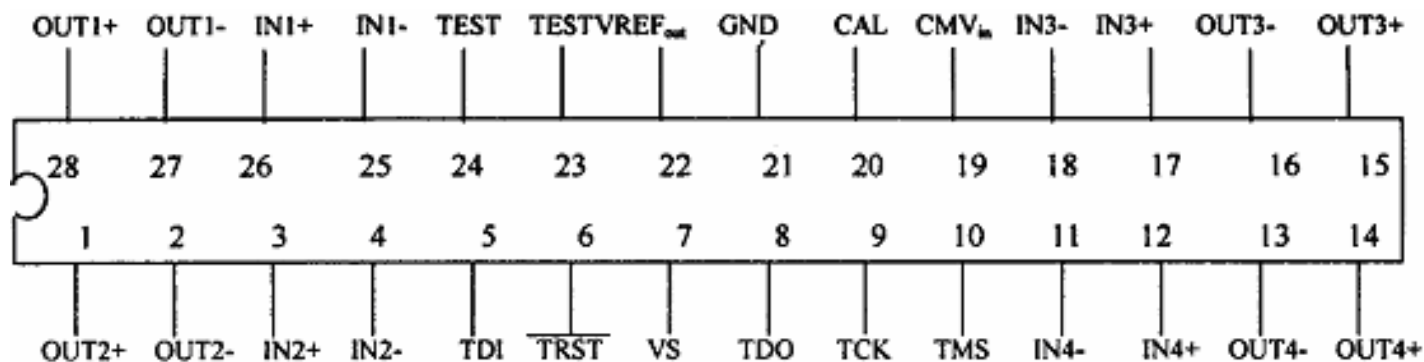
## ispPAC10内部模拟电路原理图







## ispPAC10内部模拟电路原理图



**OUT:** 差分输出引脚

**IN:** 差分输入引脚

**VS:** 电源+5V

**TDI:** 串行数据输入

**TDO:** 串行数据输出

**TMS:** 测试模式选择

**TCK:** 串行数据输入脉冲

**CMVin:** VREF<sub>out</sub>外部选择输入1.25V~3.25V

**CAL:** 自动校准

**GND:** 地

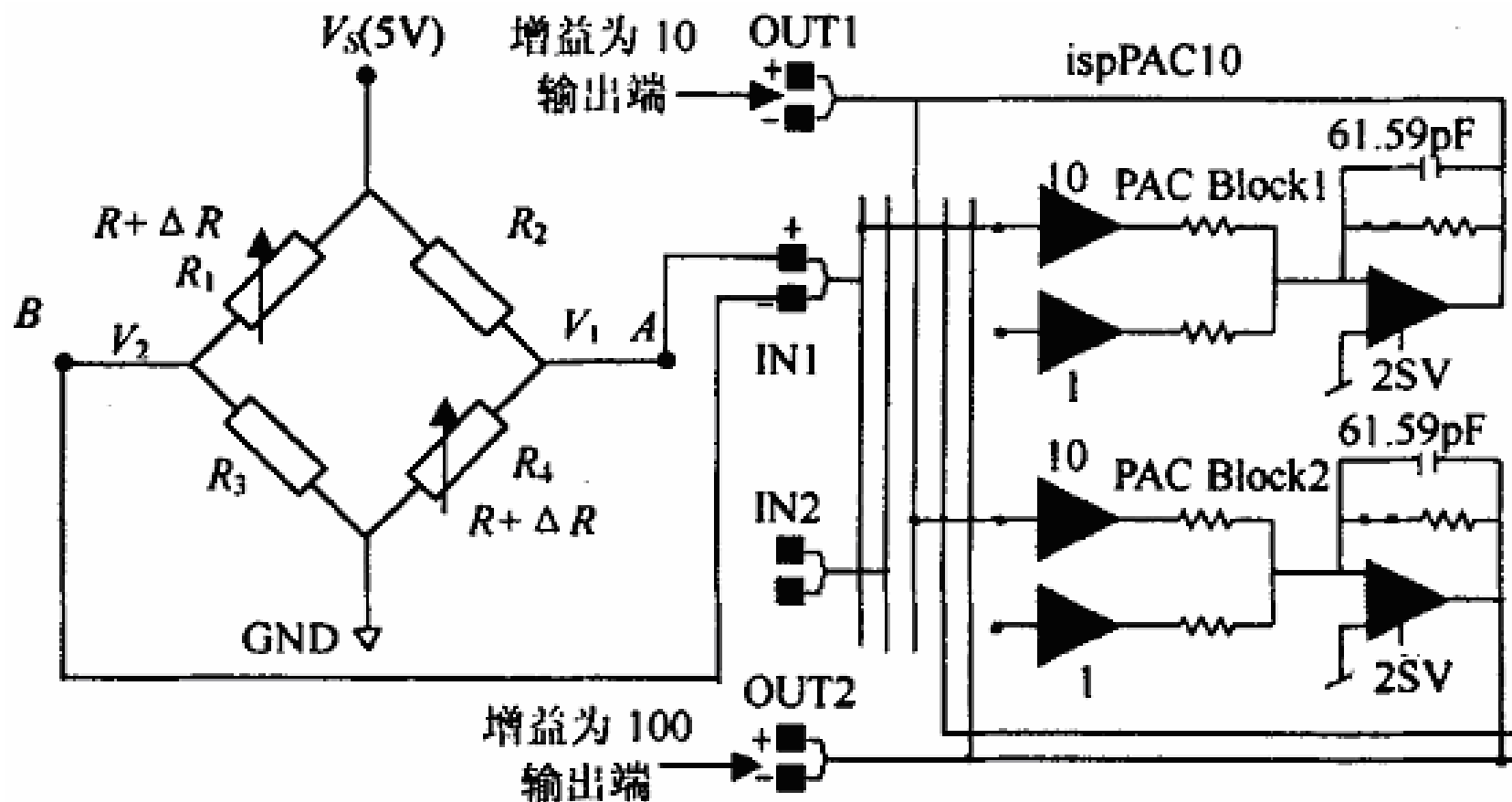
**VREF<sub>out</sub>:** 2.5V参考电压

**TEST:** 测试引脚，应用时接地

**TRST:** 测试复位引脚



## ispPAC10的应用举例



ispPAC10实现电桥增益放大



### 3. PAC-Designer软件的使用

Pacd34.exe的下载:

<http://www.latticesemi.com/>

支持的芯片:

ispPAC10

ispPAC20

ispPAC30

ispPAC80/81

ispPAC-Power604

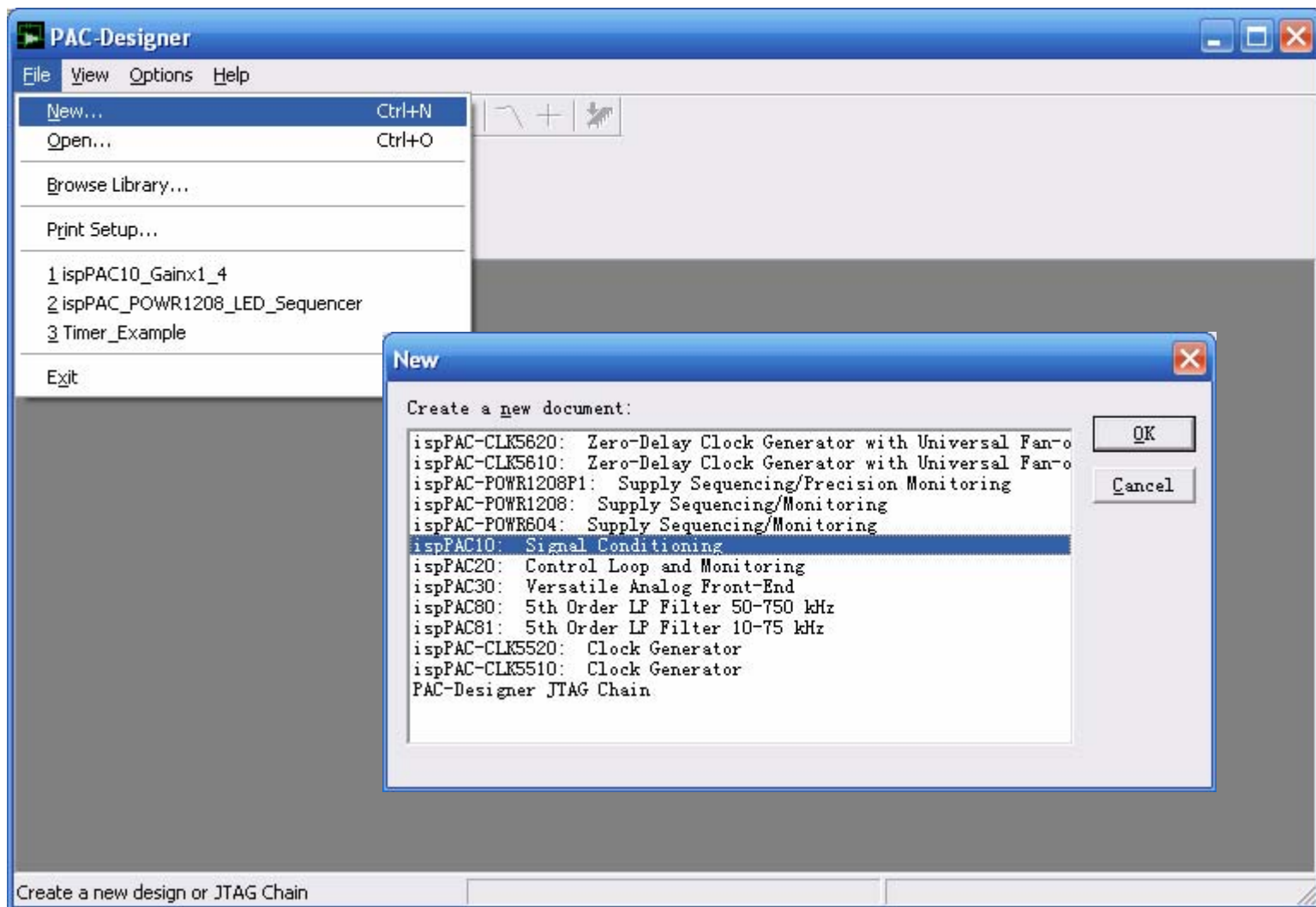
ispPAC-Power1028/1028P1

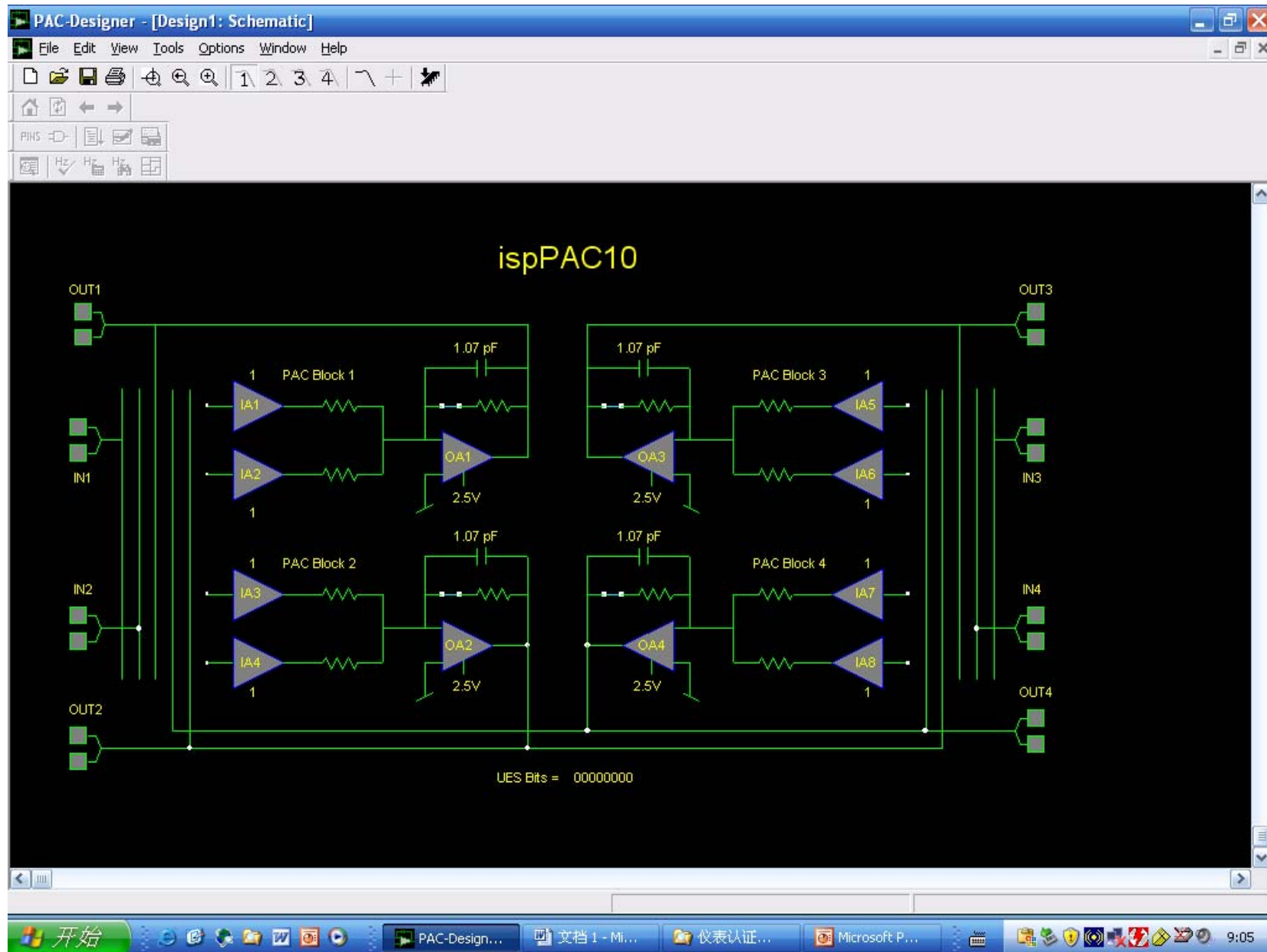
ispPAC-CLK5510/5520

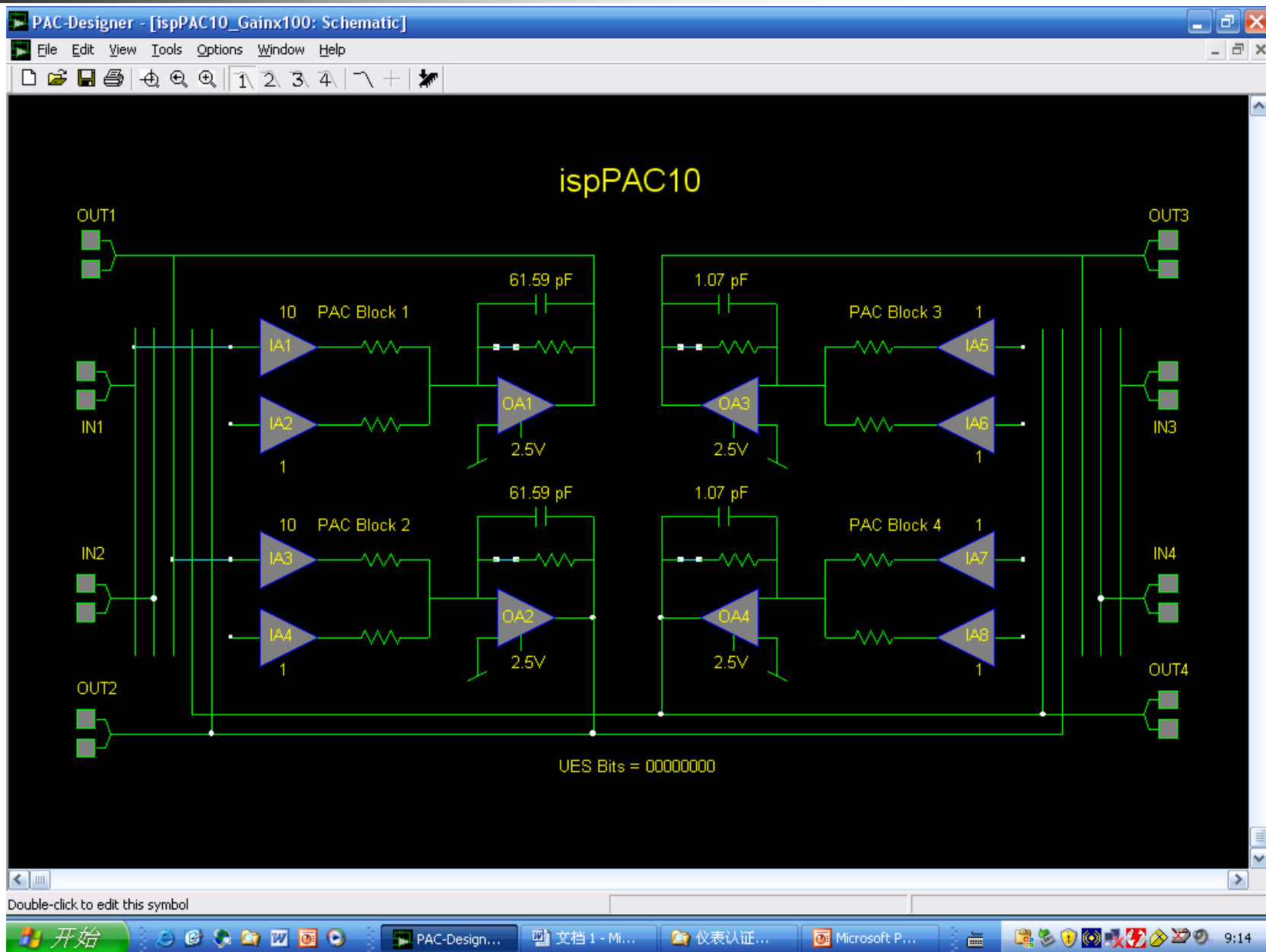
ispPAC-CLK5620



## 软件的界面



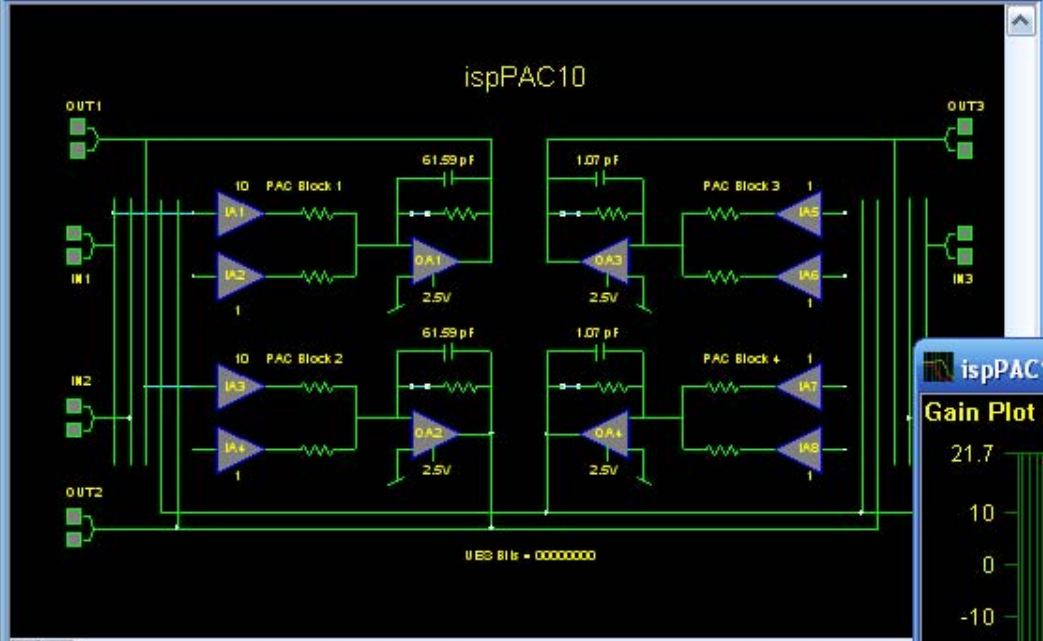




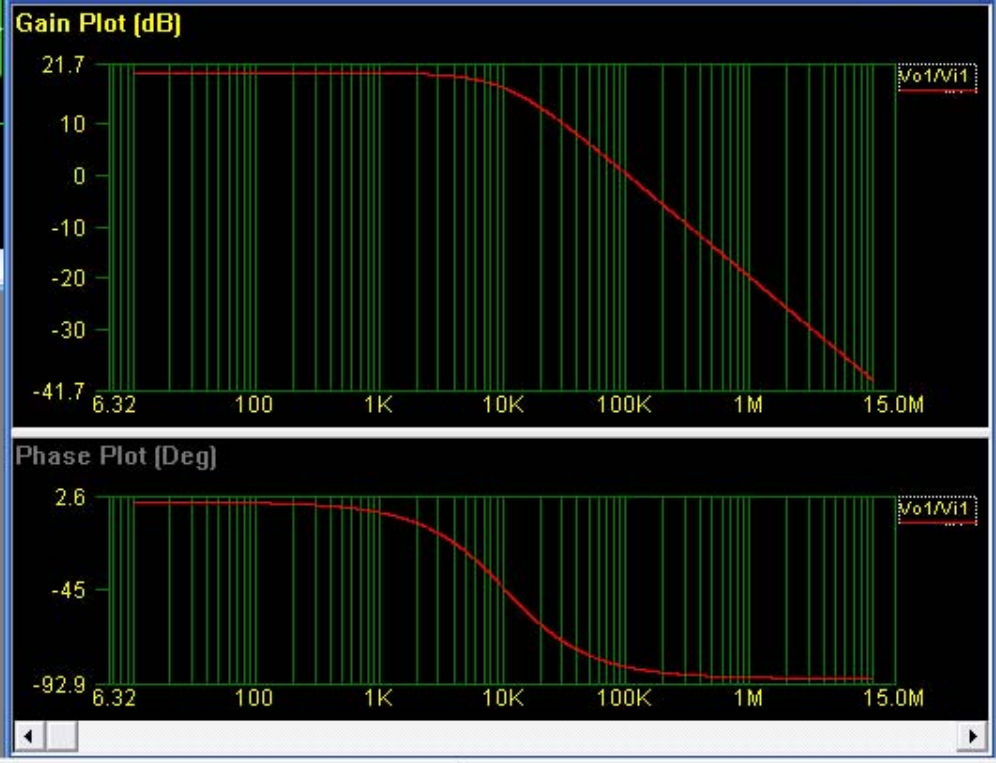




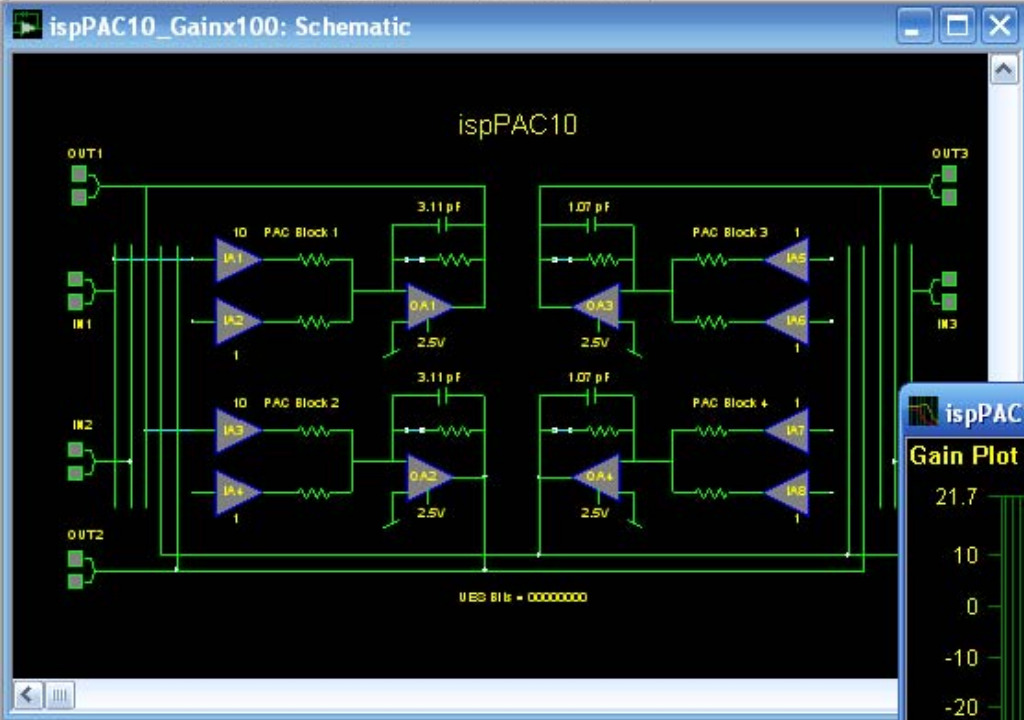
ispPAC10\_Gainx100: Schematic



ispPAC10\_Gainx100: Plot



Curve:1 Vout1/Vin1



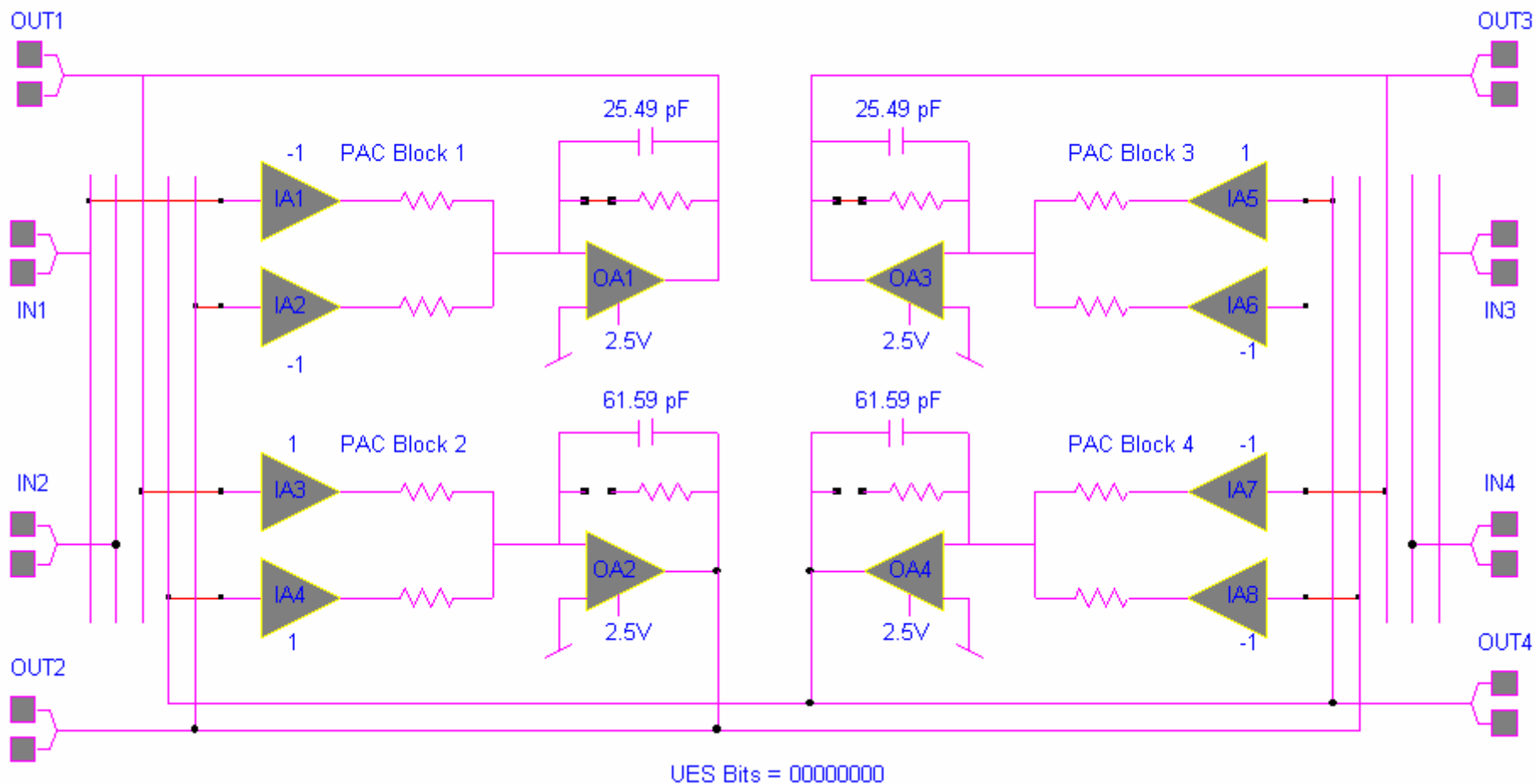
Curve:1 Vout1/Vin1





# 4阶Butterworth滤波器

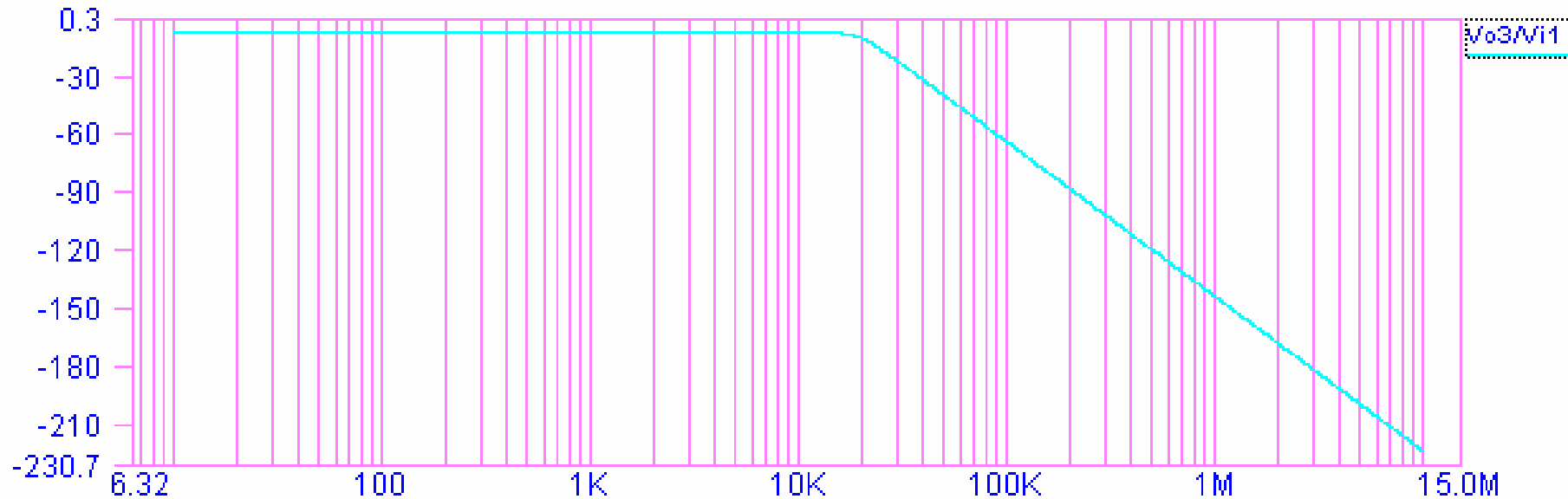
ispPAC10



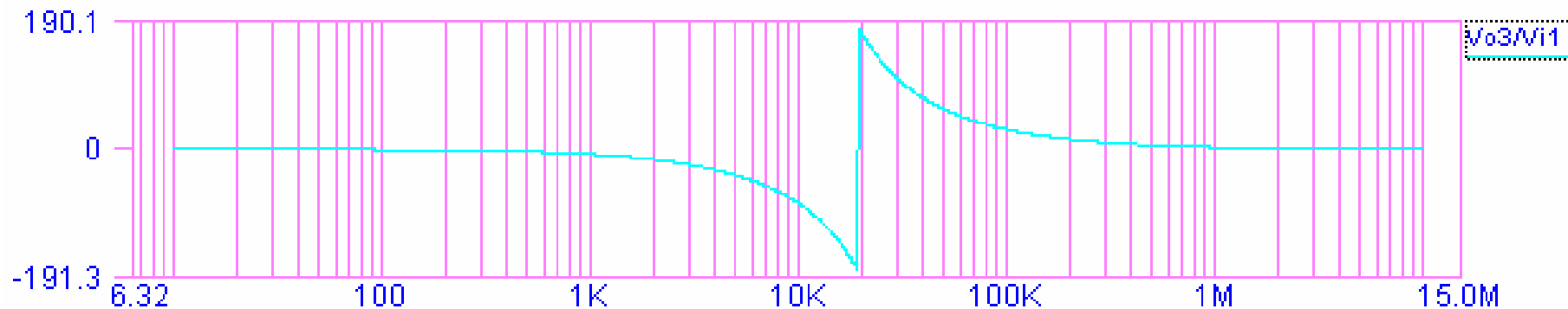


## 4阶Butterworth滤波器

Gain Plot [dB]



Phase Plot (Deg)





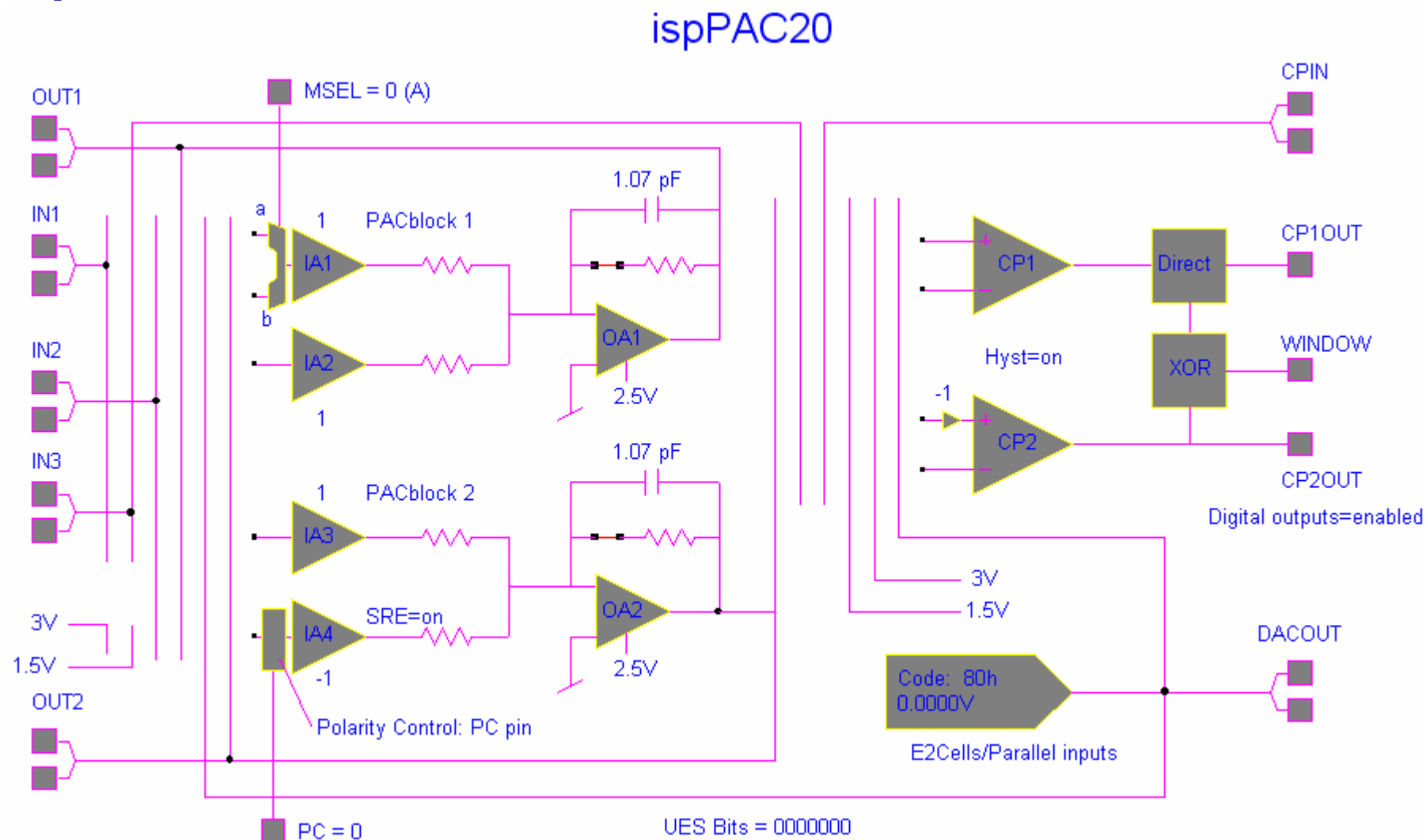
## 4. ispPAC20

### ispPAC20内部结构框图

ispPAC20内包含有2个PAC块、2个比较器CP、1个数模转换器DAC以及模拟布线区、配置存储器、参考电压、自校正、isp接口等电路。

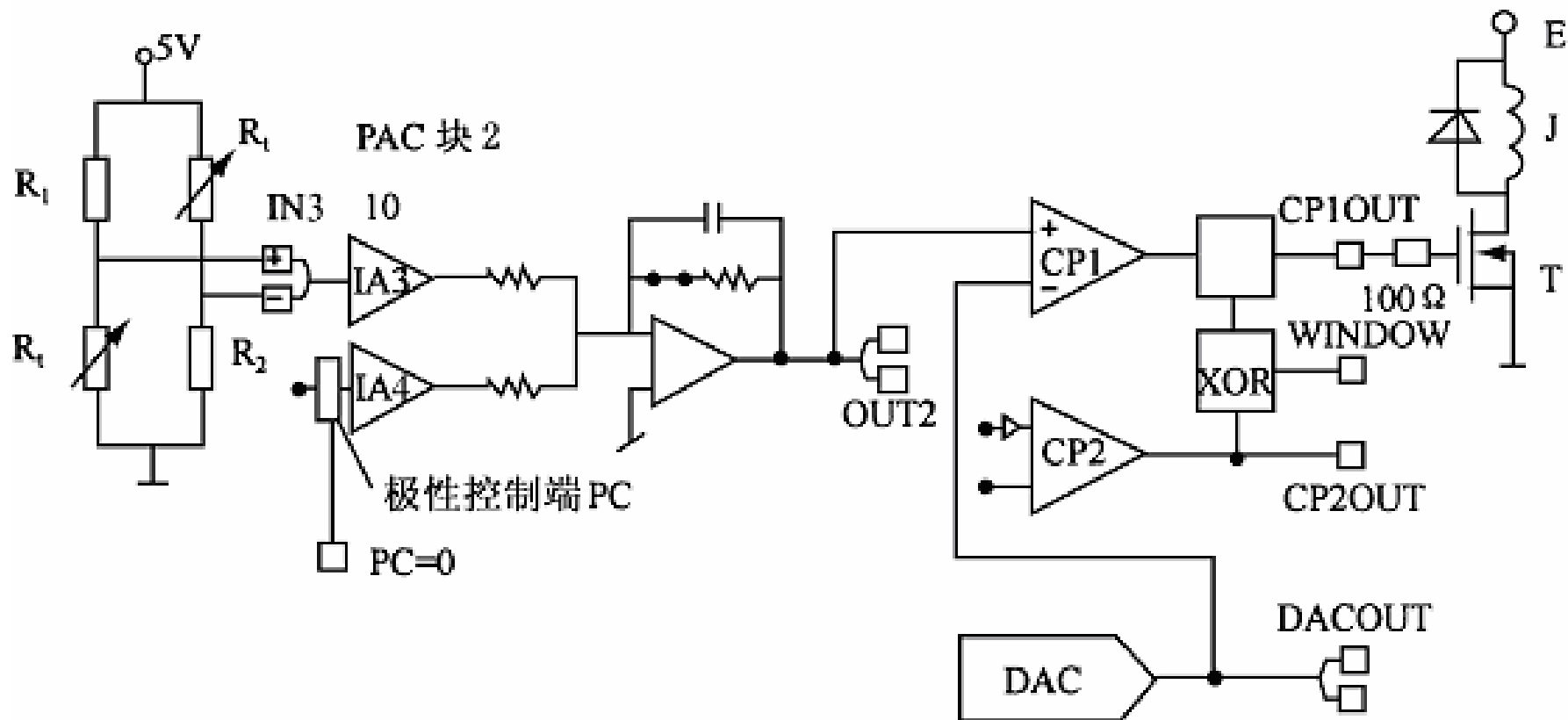


# ispPAC20设计图





## ispPAC20应用举例



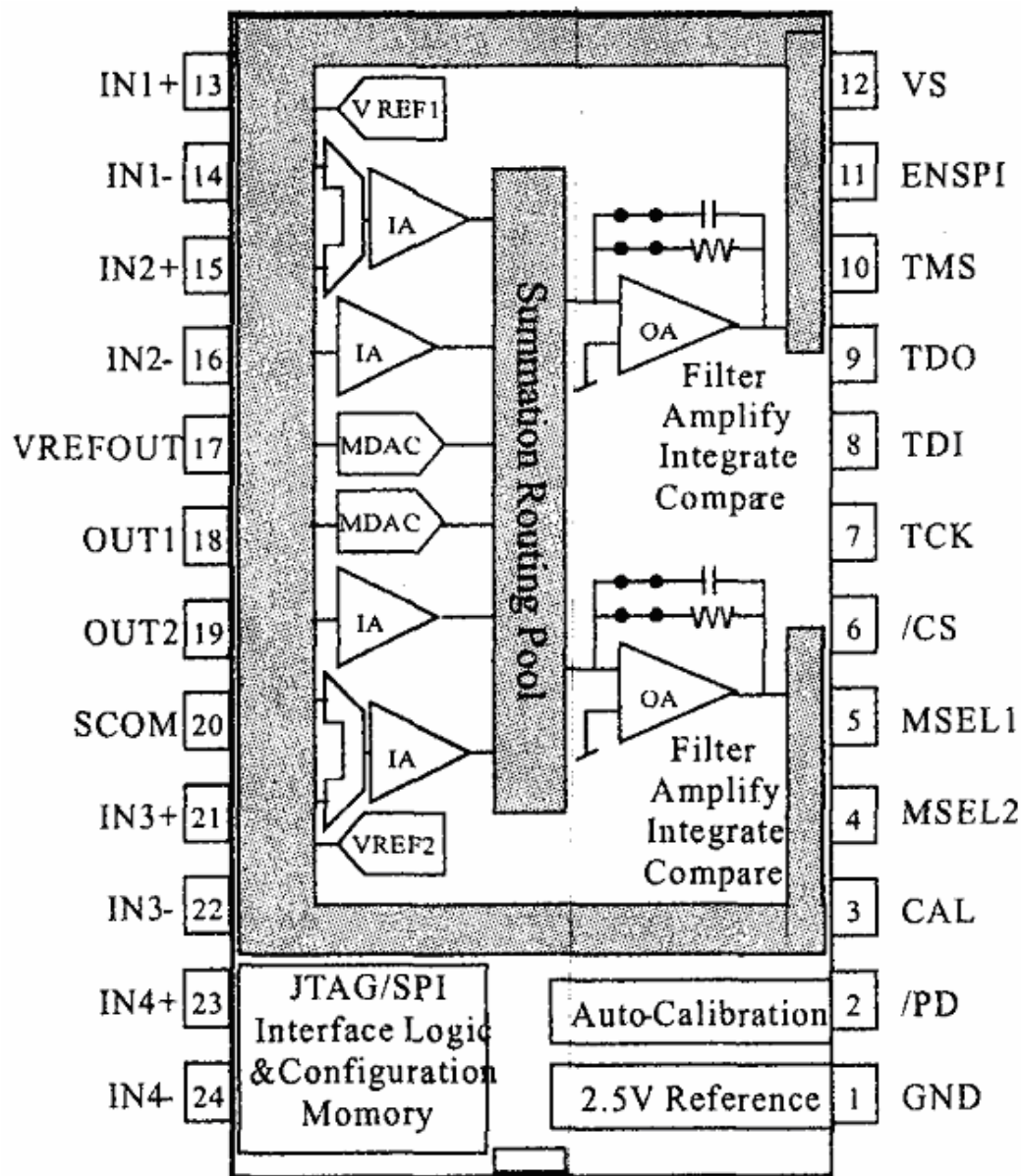
压力测量电路



## 5. ispPAC30

### ispPAC30内部结构

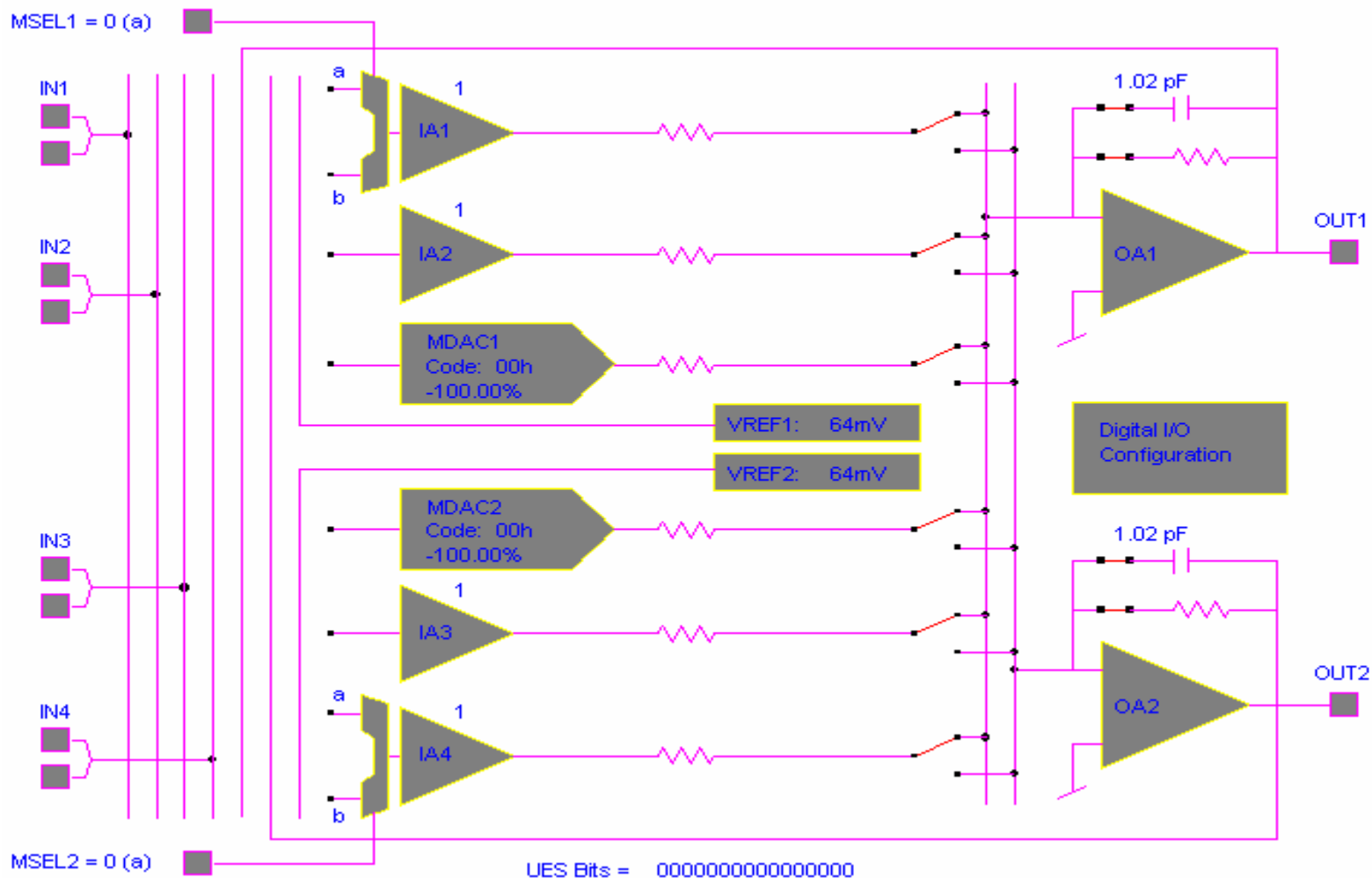
IspPAC30器件主要包括四个可编程增益的差分输入仪表放大器IA、两个双端口复用器MDAC、两个可配置输出放大器OA、两个数/模相乘变换器MDAC、两个独立的可编程精密参考电压VREF及非易失配置信息存储器、自校正电路等。





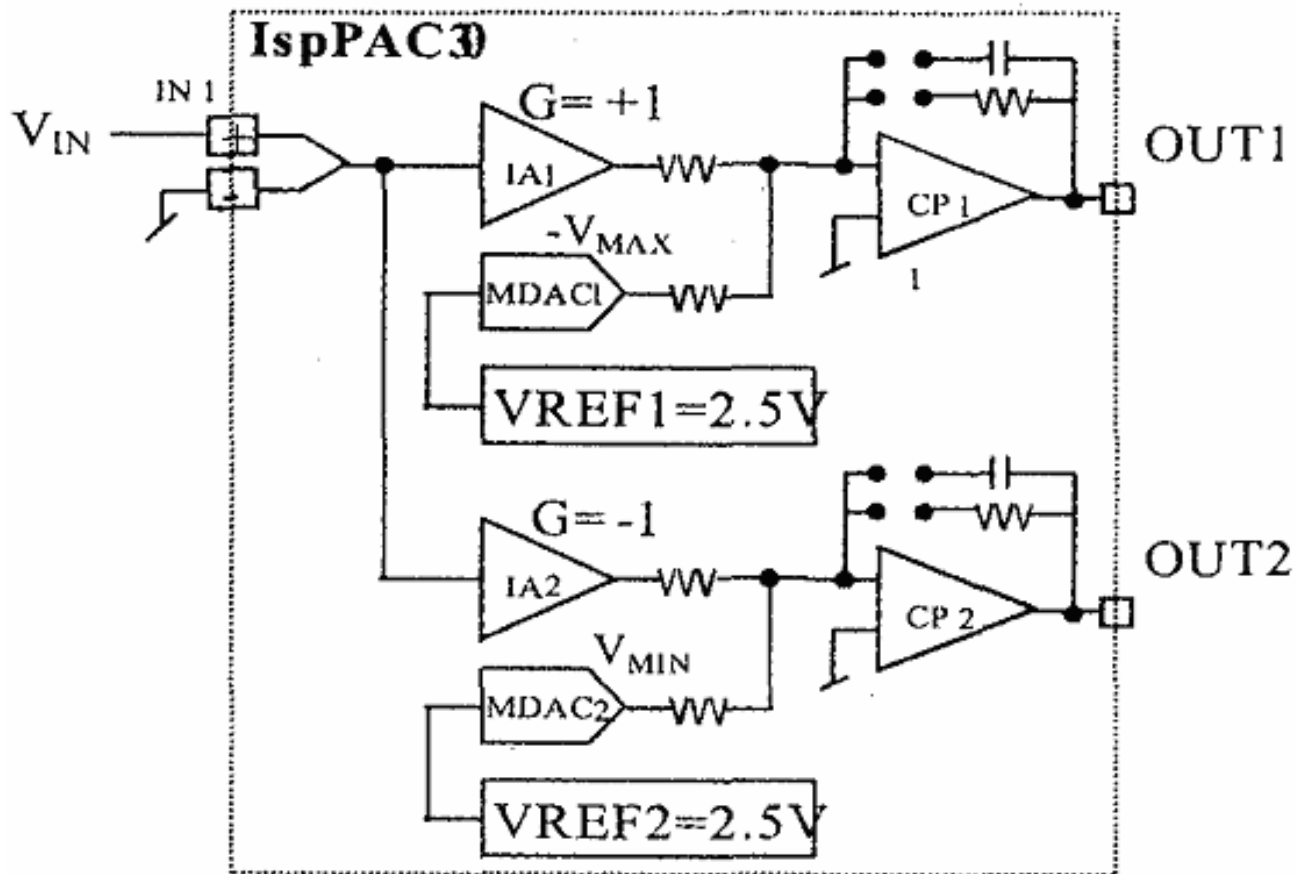
## ispPAC30设计图

### ispPAC30





## ispPAC30应用举例



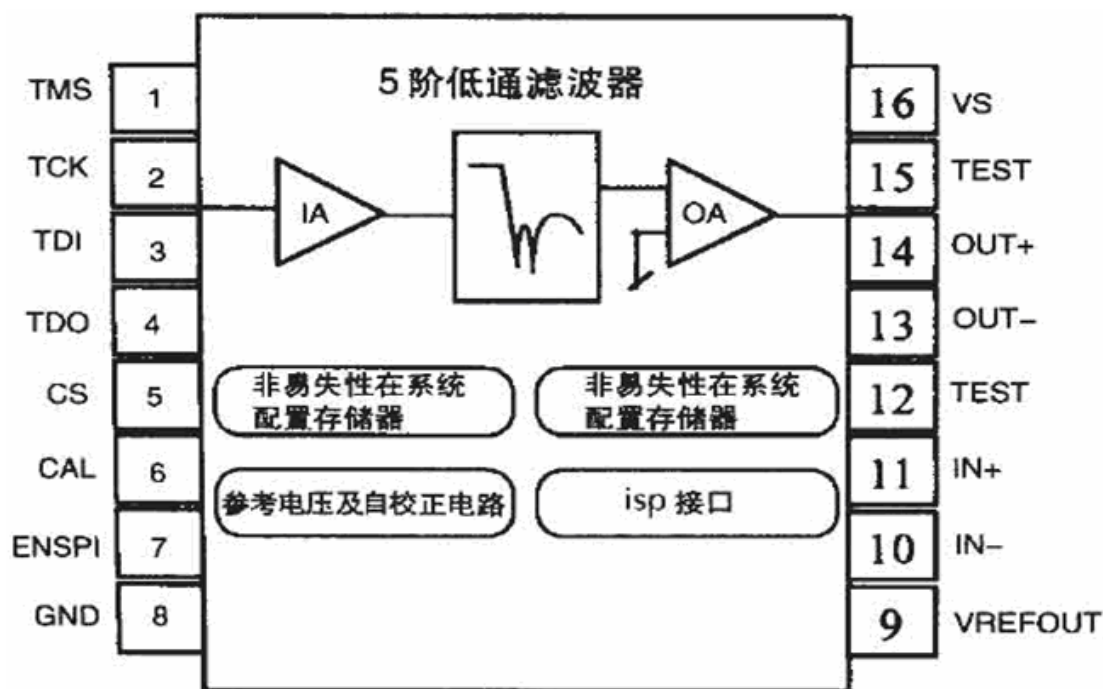
上下限检测电路





## 6. ispPAC80/81

### ispPAC80/81内部结构



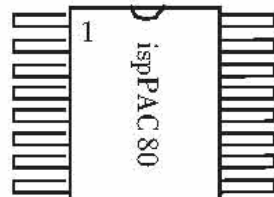


## ispPAC80引脚

引脚号	符号	功能说明
1	TMS	测试模式选择, 只能为 JTAG 模式
2	TCK	测试时钟, 只能为 JTAG 模式
3	TDI	测试数据输入, 可为 JTAG 或 SPI 模式
4	TDO	测试数据输出, 可为 JTAG 或 SPI 模式
5	CS	片选
6	CAL	自校正
7	ENSPI	SPI 模式使能, ENSPI=1 时为 SPI 输入模式
8	GND	接地
9	VREFout	共模参考电压输出, 正常时为 2.5V, 必须通过 1 $\mu$ F 电容接地
10, 11	IN	差分输入
12, 15	TEST	测试脚, TEST=1 时测试, TEST=0 时正常工作
13, 14	OUT	差分输出
16	VS	电源(正常时为 5V), 应通过 1 $\mu$ F 电容接地



16-pin PDIP



16-pin SOIC

ispPAC 80 两种封装形式



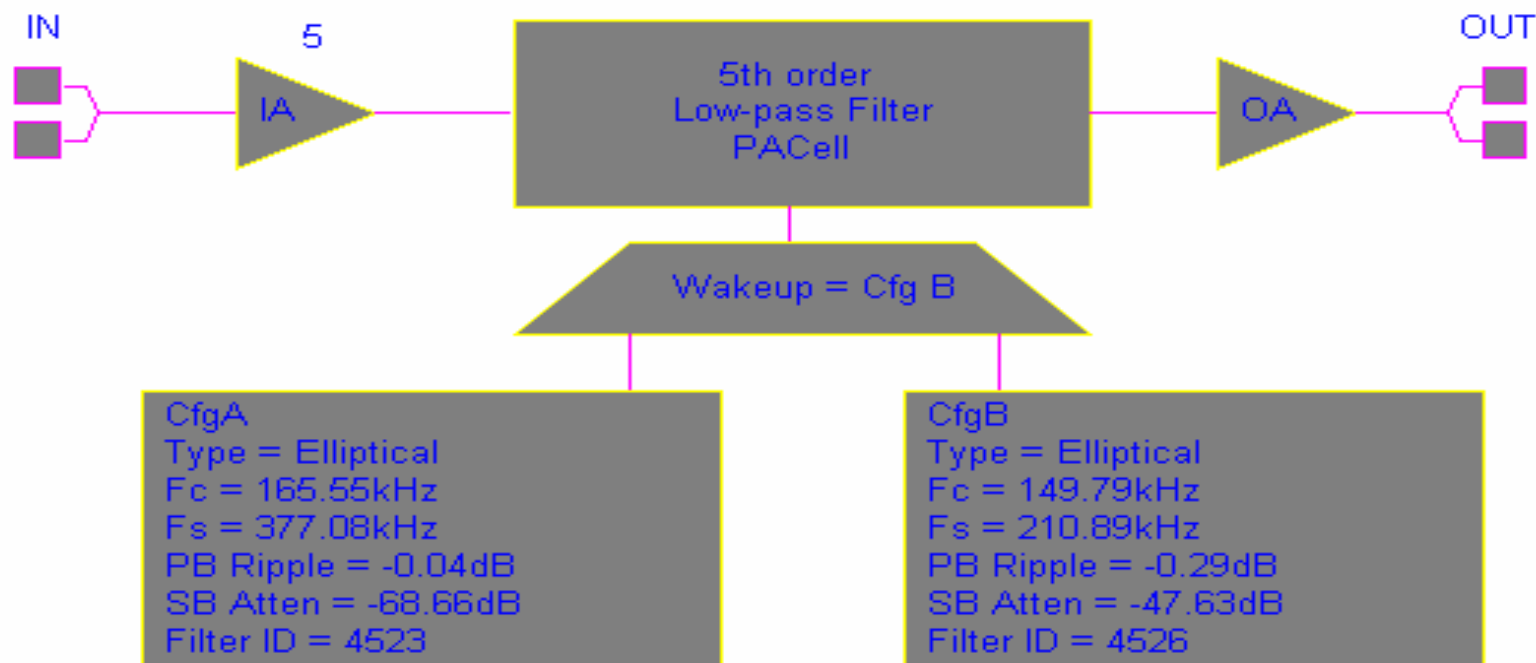
特点:

- ①精密有源滤波(**50 kHz ~ 750 kHz**) ;
- ②双配置存储器使得用户可以在不对电路板做任何改动的情況下, 完成两个完全不同的滤波器设计;
- ③所有的配置参数均存储在非易失**E<sup>2</sup>CMOS**存储器中;
- ④在系统可编程模拟电路;
- ⑤电路增益可以通过编程改变, 增益范围为**0dB ~ 20 dB**;
- ⑥可实现多种形式的滤波器设计:**Chebyshev . Butterworth、Gaussian、Bessel**等;
- ⑦真正的差分**I/O**, 输入阻抗为 **$10^9 \Omega$** , 共模抑制比为**58 dB** ;
- ⑧失真低, 总谐波失真 **< - 74 dB** ;
- ⑨系统包含大约**3000**个独立的电容器, 相当于**7**个分辨率为**9~12**位的可编程电容器, 因此设计精度非常高;
- ⑩单电源**+5V**供电, 内部可提供**2.5V**共模参考电压。



## ispPAC80设计图

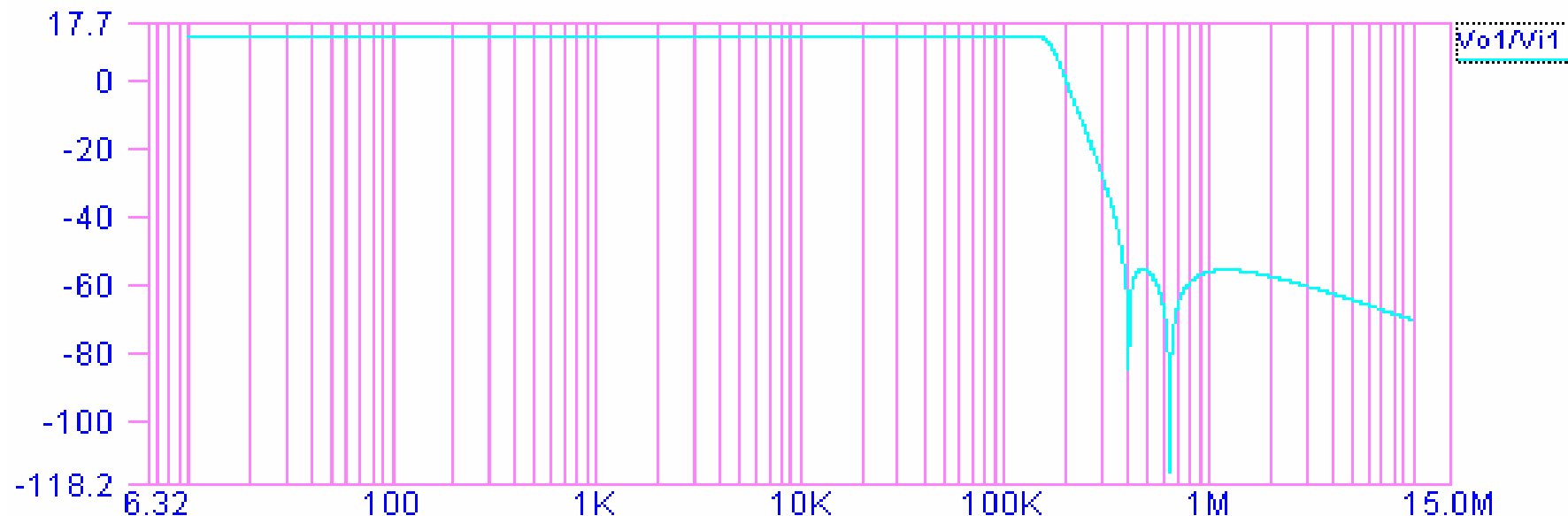
## ispPAC80



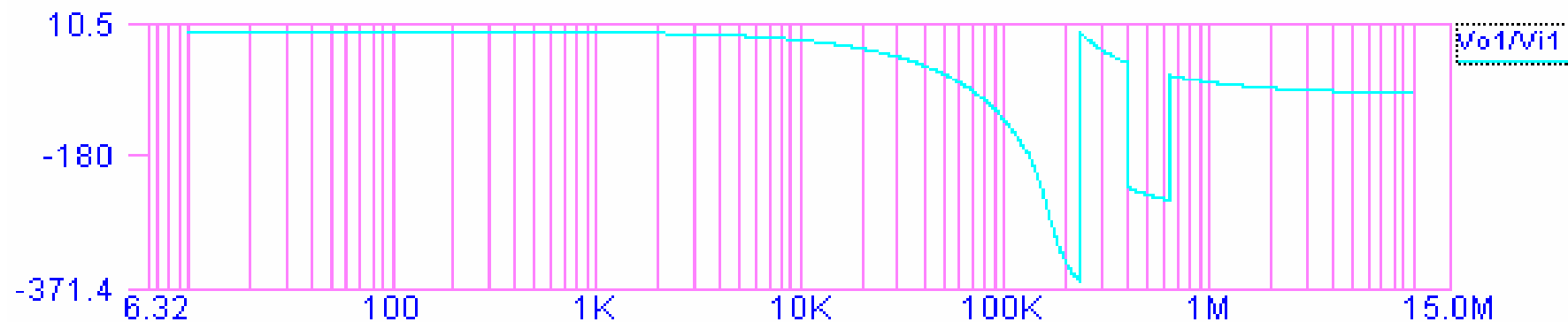
	C1	C2	L2	C3	C4	L4	C5
Cfg A	10.994 pF	0.427 pF	14.892 pF	20.776 pF	1.165 pF	13.919 pF	5.383 pF
Cfg B	16.780 pF	1.797 pF	13.115 pF	28.038 pF	5.108 pF	10.346 pF	8.755 pF



## Gain Plot (dB)

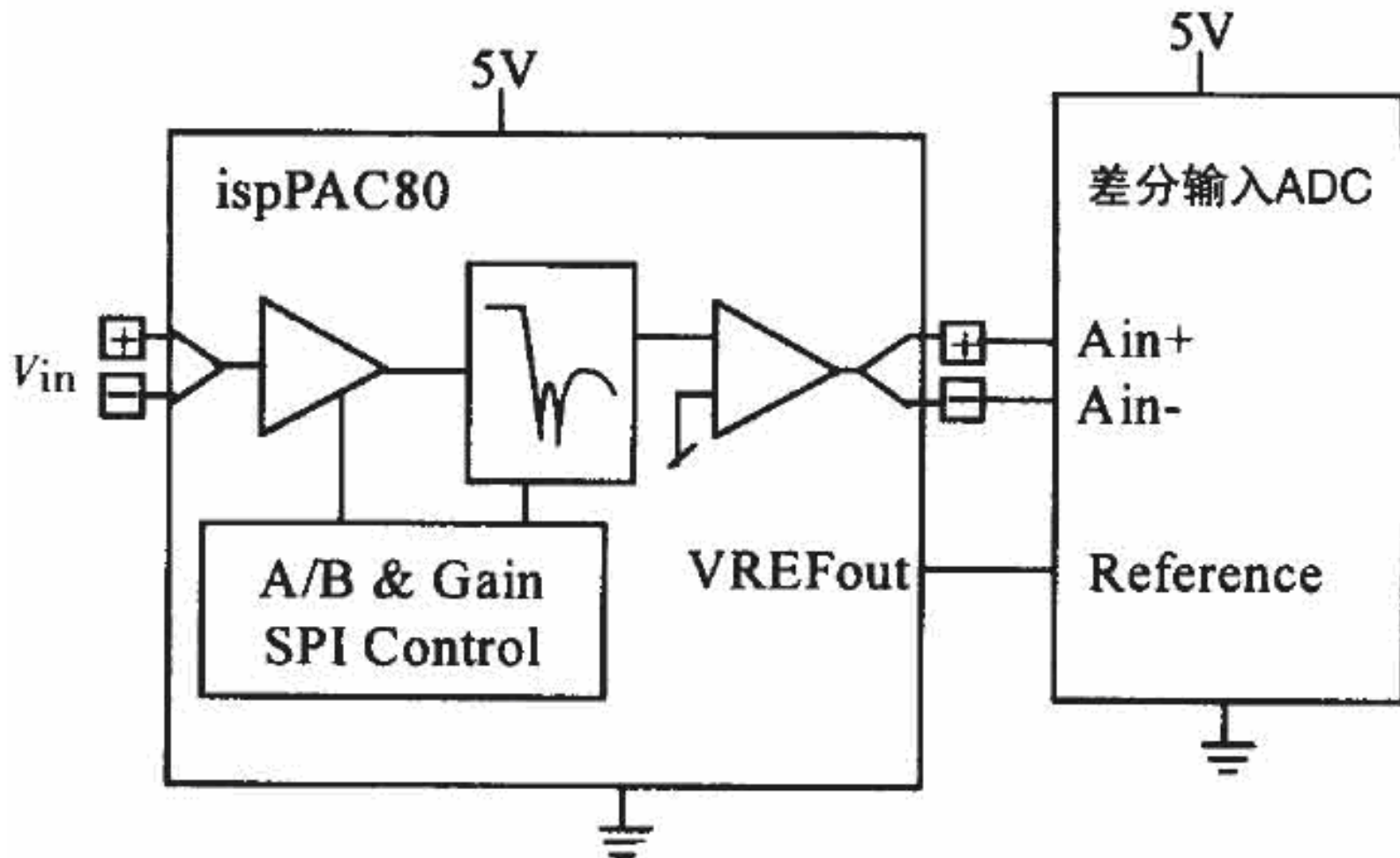


## Phase Plot (Deg)





## ispPAC80应用举例





## 3 开关滤波技术

### 3.1 概述

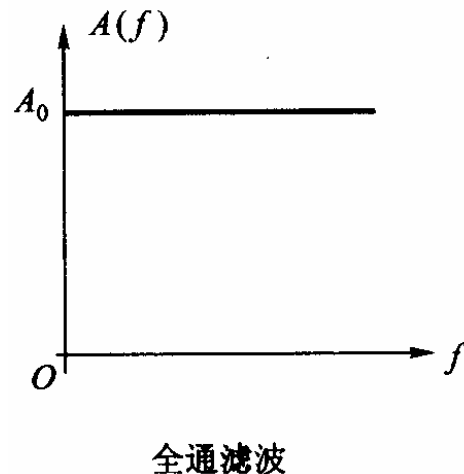
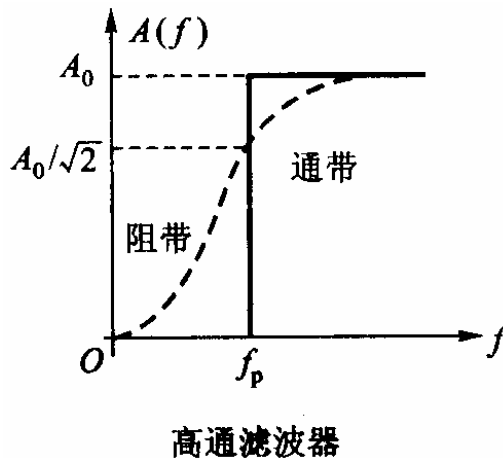
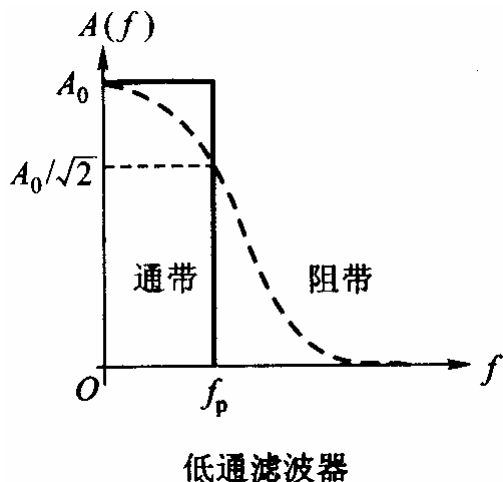
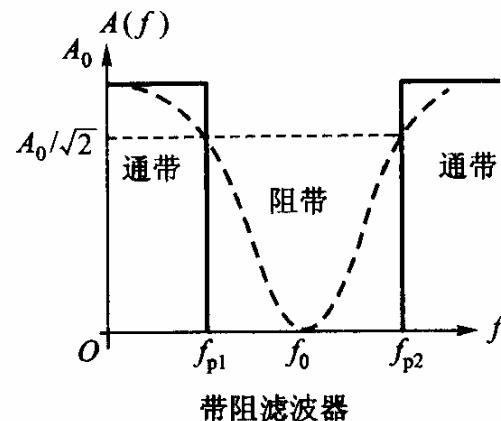
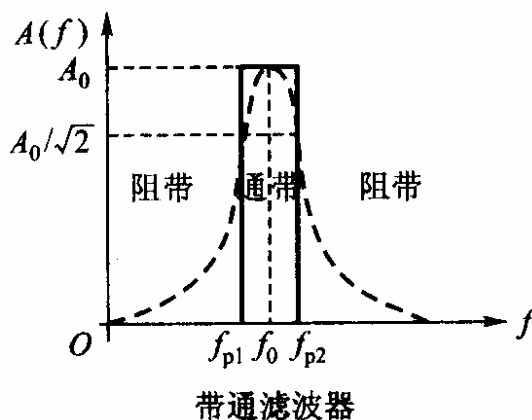
#### 1、基本概念

通带增益 $A_0$

谐振频率 $f_0$ 、截至频率 $f_p$

频带宽度 $BW$

品质因素 $Q$ 、阻尼系数  $\xi$



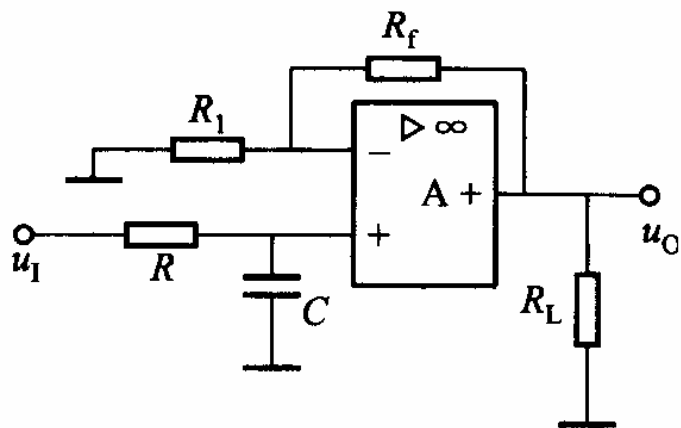


## 2、无源滤波器和有源滤波器

无源滤波器  $A(\omega) = \frac{1}{1 + j\omega RC}$

$$A(\omega) = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC}$$

### 一阶有源滤波器



R、C对调

$$A(\omega) = \frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_0}} \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right)$$

$$\begin{cases} \omega_0 = \omega_p = \frac{1}{RC} \\ A_0 = \left(1 + \frac{R_f}{R_1}\right) \end{cases}$$

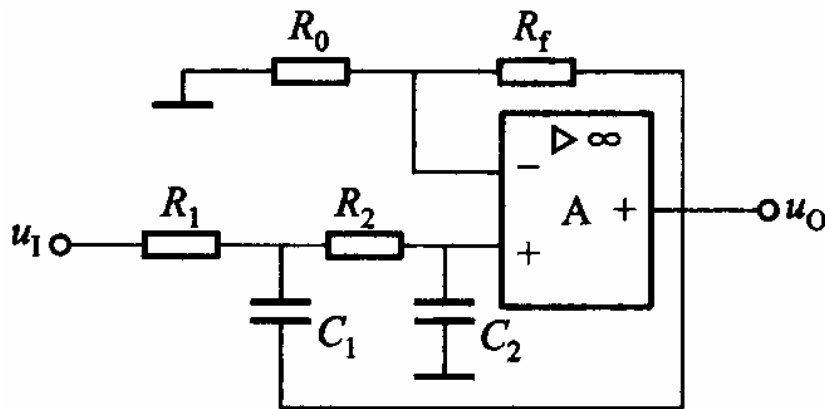




### 3、二阶RC有源低通滤波器

$$A(\omega) = \frac{A_0}{1 + j\alpha \frac{\omega}{\omega_0} + \left(j \frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}$$

$$\begin{cases} \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \\ \xi = \frac{R_1 C_2 + R_2 C_2 + R_1 C_1 (1 - A_0)}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \\ A_0 = 1 + \frac{R_f}{R_0} \end{cases}$$



(a) 压控电压源型滤波器电路

优点：高输入电阻，低输出电阻，带负载能力强。

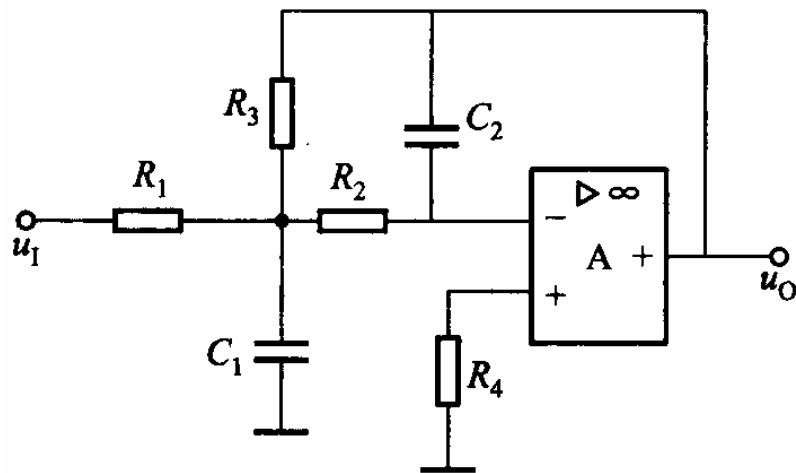
缺点：通带增益不能太高。



## 4、二阶RC有源低通滤波器

$$A(\omega) = \frac{A_0}{1 + j\alpha \frac{\omega}{\omega_0} + \left(j \frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}$$

$$\begin{cases} \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_2 R_3 C_1 C_2}} \\ \xi = \sqrt{\frac{C_2}{C_1}} \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3}{R_1 \sqrt{R_2 R_3}} \\ A_0 = -\frac{R_3}{R_1} \end{cases}$$



(b) 无限增益多路负反馈型滤波器电路

优点：通带增益不受限制。

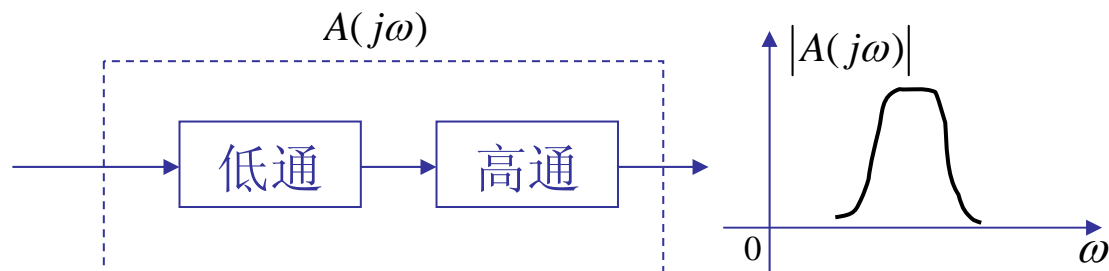
缺点：带负载能力弱。



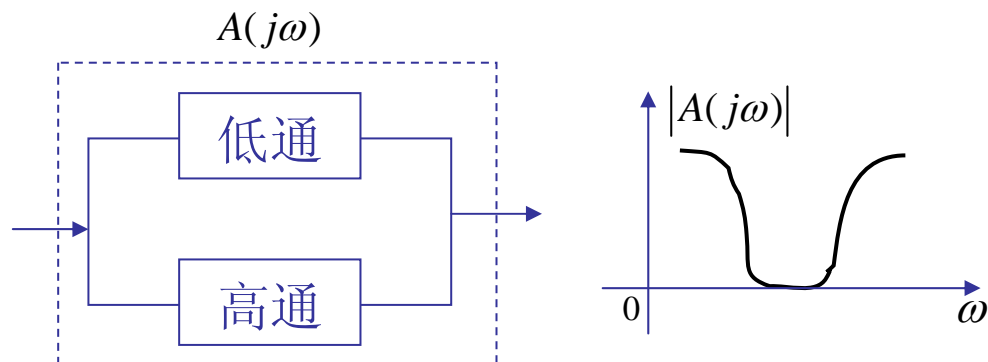
## 5、其它有源滤波器的设计

高通滤波器：与低通滤波器对偶。对二阶**RC**低通滤波器，只要把其中的电阻换成电容，电容换成电阻，即可得到二阶**RC**高通滤波器。

带通滤波器：



带阻滤波器：





## 3.2 开关滤波技术

### 1. 基本原理

$$q_{C_1} = C_1 u_1$$

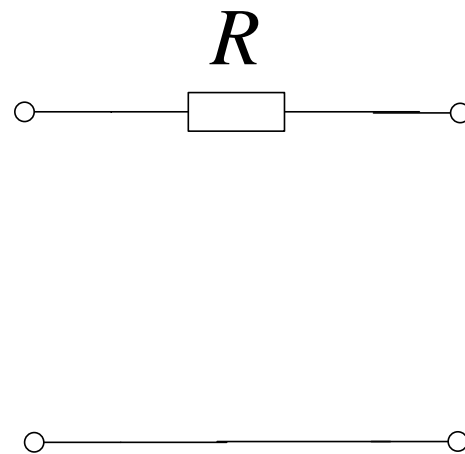
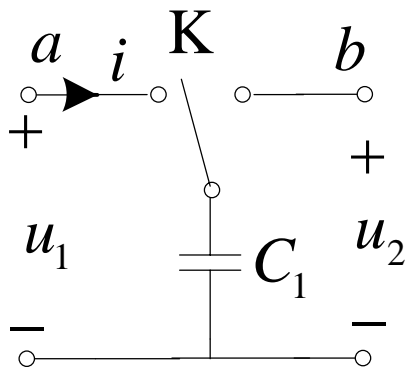
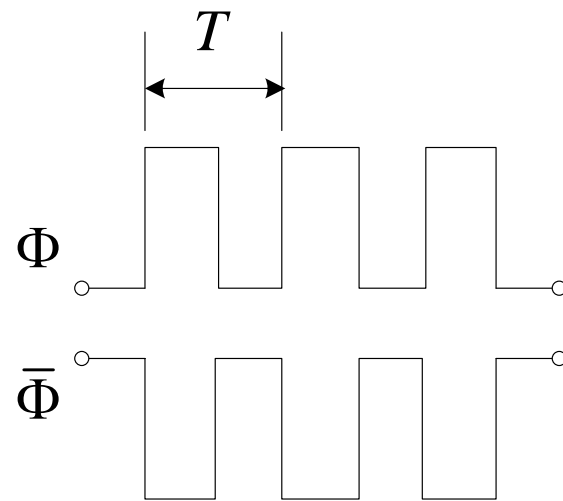
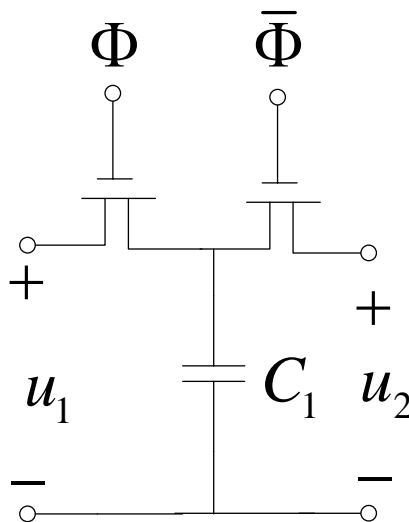
$$q'_{C_1} = C_1 u_2$$

$$q'_{C_1} - q_{C_1} = iT$$

$$C_1 u_2 - C_1 u_1 = iT$$

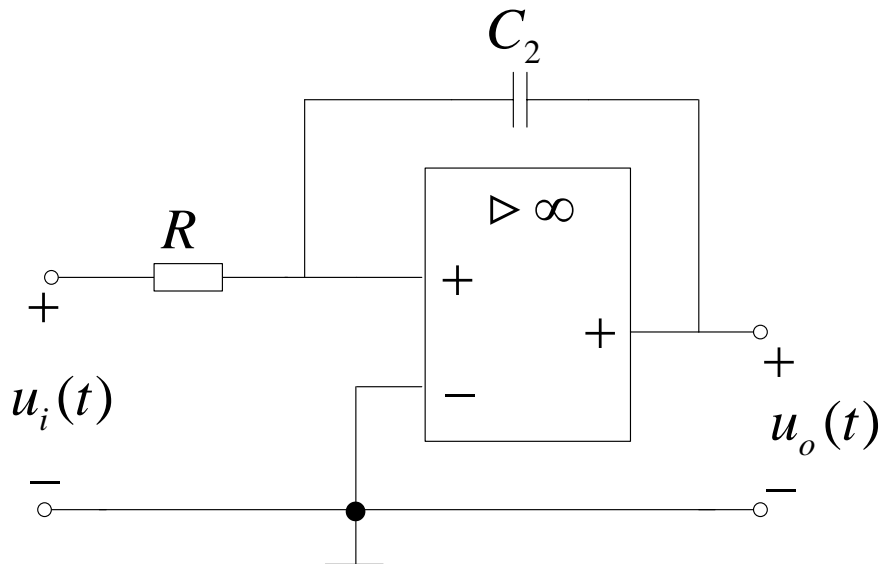
$$\Rightarrow u_2 = u_1 + \frac{T}{C_1} i$$

$$\Rightarrow R = \frac{T}{C_1}$$

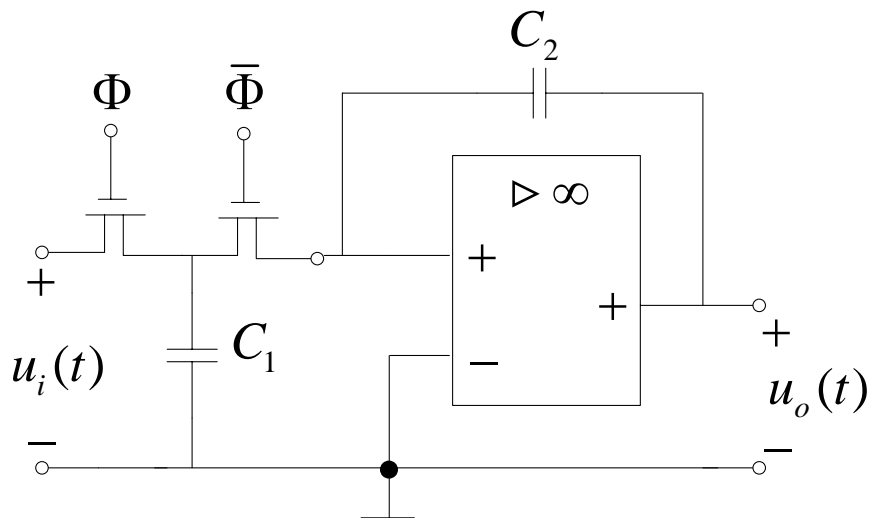




## 模拟积分器



## 开关电容积分器





## 2. MAX260/261/262

MAX260/ 261/ 262芯片是采用CMOS工艺制造的双列直插式开关电容通用滤波器。MAX260/ 261/ 262由两个二阶滤波器(A和B两部分)、两个可编程ROM及逻辑接口组成，每个滤波器部分又都包含两个级联的积分器和一个加法器。该电路的主要特性如下：

- .配有滤波器设计软件，可改善滤波特性，带有微处理器接口；

- .可控制64个不同的中心频率 $f_o$ 、128个不同的品质因数Q及四种工作模式；

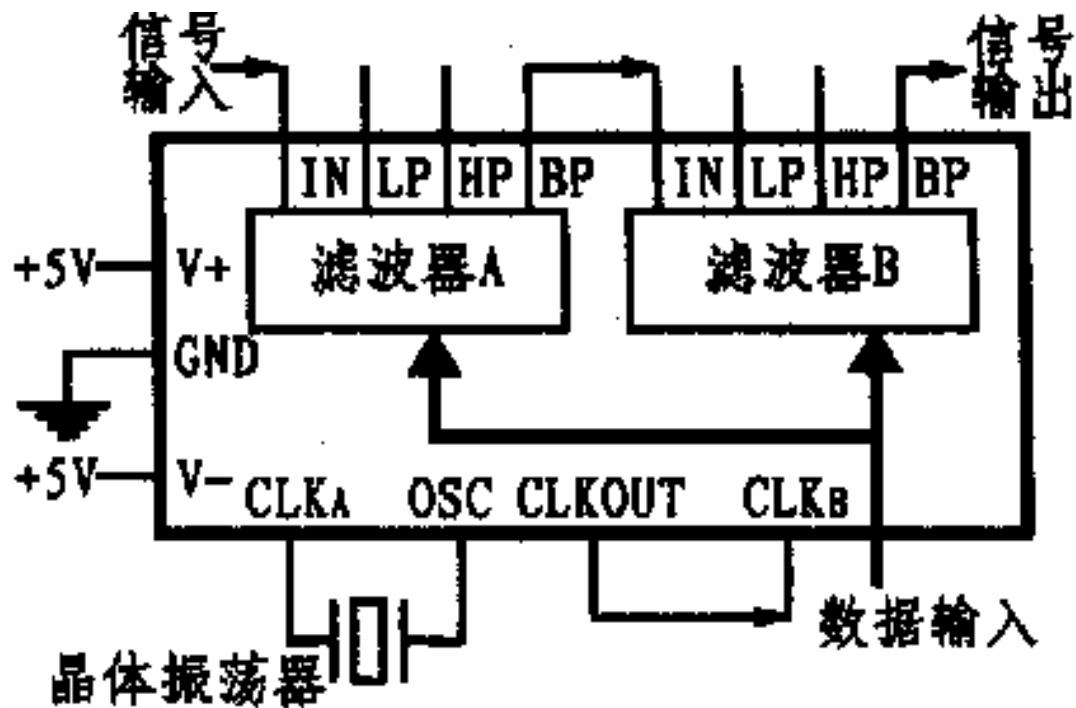
- .对中心频率 $f_o$ 和品质因数Q可独立编程；

- .时钟频率与中心频率比值( $f_{clk}/f_o$ )可达到1 % ( A级)；

- .中心频率 $f_o$ 的范围为75kHz( MAX262)。

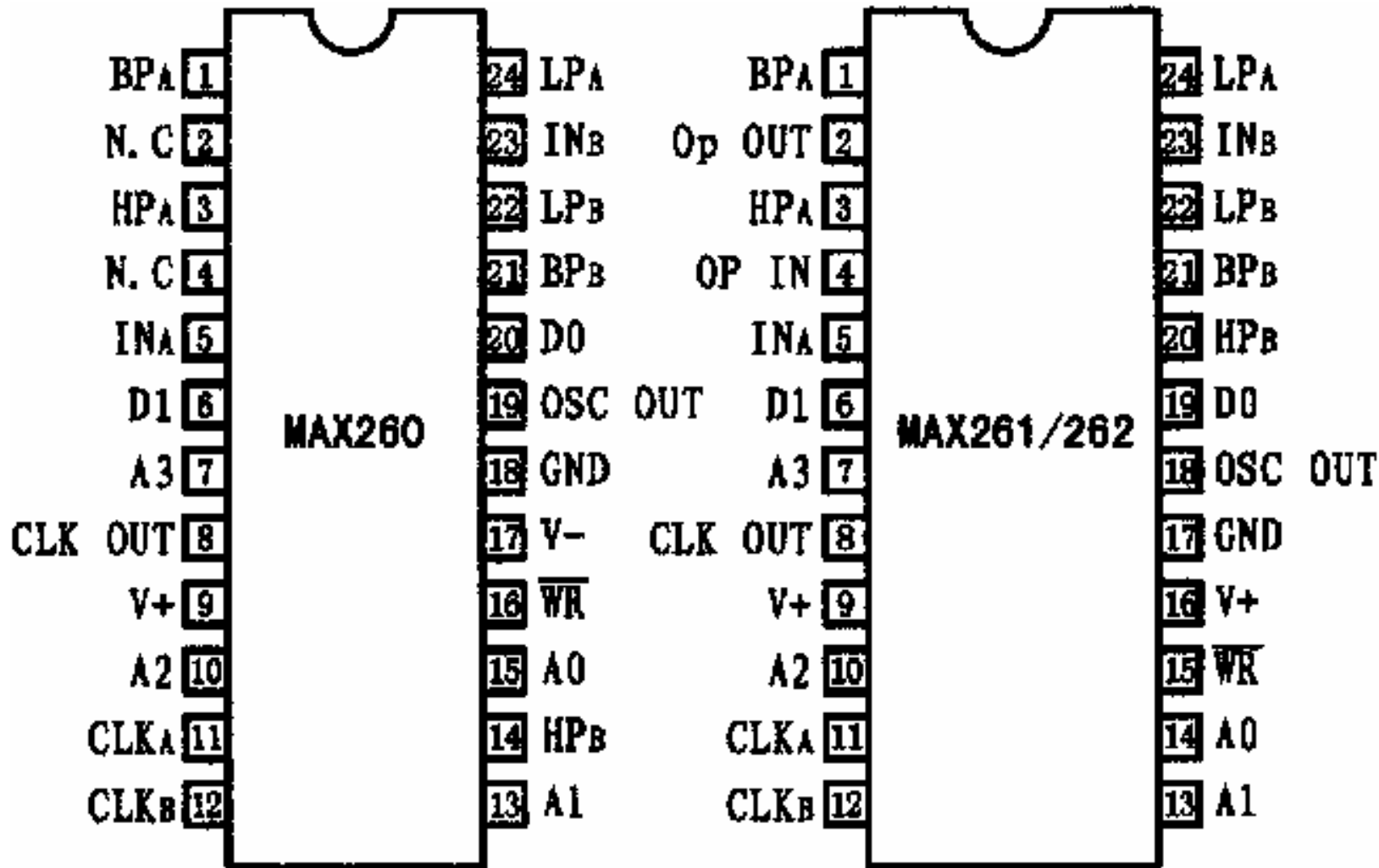


## 基本框图





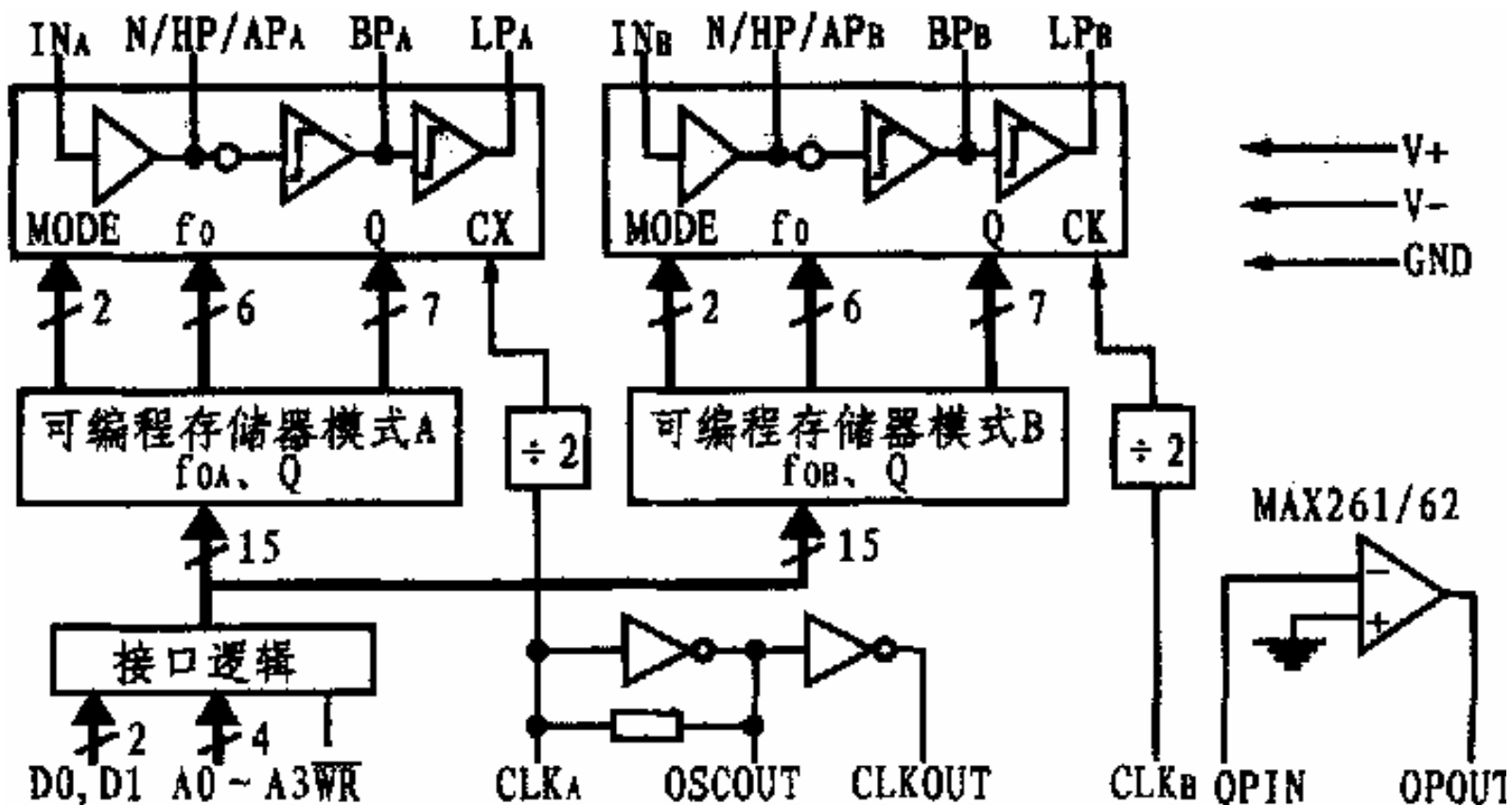
## 基本引脚





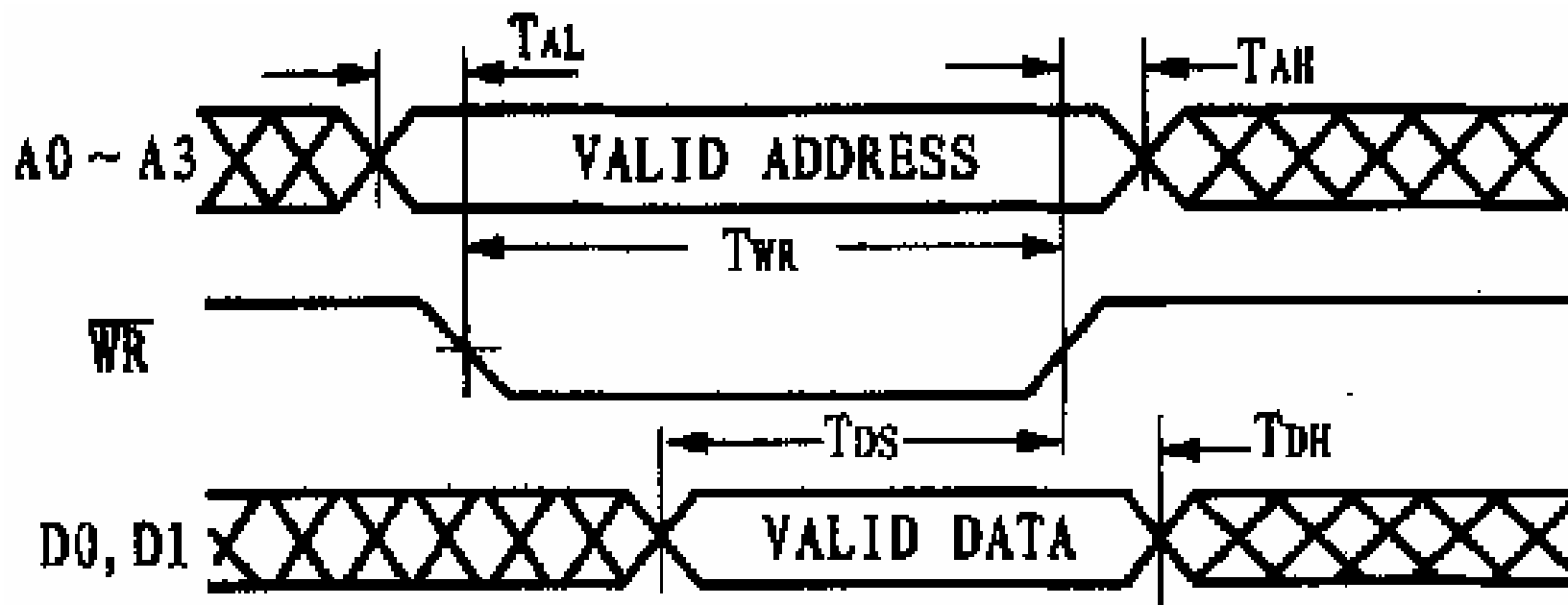


## 工作原理



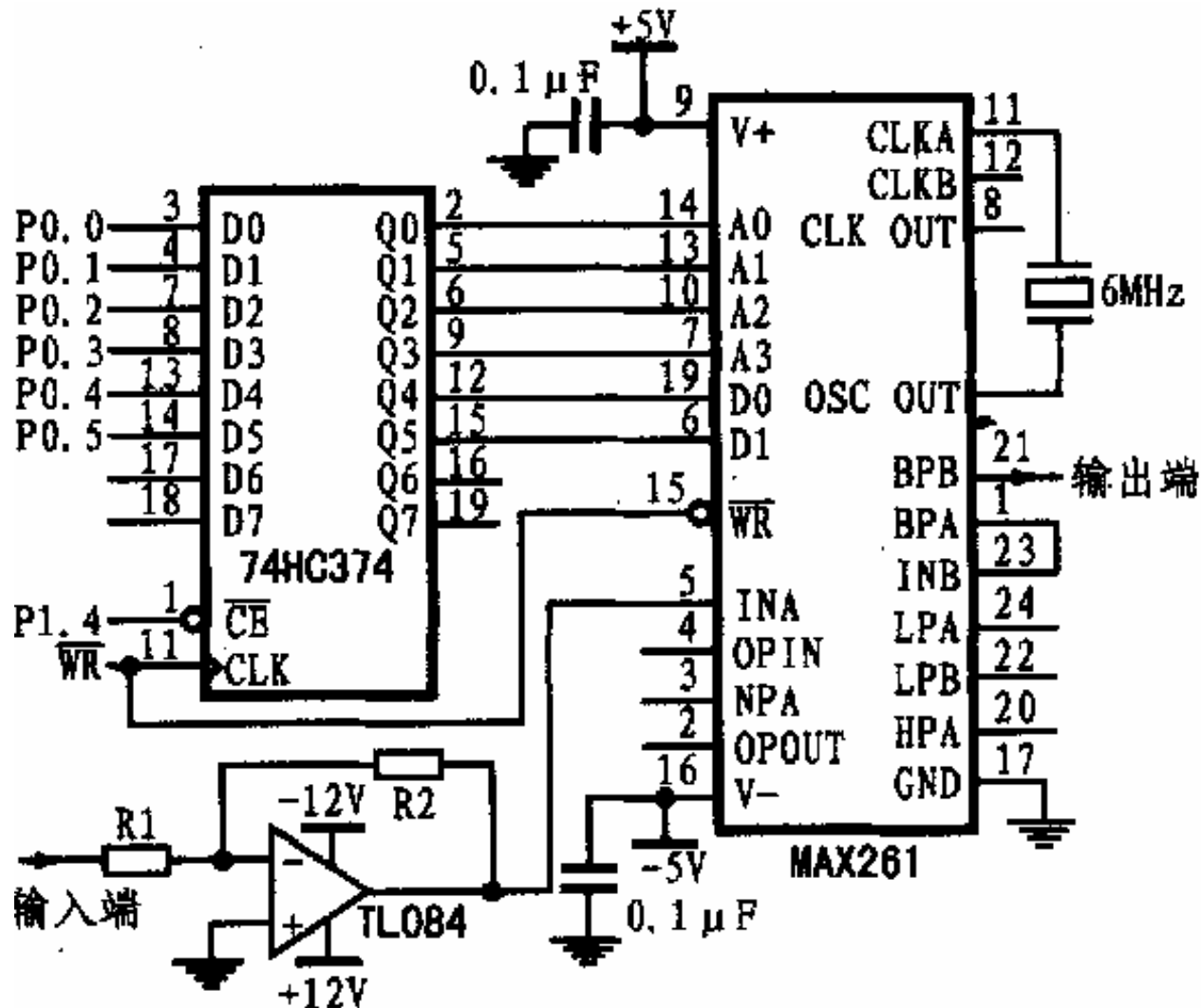


## 基本时序





## 应用



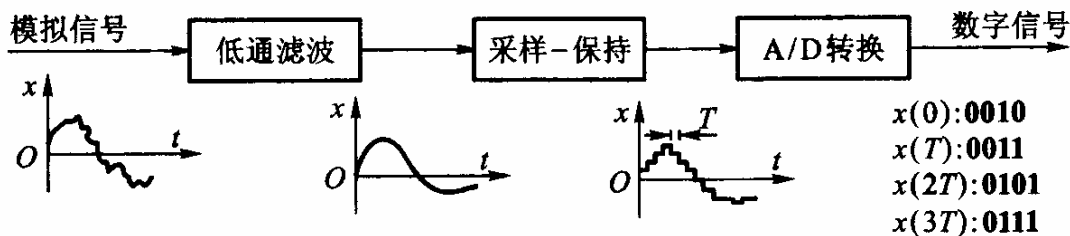


## 4 高速高分辨率A/D技术

### 1、采样与量化

采样:

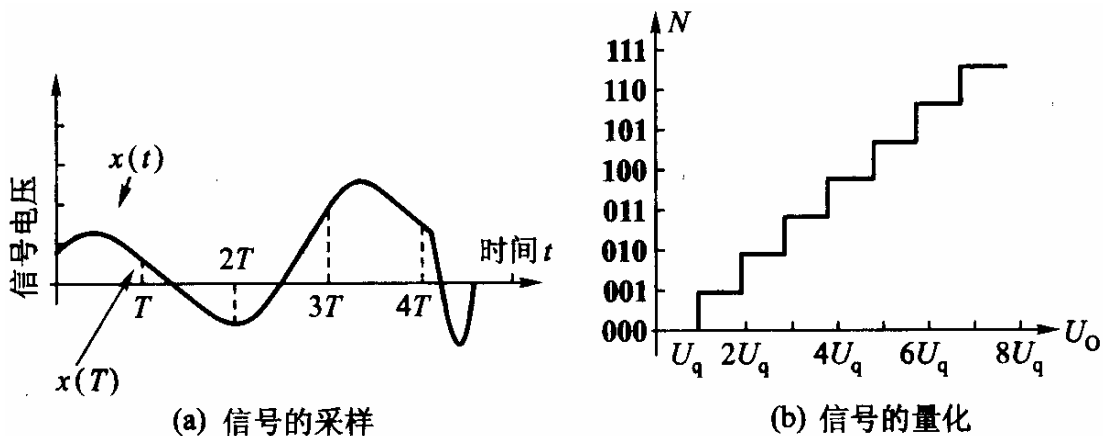
模拟量→离散量



A/D 转换系统构成

量化:

离散量→数字量



信号的采样与量化



## 2、双积分式A/D转换

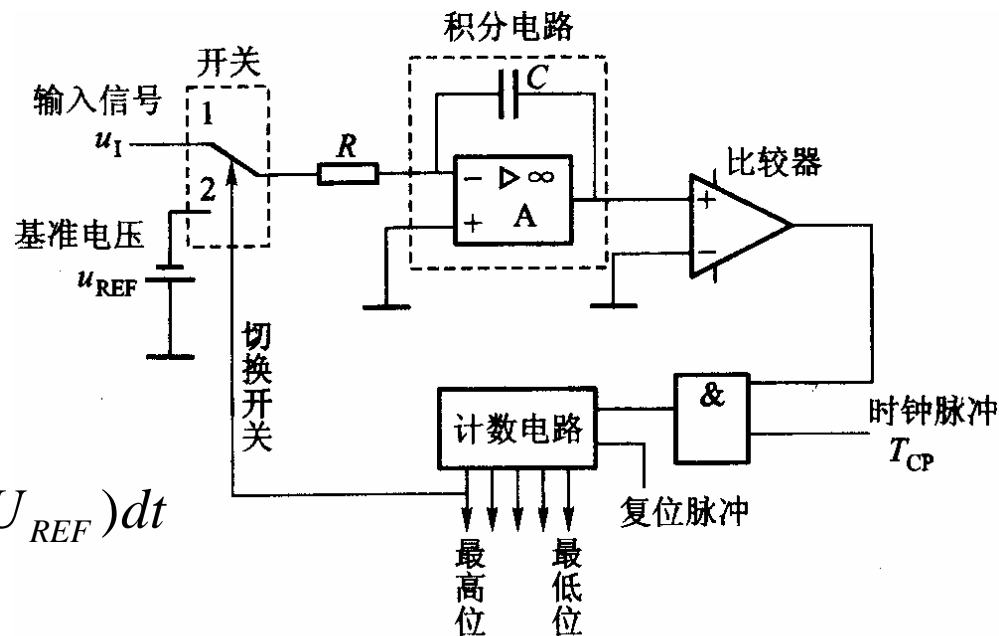
$$u_o(T_1) = -\frac{1}{RC} \int_0^{T_1} u_I dt = -\frac{\bar{u}_I}{RC} T_1$$

$$u_o(T_1 + T_2) = u_o(T_1) - \frac{1}{RC} \int_{T_1}^{T_1+T_2} (-U_{REF}) dt$$

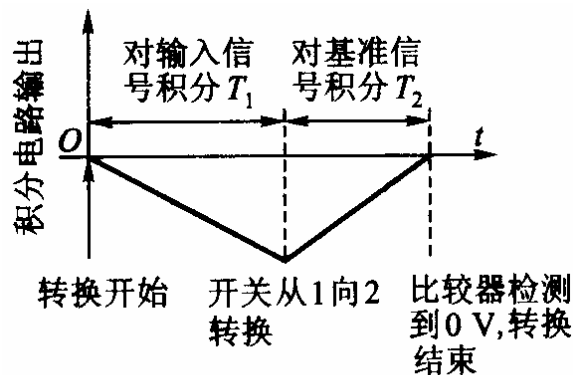
$$= -\frac{\bar{u}_I}{RC} T_1 + \frac{U_{REF}}{RC} T_2 = 0$$

$$T_2 = \frac{T_1 \bar{u}_I}{U_{REF}} = \frac{2^n T_{CP} \bar{u}_I}{U_{REF}}$$

$$N_2 = \frac{T_2}{T_{CP}} = \frac{2^n \bar{u}_I}{U_{REF}}$$



(a) 双积分式A/D转换电路

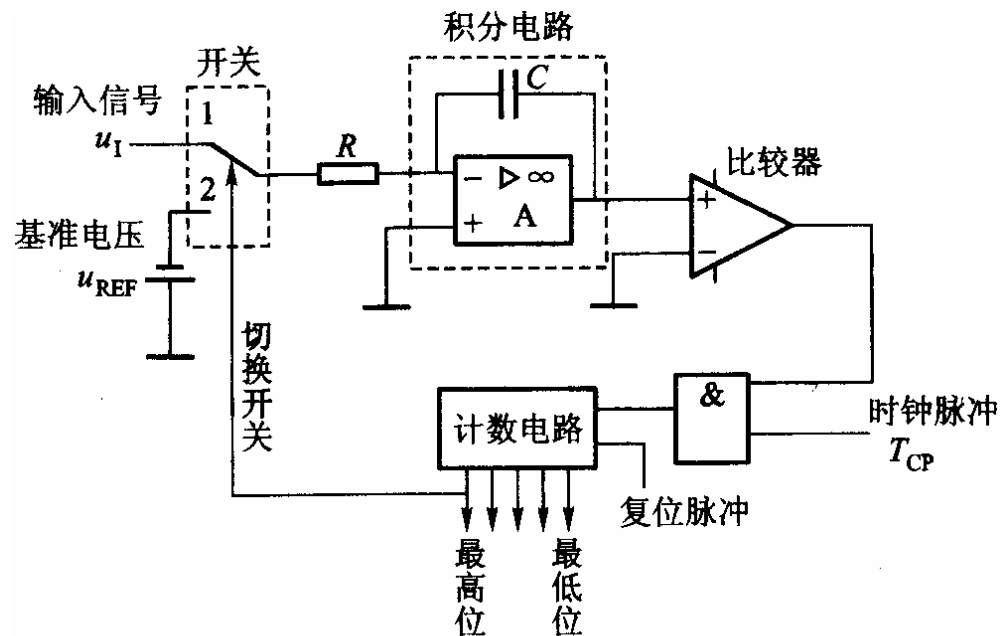


(b) 双积分式A/D转换电路积分输出

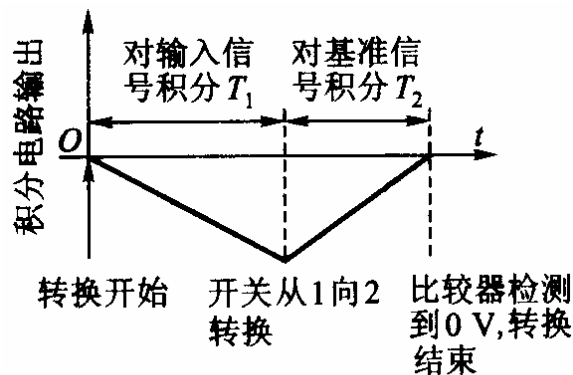


优点： 抗干扰能力强

缺点： 转换速度慢



(a) 双积分式 A/D 转换电路



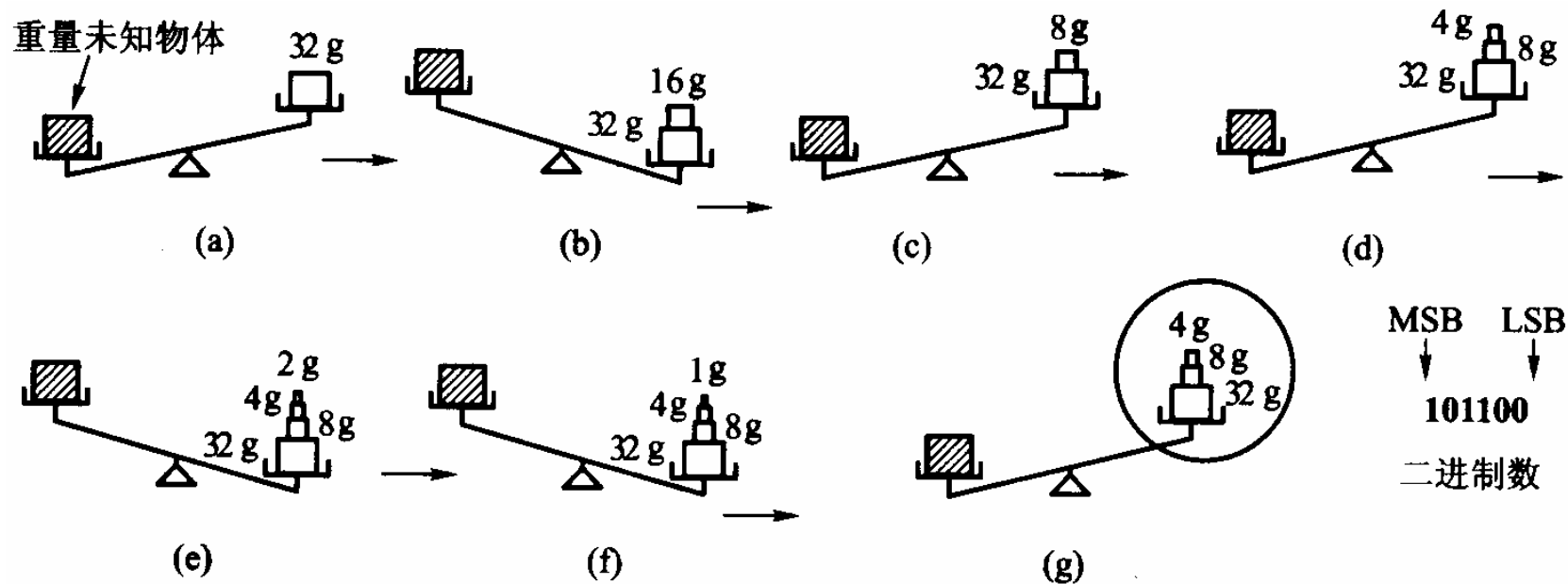
(b) 双积分式 A/D 转换电路积分输出

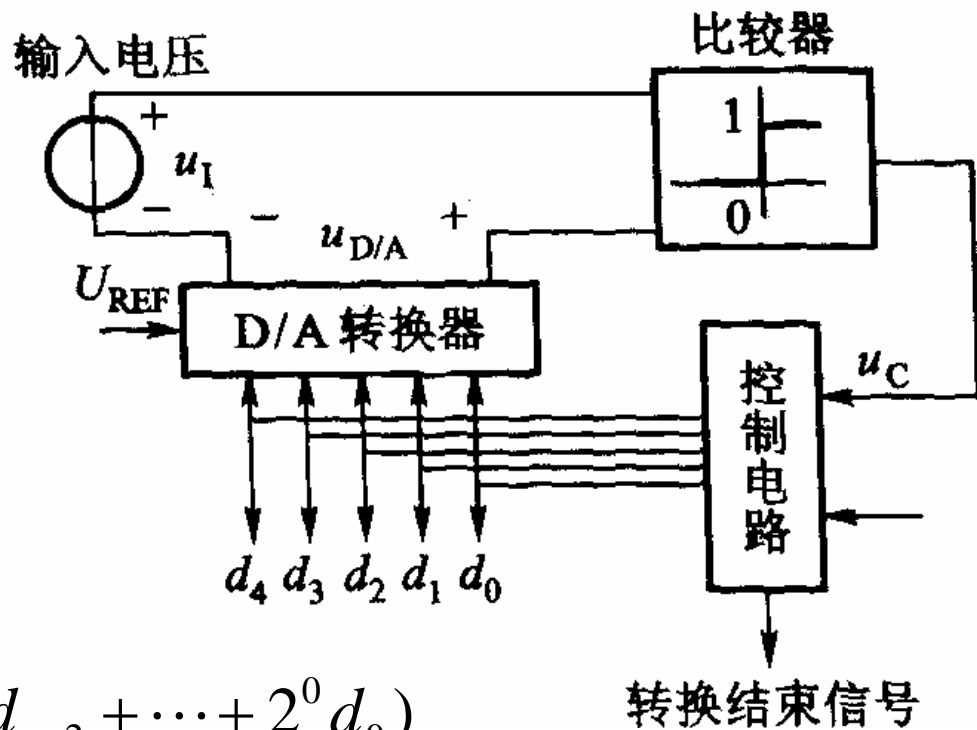


### 3、逐次比较式A/D转换

基本原理：

天平称物：





D/A转换器的作用:

$$u_{D/A} = \frac{U_{REF}}{2^n} (2^{n-1} d_{n-1} + 2^{n-2} d_{n-2} + \cdots + 2^0 d_0)$$

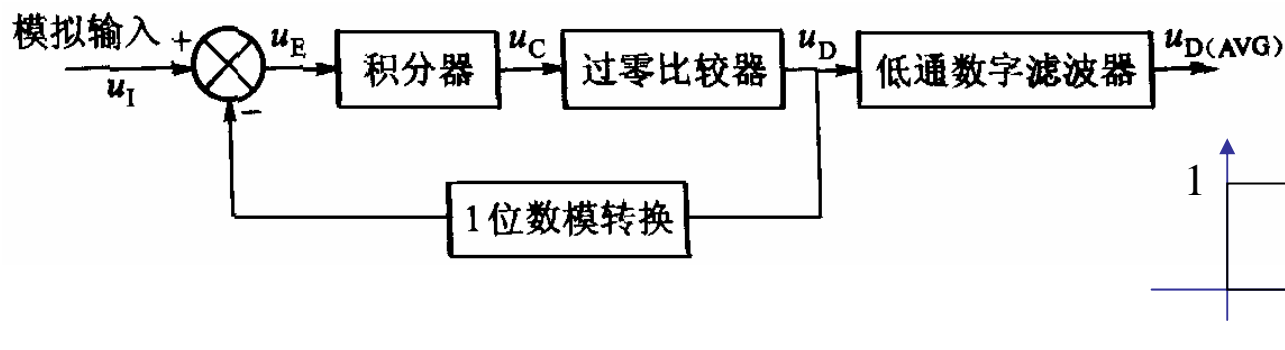
优点: 转换速度快

缺点: 抗干扰能力差





## 4、增量调制型A/D转换



优点：具有精度高、抗干扰性和可靠性强、转换速度可以满足低频要求、电路简单、外围器件少、维修更换方便等

	$u_I$	$u_E$	$u_C$	$u_D$	$u_{D(AVG)}$
1	0.4	0.4	0.4	1	1
2	0.4	$0.4-1$	$0.4+0.4-1$	0	0.5
3	0.4	0.4	$-0.2+0.4$	1	0.33
4	0.4	$0.4-1$	$0.2+0.4-1$	0	0.5
5	0.4	0.4	$-0.4+0.4$	0	0.4



## 5、高速24位ADC ADS1271

### 概述

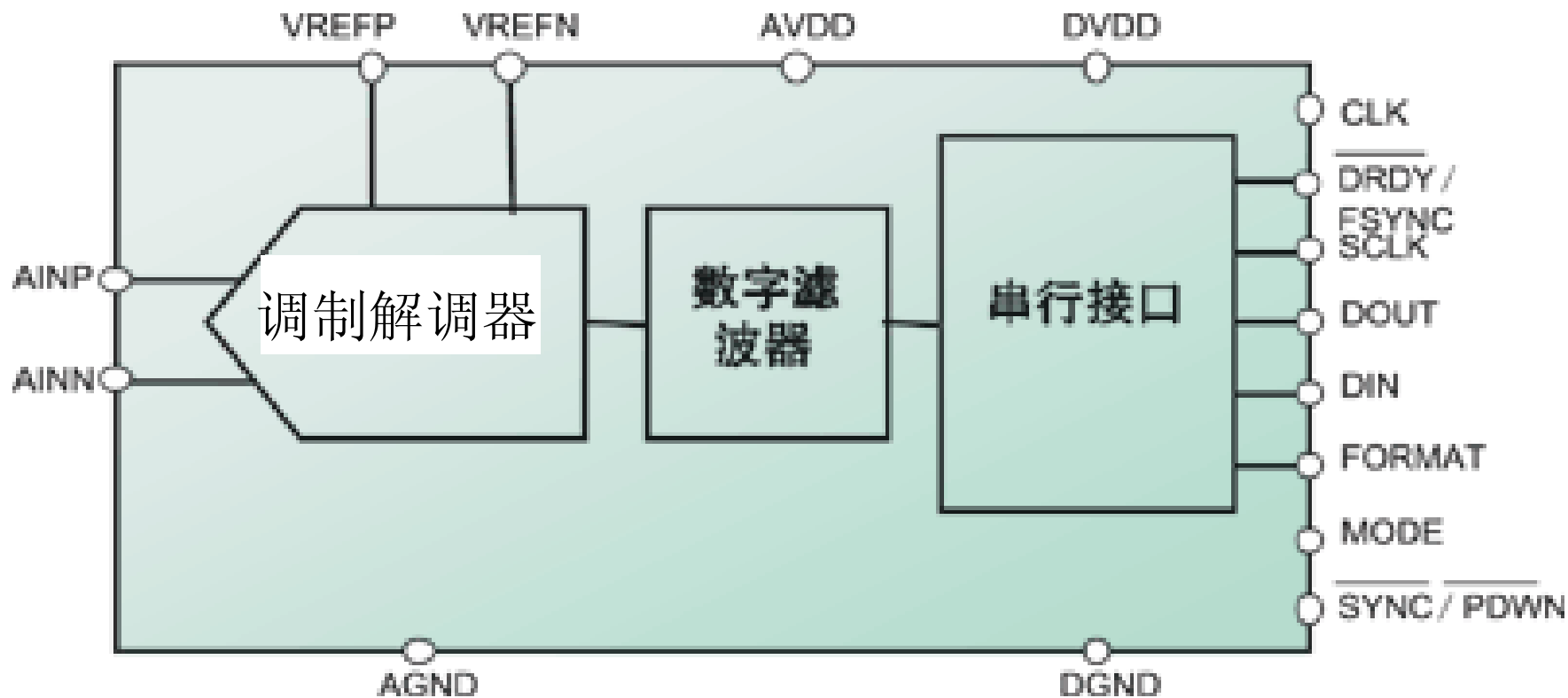
一般情况下，漂移性能较高的工业用  $\Delta - \Sigma$  **ADC**采用具有较大带通固定偏差的数字滤波器，这就导致信号带宽有限，正好适用于**DC**测量；

而音频应用的高分辨率**ADC**能够提供更大的可用带宽，但偏移和漂移规范则比工业用 **ADC** 差得多（常常无规范）。

**TI**利用其在高精度工业与高性能音频数据转换领域的专业技能开发了全新类型的**24**位数据转换器**ADS1271**，其将两种转换器的优势相结合，实现了高精度测量，同时符合**DC**与**AC**规范，并确保可在**-40℃ ~ +105℃**的温度范围内工作。

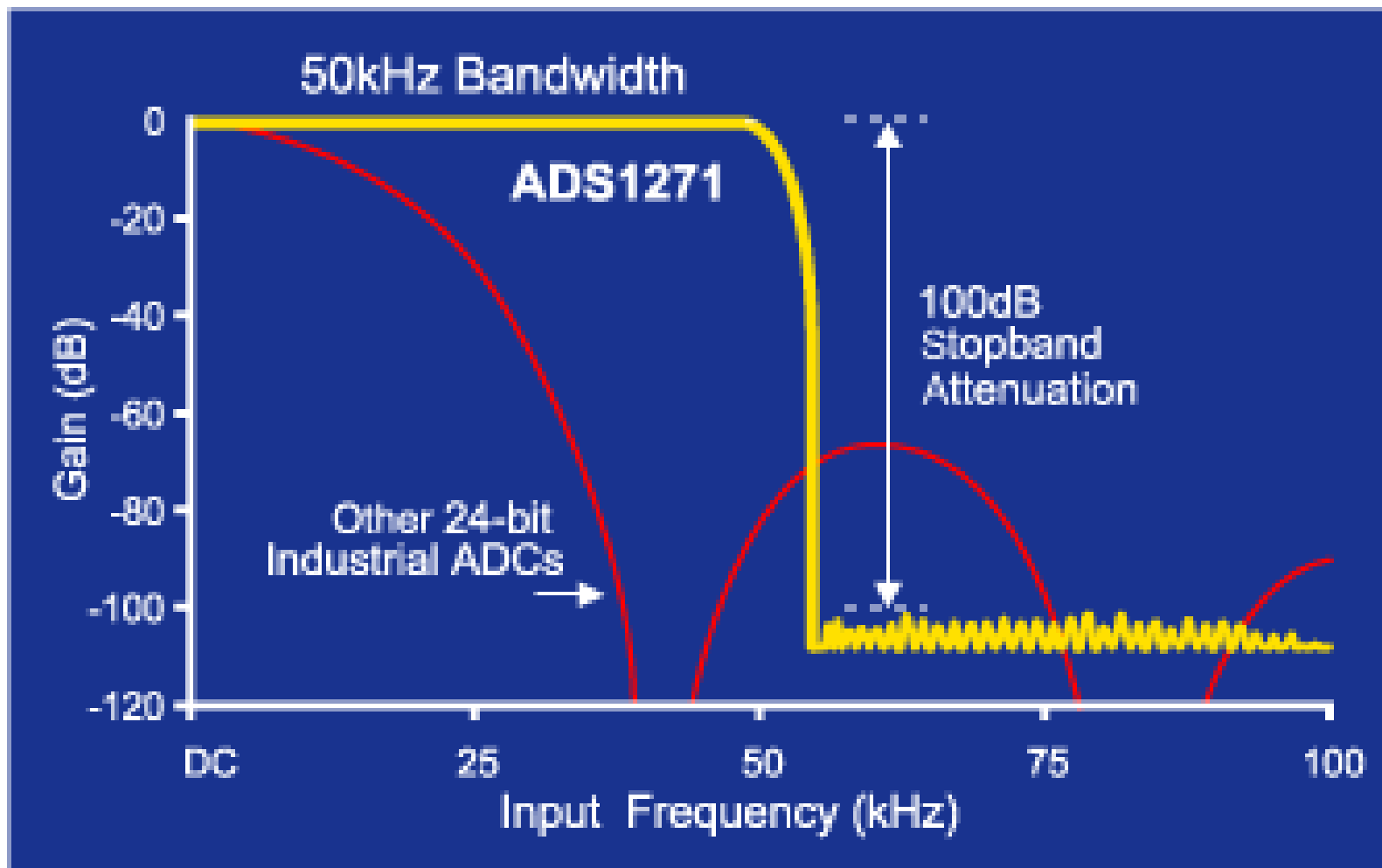


## 基本结构





## DFilter基本特性





ADS1271主要特性表现在：

- ▣ 偏移不足 $1.8\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ ，带内噪声 $6.5\text{mV rms}$ ；
- ▣ 实现了 90% 尼奎斯特速率的信号带通，而波纹还不足  $0.005\text{dB}$ 。
- ▣ 可实现高速度（ $105\text{kSPS}$ 的数据速率）、高分辨率（ $109\text{dB SNR}$ ）以及低功耗（ $40\text{mW}$ ）的优化。
- ▣ 可选帧同步或SPI串行接口能够提供至 DSP 与微控制器的方便连接。
- ▣ TI还推出了OPA2227与OPA1632等一系列放大器，它们正好适合与 ADS1271 协同工作，从而实现最高性能。



## 5 模拟调理技术的新趋势

- 高分辨率模数转换器
- Soc技术
- ISP编程下载
- 高速运算
- 非易失性大容量存储器



Thanks !