



科技创新 · 用芯服务

额温枪信号链设计进阶

江 苏 润 石 科 技 有 限 公 司

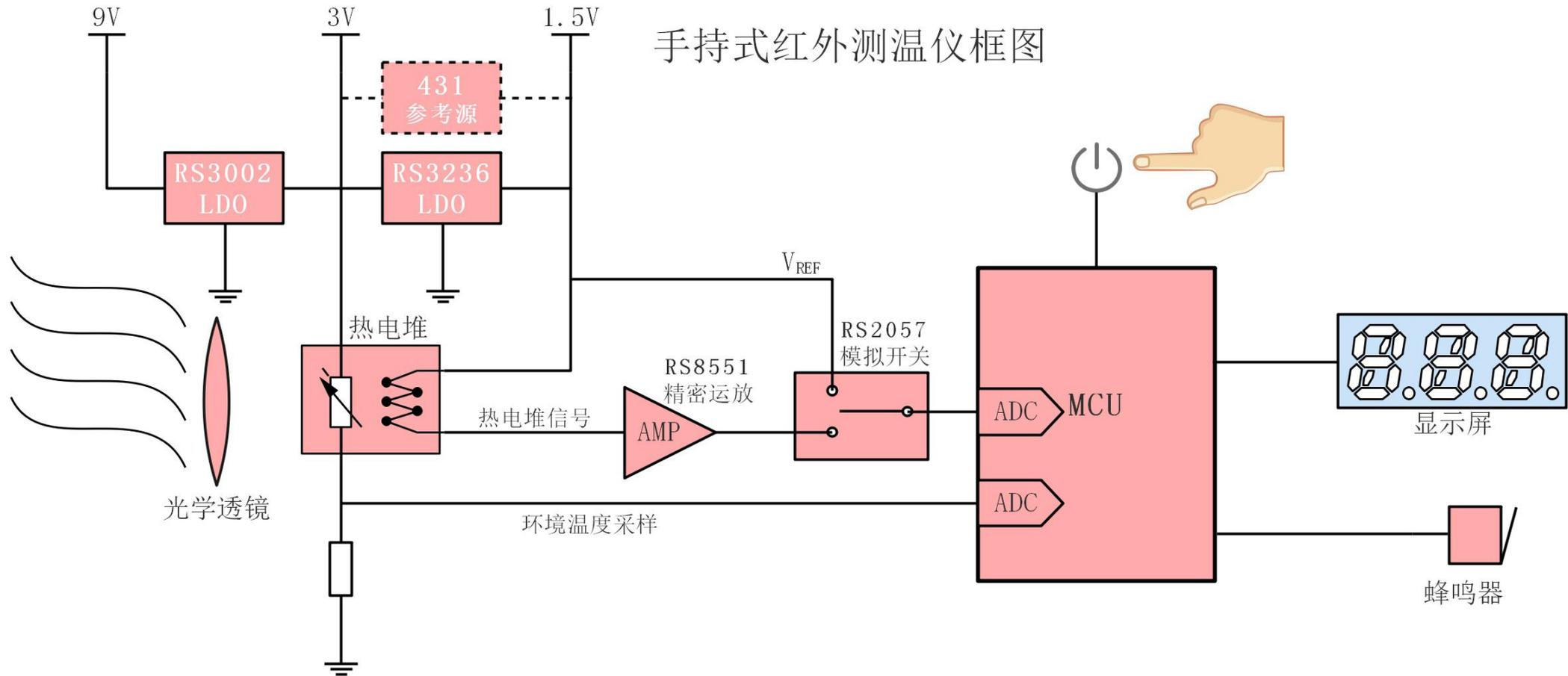
Jiangsu Runic Technology CO.,LTD



目录:

- 1、额温枪的原理框图介绍
- 2、热电堆传感器选型步骤
- 3、高精度放大器选型步骤
- 4、额温枪硬件电路设计要点
- 5、润石科技产品线介绍
- 6、问题 & 答疑

典型的额温枪原理框图如下，分为热电堆传感器部分，放大器部分，电源部分，MCU部分，还有显示，蜂鸣器，按键部分。热电堆传感器输出的电压与自身环境温度相关，因此还需要读取当前的环境温度。LDO RS3002 为 MCU 提供电源电压，RS3236 为放大器和 MCU 提供偏置参考电压，RS8551 负责放大热电堆传感器微弱的信号送进 MCU。

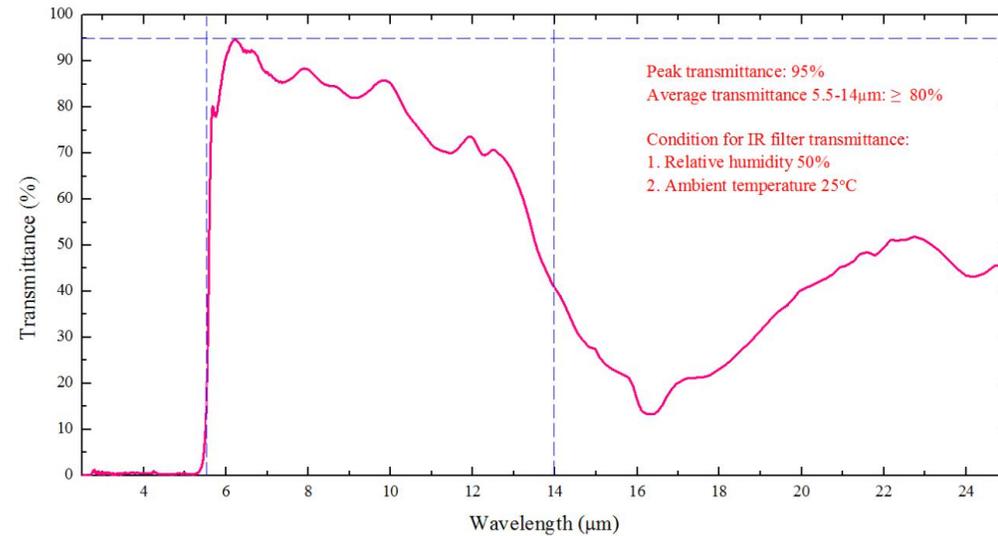


下表是市面上常用品牌的热电堆传感器参数对比，针对热电堆探头，我们应该关注什么参数呢？

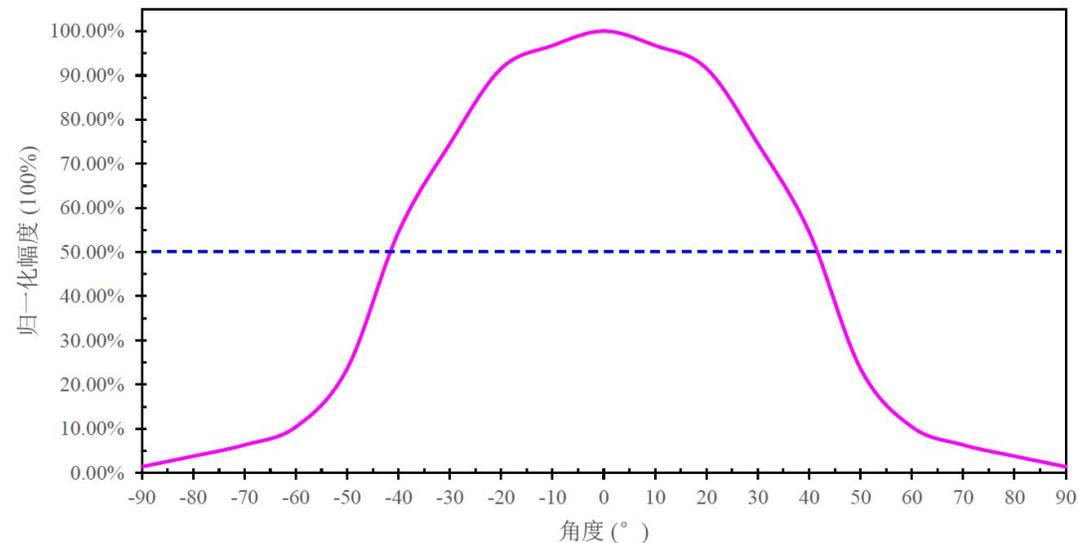
品牌	型号	透光波长范围	热电堆电阻	电阻温度系数	灵敏度 体温段	视场	等效噪声电压	响应时间常数	NTC 阻值	封装
海曼	TPS232	5.5um~13.5um	100kΩ	0.03%/K	42uV/K	115°	40nV/√Hz	15ms	100kΩ	TO-46
泰科	TS318-11C55	5.5um~13.5um	70kΩ	0.06%/K	80uV/K	110°	34nV/√Hz	12ms	100kΩ	TO-18
Bestow	BM43THA80C	5um~14um	225kΩ	N/A	80uV/K	80°	61nV/√Hz	15ms	100kΩ	TO-46
石塚	10TP583T	5um~14um	65kΩ	0.02%/K	84uV/K	100°	33nV/√Hz	15ms	100kΩ	TO-18
安费诺	ZTP-135SR	5.5um~15um	60kΩ	0.12%/K	70uV/K	85°	32nV/√Hz	25ms	100kΩ	TO-46
尼塞拉	TS-S2NMB-2R	5um~14um	175kΩ	N/A	95uV/K	90°	54nV/√Hz	N/A	100kΩ	TO-18
烨映	STP9CF55	5.5um~13.5um	75kΩ	N/A	80uV/K	100°	35nV/√Hz	N/A	100kΩ	TO-46
炜盛	MRT114	5um~14um	75kΩ	0.1%/K	90uV/K	104°	35nV/√Hz	25ms	100kΩ	TO-46
美思先端	MTP10-B7F55	5.5um~14um	54kΩ	0.1%/K	40uV/K	83°	30nV/√Hz	20ms	100kΩ	TO-46
森霸	ISB-TS45H	5.5um~14um	98kΩ	0.06%/K	90uV/K	90°	38nV/√Hz	13ms	100kΩ	TO-46
众智	OTP-628D2	5um~14um	115kΩ	0.11%/K	100uV/K	90°	43nV/√Hz	20ms	100kΩ	TO-46
格斐特	DTP12-B1F55	5um~14um	75kΩ	0.08%/K	80uV/K	90°	35nV/√Hz	15ms	100kΩ	TO-46
AGM	AGP2401	5.5um~14um	350kΩ	0.06%/K	80uV/K	100°	60nV/√Hz	15ms	100kΩ	TO-46

1、封装，常见的热电堆传感器有 TO-46， TO-18 封装，还有一些不常用的贴片封装。

2、透光波长范围，因为人体皮肤辐射的红外线，在不同的波长段具有不同的能量，同时为了抑制环境光的干扰，热电堆探头的顶部会有一个红外滤光片，一般允许通过的波长范围是 5um-14um。



3、视场，光接收器都会有一个视场角的参数，定义为输出对应 50% 最大信号的角度，是一个球面。因为探头检测的是对应角度平面中的平均温度，太宽的角度会造成相同距离下，更容易受到环境中其他光线的干扰，导致探头输出电压不准确。



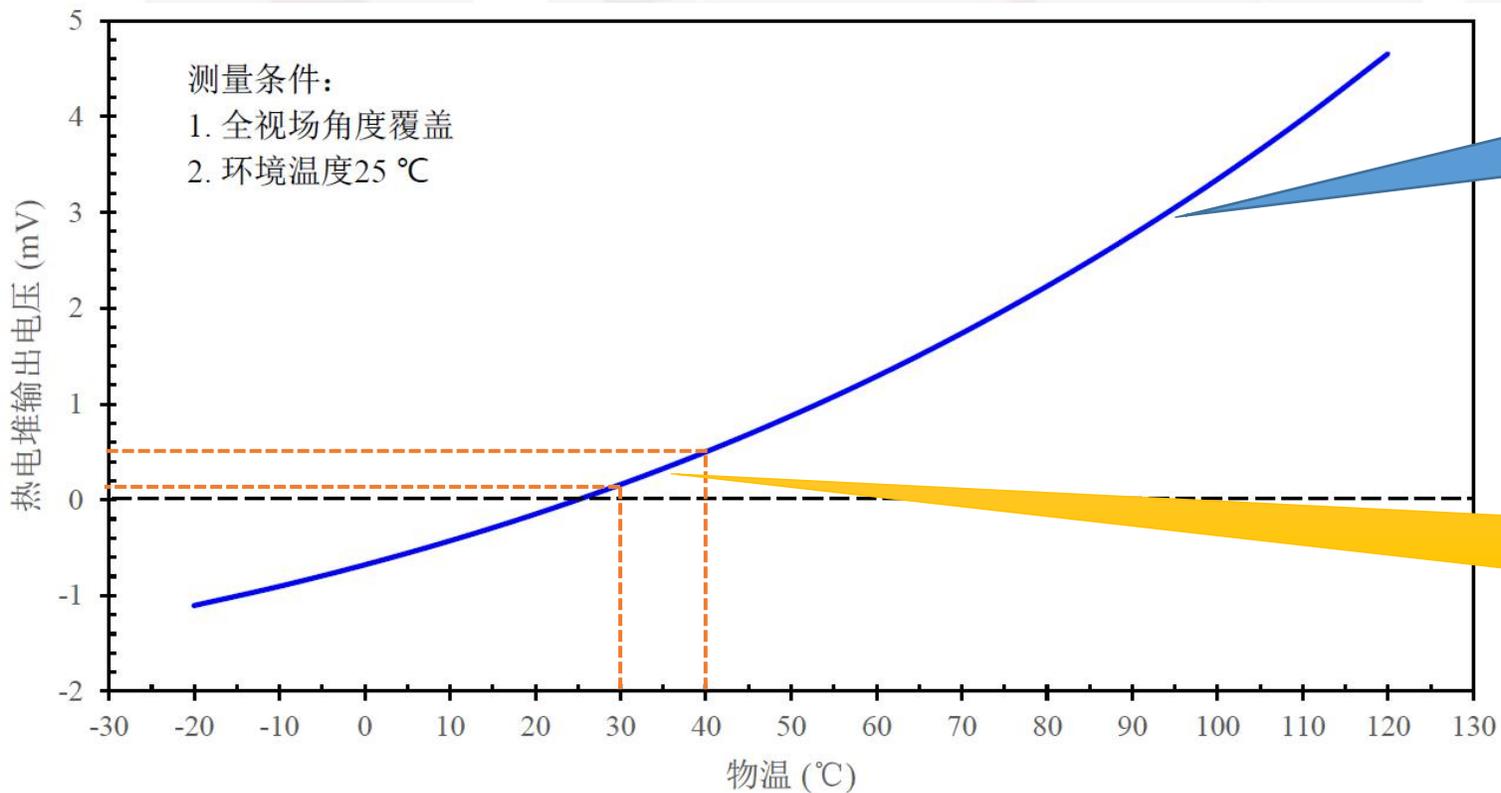
4、响应率（灵敏度），表征入射的光功率转换为输出电压的值。

MTP10-B7F55 探头的响应率是 81V/W，表示入射功率是 1W 时，输出电压能达到 81V。

实际测量人体额头皮肤时，输入的光功率只有 μW 级别，所以被测物每变化 1 度输出电压往往只有数十 μV 的变化，被测物 0.1 度的温度变化，输出电压仅有几 μV 的变化，幅度非常微弱。

响应率跟探头的感光面积有关。

响应率	81	V/W	500 K, 5.5 μm (长波通)
-----	----	-----	--------------------------------



输出电压非线性

在体温段近似线性

5、等效内阻，热电堆内部是由众多热电偶串联而成的，每个热电偶都有内阻，串联起来变成一个比较大的电阻，一般都有 100kΩ 级别，更多的热电偶串联带来更大的内阻，不过输出电压灵敏度会提高。

6、噪声系数，表征单位带宽下电阻的热噪声，100kΩ内阻的噪声系数为 40nV/√Hz。为了降低内阻带来的噪声，输出电压必须进行低通滤波，把带宽限制在 10Hz 以内，这样内阻带来的热噪声幅度仅为几百 nV。

$$V_{noise} = \sqrt{4kTRf} = \sqrt{4 \times 1.38 \times 10^{-23} \times 297.15 \times 100000 \times 10} = 128nV \text{ RMS}$$

7、噪声等效功率（NEP），定义为入射的光功率产生均方根输出电压等于均方根底噪电压时的功率，也就意味着入射的光功率如果低于这个值，那么探头将分辨不了噪声与有用信号，此参数跟等效内阻，感光面积有关。

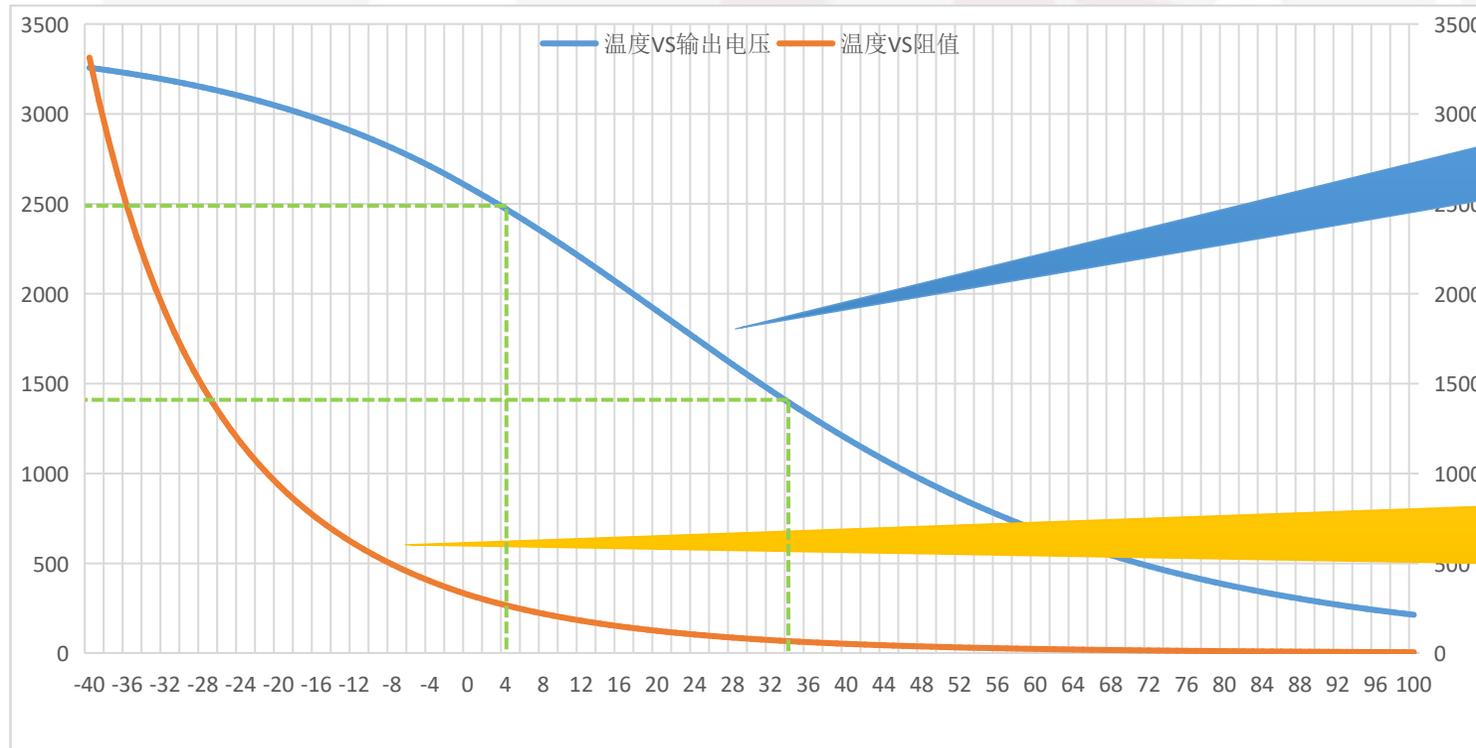
8、探测率，跟噪声等效功率（NEP），感光面积紧密相关。探测率越高，器件越灵敏。

$$D = \frac{\sqrt{A_0 \times BW}}{NEP}$$

9、NTC 电阻，探头一般会合封一个 NTC 电阻，用于感知当前探头的环境温度，这样外部 MCU 结合当前的环境温度才能计算出对应的被测物体温度值。

β 值，NTC 电阻的 β 值定义为 $\beta = \frac{\ln \frac{R_{T1}}{R_{T2}}}{\frac{1}{T1} - \frac{1}{T2}}$ ，β 值越大，说明不同温度点，NTC 电阻的阻值变化越大。

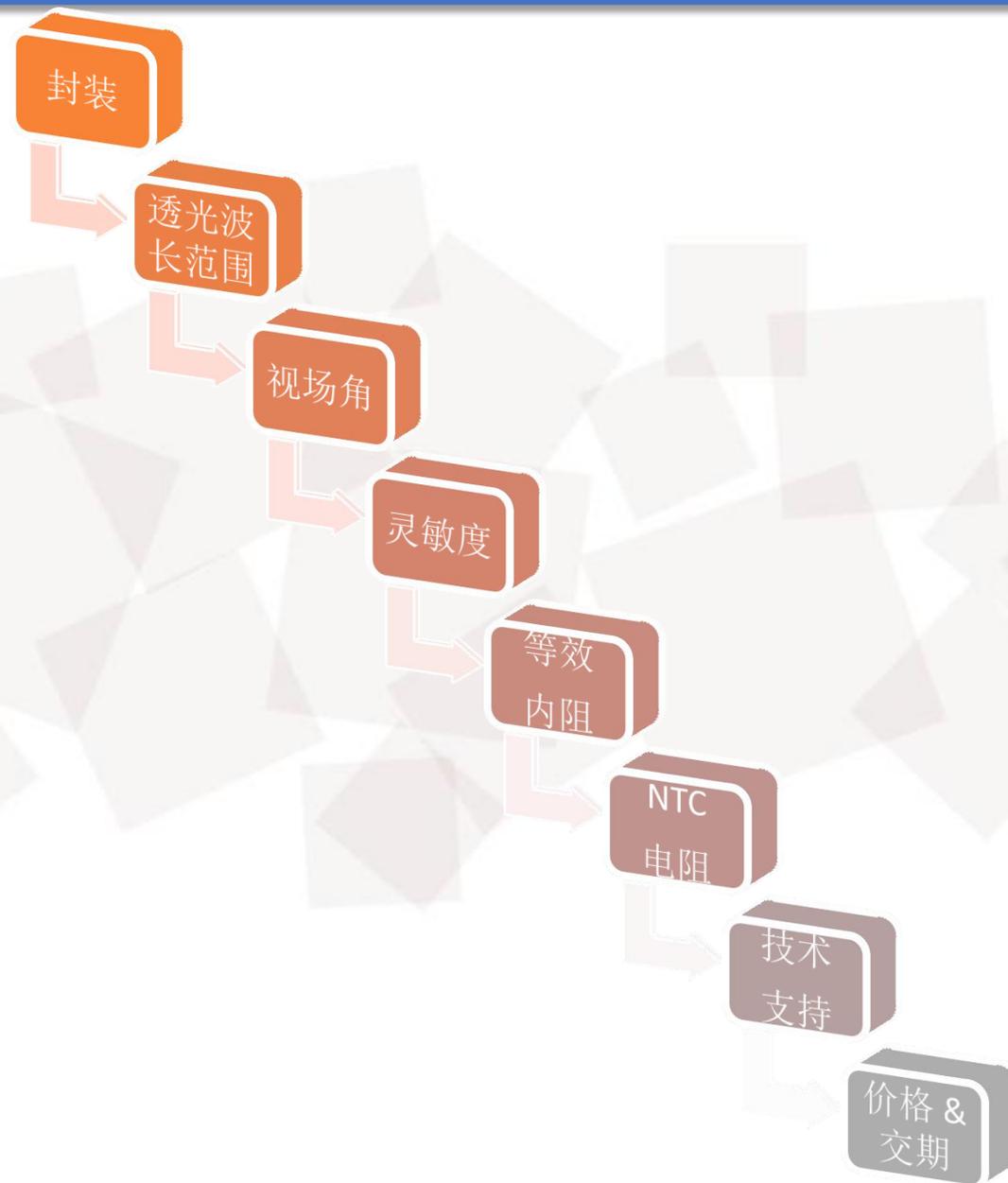
25度和50度的变化，代入公式得 $\beta = \frac{\ln \frac{35.88}{100}}{\frac{1}{50+273.15} - \frac{1}{25+273.15}} = 3950 \text{ K}$



常温段串联分压输出近似线性

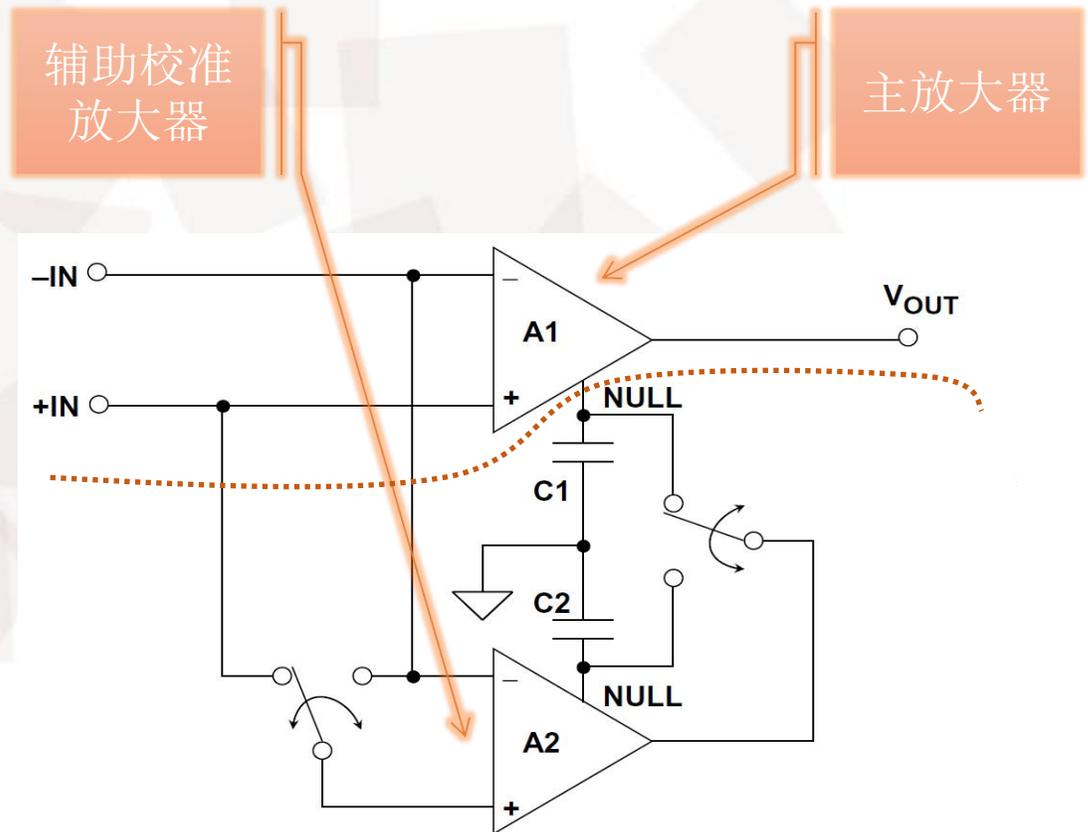
大跨度环境温度下阻值非线性

主要是针对工业和医用作出合适的选型，因为二者针对的测量温度范围不一样，精度需求也不一样。



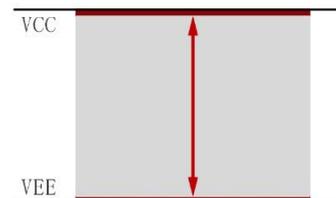
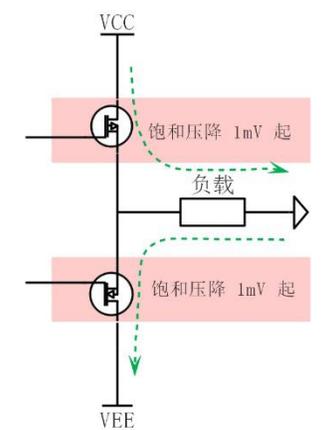
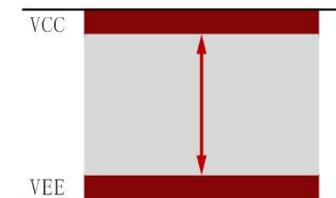
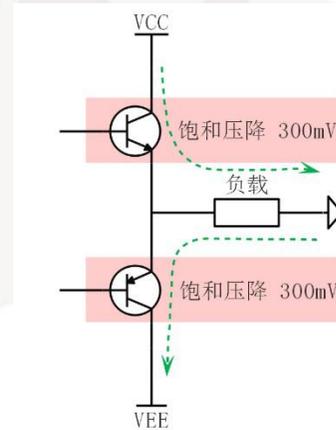
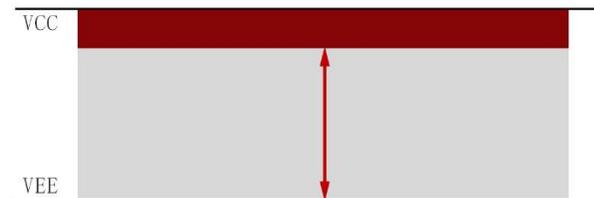
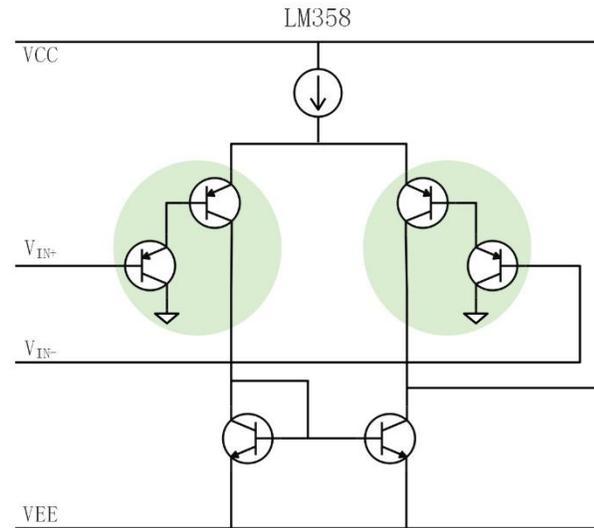
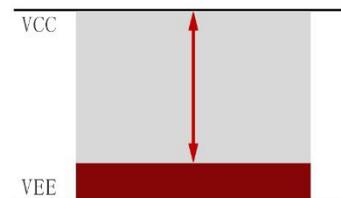
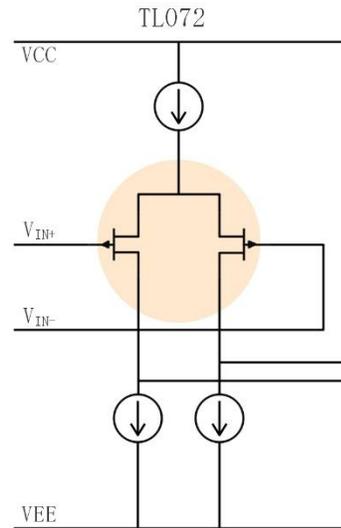
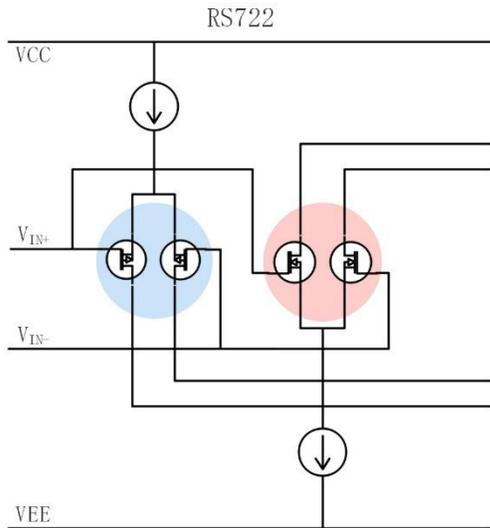
高精度运放意味着直流失调电压极小，温漂极小，开环增益较高，1/f 噪声较小。一般普通架构的 CMOS 运放失调电压都是几 mV 级别，最好的 bipolar 工艺的运放，失调电压也只能到 25uV 水平，为了减小这个失调电压，现代的高精度运放都是采用斩波稳零的架构。

	RS8551/2/4	RS8557/8/9	RS621/2/4
供电范围	2.7V-5.5V	2.7V-5.5V	2.5V-5.5V
25°C 最大失调电压	5uV	20uV	3000uV
温漂系数	0.005uV/°C	0.03uV/°C	2uV/°C
噪声系数	35nV/√Hz	45nV/√Hz	11nV/√Hz
0.1Hz-10Hz 噪声	0.75uVpp	0.9uVpp	8uVpp
增益带宽积	4.5MHz	4.3MHz	7MHz
电源抑制比	130dB	120dB	93dB
共模抑制比	130dB	120dB	92dB
开环增益	130dB	120dB	106dB
输入失调电流	10pA	10pA	1pA
输入偏置电流	50pA	50pA	1pA
静态电流	640uA	650uA	600uA
压摆率	2.7V/us	2.5V/us	3.7V/us
工作温度范围	-40~+125°C	-40~+125°C	-40~+125°C



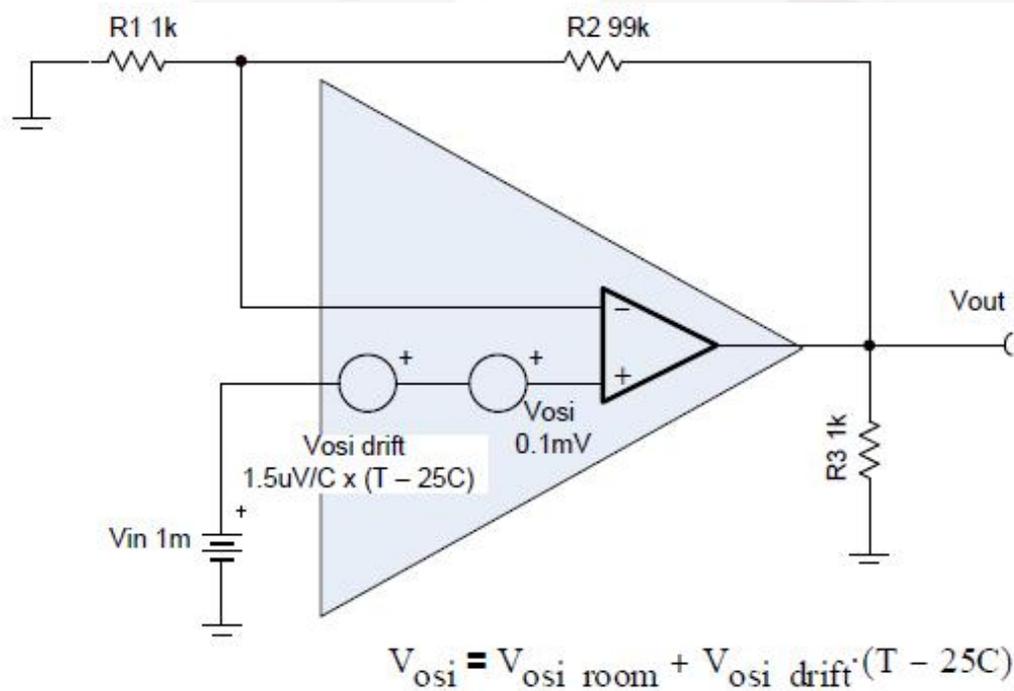
- 1、轨到轨输入，表示运放同相端和反相端的电压范围可以支持到正电源轨（VCC）和负电源轨（VEE）。
- 2、轨到轨输出，表示运放输出端的电压范围可以接近正电源轨（VCC）和负电源轨（VEE）。
- 3、输入共模电压范围，共模电压 $V_{CM} = \frac{V_{IN+} + V_{IN-}}{2}$ ，表达的意思也是轨到轨输入的程度。

V _{CM}	Common-mode voltage range	V _S = 5 V to 30 V	LM358	(V-)	(V+) - 1.5	INPUT VOLTAGE RANGE Common-Mode Voltage Range	V _{CM}	RS8551	(V-) - 0.1	(V+) + 0.1	V
		V _S = 30 V	LM358A		(V+) - 2						
		V _S = 5 V to 30 V	LM358	T _A = 0°C to 70°C	(V+) - 2						
		V _S = 30 V	LM358A								



- 4、失调电压，理想运放输入电压为零时，输出电压也为零。实际上由于工艺的限制，运放的输入级做不到完全对称，输入失调电压 V_{os} ，是指为了让运放的输出为零，需要额外在输入端补偿的电压值。
- 5、温漂，失调电压会随着温度变化而漂移，高温下漂移比较厉害，常常用 $\mu V/^\circ C$ 进行表示。

高精度运放由于采用了自稳零斩波架构，自身的失调电压会无时无刻的被校准，所以精度做得到十分高，为 $10 \mu V$ 级别。通用的 CMOS 架构运放在出厂前会修调 (Trim) 输入级电阻，失调电压控制在 $3mV$ 以内；运用特殊的 eTrim 技术可以把失调电压控制到 $10\mu V$ 级别，不过成本较高。Bipolar 架构的运放通过精密的激光修调，失调电压可以控制到 $25\mu V$ 级别。



运放的失调电压和温漂会被线性放大，左图中，运放的失调电压 $V_{os} = 0.1mV$ ，温漂为 $1.5\mu V/^\circ C$ ，电路配置放大 100 倍，那么

$$V_{OUT} = (V_{OS} + V_{drift} \times (T - 25^\circ C)) \times 100$$

如果环境温度为 50 度，

$$V_{OUT} = (0.1mV + 1.5\mu V/^\circ C \times (50^\circ C - 25^\circ C)) \times 100 = 13.75mV$$

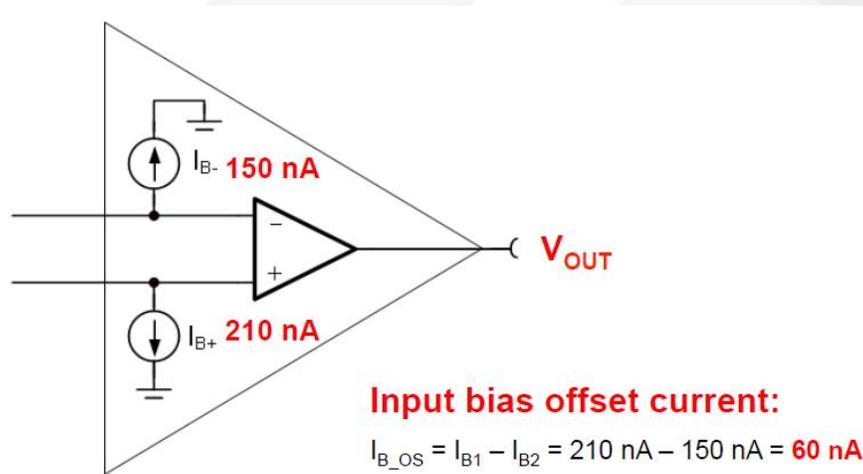
如果初始失调电压为 $10mV$ ，温漂为 $2\mu V/^\circ C$ ，

$$V_{OUT} = (10mV + 2\mu V/^\circ C \times (50^\circ C - 25^\circ C)) \times 100 = 1005mV$$

负的失调电压将带来应用上的麻烦。

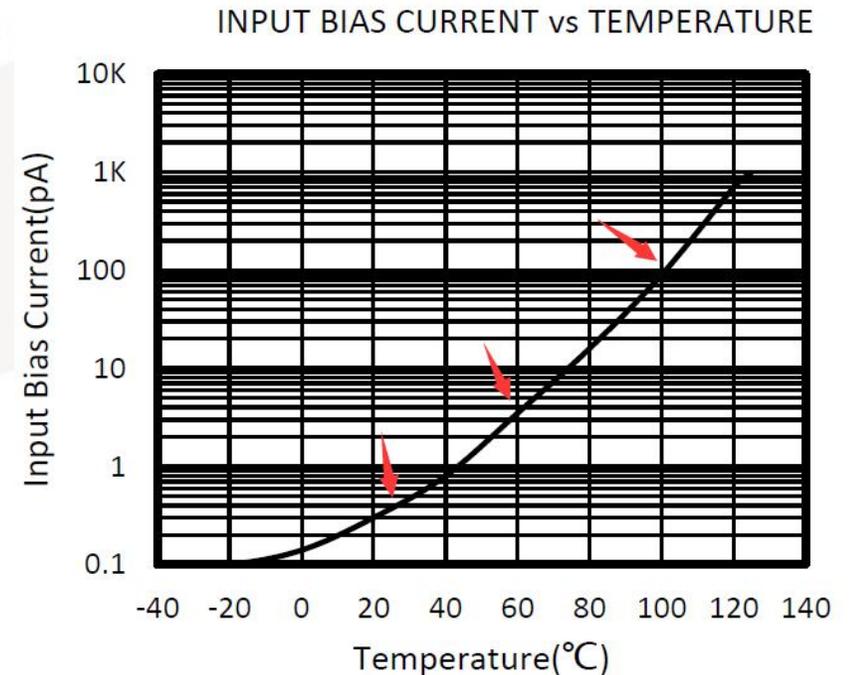
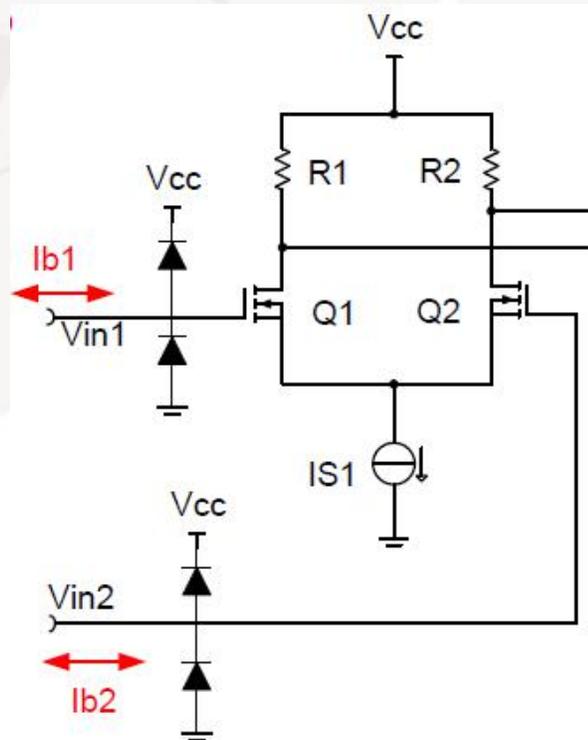
6、偏置电流，失调电流。理想运放的输入偏置电流和失调电流为零，早期使用 Bipolar(三极管) 工艺时，由于三极管属于电流控制型元件，运放的两个输入端是三极管的基极，因此有偏置电流。

CMOS 属于电压控制型元件，其栅极电流为 pA 级别，基本上可以忽略不计。CMOS 运放输入偏置电流和失调电流受温度变化影响较大，常温下几乎为零，随着温度的上升，输入偏置电流和失调电流指数增大，这是因为 CMOS 运放输入引脚的 ESD 保护二极管漏电引起的，除非选用特别的制造工艺，否则超过 100 度温度下，输入偏置电流都会增大成百上千倍。在一些高输出内阻的传感器信号放大中，可能会引起额外问题，如果放大电路外部使用的电阻是百 kΩ 级别，那么在运放输出端将会产生新的失调误差。

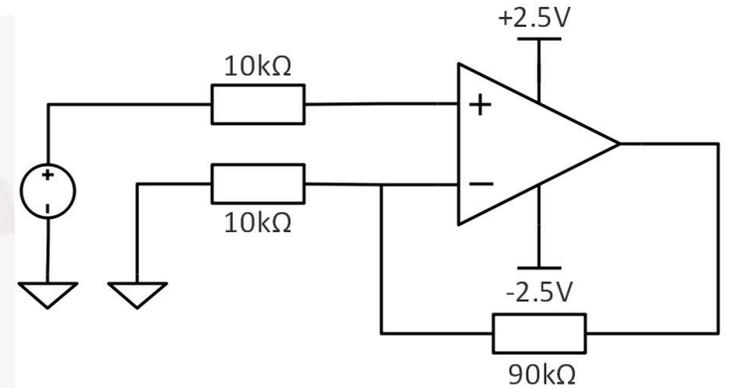
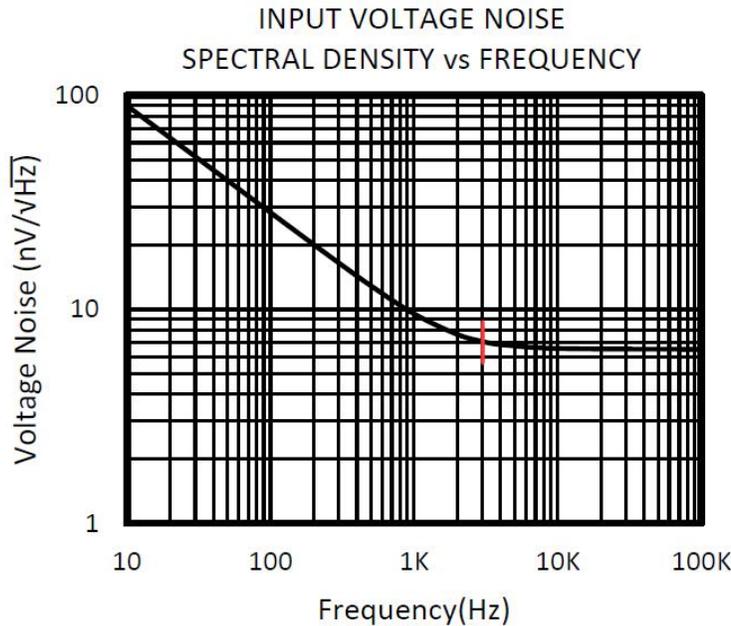
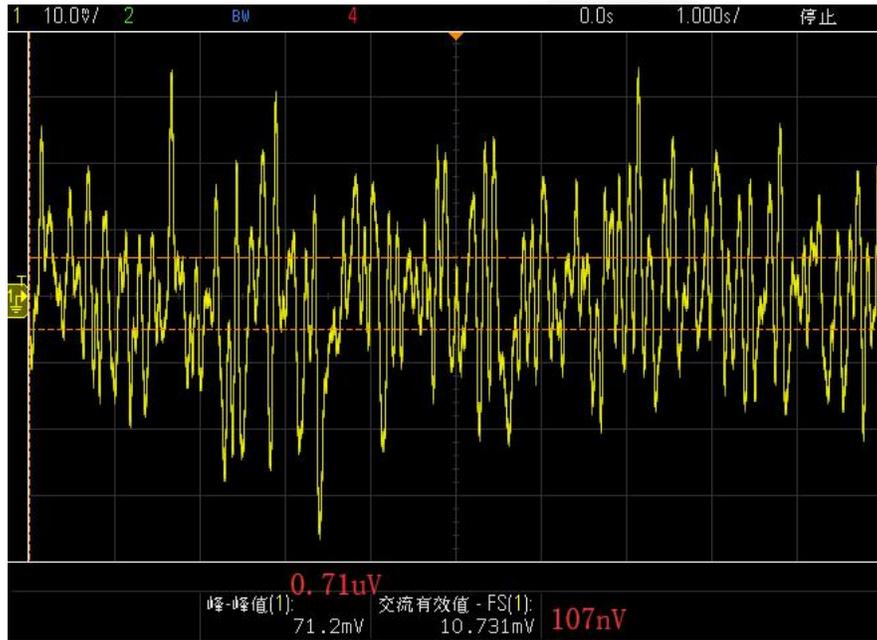


$$I_{BAIS} = \frac{I_{B+} + I_{B-}}{2} = \frac{210nA + 150nA}{2} = 180nA$$

$$I_{B_OS} = I_{B+} - I_{B-} = 210nA - 150nA = 60nA$$



7、运放噪声。三极管，MOS管，电阻，都会产生噪声。在运放中，噪声主要有两种，低频噪声(1/f)，宽带噪声(白噪声)。在通用架构的运放中，存在电压噪声和电流噪声，噪声由于是一个随机的信号，为了方便描述，用其功率密度谱来衡量，这样方便画出噪声功率密度谱与频率的关系，最直观的方式就是用 Vpp 值或者 Vrms 值描述，一般 $V_{pp} = 6.6 * V_{rms}$ 。



实际电路计算全部噪声= 1/f + 白噪声+电流噪声+外面电阻网络噪声，总的等效噪声再乘以放大倍数。降低运放的带宽可以有效降低白噪声。

1/f 噪声属于低频噪声，频率范围一般取 0.1Hz~10Hz，上图是 RS8551 的 1/f 噪声，只有 0.71uVpp，属于比较小的，1/f 噪声属于运放固定的参数，外面电路无法更改。斩波技术的运放可以几乎消除 1/f 噪声，Bipolar(三极管)工艺的运放 1/f 噪声比 CMOS 工艺的运放要小。

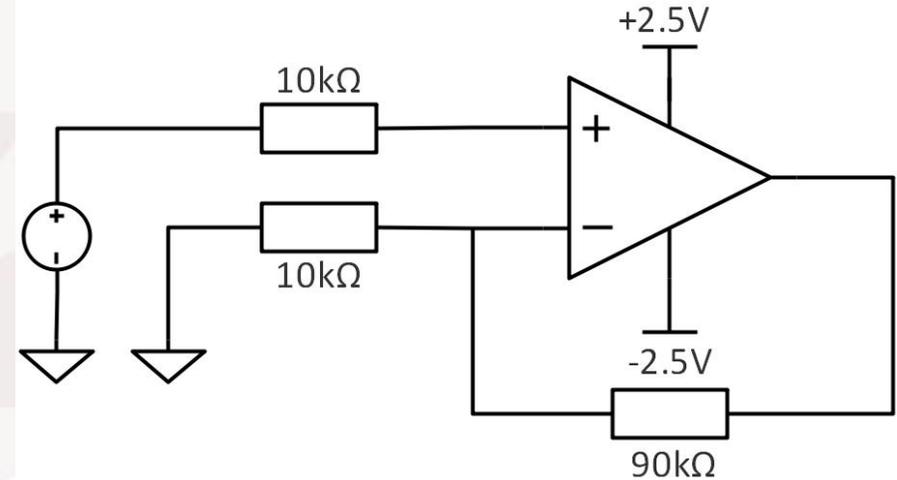
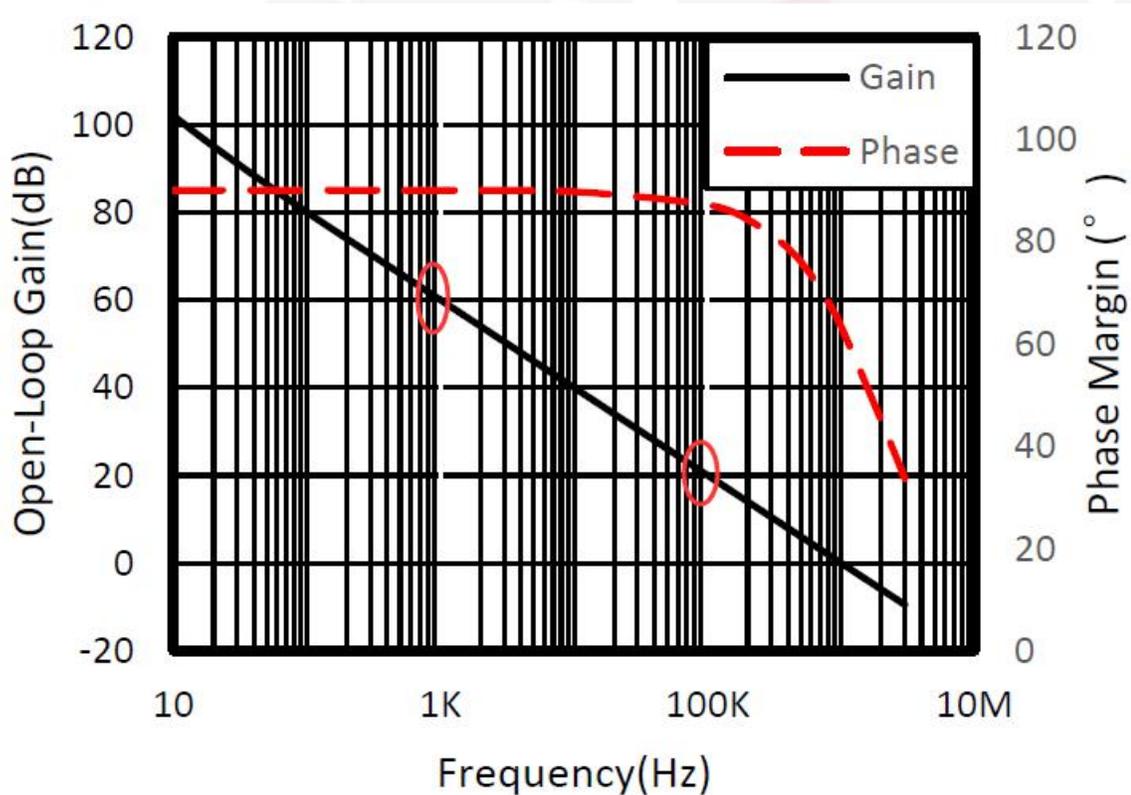
宽带噪声(白噪声)是属于热噪声，由物质内部的分子做布朗运动引起的，其功率密度谱平坦，计算白噪声也非常简单，上图是 RS722 的噪声密度谱曲线。

计算 10kHz~100kHz 的白噪声幅度：

$$V_N = e_n \times \sqrt{f_h - f_l} \times 1.57 = \frac{7nV}{\sqrt{Hz}} \times \sqrt{100k - 10k} \times 1.57 = 3.3uV_{rms}$$

8、带宽增益积（GBP）。对于电压反馈型运放来说，有带宽增益积的概念，因为观察电压反馈型运放的开环增益曲线，从主极点以后，带宽和增益的乘积几乎是一个常数。对于电流反馈型运放来说，这个是不成立的。对于不同的增益(需要用噪声增益去计算)，厂家规格书给出的带宽增益积一般都是单位增益时的带宽，如果电路有对应的放大倍数，那么带宽就会相应减少。 $BW = GBP / Gain$

带宽是跟放大倍数有关的。



假设上图运放的 GBP 为 1MHz，此时反馈电阻网络配置放大100倍，那么电路带宽变为
 $BW = GBP / Gain = 1MHz / 100 = 10kHz$
 带宽不是一直都是规格书标称的 1MHz

a) 运放最大能够放大多少倍？

根据开环增益的曲线以及增益带宽积 GBP 的定义， $Gain = GBP / Bandwidth$ ，因此最大能够放大多少倍是跟带宽相关的，极限情况下放大超低频信号(比如 0.1Hz)，那么放大倍数可以接近 Aol 曲线低频段增益，但是由于没有足够环路增益用于修正误差，此时输出电压将偏离理想的输出电压值，而且单级过高的放大倍数会把运放的失调电压，噪声放大，使电路“不好用”。建议单级放大电路控制在 1000 倍以内。

b) 运放可以放大多微弱的信号？

取决于所用运放的底噪水平，如果需要运放放大微弱信号(1uV~10mV)，首先要让运放的输入共模电压远离两个电源轨，保证能够线性放大，然后限制运放的带宽，这样能有效降低带外噪声。总之，只要有用信号不被噪声淹没，那么都能有效放大。

c) 运放的输出总误差是什么？

总共有 9 项误差构成， $V_{error} = V_{os} + V_{os_drift} + V_{bias} + V_{bias_drift} + V_{noise} + V_{CMRR} + V_{PSRR} + V_{Aol} + V_{EMIRR}$



不管是直流放大还是交流放大，实际的输出电压跟理想的输出电压值之间的差距，就是以上 9 项误差构成的，而且运放的这些误差项，都是在一直变化的，随温度变，随时间变。引入负反馈非常重要，能够无时无刻地修正以上误差，当然不是“消除”，而是尽量减少。

明确应用场景

信号源内阻

对运放偏置电流，输入电流噪声有无要求？

输入信号频率和幅度

对运放的带宽，供电电压范围，失调电压有无要求？

输出信号幅度

轨到轨特性，供电电压范围，压摆率

对功耗有要求？

运放的静态电流

技术支持

价格 & 交期

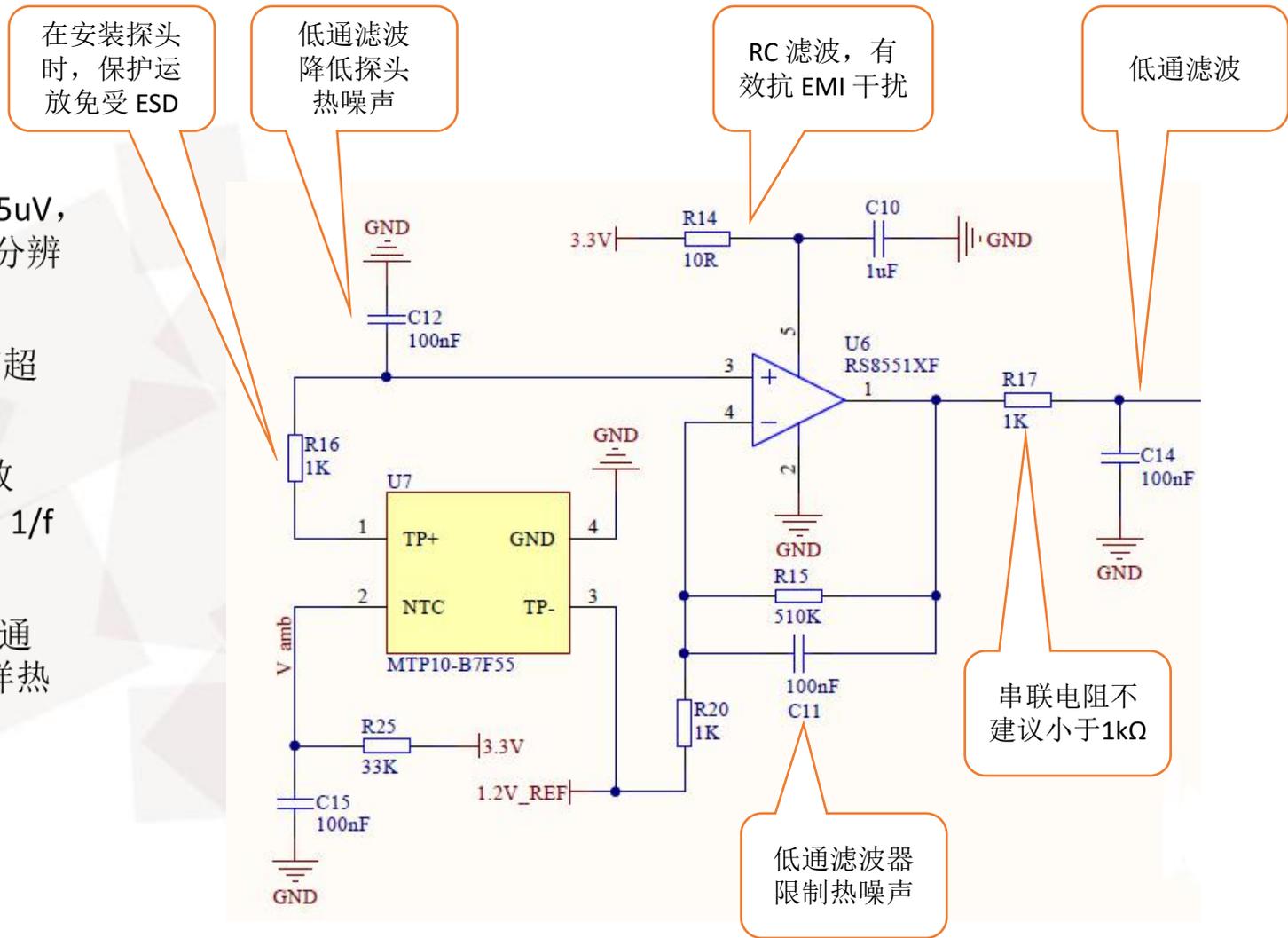
热电堆探头每 1°C 变化大约 50uV，0.1°C 变化只有 5uV，体温段输出电压为 500uV 左右，为了做到 0.3°C 的分辨率，运放的失调电压需要小于 15uV。

又由于热电堆探头内阻为 100kΩ 左右，运放不能有超过 5uV/100kΩ = 50pA 的偏置电流。

1/f 低频噪声也会影响精度，通用架构的 CMOS 运放 1/f 噪声在 10uVpp 级别，斩波自稳零的高精度运放 1/f 噪声在 1uVpp 级别。

为了限制带宽外的热噪声，需要对放大电路进行低通滤波，把带宽限制到 10Hz 以内是不错的选择，这样热噪声几乎可以忽略了。

$$V_{OUT} = V_{REF} + V_{IN} \times \left(1 + \frac{R_{15}}{R_{20}}\right)$$



在安装探头时，保护运放免受 ESD

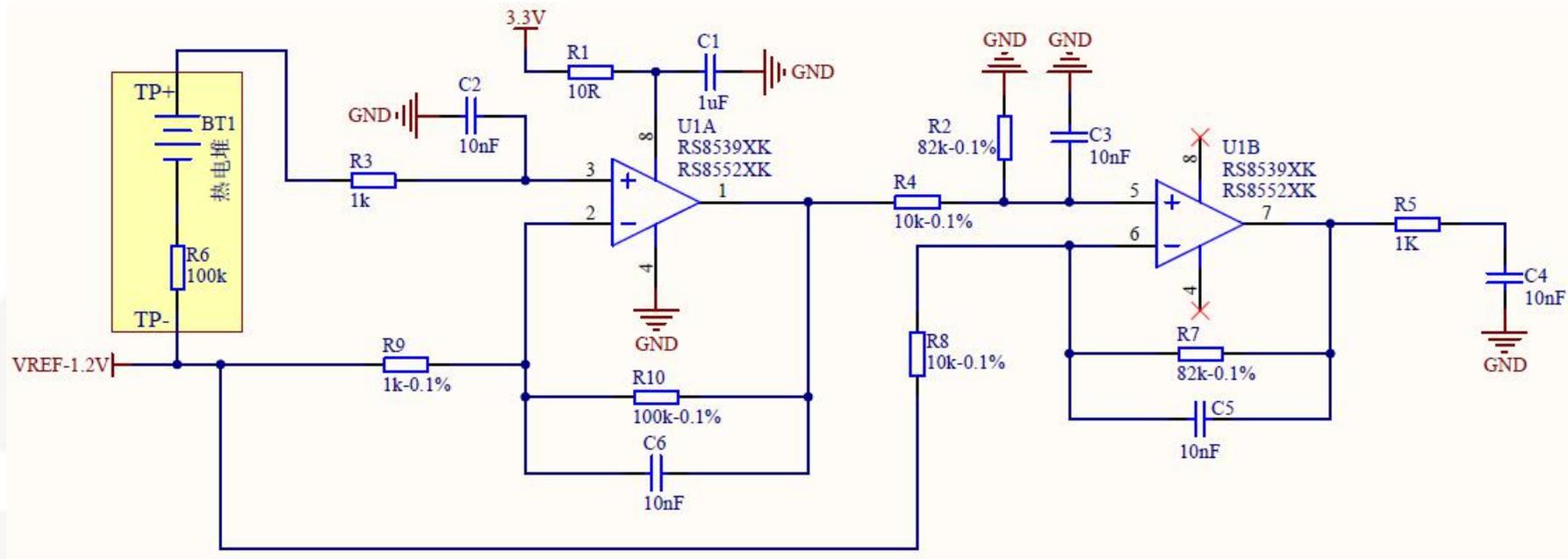
低通滤波降低探头热噪声

RC 滤波，有效抗 EMI 干扰

低通滤波

串联电阻不建议小于 1kΩ

低通滤波器限制热噪声



第一级运放, $V_{OUTA} = (V_{\text{热电堆}} + 1.2V) \times \left(1 + \frac{R_{10}}{R_9}\right) - 1.2V \times \frac{R_{10}}{R_9} = V_{\text{热电堆}} \times \left(1 + \frac{R_{10}}{R_9}\right) + 1.2V$

当热电堆无输出时, $V_{\text{热电堆}} = 0V$,

$$V_{OUTA} = 1.2V \times \left(1 + \frac{R_{10}}{R_9}\right) - 1.2V \times \frac{R_{10}}{R_9} = 1.2V$$

第二级运放, $V_{OUTB} = \left(V_{OUTA} \times \frac{R_2}{R_2+R_4}\right) \times \left(1 + \frac{R_7}{R_8}\right) - 1.2V \times \frac{R_7}{R_8}$

$$V_{OUTB} = \left(\left(V_{\text{热电堆}} \times \left(1 + \frac{R_{10}}{R_9}\right) + 1.2V\right) \times \frac{R_2}{R_2+R_4}\right) \times \left(1 + \frac{R_7}{R_8}\right) - 1.2V \times \frac{R_7}{R_8}$$

若 $R_4 = R_8$, $R_2 = R_7$,

$$\text{化简为, } V_{OUTB} = V_{\text{热电堆}} \times \left(1 + \frac{R_{10}}{R_9}\right) \times \frac{R_2}{R_8}$$

a) 放大倍数怎么适配？

选好热电堆探头后，输入信号的信噪比就确定了，为了提高 ADC 输入的信噪比，需要尽量放大点，不过要保证体温段最高的温度输出电压放大后又不能超过 ADC 的满量程输入，一般取 500~1000 倍。

b) 为什么要参考电压？

在环境温度高于被测物的时候，热电堆输出负电压，为了能够正常放大，需要先偏置到一个参考电压，让运放输出围绕参考电压上下波动，检测到相对的温度。

很多运放在输入共模电压特别靠近负电源轨时，输出级的线性程度不是很好，应用时可以离负电源轨有一定的裕量。

c) 需要多少 bit 的 ADC？

需要区分宽量程，还是窄量程。工业测温枪属于非常宽的量程，需要高位数的 ADC，在此不作讨论。

额温枪属于窄量程，假设放大电路放大 500 倍，热电堆探头 1°C 变化输出 $50\mu\text{V}$ ，ADC 满量程 3V 放大后输出电压的分辨率为 0.1°C 对应 2.5mV ，那么只需要 ADC 的一个 LSB 小于 2.5mV 即可。

12bit 的 ADC 的一个 LSB 是 $3\text{V} / 4096 = 0.732\text{mV}$ ，可以满足要求。

考虑到信噪比和 ADC 的 ENOB 影响，建议选择 12bit 以上的 ADC。

江苏润石科技有限公司成立于2014年8月，是一家专注于高性能、高品质模拟/混合信号集成电路研发和销售的高科技半导体企业，主要包括精密运算放大器、高速运算放大器、通用运算放大器、低噪声运算放大器、低功耗运算放大器、低功耗比较器、模拟开关、电源管理、数据转换器等。

产品广泛用于工业控制、医疗设备、安防监控设备、仪器仪表、汽车电子、智能家居以及消费类电子等领域。公司总部位于江苏省无锡市，深圳设有市场销售和技术服务中心，在北京、上海、天津、广州、郑州、杭州、台北等地均有驻地人员就近提供全方位的服务。

运算放大器和比较器 Operational Amplifier And Comparator

Page 1-7

- 精密运算放大器 1-2
Precise Operational Amplifier
- 高速运算放大器 2
High-Speed Operational Amplifier
- 通用运算放大器 2-3
General Operational Amplifier
- 低噪声运算放大器 3-4
Low Noise Operational Amplifier
- 低失调电压运算放大器 4
Low Offset Operational Amplifier
- 纳安功耗运算放大器 5
Nano Power Operational Amplifier
- 高压通用放大器 5
High Voltage General Operational Amplifier
- 高压高精度放大器 5
High Voltage Precision Operational Amplifier
- 电流增强型运算放大器 6
Current-enhanced operational amplifier
- 专用运算放大器 6
Application-Specific Operational Amplifier
- 仪表放大器 7
Instrumentation Amplifier
- 低功耗比较器 7
Nano Power Comparator
- 高速比较器 7
High Speed Comparator

模拟开关 Analog Switch

Page 8

- 模拟开关 8
Analog Switch
- 特殊开关系列 8
Special Switch Series

线性稳压器 Linear Regulator

Page 9

- 高压线性稳压器 9
High Voltage Linear Regulator
- 高精度线性稳压器 9
High Precision Linear Regulator

数据转换 Data Converters

Page 10

- 模数转换器-精密ADC 10
Analog-Digital Converter-Precise ADC

模拟前端 Analog Front End

Page 11

- 医疗电子 11
Medical Electronics

微控制器 Microcontrollers

Page 11

- 微控制器 11
Microcontrollers



问题 & 答疑



THANKS

◆————◆
科技创新 · 用芯服务