



2015 移动开发者大会
Mobile Developer Conference China 2015

传感器那些事儿

北京艾克艾瑞科技有限公司
技术总监：高志兴
2015年10月15日

- 1. 传感器概述
- 2. 传感器的选型
- 3. 传感器的信号调理
- 4. 传感器的标定方法
- 5. 传感器的在线校准
- 6. 案例分享：精准的温湿度测量设计

- 在由1万亿个传感器和500亿个器件（设备）构成的IoT世界中，传感器是物联网全面感知的基石。
- 传感器技术的发展，驱动着物联网的发展。
- 就目前来说，传感器技术还是物联网发展的主要瓶颈。

- 国家标准GB7665-87对传感器下的定义是：“能感受规定的被测量件并按照一定的规律(数学函数法则)转换成可用信号的器件或装置，通常由敏感元件和转换元件组成”。

<以测温铂电阻Pt100为例，解释传感器的定义>

- $R=f(t)$ R ：物理电学量； f ：数学函数； t ：被测对象的温度

- 数学函数 f ：

$$-200 < t < 0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad R_t = R_0(1 + At + Bt^2 + C(t-100)t^3)$$

$$0 < t < 850 \text{ } ^\circ\text{C} \quad R_t = R_0(1 + At + Bt^2)$$

R_0 ：在 $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ 时的电阻

R_t ：在 $t \text{ } ^\circ\text{C}$ 时的电阻

$$A = 3.9083 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$B = -5.775 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$$

$$C = -4.183 \times 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^{-4}$$

- 电阻的测量电路：惠思顿电桥法



- 传感器的小型化、低功耗化
- 传感器的动态标定，在线标定
- 多传感器的数据融合技术
- 传感器的应用电路设计
- 传感器的信号处理算法
- 基于MEMS构建小型化、低成本的物联网传感器
- 传感器的网络化、智能化

前期准备

80%

选型测试

20%

- 明确测量目标
- 确定产品的性能指标
- 知识准备：传感器的工作原理和应用电路设计

- 10个主要选型指标：使用环境，测量范围，误差，灵敏度，尺寸，稳定性，温度漂移，功耗，设计难度，可生产性
- 选型：在全球范围内进行选型
- 测试：列出关键指标，设计测试方案，对实物进行测试

- 确定参与评测的指标项
- 为每个评测项，设定评分标准
- 确定主要评测项，分配较高的权重
- 确定次要评测项，分配较低的权重
- 与决策者讨论评测指标的选择和权重的确定
- 确认评测项、权重、评分标准后，尊重评测的结论

- 测量目标：快速准确的测量孕妇体温
- 主要性能指标（最终产品）：
 - 测量范围：32~43°C
 - 分辨率：0.01 °C
 - 测量误差：0.05 °C
 - 使用环境：-20~60 °C， <85RH%
 - 响应时间： T_{90} <20秒
 - 尺寸大小：OD<2mm， Len<5mm
 - 稳定性：年漂移<0.05 °C
- 工作原理：热电阻/热电偶

- 设计原则与步骤
- 元器件的选择
- 同相放大与反相放大的选择
- 屏蔽和接地设计

- 性能与成本的平衡原则：从最优器件向下寻找满足性能要求的平衡点
- 理论与实践的结合原则：控制噪声，提高信噪比，理论计算，实践检验
- 设计步骤：
 - ① 了解产品的用途和使用环境
 - ② 确认电源特性
 - ③ 分析输入信号的特性
 - ④ 确认模数转换器（ADC）的特性
 - ⑤ 抗混叠与滤波电路设计

关注点	举例/分析
最终产品形态是什么？	<ul style="list-style-type: none">◆ 传感器的信号调理需要直流特性好的低噪声运放。◆ 无线通信类产品需要用到射频特性好的告诉运放。
产品的具体应用领域是什么？	<ul style="list-style-type: none">◆ 军用/商用/民用等，使用场景决定了运放的工作温度区间。
信号的传输链路是怎样的？	<ul style="list-style-type: none">◆ 缓变的直流信号使用直流特性好的低噪声运放。◆ 射频系统使用交流耦合，运放速度不低于能奎斯特频率。◆ 音频系统需要总谐波失真低的运放。

- 单电源还是双电源：决定了运放的工作方式及信号的极性
- 直流电源供电，还是电池供电：电池在可工作区间是良好的低噪声电源
- 电源的供电能力：低功耗设计
- 电源的噪声和纹波是怎样的：电源滤波电路
- 电压参考的问题：单电源供电的情形，需要一个 $1/2V_{cc}$ 附近的 V_{ref}

- 信号源的输出是什么类型？电压/电流/电容/频率，对应不同的调理电路。
- 信号源的输出幅度是多大？mV级和nV级信号对于运放及放大电路的结构要求是不同的。
- 信号源的输出是单端的还是差分的？差分信号源需要具有差分输入的仪表运放。
- 信号源的内阻是多少？要认真考虑阻抗匹配，以获得最大的原始信号幅度。

- 满幅输入的范围是怎样的？根据输入信号幅度和ADC满幅输入范围，确定放大倍数。
- ADC的输入是单端输入还是差分输入？前者的输入管脚是一个Pin，后者需要一对。
- 转换精度和需要的分辨率是否匹配？16位转换器通常只能提供15位或者14位有效分辨率。
- ADC的采样频率是多少？是否满足能奎斯特采样定律？采样频率要大于信号最高频率2倍。
- 输入端是否需要补偿电路？对于慢变信号，通常部署一个RC滤波电路来匹配ADC内部的采样电容。应该仔细阅读模数转换器的数据手册。

- 抗混叠：如果信号中包含有高频噪声，必须设计低通滤波电路进行滤除，确保将其衰减到足够小；信号的特征频率不能高于采样频率的 $1/2$ 。
- 滤波电路：
 - 减少高频噪声：低通滤波Low-Pass Filter
 - 减少低频噪声：高通滤波High-Pass Filter
 - 增强窄带信号：带通滤波Band-Pass Filter
 - 滤除干扰频率：限波滤波Notch Filter
- 滤波器设计工具：Matlab(FDA Tool) , FilterLab , ADI滤波器设计工具

- 有源器件的选择
- 电阻的选择
- 电容的选择

- 有源器件选择指南（图）（表）

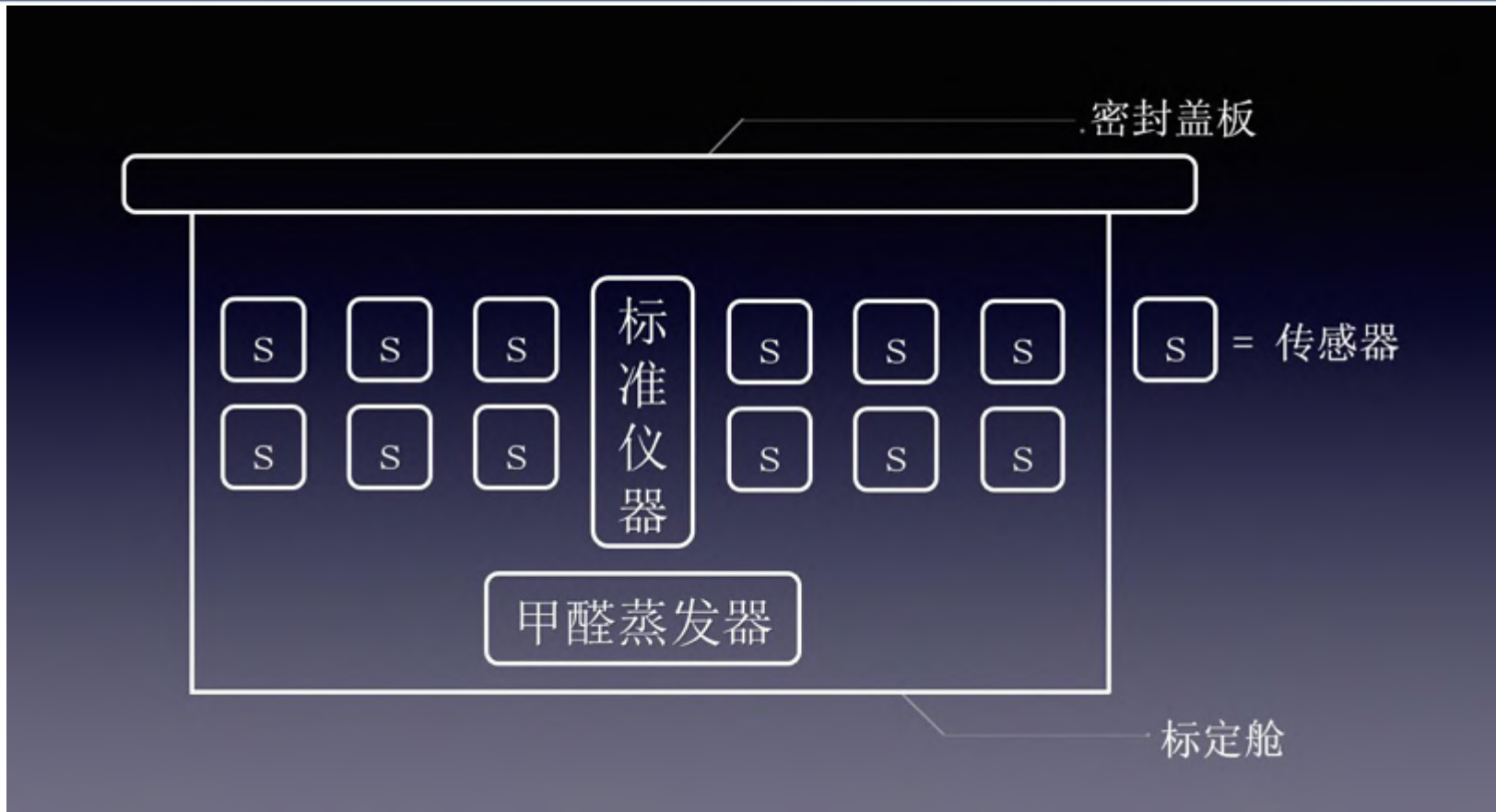
- 优选金属膜电阻或线绕电阻
- 对噪声没要求的时候，可选择碳膜电阻，比较经济
- 注意电阻的阻值会随着通过信号的频率呈现变化，线绕电阻存在电感，在高频时阻抗大
- 电阻的功率选择：工作功率要低于额定功率，越低越好
- 电阻的热噪声：电阻越热，噪声越大
- 用于采样的电阻，要考虑温度漂移系数

- 电容实际上并非理想电容，还存在电感和电阻（见图）
- 各类电容使用的频率范围。

- 同相放大电路和反相放大电路（见图）
- 推荐使用同相放大电路：输入阻抗大，但需要高共模抑制比
- 反相放大电路，其输入端等效电阻会受到信号源内阻 R_s 的影响，如果 R_s 容易随工作状态和工作环境有明显变化，则不推荐使用。

- 屏蔽：电场屏蔽，磁场屏蔽
- 接地：三种接地形式和对比（图，表）

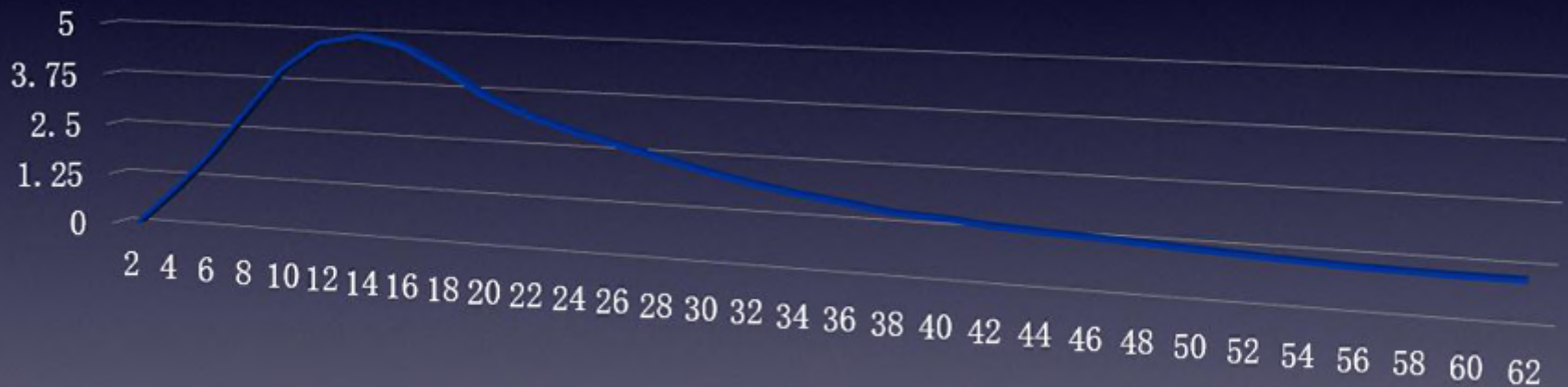
- 以甲醛传感器标定为例，有静态标定法和动态标定法
- 静态标定法：气体相对于传感器是静止的，使用“密闭舱”。
- 动态标定法：气体相对于传感器是流动的，使用“流通池”。



4.1 静态标定法

MDCC
2015

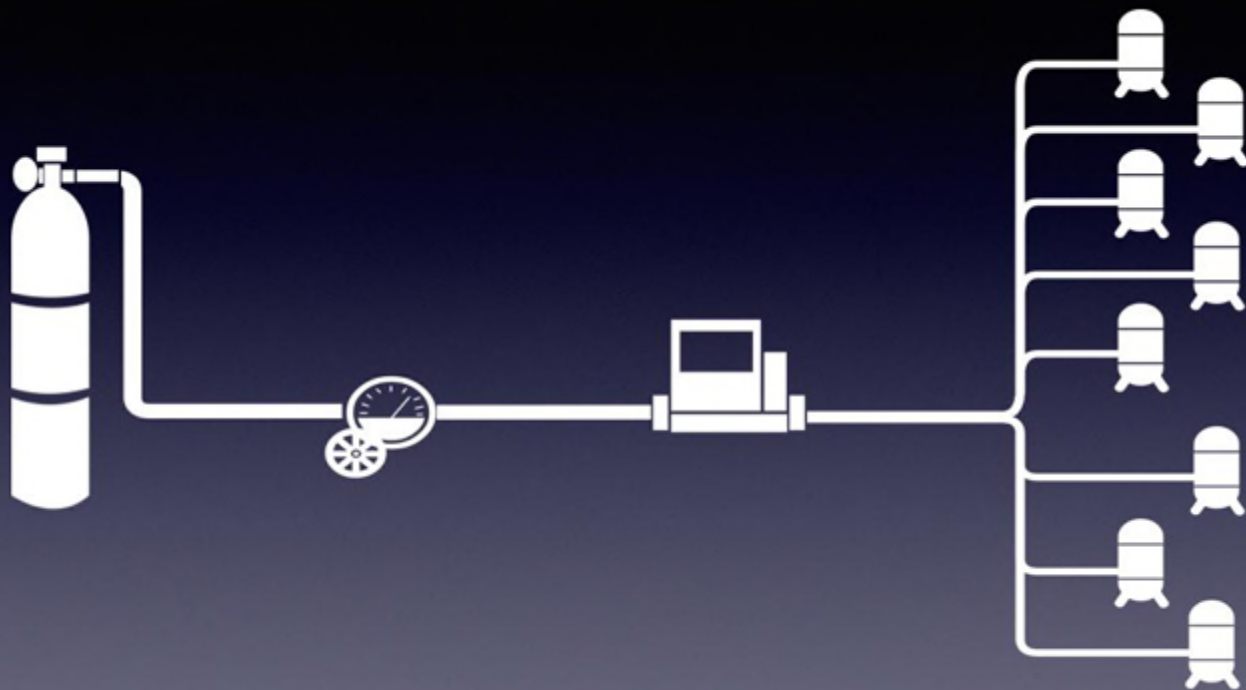
2015 移动开发者大会
Mobile Developer Conference China 2015

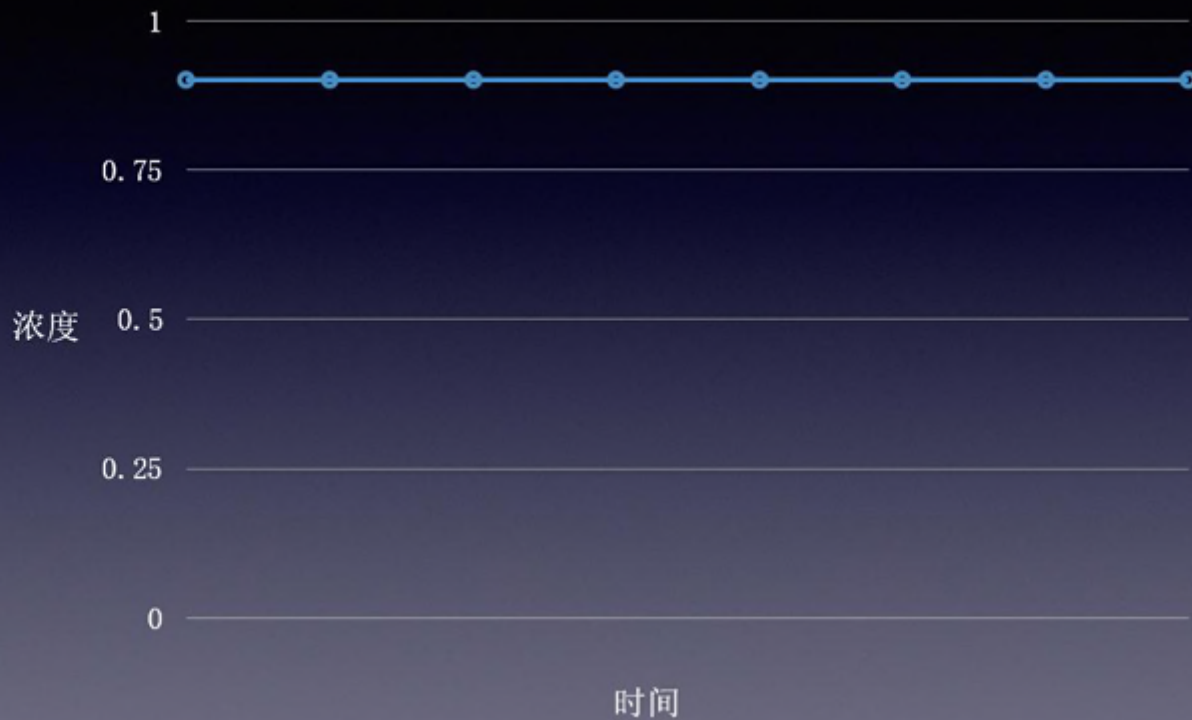


4.2 动态标定法

MDCC
2015

2015 移动开发者大会
Mobile Developer Conference China 2015



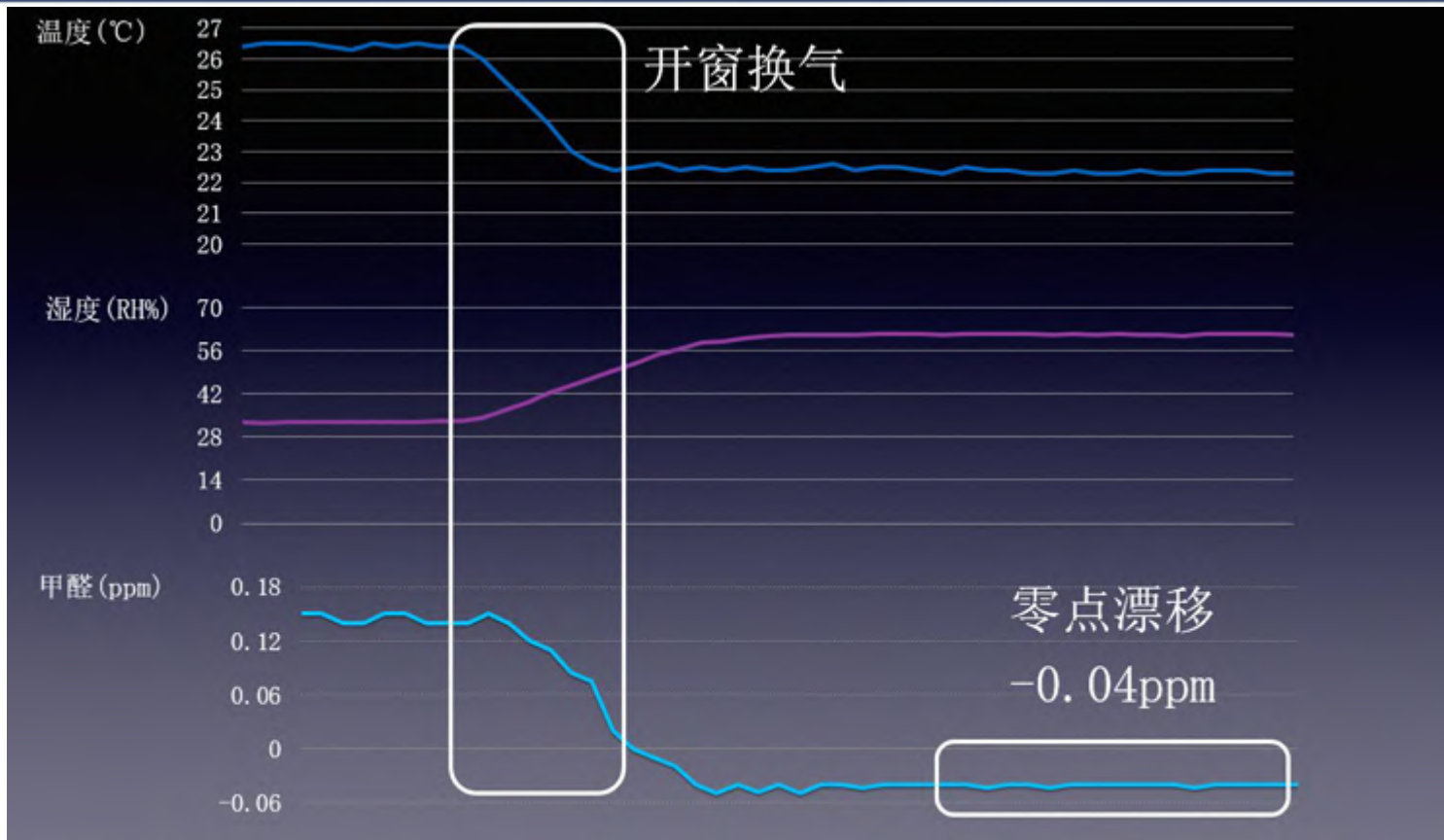


5. 传感器在线校准引擎

MDCC
2015

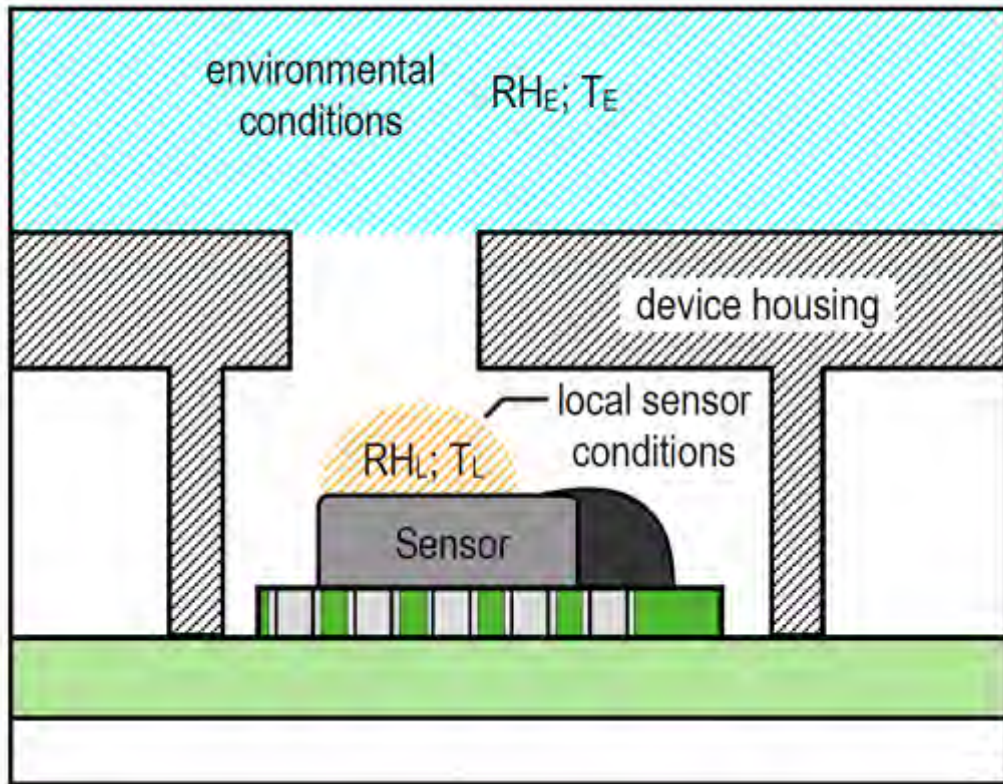
2015 移动开发者大会
Mobile Developer Conference China 2015





测量值（未修正）： 0.07 ppm 安全（错误）

测量值（修正后）： 0.11 ppm 危险（正确）

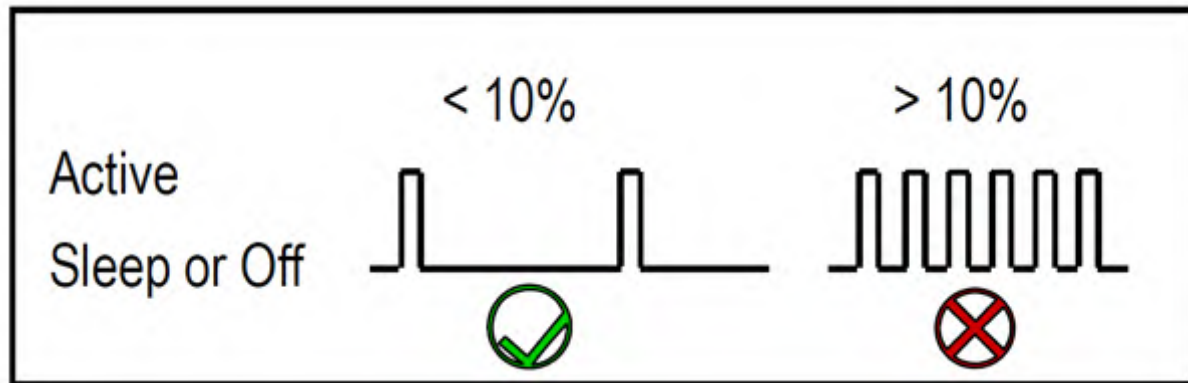


需要注意：
 $RH_E \neq RH_L$
 $T_E \neq T_L$

如何使二者的偏差
最小？

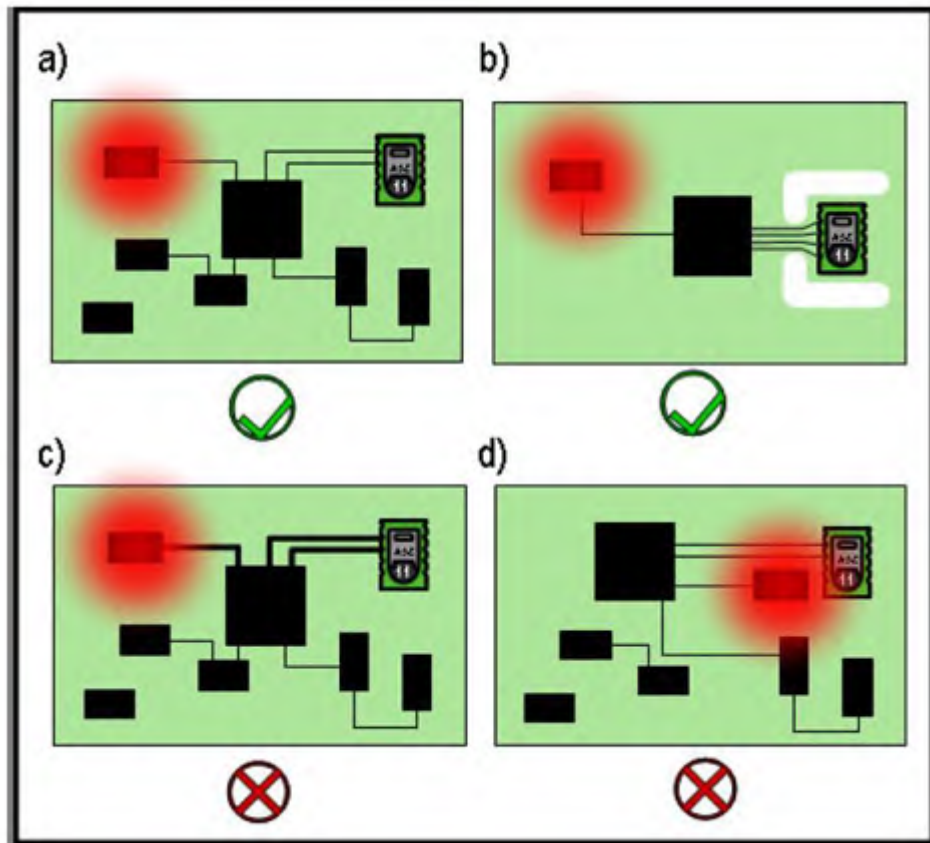
- 为了让测量结果接近于环境温度和湿度，必须在热设计和PCB布局方面精心设计：
 - ① 严格控制自热效应
 - ② 减小热传导
 - ③ 隔离热辐射
 - ④ 避免热对流
 - ⑤ 优化空气流道设计

- 由于体积较小，虽然工作电流非常低，但自热效应仍然非常显著。
- 在测量结束后，让传感器进入休眠状态或者干脆断电。
- 总体上来说，工作时段占比不能超过10%。



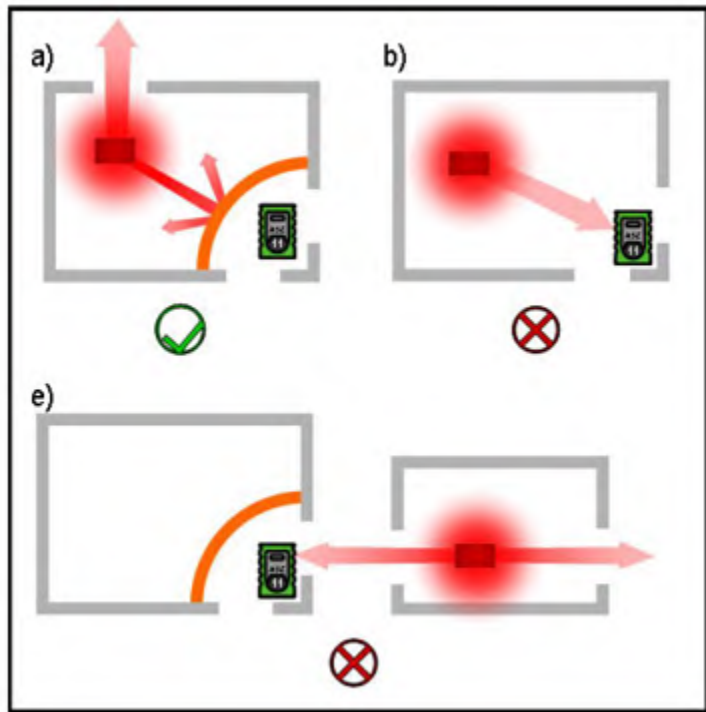
设计原则：

- ✓ 较远的距离，较细的走线
- ✓ 设置切割槽，阻断热传导



设计原则：

- ✓ 设置隔热层
- ✓ 设置反射层



此处配图

设计原则：

- ✓ 热源在上，传感器在下
- ✓ 强制通风，自下而上

设计原则：

- ✓ 为空气流通设置最快捷路径
- ✓ 传感器上方开孔尽量大
- ✓ 减小死区 (Dead Volume)

