

应用笔记：

## 氧化锆氧传感器软件设计和注意事项

### 1. 简介

该应用笔记描述了SST系列氧化锆氧气传感器的控制和数据分析方面的软硬件设计方案要求。

阅读此文之前，首先需要理解应用笔记AN0043。



## 2. 传感器感应信号的采集和放大

### 2.1 简介

本节描述传感器给出的能斯特电压的放大电路和正确使用ADC采集放大信号。

### 2.2. ADC 最小分辨率

为对能斯特电压进行准确采样，推荐使用2.4节介绍的ADC要求的分辨率最小为12bits。因为信号是差分的，所以需要两个ADC通道。(sense 相对于 common)。

如果使用10Bits的ADC，就需要两步放大，经过第一步放大后，第二步需要消除偏置并使用10BitsADC的输入全量程按比例分割信号。仪表放大器需要更高分辨率的ADC，而且高分辨率ADC在很多微处理器里都很普遍，且放大器设置成本更低。

### 2.3 ADC 采集时间

转换模拟信号的数据采集时间要一直保持最小。如果ADC收到中断，其频率要等于或大于最大采集频率，这点很重要。(见4.1节)。

### 2.4 能斯特信号放大

传感器能斯特电压的放大推荐电路见第三页图001。电路包括两个缓冲和滤波输出，由ADC通道采集。

放大器设计的关键特征：

1. 好的共模噪声抑制
2. 低频率工作偏置。感应信号一般小于15Hz
3. 10KHz理想低频率运行的Op amp GBP
4. 低输入偏置电压 $\pm 150\mu V$  最大。
5. 单端供电，耦合高PSRR (88dB)
6. 超低输入电流偏置避免产生感应信号负载。
7. 输入和输出轨到轨。
8. 使用低成本表面安装元器件， X7R/X5R陶瓷电容和1%公差电阻

### 2.5 ADC 取平均值

为减少信号采集中的噪声，ADC值需要加入移动平均滤波器（见第八节）

方程001计算阶跃电压：

$$\text{ADCStepVolts} = V_s / 2^n \quad (\text{方程001})$$

这里：

ADCStepVolts= ADC 阶跃电压

$V_s$  = ADC 供电电压

$n$  = ADC bit 分辨率

例子：

例如ADC采用3.3V供电，分辨率是12位，那么：

$$\text{ADCStepVolts} = 3.3 / 2^{12} \quad (\text{方程002})$$

计算结果是：

$$\text{ADC Step Voltage} = 0.00080566 \text{ Volts per bit.}$$

## Sensor Sense Signal Amplification and Filtering with Buffered Common Reference

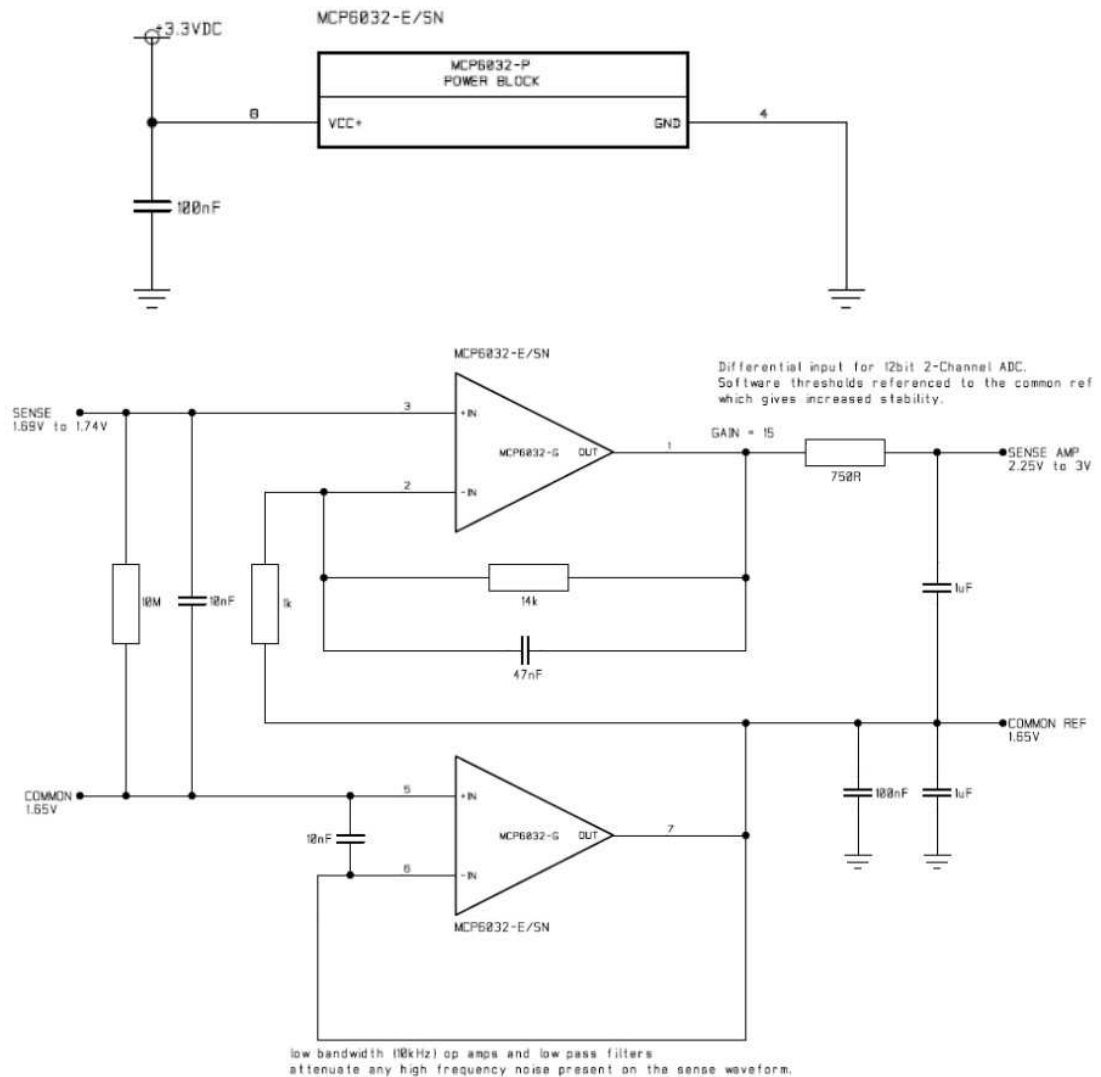


图001

### 3. 传感器泵控制

#### 3.1 简介

本节描述了传感器泵端和公共端的恒流源电流方向和产生的能斯特电压的关系。

#### 3.2 泵电流最小要求（非常重要）

软件设计里控制泵电流方向的要求必选项：

- 40uA 泵到公共端
- 40uA 公共端到泵
- 无泵电流（传感器不工作时）

取消泵电流的功能非常重要是因为若启动程序违法可提前让传感器停止工作。图002给出了加入泵电流和产生的能斯特电压的关系

图004给出输出40uA的恒流源硬件电路。这是传感器正常工作的关键。注意敏感单元的电压不要超过1.65V，否则会损坏传感器。

这个简单的恒流源使用成本非常低的放大器，X7R/X5R 陶瓷电容和1%公差电阻。微处理器的数字输出连接到电路图中 CCS 反转端子。

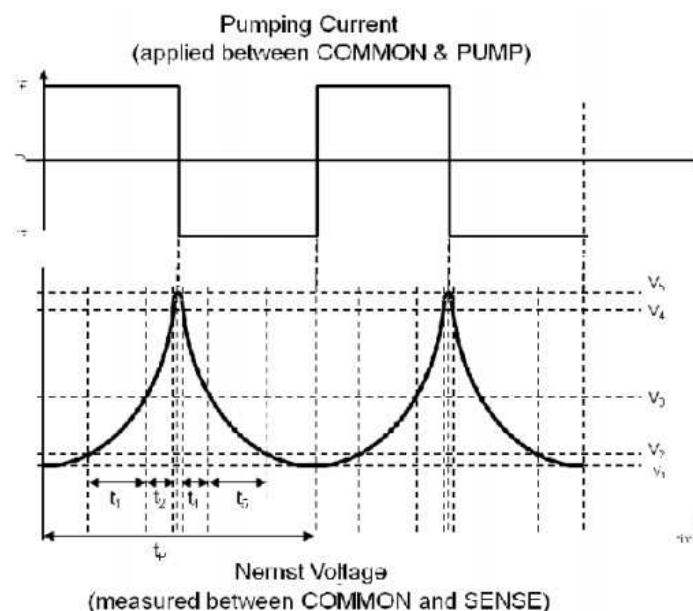


图 002

#### 3.3 控制波形

为更好运行传感器，泵电流的方向需要两个固定点 V1 和 V5 来选择，图 002 所示。

计算 V1 和 V5，参考 4.3 节

图 003 描述了控制泵电流方向的过程。

当传感器激活时，首先加入从泵到公共端 40uA 的电流。这个状态要保持到采样电压达到阈值 V5

这时泵电流方向要反转，即 40uA 电流从公共端到泵端。系统保持到采样电压达到阈值 V1。

系统一直切换这两种状态直到泵电流停止（泵空闲，CCS 高阻抗或三态）或者微处理器或系统去除电源。

#### 3.4 超时健康检查（非常重要）

泵电流超时可以作为故障探测器。这有助于指示故障传感器或某个问题。

引入超时大约 30 秒就可以实现该功能，超时需要在每次泵电流转向时重置。

发生超时，要启动终止程序（见第 6 节）

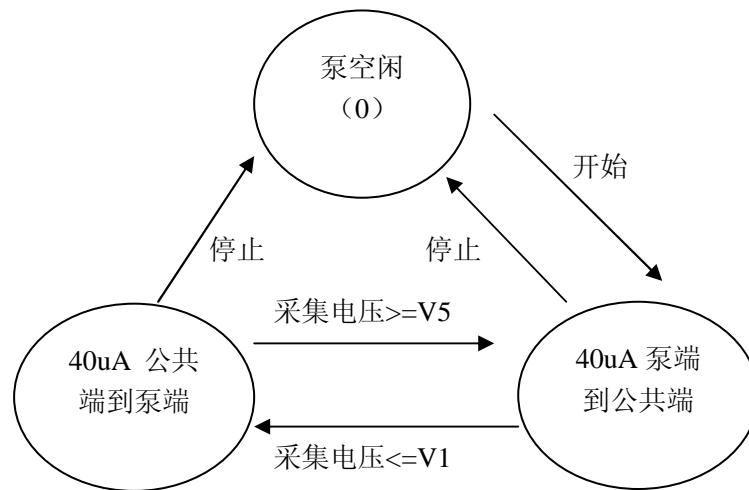
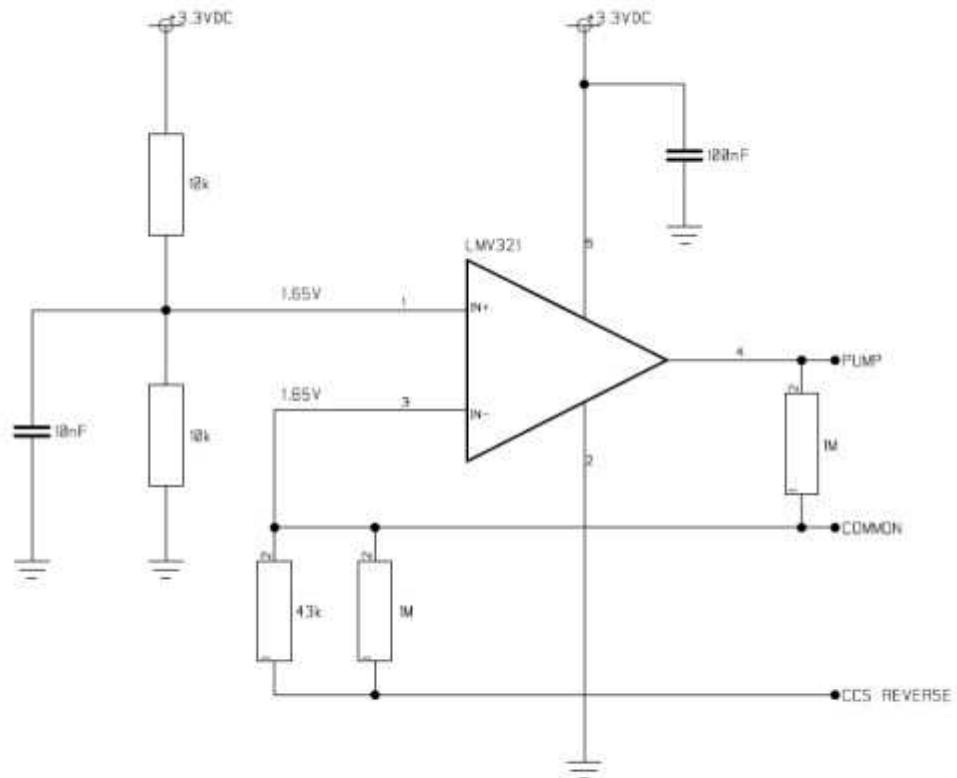


图 003

## Microprocessor Controlled Constant Current Source



### CCS REVERSE Description

LOW (0V) = 40uA Pump to Common (Sense Voltage Increases)  
 High (3.3V) = 40uA Common to Pump (Sense Voltage Decreases)  
 Tri-state (floating) = Pump Disabled

图 004

## 4 信号处理

### 4.1 采样频率

为了得到最好的精度，系统所用最小采样频率是 10KHz。

用 30KHz 的更高频率可以最大限度的提高精确度，但是效果不大，在大多数应用中不需要。

### 4.2 计时器要求

为了正确采样放大信号，需要一个定时器用来测量 T1, T2, T4 和 T5。

如果用中断计时器，确保有高的优先权是重要的，这能阻止错误的测量。

需要的时间分辨率要求等于或大于所选的采样频率，虽然有说时间分辨率再高也不会有其它好处。

例如：

如果用 10KHz 的采样频率，时间分辨率 0.1ms 足够了。

### 4.3 电压电平计算

为正确计算传感电压电平（V1 到 V5），需要很好理解传感器感应信号放大和 ADC 阶跃电压。

考虑所有的放大增益（推荐电路×15）和共用参考电压（如果使用）下面的式子用来计算ADC阶跃的每个阈值：

推荐的能斯特电压：

阈值	能斯特电压	12位ADC门限(放大的Sense-Common)
V1	40mV	745
V2	45mV	838
V3	64mV	1191
V4	85mV	1583
V5	90mV	1676

考虑所有的放大增益（推荐电路×15）和共用参考电压（如果使用）下面的式子用来计算ADC阶跃的每个阈值：

阈值=Vsense – Vcommon /ADCStepVolts （方程003）

这里：

阈值=数字门限电压电平（ADC阶跃）

Vsense =感应信号放大后的电压，V1到V5（图001的SENSE AMP）

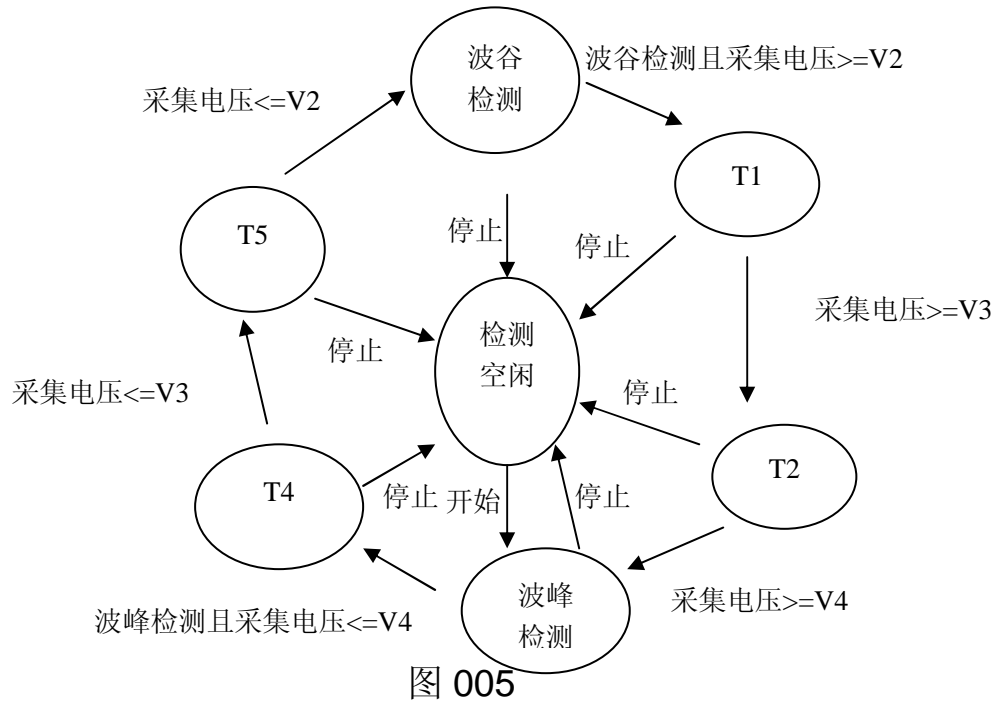
Vcommon=公共端参考电压（图001的COMMON REF）

ADC步间电压=ADC每步电压，2.6节有计算方法。

步间的计算阈值可以存储到系统的查找表里作为参考。

推荐的能斯特电压值和相应的12位ADC阈值，可以在第7页表001里查到，电路采用图001。

系统采样两个ADC通道，都是用移动平均值，2.5和8节所描述的。每个测量值是Vsense减去Vcommon，且结果与表001的ADC阈值做比较。



#### 4.4 信号采集

为解释信号采集，波形被分成单独的六步。图005和以下步骤描述需要的过程和操作。

每一步有单独的操作过程，目的是得到时间值（T1，T2，T4和T5），用来计算Td值和结果O2浓度。

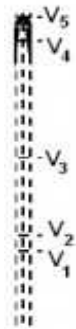
空闲状态

电流方向：无泵电流

空闲状态不采集传感信号。一旦泵电流激活，系统做的第一步是：峰值检测。泵电流初始总是值为40uA，方向从泵端到公共端。



## 第一步：峰值检测



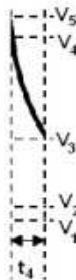
电流方向：40uA 泵端到公共端-》40uA 公共端到泵端

这部分，系统要检测到第一个峰值当采集的感测电压 $\geq V5$ 。

此时，泵电流应该反向。

若采集的感测电压 $\leq V4$ ，进行第二步：激活 T4

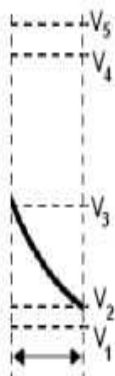
## 第二步：T4



电流方向：40uA 公共端到泵端

这个阶段，计时器进行初始化或重置。在采集的感测电压 $\leq V4$ 时，完成此动作。一旦采集的感测电压 $\leq V3$ ，计时器的结果值存为 T4。第三步：激活 T5。

## 第三步：T5

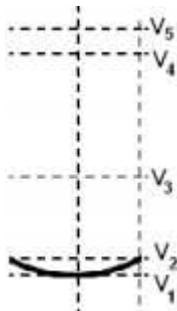


电流方向：40uA 公共端到泵端

进入此阶段时，计时器要重置。采集的感测电压 $\leq V3$ 时，完成此动作。

一旦感测电压 $\leq V2$ ，计时器的结果值存为 T5。第四步：开始波谷检测

## 第四步：波谷检测

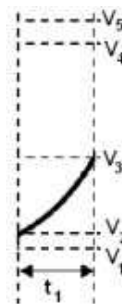


电流方向：40uA 公共端到泵端-》40uA 泵端到公共端

当采集的感测电压 $\leq V1$ 时，系统要检测到波形的波谷。此时，泵电流要反向。

一旦电压 $\geq V2$ ，第五步：开始测 T1。

## 第五步：T1



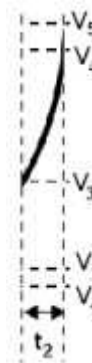
电流方向：40uA 泵端到公共端

此时，计时器重置。在感测电

压 $\geq V2$ 时完成该动作。

一旦感测电压 $\geq V3$ ，计时器结果存为 T1。第六步：开始测 T2。

## 第六步：T2



电流方向：40uA 泵端到公共端

计时器重置，在感测电压 $\geq V3$ 时，完成此动作。

一旦电压 $\geq V4$ ，计时器结果存为 T2。

第一步：开始波峰检测并继续周期循环。

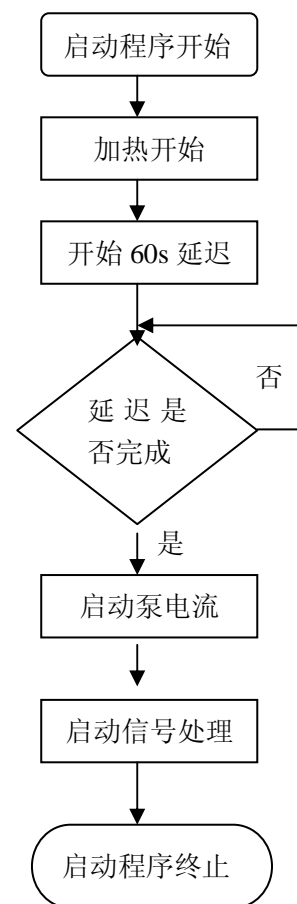
## 5. 启动程序

### 5.1 简介

在传感器每次关闭或间歇式供电时，需要运行启动程序。这有助于避免由于泵启动时传感器未加热而造成的不可逆的损坏。

系统安装时，确保泵电流和信号处理未激活。

启动程序过程如框图 004



### 5.2 启动程序描述

首先第一步保证加热棒已加热传感器。加热后，系统至少要有 60s 的预热延时时间。延迟结束后，泵电流和信号处理才可以激活进入泵循环模式。

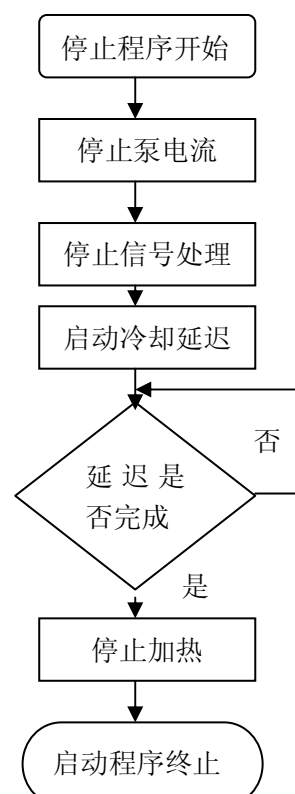
正确关闭传感器操作要启动停止程序。

## 6. 停止程序

### 6.1 简介

有些应用需要在传感器工作时，为了安全，维护或节约能耗时，停止使用。

正确的停止程序如框图 005



### 6.2 终止程序描述

第一步是关闭泵电流和信号处理。程序

关闭每次间隔有最小延迟，然后关闭加

热电压。

系统冷却延迟依具体应用环境选择。如果最少3分钟延迟，那么有必要更大的延迟以使产品在关断加热器之前完全冷却。延迟由具体应用决定。目的是在关断过程中，防止在潮湿环境中水汽凝结到传感器表面。

计算

## 7. 计算方法

### 7.1 简介

计算Td，诊断程序不依赖时间，可以在处理器空闲时管理。Tp值，依赖时间，需要用计时器在波峰探测或波谷探测重置计算时间。

用下面式子计算Td值：

$$Td = (T1 - T2) + (T5 - T4) \quad (\text{式子4})$$

时间（T1，T2，T4和T5）是在信号处理时序里获得的。因此只需在得到新的T值后重新计算出Td值就可以了。

推荐Td值通过移动平均滤波器以减少噪音和获得稳定Td输出。推荐4到400的缓冲区容量值。该值越小传感器响应速度越快，越大输出就越稳定。

所以，设置的最大值可以让系统输出变化更平稳的O2浓度值，最小的缓冲值可以得到最快速的O2浓度变化值。

综合响应速度和稳定度的要求，缓冲值设为100是最好的。

对于现场对响应速度和稳定性要求都很高的情况，需要使用合适的滤波方式。这可以通过监测每个新Td值的变化量来实现，且当该变化量超过预设值时，缓冲区刷新且值变为最小值。当Td值再次开始稳定时，缓冲区值会慢慢增加到最大值。

### 7.2 Tp

计算Tp值可以通过测量采样检测电压波形的周期得到。该方法推荐测量波峰到波峰之间的周期的重复性要比测量波谷到波谷的重复性要好。

信号频率可以由下式得到（式子005），Tp值不为0。

$$Freq = 1/Tp \quad (\text{式005})$$

### 7.3 非对称性

计算采集到检测信号电压的非对称性使用006式子。

$$\text{非对称性} = (T1 + T2) / (T5 + T4) \quad (\text{式子006})$$

非对称性只能从新获取的T值计算得到，这和计算Td值是同时的。

为避免在启动周期时出现除以0的情况，最好在T4或T5不等于0的时候计算非对称性。

非对称性值也要通过移动平均滤波器来减少噪声和增加稳定性。推荐缓冲值在10到100之间。

### 7.4 O2浓度

为把计算和缓冲得到的Td值转化为相应的环境浓度值，需要一个标定数。（见第9节）

O2%可以用式子007得到

$$O2 = TD(Ave) \times Cs \quad (\text{式子007})$$

注意若计算使用缓冲的Td值，那么结果是平均的O2%。

如果需要即时的O2%值，那么就使用未经缓冲的Td值。这个通常指Td原始值且计算得到的氧气浓度为原始氧气浓度。

## 8. 移动平均滤波器

### 8.1 滤波原理

基本的移动平均滤波器定义为N个数据的总和除以N。见008

$$\text{平均值} = x1 + x2 + \dots + xN - 1 + xN / N \quad (\text{方程式008})$$

N=缓冲值

X=数据

在信号系统里这个简单的滤波器对减少噪声非常有用。也可以快速应用于系统用来提高采集信号的稳定性。

### 8.2 处理器开销

在一些应用中，根据平台和编译器这个方法会出现一些疑难问题。除法处理会占用大量的处理能力和时间。

因为这个系统的氧气测试是时间相关的。所以要全力避免任何不必要的开销。

减少开销的一个方法是通过在平均滤波器里使用非密集处理器代替现有的密集除法运算

二取一的方法可以轻易通过向右移一位来实现。

例如：

例如：

例如：

二进制： 00001000 等于十进制8.

变为：

二进制： 00000100 等于十进制 4.

使用这个原理，我们要小心地选择N，让它等于2的y次方。见方程009

$$N = 2^y \quad (\text{方程式009})$$

这里：

N = 选定的缓冲值

y = 向右移的位置数

### 9. 标定注意事项

为了计算7.4节所用的标定数量需要用方程010:

$$Cs = O2_{per} / Td \text{ (方程010)}$$

这里:

Cs = 标定数量

O2Per = 已知的标定环境O2百分比

Td = 平均Td值

标定开始前, 关键要确保传感器输出稳定且环境里只有标气。鉴于此, 传感器通常在普通大气中标定为20.7%, 传感器在加热工作10分钟后开始进行标定。

如果已经加热了10分钟以上, 那么在标定前只需要传感器稳定工作5分钟就可以了。

如果标气是已知的其它浓度的氧气, 那么可以在以上式子中O2per用其它值就可以了。