

线性度指标解析

引言

对于模拟输出的 MEMS 传感器来说，线性度是衡量传感器好坏的一项重要指标。在规定的工作条件下，传感器输入输出之间应该呈现线性关系，由于选择的参考标准不同，对于线性度计算结果也有差异。本文对传感器线性度测试方法及计算方法做了基本介绍。

线性度基础知识

线性度是描述传感器静态特性的一个重要指标，以被测输入量处于稳定状态为前提。在规定条件下，传感器校准曲线与拟合曲线间的最大偏差 (ΔY_{\max}) 与满量程输出 (Y) 的百分比，称为线性度，又称为非线性误差。该值越小，表明线性特性越好。

拟合曲线概念

拟合曲线是一条通过一定方法绘制出来的直线， n 组测试数据绘制在直角坐标系上的散点图如图 1 所示，需要通过拟合曲线得到 x 和 y 的函数关系。求拟合曲线的方法有：端基法、最小二乘法等。

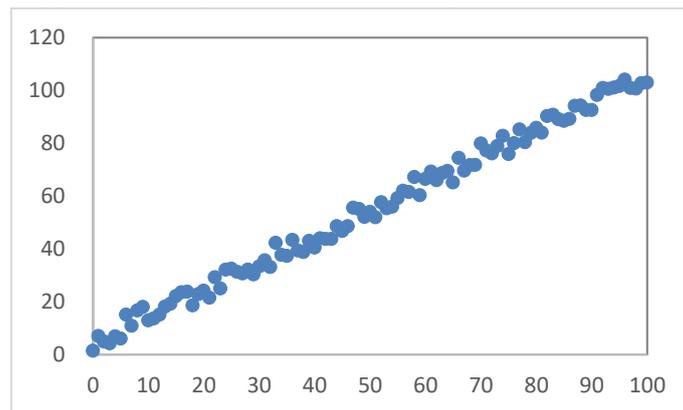


图 1.散点图

1、端基法

端基法是一种简单的线性回归方法，用于求解两个变量之间的关系。通常情况下，会选择最左侧的点和最右侧的点作为端点，通过这两个端点计算出拟合曲线的斜率及截距，如图 2 所示。就相当于将 (x_1, y_1) 与 (x_n, y_n) 两个数带入 $y=kx+b$ ，解二元一次方程组，得到拟合曲线的函数关系。

端基法只能用于线性关系，如果变量之间存在非线性关系，则需要使用其他的分析方法。

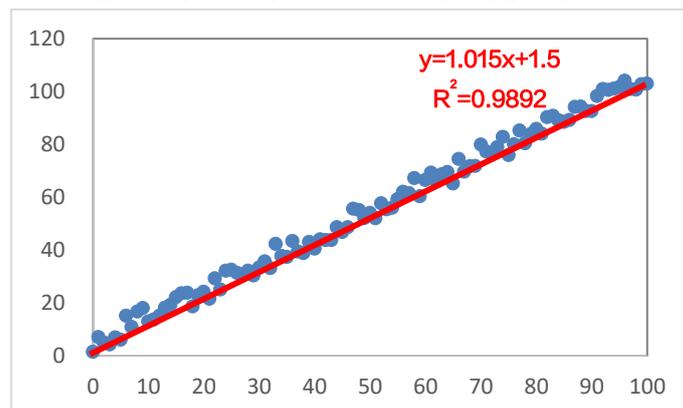


图 2.端基法拟合曲线

2、最小二乘法

最小二乘法是通过最小化误差的平方和寻找数据的最佳函数匹配。

如图 3 所示，蓝点是真实数据，绿点是拟合曲线的对应数据，红色虚线的长短代表真实数据与拟合曲线数据的距离，我们的目标就是找到一条拟合曲线，使得所有红色虚线的累和最短。

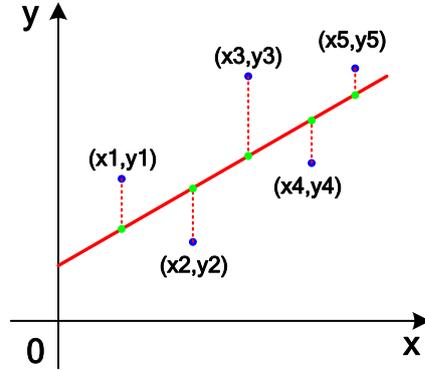


图 3.最小化误差

根据图 1 的散点图数据可观察到基本趋势是线性的，我们可以用 $y=kx+b$ 的拟合函数来计算误差值如下：

$$\delta = \sum_{i=1}^n (y(i) - kx(i) - b)^2$$

求出使 δ 最小的 k 和 b 值，就可以得到拟合函数。

通常得到足量的数据点后，可以使用编程语言或者 Excel 软件中的内置函数：斜率=SLOPE()；截距=INTERCEPT()等工具进行最小二乘法的拟合曲线运算。图 4 为 Excel 计算的最小二乘法拟合曲线。

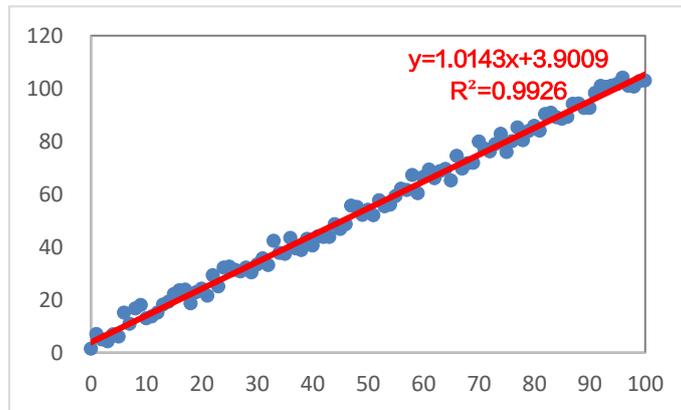


图 4.最小二乘法拟合曲线

霍尔电流传感器线性度指标

1、非线性误差计算

利用最小二乘法进行线性拟合，得到关于电流与输出电压的拟合曲线如下：

$$V_{OUT} = SNST \times I + b$$

其中：SNST 为响应率，单位 mV/A。

非线性误差公式如下：

$$ELIN = \frac{V_{OUT_{\text{实测}}} - V_{OUT_{\text{拟合}}}}{V_{OUT_{\text{拟合 MAX}}}} \times 100\%$$

其中： $V_{OUT_{\text{实测}}}$ 为实际测量值， $V_{OUT_{\text{拟合}}}$ 为拟合曲线上输出电压值， $V_{OUT_{\text{拟合 MAX}}}$ 为拟合曲线的满量程输出。

2、线性度温漂误差计算

计算线性度温漂误差需要引入温漂误差概念，从如图 5 所示，蓝色曲线实线是-40℃实测数据的大致曲线，蓝色虚线是拟合曲线，红色虚线是 25℃下拟合曲线，首先可以计算出-40℃下的线性度误差数据，根据最小二乘法概念，线性回归方程的作用是将-40℃下的数据向拟合曲线收敛，所以温漂误差可以等效为-40℃下的拟合曲线和 25℃下拟合曲线的漂移误差。

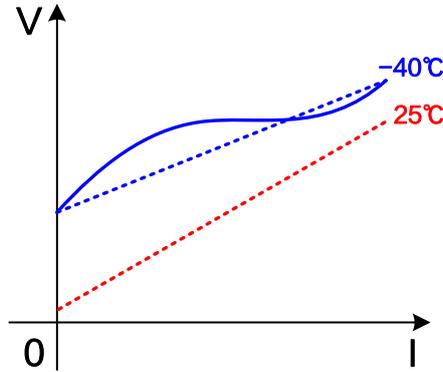


图 5.温漂误差

线性度温漂误差公式为：

$$ET = \frac{VOUT_{拟合(-40^{\circ}C)} - VOUT_{拟合(25^{\circ}C)}}{VOUT_{拟合MAX(25^{\circ}C)}} \times 100\%$$

同理，可推导至其他温度点。

总结

求拟合曲线的方法不同，对线性度的计算结果有一定的影响。使用最小二乘法求拟合曲线最贴近实际，非线性误差最低的一种方法。本文举例说明了霍尔电流传感器的线性度计算方法，其他模拟输出 MEMS 传感器也同样适用。将 x 轴更换为磁场强度就是线性霍尔传感器，更换为压力就是压力传感器，更换为温度就是红外热电堆探测器等等。