

摘要：现代自动化设备中传感器越来越多，它们都是可以通过统一的中央电源供电，所有比例电压输出的传感器可以在电源电压波动的时候同步得到修正，每个传感器也不再需要一个基准电压器件。AMG 公司的 OEM 压力传感器 AMS 5812 是一种可产生与压力成比例的模拟和数字输出信号的压力传感器。本文以压力传感器 AMS 5812 为例，详细描述了在压力传感器中比例电压输出的概念和用途，并探讨了比例电压输出的误差问题。

关键词：比例电压输出；ADC 转换；DAC 转换；恒压源

中图分类号：TP212.1

文献标识码：B

文章编号：1006-883X(2019)12-0030-04

收稿日期：2019-11-15

压力传感器中的比例电压输出信号

Nobert Rauch¹ 施林生² (译)

1. analog microelectronics GmbH 公司，德国美茵茨 55124；2. 上海芸生微电子有限公司，上海 201108

一、压力传感器 AMS 5812

AMS 5812^[1] 是 OEM 压力传感器（见图 1），可以测量绝对压力、相对压力、差分压力和双向差分压力（正压和负压）。每个传感器在生产过程中都分别校准到指定的标称值。由温度变化引起的与理想曲线的偏差已经分别进行了补偿和校正。补偿温度范围为 -25℃ ~ 85℃。一个误差小、长期稳定性好的传感器通常都是由高质量的硅压阻芯体、现代的数字信号处理电路以及优化算法结合的结果。



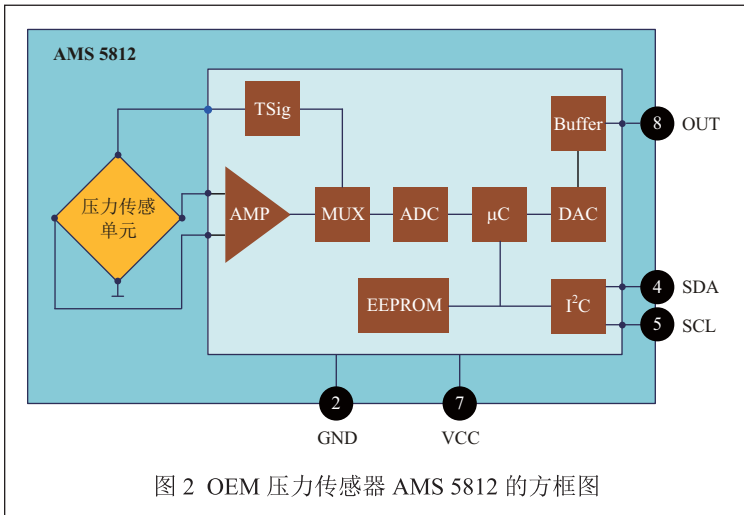
图 1 带有模拟比例电压输出和数字信号输出的 OEM 压力传感器 AMS 5812

AMS 5812 采用 5V 供电，具有两个独立的输出，一个模拟比例电压输出 0.5V~4.5V（双向差分压力输出为 $2.5V \pm 2V$ ^[2]）和一个 I²C 的数字输出^[3]。它们可提供 0~0.075psi 直到 100psi 的压力范围内的不同型号，也可以根据客户要求提供其他标准。采用电路板安装形式的双列直插焊接端子的陶瓷基板和陶瓷外壳使压力传感器具有很高的机械稳定性。

二、压力传感器 AMS 5812 的工作原理

AMS 5812 上的压力检测是通过硅压阻测量元件（硅压力芯体）实现的。在这个通过微机械 MEMS 加工的硅压阻测量芯体上所测量的压力被转换为模拟信号，该信号几乎与施加的压力成正比。然后该电压信号被 CMOS ASIC 放大（CMOS ASIC 专用集成电路）（见图 2），并通过 ADC 模数转换为数字信号。在 AMS 5812 系列中使用的 ADC 模数转换电路的分辨率为 16 位。

通过微处理器模块对数字化信号进行校准、温度补偿和线性化，最后得到了标准化的输出信号，用于修正与理想曲线的偏差，在不同压力和温度下测量出的各个传感器的温度补偿和校准系数都存储在只读存



变化成为 V_{Mz1} ，由此得到比例电压信号的条件是：

$$\frac{V_{CC1}}{V_{CC}} = \frac{V_{Mz1}}{V_{Mz}} \quad (2)$$

四、非比例电压信号输出的数字输出信号

当今大多数传感器都使用微处理器对经过模拟放大电路放大过的传感器信号进行数字化处理。因此，不可避免地需要在信号放大和微处理器之间安装一个模数转换器（ADC）。ADC 通常具有三个用于模拟电压输入的端口，它们是：与压力成正比的压力芯体输出的电压信号 $V_{Mz}(P)$ 、

高电平参考电压 V_{Ref+} 、低电平参考电压 V_{Ref-} 。

待转换的 ADC 的输入电压信号对应的是压力芯体的输出电压 V_{Mz} 。高电平参考电压是微处理器的工作电压 V_{CC} 或者是外加的参考电压，它限制了最大可测量的输入电压，出于成本原因，通常就直接采用工作电压 V_{CC} 。低电平的参考电压 V_{Ref-} 可以是微处理器的接地端 (V_{ground}) 或采用外部的参考电压，它代表了 ADC 的零点。ADC 以 V_{Ref+} 为参考电压将压力芯体放大的模拟信号转换成数字信号。在相同的模拟电压输入值和相同的分辨率的情况下，参考电压减小，则 ADC 输出处的数字值增加，反之亦然。

如果仅仅考虑传感器压力芯体和 ADC 转换器，那么 ADC 后面的数字信号值只是取决于压力、分辨率以及压力芯体的信号与参考电压的比值。

$$DC_{out} = \frac{V_{Mz}(P)}{V_{Ref+}} \quad (3)$$

如果压力芯体的电源电压 V_S 和 ADC 的参考电压 V_{Ref+} 同步变化（比如 $V_{Ref+}=V_{CC}$ ），则压力芯体的输出电压 V_{Mz} 与参考电压的比值在相同压力下保持恒定，而且数字输出信号与电源电压 V_{CC} 的变化也无关（公式 1 和 3），因此，数字信号不是成比例的，它不会随电源电压的变化而变化，仅与压力 P 成正比。

五、模拟比例电压输出信号

在 AMS 5812 传感器中有一路模拟电压输出，这

存储器 EEPROM 中。温度的测量是通过与被测介质直接接触的压力芯体上的电路直接完成的，从而确保所测量的温度准确和可靠。处理信号的微处理器 CPU 会根据相应的压力和温度值，通过校正系数的修正和补偿不断循环输出正确的压力信号以及温度信号。修正和补偿的压力信号通常会以每 0.5ms 的周期写入输出寄存器中并连续不断地更新。此时的压力和温度值都具有 I²C 的数字信号输出，同时压力数字信号又由后续的 DAC（11 位）转换为模拟电压信号。11 位的 DAC 对于转换模拟电压来说精度是足够的。

三、模拟比例电压信号的压力芯体

在 AMS 5812 系列的传感器中使用的压阻式压力传感器芯体的输出电压，适用于下面的公式（一级近似）：

$$V_{Mz} = S \cdot P \cdot V_{CC} \quad (1)$$

其中， S —压力芯体的灵敏度；

P —压力；

V_{CC} —供电电压。

从公式中可以看出，硅压阻压力芯体的输出信号 V_{Mz} 与电源电压 V_{CC} 和作用压力 P 成正比，即 $V_{Mz} = f(P, V_{CC})$ ，这意味着传感器压力芯体输出的信号与电源电压的变化同步变化：一种被称为“比例”（或者叫比率）的效应。例如，如果电源电压 V_{CC} 变化 $\pm 5\%$ 成为 V_{CC1} ，则压力芯体的输出信号 V_{Mz} 会以相同的比率

是使用 DA 数模转换器 (DAC) 将数字信号转换为模拟信号 (图 3)。

DAC 将相对于参考电压 V_{Ref} 作为基准电压的数字信号转换为模拟电压信号。在相同的数字信号输入和相同的分辨率的情况下, 模拟电压输出会随着 DAC 基准电压 $V_{Ref, DAC}$ 减小而减小, 随着基准电压 $V_{Ref, DAC}$ 增加而增加。ADC 和 DAC 的基准电压 $V_{Ref, ADC}$ 和 $V_{Ref, DAC}$ 都是直接连在 AMS 5812 的电源电压 V_{CC} 上的, 因此压力芯体的信号输出时, 比例电压信号经过 ADC 模数转换变为非比例输出的数字信号, 然后再通过 DAC 数模转换成模拟的比例电压输出信号。因此, AMS 5812 的模拟输出电压最终是与电源电压成比例变化的。相反, 由 ADC 模数转换并由微控制器处理的数字信号与电源电压则不是成比例变化的。

在 $V_{CC}=5V$ 情况下, 由比例电压信号的条件(公式 2) 得出比例电压信号为:

$$\begin{aligned} V_{out1}(P, V_{CC1}) &= V_{out}(P, V_{CC}) \cdot \frac{V_{CC1}}{V_{CC}} \\ &= V_{out}(P, V_{CC}) \cdot \frac{V_{CC1}}{5V} \end{aligned} \quad (4a)$$

比如传感器 AMS 5812 在电源电压 $V_{CC}=5V$ 和压力 P_0 为零时, 应该输出 $V_{out}=0.5V$, 对于电源电压的变化 $V_{CC1}=5V \pm 5\%$ 时, 输出电压为:

$$\begin{aligned} V_{out1}(P_0, V_{CC1}) &= 0.5V \cdot \frac{V_{CC1}}{5V} = 0.5V \cdot (1 \pm 0.05) \\ &= 0.5V \pm 0.025V \end{aligned} \quad (4b)$$

这个输出电压值是在电源电压为 V_{CC1} 时的正确的比例电压输出信号, 这意味着输出信号的稳定性直接取决于供电电压的稳定性。

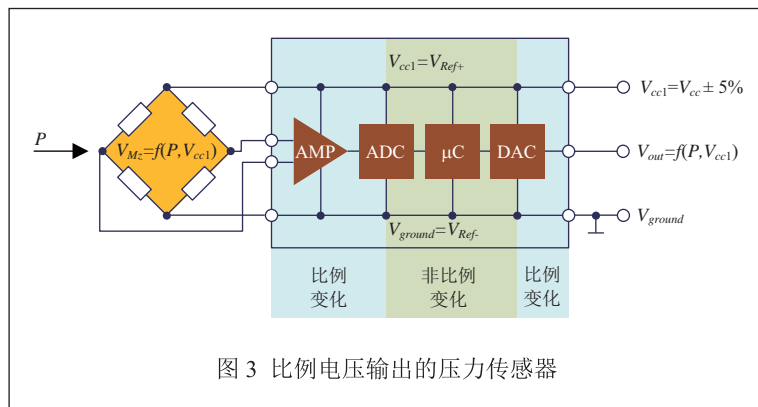


图 3 比例电压输出的压力传感器

六、比例电压信号的误差

通常在输出比例电压信号的传感器的电气参数表中会列出比例信号的误差。这个误差就是输出信号的实际测量值与公式 (4) 的计算值的偏差:

$$\frac{V_{out1}(\text{测量}) - V_{out1}(P, V_{CC1})}{V_{out1}(P, V_{CC1})} \times 100\% = \text{比例信号误差} \quad (5)$$

这个比例误差不要与在 V_{CC} 时的输出信号和在 V_{CC1} 时的输出信号之间的偏差相混淆。

七、非比例电压信号输出的压力传感器

比例电压信号的测量是来自于汽车行业对传感器器件的测量要求。如果 5V 电路板上的电源电压发生变化, 则希望从传感器的相应输出值中就可以知道这一情况。

由于车辆中的许多比例电压传感器都由中央电源统一供电, 因此电压波动的影响都可以通过统一的校正, 从而实现信号同步测量; 另外一个原因是节省了每个传感器都要一个标准参考电压器件, 这在具有大量传感器的现代车辆中非常重要。

在汽车行业以及在传感器 AMS 5812 中, 采用 5V 供电的传感器的典型输出信号为 0.5V~4.5V 比例电压输出信号。比例电压测量是指输出的电压信号在电源电压为 $5V \pm 5\%$ 的变化范围内可以相应变化。

0.5V~4.5V 输出信号的优点就是这个电压范围大小。如果输出信号是 $<0.3V$ 或 $>4.7V$, 那么可以知道传感器存在故障, 而这个电压可以通过电路检测出来 ($0.3V$ 和 $4.7V$ 的电位是通过电源电压允许波动的范围 ($\pm 5\%$) 计算得出的)。

允许电源电压范围较大的传感器 (例如 $V_{CC}=10-30V$) 或在电源电压 $>6V$ 工作的传感器一定是有一个稳定的 3V 或 5V 以提供内部信号处理电路的电压。由于不再存在电源电压波动的风险, 也就不需要考虑比例电压的问题。

例如, 图 4 中的差分压力变送器 AMS 4711 [4] 使用 8V~36V 的电源电压工作, 这是符合工业标准要求



图4 差分压力传感器 AMS 4711

器。该传感器内部集成有一个 5.50V 的恒压源，可以为压力芯体和集成电路 ASIC 供电。因此，它可以产生 5V 的非比例模拟电压输出。

八、总结

通过一个具有模拟比例电压输出和数字输出的 OEM 传感器——AMS 5812 的例子，详细介绍了有关比例电压信号的原理和应用，同时也解释了为什么在这个传感器中模拟输出信号是比例电压信号，而数字信号不是比例电压信号。此外，文章还给出了比例电压信号的误差计算公式，这个误差常常会在各种误差考虑中被忽略。

在现代自动化设备中传感器越来越多，它们都是可以通过统一的中央电源供电，所有比例电压输出的传感器可以在电源电压波动的时候同步得到修正，每个传感器也不再需要一个基准电压器件。以压力传感器 AMS 4711 为例，介绍了一种非比例电压信号输出的模拟电压信号输出的压力变送器。

参考文献

- [1] Analog Microelectronics GmbH. AMS 5812- Drucksensor mit analogem & digitalem Ausgang [EB/OL]. <http://www.amsys.de/produkte/drucksensoren/ams5812-analog-digita-ler-drucksensor/>
- [2] Analog Microelectronics GmbH. AMS 5812-OEM-Drucksensor mit analogem und digitalem Ausgang [EB/OL]. <http://www.amsys.de/downloads/notes/AMS5812-Differentielle-und-bidirektional-differentielle-Drucksensoren-510d.pdf>

[3] Analog Microelectronics GmbH. AMS 5812-OEM-Drucksensor mit analogem und digitalem Ausgang [EB/OL]. <http://www.amsys.de/downloads/notes/AMS5812-OEM-Drucksensor-mit-analogem-und-digitalem-Ausgang-AMSYS-511d.pdf>

[4] Analog Microelectronics GmbH. AMS 4711- Drucktransmitter mit 5V-Spannungsausgang [EB/OL]. <http://www.amsys.de/produkte/drucksensoren/ams-4711-drucksensor-mit-spannungsausgang/>

Proportional Voltage Output Signals of Pressure Sensors

Nobert Rauch¹, Translator: SHI Lin-sheng²

(1. *analog microelectronics GmbH, Mainz 55124, Germany*; 2. *Shanghai Yunsheng Microelectronics Ltd, Shanghai 201108, China*)

Abstract: There are more and more sensors in modern automation equipment, all of which can be powered by a unified central power supply. All sensors with proportional voltage outputs can be corrected synchronously when the power supply voltage fluctuates, so each sensor no longer needs a special reference voltage device. OEM pressure sensor AMS 5812 from AMG (analog microelectronics GmbH) is a kind of sensor, the analog and digital outputs of which are proportional to the measured pressures. With AMS 5812 as an example, the concept and application of proportional voltage outputs of pressure sensors are described in detail, and the error of proportional voltage output is discussed.

Key words: proportional voltage output; ADC conversion; DAC conversion; constant voltage source

作者简介

Nobert Rauch: 德国 AMG 公司，德国物理博士，研究方向为压力传感器和信号处理。

施林生（翻译）：上海芸生微电子有限公司，高级工程师，研究方向为压力传感器和信号处理。

通讯地址：上海市金都路 3000 号 1422 室

邮编：201108

邮箱：zzhyyun@126.com