

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷
G01F 1/696
G01F 23/00



[12] 发 明 专 利 说 明 书

[21] ZL 专利号 00810113.2

[45] 授权公告日 2005 年 6 月 15 日 [11] 授权公告号 CN 1206518C

[22] 申请日 2000.6.20 [21] 申请号 00810113.2 [30] 优先权 [32] 1999. 7. 9 [33] US [31] 09/350,747 [86] 国际申请 PCT/US2000/040254 2000.6.20 [87] 国际公布 WO2001/004582 英 2001.1.18 [85] 进入国家阶段日期 2002.1.9 [71] 专利权人 米克罗利斯公司 地址 美国马萨诸塞 [72] 发明人 飞索·塔里克 塔马斯·I·帕坦突斯 审查员 雒晓明	[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利 商标事务所 代理人 王以平
权利要求书 3 页 说明书 10 页 附图 3 页	

[54] 发明名称 用于传感器响应线性化的系统和方法

[57] 摘要

本发明涉及使用 k 次多项式从传感器信号(m)产生线性化传感器信号(p)的系统和方法。 k 次多项式的系数可由计算机使用最小二乘方法计算。对于 1 < j ≤ k, 计算机可计算 k 次多项式的第 j 个系数 α_j 的 (2j - 1) 次方根; 并把所述系数和得到的根 r_j 下载到数字信号处理器(DSP)内的存储器中。对于 1 < j ≤ k, DSP 可计算公式(I) 并把其结果与公式(9)相乘。所得到的项加到 α₁m 的计算中, 以产生 k 次多项式。 k 次多项式是线性化传感器信号。

$$(\alpha_j^{\frac{1}{2j-1}} m)^j \tag{I}$$

$$(\alpha_j^{\frac{1}{2j-1}})^{j-1} \tag{II}$$

I S S N 1 0 0 8 - 4 2 7 4

1. 一种在质量流量控制器中从传感流量信号产生线性化传感器信号的系统, 所述系统包括:

测量实际流量并输出传感流量信号的流量传感器; 以及

与计算机结合的数字信号处理器, 包括把传感流量信号转换成线性化传感器信号的指令; 以及

其中, 对所述计算机进行编程, 使得

(a) 计算 k 次多项式 $p(m)=\alpha_1 m+\alpha_2 m^2+\dots+\alpha_k m^k$ 的计算系数 α_j , 在此, $p(m)$ 是所述线性化传感器信号, m 为所述传感流量信号, 而 α_j 为一组计算系数, 且 $j=1, 2 \dots k$;

(b) 对于 $2 < j \leq k$, 计算 $\alpha_j^{\frac{1}{2j-1}}$; 以及

(c) 把步骤(a)-(b)的结果下载到所述数字信号处理器的存储器中;

其中所述数字信号处理器被编程为按公式

$$p(m) = (\alpha_1 m) + \sum_{j=2}^k \left(\left(\alpha_j^{\frac{1}{2j-1}} m \right)^j \left(\alpha_j^{\frac{1}{2j-1}} \right)^{j-1} \right) \text{ 计算所述线性化传感器信号。}$$

2. 如权利要求 1 所述的系统, 其中, 对所述数字信号处理器进行编程, 使得:

(a) 对于 $2 < j \leq k$, 计算 $(\alpha_j^{\frac{1}{2j-1}} m)^j$;

(b) 对于 $2 < j \leq k$, 计算 $(\alpha_j^{\frac{1}{2j-1}})^{j-1}$;

(c) 对于 $2 < j \leq k$, 计算 $(\alpha_j^{\frac{1}{2j-1}} m)^j (\alpha_j^{\frac{1}{2j-1}})^{j-1}$; 以及

(d) 计算 $(\alpha_1 m)$ 。

3. 如权利要求 1 所述的系统, 其中, 在把所述传感流量信号转换为所述线性化传感器信号之前, 所述传感流量信号用 A-D 转换器数字化。

4. 如权利要求 1 所述的系统, 其中, 所述 k 次多项式 $p(m)=\alpha_1 m+\alpha_2 m^2+\dots+\alpha_k m^k$ 的所述一组计算系数 α_j 用最小二乘方误差方法计算。

5. 如权利要求 1 所述的系统, 其中, 对所述数字信号处理器进一步

编程,使得产生用于控制所述质量流量控制器内阀门的阀门控制信号。

6. 如权利要求 2 所述的系统,其中,对所述计算机进行编程,使得用最小二乘方误差方法计算所述计算系数 α_j 。

7. 一种从传感器信号产生线性化传感器信号的方法,所述方法包括:
从测量处理参数的传感器产生所述传感器信号;

使用与计算机结合的数字信号处理器,从所述传感器信号产生所述线性化传感器信号; 以及

其中,对所述计算机进行编程,使得

(a) 计算 k 次多项式 $p(m)=\alpha_1 m+\alpha_2 m^2+\dots+\alpha_k m^k$ 的计算系数 α_j , 在此, $p(m)$ 是所述线性化传感器信号, m 为所述传感器信号, 而 α_j 为一组计算系数, 且 $j=1,2\dots k$;

(b) 对于 $2 < j \leq k$, 计算 $\alpha_j^{\frac{1}{2j-1}}$; 以及

(c) 把步骤(a)-(b)的结果下载到所述数字信号处理器的存储器中, 其中所述数字信号处理器被编程为按公式

$$p(m) = (\alpha_1 m) + \sum_{j=2}^k \left(\left(\alpha_j^{\frac{1}{2j-1}} m \right)^j \left(\alpha_j^{\frac{1}{2j-1}} \right)^{j-1} \right) \text{ 计算所述线性化传感器信号。}$$

8. 如权利要求 7 所述的方法, 其中, 对所述数字信号处理器进行编程, 使得:

(a) 对于 $2 < j \leq k$, 计算 $(\alpha_j^{\frac{1}{2j-1}} m)^j$;

(b) 对于 $2 < j \leq k$, 计算 $(\alpha_j^{\frac{1}{2j-1}})^{j-1}$;

(c) 对于 $2 < j \leq k$, 计算 $(\alpha_j^{\frac{1}{2j-1}} m)^j (\alpha_j^{\frac{1}{2j-1}})^{j-1}$; 以及

(d) 计算 $(\alpha_1 m)$ 。

9. 如权利要求 7 所述的方法, 其中, 所述 k 次多项式 $p(m)=\alpha_1 m+\alpha_2 m^2+\dots+\alpha_k m^k$ 的所述计算系数 α_j 用最小二乘方误差方法计算。

10. 如权利要求 7 所述的方法, 其中, 所述传感器包括在质量流量控制器内的流量传感器, 并且其中所述处理参数包括流量。

11. 如权利要求 7 所述的方法, 其中, 对所述数字信号处理器进行编

程,使得:

- (a) 对于 $1 < j \leq k$, 计算 $(\alpha_j^{\frac{1}{2^{j-1}}} m)^j$;
- (b) 对于 $2 < j \leq k$, 计算 $(\alpha_j^{\frac{1}{2^{j-1}}})^{j-1}$;
- (c) 对于 $2 < j \leq k$, 计算 $(\alpha_j^{\frac{1}{2^{j-1}}} m)^j (\alpha_j^{\frac{1}{2^{j-1}}})^{j-1}$; 以及
- (d) 计算 $(\alpha_1 m)$.

12. 如权利要求 7 所述的方法, 其中, 在把所述传感器信号转换为所述线性化传感器信号之前, 所述传感器信号用 A-D 转换器数字化。

13. 如权利要求 7 所述的方法, 其中, 对所述数字信号处理器进一步编程, 使得产生用于控制阀门的阀门控制信号。

用于传感器响应线性化的系统和方法

技术领域

本发明一般涉及传感器响应线性化系统和方法，并更具体地涉及质量流量控制器中的传感器响应线性化系统和方法。

背景技术

换能器（传感器）是用于把一种形式的能量转换成另一种形式能量的物体。传感器有多种类型，如压力传感器、电传感器、化学传感器和温度传感器。传感器提供关于工艺状态的信息。此信息经常用于监视器中和用于控制工艺。传感器在半导体工业中广泛应用，密切监视和控制各种生产工艺。随着通道长度和线宽的减少，半导体工业中可容许的工艺变化也减少。因此，半导体工业中的传感器必须产生准确和可靠的结果，以便可仔细和精确地监视工艺。

一种常用于半导体工艺的传感器是流量传感器。流量传感器测量进入处理室的气流。流量传感器一般为热传感器。热流传感器通常包括两个环绕毛细管的电阻温度传感器。当气体流经传感器时，热量被带至下游，温差与气体的质量流量成比例。不幸地是，许多传感器，包括流量传感器，具有固有的非线性响应。结果，在把传感器信号输入到控制系统之前，已使用了许多使传感器输出线性化的方法。

现有技术的传感器线性化的模拟方法已通过使用非线性电子元件如二极管和晶体管而实现。这些非线性电子元件经常布置在补偿电路拓扑布局中，从而使补偿电路的非线性特性与传感器非线性响应相反。图 1 示出补偿电路拓扑布局的修正响应 10、传感器响应 12 和所获得的线性化响应 14 之间的关系。

遗憾地是，使用补偿电路具有先天的问题。首先，这些类型的补偿电路通常由技术人员手工调整并且是冗长且费时间的校准工艺。其次，

非线性元件随着温度变化而改变其特性，并且零点的任何漂移在修正输出中都导致大的误差。零点的漂移还可由传感器本身产生。这些误差源可用数字方法减少或彻底消除。

数字方法包括使传感器与数字微处理器接口。当传感器与微处理器接口时，非线性传感器特性可由计算方法修正。这些计算方法包括多项式曲线拟合。

遗憾地是，数字方法也有一些缺陷。多项式曲线的系数通常用数学公式计算，这些数学公式对于使用整数运算的大多数微处理器而言太烦琐。另外，计算中还包括对于线性化微处理器的限界数域而言太大或大小的数字。如果多项式的次数大于2，形势就进一步变坏。

用于传感器线性化的其它方法包括结合模拟和数字技术。然而，这些方法还受到微处理器中辅助电路元件或限界数域的限制。

最后，对于传感器响应线性化技术，需要克服现有技术的模拟和数字线性化方法中的缺陷。此方法应能使传感器的校准需要少许的或甚至根本不需要技术人员或工程师的人工干涉。而且，此方法应不受有助于线性化处理的电路或计算机元件的限制。

例如，在以下出版物中描述其它的现有技术系统：欧洲专利申请 EP-A-0 890828 (Emerson Electric Co.)，1999 年 1 月 13 日；欧洲专利申请 EP-A-0 834723 (Emerson Electric Co.)，1998 年 4 月 8 日；美国专利 US-A-4 059982 (Bowman)，1977 年 11 月 29 日；美国专利 US-A-5 369603 (Myers)，1994 年 11 月 29 日；以及欧洲专利申请 EP-A-0 519751 (Exxon Research Engineering Co.)，1992 年 12 月 23 日。

发明内容

本发明提供用于传感器响应线性化的系统和方法，此系统和方法基本上消除或减少与先前开发的用于传感器响应线性化的系统和方法相关的缺陷和问题。

根据本发明一方面，提供一种在质量流量控制器中从传感流量信号产生线性化传感器信号的系统，所述系统包括：测量实际流量并输出传

感流量信号的流量传感器；以及与计算机结合的数字信号处理器，包括把传感流量信号转换成线性化传感器信号的指令；以及其中，对所述计算机进行编程，使得（a）计算 k 次多项式 $p(m)=\alpha_1 m+\alpha_2 m^2+\dots+\alpha_k m^k$ 的计算系数 α_j ，在此， $p(m)$ 是所述线性化传感器信号， m 为所述传感流量信号，而 α_j 为一组计算系数，且 $j=1,2\dots k$ ；（b）对于 $2<j\leq k$ ，计算 $\alpha_j^{\frac{1}{2j-1}}$ ；以及（c）把步骤(a)-(b)的结果下载到所述数字信号处理器的存储器中；其中所述数字信号处理器被编程为按公式

$$p(m) = (\alpha_1 m) + \sum_{j=2}^k \left(\left(\alpha_j^{\frac{1}{2j-1}} m \right)^j \left(\alpha_j^{\frac{1}{2j-1}} \right)^{j-1} \right)$$

计算所述线性化传感器信号。

根据本发明另一方面，提供一种从传感流量信号产生线性化传感器信号的方法，所述方法包括：从测量处理参数的传感器产生所述传感器信号；使用与计算机结合的数字信号处理器，从所述传感器信号产生所述线性化传感器信号；以及其中，对所述计算机进行编程，使得（a）计算 k 次多项式 $p(m)=\alpha_1 m+\alpha_2 m^2+\dots+\alpha_k m^k$ 的计算系数 α_j ，在此， $p(m)$ 是所述线性化传感器信号， m 为所述传感器信号，而 α_j 为一组计算系数，且 $j=1,2\dots k$ ；（b）对于 $2<j\leq k$ ，计算 $\alpha_j^{\frac{1}{2j-1}}$ ；以及（c）把步骤(a)-(b)的结果下载到所述数字信号处理器的存储器中，其中所述数字信号处理器被编程为按公式 $p(m) = (\alpha_1 m) + \sum_{j=2}^k \left(\left(\alpha_j^{\frac{1}{2j-1}} m \right)^j \left(\alpha_j^{\frac{1}{2j-1}} \right)^{j-1} \right)$ 计算所述线性化传感器信号。

更具体地，本发明提供一种使用 k 次多项式从传感器信号 m 产生线性化传感器信号 p 的方法。 k 次多项式的系数可用最小二乘方法计算。计算机可用于计算 k 次多项式的第 j 个系数 α_j 的 $(2j-1)$ 次方根，其中 $2<j\leq k$ ；并把所述系数和得到的根 r_j 下载到数字信号处理器（DSP）内的存储器中。对于 $2<j\leq k$ ，DSP 可计算 $(\alpha_j^{\frac{1}{2j-1}} m)^j$ 并把其结果与 $(\alpha_j^{\frac{1}{2j-1}})^{j-1}$ 相乘。所得到的项加到 $\alpha_1 m$ 的计算中，以产生 k 次多项式。 k 次多项式是线性化的传感器信号。

本发明提供一种技术优点：它不需要技术人员或工程师的人工校准或“干涉”。对于各种已知的处理速度，计算机基于传感器的输出进行校准。与现有技术的模拟校准方法不同，本方法不需要模拟电路元件的“干

涉”来调整补偿电路。

本发明还提供另一种技术优点：它可使计算机适应非常小和非常大的数相乘。但在用于控制系统的现有微处理器上，使用这些数字的计算可导致因限界数域而引起的误差。通过实现对非常小和非常大的数的准确计算，本发明提供一种更准确的数字线性化方法。

附图说明

通过参考以下描述并结合附图可以对本发明及其优点有更完全的理解，在附图中，相同的参考号代表相同的部件，其中。

图1为现有技术中修正响应、传感器响应和线性化响应的曲线图；

图2为本发明一个实施例的方框图；

图3为校准处理的一个实施例的流程图；

图4A表示线性化处理的一个实施例的总流程图；

图4B为线性化处理的一个实施例的详细流程图；以及

图5为本发明的另一个实施例。

具体实施方式

在附图中示出本发明的优选实施例，在各个附图中相同的参考号用于表示相同和相应的部件。

本发明提供一种使用 k 次多项式来对传感器信号线性化的方法。当用于大数和小数的数域被限制时，此方法能进行大数乘小数的处理。另

外, 通过使用具有整数运算和限界数域的 DSP 型微处理器, 此算法使得更高次的多项式近似可行。

图 2 为本发明一个实施例的方框图。传感器 16 可产生模拟传感器信号 18。模拟传感器信号 18 输入到模-数转换器 (ADC) 20 中, 产生数字传感器信号 22。数字传感器信号 22 输入到数字信号处理器 (DSP) 24 中。DSP 24 与计算机 26 结合, 产生线性化数字传感器信号 28。

图 3 为图 2 所示实施例的流程图。在使用图 2 系统产生线性化数字传感器信号 28 之前, 计算机 26 可执行校准处理。图 3 为校准处理的一个实施例的流程图。计算机 26 可用功能强大的测试和测量软件执行校准处理。在步骤 32, 获得一组数据:

$$\{m_1, f_1, m_2, f_2, \dots, m_n, f_n\} \quad [\text{公式 1}]$$

m_i 表示传感器 16 的数字传感器信号 22 的第 i 个测量值, f_i 为所述被测量处理相应的实际值, 并且 $i=1, n$, 在此, n 为测量值的数量。线性化方法可对数字传感器信号 22 执行多项式拟合。多项式由以下给出:

$$p_i(m_i) = a_1 m_i + a_2 m_i^2 + \dots + a_k m_i^k, \quad [\text{公式 2}]$$

在此, p_i 为数字传感器信号 22 的第 i 个测量值 m_i 的第 i 个预测 (线性化) 值, 而 k 为多项式的次且 $k \leq n-1$ 。使用校准来计算公式 2 中多项式的系数 ($\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$)。此系数在步骤 34 用最小误差平方法计算。在此方法中, 适当选择系数 ($\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$) 使得所有 n 个数据点的预测值和实际值之间的总误差最小。如果总误差 S 由各个误差平方的总和得出:

$$S = \sum_{i=1}^n (p_i - f_i)^2 = \sum_{i=1}^n (a_1 m_i + a_2 m_i^2 + \dots + a_k m_i^k - f_i)^2 \quad [\text{公式 3}]$$

那么, 可选择 $p_i(m_i)$ 的系数使:

$$\frac{\partial S}{\partial a_1} = \frac{\partial S}{\partial a_2} = \dots = \frac{\partial S}{\partial a_k} = 0 \quad [\text{公式 4}]$$

一旦已在步骤 36 中计算所述系数, 计算机 26 便可计算第 j 个系数

α_j 的 $(2j-1)$ 次方根, 其中 $2 < j \leq k$:

$$r_j = \alpha_j^{\frac{1}{2j-1}} \quad [\text{公式 6}]$$

在步骤 38, 计算机 26 以二进制的形式把所述系数和所得到的根 r_j 下载到 DSP 24 的存储器中。

图 4A 表示线性化处理的一个实施例的总流程图。对于 $2 < j \leq k$, 可执行步骤 40 和 42, 分别计算:

$$\left[\alpha_j^{\frac{1}{2j-1}} \right] m_i, \quad [\text{公式 7}]$$

和

$$\left[\left(\alpha_j^{\frac{1}{2j-1}} \right) m_i \right]^j \quad [\text{公式 8}]$$

在步骤 44, DSP 24 可用步骤 42 的结果乘以:

$$(\alpha_j^{\frac{1}{2j-1}})^{j-1} \quad [\text{公式 9}]$$

在步骤 46, 计算 $\alpha_1 m_i$ 。在步骤 48, 从步骤 44 得到的项加到 $\alpha_1 m_i$, 从第 i 个测量值产生第 i 个预测值 p_i 。

图 4B 表示线性化处理的另一个实施例的详细流程图。此处理从步骤 50 开始。在步骤 52, SUM 根据 SUM=0 进行初始化, 同时 j 根据公式 $j=2$ 进行初始化。在步骤 54, 得到数字传感器信号 22 的数字值 m_i 。 i 的范围从 1 到 n , 其中 n 为数字传感器信号 22 中数字值的数量。在步骤 56, 判断 j 是否大于 k 。如果 j 不大于 k , 就执行步骤 58。在步骤 58, 在 DSP 24 的存储器中检索 $r_j = \alpha_j^{\frac{1}{2j-1}}$ 。而且形成乘积 $t_j = r_j m_i$ 。在步骤 60, 初始化指数 $l=1$, 并且设变量 v_j 等于 t_j 。在步骤 62, 判断是否 $l=j$ 。在步骤 64, 如果 l 不等于 j , 那么变量 $v_j = v_j t_j$ 。在步骤 66, 指数 l 按 $l=l+1$ 增加。接着, 处理返回到步骤 62, 在此 l 与 j 进行比较。如果在步骤 62 中 $l=j$, 在步骤 68 指数 l 就被初始化为零。接着在步骤 70 判断是否 $l=j-1$ 。如果 l 不等于 $j-1$, 在步骤 72 中变量 v_j 就设为等于 $v_j r_j$ 。在步骤 74, l 接着按公式 $l=l+1$ 增加。然后此处理返回到步骤 70, 并且判断是否 $l=j-1$ 。如果指数 $l=j-1$, 在步骤 76 中 SUM 按公式 $SUM = SUM + v_j$ 增加。在

步骤 78 中, j 随后按公式 $j=j+1$ 增加。然后此处理返回到步骤 56, 在这判断 j 是否大于 k 。如果在步骤 56 中 j 大于 k , 就执行步骤 80。在步骤 80, 从 DSP 24 的存储器中得到变量 r_i , $r_i=\alpha_j$; 同时计算变量 t_i , $t_i=r_i m_i$ 。在步骤 82 中, 根据公式 $P_i=\text{SUM}+t_i$ 计算数字传感器信号 22 的第 i 个测量值 m_i 的第 i 个预测值。此处理在步骤 88 结束。

在图 4A 和 4B 中描述的方法基于以下数学现实。首先, 小于 1 的数字的更高次方根收敛于 1。其次, 奇整数方根保持此数的符号。例如, 假设 $\alpha_3=-0.0000034$, 它的立方根为 -0.015036946 而其 5 次方根为 -0.085927 。尽管原始数字 (-0.0000034) 在具有有限界数域的整数运算中是难以处理的, 但计算它的 5 次方根是简单明了的。当评价此多项式时, 立方项按如下计算:

$$\left((\alpha_3)^{\frac{1}{5}} m_i\right) \left((\alpha_3)^{\frac{1}{5}} m_i\right) \left((\alpha_3)^{\frac{1}{5}} m_i\right) \left((\alpha_3)^{\frac{1}{5}} m_i\right) \left((\alpha_3)^{\frac{1}{5}} m_i\right) = \alpha_3 m_i^5 \quad [\text{公式 10}]$$

由于 DSP 型微处理器可迅速地执行乘法, 公式要求 DSP 24 只执行五个重复的乘法:

- (1) 计算并存储 $((\alpha_3)^{\frac{1}{5}} m_i)$ (第 1 次乘法);
- (2) 所存储的数字自乘两次 (第 2 次和第 3 次乘法);
- (3) 把在(2)中得到的乘积与 $((\alpha_3)^{\frac{1}{5}} m_i)$ 乘两次 (第 4 次和第 5 次乘法)。

二阶项能以相似的方式进行计算。此方法易于扩充到更高阶的多项式近似, 只要更高阶项具有小于 1 的系数就行 (这是质量流量控制器应用的情况)。

图 5 表示本发明的一个实施例, 其中, 在质量流量控制器 90 的情形中发生传感器信号的线性化。在质量流量控制器 90 中, 流量传感器 92 测量实际流量 94。传感流量信号 96 输入到 ADC 98, 产生数字传感流量信号 100。随后, 数字传感流量信号 100 输入到 DSP 102 中。DSP 102 是可编程的, 以执行由线性化模块 104 和控制器 108 代表的任务。线性化模块 104 可以把数字传感流量信号 100 转换为线性化的数字传感流量信号 106。线性化的数字传感流量信号 106 输入到控制器 108 中。控制器 108 输出阀门驱动信号 110。阀门驱动信号 110 输入到阀门驱动电路

112. 阀门驱动电路 112 使阀门 114 动作, 阀门 114 直接影响实际流量 94。在校准处理过程中, DSP 102 通过计算机 116 如 PC 和 DSP 102 之间的连接与计算机 116 进行联系是行得通的。计算机 116 包括用于执行严密的数学计算并把这些计算下载到 DSP 102 的指令。这些计算可包括用于数字传感流量信号 100 的多项式拟合中的系数。

在图 5 中, 传感流量信号 96 可由 ADC 98 转换成数字传感流量信号 100。假设为单极输入电压, ADC 98 的最大输入电压的范围可划分成一定量的级数: 0-1024 (10 位 ADC); 0-4096 (12 位 ADC); 或 0-65536 (16 位 ADC)。最小的输入电压 0V 对应于 0 数字值, 同时最大的输入电压根据 ADC 98 的位数而分别对应于数字值 1023、4095 或 65535。大多数的模-数转换器也可处理双极信号。ADC 98 的数字输出范围可从 -512 到 511 (10 位 ADC)、-2048 到 2047 (12 位 ADC); 或 -32768 到 32767 (16 位 ADC)。现代数字信号处理器 (DSP) 计算机芯片一般支持从 -32768 到 +32767 (16 位) 的数域。本发明的线性化方法把数字传感流量信号 100 和线性化的数字传感流量信号 106 拟合成 DSP 102 数字范围的一部分。为了防止在 DSP 102 的运算单元中发生数字溢出, 数域总范围 (-32768 到 32767) 的一部分可用于线性化的数字传感流量信号 106。因而, 可给线性化的数字传感流量信号 106 的最大值分配一数字, 线性化的数字传感流量信号 106 对应于从流量传感器 92 输出的传感流量信号 96。

流量传感器 92 包括两个环绕毛细管的电阻性温度传感器。这两个电阻性温度传感器可耦合到用于调节由这两个电阻性温度传感器所产生的信号的接口电路。此种接口电路的具体参考在 T.I. Pattantyus 等在 1999 年 7 月 9 日申请的题为“改进的质量流量传感器接口电路”的美国专利申请 09/350746 中描述。

控制器 108 可用为本领域技术人员所熟知的数字控制方法操作。这些方法包括比例积分 (PI) 控制和导数控制。所述方法的具体参考在 E.Vyers 于 1999 年 7 月 9 日申请的题为“用于数字质量流量控制器的系统和方法”的美国专利申请 09/351120 中和在 E.Vyers 于 1999 年 7 月 9 日申请的题为“用于可变增益比例积分 (PI) 控制器的系统和方法”的

美国专利申请 09/351098 中描述。

阀门 114 可为电磁线圈控制阀。有许多电路配置可用于阀门驱动电路 112。这些配置把阀门驱动信号 110 转换成电磁线圈的驱动电流，以使电磁线圈驱动阀门 114。许多这样的电路包括控制元件如晶体管，此元件在电磁线圈上提供连续的电压或切换脉冲宽度的调制电压。切换的脉冲宽度是阀门驱动信号 110 的函数。在电磁线圈内产生平均电磁线圈电流，此电流为电磁线圈上电压的切换脉冲宽度的函数。电磁线圈电流可使阀门 114 动作。具体参考在 T.I. Pattantys 于 1999 年 7 月 9 日申请的题为“用于驱动电磁线圈的方法和系统”的美国专利申请 09/351111 中描述。

质量流量控制器可执行闭环控制算法。先进的数字控制算法在 K. Tinsley 于 1999 年 7 月 9 日申请的题为“数字质量流量控制器操作的系统和方法”的美国专利申请 09/350744 中描述，并引入本文作为参考。

必须指出，本发明并不局限于在包括上述参考部件和方法的质量流量控制器中的应用。

本发明的一个技术优点是，用于计算多项式拟合系数的校准程序不需要对传感器信号线性化的人工调整。与使用模拟补偿电路的现有技术方法不同，线性化的数字方法使用计算机 26 或 116 以计算所述系数。具有质量流量控制器 90 的校准处理可对已知的流量测量传感流量信号 96。计算机 116 使用此数据计算所述系数。所述校准处理不要求技术人员或工程师在任何补偿网络中，如那些在现有技术方法中使用的网络中，“干涉”电路元件而对所述数据进行人工线性化。

本发明的另一种技术优点是实现用于线性化的数字方法，此方法包括对非常小的数字的处理。例如，当 $\{m_1, m_n\}$ 间隔的大小与 $\{p_1, p_n\}$ 范围为相同的数量级时， α_i 接近于 1，并且乘积 $\alpha_1 m_i, \alpha_2 m_i^2, \dots, \alpha_k m_i^k$ 也接近于 1。然而，当 m 的值为从 0 到 25000 的任意数值时，容易看出 α_i 系数 ($i > 1$) 的值远小于 1。对于 DSP 102，难以处理如此小的系数并难以执行确定所述系数所需的严密计算。在质量流量控制器 90 的情况中，这些系数一般远小于 1。结果，这些系数增加的幂接近于 0。DSP 102 中的限界

数域可防止所述系数的准确计算。使用计算机 116 允许所述系数在比 DSP 102 功能更强大的计算环境中进行计算。在此指出，DSP 一般没有 PC 那么功能强大。程序、ROM 和 RAM 存储器的容量在 DSP 中比在 PC 中更受限制。

总而言之，所述方法使得在大数和小数的数域都受限制时大数乘以小数的处理能够实现。进而，此算法使用具有整数运算的 DSP 型微处理器而使更高次的多项式近似易于进行。

尽管本发明已在此结合说明性的实施例进行了描述，但应该理解，此描述是仅结合实例进行解释的，但并不就认为是受此限制。因此应该进一步理解，通过结合此描述，对于本领域技术人员，可对本发明实施例的细节作许多改变，并且本发明的辅助实施例是显而易见的和可实现的。可以预计，所有这些改变和辅助实施例都在本发明后附权利要求的范围之内。

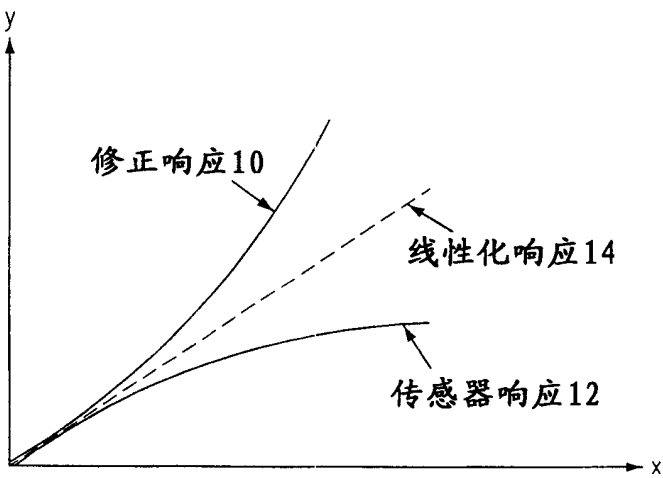


图1

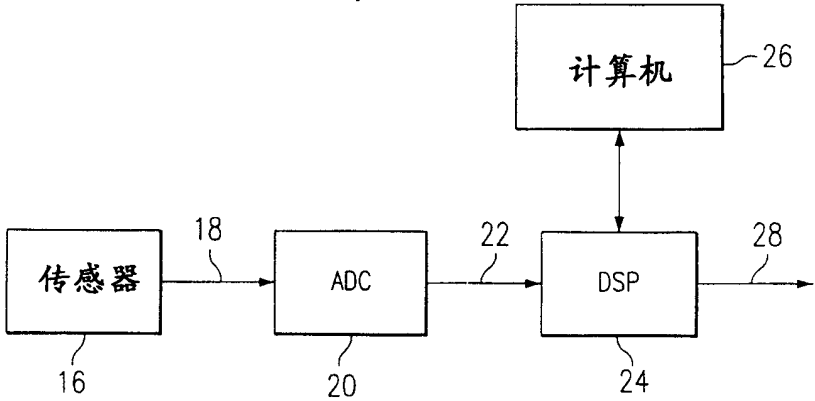


图2

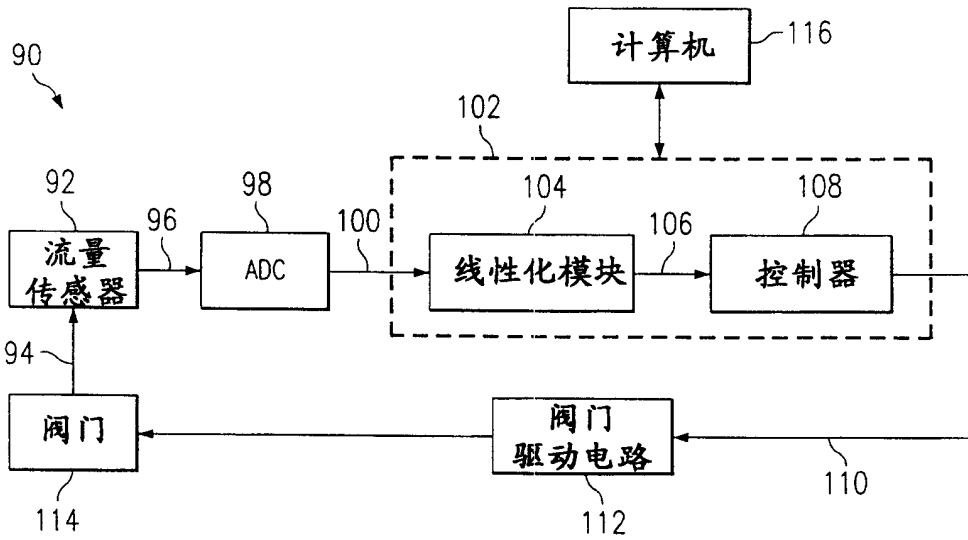


图5

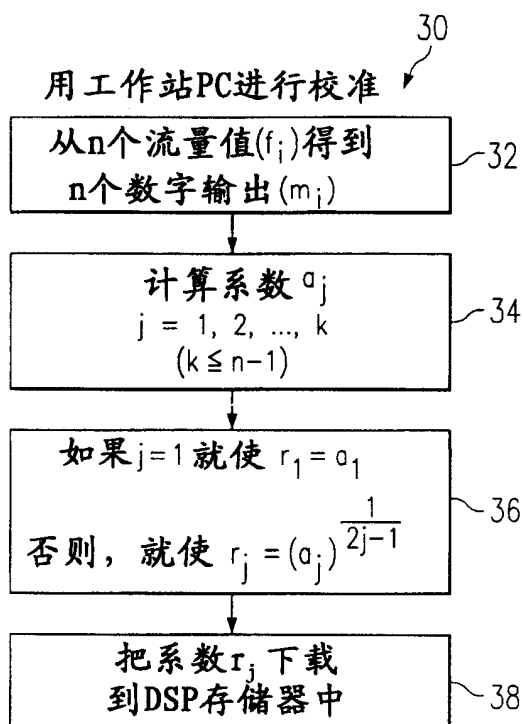


图 3

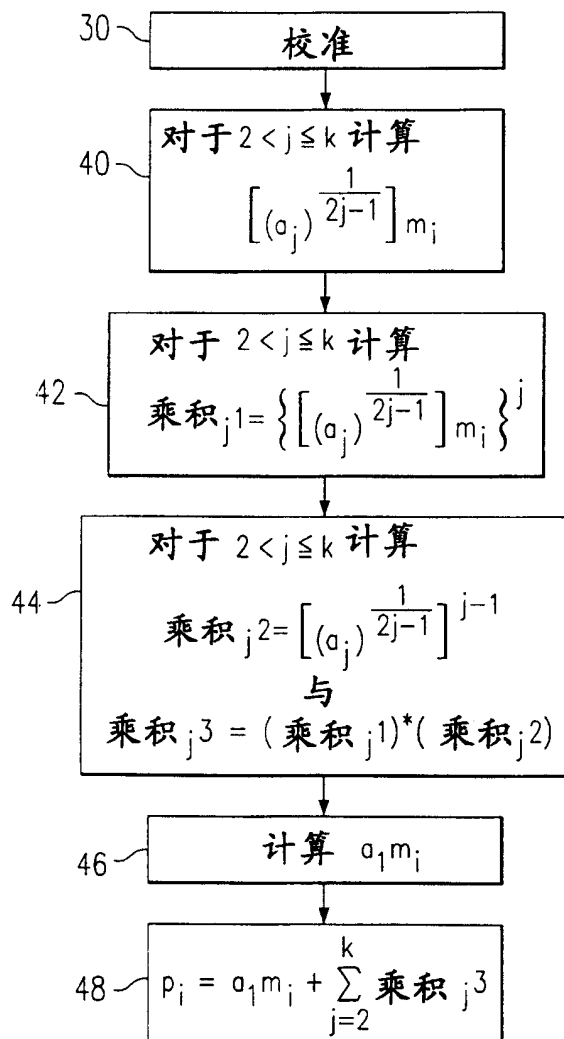


图 4A

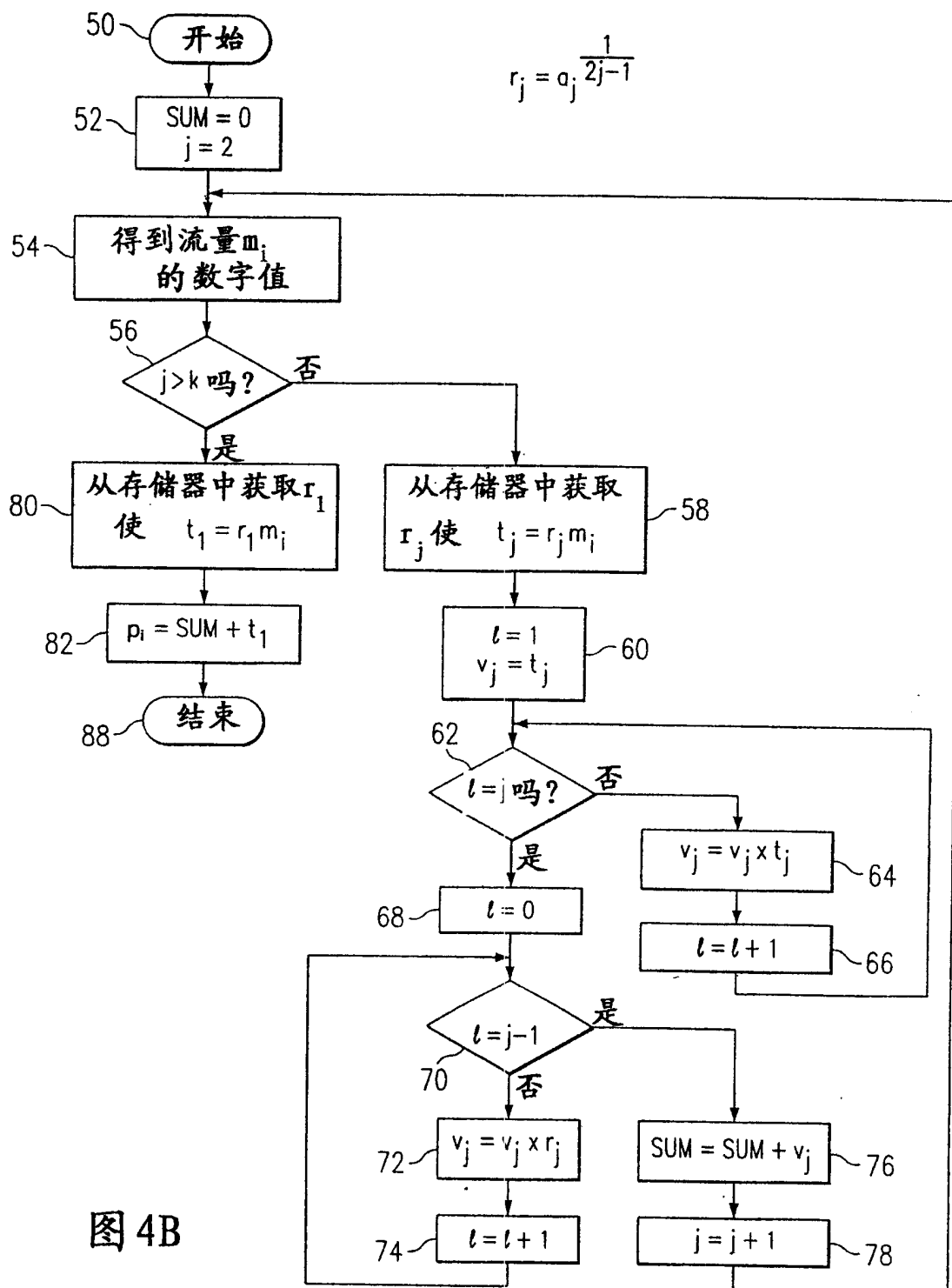


图 4B