



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101454735 B

(45) 授权公告日 2013. 07. 17

(21) 申请号 200780019535. 1

(22) 申请日 2007. 04. 27

(30) 优先权数据

11/413, 780 2006. 04. 28 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2008. 11. 27

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2007/067593 2007. 04. 27

(87) PCT申请的公布数据

W02007/127897 EN 2007. 11. 08

(73) 专利权人 日立金属株式会社

地址 日本东京都

(72) 发明人 A·斯米尔诺夫

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 韩宏

(51) Int. Cl.

G05D 7/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 4218733, 1980. 08. 19, 全文.

US 2003/0141925 A1, 2003. 07. 31, 参见说明书第 0057 段 - 0059 段, 图 1-8.

US 2003/0236592 A1, 2003. 12. 25, 全文.

US 2005/0027373 A1, 2005. 02. 03, 全文.

CN 1688948 A, 2005. 10. 26, 说明书第 5 页第 2 段 - 第 7 页倒数第 1 段, 第 15 页倒数第 2 段, 第 24 页倒数第 1 段 - 第 25 页第 2 段, 第 28 页第 4 段 - 第 29 页第 2 段, 第 36 页倒数第 1 段 - 第 40 页第 2 段, 第 49 页第 2 段 - 第 55 页第 2 段, 第 57 页第 3 段, 第 66 页倒数第 1 段, 图 1-16.

审查员 王青伟

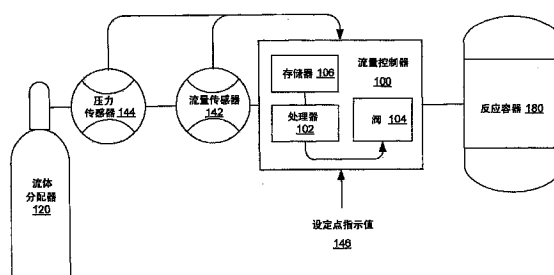
权利要求书3页 说明书9页 附图7页

(54) 发明名称

自适应响应时间闭环控制算法

(57) 摘要

本发明描述了一种使用自适应闭环控制算法来控制流体流量的系统和方法。一个实施例包括用于接收设定点指示值和 / 或由传感器产生的传感器指示值的方法。当基于所述传感器指示值和 / 或设定点指示值满足至少一个阈值时修改闭环控制算法的响应时间。响应于对所述闭环控制算法的响应时间的修改, 通过调节与闭环控制算法相关联的至少一个参数来稳定由流量控制器实现的闭环控制算法。



1. 一种用于控制流体流量的方法,包括:

接收设定点指示值,所述设定点指示值指示流体流量设定点;

接收由传感器产生的传感器指示值,所述传感器指示值指示所述流体的流率;

偏置自适应闭环控制算法和相关联的参数,使得所述自适应闭环控制算法具有缓慢模式;

在基于所述传感器指示值或所述设定点指示值中的至少一个满足至少一个阈值条件时,将所述自适应闭环控制算法从所述缓慢模式修改到快速模式,所述闭环控制算法与流量控制器相关联;

将所述自适应闭环控制算法从所述快速模式修改回到所述缓慢模式;以及

响应于对所述自适应闭环控制算法的响应时间的修改,通过调节与所述自适应闭环控制算法相关联的至少一个参数来稳定所述自适应闭环控制算法。

2. 如权利要求1所述的方法,还包括检测所述传感器指示值或所述设定点指示值中的至少一个的变化,所述至少一个阈值条件通过所述变化来满足。

3. 如权利要求1所述的方法,还包括检测所述传感器指示值或所述设定点指示值中的至少一个的变化率,所述至少一个阈值条件通过所述变化率来满足。

4. 如权利要求1所述的方法,其中:

所述至少一个阈值条件基于流率误差值,所述流率误差值是所述流体流量设定点与所述流体的所述流率之间的差异。

5. 如权利要求1所述的方法,其中所述修改包括加速或减速中的至少一个。

6. 如权利要求1所述的方法,其中所述修改包括响应于通过所述流量控制器的流体流率的变化并且根据数学方程来进行修改。

7. 如权利要求1所述的方法,还包括通过基于所述传感器指示值或所述设定点指示值中的至少一个修改自适应增益来补偿与所述流量控制器相关联的至少一个非线性特性,所述自适应增益与所述自适应闭环控制算法相关联,修改所述自适应增益包括:响应于通过所述流量控制器的流体流率的变化并且根据数学方程来进行修改。

8. 如权利要求1所述的方法,其中所述修改包括:修改与所述自适应闭环控制算法相关联的至少一个滤波器。

9. 如权利要求1所述的方法,其中所述修改包括:通过调节与反馈滤波器相关联的时间常数来修改所述反馈滤波器的响应时间,所述反馈滤波器与所述自适应闭环控制算法相关联。

10. 如权利要求1所述的方法,其中所述至少一个参数是与所述自适应闭环控制算法相关联的调整参数。

11. 如权利要求1所述的方法,其中所述稳定包括:基于所述传感器指示值或所述设定点指示值中的至少一个来进行稳定。

12. 如权利要求1所述的方法,其中所述自适应闭环控制算法基于比例控制、积分控制或微分控制中的至少一个。

13. 如权利要求1所述的方法,其中所述传感器是流量传感器、定时器、压力传感器或温度传感器中的至少一个。

14. 一种用于控制流体流量的方法,包括:

接收设定点指示值,所述设定点指示值指示流体流量设定点;

接收由传感器产生的传感器指示值,所述传感器指示值指示所述流体的流率;

偏置自适应闭环控制算法和相关联的参数,使得所述自适应闭环控制算法具有缓慢模式;

基于所述传感器指示值或所述设定点指示值中的至少一个,将反馈滤波器从缓慢模式修改到快速模式,所述反馈滤波器与所述自适应闭环控制算法相关联,所述自适应闭环控制算法与流量控制器相关联;

将所述反馈滤波器从所述快速模式修改回到所述缓慢模式;以及

基于对所述反馈滤波器的所述修改来改变与所述自适应闭环控制算法相关联的调整参数,当所述反馈滤波器被修改时,改变所述调整参数以稳定所述自适应闭环控制算法。

15. 如权利要求 14 所述的方法,还包括基于所述传感器指示值或所述设定点指示值中的至少一个来修改自适应增益,所述自适应增益在所述自适应闭环控制算法中用于补偿与所述流量控制器相关联的至少一个非线性特性。

16. 如权利要求 14 所述的方法,还包括基于所述传感器指示值或所述设定点指示值中的至少一个来修改自适应增益,所述自适应增益在所述自适应闭环控制算法中用于补偿与所述流量控制器相关联的至少一个非线性特性,修改所述自适应增益的步骤包括:响应于通过所述流量控制器的流体流率的变化并且根据数学方程来进行修改。

17. 如权利要求 14 所述的方法,其中修改所述反馈滤波器的步骤包括:通过调节与所述反馈滤波器相关联的时间常数来修改与所述反馈滤波器相关联的响应时间。

18. 如权利要求 14 所述的方法,其中所述自适应闭环控制算法基于比例控制、积分控制或微分控制中的至少一个。

19. 如权利要求 14 所述的方法,其中所述调整参数与所述自适应闭环控制算法的积分控制部分相关联。

20. 如权利要求 14 所述的方法,其中所述传感器是流量传感器、定时器、压力传感器或温度传感器中的至少一个。

21. 如权利要求 14 所述的方法,其中修改所述反馈滤波器的步骤包括:响应于通过所述流量控制器的流体流率的变化并且根据数学方程来进行修改。

22. 如权利要求 14 所述的方法,其中所述反馈滤波器处于所述缓慢模式时所述自适应闭环控制算法的响应时间不同于所述反馈滤波器处于所述快速模式时所述自适应闭环控制算法的响应时间。

23. 如权利要求 14 所述的方法,其中修改所述反馈滤波器的步骤包括:参考与所述传感器指示值或所述设定点指示值中的至少一个相关联的至少一个阈值来进行修改。

24. 如权利要求 14 所述的方法,其中修改所述反馈滤波器的步骤包括:响应于通过所述流量控制器的流体流率的变化并且根据数学方程来逐渐地修改所述反馈滤波器。

25. 一种质量流量控制器,包括:

处理器,被配置为偏置自适应闭环控制算法和相关联的参数以使得所述自适应闭环控制算法具有缓慢模式并在基于由传感器产生的传感器指示值或设定点指示值中的至少一个满足至少一个阈值时将所述自适应闭环控制算法从所述缓慢模式修改到快速模式,所述处理器通过修改与所述自适应闭环控制算法相关联的反馈滤波器和与所述自适应闭环控

制算法相关联的调整参数来修改所述自适应闭环控制算法,并且所述处理器将所述自适应闭环控制算法修改回到所述缓慢模式;以及

存储器,被配置为存储与所述反馈滤波器和所述调整参数中的至少一个相关联的参数,所述处理器从所述存储器访问所述参数。

26. 如权利要求 25 所述的质量流量控制器,还包括阀,所述阀被配置为响应于控制指示值而打开和关闭,所述控制指示值由所述处理器基于所述自适应闭环控制算法来产生。

27. 如权利要求 25 所述的质量流量控制器,其中所述传感器是流量传感器、定时器、压力传感器或温度传感器中的至少一个。

28. 如权利要求 25 所述的质量流量控制器,其中所述处理器被配置为基于所述传感器指示值或所述设定点指示值中的至少一个来修改与所述自适应闭环控制算法相关联的自适应增益,所述自适应增益在所述自适应闭环控制算法中用于补偿与所述阀相关联的至少一个非线性特性。

29. 如权利要求 25 所述的质量流量控制器,还包括存储器,所述存储器被配置为存储所述至少一个阈值,所述处理器被配置为从所述存储器访问所述至少一个阈值。

自适应响应时间闭环控制算法

技术领域

[0001] 本发明涉及控制系统,并且本发明尤其但并非仅限于涉及用于使用自适应闭环控制算法来控制流体流量的系统和方法。

背景技术

[0002] 闭环比例积分微分 (proportional-integral-derivative) (PID) 控制算法可以被调整以具有响应时间 (例如,加速的响应时间) 来满足流体流量应用的控制要求。但是,调整闭环 PID 控制算法的响应时间来满足具体应用的要求可能具有不想要的副作用。例如,被调整为快速算法以迅速地响应在流体流量中突发的显著变化的闭环 PID 控制算法可在流体流量稳定时造成带噪声的流量。快速算法放大了高频率传感器、模数转换器 (ADC) 量化以及电子噪声,导致带噪声的控制信号。

[0003] 另一方面,被调整为具有较慢的响应时间的闭环 PID 控制算法虽然没有向稳定的流体流量引入噪声,但是也不能准确且迅速地校正流量条件中突发的显著变化 (例如,设定点中的突变或压力变化)。与仅实现快速或缓慢响应时间算法相关联的问题由于非理想的情况,例如流量传感器读取的滞后或者流量控制器元件中的非线性而变得更加复杂。因此,需要解决目前方法的不足并且提供其它新颖且创新的特征。

发明内容

[0004] 下面概述了在附图中示出的本发明的示例性实施例。在具体实施方式部分中更详细地描述了这些及其它实施例。然而应当理解,并不存在将本发明限制为在发明内容部分或具体实施方式部分中所描述形式的意图。本领域技术人员可以认识到存在落入权利要求所表达的本发明的精神和范围内的多种修改、等同和替代构造。

[0005] 本发明可以提供一种使用自适应闭环控制算法来控制流体流量的系统和方法。在一个实施例中,一种方法,包括:

[0006] 接收设定点指示值,所述设定点指示值指示流体流量设定点;

[0007] 接收由传感器产生的传感器指示值,所述传感器指示值指示所述流体的流率;

[0008] 偏置自适应闭环控制算法和相关联的参数,使得所述自适应闭环控制算法具有缓慢模式;

[0009] 在基于所述传感器指示值或所述设定点指示值中的至少一个满足至少一个阈值条件时,将所述自适应闭环控制算法从所述缓慢模式修改到快速模式,所述闭环控制算法与流量控制器相关联;

[0010] 将所述自适应闭环控制算法从所述快速模式修改回到所述缓慢模式;以及

[0011] 响应于对所述自适应闭环控制算法的响应时间的修改,通过调节与所述自适应闭环控制算法相关联的至少一个参数来稳定所述自适应闭环控制算法。

[0012] 在另一实施例中,一种方法,包括:

[0013] 接收设定点指示值,所述设定点指示值指示流体流量设定点;

- [0014] 接收由传感器产生的传感器指示值,所述传感器指示值指示所述流体的流率;
- [0015] 偏置自适应闭环控制算法和相关联的参数,使得所述自适应闭环控制算法具有缓慢模式;
- [0016] 基于所述传感器指示值或所述设定点指示值中的至少一个,将反馈滤波器从缓慢模式修改到快速模式,所述反馈滤波器与所述自适应闭环控制算法相关联,所述自适应闭环控制算法与流量控制器相关联;
- [0017] 将所述反馈滤波器从所述快速模式修改回到所述缓慢模式;以及
- [0018] 基于对所述反馈滤波器的所述修改来改变与所述自适应闭环控制算法相关联的调整参数,当所述反馈滤波器被修改时,改变所述调整参数以稳定所述自适应闭环控制算法。
- [0019] 在又一实施例中,一种设备包括处理器和阀。处理器被配置为当基于设定点指示值和/或由传感器产生的传感器指示值满足一个或多个阈值条件时修改闭环控制算法的响应时间。处理器通过修改与闭环控制算法相关联的反馈滤波器和与所述闭环控制算法相关联的调整参数来修改所述闭环控制算法的响应时间。阀被配置为响应于由处理器基于闭环控制算法产生的控制指示值来打开及关闭。
- [0020] 根据本发明的另一方面,提供了一种质量流量控制器,包括:
- [0021] 处理器,被配置为偏置自适应闭环控制算法和相关联的参数以使得所述自适应闭环控制算法具有缓慢模式并在基于由传感器产生的传感器指示值或设定点指示值中的至少一个满足至少一个阈值时将所述自适应闭环控制算法从所述缓慢模式修改到快速模式,所述处理器通过修改与所述自适应闭环控制算法相关联的反馈滤波器和与所述自适应闭环控制算法相关联的调整参数来修改所述自适应闭环控制算法,并且所述处理器将所述自适应闭环控制算法修改回到所述缓慢模式;以及
- [0022] 存储器,被配置为存储与所述反馈滤波器和所述调整参数中的至少一个相关联的参数,所述处理器从所述存储器访问所述参数。

附图说明

- [0023] 结合附图参考以下具体实施方式和所附权利要求,本发明的各个目的和优点及更完整的理解将更加明显并易于理解,其中:
- [0024] 图 1 是依照本发明实施例示出其中流量控制器使用自适应闭环控制算法来控制从流体分配器到反应容器的流体流量的环境的框图;
- [0025] 图 2 是依照本发明实施例示出用于修改自适应闭环控制算法的方法的流程图;
- [0026] 图 3 是依照本发明另一实施例示出用于修改自适应闭环控制算法的方法的流程图;
- [0027] 图 4 是依照本发明又一实施例示出用于修改自适应闭环控制算法的方法的流程图;
- [0028] 图 5 是依照本发明实施例的自适应闭环控制算法的信号流程图;
- [0029] 图 6A 是依照本发明实施例示出由设定点指示器指示的设定点的曲线图;
- [0030] 图 6B 是依照本发明实施例示出在自适应闭环控制算法内与反馈滤波器相关联的反馈时间常数值值的曲线图;

[0031] 图 6C 是依照本发明实施例示出由自适应闭环控制算法计算的设定误差的曲线图；

[0032] 图 6D 是依照本发明实施例示出使用自适应闭环控制算法计算的积分控制信号的曲线图；

[0033] 图 6E 是依照本发明实施例示出由实施自适应闭环控制算法的流量控制器控制的阀的阀位置的曲线图；

[0034] 图 6F 是依照本发明实施例示出通过阀的实际流体流量的曲线图，所述阀使用自适应闭环控制算法来控制；以及

[0035] 图 6G 是依照本发明实施例示出来自用于测量通过阀的流体流量的流量传感器的信号的曲线图，所述阀使用自适应闭环算法来控制。

具体实施方式

[0036] 依照若干实施例，本发明提出了一种在控制器上实现的自适应闭环算法（例如，比例积分微分（PID）算法）。例如，在一些实施例中该控制器是质量流量控制器，该质量流量控制器被配置为将处于气态（例如，氮）和 / 或液态（例如，盐酸）的流体运送到例如半导体设备中的工具。

[0037] 在若干实施例中闭环控制算法适于通过修改算法的响应时间来改变条件。作为一个实例，依照自适应算法的许多实施例工作的质量流量控制器能够在现有流率（flow rate）基本上在所需流率以下时以快速响应来工作并且能够在现有流率相对接近于所需流率时以较慢响应来工作，这不易于产生噪声。

[0038] 例如在许多实施例中，当基于一个或多个指示值满足一个或多个所定义的阈值条件时调节自适应算法的响应时间。在这些实施例中，当满足阈值条件时响应于从传感器（例如，压力传感器，流量传感器）接收的传感器指示值和 / 或设定点指示值来修改自适应闭环控制算法的响应时间。传感器指示值指示与流过例如流量控制器内的阀并受其控制的流体相关联的属性值（例如，流率）。设定点指示值指示例如由流量控制器用来控制流体流量的设定点。

[0039] 在若干实施例中，当至少一个指示值（例如，设定点指示值和 / 或传感器指示值）的值超过或低于与所述指示值相关联的阈值时，修改自适应闭环控制算法的响应时间。在一些实施例中，当基于传感器指示值所计算的值满足阈值条件时（例如，经过指定时段的变化率或最大可允许的变化），修改自适应闭环控制算法的响应时间。例如在一些实施例中，该修改是基于满足阈值条件的误差信号，所述误差信号是在设定点与传感器指示值之间的差异。在其它实施例中，当至少一个指示值（例如，设定点和 / 或传感器）中的变化幅度超过或低于阈值时，修改自适应闭环控制算法的响应时间。

[0040] 在一些实施例中，通过例如加速和减速与闭环控制算法相关联的滤波器（例如，反馈滤波器）来修改自适应闭环控制算法的响应时间。在一些变型中，当响应时间修改时，为了稳定自适应闭环控制算法，调整与所述自适应闭环控制算法相关联的参数（例如，调整参数）。在若干实施例中，例如还基于所定义的阈值条件响应于传感器指示值和 / 或设定点指示值来修改自适应增益。在一些实现方式中，修改自适应闭环控制算法的响应时间是基于定时器。

[0041] 现在参照附图,图 1 示出了使用自适应闭环控制算法来控制从流体分配器 120 到反应容器 180 的流体流量的流量控制器 100。当所测量、计算和 / 或指定的值 (例如,压力指示值、设定点指示值、流量传感器指示值) 中的变化满足至少一个阈值条件时,自适应闭环控制算法由流量控制器 100 从缓慢响应模式修改为快速响应模式,反之亦然。流量控制器 100 基于缓慢或快速响应模式下的自适应闭环控制算法使用设定点值来控制流体从流体分配器 120 到反应容器 180 的流量。

[0042] 在一些实施例中,流体是液体 (例如,硫酸) 并且在其它实施例中为气体 (例如,氮气),但是本领域技术人员应当理解,在掌握本公开有益效果的情况下,由流量控制器 100 运送的流体可以是任何种类的流体,例如包括任何状态的元素和 / 或化合物的混合物,诸如气体或液体。在许多实施例中,流量控制器 100 被配置为在高压、低温下向不同类型的容纳体或容器运送流体。

[0043] 如在图 1 中所描述,在示例性实施例中,流量控制器 100 接收来自位于所述流量控制器 100 的上游的流量传感器 142 和压力传感器 144 的指示值。来自流量传感器 142 的指示值表明从流体分配器 120 流出并由流量控制器 100 控制的流体的流率。来自压力传感器 144 的指示值表明来自流体分配器 120 并由流量控制器 100 控制的流体的压力。流量控制器还接收表明流体流量设定点的设定点指示值 146。在一些实施例中,流量控制器 100 接收来自诸如温度传感器的另一设备或传感器的指示值。在若干实施例中,一个或多个传感器位于流量控制器 100 的下游而不是所述流量控制器 100 的上游。

[0044] 在许多实施例中,流量传感器 142 由热流量传感器来实现,但是在其它实施例中,利用层流量传感器、科里奥利 (coriolis) 流量传感器、超声波流量传感器或差压传感器。压力传感器 144 由表压力传感器、差分传感器、绝对压力传感器或压阻压力传感器来实现。在其它变型中,流量传感器 102 和 / 或压力传感器 144 结合其它传感器 (例如,温度传感器) 的任何组合来用于准确地测量流体的流量。

[0045] 在该实施例中,流量控制器 100 包括处理器 102、阀 104 和存储器 106。存储器 106 存储自适应闭环控制算法,所述自适应闭环控制算法包括 PID 控制算法、滤波方程和与所述 PID 控制算法和滤波方程相关联的参数。存储器 106 是任何类型的适当存储设备,其可以是但不限于闪存、随机存取存储器 (RAM) 和 / 或硬盘。存储器 106 还存储与自适应闭环控制算法的修改以及阈值条件相关的参数 (例如,时间周期) 和 / 或方程 (例如,修改速率变化方程)。在该实施例中,自适应闭环控制算法和相关联的参数被偏置,使得自适应闭环控制算法具有缓慢响应时间 (也被称为“缓慢模式”或“缓慢响应模式”)。在图 5 中更详细地讨论了具体的自适应闭环控制算法配置。

[0046] 可变阀 104 是以任何方式改变流体流量的任何适当类型的可变阀。例如,可变阀 104 是具有可变孔的阀或具有多个预设位置的阀。虽然图 1 示出了处理器 102、阀 104 和存储器 106 被集成到单个设备的流量控制器 100 中,但是在一些实施例中,组件被组合和 / 或分离到不同的组件和 / 或设备中。例如在一些实施例中,存储器 106 被嵌入到处理器 102 中例如作为缓存,或者被集成到单独的集中式服务器 (未图示) 中,所述集中式服务器存储用于流量控制器 100 或若干分布式和 / 或级联流量控制器的数据。在一些实现方式中,阀 104 是与流量控制器 100 分离的组件,其位于例如流量传感器 142、压力传感器 144 和 / 或流量控制器 100 的上游或下游。在其它实现方式中,流量传感器 142 和 / 或压力传感器 144

被集成到流量控制器 100 中。

[0047] 在图 1 所描绘的示例性实施例中,与来自传感器 142 和 144 的指示值以及设定点指示值 146 相关联的阈值条件也存储在存储器 106 中。阈值条件被定义为当满足所述阈值条件时,修改自适应闭环控制算法以具有快速响应时间(也被称为“快速模式”或“快速响应模式”)。从缓慢模式到快速模式的修改可以称为加速并且从快速模式到缓慢模式的修改可以称为减速。通过改变与算法相关联的参数(存储在存储器 106 中)来修改自适应闭环控制算法以具有快速响应时间。

[0048] 在一些实施例中,通过改变与自适应闭环控制算法相关联的滤波方程而不是改变与所述算法相关联的参数来修改所述自适应闭环控制算法的响应时间。在一些实现方式中,处理器 102 被设计有例如硬件实现的(例如,固件)自适应闭环控制算法,用于访问并使用由存储器 106 存储的参数。在该方案中,处理器 102 调整在存储器 106 中存储的参数以修改自适应闭环控制算法的响应时间。

[0049] 在该实施例中,来自传感器 142 和 144 的指示值以及设定点指示值 146 由处理器 102 使用自适应闭环控制算法来处理以控制阀 104 生成由所述设定点指示值 146 指定的流率。当接收到如设定点指示值 146 所指示的新的设定点时,流量控制器 100 使用自适应闭环控制算法来调节流体的流率(例如,经由被发送到阀 104 的控制指示值)以与该新的设定点相符。

[0050] 然而,如果设定点的变化满足阈值条件,那么修改闭环控制算法的模式。例如,如果处理器 102 所确定的设定点的变化超过设定点变化阈值条件(例如,最大可允许的设定点变化),那么处理器 102 修改自适应闭环控制算法以具有快速模式。随后,处理器 102 基于新的设定点并且依照快速模式下的自适应闭环控制算法通过将控制信号发送给阀 104 来控制流体的流量。当到达新的设定点时,处理器 102 通过将与自适应闭环控制算法相关联的参数从快速模式调回到缓慢模式来修改所述自适应闭环控制算法。

[0051] 类似地,如果传感器指示值的变化满足阈值条件,那么处理器 102 将自适应闭环控制算法从缓慢模式修改为快速模式,和/或反之亦然。在该实施例中,对流量控制器 100 中的处理器 102 进行编程以在由流量传感器 142 所指示的流率满足阈值条件时修改自适应闭环控制算法。例如,当例如通过压力变化所引起的流率变化的幅度在指定时段内超过最大可允许值时,触发自适应闭环控制算法的修改。当流体的流率再次校准到由设定点指示值 146 所指示的设定点时,处理器 102 将自适应闭环控制算法从快速响应时间配置修改回到缓慢响应时间配置。在一些实施例中,如果处理器 102 检测到例如压力传感器指示值中的变化超过与压力变化相关联的阈值条件,那么所述处理器 102 被配置为将自适应闭环控制算法从缓慢模式修改到快速模式,和/或反之亦然。

[0052] 在一些实现方式中,自适应闭环控制算法的修改级别基于变化相对于阈值的幅度。例如,如果设定点变化远远超过设定点变化的阈值条件,那么与如果设定点变化恰好满足所述设定点变化的阈值条件相比,更多地修改与自适应闭环控制算法相关联的参数和/或滤波器。

[0053] 现在参照图 2,其包括流程图,该流程图示出了基于所定义的阈值条件将自适应闭环控制算法从第一模式修改为第二模式的方法。第一模式例如是缓慢的低噪声模式,而第二模式例如是快速且潜在地带有噪声的模式。在该实施例中,阈值条件被定义为误差的幅

度（例如，阈值），当超过所计算的误差值时触发将自适应闭环控制算法从第一模式修改为第二模式。在许多实施例中，误差值是在流率设定点和由流量指示值所指示的已测量的流率之间的差异。随后，当误差值低于阈值时（例如，不再满足），将自适应闭环控制算法从第二模式修改回到第一模式。虽然在该实施例中，基于流量设定点和测量来计算误差值，但是在其它实施例中，误差值是基于诸如压力设定点和测量的其它设定点和测量。

[0054] 如图 2 所示，在 200 中，接收流量传感器指示值并且基于所述流量传感器指示值使用第一模式下的自适应闭环控制算法依照流量设定点来控制流体的流量。如同所示，在 210 中，误差值被计算为在由流量传感器指示值所指示的流率与流量设定点之间的差异。如果在 220 中该误差值未超过所定义的阈值，那么在 200 中继续接收流量传感器指示值并且使用第一模式下的自适应闭环控制算法来控制流体流量。在 220 中，当在 210 中计算的误差值超过阈值时，在 230 中将自适应闭环控制算法从第一模式修改到第二模式。

[0055] 如图 2 所示，一旦自适应闭环算法被修改到第二模式，那么在 240 中，接收流量传感器指示值并且基于所述流量传感器指示值使用在第二模式下的自适应闭环控制算法来控制流体流量。第二模式下的自适应闭环控制算法用于依照流量设定点来控制流体的流量。在 250 中，基于流量传感器指示值和流量设定点来连续地（或者在一些实施例中间歇地）计算误差值。在 260 中，如果所计算的误差值继续超过阈值，那么在 240 中继续接收流量传感器指示值并且使用第二模式下的自适应闭环控制算法来控制流体流量。在 260 中，当在 250 中所计算的误差值低于阈值时，在 270 中将自适应闭环控制算法从第二模式修改回到第一模式。

[0056] 虽然该实施例描述了涉及流量传感器指示值以及基于所述流量传感器指示值计算的误差值的方法，但是在一些实施例中，也可从温度传感器接收温度传感器指示值并且相对于与温度相关联的阈值进行分析。在若干实施例中，参考相应的阈值来监视多个传感器（例如，流量、温度和压力传感器）以确定是否应当将自适应闭环控制算法从第一模式修改为第二模式或反过来从第二模式修改为第一模式。在一些实施例中，基于设定点指示值而不是传感器指示值误差值来定义阈值条件。

[0057] 在一些变型中，阈值条件例如是基于来自指示值的误差值的变化率。在若干实现方式中，根据例如与具体的流量控制器相关的经验数据来定义阈值条件中的值（即，参数）。

[0058] 在一些实施例中，用于将自适应闭环控制算法从第一模式修改到第二模式的阈值不同于用于确定将所述算法从第二模式改变回到第一模式的阈值。在其它实施例中，阈值条件是基于值（例如，时间、压力等）的复杂组合（例如，相减，相乘）或者布尔条件（例如，“或”布尔条件）。例如，只有在当从温度指示值和压力指示值所导出的值（或计算值）超过它们各自的相应阈值时，才满足阈值条件。在若干实施例中，基于与一个或多个模式相对应的阈值条件来将自适应闭环控制算法修改为若干模式的其中之一（例如，适度快速模式）。

[0059] 在一些实施例中，例如定义阈值条件使得只有当三个以上连续的压力指示值值和/或误差值超过阈值时才修改自适应闭环控制算法。通过以这种方式定义阈值条件，将自适应闭环控制算法在被修改之前保持为所指定的响应时间模式。在一些实施例中，例如定义阈值条件使得只有当压力指示值超过阈值例如大于 300 毫秒时才修改自适应闭环控制

算法。

[0060] 图 3 是示出基于所定义的阈值条件并且基于定时器来修改自适应闭环控制算法的方法的流程图。在该实施例中,阈值条件是压力值,当由来自压力传感器的压力传感器指示值所指示的值超过该压力值时,触发自适应闭环控制算法从第一模式到第二模式的修改。当定时器期满时,自适应闭环控制算法被从第二模式修改回到第一模式。

[0061] 如图 3 所示,在 300 中,接收压力传感器指示值并且基于流量传感器指示值使用第一模式下的自适应闭环控制算法来控制流体的流量。当接收到压力传感器指示值时,在 310 中参考阈值连续地(或在一些实施例中间歇地)分析所述压力传感器指示值。如果在 310 中由压力传感器指示值所指示的压力值没有超过阈值,那么在 300 中继续接收所述压力传感器指示值并且继续使用第一模式下的自适应闭环控制算法来连续地控制流体的流量。

[0062] 当在 310 中由压力传感器指示值所指示的压力值超过阈值时,在 320 中将自适应闭环控制算法从第一模式修改到第二模式并且在 330 中启动定时器。在该实施例中,定时器运行的时间周期为 3 秒。在 340 中接收压力传感器指示值并且基于流量传感器指示值使用第二模式下的自适应闭环控制算法来控制流体流量直到该时间周期期满。

[0063] 如果在 350 中定时器确定时间周期尚未期满,那么在 340 中继续接收压力传感器指示值并且基于第二模式下的算法来控制流体流量。当在 350 中时间周期已经期满时,在 360 中将自适应闭环控制算法从第二模式修改回到第一模式。

[0064] 在一些实施例中,时间周期的长度取决于诸如流量控制器的响应时间或传感器指示值超过相应阈值的偏差等的因素。例如在一些实施例中,当来自传感器的值超过阈值较大量时由定时器所使用的时间周期比当来自传感器的值超过阈值较小量时定时器所使用的时间周期更长。在若干实施例中,根据数学方程将自适应闭环控制算法从第一模式修改到第二模式,使得例如以缓慢速率而不是突然地进行修改。在一些实施例中,自适应闭环控制算法从一个模式到另一个模式的修改速率和/或修改级别(例如,加速或减速级别)例如取决于流量是增加还是减少。

[0065] 现在参照图 4,其是示出了根据设定点变化阈值条件将自适应闭环控制算法从缓慢响应模式修改为快速响应模式的方法的流程图。在该实施例中,设定点变化阈值条件是设定点变化的幅度,当设定点变化超过该设定点变化的幅度时触发自适应闭环控制算法从缓慢响应模式到快速响应模式的修改。

[0066] 如图 4 所示,在该实施例中,在 400 中使用缓慢模式下的自适应闭环控制算法来控制流体流量。当在 410 中接收到指示新的设定点的设定点指示值时,在 420 中计算设定点的变化并且在 430 中将设定点的变化与所定义的阈值进行比较。在 430 中当设定点变化小于阈值时,在 400 中使用缓慢响应模式下的自适应闭环控制算法来控制流体流量并将其调节到新的设定点。在 430 中当设定点变化大于阈值时,在 440 中将自适应闭环控制算法从缓慢模式加速(例如,修改)到快速模式。

[0067] 如图 4 所示,然后在 440 中使用快速响应模式下的自适应闭环控制算法来控制流体流量,直到在 450 中到达新的设定点。当尚未到达新的设定点时,在 440 中继续使用快速响应模式下的自适应闭环控制算法来控制流体流量。当已经到达新的设定点时,在 460 中将自适应闭环控制算法从快速响应模式减速(例如,修改)到缓慢响应模式。然后,在 400 中使用缓慢响应模式下的自适应闭环控制算法来控制流体流量。

[0068] 在该实施例中,所述算法被偏离以在缓慢响应模式下控制流体的流量并且仅在出现较大的设定点变化时才改变到快速响应模式。在一些实施例中,自适应闭环控制算法被偏离以例如在快速响应模式下控制流体的流量。在一些实施例中,响应模式的速度是基于设定点变化的幅度。例如,响应模式被加速到若干快速响应模式的其中之一,所述快速响应模式取决于在一个或多个阈值条件中所定义的设定点变化的幅度。在其它实施例中,用于设定点变化的阈值为零,使得对于任何设定点变化来说均改变闭环控制算法的响应时间。

[0069] 图 5 是示例性的自适应闭环控制算法的信号流程图。在示例性的自适应闭环控制算法内的每个块通过将方程与相关联的参数和常数相组合来实现。在该实施例中,自适应闭环控制算法基于比例积分 (PI) 控制器,所述比例积分控制器包括比例控制块 542 和积分控制块 544。调整参数 510 和反馈滤波器 520 用于在基于设定点指示值 554、传感器指示值 556 的值和 / 或使用所述设定点指示值 554 和 / 或传感器指示值 556 所导出的值 (例如,计算的误差) 满足阈值条件时修改闭环控制算法的响应时间。设定点指示值 554 指示流体流量设定点。传感器指示值 556 包括来自压力传感器 (未图示) 的压力传感器指示值和由流量传感器 530 所生成的流量传感器指示值。在一些实施例中,传感器指示值 556 包括诸如温度传感器指示值的其它传感器指示值。

[0070] 如图 5 所示,在该实施例中,来自流量传感器 530 的流量指示值 (例如,信号) 通过反馈滤波器 520 来调节并且在 572 处从由设定点指示值 554 所指示的设定点中被减去以生成误差 552。误差 552 和自适应增益 500 的乘积 574 由 PI 控制器用来控制阀 K_v 546。选择在块 500、510、520、530、542、544 和 546 中的方程、参数和 / 或常数以稳定自适应闭环控制算法并且达到每个响应时间模式下例如所指定的响应时间和 / 或瞬态波形 (例如,过冲,阻尼)。

[0071] 该实施例还包括自适应增益 500,其中基于设定点指示值 554、传感器指示值 556 的值和 / 或使用所述设定点指示值 554 和传感器指示值 556 的任何组合所计算的值来连续地 (或在一些实施例中间歇地) 调节所述自适应增益 500。在一些实施例中,当基于设定点指示值 554 和 / 或传感器指示值 556 满足阈值条件时调节自适应增益 500。自适应增益 500 被配置为校正非线性,诸如 K_v 546 非线性或非线性压力效应。自适应增益 500 影响按照使用自适应闭环控制算法所计算的进一步阀位置调节的速度。例如基于流量灵敏度、阀灵敏度和 / 或压力灵敏度来计算自适应增益 500。利用适当的自适应增益 500,自适应闭环控制算法是稳定的并且在例如压力和 / 或设定点的整个范围内具有相似的性能。

[0072] 当设定点指示值 554、传感器指示值 556 和 / 或使用所述设定点指示值 554 和 / 或传感器指示值 556 所导出的值 (例如,所计算的误差) 满足所定义的阈值条件时,修改调整参数 510 和反馈滤波器 520。当加速和 / 或减速反馈滤波器 520 时,调整参数 510 基本上与反馈滤波器 520 同时被修改以稳定自适应闭环控制算法。

[0073] 在一些实施例中,基于不同的阈值条件或阈值条件组合来调节调整参数 510 和反馈滤波器 520。在一些实施例中,根据流体流量是增加还是减少来修改当修改自适应闭环控制算法时正在调节的参数的速率和平滑波形。在若干实施例中,自适应闭环控制算法除比例和积分控制之外例如还包括微分控制。在其它实施例中,控制算法包括比例、积分和 / 或微分控制的其它组合。在几个变型中,调整参数 510 与闭环控制算法的一部分相关联 (例如,作为一个参数包括在积分控制块 544 中或与微分控制块相关联)。

[0074] 图 6A-6G 是示出与示例性的设定点变化相关的示例性测量、信号和计算值的曲线图,该示例性的设定点变化用来触发在自适应闭环控制算法内反馈滤波器的示例性修改。在该实施例中,在流量控制器上实现自适应闭环控制算法,所述流量控制器依照设定点来控制通过阀的流体的流量。

[0075] 图 6A 是示出如设定点指示值所指示的设定点的曲线图。图 6A 示出了在时间 B 处从 X 到 Y 的设定点变化。图 6A 示出了设定点变化 600 的幅度大于设定点变化阈值条件 610,触发了自适应闭环控制算法的修改。

[0076] 图 6B 是示出在自适应闭环控制算法内与反馈滤波器相关联的反馈时间常数值值的曲线图。图 6B 示出了在时间 B 处,响应于如图 6A 所示的满足设定点变化阈值条件,反馈时间常数从时间 A 处所示出的高值改变为时间 B 处的低值。高值使自适应闭环控制算法具有缓慢响应时间,而反馈时间常数的低值产生自适应闭环控制算法的快速响应时间。图 6B 示出了反馈时间常数的值从时间 C 开始慢慢地增加直到在时间 D 处所述反馈时间常数的值到达其初始值。在反馈时间常数的值慢慢增加之前,其在所定义的 B 和 C 之间的时间周期保持为低值。虽然并未示出,但是调整参数基本上在与反馈时间常数相同的时间处来调节以稳定自适应闭环控制算法。

[0077] 图 6C 是示出由自适应闭环控制算法所计算的设定点误差的曲线图。图 6C 示出了在图 6A 所示出的时间 B 处的设定点变化之前所计算的设定点误差为零。图 6C 示出了当在时间 B 处设定点变化时,所计算的设定点误差立即增加。随着自适应闭环控制算法对所计算的设定点误差作出响应,设定点误差减小直到当所述误差减小到零时在时间 D 处到达设定点。图 6C 示出了当在该实施例中的自适应闭环控制算法处于快速响应模式时,所计算的设定点误差是带有噪声的。图 6D-6G 中的曲线类似于图 6C 中的曲线,它们展示了当自适应闭环控制算法处于快速响应模式时的噪声。

[0078] 图 6D 是示出使用自适应闭环控制算法所计算的积分控制信号的曲线图。图 6D 示出了当在时间 B 处设定点变化时积分控制信号增加直到所述信号在时间 D 处稳定下来。

[0079] 图 6E 是示出阀的阀位置的曲线图,所述阀由实现自适应闭环控制算法的流量控制器来控制。图 6E 示出了阀位置响应于在时间 B 处的设定点变化而改变直到它在时间 D 处到达稳态位置。

[0080] 图 6F 是示出通过阀的实际流体流量的曲线图,所述实际流体流量使用自适应闭环控制算法来控制。图 6F 示出了利用图 6E 中的阀位置来进行实际流体流量测量跟踪。

[0081] 图 6G 是示出来自用于测量通过阀的流体流量的流量传感器的信号的曲线图,所述流体流量使用自适应闭环算法来控制。图 6G 示出了具有缓慢响应时间的流量传感器信号,所述流量传感器信号落后于图 6F 中的实际流体流量测量。

[0082] 综上所述,本发明提供了用于使用自适应闭环控制算法来控制液体流量的系统和方法。本领域技术人员可以容易地认识到,在本发明中可以对其使用及其配置进行许多变化和替换,以实现基本上与这里所描述实施例达到的相同结果。因此,并不意在将本发明限制为所公开的示例性形式。许多变化、修改和候选设计落入在权利要求中所表达的公开发明的范围和精神内。

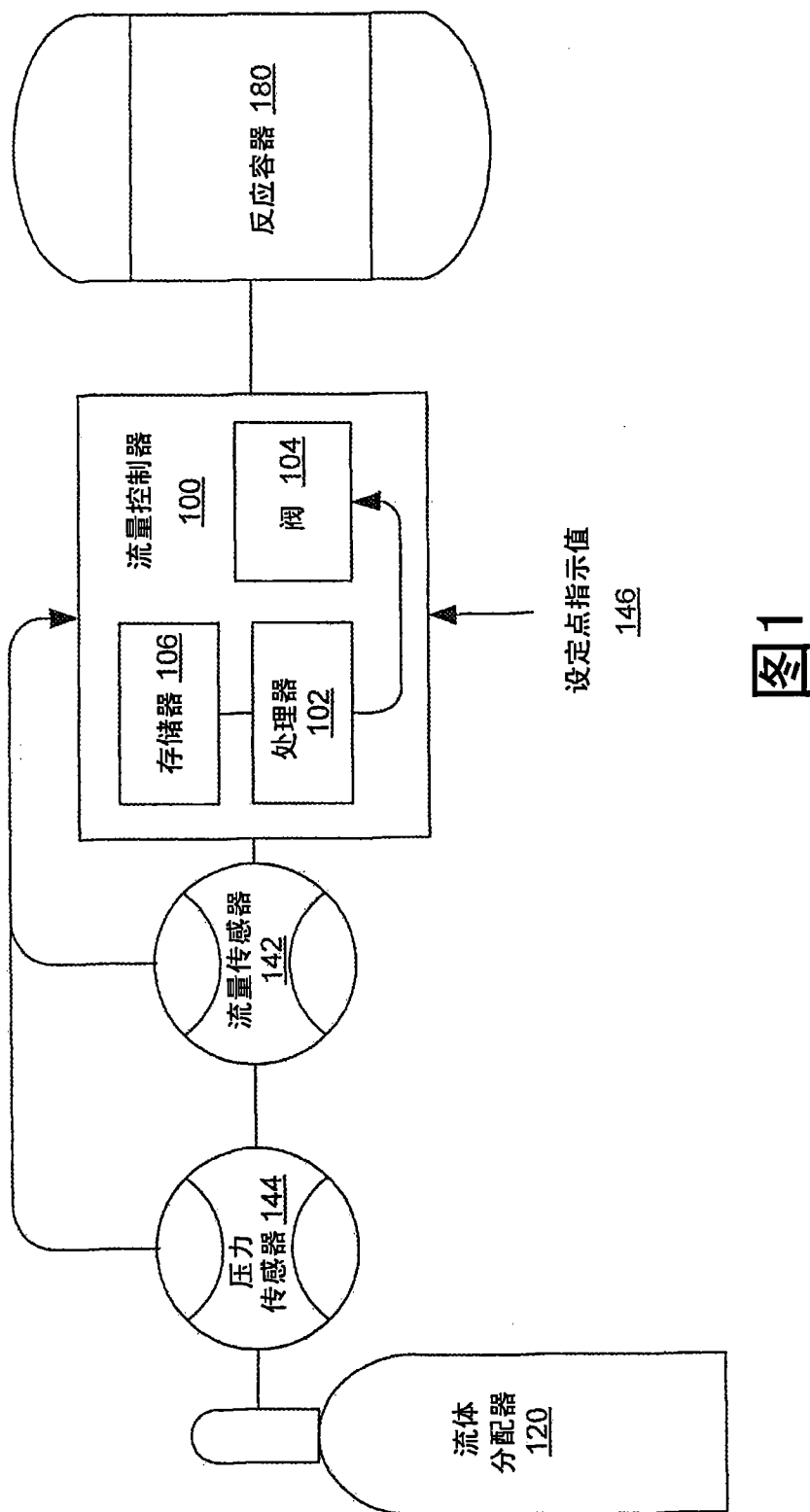


图1

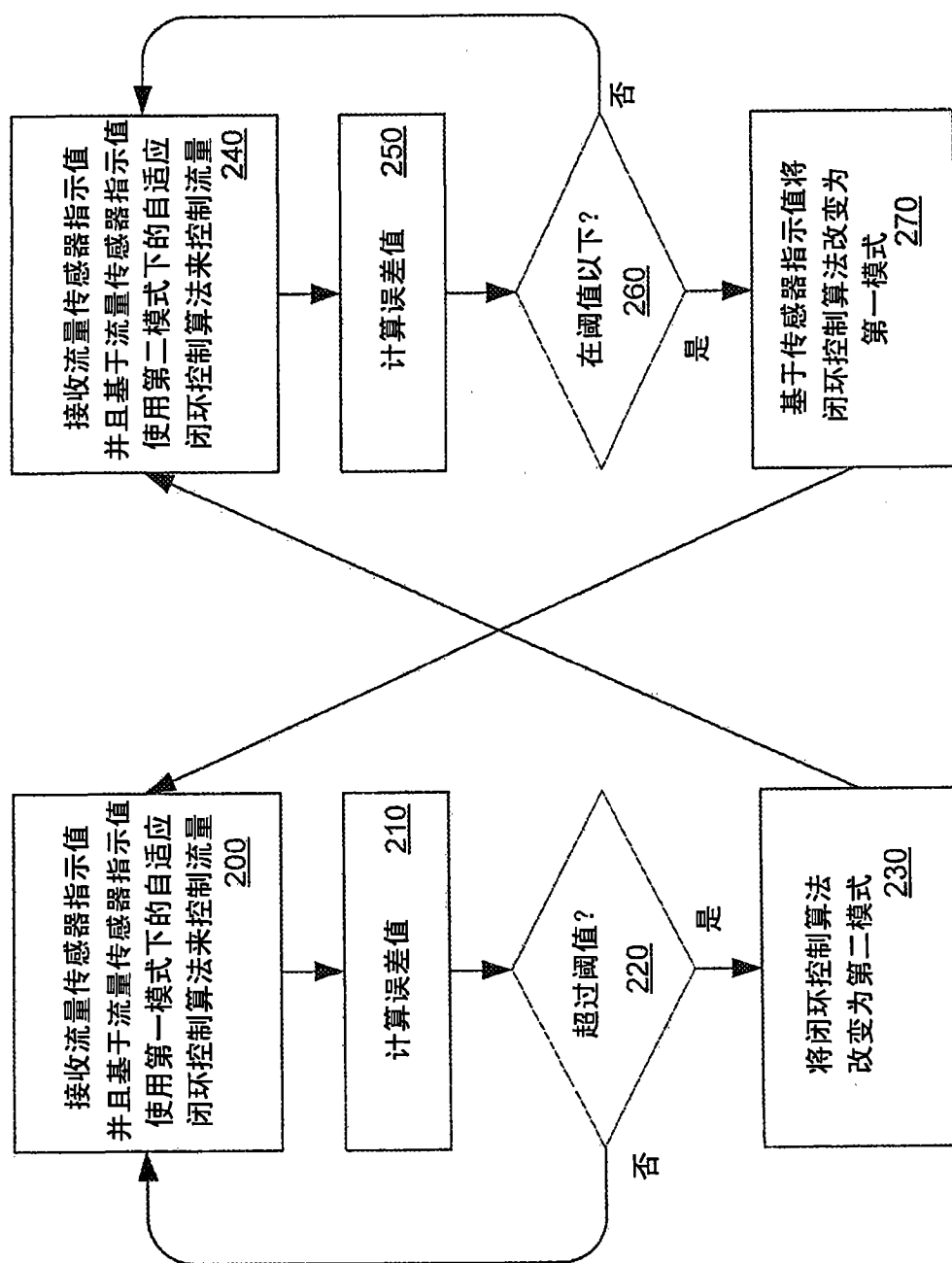


图2

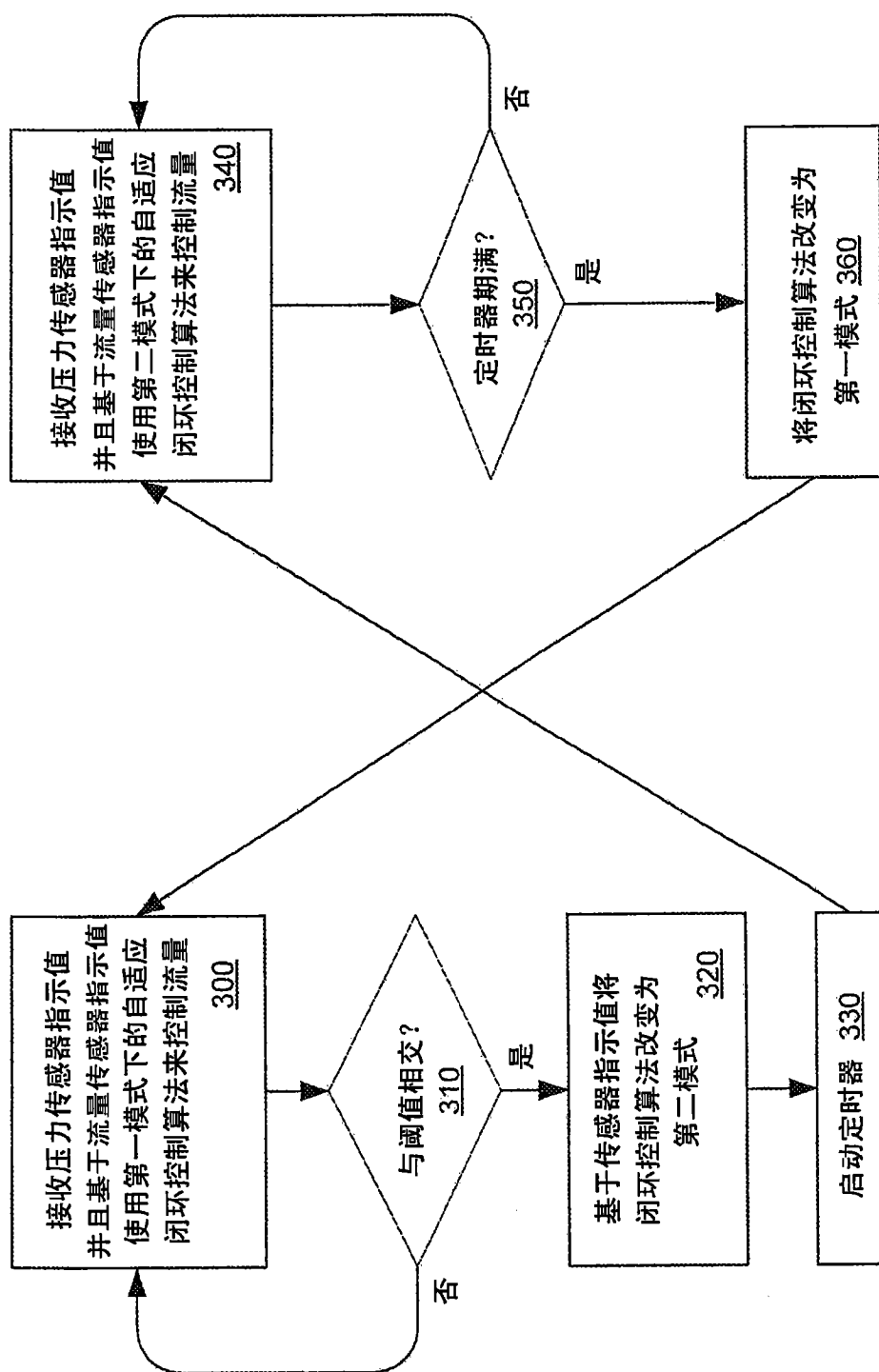


图3

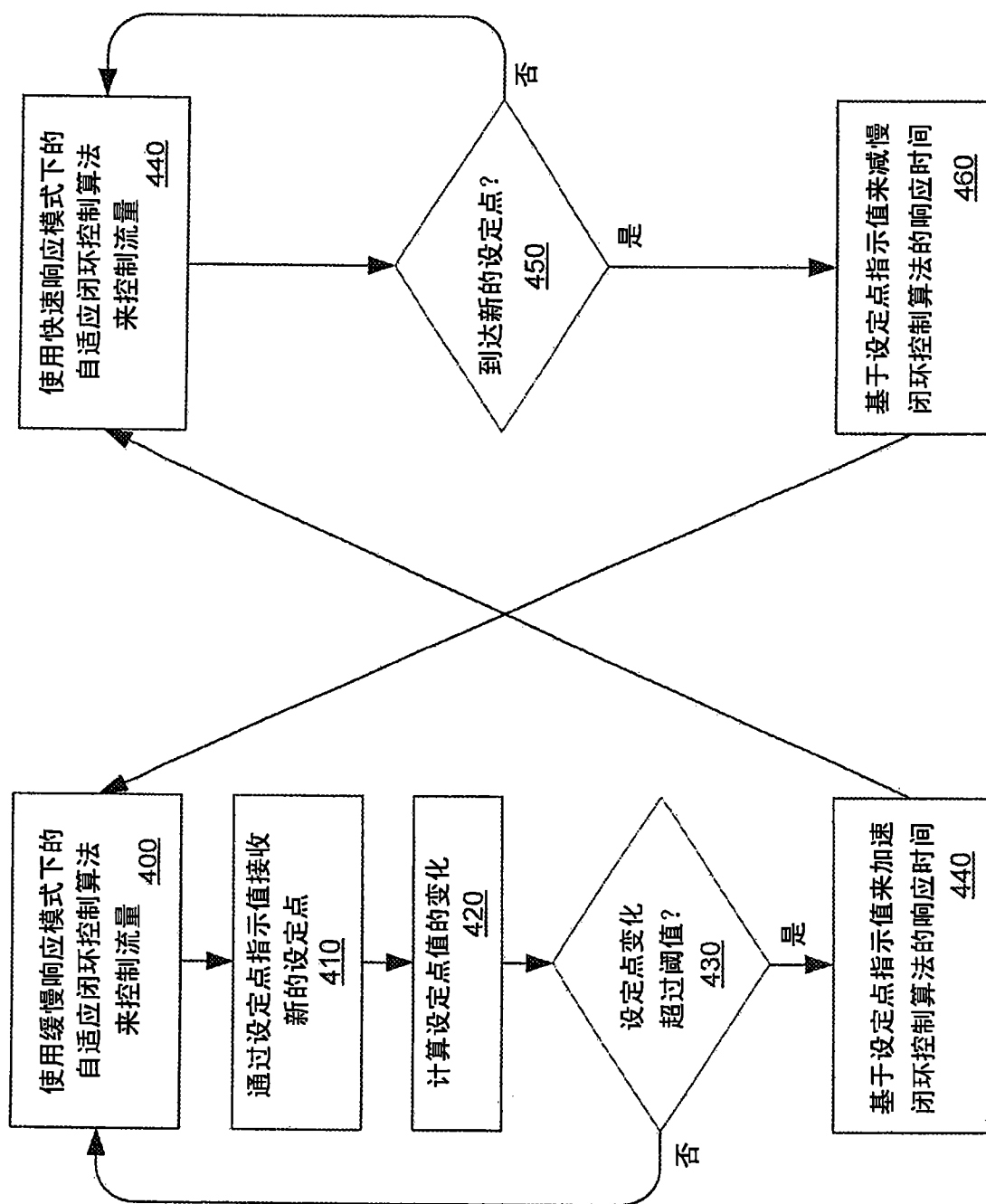


图4

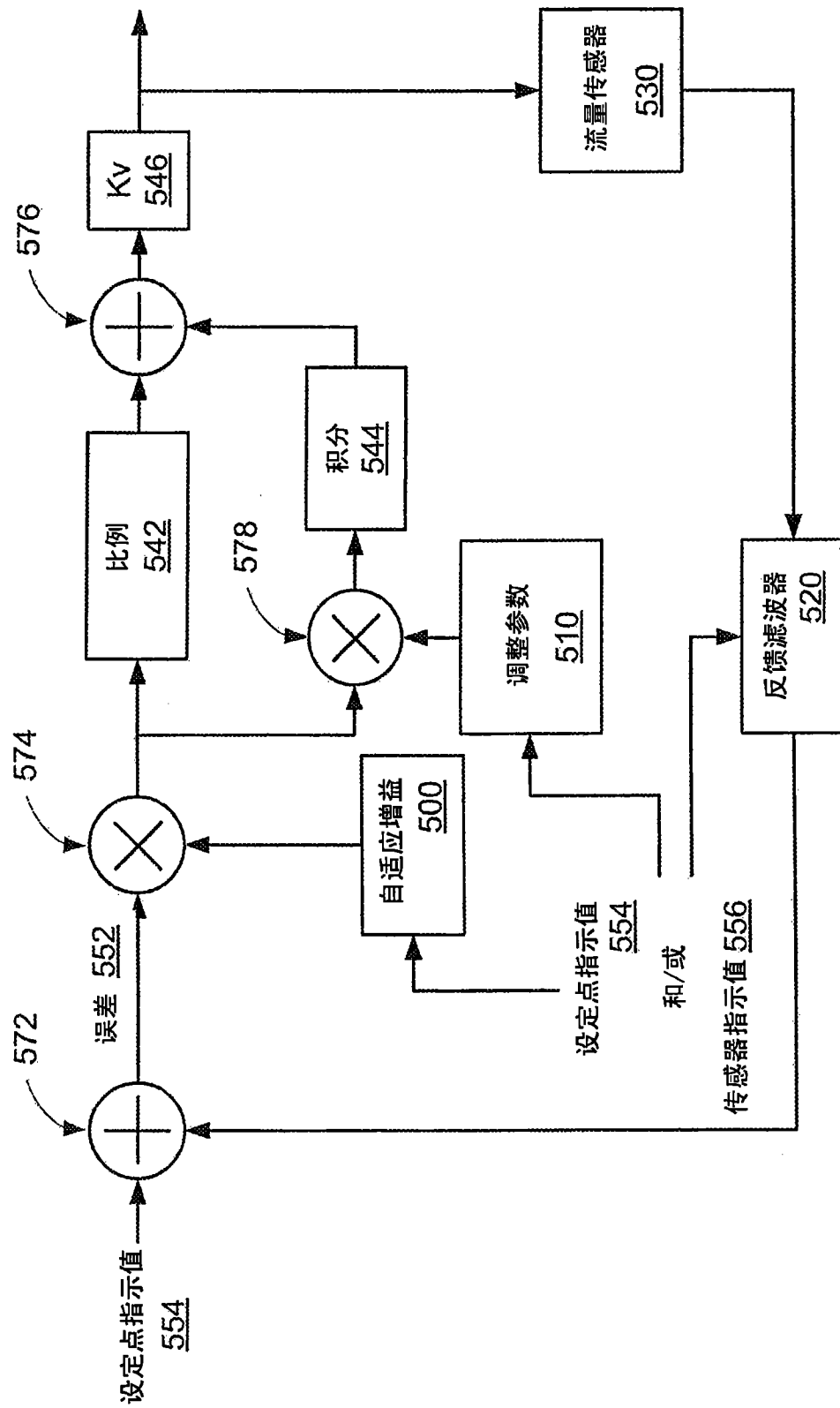


图5

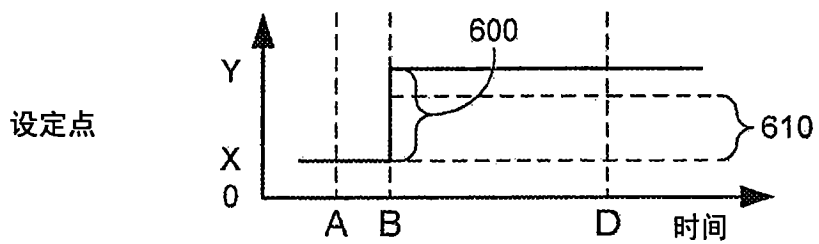


图6A

反馈时间常数

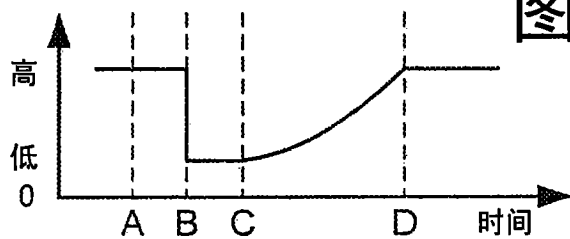


图6B

计算的设定点误差

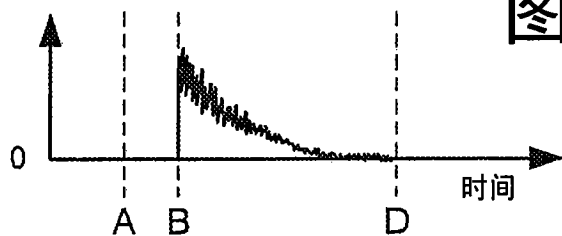


图6C

积分控制信号

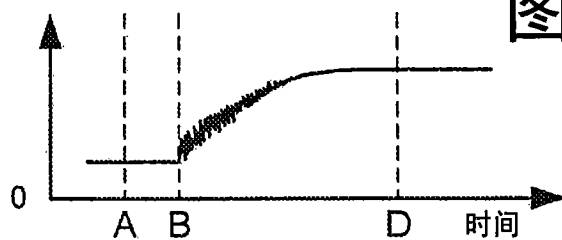


图6D

阀位置

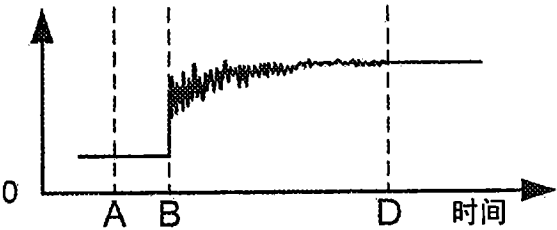


图6E

实际流体流量测量

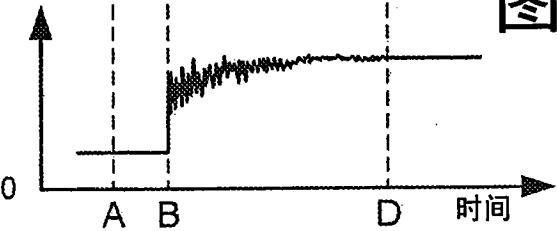


图6F

流量传感器信号

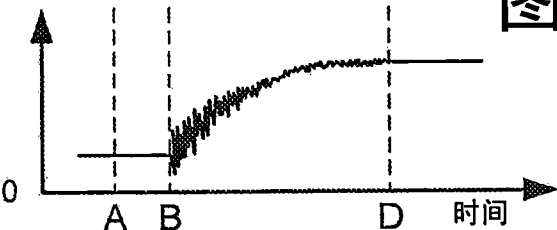


图6G