



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 98808378.7

[45] 授权公告日 2003 年 10 月 1 日

[11] 授权公告号 CN 1122901C

[22] 申请日 1998.8.17 [21] 申请号 98808378.7

[30] 优先权

[32] 1997. 8.22 [33] US [31] 08/918,563

[86] 国际申请 PCT/US98/16997 1998.8.17

[87] 国际公布 WO99/10781 英 1999.3.4

[85] 进入国家阶段日期 2000.2.22

[71] 专利权人 霍尼韦尔公司

地址 美国明尼苏达

[72] 发明人 理查德·C·劳伦斯

审查员 许凌云

[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

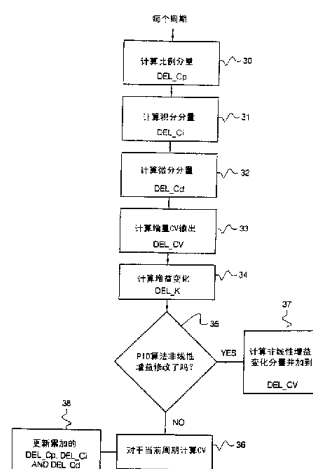
代理人 韩 宏

权利要求书 3 页 说明书 7 页 附图 3 页

[54] 发明名称 防止使用非线性增益的 PID 控制器失效的方法

[57] 摘要

一种防止 PID 控制器失效的方法。PID 控制器被用来在当前的执行周期里产生一个控制变量。本发明接收输入的过程变量(PV)、设定值(SP), 和增益参数(K), 并产生 PV 与设定值 SP 的偏差的比例、积分和微分分量。这些分量用来计算当前执行周期的增量输出控制变量。然后计算非线性增益变化分量, 并将之加到增量输出控制变量。这样得到的增量输出控制变量加到前一执行周期的控制变量值里, 产生当前执行周期的输出控制变量。前面的执行周期的比例、积分和微分分量的累加量被更新为当前执行周期的各种分量。这些累加量用来计算后一周期的非线性增益变化分量。对于线性增益参数, 非线性增益变化分量的计算就被跳过, 其他步骤相同。



1、一种防止 PID 控制器失效的方法, 所述 PID 控制器用在过程控制系统的控制回路里, 所述 PID 控制器在当前执行周期里向控制一过程的一设备产生和输出一个控制变量, 并在当前执行周期里接收来自控制回路的指示受控过程状态的过程变量 (PV), 和来自过程控制系统的一个设定值 (SP) 和一个非线性增益参数 (K), 所述方法包含步骤:

a) 在所述当前执行周期里接收来自所述控制回路的 PV, 和来自所述过程控制系统的所述 SP 和所述 K, 并产生所述 PV 与所述 SP 的偏差的一比例分量;

b) 在所述当前执行周期里接收来自所述控制回路的 PV, 和来自所述过程控制系统的所述 SP 和所述 K, 并产生一积分分量, 该积分分量是所述 PV 与所述 SP 的偏差的时间积分;

c) 在所述当前执行周期里接收来自所述控制回路的 PV, 和来自所述过程控制系统的所述 SP 和所述 K, 并产生一微分分量, 该微分分量是所述 PV 与所述 SP 的偏差的时间微分;

d) 用所述比例、积分和微分分量产生当前执行周期的增量输出控制变量;

e) 产生一个非线性增益变化分量, 并把所述非线性增益变化分量加到所述增量输出控制变量;

f) 通过把步骤 e) 的结果加到前一个执行周期的输出控制变量值里而产生所述的当前执行周期的输出控制变量;

g) 用当前执行周期的所述比例、积分和微分分量更新所述前面的执行周期的所述的已存储的比例、积分和微分分量的和。

2、如权利要求 1 所述的方法, 其中该方法还包含以下步骤:

a) 通过从所述的前一个执行周期的 K 值减去当前执行周期的 K 值得到一个增益的变化量来确定在当前执行周期里 K 值是否已改变。

3、如权利要求 2 所述的方法,其中 PID 控制器接收线性增益参数,以及所述的防止 PID 控制器失效的方法还包含以下步骤:

a) 测试当前执行周期的增益参数,响应于线性增益参数,通过将所述增量输出控制变量加到所述前一个执行周期的输出控制变量值里,产生所述当前执行周期的输出控制变量。

4、一种防止 PID 控制器失效的方法,所述 PID 控制器用在过程控制系统的控制回路里,所述 PID 控制器在当前执行周期里向控制一过程的一设备产生和输出一个控制变量,并在当前执行周期里接收来自控制回路的指示受控过程状态的过程变量(PV),和来自过程控制系统的一个设定值(SP)和一个非线性增益参数(K),所述方法包含步骤:

a) 对于所述当前执行周期产生所述 PV 与所述 SP 的偏差的一比例分量;

b) 对于所述当前执行周期产生一积分分量,该积分分量是所述 PV 与所述 SP 的偏差的时间积分;

c) 对于所述当前执行周期产生一微分分量,该微分分量是所述 PV 与所述 SP 的偏差的时间微分;

d) 计算当前执行周期的增量输出控制变量;

e) 测试当前执行周期的非线性增益参数K,响应于非线性增益参数,产生一非线性增益变化分量并将所述非线性增益变化分量加到所述增量输出控制变量;

f) 通过把步骤 e) 的结果加到前一个执行周期的输出控制变量值里而产生所述的当前执行周期的输出控制变量;

g) 用当前执行周期的所述比例、积分和微分分量更新所述前面的执行周期的所述的已存储的比例、积分和微分分量的和。

5、如权利要求 4 所述的方法,其中该方法还包含以下步骤:

a) 通过从所述前一个执行周期的 K 值减去当前执行周期的 K 值得到一个增益的变化量来确定在当前执行周期里 K 值是否已改变。

6、如权利要求 5 所述的方法, 其中 PID 控制器从所述过程控制系统中接收线性增益参数, 并且响应于确定接收到线性增益参数的测试步骤, 通过将所述的增量输出控制变量加到所述的前一个执行周期的比例、积分和微分分量的和里, 而产生所述当前执行周期的所述输出控制变量。

防止使用非线性增益的PID控制器失效的方法

本发明领域

本发明是关于控制方法，尤其是防止比例积分微分(PID)控制器在使用非线性增益参数时失效(windup)的一种方法。

发明的背景

所谓比例积分微分(PID)的控制器很久以来已广为人知, 在很多控制应用场合有其相当的先进性。PID 控制器产生一个由三个分量组成的控制信号, 第一个分量(P)正比于过程变量信号与设定点的偏差, 第二个分量是所述偏差的时间积分(I), 第三个分量是所述偏差的时间微分(D)。由于积分和微分项的动态性, 由PID 控制器产生的控制信号通常是“浮动”的。在内部, 控制器的输出被计算成输出变化的增量, 但是这个增量被累积成一个完全值输出。

PID 控制器可以配置成以交互式(真实的)和非交互式(理想的)两种模式工作。真实模式模拟传统的气动PID 控制器, 其中比例、积分和微分分量被计算成比例和积分分量的和并与微分分量相乘。在时域里微分分量与比例和积分分量相互作用。在理想模式中, 比例、积分和微分分量在时域里都被累加。微分分量被累加成一个衰减微分量用来限制峰值幅度。

前面提到的两种操作模式下的控制器增益参数可以被调整, 以单独决定控制器的输出。这些增益可以当作线性、间隙增益或非线性输入到PID 控制器。线性增益为一个由用户选择或设置的固定参数, 在PID 处理过程中表现为线性。间隙增益(gap gain)被用来当输入过程变量在设定点附近的一个狭窄区域或间隙里时降低控制动作的敏感性。区域的大

小由用户指定。非线性增益产生一个与误差的平方而不是误差的本身成比例的控制动作。

本领域技术人员可理解, PID 控制器在控制一个闭回路控制系统的动态变化环境方面的效率直接受到加载到控制器上的增益的影响。恰当地确定的增益可以提供一个控制器输出, 该控制器输出可以通过调节闭合回路的带宽(降低干扰性所需的时间), 衰减(增加减少超调量), 和系统鲁棒性(对干扰的敏感性), 来修正受控系统环境的状态。

在使用理想操作模式并采用间隙或非线性增益的 PID 控制器中, 一个普遍存在的问题就是控制器的失效(windup)问题。当受控过程的一个过程变量在为间隙增益方案所设置的范围之内和之外振动时, 控制器的输出将会失效, 不再表示所要求的控制动作。同样地, 当使用非线性增益的方案时, 过程变量的振动也会导致 PID 控制器的输出失效。

本发明概述

因此, 本发明提供了一种防止 PID 控制器在使用非线性增益参数时失效的方法。本发明这一方法用于一过程控制系统的 PID 控制器中, 该过程控制系统用于在闭合控制回路内提供操作控制。PID 控制器被用来在当前的执行周期里产生输出给一个控制过程的设备的一个控制变量(CV)。PID 控制器也用来在当前的执行周期里接收来自控制回路的一个指示受控过程状态的过程变量(PV), 和来自过程控制系统的设定值(SP)和增益参数(K)。

本发明接收来自控制回路的 PV, 和来自过程控制系统的 SP 和 K, 并产生一个 PV 与设定值 SP 的偏差的比例分量。同样地, 在当前的执行周期里产生 PV 与 SP 的偏差的时间积分的积分分量, 和 PV 与 SP 的偏差的时间微分的微分变量。接下来, 产生的比例、积分和微分分量用来计算当前执行周期的增量输出控制变量。接下来计算当前的增益值, 即从前一个执行周期的增益值减去当前执行周期的增益值。接着就是进行线性或非线性

增益参数的检验。如果非线性增益参数、比如间隙增益被测出,那么,一个非线性增益变化分量就被计算出来,并加到增量输出控制变量里。通过把由非线性增益变化分量修正得到的增量输出控制变量加到前一个执行周期的控制变量值里,产生当前执行周期的输出控制变量。前一个执行周期的比例、积分和微分分量的累加量被更新为由当前执行周期所产生的比例、积分和微分分量。这些累加量用来计算下一个周期的非线性增益的变化分量。然而,如果检验得到的是一个线性增益参数,那么非线性增益变化分量的计算就被跳过,输出控制变量就通过将增量输出控制变量加到前一个执行周期的控制变量值里而得到。

相应地,本发明的一个目的是提供一种防止使用非线性增益的PID控制器失效的方法。

本发明的另一个目的是提供一个可以根据接收到的增益参数的类型区分并调整其控制变量输出的PID控制器。

本发明的另一个目的是提供一个可以正确地处理非线性增益从而获得一个更具鲁棒性的过程控制系统的PID控制器。

如果与下面的描述和附图相结合,本发明的这些和其他目的会变得更加显而易见。

附图的简要说明

图1是采用本发明的具有先进性的过程控制系统控制回路的功能图。

图2是描述PID控制器用线性增益参数来计算增量受控变量的方法的框图。

图3是根据本发明在使用非线性增益参数时防止PID控制器失效的对图2的改进方法的框图。

本发明的详细描述

参见图1,示出了一个闭合回路受控过程10,其中用本发明来提高它

的先进性。PID 控制器 12 被用作一个控制器, 它的输出是控制变量信号, 该信号被输出到输出处理模块 13。输出处理模块 13 把控制变量转换成驱动受控设备 14 所要求的形式。例如, 一个从 PID 控制器来的数字控制变量信号可以被转换成一个操纵受控设备 14 所要求的可变的电压或电流的模拟信号。处理模块 13 的输出值 (OP) 被施加到受控设备 14, 例如一个阀或可以直接影响受控过程的其他机械式致动器。受控设备的效果通过连线 15 反馈输入到 PID 控制器作为过程变量 (PV)。PID 控制器 12 同样也接收设定点 (SP) 信号。SP 信号可以由用户或者自动的过程控制系统 (图中没有画出) 来设置。PID 控制器 12 的 SP 输入被用来设置一个初始值或者 PID 控制器操作的操作参考点。理想状态下, 通过 PID 控制器操作, 可以把控制回路中的误差减少为零。另外, SP 信号也可以用来将误差表示为 PV 和 SP 之间的差别。

PID 控制器 12 可以通过本领域技术人员熟知的任何一种形式来实现。比如, 控制器可以通过使用离散量的模拟或数字电路来加以特征化, 这时, 控制器作为控制一个过程的独立的设备存在。另外, PID 控制器也可以完全用软件来实现, 这时, 它的功能可以表示为一个算法。PID 算法接收 PV 和 SP, 并且计算和输出控制变量。PID 软件算法可以是一组存在于自动化过程控制系统的中央数据库中的控制算法中的一种算法, 并用来通过自动化过程控制系统的中央处理单元来产生控制变量解。PID 控制器函数的选择和使用可以在一个操作者或者用户编写的软件程序的控制下进行。

在 PID 控制器用软件实现的过程控制系统中, PID 控制器函数的理想形式可以用以下算法来表示:

$$CV(t) = K [E(t) + 1/T1 \int E(t) dt + T2 dE(t)/dt]$$

其中 K = 增益

T1 = 复位时间

T2 = 速率

E = 误差 (即: PV-SP)

理想的 PID 算法的控制变量的输出是其比例、积分及微分分量的和。在内部, PID 控制器的输出被计算为输出变化的增量, 因此, 算法用它的增量形式可以表示为:

$$CV(t) = Id/dt \{ K[E(t) + 1/T1 \int E(t) dt + T2 dE(t)/dt] \}$$

用数字形式则变为:

$$CV(t) = CV(tI) + Del_CV$$

其中 Del_CV 是在控制器每一个执行周期的增量输出, 它被加到前面的输出值里。

如果控制器的增益是线性的, 也就是在每个执行周期里 K 值没有改变, 那么下面的算法可以精确地计算出 PID 控制器的控制变量输出。

$$Del_CV = K * d/dt [E(t) + 1/T1 \int E(t) dt + T2 dE(t)/dt]$$

当使用线性增益选项时, K 值由用户或操作者来设定, 以得到所要求的静定过程的 PID 控制器的输出。

然而, 当选择间隙增益选项来降低控制动作的灵敏度时, 例如, 当 PV 在 SP 附近的狭窄区域内时, 通过导出 K 值将上述线性增益 PID 算法修改为:

$$K = KLIN * KGAP$$

其中 KLIN 是线性增益参数, KGAP 是用户指定的增益修正因子, 如果 SP 减去间隙的下限 (GAPLO) 小于或等于 PV 并且小于或等于 SP 和间隙的上限 (GAPHI) 的和时, 上述的间隙增益选项被采用。

$$\text{如果 } (SP - GAPLO) \leq PV \leq (SP + GAPHI)$$

同样的, 当选用非线性增益选项时, 上述线性 PID 算法通过使用下面推导的 K 值被修改:

$$K = KLIN * KNL$$

其中 KLIN 是线性增益参数, KNL 是由下面算法导出的非线性增益修正因子:

$$KNL = NLFM + (NLGAIN * (I PV - SP I) / 100)$$

其中 NLFM 是非线性增益形式值, NLGAIN 是由用户指定的非线性增益

值。

我们来看图 2, 它是 PID 控制器 12 对于线性增益计算控制变量的方法的框图。如本领域技术人员可以看出并理解的, 上面解释的算法被用来计算用于计算控制变量的增量输出所要求的三个不同的分量。对于每个输出变化增量或周期, 比例分量 Del_Cp(框 20), 积分分量 Del_Ci(框 21), 和微分分量 Del_Cd(框 22) 被计算出来。用这样计算出来的比例、积分及微分量, 增量输出 Del_CV(框 23) 就被计算出来。这可以表示如下:

$$\text{Del_CV} = K * (\text{Del_Cp} + \text{Del_Ci} + \text{Del_Cd})$$

该执行周期的控制变量被计算出来(框 24), 表示如下:

$$\text{CV} = \text{CV}_{n-1} + \text{Del_CV}$$

正如上面提到的, 当每个执行周期的增益是线性的时候, 这个理想 PID 算法的增量形式很精确。然而, 当为了降低控制器的灵敏度而在 PID 控制器里应用非线性增益参数, 如间隙增益的时候, 当输入 PV 的值振荡时, 上面描述的算法将失效 (windup)。在非线性增益应用的场合, 其中控制动作与误差的平方而不是误差的本身呈比例, 也同样出现失效。

现在我们来看图 3, 其中示出了根据本发明的防止 PID 控制器失效的方法。对于线性增益的算法用来计算三个不同的分量, 它们用来计算控制变量的增量输出。对于每个输出变化的增量或周期, 比例分量 Del_Cp(框 30), 积分分量 Del_Ci(框 31), 和微分分量 Del_Cd(框 32) 被计算出来。用这样计算出来的比例、积分及微分量, Del_CV(框 33) 就被计算出来, 可以表示如下:

$$\text{Del_CV} = K * (\text{Del_Cp} + \text{Del_Ci} + \text{Del_Cd})$$

接下来, Del_K(框 34) 被计算得到, 用它来确定当前周期的增益。

$$\text{Del_K} = K_n - K_{n-1}$$

接下来进行一个测试, 来确定所用算法是否已经为非线性增益参数而被修改(框 35)。如果算法没有为非线性增益而被修改, 那么就接下来计算控制变量(框 36), 当前的执行周期的控制变量就被计算出来(框 36), 表示

如下:

$$CV = C_{V_{n-1}} + Del_CV$$

然而, 如果所用算法已经为非线性增益参数而被修改, 那么一个非线性增益变化分量被计算出来, 并加到 Del_CV 的计算中(框 37)。

$$Del_CV = K * [Del_Cp + Del_Ci + Del_Cd] + [CP+CI+CD] * Del_K$$

其中 CP=Del_Cp 的和

CI =Del_Ci 的和

CD =Del_Cd 的和

一旦非线性增益变化分量被加进 Del_CV 的计算里, 本发明的方法按照框 36 计算出控制变量, 并更新累加的分量 Del_Cp, Del_Ci 和 Del_Cd。累加的分量 Del_Cp, Del_Ci 和 Del_Cd 被更新(框 38)用来在下一个周期里计算非线性增益变量。

必须注意到, 尽管在本发明描述中, PID 控制器被实现为软件程序或例程中的算法, 但通过本发明中的技术, 也应该了解到, 本发明的方法对用离散的模拟或数字的电的或机械的设备来实现的 PID 控制器也同样可以提高它的先进性, 而且还不仅限于此。

本发明是结合优选实施例来描述的。显然, 在不违背附加权利要求中定义的本发明的范围和精神的情况下, 是可以进行各种各样的改变和修正的。

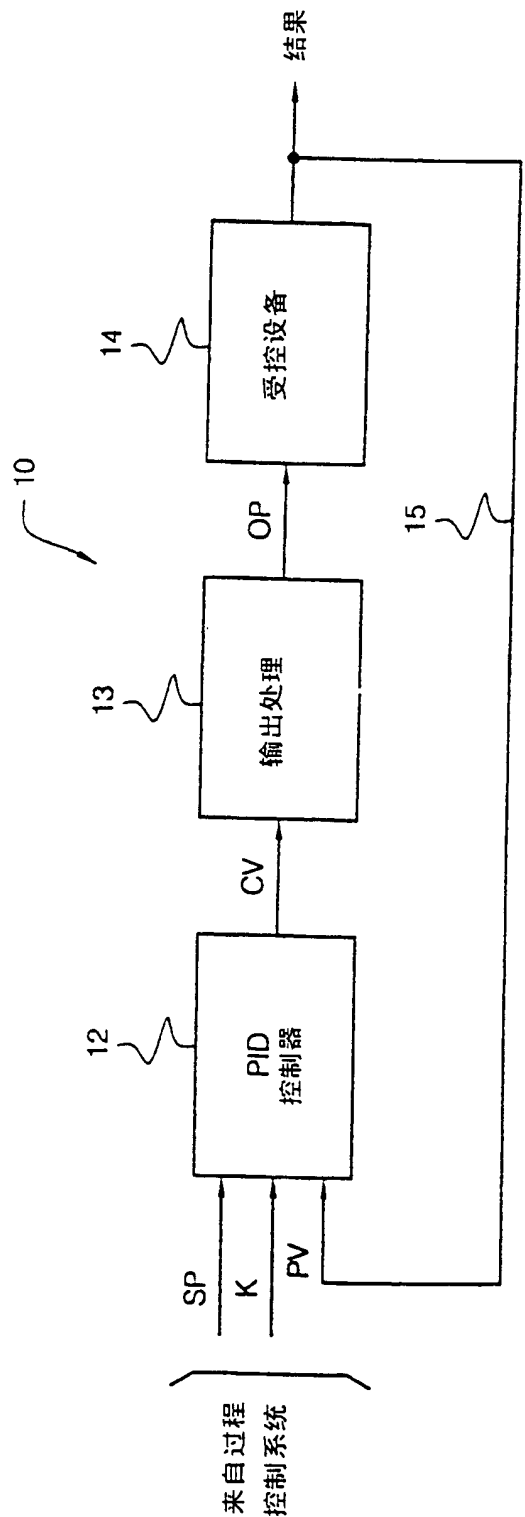


图1

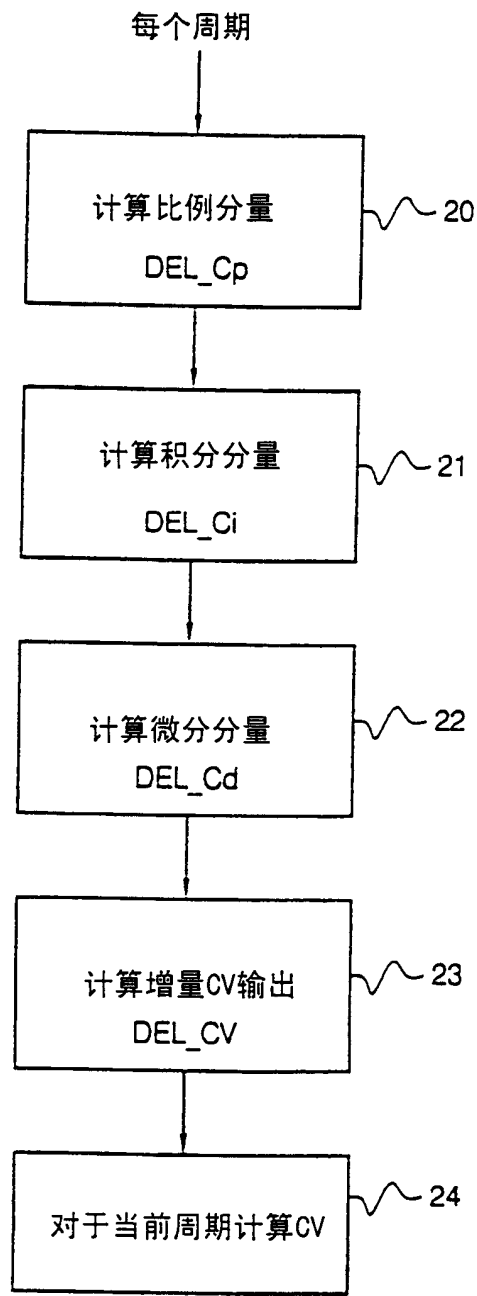


图2

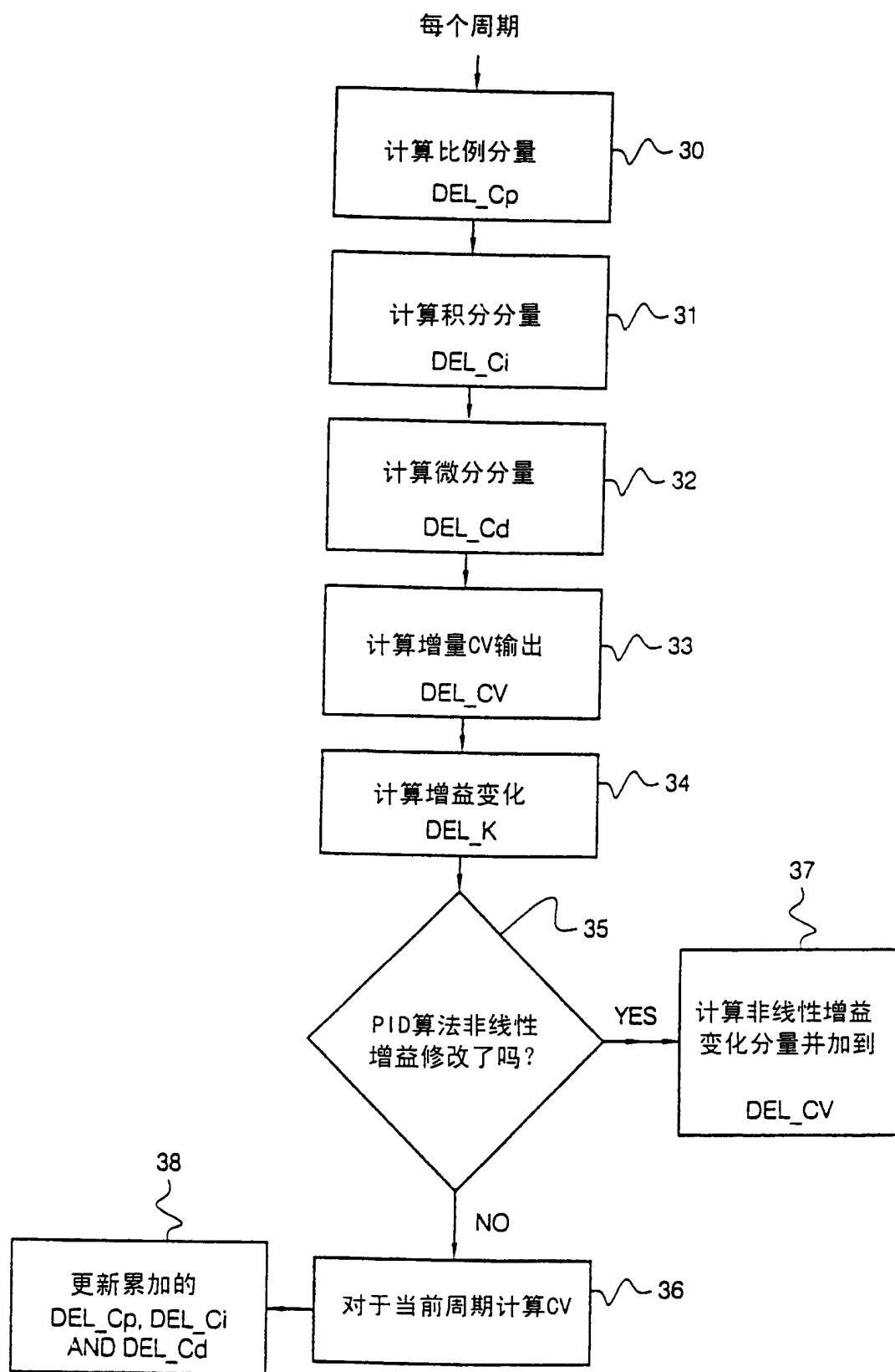


图3