



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102193500 B

(45) 授权公告日 2016. 08. 03

(21) 申请号 201110051830. 3

(22) 申请日 2011. 03. 02

(30) 优先权数据

61/309, 737 2010. 03. 02 US

12/960, 432 2010. 12. 03 US

(73) 专利权人 费希尔 - 罗斯蒙特系统公司

地址 美国得克萨斯州

(72) 发明人 M·库格伦 G·K·麦克米伦

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 曹雯

(51) Int. Cl.

G05B 13/04(2006. 01)

G05B 23/02(2006. 01)

(56) 对比文件

US 6745088 B2, 2004. 06. 01,

US 2002/0016640 A1, 2002. 02. 07,

US 2004/0098145 A1, 2004. 05. 20,

US 2005/0067997 A1, 2005. 03. 31,

US 2007/0078530 A1, 2007. 04. 05,

US 7209793 B2, 2007. 04. 24,

CN 1940781 A, 2007. 04. 04,

审查员 尹婷婷

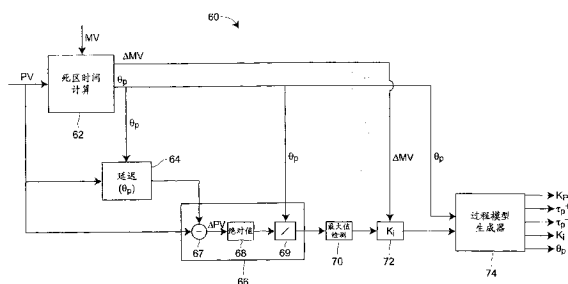
权利要求书5页 说明书17页 附图6页

(54) 发明名称

快速过程模型识别和生成

(57) 摘要

快速过程模型识别技术在相对短的时间段中通过根据过程输出对于过程输入的变化最初响应得出积分增益和过程死区时间的估计, 来识别在所述过程输入与所述过程输出之间的动态关系。随后, 使用所述积分增益和死区时间值为多个不同类型的过程中的任一个生成完整的过程模型。所述过程模型能够用于非常迅速地施行过程仿真或能够用于控制目的, 以便能够使得使用或依赖于在线的过程模型的过程控制系统比先前更加迅速。此外, 所述快速建模技术能够在控制过程回路的控制器完成对于即使单个过程干扰或设定点的变化的响应之前, 用于得出所述过程回路的仿真模型, 从而使得该技术在施行慢过程的控制方面非常有用。



1. 用于生成过程的过程模型的方法,所述方法包括:
收集所述过程中的与过程变量和控制变量相关的过程数据;
根据所收集的在特定时间段内生成的所述过程数据确定与所述控制变量的变化之后的所述过程变量相关联的缓变率,其中,所述特定时间段至少部分地在与所述过程相关联的死区时间段结束之后;
使用所确定的缓变率来生成所述过程的过程模型;以及
在所述过程响应于所述控制变量的所述变化而受控制达到稳定状态之前,使用所生成的过程模型来确定用于控制所述过程的参数。
2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,还包括根据所收集的过程数据来估计与所述过程相关联的过程死区时间,并且其中,使用所确定的缓变率来生成所述过程模型包括使用所估计的过程死区时间和所确定的缓变率来生成所述过程模型。
3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,确定与所述过程变量相关联的缓变率包括确定在所述特定时间段上所述过程变量的变化,其中,所述特定时间段的长度与所述过程的所估计的过程死区时间有关。
4. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,所述特定时间段的所述长度等于所估计的过程死区时间。
5. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,所述特定时间段的所述长度是所估计的过程死区时间的倍数。
6. 根据权利要求3所述的方法,其特征在于,所述特定时间段发生在时间帧内,所述时间帧在所述死区时间段结尾开始,并且在所述死区时间段结束之后延伸等于或短于所述过程死区时间的十倍的时间长度。
7. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,使用所确定的缓变率来生成所述过程的过程模型包括根据所确定的缓变率来确定所述过程的积分增益。
8. 根据权利要求7所述的方法,其特征在于,确定所述过程的积分增益包括确定所确定的缓变率与所述控制变量的所述变化的比率。
9. 根据权利要求7所述的方法,其特征在于,还包括使用所述过程的所述积分增益来确定所述过程的过程模型参数。
10. 根据权利要求9所述的方法,其特征在于,还包括在所述过程响应时间结束之前,使用所述过程模型参数来仿真所述过程的操作。
11. 根据权利要求9所述的方法,其特征在于,还包括在所述过程响应于所述控制变量的所述变化而受控制达到稳定状态之前,使用所述过程模型参数来确定用于控制所述过程的控制参数,以及使用所述控制参数来控制所述过程。
12. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,确定与所述控制变量的变化之后的所述过程变量相关联的缓变率包括确定所述过程变量在所述特定时间段上的变化。
13. 根据权利要求12所述的方法,其特征在于,还包括根据所收集的过程数据来估计过程死区时间,并且其中,所述特定时间段等于所估计的过程死区时间或是所估计的过程死区时间的倍数。
14. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,确定与所述控制变量的变化之后的所述过程变量相关联的缓变率包括确定在相同长度的不同的时间段上的过程变量缓变率的多

重值,以及将所述缓变率确定为所述过程变量缓变率的所述多重值的统计度量。

15.根据权利要求14所述的方法,其特征在于,所述过程变量缓变率的所述多重值的所述统计度量是所述过程变量缓变率的所述多重值的最大值。

16.根据权利要求14所述的方法,其特征在于,所述过程变量缓变率的所述多重值的所述统计度量是所述过程变量缓变率的所述多重值的平均值。

17.用于对过程的操作进行仿真的方法,所述方法包括:

收集所述过程中的与过程变量和控制变量相关的过程数据;

根据所收集的过程数据确定与所述控制变量的变化之后的所述过程变量相关联的缓变率;

使用所确定的缓变率来生成所述过程的过程模型;以及

在所述过程响应于所述控制变量的所述变化而受控制达到稳定状态之前,使用所述过程模型来仿真所述过程的操作。

18.根据权利要求17所述的方法,其特征在于,还包括在所述过程响应于所述控制变量的所述变化而受控制达到稳定状态之前,使用所述仿真来确定控制所述过程的过程控制器的新的一组控制参数。

19.根据权利要求18所述的方法,其特征在于,还包括在所述过程被控制以响应于所述控制变量的所述变化而达到稳定状态之前,向控制所述过程的所述过程控制器提供所述新的一组控制参数,以及响应于所述控制变量的所述变化而在所述过程控制器中使用所述新的一组控制参数来控制所述过程以达到稳定状态。

20.根据权利要求17所述的方法,其特征在于,还包括根据所收集的过程数据来估计与所述过程相关联的过程死区时间,并且其中,使用所确定的缓变率来生成所述过程模型包括使用所估计的过程死区时间和所确定的缓变率来生成所述过程模型。

21.根据权利要求17所述的方法,其特征在于,确定与所述过程变量相关联的缓变率包括确定所述过程变量在特定时间段上的变化,其中,所述特定时间段的长度与过程死区时间有关。

22.根据权利要求21所述方法,其特征在于,所述特定时间段的所述长度等于所述过程死区时间。

23.根据权利要求17所述的方法,其特征在于,使用所确定的缓变率来生成所述过程的过程模型包括根据所确定的缓变率来确定所述过程的积分增益。

24.根据权利要求23所述的方法,其特征在于,确定所述过程的积分增益包括确定所确定的缓变率与所述控制变量的所述变化的比率。

25.根据权利要求17所述的方法,其特征在于,确定与所述控制变量的变化之后的所述过程变量相关联的缓变率包括确定在相同长度的不同的时间段上的过程变量缓变率的多重值,以及将所述缓变率确定为所述过程变量缓变率的所述多重值的统计度量。

26.用于使用一组控制参数来控制由过程控制器控制的过程的方法,所述方法包括:

收集所述过程中的与过程变量和控制变量相关的过程数据;

根据所收集的过程数据,在所述过程响应于所述控制变量的变化而受控制达到稳定状态之前,确定与所述控制变量的所述变化之后的所述过程变量相关联的缓变率;

使用所确定的缓变率来生成所述过程的过程模型;

在所述过程响应于所述控制变量的所述变化而受控制达到稳定状态之前,使用所述过程模型来确定所述过程控制器的新的一组控制参数;以及

在所述过程响应于所述控制变量的所述变化而受控制达到稳定状态之前,向所述过程控制器提供所述新的一组控制参数。

27. 根据权利要求26所述的方法,其特征在于,还包括响应于所述控制变量的所述变化而在所述过程控制器中使用所述新的一套控制参数来控制所述过程以达到稳定状态。

28. 根据权利要求26所述的方法,其特征在于,还包括根据所收集的过程数据来估计与所述过程相关联的过程死区时间,并且其中,使用所确定的缓变率来生成所述过程模型包括使用所估计的过程死区时间和所确定的缓变率来生成所述过程模型。

29. 根据权利要求26所述的方法,其特征在于,确定与所述过程变量相关联的缓变率包括确定所述过程变量在特定时间段上的变化,其中,所述特定时间段的长度与过程死区时间有关。

30. 根据权利要求29所述的方法,其特征在于,所述特定时间段的所述长度等于所述过程死区时间或是所述过程死区时间的倍数。

31. 根据权利要求26所述的方法,其特征在于,使用所确定的缓变率来生成所述过程的过程模型包括根据所确定的缓变率来确定所述过程的积分增益。

32. 根据权利要求26所述的方法,其特征在于,确定与所述控制变量的变化之后的所述过程变量相关联的缓变率包括确定在相同长度的不同的时间段上的过程变量缓变率的多重值,以及将所述缓变率确定为所述过程变量缓变率的所述多重值的统计度量。

33. 过程模型生成系统,包括:

处理器;

第一例程,其存储在计算机可读介质上,运行在所述处理器上,用以收集在线过程中的与过程变量和控制变量相关的过程数据;

第二例程,其存储在所述计算机可读介质上,运行在所述处理器上,用以确定在一段时间期间的、与所述控制变量的变化之后的所述过程变量相关联的缓变率,所述时间段发生在时间帧内,其在所述过程变量响应于所述控制变量的所述变化而达到静息值之前结束;以及

第三例程,其存储在所述计算机可读介质上,使用所确定的缓变率来生成所述过程的过程模型,并且在所述过程变量响应于所述控制变量的所述变化而达到所述静息值之前,基于用于i)控制所述过程,或ii)仿真所述过程中的至少一个的所述过程模型来确定参数。

34. 根据权利要求33所述的过程模型生成系统,其特征在于,还包括第四例程,其存储在所述计算机可读介质上,运行在所述处理器上,用以根据所收集的过程数据来估计与所述过程相关联的过程死区时间,并且其中,所述第二例程使用所估计的过程死区时间来确定所述缓变率。

35. 根据权利要求34所述的过程模型生成系统,其特征在于,所述时间段等于所估计的过程死区时间。

36. 根据权利要求34所述的过程模型生成系统,其特征在于,所述时间段等于所估计的过程死区时间的倍数。

37. 根据权利要求34所述的过程模型生成系统,其特征在于,所述第三例程通过根据所

确定的缓变率以确定所述过程的积分增益来使用所确定的缓变率来生成所述过程的所述过程模型。

38. 根据权利要求34所述的过程模型生成系统,其特征在于,所述第二例程通过确定在相同长度的不同的时间段上的过程变量缓变率的多重值来确定与所述控制变量的变化之后的所述过程变量相关联的缓变率,以及将所述缓变率确定为所述过程变量缓变率的所述多重值的统计度量。

39. 用于与过程一起使用的过程建模系统,包括:

数据收集单元,其收集所述过程中的与过程变量和控制变量相关的过程数据;

死区时间单元,其根据所收集的过程数据来确定与所述过程相关联的死区时间;

缓变单元,其根据所收集的在与所确定的死区时间相关的特定时间段内生成的所述过程数据确定与所述控制变量的变化之后的所述过程变量相关联的缓变率,其中,所述特定时间段发生在时间帧内,其在所述过程响应于所述控制变量的所述变化而达到静息值之前结束;以及

建模单元,其在所述过程响应于所述控制变量的所述变化而受控制达到稳定状态之前,使用所确定的缓变率来生成所述过程的过程模型;以及

整定单元,其在所述过程响应于所述控制变量的所述变化而受控制达到稳定状态之前,确定一个或多个来自于所述过程模型的用于控制所述过程的控制参数。

40. 根据权利要求39所述的过程建模系统,其特征在于,所述特定时间段等于所确定的死区时间。

41. 根据权利要求39所述的过程建模系统,其特征在于,所述特定时间段是所确定的死区时间的倍数。

42. 根据权利要求39所述的过程建模系统,其特征在于,所述缓变单元包括延迟块,其通过特定时间来延迟所收集的过程变量,所述缓变单元还包括加法器,其确定差值信号,所述差值信号指出当前过程变量值与通过所述延迟块延迟的过程变量值之间的差值,所述缓变单元还包括除法器单元,其将所述差值信号除以所述特定时间来产生过程变量缓变率。

43. 根据权利要求42所述的过程建模系统,其特征在于,所述缓变单元还确定在所述控制变量的变化之后的、一系列的过程变量缓变率,以及还包括统计块,其确定所述一系列的过程变量缓变率的统计度量来产生所述过程变量缓变率。

44. 根据权利要求43所述的过程建模系统,其特征在于,所述统计块将所述一系列的过程变量缓变率的最大值确定为所述过程变量缓变率。

45. 根据权利要求43所述的过程建模系统,其特征在于,所述建模单元通过根据所确定的过程变量缓变率以确定所述过程的积分增益,来确定所述过程的所述过程模型。

46. 根据权利要求45所述的过程建模系统,其特征在于,所述建模单元通过确定所确定的过程变量缓变率与所述控制变量的所述变化的比率来确定所述过程的积分增益。

47. 根据权利要求42所述的过程建模系统,其特征在于,所述整定单元根据所述过程模型来确定一个或多个控制参数,以用于控制所述过程。

48. 根据权利要求47所述的过程建模系统,其特征在于,还包括控制器,其控制所述过程,并且其中,所述整定单元在所述控制器响应于所述控制变量的所述变化而控制所述过程以达到稳定状态之前,向所述控制器提供所述控制参数。

49. 根据权利要求42所述的过程建模系统,其特征在于,还包括仿真单元,其在所述过程响应于所述控制变量的所述变化而受控制达到稳定状态之前,使用过程模型参数来仿真所述过程的操作。

快速过程模型识别和生成

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请是常规提交申请并且要求享受2010年3月2日提交的,名为“Rapid Process Model Identification and Generation”的第61/309,737号美国临时专利申请的优先权,并在此将其全文引用作为参考。

技术领域

[0003] 本发明大体上涉及过程控制系统,更具体地,涉及用于迅速识别和生成过程模型的方法,以用于在诸如工业过程工厂的过程控制系统中的控制和仿真活动。

背景技术

[0004] 诸如分布式的或可扩展的过程控制系统,例如在化工、石油或其他过程中使用的过程控制系统,通常包括一个或多个过程控制器,这些控制器通过模拟的、数字的或组合的模拟/数字总线通信地耦合到彼此、到至少一个主机或操作者工作站、到一个或多个现场设备。这些现场设备,它们可以是,例如,阀,阀定位器,开关和变送器(例如,温度、压力和流速传感器),在过程内施行诸如打开和关闭阀和测量过程参数的功能。过程控制器接收表示由现场设备所做的过程测量的信号和/或关于现场设备的其他信息,并且使用这些信息实现控制例程,控制例程随后产生控制信号,该控制信号通过总线被发送到现场设备以控制过程的操作。来自现场设备和控制器的信息通常能够被由操作者工作站执行的一个或多个应用使用,以使操作者能够施行关于此过程的任何期望的功能,例如查看此过程的当前状态,更改此过程的操作等。

[0005] 一些过程控制系统,例如由艾默生过程管理出售的DeltaV[®]系统,使用被称为模块的功能块或功能块组,其位于控制器中或不同的现场设备中来施行控制操作。在这些情况下,控制器或其他设备能够包括和执行一个或多个功能块或模块,其中的每一个都接收来自其他功能块(在同一个设备中或在不同的设备中)的输入和/或提供到其他功能块的输出,并施行一些过程操作,诸如测量或检测过程参数、控制设备或执行控制操作,诸如实现比例微分积分(PID)控制例程。过程控制系统中的不同的功能块和模块通常被配置为彼此相互通信(例如,通过总线)以形成一个或多个过程控制回路。

[0006] 过程控制器通常被编程以用于针对为过程限定的或者包含在过程中的例如流控制回路、温度控制回路、压力控制回路等的多个不同回路中的每一个执行不同的算法、子例程或者控制回路。一般来说,每个这样的控制回路包括一个或多个输入块,例如模拟输入(AI)功能块,包括单输出控制块,例如比例微分积分(PID)或模糊逻辑控制功能块并包括输出块,例如模拟输出(AO)功能块。

[0007] 控制例程,和实现这些例程的功能块,已经根据很多控制技术配置,控制技术包括PID控制、模糊逻辑控制和例如史密斯预估器或模型预测控制(MPC)的基于模型的技术。在基于模型的控制技术中,在例程中使用的用于确定闭环控制响应的参数是基于对于作为过程的输入的所控制的或所测量的扰动的变化的动态过程响应。可以将对过程输入的变化的

过程响应的表示描述为过程模型。例如,一阶参数化的过程模型可以指定过程的增益、死区时间、以及主时间常数的值。

[0008] MPC,其是一种特别的基于模型的控制技术,包括使用多个被设计为获取在过程输入和输出之间的动态关系的步骤或脉冲响应模型。通过MPC技术,过程模型直接用于生成控制器。当MPC控制器与在过程死区时间、过程延迟等中经历了大的变化的过程结合使用时,则必须使用模型来自动地再生成该MPC控制器以匹配当前过程条件。在这个情况下,在多个操作条件中的每个条件下相应地识别过程模型。然而,多个过程模型的引入以及需要自动生成控制器的来匹配当前过程条件非期望地增加了过程控制系统的复杂性。

[0009] 使用自适应控制技术已经将过程模型用于设定PID和其他控制方案的整定参数,其中通常过程模型和用户选择的整定规则中的变化导致要更新PID(或其他)控制器的整定。例如,美国专利第7113834号,名为“State Based Adaptive Feedback Feedforward PID Controller”和美国专利第6577908号,名为“Adaptive Feedback/Feedforward PIDController”,公开了用于施行自适应控制的过程模型的使用。

[0010] 尽管希望改善控制性能,但是基于模型的控制和自适应控制技术的使用在过程工业领域中是局限的,因为在实际中该些技术时常很难实现。作为实际问题,模型识别通常是专为MPC控制或自适应控制而设计的特别的功能块的一部分。不幸的是,确定哪些过程控制回路将得益于自适应控制的实现常常是困难的,即,应该为自适应性能选择哪些回路。一个原因涉及到在典型的工厂中受监控的众多的(例如,成百个)控制回路和仪器(例如,上千个)。不论工厂的规模和复杂性,常规的过程控制系统通常不支持为工厂中的所有的控制回路创建过程模型。更严重的是,需要相当数量的测试来为每个待确定模型的控制回路识别新的过程模型。例如,该测试可能需要应用一个或多个过程的扰乱,其与在线过程的操作不兼容。

[0011] 如上所述,研发用于控制系统的过程模型能够是涉及手动的过程,并且即使过程是自动的,可能花费大量的时间来施行。通常,改变过程干扰或控制信号,并且监控被控制的过程变量的响应,来为过程回路确定过程响应时间、过程增益、过程死区时间等,以便得到控制回路的过程模型。该技术可以用于迅速地 and 容易地确定快速过程或快速过程回路的动态特性,诸如流体和液体压强控制回路,因为对于这些回路过程变量到达静息值所需要的时间是以秒为单位发生的,因此可使用大量技术中的任一种来实现过程动态特性的迅速识别。然而,对于慢过程或过程回路,诸如容器液位或柱罐液位、温度、pH、以及成分控制回路,有关的过程变量可能需要几分钟、几小时、以及甚至几天才能到达设定点或最终的静息值。此外,扰动常常发生在测试完成之前,从而需要进一步的测试。因此,目前用于这些过程的模型识别工具通常需要多个测试,甚至对于相对的安静的过程(quietprocess)也是如此。因此,需要几天至几周来为慢过程回路识别完整的或准确的一套模型。

[0012] 同样地,对于连续过程,设定点可相对不频繁地改变,并且通常在正常情况下仅在过程启动期间、或在速率改变或牌号切换期间进行改变。此外,对于批处理过程,通常在诸如温度的批处理变量中仅有一个或两个设定点变化。作为结果,施行为这些回路的模型所需要的多个测试是困难的。附加地,由于上述的原因,大多数现有的过程模型识别工具是与模型预测控制和自适应比例、积分、微分(PID)控制器或PID自动整定器相关联的,并且不普遍与慢过程的控制回路一起使用。

发明内容

[0013] 快速过程模型识别技术在诸如几分钟的相对短的时间段中,甚至为慢过程或过程回路识别在任何过程输入和过程输出之间的动态关系。随后,该模型识别技术能够用于为多个不同类型的过程生成过程模型,并且能够用于控制目的,以便能够比先前更加迅速地获得使用或依赖于在线的过程模型的过程控制系统。此外,该技术能够被用于在控制过程回路的控制器完成对于甚至单个过程干扰或设定点的变化的响应之前,获得过程回路的仿真系统。该特征首先允许了所迅速生成的模型被用于响应于被用于生成模型的过程干扰以控制过程,例如,在过程的过程响应时间段结束之前或在过程控制器响应于过程干扰(其可能由过程中的控制变量的变化引起)控制过程达到稳定状态之前。在任何情况下,该过程模型识别技术能够用于迅速地确定初始过程模型,其能够直接被用于施行过程控制和过程的仿真,并且因为随时间推移,能够获得更多的关于过程回路的数据,所以该过程模型能够被更新、更改或完善。

[0014] 在一个情况下,用于生成过程的过程模型的方法包括:收集所述过程中的与过程变量和控制变量相关的过程数据,并且根据所收集的在特定时间段内生成的所述过程数据确定与所述控制变量的变化之后的所述过程变量相关联的缓变率。在此,所述特定时间段短于与所述过程相关联的过程响应时间,并且至少部分地在死区时间段结束之后,与所述过程相关联。随后,该方法使用所述所确定的缓变率来生成所述过程的过程模型。该方法可以还包括根据所述所收集的过程数据来估计与所述过程相关联的过程死区时间,并且可以使用所述缓变率以及所述所估计的过程死区时间来生成所述过程模型。该方法可以通过确定在所述特定时间段上所述过程变量的变化来确定与所述过程变量相关联的缓变率,其中,所述特定时间段的长度与所述过程的所估计的过程死区时间有关。所述特定时间段的长度可以,例如,等于所述所估计的过程死区时间或可以是所述所估计的过程死区时间的倍数。

[0015] 在一些情况下,所述特定时间段(至少部分地)发生在时间帧内,所述时间帧在所述死区时间段结尾开始,并且在所述死区时间段结束之后,延伸例如等于或短于所述过程死区时间的十倍的时间长度。更一般地,所述特定时间段在所述过程的所述过程死区时间段结束之后(在控制变量的变化之后)稍后或立即开始。在一些情况下,所述特定时间段可能处于在所述过程死区时间段结束之后、延伸过程的一个或多个死区时间的长度的时间段中,可能处于过程的前一半过程响应时间内,或对于死区时间占主导的过程,可能处于超过该前一半过程响应时间的时间段内。然而,所述特定时间段总是短于与所述控制变量的变化相关联的过程的过程响应时间。

[0016] 生成所述过程的过程模型可以包括通过确定所述所确定的缓变率与所述控制变量的变化之间的比率,来由所述所确定的缓变率确定所述过程的积分增益。此外,该方法可以使用为所述过程确定的所述积分增益来确定所述过程的其他过程模型参数,以及可以在所述过程响应时间结束之前,使用所述过程模型参数来仿真所述过程的操作。该方法可以还或替代地在所述过程响应时间结束之前,使用所述过程模型参数来确定用于控制所述过程的控制参数,以及可以使用所述控制参数来控制所述过程。

[0017] 更进一步地,该方法可以通过确定在相同长度的不同的时间段上(诸如,等于所述

所估计的过程死区时间的长度的时间)的过程变量缓变率的多重值来确定与所述控制变量的变化之后的所述过程变量相关联的缓变率,以及可以将所述缓变率确定为所述过程变量缓变率的所述多重值的统计度量。例如,该方法可以将所述缓变率确定为所述过程变量缓变率的所述多重值的最大值、平均值、中间值等。

[0018] 在另一个情况下,用于仿真过程的操作的方法包括收集所述过程中的与过程变量和控制变量相关的过程数据,根据所述所收集的过程数据确定与所述控制变量的变化之后的所述过程变量相关联的缓变率,以及使用所述所确定的缓变率来生成所述过程的过程模型。随后,该方法在所述过程响应于所述控制变量的所述变化而受控制达到稳定状态之前,使用所述过程模型来仿真所述过程的操作。该方法还可以包括在所述过程响应于所述控制变量的所述变化而受控制达到稳定状态之前,使用所述仿真来确定控制所述过程的过程控制器的新的一组控制参数。更进一步地,该方法可以在所述过程响应于所述控制变量的所述变化而受控制达到稳定状态之前,向控制所述过程的所述过程控制器提供所述新的一组控制参数,以及可以响应于所述控制变量的所述变化而在所述过程控制器中使用所述新的一套控制参数来控制所述过程以达到稳定状态。

[0019] 该方法还可以包括根据所述所收集的过程数据来估计与所述过程相关联的所述过程死区时间,以及可以使用所述所确定的过程死区时间和所述所确定的缓变率来生成所述过程模型。

[0020] 在另一个情况下,用于使用一组控制参数来控制由过程控制器控制的过程的方法,所述方法包括:收集所述过程中的与过程变量和控制变量相关的过程数据,根据所述所收集的过程数据、在所述过程响应于所述控制变量的所述变化而受控制达到稳定状态之前、确定与所述控制变量的变化之后的所述过程变量相关联的缓变率,以及使用所述所确定的缓变率来生成所述过程的过程模型。该方法可以在所述过程响应于所述控制变量的所述变化而受控制达到稳定状态之前,使用所述过程模型来确定所述过程控制器的新的一组控制参数,以及在所述过程响应于所述控制变量的所述变化而受控制达到稳定状态之前,向所述过程控制器提供所述新的一组控制参数。

[0021] 在又一个情况下,过程模型生成系统包括:处理器、第一例程,其存储在计算机可读介质上,运行在所述处理器上,用以收集在线过程中的与过程变量和控制变量相关的过程数据,还包括第二例程,其存储在所述计算机可读介质上,运行在所述处理器上,用以确定在一段时间期间的、与所述控制变量的变化之后的所述过程变量相关联的缓变率,所述时间段短于与所述过程相关联的过程响应时间,以及还包括第三例程,其存储在所述计算机可读介质上,使用所述所确定的缓变率来生成所述过程的过程模型。第四例程,其存储在所述计算机可读介质上,可以运行在所述处理器上,用以根据所述所收集的过程数据来估计与所述过程相关联的过程死区时间,并且所述第二例程可以使用所述所估计的过程死区时间来确定所述缓变率。另外,所述第三例程可以通过根据所述所确定的缓变率确定所述过程的积分增益,来使用所述所确定的缓变率来生成所述过程的所述过程模型。如果需要,所述第二例程可以通过确定在相同长度的不同的时间段上的过程变量缓变率的多重值来确定与所述控制变量的变化之后的所述过程变量相关联的缓变率,以及可以将所述缓变率确定为所述过程变量缓变率的所述多重值的统计度量。

[0022] 更进一步地,用于与过程一起使用的过程建模系统包括:数据收集单元,其收集所

述过程中的与过程变量和控制变量相关的过程数据,所述建模系统还包括死区时间单元,其根据所述所收集的过程数据来确定与所述过程相关联的死区时间,以及缓变单元,其根据所收集的在与所述所确定的死区时间相关的特定时间段内生成的所述过程数据确定与所述控制变量的变化之后的所述过程变量相关联的缓变率,其中,所述特定时间段短于与所述过程相关联的过程响应时间。此外,该过程建模系统包括建模单元,其使用所述所确定的缓变率来生成所述过程的过程模型。如果需要,所述特定时间段可以等于所述所确定的死区时间或可以是所述所确定的死区时间的倍数。

[0023] 在此,所述缓变单元可以包括延迟块,其通过所述特定时间来延迟所述所收集的过程变量,所述缓变单元还包括加法器,其确定差值信号,所述差值信号指出当前过程变量值与通过所述延迟单元延迟的过程变量值之间的差值,所述缓变单元还包括除法器单元,其将所述差值信号除以所述特定时间来产生过程变量缓变率。所述缓变单元还可以确定在所述控制变量的变化之后的、一系列的过程变量缓变率,以及可以包括统计块,其确定所述一系列的过程变量缓变率的统计度量来产生所述过程变量缓变率。所述统计块可以例如将所述一系列的过程变量缓变率的最大值确定为所述过程变量缓变率。

[0024] 所述过程建模系统可以还包括整定单元,其根据所述过程模型来确定一个或多个参数,以用于控制所述过程,以及可以包括控制器,其控制所述过程,以便所述整定单元在所述控制器响应于所述控制变量的所述变化而控制所述过程以达到稳定状态之前,向所述控制器提供所述控制参数。所述过程建模系统可以还包括或替代地包括仿真单元,其在过程响应时间结束之前,使用所述过程模型参数来仿真所述过程的操作。

附图说明

[0025] 为了更完整地理解本发明,应该参考以下详细的说明以及所附的附图,其中,类似的附图标记标识了附图中类似的元件,并且其中:

[0026] 图1是过程控制系统的示意图,该系统包括配置有一个或多个控制例程的控制器,以及包括通信地耦合到仿真系统的一个或多个快速过程模型识别和生成模块;

[0027] 图2示出在积分过程中过程变量对于控制变量的变化的典型的响应;

[0028] 图3示出在自调节过程中过程变量对于控制变量的变化的典型的响应;

[0029] 图4示出在失控过程中过程变量对于控制变量的变化的典型的响应;

[0030] 图5是图1的快速过程模型识别和生成模块中的一个的功能框图;以及

[0031] 图6是仿真系统的示意图,该系统可以用于使用由图1或图5的快速过程模型识别和生成模块中的一个创建的过程模块来仿真过程回路或过程的操作。

具体实施方式

[0032] 先参考图1,过程控制系统10包括过程控制器11,该过程控制器11连接到数据历史记录12和一个或多个具有显示屏14的主工作站或计算机13(其可以是任何类型的个人计算机、工作站等)。控制器11也经由输入/输出(I/O)卡26和28连接到现场设备15-22。数据历史记录12可以是任何期望类型的具有用于存储数据的任何期望类型的存储器和任何期望的或已知的软件、硬件或固件的数据收集单元。数据历史记录12可以从工作站13分离(如图3所示)或可以是工作站13中的一个的一部分。控制器11,其可以是,例如,例如由艾默生过程

管理出售的DeltaV[®]控制器,控制器11经由例如,以太网连接或任何其他期望的通信网络23通信地连接到主计算机13和数据历史记录12。控制器11还使用任何期望的与例如标准的4-20毫安设备相关联的硬件和软件和/或诸如FOUNDATION[®]现场总线协议、HART[®]协议、WirelessHART[®]协议等的任何智能通信协议来通信地连接到现场设备15-22。

[0033] 现场设备15-22可以是任何类型的设备,诸如传感器、阀、变送器、定位器等,而I/O卡26和28可以是任何类型的符合任何期望的通信或控制器协议的I/O设备。在图1所示的实施例中,现场设备15-18是通过至I/O卡26的模拟线路或模拟数字混合线路通信的HART设备或标准的4-20毫安设备,而现场设备19-22是智能设备,诸如现场总线现场设备,其使用现场总线协议通信线在通过至I/O卡28的数字总线通信。当然,现场设备15-22可以符合任何其他所期望的一个或多个标准或协议,包括任何在将来所研发出的标准或协议。

[0034] 控制器11包括处理器30,其实现或监管一个或多个过程控制例程(存储在存储器32中的),处理器30可以包括控制回路,并且与设备15-22、主计算机13和数据历史记录12通信来以任何期望的方式控制过程。应注意,如果需要,任何在此处描述的控制例程或模块可以部分地由不同的控制器或其他设备实现或执行。同样地,在此处描述的将在过程控制系统10内实现的控制例程或模块可以采用任何形式,包括软件、固件、硬件等。当然,过程控制模块可以是过程控制系统的任何部分,包括,例如,例程、块或任何其中的元件、或任何其他存储在任何计算机可读介质上的将在处理器上执行的软件。控制例程,其可以是模块,或是控制程序的任何部分,诸如子例程、子例程的部分(诸如代码行),等,可以以任何期望的软件形式实现,诸如使用面向对象的程序设计、使用梯形逻辑、顺序功能图、功能块图、或使用任何其他软件编程语言或设计模式。同样地,控制例程可以是硬编码地实现在例如,一个或多个EPROM,EEPROM,专用集成电路(ASIC)、或任何其他硬件或固件元件中。因此,控制器11可以配置为以任何期望的方式实现控制策略或控制例程。

[0035] 在一些实施例中,控制器11使用通常称为功能块的东西来实现控制策略,其中,每个功能块是一个对象或整个控制例程的其他部分(例如,子例程),并且结合其他功能块(经由被称为链路的通信线)实现在过程控制系统10内的过程控制回路。功能块通常施行与诸如变送器、传感器或其他过程参数测量设备相关联的输入功能、与诸如施行PID、模糊逻辑等控制相关联的控制功能、或控制一些诸如阀的设备的操作的输出功能中的一个,以施行在过程控制系统10内的物理功能。当然,存在混合功能块和其他类型的功能块。这些功能块当被用于标准的4-20毫安设备和一些类型的诸如HART设备的智能现场设备,或与其相关联时,可以被储存在控制器11中并且由其执行;或在使用现场总线设备时,这些功能块可以存储在现场设备中并且由其本身实现。虽然在此使用功能块控制策略来提供控制系统10的描述,但是还可以使用其他常规,诸如梯形逻辑、顺序功能图等或使用任何其他期望的编程语言或模式来实现或设计本发明的技术和系统。

[0036] 由图1的分解框图40所示,控制器11可以包括多个单回路控制例程,如例程42和44所示,并且,如果需要,可以实现一个或多个高级控制回路,诸如多/输入-多/输出控制例程,如控制回路46所示。每个这样的回路通常被称为控制模块。单回路控制例程42和44被示出为分别使用单输入/单输出模糊逻辑控制块和单输入/单输出PID控制块来施行单回路控制。单回路控制例程42和44连接到合适的模拟输入(AI)和模拟输出(AO)功能块,其可以与诸如阀的过程控制设备相关联、与诸如温度和压强变送器的测量设备相关联、或与过程控

制系统10内的任何其他的设备相关联。尽管先进控制块48的输入和输出可以连接到任何其他期望的功能块或控制元件来接收其他类型的输入并且来提供其他类型的控制输出,先进控制回路46被示出为包括通信地连接到一个或多个AI功能块的输入和通信地连接到一个或多个AO功能块的输出。先进控制块48可以是任何类型的模型预测控制(MPC)块,神经网络建模或控制块、多变量的模糊逻辑控制块、实时优化块等,或可以是自适应地整定的控制块等。应该可以理解,图1中所示的功能块,包括先进控制块48,能够由控制器11执行或,替代地,能够位于诸如工作站13中的一个甚至或现场设备19-22中的一个的任何其他处理设备并且由其执行。

[0037] 此外,如图1所示,一个或多个过程模型识别例程50可以存储在过程控制系统10的一个或多个设备中。虽然模型识别例程50被示出为被存储在控制器11和工作站13中,但是例程50可以被存储在其他替代的或附加的设备中,并且在其中执行,该些设备包括,例如,现场设备15-22中的任一个。每个模型识别例程50通信地耦合到诸如控制例程42、44、46的一个或多个控制例程来接收一个或多个控制变量(例如,控制器输出)和一个或多个所测量的过程变量。每个模型识别例程50负责基于过程干扰或控制器信号(包括设定点的变化)和一个或多个所测量的过程变量为一个或多个过程回路或过程快速地识别过程模型。虽然任何特定的模型识别例程50可以为特定相关的一组控制变量(例如,控制器输出或设定点)和由控制器输出控制的过程变量确定过程模型,但是模型识别例程50可以确定任何期望的一组控制变量和过程变量之间的关系或可以确定与任何期望的一组控制变量和过程变量相关联的过程模型,并且不限于为与特定的控制回路相关联的一组控制变量和过程变量确定过程模型。

[0038] 如图1所示,仿真系统52被存储在工作站13中的一个并且可以由其执行。仿真系统52通信地耦合到一个或多个模型识别例程50并且使用由模型识别例程50得到的一个或多个过程模型来施行仿真。在该情况下,当在得到过程模型时,仿真系统52可以通信地耦合到任何或所有的模型识别例程50来接收来自例程50的过程模型。用户可以使用仿真系统52来施行过程仿真,由此基于所识别的过程模型来仿真过程的将来的操作。通过下述的讨论可以理解,因为模型识别例程50能够基于来自操作过程的反馈,快速地确定过程模型或过程关系,仿真系统52可以工作和运行,并且能够在控制器11真正实现完整的控制响应(即,控制器11响应于过程干扰或过程变量设定点的变化而控制过程变量)之前,仿真由控制器11控制的过程或过程回路。该特征使得仿真系统52在过程控制系统10建立好之后,或在过程控制系统10的变化之后迅速地有用,并且使得仿真系统52在整定过程控制回路中有用,而控制器11仍然响应于特定的过程干扰、扰动、或设定点的变化而控制过程。

[0039] 结合图2-6描述了模型识别例程50的操作,其实现快速地确定过程模型或在控制变量(包括干扰变量)和过程变量之间的关系的方法。一般来说,存在三种基本类型的由过程的开环控制响应限定的过程,包括积分过程(integrating process)、自调节过程(self-regulating process)和失控过程(run-away process)。在积分过程中,过程变量响应于控制变量的阶跃变化连续地在相当稳定的状态下缓变。在自调节过程中,过程变量响应于控制变量的阶跃变化朝新的稳态值缓变,当其接近新的稳态值时会减速,并且最终会在新的稳定的状态值处呈平稳状态。自调节过程通常被描述为负反馈过程。在另一方面,在失控过程中,过程变量响应于控制变量的阶跃变化,以加速的速率缓变直到过程变量碰到设置在

控制系统中的释放(relief)或联锁,其以一些方式停止过程。失控过程通常被描述为正反馈过程。

[0040] 图2示出示例性积分过程的开环控制响应,其通常在层级过程和某个批处理过程中。如图2所示,响应于控制器输出(例如,控制变量)的阶跃变化,过程变量PV的缓变率变化,并且继续以基本上稳定的缓变率而不标明稳态值。通常,从控制变量MV的变化之前的时间到控制变量MV的变化之后的可观的时间段中的缓变率的变化用于根据开环测试识别积分增益(K_i)。对于闭环控制,过程变量PV通常在测试之前和之后处于设定点上。在该情况下,初始过程变量缓变率通常是零,并且在整个响应期上的过程变量缓变率用于识别积分增益 K_i 。在任何情况下,积分过程的积分增益 K_i 能够被计算为在控制变量的变化之前和之后的过程变量的缓变率的变化,并且能够在数学上表示为:

$$[0041] \quad K_i = \{ [\Delta PV_2 / \Delta T_2] - [\Delta PV_1 / \Delta T_1] \} / \Delta MV$$

[0042] 式中:

[0043] ΔMV 是控制变量的变化;

[0044] ΔPV_1 是过程变量在时间段 ΔT_1 上的变化,该时间段刚好在由控制变量的明显的变化引起的过程变量的变化之前;以及

[0045] ΔPV_2 是过程变量在时间段 ΔT_2 上的最大变化,该时间段在由控制变量的明显的变化引起的过程变量的变化之后。

[0046] 通常,使用过程变量PV和控制变量MV的变化来施行该计算,其中过程变量PV和控制变量MV被表示为在这些变量的范围中的百分比变化。

[0047] 以类似的方式,图3示出自调节过程的开环响应。如图3所示,在控制变量MV的变化(发生在时间 t_0)之后,过程变量PV在死区时间段 θ_p 内保持基本稳定或不变(即,过程变量PV不经历任何明显的变化),并且因此仍处于噪声频带中直到死区时间段 θ_p 结束。此后,过程变量PV随时间向上缓变,在一定的时间段之后,过程变量PV在静息点或新的稳态值处达到平稳。在该情况下,可以由开环增益 K_o 和过程时间常数 τ_p 描述或建模该过程。开环增益 K_o 可以计算为:

$$[0048] \quad K_o = \Delta PV / \Delta MV$$

[0049] 式中:

[0050] ΔMV 是控制变量的变化;以及

[0051] ΔPV 是过程变量在 t_0 上的初始值和最终静息值之间的过程变量的总的变化。

[0052] 同样,通常使用表示为变量范围的百分比的过程变量的变化 ΔPV 和控制变量的变化 ΔMV 来施行该计算。在任何情况下,如图3所示,主负反馈过程时间常数 τ_p 通常被计算为0.63倍的过程变量PV值的总的变化(即, $0.63 \times \Delta PV$)。

[0053] 图4示出在高放热反应器温度控制情形中最常见的失控过程的典型响应。如图4所示,在失控过程中,响应于控制变量MV的变化,过程变量PV仍处于噪声频带中直到控制变量MV的变化之后的某一时刻,这一时间被定义为过程死区时间 θ_p 。此后,由于过程内的正反馈,过程变量PV以倾向于随时间而增长的缓变率变化。例如,在一些放热过程中,反应率的增长(其随同温度的增长而发生)引起较高的放热,其随后进一步地增长温度,导致更加高的反应率等。由于过程的正反馈,温度响应加速,最终到达“无返回”(no return)点,在“无返回”点控制系统不能抑制反应。在该些情况下,例如,正在测量的压强能够迅速地超出泄

放阀的设置或能够破裂系统中的压力阀内的阀板(例如,在几分钟内),导致反应器内容最终成为爆发系统。因此重要的是,温度控制器在由正反馈引起的加速到达无返回点之前,对初始缓变率作出反应。通常能够在控制期间使用控制器最高可能的增益来实现该结果。

[0054] 在任何情况下,能够以过程增益 K_p 和主正反馈时间常数 τ_p^+ 建模失控过程。在此,过程增益计算为:

$$[0055] \quad K_p = \Delta \%PV / \Delta \%CO$$

[0056] 式中:

[0057] $\Delta \%PV$ 是在一定时间段上过程变量的变化(百分比);以及

[0058] $\Delta \%CO$ 是控制器输出(即,控制变量)的变化百分比。附加地,正反馈时间常数 τ_p^+ 通常设置为过程变量PV到达1.72倍的 $\Delta \%PV$ 所需的时间。当然,在失控过程中,由于过程的不稳定性质,大多数特征测试在闭环控制情形中施行。

[0059] 由图2-4可见,一些非积分过程,诸如具有高过程增益的快速反应过程和具有大主时间常数的慢过程,可以表征为在紧接着死区时间段 θ_p 的控制区域中具有积分或“近积分”(near integrating)响应。特别地,如图2所示,在控制变量MV的变化之后以及在死区时间 θ_p 之后,积分过程的过程变量PV的缓变率立即变化,并且倾向于迅速地达到切线或相当稳定的状态缓变率。如图3和4所示,该同样的情况实际上在所示的自调节过程和失控过程中都发生了,至少在紧接着死区时间段 θ_p 结束的短时间段内。根据图3,应注意,由于在图3中用于示出整个自调节过程的空间限制,示例性过程响应并不与特别慢的过程相关联。然而,在过程工业中,大多数所感兴趣的自调节过程具有时间常数,其超出图3所示的时间常数不止一个数量级。在那些情况下,如图3所示,初始响应到新的缓变率的弯曲度(bending)(由于次时间常数)不是很重要,而过程变量PV的缓变率更可代表至拐点的切线。

[0060] 虽然标准的积分过程是纯批处理或层级过程,但少于百分之十的典型工业化学过程是积分过程。此外,少于百分之一的典型的工业化学过程是失控过程,其几乎专门地与用于塑料和特殊化学品生产过程的高放热反应器相关联。因此,超过百分之九十的工业化学过程是自调节过程。然而,因为上述原因,化学工业(或至少具有最大直接经济效益的工业)中的许多连续的和分批补料过程表现为“近积分”过程和能够以在此处描述的建模目的而被视为“近积分”过程。特别地,如在此处所使用的,在过程死区时间段终止之后的至少两段死区时间上,“近积分”过程是最初如同积分过程一样反应的过程,在所述时间段中过程变量倾向于在过程死区时间段终止之后的短时间段内响应于控制变量的阶跃变化以相当恒定的速率缓变。

[0061] 因为过程控制工业中的大多数所感兴趣的过程是积分过程或能够表征为近积分过程,下述的快速识别过程的过程模型的方法能够用于所有这些类型的过程。一般来说,在此处描述的快速识别过程的过程模型的方法基于过程变量在紧接着控制变量的变化的短时间段中对于控制变量的变化的响应,来确定过程的过程死区时间 θ_p 和积分增益 K_i 。如上所示,该技术能够应用于许多不同类型的过程或过程回路,包括积分过程回路和能够被表征为“近积分”过程回路的自调节或失控过程回路。

[0062] 特别地,能够通过基于过程变量在紧接着过程死区时间段的终止的或在过程死区时间段终止后不久的短时间段期间的响应来估计或确定过程的积分增益,为过程得到相对准确的过程模型。事实上,对于积分和近积分过程,一旦过程的死区时间段终止,则过程变

量非常迅速地倾向于在整个过程响应时间中,尤其是在开环控制期间保持以相当恒定的缓变率变化。因此,该过程变量的缓变率能够在过程响应期中早期的点上测量,并且随后所测量的缓变率能够用于确定过程的积分增益,其转而能够用于估计过程的其他特征参数(过程模型参数),诸如过程增益和主时间常数,而无需等到完成过程的整个响应期或等到过程被控制以响应于控制变量的变化而达到稳态。作为结果,基于过程变量在紧接着控制变量的变化的相对短的时间段内的响应,甚至能够为慢响应过程,诸如需要几分钟、几小时或甚至几天来达到其最终稳定点的过程,快速地确定或识别过程模型。

[0063] 当然,确定过程死区时间包括确定控制变量的变化被提供给过程的时间,控制变量诸如设定点的变化或控制器的输出,确定过程死区时间还包括测量所控制的过程变量(或其他感兴趣的过程变量)来识别过程变量响应于控制变量的变化而开始变化的时间。随后,过程死区时间被确定为在控制器输出(控制变量)变化和过程变量的变化开始之间的时间。当然,存在许多估计过程死区时间的方式,并且该些技术中的任何一种能够用于确定过程中的过程死区时间。

[0064] 为了确定或估计过程的积分增益 K_i ,该方法识别或测量在死区时间段 θ_p 终止之后的短时间段内的过程变量的缓变率,并且使用所识别的缓变率来确定过程变量在时间上的变化与控制变量的变化的比率。在死区时间段 θ_p 终止之后的短时间段期间确定过程变量缓变率,该短时间段通常可以在紧接着死区时间段的结束的过程响应时间的开始部分内,诸如在过程响应时间的中间点之前、在死区时间段之后的一个或多个死区时间之内、在死区时间段之后的十个死区时间之内等。例如,该技术可以在过程死区时间段终止之后延伸所识别的过程死区时间的二至六倍的时间段之内确定过程变量的缓变率。然而,可以在死区时间段的终止后立即的或紧接着死区时间段的终止的其他期望的时间段上,诸如在等于两倍或多倍的所识别的死区时间的时间段上,确定过程变量的缓变率。在一实施例中,在多个紧接着死区时间段的终止的连续顺序的时间段上(例如,六至十)可以多次测量过程变量的缓变率。每个时间段可以是,例如,所识别的过程死区时间的长度。在该情况下,随后,该方法可以选择这些所测量的缓变率中的最高或最陡(即,最大值)的缓变率作为所识别的过程变量缓变率。在其他实施例中,所选择的或所识别的过程变量缓变率可以是多个所测量的缓变率的平均值、中值或其他统计度量。该些所测量的缓变率是在过程变量在过程死区时间段结束之后立即或稍后的响应期间的不同时刻确定的。更进一步地,可以基于在接着死区时间段的终止的任何期望的时间段,诸如等于两个、三个、或多个死区时间的时间段,上的数据,测量或确定单过程变量的缓变率。

[0065] 一旦确定,过程变量的缓变率被用于确定过程积分增益 K_i 。特别地,可以将过程积分增益 K_i 确定为过程变量在时间上的缓变率的百分比变化(即,过程变量的缓变率被表示为过程变量在时间上的百分比变化)与控制变量的变化(被表示为控制变量的百分比的变化)的比率。该关系可以在数学上表示为:

$$[0066] \quad K_i = (\Delta PV_2 / \Delta T_2 - \Delta PV_1 / \Delta T_1) / \Delta MV$$

[0067] 式中:

[0068] ΔT_1 和 ΔT_2 是确定缓变率的时间间隔;

[0069] ΔPV_1 和 ΔPV_2 分别是在时间间隔 ΔT_1 和 ΔT_2 期间所测量的过程变量的最大变化(在过程变量范围中的百分比);以及

[0070] ΔMV 是控制变量在控制变量范围中的百分比的变化。

[0071] 在此, ΔT_1 可以是在死区时间段 θ_p 结束之前的任何时间间隔,而 ΔT_2 可以是在死区时间段 θ_p 结束之后的任何时间间隔,但是优选的是在死区时间段 θ_p 终止之后立刻或稍后的时间间隔。此外, ΔT_1 和 ΔT_2 可以是与过程响应时间相比相对短的时间段,诸如一个死区时间至六个死区时间。

[0072] 此后,所识别的过程死区时间 θ_p 和积分增益 K_i 可以用于确定一个或多个过程模型参数,诸如过程的过程增益、过程死区时间和主时间常数,或可以用于确定诸如常微分方程(ODE)过程模型的第一原理模型中的因数、参量或变量。

[0073] 将可以理解,因为能够在控制变量(或干扰变量)的变化之后的相对短的时间段中,例如,在控制变量的变化之后的二至十个死区时间中,确定所估计的过程死区时间 θ_p 和所估计的积分增益 K_i ,所以能够迅速地确定过程的过程模型,并且事实上能够在许多情况下在控制器响应于控制变量的变化而完成过程变量的控制以达到稳态之前,确定过程的过程模型。

[0074] 因此,快速识别过程模型的广义的方法论包括将过程死区时间识别为在过程变量中有明显的响应之前的时间,以及根据在死区时间之前和之后的缓变率的变化识别积分过程增益。识别缓变率的变化时间段能够与,例如,两个死区时间一样短,并且可以延伸至死区时间的任何倍数,但是其总是短于总的过程响应时间。计算可以继续完善积分增益的确定直到缓变率下降或开始下降。将可以理解,死区时间和积分增益的计算通常在回路设定点的变化之后或最终控制元件之后开始,最终控制元件引起干扰变量、控制变量、或影响可测量的过程变量的过程输入的可计量的变化。该些过程输出能够是,例如,PID过程变量、MPC控制的变量或任何过程、经济、或质量变量。随后,积分器增益 K_i 能够用于向工厂仿真提供实验和/或混合实验ODE模型或其他模型。

[0075] 此外,估计使用该技术来自动识别和采用过程模型的时间能够较少到几分钟,从而使得能够在很短的时间段中实现工厂性的仿真的开发。通过将积分增益 K_i 直接用于积分,能够将积分增益 K_i 用于基于物料平衡和能量平衡来参数化ODE模型,积分增益 K_i 还能够被用于为自调节和非自调节正反馈过程将过程时间常数计算为过程增益与近积分增益的比率。

[0076] 特别地,对于自调节和失控过程,过程增益 K_p 能够被计算为或近似为:

[0077] $K_p = PV_o / MV_o$

[0078] 式中, PV_o 和 MV_o 是在控制变量的变化之前的或在控制变量的变化时的过程变量和控制变量的初始值。当然,如果需要,可以替代地使用其他估计过程增益的方式。

[0079] 更进一步地,自调节的负反馈过程时间常数 τ_p^- 或失控过程的正反馈过程时间常数 τ_p^+ 能够计算为:

[0080] $\tau_p^- = K_p / K_i$

[0081] $\tau_p^+ = K_p / K_i$

[0082] 因此,在该情况下,将过程增益 K_p 估计为刚好在控制变量的变化之前的初始过程变量与初始控制变量的比率。重要的是,实验和混合模型使用控制变量的偏差作为输入,并且提供过程变量的偏差作为输出来处理在过程工业中普遍的操作点非线性。

[0083] 图5示出简化的功能块图60,其能够用于实现图1的一个或多个模型识别模块50,

来在例如,工厂或工厂内的过程在线的或正在进行的操作期间,为特定的一对过程和控制变量PV和MV确定过程变量死区时间、缓变率、积分增益和其他过程模型参数。当然,过程变量PV可以是由控制变量MV控制的过程变量的所测量的值或可以是任何其他受控制变量MV影响的过程变量,对于该过程变量PV,期望获得其与控制变量MV的关系或模型。此外,控制变量MV可以是控制器输出、设定点、干扰变量或其他任何直接或间接地影响过程变量的变量。

[0084] 如图5所示,向死区时间块62提供感兴趣的过程变量PV和控制变量MV,死区时间块62检测控制变量MV的变化。死区时间块62记录控制变量的变化,并且产生指出控制变量的变化的信号 ΔMV 。死区时间块62在检测控制变量MV的变化之后还记录过程变量,并且在时间上监控过程变量值来检测或确定与该特定的一对过程变量和控制变量相关联的过程死区时间 θ_p 。当过程变量PV在控制变量MV的变化之后开始明显地变化时(在噪声频带以外),死区时间块62将过程死区时间 θ_p 确定或计算为过程变量PV响应于控制变量MV的变化而响应或开始变化所需要的时间量。当然,存在许多不同的可以用于基于控制变量和过程变量的测量来确定过程死区时间 θ_p 的方式或技术,并且在块62中能够使用这些方式或技术中的任一个。

[0085] 代表所识别的过程死区时间 θ_p 的块62的输出被提供至延迟块64和缓变检测电路或块66。延迟块64接收过程变量PV的当前测量,并且以等于所确定的过程死区时间 θ_p 的时间来延迟该测量。缓变检测块66包括加法器67,其确定所延迟的过程变量PV的值与过程变量PV的当前值之间的差值来检测在一个死区时间段 θ_p 上的过程变量的变化 ΔPV 。缓变检测块66还可以包括绝对值块68,其确定加法器67的输出的绝对值。缓变检测块66还可以包括除法器电路69,其将块68的输出与死区时间 θ_p 相除来产生缓变率作为单个死区时间 θ_p 上的过程变量的变化值 ΔPV 。如果需要,在被传送至除法器块69之前,过程变量的变化 ΔPV 的值可以表示为或转换为在过程变量PV范围中的百分比变化。

[0086] 随后,过程变量的缓变率被提供至最大值检测电路或块70,其可以在每个计算之后存储或分析缓变率检测块66的输出,来确定在某一时间段上诸如,例如,在两个至十个死区时间段上的最大缓变率的值。如果需要,缓变率块66可以在每个死区时间段上多次确定缓变率,并且在每个计算之后输出该缓变率至最大值检测块70。随后,最大值检测块70能够确定由缓变率块66产生的缓变率中的最大值。替代地,延迟块64和缓变率块66可以连续地操作,以便连续地或近连续地确定在过程变量响应期间的、在死区时间段结束之后的在某个预先确定的时间上的缓变率,或确定直到缓变率开始下降的时间段上的缓变率。在该情况下,最大值检测块70在该连续或近连续的时间段期间检测由块66输出的最大缓变率。最大值检测块70可以由确定一些其他的统计度量或与由块66确定的各种缓变率相关联的值,诸如平均缓变率、中值缓变率等的块替代。

[0087] 在任何情况下,在此处描述的块64、66和70一起操作来计算或确定在一组时间段上的最大或其他统计的缓变率,来由此确定与在过程变量死区时间段结束之后的立刻或稍后(例如,在死区时间段结束之后的等于二至十个死区时间的时间内)的过程变量相关联的最大缓变率,而每个时间段在长度上等于一个死区时间段(或如果需要,等于多个死区时间段)。所识别的死区时间能够立即用于更新延迟块64,以便在死区时间期间和在死区时间之后计算过程变量的变化。在此,优选地使用缓变率中最大的所检测的变化。为时间间隔 ΔT_1

和 ΔT_2 使用死区时间使得该方法适用于识别过程的过程增益和控制器增益,所述过程包括但不限于自适应、积分、和失控过程。特别地,如上所述,为时间间隔 ΔT_1 和 ΔT_2 使用死区时间使得该方法论延伸至死区时间长于过程时间常数的过程。延迟块包括但不限于在 DeltaV 产品中的死区时间块的类型,其中,死区时间的变化不扰动块的输出。当然,可以理解,延迟块64可以替代地通过多于单个的死区时间,诸如多个所检测的死区时间,例如,两个死区时间、三个死区时间等,来延迟过程变量PV。在该情况下,除法器块69可以将所检测的控制变量的变化 ΔPV 除以与在延迟块64中使用的时间相等的时间段。

[0088] 由图5可以理解,最大值检测块70将所检测的最大缓变率输出至积分增益确定块72,如上所述,积分增益确定块72使用所检测的最大缓变率的值和控制变量的变化 ΔMV (其可以表示为或转换为在控制变量的值范围中的百分比变化)来计算积分增益 K_i 。随后,确定块72提供所计算的积分增益的值 K_i 至过程模型生成器74,其还接收来自死区时间块62的所检测的过程死区时间 θ_p 。过程模型生成器74以上述方式使用该些值来确定一个或多个附加的过程模型参数,诸如自调节或失控过程的过程增益 K_p 、自调节系统的负过程反馈时间常数 τ_p^- 、或失控过程的正过程反馈时间常数 τ_p^+ 等。附加地或替代地,如果需要,过程模型生成器块74可以使用积分增益 K_i 和/或过程死区时间 θ_p 来得到用于一个或多个常微分方程模型的变量值。过程模型生成块74可以输出该些过程模型参数或值,包括积分增益 K_i 和死区时间 θ_p , 中的任何一个或全部,并可以将这些值作为过程模型提供至整定器单元或控制例程(诸如图1的控制例程42、44、26中的一个)、自动-整定例程、仿真例程(诸如图1的仿真例程52)、或其他任何使用过程模型来施行过程工厂内的活动的控制例程。

[0089] 虽然块70在此处被描述为检测由块66输出的最大缓变率,但是块70可以替代地确定和使用由块66输出的缓变率的任何期望的统计值,包括平均缓变率、中值缓变率、最小缓变率等。然而,优选地使用最大缓变率,因为其提供了最稳健(即,最大)的积分增益 K_i , 其在用于控制目的时,提供最安全或最快速的控制器响应。该条件例如在失控过程中是必需的,在该过程中,控制器阻止过程达到无返回点是关键的。

[0090] 在延迟块中使用所识别的死区时间来计算基于在过程死区时间期间和在过程死区时间之后的控制变量的变化的过程变量的最大变化,还使得在此处描述的方法能够用于死区时间大于过程时间常数的过程,即,死区时间主导过程。所得出的控制器增益的通用方程能够如下所示来求得过程死区主导过程的控制器增益:

[0091] (1)
$$K_i = \frac{(\Delta PV_{\max} / \Delta t)}{\Delta CO_{\max}} \text{ (积分器增益的识别)}$$

[0092] 式中:

[0093] K_i = 积分增益;

[0094] $\Delta PV_{\max}$ = 所观察到的过程变量的最大变化;

[0095] $\Delta CO_{\max}$ = 控制器输出(例如,控制变量)的变化;以及

[0096] Δt = 测量出 $\Delta PV_{\max}$ 的时间的变化。

[0097] 已知,PID控制器的控制器增益 K_c 能够计算为:

[0098] (2)
$$K_c = K_x * \frac{1}{K_i * \theta_o} \text{ (对于最大扰动抑制 } \lambda = \theta_o \text{ 的PID增益)}$$

[0099] 将方程(1)代入方程(2)得到:

$$[0100] \quad (3) K_c = K_x * \frac{\Delta CO_{\max}}{(\Delta PV_{\max} / \Delta t) * \theta_o}$$

[0101] 如果时间间隔等于所观察的过程死区时间($\Delta t = \theta_o$)并且通过令过程变量和控制输出经过具有被设置为等于所观察的过程死区时间 θ_o 的死区时间参数的死区时间块而创建 $\Delta PV_{\max}$ 和 $\Delta CO_{\max}$,则然后积分过程增益 K_i 可以简化为

$$[0102] \quad (4) K_c = K_x * \frac{\Delta CO_{\max}}{\Delta PV_{\max}} \text{ (方程3, } \Delta t = \theta_o \text{ 时)}$$

[0103] 对于最大扰动抑制,整定参数 K_x 可以设置为,例如,对自调节过程是0.4,对积分过程是0.5,以及对失控过程是0.6,其相应于等于所观察的死区时间的 Λ ($\Delta t = \theta_o$)。对于更新间隔远大于至稳态的过程时间的情况,因子 K_x 可以设置为1.0。当然,因子 K_x 也可以以其他方式计算。

[0104] 在一个情况下,在控制器输出(控制变量)的变化上升超过触发电平之后一个过程死区时间可以开始检查过程变量的最大变化,并且控制变量的最大变化的检查可以持续,例如,四个或更多个死区时间间隔。过程死区时间被识别为从控制器输出(控制变量)的变化起到所观察的过程变量的变化超出噪声频带之间的时间间隔。该噪声频带能够被预先设置或能够被自动地识别。如果控制器增益是高的,则测试用于控制器输出的手动变化或设定点的变化。

[0105] 为了确保快速的更新和对于噪声的最小的反应,在这个方案中所使用的死区时间块最好可以用于创建所延迟的过程变量和所延迟的控制器输出变量的连续或近连续列,以用于计算这些变量在该死区时间间隔上的变化。在该情况下,延迟块可以产生一系列的延迟的过程变量值,其在时间上以小于所观察的死区时间(例如,每死区时间段上进行10或100次测量)的时间分隔,并且加法器能够确定每个所延迟的过程变量值的过程变量差值(并且随后确定过程变量值的当前值)来由此产生一系列的过程变量差值量。以该方式,在任何具有等于死区时间段的长度的特定时间段期间,多次测量过程变量的缓变值。使用该技术,将会理解,该方法适用于和能够用于快速地确定死区时间主导回路的过程模型,其中控制器增益简单地是开环过程增益的倒数乘以因子。

[0106] 在任何情况下,死区时间主导回路的PID控制器增益 K_c 能够确定为:

$$[0107] \quad (5) K_c = K_x * \frac{1}{K_p}$$

[0108] 图6示出仿真系统80,其使用由例如,一个或多个模型识别和生成模块50确定的多个不同的过程模型来实现过程仿真。特别地,对于积分过程,仿真系统80可以使用积分增益 K_i 和过程死区时间 θ_p 来施行仿真例程。然而,对于不同类型的过程,诸如,自调节过程和失控过程,仿真系统80可以使用由积分增益 K_i 计算而得的主时间常数 τ_p^- 或 τ_p^+ 和过程增益 K_p 来施行过程建模和仿真。更进一步地,仿真系统80可以使用积分增益 K_i 和/或过程死区时间 θ_p 来得到常微分方程模型中的变量。

[0109] 特别地,图6所示的仿真系统80使用多个不同的过程模型中的任何一个或全部来

施行仿真, 该些过程模型能够用于建模不同类型的过程。特别地, 仿真系统80包括减法块82, 其从控制变量的当前值MV中减去控制变量的初始值MV₀来产生控制变量的变化 ΔMV 。随后, 通过将控制变量的变化 ΔMV 延迟死区时间 θ_p 的延迟电路或延迟块84, 提供控制变量值的变化 ΔMV 。随后, 将所延迟的控制变量值的变化 ΔMV 提供给四条不同的模型支路或分支中的每条, 其中的每条使用不同类型的过程模型类型来预测或仿真过程变量PV对于控制变量值的变化 ΔMV 的反应。

[0110] 在第一模型分支中, 块86以例如, 常微分方程(ODE)模型的形式实现第一原理模型。ODE模型使用积分增益 K_i 并可能使用死区时间 θ_p 来估计用于模型的常微分方程的一个或多个第一原理参数, 并求解模型的常微分方程来基于所延迟的控制变量的变化 ΔMV 在块86的输出处产生所估计的过程变量的变化 ΔPV 。

[0111] 在第二模型分支中, 通常与仿真积分过程相关联或用于仿真积分过程, 所延迟的控制变量的变化 ΔMV 被提供给积分器块88, 其使用积分增益 K_i 来积分该信号用以产生所估计的过程变量值的变化 ΔPV 。当然, 当积分继续时, 积分器块88的输出随时间而变化。

[0112] 在第三模型分支中, 通常与自调节过程相关联, 所延迟的控制变量的变化 ΔMV 被提供给乘法或增益块90, 其将所延迟的控制变量的变化 ΔMV 乘以过程增益 K_p 。增益块90的输出被提供给可能是衰减电路(decay circuit)形式的滤波器92, 其使用负过程反馈时间常数 τ_p^- 来估计在时间上过程变量的变化 ΔPV 的值。

[0113] 在第四模型分支中, 通常与失控过程相关联, 所延迟的控制变量的变化 ΔMV 被提供给乘法或增益块94, 其将所延迟的控制变量的变化 ΔMV 乘以过程增益 K_p 。块94的输出被提供给正反馈电路96, 其可以是, 例如, 指数级增长的电路或块, 并且其使用正反馈过程时间常数 τ_p^+ 来估计时间上过程变量的变化 ΔPV 。

[0114] 如图6所示, 来自四条建模分支中的每条的所估计的过程变量的变化 ΔPV 被提供给开关100, 其可以由用户或软件操作来选择在仿真中使用四种建模技术或过程模型中的哪种, 以实际上在任何特定的情况下估计过程变量PV的输出。由四条建模支路中的一条确定的所估计的过程变量的变化 ΔPV 通过开关100传递至加法电路或块102, 在此, 将所估计的控制变量的变化 ΔPV 与过程变量的初始值PV₀相加(即, 在控制变量MV变化时刻的过程变量PV的值), 来产生过程变量PV的估计。当然, 最终所估计的过程变量PV取决于控制变量的变化 ΔPV 被估计的时间。

[0115] 在任何情况下, 四条建模支路中的每条能够产生过程变量PV在不同组的时间上的响应或在时间范围上以连续的方式产生过程变量PV响应的估计, 来由此产生过程变量PV对于控制变量MV的变化的整体响应的估计。因此, 为了仿真或估计过程变量PV对于控制变量MV的变化的响应, 能够在控制时域上估计或仿真过程变量PV的整体响应。由此, 该特征允许用户改变或变化控制响应或控制动作来提供更好的或更符合期望的控制响应。例如, 用户可以使用仿真来产生新的控制器参数, 诸如控制器整定参数, 来重新整定控制器以基于过程模型仿真达到更好的控制响应。有趣的是, 因为在控制变量的变化之后, 可以非常迅速地得到用于仿真系统80的过程模型, 该些模型使得在控制器能够完成对于导致得出过程模型的控制变量的变化的控制响应之前(例如, 在控制器响应于控制变量的变化控制过程回到稳态之前或在过程响应时间结束之前), 能够仿真与该些模型有关的过程。作为结果, 该些模型使得控制器整定, 以提供对于最初导致生成过程模型的控制变量的那个变化的更好的

控制器响应。

[0116] 当然,图6的仿真系统80仅仅是能够用于图1的仿真块52内的仿真技术的示例。事实上,可以替代地使用许多其他类型的仿真例程,只要该技术使用积分增益 K_i 和/或过程死区时间 θ_p ,过程死区时间 θ_p 是作为过程变量对于控制变量的变化的初始反应的结果而计算的或是基于过程变量对于控制变量的变化的初始反应而计算的。此外,虽然此处将图6的仿真系统80描述为使用一组四种不同的仿真技术中的任何一种或全部,来基于根据积分增益 K_i 和过程死区时间 θ_p 得出的过程模型以仿真过程变量PV对于控制变量MV的变化的响应,但是仿真系统可以使用该些建模技术中的单一一种,或可以实现任何其他类型的使用由例如图5的系统60得出的过程模型参数中的任一个的仿真技术,并且不需要使用多个不同类型的过程模型或甚至在此处描述的特定类型的过程模型来估计过程变量PV的响应。

[0117] 更进一步地,如果需要,用户可以基于诸如用户可能了解的被控制的过程的类型因素来选择或确定在特定的仿真中使用哪条建模分支(即,如何设置开关100)。在另一方面,用户可以使用不同的建模分支中的每条来运行过程变量对于控制变量的变化的响应的仿真,并且可以将每条分支的仿真与实际所测量的或所收集的数据(例如,存储于图1的数据历史记录12中的数据)比较,来确定哪条建模分支最佳地描述了或建模了该特定的过程或过程回路。在一个实施例中,用户可以在一组先前所收集的或所存储的过程变量和控制变量数据上运行系统80中的分支中的每条的建模技术,并且可以将所估计的过程变量的响应与实际所测量的过程变量的响应相比较来确定哪条建模分支提供了最佳的仿真,并且因此确定哪条分支最佳地表征了过程或在过程变量和控制变量之间的关系。以该种方式,在此处描述的模型识别和仿真技术能够用于先前所存储的数据(表示过程变量对于控制变量的所测量的响应)来确定最佳的或最准确的建模技术的类型,以便将来用于该过程回路。

[0118] 虽然此处已经将快速过程模型识别和生成系统50描述为向仿真系统52提供一个或多个过程模型,而仿真系统52已经被描述为用于仿真过程回路,但是由块50得出的过程模型可以替代地或附加地被提供给其他类型的系统,诸如控制器(用于执行基于模型控制,诸如MPC或甚至PID控制)、自动-整定器(用于整定控制器)等。更进一步地,在此处描述的仿真系统52可以用于快速地仿真过程回路的响应,并且该仿真系统的输出可以用于重新整定控制过程回路的控制器,来获得更好的或更符合期望的对于控制变量的那个变化的控制响应,其中根据该控制变量的变化得出过程模型。此外,在此处描述的方法论可延伸至超出过程回路的过程变量和控制变量之间的关系,而且可应用于任何可测量的过程变量和任何影响该变量的可变的控制变量MV。此外,该技术可应用于快速得出用于具有真积分响应(true integrating response)的过程或具有“近积分”响应的慢过程(例如, $\tau > 2\theta_p$)的过程模型。更进一步地,所计算的过程死区时间 θ_p 和所计算的积分过程增益 K_i 能够用于控制器整定和工厂性的仿真,包括但不限于用于得出诸如混合常微分方程(ODE)和实验模型、积分过程实验模型、慢自调节实验模型和慢非自调节正反馈(失控)实验模型的模型。

[0119] 上述的应用或块中的任一个可以作为一个或多个集成的应用的例程、模块或其他组件实现。本发明的应用功能的安排仅仅为了便于说明而提供,而并不是表示功能可以在计算机上实现的方式或将功能提供给操作员或其他用户的方式的范围。此外,当其实现时,在此处描述的软件模块或例程中的任何一个可以存储于诸如磁盘、光盘、或其他存储介质的任何计算机可读存储器中,也可以存储于计算机或处理器的RAM或ROM等中。同样地,通过

使用任何已知的或所需的传送方法,包括,例如在计算机可读磁盘上或在其他可传输的计算机存储机制上或在例如电话线、互联网、万维网、任何其他区域网络或广域网等的通信信道上的传送方法,这种软件可以传送给用户、过程工厂或操作员工作站。此外,软件可以无需调制或编码直接被提供,或者可以在被通过通信信道传输之前,使用任何合适的调制载波和/或编码技术被调制和/或编码。

[0120] 因此,虽然参考特定实例对本发明进行了描述,但这些例子的目的仅仅是用作说明,并不对本发明构成限制,很明显,本领域的普通技术人员可以在不脱离本发明精神和范围的情况下,对所公开的实施例进行改变、添加或删减。

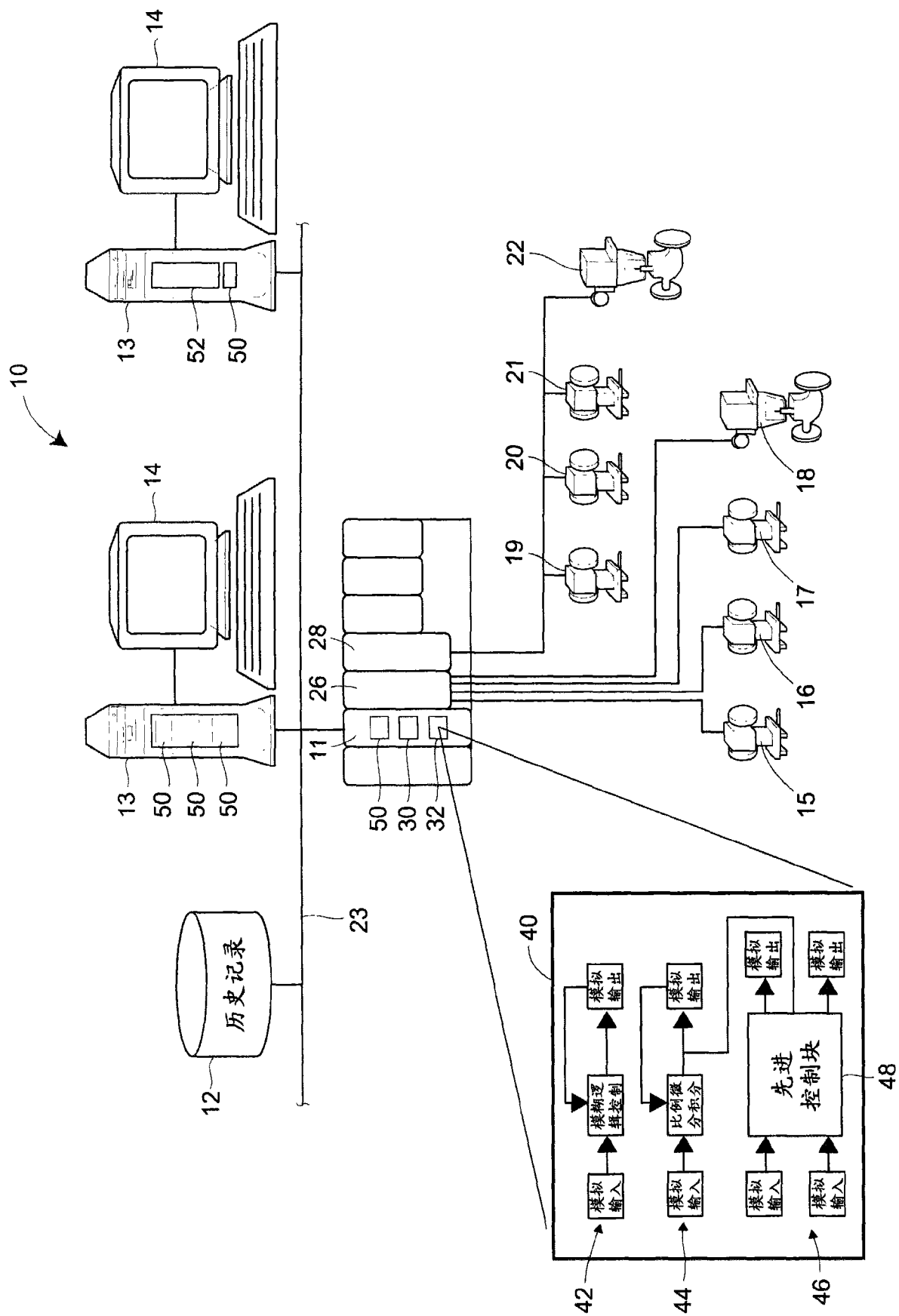


图1

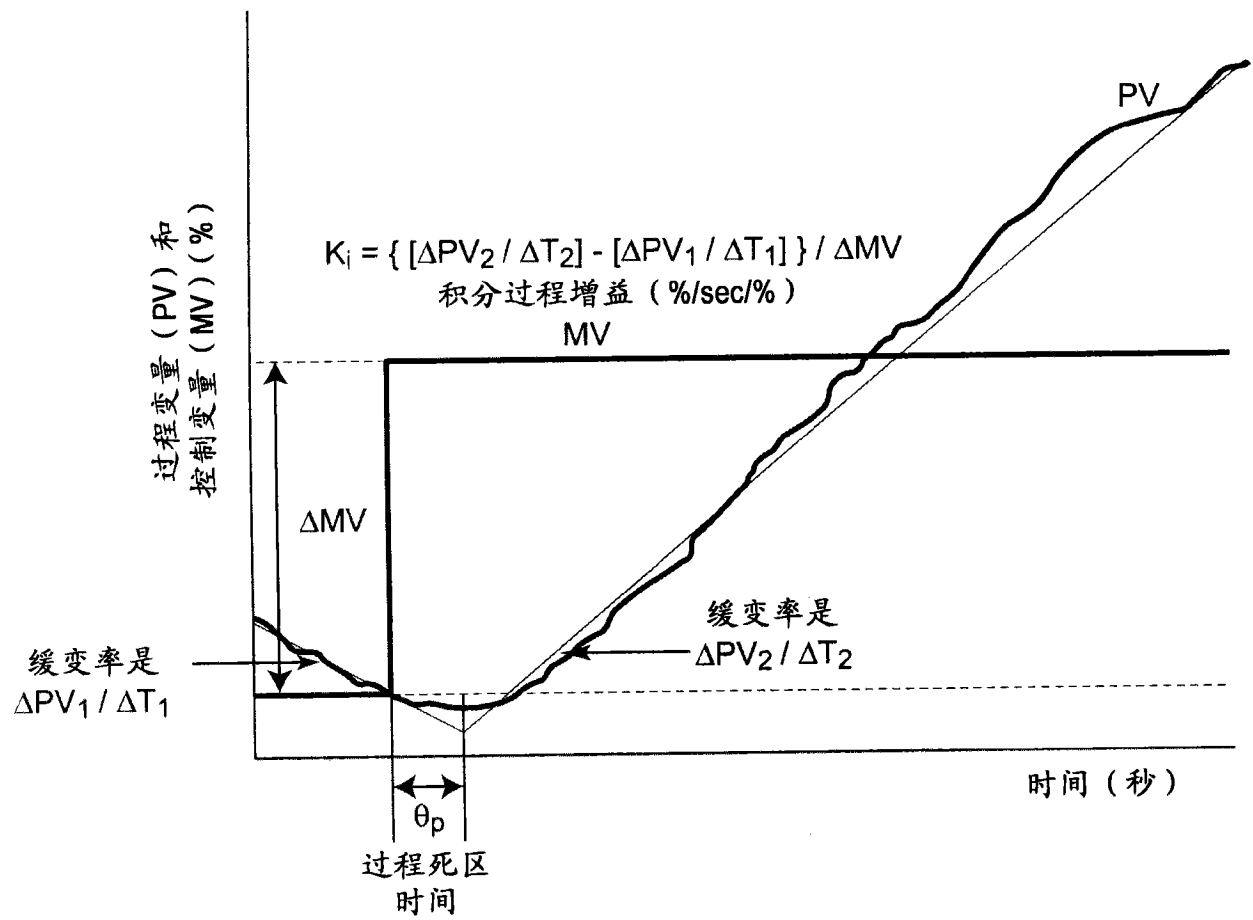


图2

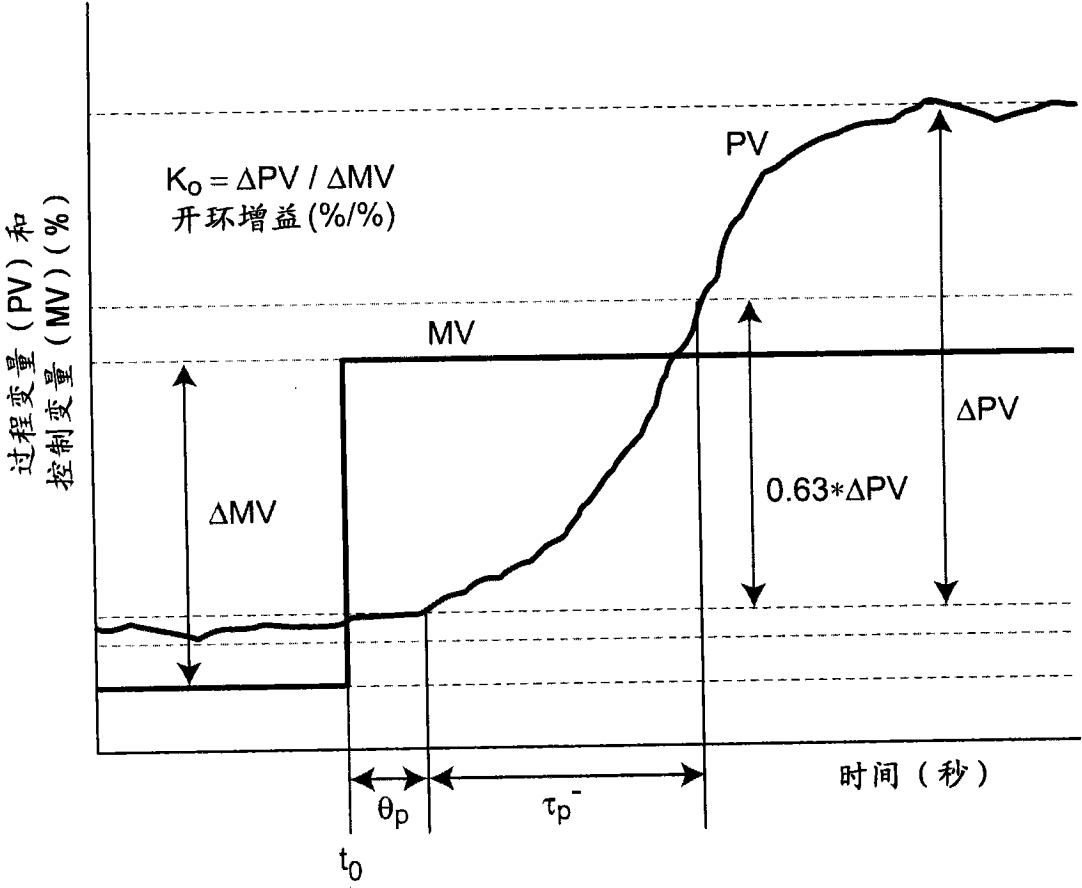


图3

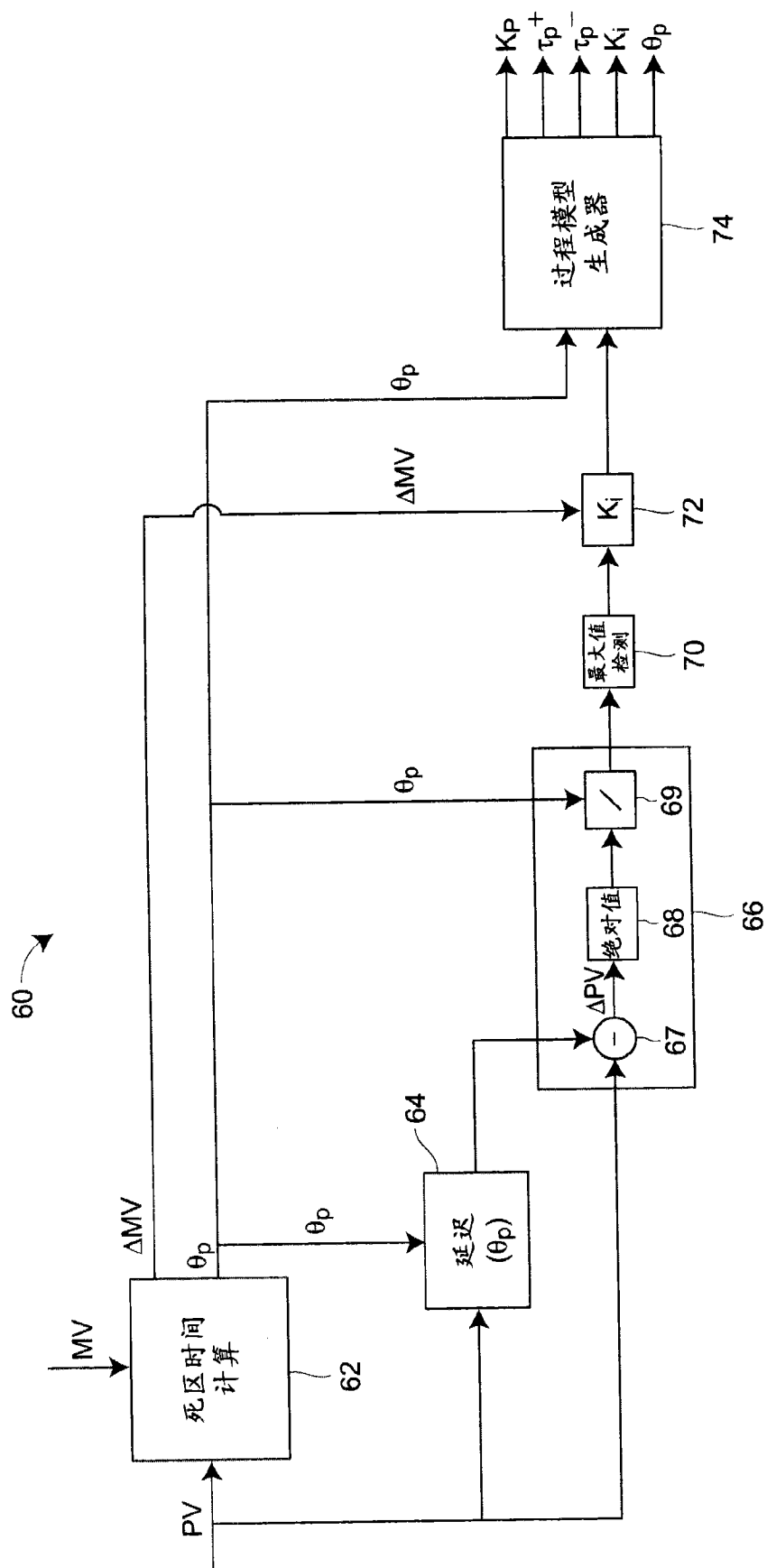


图5

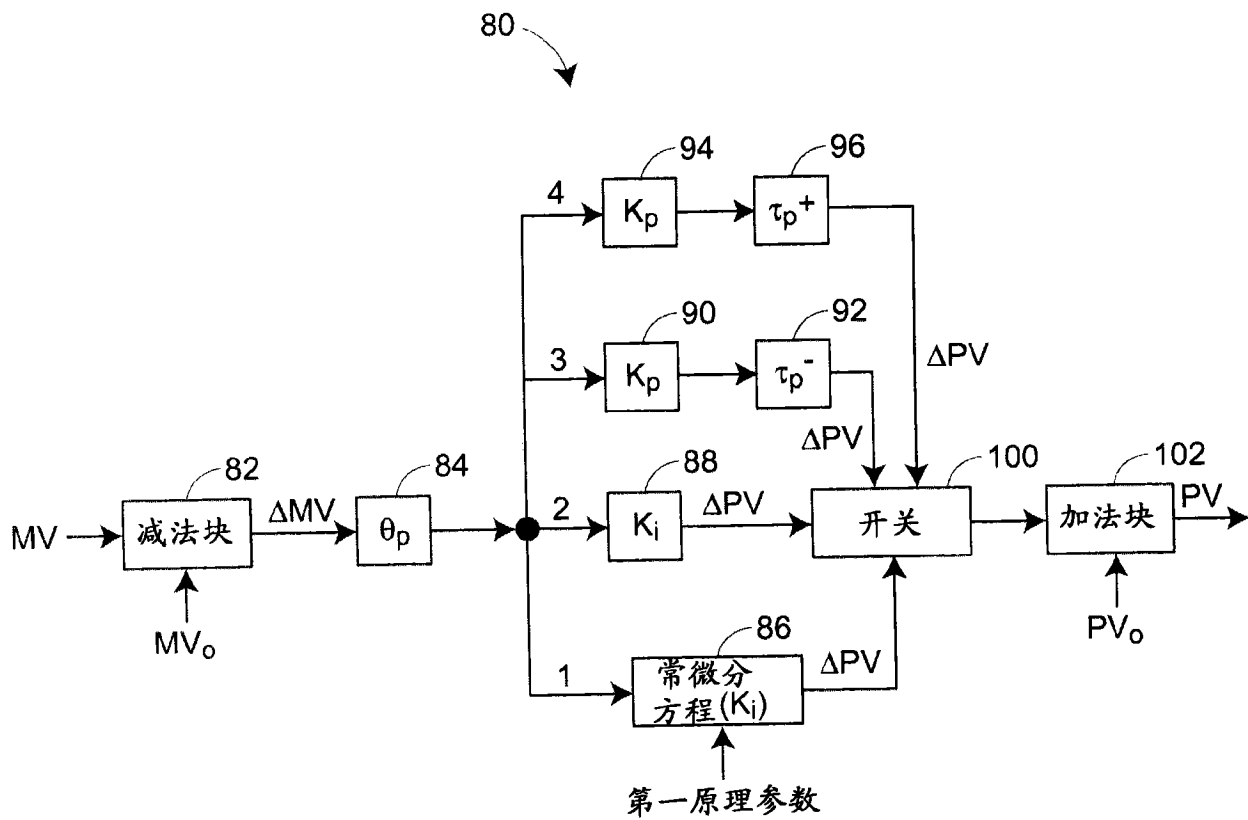


图6