

[19]中华人民共和国专利局

[11]授权公告号

CN 1023157C



[12] 发明专利说明书

[21] 专利号 ZL 87 1 06500

[51]Int.Cl³

G05B 13/04

[45]授权公告日 1993 年 12 月 15 日

[24]颁证日 93.10.3

[21]申请号 87106500.2

[22]申请日 87.9.22

[30]优先权

[32]86.10.9 [33]US [31]916775

[73]专利权人 巴布考克和威尔科斯公司

地 址 卢森堡卢森堡

[72]发明人 约翰·戴维德·兰恩 索马斯·J·彻布

[74]专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利

代理部

代理人 冯康瑾

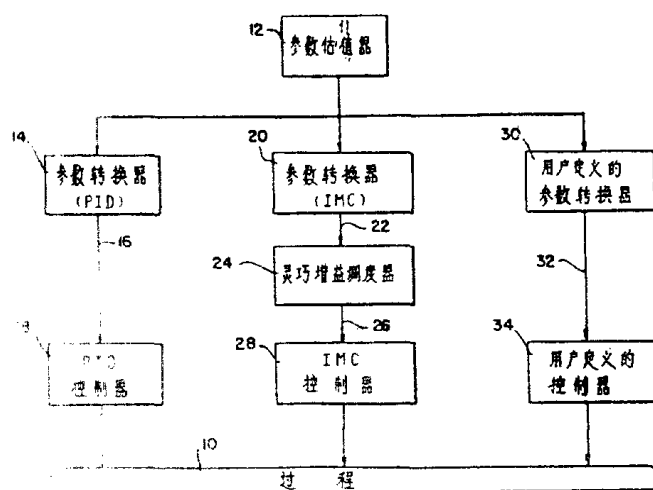
说明书页数:

附图页数:

[54]发明名称 采用自适应增益调度算法的装置和方法

[57]摘要

用来以一个被测参数为基础控制过程的自校正系统和方法,包括模块化参数估计器和参数控制器,它们与过程一起使用并将被测参数作为一个输入接收。一个内部模型控制器被用作参数转换中的一个转换器,并引入增益调度用的前馈指数。与传统的增益调度一起还使用回归解析法,以更精确地改进控制作用。与回归解析法一起还使用一个限制器,以避免控制器的过高或过低的修正信号。



38

权 利 要 求 书

1.一种响应至少具有一个为三个控制回路所共有的被测量参数的三个独立控制回路以控制一个过程的自校正系统，它包括：

一个用于接收被测参数和用估计算法渐进式计算一个被估计参数的模块化参数估计器；

一个连接到所述估计器的模块化 PID 参数转换器，用于将一种比例加积分加微分算法作用到被估计参数上，以产生一个 PID 控制信号；

一个连接到所述 PID 参数转换器用于采用传统方法控制该过程的 PID 控制器；

一个包含一个内部模型算法并连接到估计器的模块化 IMC 参数转换器，用于通过被估计的参数利用转换器的内部模型算法以产生一个内部模型控制信号；

连接到模块化 IMC 参数转换器的增益调度装置，用于接收内部模型控制信号以产生一个增益调度控制信号；

一个连接到所述增益调度装置的 IMC 控制器，用于接收通过一个辅助所述传统过程控制的补偿控制信号对过程进行控制的增益调度控制信号；

一个连接到估计器的模块化用户定义的参数转换器，用于接

收被估计参数并产生一个被估计参数控制信号;和

一个连接到所述用户定义的参数转换器的用户定义的控制
器,用于接收用户定义的控制信号,通过一个用户施加的控制信号
对过程进行控制。

2. 根据权利要求 1 的一个系统,其中上述增益调度装置包
括:一个恒定增益调度器,用于将一定恒定增益调度算法作用到指
数中,以产生一个恒定增益调度信号;一个前馈信号估计器,用于
对前馈信号进行估计;一个第一加法器,用于求取恒定增益信号和
被估计的前馈信号之间的差值,以产生一个差值信号;一个与上述
第一加法器相连的回归单元,用于将根据回归算法的回归解析法
作用到该差值信号上;一个与上述回归单元相连的多项式方程
单元,用于接收来自回归单元的一个回归信号,并将它作用到一个
多项式方程中;上述指数与上述多项式方程单元相连,用于将上述
指数作为多项式方程的一个因素计入;以及一个与上述恒定增益
调度器和上述多项式方程单元相连的第二加法器单元,用于将其
输出相加,并将其和输出作用到上述 IMC 控制器中。

3. 根据权利要求 1 的一个系统,其中上述增益调度装置包
括:一个与上述前馈指数相连的控制作用单元,用于产生一个被控
制的作用信号,作为被选定的固定的指数函数;一个与上述前馈指
数相连的多项式方程单元,用于使前馈指数从属于多项式方程;一
个与上述多项式方程单元相连的限制器,用于限制多项式方程单

元输出的上限和下限;一个第一求和单元,它具有来自上述 IMC 控制器的一个输入、来自上述控制作用单元的一个输入和来自上述限制器的一个输入,用来产生一个用于过程的被修正了的控制作用信号;一个与上述控制作用单元和上述求和单元的输出生相连的差值单元,用于测取被控制的作用信号和被修正的控制作用信号之间的差值;以及一个与上述差值单元的输出生相连并有一个输入与上述指数相连的系数回归算法单元,该系数回归算法包含一个用于产生一个多项式方程的回归算法;上述系数回归算法单元被连到上述多项式方程单元,用于把上述多项式系数作用到上述多项式方程单元,作用到上述多项式方程上。

4. 一种根据一个被测量参数控制一个过程的方法,它包括使被测量参数加到参数估计函数,以产生一个被估计参数;把被估计参数加到一个比例加积分加微分转换中,以产生一个在以传统方式控制该过程中使用的 *PID* 控制信号;将被估计参数加到一个对该过程进行模拟的内部模型参数上,以产生一个被模拟的控制信号,把一个代表过程的一个特性的前馈指数加到一个增益调度算法上,以形成一个固定的增益调度信号,将固定的增益调度与被模拟的控制信号结合,以产生一个合成的控制信号,并根据该合成的控制信号控制该过程。

5. 根据权利要求 4 的一种方法,它包括将该被模拟的控制信号加到回归分析算法,以产生一个回归信号,并将该回归信号连同

指数一起作用到一个多项式方程中,以形成用于过程的控制信号。

6. 根据权利要求 5 的一种方法,它包括将多项式方程的输出限制在它的上、下限值内。

采用自适应增益调度算法的

装置和方法

本发明一般涉及过程控制领域,具体涉及一个新的、有价值的装置;它可以利用参数估计、不同型式的参数转换和增益调度,产生一个过程的自校正控制。

过程的性能可以利用自校正控制理论加以改善。这种改善对于未知的或变化的动态过程和具有非线性行为的过程是有重大价值的。自校正控制还能改善简单的过程控制回路的性能,因为这些回路的周期性校正常常是被忽略的。参见 R. E. 卡尔曼的“自寻优控制系统的设计”,美国机械工程协会会刊 1958 年,第 80 页(*AM. Soc. Mech. Engr. Trans.*, 80, 1958); K. J. 阿斯特罗姆和 B. 威顿马克的“自校正调节器”,自动化 1973 年第 9 期(*Automatica*, 9, 1973) 和 D. W. 克拉克和 P. 高斯罗普的“自校正控制器”,电气工程师协会会刊 1975 年,第 122 页(*Proc. IEE*, 122, 1975)。

尽管自校正控制具有潜在的优点,但这种理论在实践中没有什么效果,许多实际困难都和上边列出的前二篇文章中全面讨论的自校正控制有关。问题的范围包括起动、长期运行、未知的或变化的过

程的时间延迟以及高阶的快速变化的动态过程。参见 B·威顿马克和 K·阿斯特罗姆的“实现自校正控制系统的实际问题”, 自动化 1984 年第 20 期 (*Automatica*, 20, 1984)。

此外, 要求确定的现行的自校正控制的参量数目一般要超过通常的比例积分微分 (PID) 控制所必需的两个或三个参量的数目。在过去的十年里, 针对这些问题进行了大量的研究, 然而许多方面问题仍然存在。直到现在, 自校正控制理论还是不能适于工业控制问题的一般应用。

最初, 自校正控制理论集中在隐式算法上, 这些算法允许控制器参数的直接估计, 但却在很大程度上依赖于被控制过程的模型。参见 K·J·阿斯特罗姆的“随机控制论引论”, 学院出版社, 1970 年 (*Academic Press*, 1970), 但是, 最近的工作集中在显式算法上。

这些算法借助离散过程模型估计参数, 并随后计算控制器参数。参见 T·R·福特斯克, L·克生包姆和 B·依得斯蒂的“具有可变的遗忘因子的自校正调节器的实现”, 自动化 1981 年第 17 期 (*Automatica*, 17, 1981); B·E·依得斯蒂的“自适应控制的前景”, 国际自动控制联合会世界会议, 布达佩斯, 1984 年 (*IFAC World Congress, Budapest*, 1984) 和 R·L·李耳和 G·古德温的“不要求持续激励的整体收敛的自适应极点配置算法”, 配位数据控制会议录, 1984 (*Proc. CDC*, 1984)。显式算法需要比隐式算法更多的计算, 但它们较少依赖于模型的结构, 因此, 更适合于一般目的

的应用。

依赖可变的遗忘因子的一个自校正控制系统,可以从 T·R·福特斯克的“阿斯特罗姆的自校正调节器的工作”(伦敦帝国学院化工系报告,1977年 (*Dept. of Chem. Engr. Report. Imperial college, London, 1977*)) 这篇文章中了解。这篇文章提出了与自校正控制有关的几个实际困难。

自校正控制系统还利用前馈指数或控制。前馈控制有两种形式:静态和动态。如图 4 中所示,参量把前馈指数传送到特殊的控制作用或函数 $f(x,t)$ 。传统的增益调度控制如图 2 所示,这是一个用以前过程的信息提高控制系统性能的自适应控制的形式。通过这一机理,一个控制工程师能够把过程设计数据与其运行经验加入到控制系统中。包括这些知识,就减轻了对过程变化的影响和对控制器性能的干扰。增益调度使用了一个固定方程或增益调度使被测量的指数量和所希望的校正参数相联系。增益调度对控制器的校正参数进行更新。

胡诺等人的美国专利 4563735 号,公开了一个在稳定状态下使前馈系数适应于可变干扰的自适应前馈控制系统。但是,前馈系数的适应仅仅在个别的运行点上进行。没有说明数据应该在干扰的整个有效范围内被收集,并且使之适合于被加到前馈信号的校正多项式。

普莱特等人的美国专利 4349869 号,公开了一个利用最小二乘回归算法连续地重复计算前馈响应的前馈优化系统。为了允许只在

稳定状态下进行前馈校正以及为了稳定目的提供一个前馈校正的上限,这个专利也讲述了使用一个限制机制。这一参考文件也依赖于一个以过程的内部模型为基础的极小化技术,它没有提供对前馈模型的更新。

在本发明作出之后,一篇由本发明的共同发明人之一 J·D·雷恩著的文章“模块化自校正控制系统的说明”,自动燃烧控制会议录,1986 年(*Proc. ACC*, 1986),公开了如何才能将直观推测包括在参数估计功能之中。还可参看 J·R·派里希的“在用于实验室热交换过程的控制系统设计中模型不确定性的应用”一文,科学硕士论文,克里夫兰,Case Western Reserve 大学,1982 年(M. S. Thesis, Case Western Reserve University, Cleveland, 1982),它描述了一个具有一阶的内部模型控制器的参数估计算法。

本发明的一个目的是提供一种解决工业控制广泛领域内问题的自校正控制。本发明的自校正控制适合于模块化实现。它为控制器设计提供灵活性。本发明的主要特点是采用了一个参数估计模块,它能执行具有一个可变的遗忘因子的递推最小二乘算法。附加模块提供从被估计的参数到控制器校正参数的转换,单个模块为各种控制算法提供了转换。这些模块作为标准功能编码块工作,允许使用者使自校正控制系统满足专门需要。本发明的自校正控制系统还使用大量的直观推测,以克服自适应控制理论的许多实际困难。此外,一个分离的模块还提供了自校正增益调度。

应该指出,本发明的所有模块单独地在技术上都为大家所知,但它们的结合却给过程控制问题提供了一个唯一的而又灵活的解答。每一个模块都有在一个网络 90(NETWORK 90)控制装置中工作。网络 90 是贝勃考克和威尔考克斯集团(一个马克得莫特公司)的贝利控制公司的注册商标。

本发明的自校正控制系统的特性使之适应于一般目的之应用。

根据本发明,估计功能与控制功能分离,以提高模块化设计。这种分离便于与多控制算法一起采用单个的参数估计算法。参数转换模块提供了参数估计和各种控制功能之间必要的相互联系。每一对参数变换模块根据被估计的过程模型计算特殊类型控制器的校正参数。此外,一个灵巧的增益调度模块提高了自校正控制系统的灵活性和性能。这种模块结构运用了以微处理机为基础的分布式控制系统的许多特性。这些特性包括在结构和灵活性方面方便运行的几个传统的控制算法。

本发明的自校正控制系统包含了四类算法。它们是:参数估计功能、参数转换功能、过程控制功能和一个灵巧的增益调度器。

稳态参数估计还借助于使常规的前馈控制偏置而不断地被更新,这样就减少了周期性更新的要求。这一偏置的校正由一个多项式方程产生,而后者的输入是前馈指数。多项式方程的系数由一个在线的回归计算不断地进行更新。为了稳定性,对偏置修正施加了限制。对回归算法的输入是前馈指数和瞬时偏置的偏移(计算出的偏置加

上受限制的控制信号)。回归计算在前馈指数信号的整个范围内有选择性地取 n 个间隔相等的点来实现。被计算的系数依次被多项式方程使用。

因此，本发明的一个目的是提供一个自校正系统，以来自一个过程的被测量的参数为基础对该过程进行控制，该自校正系统包括一个模块化的参数估计器，以接收被测参数并使用估计算法渐近式计算一个被估计的参数；一个模块化的比例积分微分 (PID) 参数变换器与一个参数估计器相连，用来把被估计参数变换成比例积分微分控制信号；一个模块化的内部模型控制 (IMC) 参数转换器，它与参数估计器相连，用来根据转换器的一个内部模型算法把被估计的参数变换为内部模型控制信号；一个模块化用户定义的参数变换器，它与参数估计器相连，用来把被估计参数变换成用户定义的控制信号；一个标准的 PID 控制器，它与 PID 变换器相连，用来采用传统方法实现过程控制；一个 IMC 控制器，它根据一个内部模型控制信号实现过程控制；一个用户定义的控制器，它与用户定义的参数变换器相连，通过一个用户施加的控制信号对过程进行控制；还包括一个增益调度器，它连在 IMC 参数变换器和 IMC 控制器之间，用来根据一个对过程的动态特性进行模拟的算法修改 IMC 参数变换器的输出。

本发明的另一个目的是在增益调度器中提供一个前馈指数，该增益调度器利用一个多项式方程和一个决定该多项式方程系数的回归算法来修改 IMC 信号。

本发明还有另一个目的,即为控制一个过程提供一个自校正控制系统,它在设计上是简单的,在结构上是坚固的,在制造上是经济的。

作为本发明特征的各种新颖特性在该公开内容所附的并成为其一个部分的权利要求中详细地指明。为了更好地理解本发明,它使用时的优点和通过使用所达到的特殊目的,可参考附图和对本发明的较佳实施例描述。

附图中:

图 1 是一个表示本发明的自校正控制系统的方框图。

图 2 是表示一个现有技术装置的方框图;它用来以增益调度指数为基础修改控制器的控制信号。

图 3 是一个表示本发明的自适应增益调度的方框图。

图 4 是一个表示前馈指数应用于控制作用的现有技术装置的方框图。

图 5 是一个表示用来修改前馈指数的装置的方框图,其修改采用了一个多项式方程和该多项式方程系数的回归算法。

图 6 是一个描绘控制作用对 PH 值关系并说明滴定曲线的曲线图。

图 7 是一个描绘 PH 值对控制 PH 值的过程增益的关系,按多个直线画出的图。

图 8 表示出一个附加的对固定的增益调度的线性校正方程,并

说明如何产生灵巧的增益调度。

图 9 是表示一个简单过程的方框图,这个过程按本发明进行控制,以证实本发明的有用性。

图 10 是一个表示时间对温度的关系曲线图,并说明了控制作用以及对固定增益调度的响应。

图 11 是一个与图 10 相类似的曲线图,但表示一个线性增益调度。

图 12 是一个与图 11 相类似的曲线图,但表示一个自校正控制。

图 13 是一个描绘加热器数目对按本发明控制的图 9 的系统的过程增益的关系曲线图。

图 14 是一个与图 13 类似的曲线图,比较了实际的增益分布曲线和最初的及最后的增益调度。

逐一地参考这些附图,图 1 中体现的本发明包括一个用于控制过程 10 的自校正系统,它具有一个模块化的参数估计器 12,估计器 12 接收对应于一个或多个从过程 10 测量到的参数的信号,并利用估计器算法将那个或那些被测量的参数转换成被估算的参数值。被估算的参数值被加到三个参数转换器之每一个中。这些转换器每个也都是模块设计的。

PID 或比例积分微分转换器 14 在线路 16 上产生一个 PID 控制信号,该信号加到一个用于对过程 10 进行控制的传统的 PID 控制器 18 中。一个 IMC 或内部模型控制器参数转换器 20 也与参数

估计器 12 相连,并在线路 22 上产生一个控制信号,此信号遵循着一个模拟过程 10 的内部模型算法。此信号在它作为最终的控制信号经过线路 26 加到 IMC 控制器 28 以前,在一个灵巧增益调度器 24 中被修正。

一个用户定义的参数转换器 30 也与参数估计器 12 相连,并接收一个用户为了以要求的方式改变过程所施加的输入信号,这样就在线路 32 上产生一个用户定义的控制信号,此信号被加到对过程 10 进行控制的用户定义控制器 34。

图 1 中示出的模块设计不需要任何专用的硬件或固件。这种系统的单个模块化部件都采取标准功能编码块形式,这些编码块在网络 90 系统中全部可以得到。在单个以微处理机为基础的控制模块中的固件程序库驻留管理程序允许存取这些功能编码。自校正控制构成的技术要求,除了基本控制结构外,需要选择和内连一个适当的估计和转换块。

在模块化参数估计器 12 中的估计算法利用了一套控制它的工作法则。参数估计器连续地对它的输出进行监测。当不利的条件继续存在时,该功能编码防止使用不精确时的估计,并重置算法。

估值算法的详细说明可以在上面给出的 1981 年福特斯克,克生包姆和依得斯蒂的文章以及依得斯蒂 1984 年的文章中找到。

初始参数估计功能编码对带有延迟时间的离散的一阶动态模型的参数估计进行计算。这个表达所固有的是假定过程可以恰当地由

这种形式模拟：

$$y(t) = -a_1 \cdot y(t-1) + b_0 \cdot u(t-k) + c \quad (1)$$

式中：

$y(t)$ = 现行的过程测量量

$y(t-1)$ = 先前的过程测量量

$u(t-k)$ = 在采样时刻 $t-k$ 处的控制输出

a_1, b_0, c = 被估计的模型参数

k = 过程延迟时间

以下方程对估计算法进行定义。

$$e(t) = y(t) - \theta'(t-1) \phi(t) \quad (2)$$

$$W(t) = \phi'(t) P(t-1) \phi(t) \quad (3)$$

$$\theta(t) = \theta(t-1) + [P(t-1) \phi(t) e(t)] / [1 + W(t)] \quad (4)$$

$$\lambda(t) = n[1 + w(t)] / [n[1 + w(t)] + e^2(t)] \quad (5)$$

$$P(t) = P(t-1) / \lambda(t) [I - \phi(t) \phi'(t) P(t-1) / (\lambda(t) + w(t))] \quad (6)$$

式中：

$$\theta(t) = [a_1, b_0, c]$$

$$\phi(t) = [-y(t-1), u(t-k), 1]$$

n = 用于遗忘因子的时间视界

$\lambda(t)$ = 可变指数加权因子

$e(t)$ = 过程模型失配

$P(t)$ =增益矢量

包括在参数估计功能编码中的直观推测的更详细叙述,在上边提及的 1986 年雷恩的论文中发表。

在 *PID* 转换器 14 和用户定义的转换器 30 中参数转换都是已知的设计。

内部模型控制器参数转换器 20 利用了一个具有一阶内部模型控制器的参数估计算法。这样的控制器在上边给出的 1982 年派里希的文章中叙述过。

曾有三个因素认为要使用 *IMC* 转换器。第一,用在这种转换器中的算法提供了延迟时间补偿,这是在 *PID* 控制器中不易获得的一个特性。第二,这种算法使用过程增益和时间常数的估算作为它的主要校正参数,这些参数易于提供精确的表述。第三,控制器在现今已生产的固件中可以找到。

为了使用内部模型控制器算法,用户必须对被估算的过程延迟时间、时间常数和增益作出规定,并选择一个校正时间常数。自校正控制器对离散的模型参数进行估计,将这些参数转换成一个过程增益和时间常数的估算,并用这些值对控制器参数进行更新。用户必须对被监视的过程的延迟时间和一个校正时间常数作出规定。这个校正时间常数决定了所要求的过程响应的速度。

参数转换功能编码将离散的参数估计转换成用于内部模型控制器的校正参数。参数估计器对下边的过程模型进行估计。

$$y(t) = \frac{b_0}{1 + a_1 Z^{-1}} u(t-k) \quad (7)$$

设计的内部模型控制器假设一个离散的过程模型,形式如下:

$$y(t) = \frac{\frac{K \Delta t}{\tau + \Delta t}}{1 - \frac{\tau}{\tau + \Delta t} Z^{-1}} u(t-k) \quad (8)$$

式中:

K = 过程增益

τ = 过程时间常数

由此,转换算法必须将参数 a_1, b_0 和 C 转换成参数 K 和 τ 。

现在参考图 2,图中示出一个传统的增益调度程序。一个从过程测量到的过程变量 40 作为一个输入被加到一个控制器 42,控制器 42 产生一个控制作用 44。另外,一个指数 46,通过一个增益调度算法 48,作为第二个输入被前馈到控制器 42,以对过程变量 40 的作用进行修正。

这是一种使用以前过程的信息的自适应控制形式,去提高控制系统的性能。然而,增益调度程度使用一个固定的方程或增益调度,使一个被测量的指数变量和要求的校正参数关联。增益调度将控制器校正参数作为指数变量的函数不断更新。

尽管调度程序连续地对控制器参数进行修改,以反映现时过程状态,传统的控制系统要依靠定期的人为的校正。结果,增益调度程序提供较紧凑的控制校正,尤其是对短时间间隔的变化或干扰的响应。增益调度对于在动态特性方面受突然变化影响的过程优于自校正控制。

一个很适用于增益调度的过程,呈现出作为可测变量的函数的显著的动态变化。传统的控制系统不由于应用增益调度而受益,它们需要解调,以在其整个工作条件的范围中维持适当的特性。在一定方式的工作期间,解调产生惰性的过程性能。另一方面,增益调度为在宽的工作范围内维持较紧凑的控制校正提供了机理。

控制 PH 值的举例说明了应用增益调度是正确的这类问题。图 6 中示出一条滴定曲线,说明在控制作用和 PH 值之间存在的典型关系。这种类型的过程呈现出作为 PH 值函数的高度非线性动态特性。通常,这些过程显示出在其工作范围内过程增益多于一个数量级的变化。

用于 PH 值过程的增益调度采用了如图 7 所示的一种分段线性函数,将被测量的 PH 值映入一个要求的控制器增益。这种映象为调整一个传统的功能反馈控制器的作为 PH 值的一个函数的增益提供了一种机理。于是,增益调度为 PH 值的非线性特性进行补偿,提高了过程性能。

实际上,增益调度的效益是很难全部获得的。一般这些机理具有

设计和校正不良的缺点。此外,设备维护人员缺乏随过程状态变化去重调这些机构的知识、经验和时间。结果,从这种先进的控制技术可以获得的性能改善就被削弱了。

根据本发明,图 3 所示的一种灵巧的增益调度器将过程性能水平提高到传统机构所达到的水平之上。此系统利用了如图 2 所示的标准的增益调度器一样的结构和方程式。此外,根据控制系统性能或过程条件的测量,灵巧增益调度器对它的增益调度方程式进行更新。

传统的增益调度将一个单一变量,即指数 46,映入一个或一些适当的控制器参数即输出或控制作用 44。如上边指出的,一般增益调度是分段线性函数或简单的代数表达式。增益调度器的输出配合一个或一些控制器参数。通常,在增益调度对控制器增益调整时,其他参数的调度不是难得的和常常需要的。

图 3 的灵巧的增益调度器,由于包含有一个 52 所示的自校正部件,增强了传统的增益调度。在这个自校正部分 52 中,来自增益调度 48 的固定增益调度,在加法器 60 中被加入到一个线性校正方程式 58 中。灵巧的增益调度用于对固定增益调度设计和校正不良和过程变化进行计算。图 8 是一个表示传统的增益调度(虚线)与灵巧的增益调度(实线)的差别以及它们之间的校正值(点划线)的图。

使用图 3 中 58 所示的校正方程式是本发明的灵巧调度与传统的增益调度的区别。此方程式表达出在作为指数变量的函数的固定增益调度中所观察到的误差。开始,校正方程式斜率和截距为零,

使灵巧增益调度与固定增益调度一致。当来自估计器 50 的被调度的参数的校正值的估计可以得到时,灵巧增益调度程序器通过在加法器 54 中获得的在传统增益调度 48 和被估计的增益调度 50 之间差值对校正方程进行更新,该差值被加到一个回归功能块 56 中,后者在 58 中产生线性方程式的一部分。

注意,在自校正装置 52 中的所有功能块以及图 1 和图 3 中示出的其他功能块均为模块化设计,并均可由网络 90 系统来执行。

回归功能 56 应用最小二乘回归分析从联系在固定增益调度中的误差和一个指数值的数据产生校正方程,该指数值直接从指数块 46 提供给线性校正方程 58。

然后,固定增益调度 48 的输出和估计的校正参数值 50 之间的差值形成在 56 中回归计算所用的误差项。如上边指出的,由线性校正方程式 58 产生的数据,被加到来自 48 的传统的增益调度中。

一个特殊的段结构(bin structure)存储着回归分析需要的历史数据。这种数据存储方法保证了校正方程式的广泛应用。它把所表示的指数值的范围分成十个间隔或等长度的段。每个段包含一个误差值和它对应的指数值。开始,每个段中的指数值指向段的中间且误差值包括零。这组数据回归分析,产生出初始的校正方程式 58。来自 50 的被估算的参量输入值的变化引起对校正方程的更新。对正在更新的过程,灵巧增益调度器给指数变量的校正值指定一个段数。误差和指数的现行值取代存在于所指出的段之中的数值。包括在十个

段中的数据回归分析产生了一个新的校正方程式。

对于怎样可以利用网络 90 系统去建立这些段,可以在题目为“采样数据的贝利网络 90 线性回归”的应用指南 AG-0000-911 中找到说明。

图 4 示出了与图 2 中的装置有些相似的一种前馈指数装置。

这也是一种现有技术的装置。在这种装置中,以一个前馈指数 64 为基础的给定的控制作用 62 被加到一个求和单元 66 中;求和单元 66 将前馈控制作用加到来自一个管理控制 68 的标准控制作用中;管理控制 68 响应于一个被测量的过程参数或变量 70。然后,控制作用 72 被加进对过程的某些方面进行控制的驱动装置 74。

图 5 示出本发明的另一种特征,其中前馈指数 64 在连续地产生传统的控制作用 62 的同时,还包括产生回归算法系数的功能块 76,功能块 76 接收前馈指数 64 并产生一个用于多项式方程 $g(x)$ 80 的多项式系数 78。回归算法的第二个输入来自求和单元 79,该单元 79 求出传统控制作用 62 和从求和单元 66 分接出来的控制作用 82 之间的差值。这个差值作为反馈信号被加到回归算法中,以产生多项式系数 78。

多项式方程 80 的输出还在限制器 84 中受到限制,限制器 84 防止控制作用过高和过低。

现在,偏置控制作用 86 被加到求和单元 66;在单元 66 中,它被加到校正作用 62 和管理控制器 68 的传统控制作用中,为驱动机

构 74 产生控制作用 82。

图 5 的实施例降低了对定期更新的要求。表示出了在前馈指数 64 的整个范围内,通过选取等间隔的 n 个点,实现回归分析。多项式方程 80 依次使用被计算的系数。

此装置的优越性在于具有较好的控制且不易随时间降低其功能,同时减少了维护工作量。经改进的装置有可能应用到现代的燃烧控制和蒸汽温度控制等方面。

为了证实本发明的用途,利用一个如图 9 示出的示意的简单过程进行一个试验。

在此过程中,一组三个加热器 90,经过一个进水口 92 接收冷水并经过管路 94 把该加热了的水送给一个混合罐 96,罐 96 内的水由搅拌器 98 不断地搅拌。疏水口 100 将混合罐 96 中的水排出,以保持罐内恒定的水平面。一些水经过管路 102 回送到控制器 104,然后经过管路 106 返回到加热器 90。有一个温度传感器 108 测量在返回管路 102 中的温度,并将测量到的参数提供给控制器 104 使用。

起动 90 中的一个、两个或三个加热器,以对管路 94 中的水进行加热。管路 94 的长度为加热器 90 和混合罐 96 之间的过程提供了足够量的延迟时间。装备搅拌器 98 对罐 96 中的恒定容积的水进行搅拌,以减少温度传感器 108 检出的出口水温度的波动。

控制混合罐 96 的温度是控制系统的主要任务。控制系统变更供给各个加热器的功率,对温度进行控制。由于实际投入运行的加热器

台数是随时可能在一至三台之间变化,所以过程的增益也急剧地改变。假定控制器输出恒定,运行的加热器从一台切换成两台,则加到过程的加热量增加一倍。

试验采用的过程条件:水流量为每分钟 0.5 加仑,混合罐容积为 2.5 加仑以及一至三台加热器运行。分析在这些运行条件下的阶跃响应数据,显示出过程用的第二台原动机动态特性。由一阶模型近似的阶跃响应数据假定时间常数为 5 分钟,而增益为运行的加热器台数的 0.2 倍。图 10、11 和 12 示出包括时间对于由温度传感器 108 检出的温度关系的不同部件的试验结果。每张图还表示出一台、两台或三台加热器被起动时的那点。

所有试验都由单台加热器投入运行以及 70° 温度置定点开始。排成程序的自动试验把设定点提高到 80°,然后将设定点返回到 70°,完成一个循环。该程序使每个温度设定点保持 15 分钟,并在每个设定点时序的终了将另外一台加热器投入运行。

我们注意到,三个分开的试验结果表明了自校正控制系统的灵活性。

自校正控制器与灵巧的增益调度器一起使用,全部编进图 9 中的控制器 104 中,并假定为一阶过程行为。此控制器的初始值其增益为 0.5,时间常数为 5 分钟,延迟时间为 2.5 分钟。测量的运行中的加热器数形成了灵巧增益调度器所用的指数。

图 10 示出在以差的初始增益调度的灵巧增益调度期间所得的

温度分布曲线。使用的恒定增益调度为：

$$0.25+0.00X(\text{运行中的加热器数}).$$

此恒定的增益调度示出了灵巧增益调度器更新它的调度方程式的能力。图 13 表示出实际过程增益分布和初始固定的增益调度及灵巧增益调度之间的比较。

虽然由初始增益调度造成控制是差的，但性能代表过程特性的灵巧增益调度器改进的控制性能。在这个试验期间，仅在总的十个段的五个中进行数据校正，防止了进一步更新增益调度。

图 11 示出在以好的初始增益调度的灵巧增益调度期间所获得的温度分布。

给定增益调度如下：

$$0.00+0.18X(\text{运行中的加热器数})$$

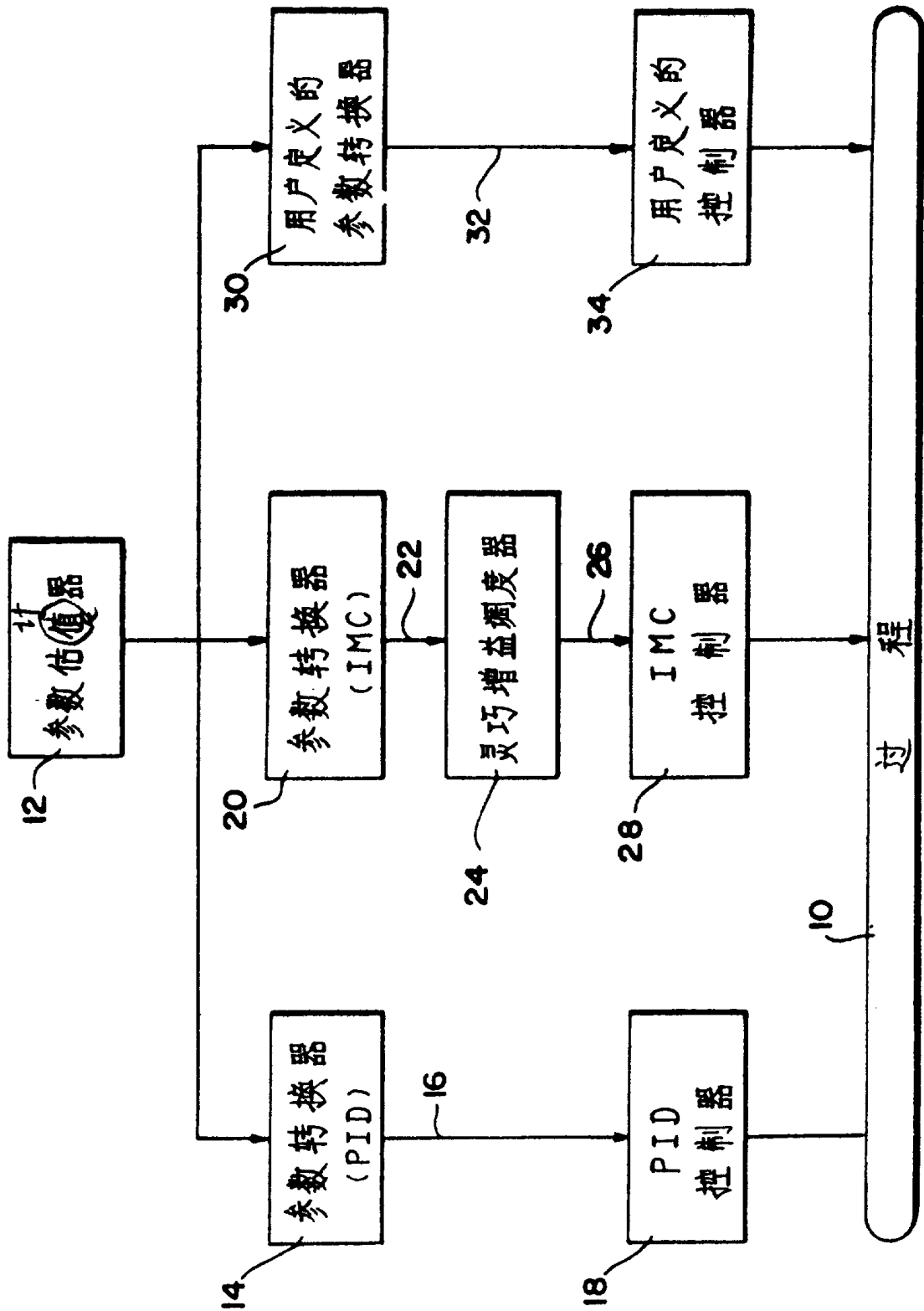
这说明通过增益调度的应用可以得到的性能类型。在收集足够的的数据以后，灵巧的增益调度器不依赖其起始点，辨识接近于上面给出的增益调度的一个增益调度。图 14 示出该试验的实际增益分布和初始及最后的增益调度之间的比较。

图 12 表示使用没有增益调度性能的自校正控制所获得的温度分布曲线。对该系列试验来说，增益调度的优点并不很明显。尽管如此，对于短的时间周期中经受大的增益变化的过程，优点是显然的。这是由于自校正控制器有能力根据过程的变化立即进行更新。

尽管已经表示出了本发明具体的实施例并对其进行了详细叙述

,以说明本发明原理的应用 ;但不言而喻,只要不违背这个原理,采用其他方式亦可实施本发明。

图 1



专利号

87 1 06500

Int. Cl.⁵

G05B 13/04

授权公告日

1993 年 12 月 15 日

图2 现有技术

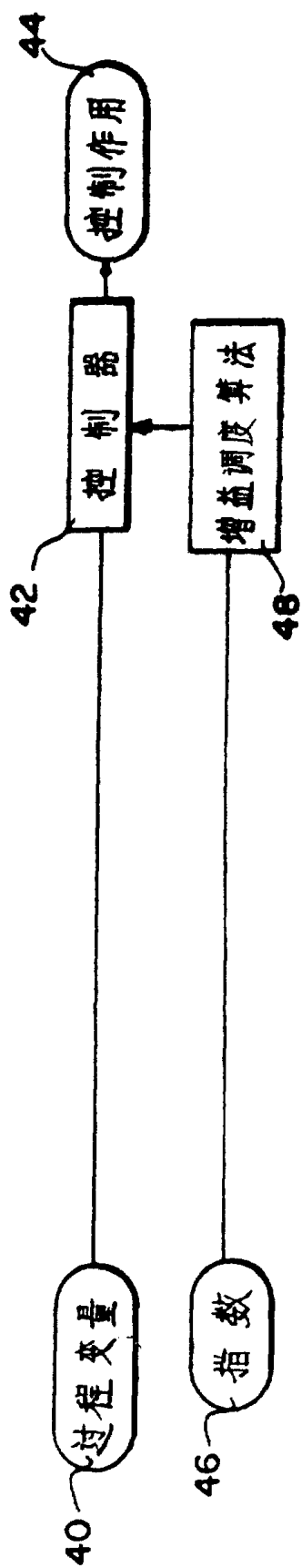


图3

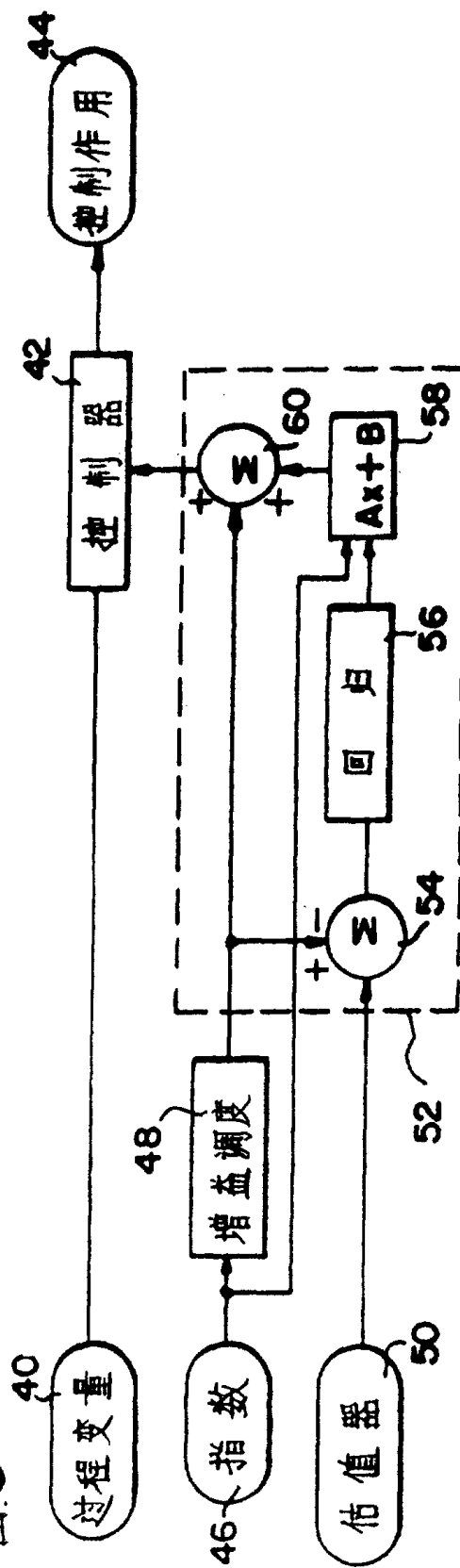


图.4 现有技术

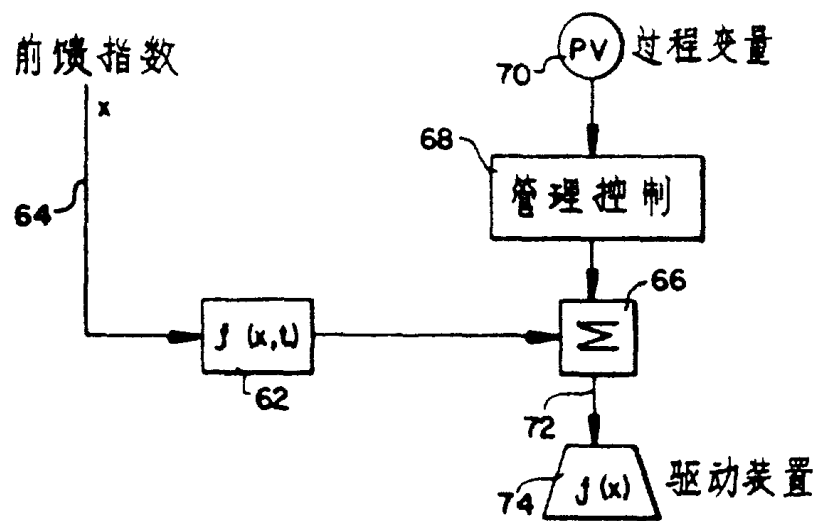


图.5

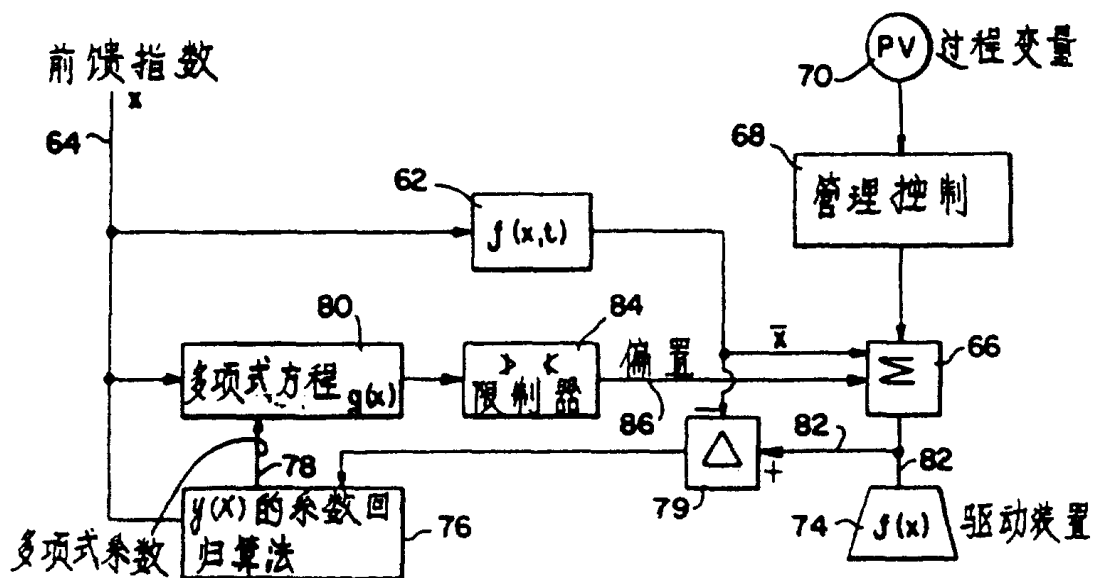


图. 6

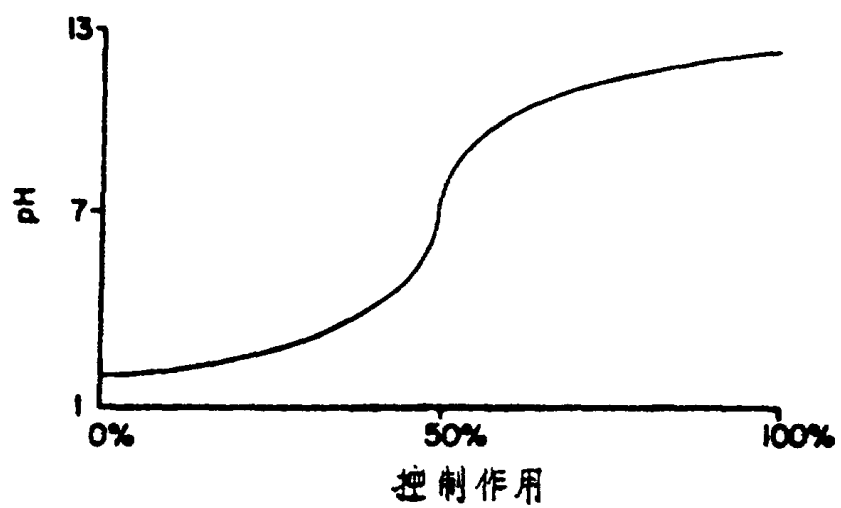


图. 7

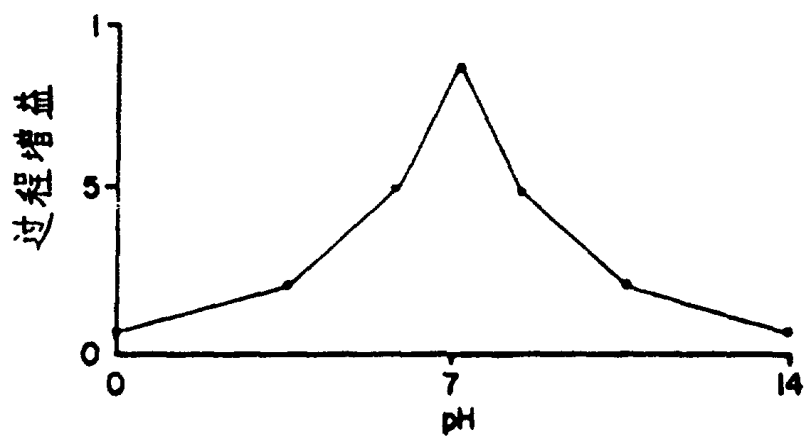
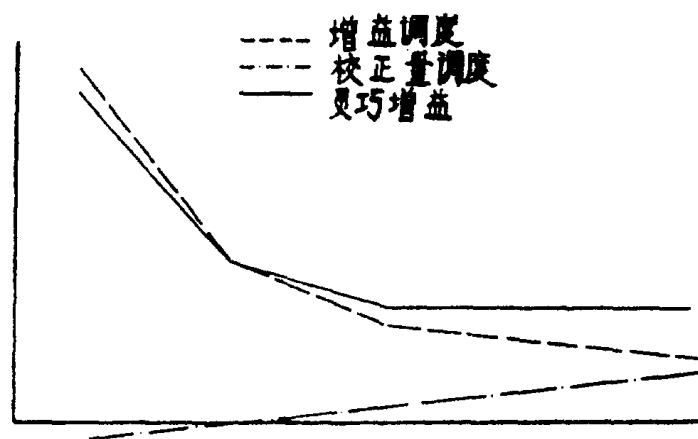


图. 8



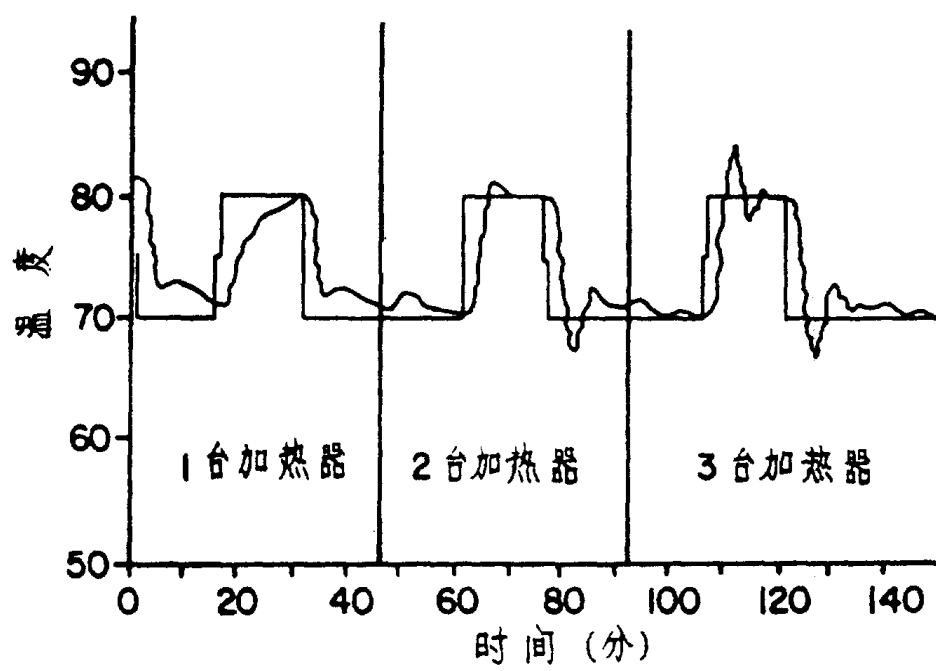


图. 11

增益
线性调度图表

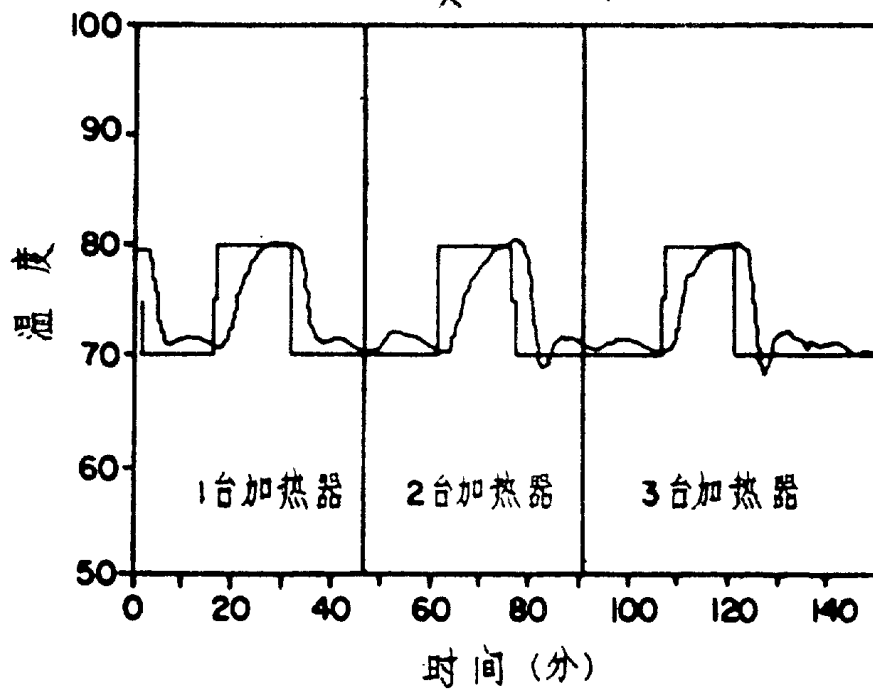


图. 12

仅有自校正

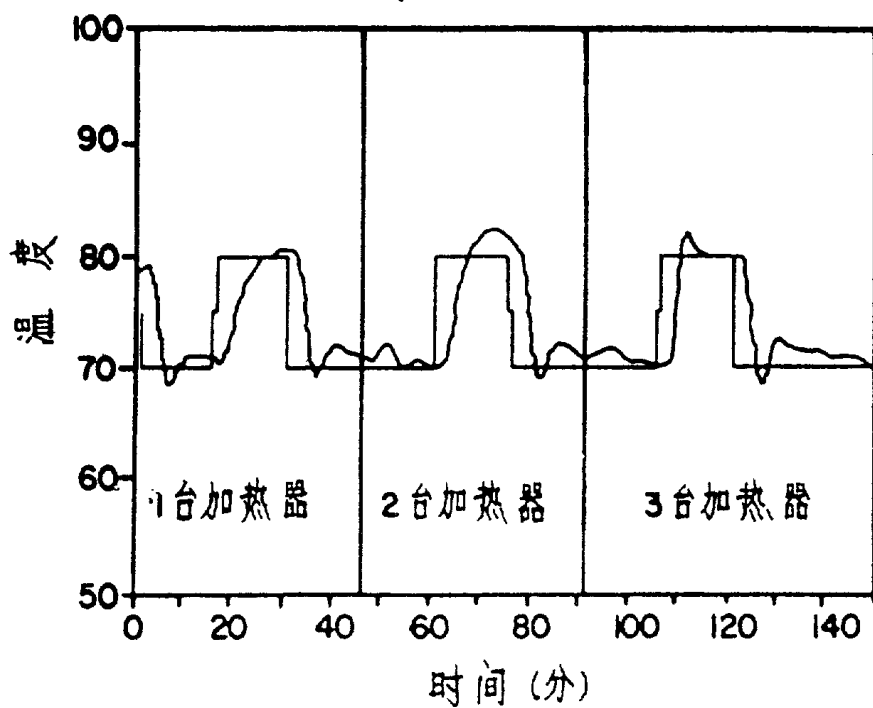


图. 13

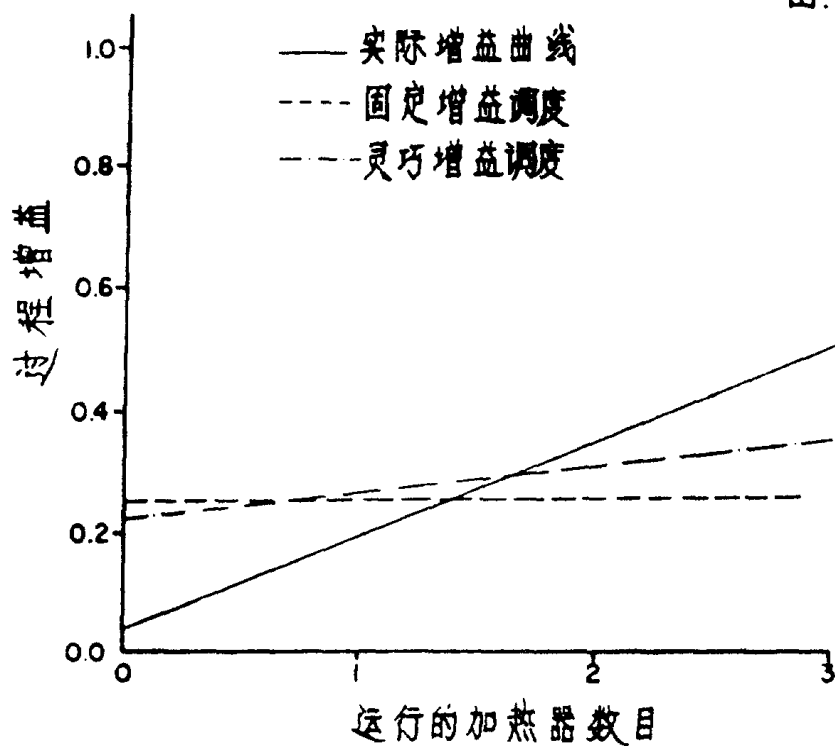


图. 14

