

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G05B 13/02 (2006.01)

G05D 3/12 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 01815852.8

[45] 授权公告日 2007 年 10 月 17 日

[11] 授权公告号 CN 100343767C

[22] 申请日 2001.9.10 [21] 申请号 01815852.8

[30] 优先权

[32] 2000.9.20 [33] JP [31] 284444/2000

[86] 国际申请 PCT/JP2001/007851 2001.9.10

[87] 国际公布 WO2002/025390 日 2002.3.28

[85] 进入国家阶段日期 2003.3.18

[73] 专利权人 株式会社安川电机

地址 日本福岡

[72] 发明人 萩原淳 今津笃志 安田贤一

小黑龙一

[56] 参考文献

CN1187887A 1998.7.15

JP2000-148210A 2000.5.26

JP11-309646A 1999.11.9

CN1158675A 1997.9.3

审查员 刘 珺

[74] 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司

代理人 李 辉

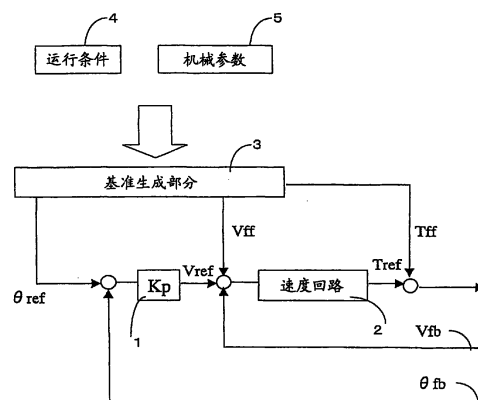
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 5 页

[54] 发明名称

伺服系统的控制方法

[57] 摘要

具有通过弹性元件连接的两个或两个以上的惯性系统的柔性结构迄今为止产生的问题是：基准和负载不完全一致并且需要计算很大的复杂计算，利用前馈的伺服系统的控制方法的特征在于，包含以下步骤：分别用可进行高阶微分的函数表示负载的位置和电动机的位置，根据运行条件(4)和机械参数(5)确定可进行高阶微分的函数，根据已确定的可进行高阶微分的函数计算电动机的位置、速度和转矩基准，利用已计算出的电动机的位置、速度和转矩基准作为前馈基准，或者根据已确定的可进行高阶微分的函数计算电动机的转矩基准，将计算出的转矩基准输入到机械模型中，并将获得的电动机的位置、速度和转矩基准作为前馈基准。



1. 一种利用前馈的伺服系统的控制方法，包括以下步骤：
分别用具有（边界条件数-1）阶的多项式方程表示负载的位置和电动机
5 机的位置；
根据运行条件和机械参数确定上述多项式方程；
基于上述已确定的多项式方程计算上述电动机的位置、速度和转矩
基准，并且
将上述计算出的电动机的位置、速度和转矩基准作为前馈基准。
- 10 2. 一种利用前馈的伺服系统的控制方法，包括以下步骤：
分别用具有（边界条件数-1）阶的多项式方程表示负载的位置和电动机
机的位置；
根据运行条件和机械参数确定上述多项式方程；
基于上述多项式方程计算转矩基准；
15 将计算出的转矩基准输入到机械模型中；并且
将获得的电动机位置、速度和转矩基准作为前馈基准。
3. 如权利要求 1 或 2 所述的伺服系统的控制方法，其特征在于，上述
多项式方程是 15 阶的多项式方程。
4. 如权利要求 1 或 2 所述的伺服系统的控制方法，其特征在于，运
20 行条件是移动时间和移动距离。
5. 如权利要求 1 或 2 所述的伺服系统的控制方法，其特征在于，在确定
多项式方程时，使用了被控制的机械系统的运动方程式。

伺服系统的控制方法

5 技术领域

本发明涉及对驱动机床的进给杆和机械臂等的伺服电动机进行控制的方法，特别是涉及进行前馈控制以改进对基准的随动能力的方法。

背景技术

10 通常，前馈控制经常被用作改进对基准的随动能力的方法。在现有技术的系统中，通常的做法是对位置基准求微分得到的值作为速度前馈基准值，将该值再求一次微分后得到的值作为转矩前馈基准值。

作为可能与本发明有关的技术之一，日本专利公开第 2762364 号“伺服电动机的前馈控制方法”说明了如下内容。即，图 4 是示出现有技术的系统的结构的框图。图 4 中，首先，该方法在位置“1”处将位置基准 θ_{ref} 和实际位置 θ_{fb} 之间的偏差乘以位置回路增益 K_p 所得到的值作为速度基准 V_{ref} ，接着，将在微分器 41 对位置基准值 θ_{ref} 求微分得到的值乘以系数 α 所得到的值作为速度前馈基准 V_{ff} ，并将其加到速度基准 V_{ref} 中。接下来，取得速度基准 V_{ref} 和实际速度 V_{fb} 之间的偏差，并在“2”处进
15 行速度回路处理，由此获得电流基准值 I_{ref} ，然后，将在微分器 42 对速度前馈基准 V_{ff} 求微分获得的值乘以系数 β 所得到的值作为电流前馈 I_{ff} ，并将其加到电流基准中。据描述该方法产生了改进速度回路和电流回路的响应能力及改进伺服系统的响应延迟的效果。

此外，另一个有关的技术是日本未经审查的特开平-10-149210 号“在
25 定位控制系统中准备基准的方法”，它采用了图 5 所示的结构。该公开说明了改进对基准的随动能力和实现完全随动的方法，其中在基准产生部分 51 中逆向求解包含控制系统和机械系统的传递函数，准备使从位置基准到负载位置的传递函数为 1 的位置基准。图 5 中的标注符号与图 4 中的相同。

然而，这两个采用现有技术的例子存在如下的问题。

第一，现有技术例 1 所示的方法对于控制机械系统被刚性耦合到伺服电动机的情况是没有问题的。但在具有两个或两个以上由弹性元件耦合到一起的惯性系统的柔性结构的情况下，由于输入了未考虑机械弹性
5 元件的基准，即使电动机按照基准随动，也会产生负载端振动的问题。结果就产生了负载不能跟随基准的问题。

第二，在现有技术例 2 公开的方法中，由于为了解决现有技术例 1 中的问题，生成基准时考虑了整个系统的传递特性，因此即使在两个或两个以上的惯性系统的情况下，也可以实现完全随动。然而，因为利用
10 了包含控制系统的传递函数，当改变控制系统的特性（例如为了改进干扰响应而改变速度回路的响应）时，需要再次求解逆传递函数，因此存在比较麻烦的问题。同样，因为需要进行复杂的计算，还带来计算量显著增加的问题。

因此，本发明的目的就是要提供一种可以解决上述问题的伺服系统的
15 的控制方法。

发明内容

为了实现上述目的，本发明的特征在于，包含以下步骤：分别用具有（边界条件数-1）阶的多项式方程表示负载的位置和电动机的位置；由
20 运行条件和机械参数确定上述多项式方程；由上述已确定的多项式方程计算上述电动机的位置、速度和转矩基准，将计算出的电动机的位置、速度和上面所述的转矩基准作为前馈基准。

同样，在根据本发明的结构中，使用前馈的伺服系统的控制方法特征在于，包含以下步骤：分别由具有（边界条件数-1）阶的多项式方程表
25 示负载的位置和电动机的位置；由运行条件和机械参数确定上述多项式方程；由上述已确定的多项式方程计算转矩基准；将计算出的转矩基准输入到机械模型中；将取得的电动机的位置、速度和转矩基准作为前馈

基准。

还有，上述多项式方程可以是 15 阶的多项式方程。另外，上面所述的运行条件可以是移动距离和移动时间。此外，在确定上面所述多项式方程时，可以使用控制的机械系统的运动方程式。

5

附图说明

图 1 是示出本发明的实施例 1 的结构的框图；

图 2 是说明本发明的实施例 2 的结构的框图；

图 3 是说明本发明的处理顺序的流程图；

10 图 4 是说明现有技术例 1 的结构的框图；及

图 5 是说明现有技术例 2 的结构的框图。

具体实施方式

参照附图描述本发明的实施例。这里，假设控制机械系统可以用一个双惯性系统来近似。图 1 是示出本发明的一个实施例的框图。图 1 中，
15 标号 1 指示的是位置回路比例增益 K_p ，2 指示的是速度回路，3 指示的是计算电动机位置、速度和转矩基准的基准生成部分。规定的运行条件 4 保存在存储器中。标号 5 指示的是保存在存储器中的机械参数。

在速度回路 2 中实现比例积分控制。同样，根据本发明的移动距离
20 $dist$ 和移动时间 te 被作为运行条件 4 输入和保存。电动机惯量 $J1$ 、负载惯量 $J2$ 、弹性常数 Kc 和衰减系数 DL 被作为机械参数 5 输入和保存。

使用保存在存储器中的运行条件 4 和机械参数 5，电动机位置基准 θ_{ref} 、电动机速度基准 V_{ff} 和电动机转矩基准值 T_{ff} 由基准生成部分 3 计算而得，并被作为控制输入。

25 在下文中，利用图 3 的流程图，顺序地对基准生成部分 3 的处理内容进行详细描述。

第一步：负载的位置 $X1(t)$ 和电动机位置 $Xm(t)$ 被分别表示成如方程式(1)所示的 15 阶的多项式方程。使方程式为 15 阶的原因是存在下面所述的 16 个边界条件。

30
$$X1(t) = a_{15} \cdot t^{15} + a_{14} \cdot t^{14} + a_{13} \cdot t^{13} + \dots + a_1 \cdot t^1 + a_0$$

.....(1)

$$X_m(t) = b_{15} \cdot t^{15} + b_{14} \cdot t^{14} + b_{13} \cdot t^{13} + \dots + b_1 \cdot t^1 + b_0$$

(其中 a_0 到 a_{15} , b_0 到 b_{15} 是系数)

第二步：获得运行条件和机械参数。

5 运行条件: dist, te

机械参数: J1, J2, Kc, DL

第三步：通过求解表达式(2)中所示的边界条件和表达式(3)中所示的机械系统的运动方程式，得到系数 a_0 到 a_{15} 及 b_0 到 b_{15} 。

10 在电动机和负载中，边界条件如下：当运行开始时($t=0$)，位置 = 速度 = 加速度 = 加速度率 = 0，当运行结束时($t = te$)，位置 = dist, 速度 = 加速度 = 加速度率 = 0，条件为表达式(2)所示的 16 个。

$$\begin{aligned} X_1^{(0)}(0) &= 0, & X_1^{(1)}(0) &= 0, & X_1^{(2)}(0) &= 0, & X_1^{(3)}(0) &= 0, \\ X_1^{(0)}(te) &= \text{dist}, & X_1^{(1)}(te) &= 0, & X_1^{(2)}(te) &= 0, & X_1^{(3)}(te) &= 0, \\ X_m^{(0)}(0) &= 0, & X_m^{(1)}(0) &= 0, & X_m^{(2)}(0) &= 0, & X_m^{(3)}(0) &= 0, \\ 15 \quad X_m^{(0)}(te) &= \text{dist}, & X_m^{(1)}(te) &= 0, & X_m^{(2)}(te) &= 0, & X_m^{(3)}(te) &= 0, \\ & \dots\dots(2) \end{aligned}$$

其中，假设 $A^{(n)}$ 表示的是 A ($A = X_1$ 或 X_m) 的第 n 阶微分。同样，双惯量机械系统的运动方程式如下面的表达式(3)所示：

$$\begin{aligned} J_2 \cdot X_1^{(2)}(t) + DL \cdot (X_1^{(1)}(t) - X_m^{(1)}(t)) + \\ 20 \quad Kc \cdot (X_1^{(0)}(t) - X_m^{(0)}(t)) = 0 \quad \dots\dots(3) \end{aligned}$$

如上所述，系数 a_0 到 a_{15} 及 b_0 到 b_{15} 通过表达式(2)和(3)求得。

第四步：电动机的位置基准值 $X_m^{(0)}(t)$ 由第三步中求得的系数获得。再对其求微分，得到电动机的速度基准值 $X_m^{(1)}(t)$ 。

最后，转矩基准值 Tref 通过下面的表达式(4)求得。

$$25 \quad T_{ref}(t) = J_1 \cdot X_m^{(2)}(t) + J_2 \cdot X_1^{(2)}(t) \quad \dots\dots(4)$$

在该方法中，由于为了解决问题 1，在生成基准时考虑了机械系统的运行特性，因此负载侧不振动而使完全随动成为可能。

此外，由于基准不是由包含控制系统的传递函数生成的，而是仅通过机械系统的运动方程式生成的，因此在改变控制增益时完全不受影响，

从而不必改变任何基准。

接下来，利用图 2 对根据本发明的实施例 2 的方法进行说明。

当由于硬件有限基准的输出只限于一个输入时，不可能象在实施例 1 中那样输入电动机的位置基准、电动机的速度基准和电动机的转矩基准
5 这三个输入。

在这种情况下，首先，按实施例 1 中描述的顺序导出转矩基准值 $T_{ref}(t)$ 。接下来，如图 2 中标号 6 所示，事先在控制器中置入机械模型，将如上所述导出的转矩基准输入到该机械模型中，在机械模型中计算出的电动机位置和电动机速度可以作为前馈基准值。使用这种方法，仅将
10 转矩基准输入到控制计算部分即可，并可以得到类似于实施例 1 的效果。

此外，尽管在上面描述的两个实施例中给出了对电动机位置、电动机速度、电动机转矩基准进行前馈的方法的描述，当然也可以获得电流基准而不是转矩基准，并且将其用于前馈。

如上所述，根据本发明，用具有（边界条件数-1）阶的多项式方程
15 表示机械位置和电动机的位置，基于通过运行条件（移动距离和移动时间）求出的边界条件和机械运行方程确定多项式方程的系数，最后，将计算出电动机的位置基准、电动机的速度基准和电动机的转矩基准作为前馈的基准值，从而可以产生使得柔性结构可以完全跟随基准的效果。

另外，根据本发明，当控制系统的增益等发生变化时，可以使用相
20 同的基准，因此可以产生这样的效果：即使在前馈基准是事先在离线处理中计算的情况下也不再需要繁琐的再计算等。

工业适用性

根据本发明，可以使具有由弹性元件耦合的两个或两个以上的惯性系统的柔性结构完全跟随基准。

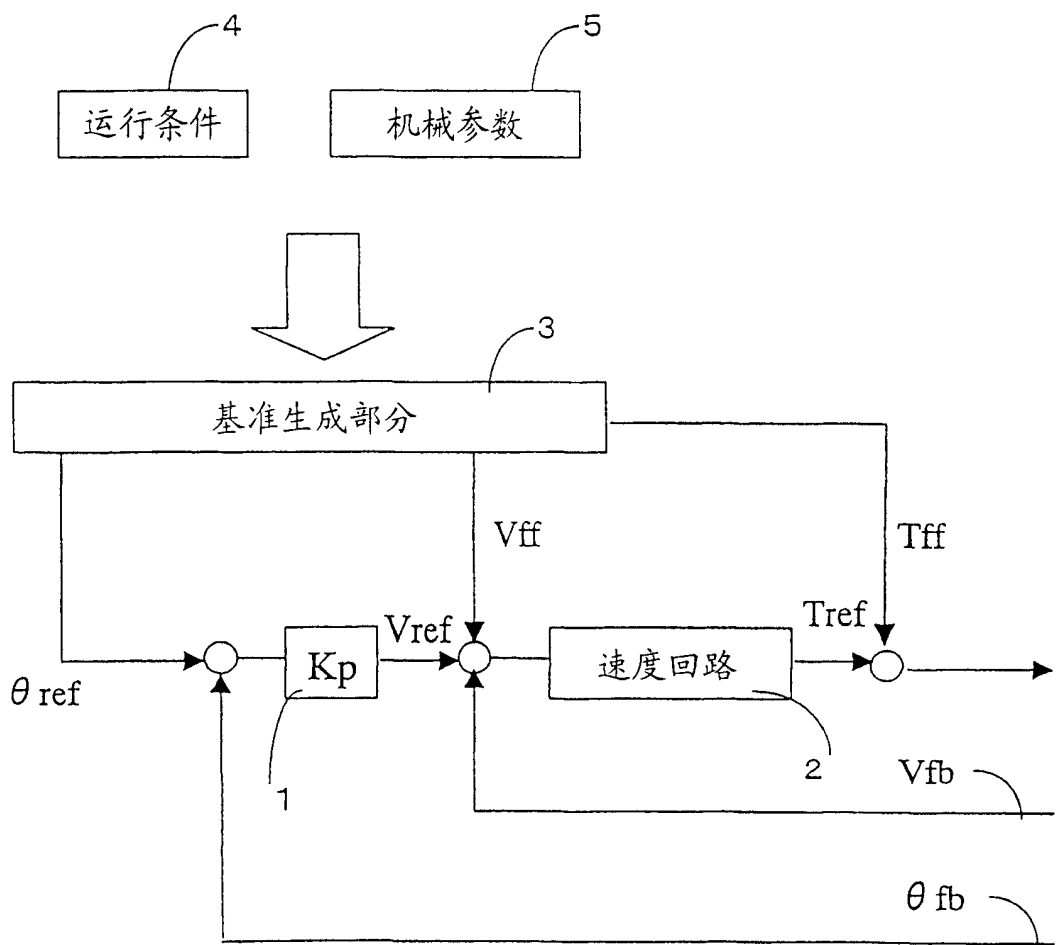


图 1

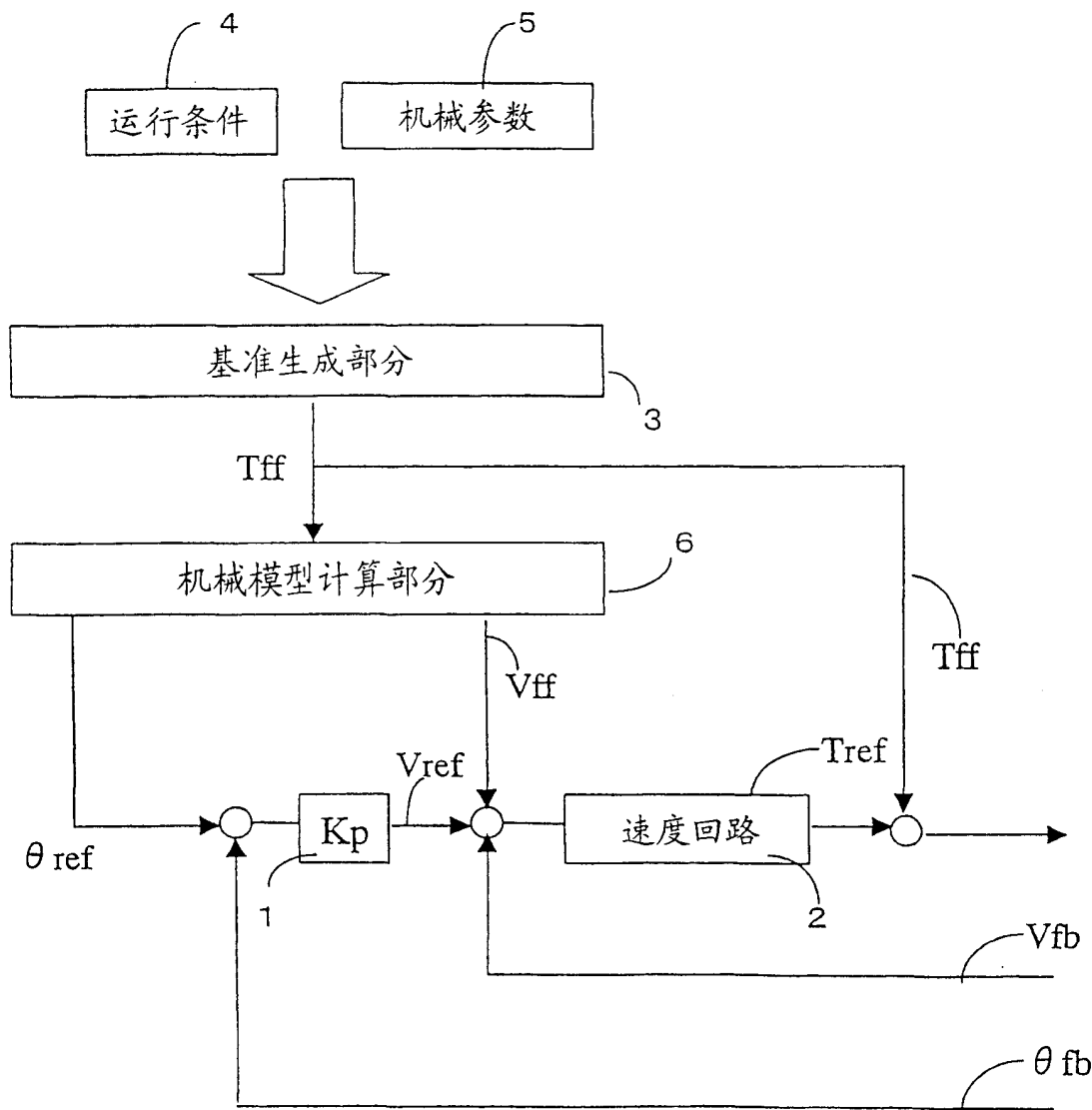


图 2

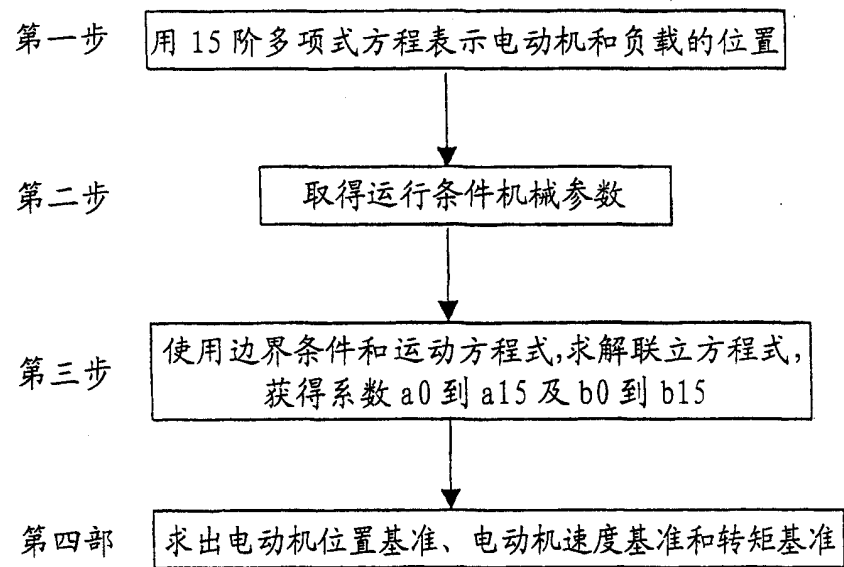


图 3

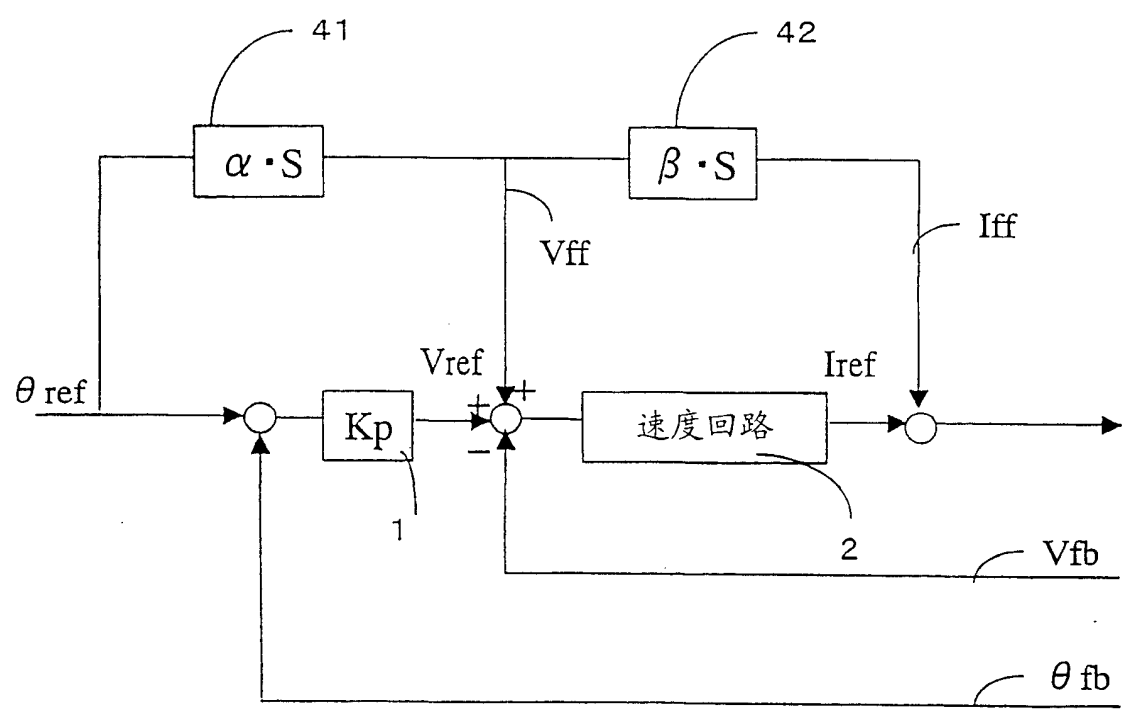


图 4

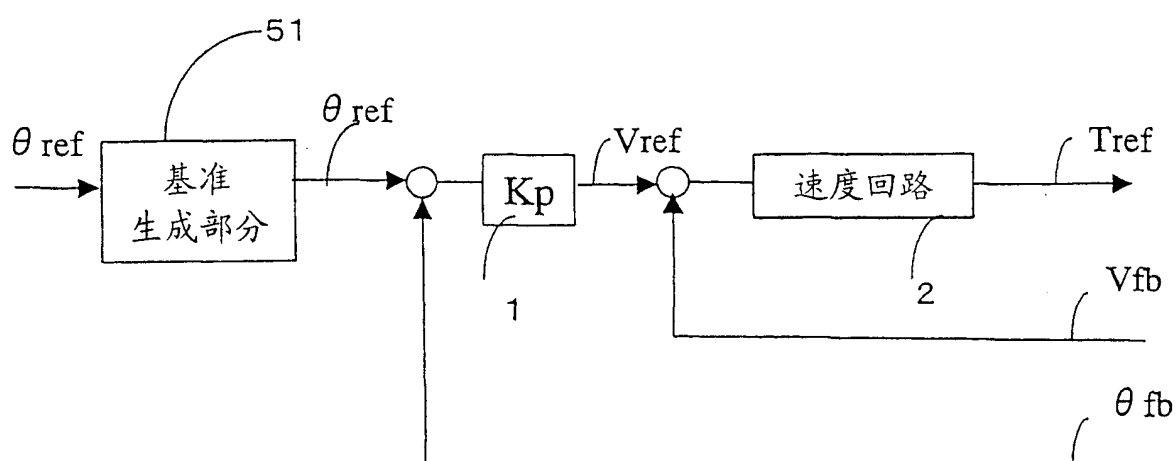


图 5