



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 106873358 B

(45) 授权公告日 2020.11.24

(21) 申请号 201611009489.4

(22) 申请日 2016.11.03

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 106873358 A

(43) 申请公布日 2017.06.20

(30) 优先权数据  
2015-226722 2015.11.19 JP

(73) 专利权人 欧姆龙株式会社  
地址 日本京都府京都市

(72) 发明人 大野悌 惠木守 川西康友  
森泰元

(74) 专利代理机构 隆天知识产权代理有限公司  
72003  
代理人 向勇 董雅会

(51) Int.Cl.

G05B 11/42 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 101024351 A, 2007.08.29

US 5754026 A, 1998.05.19

US 2015311844 A1, 2015.10.29

审查员 李亚琼

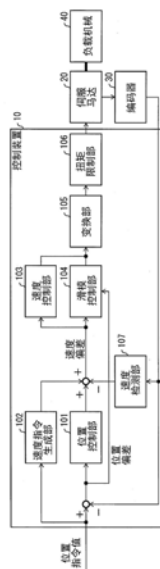
权利要求书2页 说明书20页 附图21页

(54) 发明名称

控制装置以及控制方法

(57) 摘要

本发明提供一种用户易于把握传递特性,并且即使用户不了解伺服马达的最大扭矩也能够使伺服马达执行期望动作的控制装置。控制装置(10)基于位置偏差以及速度偏差中的至少任一者选择通过滑模控制和PID控制中的者对伺服马达(20)进行控制。



1. 一种控制装置,控制伺服马达,或对作为标准模型的伺服马达进行控制,作为标准模型的伺服马达用于对伺服马达进行模型追踪控制,其特征在于,

具有:

滑模控制部,以使位置偏差以及速度偏差收敛于由所述伺服马达能够输出的规定扭矩和被所述伺服马达驱动的负载机械的运动特性确定的变换线上的方式进行确定向所述伺服马达输出的扭矩的滑模控制,所述位置偏差表示从外部输入的位置指令值与所述伺服马达的位置的偏差,所述速度偏差表示从外部输入的速度指令值与所述伺服马达的速度的偏差;

PID控制部,以使所述伺服马达的位置、速度追踪所述位置指令值以及速度指令值的方式进行PID控制;以及

选择部,基于所述位置偏差以及所述速度偏差中的至少任一者,选择是通过所述滑模控制部进行控制,还是通过所述PID控制部进行控制,

所述滑模控制部以及所述PID控制部对作为所述标准模型的伺服马达进行控制,并且

该控制装置还具有反馈控制部,该反馈控制部以追踪被由所述选择部选择的所述滑模控制部或所述PID控制部控制的作为所述标准模型的伺服马达的位置、速度的方式对实际伺服马达的位置、速度进行PID控制,

在所述PID控制部控制的扭矩为第一规定值以下的情况以及所述速度偏差为第二规定值以下的情况中的任一情况下,所述选择部选择所述PID控制部,

在所述PID控制部控制的扭矩超过所述第一规定值的情况下,或者,所述速度偏差超过所述第二规定值的情况下,所述选择部选择所述滑模控制部。

2. 如权利要求1所述的控制装置,其特征在于,

所述第一规定值是所述伺服马达输出的最大扭矩,

在所述PID控制部输出的扭矩为所述伺服马达的所述最大扭矩以下的情况下,所述选择部选择所述PID控制部,

在所述PID控制部输出的扭矩超过所述最大扭矩的情况下,所述选择部选择所述滑模控制部。

3. 如权利要求2所述的控制装置,其特征在于,

在纵轴为所述位置偏差且横轴为所述速度偏差的相位平面上,在所述PID控制部控制的扭矩为所述最大扭矩的情况下,所述选择部以使所述变换线与描绘于该相位平面的直线接触的方式使所述变换线平行移动,并且以使所述位置偏差以及所述速度偏差收敛于平行移动后的该变换线的方式使所述滑模控制部执行滑模控制。

4. 如权利要求1所述的控制装置,其特征在于,

在所述PID控制部控制的速度偏差为所述第二规定值以下的情况下,所述选择部选择所述PID控制部,

在所述PID控制部控制的速度偏差超过所述第二规定值的情况下,在纵轴为所述位置偏差且横轴为所述速度偏差的相位平面上,所述选择部以在所述PID控制部控制的扭矩为0时,在所述速度偏差为所述第二规定值处,所述变换线与描绘于该相位平面的直线接触的方式,使所述变换线平行移动,并且以使所述位置偏差以及所述速度偏差收敛于平行移动后的该变换线的方式使所述滑模控制部执行滑模控制。

5. 如权利要求4所述的控制装置,其特征在于,

在所述相位平面上,将被最小平行移动变换线以及最大平行移动变换线夹着的区域作为缓冲区域,所述最小平行移动变换线是以在所述速度偏差为所述第二规定值处,使所述变换线与在所述PID控制部控制的扭矩为所述伺服马达输出的最小扭矩时描绘于该相位平面上的直线即最小扭矩直线接触的方式使所述变换线平行移动后的变换线,所述最大平行移动变换线是以在所述速度偏差为所述第二规定值处,使所述变换线与在所述PID控制部控制的扭矩为所述伺服马达输出的最大扭矩时描绘于该相位平面的直线即最大扭矩直线接触的方式使所述变换线平行移动后的变换线。

6. 如权利要求1所述的控制装置,其特征在于,

在所述PID控制部控制的速度偏差为所述第二规定值以下的情况下,所述选择部选择所述PID控制部,

在所述PID控制部控制的速度偏差超过所述第二规定值的情况下,所述选择部选择所述滑模控制部。

7. 如权利要求1-6中任一项所述的控制装置,其特征在于,

所述速度指令值是0。

8. 如权利要求1-6中任一项所述的控制装置,其特征在于,

被所述滑模控制部或所述PID控制部控制的所述伺服马达的速度小于所述伺服马达的最大输出速度。

9. 一种控制方法,控制伺服马达,或对作为标准模型的伺服马达进行控制,作为标准模型的伺服马达用于对该伺服马达进行模型追踪控制,其特征在于,

包括:

滑模控制步骤,以使位置偏差以及速度偏差收敛于由所述伺服马达能够输出的规定扭矩和被所述伺服马达驱动的负载机械的运动特性确定的变换线上的方式进行确定向所述伺服马达输出的扭矩的滑模控制,所述位置偏差表示从外部输入的位置指令值与所述伺服马达的位置的偏差,所述速度偏差表示从外部输入的速度指令值与所述伺服马达的速度的偏差;

PID控制步骤,以使所述伺服马达的位置、速度追踪所述位置指令值以及速度指令值的方式进行PID控制;以及

选择步骤,根据所述伺服马达的所述位置偏差以及所述速度偏差,选择是通过所述滑模控制步骤控制所述伺服马达的扭矩,还是通过所述PID控制步骤控制所述伺服马达的扭矩,

以追踪被由所选择的滑模控制步骤或PID控制步骤控制的作为所述标准模型的伺服马达的位置、速度的方式对实际伺服马达的位置、速度进行PID控制,

在所述扭矩为第一规定值以下的情况以及所述速度偏差为第二规定值以下的情况中的任一情况下,选择所述PID控制步骤,

在所述扭矩超过所述第一规定值的情况下,或者,所述速度偏差超过所述第二规定值的情况下,选择所述滑模控制步骤。

## 控制装置以及控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及对伺服马达等马达的驱动进行控制的控制装置。

### 背景技术

[0002] 现在作为伺服马达的控制方法已知PID(比例、积分、微分)控制,在PID控制中,以使伺服马达的位置、速度追踪从外部输入的位置指令值以及速度指令值的方式进行控制。另外,作为马达的控制方法与PID控制同样地还已知滑模控制。例如,后述的专利文献1中公开了一种马达的控制装置,进行通过沿着滑动曲线控制转子的位置以及速度,使转子停止在目标位置的滑模控制,其中该滑动曲线是使用在定向(Orientation)控制所使用的物理变量决定的。

[0003] 专利文献1:JP特开2011-176906号公报(2011年9月8日公开)

[0004] 但是,在使用PID控制的情况下,虽然用户易于把握传递特性,但是在应该输出的扭矩被限制的情况下,具有产生超越以及抖动等问题。另一方面,在使用滑模控制(sliding mode control)的情况下,能够进行不产生超越以及抖动的控制,但是由于滑模控制器的传递特性为非线形,因此存在用户难以把握的问题。

### 发明内容

[0005] 本发明是鉴于上述问题而提出的,其目的在于提供一种用户易于把握其传递特性且即使用户不了解伺服马达的最大扭矩也能够使伺服马达执行期望动作的控制装置、控制方法以及程序。

[0006] 为了解决上述问题,本发明一个实施方式的控制装置,控制伺服马达,或对于对伺服马达进行模型追踪控制的作为标准模型的伺服马达进行控制,具有:滑模控制部,以使位置偏差以及速度偏差收敛于由伺服马达能够输出的规定扭矩和被伺服马达驱动的负载机械的运动特性确定的变换线上的方式进行确定向伺服马达输出的扭矩的滑模控制,位置偏差表示从外部输入的位置指令值与伺服马达的位置的偏差,速度偏差表示从外部输入的速度指令值与伺服马达的速度的偏差;PID控制部,以使伺服马达的位置、速度追踪位置指令值以及速度指令值的方式进行PID控制;以及选择部,基于位置偏差以及速度偏差中的至少任一者选择是通过滑模控制部进行控制,还是通过PID控制部进行控制。

[0007] 根据上述结构,所述控制装置对所述滑模控制和所述PID控制选择性地执行。在此,通过所述滑模控制,用户即使不了解所述伺服马达能够输出的最大扭矩,也能够仅通过赋予所述伺服马达或所述标准模型的关于位置的指令(位置指令值),能够使所述伺服马达执行期望动作。另外,就所述PID控制而言,用户易于把握传递特性。因此,所述控制装置具有如下的效果:通过对所述滑模控制和所述PID控制选择性地执行,用户易于把握传递特性,并且,即使用户不了解所述伺服马达能够输出的最大扭矩,也能够使所述伺服马达执行期望动作。

[0008] 另外,根据上述结构,所述控制装置基于所述位置偏差以及所述速度偏差中的至

少任一者,选择是通过所述滑模控制部进行控制,还是通过所述PID控制部进行控制。由此,所述控制装置具有如下的效果:能够根据控制量的大小选择更合适的控制方法(所述滑模控制或所述PID控制)。

[0009] 优选,在所述控制装置中,所述滑模控制部以及所述PID控制部对作为所述标准模型的伺服马达进行控制,并且该控制装置还具有反馈控制部,该反馈控制部以追踪被由所述选择部选择的所述滑模控制部或所述PID控制部控制的作为所述标准模型的伺服马达的位置、速度的方式对实际伺服马达的位置、速度进行PID控制。

[0010] 根据上述结构,所述控制装置具有如下的效果:用户易于把握传递特性,并且,使用即使用户不了解所述伺服马达能够输出的最大扭矩也能够使所述伺服马达执行期望动作的所述标准模型,对所述伺服马达进行PID控制。

[0011] 优选,在所述控制装置中,在所述PID控制部控制的扭矩为第一规定值以下的情况以及所述速度偏差为第二规定值以下的情况中的任一情况下,所述选择部选择所述PID控制部,在所述PID控制部控制的扭矩超过所述第一规定值的情况下,或者,所述速度偏差超过所述第二规定值的情况下,所述选择部选择所述滑模控制部。

[0012] 根据上述结构,所述控制装置,在所述PID控制部控制的扭矩为第一规定值以下的情况以及所述速度偏差为第二规定值以下的情况中的任一情况下,选择所述PID控制部,在所述PID控制部控制的扭矩超过所述第一规定值的情况,或者,所述速度偏差超过所述第二规定值的情况下,选择所述滑模控制部。因此,所述控制装置具有如下的效果:通过使用所述第一规定值以及所述第二规定值对所述滑模控制和所述PID控制选择性地执行,从而用户易于把握传递特性,并且即使用户不了解所述伺服马达能够输出的最大扭矩,也能够使所述伺服马达执行期望动作。

[0013] 优选,在所述控制装置中,所述第一规定值是所述伺服马达输出的最大扭矩,在所述PID控制部输出的扭矩为所述伺服马达的所述最大扭矩以下的情况下,所述选择部选择所述PID控制部,在所述PID控制部输出的扭矩超过所述最大扭矩的情况下,所述选择部选择所述滑模控制部。

[0014] 根据上述结构,所述控制装置具有如下的效果:所述PID控制部控制的扭矩为所述最大扭矩以下的情况下,能够通过所述PID控制部控制所述伺服马达的扭矩,并且,能够通过所述滑模控制,抑制所述伺服马达产生超越以及抖动的情况。

[0015] 优选,在所述控制装置中,在纵轴为所述位置偏差且横轴为所述速度偏差的相位平面上,在所述PID控制部控制的扭矩为所述最大扭矩的情况下,所述选择部以使所述变换线与描绘于该相位平面的直线接触的方式使所述变换线平行移动,并且以使所述位置偏差以及所述速度偏差收敛于平行移动后的该变换线的方式使所述滑模控制部执行滑模控制。

[0016] 根据上述结构,所述控制装置具有如下的效果:在所述PID控制部控制的扭矩为所述最大扭矩以下的情况下,能够通过所述PID控制部来控制所述伺服马达的扭矩,并且以使所述位置偏差以及所述速度偏差收敛于平行移动后的变换线的方式使所述滑模控制部执行滑模控制。

[0017] 优选,在所述控制装置中,在所述PID控制部控制的速度偏差为所述第二规定值以下的情况下,所述选择部选择所述PID控制部,在所述PID控制部控制的速度偏差超过所述第二规定值的情况下,在纵轴为所述位置偏差且横轴为所述速度偏差的相位平面上,所述

选择部以在所述PID控制部控制的扭矩为0时,在所述速度偏差为所述第二规定值处,所述变换线与描绘于该相位平面的直线接触的方式,使所述变换线平行移动,并且以使所述位置偏差以及所述速度偏差收敛于平行移动后的该变换线的方式使所述滑模控制部执行滑模控制。

[0018] 根据上述结构,所述控制装置具有如下的效果:能够从所述伺服马达的扭矩被所述滑模控制部控制的状态顺畅地变更为被所述PID控制部控制的状态,因此能够使所述伺服马达扭矩顺畅地变化,并且能够通过所述滑模控制,抑制所述伺服马达或所述标准模型发生超越以及抖动的情况。

[0019] 优选,就所述控制装置而言,在所述相位平面上,将被最小平行移动变换线以及最大平行移动变换线夹着的区域作为缓冲区域,所述最小平行移动变换线是以在所述速度偏差为所述第二规定值处,使所述变换线与在所述PID控制部控制的扭矩为所述伺服马达输出的最小扭矩时描绘于该相位平面上的直线即最小扭矩直线接触的方式使所述变换线平行移动后的变换线,所述最大平行移动变换线是以在所述速度偏差为所述第二规定值处,使所述变换线与在所述PID控制部控制的扭矩为所述伺服马达输出的最大扭矩时描绘于该相位平面的直线即最大扭矩直线接触的方式使所述变换线平行移动后的变换线。

[0020] 根据上述结构,所述控制装置具有如下的效果:能够将被所述最小平行移动变换线以及所述最大平行移动变换线夹着的区域作为缓冲区域。

[0021] 优选,在所述控制装置中,在所述PID控制部控制的速度偏差为所述第二规定值以下的情况下,所述选择部选择所述PID控制部,在所述PID控制部控制的速度偏差超过所述第二规定值的情况下,所述选择部选择所述滑模控制部。

[0022] 根据上述结构,所述控制装置具有如下的效果:在所述PID控制部控制的速度偏差超过所述第二规定值的情况下,能够通过所述滑模控制部控制所述伺服马达的扭矩,因此使所述伺服马达的位置以及速度与所述位置指令值以及所述速度指令值一致所需的时间变短,并且能够通过所述滑模控制,抑制所述伺服马达或所述标准模型产生超越以及抖动的情况。

[0023] 优选,在所述控制装置中,所述速度指令值是0。

[0024] 根据上述结构,所述控制装置具有如下的效果:所述速度指令值是0,所以在到达以所述位置指令值发出指令的目标位置的时刻,所述伺服马达的速度也能为0,所以所述伺服马达的位置不会超越。

[0025] 优选,在所述控制装置中,被所述滑模控制部或所述PID控制部控制的所述伺服马达的速度小于所述伺服马达的最大输出速度。

[0026] 根据上述结构,在所述控制装置中,被所述滑模控制部或所述PID控制部控制的所述伺服马达的速度小于所述伺服马达的最大输出速度。

[0027] 在此,若将比所述伺服马达的最大输出速度更大的速度设定为被所述滑模控制部或所述PID控制部控制的所述伺服马达的速度,则所述伺服马达不能追踪。

[0028] 在所述控制装置中,由于被所述滑模控制部或所述PID控制部控制的所述伺服马达的速度小于所述伺服马达的最大输出速度,所以所述控制装置具有如下的效果:能够使用所述伺服马达能够追踪的且被控制的速度,来控制所述伺服马达。

[0029] 另外,为了解决上述问题,本发明一个实施方式的控制方法控制伺服马达,或对用

于对该伺服马达进行模型追踪控制的作为标准模型的伺服马达进行控制,包括:滑模控制步骤,以使位置偏差以及速度偏差收敛于由伺服马达能够输出的规定扭矩和被伺服马达驱动的负载机械的运动特性确定的变换线上的方式进行确定向伺服马达输出的扭矩的滑模控制,位置偏差表示从外部输入的位置指令值与伺服马达的位置的偏差,速度偏差表示从外部输入的速度指令值与伺服马达的速度的偏差;PID控制步骤,以使伺服马达的位置、速度追踪位置指令值以及速度指令值的方式进行PID控制;以及选择步骤,根据伺服马达的位置偏差以及速度偏差选择是通过滑模控制步骤控制伺服马达的扭矩,还是通过PID控制步骤控制伺服马达的扭矩。

[0030] 根据上述结构,所述控制方法对所述滑模控制和所述PID控制选择性地执行。在此,通过所述滑模控制,即使用户不了解所述伺服马达能够输出的最大扭矩,也能够通过仅赋予所述伺服马达或所述标准模型的与位置有关的指令(位置指令值),就能够使所述伺服马达执行期望动作。另外,就所述PID控制而言,用户易于把握传递特性。因此,所述控制方法具有如下的效果:通过对所述滑模控制和所述PID控制进行选择性地执行,用户易于把握传递特性,并且即使用户不了解所述伺服马达能够输出的最大扭矩,也能够使所述伺服马达执行期望动作。

[0031] 另外,根据上述结构,在所述控制方法中,基于所述位置偏差以及所述速度偏差中的至少任一者,选择是通过所述滑模控制进行控制,还是通过所述PID控制进行控制。由此,所述控制方法具有如下的效果:能够根据控制量的大小选择更合适的控制(所述滑模控制或所述PID控制)。

[0032] 根据本发明的一个实施方式,伺服马达的控制装置等具有如下的效果:用户易于把握传递特性,并且即使用户不了解该伺服马达能够输出的最大扭矩,也能够使该伺服马达执行期望动作。

## 附图说明

[0033] 图1是表示本发明的实施方式1的控制装置的主要部分的结构的框图。

[0034] 图2是表示操作量不饱和时的被控制的速度的轨迹的图,是对比示出仅利用PID控制时与仅利用滑模控制时,在通过图1的控制装置执行的控制的情况的曲线图。

[0035] 图3是表示操作量饱和时的被控制的速度的轨迹的图,是对比示出仅利用PID控制时与仅利用滑模控制时,在通过图1的控制装置执行的控制的情况的曲线图。

[0036] 图4说明在图1的控制装置中执行的滑模控制的图。

[0037] 图5是表示将图1的控制装置作为前馈控制部且进行模型追踪控制的伺服马达的控制装置的主要部分的结构的框图。

[0038] 图6是表示在图1的控制装置中执行的滑模控制中,速度指令为位置指令的微分时的模型输出位置轨迹图。

[0039] 图7是表示在图1的控制装置中执行的滑模控制中,速度指令为“0”时的模型输出位置轨迹图。

[0040] 图8是用于说明图1的控制装置的建议方法1的变换线的图。

[0041] 图9A、9B是表示操作量不饱和时的被控制的速度以及扭矩的轨迹的图,是对比示出仅利用PID控制时和仅利用滑模控制时,在图1的控制装置利用建议方法1的变换线执行

的控制的情况的曲线图。

[0042] 图10A、10B是表示操作量饱和时的被控制的速度以及扭矩的轨迹的图,是对比示出仅利用PID控制时和仅利用滑模控制时,在图1的控制装置利用建议方法1的变换线执行的控制的情况的曲线图。

[0043] 图11A、11B是在横轴为速度偏差且纵轴为位置偏差的相位平面上对比示出仅利用PID控制时和仅利用滑模控制时,在图1的控制装置利用建议方法1的变换线执行的控制的情况的曲线图。

[0044] 图12是用于说明图1的控制装置的建议方法2的变换线的图。

[0045] 图13A、13B是表示操作量不饱和时的被控制的速度以及扭矩的轨迹的图,在对比示出仅利用PID控制时和仅利用滑模控制时,在图1的控制装置利用建议方法2的变换线执行的控制的情况的曲线图。

[0046] 图14A、14B是表示操作量饱和时的被控制的速度以及扭矩的轨迹的图,是对比示出仅利用PID控制时和仅利用滑模控制时,图1的控制装置利用建议方法2的变换线执行的控制的情况的曲线图。

[0047] 图15A、15B是在横轴为速度偏差且纵轴为位置偏差的相位平面上对比示出仅利用PID控制时和仅利用滑模控制时,在图1的控制装置使用建议方法2的变换线执行的控制的情况的曲线图。

[0048] 图16是针对图1的控制装置用于说明建议方法3的变换线的图。

[0049] 图17A、17B是表示操作量不饱和时的被控制的速度以及扭矩的轨迹的图,是对比示出仅利用PID控制时和仅利用滑模控制时,在图1的控制装置利用建议方法3的变换线执行的控制的情况的曲线图。

[0050] 图18A、18B是表示操作量饱和时的被控制的速度以及扭矩的轨迹的图,是对比示出仅利用PID控制时和仅利用滑模控制时,在图1的控制装置利用建议方法3的变换线执行的控制的情况的曲线图。

[0051] 图19A、19B是在横轴为速度偏差且纵轴为位置偏差的相位平面上对比示出仅利用PID控制时和仅利用滑模控制时,在图1的控制装置利用建议方法3的变换线执行的控制的情况的曲线图。

[0052] 图20A、20B是表示操作量不饱和时的被控制的速度以及扭矩的轨迹的图,是对比示出图1的控制装置执行的控制所利用的变换线分别为建议方法1、建议方法2、建议方法3的变换线的各情况的曲线图。

[0053] 图21A、21B是表示操作量饱和时的被控制的速度以及扭矩的轨迹的图,是对比示出图1的控制装置执行的控制所利用的变换线分别为建议方法1、建议方法2、建议方法3的变换线的各情况的曲线图。

[0054] 图22A、22B是在横轴为速度偏差且纵轴为位置偏差的相位平面上对比示出图1的控制装置执行的控制所利用的变换线分别为建议方法1、建议方法2、建议方法3的变换线的各情况的曲线图。

[0055] 图23是表示在 $v_a$ 为“开始进行速度限制的阈值”, $v_b$ 为“速度限制值”,按照模型输出速度限制滑模控制的模型输出扭矩的图。

[0056] 图24是表示现有的控制装置的概略结构的图。



- [0057] 附图标记的说明
- [0058] 10 控制装置
- [0059] 20 伺服马达
- [0060] 20M 模型伺服马达 (作为标准模型的伺服马达)
- [0061] 20R 实际伺服马达 (伺服马达)
- [0062] 30 编码器
- [0063] 40 负载机械
- [0064] 70 反馈控制部
- [0065] 101 位置控制部 (PID控制部)
- [0066] 103 速度控制部 (PID控制部)
- [0067] 104 滑模控制部
- [0068] 105 变换部 (选择部)
- [0069] PP 相位平面
- [0070] SL 变换线
- [0071]  $V_b$  速度限制值 (伺服马达的最大输出速度)
- [0072]  $V_{err}$  速度偏差
- [0073]  $v_R$  速度指令值
- [0074]  $\theta_{err}$  位置偏差
- [0075]  $\theta_R$  位置指令值
- [0076]  $\tau_{max}$  最大扭矩
- [0077]  $\tau_{min}$  负的最大扭矩 (最小扭矩)

### 具体实施方式

[0078] (实施方式1)

[0079] 下面,基于图1~图23详细说明本发明的实施方式1。图中相同或相当部分标注相同的附图标记,且不重复说明。此外,详细的使用图5后述,控制装置10不仅是能够作为对实际的伺服马达即实际伺服马达20R(伺服马达)进行控制的控制装置,也能够用作对模型伺服马达20M进行控制的控制装置,该模型伺服马达20M作为用于对实际伺服马达20R进行模型追踪控制的标准模型。在图5中,对控制装置10用作对模型伺服马达20M进行控制的控制装置,也就是说,用作前馈控制装置的例子进行说明,该模型伺服马达20M作为用于对实际伺服马达20R进行模型追踪控制的标准模型。其中,控制装置10也能够用作直接控制实际伺服马达20R的控制装置。

[0080] 在下面的说明中,在不特别区别实际伺服马达20R和模型伺服马达20M的情况下,将两者一并称为“伺服马达20”。同样地,在不特别区别实际负载机械40R和作为实际负载机械40R的标准模型的模型负载机械40M的情况下,将两者一并称为“负载机械40”。

[0081] 为了容易理解本发明的一个实施方式的控制装置10,首先,基于图24说明现有的滑模控制装置90。

[0082] (现有的控制装置的概要)

[0083] 图24是表示作为现有的控制装置的一个例子的现有的滑模控制装置90的概要的

图。另外,在图24中描绘了被现有的滑模控制装置90控制的伺服马达20、检测伺服马达20的位置的编码器30和被伺服马达20驱动的负载机械40。

[0084] 伺服马达20被现有的滑模控制装置90控制,驱动负载机械40。编码器30检测伺服马达20的位置,例如检测伺服马达20的旋转角度。编码器30将检测到的位置发送至现有的滑模控制装置90。此外,编码器30可以检测伺服马达20的速度,将检测到的速度发送至现有的滑模控制装置90。在这种情况下,现有的滑模控制装置90可以具有根据编码器30所检测到的伺服马达20的位置(反馈位置 $\theta_{fb}$ )计算伺服马达20的速度的速度检测部92。

[0085] 现有的滑模控制装置90具有速度指令生成部91、速度检测部92以及滑模控制部93。速度指令生成部91接受从外部(例如,用户)给予的位置指令值 $\theta_R$ ,根据所述位置指令值 $\theta_R$ 生成速度指令值 $v_R$ 。速度指令生成部91将生成的所述速度指令值 $v_R$ 输出。速度检测部92基于来自编码器30的反馈位置 $\theta_{fb}$ 计算反馈速度 $v_{fb}$ ,将所算出的反馈速度 $v_{fb}$ 输出。

[0086] 滑模控制部93接受所述位置指令值 $\theta_R$ 、由速度指令生成部91根据所述位置指令值 $\theta_R$ 生成的所述速度指令值 $v_R$ 、编码器30检测到的反馈位置 $\theta_{fb}$ 和速度检测部92基于反馈位置 $\theta_{fb}$ 算出的反馈速度 $v_{fb}$ 。更准确地说,滑模控制部93接受位置偏差 $\theta_{err}$ 以及速度偏差 $v_{err}$ ,所述位置偏差 $\theta_{err}$ 为所述位置指令值 $\theta_R$ 与所述反馈位置 $\theta_{fb}$ 的偏差,所述速度偏差 $v_{err}$ 为所述速度指令值 $v_R$ 与所述反馈速度 $v_{fb}$ 的偏差。并且,滑模控制部93将所述位置偏差 $\theta_{err}$ 和所述速度偏差 $v_{err}$ 作为变换线对伺服马达20进行滑模控制。

[0087] 在此,通常滑模控制具有如下的特点:能进行不产生超越以及抖动等问题的控制;以及由于滑模控制器的传递特性为非线形,所以用户难以把握。另外,用户易于把握传递特性的PID控制具有如下的问题,在应该输出的扭矩被限制的情况下,会产生超越以及抖动等问题。

[0088] 因此,本发明一个实施方式的控制装置10在特定区域切换PID控制和滑模控制。因此,控制装置10能够实现PID控制特性和滑模控制特性这两者,所述PID控制特性指用户易于把握特性且易于描绘用户希望的轨道的特性,滑模控制特性指,在给予超过所设定的扭矩限制值的指令时,自动描画将所设定的扭矩限制值作为最大限的轨道的特性。

[0089] 与仅执行滑模控制的现有的滑模控制装置90具有以上说明的不同点的控制装置10,能够如下那样表示其概要。即,控制装置10具有:滑模控制部104,以使分别表示从外部输入的位置指令值 $\theta_R$ 以及速度指令值 $v_R$ 与伺服马达20的位置以及速度的偏差的位置偏差 $\theta_{err}$ 以及速度偏差 $v_{err}$ 收敛于由伺服马达20能够输出的规定扭矩(例如,伺服马达20能够输出的最大扭矩 $\tau_{max}$ ( $\tau_{min}$ ))和被伺服马达20驱动的负载机械40的运动特性确定的变换线SL上的方式,进行用于确定向伺服马达20输出的扭矩的滑模控制;位置控制部101以及速度控制部103(PID控制部),以使伺服马达20的位置、速度追踪所述位置指令值 $\theta_R$ 以及速度指令值 $v_R$ 的方式进行PID控制;以及变换部105(选择部),基于所述位置偏差 $\theta_{err}$ 以及所述速度偏差 $v_{err}$ 中的至少任一者选择是通过滑模控制部104进行控制,还是通过位置控制部101以及速度控制部103进行控制。

[0090] 此外,在下面的说明中,将位置控制部101和速度控制部103一并称为“PID控制部”。另外,如上所述,控制装置10是对实际伺服马达20R(伺服马达)或对用于对实际伺服马达20R进行模型追踪控制的作为标准模型的模型伺服马达20M进行控制的控制装置。因此,上述的“伺服马达20”指实际伺服马达20R或模型伺服马达20M,同样地,“负载机械40”指实

际负载机械40R或模型负载机械40M。

[0091] 根据上述结构,控制装置10对滑模控制部104执行的所述滑模控制和PID控制部(位置控制部101以及速度控制部103)执行的所述PID控制进行选择性地执行。在此,通过所述滑模控制,用户即使不了解伺服马达20能够输出的最大扭矩 $\tau_{\max}$ ,也能够通过仅给予伺服马达20或所述标准模型的与位置有关的指令(位置指令值 $\theta_R$ ),就能够使伺服马达20执行期望动作。另外,就所述PID控制而言,用户易于把握传递特性。因此,控制装置10具有如下的效果:通过对所述滑模控制和所述PID控制进行选择性地执行,用户易于把握传递特性,并且即使用户不了解伺服马达20能够输出的最大扭矩 $\tau_{\max}$ ,也能够使伺服马达20执行期望动作。

[0092] 另外,根据上述结构,控制装置10基于所述位置偏差 $\theta_{\text{err}}$ 以及所述速度偏差 $v_{\text{err}}$ 中的至少任一者,选择是通过滑模控制部104进行控制,还是通过所述PID控制部(即,位置控制部101以及速度控制部103)进行控制。由此,控制装置10具有能够按照控制量的大小选择更适当的控制方法(所述滑模控制或所述PID控制)的效果。

[0093] 优选,在控制装置10中,在所述PID控制部(即,位置控制部101以及速度控制部103)控制的扭矩为第一规定值(例如,伺服马达20能够输出的最大扭矩 $\tau_{\max}$ 以下且为负的最大扭矩即最小扭矩 $\tau_{\min}$ 以上的值)的情况以及所述速度偏差 $v_{\text{err}}$ 的绝对值为第二规定值以下的情况中的任意情况下,变换部105选择所述PID控制部,在所述PID控制部控制的扭矩超过所述第一规定值的情况,或,所述速度偏差 $v_{\text{err}}$ 超过所述第二规定值的情况下,变换部105选择滑模控制部104。此外,下面,说明马达的动作方向为正的情况,但动作方向为负的情况也进行同样的动作。

[0094] 根据上述结构,控制装置10在所述PID控制部控制的扭矩为第一规定值以下的情况以及所述速度偏差 $v_{\text{err}}$ 为第二规定值以下的情况中的任一情况下,选择所述PID控制部,在所述PID控制部控制的扭矩超过所述第一规定值的情况或所述速度偏差 $v_{\text{err}}$ 超过所述第二规定值的情况下,选择滑模控制部104。因此,控制装置10具有如下的效果:使用所述第一规定值以及所述第二规定值对所述滑模控制和所述PID控制进行选择性地执行,从而用户易于把握传递特性,并且即使用户不了解伺服马达20能够输出的最大扭矩 $\tau_{\max}$ ,也能够使伺服马达20执行期望动作。

[0095] 此外,作为现有技术列举的上述JP特开2011-176906号公报所记载的进行滑模控制的控制装置,当马达转子的旋转速度变为定向速度时,进行使转子停止在目标位置的滑模控制。相对于此,控制装置10基于所述位置偏差 $\theta_{\text{err}}$ 以及所述速度偏差 $v_{\text{err}}$ 中的至少一方选择是所述PID控制对伺服马达20的位置、速度进行控制,还是通过所述滑模控制对伺服马达20的位置、速度进行控制。另外,在上述的JP特开2011-176906号公报中记载的进行滑模控制的控制装置,在对控制对象物进行定位的位置控制模式的整个期间中都进行滑模控制。另一方面,控制装置10在位置控制模式的期间,按照规定条件从滑模控制变换为PID控制,以PID控制状态进行定位。

[0096] 另外,所述第一规定值不是必须为伺服马达20能够输出的最大扭矩 $\tau_{\max}$ (或,负的最大扭矩,也就是说最小扭矩 $\tau_{\min}$ )。所述第一规定值只要是伺服马达20能够输出的规定扭矩即可,没有其他的限制。接着,使用图1,对以上概略说明的控制装置10进行详细说明。

[0097] (本发明一个实施方式的控制装置的详细说明)

[0098] 图1是表示控制装置10的主要部分的结构框图。控制装置10是控制伺服马达20的控制装置,具有位置控制部101、速度指令生成部102、速度控制部103、滑模控制部104、变换部105、扭矩限制部106以及速度检测部107。

[0099] 速度指令生成部102接受从外部(例如,用户)给予的位置指令值 $\theta_R$ ,根据该位置指令值 $\theta_R$ 生成速度指令值 $v_R$ 。速度指令生成部102将生成的所述速度指令值 $v_R$ 输出至速度控制部103以及滑模控制部104。

[0100] 速度检测部107根据由编码器30检测到的伺服马达20的位置(反馈位置 $\theta_{fb}$ )计算伺服马达20的速度(反馈速度 $v_{fb}$ )。速度检测部107将算出的反馈速度 $v_{fb}$ 输出至速度控制部103以及滑模控制部104。

[0101] 位置控制部101以及速度控制部103对伺服马达20进行PID控制。即,位置控制部101接受所述位置指令值 $\theta_R$ 和由编码器30检测到的伺服马达20的位置(反馈位置 $\theta_{fb}$ ),进行控制(PID控制)以使反馈位置 $\theta_{fb}$ 追踪所述位置指令值 $\theta_R$ 。位置控制部101可以接受所述位置指令值 $\theta_R$ 与所述反馈位置 $\theta_{fb}$ 的偏差即位置偏差 $\theta_{err}$ ,基于该位置偏差 $\theta_{err}$ 生成对伺服马达20的速度进行控制的信号(速度控制信号)。

[0102] 速度控制部103接受位置控制部101基于所述位置偏差 $\theta_{err}$ 生成的所述速度控制信号、由速度指令生成部102生成的速度指令值 $v_R$ 和由速度检测部107算出的反馈速度 $v_{fb}$ 。速度控制部103基于所述速度控制信号以及速度指令值 $v_R$ 与反馈速度 $v_{fb}$ 的偏差即速度偏差 $v_{err}$ 生成对伺服马达20的扭矩进行控制的信号。即,速度控制部103生成以使所述反馈速度 $v_{fb}$ 追踪所述速度控制信号以及速度指令值 $v_R$ 的方式对伺服马达20的扭矩进行控制的信号(PID控制)。

[0103] 滑模控制部104接受所述位置指令值 $\theta_R$ 和由编码器30检测到的所述反馈位置 $\theta_{fb}$ ,特别地,接受所述位置指令值 $\theta_R$ 与所述反馈位置 $\theta_{fb}$ 的偏差即位置偏差 $\theta_{err}$ 。另外,滑模控制部104接受位置控制部101基于所述位置偏差 $\theta_{err}$ 生成的所述速度控制信号、由速度指令生成部102生成的速度指令值 $v_R$ 和由速度检测部107算出的反馈速度 $v_{fb}$ ,特别地,接受所述速度控制信号以及速度指令值 $v_R$ 与反馈速度 $v_{fb}$ 的偏差即速度偏差 $v_{err}$ 。并且,滑模控制部104生成以使所述位置偏差 $\theta_{err}$ 和所述速度偏差 $v_{err}$ 收敛于变换线SL(变换面)上的方式控制伺服马达20的扭矩的信号。在此,所述变换线SL由伺服马达20能够输出的规定扭矩(例如,伺服马达20能够输出的最大扭矩 $\tau_{max}$ )和被伺服马达20驱动的负载机械40的运动特性确定。后面使用图4等详细说明所述变换线SL。

[0104] 变换部105基于所述位置偏差 $\theta_{err}$ 以及所述速度偏差 $v_{err}$ 中的至少任一者选择是通过滑模控制部104控制伺服马达20,还是通过PID控制部(即,位置控制部101以及速度控制部103)控制伺服马达20。此外,PID控制部进行P控制、PI控制、PD控制、PID控制中的任意控制。之后使用图8~图22B详细说明通过变换部105进行的变换方法。

[0105] 扭矩限制部106基于由PID控制部(即,位置控制部101以及速度控制部103)或滑模控制部104生成的信号(对伺服马达20的扭矩进行控制的信号),控制伺服马达20的扭矩。

[0106] 就以上说明了详细结构的控制装置10而言,控制装置10执行的伺服马达20的控制方法能够整理如下。即,控制装置10执行的控制方法,对作为实际伺服马达的实际伺服马达20R或作为标准模型的模型伺服马达20M进行控制的控制方法,作为标准模型的模型伺服马达20M用于对实际伺服马达20R进行模型追踪控制。控制装置10执行的控制方法包括:滑模

控制步骤,以使位置偏差 $\theta_{err}$ 以及速度偏差 $v_{err}$ 收敛于由伺服马达20能够输出的规定扭矩(例如,伺服马达20能够输出的最大扭矩 $\tau_{max}$ ( $\tau_{min}$ ))和被伺服马达20驱动的负载机械40的运动特性确定的变换线SL上的方式,进行确定向伺服马达20输出的扭矩的滑模控制,其中,位置偏差 $\theta_{err}$ 表示从外部输入的位置指令值 $\theta_R$ 与伺服马达20的位置的偏差,所述速度偏差 $v_{err}$ 表示从外部输入的速度指令值 $v_R$ 与伺服马达20的速度的偏差;PID控制步骤,以使伺服马达20的位置、速度追踪所述位置指令值 $\theta_R$ 以及速度指令值 $v_R$ 的方式进行PID控制;以及选择步骤,根据伺服马达20的所述位置偏差 $\theta_{err}$ 以及所述速度偏差 $v_{err}$ 选择是通过所述滑模控制步骤对伺服马达20的扭矩进行控制,还是通过所述PID控制步骤对伺服马达20的扭矩进行控制。

[0107] 此外,PID控制步骤是通过所述PID控制部执行的,也就是说,是通过位置控制部101以及速度控制部103执行的。另外,滑模控制步骤是通过滑模控制部104执行的。

[0108] 根据上述结构,所述控制方法对所述滑模控制和所述PID控制进行选择性地执行。在此,通过所述滑模控制,用户即使不了解伺服马达20能够输出的最大扭矩 $\tau_{max}$ ,仅通过给予伺服马达20或所述标准模型的与位置相关的指令(位置指令值 $\theta_R$ ),就能够使伺服马达20执行期望动作。另外,就所述PID控制而言,用户易于把握传递特性。因此,所述控制方法具有如下的效果:通过对所述滑模控制和所述PID控制进行选择性地执行,用户易于把握传递特性,并且即使用户不了解伺服马达20能够输出的最大扭矩 $\tau_{max}$ ,也能够使伺服马达20执行期望动作。

[0109] 另外,根据上述结构,所述控制方法基于所述位置偏差 $\theta_{err}$ 以及所述速度偏差 $v_{err}$ 中的至少任一者,选择是通过所述滑模控制进行控制,还是通过所述PID控制进行控制。由此,所述控制方法具有如下的效果:能够根据控制量的大小选择适当的控制(所述滑模控制或所述PID控制)。

[0110] (通过本发明一个实施方式的控制装置进行控制的效果)

[0111] 接着,针对之前说明了详细结构的控制装置10,与仅通过PID控制对伺服马达20进行控制的情况以及仅通过滑模控制对伺服马达20进行控制的情况相比较地说明实际控制装置10控制伺服马达20的情况的控制结果。

[0112] 图2是表示操作量不饱和时的被控制的速度(伺服马达20的模型速度)的轨迹的图,是对比示出仅通过PID控制的情况(PID控制器)、仅通过滑模控制的情况(滑模控制器)和通过控制装置10执行的控制的情况(建议方式)的曲线图。

[0113] 图3是表示操作量饱和时的被控制的速度(伺服马达20的模型速度)的轨迹的图,是对比示出仅通过PID控制的情况(PID控制器)、仅通过滑模控制的情况(滑模控制器)和控制装置10执行的控制的情况(建议方式)的曲线图。

[0114] 即,图2以及图3分别示出操作量即控制量(伺服马达20的模型速度)没有饱和的情况和饱和情况下的被各控制器控制的模型速度的控制结果(轨迹)。

[0115] 如图2所示,在操作量不饱和时,控制装置10执行的控制(建议方式)的模型速度的控制结果(轨迹)沿与仅通过PID控制的模型速度的控制结果相同的轨道。

[0116] 另外,在图3中,在操作量饱和时,表示仅通过PID控制的控制发生超越。但是,控制

装置10执行的控制(建议方式)即使在操作量饱和时,也不会超越而能够执行定位。

[0117] 此外,图2以及图3是表示模型追踪控制下的模型速度的轨迹(控制结果),但是不使用模型的控制的控制结果也同样。

[0118] (滑模控制)

[0119] 图4是用于说明控制装置10的滑模控制部104执行的滑模控制的图。如图4所示,向滑模控制部104输入速度偏差 $v_{err}$ 和位置偏差 $\theta_{err}$ ,滑模控制部104根据由所输入的速度偏差 $v_{err}$ 以及位置偏差 $\theta_{err}$ 决定的点处于图4所示的变换线SL(变换面)的哪一侧,来确定伺服马达20的扭矩。

[0120] 变换线SL设计为,在输出了伺服马达20能够输出的正的规定扭矩或负的规定扭矩(例如,伺服马达20能够输出的正的最大扭矩 $\tau_{max}$ 或负的最大扭矩,也就是说最小扭矩 $\tau_{min}$ )时,到原点(即位置偏差 $\theta_{err}$ 以及速度偏差 $v_{err}$ 都为“0”的位置)的轨道。

[0121] 如图4所示,考虑横轴为速度偏差 $v_{err}$ ,纵轴为位置偏差 $\theta_{err}$ 的相位平面PP,在相位平面PP上描绘由速度偏差 $v_{err}$ 和位置偏差 $\theta_{err}$ 的式子表示的变换线SL(变换面)。在将所给予的输入(滑模控制部104接受到的速度偏差 $v_{err}$ 以及位置偏差 $\theta_{err}$ )已描绘于相位平面PP上时,在表示该输入的点位于变换线SL的纸面右上侧的情况下,滑模控制部104输出伺服马达20能够输出的正的规定扭矩(例如,伺服马达20能够输出的最大扭矩 $\tau_{max}$ )。在表示所述输入的点在相位平面PP位于变换线SL的纸面左下侧的情况下,滑模控制部104输出伺服马达20能够输出的负的规定扭矩(例如,伺服马达20能够输出的最小扭矩,即负的最大扭矩 $\tau_{min}$ )。另外,在处于变换线上的情况下,若处于第2象限,则输出负的最大扭矩,若处于第4象限,则输出正的最大扭矩。由此,位置偏差、速度偏差两者向原点收敛。

[0122] (利用本发明一个实施方式的控制装置的控制效果)

[0123] 如上所述,控制装置10不仅能用作对作为实际伺服马达的实际伺服马达20R进行控制的控制装置,还能够用作对作为标准模型的模型伺服马达20M进行控制的控制装置,该作为标准模型的模型伺服马达20M对实际伺服马达20R进行模型追踪控制。使用图说明将控制装置10用作对模型伺服马达20M进行控制的控制装置的例子,也就是说,将控制装置10用作前馈控制装置的例子。

[0124] 图5是表示将控制装置10作为前馈控制部60的进行模型追踪控制的伺服马达的控制装置80的主要部分的结构框图。如图5所示,在控制装置10中,滑模控制部104和所述PID控制部(即,位置控制部101以及速度控制部103)对作为实际伺服马达20R的标准模型的模型伺服马达20M进行控制,并且还具有反馈控制部70,该反馈控制部70以使实际伺服马达20R的位置、速度追踪由变换部105选择的滑模控制部104或所述PID控制部控制的模型伺服马达20M的位置、速度的发方式对实际伺服马达20R的位置、速度进行PID控制。

[0125] 根据上述结构,控制装置10具有如下的效果:用户易于把握传递特性,并且能够使用所述标准模型对伺服马达20进行PID控制,就所述标准模型而言,即使用户不了解伺服马达20能够输出的最大扭矩 $\tau_{max}$ ,也能够使伺服马达20执行期望动作。

[0126] 如图5所示,在将控制装置10应用于对实际伺服马达20R进行模型追踪控制的控制装置80的前馈控制部60的情况下,控制装置10对作为实际伺服马达20R的模型(标准模型)的模型伺服马达20M进行控制。具体地说,包括控制装置10的前馈控制部60对实际伺服马达20R的位置、速度、扭矩的目标值,即模型伺服马达20M的模型位置、模型速度、模型扭矩进行

控制。

[0127] 控制装置10的速度指令生成部102接受从外部(例如,用户)给予的位置指令值 $\theta_R$ ,根据该位置指令值 $\theta_R$ 生成模型速度指令值。速度指令生成部102将生成的所述模型速度指令值输出至速度控制部103以及滑模控制部104。

[0128] 速度检测部107从控制对象模型检测部50取得由控制对象模型检测部50检测到的模型伺服马达20M的速度(模型速度)。速度检测部107将从控制对象模型检测部50取得的所述模型速度输出至速度控制部103以及滑模控制部104。

[0129] 位置控制部101以及速度控制部103对模型伺服马达20M进行PID控制。即,位置控制部101接受所述位置指令值 $\theta_R$ 和由控制对象模型检测部50检测到的模型伺服马达20M的位置(模型位置),并进行控制以使模型位置追踪所述位置指令值 $\theta_R$ (PID控制)。位置控制部101可以接受作为所述位置指令值 $\theta_R$ 与所述模型位置之间的偏差的模型位置偏差,基于该模型位置偏差生成用于对伺服马达20的速度进行控制的信号(速度控制信号)。

[0130] 速度控制部103接受位置控制部101基于所述模型位置偏差生成的所述速度控制信号、由速度指令生成部102生成的模型速度指令值和来自速度检测部107的模型速度。速度控制部103基于所述速度控制信号以及模型速度偏差生成用于对模型伺服马达20M的模型扭矩进行控制的信号,其中所述模型速度偏差是模型速度指令值与模型速度之间的偏差。即,速度控制部103生成以使所述模型速度追踪所述速度控制信号以及模型速度指令值的方式对模型伺服马达20M的模型扭矩进行控制的信号(PID控制)。

[0131] 滑模控制部104接受所述位置指令值 $\theta_R$ 和由控制对象模型检测部50检测到的所述模型位置,尤其是接受所述位置指令值 $\theta_R$ 与所述模型位置的偏差即模型位置偏差。另外,滑模控制部104接受位置控制部101基于所述模型位置偏差生成的所述速度控制信号、由速度指令生成部102生成的模型速度指令值和来自速度检测部107的模型速度,尤其是接受所述速度控制信号以及模型速度偏差,其中,所述模型速度偏差是所述模型速度指令值与模型速度的偏差。并且,滑模控制部104生成以使所述模型位置偏差和所述模型速度偏差收敛于变换线SL(变换面)上的方式对模型伺服马达20M的模型扭矩进行控制的信号。在此,所述变换线SL由实际伺服马达20R能够输出的规定扭矩(例如,实际伺服马达20R能够输出的最大扭矩 $\tau_{max}$ )和被实际伺服马达20R驱动的实际负载机械40R的运动特性确定。之后使用图4等详细说明所述变换线SL。

[0132] 变换部105基于所述模型位置偏差以及所述模型速度偏差中的至少任一者选择是通过滑模控制部104控制模型伺服马达20M,还在通过PID控制部(即,位置控制部101以及速度控制部103)控制模型伺服马达20M。之后,使用图8~图22B详细说明由换部105进行的变换方法。

[0133] 扭矩限制部106基于由PID控制部(即,位置控制部101以及速度控制部103)或滑模控制部104生成的信号(对模型伺服马达20M的模型扭矩进行控制的信号),对模型伺服马达20M的扭矩进行控制。

[0134] 控制对象模型检测部50基于从扭矩限制部106输出的模型扭矩计算模型伺服马达20M的模型位置以及模型速度。控制对象模型检测部50将算出的所述模型位置以及所述模型速度通知给位置控制部101、速度指令生成部102、速度控制部103、速度检测部107以及反馈控制部70。

[0135] 反馈控制部70以使实际伺服马达20R追踪被前馈控制部60(控制装置10)控制的模型伺服马达20M的方式对实际伺服马达20R进行PID控制。即,反馈控制部70以使实际伺服马达20R的位置、速度以及扭矩追踪被包括控制装置10的前馈控制部60控制的模型伺服马达20M的模型位置、模型速度以及模型扭矩的方式对实际伺服马达20R的位置、速度以及扭矩进行PID控制。反馈控制部70具有位置控制部71、速度控制部72、实际扭矩限制部73和速度检测部74。

[0136] 位置控制部71接受由编码器30检测到的实际伺服马达20R的位置和由控制对象模型检测部50生成的模型伺服马达20M的模型位置。位置控制部71生成以使实际伺服马达20R的位置追踪所述模型位置的方式进行控制的速度控制指令,并将生成的速度控制指令输出至速度控制部72。

[0137] 速度检测部74根据由编码器30检测到的实际伺服马达20R的位置计算实际伺服马达20R的速度,将算出的实际伺服马达20R的速度输出至速度控制部72。

[0138] 速度控制部72接受由位置控制部71生成的速度控制指令、由控制对象模型检测部50生成的模型伺服马达20M的模型速度以及由速度检测部74算出的速度(实际伺服马达20R的速度)。并且,生成以使由速度检测部74算出的实际伺服马达20R的速度追踪前期速度控制指令以及前期模型速度的方式进行控制的扭矩控制指令,将生成的扭矩控制指令输出至实际扭矩限制部73。

[0139] 实际扭矩限制部73基于由速度控制部72生成的扭矩控制指令和由控制对象模型检测部50生成的模型伺服马达20M的模型扭矩控制实际伺服马达20R。

[0140] (滑模控制部接受的速度指令)

[0141] 控制装置10的滑模控制部104接受的速度偏差 $v_{err}$ 是速度指令生成部102基于从外部(例如,用户)给予的位置指令值 $\theta_R$ 生成的速度指令值 $v_R$ 与速度检测部107根据由编码器30检测到的伺服马达20的位置(反馈位置 $\theta_{fb}$ )算出的反馈速度 $v_{fb}$ 的偏差。

[0142] 下面,使用图6以及图7对根据滑模控制部104接受的速度指令值 $v_R$ ,也就是说,根据速度指令生成部102生成的速度指令值 $v_R$ ,滑模控制部104控制的模型的动作如何变化进行说明。具体地说,对将滑模控制部104接受的速度指令值 $v_R$ 设为“位置指令的微分”的情况和设为“0”的情况进行说明。在控制装置10中,能够将滑模控制部104接受的速度指令值 $v_R$ 设为“位置指令的微分”。即,速度指令生成部102可以将作为“位置指令的微分”的速度指令值 $v_R$ 输出至滑模控制部104。

[0143] 图6是表示在控制装置10中执行的滑模控制中,将速度指令设为位置指令的微分的情况下的模型输出位置轨迹的图,也就是说,是表示将滑模控制部104接受的速度指令值 $v_R$ 设为“位置指令的微分”的情况下的滑模控制部104控制的模型动作的图。如图6所示,在将滑模控制部104接受的速度指令值 $v_R$ 设为“位置指令的微分”的情况下,对该位置指令值 $\theta_R$ 的指令追踪性高,另一方面会引起模型输出位置的超越。

[0144] 在控制装置10中,能够将滑模控制部104接受的速度指令值 $v_R$ 能够设为“0”。即,速度指令生成部102可以将为“0”的速度指令值 $v_R$ 输出至滑模控制部104。

[0145] 根据上述结构,控制装置10具有如下的效果:由于所述速度指令值 $v_R$ 为0,所以在到达以所述位置指令值 $\theta_R$ 指示的目标位置的时刻,能够使伺服马达20的速度也为0,所以伺服马达20的位置不会超越。



[0146] 图7是表示在控制装置10中执行的滑模控制中,速度指令为“0”时的模型输出位置轨迹的图,也就是说,表示在滑模控制部104接受的速度指令值 $v_R$ 为“0”的情况下的滑模控制部104控制的模型动作的图。如图7所示,在滑模控制部104接受的速度指令值 $v_R$ 为“0”的情况下,模型输出位置不会超越,另一方面,相对于位置指令值 $\theta_R$ 产生延迟,指令追踪性低。

[0147] (PID控制与滑模控制的切换方法)

[0148] 控制装置10根据状态(位置偏差 $\theta_{err}$ 以及速度偏差 $v_{err}$ )对PID控制和滑模控制进行切换,从而具有如下的效果。即,控制装置10兼具有PID控制的“用户易于把握特性”的优点和滑模控制的“即使在扭矩被限制的情况下也能够生成不会产生超越以及抖动等问题的轨道”的优点。

[0149] 在此,控制装置10的变换部105通过以下所示的3种方法(建议方法1~3)对PID控制(被位置控制部101以及速度控制部103控制的伺服马达20的扭矩)和滑模控制(被滑模控制部104控制的伺服马达20的扭矩)进行切换。此外,即使在发生操作量饱和的情况下,也就是说,即使在控制装置10的输出扭矩(被控制装置10控制的伺服马达20的模型扭矩)饱和的情况下,建议方法1~3都能抑制超越以及抖动等的发生。

[0150] (建议方法1)

[0151] 图8是用于说明控制装置10的建议方法1的变换线SL的图。就图8所示的建议方法1而言,变换部105以“只要不产生操作量饱和,就维持PID控制”这样的方针,切换PID控制和滑模控制。

[0152] 即,采用建议方法1的变换部105,在所述PID控制部(即,位置控制部101以及速度控制部103)控制的扭矩为伺服马达20能够输出的最大扭矩 $\tau_{max}$ (或,负的最大扭矩,也就是说最小扭矩 $\tau_{min}$ )(第一规定值)以下的情况下,选择通过所述PID控制部控制伺服马达20,在所述PID控制部控制的扭矩超过伺服马达20能够输出的最大扭矩 $\tau_{max}$ 的情况下,选择通过滑模控制部104控制伺服马达20。

[0153] 根据上述结构,控制装置10具有如下的效果:在所述PID控制部控制的扭矩为所述最大扭矩 $\tau_{max}$ 以下的情况下,能够通过所述PID控制部控制伺服马达20的扭矩,并且就伺服马达20而言,能够通过所述滑模控制抑制超越以及抖动的发生。

[0154] 另外,就采用建议方法1的变换部105而言,在所述位置偏差 $\theta_{err}$ 为纵轴且所述速度偏差 $v_{err}$ 为横轴的相位平面PP(图8所例示的相位平面PP)上,以所述PID控制部(即,位置控制部101以及速度控制部103)控制的扭矩为所述最大扭矩 $\tau_{max}$ 的情况下,所述变换线SL与该相位平面PP所描绘的直线接触的方式使所述变换线SL平行移动,以使所述位置偏差 $\theta_{err}$ 以及所述速度偏差 $v_{err}$ 收敛于平行移动后的变换线SL的方式使滑模控制部104执行滑模控制。

[0155] 根据上述结构,控制装置10具有如下的效果:在所述PID控制部控制的扭矩为所述最大扭矩 $\tau_{max}$ 以下的情况下,能够通过所述PID控制部控制伺服马达20的扭矩,并且能够使所述位置偏差 $\theta_{err}$ 以及所述速度偏差 $v_{err}$ 收敛于平行移动后的变换线SL的方式使滑模控制部104执行滑模控制。

[0156] 在图8的相位平面PP(横轴为速度偏差 $v_{err}$ ,纵轴为位置偏差 $\theta_{err}$ 的相位平面PP)上,建议方式变换线SL是使本来滑模变换线SL(变换面)向位置偏差 $\theta_{err}$ 方向平行移动,配置为与执行PID控制的区域的 $\tau_{max}$ 线接触的变换线SL。在此,本来滑模变换线SL是,设计为在输

出伺服马达20能够输出的正的规定扭矩或负的规定扭矩(例如,伺服马达20能够输出的正的最大扭矩 $\tau_{\max}$ 或负的最大扭矩,也就是说最小扭矩 $\tau_{\min}$ )时到达原点(即位置偏差 $\theta_{\text{err}}$ 以及速度偏差 $v_{\text{err}}$ 都为“0”的位置)的轨道的变换线SL。

[0157] 在图8中,使本来滑模变换线SL(变换面)向位置偏差 $\theta_{\text{err}}$ 方向平行移动后的变换线SL(建议方式变换线SL)与执行PID控制的区域的 $\tau_{\max}$ 线(即,(PID, $\tau_{\max}$ )虚线)在“速度偏差 $v_{\text{err}}=-300$ ”处接触。在图8中,所述PID控制部(即,位置控制部101以及速度控制部103)控制的扭矩超过伺服马达20能够输出的最大扭矩的情况指,速度偏差 $v_{\text{err}}$ 小于“速度偏差 $v_{\text{err}}=-300$ ”且位置偏差 $\theta_{\text{err}}$ 比(PID, $\tau_{\max}$ )虚线更大的情况。即,在图8中,在作为滑模控制区域用斜线表示的区域中,变换部105选择通过滑模控制部104控制伺服马达20。

[0158] 图9A、9B是表示操作量不饱和时的被控制的速度以及扭矩的轨迹的图,是对比示出仅利用PID控制时和仅利用滑模控制时,控制装置10利用建议方法1的变换线SL执行的控制的情况的曲线图。如图9A、9B所示,在操作量不饱和的情况下,被采用建议方法1的控制装置10控制的速度以及扭矩的轨迹与仅通过PID控制被控制的速度以及扭矩的轨迹完全一致。

[0159] 图10A、10B是表示操作量饱和时的被控制的速度以及扭矩的轨迹的图,是对比示出仅利用PID控制时和仅利用滑模控制时,控制装置10利用建议方法1的变换线SL执行的控制的情况的曲线图。

[0160] 图11A、11B是在横轴为速度偏差 $v_{\text{err}}$ 且纵轴为位置偏差 $\theta_{\text{err}}$ 的相位平面PP上对比示出仅利用PID控制时和仅利用滑模控制时,在控制装置10利用建议方法1的变换线SL执行的控制的情况的曲线图。图11A、11B所示,在操作量不饱和的情况下,被采用建议方法1的控制装置10控制的位置偏差 $\theta_{\text{err}}$ 以及速度偏差 $v_{\text{err}}$ 的轨迹与仅通过PID控制控制的位置偏差 $\theta_{\text{err}}$ 以及速度偏差 $v_{\text{err}}$ 的轨迹完全一致。

[0161] 如图9A~图11B所示,在采用建议方法1的情况下,只要不发生操作量饱和,也就是说,只要进通过控制装置10控制的伺服马达20的扭矩不饱和,控制装置10的控制表现出与仅通过PID控制对伺服马达20的扭矩进行控制的情况相同的特性。其中,采用建议方法1的控制装置10,从执行滑模控制的区域向执行PID控制的区域变化是不连续的,因此操作量不连续。另外,采用建议方法1的控制装置10,与后述的建议方法2以及建议方法3相比,操作量饱和的情况下的轨道延迟。

[0162] (建议方法2)

[0163] 图12是用于说明控制装置10的建议方法2的变换线SL的图。图12所示的建议方法2,变换部105以“圆滑地切换PID区域和滑模区域”的方针切换PID控制和滑模控制。

[0164] 即,采用建议方法2的变换部105,在所述PID控制部(即,位置控制部101以及速度控制部103)控制的速度偏差 $v_{\text{err}}$ 为所述第二规定值以下的情况下,选择所述PID控制部,在所述PID控制部控制的速度偏差 $v_{\text{err}}$ 超过所述第二规定值的情况下,在所述位置偏差 $\theta_{\text{err}}$ 为纵轴且所述速度偏差 $v_{\text{err}}$ 为横轴的相位平面PP上,以在所述PID控制部控制的扭矩为0时,所述速度偏差 $v_{\text{err}}$ 为所述第二规定值处,所述变换线SL与描绘在该相位平面PP上的直线接触的方式使所述变换线SL平行移动,以使所述位置偏差 $\theta_{\text{err}}$ 以及所述速度偏差 $v_{\text{err}}$ 收敛于平行移动后的变换线SL的方式使滑模控制部104执行滑模控制。

[0165] 根据上述结构,控制装置10具有如下的效果:能够从通过滑模控制部104控制伺服

马达20的扭矩的状态顺畅地变更为通过所述PID控制部控制伺服马达20的扭矩的状态,因此能够使伺服马达20的扭矩圆滑地变化,并且通过所述滑模控制,能够抑制伺服马达20或所述标准模型发生超越以及抖动。

[0166] 采用建议方法2的控制装置10,在所述相位平面PP上,将被最小平行移动变换线SL以及最大平行移动变换线SL夹着的区域作为缓冲区域,最小平行移动变换线SL为,以在所述PID控制部(即,位置控制部101以及速度控制部103)控制的扭矩为伺服马达20所输出的最小扭矩时,在所述速度偏差 $v_{err}$ 为所述第二规定值处,所述变换线SL与描绘在该相位平面PP上的直线即最小扭矩直线接触的方式使所述变换线SL平行移动后的变换线,所述最大平行移动变换线SL为,以在所述PID控制部控制的扭矩为伺服马达20所输出的最大扭矩时,在所述速度偏差 $v_{err}$ 为所述第二规定值处,所述变换线SL与描绘在该相位平面PP上的直线即最大扭矩直线接触的方式,使所述变换线SL平行移动后的变换线。

[0167] 根据上述结构,控制装置10具有如下的效果:能够将被所述最小平行移动变换线SL以及所述最大平行移动变换线SL夹着的区域作为缓冲区域。

[0168] 在图12的相位平面PP(横轴为速度偏差 $v_{err}$ ,纵轴为位置偏差 $\theta_{err}$ 的相位平面PP)上,(滑模, $\tau=0$ )曲线(建议方法2的变换线SL)是使本来的滑模变换线SL(变换面)向位置偏差 $\theta_{err}$ 方向平行移动,配置为与执行PID控制的区域的 $\tau=0$ 线(即,(PID, $\tau=0$ )直线)连接的变换线SL。在此,本来的滑模变换线SL是设计为在输出伺服马达20能够输出的正的规定扭矩或负的规定扭矩(例如,伺服马达20能够输出的正的最大扭矩 $\tau_{max}$ 或负的最大扭矩即最小扭矩 $\tau_{min}$ )时到达原点(即位置偏差 $\theta_{err}$ 以及速度偏差 $v_{err}$ 都为“0”的位置)的轨道的变换线SL。

[0169] 在图12中,平行移动后的变换线SL(也就是说,(滑模, $\tau=0$ )的曲线)在“速度偏差 $v_{err}=-300$ (第二规定值)”的点处于执行PID控制的区域的 $\tau=0$ 线(即,(PID, $\tau=0$ )的直线)接触。因此,就在图12中采用建议方法2的变换部105而言,在所述PID控制部控制的速度偏差 $v_{err}$ 为所述第二规定值(-300)以下的情况下,选择所述PID控制部,在所述PID控制部控制的速度偏差 $v_{err}$ 超过所述第二规定值(-300)的情况下,以使所述位置偏差 $\theta_{err}$ 以及所述速度偏差 $v_{err}$ 收敛于平行移动后的变换线SL(也就是说,(滑模, $\tau=0$ )的曲线)的方式使滑模控制部104执行滑模控制。

[0170] 在图12的相位平面PP上,(滑模, $\tau=\tau_{max}$ )曲线(最大平行移动变换线SL)为,使所述本来的滑模变换线SL向位置偏差 $\theta_{err}$ 方向平行移动,配置为与执行PID控制的区域的 $\tau=\tau_{max}$ 线(即,(PID, $\tau=\tau_{max}$ )的直线)连接的变换线SL。并且,(滑模, $\tau=\tau_{max}$ )的曲线和执行PID控制的区域的 $\tau=\tau_{max}$ 线(即,(PID, $\tau=\tau_{max}$ )直线)在“速度偏差 $v_{err}=-300$ (第二规定值)”的点处接触。

[0171] 另外,在图12的相位平面PP中,(滑模, $\tau=\tau_{min}$ )的曲线(最小平行移动变换线SL)是使所述本来的滑模变换线SL向位置偏差 $\theta_{err}$ 方向平行移动,配置为与执行PID控制的区域的 $\tau=\tau_{min}$ 线(即,(PID, $\tau=\tau_{min}$ )直线)连接的变换线SL。并且,(滑模, $\tau=\tau_{min}$ )曲线和执行PID控制的区域的 $\tau=\tau_{min}$ 线(即,(PID, $\tau=\tau_{min}$ )直线)在“速度偏差 $v_{err}=-300$ (第二规定值)”的点处接触。

[0172] 在图12的相位平面PP上,采用建议方法2的控制装置10将被(滑模, $\tau=\tau_{max}$ )曲线和(滑模, $\tau=\tau_{min}$ )曲线夹着的区域用作缓冲区域。在缓冲区域,从 $\tau_{max}$ 曲线朝向 $\tau_{min}$ 曲线,

滑模控制部104输出的扭矩圆滑地变化(逐渐变小)。

[0173] 图13A、13B是表示在操作量不饱和时的被控制的速度以及扭矩的轨迹的图,是对比示出仅利用PID控制时和仅利用滑模控制时,控制装置10利用建议方法2的变换线SL执行的控制的情况的曲线图。

[0174] 图14A、14B是表示操作量饱和时的被控制的速度以及扭矩的轨迹的图,是对比示出仅利用PID控制时和仅利用滑模控制时,控制装置10利用建议方法2的变换线SL执行的控制的情况的曲线图。

[0175] 图15A、15B是在横轴为速度偏差 $v_{err}$ 且纵轴为位置偏差 $\theta_{err}$ 的相位平面PP上对比示出仅利用PID控制时和仅利用滑模控制时,控制装置10利用建议方法2的变换线SL执行的控制的情况的曲线图。

[0176] 如图13A~图15B所示,在采用建议方法2的情况下,就控制装置10的控制而言,进行PID控制的区域(变换部105选择通过所述PID控制部(即,位置控制部101以及速度控制部103)进行控制的区域)和进行滑模控制的区域(变换部105选择通过滑模控制部104进行控制的区域)连续,所以操作量也连续,形成平滑的轨道。但是,利用采用建议方法2的控制装置10进行的控制,进行PID控制的区域被限制。

[0177] (建议方法3)

[0178] 图16是用于说明控制装置10的建议方法3的变换线SL的图。图16所示的建议方法3,是变换部105以“形成操作量饱和时的动作最快的轨道”的方针对PID控制和滑模控制进行切换的方法。

[0179] 即,采用建议方法3的变换部105,在所述PID控制部(即,位置控制部101以及速度控制部103)控制的速度偏差 $v_{err}$ 为所述第二规定值以下的情况下,选择所述PID控制部,在所述PID控制部控制的速度偏差 $v_{err}$ 超过所述第二规定值的情况下,选择滑模控制部104。

[0180] 根据上述结构,就控制装置10而言,在所述PID控制部控制的速度偏差 $v_{err}$ 超过所述第二规定值的情况下,能够通过滑模控制部104控制伺服马达20的扭矩,所以使伺服马达20的位置以及速度与所述位置指令值 $\theta_R$ 以及所述速度指令值 $v_R$ 一致所需要的时间变短,并且能够通过所述滑模控制,抑制伺服马达20或所述标准模型发生超越以及抖动。

[0181] 在图16的相位平面PP(横轴为速度偏差 $v_{err}$ ,纵轴为位置偏差 $\theta_{err}$ 的相位平面PP)上,当所述PID控制部(即,位置控制部101以及速度控制部103)控制的速度偏差 $v_{err}$ 超过“速度偏差 $v_{err}=-520$ (第二规定值)”时,变换部105选择滑模控制部104。在此,设计为在输出伺服马达20能够输出的正的规定扭矩或负的规定扭矩(例如,伺服马达20能够输出的正的最大扭矩 $\tau_{max}$ 或负的最大扭矩即最小扭矩 $\tau_{min}$ )时,到达原点(即位置偏差 $\theta_{err}$ 以及速度偏差 $v_{err}$ 都为“0”的位置)的轨道的变换线SL(在图16中作为“滑模变换线”描绘的曲线,所述本来滑模变换线SL)和执行PID控制的区域的 $\tau_{min}$ 线(即,(PID, $\tau=\min$ )直线)在“速度偏差 $v_{err}=-520$ (第二规定值)”点处连接。

[0182] 也就是说,在图16的相位平面PP中,变换部105使用所述本来的滑模变换线SL(变换面),在进行PID控制的区域(变换部105选择利用所述PID控制部(即,位置控制部101以及速度控制部103)的控制的区域)与所述本来滑模变换线SL相交的速度偏差 $v_{err}$ (在图16中,“速度偏差 $v_{err}=-520$ (第二规定值)”的直线)处,对PID控制和滑模控制进行切换。

[0183] 图17A、17B是表示操作量不饱和时的被控制的速度以及扭矩的轨迹的图,是对比

示出仅利用PID控制时和仅利用滑模控制时,控制装置10利用建议方法3的变换线SL(所述本来滑模变换线SL)执行的控制的情况的曲线图。

[0184] 图18A、18B是表示操作量饱和时的被控制的速度以及扭矩的轨迹的图,是对比示出仅利用PID控制时和仅利用滑模控制时,控制装置10利用建议方法3的变换线SL(所述本来滑模变换线SL)执行的控制的情况的曲线图。

[0185] 图19A、19B是在横轴为速度偏差 $v_{err}$ 且纵轴为位置偏差 $\theta_{err}$ 的相位平面PP上对比示出仅利用PID控制时和仅利用滑模控制时,控制装置10利用建议方法3的变换线SL(所述本来滑模变换线SL)执行的控制的情况的曲线图。

[0186] 如图17A~图19B所示,在采用建议方法3的情况下,就控制装置10进行的控制而言,操作量饱和时的轨道与仅通过滑模控制控制时的轨道一致,也就是说轨道最快(最短)。但是,通过采用建议方法3的控制装置10的控制,通过PID控制进行控制的区域被限制。另外,就采用建议方法3的控制装置10进行的控制而言,从进行滑模控制的区域向进行PID控制的区域变化是不连续的,因此操作量不连续。

[0187] (建议方法1~3的比较)

[0188] 图20A、20B是表示操作量不饱和时的被控制的速度以及扭矩的轨迹的图,是对比示出控制装置10执行的控制中使用的变换线SL分别为建议方法1、建议方法2、建议方法3的变换线SL的情况的曲线图。

[0189] 图21A、21B是表示操作量饱和时的被控制的速度以及扭矩的轨迹的图,是对比示出控制装置10执行的控制中使用的变换线SL分别为建议方法1、建议方法2、建议方法3的变换线SL的情况下的曲线图。

[0190] 图22A、22B是在横轴为速度偏差 $v_{err}$ 且纵轴为位置偏差 $\theta_{err}$ 的相位平面PP上对比示出控制装置10执行的控制中使用的变换线SL分别为建议方法1、建议方法2、建议方法3的变换线SL的情况的曲线图。

[0191] 如图20A~图22B所示,即使在发生操作量饱和的情况下,也就是说,即使在控制装置10的输出扭矩(被控制装置10控制的伺服马达20的模型扭矩)饱和的情况下,建议方法1~3都能够抑制超越以及抖动等的发生。

[0192] (根据模型输出速度限制模型输出扭矩)

[0193] 由于伺服马达20的(也就是说,实际伺服马达20R的)最大输出速度已决定,所以不希望滑模控制部104或所述PID控制部(即,位置控制部101以及速度控制部103)控制的伺服马达20的速度大于该最大输出速度。即,在控制装置10中,被滑模控制部104或所述PID控制部控制的伺服马达20的速度小于伺服马达20(也就是说,实际伺服马达20R)的最大输出速度。

[0194] 根据上述结构,在控制装置10中,被滑模控制部104或所述PID控制部(位置控制部101以及速度控制部103)控制的伺服马达20的速度小于伺服马达20的最大输出速度。

[0195] 在此,若作为被滑模控制部104或所述PID控制部控制的伺服马达20的速度设定为比伺服马达20的最大输出速度更大的速度,则伺服马达20不能追踪。

[0196] 在控制装置10中,由于被滑模控制部104或所述PID控制部控制的伺服马达20的速度小于伺服马达20的最大输出速度,所以控制装置10具有如下的效果:能够使用伺服马达20能够追踪且被控制的所述速度,控制伺服马达20。

[0197] 具体地说,在将 $v_a$ 设为“开始进行速度限制的阈值”,将 $v_b$ 设为“速度限制值”(例如,伺服马达20(也就是说,实际伺服马达20R)的最大输出速度),如下述的模型输出扭矩计算方法所示,滑模控制部104或所述PID控制部(即,位置控制部101以及速度控制部103)根据滑模控制部104或所述PID控制部(即,位置控制部101以及速度控制部103)控制的伺服马达20的速度,对输出进行限制,也就是说,对滑模控制部104或所述PID控制部(即,位置控制部101以及速度控制部103)控制的伺服马达20的扭矩进行限制。此外,在下述的模型输出扭矩计算方法中,“模型输出速度 $v_{model}$ ”表示“滑模控制部104或所述PID控制部(即,位置控制部101以及速度控制部103)控制的伺服马达20的速度”。另外,“模型输出扭矩 $\tau_{model}$ ”表示“滑模控制部104或所述PID控制部(即,位置控制部101以及速度控制部103)控制的伺服马达20的扭矩”。

[0198] 【数学式1】

[0199] (模型输出计算方法)

[0200] 1. 在 $v_{model} \times \tau_{model} \leq 0$ 的情况(模型输出速度接近“0”的情况)

[0201] 或 $|v_{model}| < v_a$ 的情况下,

[0202] 不限制模型输出速度

[0203] 2. 在 $v_{model} \times \tau_{model} > 0$ 且 $v_a < |v_{model}| < v_b$ 的情况下

$$[0204] \quad \tau'_{model} = \tau_{model} \times \frac{v_b - |v_{model}|}{v_a} \times 10$$

[0205] (以 $|v_{model}| = v_a$ 为100%,以 $|v_{model}| = v_b$ 为0%的方式创建缓冲区域)

[0206] 3. 在 $v_{model} \times \tau_{model} > 0$ 且 $|v_{model}| \geq v_b$ 的情况下

$$[0207] \quad \tau'_{model} = -1 \times \text{sign}(v_{model}) \times \frac{J}{\Delta t} (v_b - |v_{model}|)$$

[0208] 图23是表示将 $v_a$ 设为“开始进行速度限制的阈值”,将 $v_b$ 设为“速度限制值”,按照模型输出速度 $v_{model}$ 限制模型输出扭矩 $\tau_{model}$ 的图。如图23所示,以滑模控制部104或所述PID控制部(即,位置控制部101以及速度控制部103)控制的伺服马达20的速度(模型输出速度 $v_{model}$ )不大于表示伺服马达20的最大输出速度的速度限制值 $v_b$ 的方式,滑模控制部104或所述PID控制部(即,位置控制部101以及速度控制部103)执行以下的控制。即,在模型输出速度 $v_{model}$ 达到“开始进行速度限制的阈值 $v_a$ ”时,滑模控制部104或所述PID控制部(即,位置控制部101以及速度控制部103)限制输出(模型输出扭矩 $\tau_{model}$ ),使模型输出速度 $v_{model}$ 为速度限制值 $v_b$ 以下。此外,变换部105或扭矩限制部106可以根据模型输出速度 $v_{model}$ 限制模型输出扭矩 $\tau_{model}$ 。

[0209] (利用软件的实现例)

[0210] 控制装置10的控制块(尤其是,位置控制部101、速度指令生成部102、速度控制部103、滑模控制部104、变换部105、扭矩限制部106以及速度检测部107)可以通过形成于集成电路(IC芯片)等的逻辑电路(硬件)实现,也可以使用CPU(Central Processing Unit:中央处理器)通过软件实现。

[0211] 在后者的情况下,控制装置1具有对实现各功能的软件即程序命令进行执行的CPU、以电脑(或CPU)能够读取的方式存储上述程序以及各种数据的ROM(Read Only Memory:只读存储器)或存储装置(将这些称为“存储介质”)、展开上述程序的RAM(Random

Access Memory:随机存取存储器)等。并且,计算机(或CPU)从上述存储介质读取上述程序并执行,从而达到本发明的目的。作为上述存储介质能够使用“非暂时性有形介质”,例如,带、盘、卡、半导体存储器、可编程逻辑电路等。另外,上述程序可以经由能够传输该程序的任意传输介质(通信网络、电波等)供给给上述计算机。此外,本发明能够通过电子传输将上述程序具现化的载入载波的数据信号的方式实现。

[0212] 本发明不限于上述的各实施方式,能够在权利要求所表示的范围内进行各种变更,将不同的实施方式中分别公开的技术方案适当组合得到的实施方式也包含于本发明的技术方案内。

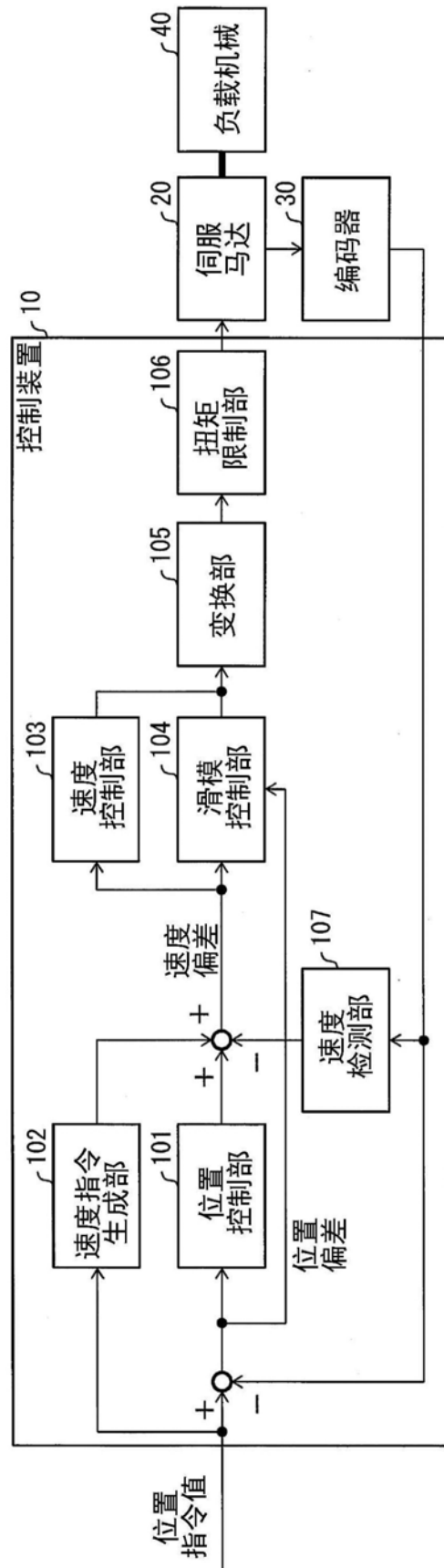


图1



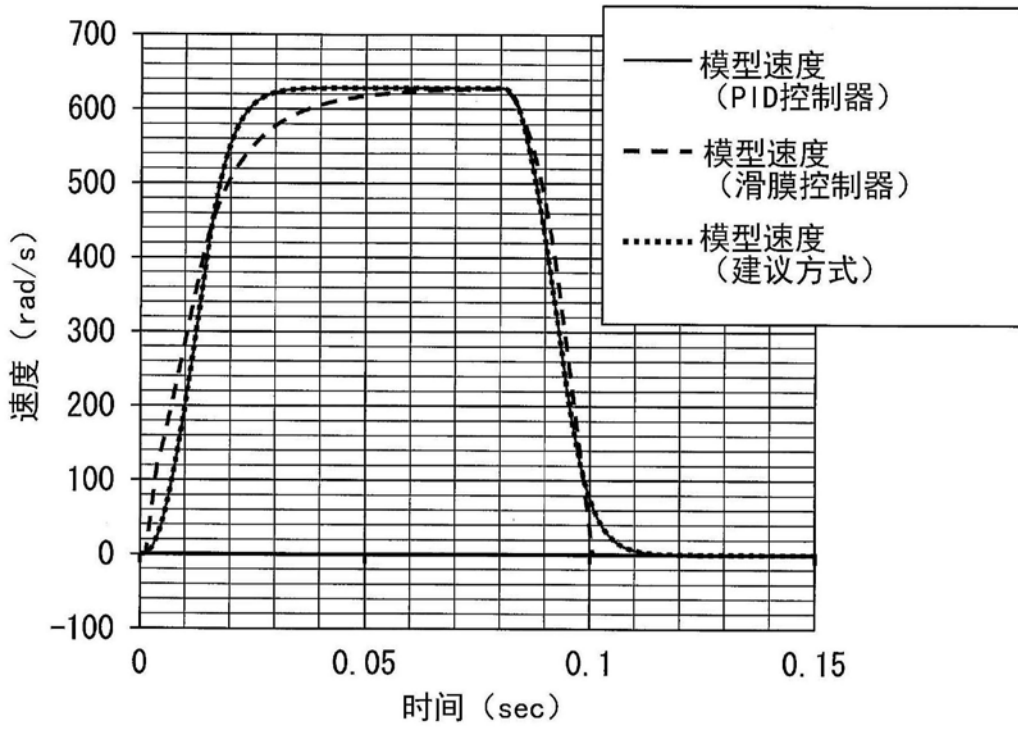


图2

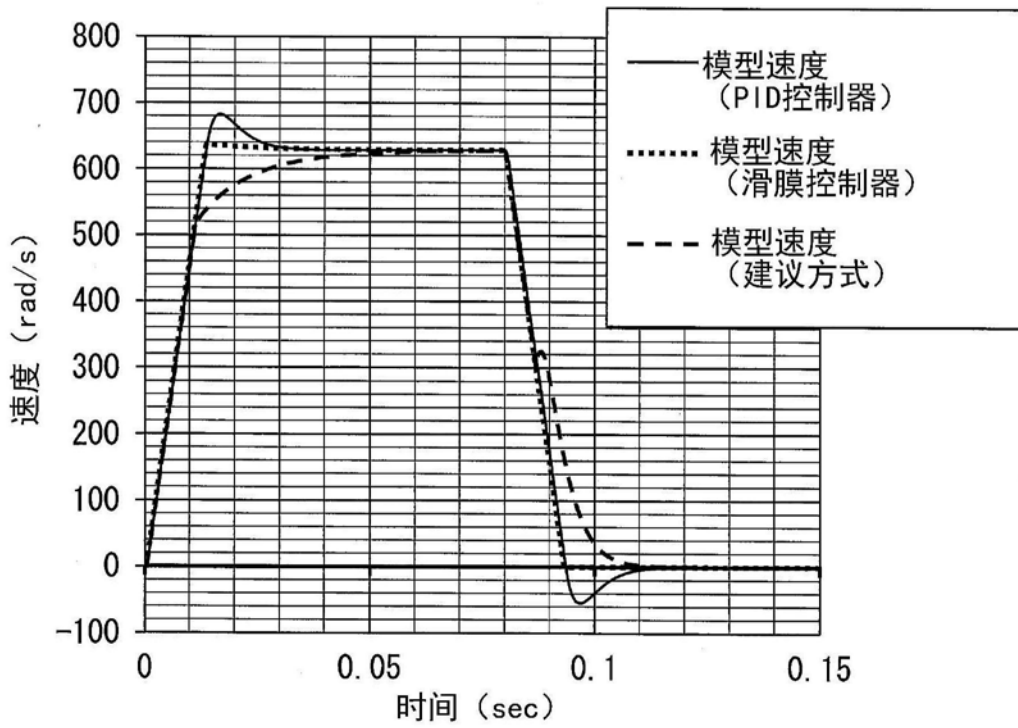


图3

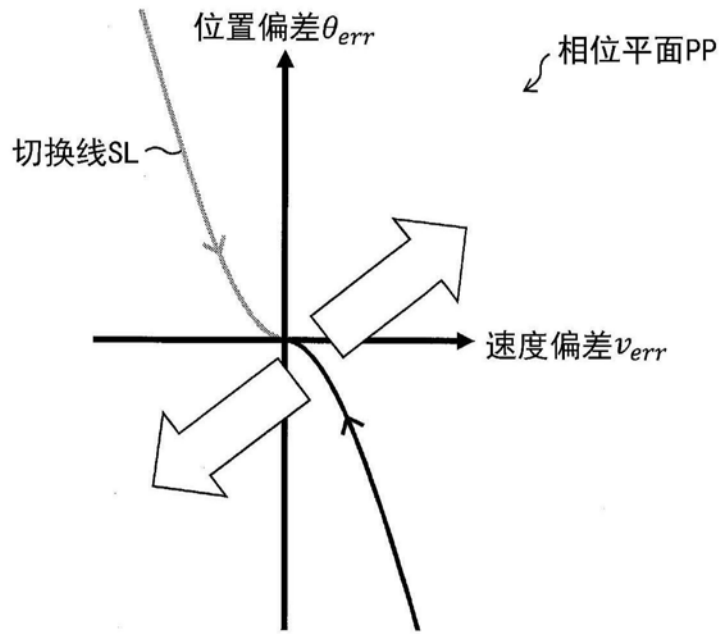


图4

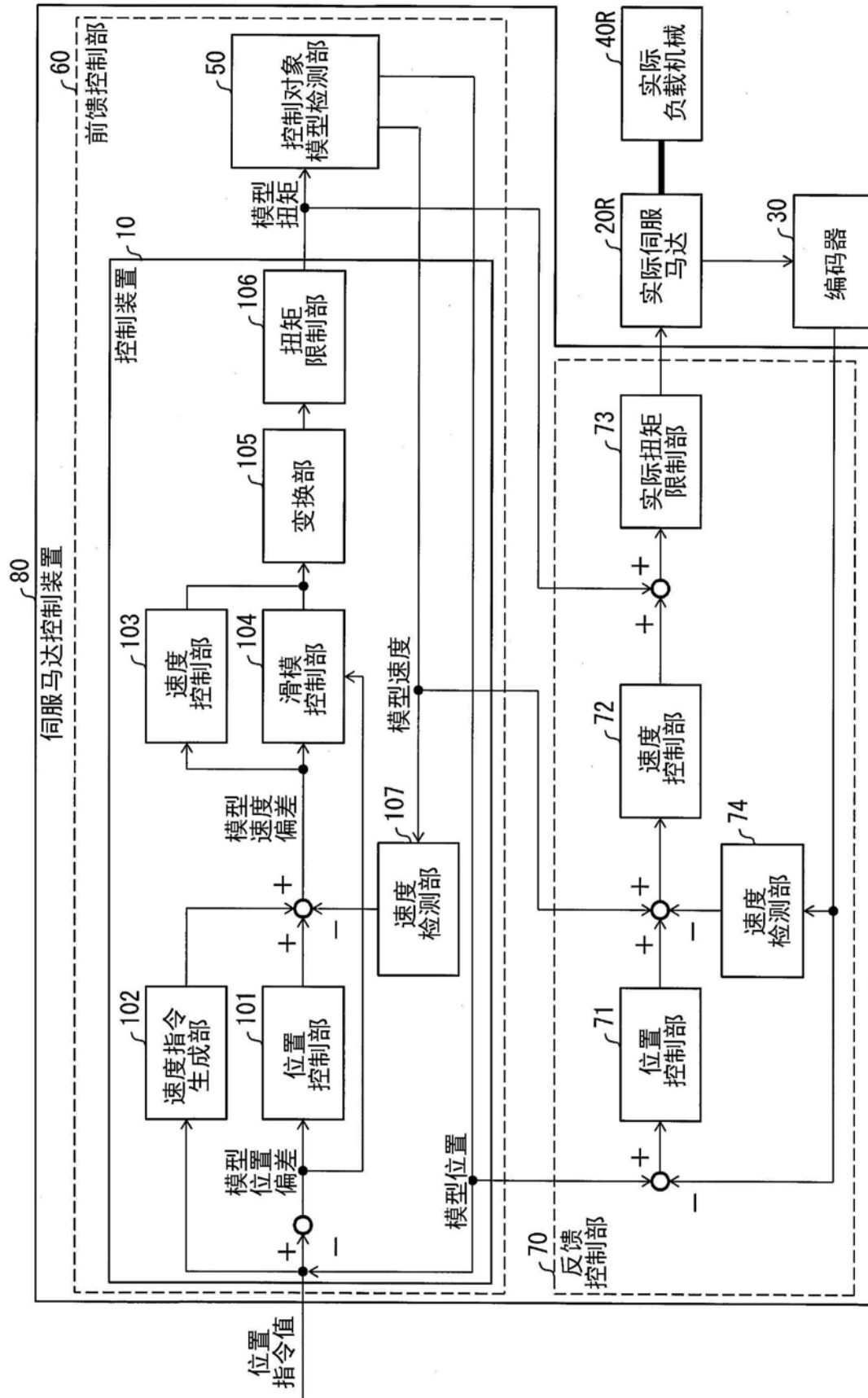


图5

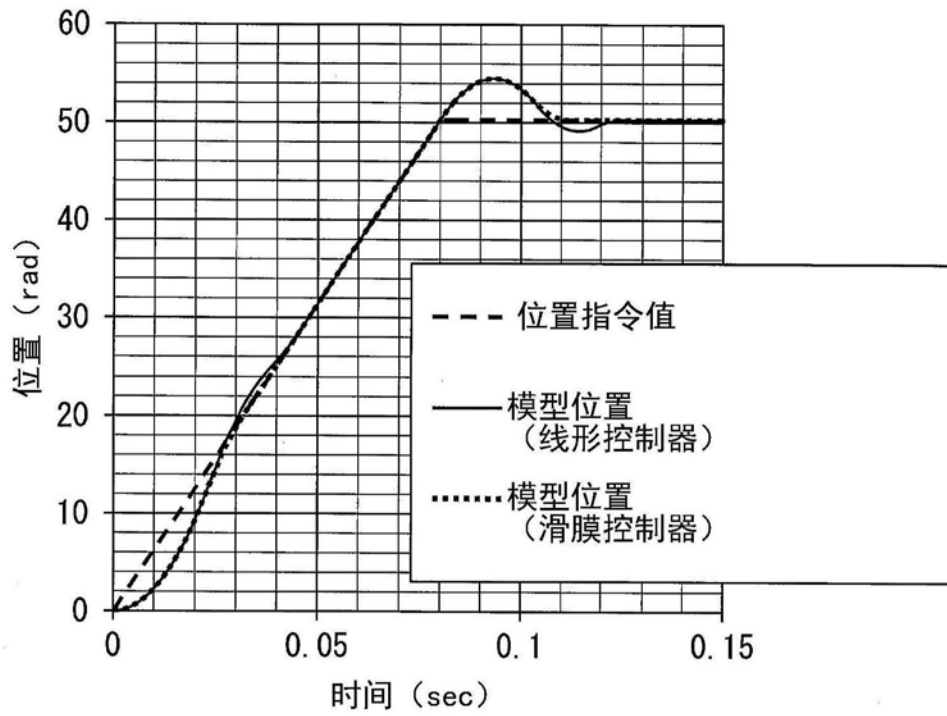


图6

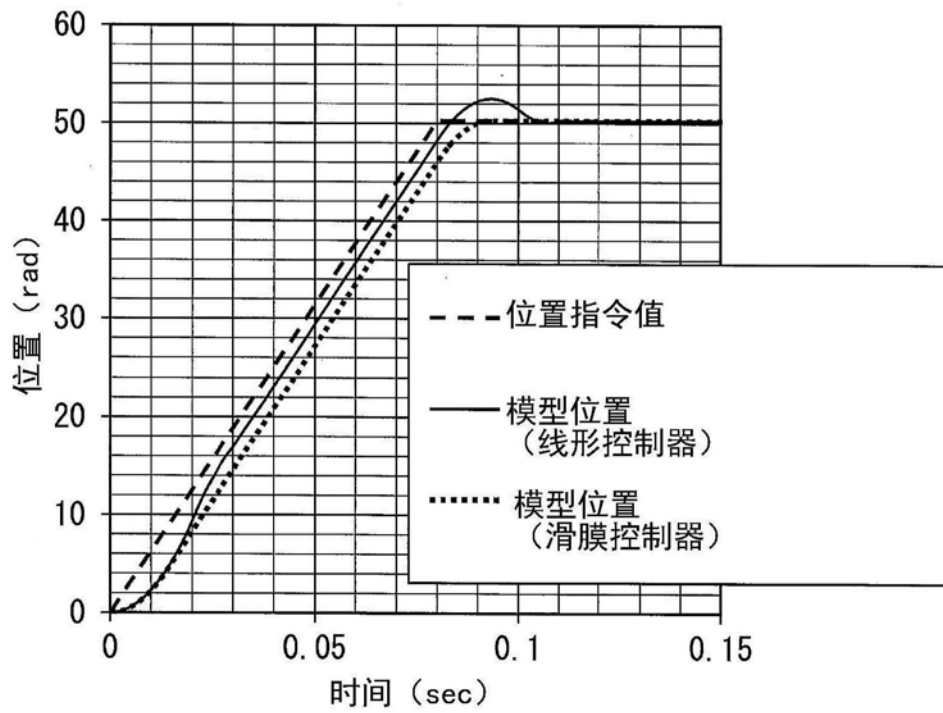


图7

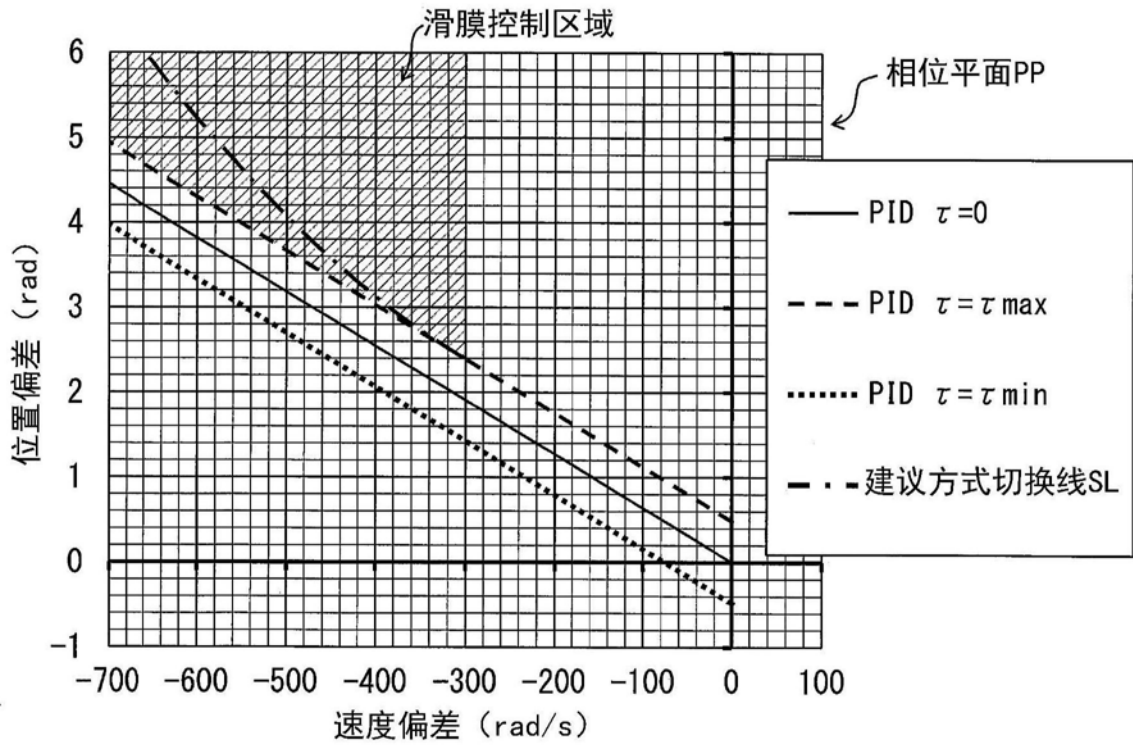


图8

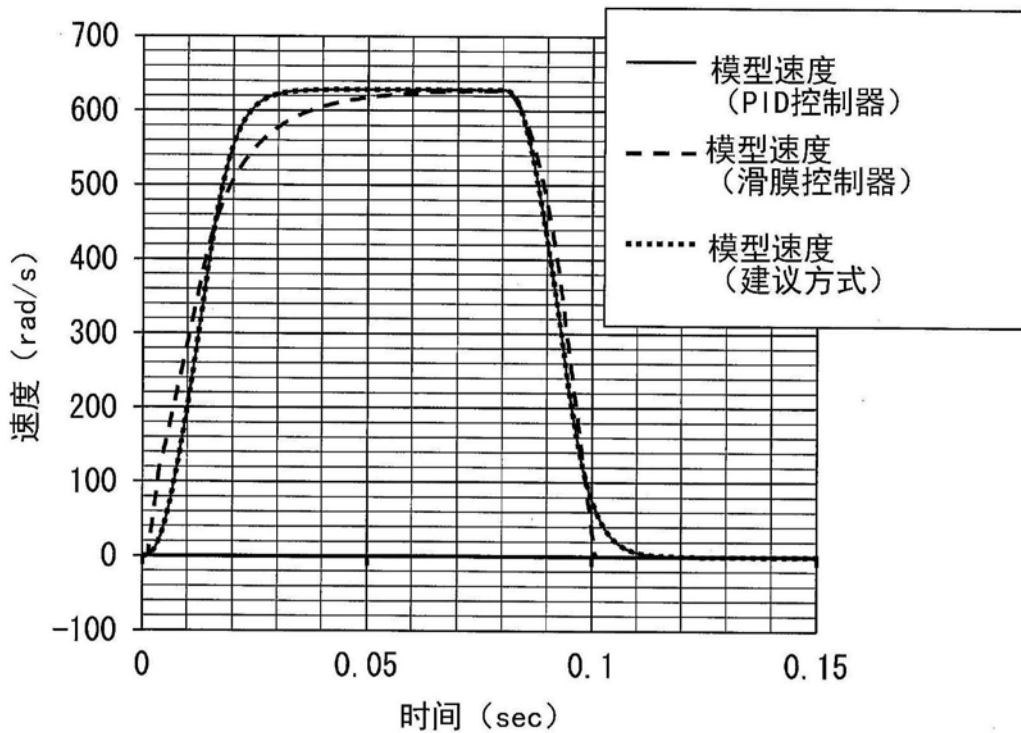


图9A

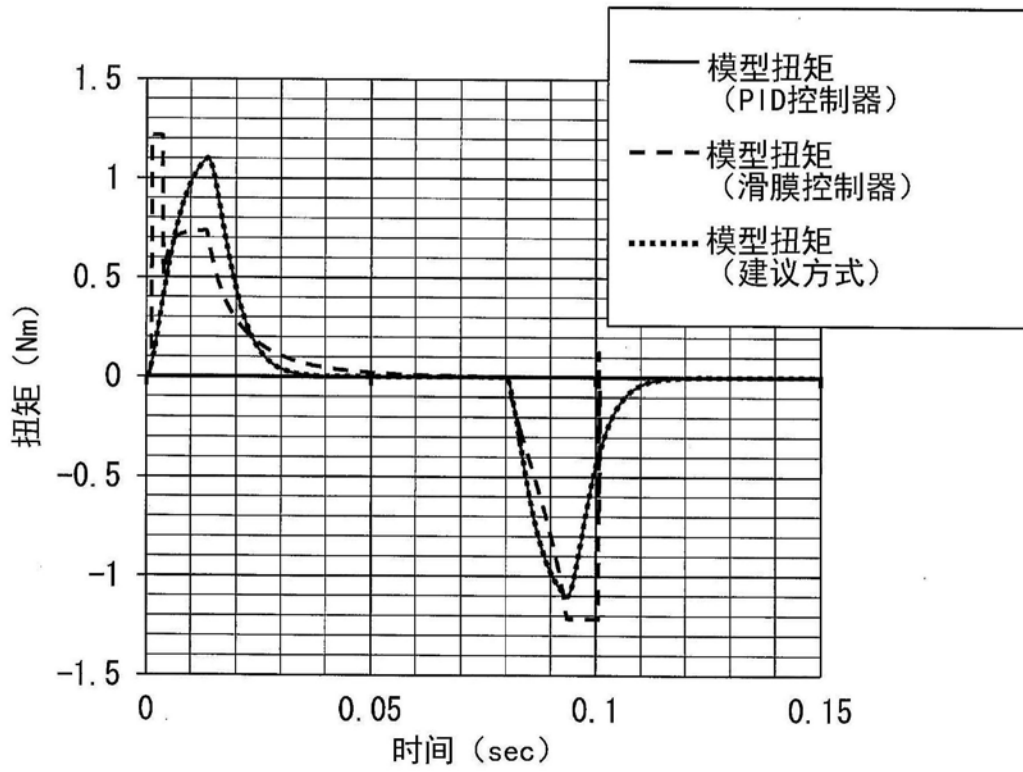


图9B

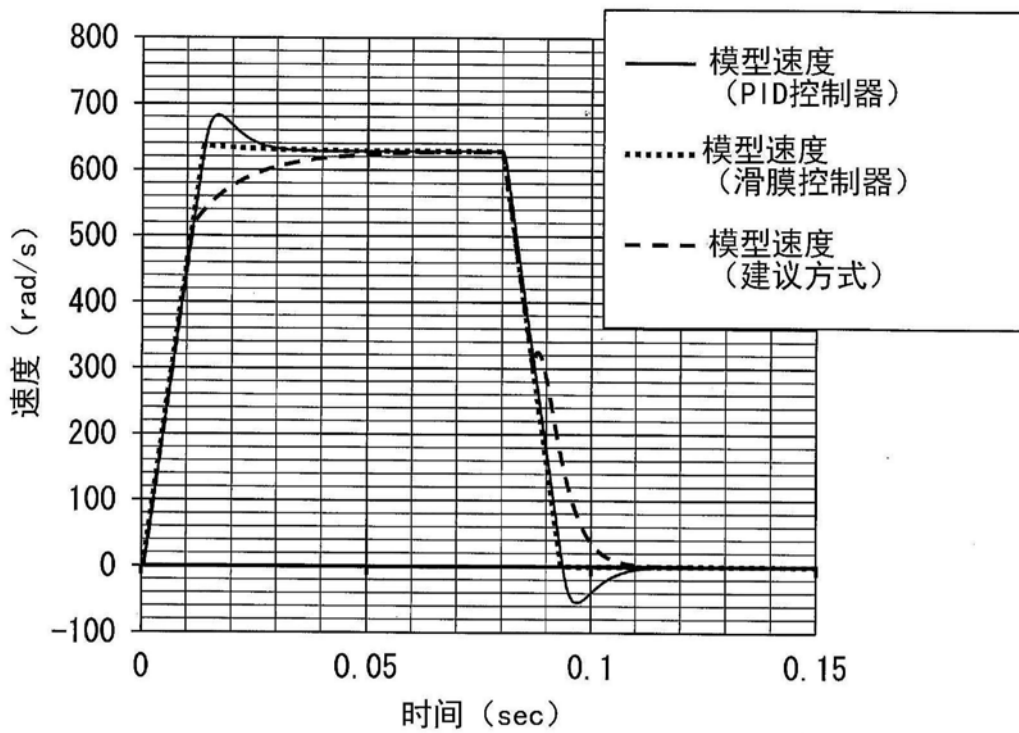


图10A

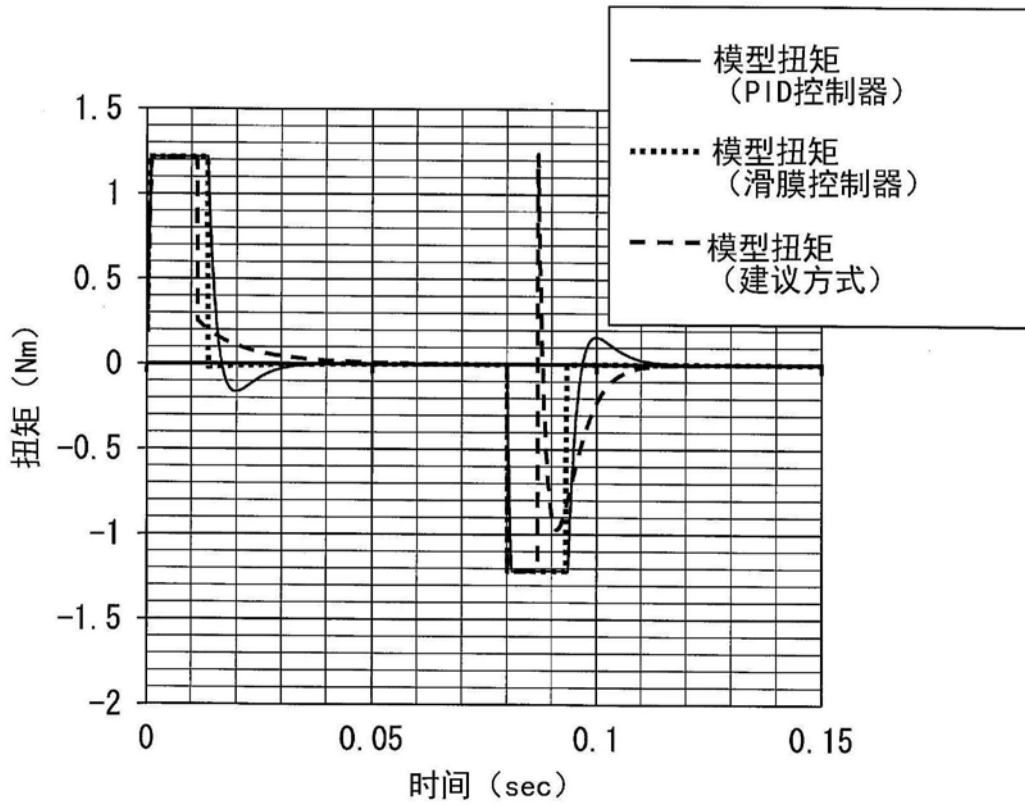


图10B

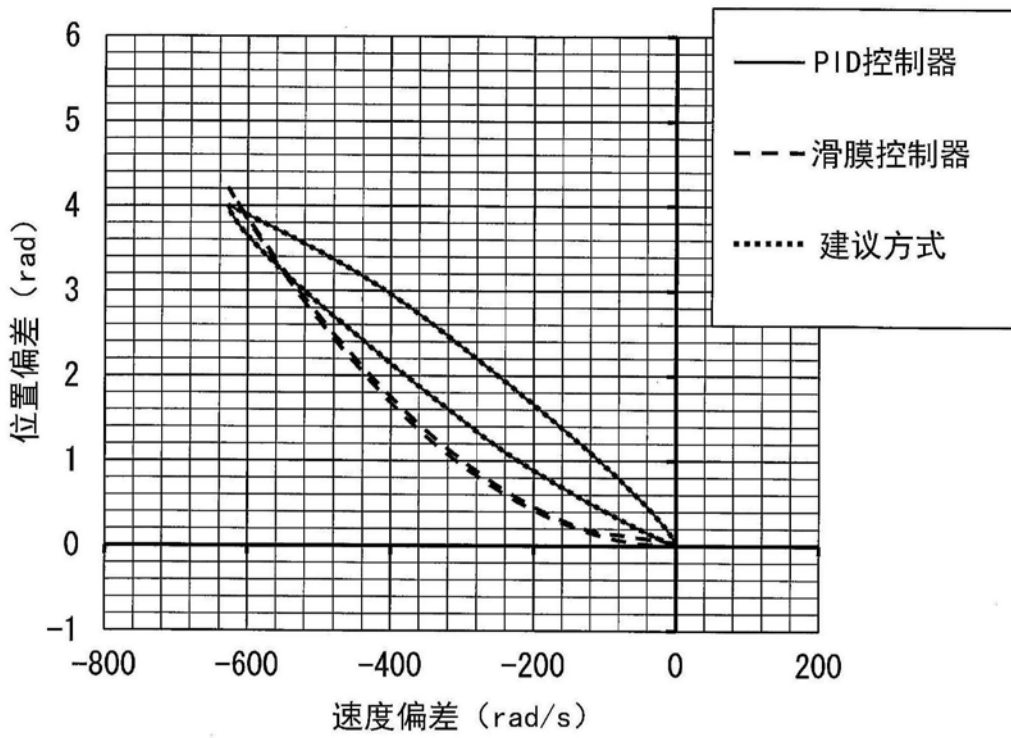


图11A

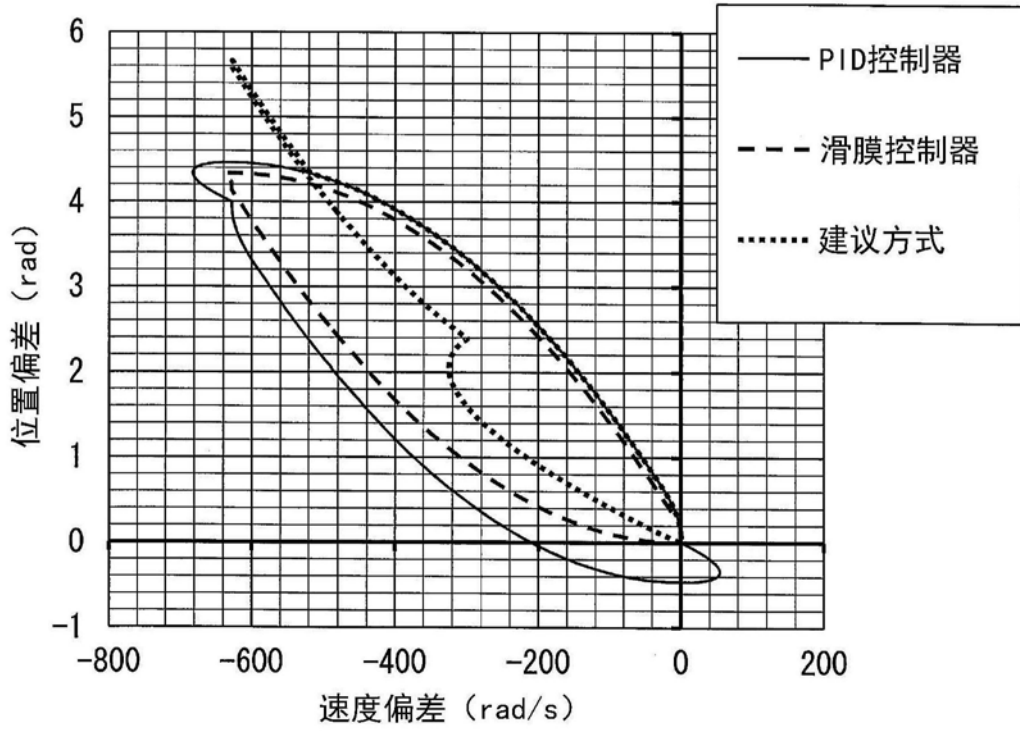


图11B

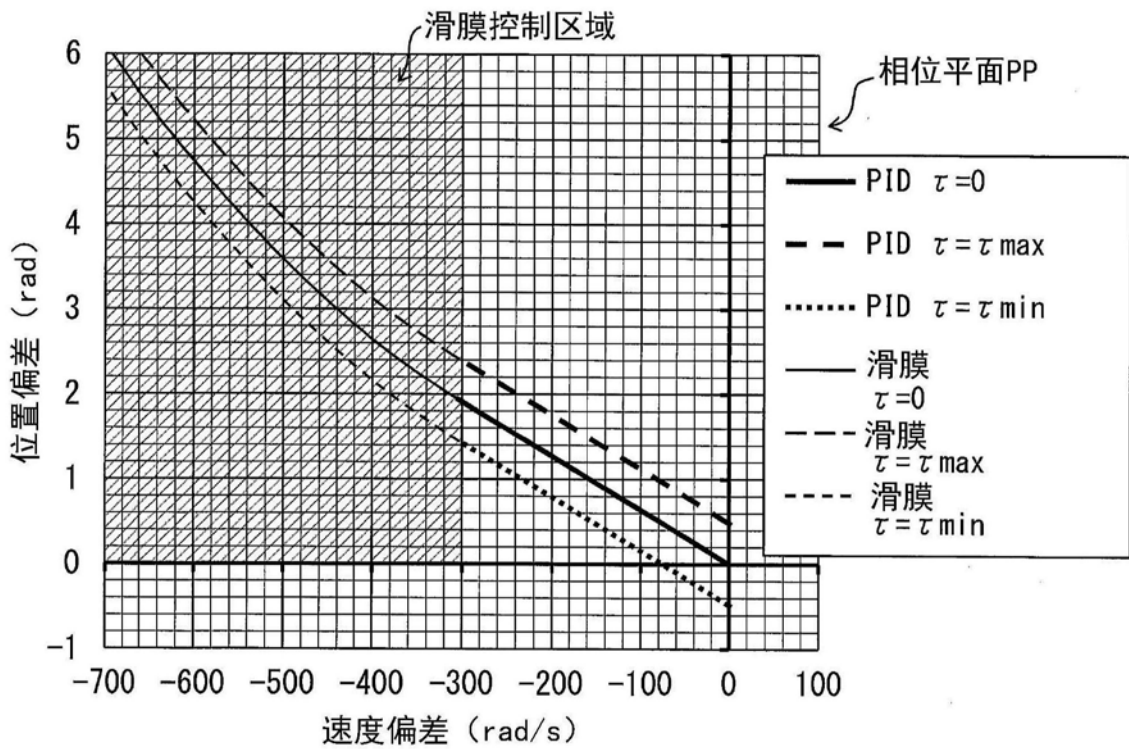


图12



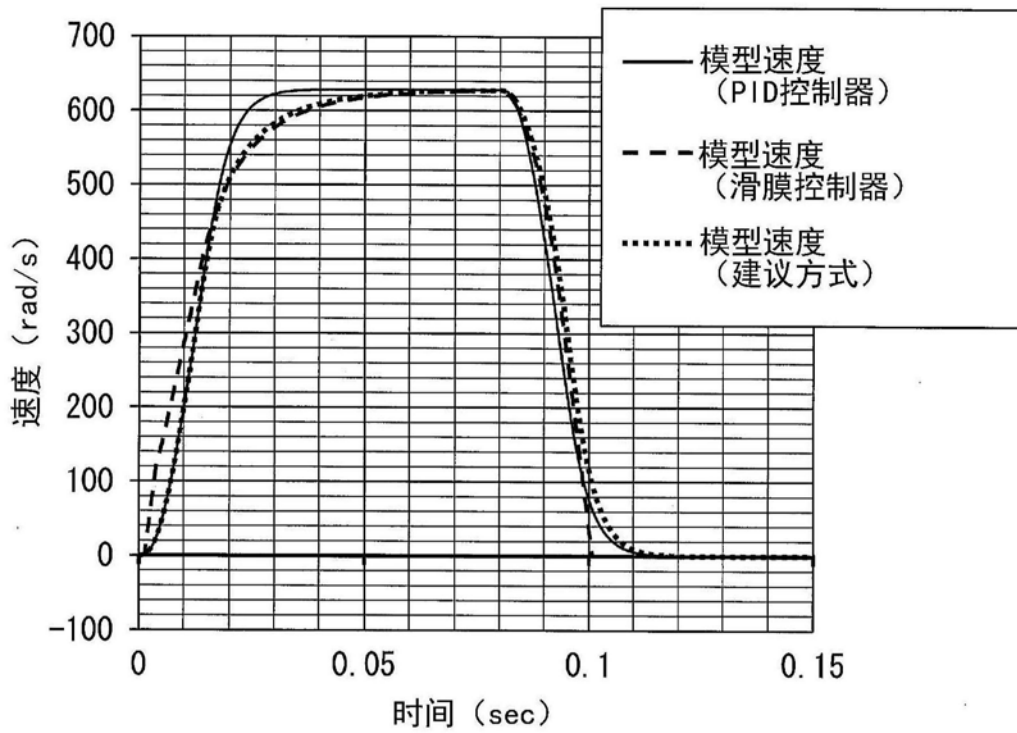


图13A

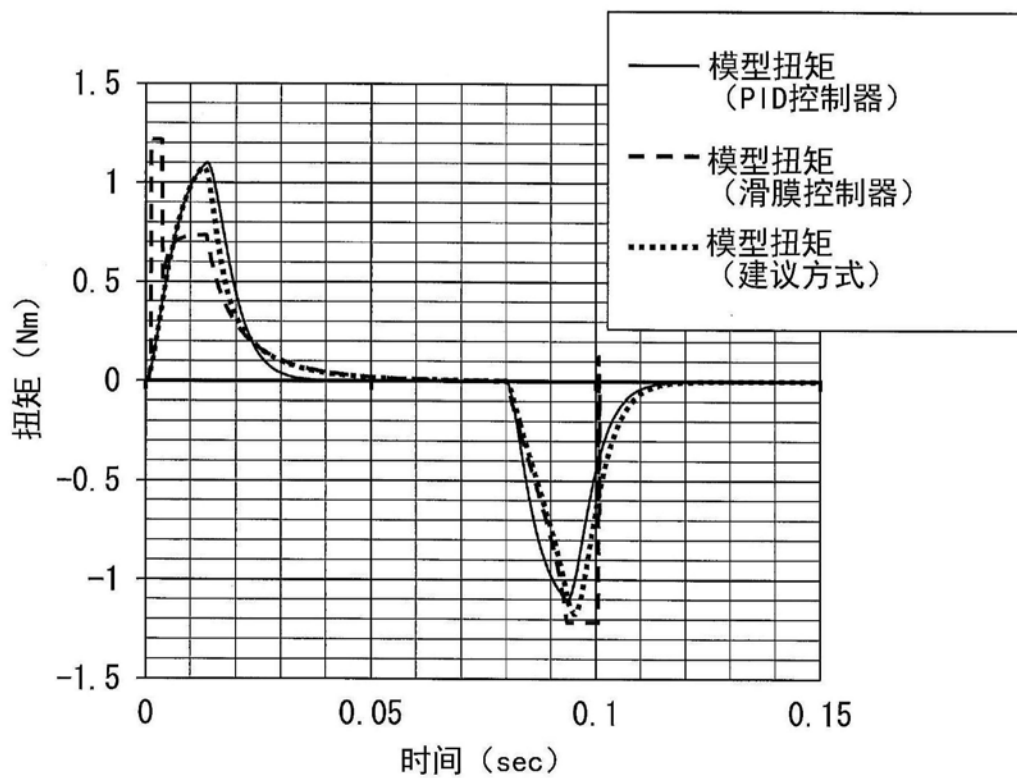


图13B

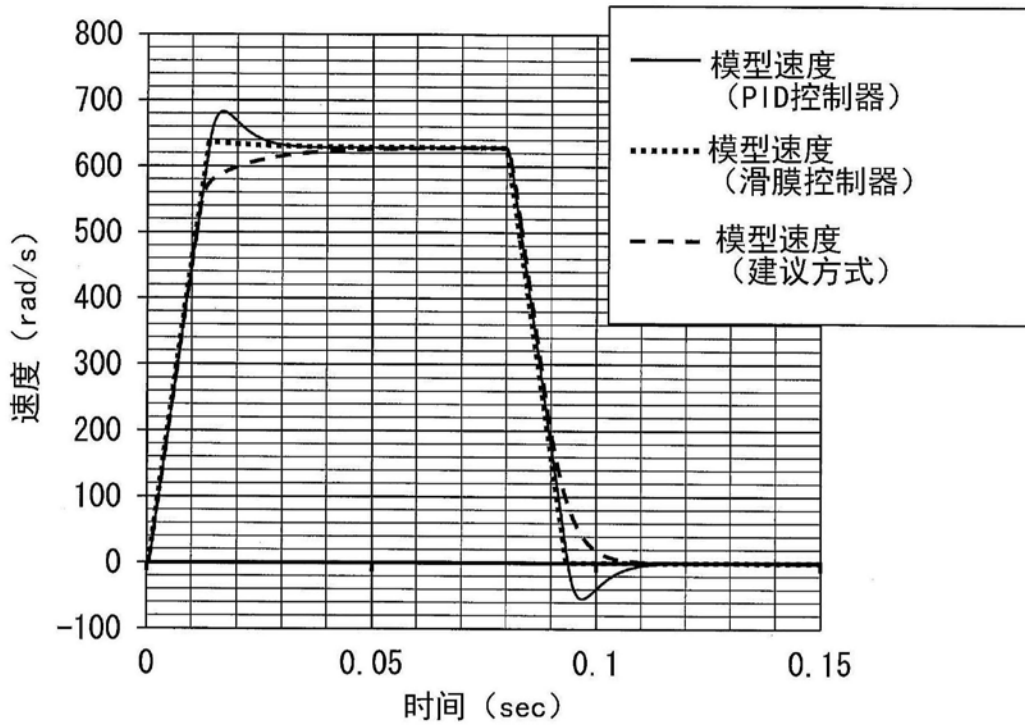


图14A

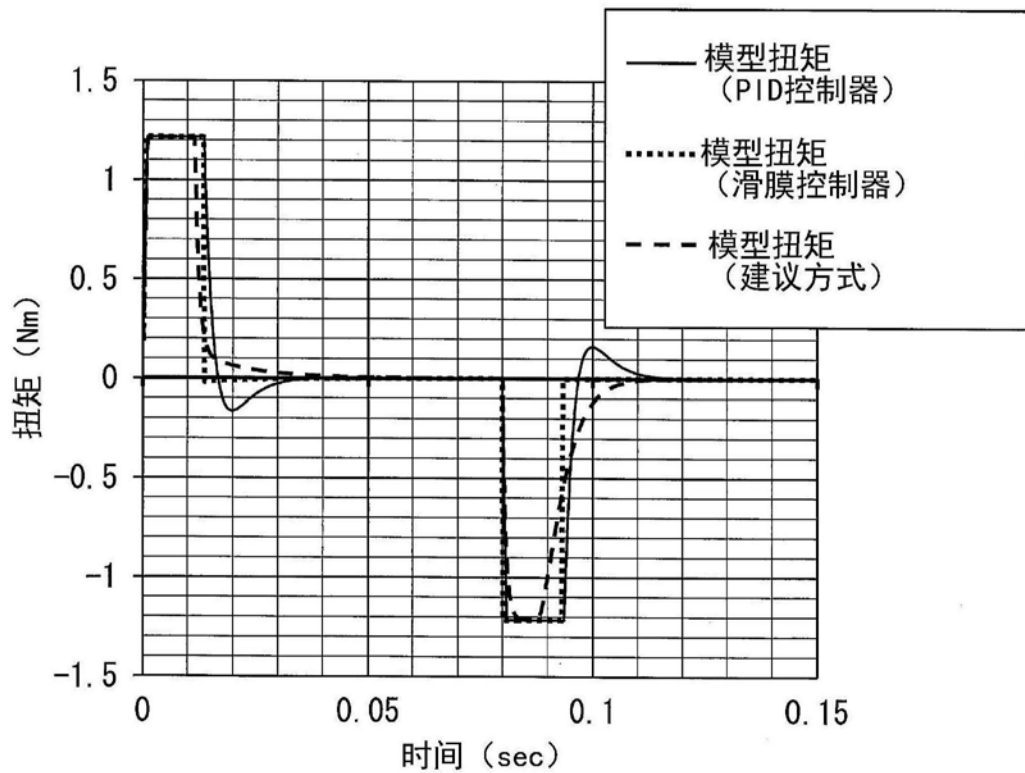


图14B

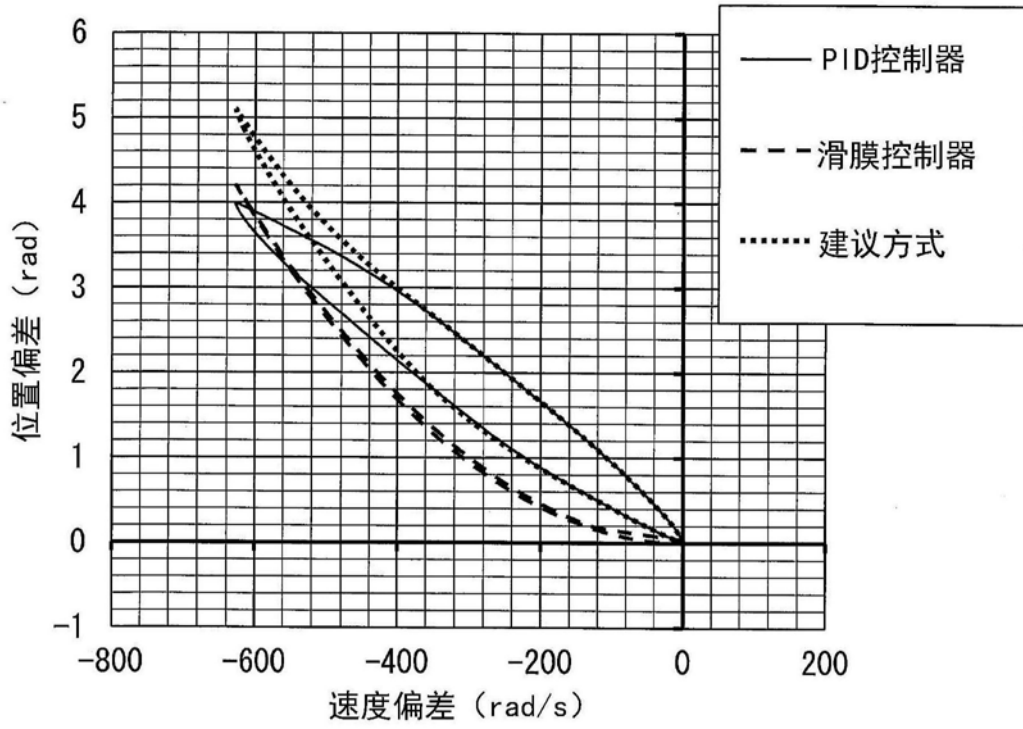


图15A

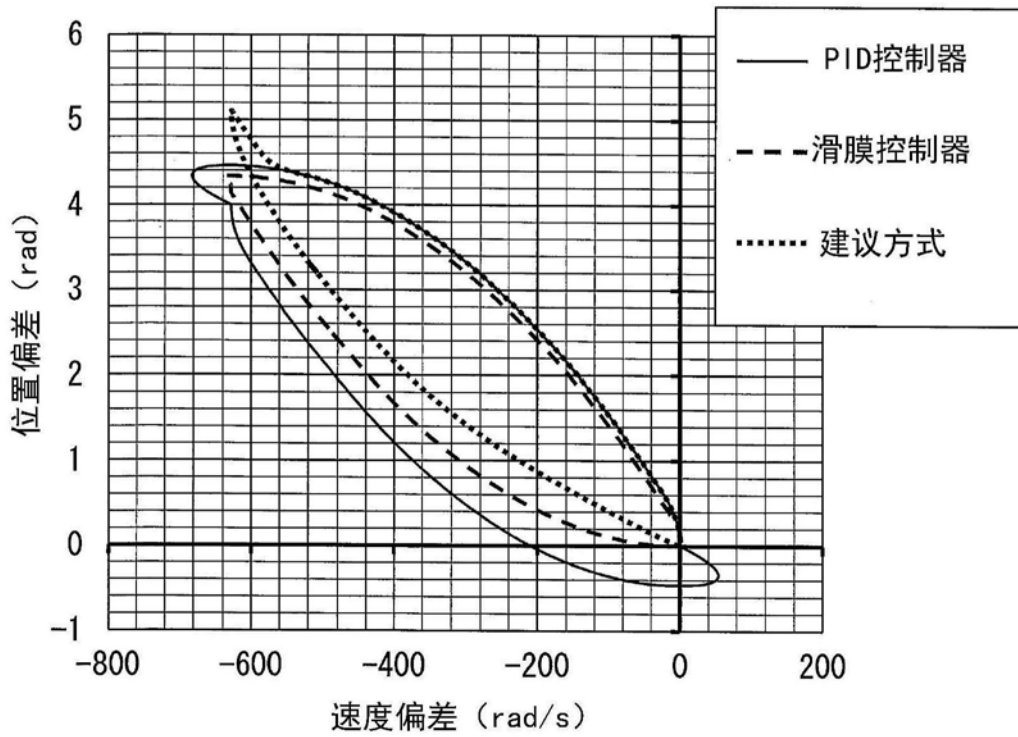


图15B

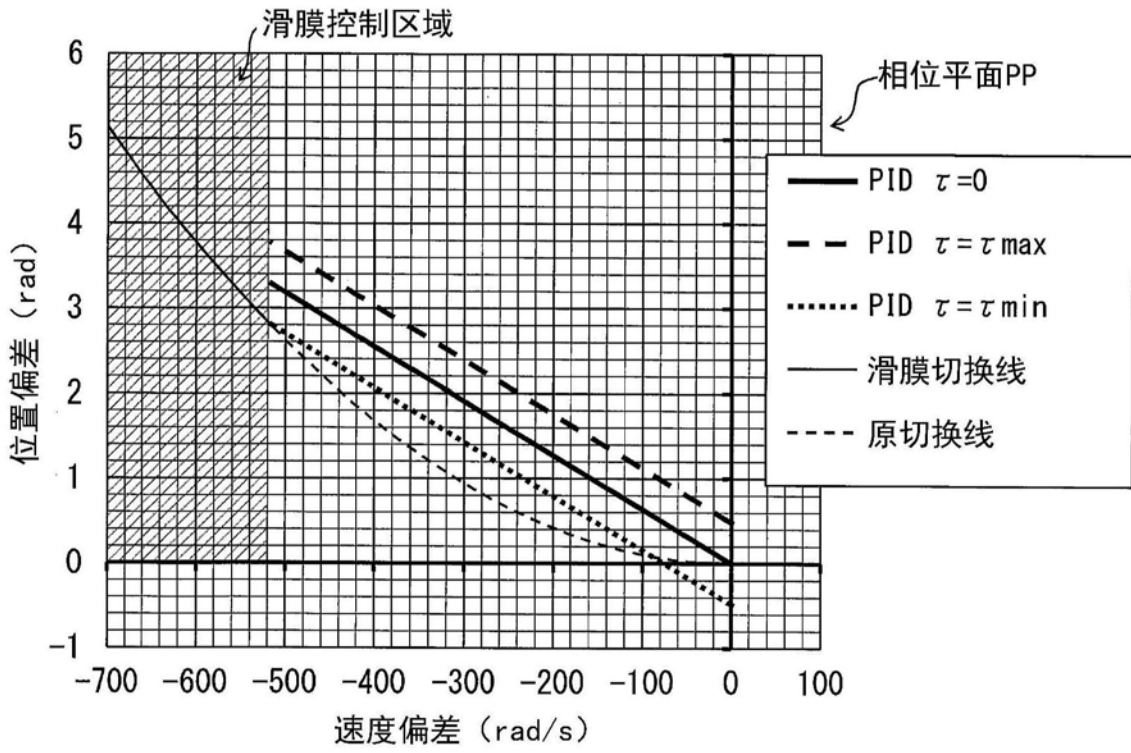


图16

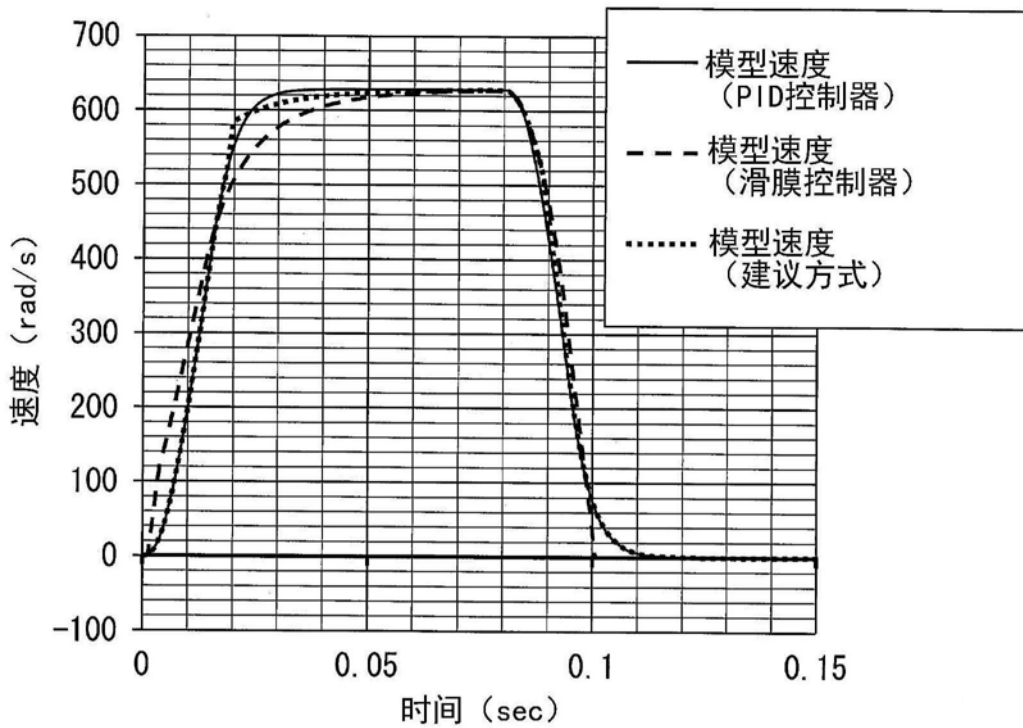


图17A

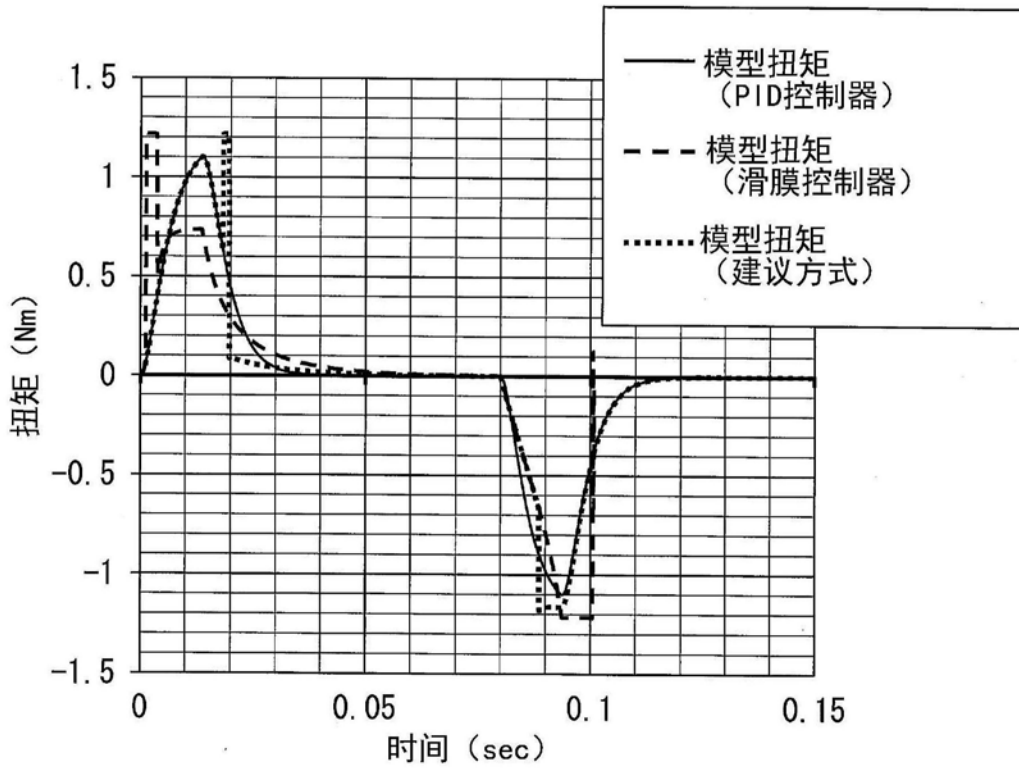


图17B

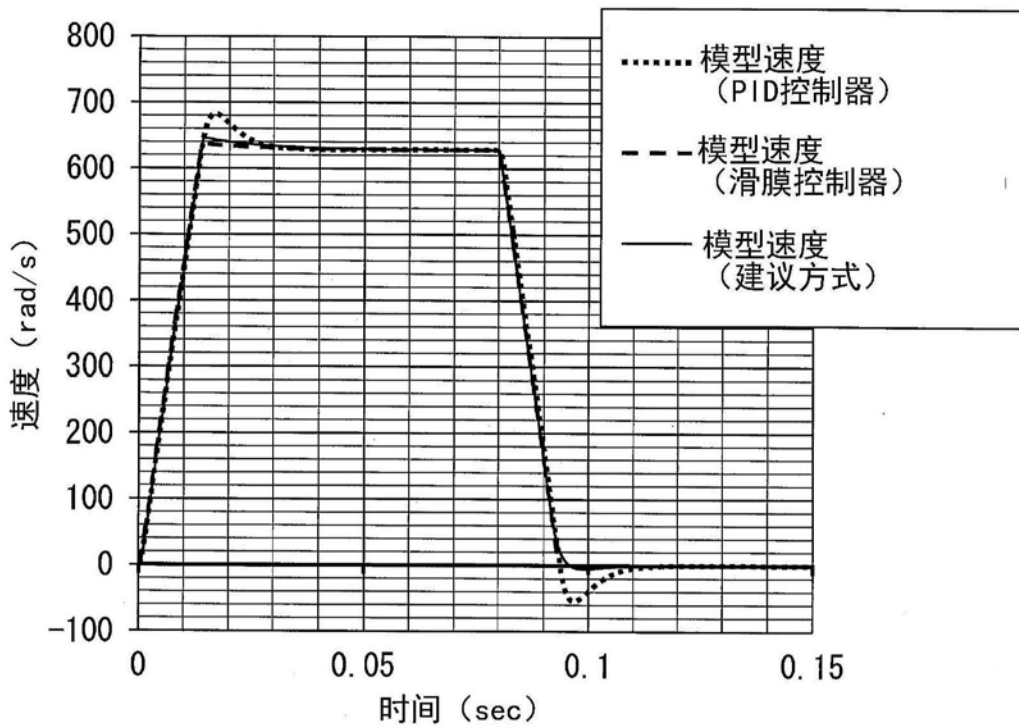


图18A

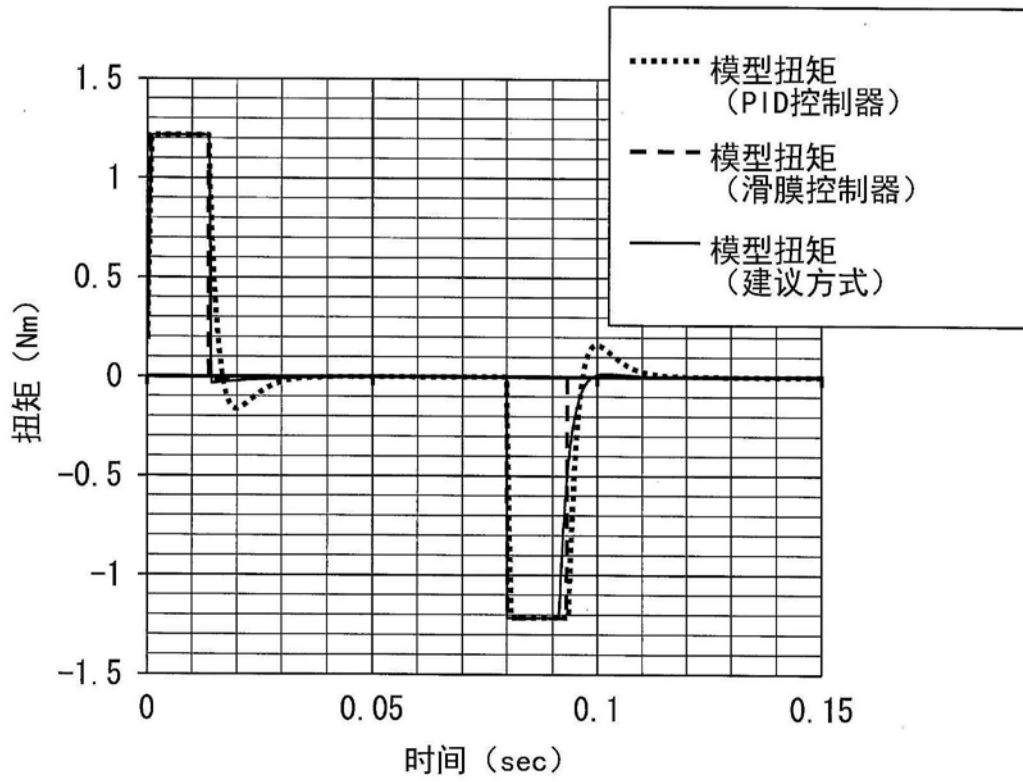


图18B

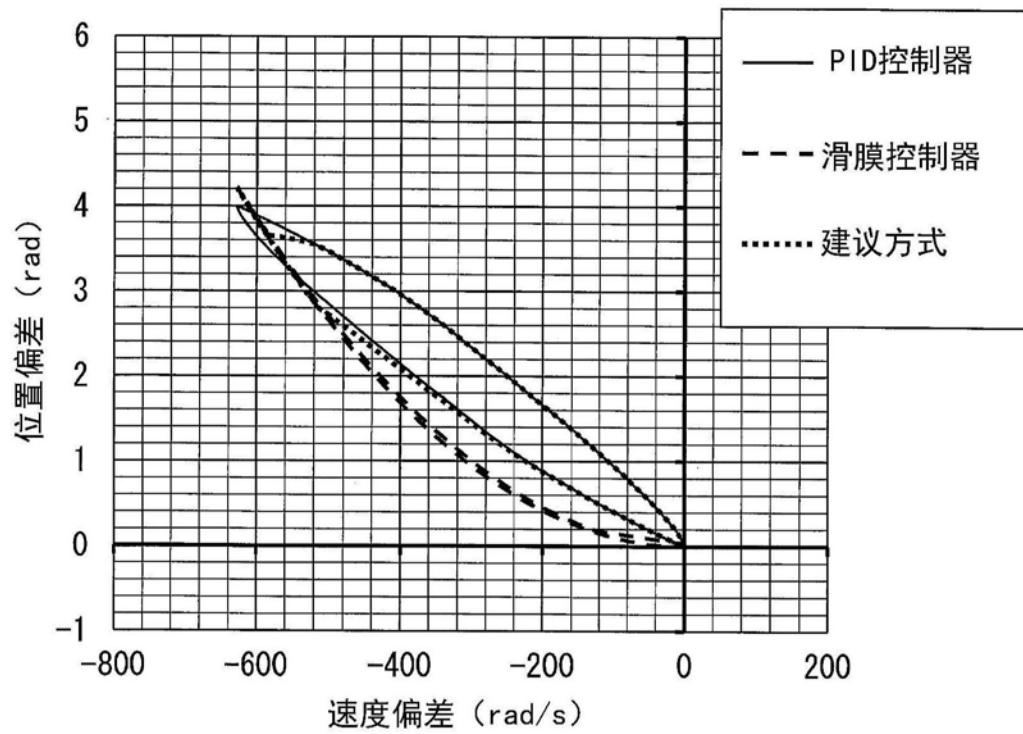


图19A

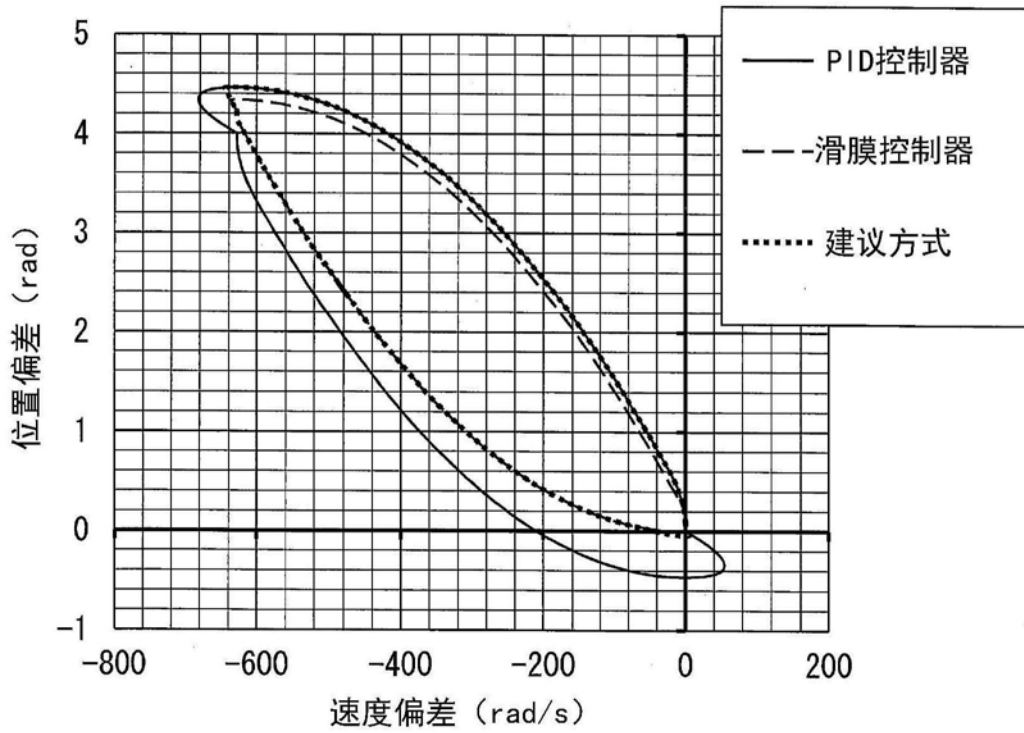


图19B

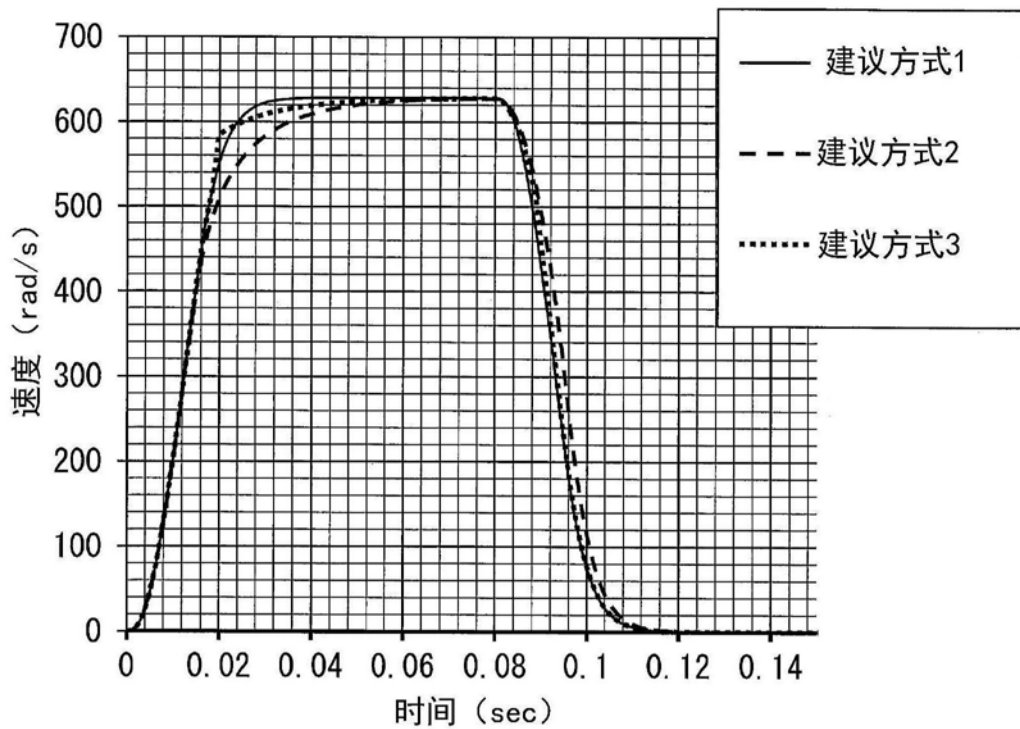


图20A

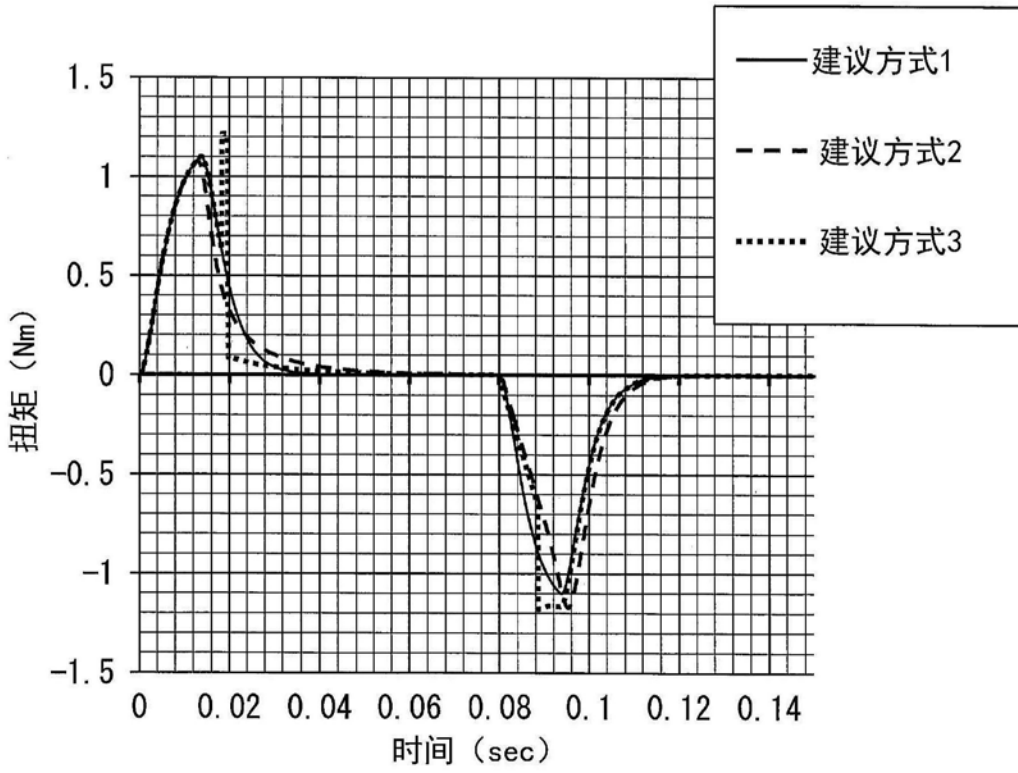


图20B

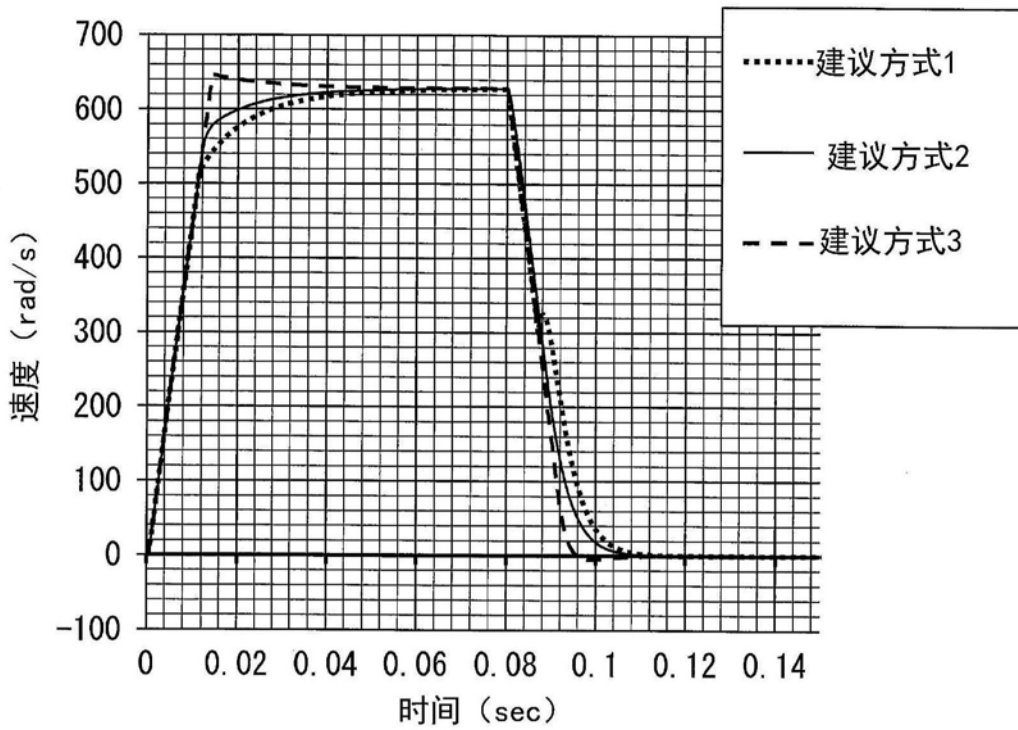


图21A



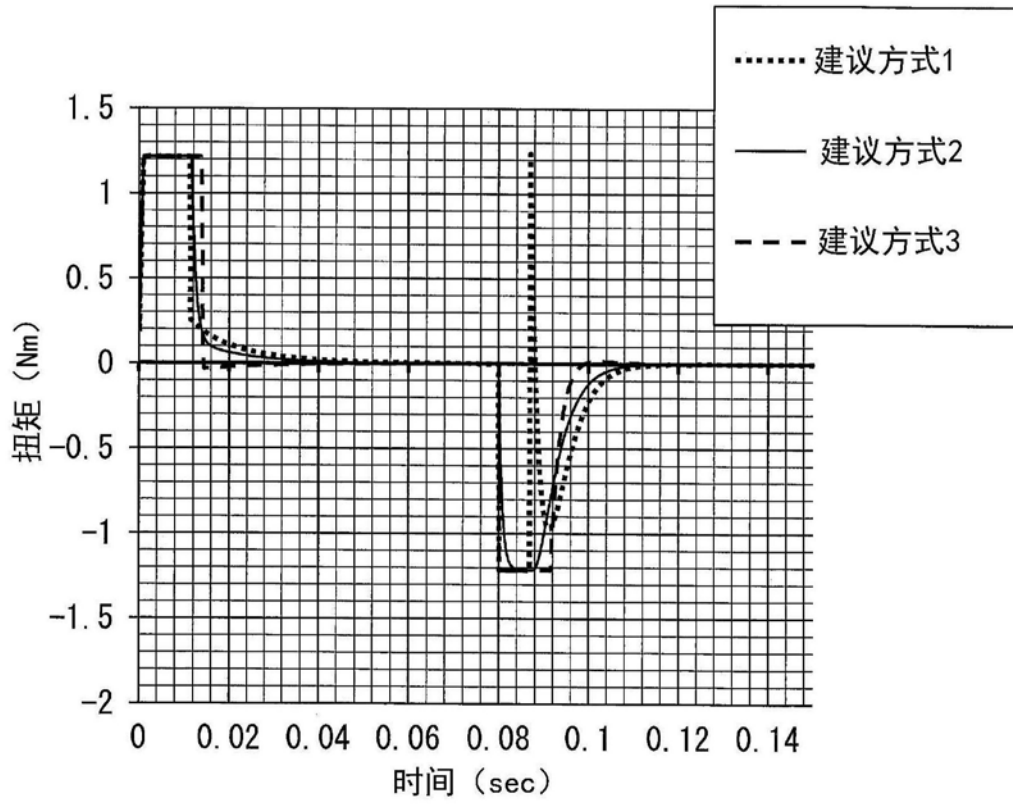


图21B

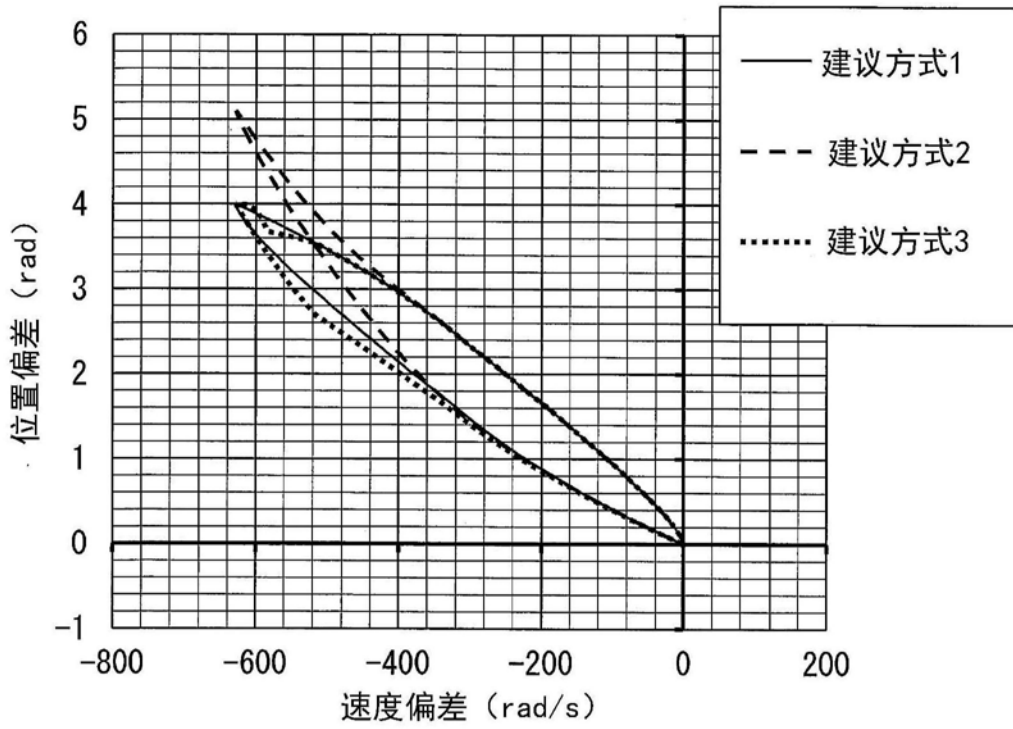


图22A

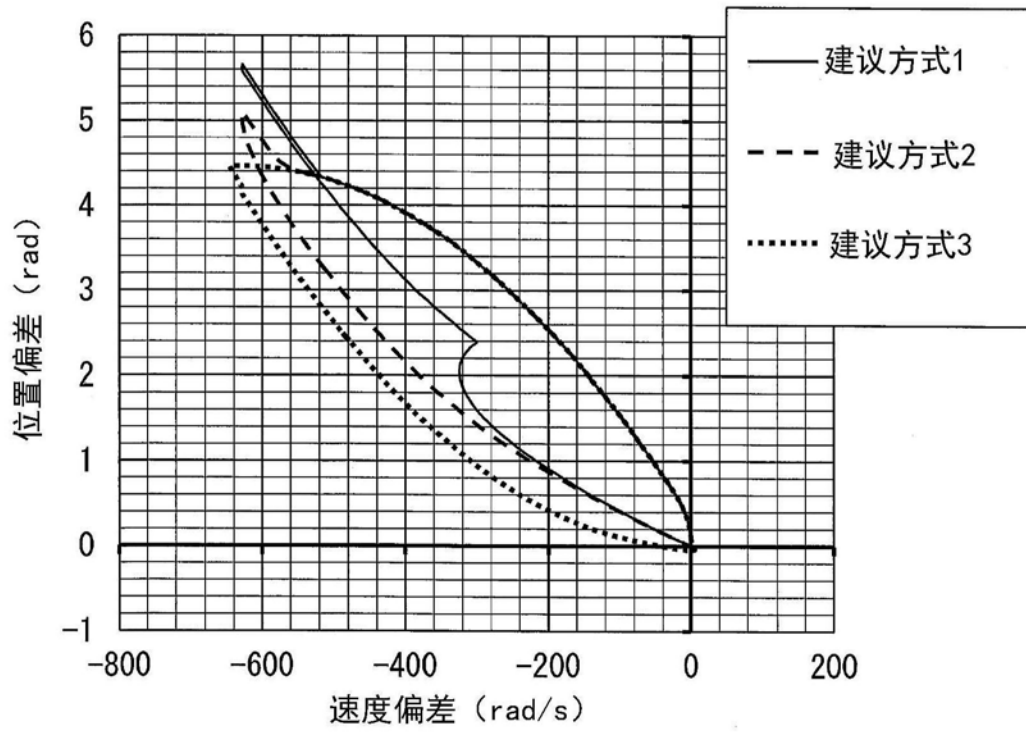


图22B

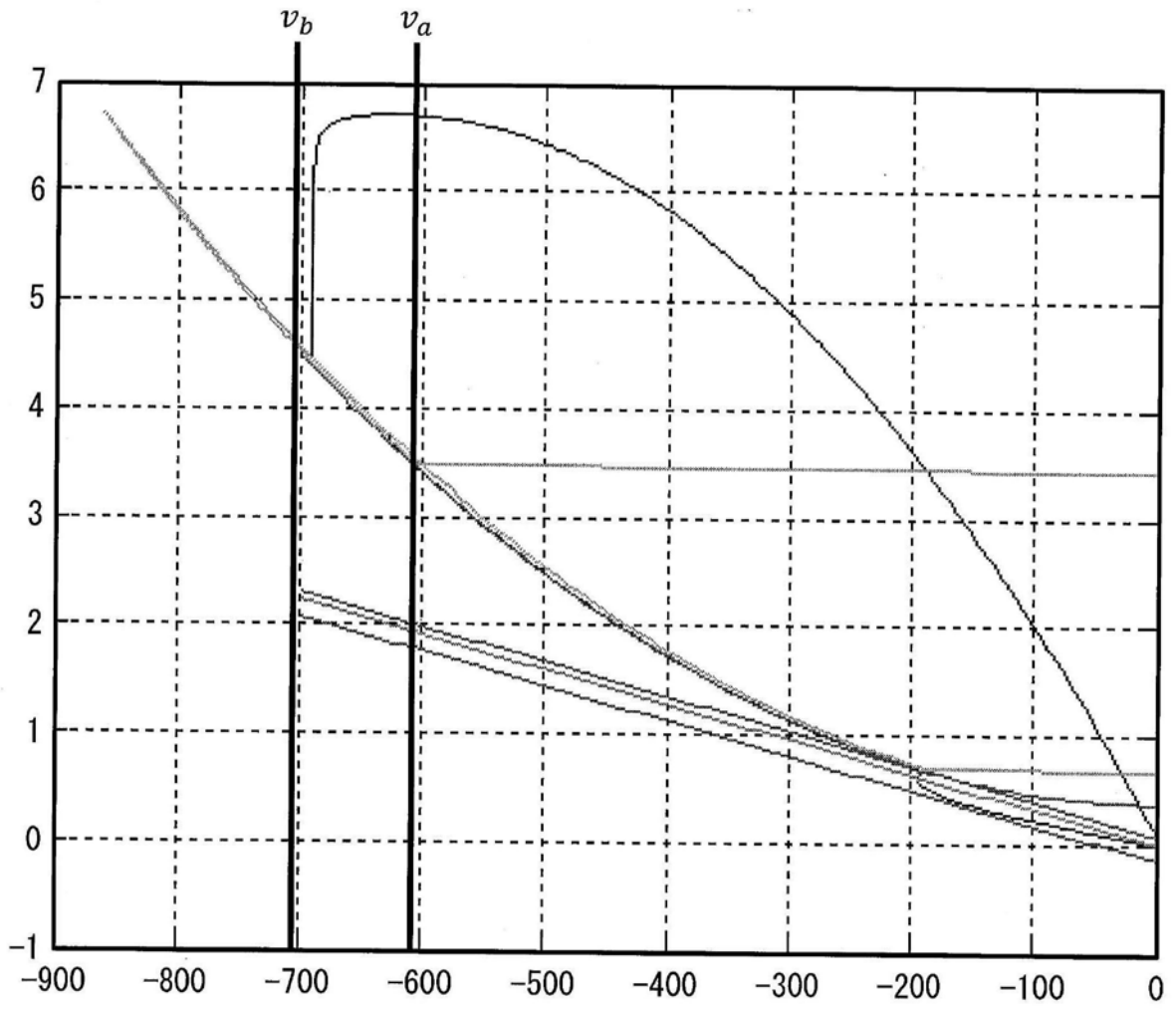


图23

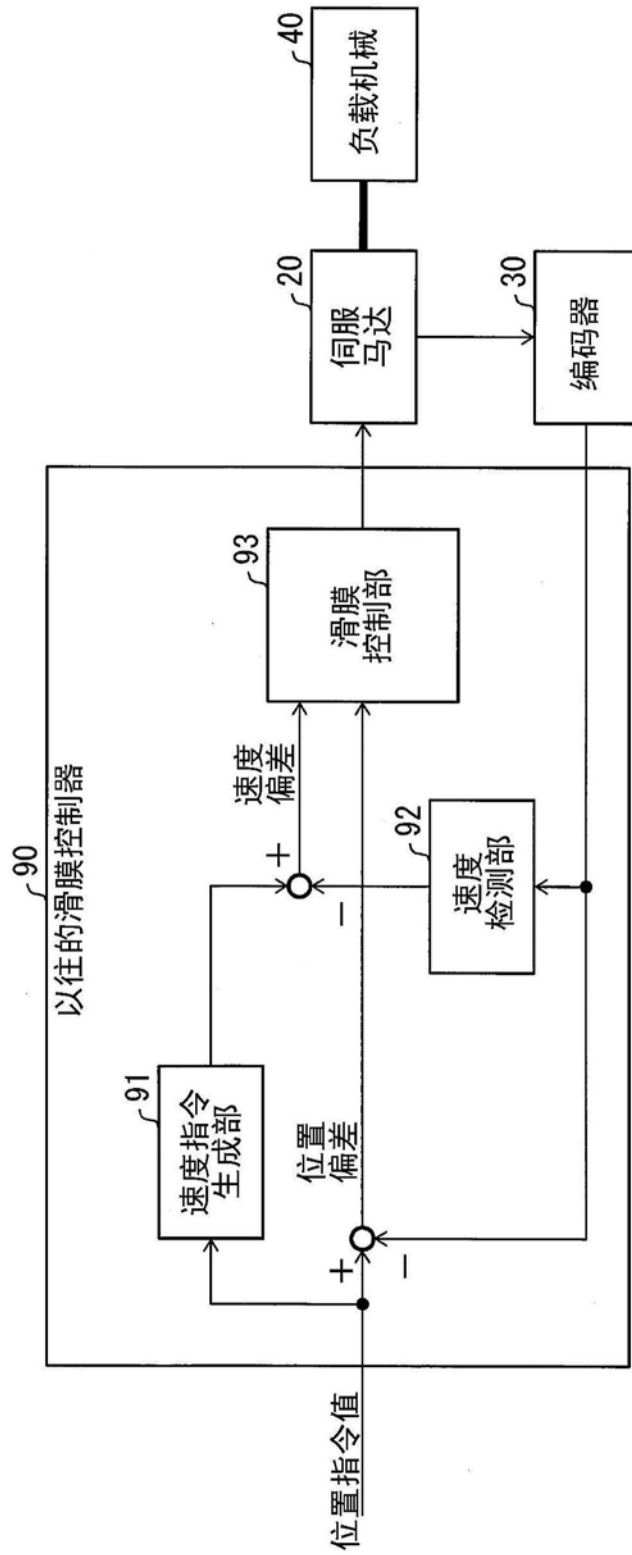


图24