



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113330373 B

(45) 授权公告日 2024.07.02

(21) 申请号 202080010194.7

(22) 申请日 2020.01.23

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 113330373 A

(43) 申请公布日 2021.08.31

(30) 优先权数据  
2019-018985 2019.02.05 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2021.07.21

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/JP2020/002255 2020.01.23

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02020/162199 JA 2020.08.13

(73) 专利权人 欧姆龙株式会社

地址 日本国京都府京都市

(72) 发明人 浪江正树 稻目幸生 碓井良昌

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司 11127

专利代理师 邓毅 黄纶伟

(51) Int.Cl.  
G05B 13/04 (2006.01)

(56) 对比文件  
CN 102549515 A, 2012.07.04

葛宝明, 王祥珩, 苏鹏声, 蒋静坪. 模型算法控制的交流位置伺服系统. 电气传动. 2001, (04), 第3-6页.

审查员 夏凉

权利要求书2页 说明书18页 附图10页

(54) 发明名称

控制装置、模型创建方法以及记录介质

(57) 摘要

控制装置具有控制单元,该控制单元按照每个控制周期,进行使用了表示操作量与控制对象的位置的关系的动态特性模型的模型预测控制,由此生成向伺服驱动器输出的操作量。动态特性模型包含:第1动态特性模型,其表示操作量与伺服电机的位置的关系;以及第2动态特性模型,其表示伺服电机的位置与控制对象的位置的关系。第2动态特性模型是使用从控制对象的振动波形中提取出的波形参数而创建的。波形参数包含振动频率。由此,能够提供可提高控制对象的位置的减振性以及相对于目标位置的追随性的控制装置。



1. 一种控制装置,其与驱动用于使控制对象移动的伺服电机的伺服驱动器连接,向所述伺服驱动器输出操作量来进行所述控制对象的位置控制,

该控制装置具有控制单元,该控制单元按照每个控制周期,进行使用了表示所述操作量与所述控制对象的位置的关系的动态特性模型的模型预测控制,由此生成向所述伺服驱动器输出的操作量,

所述动态特性模型是通过将第1动态特性模型和第2动态特性模型组合而创建的,其中,所述第1动态特性模型表示所述操作量与所述伺服电机的位置的关系,所述第2动态特性模型表示所述伺服电机的位置与所述控制对象的位置的关系,

所述第2动态特性模型是使用从所述控制对象的振动波形中提取出的波形参数而创建的,

所述波形参数包含振动频率。

2. 根据权利要求1所述的控制装置,其中,

所述波形参数还包含所述振动波形中连续的2个波的振幅比。

3. 根据权利要求1或2所述的控制装置,其中,

所述控制单元将到此次的控制周期为止生成的操作量输入到所述第1动态特性模型,由此运算所述伺服电机的预测位置,

所述控制单元将所述伺服电机的预测位置输入到所述第2动态特性模型,由此运算从所述此次的控制周期的结束时起经过了所述动态特性模型所规定的无用时间的未来的控制周期中的所述控制对象的预测位置,

所述控制单元使用所述控制对象的预测位置和所述动态特性模型,生成在下次的控制周期中向所述伺服驱动器输出的操作量,使得所述未来的控制周期以后的所述控制对象的位置与目标轨道的偏差成为最小。

4. 根据权利要求1或2所述的控制装置,其中,

所述控制单元基于来自所述伺服电机的反馈值,对所述伺服电机的预测位置进行校正。

5. 根据权利要求1所述的控制装置,其中,

所述控制单元包含:

输出单元,其输出规定所述第1动态特性模型的特性参数;以及

生成单元,其接收所述特性参数和所述波形参数,生成向所述伺服驱动器输出的所述操作量。

6. 根据权利要求1所述的控制装置,其中,

所述控制单元包含:

输出单元,其接收所述波形参数,输出规定所述动态特性模型的特性参数;以及

生成单元,其接收所述特性参数,生成向所述伺服驱动器输出的所述操作量。

7. 根据权利要求1所述的控制装置,其中,

所述控制单元包含:

输出单元,其输出规定所述第1动态特性模型的特性参数,并且接收所述控制对象的测量位置而输出所述波形参数;以及

生成单元,其接收所述特性参数和所述波形参数,生成向所述伺服驱动器输出的所述

操作量。

8. 根据权利要求5~7中的任意一项所述的控制装置,其中,

所述控制装置包含执行用户程序的处理器,

所述输出单元和所述生成单元通过所述用户程序所规定的功能块来实现。

9. 一种模型创建方法,其创建权利要求1~8中的任意一项所述的所述控制装置所使用的所述第2动态特性模型,该模型创建方法具有以下步骤:

取得所述控制对象的振动波形;

从所述振动波形中提取波形参数;以及

使用所述波形参数来创建所述第2动态特性模型,

所述波形参数包含振动频率。

10. 一种记录介质,其非易失性地存储有计算机可读取的控制程序,该控制程序在控制装置中执行,该控制装置与驱动用于使控制对象移动的伺服电机的伺服驱动器连接,向所述伺服驱动器输出操作量来进行所述控制对象的位置控制,

所述控制程序使所述控制装置执行以下步骤:

创建表示所述操作量与所述伺服电机的位置的关系的第1动态特性模型;

使用从所述控制对象的振动波形中提取出的波形参数,创建表示所述伺服电机的位置与所述控制对象的位置的关系的第2动态特性模型;以及

按照每个控制周期,进行使用了动态特性模型的模型预测控制,由此生成向所述伺服驱动器输出的操作量,其中,所述动态特性模型是通过将所述第1动态特性模型和所述第2动态特性模型组合而创建的,

所述波形参数包含振动频率。

## 控制装置、模型创建方法以及记录介质

### 技术领域

[0001] 本技术涉及控制装置、模型创建方法以及控制程序。

### 背景技术

[0002] 日本特开2017-175890号公报(专利文献1)公开了一种电机控制装置,其具有:位置指令部,其对被驱动部的位置发出指令;校正滤波器部,其对位置指令进行校正;以及伺服控制部,其根据校正后位置指令来控制伺服电机的移动。校正滤波器部包含对从电机位置到机械位置的传递特性的逆特性进行近似的逆特性滤波器。

[0003] 现有技术文献

[0004] 专利文献

[0005] 专利文献1:日本特开2017-175890号公报

[0006] 专利文献2:日本特开2018-120327号公报

### 发明内容

[0007] 发明所要解决的课题

[0008] 专利文献1所公开的电机控制装置通过使用逆特性滤波器,即使在无法测量机械位置的情况下,也生成用于使机械位置追随目标位置的位置指令。然而,通常在伺服控制部中产生响应延迟,因此机械位置的减振性以及相对于目标位置的追随性容易下降。特别是,在容易产生振动的低刚性的机械中,无法提高伺服控制部的增益,因此伺服控制部的响应延迟容易变大。

[0009] 本发明是鉴于上述问题而完成的,其目的在于提供一种能够提高控制对象的位置的减振性和对目标轨道的追随性的控制装置和控制程序、以及创建该控制装置所使用的模型的模型创建方法。

[0010] 用于解决课题的手段

[0011] 根据本公开的一例,控制装置与驱动用于使控制对象移动的伺服电机的伺服驱动器连接,向伺服驱动器输出操作量来进行控制对象的位置控制。控制装置具有控制单元,该控制单元按照每个控制周期,进行使用了表示操作量与控制对象的位置的关系的动态特性模型的模型预测控制,由此生成向伺服驱动器输出的操作量。动态特性模型是通过将第1动态特性模型和第2动态特性模型组合而创建的,其中,第1动态特性模型表示操作量与伺服电机的位置的关系,第2动态特性模型表示伺服电机的位置与控制对象的位置的关系。第2动态特性模型是使用从控制对象的振动波形中提取出的波形参数而创建的。波形参数包含振动频率。

[0012] 根据该公开,通过测量控制对象的振动波形,能够创建表示伺服电机的位置与控制对象的位置的关系的第2动态特性模型。另外,第1动态特性模型使用来自伺服电机的反馈值来容易地创建。并且,通过组合第1动态特性模型和第2动态特性模型,能够创建表示操作量与控制对象的位置的关系的动态特性模型。通过进行使用了所创建的动态特性模型的

模型预测控制来生成操作量,因此能够使控制对象的位置追随目标轨道,并且能够提高控制对象的位置的减振性。

[0013] 在上述公开中,波形参数还包含振动波形中连续的2个波的振幅比。

[0014] 根据该公开,能够创建更接近控制对象的第2动态特性模型,控制对象的位置预测精度提高。

[0015] 在上述公开中,控制单元将到此次的控制周期为止生成的操作量输入到第1动态特性模型,由此运算伺服电机的预测位置。控制单元将伺服电机的预测位置输入到第2动态特性模型,由此运算从当前的控制周期结束时起经过了动态特性模型所规定的无用时间的未来的控制周期中的控制对象的预测位置。控制单元使用控制对象的预测位置和动态特性模型,生成在下一个控制周期中向伺服驱动器输出的操作量,使得上述未来的控制周期以后的控制对象的位置与目标轨道的偏差成为最小。

[0016] 根据该公开,控制单元能够使用第1动态特性模型以及第2动态特性模型,根据到此次的控制周期为止生成的操作量,容易地运算控制对象的预测位置。并且,通过模型预测控制,能够使控制对象的位置追随目标轨道。

[0017] 在上述公开中,控制单元也可以基于来自伺服电机的反馈值,对伺服电机的预测位置进行校正。

[0018] 根据该公开,由于基于反馈值来校正伺服电机的预测位置,因此控制对象的预测位置的预测精度提高。

[0019] 在上述公开中,控制单元包含:输出单元,其输出规定第1动态特性模型的特性参数;以及生成单元,其接收特性参数和波形参数,生成向伺服驱动器输出的操作量。

[0020] 或者,控制单元也可以包含:输出单元,其接收波形参数,输出规定动态特性模型的特性参数;以及生成单元,其接收特性参数,生成向伺服驱动器输出的操作量。

[0021] 或者,控制单元也可以包含:输出单元,其输出规定第1动态特性模型的特性参数,并且接收控制对象的位置而输出波形参数;以及生成单元,其接收特性参数和波形参数,生成向伺服驱动器输出的操作量。

[0022] 此外,控制装置包含执行用户程序的处理器。输出单元和生成单元通过用户程序所规定的功能块来实现。

[0023] 根据该公开,能够使用功能块容易地实现输出单元和生成单元。

[0024] 根据本公开的一例,创建上述的控制装置所使用的第2动态特性模型的模型创建方法具有以下步骤:取得控制对象的振动波形;从振动波形中提取波形参数;以及使用波形参数来创建第2动态特性模型。波形参数包含振动频率。

[0025] 根据本公开的一例,控制程序在控制装置中被执行,该控制装置与驱动用于使控制对象移动的伺服电机的伺服驱动器连接,向伺服驱动器输出操作量来进行控制对象的位置控制。控制程序使控制装置执行以下步骤:创建表示操作量与伺服电机的位置的关系的第1动态特性模型;使用从控制对象的振动波形中提取出的波形参数,创建表示伺服电机的位置与控制对象的位置的关系的第2动态特性模型;以及进行使用了动态特性模型的模型预测控制,由此生成向所述伺服驱动器输出的操作量,其中,所述动态特性模型是通过将所述第1动态特性模型和所述第2动态特性模型组合而创建的。波形参数包含振动频率。

[0026] 根据这些公开,也能够提高控制对象的位置的减振性以及目标轨道的追随性。

- [0027] 发明的效果
- [0028] 根据本发明,能够提高控制对象的位置的减振性以及目标轨道的追随性。

### 附图说明

- [0029] 图1是表示应用本实施方式的控制装置的控制系统的结构例的示意图。
- [0030] 图2是表示本实施方式的控制装置100的硬件结构的一例的示意图。
- [0031] 图3是表示本实施方式的控制装置的功能结构的示意图。
- [0032] 图4是说明为了创建第1动态特性模型而执行的调试(tuning)的图。
- [0033] 图5是表示振动波形的一例的图。
- [0034] 图6是表示使用了第1动态特性模型和第2动态特性模型的负载位置的运算方法例的图。
- [0035] 图7是表示本实施方式的控制装置所进行的电机控制的处理步骤的流程图。
- [0036] 图8是表示图7所示的步骤S2的子例程的流程图。
- [0037] 图9是表示由本实施方式的控制装置执行的用户程序的命令代码的一例的图。
- [0038] 图10是表示电机控制的仿真结果的一例的图。
- [0039] 图11是表示电机控制的仿真结果的另一例的图。
- [0040] 图12是表示变形例的控制装置的功能结构的示意图。

### 具体实施方式

- [0041] 参照附图详细说明本发明的实施方式。另外,对图中的相同或相应的部分标注相同的标号并不重复其说明。
- [0042] §1应用例
- [0043] 首先,参照图1,对应用本发明的场景的一例进行说明。图1是表示应用本实施方式的控制装置的控制系统的结构例的示意图。图1所示的例子控制系统1包含控制对象2、控制装置100、1个或多个伺服驱动器、1个或多个伺服电机。
- [0044] 图1所示的例子控制对象2是能够使载置有工件的工作板3分别向相互垂直的两个方向移动的XY工作台。另外,控制对象2并不限定于XY工作台,也可以是被定位在指定的位置(停止位置)的装置。
- [0045] 1个或多个伺服电机是用于使控制对象2的工作板3移动的电机,在图1所示的例子中,包含2个伺服电机300X、300Y(以下,也称为“伺服电机300”)。
- [0046] 控制对象2除了工作板3之外,还具有第1底板4和第2底板7。
- [0047] 在第1底板4配置有使工作板3沿X方向任意移动的滚珠丝杠6。滚珠丝杠6与工作板3所包含的螺母卡合。与滚珠丝杠6的一端连接的伺服电机300X进行旋转驱动,由此工作板3所包含的螺母与滚珠丝杠6相对旋转,其结果,工作板3沿着X方向移动。
- [0048] 而且,第2底板7配置有使工作板3及第1底板4沿Y方向任意移动的滚珠丝杠9。滚珠丝杠9与第1底板4所包含的螺母卡合。与滚珠丝杠9的一端连接的伺服电机300Y进行旋转驱动,由此第1底板4所包含的螺母与滚珠丝杠9相对旋转,其结果,工作板3以及第1底板4沿Y方向移动。
- [0049] 1个或多个伺服驱动器对伺服电机进行驱动。在图1所示的例子中,2个伺服驱动器

200X、200Y (以下,也称为“伺服驱动器200”。)分别驱动伺服电机300X、300Y。

[0050] 伺服驱动器200基于来自控制装置100的指令值(指令位置或指令速度)和来自对应的伺服电机300的反馈值,生成针对对应的伺服电机300的驱动信号。伺服驱动器200通过将所生成的动作信号输出到伺服电机300来驱动伺服电机300。

[0051] 例如,伺服驱动器200接收来自与对应的伺服电机300的旋转轴结合的编码器的输出信号作为反馈值。通过反馈值,能够检测伺服电机300的位置、旋转相位、旋转速度、累计转速等。

[0052] 控制装置100与1个或多个伺服驱动器200连接,对1个或多个伺服驱动器200分别输出操作量,进行控制对象2的工作板3的位置控制。在控制装置100与1个或多个伺服驱动器200之间,能够进行包含操作量的数据交换。

[0053] 图1表示控制装置100与1个或多个伺服驱动器200之间经由现场总线101连接的结构例。但是,不限于这样的结构例,能够采用任意的通信单元。或者,也可以将控制装置100与伺服驱动器200之间直接用信号线连接。进而,也可以采用将控制装置100与伺服驱动器200一体化的结构。只要实现以下说明的算法,则可以采用任意的安装方式。

[0054] 控制装置100通过进行使用了表示操作量与控制对象2的位置(以下,称为“负载位置”)的关系的动态特性模型的模型预测控制,生成向伺服驱动器200输出的操作量。控制装置100将所生成的操作量作为指令值(指令位置或指令速度)输出到伺服驱动器200。动态特性模型是伺服驱动器200、伺服电机300以及控制对象2的模型,由表示作为输入值的操作量(即指令值)与作为输出值的负载位置的关系的传递函数来规定。模型预测控制是以使目标值与使用模型预测出的输出值的偏差成为最小的方式决定输入值的控制方法。

[0055] 在此,如果能够取得通过连续且高精度地测量负载位置而得到的测量值,则能够直接创建操作量与负载位置的传递函数。然而,为了连续且高精度地测量负载位置,耗费成本。因此,本实施方式的控制装置100使用表示操作量与伺服电机300的位置(以下,称为“电机位置”)的关系的第1动态特性模型、和表示电机位置与负载位置的关系的第2动态特性模型来进行模型预测控制。

[0056] 第1动态特性模型是伺服驱动器200和伺服电机300的模型,由表示作为输入值的操作量和作为输出值的电机位置的关系的传递函数来规定。通常,在伺服电机300中设置编码器,根据来自编码器的反馈值连续且高精度地测量电机位置。因此,基于电机位置的测量值来创建第1动态特性模型。

[0057] 第2动态特性模型是控制对象2的模型,由表示作为输入值的电机位置与作为输出值的负载位置的关系的传递函数来规定。电机位置与负载位置的关系依赖于控制对象2的振动。因此,第2动态特性模型使用从控制对象2的振动波形中提取出的波形参数来创建。波形参数包含控制对象2的振动频率(典型的是固有振动频率)。

[0058] 控制对象2的振动波形能够使用简易的测量装置进行测量。在图1所示的例子中,控制对象2的振动波形使用激光位移计5、8来测量。激光位移计5测量工作板3的与X方向垂直的端面的位移。根据激光位移计5的测量结果,能够得到工作板3的X方向的振动波形。激光位移计8测量工作板3的与Y方向垂直的端面的位移。根据激光位移计8的测量结果,能够得到工作板3的Y方向的振动波形。另外,振动波形也可以使用激光位移计以外的传感器来测量。

[0059] 这样,通过使用简易的测量装置测量控制对象2的振动波形,能够创建表示电机位置与负载位置的关系的第2动态特性模型。并且,通过组合第1动态特性模型和第2动态特性模型,能够创建表示操作量(即指令值)与负载位置的关系的动态特性模型。通过进行使用了所创建的动态特性模型的模型预测控制来生成操作量,因此能够使负载位置追随目标轨道,并且能够提高负载位置的减振性。

[0060] §2具体例

[0061] 接着,对本实施方式的控制装置100的具体例进行说明。

[0062] <A. 控制装置的硬件结构例>

[0063] 作为一例,本实施方式的控制装置100也可以使用PLC(可编程控制器)来安装。控制装置100也可以通过处理器执行预先保存的控制程序(包含后述的系统程序以及用户程序)来实现后述的处理。

[0064] 图2是示出本实施方式的控制装置100的硬件结构的一例的示意图。如图2所示,控制装置100包含CPU(Central Processing Unit:中央处理单元)或MPU(Micro-Processing Unit:微处理单元)等处理器102、芯片组104、主存储器106、闪存108、外部网络控制器116、存储卡接口118、内部总线控制器122、现场总线控制器124。

[0065] 处理器102读出保存在闪存108中的系统程序110和用户程序112,在主存储器106中展开并执行,由此实现对控制对象的任意控制。处理器102通过执行系统程序110以及用户程序112,执行后述那样的对伺服驱动器200的操作量的输出、经由现场总线的数据通信所涉及的处理等。

[0066] 系统程序110包含数据的输入输出处理、执行定时控制等用于提供控制装置100的基本功能的指令代码。作为其一部分,系统程序110包含模型创建库110A和模型预测控制库110B。这些库是一种程序模块,包含用于实现本实施方式的处理和功能的命令码。用户程序112根据控制对象任意地设计,包含用于执行序列控制的序列程序112A和用于执行运动控制的运动程序112B。在用户程序112中,定义分别利用模型创建库110A以及模型预测控制库110B的模型创建功能块以及模型预测控制功能块,由此实现本实施方式的处理以及功能。功能块是由控制装置100执行的程序的组件,是指将多次使用的程序元素模块化而得到的功能块。

[0067] 芯片组104通过控制各组件来实现作为控制装置100整体的处理。

[0068] 内部总线控制器122是与通过内部总线和控制装置100连接的各种设备交换数据的接口。作为这样的设备的一例,连接有I/O单元126。

[0069] 现场总线控制器124是与通过现场总线和控制装置100连接的各种设备之间交换数据的接口。作为这样的设备的一例,连接有伺服驱动器200。

[0070] 内部总线控制器122以及现场总线控制器124能够对所连接的设备赋予任意的指令,并且能够取得设备所管理的任意数据(包含测量值)。另外,内部总线控制器122和/或现场总线控制器124还作为用于与伺服驱动器200之间交换数据的接口发挥功能。

[0071] 外部网络控制器116控制各种通过有线/无线网络的数据交换。存储卡接口118构成为能够装卸存储卡120,能够对存储卡120写入数据,并从存储卡120读出数据。

[0072] <B. 伺服驱动器>

[0073] 对本实施方式的控制装置100所连接的伺服驱动器200的动作进行说明。伺服驱动

器200接收从控制装置100输出的操作量作为指令值(指令位置或指令速度),并且接收来自与伺服电机300结合的编码器的输出信号作为反馈值。伺服驱动器200使用指令值和反馈值,例如执行按照模型追随控制系统的控制环路的控制运算。

[0074] 伺服驱动器200在接收指令位置作为指令值的情况下,执行按照位置控制环路及速度控制环路的控制运算。伺服驱动器200在接收指令速度作为指令值的情况下,执行按照速度控制环路的控制运算。

[0075] 伺服驱动器200通过执行按照位置控制环路的控制运算,运算与由反馈值得到的伺服电机300的测量位置和从控制装置100提供的指令位置的位置偏差对应的指令速度。

[0076] 伺服驱动器200通过执行按照速度控制环路的控制运算,运算与指令速度和根据反馈值得到的伺服电机300的测量速度的速度偏差对应的扭矩。伺服驱动器200输出表示电流指令的动作信号,该电流指令用于使伺服电机300产生运算出的扭矩。

[0077] <C. 控制装置的功能结构例>

[0078] 图3是表示本实施方式的控制装置的功能结构的示意图。如图3所示,控制装置100具有由模型创建模块130、轨道生成模块140、模型预测控制模块150构成的控制单元160。在图中,也将模型预测控制记作“MPC(Model Predictive Control)”。另外,控制装置100具有分别与伺服驱动器200X、200Y对应的2个控制单元160。但是,在图3中,为了简化而仅描绘了2个控制单元160中的一方。

[0079] 典型地,模型创建模块130通过在用户程序112中规定模型创建功能块,调用模型创建库110A来实现。即,模型创建模块130通过用户程序112所规定的功能块而被功能化。

[0080] 模型创建模块130创建表示由伺服驱动器200及伺服电机300构成的第1模型对象400的动态特性的第1动态特性模型。模型创建模块130将规定创建出的第1动态特性模型的特性参数提供给模型预测控制模块150。

[0081] 轨道生成模块140沿着预先指定的目标轨道,生成控制对象2的目标位置的时间序列数据,从该时间序列数据中依次读出与各控制周期对应的目标位置SP,并输入到模型预测控制模块150。具体而言,轨道生成模块140从目标位置的时间序列数据中提取从当前时刻起到作为将来的一定期间的预测时域(horizon)结束为止的多个目标位置,并输入到模型预测控制模块150。

[0082] 另外,控制装置100也可以预先存储规定目标轨道的目标位置的时间序列数据。在该情况下,轨道生成模块140访问预先存储的目标位置的时间序列数据。这样,规定目标轨道的每个控制周期的目标位置可以以时间序列数据的形式预先保存,也可以按照预先确定的计算式依次计算关于各控制周期的目标位置。

[0083] 典型地,模型预测控制模块150通过在用户程序112中规定模型预测控制功能块,调用模型预测控制库110B来实现。即,模型预测控制模块150通过用户程序112所规定的功能块而被功能化。

[0084] 模型预测控制模块150创建第2动态特性模型,该第2动态特性模型表示由作为负载的控制对象2构成的第2模型对象402的动态特性。模型预测控制模块150按照每个控制周期,进行使用了第1动态特性模型以及第2动态特性模型的模型预测控制,由此生成向伺服驱动器200输出的操作量MV。模型预测控制模块150将生成的操作量MV作为指令值输出到伺服驱动器200。

[0085] <D. 第1动态特性模型的创建>

[0086] 接着,对第1动态特性模型的创建方法进行说明。第1动态特性模型例如使用日本特开2018-120327(专利文献2)所公开的方法来创建。第1动态特性模型通过执行模型预测控制之前的调试来创建。

[0087] 图4是说明为了创建第1动态特性模型而执行的调试的图。如图4所示,控制装置100的模型创建模块130将用于调试的预先设定的多个操作量(例如指令位置)依次输出到伺服驱动器200,取得伺服电机300的测量位置。根据从与伺服电机300的旋转轴结合的编码器输出的反馈值,确定伺服电机300的测量位置。模型创建模块130通过将操作量以及测量位置分别作为识别输入以及识别输出,并使用识别输出相对于识别输入的关系来应用系统识别方法,能够创建第1动态特性模型。

[0088] 表示第1动态特性模型的函数例如由以下的函数 $P_{CM}(z^{-1})$ 表示。函数 $P_{CM}(z^{-1})$ 是组合了无用时间要素和n次延迟要素的离散时间传递函数。在由函数 $P_{CM}(z^{-1})$ 表示的第1动态特性模型中,将无用时间要素的无用时间d以及n次延迟要素的变量 $a_1 \sim a_n$ 和变量 $b_1 \sim b_m$ 决定为特性参数。另外,对于次数n以及次数m,也可以决定最佳的值。

[0089] [数式1]

$$[0090] \quad P_{CM}(z^{-1}) = z^{-d} \frac{b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_m z^{-m}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_n z^{-n}}$$

[0091] 这样的特性参数的创建处理(即,系统识别)也可以使用识别输入以及识别输出,通过最小二乘法等来执行。

[0092] 具体而言,决定各个特性参数的值,使得对 $y = P_{CM}(z^{-1}) * u$ 的变量u赋予了选择为识别输入的操作量时的输出y与选择为识别输出的测量位置一致(即,使得误差成为最小)。

[0093] 此时,也可以先决定了无用时间d之后,生成使识别输出提前了该决定的无用时间d后的校正后的时间波形,基于该校正后的时间波形,决定除无用时间要素以外的传递函数的剩余要素。

[0094] 也可以使次数n以及次数m不同,来计算多个第1动态特性模型。在该情况下,基于1个或多个评价基准,创建最佳的第1动态特性模型。作为评价基准,包含表示识别的可靠性的程度(FIT率)、无用时间的妥当性等。另外,在定位系统模型的情况下,作为评价基准,也可以采用稳定增益的妥当性。

[0095] FIT率是表示对由计算出的特性参数规定的函数 $P_{CM}(z^{-1})$ 赋予了识别输入时计算出的输出与实际收集到的识别输出之间的一致率的值。关于这样的FIT率,能够使用计算误差的公知的计算式。基本上,选择使得FIT率为最大(即,一致率最大/误差最小)的计算式即可。

[0096] 另外,在第1动态特性模型的评价时,也可以排除表现出特异行为的模型。例如,在表现出不包含在控制对象的原本特性中的特异行为的情况下,认为并非表现出原本控制对象的原本特性,所以也可以作为存在问题的动态特性模型进行排除。

[0097] 这样,在第1动态特性模型的计算过程中,也可以计算使特性参数不同的多个第1动态特性模型。在该情况下,也可以使用上述的FIT率来创建多个第1动态特性模型中的1个第1动态特性模型。

[0098] <E. 第2动态特性模型的创建>

[0099] 接着,对第2动态特性模型的创建方法进行说明。使用在执行模型预测控制之前的调试中取得的控制对象2的振动波形来创建第2动态特性模型。例如,在为了创建第1动态特性模型而执行的调试中,图1所示的激光位移计5、8测量刚停止了伺服电机300的旋转后的工作板3的振动波形。

[0100] 图5是表示振动波形的一例的图。在图5中示出将横轴设为时间、将纵轴设为控制对象2的位置(负载位置)的曲线图。即使伺服电机300的旋转停止,控制对象2的工作板3也振动。工作板3按照与控制对象2对应的振动频率进行振动。因此,控制装置100的模型创建模块130根据振动波形提取振动周期 $T_0'$ ,按照 $f_0=1/T_0'$ 计算振动频率 $f_0$ 。或者,模型创建模块130也可以考虑衰减的影响,按照以下的[数式2]来计算振动频率 $f_0$ 。 $\zeta$ 表示振动的衰减比。

[0101] [数式2]

$$[0102] \quad f_0 = 1/(\sqrt{1 - \zeta^2} T_0')$$

[0103] 模型预测控制模块150使用计算出的振动频率 $f_0$ 来创建第2动态特性模型。表示第2动态特性模型的函数例如用以下的[数式3]的函数 $P_{ML}(s)$ 来表示。在函数 $P_{ML}(s)$ 中, $\omega_0$ 是控制对象2的振动角频率,用 $\omega_0=2\pi f_0$ 来表示。模型预测控制模块150能够使用计算出的振动频率 $f_0$ 来创建由函数 $P_{ML}(s)$ 表示的第2动态特性模型。

[0104] [数式3]

$$[0105] \quad P_{ML}(s) = \frac{\omega_0^2}{s^2 + \omega_0^2}$$

[0106] 表示第2动态特性模型的函数例如可以由以下的[数式4]或者[数式5]的函数 $P_{ML}(s)$ 来表示。

[0107] [数式4]

$$[0108] \quad P_{ML}(s) = \frac{\omega_0^2}{s^2 + 2\zeta\omega_0s + \omega_0^2}$$

[0109] [数式5]

$$[0110] \quad P_{ML}(s) = \frac{2\zeta\omega_0s + \omega_0^2}{s^2 + 2\zeta\omega_0s + \omega_0^2}$$

[0111]  $\zeta$ 使用对数衰减率 $\delta$ ,用 $\zeta = \delta / (\delta^2 + 4\pi^2)^{1/2}$ 表示。对数衰减率 $\delta$ 使用振动波形中连续的2个波的振幅比 $A_{dr}$ 和自然对数 $\ln$ ,用 $\delta = \ln(1/A_{dr})$ 表示。振幅比 $A_{dr}$ 由图5所示的振动波形中连续的2个波的振幅 $A_n$ 、 $A_{n+1}$ 之比 $A_{n+1}/A_n$ 来表示。因此,模型创建模块130从振动波形中提取振幅比 $A_{dr}$ 以及振动频率 $f_0$ ,并能够使用提取出的振幅比 $A_{dr}$ 以及振动频率 $f_0$ 来创建由[数式4]或者[数式5]的函数 $P_{ML}(s)$ 表示的第2动态特性模型。

[0112] 另外,模型预测控制模块150将[数式3]~[数式5]的函数 $P_{ML}(s)$ 变换(Z变换)为离散时间形式,使用变换后的函数 $P_{ML}(z^{-1})$ 进行运算。即,模型预测控制模块150通过向 $y' = P_{ML}(z^{-1}) * u'$ 的变量 $u'$ 输入输入值,运算输出值 $y'$ 。

[0113] <F. 模型预测控制的处理例>

[0114] 在说明模型预测控制的处理例之前,参照图6,对使用了第1动态特性模型 $P_{CM}$ 以及

第2动态特性模型 $P_{ML}$ 的负载位置的运算方法例进行说明。图6是表示使用了第1动态特性模型 $P_{CM}$ 以及第2动态特性模型 $P_{ML}$ 的负载位置的运算方法例的图。

[0115] 如图6所示,模型预测控制模块150通过将操作量 $MV$ 输入到第1动态特性模型 $P_{CM}$ ,能够运算与该操作量 $MV$ 对应的伺服电机300的预测位置(以下,称为“预测电机位置 $YM$ ”)。模型预测控制模块150通过将运算出的预测电机位置输入到第2动态特性模型 $P_{ML}$ ,能够运算与该预测电机位置对应的负载位置(以下,称为“预测负载位置 $YL$ ”)。

[0116] 使用图6所示的运算方法,模型预测控制模块150例如通过以下那样的控制,生成按每个控制周期向伺服驱动器200输出的操作量 $MV$ 。

[0117] 模型预测控制模块150通过向由上述[数式1]的函数 $P_{CM}(z^{-1})$ 表示的第1动态特性模型 $P_{CM}$ 输入到此次的控制周期 $k$ 为止生成的操作量 $MV_k$ 、 $\dots$ 、 $MV_{k-m+1}$ ,来运算控制周期 $k+d+1$ 中的预测电机位置 $YM_{k+d+1}$ 。在此,如上所述, $m$ 是由第1动态特性模型 $P_{CM}$ 规定的次数。另外,控制周期 $k+d+1$ 是从此次的控制周期 $k$ 结束时起到经过了动态特性模型所规定的无用时间 $d+1$ 的控制周期。

[0118] 模型预测控制模块150通过将预测电机位置 $YM_{k+d+1}$ 输入到第2动态特性模型 $P_{ML}$ ,来运算控制周期 $k+d+1$ 中的预测负载位置 $YL_{k+d+1}$ 。

[0119] 如上述那样求出的预测负载位置 $YL_{k+d+1}$ 用于生成下次的控制周期中的操作量 $MV$ 。此时,运算出的数据移位1个控制周期,以为下次的控制周期做准备。例如,如上述那样求出的预测负载位置 $YL_{k+d+1}$ 在下次的控制周期中被用作预测负载位置 $YL_{k+d}$ 。换言之,在此次的控制周期 $k$ 中,在上次的控制周期中运算出的预测负载位置 $YL_{k+d+1}$ 被用作预测负载位置 $YL_{k+d}$ 。模型预测控制模块150通过使用了在上次的控制周期中运算出的该预测负载位置 $YL_{k+d}$ 以及第1动态特性模型 $P_{CM}$ 和第2动态特性模型 $P_{ML}$ 的模型预测控制,生成向伺服驱动器200输出的操作量 $MV_k$ 。

[0120] 作为模型预测控制,可以采用公知的技术。例如,模型预测控制模块150也可以按照以下那样的模型预测控制来生成操作量 $MV_k$ 。

[0121] 模型预测控制模块150在创建第1动态特性模型 $P_{CM}$ 以及第2动态特性模型 $P_{ML}$ 后,进行阶跃响应计算和斜坡响应计算。

[0122] 所谓阶跃响应计算,是求出在输出为0的初始状态下持续最大的输入(阶跃输入)时的动态特性模型(将第1动态特性模型 $P_{CM}$ 以及第2动态特性模型 $P_{ML}$ 组合而得到的模型)的输出 $Ys$ 的计算。在以下的说明中,将从阶跃输入的输入开始起的经过时间 $i$  ( $>$ 无用时间 $d$ )内的输出 $Ys$ 设为 $Ys(i)$ 。

[0123] 所谓斜坡响应计算,是求出在输出为0的初始状态下进行了按照每个控制周期各增加一级的输入(斜坡输入)时的动态特性模型的输出 $Yr$ 的计算。在以下的说明中,将从斜坡输入的输入开始起的经过时间 $i$  ( $>$ 无用时间 $d$ )内的输出 $Yr$ 设为 $Yr(i)$ 。

[0124] 进而,模型预测控制模块150进行将预测负载位置 $YL_{k+d}$ 设为指定状态的自由响应计算。所谓自由响应计算,是在控制周期 $k+d$ 中处于指定状态的动态特性模型中,求出将此次的控制周期 $k$ 以后的输入设为0时的、控制周期 $k+d$ 后的控制周期 $k+d+H$ 中的动态特性模型的输出 $Yf(k+d+H)$ 的计算。

[0125] 模型预测控制模块150将阶跃输出以及斜坡输出的大小分别设为 $ks$ 以及 $kr$ ,按照以下的式子运算控制周期 $k+d$ 后的控制周期 $k+d+H$ 中的动态特性模型的输出 $MH_{k+d+H}$ 。

[0126]  $MH_{k+d+H} = ks * Ys(H) + kr * Yr(H) + Yf(k+d+H)$

[0127] 模型预测控制模块150以使 $MH_{k+d+H}$ 与预测负载位置 $YL_{k+d}$ 的差分 $\Delta MH$ 、和控制周期 $k+d+H$ 中的参考轨道上的位置 $RH_{k+d+H}$ 与预测负载位置 $YL_{k+d}$ 的差分 $\Delta PH$ 一致的方式,求出 $ks$ 和 $kr$ 。参考轨道通过控制周期 $k+d+H$ 中的目标位置 $SP_{k+d+H}$ 和预先确定的参考轨道时间常数 $Tr$ 来确定。为了求出2个变量 $ks$ 和 $kr$ ,设定2个值作为 $H$ 。设定为 $H$ 的2个值是比较控制对象2的振动周期短的时间,例如是振动周期的1/8以及振动周期的1/4。然后,通过求解由该2个值各自的式子构成的联立方程式,来运算变量 $ks$ 、 $kr$ 。

[0128] 模型预测控制模块150生成如上述那样求出的 $ks$ 与阶跃输入的乘积,作为在此次控制周期 $k$ 中向伺服驱动器200输出的操作量 $MV_k$ 即可。

[0129] <G. 处理步骤>

[0130] 接着,对本实施方式的控制装置100进行的电机控制的处理步骤概要进行说明。图7是表示本实施方式的控制装置100所进行的电机控制的处理步骤的流程图。图7所示的步骤也可以通过控制装置100的处理器102执行控制程序(包含图2所示的系统程序110以及用户程序112)来实现。

[0131] 首先,控制装置100使伺服驱动器200执行调试,基于通过调试得到的识别输入以及识别输出,创建第1动态特性模型 $P_{CM}$ (步骤S1)。

[0132] 接着,控制装置100使用调试时所得到的控制对象2的振动波形来创建第2动态特性模型 $P_{ML}$ (步骤S2)。

[0133] 控制装置100使用在步骤S1以及步骤S2中分别创建的第1动态特性模型 $P_{CM}$ 以及第2动态特性模型 $P_{ML}$ 执行模型预测控制,按照每个控制周期,生成向伺服驱动器200输出的操作量 $MV$ (步骤S3)。

[0134] 接着,控制装置100判断是否到达了目标轨道的终点(步骤S4)。在未到达目标轨道的终点的情况下(步骤S4中为“否”的情况下),重复步骤S3的处理。

[0135] 在到达了目标轨道的终点的情况下(在步骤S4中为“是”的情况下),结束模型预测控制。通过以上那样的处理步骤,实现本实施方式的控制装置100的控制。另外,步骤S1~S4的处理分别针对所指定的伺服驱动器200而实施。因此,有时并行地执行针对多个伺服驱动器200的各个伺服驱动器的步骤S1~S4的处理。

[0136] 图8是表示图7所示的步骤S2的子例程的流程图。即,在图8中示出了创建第2动态特性模型的模型创建方法的处理步骤的流程。创建第2动态特性模型的模型创建方法具有:步骤S11,取得控制对象2的振动波形;步骤S12,从振动波形中提取波形参数;以及步骤S13,使用波形参数创建第2动态特性模型。

[0137] <H. 编程例>

[0138] 本实施方式的控制装置100的电机控制能够通过由控制装置100执行的用户程序112中记述命令来执行。以下,对本实施方式的控制装置100的编程的一例进行说明。

[0139] 图9是表示由本实施方式的控制装置100执行的用户程序的命令码的一例的图。图9所示的用户程序112包含2个功能块(以下,也记作“FB(Function Block)”)。第1个功能块是用于规定第1动态特性模型的创建执行的模型自动创建FB 113。上述的模型创建模块130由模型自动创建FB 113实现。第2个功能块是用于规定第2动态特性模型的创建以及模型预测控制的执行的模型预测控制FB 115。上述的模型预测控制模块150由模型预测控制FB

115实现。

[0140] 为了便于说明,一并记载模型自动创建FB 113以及模型预测控制FB 115,但也可以单独使用它们。

[0141] 模型自动创建FB 113包含开始指示113A、采样周期113B、识别输出113C以及扭矩113D作为输入项目。模型自动创建FB 113包含状态113E、识别输入113F以及特性参数113G作为输出项目。

[0142] 开始指示113A例如设定用于开始第1动态特性模型的创建的条件。在图9所示的例子中,关联有与开始条件1对应的触点。在采样周期113B中设定收集识别输入和识别输出的周期。

[0143] 在识别输出113C中,设定作为识别输出而使用的信号。在图9所示的例子中,作为识别输出,设定伺服电机300的测量位置。此外,在用户程序112用变量编程来记述的情况下,设定表示应作为识别输出使用的信号的变量名。

[0144] 在扭矩113D中设定表示扭矩的信号,该扭矩是作为用于创建识别输出大小的反馈值的扭矩。从扭矩113D输出的信号用于决定识别输入的大小,使得在不产生扭矩饱和的范围内能够得到足够大小的识别输出。

[0145] 从状态113E输出表示基于模型自动创建FB 113的处理的执行状态的值。

[0146] 在识别输入113F中,设定作为识别输入而使用的信号。在图9所示的例子中,作为识别输入,设定向伺服驱动器200输出的操作量(即指令值)。此外,在用户程序112用变量编程来记述的情况下,设定表示应作为识别输入而使用的信号的变量名。

[0147] 从特性参数113G输出规定第1动态特性模型的特性参数( $d$ 、 $a_1 \sim a_n$ 、 $b_1 \sim b_m$ )。另外,在用户程序112用变量编程来记述的情况下,也可以设定表示用于保存这些特性参数的结构体的变量名。这些特性参数也可以在模型预测控制FB 115中使用。

[0148] 另一方面,模型预测控制FB 115包含开始指示115A、采样周期115B、目标位置115C、特性参数115D、振动频率115E、振幅比115F作为输入项目。模型预测控制FB 115包含状态115G和操作量115H作为输出项目。

[0149] 在开始指示115A中例如设定用于开始模型预测控制的条件。在图9所示的例子中,关联有与开始条件2对应的触点。

[0150] 在采样周期115B中设定执行基于模型预测控制的运算的控制周期。

[0151] 在目标位置115C中设定规定预先确定的控制对象2的目标轨道的多个目标位置的数据排列。

[0152] 特性参数115D被输入从模型自动创建FB 113的特性参数113G输出的特性参数( $d$ 、 $a_1 \sim a_n$ 、 $b_1 \sim b_m$ )。

[0153] 振动频率115E被输入从预先测量的控制对象2的振动波形中提取出的振动频率 $f_0$ 。振幅比115F被输入从该振动波形中提取的振幅比 $Adr$ 。

[0154] 另外,从状态115G输出表示基于模型预测控制FB 115的处理的执行状态的值。

[0155] 从操作量115H输出通过使用了第1动态特性模型和第2动态特性模型的模型预测控制的执行而生成的操作量MV。第1动态特性模型由输入到特性参数115D的特性参数规定。第2动态特性模型由输入到振动频率115E的振动频率 $f_0$ 以及输入到振幅比115F的振幅比 $Adr$ 中的至少振动频率 $f_0$ 来规定。对伺服驱动器200赋予从操作量115H输出的操作量MV。通

过采用这样的模型预测控制,控制对象2的位置轨道更接近目标轨道。

[0156] 如上所述,在本实施方式的控制装置100中,仅通过使用2个功能块记述用户程序,就能够实现第1动态特性模型和第2动态特性模型的创建、以及使用了所创建的第1动态特性模型和第2动态特性模型的模型预测控制。

[0157] <I. 仿真结果>

[0158] 为了验证本实施方式的控制装置100的效果而进行了仿真。

[0159] 图10是表示电机控制的仿真结果的一例的图。图11是表示电机控制的仿真结果的另一例的图。在图10中示出了作为负载的控制对象的振动频率为9.2Hz、并以100ms使控制对象移动5mm的仿真的结果。在图11中示出了作为负载的控制对象的振动频率为2.75Hz、以300ms使控制对象移动20mm的仿真的结果。

[0160] 在图10和图11中,在左列的(a)中示出将从目标轨道生成的指令值向伺服驱动器输出时的仿真结果。在中列的(b)中示出使用专利文献1所公开的逆特性滤波器来校正指令值、并将校正后的指令值输出到伺服驱动器时的仿真结果。在右列的(c)中示出将按照本实施方式的模型预测控制而生成的操作量MV输出到伺服驱动器时的仿真结果。此外,(a)~(c)中的伺服驱动器的位置控制方式是模型追随型2自由度控制方式,使用相同的控制参数。

[0161] 在图10和图11中,在(a)~(c)的各列的第1段示出目标位置的时间变化、即目标轨道。目标轨道是5次轨道。在第2段,示出目标位置与控制对象2的位置(负载位置)的时间变化。在第3段,示出目标位置与负载位置的偏差的时间变化。在第4段,示出施加于伺服电机的扭矩的时间变化。从第1段到第3段的曲线图的横轴刻度与第4段的曲线图的横轴刻度相同。

[0162] 如图10和图11所示,使用逆特性滤波器时的仿真结果与不校正从目标轨道生成的指令值而输出到伺服驱动器时的仿真结果相比,虽然控制刚开始后的扭矩变大,但示出了几十分之一的振动振幅。使用了本实施方式的模型预测控制的仿真结果与使用逆特性滤波器时的仿真结果相比,虽然控制刚开始后的扭矩进一步变大,但示出了更小的振动振幅。这样,根据本实施方式的控制装置100,确认了起到更好的减振效果。

[0163] 另外,如从第3段的曲线图理解的那样,通过使用本实施方式的模型预测控制,与使用专利文献1所公开的逆特性滤波器的情况相比,目标位置与负载位置的偏差变小。由此,确认到对目标轨道的追随性高。

[0164] <J. 优点>

[0165] 如上所述,本实施方式的控制装置100与驱动用于使控制对象2移动的伺服电机300的伺服驱动器200连接,向伺服驱动器200输出操作量来进行控制对象2的位置控制。控制装置100具有控制单元160,该控制单元160通过进行使用了表示操作量与控制对象2的位置的关系的动态特性模型的模型预测控制,生成向伺服驱动器200输出的操作量。动态特性模型包含表示操作量与伺服电机300的位置(电机位置)的关系的第1动态特性模型、和表示电机位置与控制对象2的位置(负载位置)的关系的第2动态特性模型。第2动态特性模型使用从控制对象2的振动波形中提取出的波形参数来创建。波形参数包含振动频率。

[0166] 控制对象2的振动波形能够使用简易的测量装置(例如激光位移计5、8)进行测量。通过使用简易的测量装置测量控制对象2的振动波形,能够创建表示电机位置与负载位置

的关系的第2动态特性模型。并且,通过组合第1动态特性模型和第2动态特性模型,能够创建表示操作量与负载位置的关系的动态特性模型。通过进行使用了所创建的动态特性模型的模型预测控制来生成操作量,因此能够使负载位置追随目标轨道,并且能够提高负载位置的减振性。

[0167] 波形参数优选还包含振动波形中连续的2个波的振幅比。由此,能够创建由上述的[数式4]或者[数式5]的函数 $P_{ML}(s)$ 表示的第2动态特性模型。其结果,预测负载位置的预测精度提高。

[0168] 控制单元160的模型预测控制模块150通过将到此次的控制周期k为止生成的操作量MV输入到第1动态特性模型,运算从控制周期k的结束时起经过了无用时间d+1的未来的控制周期k+d+1中的预测电机位置 $YM_{k+d+1}$ 。进而,模型预测控制模块150通过将预测电机位置 $YM_{k+d+1}$ 输入到第2动态特性模型,来运算控制周期k+d+1中的预测负载位置 $YL_{k+d+1}$ 。模型预测控制模块150使用该预测负载位置 $YL_{k+d+1}$ 和动态特性模型(第1动态特性模型以及第2动态特性模型),生成在下次的控制周期中向伺服驱动器200输出的操作量MV,使得控制周期k+d+1以后的负载位置与目标轨道的偏差成为最小。由此,能够使负载位置追随目标位置。

[0169] 控制单元160包含:模型创建模块130,其输出规定第1动态特性模型的特性参数;以及模型预测控制模块150,其接收特性参数和波形参数,生成向伺服驱动器200输出的操作量MV。另外,控制装置100包含执行用户程序112的处理器102。模型创建模块130和模型预测控制模块150由用户程序112所规定的功能块实现。由此,能够使用功能块容易地实现模型创建模块130以及模型预测控制模块150。

[0170] <K.变形例>

[0171] <K-1.变形例1>

[0172] 模型预测控制模块为了提高预测负载位置YL的预测精度,也可以从伺服电机300接收反馈值,并使用反馈值来校正预测电机位置YM。

[0173] 图12是表示变形例的控制装置的功能结构的示意图。如图12所示,变形例的控制装置100A与图3所示的控制装置100相比,不同点在于代替控制单元160而具有控制单元160A。控制单元160A与控制单元160相比,不同点在于包含模型预测控制模块150A来代替模型预测控制模块150。

[0174] 模型预测控制模块150A与模型预测控制模块150同样地,使用第1动态特性模型来运算预测电机位置YM,使用第2动态特性模型来运算预测负载位置YL。但是,模型预测控制模块150A与模型预测控制模块150相比,不同点在于,使用伺服电机300的测量位置PVM来校正预测电机位置YM。伺服电机300的测量位置PVM由来自伺服电机300的反馈值确定。

[0175] 以下,对预测电机位置YM的校正方法的具体例进行说明。以下的具体例是创建了由[数式6]的函数 $P_{CM}(z^{-1})$ 表示的第1动态特性模型、并创建了由[数式7]的函数 $P_{ML}(z^{-1})$ 表示的第2动态特性模型的情况下的例子。[数式7]的函数 $P_{ML}(z^{-1})$ 例如通过将[数式5]的函数 $P_{ML}(s)$ 变换为离散时间形式而获得。

[0176] [数式6]

$$[0177] \quad P_{CM}(z^{-1}) = z^{-d} \frac{b_{CM1}z^{-1}}{1+a_{CM1}z^{-1}}$$

[0178] [数式7]

$$[0179] \quad P_{ML}(z^{-1}) = \frac{b_{ML1} + b_{ML2}z^{-1}}{1 + a_{ML1}z^{-1} + a_{ML2}z^{-2}}$$

[0180] 例如,模型预测控制模块150A将此次的控制周期k中的预测电机位置 $YM_k$ 和测量位置 $PVM_k$ 的差分值作为校正量C进行运算。即,校正量C由 $C = PVM_k - YM_k$ 表示。另外,由于在[数式6]的函数 $P_{CM}(z^{-1})$ 中设定了无用时间d,因此此次的控制周期k中的预测电机位置 $YM_k$ 在之前的控制周期k-d-1中被运算出。

[0181] 接下来,模型预测控制模块150A将预测电机位置 $YM_k$ 校正为测量位置 $PVM_k$ ,并且使用校正量C,如以下那样校正从此次的控制周期k起到经过了无用时间d的控制周期k+d为止的预测电机位置 $YM_{k+1} \sim YM_{k+d}$ 。

$$[0182] \quad YM_{k+1} \leftarrow YM_{k+1} + C$$

[0183]     • • •

$$[0184] \quad YM_{k+d} \leftarrow YM_{k+d} + C$$

[0185] 另外,预测电机位置 $YM_{k+1} \sim YM_{k+d}$ 分别在之前的控制周期k-d~控制周期k-1中被运算出。

[0186] 接下来,模型预测控制模块150A通过将校正后的预测电机位置 $YM_{k+d}$ 和在此次的控制周期k中生成的操作量 $MV_k$ 输入到第1动态特性模型,来运算控制周期k+d+1中的预测电机位置 $YM_{k+d+1}$ 。在第1动态特性模型用[数式6]的函数 $P_{CM}(z^{-1})$ 表示的情况下,模型预测控制模块150A按照以下的式子,运算控制周期k+d+1中的预测电机位置 $YM_{k+d+1}$ 即可。

$$[0187] \quad YM_{k+d+1} = -a_{CM1}YM_{k+d} + b_{CM1}MV_k$$

[0188] 如上述那样,模型预测控制模块150A对预测电机位置YM进行校正。另外,模型预测控制模块150A对预测电机位置YM的校正方法并不限于上述的校正方法,也可以使用其他的运算方法。

[0189] 模型预测控制模块150A使用校正后的预测电机位置YM,运算预测负载位置YL。在第2动态特性模型用[数式7]的函数 $P_{ML}(z^{-1})$ 表示的情况下,模型预测控制模块150A按照以下的式子,运算控制周期k+d+1中的预测电机位置 $YM_{k+d+1}$ 即可。

$$[0190] \quad YL_{k+d+1} = -a_{ML1}YL_{k+d} - a_{ML2}YL_{k+d-1} + b_{ML1}YM_{k+d+1} + b_{ML2}YM_{k+d}$$

[0191] 并且,模型预测控制模块150A使用预测负载位置 $YL_{k+d+1}$ 和动态特性模型(第1动态特性模型以及第2动态特性模型),生成在下次的控制周期中向伺服驱动器200输出的操作量MV,使得控制周期k+d+1以后的负载位置与目标轨道的偏差成为最小即可。

[0192] <K-2.变形例2>

[0193] 在上述实施方式中,控制对象2的振动频率和振幅比是从调试时测量出的振动波形中提取的。但是,控制对象2的振动频率 $f_0$ 以及振幅比Adr也可以通过预备实验等预先测量,并保存于控制装置100。在该情况下,模型预测控制模块150通过访问预先存储的数据,读出振动频率 $f_0$ 以及振幅比Adr即可。

[0194] <K-3.变形例3>

[0195] 在上述的实施方式中,使用图9所示的模型自动创建FB 113以及模型预测控制FB 115,执行控制装置100的编程。然而,功能块并不限于图9所示的例子。

[0196] 例如,模型自动创建FB 113也可以包含“振动频率”以及“振幅比”作为输入项目。输入项目“振动频率”被输入振动频率 $f_0$ 。输入项目“振幅比”被输入振幅比Adr。并且,也可

以从模型自动创建FB 113的特性参数113G输出规定将第1动态特性模型 $P_{CM}$ 和第2动态特性模型 $P_{ML}$ 组合而成的动态特性模型 $P_{CM} * P_{ML}$ 的特性参数( $d, a_1 \sim a_n, b_1 \sim b_m$ )。在这种情况下,模型预测控制FB 115的特性参数115D被输入从特性参数113G输出的特性参数( $d, a_1 \sim a_n, b_1 \sim b_m$ )。然后,从模型预测控制FB 115的操作量115H输出考虑由特性参数( $d, a_1 \sim a_n, b_1 \sim b_m$ )规定的动态特性模型 $P_{CM} * P_{ML}$ 而生成的操作量MV。

[0197] 即,由模型自动创建FB 113实现的模型创建模块130接收波形参数(振动频率 $f_0$ 以及振幅比Adr),输出规定将第1动态特性模型 $P_{CM}$ 和第2动态特性模型 $P_{ML}$ 组合而成的动态特性模型 $P_{CM} * P_{ML}$ 的特性参数。通过模型预测控制FB 115实现的模型预测控制模块150接收该特性参数,进行使用了由该特性参数规定的动态特性模型的模型预测控制,由此生成向伺服驱动器200输出的操作量。

[0198] 或者,模型自动创建FB 113也可以包含“负载位置”作为输入项目,包含“振动频率”以及“振幅比”作为输出项目。输入项目“负载位置”被输入由图1所示的激光位移计5、8测量出的控制对象2的测量位置。从输出项目“振动频率”输出从控制对象2的测量位置的时间变化即振动波形中提取的振动频率 $f_0$ 。从输出项目“振幅比”输出从该振动波形中提取的振幅比Adr。从输出项目“振动频率”输出的振动频率 $f_0$ 被输入到模型预测控制FB 115的振动频率115E。从输出项目“振幅比”输出的振幅比Adr被输入到模型预测控制FB 115的振幅比115F。

[0199] 即,由模型自动创建FB 113实现的模型创建模块130输出规定第1动态特性模型的特性参数,并且接收控制对象2的测量位置而输出波形参数(振动频率 $f_0$ 和振幅比Adr)。由模型预测控制FB 115实现的模型预测控制模块150接收该特性参数和波形参数。模型预测控制模块150通过进行使用了由该特性参数规定的第1动态特性模型和使用该波形参数创建的第2动态特性模型的模型预测控制,生成向伺服驱动器200输出的操作量。

[0200] <K-4. 变形例4>

[0201] 在上述实施方式中,控制对象2为2惯性系统。但是,控制对象2也可以为3惯性系统以上。3惯性系统由2个振动表示。因此,第2动态特性模型以串结合2个上述的数学式3~数学式5中的任意一个的形式表示。例如,第2动态特性模型 $P_{ML}$ 使用以下的[数式8]的函数 $P_{ML}(s)$ 来创建。

[0202] [数式8]

$$[0203] \quad P_{ML}(s) = \frac{2\zeta_1\omega_{01}s + \omega_{01}^2}{s^2 + 2\zeta_1\omega_{01}s + \omega_{01}^2} \cdot \frac{2\zeta_2\omega_{02}s + \omega_{02}^2}{s^2 + 2\zeta_2\omega_{02}s + \omega_{02}^2}$$

[0204] 另外,在[数式8]的函数 $P_{ML}(s)$ 中, $\omega_{01}$ 和 $\zeta_1$ 分别表示2个振动中的一方的振动频率和衰减比。 $\omega_{02}$ 和 $\zeta_2$ 分别表示2个振动中的另一方的振动频率和衰减比。

[0205] <L. 附记>

[0206] 如上所述,本实施方式和变形例包含如下的公开。

[0207] (结构1)

[0208] 一种控制装置(100、100A),其与驱动用于使控制对象(2)移动的伺服电机(300、300A、300B)的伺服驱动器(200、200A、200B)连接,向所述伺服驱动器(200、200A、200B)输出操作量来进行所述控制对象(2)的位置控制,

[0209] 该控制装置(100、100A)具有控制单元(160、160A),该控制单元(160、160A)按照每

个控制周期,进行使用了表示所述操作量与所述控制对象(2)的位置的关系的动态特性模型的模型预测控制,由此生成向所述伺服驱动器输出的操作量,

[0210] 所述动态特性模型包含:第1动态特性模型,其表示所述操作量与所述伺服电机的位置的关系;以及第2动态特性模型,其表示所述伺服电机的位置与所述控制对象的位置的关系,

[0211] 所述第2动态特性模型是使用从所述控制对象的振动波形中提取的波形参数而创建的,

[0212] 所述波形参数包含振动频率。

[0213] (结构2)

[0214] 在结构1所记载的控制装置(100、100A)中,

[0215] 所述波形参数还包含所述振动波形中连续的2个波的振幅比。

[0216] (结构3)

[0217] 在结构1或2所记载的控制装置(100、100A)中,

[0218] 所述控制单元(160)将到此次的控制周期为止生成的操作量输入到所述第1动态特性模型,由此运算所述伺服电机(300、300A、300B)的预测位置,

[0219] 所述控制单元(160)将所述伺服电机(300、300A、300B)的预测位置输入到所述第2动态特性模型,由此运算从所述此次的控制周期的结束时起经过了所述动态特性模型所规定的无用时间的未来的控制周期中的所述控制对象的预测位置,

[0220] 所述控制单元(160)使用所述控制对象的预测位置和所述动态特性模型,生成在下次的控制周期中向所述伺服驱动器(200、200A、200B)输出的操作量,使得所述未来的控制周期以后的所述控制对象的位置与目标轨道的偏差成为最小。

[0221] (结构4)

[0222] 在结构1或2所记载的控制装置(100A)中,

[0223] 所述控制单元(160A)基于来自所述伺服电机的反馈值,对所述伺服电机(300、300A、300B)的预测位置进行校正。

[0224] (结构5)

[0225] 在结构1或2所记载的控制装置(100、100A)中,

[0226] 所述控制单元(160、160A)包含:

[0227] 输出单元(130),其输出规定所述第1动态特性模型的特性参数;以及

[0228] 生成单元(150),其接收所述特性参数和所述波形参数,生成向所述伺服驱动器输出的所述操作量。

[0229] (结构6)

[0230] 在结构1或2所记载的控制装置(100、100A)中,

[0231] 所述控制单元(160、160A)包含:

[0232] 输出单元(130),其接收所述波形参数,输出规定将所述第1动态特性模型和所述第2动态特性模型组合而成的所述动态特性模型的特性参数;以及

[0233] 生成单元(150),其接收所述特性参数,生成向所述伺服驱动器输出的所述操作量。

[0234] (结构7)

- [0235] 在结构1或2所记载的控制装置(100、100A)中,
- [0236] 所述控制单元(160、160A)包含:
- [0237] 输出单元(130),其输出规定所述第1动态特性模型的特性参数,并且接收所述控制对象的位置而输出所述波形参数;以及
- [0238] 生成单元(150),其接收所述特性参数和所述波形参数,生成向所述伺服驱动器输出的所述操作量。
- [0239] (结构8)
- [0240] 在结构5~7中的任意一项所记载的控制装置(100、100A)中,
- [0241] 所述控制装置(100、100A)包含执行用户程序的处理器(102),
- [0242] 所述输出单元(130)和所述生成单元(150)通过所述用户程序所规定的功能块(113、115)来实现。
- [0243] (结构9)
- [0244] 一种模型创建方法,其创建结构1~8中的任意一项所述的所述控制装置(100、100A)所使用的所述第2动态特性模型,该模型创建方法具有以下步骤:
- [0245] 取得所述控制对象的振动波形;
- [0246] 从所述振动波形中提取波形参数;以及
- [0247] 使用所述波形参数来创建所述第2动态特性模型,
- [0248] 所述波形参数包含振动频率。
- [0249] (结构10)
- [0250] 一种控制程序(112),其在控制装置(100、100A)中执行,该控制装置(100、100A)与驱动用于使控制对象(2)移动的伺服电机(300、300A、300B)的伺服驱动器(200、200A、200B)连接,向所述伺服驱动器(200、200A、200B)输出操作量来进行所述控制对象(2)的位置控制,
- [0251] 所述控制程序(112)使所述控制装置(100、100A)执行以下步骤:
- [0252] 创建表示所述操作量与所述伺服电机(300、300A、300B)的位置的关系的第1动态特性模型;
- [0253] 使用从所述控制对象(2)的振动波形中提取出的波形参数,创建表示所述伺服电机(300、300A、300B)的位置与所述控制对象(2)的位置的关系的第2动态特性模型;以及
- [0254] 按照每个控制周期,进行使用了所述第1动态特性模型和所述第2动态特性模型的模型预测控制,由此生成向所述伺服驱动器(200、200A、200B)输出的操作量,
- [0255] 所述波形参数包含振动频率。
- [0256] 对本发明的实施方式进行了说明,但应该认为此次公开的实施方式在所有方面都是例示而不是限制性的。本发明的范围由权利要求书表示,意在包含与权利要求书等同的意思以及范围内的所有变更。
- [0257] 标号说明
- [0258] 1:控制系统;2:控制对象;3:工作板;4:第1底板;5、8:激光位移计;6、9:滚珠丝杠;7:第2底板;100、100A:控制装置;101:现场总线;102:处理器;104:芯片组;106:主存储器;108:闪存;110:系统程序;110A:模型创建库;110B:模型预测控制库;112:用户程序;112A:序列程序;112B:运动程序;113:模型自动创建FB;113A、115A:开始指示;113B、115B:采样周

期;113C:识别输出;113D:扭矩;113E、115G:状态;113F:识别输入;113G、115D:特性参数;115:模型预测控制FB;115C:目标位置;115E:振动频率;115F:振幅比;115H:操作量;115I:预测误差;116:外部网络控制器;118:存储卡接口;120:存储卡;122:内部总线控制器;124:现场总线控制器;126:I/O单元;130:模型创建模块;140:轨道生成模块;150、150A:模型预测控制模块;160、160A:控制单元;200、200X、200Y:伺服驱动器;300、300X、300Y:伺服电机;400:第1模型对象;402:第2模型对象。

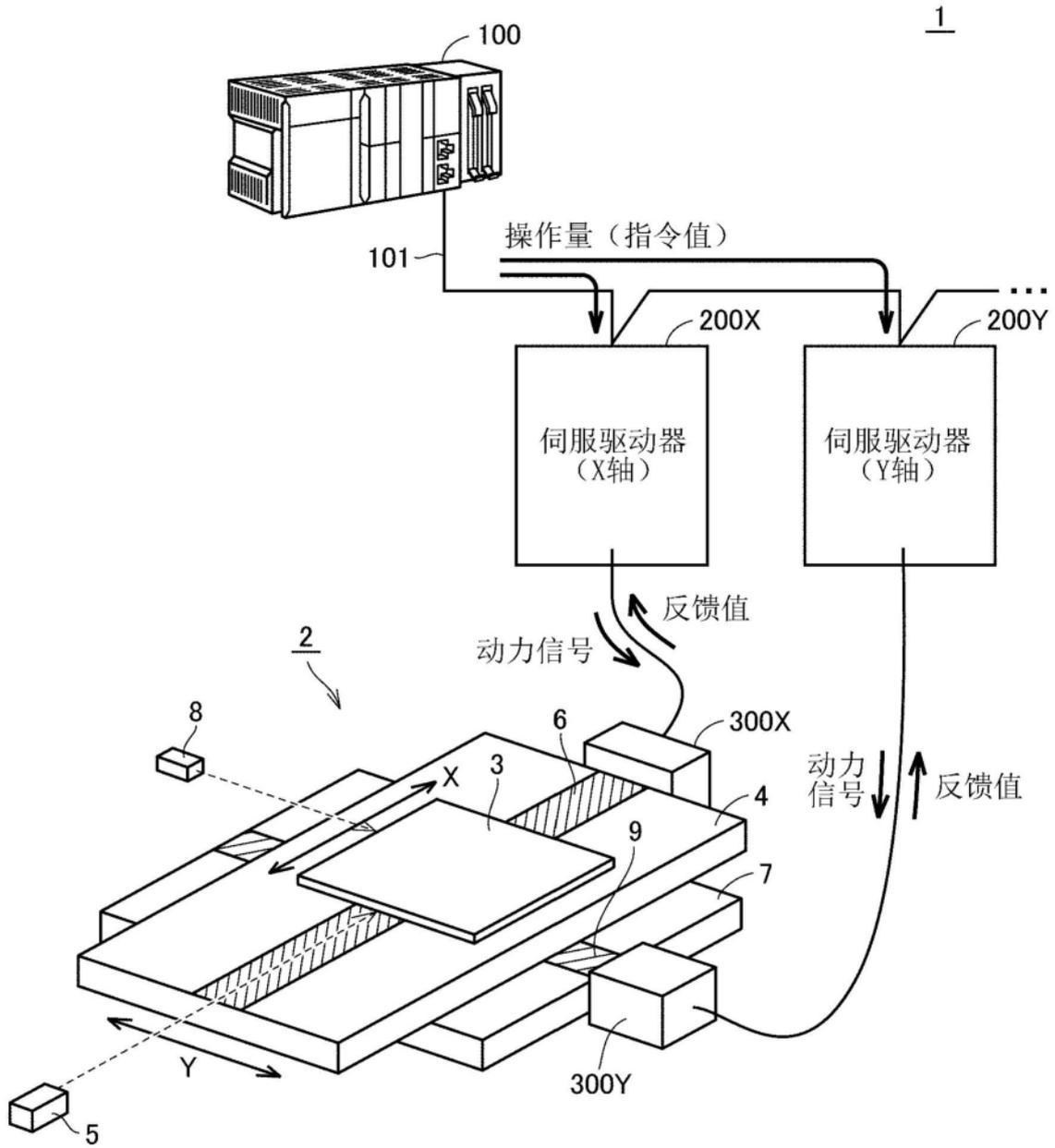


图1

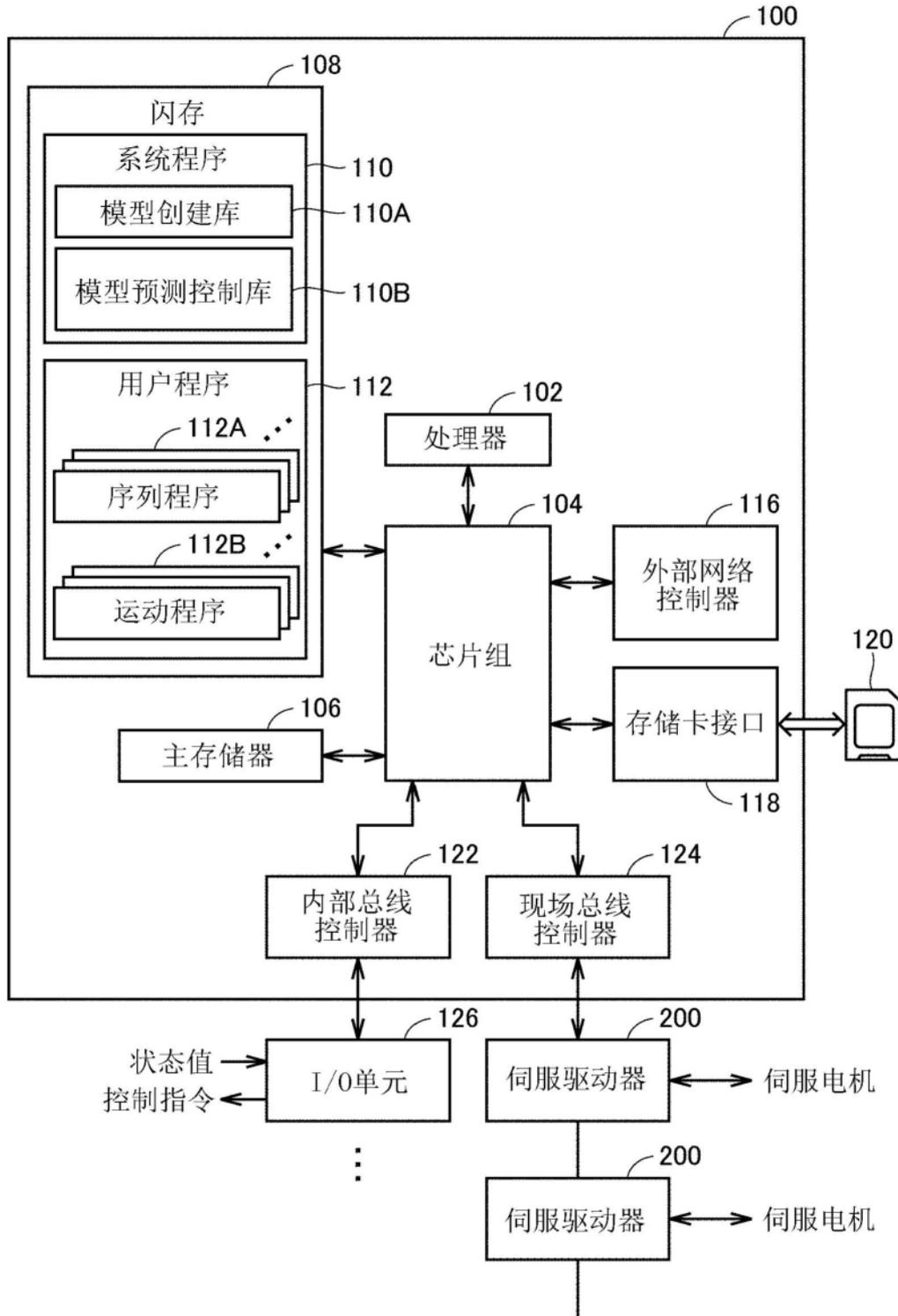


图2

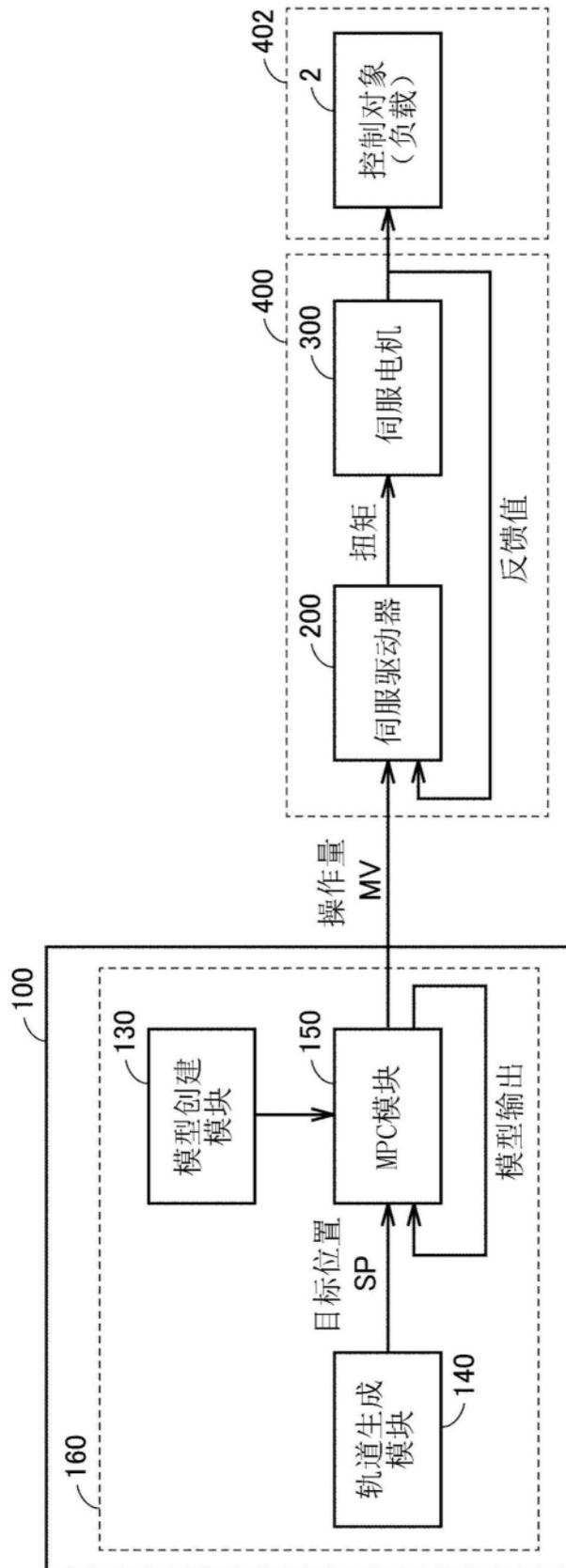


图3

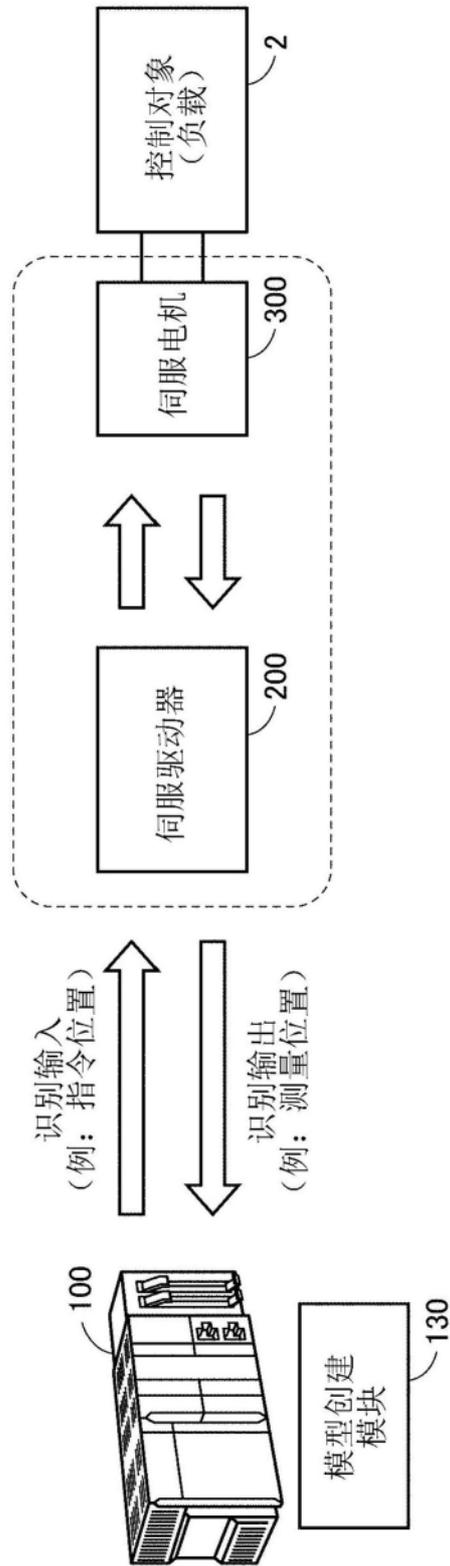


图4

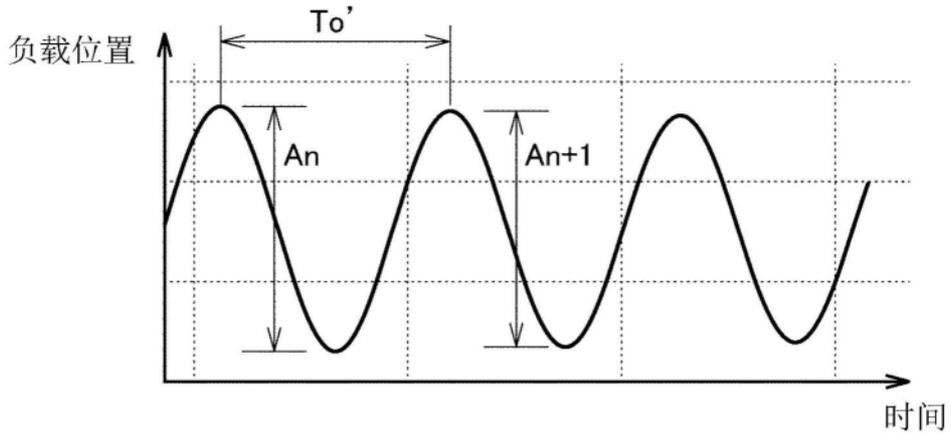


图5

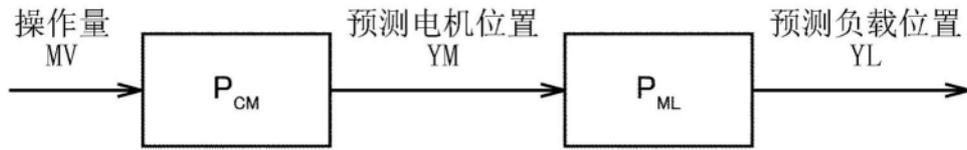


图6

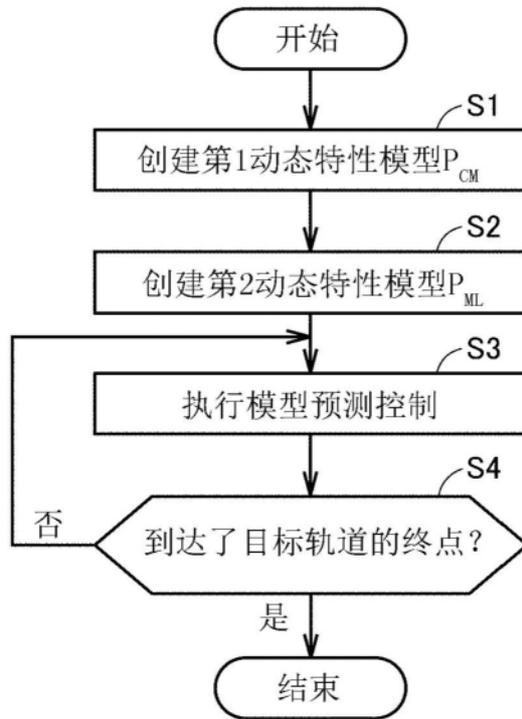


图7

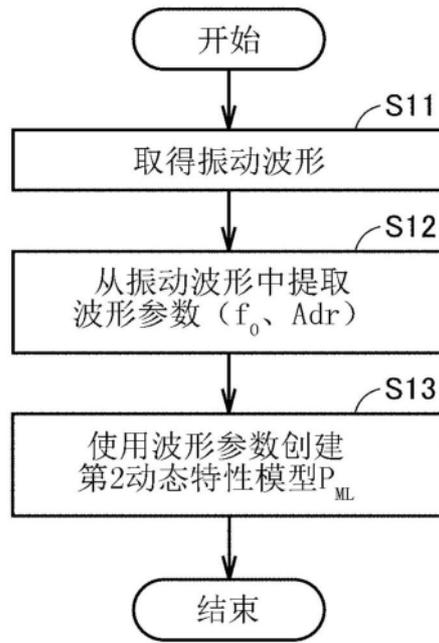


图8

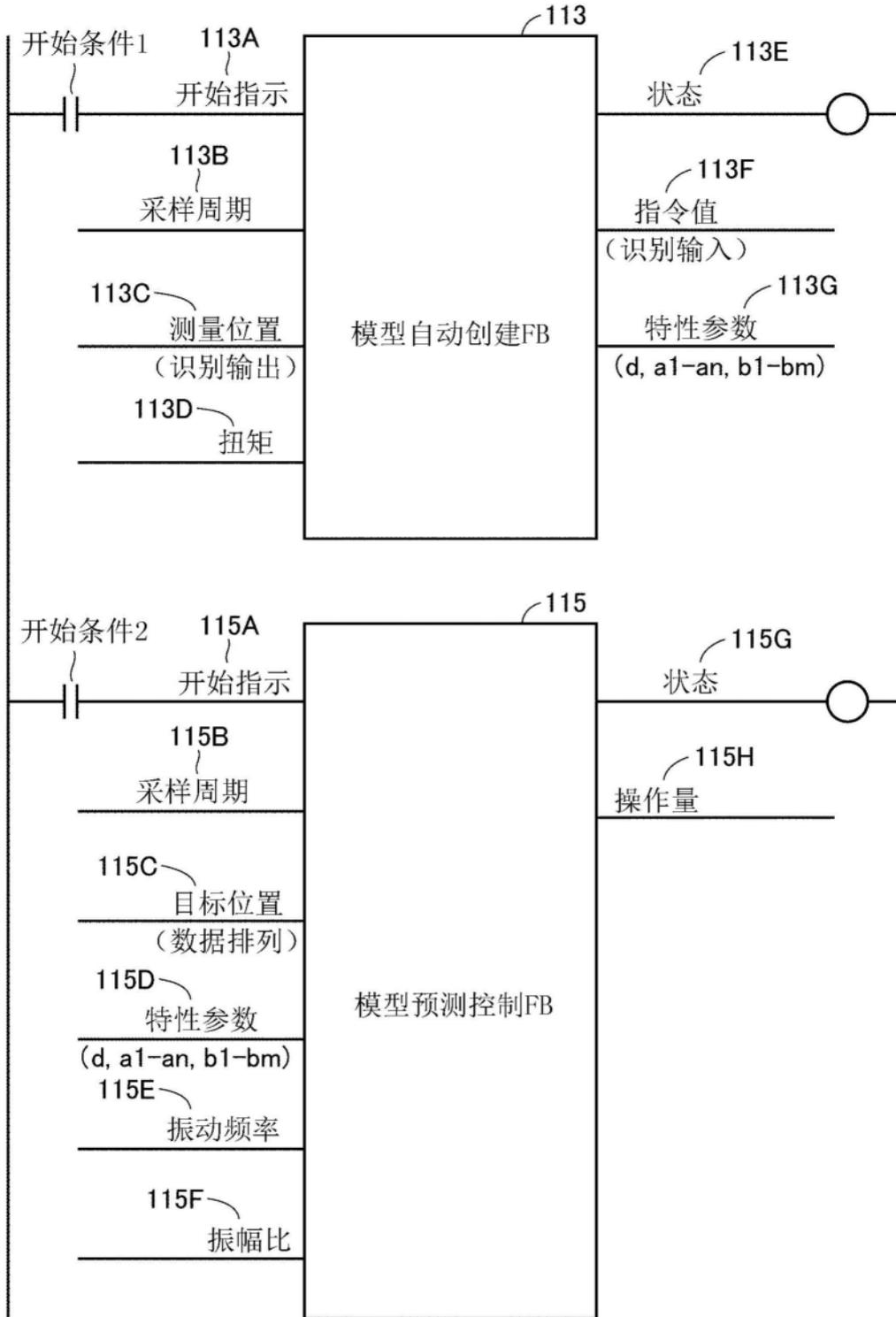


图9

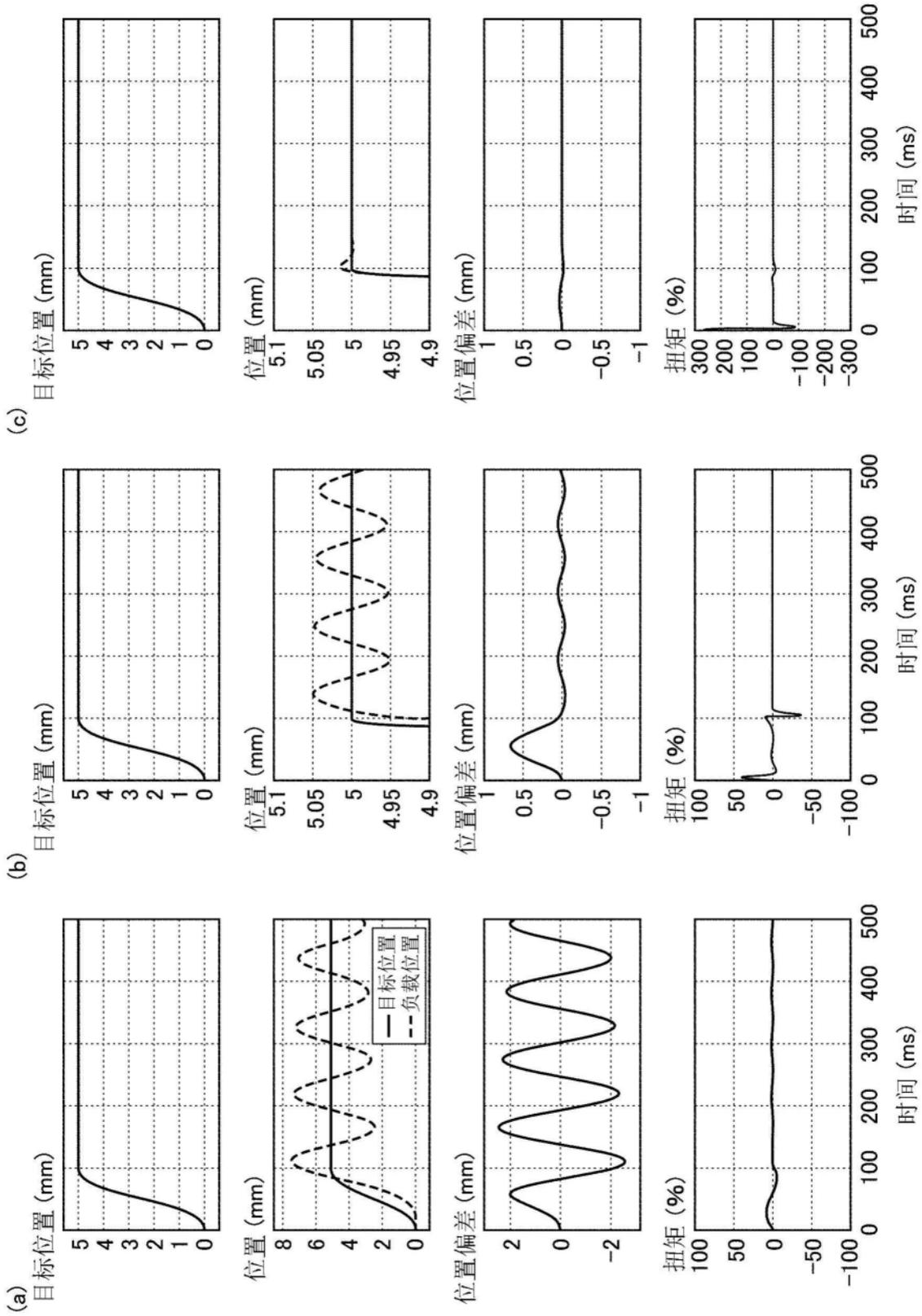


图10

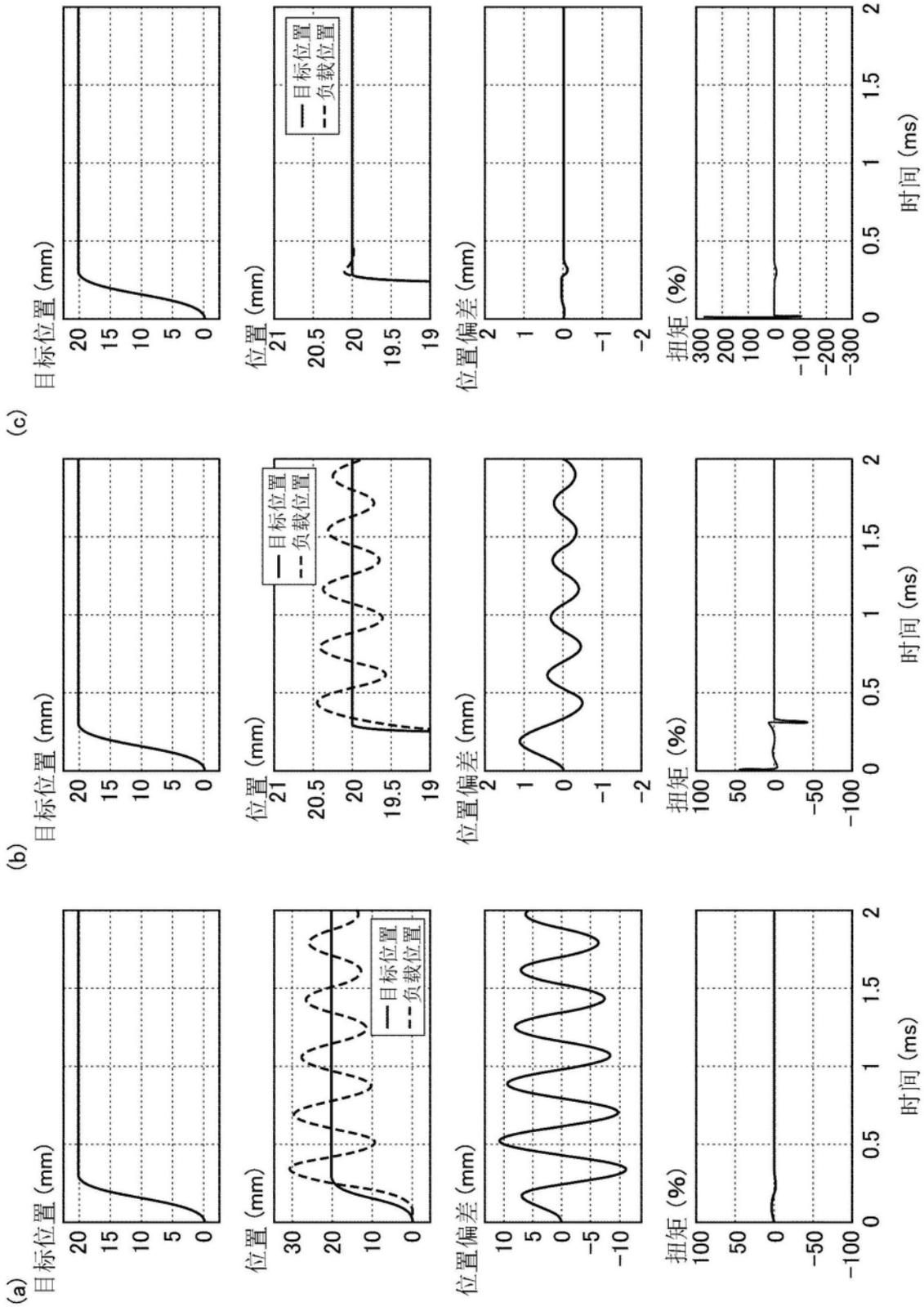


图11

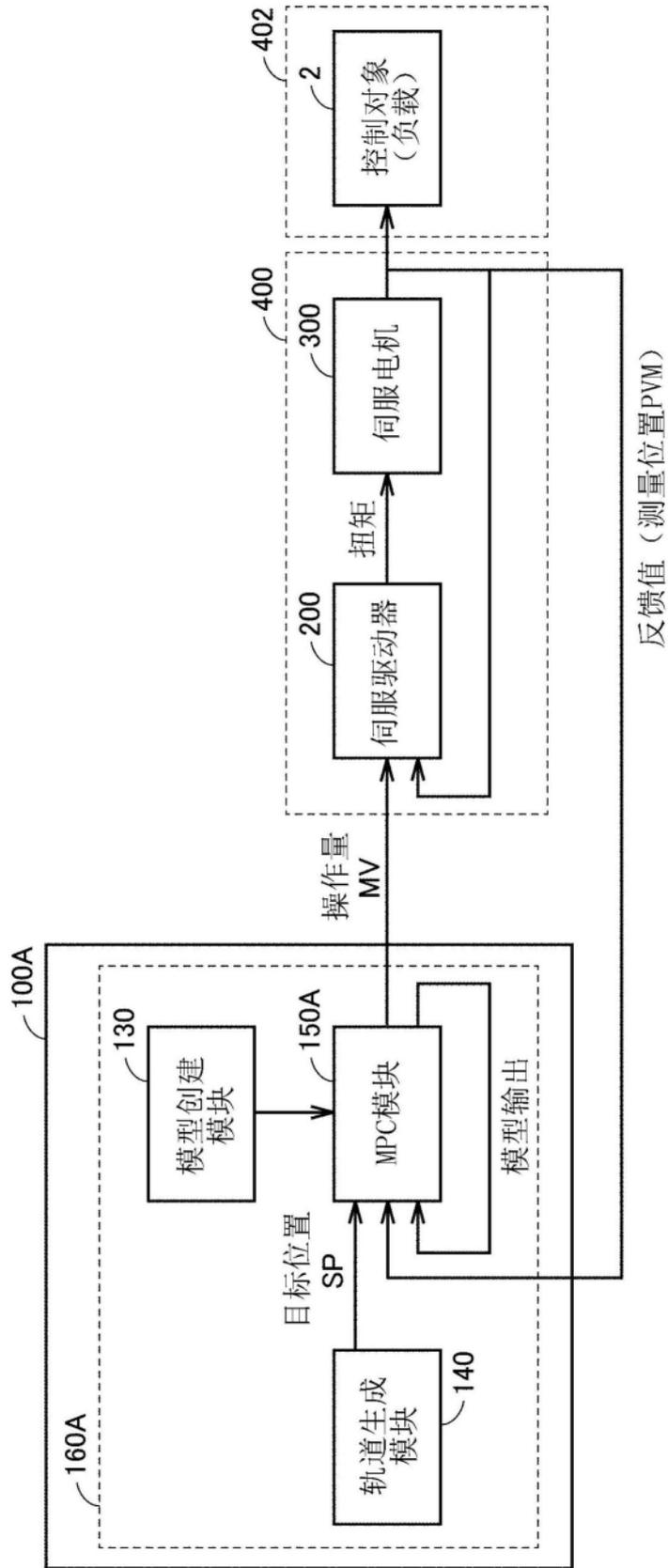


图12