



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116547164 A

(43) 申请公布日 2023. 08. 04

(21) 申请号 202180081292.4

(74) 专利代理机构 北京银龙知识产权代理有限公司 11243

(22) 申请日 2021.11.30

专利代理师 许静 范胜杰

(30) 优先权数据

2020-201959 2020.12.04 JP

(51) Int.Cl.

B60L 15/20 (2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2023.06.02

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2021/043765 2021.11.30

(87) PCT国际申请的公布数据

W02022/118822 JA 2022.06.09

(71) 申请人 株式会社日立制作所

地址 日本东京都

(72) 发明人 国广直希 初濂涉 金泽友美

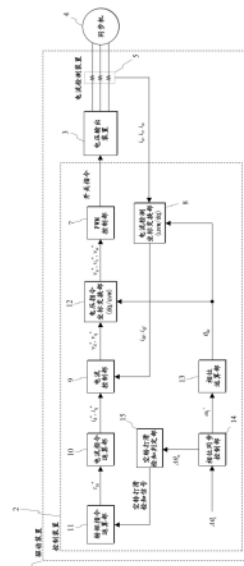
权利要求书3页 说明书13页 附图19页

(54) 发明名称

旋转电机的驱动装置、驱动方法以及铁道车辆

(57) 摘要

在搭载旋转电机的铁道车辆中,具有:电压输出装置,其为了在空转或打滑时也使控制系统稳定化,并且提前检知空转或打滑,而向旋转电机输出驱动电压;电流检测器,其检测在旋转电机中流动的电流;以及控制装置,其推定运算旋转电机的转子的角速度,控制装置为了将在旋转电机的加减速中成为用于推定运算角速度的输入的状态量中产生的稳定偏差抑制为大致零,而运算对该状态量进行校正的补偿值,在补偿值超过规定值的情况下,检知由旋转电机驱动的驱动轮的空转或打滑。



1. 一种旋转电机的驱动装置,其特征在于,具有:
电压输出装置,其向旋转电机输出驱动电压;
电流检测器,其检测在所述旋转电机中流动的电流;以及
角速度推定功能,对所述旋转电机的转子的角速度进行推定运算,
所述控制装置为了将在所述旋转电机的加减速中成为用于推定运算所述角速度的输入的状态量中产生的稳定偏差抑制为大致零,运算对该状态量进行校正的补偿值,在所述补偿值超过规定值的情况下,检知出由所述旋转电机驱动的驱动轮的空转或打滑。

2. 根据权利要求1所述的旋转电机的驱动装置,其特征在于,
当检知到所述空转或所述打滑时,所述控制装置缩小针对所述旋转电机的转矩指令值。

3. 根据权利要求1或2所述的旋转电机的驱动装置,其特征在于,
所述旋转电机是同步电动机,
所述状态量是表示所述转子的相位与由所述控制装置推定的所述转子的相位推定值之差的相位偏差推定值,

所述控制装置对所述相位偏差推定值加上作为用于将在所述同步电动机的加减速中稳定地产生的该相位偏差推定值的所述稳定偏差抑制为大致零的所述补偿值而运算出的相位偏差补偿值,根据加上了该相位偏差补偿值而得的所述相位偏差推定值来运算所述角速度推定值,并且根据所述相位偏差补偿值来检知由所述同步电动机驱动的驱动轮的空转或打滑。

4. 根据权利要求1或2所述的旋转电机的驱动装置,其特征在于,
所述旋转电机是感应电动机,
所述状态量是在所述感应电动机中流动的电流的电流检测值,
所述控制装置对所述电流检测值与电流指令值的电流偏差加上作为用于将在所述感应电动机的加减速中稳定地产生的该电流偏差的所述稳定偏差抑制为大致零的所述补偿值而运算出的电流偏差补偿值,根据加上了该电流偏差补偿值而得的所述电流偏差来运算所述角速度推定值,并且根据所述电流偏差补偿值来检知由所述感应电动机驱动的驱动轮的空转或打滑。

5. 根据权利要求1~4中任一项所述的旋转电机的驱动装置,其特征在于,
所述控制装置使用于检知所述空转或所述打滑的判定阈值根据针对所述旋转电机的转矩指令值而可变,随着该转矩指令值的增加而设定得高,随着该转矩指令值的减少而设定得低。

6. 根据权利要求1~5中任一项所述的旋转电机的驱动装置,其特征在于,
所述控制装置使用于检知所述空转或所述打滑的判定阈值根据所述角速度推定值、所述旋转电机的频率和搭载所述旋转电机的铁道车辆的车辆速度中的任一个而可变,随着所述角速度推定值、所述频率和所述车辆速度中的任一个的增加而设定得高,随着所述角速度推定值、所述频率和所述车辆速度中的任一个的减少而设定得低。

7. 根据权利要求1~6中任一项所述的旋转电机的驱动装置,其特征在于,
所述控制装置使用于检知所述空转或所述打滑的判定阈值根据搭载所述旋转电机的铁道车辆的乘客的乘坐率而可变,随着所述乘坐率的增加而设定得高,随着所述乘坐率的

减少而设定得低。

8. 根据权利要求1~7中任一项所述的旋转电机的驱动装置,其特征在于,

所述控制装置使用于检知所述空转或所述打滑的判定阈值根据天气信息而可变,在晴天的情况下设定得高,在雨天或降雪的情况下设定得低。

9. 根据权利要求1~8中任一项所述的旋转电机的驱动装置,其特征在于,

所述控制装置使用于检知所述空转或所述打滑的判定阈值根据表示列车编组内的搭载所述旋转电机的铁道车辆的号车和行进方向的编组内位置信息而可变,在所述编组内位置信息相对于列车的行进方向位于前头侧的情况下设定得低,在所述编组内位置信息相对于列车的行进方向位于后方侧的情况下设定得高。

10. 根据权利要求1~9中任一项所述的旋转电机的驱动装置,其特征在于,

所述控制装置通过上下限限制器输出所述补偿值。

11. 根据权利要求10所述的旋转电机的驱动装置,其特征在于,

所述控制装置根据权利要求5至9中任一项所述的所述判定阈值来设定所述上下限限制器的上下限值。

12. 一种铁道车辆,其特征在于,

搭载了权利要求1~11中任一项所述的旋转电机的驱动装置。

13. 一种旋转电机的驱动方法,是对向旋转电机输出驱动电压的电压输出装置进行控制的控制装置的驱动方法,其特征在于,

所述驱动方法具有:在控制所述电压输出装置的输出电压时,推定运算所述旋转电机的转子的角速度的步骤,

在所述步骤中包含:

第一步骤,为了将在所述旋转电机的加减速中成为用于推定运算所述角速度的输入的状态量中产生的稳定偏差抑制为大致零而运算对该状态量进行校正的补偿值;以及

第二步骤,在所述补偿值超过规定值的情况下,检知由所述旋转电机驱动的驱动轮的空转或打滑。

14. 根据权利要求13所述的旋转电机的驱动方法,其特征在于,

所述旋转电机的驱动方法具有若检知到所述空转或所述打滑则缩小所述旋转电机的转矩指令值的步骤。

15. 根据权利要求13或14所述的旋转电机的驱动方法,其特征在于,

在所述旋转电机是同步电动机的情况下,所述状态量是表示所述转子的相位与所述转子的相位推定值之差的相位偏差推定值,

在所述第一步骤中包含:

为了将在所述同步电动机的加减速中稳定地产生的所述相位偏差推定值的所述稳定偏差抑制为大致零,运算相位偏差补偿值作为所述补偿值的步骤;

将所述相位偏差补偿值与所述相位偏差推定值相加的步骤;以及

根据加上了所述相位偏差补偿值而得的所述相位偏差推定值来运算所述角速度推定值的步骤。

16. 根据权利要求13或14所述的旋转电机的驱动方法,其特征在于,

在所述旋转电机是感应电动机的情况下,所述状态量是在所述感应电动机中流动的电

流的电流检测值，

在所述第一步骤中包含：

为了将在所述感应电动机的加减速中稳定地产生的、所述电流检测值与电流指令值的电流偏差的所述稳定偏差抑制为大致零，运算电流偏差补偿值作为所述补偿值的步骤；

将所述电流偏差补偿值与所述电流偏差相加的步骤；以及

根据加上了所述电流偏差补偿值而得的所述电流偏差来运算所述角速度推定值的步骤。

17. 根据权利要求13~16中任一项所述的旋转电机的驱动方法，其特征在于，

关于所述第二步骤，设置用于检知该空转或该打滑的判定阈值，使该判定阈值根据所述转矩指令值、所述角速度推定值、所述旋转电机的频率和搭载所述旋转电机的铁道车辆的车辆速度中的任一个、搭载所述旋转电机的铁道车辆的乘客的乘坐率、天气信息以及表示列车编组内的搭载所述旋转电机的铁道车辆的号车和行进方向的编组内位置信息中的至少任一个而可变。

18. 根据权利要求17所述的旋转电机的驱动方法，其特征在于，

在所述第一步骤中包含：接着所述补偿值的运算，通过具有根据所述判定阈值设定的上下限值的限制器输出该补偿值的步骤。

旋转电机的驱动装置、驱动方法以及铁道车辆

技术领域

[0001] 本发明涉及旋转电机的驱动装置、驱动方法以及搭载了该旋转电机的铁道车辆。

背景技术

[0002] 铁道车辆通过旋转电机的转矩使作为驱动轮的车轮旋转,作为车轮踏面从轨道受到的反作用力,通过在车轮产生的切向力使车辆加速。

[0003] 该切向力根据表示车轮与轨道间的粘着状态的切向力系数 μ 而变动,在车轮的转矩与切向力相比变得过大的情况下,在使车辆加速的力较小的状态下,仅使车轮旋转的力变大,结果,产生车轮的空转或打滑(以下,简称为“空转打滑”)。特别是,在雨天时、降雪时,粘着系数大幅降低,因此,容易产生空转打滑。

[0004] 在该空转打滑扩大的情况下,还产生车辆的加减速性能降低的问题、因切向力大幅变动而产生车身振动从而使乘坐舒适性降低的问题。因此,迅速地检知在车轮与轨道之间产生的空转打滑,缩小旋转电机的转矩,由此使车轮再粘着于轨道的空转再粘着控制被广泛使用。

[0005] 在该空转打滑时,旋转电机的转子的角速度骤变,因此,还存在无传感器控制容易不稳定化的课题,要求使控制系统稳定化并且提前检知空转打滑的技术。针对该课题,提出了各种改良技术。

[0006] 例如,在专利文献1中公开了如下技术:即使不使用速度传感器,另外即使在各感应电动机的相对速度小的情况下,为了能够进行感应电动机的驱动轴的空转或打滑的检知等,也根据控制装置的频率指令值的时间变化(微分值)来计算加速度推定值 α_i ,在判断为超过了规定阈值的情况下,判定为产生了空转打滑。

[0007] 在专利文献2中公开了如下技术:为了能够降低由 γ 、 δ 轴电流、机械系统的振动引起的加速度推定的延迟,进而空转打滑控制的延迟,将与永磁同步电动机的位置误差推定值成比例的项和与位置误差推定值成比例的项的微分值相加来运算加速度推定值。

[0008] 在专利文献3中公开了如下技术:针对空转时等的速度骤变,为了兼顾抑制因在稳定时控制增益过大导致控制变得不稳定,并且在过渡时提高失步的耐量这2点,根据旋转相位角误差使无传感器控制增益可变。

[0009] 现有技术文献

[0010] 专利文献

[0011] 专利文献1:日本特开2004-80936号公报

[0012] 专利文献2:专利第5515885号公报

[0013] 专利文献3:日本专利第5908205号公报

发明内容

[0014] 发明要解决的课题

[0015] 本申请发明人等以空转打滑的检知单元的进一步的高速化为目的进行了深入研

究,结果得到了如下见解。

[0016] 关于专利文献1所记载的技术,以无速度传感器的方式,根据对多台感应电动机进行并行驱动的控制装置的频率指令值的时间变化(微分值)来计算加速度推定值 α_i 。但是,如专利文献1的段落[0027]所记载的那样,为了去除噪声,在对计算出的输出频率进行了将3Hz以下作为通带的低通滤波器(LPF)运算之后,进行一阶微分,由此,计算加速度推定值 α_i 。存在因该低通滤波器运算,空转打滑的检知延迟的课题。

[0017] 关于专利文献2所记载的技术,提出了如下方法:对永磁同步电动机的位置误差推定值进行微分,计算加速度推定值,降低空转打滑的检知延迟。该方法与一般常用的根据频率的微分值计算加速度推定值的方法一样,是根据微分处理来计算加速度的结构,需要用于使微分值的振动平滑化的处理(低通滤波器等)。因此,如专利文献2的段落[0028]至[0031]所记载的那样,作为振动降低对策部54、55而构成时间常数 T_a 、 T_b 的低通滤波器,因此,存在因该低通滤波器的影响而无法充分改善空转打滑的检知的延迟的课题。

[0018] 关于专利文献3所记载的技术,提出了如下方法:为了在速度的骤变时使无传感器控制稳定化,推定的相位偏差的绝对值越大,越是使无传感器控制增益大幅变化。但是,即使在稳定时能够以稳定的增益进行动作,其结果是,在相位偏移扩大的状态下在增大无传感器控制增益时也可能不稳定化。本来,希望设为即使在空转时那样的以高的加速度下速度变化时,也能够稳定地追随无位置传感器控制那样的控制系统。

[0019] 根据以上,若考虑使控制系统稳定化并且提前检知空转打滑,则如专利文献1、专利文献2那样,在对频率推定值、位置误差推定值使用了微分处理的情况下,微分值具有振动性,因此,需要一并设置使微分值中包含的振动分量充分衰减的低通滤波器的处理,难以改善空转打滑的检知的延迟。并且,如专利文献3那样,在过渡性地提高无传感器控制增益的方法中,也存在控制不稳定化的可能性。

[0020] 因此,本发明是考虑上述的点而完成的,其目的在于提供一种技术,在无传感器控制的速度推定值中设置对加速度分量引起的偏差量进行补偿的项,以在空转打滑时无传感器控制不会不稳定化,并且,根据该补偿量的大小,在不使用微分处理的情况下,检知空转打滑,由此,使控制系统稳定化,并且实现空转打滑检知的高速化。

[0021] 用于解决课题的手段

[0022] 为了解决该课题,代表性的本发明的旋转电机的驱动装置之一具有:电压输出装置,其向旋转电机输出驱动电压;电流检测器,其对在旋转电机中流动的电流进行检测;以及控制装置,其对旋转电机的转子的角速度进行推定运算,控制装置为了将在旋转电机的加减速中成为用于对角速度进行推定运算的输入的状态量中产生的稳定偏差抑制为大致零,而运算对该状态量进行校正的补偿值,在补偿值超过规定值的情况下,检知由旋转电机驱动的驱动轮的空转或打滑。

[0023] 发明效果

[0024] 根据本发明,例如能够使由铁道车辆所搭载的旋转电机驱动的驱动轮的空转打滑时的控制系统稳定化,并且实现空转打滑的检知的高速化。

[0025] 上述以外的课题、结构以及效果通过以下的用于实施的方式中的说明而变得明确。

附图说明

- [0026] 图1是表示实施方式1的旋转电机的驱动装置的功能块的一例的图。
- [0027] 图2是表示铁道车辆用的台车的概略构成的图。
- [0028] 图3是表示铁道车辆用的车辆和动轮轴的运动方程式的功能块的一例的图。
- [0029] 图4是表示车轮与轨道间的滑移速度与切向力系数的关系的图。
- [0030] 图5是表示铁道车辆的动力运行/再生时的空转打滑的图。
- [0031] 图6是表示在铁道车辆的加减速中产生的相位偏差的图。
- [0032] 图7是表示在转子相位与控制的相位推定值之间产生了相位偏差的情况下的电流矢量的图。
- [0033] 图8是表示实施方式1的相位同步控制部的功能块的一例的图。
- [0034] 图9是表示恒速时相位偏差收敛部的功能块的一例的图。
- [0035] 图10是表示加减速时相位偏差收敛部的功能块的一例的图。
- [0036] 图11是表示追加了加减速时相位偏差收敛部进行的补偿后的效果的一例的图。
- [0037] 图12是表示在空转产生时通过加减速时相位偏差收敛部的输出来检知空转的方法的图。
- [0038] 图13是表示空转打滑检知判定部的功能块的一例的图。
- [0039] 图14是表示用于检知空转打滑的以往的结构与本发明的结构的比较的图。
- [0040] 图15是表示作为实施方式1的变形例的相位同步控制部的功能块的一例的图。
- [0041] 图16是表示作为实施方式1的变形例的恒速时相位偏差收敛部的功能块的一例的图。
- [0042] 图17是表示作为实施方式1的变形例的加减速时相位偏差收敛部的功能块的一例的图。
- [0043] 图18是表示将实施方式1应用于感应机的驱动装置的情况下的频率推定控制部的功能块的一例的图。
- [0044] 图19是表示频率推定控制部内的恒速时q轴电流偏差收敛部的功能块的一例的图。
- [0045] 图20是表示频率推定控制部内的加减速时q轴电流偏差收敛部的功能块的一例的图。
- [0046] 图21是表示实施方式2的旋转电机的驱动装置的功能块的一例的图。
- [0047] 图22是表示实施方式2的空转打滑检知判定部的功能块的一例的图。
- [0048] 图23是表示实施方式3的旋转电机的驱动装置的功能块的一例的图。
- [0049] 图24是表示实施方式3的空转打滑检知判定部的功能块的一例的图。
- [0050] 图25是表示实施方式3的加减速时相位偏差收敛部的功能块的一例的图。
- [0051] 图26是表示设置于加减速时相位偏差收敛部的上下限限制器的有无的效果的比较的图。

具体实施方式

- [0052] 以下,作为用于实施本发明的方式,分别按照附图对实施方式1~3进行详细说明。
- [0053] 在各实施方式中,参照符号相同的部件表示为相同的构成要件或具有类似的功能

的构成要件。另外,在后述的实施方式中,有时省略与已出现的实施方式相同或类似的构成要件的说明。

[0054] [实施方式1]

[0055] 图1是表示本发明的实施方式1的旋转电机的驱动装置的功能块的一例的图。

[0056] 在图1中,仅表示实施方式1所需的最小限度的功能块,关于由IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)等驱动用晶体管、二极管等功率器件构成的电力变换器以及针对该电力变换器的控制结构,以作为电压输出装置3的框图表示,省略详细的图示。

[0057] 另外,作为旋转电机,在图1中是使用了同步机4的结构,但也可以如后述的图18至图20所示,是同步机以外的感应机等。

[0058] 如图1所示,在驱动装置1中,电压输出装置3根据来自控制装置2的开关指令,经由驱动电路以及主电路(未图示,但包含在电压输出装置3中),将3相交流电压施加到同步机4。

[0059] 在同步机4中,通过来自电压输出装置3的3相交流电压的施加而流过驱动电流,产生旋转转矩。

[0060] 电流检测器5由霍尔CT(Current Transformer)等构成,分别检测流过同步机4的U相、V相以及W相的3相电流 i_u 、 i_v 以及 i_w 的波形。但是,不一定需要通过电流检测器5检测3相全部的电流,也可以构成为检知3相中的任意2相,而对于剩余的1相,假定为3相电流处于平衡状态而通过运算求出。

[0061] 在控制装置2中安装有用于对作为负载而连接的同步机4进行驱动控制的控制程序。以下,对控制装置2具有的各构成要素的功能方式进行说明。

[0062] 转矩指令运算部11根据来自上位装置的运转指令,输出转矩指令值 τ_m^* 。

[0063] 电流指令运算部10对转矩指令值 τ_m^* 输出用于得到规定的转矩的dq轴的电流指令值 i_d^* 、 i_q^* 。

[0064] 电流检测坐标变换部8使用控制装置2识别的d轴推定相位 θ_{dc} 将由电流检测器5检测出的同步机4的3相电流 i_u 、 i_v 以及 i_w 变换为旋转坐标系的dq坐标,作为dq轴电流检测值(i_{df} 以及 i_{qt})输出到电流控制部9。

[0065] 在电流控制部9中,为使电流检测坐标变换部8输出的dq轴电流检测值与电流指令运算部10输出的dq轴电流指令值的电流偏差为零而通过PI(Proportional-Integral)控制等生成dq电压指令值 v_d^* 、 v_q^* 并输出。

[0066] 电压指令坐标变换部12使用电流控制部9输出的dq轴电压指令值和d轴推定相位 θ_{dc} ,输出3相交流电压指令值 v_u^* 、 v_v^* 以及 v_w^* 。

[0067] PWM控制部7根据电压指令坐标变换部12输出的3相交流电压指令值 v_u^* 、 v_v^* 以及 v_w^* ,向电压输出装置3输出PWM电压(Pulse Width Modulation)的开关指令。

[0068] 相位同步控制部14根据相位偏差信息 $\Delta\theta_c$,以使该相位偏差信息 $\Delta\theta_c$ 为零的方式输出角速度推定值 ω_1^{\wedge} 。与此同时,输出加减速度对应相位偏差补偿量 $\Delta\theta_a$,详情后述。

[0069] 此外,相位偏差信息 $\Delta\theta_c$ 表示相位推定值 θ_{dc} 与同步机4的转子相位 θ_d 之差。在此,相位偏差信息 $\Delta\theta_c$ 可以是通过对无传感器控制的相位偏差的推定值 $\Delta\theta_{est}$ 、虽然省略了图示,但也可以是使用旋转变压器(resolver)等的相位检测值 θ_r 的信息,运算与相位推定值 θ_{dc} 的差分而作为相位偏差信息 $\Delta\theta_c$ 的结构中的任一个。

[0070] 另外,作为求出相位偏差推定值 $\Delta \theta_{\text{est}}$ 的方法,例如使用在低速域中根据叠加了高频电压时的高频电流检测值进行推定的方法、在高速域中使用旋转电机的感应电压进行推定的方法。

[0071] 空转打滑检知判定部15根据从相位同步控制部14输出的加减速度对应相位偏差补偿量 $\Delta \theta_a$,进行空转打滑的检知判定,将空转打滑检知信号输出到转矩指令运算部11。转矩指令运算部11在接收到空转打滑检知信号时,迅速地缩小转矩指令值 τ_m^* ,由此,使在作为驱动轮的车轮与轨道之间产生的空转打滑收敛,使车轮再粘着于轨道。

[0072] 相位运算部13对从相位同步控制部14输出的角速度推定值 ω_1^{\wedge} 进行积分处理,输出相位推定值 θ_{dc} 。

[0073] 以下,对铁道车辆中的空转打滑和再粘着控制进行说明。

[0074] 图2是表示铁道车辆用的台车的概略构成的图。

[0075] 在台车31安装有同步机4,同步机4的转子轴30经由接头34向小齿轮32传递动力。通过由小齿轮32和大齿轮33构成的减速齿轮使车轴35旋转,使与车轴35连接的车轮27旋转。关于车轮27,作为车轮踏面从轨道36受到的反作用力,通过在车轮27产生的切向力,将力传递至台车31而使车辆加速。

[0076] 图3是表示车辆和1动轮轴的运动方程式的功能块的图。

[0077] 通过马达转矩,考虑基于作为驱动轮的车轮与轨道间的切向力系数 μ 的粘着,用框图表示车身与马达的运动方程式。使车轮旋转的力由车轮转矩与切向力转矩之差决定,使车辆加速的力由切向力与行驶阻力之差决定,它们根据切向力系数 μ 而变化。

[0078] 图4是表示车轮与轨道间的滑移(slip)速度与切向力系数 μ 的关系的图。

[0079] 切向力系数 μ 根据作为车轮圆周速度与车身速度之差的滑移速度而变化。另外,雨天时,相对于晴天时,切向力系数 μ 降低,容易产生空转打滑。另外,已知切向力系数 μ 除了雨天,还根据轨道面上的油分、落叶、尘埃而变化,还根据车辆速度而变化。

[0080] 图5是表示铁道车辆的动力运行/再生时的空转打滑的图。

[0081] 如图4所示,在因雨天等的影响而切向力系数 μ 降低的情况下,在使图3的车辆加速的力小的状态下,仅使车轮旋转的力变大,滑移速度增加。在此基础上,在超过图4所示的切向力系数 μ 的拐点的情况下,产生空转。切向力系数 μ 相对于滑移速度具有负的斜率,因此,若一旦产生空转,则空转就会向扩大的方向持续增加。以上是关于动力运行时,但在再生时,如图5所示,同样地产生打滑。

[0082] 在该空转打滑扩大的情况下,还产生使车辆的加减速度降低的问题、因切向力大幅变动而使图3所示的车辆加速的力大幅变动,产生车身振动而使乘坐舒适性降低的问题。因此,需要通过迅速地检知在车轮与轨道之间产生的空转打滑并缩小旋转电机的转矩,来使车轮再粘着于轨道。

[0083] 以下,对在铁道车辆的加减速度中产生的相位偏差进行说明。

[0084] 图6是表示在车辆的加减速度中产生的相位偏差的图。

[0085] 首先,对在加减速度时产生的相位偏差 $\Delta \theta$ 进行说明。将相位偏差 $\Delta \theta$ 作为同步机4的转子相位 θ_d 与控制的相位推定值 θ_{dc} 的偏差,由下式(数学式1)定义。其中, s 是拉普拉斯算子, ω_r 是同步机4的转子角速度。

[0086] [数学式1]

$$\begin{aligned} \Delta\theta &= \theta_{dc} - \theta_d \\ [0087] \quad &= (\hat{\omega}_1 - \omega_r) \cdot \frac{1}{s} \end{aligned}$$

[0088] 接着,列举通过一般的PI控制构成相位同步控制部14的情况为例进行说明。若将相位同步控制部14中的比例增益、积分增益分别设为 K_p 、 K_I ,则能够基于相位偏差信息 $\Delta\theta_c$,通过下式(数学式2)计算角速度推定值 $\hat{\omega}_1$ 。

[0089] [数学式2]

$$[0090] \quad \hat{\omega}_1 = \left(K_p + \frac{K_I}{s} \right) \cdot (-\Delta\theta_c)$$

[0091] 同步机4的转子角速度 ω_r 能够根据马达转矩 τ_m 和惯性力矩 J 通过下式(数学式3)计算。在此, P_m 设为同步机4的极对数。另外,为了简化说明,惯性力矩 J 作为从图3所示的马达轴观察时合成了基于车辆质量、切向力系数 μ 的粘着的等效的惯性力矩来处理。在车轮与轨道间粘着的状态下,惯性力矩 J 大,在车轮与轨道间产生了空转打滑的情况下,作为从马达轴观察时惯性力矩 J 看起来小来处理。

[0092] [数学式3]

$$[0093] \quad \omega_r = \frac{\tau_m \cdot P_m}{J \cdot s}$$

[0094] 通过(数学式1)到(数学式3),相位偏差 $\Delta\theta$ 由下式(数学式4)表示。

[0095] [数学式4]

$$[0096] \quad \Delta\theta = \left\{ \left(K_p + \frac{K_I}{s} \right) \cdot (-\Delta\theta_c) - \frac{\tau_m \cdot P_m}{J \cdot s} \right\} \cdot \frac{1}{s}$$

[0097] 若假定由控制装置2识别的相位偏差信息 $\Delta\theta_c$ 与相位偏差 $\Delta\theta$ 一致,则成为下式(数学式5)。

[0098] [数学式5]

$$[0099] \quad \Delta\theta = - \frac{\tau_m \cdot P_m}{J \cdot (s^2 + K_p \cdot s + K_I)}$$

[0100] 在马达输出转矩 τ_m 而进行加减速运转的情况下,相位偏差 $\Delta\theta$ 稳定地成为以下(数学式6)那样。

[0101] [数学式6]

$$[0102] \quad \lim_{s \rightarrow 0} (\Delta\theta) = - \frac{\tau_m \cdot P_m}{J \cdot K_I}$$

[0103] 即,在通过一般的PI控制构成了相位同步控制部14的情况下,如使用(数学式1)至(数学式6)说明的那样,根据转矩 τ_m 、惯性力矩 J 以及积分增益 K_I ,在加减速运转时稳定地残留图6所示那样的推定相位偏差 $\Delta\theta$ ($= -(\tau_m \cdot P_m) / (J \cdot K_I)$)。

[0104] 从(数学式6)可知,在积分增益 K_I 充分大,加减速缓慢的情况下,相位偏差 $\Delta\theta$ 也小。但是,在空转打滑那样的条件下,等效的惯性力矩 J 变小,只要不减小转矩,则产生较大的相位偏差 $\Delta\theta$ 。

[0105] 图7是表示在转子相位(θ_d)与控制的相位推定值(θ_{dc})之间产生了相位偏差 $\Delta\theta$ 的

情况下的电流矢量的图。

[0106] 将同步机4的转子的基准相位设为d轴,将控制装置2推定的转子的基准相位设为dc轴,在产生了相位偏差 $\Delta\theta$ 的情况下,以成为电流指令值 i_d^* 、 i_q^* 的方式进行电流控制,但实际流过的电流成为 i_d 、 i_q ,相对于转矩指令值 τ_m^* ,马达实际输出的转矩 τ_m 具有较大的误差。

[0107] 这样,除了控制的不稳定化,还导致转矩精度的降低,因此,不限于空转打滑时那样的以高加速度进行速度变化的状态,优选在粘着状态下的通常的加减速时也不产生与加速度对应的相位偏差 $\Delta\theta$ 。

[0108] 以下,对成为本发明的要点的如下结构进行说明:在基于空转产生的速度骤变时也使控制系统稳定化,并且以空转打滑检知的高速化为目的,在无传感器控制中设置对加速度分量引起的偏差量进行补偿的项,使用对该加速度分量进行补偿的项的输出值,在不使用微分处理的情况下检知空转打滑。

[0109] 图8是表示实施方式1的相位同步控制部14的功能块的一例的图。

[0110] 相位同步控制部14由在恒速时能够将相位偏差收敛为零的恒速时相位偏差收敛部20和在加减速中能够将相位偏差收敛的加减速时相位偏差收敛部21构成。

[0111] 加减速时相位偏差收敛部21将成为相位偏差信息 $\Delta\theta_c$ 与相位偏差目标值之差的相位偏差量(补偿前) $\Delta\theta_{c0}$ 作为输入,输出加减速量对应相位偏差补偿量 $\Delta\theta_a$ 。

[0112] 恒速时相位偏差收敛部20将作为相位偏差量(补偿前) $\Delta\theta_{c0}$ 与加减速量相位偏差补偿量 $\Delta\theta_a$ 的相加值的相位偏差量(补偿后) $\Delta\theta_c'$ 作为输入,输出角速度推定值 ω_1^{\wedge} 。

[0113] 图9是表示上述的恒速时相位偏差收敛部20的功能块的一例的图。成为使用了比例增益 K_P 和积分增益 K_I 的PI控制。

[0114] 图10是表示上述的加减速时相位偏差收敛部21的功能块的一例的图。构成为通过积分增益 K_{II} 进行积分。

[0115] 为了不产生(数学式6)所示的加减速中的相位的稳定偏差,如实施方式1那样,如下式(数学式7)所示,由相位同步控制部14根据相位偏差 $\Delta\theta_c$ 运算角速度推定值 ω_1^{\wedge} 的传递函数的阶数由二阶以上构成即可。

[0116] [数学式7]

$$[0117] \quad \omega_1' = \left(K_P + \frac{K_I}{s} \right) \left(1 + \frac{K_{II}}{s} \right) (-\Delta\theta_c)$$

[0118] 与(数学式5)一样,若针对实施方式1中的相位偏差 $\Delta\theta'$ 整理式子,则成为下式(数学式8)。

[0119] [数学式8]

$$[0120] \quad \Delta\theta' = - \frac{\tau_m \cdot P_m}{J \cdot \left\{ s^2 + K_P \cdot s + K_I + \frac{K_{II}}{s} (K_P \cdot s + K_I) \right\}}$$

[0121] 在车辆进行加减速运转的情况下,稳定地产生的相位偏差 $\Delta\theta'$ 能够如下式(数学式9)那样收敛为零。

[0122] [数学式9]

$$[0123] \quad \lim_{s \rightarrow 0} (\Delta\theta') = 0$$

[0124] 此时,在加减速时相位偏差收敛部21中,以 K_{II}/s 使(数学式6)的相位偏差 $\Delta\theta$ 的稳定偏差为零的方式输出补偿量地进行动作,因此,输出(加减速量对应相位偏差补偿量) $\Delta\theta_\alpha$ 成为下式(数学式10)的关系。

[0125] [数学式10]

$$[0126] \quad \Delta\theta_\alpha = \frac{K_{II}}{s} = \frac{\tau_m \cdot P_m}{J \cdot K_I}$$

[0127] 图11是表示追加了加减速时相位偏差收敛部21进行的补偿后的效果的一例的图。

[0128] 通过加减速时相位偏差收敛部21的输出即加减速量对应相位偏差补偿量 $\Delta\theta_\alpha$,如图11所示,能够使加减速中的相位的稳定偏差收敛为零。即使在产生空转打滑而加减速速度变高的情况下,也能够防止相位偏差的扩大,能够防止控制不稳定化、转矩精度的降低。

[0129] 该加减速时相位偏差收敛部21的输出即加减速量对应相位偏差补偿量 $\Delta\theta_\alpha$ 在转矩 τ_m 、积分增益 K_I 已知的情况下,从马达轴观察时,根据包含车辆质量、切向力系数 μ 的等效的惯性力矩 J 而变化。

[0130] 发明人等着眼于该加减速时相位偏差收敛部21的输出即加减速量对应相位偏差补偿量 $\Delta\theta_\alpha$,由此,发现能够在不使用微分处理的情况下,根据相位的偏差信息得到与加速度相当的信息,设计了根据该信息来检知空转打滑的方法。

[0131] 图12是表示在空转产生时通过加减速时相位偏差收敛部的输出来检知空转的方法的图。

[0132] 相对于通常的粘着状态下的相位偏差 $\Delta\theta$,在空转时,惯性力矩 J 看起来急剧变小,因此,由(数学式10)表示的加减速时相位偏差收敛部21的输出值的 $\Delta\theta_\alpha$ 也增加。

[0133] 图13是表示空转打滑检知判定部15的功能块的一例的图。

[0134] 在相位同步控制部14输出的加减速量对应相位偏差补偿量 $\Delta\theta_\alpha$ 超过了在通常的粘着状态下设想的相位偏差的加速度分量的判定值(空转判定阈值或者打滑判定阈值)的情况下,视为产生了空转打滑,将空转打滑检知信号输出到转矩指令运算部11。

[0135] 在此,空转判定阈值或打滑判定阈值设定为比粘着状态下的加减速时的补偿量大且根据相位偏差信息中包含的振动分量不会误检知的程度。

[0136] 图14是表示用于检知空转打滑的以往的结构与本发明的结构的比较的图。

[0137] 以下,以图14为基础记载以往与本发明的结构/效果的差异。

[0138] <以往的结构>

[0139] 在之前的专利文献1所记载的以往的方式中,一般常用如下结构:在通过以往的相位同步控制部16的PI控制等实施积分处理而计算出频率推定值之后,通过微分处理对该频率推定值进行微分,由此,计算加速度推定值(dfr/dt)。

[0140] 这样的方式在通过PI控制实施了积分处理($1/s$)之后,实施微分处理(s),因此,可知即使考虑运算处理本身也存在改善的余地,可知能够在不使用微分处理的情况下提取加速度分量。

[0141] 另外,以往的相位同步控制部16具有截止频率,因此,也无法避免空转打滑的检知延迟的问题。并且,在为了计算加速度而使用了微分处理的情况下,作为噪声对策,需要设

置之前的专利文献1、专利文献2那样的低通滤波器处理,空转打滑的检知变慢是显而易见的。

[0142] <本发明的结构/效果>

[0143] 另一方面,在本发明中,是提取运算频率推定值之前的相位偏差推定值 $\Delta \theta_{est}$ 的加速度分量来检知空转打滑的结构。因此,与以往的结构相比,能够提前检知空转打滑。

[0144] 并且,即使在产生空转打滑而以高的加速度进行了速度变化的情况下,也通过加减速时相位偏差收敛部21的输出 $\Delta \theta_q$ 来补偿基于加速度的相位偏差 $\Delta \theta$,因此,除了空转打滑的检知的高速化,还能够得到使空转打滑产生时的无传感器控制稳定化的效果。

[0145] 另外,即使在未产生空转打滑的粘着状态下,也抑制(数学式6)所示的相位偏差 $\Delta \theta$,因此,不会产生使用图7说明的那样的相位偏差的转矩误差,也能够得到无传感器控制的稳定化、改善转矩精度的效果。

[0146] 另一方面,如之前的专利文献3那样,如果增大无传感器控制增益,则从(数学式6)可知,能够减小该相位偏差 $\Delta \theta$ 。但是,因控制装置的运算周期、电压输出的延迟、电流检测的延迟的关系,增大增益存在极限,在仅增大增益的方法中,存在控制不稳定化的可能性。

[0147] 并且,能够不需要图14所示的以往的结构、之前的专利文献1、专利文献2所记载的那样的仅用于空转打滑检知的微分处理(加速度运算),还能够得到降低搭载于控制装置2的微机的运算负荷的效果。

[0148] 以上是以往技术与本发明的结构/效果的差异。

[0149] 接着,对实施方式1的变形例进行说明。

[0150] 图15是表示作为实施方式1的变形例的相位同步控制部14a的功能块的一例的图,图16是表示相位同步控制部14a内的恒速时相位偏差收敛部20a的功能块的一例的图,图17是表示相位同步控制部14a内的加减速时相位偏差收敛部21a的功能块的一例的图。

[0151] 相位同步控制部14a与图8所示的相位同步控制部14不同,相位偏差量(补偿前) $\Delta \theta_{c0}$ 被并行地输入到恒速时相位偏差收敛部20a以及加减速时相位偏差收敛部21a。此时,加减速时相位偏差收敛部21a与图10不同,如图17所示,通过设置 $1/s$ 的平方项,将根据相位偏差 $\Delta \theta_c$ 运算角速度推定值 $\hat{\omega}_1$ 的传递函数的分母的阶数设为二阶。由此,能够得到抑制加减速时的相位偏差 $\Delta \theta$ 的效果。

[0152] 如果将传递函数的分母的阶数设为二阶以上,则能够得到一样的效果,因此,只要包含二阶以上的项,则阶数可以是任意阶,相位同步控制部14不一定限定于之前的图8至图10、或者图15至图17所示的结构。

[0153] 另外,即使在使用基于旋转变压器等的相位检测值 θ_r 的信息来运算与相位推定值 θ_{dc} 的差分作为相位偏差信息 $\Delta \theta_c$ 而构成相位同步控制部14的情况下,在车辆的加减速中也同样地残留有稳定偏差,因此,即使是带旋转变压器的控制、带速度传感器的控制的结构也能够应用。

[0154] 在以上说明的实施方式1中,作为旋转电机,以同步机4为例进行了说明,但并不限定于同步机,也能够应用于感应机那样的其他旋转电机。

[0155] 图18是表示将实施方式1应用于感应机的驱动装置的情况下的频率推定控制部40的功能块的一例的图,图19是表示频率推定控制部40内的恒速时q轴电流偏差收敛部41的功能块的一例的图,图20是表示频率推定控制部40内的加减速时q轴电流偏差收敛部42的

功能块的一例的图。

[0156] 例如,在构成为根据q轴电流指令值与q轴电流检测值的偏差量来推定转子的角速度的情况下,作为加减速时q轴电流偏差收敛部42,也构成为补偿基于加速度的q轴电流偏差量。即,如果构成为根据加减速时q轴电流偏差收敛部42的输出即加减速量对应q轴电流偏差补偿量 $\Delta i_{q-\alpha}$ 来检知空转打滑,则能够得到使速度推定控制稳定化并且提前检知空转打滑的效果。

[0157] 在图18至图20所示的结构中,也与(数学式6)一样,在不施加加速度量的补偿的情况下,残留下式(数学式11)的偏差量,补偿量与(数学式10)一样,成为下式(数学式12)。

[0158] [数学式11]

$$[0159] \quad \lim_{s \rightarrow 0} (i_q^* - i_{qf}) = -\frac{\tau_m \cdot P_m}{J \cdot K_t}$$

[0160] [数学式12]

$$[0161] \quad \Delta i_{q-\alpha} = \frac{K_{Hl}}{s} = \frac{\tau_m \cdot P_m}{J \cdot K_t}$$

[0162] 即,如果构成为,无论旋转电机的种类如何,在旋转电机的加减速中,为了将在角速度推定值的运算的输入中使用的状态量(在同步机的情况下为转子的推定相位,在感应机的情况下为在该感应机中流动的电流)中产生的偏差量抑制为大致零,而输出对该状态量进行校正的补偿值,在该补偿值超过了规定值的情况下检知空转打滑,则能够得到本发明的效果。

[0163] 如上所述,实施方式1的旋转电机的驱动装置具有:电压输出装置3,其向同步机4输出电压;以及控制装置2,其根据转矩指令值 τ_m^* 来控制电压输出装置3的输出电压,控制装置2具有:相位同步控制部14,其根据转子的相位偏差信息输出角速度推定值 ω_1^{\wedge} 。相位同步控制部14具有:加减速时相位偏差收敛部21,其抑制加减速时的推定相位的稳定偏差,具有:空转打滑检知判定部15,其根据该加减速时相位偏差收敛部21的输出来检知由同步机4驱动的车轮的空转打滑状态。由此,即使在空转打滑时也能够使控制系统稳定化,并且实现空转打滑检知的高速化。另外,在感应机的情况下,通过将相位偏差置换为q轴电流偏差,也得到一样的效果。

[0164] [实施方式2]

[0165] 本发明的实施方式2与之前的实施方式1相比,不同点在于,使由空转打滑检知判定部15检知空转打滑的判定阈值根据车辆的动作状态、周围环境而可变。

[0166] 由此,即使在旋转电机的动作、周围环境(转矩、乘坐率、天气、编组状态以及行驶阻力)变化的情况下,也能够设定适当的空转打滑判定阈值,与实施方式1相比,能够防止空转打滑的误检知,并且能够使空转打滑的检知进一步高速化。

[0167] 图21是表示实施方式2的旋转电机的驱动装置的功能块的一例的图。

[0168] 在实施方式2中,向空转打滑检知判定部15输入转矩指令值 τ_m^* 、乘坐率信息、天气信息、编组内位置信息以及角速度推定值 ω_1^{\wedge} ,使空转打滑判定阈值可变。

[0169] 图22是表示实施方式2的空转打滑检知判定部15的功能块的一例的图。

[0170] (1)关于转矩(转矩指令值 τ_m^*)

[0171] 从(数学式10)可知,例如,如果转矩 τ_m 变小,则加减速也变低,通常的粘着状态

下的补偿量 $\Delta \theta_q$ 也变小。即,通过调整为在转矩指令值 τ_m^* 变大的情况下提高判定阈值,在转矩指令值 τ_m^* 变小的情况下降低判定阈值,能够对转矩的状态设置适当的判定阈值,能够防止空转打滑的误检知,并且能够实现更进一步的高速的检知。

[0172] (2)关于乘坐率信息

[0173] 从图3可知,切向力($=\mu \cdot W \cdot g$)与施加于每1轴的重量W成比例。重量W根据乘客的乘坐率而变化,因此,例如在乘坐率变低的情况下,容易空转打滑,因此,降低判定阈值,在乘坐率变高的情况下,难以空转打滑,因此,提高判定阈值。由此,能够设定与乘坐率对应的适当的判定阈值,能够防止空转打滑的误检知,并且能够实现更进一步的高速的检知。

[0174] 在图22中,遵循(数学式10)的运算式,将转矩指令值 τ_m^* 除以积分增益 K_I 和惯性力矩 J 而得的值作为空转打滑判定阈值。在此,乘坐率信息由等效惯性力矩运算部50运算为等效的惯性力矩 J 。

[0175] (3)关于天气信息

[0176] 从图4可知,雨天时,相对于晴天时,切向力系数 μ 变小,切向力($=\mu \cdot W \cdot g$)变小。因此,例如,在通过雨刮器动作、天气信息等从外部设备检知到雨天、降雪的信息的情况下,容易空转打滑,因此,降低判定阈值。由此,即使在因雨天、降雪那样的天气的变化而路面(轨道面)的状况变得容易打滑的情况下,也能够实现更进一步的高速的检知。

[0177] 在图22中,将天气信息作为输入的天气信息校正增益运算部51对天气信息校正增益进行运算,作为空转打滑判定阈值的校正增益之一而输出。

[0178] (4)关于编组内位置信息

[0179] 在图4中,与切向力系数 μ 根据天气即路面(轨道面)的状态而变化的原理一样,在连接有旋转电机的车轴35相对于行进方向位于前头侧的情况下,轨道面的雨滴、尘埃等未被排除,存在容易产生空转打滑的倾向。另一方面,在连接有旋转电机的车轴35相对于行进方向位于后方侧的情况下,即使在雨天时等,也存在比较难以产生空转打滑的倾向。

[0180] 因此,如果能够判别编组自身的行进方向和搭载有与旋转电机连接的车轴35的号车,则能够调整为适当的空转打滑的判定阈值。例如,在相对于行进方向位于前头号车侧的情况下,由于容易空转打滑因此降低判定阈值,在相对于行进方向位于后方号车侧的情况下,由于难以空转打滑因此提高判定阈值。由此,能够设定与在编组内具有车轴的车辆位置对应的适当的判定阈值,能够防止空转打滑的误检知,并且能够实现更进一步的高速的检知。

[0181] 在图22中,以编组内位置信息为输入的编组内位置信息校正增益运算部52运算编组内位置信息校正增益,作为空转打滑判定阈值的校正增益之一输出。

[0182] (5)关于角速度推定值 ω_1^{\wedge}

[0183] 切向力系数 μ 相对于车辆速度具有依赖性(图3所示的切向力系数表、参照),随着车辆速度变高,切向力系数 μ 变小。另外,行驶阻力也随着速度变高而增加,容易产生车轮的空转打滑。因此,例如,在角速度推定值 ω_1^{\wedge} 变高的情况下,由于容易空转打滑,因此降低判定阈值,在角速度推定值 ω_1^{\wedge} 变低的情况下,由于难以空转打滑,因此提高判定阈值。另外,也可以代替角速度推定值 ω_1^{\wedge} 而直接使用旋转电机的频率或车辆速度。由此,能够设定与车辆速度对应的适当的判定阈值,能够防止空转打滑的误检知,并且能够实现更进一步的高速的检知。

[0184] 在图22中,以角速度推定值 ω_1^{\wedge} 为输入的速度校正增益运算部53运算行驶阻力校正增益,作为空转打滑判定阈值的校正增益之一输出。

[0185] 另外,这些判定阈值的调整单元只要构成为根据运算式、针对各参数的表等各参数来使空转打滑判定阈值变化,则可以是任意的办法。

[0186] 并且,在图22中,在空转和打滑中,将使符号反转后的值作为判定阈值,但也可以构成为针对空转和打滑分别设置校正增益运算。

[0187] 如上所述,实施方式2在空转打滑检知判定部15中获取转矩指令值 τ_m^* 、乘坐率信息、天气信息、编组内位置信息以及角速度推定值 ω_1^{\wedge} ,根据这些信息,使检知空转打滑的判定阈值可变。由此,能够防止空转打滑的误检知,并且实现空转打滑检知的更进一步的高速化。

[0188] [实施方式3]

[0189] 本发明的实施方式3与之前的实施方式2相比,不同点在于,对加减速时相位偏差收敛部21的输出设置上下限制器。

[0190] 由此,即使在空转打滑检知延迟的情况下、转子加速度正负大幅变动而相位偏差信息 $\Delta\theta_c$ 急剧振动,加减速时相位偏差收敛部21的输出 $\Delta\theta_c$ 变得过大的情况下,也不会使相位同步控制部14的追随性降低,能够得到使控制系统稳定化的效果。

[0191] 图23是表示实施方式3的旋转电机的驱动装置的功能块的一例的图。

[0192] 在实施方式3中,空转打滑判定阈值从空转打滑检知判定部15输出,输入到相位同步控制14,用于针对加减速时相位偏差收敛部21的输出进行上限以及下限的极限值的运算。

[0193] 图24是表示实施方式3的空转打滑检知判定部15的功能块的一例的图。

[0194] 在图22所示的实施方式2的空转打滑检知判定部15中追加了输出检知空转打滑的判定阈值的功能。

[0195] 图25是表示实施方式3的加减速时相位偏差收敛部21的功能块的一例的图。

[0196] 在实施方式3中,对加减速量对应相位偏差补偿量 $\Delta\theta_c$ 的输出设置上下限制器22。作为该上下限制器22的设置值,通过对空转打滑判定阈值乘以判定阈值调整增益,设定为比判定为空转检知的水平稍大的值。

[0197] 另外,上下限制器22的上限值基于空转时的判定阈值来设定,上下限制器22的下限值基于打滑时的判定阈值来设定。

[0198] 图26是表示基于设置于加减速时相位偏差收敛部21的上下限制器22的有无的效果的比较的图。

[0199] 在无限限制器的情况下,在检知到空转而开始了转矩的缩小之后,在空转收敛之前的期间,加减速量对应相位偏差补偿量 $\Delta\theta_c$ 持续积累。因此,再粘着后,加减速量对应相位偏差补偿量 $\Delta\theta_c$ 返回到稳定值也需要时间。

[0200] 另一方面,在实施方式3的有限限制器的结构中,在限制为比空转打滑检知水平稍大的值的情况下,能够防止加减速量对应相位偏差补偿量 $\Delta\theta_c$ 的过冲,得到加快再粘着后的加减速量对应相位偏差补偿量 $\Delta\theta_c$ 的向稳定值的收敛的效果。

[0201] 另外,通过防止过冲量,空转打滑的检知定时(timing)的接通(ON)时间接近实际空转的时间,还具有优化的效果,还能够降低再粘着后误检知空转打滑的风险。

[0202] 如上所述,实施方式3通过在加减速时相位偏差收敛部21的输出中设置上下限制器22,在基于转矩操作的再粘着控制后,使加减速量对应相位偏差补偿量 $\Delta\theta_q$ 的向稳定值的收敛性加快。由此,能够实现防止再粘着后的空转打滑的误检知。

[0203] 以上,对本发明的实施方式进行了说明,但本发明并不限于上述的实施方式,在不脱离本发明的主旨的范围内能够进行各种变更。

[0204] 符号说明

[0205] 1…驱动装置、2…控制装置、3…电压输出装置、4…同步机、5…电流检测器、7…PWM控制部、8…电流检测坐标变换部、9…电流控制部、10…电流指令运算部、11…转矩指令运算部、12…电压指令坐标变换部、13…相位运算部、14、14a…相位同步控制部、15…空转打滑检知判定部、16…以往的相位同步控制部、20、20a…恒速时相位偏差收敛部、21、21a…加减速时相位偏差收敛部、22…上下限制器、27…车轮、30…转子轴、31…台车、32…小齿轮、33…大齿轮、34…接头、35…车轴、36…轨道、40…频率推定控制部、41…恒速时q轴电流偏差收敛部、42…加减速时q轴电流偏差收敛部、50…等效惯性力矩运算部、51…天气信息校正增益运算部、52…编组内位置信息校正增益运算部、53…速度校正增益运算部。

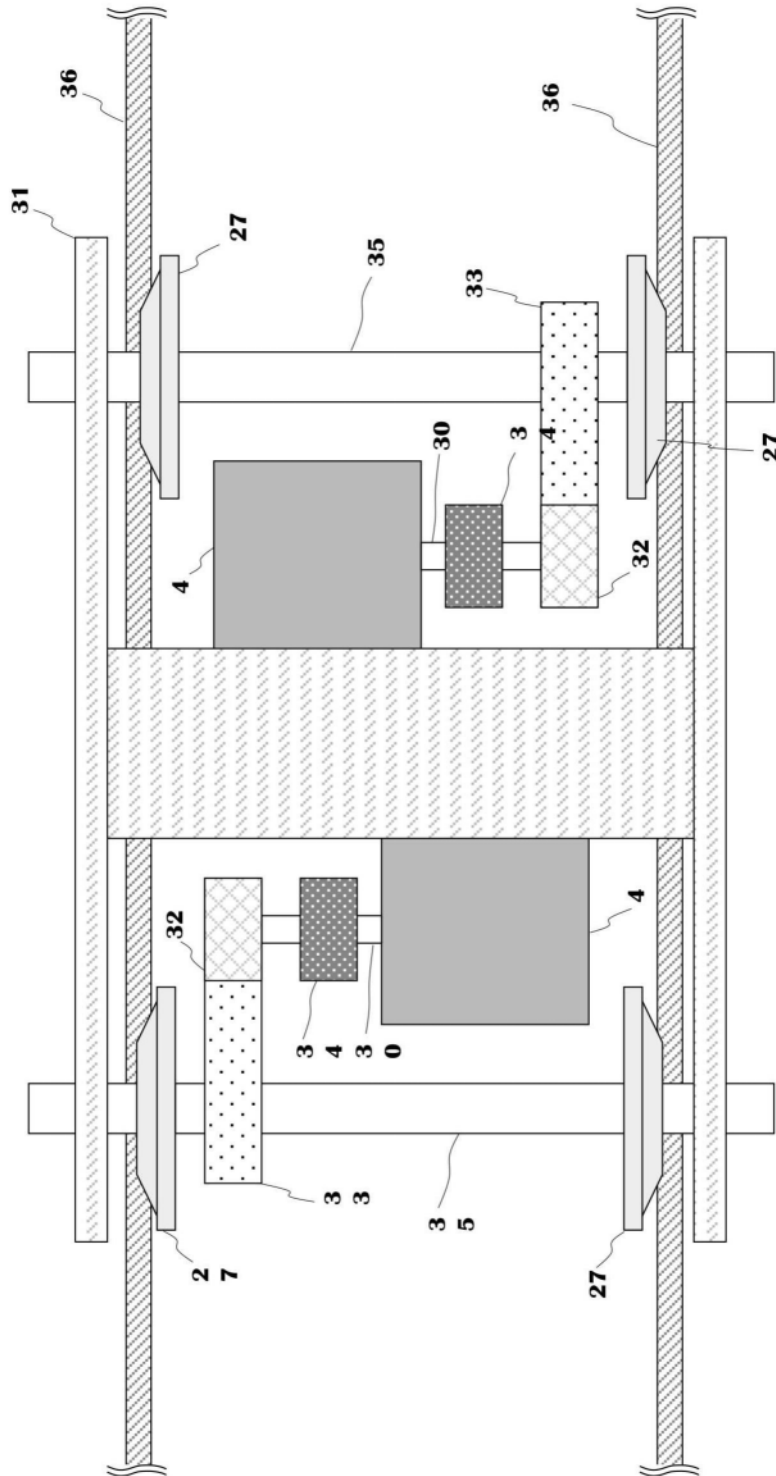


图2

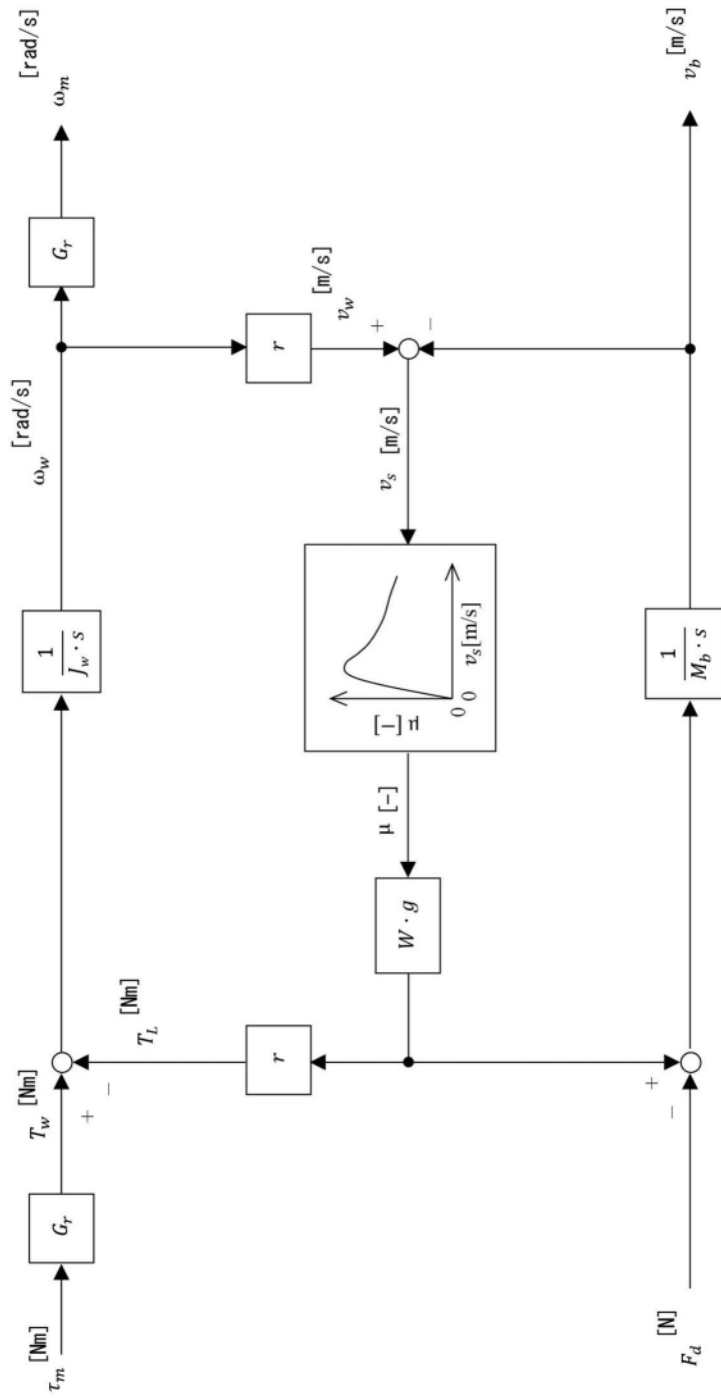


图3

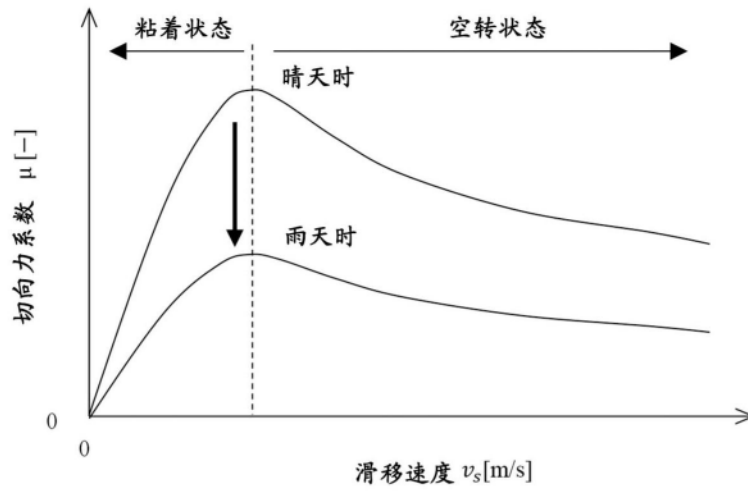


图4

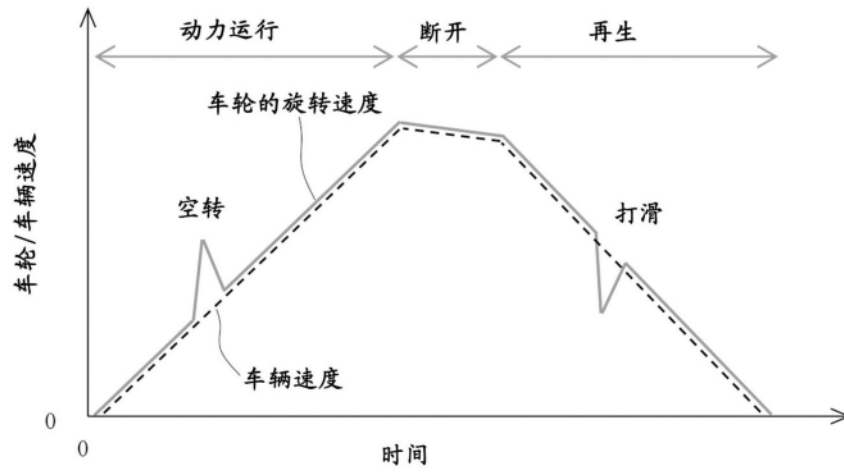


图5

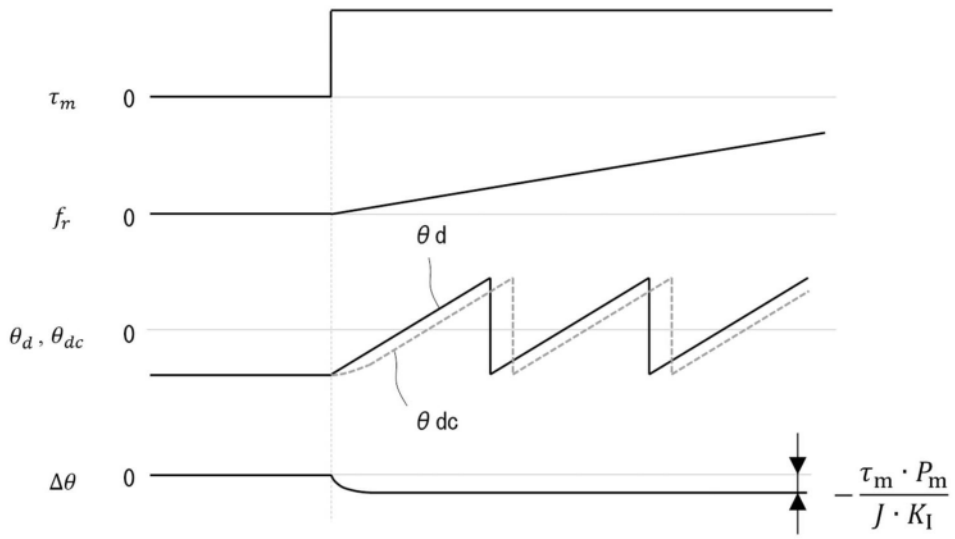


图6

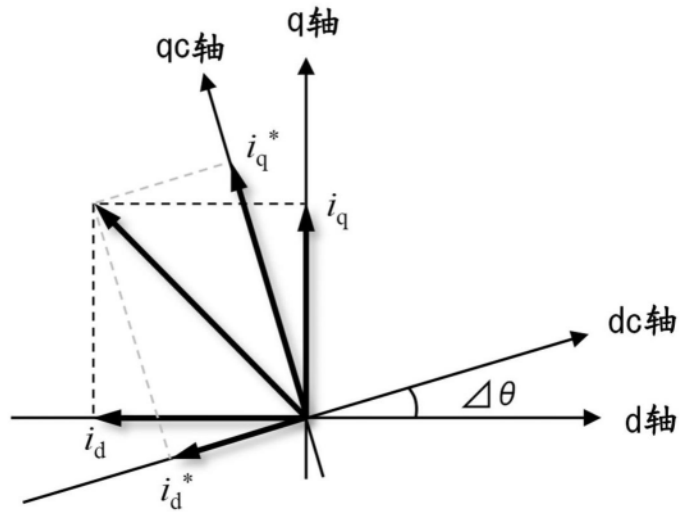


图7

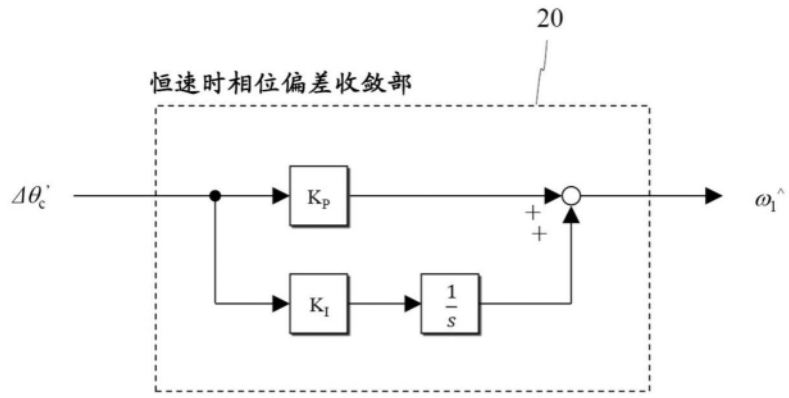


图9

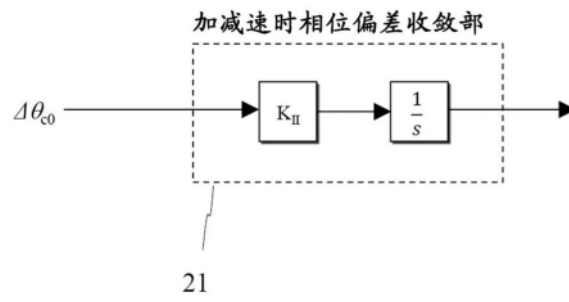


图10

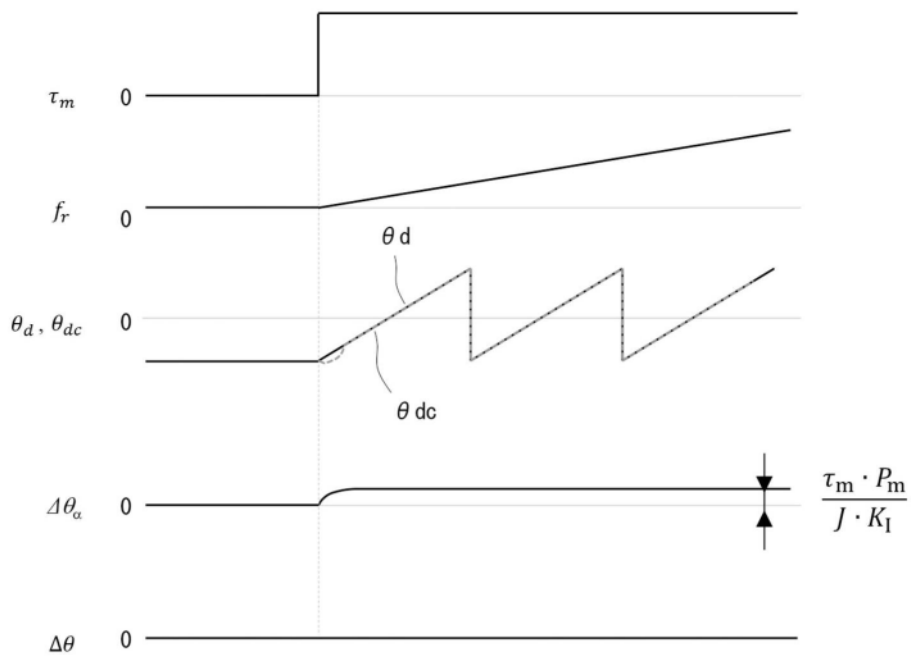


图11

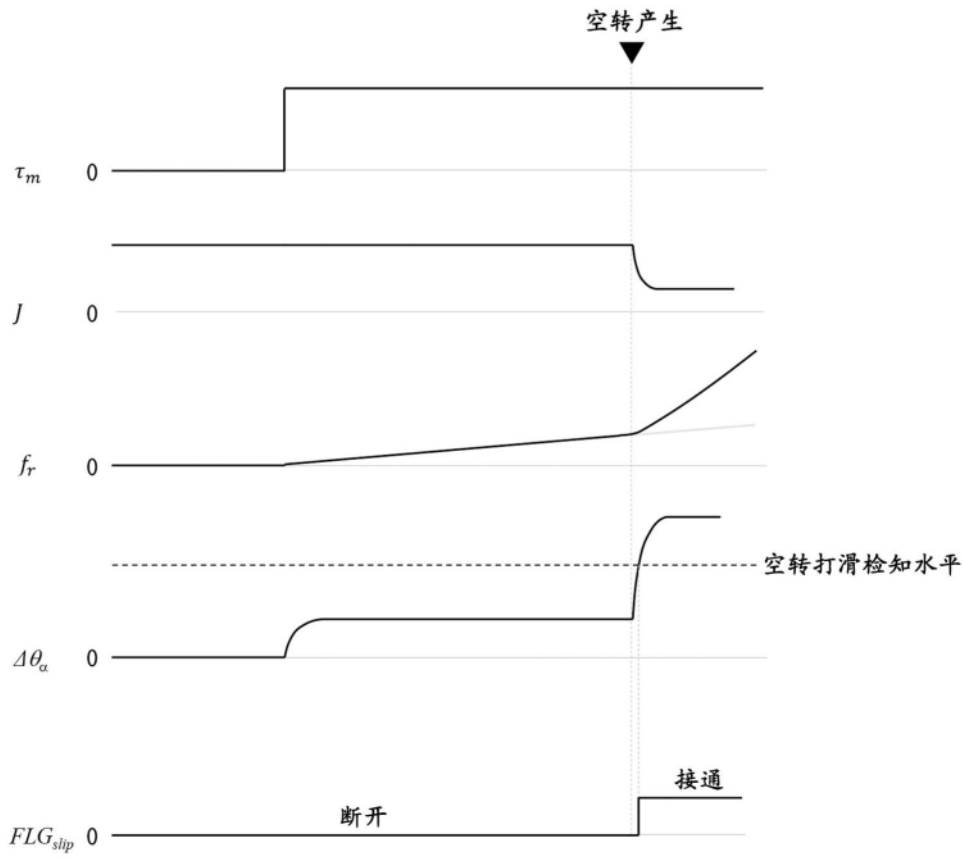


图12

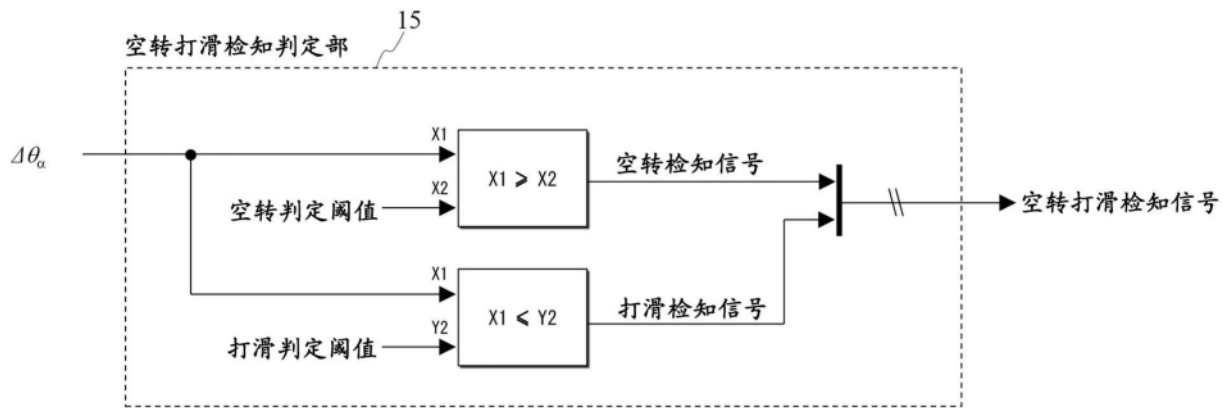


图13

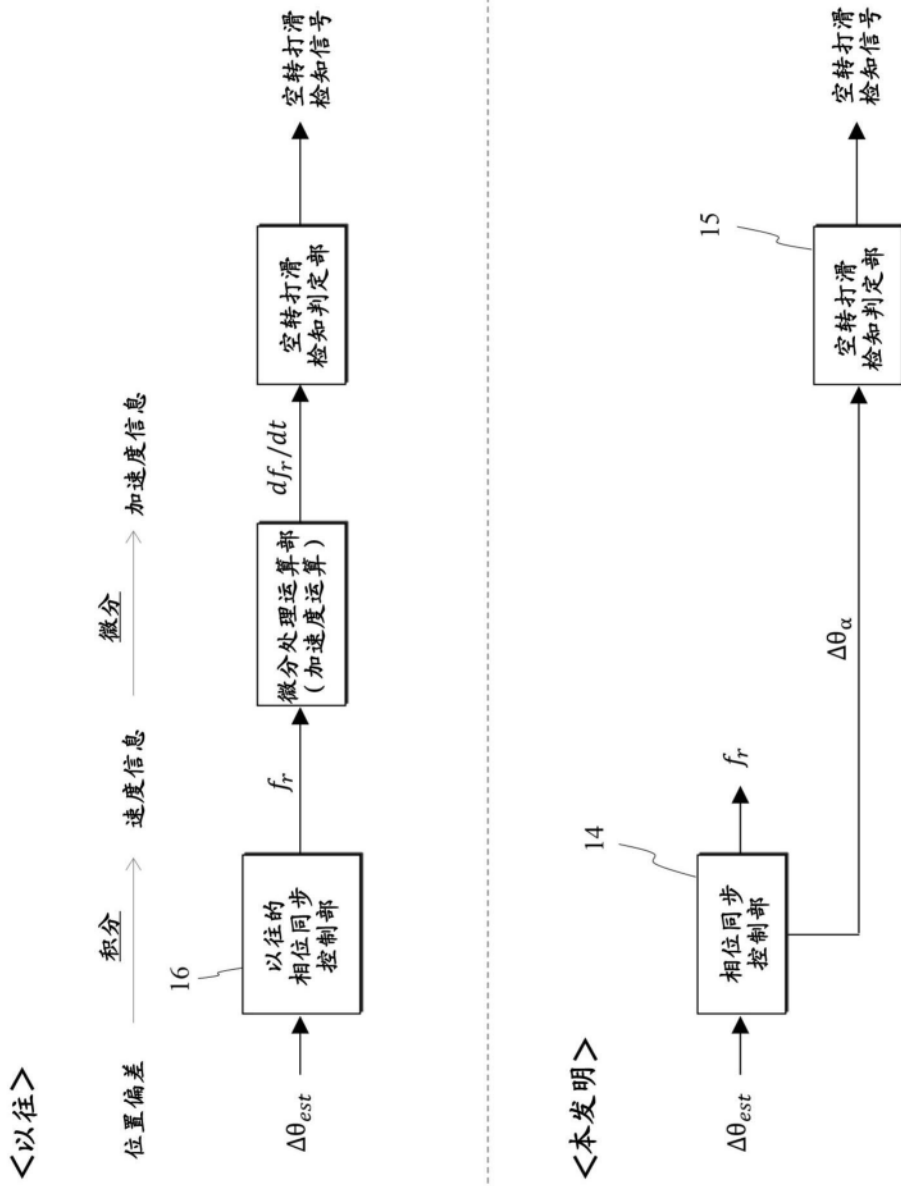


图14

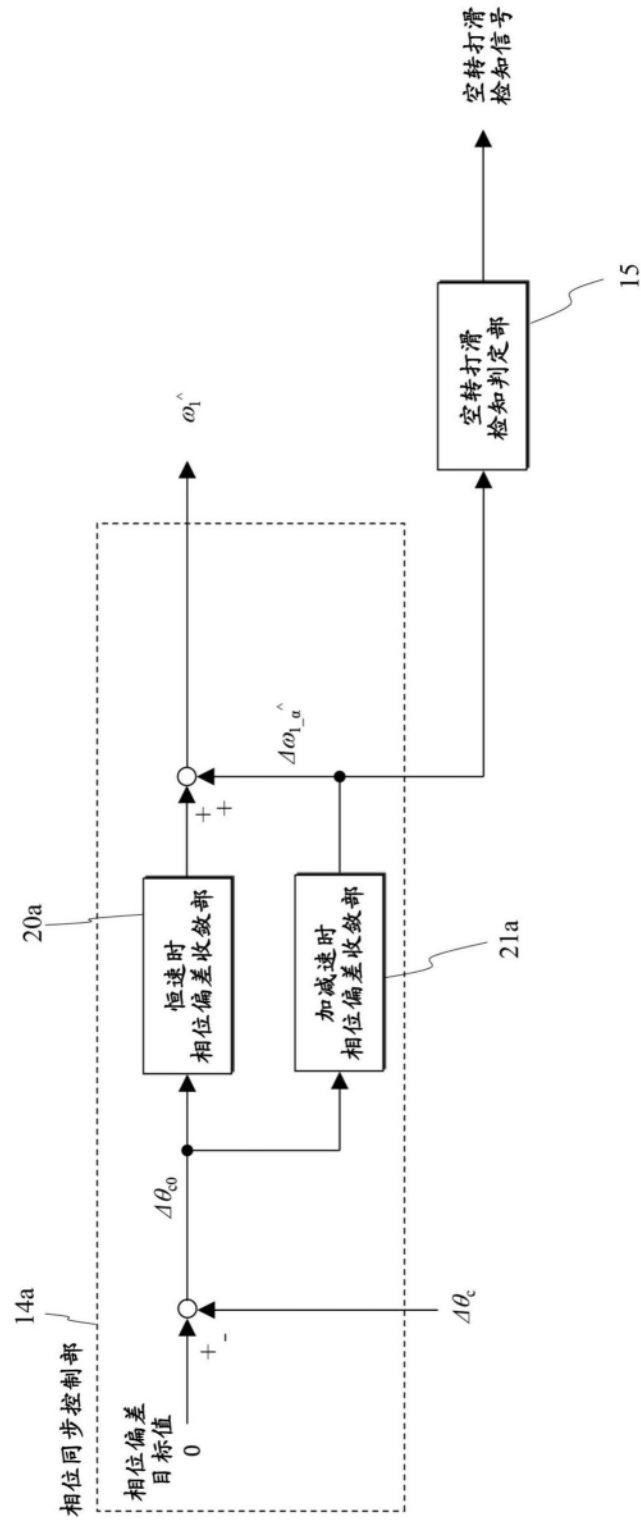


图15

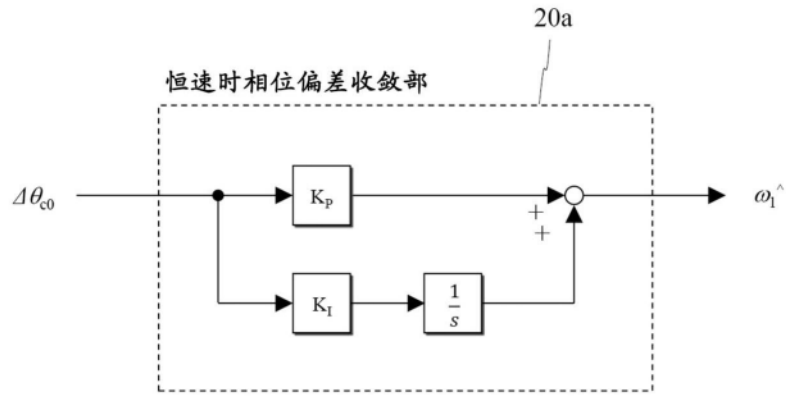


图16

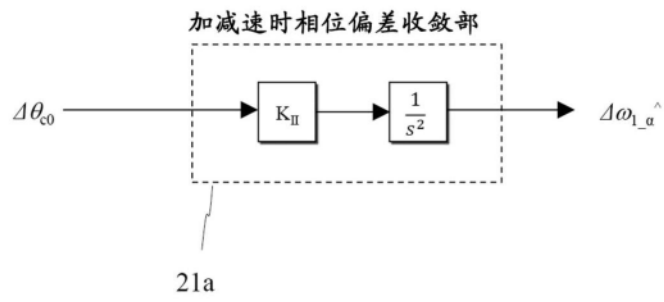


图17

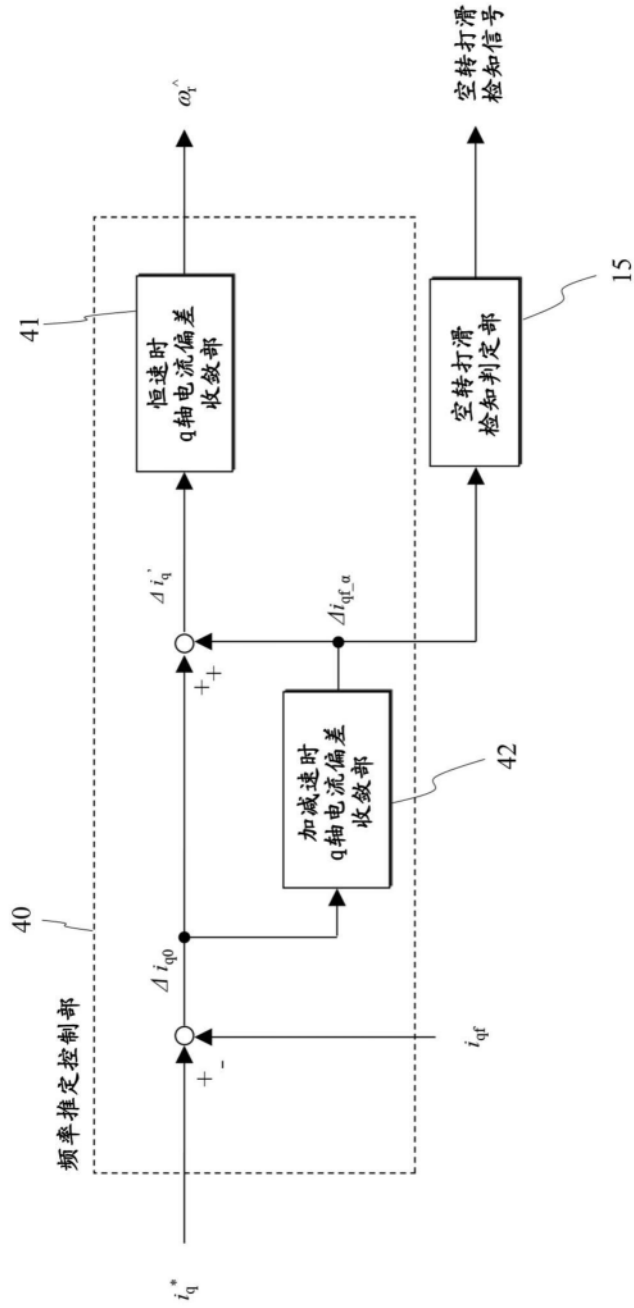


图18

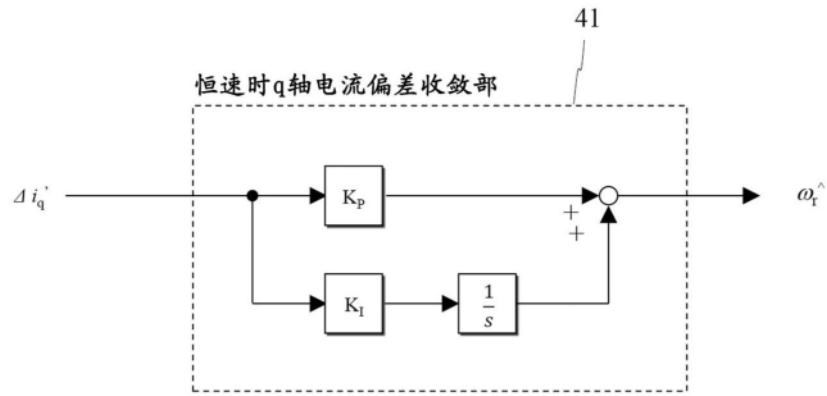


图19

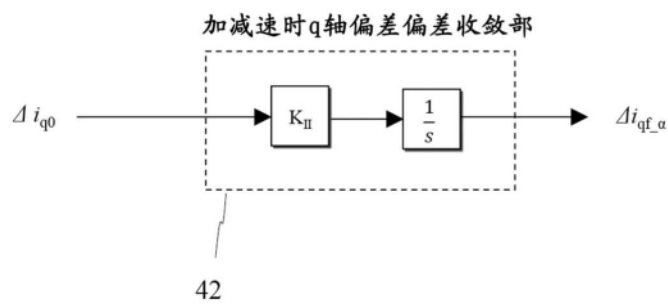


图20

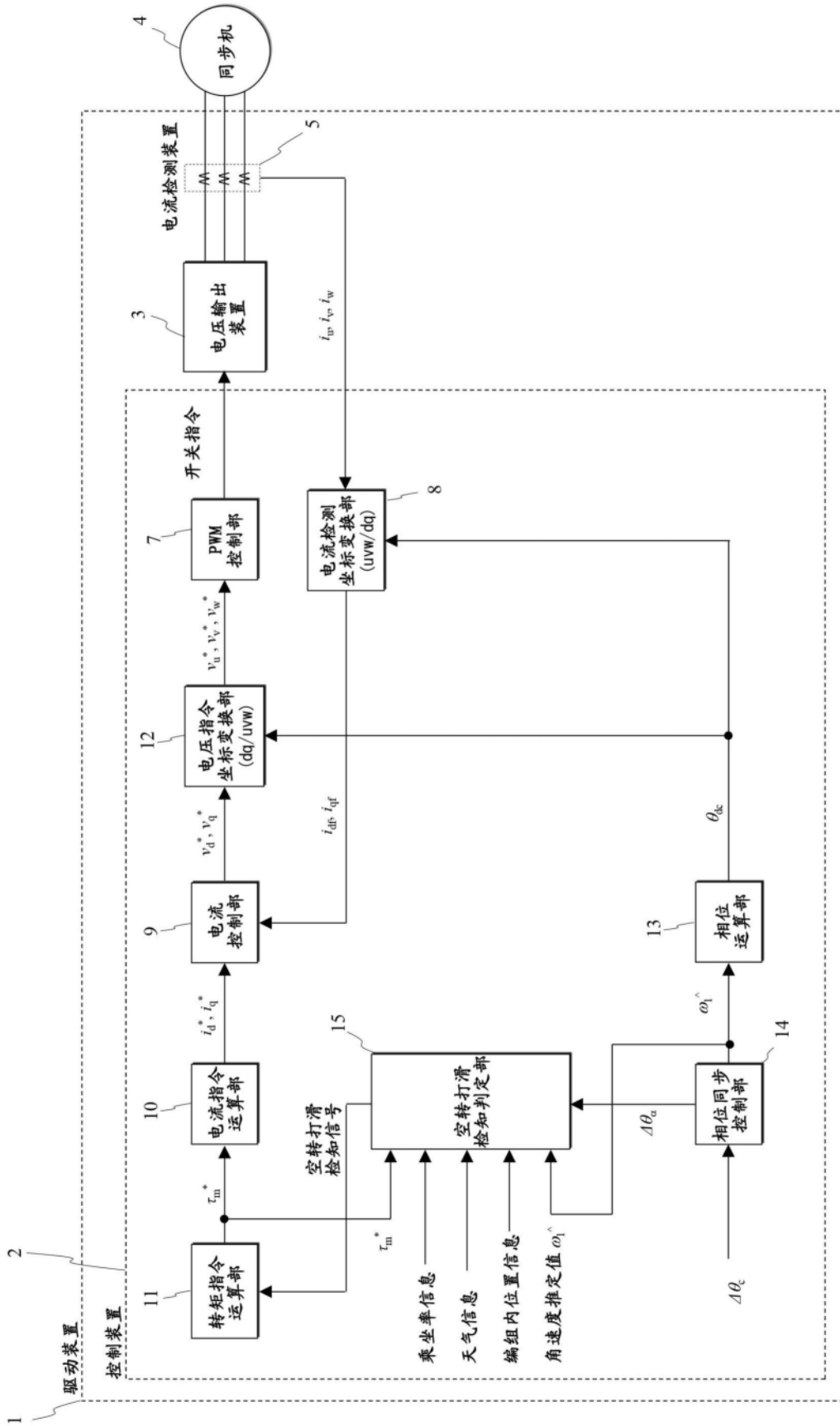


图21

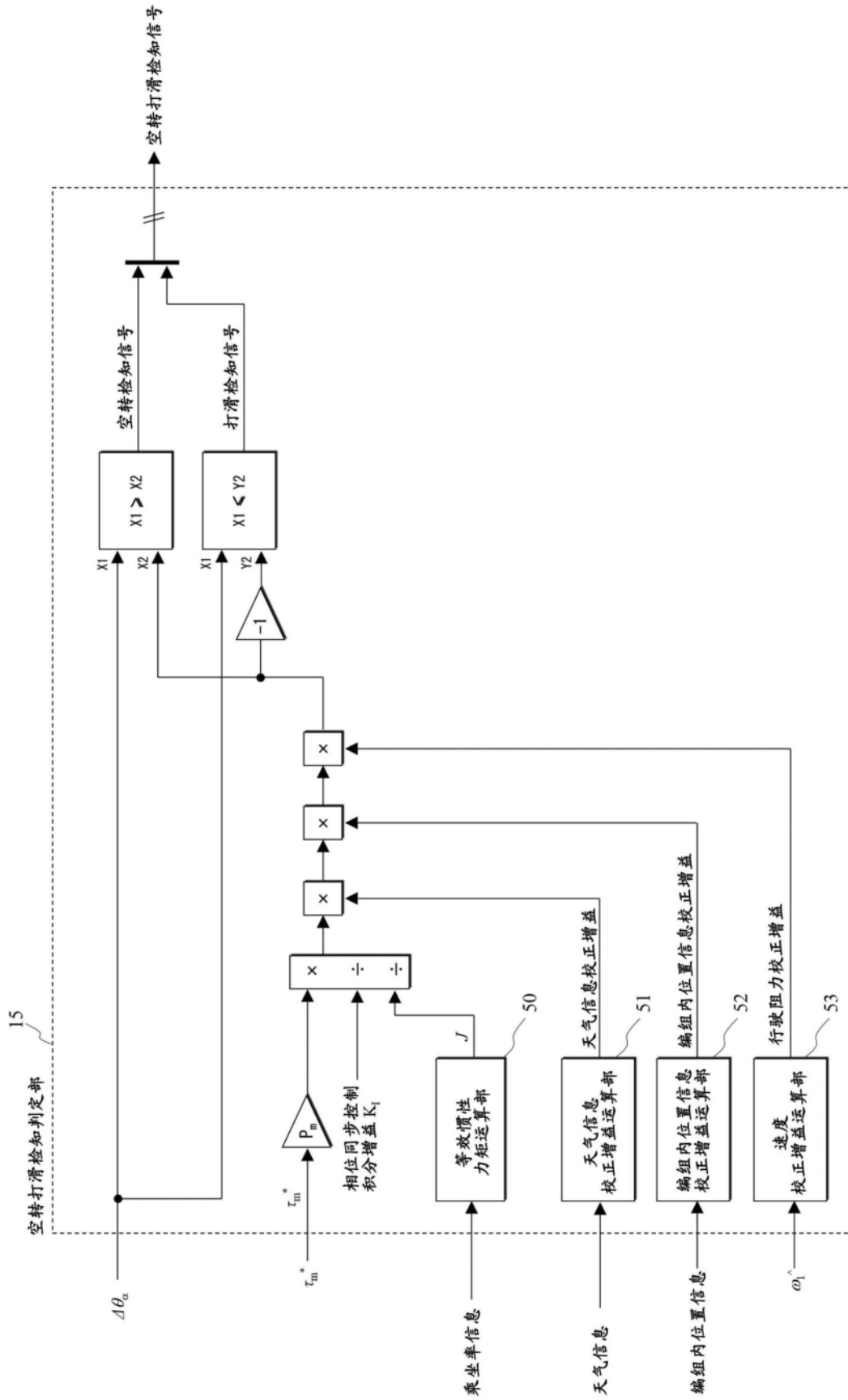


图22

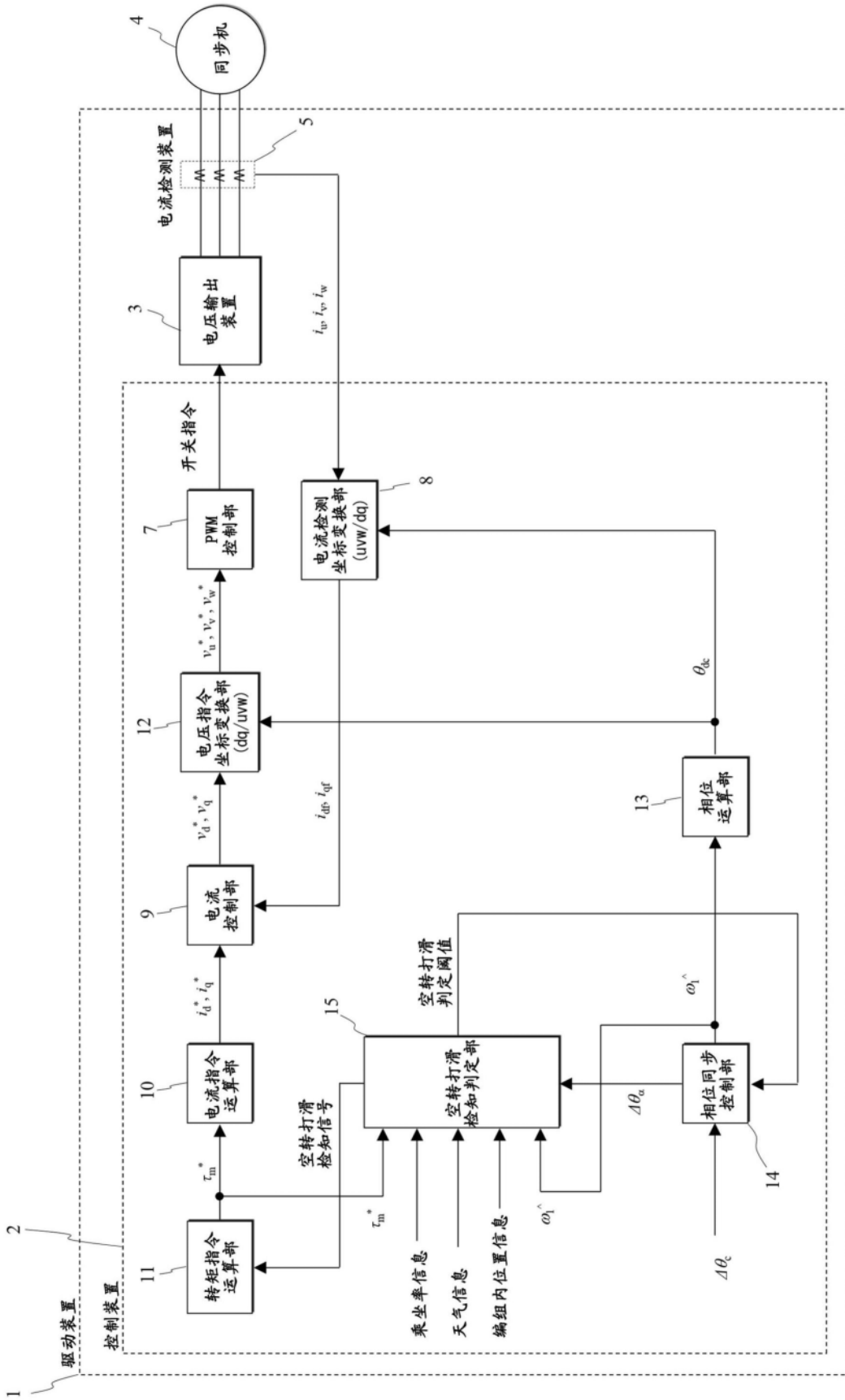


图23

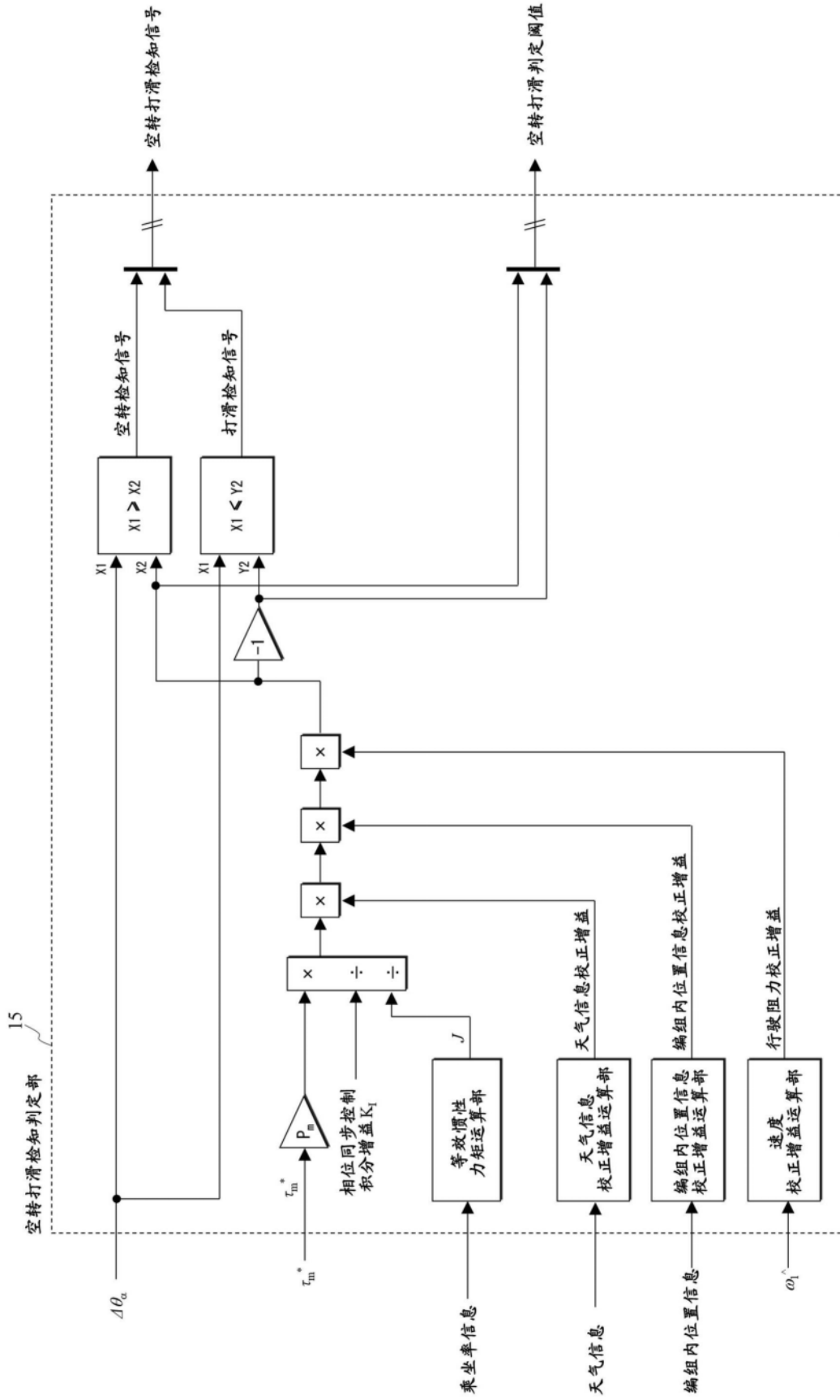


图24

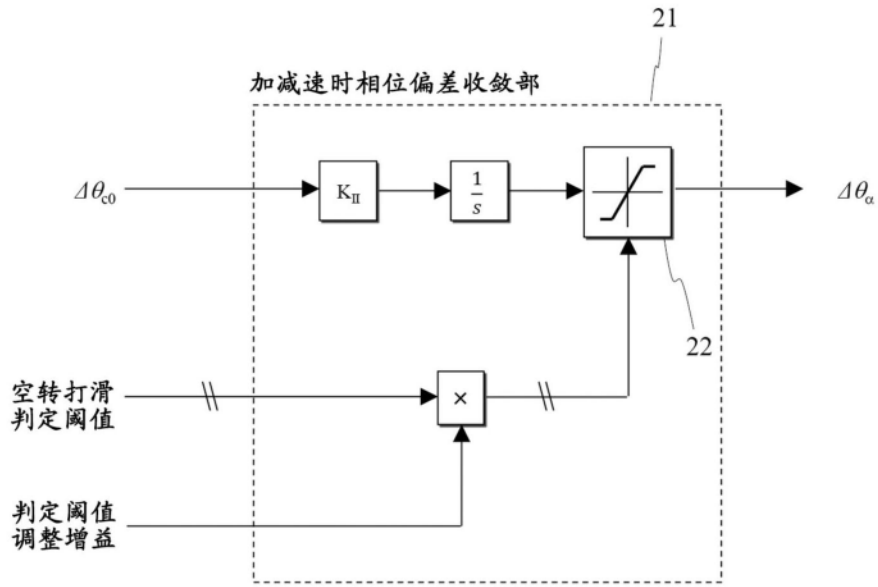


图25

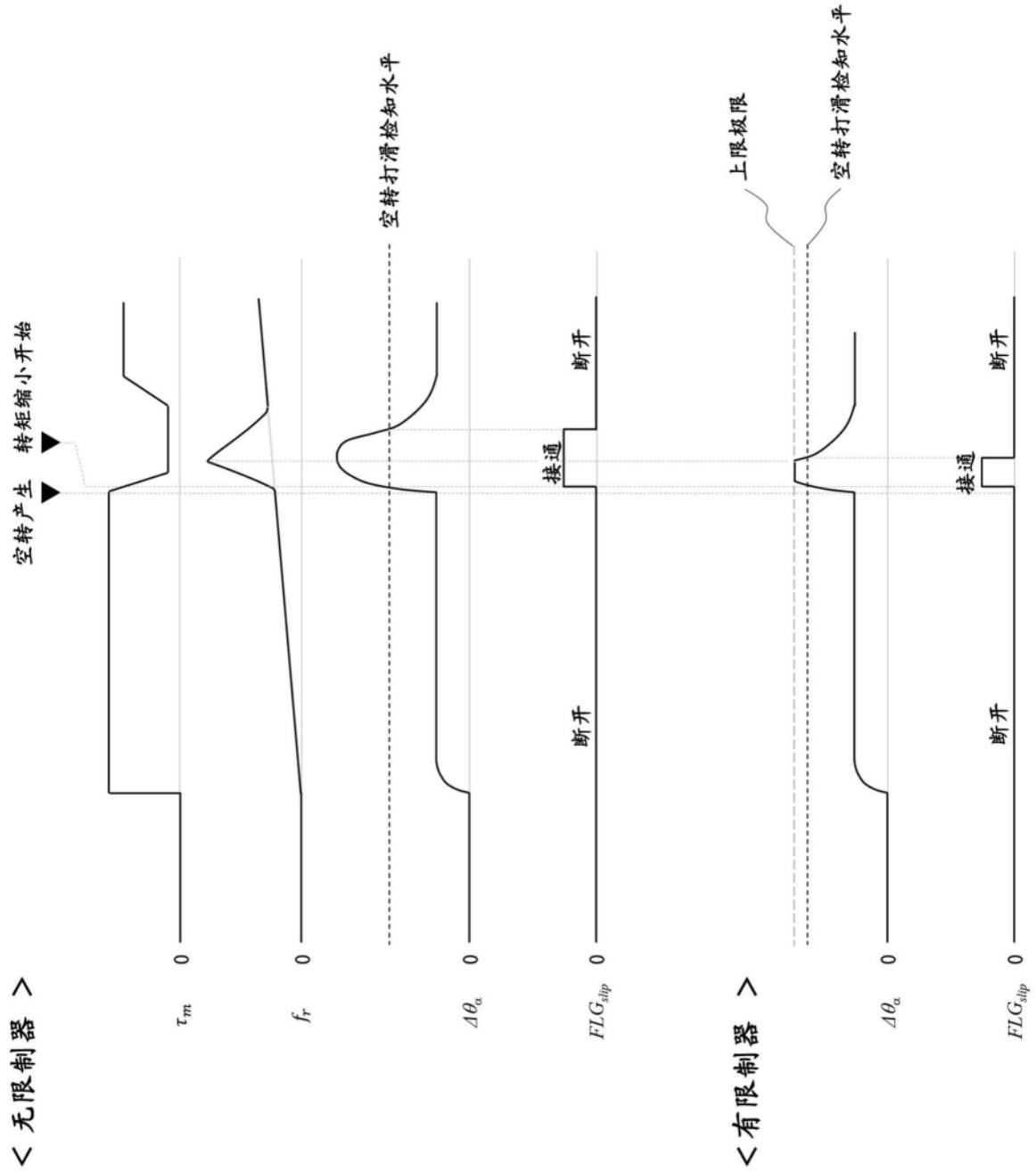


图26