



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102163943 B

(45) 授权公告日 2014. 11. 19

(21) 申请号 201110048592. 0

(22) 申请日 2011. 02. 23

(30) 优先权数据

2010-037128 2010. 02. 23 JP

(73) 专利权人 山洋电气株式会社

地址 日本东京都

(72) 发明人 井出勇治

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任
公司 11021

代理人 张远

(51) Int. Cl.

H02P 3/06 (2006. 01)

审查员 贾贺帅

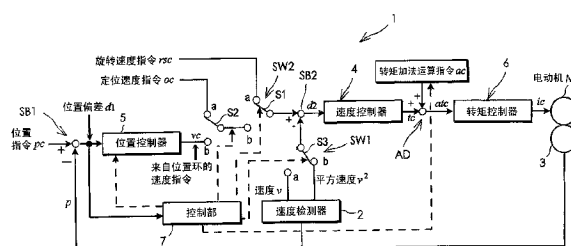
权利要求书3页 说明书8页 附图6页

(54) 发明名称

电动机的控制方法和装置

(57) 摘要

本发明实现一种定位置停止控制装置,其以尽可能大的转矩对电动机的输出进行减速,并且,定位时的过冲较小,能够高速定位。在电动机(M)的转子的旋转速度成为定位速度后,控制部(7)将位置环速度指令(vc)所指示的速度与平方速度(V^2)的偏差提供给速度控制器(4)。将用加法运算部(AD)在从速度控制器4输出的转矩指令tc上加上控制部7所决定的转矩加法运算指令(ac)而得到的加法运算转矩指令(atc)提供给转矩控制器(6)。通过沿着使用用于定位控制的物理变量规定的滑动曲线来控制转子的位置和速度,从而通过使转子停止在目标位置上的滑动模式控制来调整转矩控制器的输入。



1. 一种电动机的控制方法,其特征在于,

将使旋转速度指令所指示的指令速度与电动机的转子的旋转速度的偏差通过速度控制器而得到的转矩指令提供给转矩控制器,来对所述转子的所述旋转速度进行速度控制,以使得所述转子的所述旋转速度与所述旋转速度指令一致,

若输出了定位速度指令,则将使定位速度指令所指示的定位速度与所述转子的速度的偏差通过所述速度控制器而得到的转矩指令提供给所述转矩控制器,对所述转子的速度进行定位控制,以使得所述转子的所述旋转速度成为所述定位速度,

若所述转子的所述旋转速度成为定位速度,则取得由表示停止在所述转子进行一次旋转内的哪个位置上的位置指令所指示的指令位置、与所述转子的位置的位置偏差,并将使所述位置偏差通过位置控制器而得到的位置环速度指令、与将所述旋转速度进行平方而编码后得到的平方速度的偏差输出到所述速度控制器,且将由此得到的转矩指令输入到所述转矩控制器中,通过沿着使用用于定位控制的物理变量规定的滑动曲线,控制所述转子的位置和速度,来调整所述转矩控制器的输入,以实施使所述转子停止在目标位置上的滑动模式控制。

2. 根据权利要求 1 所述的电动机的控制方法,其特征在于,

在所述滑动模式控制中,在所述位置偏差大于预先规定的值时,在使所述位置控制器的增益为与减速转矩成正比并且与所述电动机的惯性成反比的值的基础上,将在所述转矩指令上加上转矩加法运算指令后得到的加法运算转矩指令提供给所述转矩控制器,所述转矩加法运算指令用于取得从所述电动机的最大转矩中减去控制余裕部分后得到的值的转矩,

若所述位置偏差成为预先规定的值以下,则使所述转矩加法运算指令为零或接近零的值,使所述位置控制器的增益为对稳定偏差进行补偿的值。

3. 根据权利要求 2 所述的电动机的控制方法,其特征在于,

在所述滑动模式控制中,假设减速转矩固定来设定所述滑动曲线,

使提供给所述转矩控制器的所述加法运算转矩指令 T_{cmd} 为 $T_{cmd} = T + KS$,其中 T 为所述转矩加法运算指令, K 为所述速度控制器的增益,所述 S 为由包含决定所述速度控制器的输入的位置控制器在内的环内的物理变量构成的滑动曲线的函数,

所述函数 S ,在假设 v 为所述旋转速度, Δx 为所述位置偏差, C 为所述位置控制器的增益时,表示为 $S = C \Delta x \pm v^2$,其中 $+$ 为 $v < 0$ 时, $-$ 为 $v \geq 0$ 时,

在假设 x_0 为所述预先规定的值, $T1$ 为减速转矩, J 为所述电动机的惯性时,所述增益 C ,在 $\Delta x > x_0$ 时 $C = 2(T1/J)$,在 $\Delta x \leq x_0$ 时, $C = C_0$,其中 C_0 是用于对稳定偏差进行补偿的所述位置控制器的增益。

4. 根据权利要求 1 所述的电动机的控制方法,其特征在于,

所述速度控制器在所述速度控制和所述定位控制中,进行比例积分控制,在所述滑动模式控制中,到所述转子到达所述目标位置之前的规定时期为止,进行比例控制,以后进行比例积分控制。

5. 根据权利要求 1、2 或 3 所述的电动机的控制方法,其特征在于,

求出满足下面两个式子的最小的 n ,

$$n \geq ((\text{平方速度})/(\text{位置控制器的增益}) + \text{位置反馈} - \text{位置的位移量})/(2\pi \times a)$$

$$n < ((\text{平方速度})/(\text{位置控制器的增益}) + \text{位置反馈} - \text{位置的位移量})/(2\pi \times a) + 1$$

其中, a : 转子每一次旋转的转子位置检测器的分辨率,

如下来规定所述位置指令,

位置指令 = $n \times 2\pi$ + 位置的位移量。

6. 一种电动机的控制装置, 其特征在于, 具备:

速度检测器, 其检测电动机的转子的旋转速度, 并输出所述旋转速度和将所述旋转速度进行平方而编码后得到的平方速度;

第 1 选择部, 其选择所述速度检测器的输出;

位置检测器, 其检测所述转子的旋转位置;

位置环, 其包含: 位置偏差运算部, 其求出由表示使所述转子停止在所述转子进行一次旋转内的哪个位置上的位置指令所指示的位置、与所述旋转位置的位置偏差; 和位置控制器, 其将所述位置偏差作为输入来输出位置环速度指令;

第 2 选择部, 其从由上位控制器所输出的旋转速度指令、指示定位速度的定位速度指令、以及所述位置环速度指令中, 选择一个速度指令;

速度偏差运算部, 其求出由所述第 2 选择部选择出的所述一个速度指令所指示的指令速度、与由所述第 1 选择部选择出的所述旋转速度或所述平方速度的速度偏差;

速度控制器, 其将所述速度偏差运算部的输出作为输入来产生转矩指令;

加法运算部, 其在所述转矩指令上加上转矩加法运算指令来输出加法运算转矩指令;

转矩控制器, 其将所述加法运算指令作为输入来输出电流指令; 和

控制部, 其在稳定控制运转时, 所述第 1 选择部选择所述旋转速度并且所述第 2 选择部选择所述旋转速度指令, 来对所述转子的所述旋转速度进行速度控制, 以使得所述旋转速度与所述旋转速度指令一致, 在输入了定位指令时, 所述第 1 选择部选择所述旋转速度并且所述第 2 选择部选择所述定位速度指令, 将使所述定位速度指令与所述旋转速度的偏差通过所述速度控制器而得到的转矩指令提供给所述转矩控制器, 来对所述转子的所述旋转速度进行定位控制, 以使得所述转子的所述旋转速度成为所述定位速度, 之后, 在所述转子的所述旋转速度成为所述定位速度后, 通过所述第 1 选择部选择所述平方速度并且所述第 2 选择部选择所述位置环速度指令, 将使所述位置环速度指令所指示的速度与所述平方速度的偏差通过所述速度控制器而得到的转矩指令提供给所述转矩控制器, 并沿着使用用于定位控制的物理变量规定的滑动曲线对所述转子的位置和速度进行控制, 从而调整所述转矩控制器的输入, 以实施使所述转子停止在目标位置上的滑动模式控制。

7. 根据权利要求 6 所述的电动机的控制装置, 其特征在于,

以如下方式构成:

在所述滑动模式控制中, 在所述位置偏差大于预先规定的值时, 在使所述位置控制器的增益为与减速转矩成正比并且与所述电动机的惯性成反比的值之后, 将在所述转矩指令上加上所述转矩加法运算指令后得到的加法运算转矩指令提供给所述转矩控制器, 所述转矩加法运算指令用于取得从所述电动机的最大转矩中减去控制余裕部分后得到的值的转矩,

若所述位置偏差成为预先规定的值以下, 则使所述转矩加法运算指令为零或接近零的值, 使所述位置控制器的增益为对稳定偏差进行补偿的值。

8. 根据权利要求 7 所述的电动机的控制装置,其特征在于,

在所述滑动模式控制中,假设减速转矩固定,将提供给所述转矩控制器的所述加法运算转矩指令 T_{cmd} 规定为 $T_{cmd} = T + KS$,其中 T 为所述转矩加法运算指令, K 为所述速度控制器的增益,所述 S 为由包含所述位置控制器和所述速度控制器的环构成的滑动曲线的函数,

所述函数 S ,在假设 v 为所述旋转速度, Δx 为所述位置偏差, C 为所述位置控制器的增益时,表示为 $S = C \Delta x \pm v^2$,其中 $+$ 为 $v < 0$ 时, $-$ 为 $v \geq 0$ 时,

在假设 x_0 为所述预先规定的值, $T1$ 为减速转矩, J 为所述电动机的惯性时,所述增益 C ,在 $\Delta x > x_0$ 时 $C = 2(T1/J)$,在 $\Delta x \leq x_0$ 时 $C = C_0$,其中 C_0 是用于对稳定偏差进行补偿的所述位置控制器的增益。

9. 根据权利要求 6 所述的电动机的控制装置,其特征在于,

所述控制部以如下方式构成:在所述速度控制器中,在所述速度控制和所述定位控制中,进行比例积分控制,在所述滑动模式控制中,到所述转子到达所述目标位置之前的规定时期为止,进行比例控制,以后进行比例积分控制。

电动机的控制方法和装置

技术领域

[0001] 本发明涉及将电动机的转子停止在固定位置上的电动机的控制方法和装置。

背景技术

[0002] 关于使用于工作机械的主轴等的电动机的控制方法,存在将电动机的转子定位停止在希望位置上的公知技术。在以往的控制方法中,在速度控制下将电动机运转到固定的速度(定位速度),将控制模式从速度控制切换到位置控制,根据指令停止位置来进行位置控制。

[0003] 图6是表示了以往的电动机的控制装置的结构模块图。图7是表示以往的电动机的控制装置的动作用的动作波形图。电动机M的转子的位置,通过编码装置等的位置传感器S来检测。位置传感器S的输出被输入到速度检测器SD中,速度检测器SD根据位置传感器S的输出来检测并输出转子的速度(与速度相当的信号)。在该以往的装置中,在电动机M在速度控制下进行旋转的情况下,开关S1位于a侧。旋转速度指令与转子速度的偏差被输入到速度控制器SC,速度控制器SC将转矩指令输出到转矩控制器TC。转矩控制器TC根据转矩指令来输出控制电动机M的电流指令,以使得电动机M的转矩与转矩指令一致。另外,在本例中,在转矩控制器内安装有按照电流指令来控制电动机电流的控制部。为了将电动机停止,而从上位控制器输出了定位速度指令后,将开关S1切换到b侧,将开关S2切换到a侧。其结果,电动机用定位速度指令来进行速度控制。由此,如图7所示,电动机旋转速度逐渐降低,在定位速度下旋转。在位置控制系统中,取得表示使转子停止在电动机一次旋转内的哪个位置上的位置指令与由位置传感器S检测出的转子的位置的位置偏差,并输入到位置控制器PC中。位置控制器PC根据位置偏差,来计算来自位置环的速度指令。若来自位置环的速度指令为定位速度指令以下,则将开关S2切换到b侧来进行位置控制。以后,根据来自位置控制器PC的速度指令,对电动机M进行位置控制,若电动机的转子的位置成为指令停止位置,则电动机停止。若电动机M停止,则输出定位完成信号,定位停止控制完成。

[0004] 在以往技术中,若想要缩短定位所需要的时间而增大位置控制器PC的增益,则转矩饱和,电动机M的追踪变得困难并产生过冲。因此,存在如下问题:位置控制增益不得不被设定为不产生过冲的适度的值,无法缩短定位所需要的时间。在工作机械中,为了提高生产率,加工效率的提高不可缺少,强烈地寻求缩短转子停止在定位置上为止的时间。

[0005] 作为缩短该定位所需要的时间的以往技术,存在JP特开平5-228794公报所示的方法。在该方法中,通过用平方根的函数来构成位置控制器的传递函数,缩短了定位所需要的时间。但是,在想要使用软件在控制装置中实现该技术的情况下,存在平方根的运算需要很多的处理时间,不现实的问题。

[0006] 作为缩短定位所需要的时间的另一以往技术,存在JP特开2007-172080公报所示的技术。在该技术中,根据由加速度检测单元检测出的加速度来作成加速度指令,并进行电动机的控制,以使得与移动指令关联起来的加速度成为旋转轴的加速度以下。但是,在JP

特开 2007-172080 公报中,在具体应用该技术时,没有明确记载如何计算移动指令。因此处于只看该文献无法直接实施该技术的状况。此外,在专利文献 2 所记载的技术中,估计在处理运算中会花费相当多的时间。

[0007] 另一方面,作为电动机的定位控制的手法,存在滑动模式控制。将滑动模式控制应用于磁悬浮式铁道用的线性电动机的定位的例子,记载于平成 2 年电气学会全国大会 738 题名为“使用了滑动模式的推动、悬浮共用式 LIM 的位置控制”的论文中。在该论文中,使用滑动模式控制来使受到一定的制动力而行驶中的车辆停止在固定位置上。在本例中,车辆的行驶状态作为模型被设定为滑动曲线,按照该滑动曲线来使车辆停止。

[0008] 在控制系统中应用滑动模式控制,一般来说,能够有望提高鲁棒性等。但是,在前述论文所示的技术中,以滑动曲线的运算为中心组成了处理算法,没有在表面(明示地)处理内部的物理变量。与此相对,在以往的电动机控制装置中,在表面处理了控制各部的物理变量。作为产品的电动机控制装置,由于限制速度,或者限制转矩,或者设置与实际的机械系统一起抑制共振的滤波器,所以需要在表面处理该控制各部的物理变量。但是,在前述论文所记载的技术中,无法在表面处理控制各部的物理变量,难以将该技术应用于作为产品的电动机控制装置中。

发明内容

[0009] 本发明的目的在于提供一种以尽可能大的转矩对电动机进行减速,而且定位时的过冲较小,能够高速定位的电动机的控制方法和装置。

[0010] 除了上述目的之外,本发明的另一目的在于,提供一种能够使用滑动模式控制的电动机的控制方法和装置,该滑动模式控制沿着使用用于定位控制的物理变量来规定的滑动曲线来控制转子的位置和速度。

[0011] 本发明的电动机的控制方法,进行滑动模式控制来控制电动机并且使电动机的转子停止的固定位置上。在速度控制中,将使旋转速度指令所指示的指令速度与电动机的转子的旋转速度的偏差通过速度控制器而得到的转矩指令提供给转矩控制器,来对电动机的速度进行控制,以使得转子的旋转速度与旋转速度指令一致。在定位控制中,若输出了定位速度指令,则将使定位速度指令所指示的定位速度与电动机的速度的偏差通过速度控制器而得到的转矩指令提供给转矩控制器,来对转子的速度进行控制,以使得转子的旋转速度成为定位速度。并且,在转子的旋转速度成为定位速度后,切换为滑动模式控制。在滑动模式控制中,取得由表示使转子停止在转子的一次旋转内的哪个位置上的位置指令所指示的指令位置与转子的位置的位置偏差。将使该位置偏差通过位置控制器而得到的位置环速度指令与将旋转速度进行平方而编码后的平方速度的偏差输出到速度控制器,并将得到的转矩指令输入到转矩控制器中。在本发明中,通过沿着使用用于定位控制的物理变量规定的滑动曲线,控制转子的位置和速度,来进行使转子停止在目标位置上的滑动模式控制。滑动曲线用于制作输入到转矩控制器中的转矩指令,使用用于定位控制的物理变量来规定滑动曲线,使滑动模式控制成为可能。

[0012] 例如,在位置偏差大于预先规定的值时,使位置控制器的增益为与减速转矩成正比并且与电动机和机械系统的惯性成反比的值。并且,将在转矩指令上加上转矩加法运算指令后的加法运算转矩指令提供给转矩控制器,该转矩加法运算指令用于得到从电动机的

最大转矩中减去控制余裕部分后的值的转矩。若位置偏差成为预先规定的值以下,则可以使转矩加法运算指令为零或接近零的值,并规定位置控制器的增益为对稳定偏差进行补偿的值。这样一来,能够不大幅改变现有的电动机控制系统的结构地,将滑动模式控制应用于现有的电动机控制系统中。

[0013] 更具体来说,在滑动模式控制中,假设减速转矩固定来设定滑动曲线。使提供给转矩控制器的加法运算转矩指令 T_{cmd} 为 $T_{cmd} = T + KS$, 其中 T 为转矩加法运算指令, K 为速度控制器的增益, S 为由包含决定速度控制器的输入的位置控制器的环内的物理变量构成的滑动曲线的函数。该函数 S , 在假设 v 为旋转速度, Δx 为位置偏差, C 为位置控制器的增益时, 表示为 $S = C \Delta x \pm v^2$ 。其中在该式中 $+$ 为 $v < 0$ 时, $-$ 为 $v \geq 0$ 时, 在此, 在假设 x_0 为预先规定的值, T_1 为减速转矩, J 为电动机以及机械系统的惯性时, 位置控制器的增益 C , 在 $\Delta x > x_0$ 时为 $C = 2(T_1/J)$, 在 $\Delta x \leq x_0$ 时为 $C = C_0$ 。其中 C_0 是用于稳定偏差的补偿的位置控制器的增益。像这样具体化后, 能够使滑动模式控制内的变量, 与位置控制器的增益、位置偏差、转矩合计等在以往的控制装置中使用的参数对应。因此, 能够使用现有的电动机的控制装置来进行滑动模式控制。

[0014] 另外, 优选使速度控制器在速度控制和定位控制中, 进行比例积分控制, 在滑动模式控制中, 到转子到达目标位置之前的规定时期为止, 进行比例控制, 以后进行比例积分控制。

[0015] 输入到位置控制器中的位置指令的规定方法任意。但是若如下来规定位置指令, 则能够在电动机的转子一次旋转内的位置上最短地进行定位。即, 求出满足下面两个式子的最小的 n ,

[0016] $n \geq ((\text{平方速度})/(\text{位置控制器的增益}) + \text{位置反馈} - \text{位置的位移量})/(2\pi \times a)$

[0017] $n < ((\text{平方速度})/(\text{位置控制器的增益}) + \text{位置反馈} - \text{位置的位移量})/(2\pi \times a) + 1$

[0018] 其中, a : 转子每一次旋转的转子位置检测器的分辨率。并且使用下式来决定位置指令: “位置指令 = $n \times 2\pi + \text{位置的位移量}$ ”。

[0019] 实施本发明的电动机的控制方法的电动机的控制装置具备: 速度检测器、第 1 选择部、位置检测器、位置环、第 2 选择部、速度控制器、加法运算部、转矩控制器、和控制部。速度检测器, 检测电动机的转子的旋转速度, 并输出旋转速度和将旋转速度进行平方而编码后的平方速度。第 1 选择部, 选择速度检测器的输出。位置检测器, 检测转子的旋转位置。另外, 速度检测器和位置检测器的检测部(传感器)也可以使用能够通用的部件。位置环, 包含如下部件而构成: 位置偏差运算部, 其求出由表示使转子停止在转子进行一次旋转内的哪个位置上的位置指令所指示的指令位置, 与旋转位置的位置偏差; 和位置控制器, 其将位置偏差作为输入来输出位置环速度指令。第 2 选择部, 从由上位控制器所输出的旋转速度指令、指示定位速度的定位速度指令、以及位置环速度指令中, 选择一个速度指令。速度偏差运算部, 求出由第 2 选择部所选择的一个速度指令所指示的指令速度、与由第 1 选择部所选择的旋转速度或平方速度的速度偏差。速度控制器, 将速度偏差运算部的输出作为输入来产生转矩指令。加法运算部, 在转矩指令上加上转矩加法运算指令来输出加法运算转矩指令。转矩控制器, 将加法运算转矩指令作为输入来输出电流指令。并且控制部在稳定控制运转时, 第 1 选择部选择旋转速度并且第 2 选择部选择旋转速度指令。并且控制部在

输入了定位指令时,第1选择部选择旋转速度并且第2选择部选择定位速度指令,将使定位速度指令与旋转速度的偏差通过速度控制器而得到的转矩指令提供给转矩控制器,来对转子的速度进行控制,以使得转子的旋转速度成为定位速度。之后,在转子的旋转速度成为定位速度后,控制部通过第1选择部选择平方速度并且第2选择部选择位置环速度指令,将使位置环速度指令所指示的速度与平方速度的偏差通过速度控制器而得到的转矩指令提供给转矩控制器,并沿着使用用于定位控制的物理变量定义的滑动曲线对转子的位置和速度进行控制,从而调整转矩控制器的输入,以实施使转子停止在目标位置上的滑动模式控制。

[0020] 根据本发明的电动机的控制装置,因为沿着使用用于定位控制的物理变量规定的滑动曲线来控制转子的位置和速度,所以能够使用与现有的电动机的控制装置的结构相同的结构,来简单地实现使用了滑动模式控制的停止动作。

[0021] 此时的滑动曲线,以如下方式构成:在位置偏差大于预先规定的值时,在使位置控制器的增益为与减速转矩成正比并且与电动机和机械系统的惯性成反比的值之后,将在转矩指令上加上转矩加法运算指令后的加法运算转矩指令提供给转矩控制器,该转矩加法运算指令用于得到从电动机的最大转矩中减去控制余裕部分后的值的转矩,若位置偏差成为预先规定的值以下,则使转矩加法运算指令为零或接近零的值,使位置控制器的增益为对稳定偏差进行补偿的值。

附图说明

[0022] 图1是表示实施本发明的电动机的控制方法的电动机的控制装置的结构的功能图。

[0023] 图2是表示用于说明图1的实施方式的动作状态的波形图。

[0024] 图3是用于说明滑动模式控制的图。

[0025] 图4(A)至(G)是表示用于说明图1的实施方式的动作的定位停止控制的模拟结果的时序图。

[0026] 图5(A)至(F)是表示通过以往的方法进行了定位停止控制时的模拟结果的时序图。

[0027] 图6是表示以往的电动机的控制装置的结构的一个例子的功能图。

[0028] 图7是表示以往的电动机的控制装置的波形图。

具体实施方式

[0029] 以下,参照附图来详细地说明本发明的实施方式。图1是表示实施本发明的电动机的控制方法的电动机的控制装置1的结构的功能图。图2是表示用于说明图1的实施方式的动作状态的波形图。图3是用于说明滑动模式控制的图,图4(A)至(G)是表示用于说明图1的实施方式的动作的定位停止控制的模拟结果的时序图。本实施方式的电动机的控制装置1具备:速度检测器2、构成位置检测器的编码器3、速度控制器4、位置控制器5、转矩控制器6、控制部7、第1选择部SW1、第2选择部SW2、位置偏差运算部SB1和速度偏差运算部SB2、以及加法运算部AD。速度检测器2根据来自编码器3的输出来检测电动机M的转子的旋转速度,并输出旋转速度 v 和对旋转速度进行平方而编码后的平方速度 v^2 [参照图4(D)]。第1选择部SW1根据来自后述控制部7的指令来选择速度检测器2的输

出。构成位置检测器的编码器 3 检测电动机 M 的转子的旋转位置。在本实施方式中,编码器 3 作为速度检测器 2 的检测部(传感部)来使用。位置偏差运算部 SB1 求出由表示使转子停止在转子的一次旋转内的哪个位置上的位置指令 pc[参照图 4(B)]所指示的位置,与由编码器 3 所输出的旋转位置 p[参照图 4(C)]的位置偏差 d1[参照图 4(G)]。该位置指令 pc 从未作图示的上位控制器被输出。位置控制器 5 将该位置偏差 d1 作为输入来输出位置环速度指令 vc。在本实施方式中,包含位置偏差运算部 SB1 和位置控制器 5 的环构成了位置环。

[0030] 第 2 选择部 SW2 根据来自控制部 7 的切换指令来切换接点 S1 和 S2,并从从未作图示的上位控制器所输出的旋转速度指令 rsc[参照图 4(E)]、指示定位速度的定位速度指令 oc[参照图 4(A)]、以及位置环速度指令 vc 中,选择一个速度指令。位置偏差运算部 SB2 求出由第 2 选择部 SW2 所选择的一个速度指令所指示的指令速度与由第 1 选择部 SW1 所选择的旋转速度 v 或平方速度 v^2 [参照图 4(D)]的速度偏差 d2。

[0031] 速度控制器 4 将速度偏差运算部 SB2 的输出(d2)作为输入来产生转矩指令 tc。加法运算部 AD 在转矩指令 tc 上加上转矩加法运算指令 ac[参照图 4(F)]来输出加法运算转矩指令 atc。转矩控制器 6 将加法运算转矩指令 atc 作为输入来输出电流指令 ic。电流指令 ic 被输入到内置于电动机 M 中的电动机驱动部中,对电动机 M 进行驱动控制。

[0032] 在电动机 M 根据从未作图示的上位控制器输出的旋转速度指令 rsc 来运转的稳定控制运转时,控制部 7 对第 1 选择部 SW1 输出切换指令,以使得第 1 选择部 SW1 的接点 S3 选择旋转速度 v,并对第 2 选择部 SW2 输出切换指令,以使得第 2 选择部 SW2 的接点 S1 选择旋转速度指令 rsc。速度偏差运算部 SB2 将由旋转速度指令 rsc 所指示的旋转速度与从速度检测器 2 输出的旋转速度 v 的速度偏差 d2 输出到速度控制器 4。此时加法运算部 AD 不做任何加法运算地将从速度控制器 4 输出的转矩指令 tc 原样输出到转矩控制器 6。因此,在稳定控制运转时,按照来自上位控制器的旋转速度指令 rsc 来实施速度控制。

[0033] 然后,控制部 7 在使电动机 M 停止在固定位置上时,为了进行定位控制,而将第 1 选择部 SW1 的接点 S3 选择旋转速度 v 的切换指令输出,将第 2 选择部 SW2 的接点 S1 和 S2 选择定位速度指令 oc 的切换指令输出到第 2 选择部 SW2。速度偏差运算部 SB2 将由定位速度指令 oc 所指示的定位速度与从速度检测器 2 输出的旋转速度 v 的速度偏差 d2 输出到速度控制部 4。此时加法运算部 AD 不做任何加法运算地将从速度控制器 4 输出的转矩指令 tc 原样输出到转矩控制器 6。因此,在定位控制时,使速度逐渐减少到由来自上位控制器的定位速度指令 oc 所指示的定位速度为止。

[0034] 之后,在转子的旋转速度成为定位速度后,控制部 7 将第 1 选择部 SW1 的接点 S3 选择平方速度 v^2 的切换指令输出到第 1 选择部 SW1,将第 2 选择部 SW2 的接点 S1 和 S2 选择位置环速度指令 vc 的切换指令输出到第 2 选择部 SW2。速度偏差运算部 SB2 将由位置环速度指令 vc 所指示的速度与从速度检测器 2 输出的平方速度 v^2 的偏差输出到速度控制部 4。此时加法运算部 AD 在从速度控制器 4 输出的转矩指令 tc 上加上由控制部 7 决定的转矩加法运算指令 ac,并将得到的加法运算转矩指令 atc 提供给转矩控制器 6。

[0035] 在本实施方式中,调整转矩控制器 6 的输入,以实施滑动模式控制。在本实施方式中,通过沿着使用用于定位控制的物理变量来规定的滑动曲线来控制转子的位置和速度,从而使转子停止在目标位置上。在此,由于滑动曲线用于制作输入到转矩控制器 6 中的转

矩指令,因此使用在定位控制中使用的物理变量来规定滑动曲线,使滑动模式控制成为可能。

[0036] 在本实施方式中,在用于得到和从速度控制器 4 输出的转矩指令 t_c 相加的转矩加法运算指令 ac 的函数内使用了滑动曲线。此时的滑动曲线以满足如下两个条件的方式规定。第 1 条件为,在位置偏差 $d1$ 大于预先规定的值时,位置控制器 5 的增益 C 采用与减速转矩 T 成正比并且与电动机的惯性 J 成反比的值。并且,将为了得到从电动机 M 的最大转矩中减去控制余裕部分后的值的转矩的转矩加法运算指令 ac 加到转矩指令 t_c 上后的加法运算转矩指令 atc 提供给转矩控制器 6。第 2 条件为,若位置偏差 $d1$ 成为预先规定的值以下,则转矩加法运算指令 ac 采用零或者接近零的值 [参照图 4(F)],位置控制器 5 的增益 C 采用对稳定偏差进行补偿的值。

[0037] 对在本实施方式中使用了的具体的滑动模式控制详细地进行说明。在本实施方式中使用的滑动模式控制中,假设减速转矩固定来设定滑动曲线,并以追踪该曲线的方式来控制电动机的位置和速度。在假设固定的减速转矩为 $-T1$ 时,减速中的电动机的运动方程式可以如下来表示。

$$[0038] \quad J \cdot d\Delta v/dt - T1 = 0 \dots\dots\dots (1)$$

[0039] 其中,在上式 (1) 中, J 是电动机的惯性, Δv 是速度偏差。若假设位置偏差为 Δx ,则 $\Delta v = d\Delta x/dt$,因此上式 (1) 成为下式这样。

$$[0040] \quad C1 \Delta x - \Delta v^2 = 0 \dots\dots\dots (2)$$

[0041] 其中,在上式 (2) 中, $C1 = 2(T1/J)$ 。

[0042] 因此,滑动曲线 S 可以如下来表示。

$$[0043] \quad S = C \Delta x \pm v^2 \dots\dots\dots (3)$$

[0044] 在上式 (3) 中,“+”是 $v < 0$ 的情况,“-”是 $v \geq 0$ 的情况。

[0045] 此外,在上式 (3) 中,在 $\Delta x > x_0$ 的情况下, $C = 2(T1/J)$,在 $\Delta x \leq x_0$ 的情况下, $C = C_0$ 。在此, x_0 [参照图 4(A)] 是与接近目标位置的位置对应的预先规定的值。 C_0 是用于稳定偏差的补偿的微小值。直到位置偏差 Δx 接近与靠近目标位置的预先规定的位置对应的值 x_0 附近为止,以减速转矩 $-T1$ 为中心进行滑动模式控制,若 Δx 成为预先规定的值 x_0 以下则减速转矩 $= 0$,因此计算上的 C 的值变为 0。但是在本实施方式中,作为稳定偏差的补偿,将 C 设定为微小值 C_0 。因此,加法运算转矩指令可以如下来表示。

$$[0046] \quad T_{cmd} = T + KS \dots\dots\dots (4)$$

[0047] 即, $T_{cmd} = T + KS = T + K(C \Delta x \pm v^2)$ 。

[0048] 在上式 (4) 中,在 $\Delta x > x_0$ 的情况下, $T = -T1$,在 $\Delta x \leq x_0$ 的情况下, $T = 0$ 。并且 K 为常数。

[0049] 图 3 表示在本实施方式的控制中使用了的滑动曲线。图 3 所示的相位面轨迹是将电动机从任意位置移动到目标位置时的位置偏差和速度的轨迹。如图 3 所示,若实施了滑动模式控制,则电动机的转子沿着滑动曲线向停止位置移动。

[0050] 在本实施方式中,将滑动模式控制系统与以往的电动机控制系统相比较,如下将两者的物理变量对应起来。因此,能够不大幅改变现有的电动机控制系统的结构地,将滑动模式控制应用于现有的电动机控制系统中。

[0051] • 变量 T 为转矩合计量

[0052] • 变量 C 为位置控制器 5 的增益

[0053] • 变量 Δx 为位置偏差

[0054] • 变量 K 为速度控制器 4 的增益

[0055] • 变量 $\pm v^2$ 为速度的平方速度。

[0056] 由此,能够将用于滑动模式控制的变量,与位置控制器 5 的增益、位置偏差、转矩合计等在以往的控制装置中使用的物理变量对应起来,来进行控制。

[0057] 另外,在电动机的转子的位置不在目标位置附近的情况下,优选使转矩合计量 $T1$ 成为 $T1 = \text{电动机的最大转矩} \times 90\%$,使位置控制器 5 的增益 C 成为 $C = 2(T1/J)$ 。

[0058] 其中, J 是电动机和机械系统的惯性, K 是速度控制器 4 的增益。转矩合计量 $T1$ 采用最大转矩的 90% ,以使得能够在确保了控制余裕 10% 的基础上,尽可能地在较大的转矩下运转。此外,速度控制器 4 以进行比例控制的方式构成,使得能够进行沿着滑动曲线的运转。该速度控制增益 K ,也可以通过实验等来求出最合适的值。

[0059] 此外,在位置偏差变小,成为目标位置附近的值 x_0 的情况下,

[0060] 使转矩合计量 T 为 $T = 0$,

[0061] 使位置控制器 5 的增益 C 为 $C = C_0$,

[0062] 使速度控制器 4 的增益 K 为 $K = K_0$ 。

[0063] 其中, C_0 和 K_0 是通过实验事先规定的、为了抑制稳定偏差并使得不出现定位误差所需要的值。另外,在此情况下,优选比例积分控制来构成速度控制器 4。以该设定能够根据来自控制部 7 的指令来进行的方式预先规定速度控制器 4 的结构即可。另外,在用软件来实现控制系统的情况下,能够用程序容易地实现该变更。这样一来,能够抑制稳定偏差,使得不出现定位误差,来进行定位停止控制。

[0064] 此外,如图 2 所示,在切换为滑动模式控制后,将速度指令限制在来自上位控制器的速度限制指令值以下,而且,从达到定位速度的稍前开始到切换为滑动模式控制为止,将转矩指令限制为 90% 。此时,速度控制器 4 进行比例积分控制。然后,从切换为滑动模式控制后开始到目标值附近为止,将加速方向的转矩指令限制为 0% ,使减速方向的转矩指令为 100% ,来使得电动机速度不从定位速度上升。此时速度控制器 4 进行比例控制。此外,从停止的稍前开始将转矩限制设回 100% ,速度控制器 4 进行比例积分控制。通过像这样对速度指令和转矩指令进行限制,能够使滑动模式控制的动作流畅。在电动机停止后,输出定位完成信号 cp 。

[0065] 另外,切换为滑动模式控制时的位置指令 pc 如下来计算。

[0066] 首先,求出满足下面两个式子的最小的 n 。

[0067] $n \geq ((\text{平方速度})/(\text{位置控制器的增益}) + \text{位置反馈} - \text{位置的位移量})/(2\pi \times a)$

[0068] $n < ((\text{平方速度})/(\text{位置控制器的增益}) + \text{位置反馈} - \text{位置的位移量})/(2\pi \times a) + 1$

[0069] 其中, a 是转子每一次旋转的编码器脉冲分辨率。并且,如下来规定位置指令 pc 。

[0070] 位置指令 $pc = n \times 2\pi + \text{位置的位移量}$

[0071] 通过像这样提供位置指令,能够在电动机一次旋转内的位置上,最短地对转子进行定位。按照上式,位置指令 pc 从未作图示的上位控制器被输出。

[0072] 图 5(A) 至 (F) 是表示通过以往的方法进行了定位停止控制时的模拟结果的时

序图。对比图 4(G) 的位置偏差信号 d1 和图 5(F) 的位置偏差信号 d1 可知,本实施方式的位置偏差 d1 更早地变为 0(停止在固定位置)。

[0073] 当然,上述实施方式的主要部分全部能够通过软件实现。

[0074] 在上述实施方式中,控制部 7 优选具有在定位控制时计算加速度,并根据加速度的最大值来决定位置控制器 5 的增益 C 的自动调谐功能。若控制部 7 具有这种自动调谐功能,则能够实现能够高速地检测出电动机 M 的负载惯性发生了变化,并且即使在电动机 M 的负载惯性发生了变化的情况下也能够高速地进行定位置停止控制的电动机的控制装置。

[0075] 根据本发明,使滑动模式控制时的控制各部的物理变量(参数)与现有的电动机控制系统的物理变量(参数)对应来处理。因此,根据本发明,能够恰当地进行控制系统的物理变量(参数)的定义,并能够将滑动模式控制应用于定位置停止控制。此外,根据本发明,也能够直接利用以往的电动机控制系统中的稳定偏差的抑制功能。并且,根据本发明,因为使转子的位置的轨道作为滑动曲线使其包含于电动机控制装置的控制系统中,所以即使在提供固定的目标位置作为位置指令,来进行电动机的定位的情况下,也能够抑制过冲,并实现高速的定位置停止控制。此外,位置指令也可以以能够在电动机一次旋转内的位置上最短地对转子进行定位的方式来计算,例如,在将本发明应用于主轴电动机的控制中的情况下,能够大幅缩短定位停止所需要的时间。

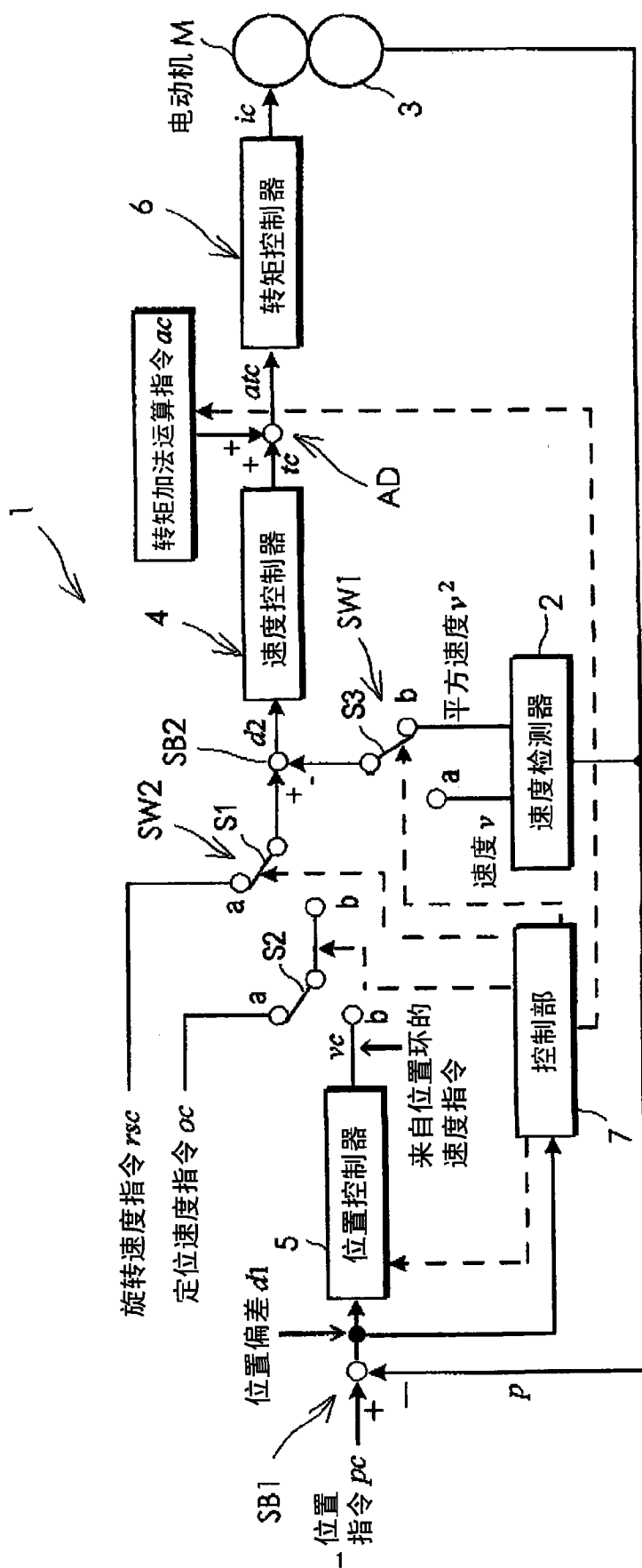


图 1

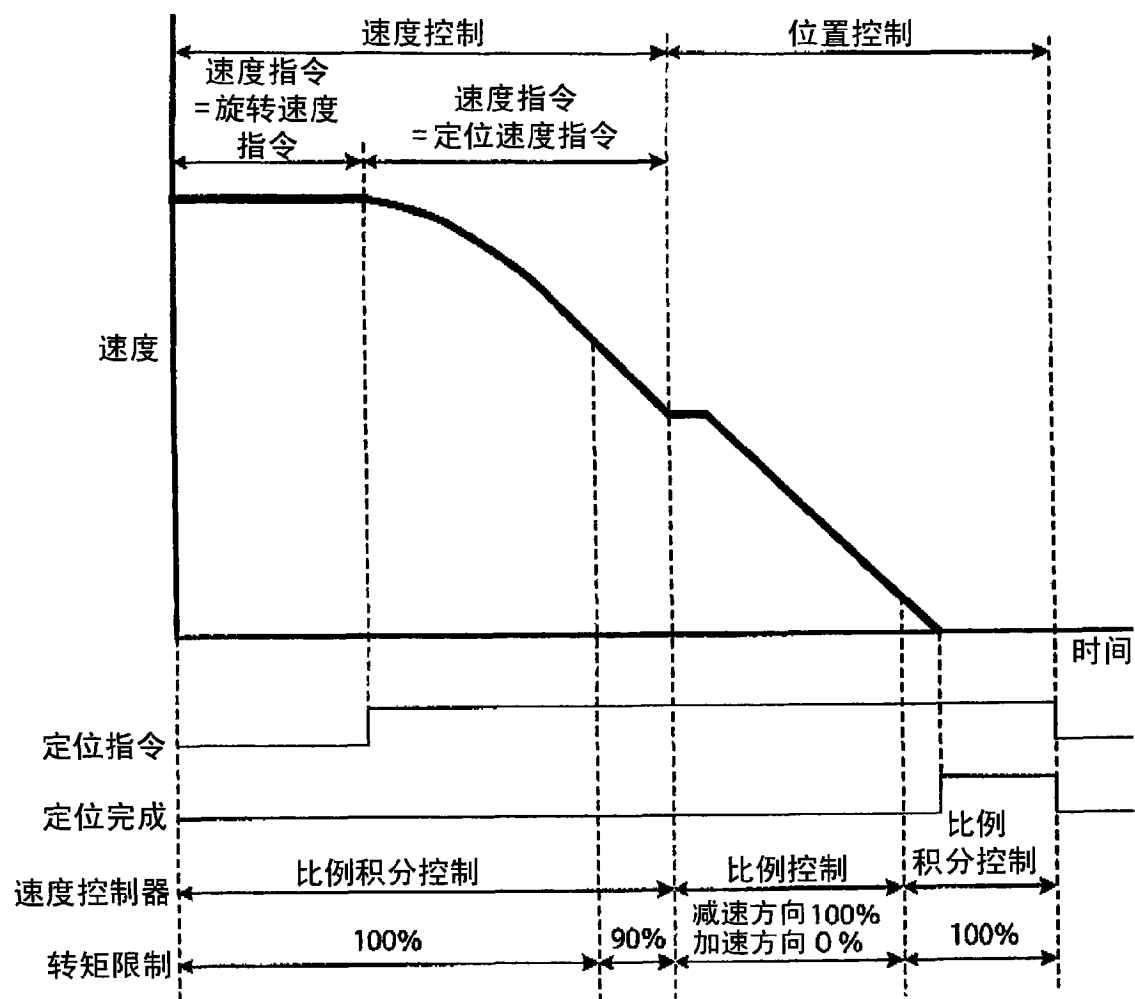


图 2

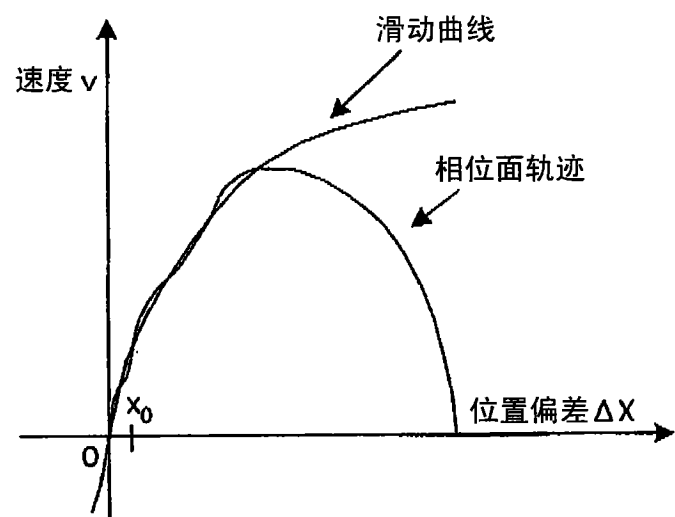


图 3

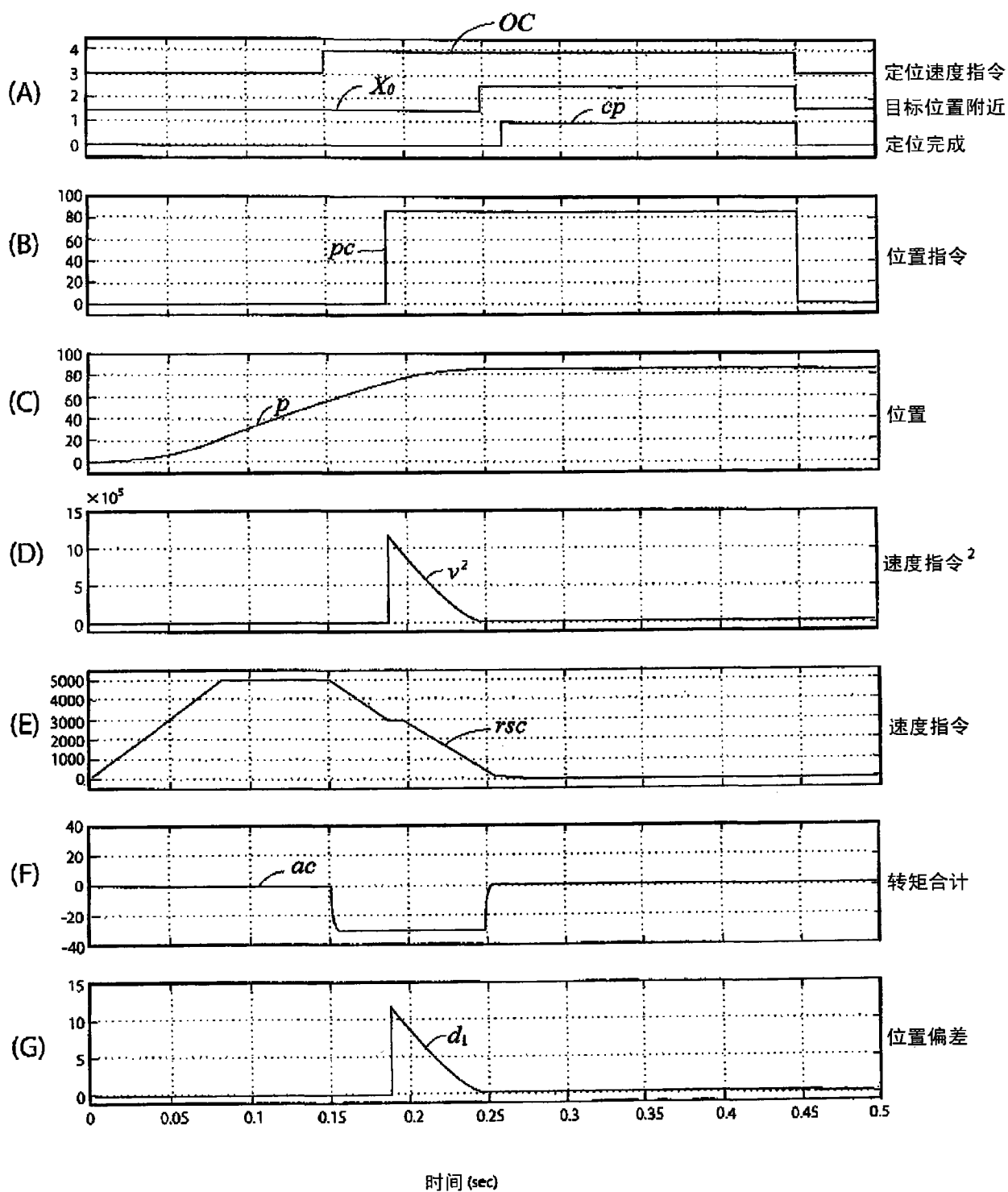


图 4

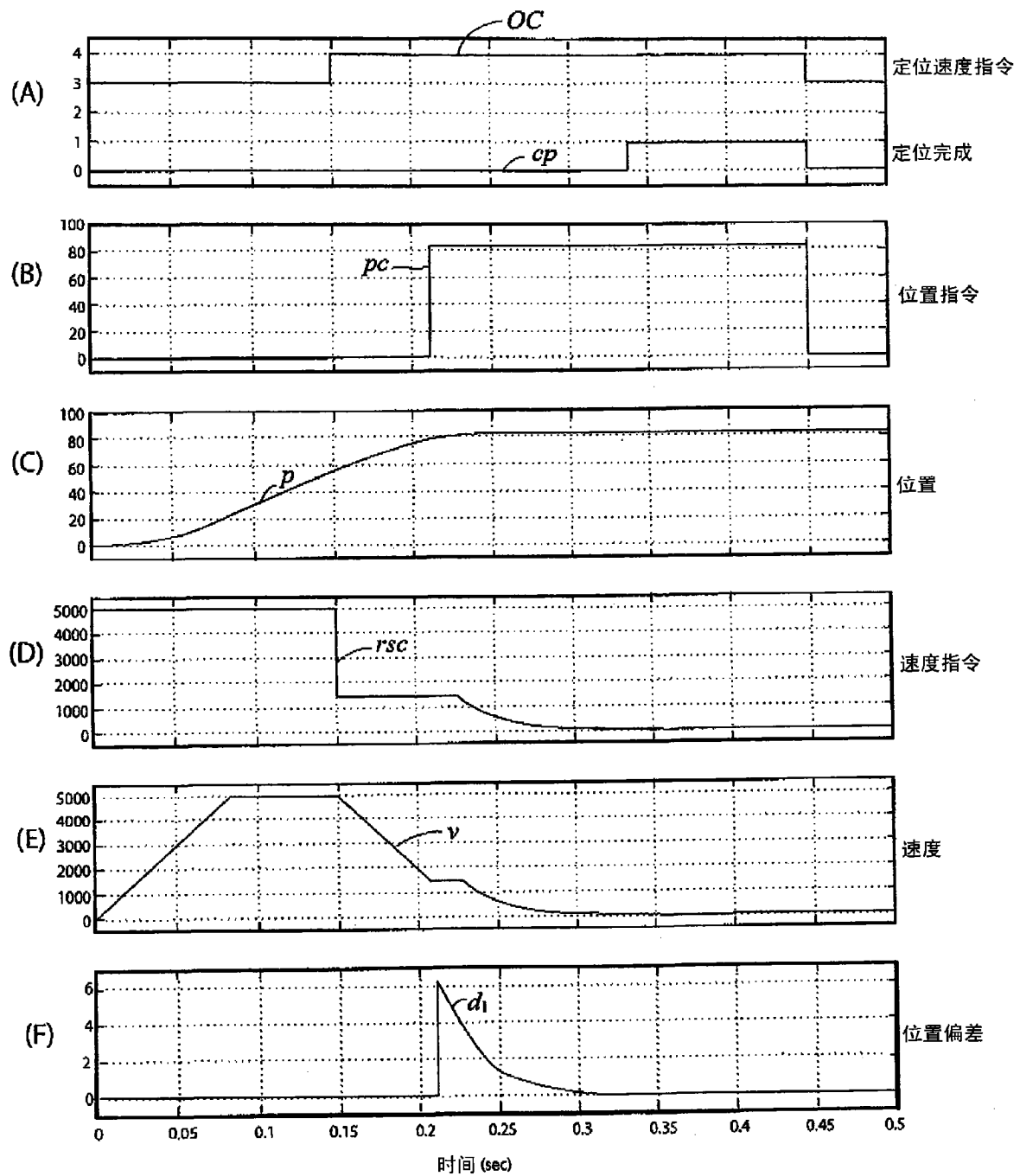


图 5

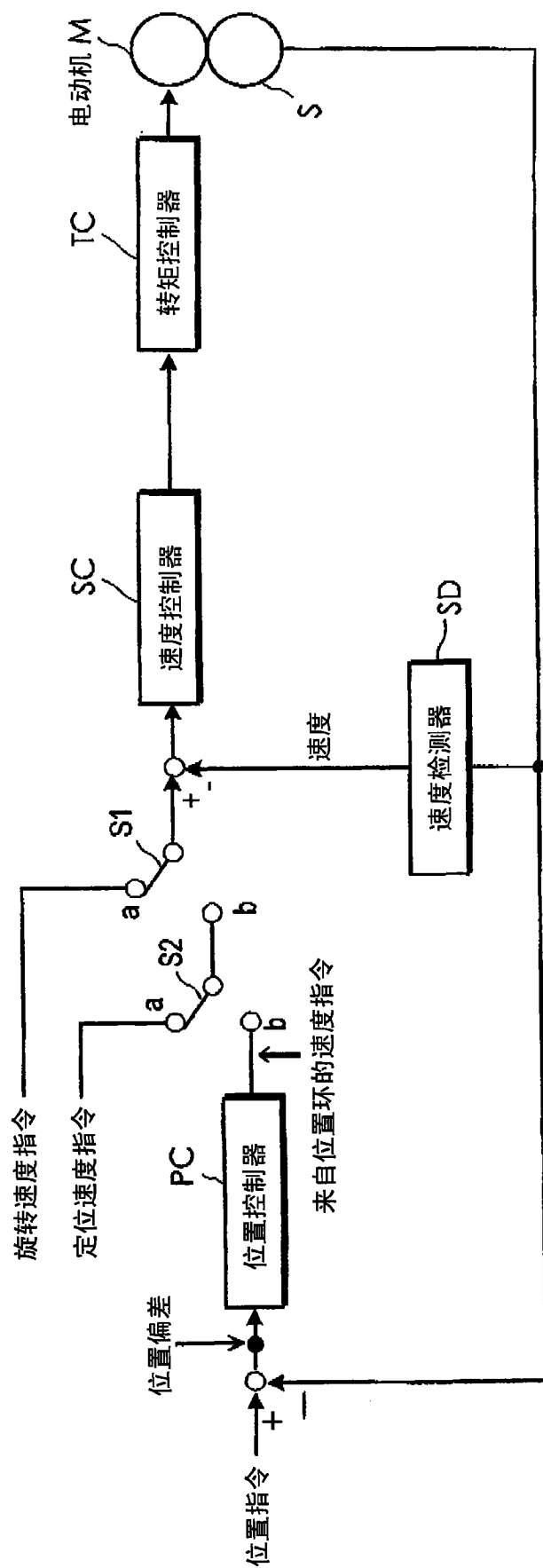


图 6

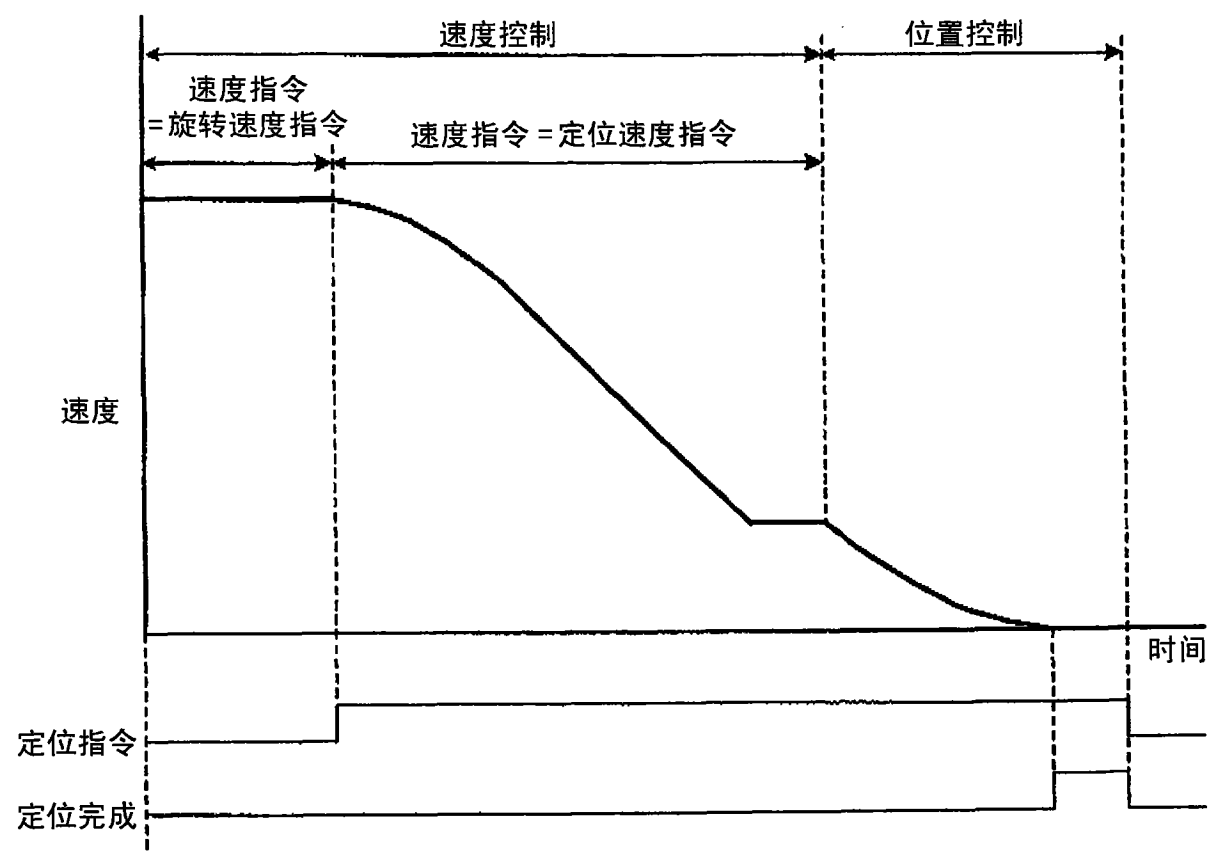


图 7