



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108693768 B

(45)授权公告日 2020.06.26

(21)申请号 201810286949.0

(22)申请日 2018.03.30

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108693768 A

(43)申请公布日 2018.10.23

(30)优先权数据
2017-070412 2017.03.31 JP

(73)专利权人 发那科株式会社
地址 日本山梨县

(72)发明人 宇野宏佑

(74)专利代理机构 北京银龙知识产权代理有限公司 11243
代理人 范胜杰 王立杰

(51)Int.Cl.

G05B 11/42(2006.01)

(56)对比文件

US 2010/0030366 A1, 2010.02.04, 全文.
US 2002/0180394 A1, 2002.12.05, 全文.
JP 特开2002-323915 A, 2002.11.08, 全文.
JP 特开2005-205517 A, 2005.08.04, 全文.
JP 特开2010-20704 A, 2010.01.28, 全文.
JP 平2-180541 A, 1990.07.13, 全文.
CN 101458509 A, 2009.06.17, 全文.
CN 105573256 A, 2016.05.11, 全文.

审查员 肖薇

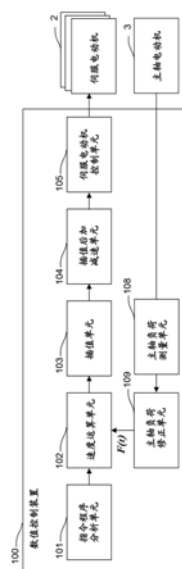
权利要求书1页 说明书5页 附图13页

(54)发明名称

数值控制装置

(57)摘要

本发明涉及一种数值控制装置,能够抑制自适应控制的超调。该数值控制装置具备:速度运算单元,其根据测量单元测量到的主轴负荷来进行调整进给速度的PID控制;以及主轴负荷修正单元,其在主轴负荷达到目标负荷为止期间修正上述主轴负荷使得成为接近目标负荷的值。速度运算单元使用修正后的主轴负荷进行PID控制。



1. 一种数值控制装置,具有:主轴负荷测量单元,其测量主轴负荷;以及速度运算单元,其根据上述主轴负荷来进行调整进给速度的PID控制,其特征在于,

该数值控制装置还具备:主轴负荷修正单元,其计算基于上述主轴负荷和切削体积的比的值来作为反馈值,

上述速度运算单元使用上述反馈值来进行上述PID控制。

2. 根据权利要求1所述的数值控制装置,其特征在于,

上述主轴负荷修正单元使用表示工具与工件的接触面的圆弧的弦的长度和上述工具的直径之间的比来进行计算。

数值控制装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种数值控制装置，特别涉及一种抑制自适应控制的超调(overshoot)的技术。

背景技术

[0002] 已知一种检测主轴负荷并控制进给速度的自适应控制技术。例如在日本特开2017-97701号公报以及日本特开2017-191536号公报中记载有以下技术，如图1所示(其中，上图为自适应控制，下图为由PID控制进行的反馈)，进行当进刀量小且主轴负荷小时增大进给速度，当进刀量大且主轴负荷大时减小进给速度的控制。

[0003] 但是，在切割加工工件时进行与主轴的负荷对应的自适应控制的情况下，会出现如果根据切割开始时的低负荷进行PID控制则会产生超调的问题。即，如图2A所示，从工具12开始接触工件11后到工件11与工具12的接触面积成为最大为止期间，主轴负荷停留在较低的水平。若根据此时的低负荷进行PID控制则进行提高速度的控制，如图2B那样主轴负荷会超调。

[0004] 图3以及图4表示产生该问题的机制。如图3所示，在PID控制中，通过以下的公式(1)计算主轴的进给速度的决定因素即超驰(override) $O(t)$ 。这里，将公式(1)右边的第一项称为比例项，将第二项称为积分项，将第三项称为微分项。

$$[0005] \quad O(t) = K_p e_L(t) + \int^t K_i e_L(t) dt + K_d \frac{d}{dt} e_L(t) + C \quad (1)$$

[0006] 切割开始时的主轴负荷表示图3的框图20中的图表那样的锯齿状的波形。将该波形数据平滑化的是图3的框图30中的图表。通过该框图30中的图表了解到切割开始时与主轴负荷相比目标负荷小。换言之，目标负荷与主轴负荷之间的偏差 $e_L(t)$ 大。此时，上述公式(1)右边的积分项变大。如果积分项变大，则超驰 $O(t)$ 变大，进行使速度上升的控制，作为结果会产生主轴负荷超过目标负荷的超调。

[0007] 图5是表示超调产生时的主轴负荷(点划线)以及进给速度(实线)推移的一例的图表。

[0008] 图5中，通过相对于指令速度的倍率(%)来表示进给速度，通过相对于连续额定(可长时间运转的负荷)的倍率(%)来表示主轴负荷。在该图5所示的例子中，将对应连续额定200%的短时间额定(限一定时间内可运行的负荷)作为目标负荷进行了PID控制，但是控制开始当初的主轴负荷低，因此进行进给速度超过100%的控制，作为结果产生主轴负荷超过目标负荷的超调。

[0009] 另外，通过提高上述公式(1)右边的比例项的增益(K_p)，能够抑制超调。但是，如果这样则产生超驰下降且加工速度变慢的新问题，因此很难说是适当的对策。

发明内容

[0010] 本发明是为了解决这样的问题点而进行的，其目的为提供一种能够抑制自适应控

制的超调的数值控制装置。

[0011] 本发明的数值控制装置具有：主轴负荷测量单元，其测量主轴负荷以及速度运算单元，其根据上述主轴负荷来进行调整进给速度的PID控制，数值控制装置还具有：主轴负荷修正单元，其在上述主轴负荷达到目标负荷为止期间修正上述主轴负荷使得成为接近上述目标负荷的值。上述速度运算单元构成为，使用上述修正后的主轴负荷来进行上述PID控制。

[0012] 上述主轴负荷修正单元可以构成为，根据切削体积来修正上述主轴负荷。

[0013] 上述主轴负荷修正单元可以构成为，根据表示工具与工件的接触面的圆弧的弦的长度和上述工具的直径之间的比来修正上述主轴负荷。

[0014] 根据本发明，能够提供一种可抑制自适应控制的超调的数值控制装置。

附图说明

[0015] 图1表示现有的PID控制的一例。

[0016] 图2A以及图2B是说明现有技术的问题点的图。

[0017] 图3是说明现有技术的问题点的图。

[0018] 图4是说明现有技术的问题点的图。

[0019] 图5是说明现有技术的问题点的图。

[0020] 图6A以及图6B是说明本发明实施方式的PID控制的概要的图。

[0021] 图7是说明本发明实施方式的PID控制的概要的图。

[0022] 图8A以及图8B是说明在现有的PID控制(图8A)中产生主轴负荷的超调，但是在本发明的实施方式的PID控制(图8B)中没有产生超调的情况的图。

[0023] 图9是表示本发明实施方式的数值控制装置的结构框图。

[0024] 图10是表示本发明实施方式的数值控制装置的动作的流程图。

[0025] 图11A以及图11B是说明主轴负荷的修正方法的一例的图。

[0026] 图12A以及图12B是说明主轴负荷的修正方法的一例的图。

[0027] 图13A以及图13B是说明主轴负荷的修正方法的一例的图。

[0028] 图14A-图14C是说明主轴负荷的修正方法的一例的图。

[0029] 图15A以及图15B是说明主轴负荷的修正方法的一例的图。

具体实施方式

[0030] 首先使用图6A~图8说明用本发明实施方式的概要。

[0031] 在本实施方式中，将上述公式(1)所示的现有PID控制作为基本，增加通过工具进行的工件的切削体积与主轴负荷的瞬时值之间的比来修正反馈的控制。此时，通过工具直径和进给速度来求出上述切削体积。另外，已知上述主轴负荷的瞬时值与瞬间的切削体积大概成比例。因此，不是反馈主轴负荷自身，而是反馈主轴负荷与切削体积之间的比的值，由此能够消除切割开始时的反馈小的情况。

[0032] 例如通过以下公式(2)求出反馈 $F(t)$ 。这里， $R(t)$ 是时刻 t 的主轴负荷的瞬时值。另外，公式(2)右边的分母表示从切削开始到时刻 t 为止的切削体积(参照图6A)。

$$[0033] \quad F(t) = \frac{\int_{t_0}^t R(t)dt}{\int_{t_0}^t C(t)dt} \quad (2)$$

[0034] 图6A是表示从切削开始时间点的反馈F(t)的推移的图表。该图表表示将目标负荷设为100%时所修正的主轴负荷(F(t))的倍率。以往,在主轴负荷达到目标负荷之前需要一定的时间(参照图3),而在本实施方式中能够将该时间设为大约0。另外,图6A中,时刻 t_0 之后立即出现的50%附近的值是噪音导致的值。

[0035] 这样,在本实施方式中如图7所示,不是反馈现有的主轴负荷自身(图7的框图21中的锯齿状图表),而是反馈基于主轴负荷与切削体积之间的比的F(t)(图7的框图31中的图表)。通过以下的公式(3)表示该PID控制。

$$[0036] \quad e'_L(t) = [\text{目标负荷}] - F(t)$$

$$[0037] \quad O(t) = K_p e'_L(t) + \int^t K_i e'_L(t)dt + K_d \frac{d}{dt} e'_L(t) + C \quad (3)$$

[0038] 将这样进行修正后的反应用于PID控制,从而即使在切割开始时反馈也不会变低。因此,在上述公式(3)中右边的积分项不会变大而能够防止负荷的超调。

[0039] 使用图8A以及图8B表示本实施方式的效果。

[0040] 在图8A所示的现有PID控制中产生了主轴负荷的超调,但是在图8B所示的本实施方式的PID控制中不会产生超调。即,根据本实施方式能够进行比现有技术更准确的控制,不需要担心超调。换言之,现有技术需要预见超调并将目标负荷设定得较低,但是如果适用本实施方式则不需要这样做。因此,能够将目标负荷设定得比现有技术大。如果能够将目标负荷设定得较大,则能够增大切削中的速度,所以能够缩短加工时间。

[0041] 接着,使用图9的框图来说明本实施方式的数值控制装置100的结构。

[0042] 数值控制装置100具有指令程序分析单元101、速度运算单元102、插值单元103、插值后加减速单元104、主轴负荷测量单元108以及主轴负荷修正单元109。

[0043] 指令程序分析单元101分析指令程序并计算工具的移动路径和移动速度。速度运算单元102使用从主轴负荷修正单元109输出的通过切削体积修正主轴负荷而得的F(t)来执行基于上述公式(3)的PID控制,并调整进给速度。插值单元103进行由速度运算单元102计算出的移动路径和移动速度的插值处理。插值后加减速单元104例如在移动路径中包括角部等时,进行针对速度运算单元102计算出的移动速度施加加减速的控制。伺服电动机控制单元105根据从插值单元103以及插值后加减速单元104输出的移动路径以及移动速度来控制伺服电动机2,使工具移动。主轴负荷测量单元108根据设置在负责主轴旋转的主轴电动机3上的传感器的输出来测量主轴负荷。主轴负荷修正单元109计算通过切削体积将主轴负荷测量单元108检测出的主轴负荷进行修正后的F(t),将F(t)反馈给速度运算单元102。

[0044] 在现有的PID控制中,由主轴负荷测量单元108输出的主轴负荷被用作反馈。另一方面,本实施方式的数值控制装置100的速度运算单元102特征在于反馈通过切削体积将主轴负荷进行修正后的F(t)这点。

[0045] 使用图10的流程图进一步详细说明数值控制装置100的动作流程。数值控制装置100以预定的执行周期执行该流程图的处理。

[0046] 步骤S1:按照每个周期T由主轴负荷测量单元108测量到的当前主轴负荷R(t)被输

入到主轴负荷修正单元109中。主轴负荷修正单元109判定 $R(t)$ 与阈值 R_m 之间的关系是否为 $R(t) \geq R_m$ 。阈值 R_m 是PID控制被有效化的主轴负荷的下限值。判定的结果为 $R(t) \geq R_m$ 时转到步骤S3,否则转到步骤S2。

[0047] 步骤S2:主轴负荷修正单元109将PID控制中标记设为关闭,结束处理。

[0048] 步骤S3:主轴负荷修正单元109参照PID控制中标记,判定PID控制中标记是否是打开。PID控制中标记打开表示当前正在执行PID控制。如果PID控制中标记是关闭则转到步骤S4,否则转到步骤S6。

[0049] 步骤S4:主轴负荷修正单元109根据当前时刻 t 、PID控制的执行周期(即主轴负荷修正单元109以及速度运算单元102的执行周期) T 设定为时刻 $t_0 = t - T$ 。

[0050] 步骤S5:主轴负荷修正单元109将PID控制中标记设定为打开。

[0051] 步骤S6:主轴负荷修正单元109计算通过切削体积修正主轴负荷而得的 $F(t)$ 。若将控制周期的离散时间设为 $t_1 = t_0 + T$ 、 $t_2 = t_0 + 2T$ 、 $\dots$ 、 $t_n = t_0 + nT$ (n 是自然数),则通过以下公式(4)计算 $F(t_n)$ 。

$$[0052] \quad F(t_n) = \frac{\sum_{i=1}^n R(t_i)}{\sum_{i=1}^n C(t_i)} \quad (4)$$

[0053] 上述公式(4)中的 $C(t_i)$ 是相对于长方体的工件在与旋转轴垂直的方向进给旋转工具且与垂直地切入工件的端面时的每次的切削体积成比例的函数。如果通过实际每次的切削体积修正了主轴负荷,则与目标负荷之间的差分成为不适当的值,因此在本实施方式中,使用表示将工具全部符合时的值设为1的比率(当前每次切削体积的比率)的 $C(t_i)$ 来修正主轴负荷。于是,如以下公式(5)那样表示 $C(t_i)$ 。

$$[0054] \quad C(t_i) = \frac{2\sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2} - P(t_i)\right)^2}}{D} \quad (5)$$

[0055] 这里, D 是工具直径(mm), $P(t_i)$ 是从时刻 t_0 到 t_i 为止的进给量(mm)。

[0056] 图11A以及图11B表示 $C(t_i)$ 与 D 、 $P(t_i)$ 之间的关系。图11B是从工具12的旋转轴方向观察到该工具12切入到工件11中的情形的截面图。工具12在微小时间进行切削的体积与表示工具12和工件11的接触面的圆弧弦的长度(图中用虚线表示)成比例,如公式6所示。

$$[0057] \quad 2\sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D}{2} - P(t)\right)^2} \quad (6)$$

[0058] 而且,在本实施方式中,为了将弦的长度=直径 D 时设为1,如公式(5)那样定义 $C(t_i)$ 。另外,当 $C(t_i)$ 成为1后,即 t_i 满足以下公式(7)时将 $C(t_i)$ 设为1。

$$[0059] \quad \left(P(t_i) \geq \frac{D}{2}\right) \quad (7)$$

[0060] 步骤S7:速度运算单元102使用从主轴负荷修正单元109进行反馈后的 $F(t)$,通过上述公式(3)来进行PID控制。

[0061] 根据本实施方式,主轴负荷修正单元109计算通过切削体积将主轴负荷进行修正后的 $F(t)$ 并反馈给速度运算单元102,速度运算单元102进行使用了 $F(t)$ 的PID控制。即,主轴负荷修正单元109进行使主轴负荷看起来比实际大的修正并进行反馈。这样,能够极力缩

小目标负荷与当前的主轴负荷之间的差分,能够抑制由于该差分产生的超调。

[0062] 另外,根据本实施方式,反馈 $F(t)$ 变得确实比 $R(t)$ 大,因此即使在切割宽度不是工具的宽度时也能够进行适当的修正。

[0063] 另外,本发明不限于上述实施方式,能够在不脱离主旨的范围进行适当变更。本发明在该发明的范围内,能够进行实施方式的任意结构要素的变形或能够省略实施方式的任意结构要素。

[0064] 例如,在图10的流程图的步骤S1中,可以设定为 $t_0=t$ 。于是 $C(t)=0$,因此在该周期不能够输出 $F(t)$,但是能够进行控制。另外,如果 $R(t)$ 的取得周期比控制周期还要短,则通过同样的步骤能够进一步准确地求出 t_0 。

[0065] 即如图13B所示,当主轴负荷的取得周期比控制周期要小时,将 t_i' 用于计算,其中, $t_{i+1}'=t_i'+T$ 。这样,与图13A所示的主轴负荷的取得周期和控制周期相同或比控制周期大的情况相比,能够更准确地采取切削体积与负荷值之间的同步。

[0066] 另外,作为离散时间的合计即

$$[0067] \quad \sum_{i=1}^n C(t_i) \quad (8)$$

[0068] 基于执行周期或工具的进给速度、工具直径,精度有可能下降。此时,根据进给量,通过 $C(t_i)$ 的积分直接求出切削体积,由此能够提高精度。

[0069] 即,如图14A以及图14B所示,如果周期 T 相对于 $iTF/60$ 变得越大,则上述公式(8)的计算误差变得越大。这种情况下如图14C所示,如果能够通过以下公式(9)根据进给量直接求出积分值则能够确保计算精度。

$$[0070] \quad \sum_{i=1}^n \int_{t_{i-1}}^{t_i} C(t_i) dt \quad (9)$$

[0071] 另外,在上述的实施方式中将积分区间设为从控制开始时刻开始(参照图12A),但是也可以通过任意的时间划分积分区间。例如,如图12B所示,即使从 t_{i-m} 将 t_i 设为积分区间也没有问题。此时, $C(t_i)$ 与 $R(t_i)$ 的积分区间都应该与 t_{i-m} 到 t_i 匹配。

[0072] 进一步,能够不进行积分而如以下公式(10)那样定义 $F(t_i)$ 。但是如果直接使用通过公式(10)定义的 $F(t_i)$,则由于噪音的影响 $F(t_i)$ 会发生变动,因此在上述的实施方式中通过积分去除噪音。

$$[0073] \quad F(t) = \frac{R(t)dt}{C(t)dt} \quad (10)$$

[0074] 另外,能够对 $R(t)$ 以及 $C(t)$ 施加某种滤波。此时,如果对 $R(t)$ 以及 $C(t)$ 施加同样的滤波函数,则能够与上述实施方式同样地计算出 $F(t)$ 。

[0075] 另外,在知道切割宽度时能够计算单纯切割时的切削体积(参照图15A的斜线部分)。因此,能够设定切割宽度。另外,为了简化,可以计算如图15B所示的近似切削体积(通过斜线表示的三角形)。

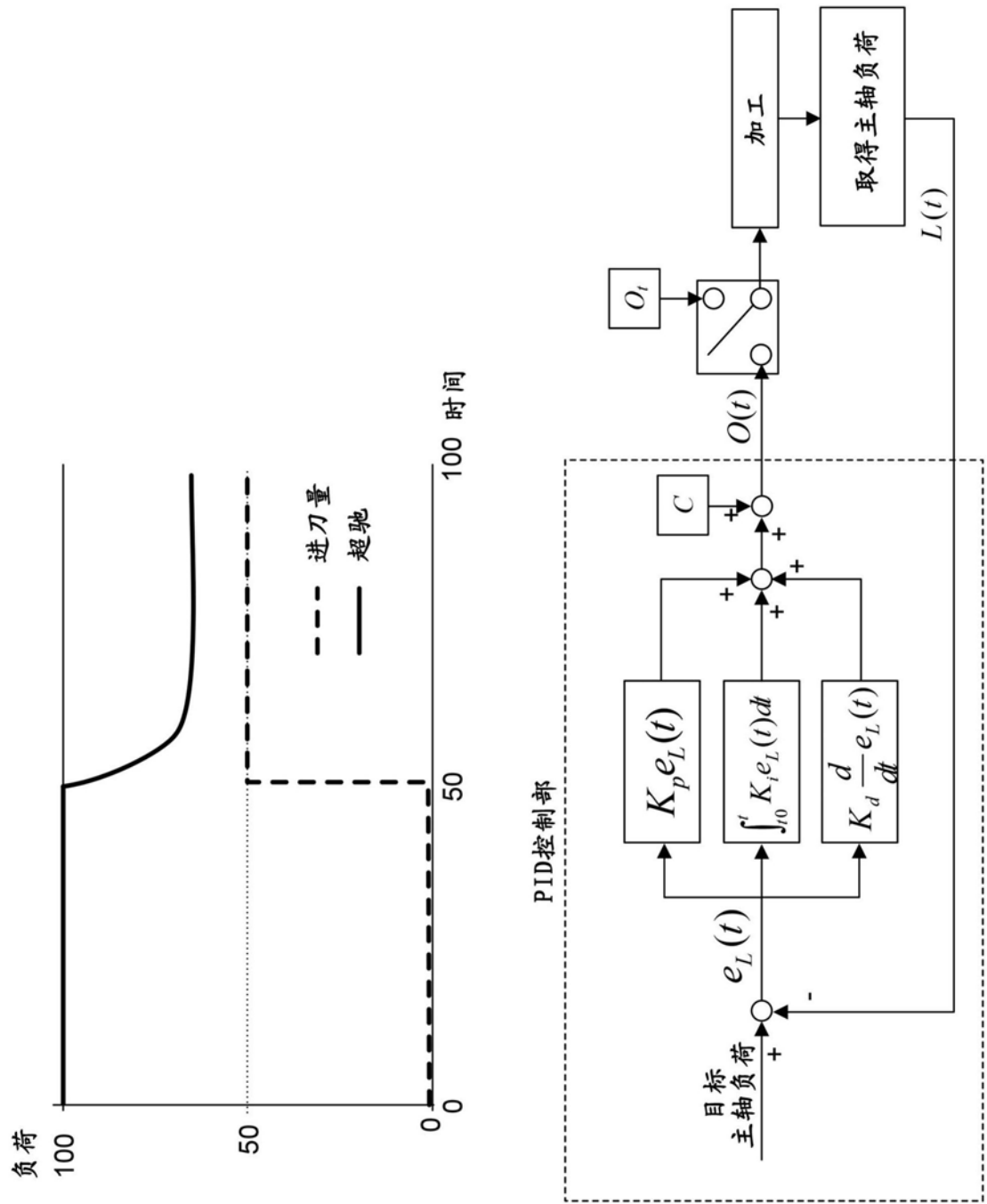


图1

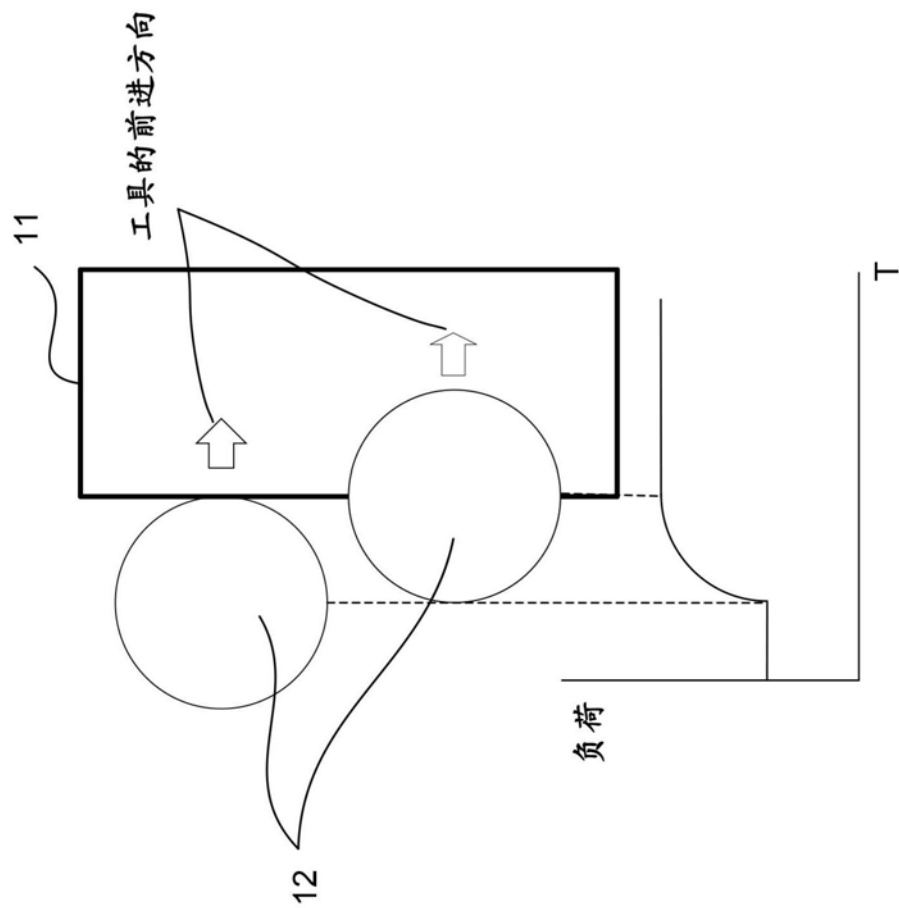


图2A

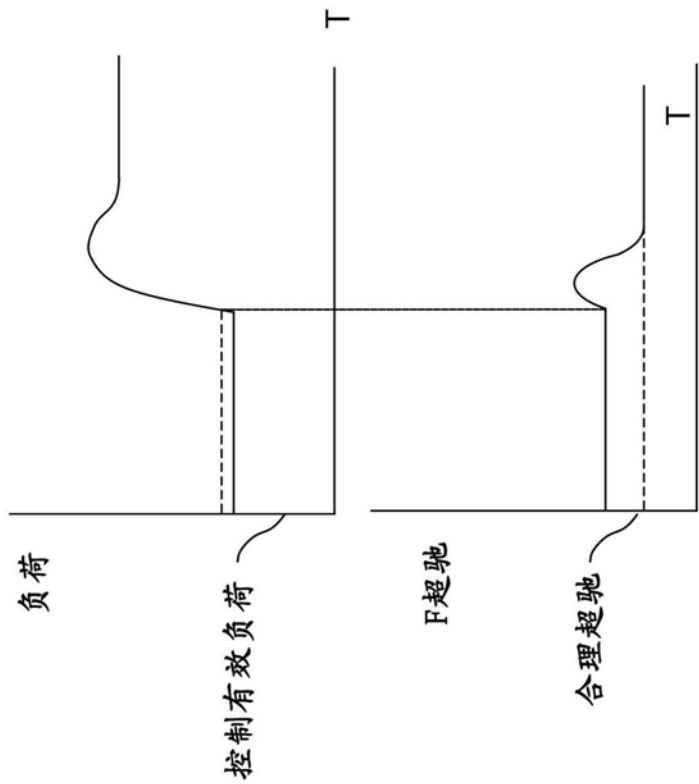


图2B

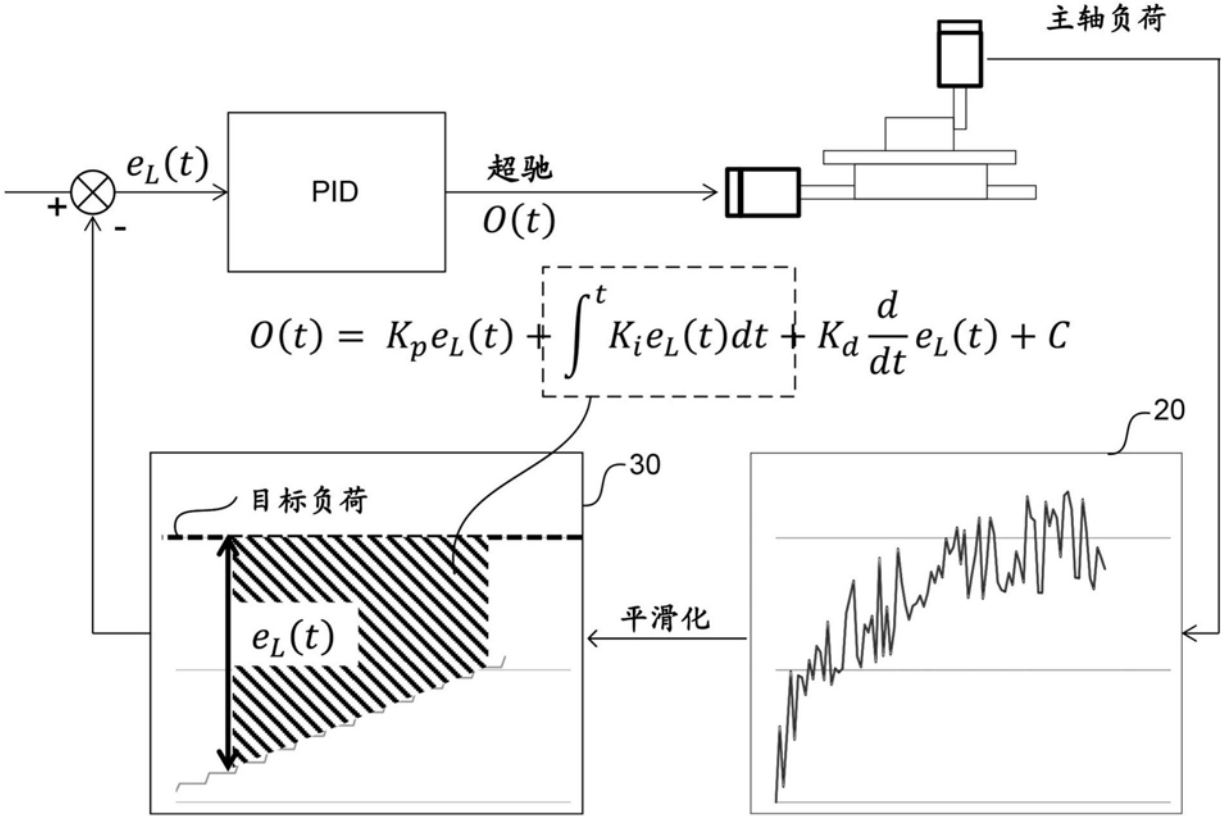


图3

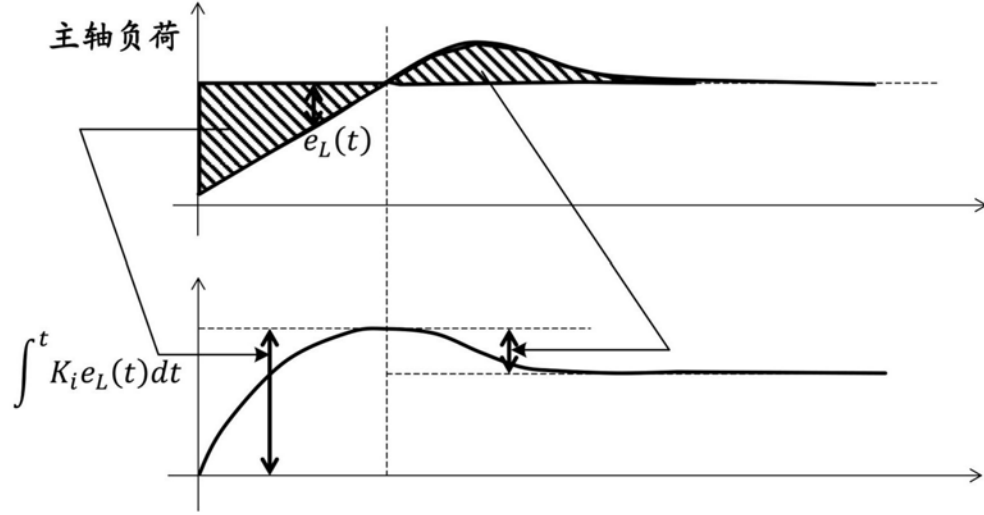


图4

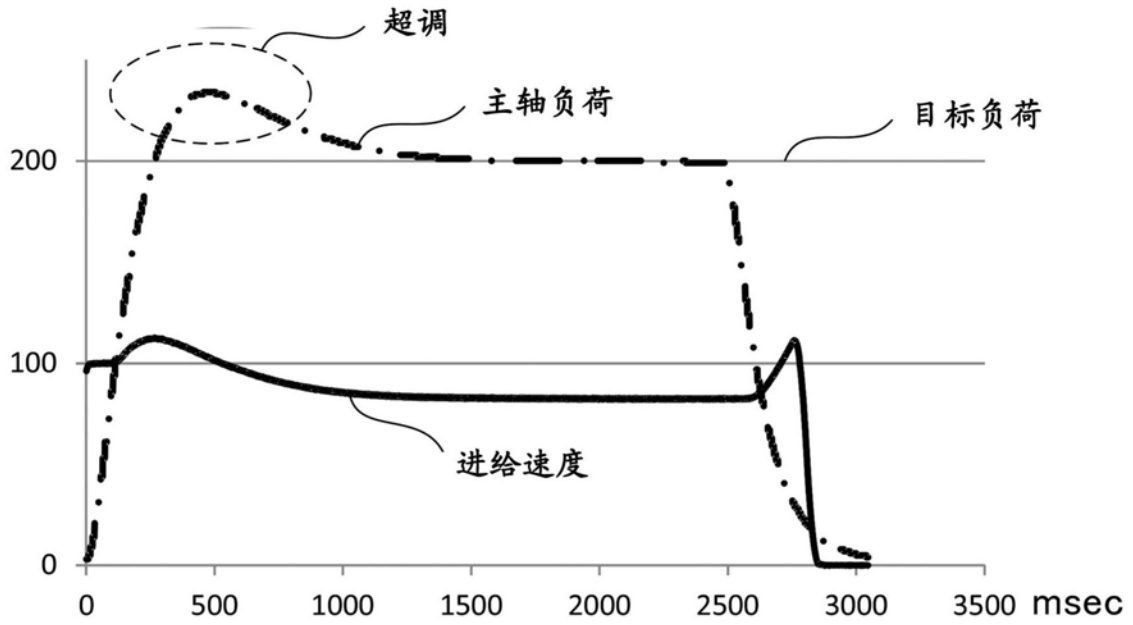


图5

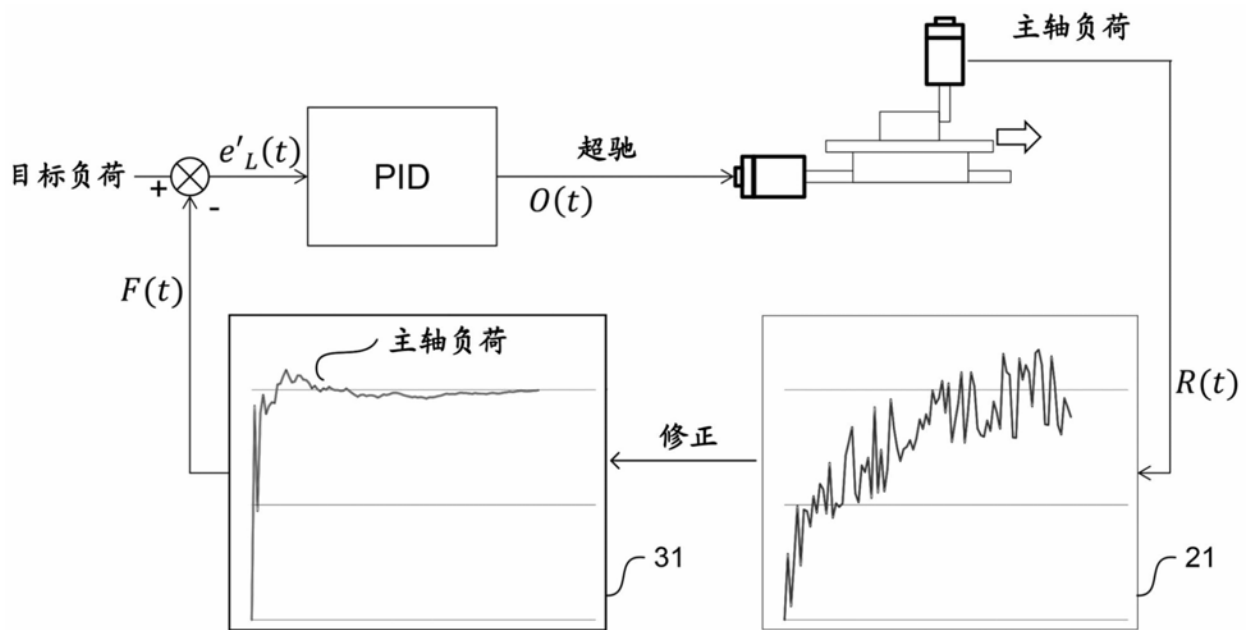


图7

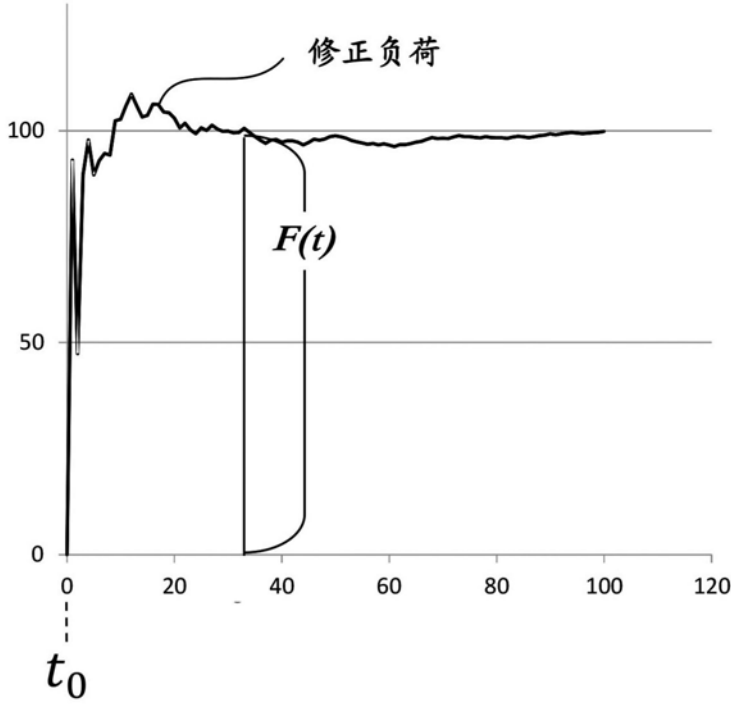


图6A

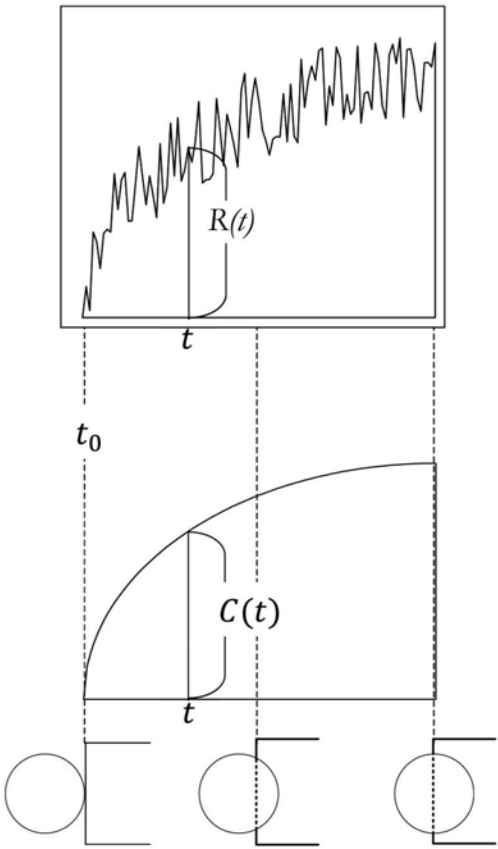


图6B

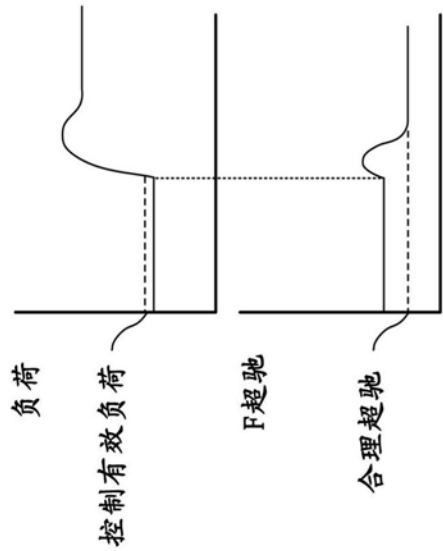


图8A

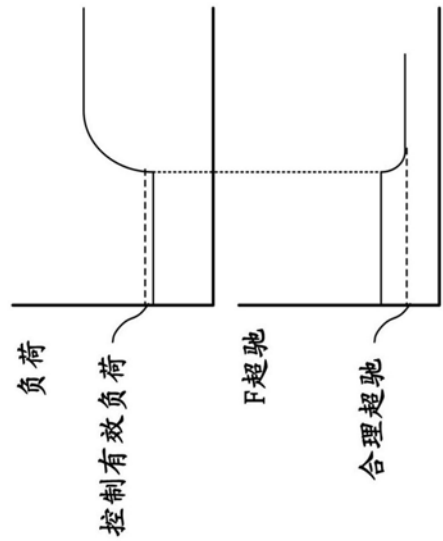


图8B

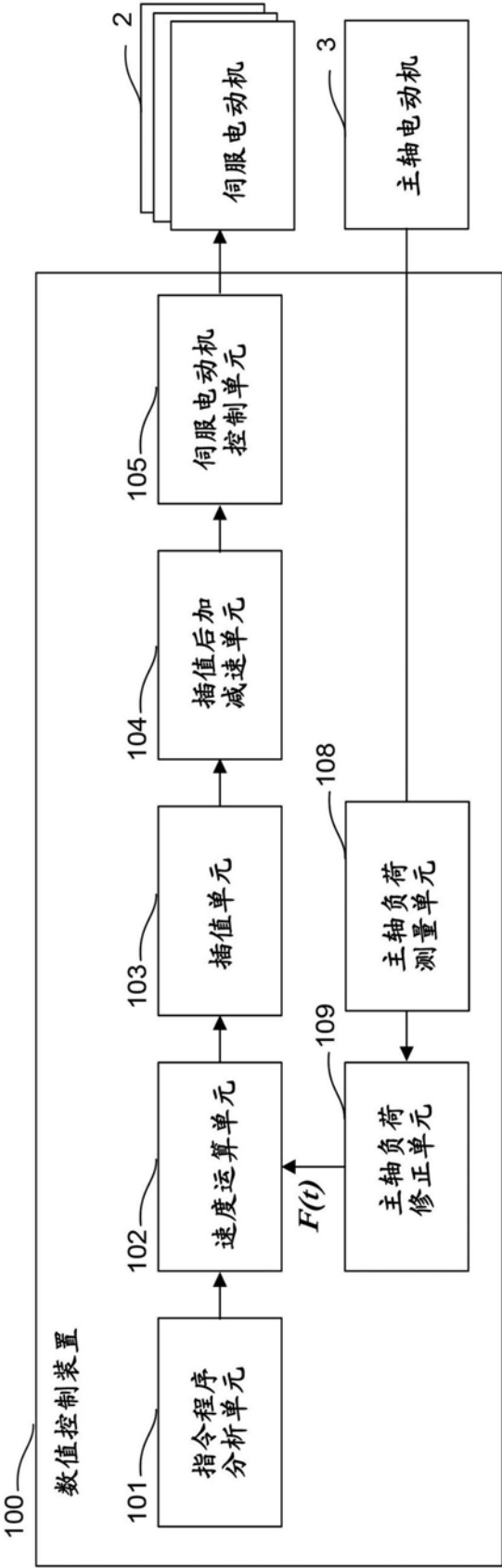


图9

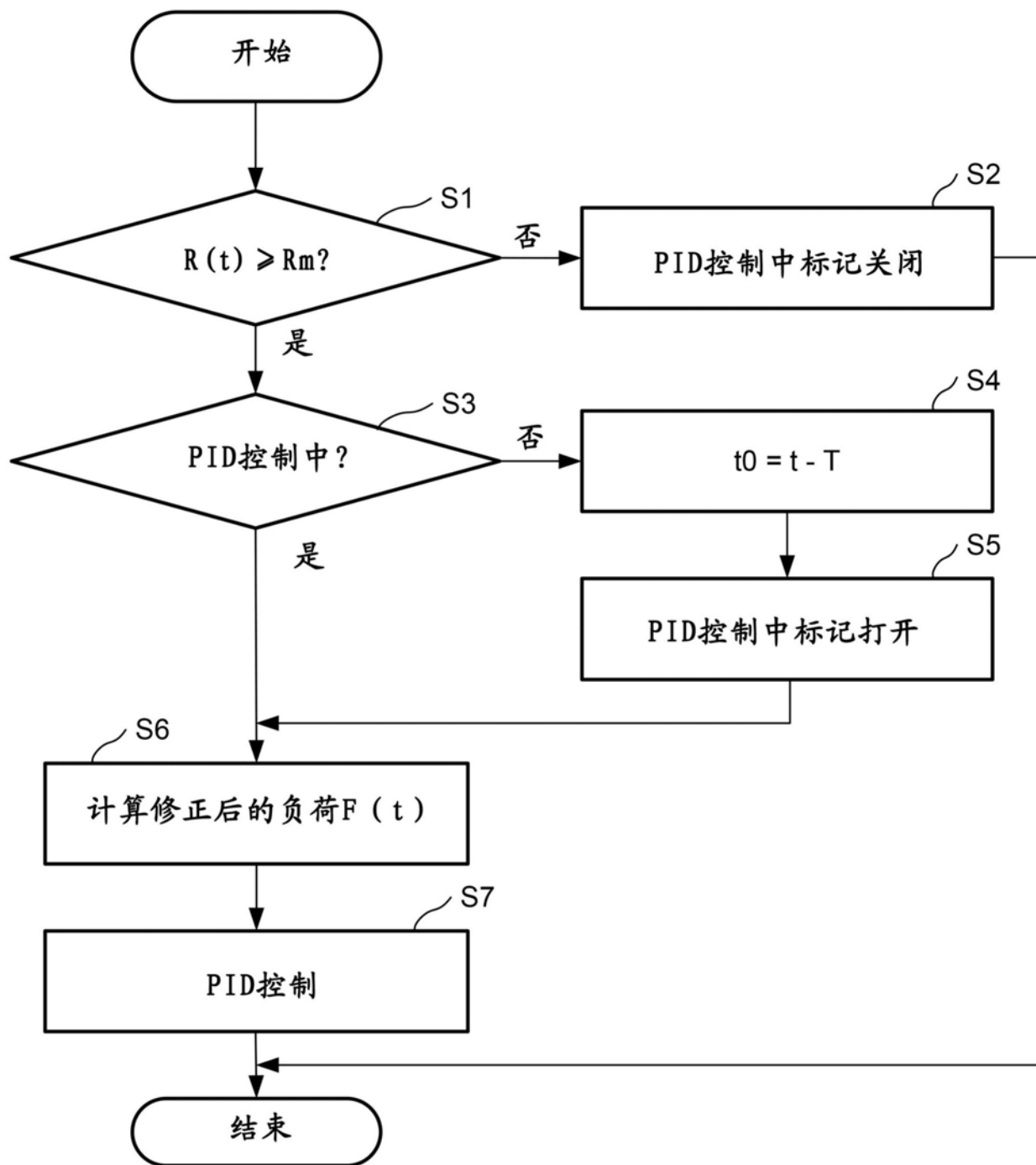
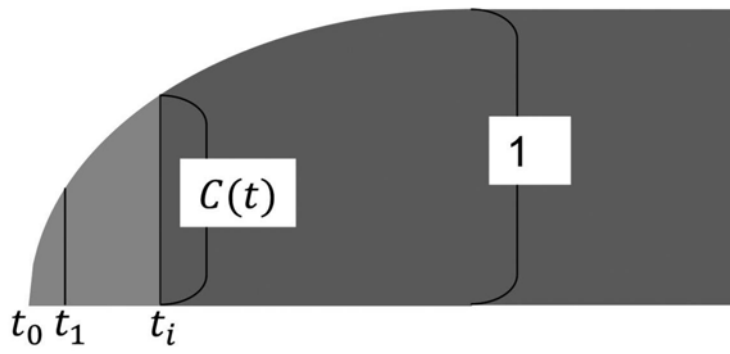


图10



$$F(t) = \frac{R(t)dt}{C(t)dt}$$

$$(P(t_i) \geq \frac{D}{2})$$

图11A

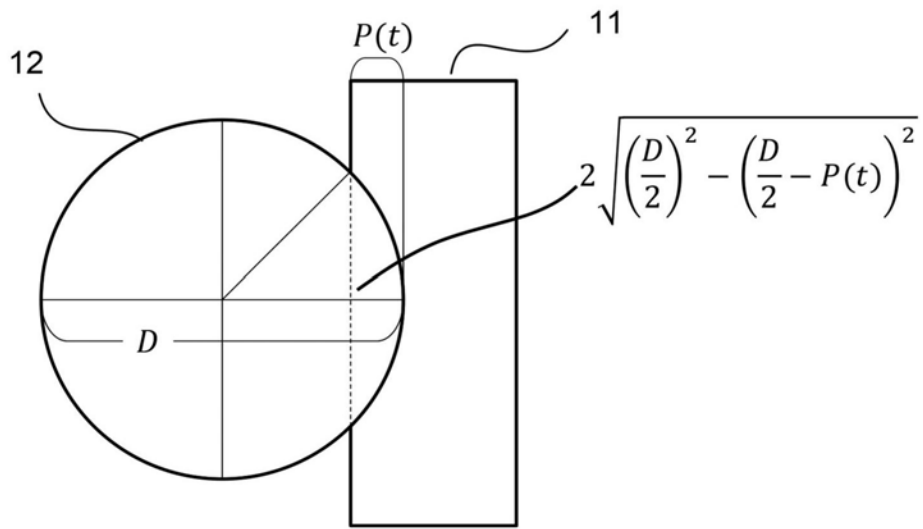


图11B

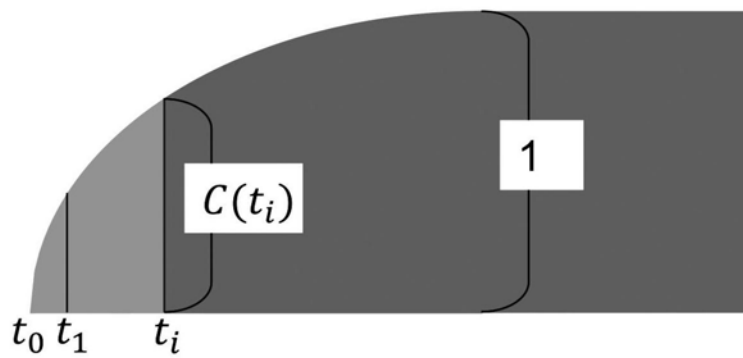


图12A

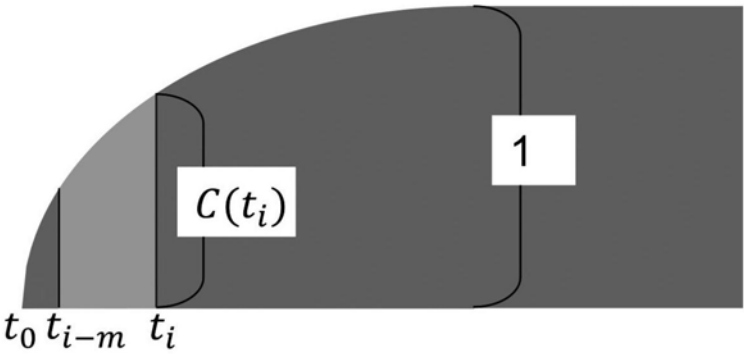


图12B

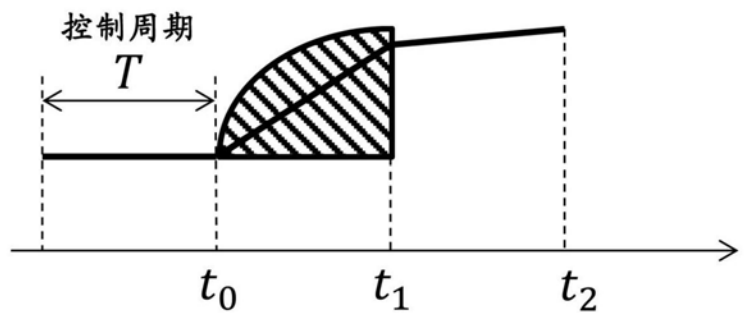


图13A

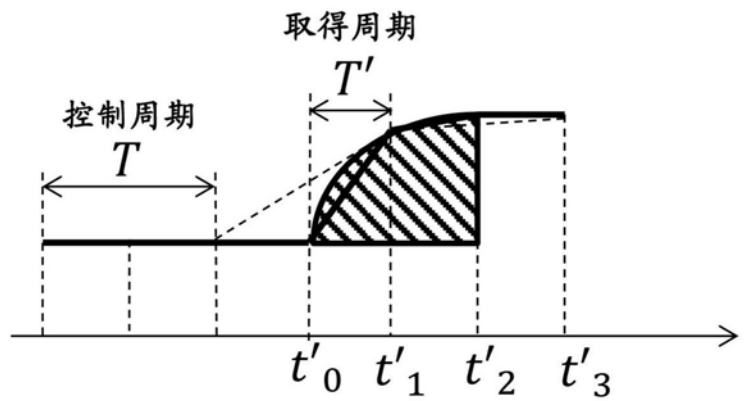


图13B

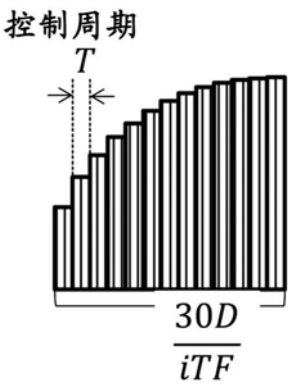


图14A

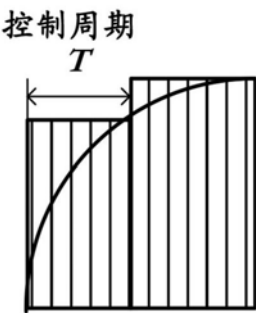


图14B

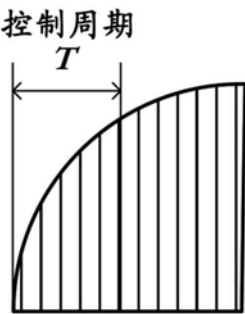


图14C

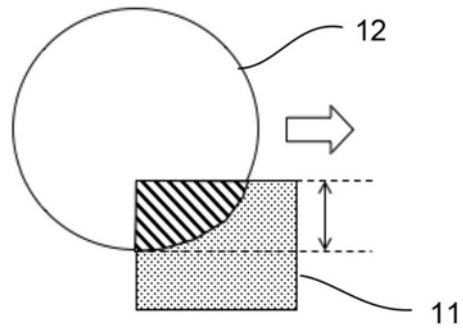


图15A

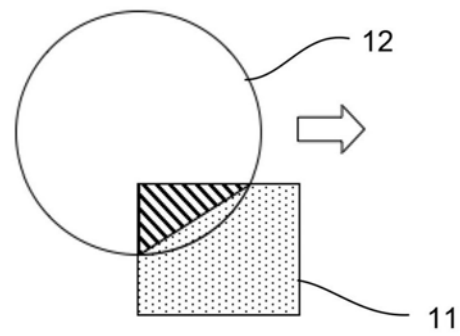


图15B