

[21] 申请号 200610008014.3

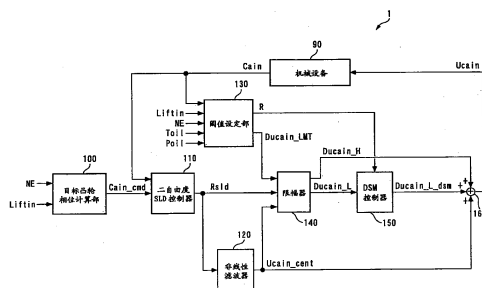
F01L 1/34 (2006.01)
F02D 13/02 (2006.01)
H03M 3/02 (2006.01)
F02D 41/02 (2006.01)

[11] 公开号 CN 1824925A

[72] 发明人 下城孝名子 安井裕司

权利要求书 2 页 说明书 32 页 附图 18 页

本发明提供一种控制装置，即使在机械设备的非线性特性较强并且发生变化，同时，控制量对控制输入的敏感度发生变化的情况下，也可以确保高水平的控制分辨率，可以确保高控制精度。该控制装置通过可变凸轮相位机构控制凸轮相位，并具有ECU。ECU通过预定的控制算法，计算出用于控制凸轮相位使其变为目标凸轮相位的SLD控制输入，通过按预定的调制算法对SLD控制输入进行调制，计算出对可变凸轮相位机构的控制输入，根据凸轮相位、发动机转速、油压和油温，设定振幅设定值。



1. 一种控制装置，其通过控制输入，对机械设备的控制量进行控制，其特征在于，

5 具有：

控制量检测装置，其用于检测所述控制量；

目标值设定装置，其用于设定所述控制量的目标值；

控制值计算装置，其根据预定的控制算法，计算出控制值，该控制值用于控制所述被检测出的控制量，使其变为所述设定的目标值；以及

10 控制输入计算装置，其通过利用应用了预定的调制算法的算法对该计算出的控制值进行调制，计算出所述控制输入，该控制输入计算装置包含有振幅设定装置，该振幅设定装置根据表示所述机械设备状态的参数，设定所述控制输入的振幅。

2. 如权利要求1所述的控制装置，其特征在于，

15 所述控制输入计算装置还具有中心值设定装置，该中心值设定装置根据所述控制值，设定成为所述控制输入的振幅中心的中心值。

3. 如权利要求1所述的控制装置，其特征在于，

所述预定的调制算法是 $\Delta\Sigma$ 调制算法、 $\Sigma\Delta$ 调制算法以及 Δ 调制算法中的任意一种。

20 4. 一种控制装置，其通过可变凸轮相位机构，控制作为内燃机的进气凸轮和排气凸轮中的至少一个相对于曲轴的相位的凸轮相位，其特征在于，

具有：

凸轮相位检测装置，其用于检测所述凸轮相位；

25 目标凸轮相位设定装置，其用于设定所述凸轮相位的目标凸轮相位；

控制值计算装置，其根据预定的控制算法，计算出控制值，该控制值用于控制所述被检测出的凸轮相位，使其成为所述设定的目标凸轮相位；以及

控制输入计算装置，其通过利用应用了预定的调制算法的算法对该

计算出的控制值进行调制，计算出向所述可变凸轮相位机构的控制输入，控制输入计算装置包含有振幅设定装置，该振幅设定装置根据表示所述内燃机的运转状态的运转状态参数设定所述控制输入的振幅。

5. 如权利要求4所述的控制装置，其特征在于，

- 5 所述内燃机具有可变气门升程机构，该可变气门升程机构用于变更气门的升程，该气门是进气门和排气门中的一方，并由控制所述凸轮相位的所述进气凸轮和所述排气凸轮中的至少一方驱动而进行开闭，

所述振幅设定装置进一步根据所述气门升程，设定所述控制输入的振幅。

- 10 6. 如权利要求4或5所述的控制装置，其特征在于，

所述控制输入计算装置还具有中心值设定装置，该中心值设定装置根据所述控制值，设定成为所述控制输入的振幅中心的中心值。

7. 如权利要求4或5所述的控制装置，其特征在于，

- 15 所述预定的调制算法是 $\Delta\Sigma$ 调制算法、 $\Sigma\Delta$ 调制算法以及 Δ 调制算法中的任意一种。

控制装置

5 技术领域

本发明涉及一种控制装置，其用于控制具有滞后和死区等非线性特性的机械设备。

背景技术

10 迄今已知的这种控制装置，在日本特开 2001-132482 号公报中已有记载。该控制装置用于控制作为机械设备的可变凸轮相位机构。该可变凸轮相位机构可自由地变更内燃机的进气凸轮对曲轴的相位（以下称为“凸轮相位”），是通过来自机油泵的供给油压进行驱动的油压驱动式可变凸轮相位机构。此外，控制装置具有：曲轴角传感器和凸轮角传感器，
15 其分别检测相当于曲轴和进气凸轮的角度位置的信号；以及控制器，其用于输入这些传感器的检测信号。

在该控制器中，根据曲轴角传感器和凸轮角传感器的检测信号，计算出实际的凸轮相位，根据内燃机的运转状况，计算出目标凸轮相位，同时，通过滑动模式控制算法，计算出对可变凸轮相位机构的控制输入，
20 从而，控制凸轮相位，使其收敛到目标凸轮相位。

在上述油压式可变凸轮相位机构的情况下，其摩擦较大，滞后和死区等非线性特性较强，这些一般已为大家所知。对此，根据日本特开 2001-132482 号公报的控制装置，由于根据滑动模式控制算法计算控制输入，因此，在对具有较强的非线性特性的机械设备进行控制，即对油压
25 驱动式可变凸轮相位机构进行控制的情况下，因为该强非线性特性，就不能通过控制输入以微小的变化程度控制凸轮相位，存在着因控制分辨率低，而使控制精度较低这一问题。

作为可解决上述控制装置的问题点的控制装置，本专利申请人已经提案过日本特开 2005-63177 号公报中所述的控制装置。该控制装置用于

控制电磁驱动式可变凸轮相位机构，其具有二自由度滑动模式控制器和 DSM 控制器。在该二自由度滑动模式控制器中，通过目标值滤波器型二自由度滑动模式控制算法，计算出用于使凸轮相位收敛到目标凸轮相位的控制值。此外，在 DSM 控制器中，通过应用了 $\Delta \Sigma$ 调制算法的算法，对

5 计算出的控制值进行调制，由此，就可以计算出对可变凸轮相位机构的控制输入，使其以预定值为中心，以预定振幅频繁地循环翻转。其结果，即使在对具有强非线性特性的可变凸轮相位机构进行控制的情况下，通过频繁地循环翻转的控制输入，可以一边补偿非线性特性，一边以微小的变化程度控制凸轮相位，可以提高控制的分辨率。

10 可变凸轮相位机构具有这样的性质，伴随内燃机的运转状态的变化，其非线性特性也会变化，特别地，当变更凸轮相位时，由于在受到凸轮反作用力或链轮变动（亦即，链带速度变动或曲轴角速度变动）的影响，其非线性特性容易发生变化。例如，当凸轮反作用力或链轮变动变大时，由于凸轮反作用力或链轮变动本身成为凸轮相位的变更力，其非线性特

15 性大多会发生变化，使得在变更凸轮相位时凸轮相位对控制输入的敏感度变高。从而，当内燃机的燃烧状态变得不稳定时，由于发生凸轮反作用力的变化或链轮变动，使凸轮相位对可变凸轮相位机构中的控制输入的敏感度发生变化。此外，在油压驱动式可变凸轮相位机构中，当从以内燃机的转矩作为动力源的油压泵供给油压情况下，如果使内燃机转速

20 变动，则由于供给可变凸轮相位机构的油压发生变化，凸轮相位对控制输入的敏感度或控制输入的频率稳定性发生变化，非线性特性也发生变化。

在需要补偿如上那样的可变凸轮相位机构的非线性特性变化的情况下，根据特开 2005-63177 号的控制装置，在非非线性特性变化较大的条件下，

25 下，通过将控制输入振幅设定为更大的值，就能够补偿非线性特性的变化。但是，在这样的情况下，在控制量对控制输入的敏感度降低的条件下，特别地，在频率敏感度降低的条件下，更加详细地，在高频截止性降低的条件下，由于控制输入的翻转状态成为噪音反映到作为控制量的凸轮相位中，因此，存在着控制的分辨率反而降低，使控制精度降低的

可能性。

发明内容

本发明是为解决上述课题而提出的，其目的在于提供一种控制装置，
5 即使机械设备的非线性特性较强并且发生变化，同时，控制量对控制输入的敏感度发生变化的情况下，也可以确保高水平的控制分辨率，可以确保高控制精度。

为达到上述目的，根据本发明的第 1 方式，提供一种通过控制输入控制机械设备的控制装置。该控制装置的特征在于，具有：控制量检测
10 装置，其用于检测控制量；目标值设定装置，其用于设定控制量的目标值；控制值计算装置，其根据预定的控制算法计算出用于控制被检测出的控制量而使其成为被设定的目标值的控制值；以及控制输入计算装置，其通过按应用了预定的调制算法的算法对计算出的控制值进行调制，来计算出控制输入。控制输入计算装置具有振幅设定装置，该振幅设定装
15 置根据表示机械设备状态的参数，设定控制输入的振幅。

根据该控制装置，由于根据预定的控制算法计算出用于控制被检测出的控制量使其成为被设定的目标值的控制值，并按应用了预定的调制算法的算法对计算出的控制值进行调制，由此计算出控制输入，因此，
根据调制后的控制输入，即使在机械设备具有较强的非线性特性的情况
20 下，也可以补偿该非线性特性。加之，由于控制输入的振幅根据表示机械设备状态的参数进行设定，因此，即使在控制量对机械设备的非线性特性和控制输入的敏感度根据机械设备的状态变化而变化的情况下，也可以根据这样的非线性特性和敏感度的变化程度，恰当地设定控制输入的振幅，根据上述，即使在机械设备的非线性特性较强并且发生变化，
25 同时，控制量对控制输入的敏感度发生变化的情况下，也可以确保高水平的控制分辨率，可以确保高的控制精度（并且，在本说明书中的“控制值的计算”和“控制输入的计算”等的“计算”，并不仅限于通过程序进行运算，也包含通过硬件生成表示它们的电信号）。

此外，为达到上述目的，根据本发明的第 2 方式，提供一种控制装

置，其通过可变凸轮相位机构，控制内燃机的进气凸轮和排气凸轮中的至少一方对曲轴的凸轮相位。该控制装置的特征在于，具有：凸轮相位检测装置，其用于检测凸轮相位；目标凸轮相位设定装置，其用于设定凸轮相位的目标凸轮相位；控制值计算装置，其根据预定的控制算法，
5 计算出用于控制被检测出的凸轮相位使其变为被设定的目标凸轮相位的控制值；以及控制输入计算装置，其通过按应用了预定的调制算法的算法对计算出的控制值进行调制，计算出向可变凸轮相位机构的控制输入。控制输入计算装置具有振幅设定装置，该振幅设定装置根据表示内燃机的运转状态的参数，设定控制输入的振幅。

10 如上所述，可变凸轮相位机构的非线性特性较强，同时，凸轮相位对该非线性特性和控制输入的敏感度，随内燃机转速等内燃机的运转状态而变化。例如，在变更凸轮相位时，当伴随内燃机的运转状态的变化，产生凸轮反作用力的变化或链轮变动时，凸轮相位对控制输入的敏感度发生变化。对此，根据第2方式的控制装置，由于根据预定的控制算法
15 计算出用于控制凸轮相位使其变为目标凸轮相位的控制值，并按应用了预定的调制算法的算法对控制值进行调制，从而计算出向可变凸轮相位机构的控制输入，因此，可以补偿可变凸轮相位机构的强的非线性特性。加之，由于控制输入的振幅根据表示内燃机的运转状态的参数进行设定，因此，即使在伴随内燃机的运转状态的变化，凸轮相位对非线性特性和
20 控制输入的敏感度发生变化时，也可以根据这样的非线性特性和敏感度的变化程度，恰当地设定控制输入的振幅。根据上述，在通过可变凸轮相位机构控制凸轮相位的情况下，也可以确保高水平的控制分辨率，可以确保高的控制精度（并且，在本说明书中的“凸轮相位检测”，并不仅限于通过传感器直接检测凸轮相位，也包含计算或估计）。

25 优选在第2方式的控制装置中，内燃机具有可变气门升程机构，该可变气门升程机构用于变更气门升程，该气门为进气门和排气门中的一方，并由控制凸轮相位的进气凸轮和排气凸轮中的至少一方驱动而进行开闭，振幅设定装置进一步根据气门升程设定控制输入的振幅。

一般地，在通过可变凸轮相位机构，控制进气凸轮和排气凸轮中的

至少一方的气门的凸轮相位的情况下，当通过可变气门升程机构变更该气门升程时，通过其影响，在可变凸轮相位机构中，凸轮相位对控制输入的敏感度发生变化。与此相对，根据第2方式的控制装置的最佳方式，由于控制输入的振幅进一步根据气门升程来设定，因此，即使通过可变气门升程机构进一步变更气门升程时，也可以根据伴随它的凸轮相位对控制输入的敏感度的变化程度，恰当地设定控制输入的振幅。其结果，可以使控制分辨率进一步提高，可以使控制精度进一步提高。

优选在上述控制装置中，控制输入计算装置还具有中心值设定装置，该中心值设定装置根据控制值，设定成为控制输入的振幅中心的中心值。

如上述的控制装置，在通过对控制值进行调制，计算出控制输入的情况下，当在控制中预想的控制值的变动幅度较大时，亦即当控制值的可取值的最大值和最小值的差较大时，就必须将控制输入的振幅设定成能覆盖控制值的变动幅度那样的较大的值。当在这样情况下，如上所述，在控制量或凸轮相位对控制输入的敏感度降低的条件下，由于控制输入的翻转状态以噪音反映到控制量或凸轮相位中，从而存在着使控制的分辨率降低，使控制精度降低的可能性。与此相对，根据该控制装置，由于成为控制输入的振幅中心的中心值根据控制值进行设定，因此，即使在控制中的控制值的变化幅度较大的情况下，只要将控制输入作为在该控制定时覆盖控制值的那样的值，被计算出即可，由此，就可以将控制输入的振幅，设定为比覆盖控制值的变动幅度的整体时小的值。其结果，在第1方式的控制装置中，在机械设备的非线性特性较强并且发生变化，同时，控制量对控制输入的敏感度发生变化的情况下，即使控制中的控制值的变动幅度较大时，也可以确保高水平的控制分辨率，可以确保高的控制精度。此外，在第2方式的控制装置中，在可变凸轮相位机构的非线性特性较强，同时，凸轮相位对控制输入的敏感度也发生变化的情况下，即使控制值的变动幅度较大时，也可以确保高水平的控制分辨率，可以确保高的控制精度。

在上述控制装置中，优选预定的调制算法是 $\Delta\Sigma$ 调制算法、 $\Sigma\Delta$ 调制算法以及 Δ 调制算法中的任意一种。

根据该控制装置的最佳方式，通过按应用了 $\Delta\Sigma$ 调制算法、 $\Sigma\Delta$ 调制算法以及 Δ 调制算法中的任意一个的算法，对控制值进行调制，来计算出控制输入。在此情况下， $\Delta\Sigma$ 调制算法、 $\Sigma\Delta$ 调制算法以及 Δ 调制算法中的任意一个都具有这样的特性：输入到这些调制算法中的值越接近值0，由这些调制算法算出的值的翻转频率就变得越高。另一方面，在第1方式的控制装置中，由于控制值是对控制量进行控制使其成为目标值的值，因此，控制量越接近目标值，其变化也就越小。此外，在第2方式的控制装置中，由于控制值是控制凸轮相位使其成为目标凸轮相位的值，因此，凸轮相位越接近目标凸轮相位，其变化也就越小。从而，在应用了 $\Delta\Sigma$ 调制算法、 $\Sigma\Delta$ 调制算法以及 Δ 调制算法中的任意一个的调制算法中，当控制值不再变化时，通过将输入到 $\Delta\Sigma$ 调制算法、 $\Sigma\Delta$ 调制算法以及 Δ 调制算法中的任意一个中的值，设定为使其接近值0，在第1方式的控制装置中，控制量越接近目标值，在第2方式的控制装置中，凸轮相位越接近目标凸轮相位，可以计算出控制输入，使其翻转频率变得越高。其结果，与通过利用翻转频率一定的PWM或高频脉动（Dither）调制计算出控制输入的情况相比，在第1方式的控制装置中，可以提高控制量向目标值的收敛性，在第2方式的控制装置中，可以提高凸轮相位向目标凸轮相位的收敛性。

附图说明

图1是表示应用本发明的第1实施方式的控制装置的内燃机的概略结构的模式图。

图2是模式地表示控制装置的概略结构的图。

图3是表示内燃机的可变式进气门传动机构和排气门传动机构的概略结构的剖面图。

图4是表示可变式进气门传动机构的可变气门升程机构的概略结构的剖面图。

图5A和图5B是分别表示升程调节器的短臂处于最大升程位置的状态（图5A）和处于最小升程位置的状态（图5B）的图。

图 6A 和图 6B 是分别表示可变气门升程机构的下连杆处于最大升程位置时的进气门的开启状态（图 6A）和处于最小升程位置时的进气门的开启状态（图 6B）的图。

图 7 是分别表示可变气门升程机构的下连杆处于最大升程位置时的
5 进气门的气门升程曲线（实线），以及处于最小升程位置时的气门升程曲线（双点划线）的图。

图 8 是模式表示可变凸轮相位机构的概略结构的图。

图 9 是分别表示通过可变凸轮相位机构，凸轮相位被设定在最大滞后角值时的进气门的气门升程曲线（实线），以及凸轮相位被设定在最大
10 提前角值时的进气门的气门升程曲线（双点划线）的图。

图 10 是表示控制装置的概略结构的方框图。

图 11 是表示非线性滤波器的概略结构的方框图。

图 12 是表示凸轮相位控制程序（routine）的流程图。

图 13 是表示用于计算目标凸轮相位的映射（map）值 Cain_cmd_map 的
15 映射图（map）的一例的图。

图 14 是表示计算控制输入 Ucain 的计算程序的流程图。

图 15 是表示用于计算振幅设定值 R 和阈值 Ducain_LMT 的高升程和滞后角区用值 R_tbl1、Ducain_LMT_tbl1 的图表（table）的一例的图。

图 16 是表示用于计算振幅设定值 R 和阈值 Ducain_LMT 的高升程和
20 非滞后角区用值 R_tbl2、Ducain_LMT_tbl2 的图表的一例的图。

图 17 是表示用于计算振幅设定值 R 和阈值 Ducain_LMT 的低升程和滞后角区用值 R_tbl3、Ducain_LMT_tbl3 的图表的一例的图。

图 18 是表示用于计算振幅设定值 R 和阈值 Ducain_LMT 的低升程和提前角区用值 R_tbl4、Ducain_LMT_tbl4 的图表的一例的图。

25 图 19 是表示用于计算校正系数 Kducaín 的映射图的一例的图。

图 20 是表示凸轮相位的控制结果的一例的正时图表（timing chart）。

图 21 是表示有意识地使控制输入 Ucain 变化时的控制结果例的正时图表。

图 22 是表示第 2 实施方式的控制装置的概略结构的方框图。

图 23 是表示第 3 实施方式的控制装置的概略结构的方框图。

具体实施方式

5 以下，一边参考附图，一边对本发明的第 1 实施方式的内燃机控制装置进行说明。如图 2 所示，该控制装置 1 具有 ECU2，该 ECU2 如后所述，根据内燃机（以下称为“发动机”）3 的运转状态，执行凸轮相位控制等的各种控制程序。

10 如图 1 和图 3 所示，发动机 3 是具有 4 组气缸 3a 和活塞 3b（只图示 1 组）的直列 4 缸汽油发动机，其安装在未图示的车辆上。发动机 3 具有：进气门 4 和排气门 7，它们设置在每一个气缸 3a 上，分别对进气通道和排气通道进行开闭；进气凸轮轴 5 和进气凸轮 6，用于驱动进气门 4；可变式进气门传动机构 40，其驱动进气门 4 进行开闭；排气凸轮轴 8 和排气凸轮 9，用于驱动排气门 7；排气门传动机构 30，其驱动排气门 7
15 进行开闭；燃料喷射阀 10；以及火花塞 13（参考图 2）等。

 进气门 4 的气门杆 4a 滑动自由地配合在气门导管 4b 上，该气门导管 4b 固定在气缸盖 3c 上。进而，如图 4 所示，进气门 4 还具有：上下弹簧座 4c、4d；以及设置在它们之间的气门弹簧 4e。通过该气门弹簧 4e，向关闭气门的方向赋予势能。

20 此外，进气凸轮轴 5 和排气凸轮轴 8 分别通过未图示的保持架，转动自由地安装在气缸盖 3c 上。在该进气凸轮轴 5 的一个端部上，同轴配置有进气链轮（未图示），并设置成可以自由转动。该进气链轮通过未图示的正时链条，连接到曲轴 3d，通过后述的可变凸轮相位机构 70，连接到进气凸轮轴 5。通过以上结构，每当曲轴 3d 转动 2 周，进气凸轮轴 5
25 便转动 1 周。此外，对每个气缸 3a，设置进气凸轮 6，其设置在进气凸轮轴 5 上，以使其与进气凸轮轴 5 一体转动。

 进而，可变式进气门传动机构 40 伴随进气凸轮轴 5 的转动，在驱动各气缸 3a 的进气门 4 进行开闭的同时，可无级变更进气门 4 的升程和气门正时，关于其详细情况，以后叙述。并且，在本实施方式中，“进气门

4 的升程（以下称为“气门升程”）就表示进气门 4 的最大扬程。

另一方面，排气门 7 的气门杆 7a 滑动自由地配合在气门导管 7b 上，该气门导管 7b 固定在气缸盖 3c 上。进而，排气门 7 还具有：上下弹簧座 7c、7d；以及设置在它们之间的气门弹簧 7e。通过该气门弹簧 7e，向
5 关闭气门的方向赋予势能。

此外，排气凸轮轴 8 具有与其一体的排气链轮（未图示），通过该排气链轮和未图示的正时链条，连接到曲轴 3d，从而，每当曲轴 3d 转动 2 周，则排气凸轮轴 8 转动 1 周。进而，对每个气缸 3a，在排气凸轮轴 8 上将排气凸轮 9 设置成可以与排气凸轮轴 8 一体转动。

10 进而，排气门传动机构 30 具有摇臂 31，通过使该摇臂 31 伴随排气凸轮 9 的转动而转动，一边抵抗气门弹簧 7e 的弹力，一边驱动排气门 7 进行开闭。

另一方面，对每个气缸 3a 设置燃料喷射阀 10，并以倾斜的状态安装在气缸盖 3c 上，以使燃料直接喷射到燃烧室内。即，发动机 3 构成为
15 直喷发动机。此外，燃料喷射阀 10 电连接到 ECU 2，通过 ECU 2，控制气门开启时间和气门开启正时，由此，控制燃料喷射量。

此外，对每个气缸 3a，也设置火花塞 13，其安装在气缸盖 3c 上。火花塞 13 电连接到 ECU 2，通过 ECU 2 控制放电状态，在对应点火时间的正时，使燃烧室内的混合气体燃烧。

20 另一方面，在发动机 3 中，设置有曲轴角传感器 20。该曲轴角传感器 20 由磁性转子和 MRE 传感器构成，伴随曲轴 3d 的转动，将所有作为脉冲信号的 CRK 信号和 TDC 信号都输出到 ECU 2。该 CRK 信号在每转过预定的曲轴转角（例如 10° ）就输出一个脉冲，ECU 2 根据该 CRK 信号，计算出发动机 3 的转速（以下称为“发动机转速”）NE。此外，TDC 信号
25 是表示各气缸 3a 的活塞 3b 比进气冲程的 TDC 位置，位于提前若干预定曲轴转角位置的信号，在每个预定的曲轴转角便输出一个脉冲。并且，在本实施方式中，曲轴角传感器 20 相当于控制量检测装置和凸轮相位检测装置，发动机转速 NE 相当于参数。

此外，在发动机 3 的进气管 12 上，设置有节气门机构 11。该节气

门机构 11 具有节气门 11a 和驱动它进行开闭的 TH 调节器 11b 等。节气门 11a 转动自由地设置在进气管 12 的途中，通过伴随其转动的开度的变化，使进气管 12 内的空气流量变化。TH 调节器 11b 是在连接 ECU 2 的电机上组合齿轮机构（均未图示）的装置，通过由来自 ECU 2 的控制输入
5 进行驱动，由此，使节气门 11a 的开度变化。

在通常运转时，ECU 2 将节气门 11a 保持在全开状态，同时，在可
变式进气门传动机构 40 发生故障时，或向助力装置（マスタバック
/Mastervac）（未图示）供给负压时，控制节气门 11a 的开度。

其次，对上述可变式进气门传动机构 40 进行说明。如图 4 所示，该
10 可变式进气门传动机构 40 由进气凸轮轴 5、进气凸轮 6、可变气门升程
机构 50、以及可变凸轮相位机构 70 等构成。

该可变气门升程机构 50 伴随进气凸轮轴 5 的旋转，驱动进气门 4 进
行开闭，同时，使气门升程 Liftin 在预定的最大值 Liftinmax 和最小值
Liftinmin 之间进行无级变更。可变气门升程机构 50 具有：四连杆式摇
15 臂机构 51，其对每个气缸 3a 进行设置；以及升程调节器 60（参考图 5），
其同时驱动这些摇臂机构 51；… 等。并且，在本实施方式中，气门升程
Liftin 相当于参数。

各摇臂机构 51 由摇臂 52、以及上下连杆 53、54 等构成。该上连杆
53 的一个端部通过上销 55，转动自由地安装到摇臂 52 的上端部，而另
20 一端部转动自由地安装在摇臂轴 56 上。该摇臂轴 56 通过未图示的保持
器，安装在气缸盖 3c 上。

此外，在摇臂 52 的上销 55 上，转动自由地设置有滚柱 57。该滚柱
57 与进气凸轮 6 的凸轮面抵接，当进气凸轮 6 旋转时，一边被该凸轮面
引导，一边在进气凸轮 6 上转动。从而，摇臂 52 沿上下方向被驱动的同
25 时，上连杆 53 以摇臂轴 56 为中心转动。

进而，在摇臂 52 的进气门 4 一侧的端部上，安装有调节螺栓 52a。
当伴随进气凸轮 6 的旋转使摇臂 52 沿上下方向移动时，该调节螺栓 52a
一边抵抗气门弹簧 4e 的弹力，一边沿上下方向驱动气门杆 4a，对进气门
4 进行开闭。

此外，下连杆 54 的一个端部通过下销 58，转动自由地安装在摇臂 52 的下端部，在下连杆 54 的另一个端部，转动自由地安装有连接轴 59。下连杆 54 通过该连接轴 59，连接到升程调节器 60 的后述短臂 65 上。

另一方面，如图 5 所示，升程调节器 60 具有：电动机 61、螺母 62、
5 连杆 63、长臂 64 以及短臂 65 等。该电动机 61 连接到 ECU2，被配置在发动机 3 的气缸盖罩 3f 的外侧。电动机 61 的转轴成为形成有阳螺纹的丝杠轴 61a，在该丝杠轴 61a 上螺合着螺母 62。该螺母 62 通过连杆 63，连接到长臂 64。该连杆 63 的一个端部通过销 63a，转动自由地安装在螺母 62 上，另一个端部通过销 63b，转动自由地安装在长臂 64 的一个端部
10 上。

此外，长臂 64 的另一个端部通过转轴 66，安装在短臂 65 的一个端部。该转轴 66 形成圆形截面，贯通发动机 3 的气缸盖罩 3f，同时，转动自由地被其支持。伴随该转轴 66 的转动，长臂 64 以及短臂 65 与其一体转动。

15 进而，在短臂 65 的另一个端部上，转动自由地安装有上述连接轴 59，从而，短臂 65 通过连接轴 59，连接到下连杆 54。

其次，对如以上那样构成的可变气门升程机构 50 的动作进行说明。在该可变气门升程机构 50 中，当来自 ECU2 的控制输入被输入到升程调节器 60 时，使丝杠轴 61a 旋转，通过伴随它的螺母 62 的移动，长臂 64
20 以及短臂 65 以转轴 66 为中心转动，同时，伴随该短臂 65 的转动，摇臂机构 51 的下连杆 54 以下销 58 为中心转动。亦即，通过升程调节器 60，下连杆 54 被驱动。

此时，通过 ECU2 的控制，短臂 65 的转动范围被限制在图 5A 所示的最大升程位置与图 5B 所示最小升程位置之间，从而，下连杆 54 的转动
25 范围也被限制在图 4 中实线所示的最大升程位置与图 4 中双点划线所示的最小升程位置之间。

当下连杆 54 处于最大升程位置时，在由摇臂轴 56、上下销 55、58 以及连接轴 59 构成的四连杆机构上，上销 55 与下销 58 的中心间距离构成为比摇臂轴 56 与连接轴 59 的中心距长，从而，如图 6A 所示，当使进

气凸轮 6 旋转时, 比起它与滚柱 57 之间的抵接点的移动量来, 调节螺栓 52a 的移动量变大。

另一方面, 当下连杆 54 处于最小升程位置时, 在上述四连杆机构中, 上销 55 与下销 58 的中心间距离构成为比摇臂轴 56 与连接轴 59 的中心距短, 从而, 如图 6B 所示, 当使进气凸轮 6 旋转时, 比起它与滚柱 57 之间的抵接点的移动量来, 调节螺栓 52a 的移动量变小。

由于以上的原因, 当下连杆 54 处于最大升程位置时, 与处于最小升程位置时相比, 进气门 4 以较大的气门升程 $Liftin$ 开启。具体地, 在进气凸轮 6 的旋转中, 当下连杆 54 处于最大升程位置时, 进气门 4 按照图 7 的实线所示的气门升程曲线开启, 气门升程 $Liftin$ 表示其最大值 $Liftinmax$ 。另一方面, 当下连杆 54 处于最小升程位置时, 按照图 7 的双点划线所示的气门升程曲线开启, 气门升程 $Liftin$ 表示其最小值 $Liftinmin$ 。

从而, 在该可变气门升程机构 50 中, 借助升程调节器 60, 使下连杆 54 在最大升程位置与最小升程位置之间转动, 由此, 就可以使气门升程 $Liftin$ 在最大值 $Liftinmax$ 和最小值 $Liftinmin$ 之间无级变化。

此外, 在发动机 3 中, 设置有转角传感器 21 (参考图 2), 该转角传感器 21 用于检测以转轴 66 为中心的短臂 65 的转角, 将该检测信号输出到 ECU2。ECU2 根据该转角传感器 21 的检测信号, 计算出气门升程 $Liftin$ 。

其次, 对上述可变凸轮相位机构 70 进行说明。该可变凸轮相位机构 70 使进气凸轮轴 5 对曲轴 3d 的相对相位 (以下称为“凸轮相位”) $Cain$, 在提前角或滞后角侧无级变更, 其设置在进气凸轮轴 5 的进气链轮侧的端部。如图 8 所示, 可变凸轮相位机构 70 具有: 外罩 71; 3 枚叶片式叶轮 (vane) 72; 油压泵 73; 以及电磁阀机构 74 等。

该外罩 71 与进气凸轮轴 5 上的进气链轮构成一体, 并具有相互等间隔形成的 3 个间壁 71a。叶轮 72 同轴安装在进气凸轮轴 5 的进气链轮侧的端部, 从进气凸轮轴 5 起成放射状向外方延伸, 同时, 可转动地容纳在外罩 71 内。此外, 在外罩 71 中, 在间壁 71a 与叶轮 72 之间, 形成 3 个提前角室 75 和 3 个滞后角室 76。

油压泵 73 是连接曲轴 3d 的机械式泵,当曲轴 3d 旋转时,伴随于此,将储存在发动机 3 的油底壳 3e 中的润滑油,通过油路 77c 吸入,同时,在加压的状态下,通过油路 77c,供给电磁阀机构 74。

电磁阀机构 74 由滑阀 (spool valve) 机构 74a 和螺线管 74b 组合
5 构成,通过提前角油路 77a 和滞后角油路 77b,分别连接到提前角室 75 和滞后角室 76。电磁阀机构 74 将从油压泵 73 供给的油压 Poil 作为提前角油压 Pad 和滞后角油压 Prt,分别输出到提前角室 75 和滞后角室 76。电磁阀机构 74 的螺线管 74b 电连接到 ECU2 上,当来自 ECU2 的后述的控制输入 Ucain 被输入时,根据控制输入 Ucain,使滑阀机构 74a 的滑阀芯
10 在预定的移动范围内移动,由此,使提前角油压 Pad 和滞后角油压 Prt 都发生变化。

在以上的可变凸轮相位机构 70 中,在油压泵 73 的动作中,电磁阀机构 74 根据控制输入 Ucain 动作,由此,分别地,提前角油压 Pad 供给到提前角室 75,滞后角油压 Prt 供给到滞后角室 76,从而,叶轮 72 与
15 外罩 71 之间的相对相位变更到提前角侧或滞后角侧。其结果,上述的凸轮相位 Cain 在最大滞后角值 Cainrt 与最大提前角值 Cainad 之间连续变化,从而,进气门 4 的气门正时在图 9 的实线所示的最大滞后角正时与图 9 的双点划线所示的最大提前角正时之间无级变更。并且,在后述的凸轮相位控制中,将最大滞后角值 Cainrt 设定为 0° ,将最大提前角值
20 Cainad 设定为正的预定角度 (例如 90°)。

如以上那样,在本实施方式的可变式进气门传动机构 40 中,通过可变气门升程机构 50,气门升程 Liftin 无级变更,同时,通过可变凸轮相位机构 70,凸轮相位 Cain 亦即进气门 4 的气门正时,在上述最大滞后角正时与最大提前角正时之间无级变更。

25 另一方面,在进气凸轮轴 5 的与可变凸轮相位机构 70 的反对侧的端部,设置有凸轮角传感器 22 (参考图 2)。该凸轮角传感器 22 例如可由磁性转子和 MRE 传感器构成,伴随进气凸轮轴 5 的旋转,将作为脉冲信号的 CAM 信号 (凸轮轴信号) 在每个预定的凸轮角 (例如 1°) 输出到 ECU2。ECU2 根据该 CAM 信号和上述 CRK 信号,计算出凸轮相位 Cain。并

且,在本实施方式中,凸轮角传感器 22 相当于控制量检测装置和凸轮相位检测装置,凸轮相位 Cain 相当于控制量和参数。

进而,如图 2 所示,在 ECU2 上,连接有油温传感器 23、油压传感器 24、油门踏板开度传感器 25、以及点火开关(ignition・switch)(以下称为“IG・SW”)26。该油温传感器 23 将表示油底壳 3e 内的润滑油的温度(以下称为“油温”)Toil 的检测信号输出到 ECU2,油压传感器 24 将表示从油压泵 73 供给到电磁阀机构 74 的油压 Poil 的检测信号输出到 ECU2。并且,在本实施方式中,油温 Toil 和油压 Poil 相当于参数。

此外,油门踏板开度传感器 25 将表示车辆的未图示的油门踏板的踏入量(以下称为“油门踏板开度”)AP 的检测信号输出到 ECU2。此外,当 IG・SW26 通过点火开关(ignition key)(未图示)操作进行 ON / OFF 操作,并将表示该 ON / OFF 状态的信号输出到 ECU2。

ECU2 由具有 CPU、RAM、ROM 以及 I / O 接口(均未图示)的微型计算机所构成,根据上述各种传感器 20~25 的检测信号以及 IG・SW26 的 ON / OFF 信号等,判别发动机 3 的运转状态,同时,执行各种控制程序。具体地,如后所述,ECU2 根据发动机 3 的运转状态,通过可变凸轮相位机构 70,控制凸轮相位 Cain。

此外,省略其详细说明,ECU2 通过可变气门升程机构 50,控制气门升程 Liftin。具体地,根据油门踏板开度 AP 和发动机转速 NE,设定目标气门升程 Liftin_cmd,控制气门升程 Liftin,使其收敛到目标气门升程 Liftin_cmd。在此情况下,油门踏板开度 AP 越大,或者发动机转速 NE 越高,亦即负载越大,则目标气门升程 Liftin_cmd 就要设定为越大的值。

并且,在本实施方式中,ECU2 相当于控制量检测装置、目标值设定装置、控制值计算装置、控制输入计算装置、振幅设定装置、凸轮相位检测装置、目标凸轮相位设定装置、以及中心值设定装置。

其次,对本实施方式的控制装置 1 进行说明。如图 10 所示,该控制装置 1 用于控制机械设备 90,其具有:目标凸轮相位计算部 100、二自由度滑动模式控制器(以下称为二自由度 SLD 控制器)110、非线性滤波

器 120、阈值设定部 130、限幅器 140、DSM 控制器 150、以及加法器 160。它们均由 ECU2 构成。

该机械设备 90 被定义为：通过输入控制输入 U_{cain} ，输出作为控制量的凸轮相位 C_{ain} 的系统，具体地，相当于包含可变凸轮相位机构 70 5 的系统。

首先，在目标凸轮相位计算部 100 中，根据发动机转速 NE 和气门升程 $Lift_{in}$ ，如后所述，通过映射图检索，计算出目标凸轮相位 C_{ain_cmd} 。并且，在本实施方式中，目标凸轮相位计算部 100 相当于目标值设定装置和凸轮相位设定装置，目标凸轮相位 C_{ain_cmd} 相当于目标值。

10 其次，对二自由度 SLD 控制器 110 进行说明。在该二自由度 SLD 控制器 110 中，通过下述的式 (1) ~ (8) 的目标值滤波器型二自由度滑动模式控制算法，作为用于使凸轮相位 C_{ain} 收敛到目标凸轮相位 C_{ain_cmd} 的值，计算出 SLD 控制输入 R_{sld} 。

在该控制算法中，首先，通过下式 (1) 所示的一次滞后滤波器算法，
15 计算出目标凸轮相位的滤波器值 $C_{ain_cmd_f}$ 。在同式 (1) 中， $POLE_f$ 是目标值滤波器设定参数，被设定为使 $-1 < POLE_f < 0$ 的关系成立的值。
$$C_{ain_cmd_f}(k) = -POLE_f \cdot C_{ain_cmd_f}(k-1) + (1 + POLE_f) \cdot C_{ain_cmd}(k)$$

... (1)

20 在该式 (1) 中，带有记号 (k) 的各离散数据，表示按后述的预定周期 ΔT 采样 (或计算出) 的数据，记号 k 表示各离散数据的采样周期的顺序。例如，分别地，记号 k 表示在本次采样时 (sampling timing) 所采样的值，记号 $k-1$ 表示在上次采样时所采样的值。关于此点，在下面的离散数据中也相同。并且，在以下的说明中，对各离散数据中的记号 (k)
25 适当加以省略。

其次，通过式 (2) ~ (8) 表示的滑动模式控制算法，计算出 SLD 控制输入 R_{sld} 。

$$R_{sld}(k) = R_{eq}(k) + R_{rch}(k) + R_{adp}(k) + R_{nl}(k) \quad \dots(2)$$

$$R_{eq}(k) = \frac{1}{b_1} \{ (1 - a_1 - POLE) \cdot C_{ain}(k) + (POLE - a_2) \cdot C_{ain}(k-1) \}$$

$$\begin{aligned}
& -b2 \bullet Rsl d(k-1) + Cain_cmd_f(k) \\
& + (POLE - 1) \bullet Cain_cmd_f(k-1) - POLE \bullet Cain_cmd_f(k-2) \} \\
& \dots (3)
\end{aligned}$$

$$Rrch(k) = \frac{-Krch}{b1} \bullet \sigma s(k) \quad \dots (4)$$

$$5 \quad Radp(k) = \frac{-Kadp}{b1} \bullet \sum_{i=0}^k \sigma s(i) \quad \dots (5)$$

$$Rnl(k) = \frac{-Knl}{b1} \bullet \text{sgn}(\sigma s(k)) \quad \dots (6)$$

$$\sigma s(k) = e(k) + POLE \bullet e(k-1) \quad \dots (7)$$

$$e(k) = Cain(k) - Cain_cmd_f(k-1) \quad \dots (8)$$

如上式 (2) 所示, 凸轮相位控制用的 SLD 控制输入 Rsld, 其作为
 10 等价控制输入 Req、到达则输入 Rrch、适应则输入 Radp、以及非线性输入 Rnl 的总和, 被算出。该等价控制输入 Req 由式 (3) 计算。在同式 (3) 中, a1、a2、b1、b2 表示后述模型的模型参数, 它们被设定为预定值。进而, 在式 (3) 中, POLE 是切换函数设定参数, 被设定为使 $-1 < POLE_f < POLE < 0$ 的关系成立的值。

15 此外, 到达则输入 Rrch 根据式 (4) 计算。在该式 (4) 中, Krch 表示预定的到达则增益, σs 是如式 (7) 那样定义的切换函数。同式 (7) 的 e 是如式 (8) 那样定义的偏差。

进而, 适应则输入 Radp 根据式 (5) 计算。在该式 (5) 中, Kadp 表示预定的适应则增益。另一方面, 非线性输入 Rnl 根据式 (6) 计算。
 20 在该式 (6) 中, Knl 表示预定的非线性增益, 同时, $\text{Sgn}(\sigma s)$ 表示符号函数, 其值为, 在 $\sigma s \geq 0$ 时, $\text{Sgn}(\sigma s) = 1$, $\sigma s < 0$ 时, $\text{Sgn}(\sigma s) = -1$ (并且, 当 $\sigma s = 0$ 时, 也可以设定为 $\text{Sgn}(\sigma s) = 0$)。

并且, 以上的式 (1) ~ (8) 可以如下推导出来。亦即, 将机械设
 备 90 定义为: 代替控制输入 Ucain, 以 SLD 控制输入 Rsld 作为控制输入,
 25 以凸轮相位 Cain 作为控制量的系统, 同时, 当作为离散时间系统模型进行模型化时, 可得到下式 (9)。根据该式 (9) 的模型, 为了使凸轮相位

Cain 收敛到目标凸轮相位 Cain_cmd, 当应用目标值滤波器型二自由度滑动模式控制理论时, 就可以导出前述式 (1) ~ (8)。

$$Cain(k+1) = a1 \cdot Cain(k) + a2 \cdot Cain(k-1) + b1 \cdot Rsl d(k) + b2 \cdot Rsl d(k-1)$$

... (9)

5 根据以上的二自由度 SLD 控制器 110 的控制算法, 由于通过目标值滤波器型算法, 设定凸轮相位 Cain 向目标凸轮相位 Cain_cmd 的跟踪速度, 同时, 通过滑动模式控制算法, 设定凸轮相位 Cain 向目标凸轮相位 Cain_cmd 的跟踪特性, 因此, 可以分别地设定跟踪速度和跟踪特性, 同时, 可以以高水平确保这些跟踪速度和跟踪特性。亦即, 在不受到可变
10 凸轮相位机构 70 的非线性特性的影响的状况下, 可以将凸轮相位 Cain 向目标凸轮相位 Cain_cmd 的跟踪速度和跟踪特性均以高水平进行确保, SLD 控制输入 Rsl d 作为具有这一控制上的优良特性的值被算出。并且, 在本实施方式中, 二自由度 SLD 控制器 110 相当于控制值计算装置, SLD 控制输入 Rsl d 相当于控制值。

15 其次, 对非线性滤波器 120 进行说明。该非线性滤波器 120 用于计算控制输入 Ucain 的振幅的中心值 Ucain_cent。如图 11 所示, 它由中值滤波器 121 和 ϵ 滤波器 122 组合构成。

当 $2f+1$ (f 为整数) 个 SLD 控制输入 Rsl d 的值按大小的顺序排列时, 该中值滤波器 121 就将其中央值作为滤波器值 Rsl d_flt 进行采样, 该算
20 法可表示成下式 (10):

$$Rsl d_flt(k) = Fmed(Rsl d(k), Rsl d(k-1), \dots, Rsl d(k-2f)) \quad \dots (10)$$

并且, 在中值滤波器 121 中, 当 $2f+1$ 为偶数时, 也可以将夹持中央的 2 个值的任意一个或两个值的算术平均值, 作为滤波器值 Rsl d_flt 进行采样。

25 此外, 在 ϵ 滤波器 122 中, 对由中值滤波器 121 采样的滤波器值 Rsl d_flt, 通过施行下式 (11) ~ (14) 的滤波处理, 计算出中心值 Ucain_cent。并且, 在下式 (11) 中, n 是整数, m 是使 $m \geq 2f+1$ 成立的整数, ϵ 是正的预定值。

$$Ucain_cent(k) = \frac{1}{n+1} \sum_{j=0}^n F_{\varepsilon}(Rsld_flt(k-mj), Rsld_flt(k)) \quad \dots (11)$$

• $X > Y + \varepsilon$ 时

$$F_{\varepsilon}(X, Y) = Y \quad \dots (12)$$

5 • $Y - \varepsilon \leq X \leq Y + \varepsilon$ 时

$$F_{\varepsilon}(X, Y) = X \quad \dots (13)$$

• $X > Y - \varepsilon$ 时

$$F_{\varepsilon}(X, Y) = Y \quad \dots (14)$$

如上那样，在该非线性滤波器 120 中，通过将中值滤波器 121 和 ε
 10 滤波器 122 组合起来后的式 (10) ~ (14) 的算法，计算出中心值
 $Ucain_cent$ 。从而，当 SLD 控制输入 $Rsld$ 中包含有脉冲状的噪音成分时，
 根据中值滤波器 121 的滤波特性，可以一边避免这样的噪音成分的影响，
 一边计算出中心值 $Ucain_cent$ 。此外，当 SLD 控制输入 $Rsld$ 阶梯状大幅度
 变化时，根据 ε 滤波器 122 的滤波特性，可以将中心值 $Ucain_cent$ 作
 15 为相对于这样的 SLD 控制输入 $Rsld$ 的变化表示高跟踪性的值计算出。

此外，通过两个滤波器 121、122 的相乘效果，即使当 SLD 控制输入
 $Rsld$ 包含较小振幅的噪音成分时，在中心值 $Ucain_cent$ 的计算中，也可
 以抑制其影响，关于此点，通过本申请人的实验已得到确认。如上那样，
 成为控制输入 $Ucain$ 的振幅的中心的中心值 $Ucain_cent$ 作为对 SLD 控制
 20 输入 $Rsld$ 的宏观变化高精度地进行追踪的值被算出。并且，在本实施方式
 中，非线性滤波器 120 相当于控制输入计算装置和中心值设定装置。

其次，对上述的阈值设定部 130 进行说明，在该阈值设定部 130 中，
 通过后述的图 14 的计算方法，根据气门升程 $Liftin$ 、凸轮相位 $Cain$ 、
 发动机转速 NE 、油压 $Poil$ 、以及油温 $Toil$ ，计算出阈值 $Ducain_LMT$ 和
 25 振幅设定值 R 。该阈值 $Ducain_LMT$ 如后所述，在限幅器 140 中，用于计
 算小偏差分量值 $Ducain_L$ 和大偏差分量值 $Ducain_H$ ，振幅设定值 R 如后
 所述，在 DSM 控制器 150 中，用于计算出调制值 $Ducain_L_dsm$ 。

另一方面，在限幅器 140（控制输入计算装置）中，利用上述阈值 Ducaín_LMT，可通过下式（15）～（20），计算小偏差分量值 Ducaín_L 和大偏差分量值 Ducaín_H。

• $R_{sld}(k) - U_{cain_cent}(k) > Ducaín_LMT(k)$ 时

$$5 \quad Ducaín_L(k) = Ducaín_LMT(k) \quad \dots (15)$$

$$Ducaín_H(k) = R_{sld}(k) - U_{cain_cent}(k) - Ducaín_LMT(k) \quad \dots (16)$$

• $-Ducaín_LMT(k) \leq R_{sld}(k) - U_{cain_cent}(k) \leq Ducaín_LMT(k)$ 时

$$10 \quad Ducaín_L(k) = R_{sld}(k) - U_{cain_cent}(k) \quad \dots (17)$$

$$Ducaín_H(k) = 0 \quad \dots (18)$$

• $R_{sld}(k) - U_{cain_cent}(k) < -Ducaín_LMT(k)$ 时

$$Ducaín_L(k) = -Ducaín_LMT(k) \quad \dots (19)$$

$$Ducaín_H(k) = R_{sld}(k) - U_{cain_cent}(k) + Ducaín_LMT(k)$$

$$15 \quad \dots (20)$$

如以上的式（15）、（17）、（19）所示，小偏差分量值 Ducaín_L 的值，在 SLD 控制输入 R_{sld} 与中心值 U_{cain_cent} 的偏差中，通过施行以 Ducaín_LMT 为上限、以 $-Ducaín_LMT$ 为下限的限幅处理，被算出。亦即，小偏差分量值 Ducaín_L 相当于 SLD 控制输入 R_{sld} 的变动较小并相对于中心值 U_{cain_cent} 在不超过阈值 Ducaín_LMT 的绝对值的范围内变动时的分量。

此外，如式（16）、（18）、（20）所示，大偏差分量值 Ducaín_H，在 SLD 控制输入 R_{sld} 与中心值 U_{cain_cent} 的偏差的绝对值不超过阈值 Ducaín_LMT 的绝对值时，作为值 0 被计算出，在超过时，作为超过部分 25 的值被计算出。亦即，大偏差分量值 Ducaín_H 在 SLD 控制输入 R_{sld} 的变动小的情况下，作为值 0 被计算出，同时，在由于目标凸轮相位 $Cain_cmd$ 的变动大，使 SLD 控制输入 R_{sld} 的变动很大的情况下，亦即对控制的快

速响应性（速応性）具有要求时，作为用于使这样的 SLD 控制输入 Rsld 的值恰当地反映到控制输入 Ucain 中的值被计算出。并且，在本实施方式中，阈值设定部 130 相当于控制输入计算装置和振幅设定装置。

此外，在 DSM 控制器 150 中，通过应用下式（21）～（25）中所示的 $\Delta \Sigma$ 调制算法的算法，对小偏差分量值 Ducain_L 进行调制，来计算出调制值 Ducain_L_dsm。

$$r(k) = \text{Ducain_L}(k) \quad \dots (21)$$

$$\delta(k) = r(k) - u(k-1) \quad \dots (22)$$

$$\sigma(k) = \sigma(k-1) + \delta(k) \quad \dots (23)$$

$$u(k) = \text{fnl}(\sigma(k)) \quad \dots (24)$$

$$\text{Ducain_L_dsm}(k) = u(k) \quad \dots (25)$$

如上式（22）所示，偏差 δ 作为小偏差分量值 Ducain_L 与调制值 u 的上次的值之间的偏差被计算出。此外，在式（23）中， σ 表示偏差 δ 的积分值。此外，在式（24）中， $\text{fnl}(\sigma)$ 是非线性函数，其值可这样设定：在 $\sigma \geq 0$ 时使 $\text{fnl}(\sigma) = R$ ，在 $\sigma < 0$ 时使 $\text{fnl}(\sigma) = -R$ （并且，当 $\sigma = 0$ 时，也可以设定为 $\text{fnl}(\sigma) = 0$ ）。参考以上式（21）～（25）可知，调制值 Ducain_L_dsm 可作为在最小值 $-R$ 与最大值 R 之间循环翻转的值被计算出。

如上那样，在 DSM 控制器 150 中，由于调制值 Ducain_L_dsm 可通过按以上的算法调制来计算小偏差分量值 Ducain_L，因此，当 SLD 控制输入 Rsld 的变动小，与中心值 Ucain_cent 之间只产生相当于小偏差分量值 Ducain_L 的偏差时，可以一边确保 SLD 控制输入 Rsld 的上述控制上的优良特性，亦即，使凸轮相位 Cain 对目标凸轮相位 Cain_cmd 的跟踪速度和跟踪特性都被确保在高水平这一特性，一边将调制值 Ducain_L_dsm 作为可补偿可变凸轮相位机构 70 的非线性特性的值计算出。

另一方面，在加法器 160 中，通过下式（26），计算出控制输入 Ucain。

$$\text{Ucain} = \text{Ducain_L_dsm} + \text{Ducain_H} + \text{Ucain_cent} \quad \dots (26)$$

如上那样，控制输入 U_{cain} 作为调制值 $Du_{cain_L_dsm}$ 、大偏差分量值 Du_{cain_H} 、以及中心值 U_{cain_cent} 的总和被计算出。在此情况下，中心值 U_{cain_cent} 如上所述，其作为可高精度跟踪 SLD 控制输入 R_{sld} 的宏观变化的值被计算出，如上所述，在 SLD 控制输入 R_{sld} 的变动小的情况下，调制值 $Du_{cain_L_dsm}$ 一边确保使凸轮相位 C_{ain} 对目标凸轮相位 C_{ain_cmd} 的跟踪速度和跟踪特性都被确保在高水平的这一特性，一边作为可补偿可变凸轮相位机构 70 的非线性特性的值被计算出。加之，在由于目标凸轮相位 C_{ain_cmd} 大幅度急剧变化，使 SLD 控制输入 R_{sld} 的变动较大的情况等的对控制的响应速度（速応性）具有要求的状况下，大偏差分量值 Du_{cain_H} 使 SLD 控制输入 R_{sld} 的特性恰当地反映到控制输入 U_{cain} 中，作为用于确保控制的高速响应性（速応性）的值被计算出。

从而，作为这 3 个值 $Du_{cain_L_dsm}$ 、 Du_{cain_H} 、以及 U_{cain_cent} 的总和被计算出的控制输入 U_{cain} ，其在 SLD 控制输入 R_{sld} 变动较小的情况下，具有将 SLD 控制输入 R_{sld} 的上述优良的控制上的特性，即使凸轮相位 C_{ain} 对目标凸轮相位 C_{ain_cmd} 的跟踪速度和跟踪特性都可确保在高水平这一特性，同时，通过将调制值 $Du_{cain_L_dsm}$ 按应用了 $\Delta \Sigma$ 调制算法的算法进行调制，作为可补偿可变凸轮相位机构 70 的非线性特性的值被计算出。加之，在目标凸轮相位 C_{ain_cmd} 大幅度急剧变化的情况等的对控制的响应速度（速応性）具有要求的状况下，根据包含在控制输入 U_{cain} 中的大偏差分量值 Du_{cain_H} ，作为可确保控制的高速响应性（速応性）的值被计算出。并且，根据控制上的需要，也可以将大偏差分量值 Du_{cain_H} 设定为 0 值，将控制输入 U_{cain} 作为调制值 $Du_{cain_L_dsm}$ 与中心值 U_{cain_cent} 的总和求出。

以下，对由 ECU2 执行的凸轮相位 C_{ain} 的控制程序，一边参考图 12 一边进行说明。该程序按预定的周期 ΔT （例如 5 毫秒）执行。如图 12 所示，在该程序中，首先，在步骤 1（在图中省略为“S1”。以下相同），判别进气门传动机构故障标志 F_{VLVNG} 是否为“1”。该进气门传动机构故障标志 F_{VLVNG} 分别在可变式进气门传动机构 40 故障时被设定为“1”，在正常时被设定为“0”。

当步骤 1 的判别结果为 NO，可变式进气门传动机构 40 正常时，进入步骤 2，判别发动机启动标志 F_ENGSART 是否为“1”，在未图示的判定中，根据发动机转速 NE 和 IG · SW26 的输出状态，通过判定是否处于发动机启动控制中，亦即判定是否处于曲轴转动(cranking)中，来设定该发动机启动标志 F_ENGSART，具体地，当处于发动机启动控制中时，将其设定为“1”，在其它情况下，将其设定为“0”。

在该步骤 2 的判别结果为 YES，当处于发动机启动控制中时，进入步骤 3，将目标凸轮相位 Cain_cmd 设定为预定的启动时用值 Cain_cmd_st。

10 另一方面，若步骤 2 的判定结果是 NO，当发动机 3 已完成启动时，进入步骤 4，根据发动机转速 NE 和气门升程 Liftin，通过检索图 13 所示的映射图，计算出目标凸轮相位 Cain_cmd 的映射值 Cain_cmd_map。在图 13 中，气门升程 Liftin 的预定值 Liftin1~3 被设定为使 Liftin1 < Liftin2 < Liftin3 的关系成立那样的值。

15 在图 13 的映射图中，在 Liftin=Liftin3 的情况下，亦即在处于高升程高负载区域的情况下，若发动机转速 NE 越高，则目标凸轮相位 Cain_cmd 就要设定为更加偏向滞后角侧的值。此外，在 Liftin=Liftin2，也就是中等负载的情况下，在低转速区域，若发动机转速 NE 越高，目标凸轮相位 Cain_cmd 就被设定为更加偏向提前角侧的值，同时，在从中等转速区域到高转速区域时，若发动机转速 NE 越高，就被设定为更加偏向滞后角侧的值。进而，在 Liftin=Liftin1，在低负载的情况下，目标凸轮相位 Cain_cmd 按照与中等负载的情况基本同样的倾向，被设定为比其更加偏向提前角侧的值。

25 这是因为，在高负载且高转速的区域，通过将气门升程 Liftin 控制为高升程，并且将凸轮相位 Cain 控制为滞后角侧的值，就可以使吸入空气量增大，使发动机的转矩增大的缘故。加之也是因为，在这样的控制时，由于内部 EGR 量的减少，在压缩行程初期，通过进气的惯性力继续保持进气动作特性，因此，为了将其利用于提高填充效率，而将凸轮相位 Cain 控制为滞后角侧的值的缘故。

此外，在低负载或者低转速的区域，通过将气门升程 Liftin 控制为低升程，并且与高负载区相比将凸轮相位 Cain 控制为提前角侧的值，就可以实现比奥托循环（Otto cycle）更早关闭进气门 4 的米勒式循环（Miller cycle）。从而，使泵送损失减小的同时，通过使因低升程化的缸内流动增大，实现燃烧的急速化，使燃烧效率提高。

其次，进入步骤 5，将在步骤 4 计算出的映射值 Cain_cmd_map 设定为目标凸轮相位 Cain_cmd。

在后续步骤 3 或步骤 5 的步骤 6，通过上述式（1）～（8）的控制算法，计算出 SLD 控制输入 Rsld。

其次，进入步骤 7，在计算出控制输入 Ucain 之后，结束本程序。关于该控制输入 Ucain 的计算程序的具体内容，将在后面叙述。

另一方面，在步骤 1 的判定结果是 YES，可变式进气门传动机构 40 发生故障时，进入步骤 8，将控制输入 Ucain 设定为值 0 之后，结束本程序。从而，将凸轮相位 Cain 控制在最大滞后角值 Cainrt。

其次，一边参考图 14，对上述控制输入 Ucain 的计算程序进行说明。在该程序中，首先，在步骤 20，判别气门升程 Liftin 是否小于预定值 Liftin_low（例如最大值 Liftinmax 的 2 / 5）。

当步骤 20 的判定结果是 NO，气门升程 Liftin 处于高升程状态时，进入步骤 21，判别凸轮相位 Cain 是否小于第 1 预定值 Cain_low1（例如，最大提前角值 Cainad 的 1 / 6）。亦即，判别凸轮相位 Cain 与第 1 预定值 Cain_low1 相比是否为滞后角侧的值。

当步骤 21 的判定结果是 YES，凸轮相位 Cain 与第 1 预定值 Cain_low1 相比为滞后角侧的值时，进入步骤 22，根据发动机转速 NE，通过检索图 15 所示的图表，计算出振幅设定值 R 以及阈值 Ducain_LMT 的高升程和滞后角区用值 R_tbl1、Ducain_LMT_tbl1。

如图 15 所示，高升程和滞后角区用值 R_tbl1、Ducain_LMT_tbl1 都是发动机转速 NE 越低，就越被设定为更大的值。反言之，若发动机转速 NE 越高，就被设定为越小的值。这是由于以下原因，即，当发动机转速 NE 较低时，由于 CAM 信号和 CRK 信号的发生间隔变长，使凸轮相位 Cain

的检测精度降低。亦即，使非线性特性发生变化。从而，通过将调制值 Ducaín_L_dsm 的振幅，亦即将控制输入 Ucaín 的振幅设定为更大的值，以对凸轮相位 Cain 的检测精度的降低，亦即非线性特性的变化进行补偿，使控制精度提高的缘故。此外，油压驱动式可变凸轮相位机构 70 在凸轮
5 相位 Cain 变更时，会受到凸轮反作用力的影响，同时，若发动机转速 NE 越高，受到该凸轮反作用力的周期就变得越短，通过使每个单位时间的能量增大，就具有凸轮相位 Cain 对控制输入 Ucaín 的敏感度变高的这一特性。从而，发动机转速 NE 越高，亦即凸轮相位 Cain 的敏感度变得越高，与其对应，就将调制值 Ducaín_L_dsm 的振幅，亦即将控制输入 Ucaín
10 的振幅，设定为更小的值。

此外，高升程和滞后角区用值 R_tbl1、Ducaín_LMT_tbl1 被设定为使 $R_tbl1 > Ducaín_LMT_tbl1$ 的关系成立。这是因为在调制值 Ducaín_L_dsm 中，亦即在控制输入 Ucaín 中，确保上述 SLD 控制输入 Rsld 具有的控制上的优良特性的缘故。亦即，是因为在控制输入 Ucaín 中，
15 确保能够以高水平确保凸轮相位 Cain 向目标凸轮相位 Cain_cmd 的跟踪速度和跟踪特性的这一特性的缘故。并且，这 2 个值也可以设定为 $R_tbl1 = Ducaín_LMT_tbl1$ ，根据必要性，可以设定为使 $R_tbl1 \geq Ducaín_LMT_tbl1$ 的关系成立。

其次，进入步骤 23，将振幅设定值 R 和阈值 Ducaín_LMT 的图表值
20 R_tbl、Ducaín_LMT_tbl 分别设定为在步骤 22 计算出的高升程和滞后角区用值 R_tbl1、Ducaín_LMT_tbl1。

另一方面，当步骤 21 的判定结果是 NO，凸轮相位 Cain 是等于第 1 预定值 Cain_low1 的值时，或者与其相比为提前角侧的值时，进入步骤 24，根据发动机转速 NE，通过检索图 16 所示的图表，计算出振幅设定值
25 R 和阈值 Ducaín_LMT 的高升程和非滞后角区用值 R_tbl2、Ducaín_LMT_tbl2。

如图 16 所示，根据在上述图 15 的说明中所述的相同的理由，若发动机转速 NE 越低，高升程和非滞后角区用值 R_tbl2、Ducaín_LMT_tbl2 就都被设定为越大的值。

此外, 比较图 16 和图 15 可知, 高升程和滞后角区用值 R_tbl1 、 $Ducain_LMT_tbl1$ 被设定为比高升程和非滞后角区用值 R_tbl2 、 $Ducain_LMT_tbl2$ 小的值 ($R_tbl2 > R_tbl1$ 、 $Ducain_LMT_tbl2 > Ducain_LMT_tbl1$)。这是因为, 在气门升程 $Liftin$ 处于高升程的情况下, 5 若将凸轮相位 $Cain$ 控制在滞后角侧, 由于通过填充效率提高, 伴随转矩增大, 使曲轴角速度的变动增大, 就可以使凸轮相位 $Cain$ 对控制输入 $Ucain$ 的敏感度变高, 因此, 与其对应, 将调制值 $Ducain_L_dsm$ 的振幅, 亦即控制输入 $Ucain$ 的振幅, 设定为更小的值的缘故。

进而, 高升程和非滞后角区用值 R_tbl2 、 $Ducain_LMT_tbl2$ 应被设定为使 $R_tbl2 > Ducain_LMT_tbl2$ 的关系成立。这是由于上述理由。10

其次, 进入步骤 25, 将振幅设定值 R 和阈值 $Ducain_LMT$ 的图表值 R_tbl 、 $Ducain_LMT_tbl$ 分别设定为在步骤 24 计算出的高升程和非滞后角区用值 R_tbl2 、 $Ducain_LMT_tbl2$ 。

另一方面, 当步骤 20 的判定结果是 YES, 气门升程 $Liftin$ 被设定为低升程时, 进入步骤 26, 判别凸轮相位 $Cain$ 是否小于第 2 预定值 $Cain_low2$ (例如, 最大提前角值 $Cainad$ 的 $1/2$ 的值)。亦即, 判别凸轮相位 $Cain$ 相比第 2 预定值 $Cain_low2$ 是否为滞后角侧的值。15

当步骤 26 的判定结果是 YES, 凸轮相位 $Cain$ 相比第 2 预定值 $Cain_low2$ 为滞后角侧的值时, 进入步骤 27, 根据发动机转速 NE , 通过检索图 17 所示的图表, 计算出振幅设定值 R 以及阈值 $Ducain_LMT$ 的低升程和滞后角区用值 R_tbl3 、 $Ducain_LMT_tbl3$ 。20

如图 17 所示, 根据上述理由, 低升程和滞后角区用值 R_tbl3 、 $Ducain_LMT_tbl3$ 在发动机转速 NE 越低时, 就都被设定为越大的值。此外, 根据上述的理由, 低升程和滞后角区用值 R_tbl3 、 $Ducain_LMT_tbl3$ 25 被设定为使 $R_tbl3 > Ducain_LMT_tbl3$ 的关系成立的值。

进而, 比较图 17 与上述图 15、16 可知, 低升程和滞后角区用值 R_tbl3 、 $Ducain_LMT_tbl3$ 被设定为使 $R_tbl3 > R_tbl2 > R_tbl1$, $Ducain_LMT_tbl3 > Ducain_LMT_tbl2 > Ducain_LMT_tbl1$ 的关系成立的值。这是因为, 如上所述, 当气门升程 $Liftin$ 处于低升程时, 与处于高

升程时相比, 由于通过将目标凸轮相位 $Cain_cmd$ 设定为更加偏向提前角侧的值 (参考图 13), 使凸轮相位 $Cain$ 被控制在更加偏向提前角侧, 因此, 与此对应, 就要将调制值 $Ducain_L_dsm$ 的振幅, 亦即将控制输入 $Ucain$ 的振幅设定为更大的值的缘故。

- 5 其次, 进入步骤 28, 将振幅设定值 R 以及阈值 $Ducain_LMT$ 的图表值 R_tbl 、 $Ducain_LMT_tbl$ 分别设定为在步骤 27 计算出的低升程和滞后角区用值 R_tbl3 、 $Ducain_LMT_tbl3$ 。

另一方面, 当步骤 26 的判定结果是 NO, 凸轮相位 $Cain$ 是等于第 2 预定值 $Cain_low2$ 的值时, 或者比其更加偏向提前角侧的值时, 进入步
10 骤 29, 根据发动机转速 NE , 通过检索图 18 所示的图表, 计算出振幅设定值 R 以及阈值 $Ducain_LMT$ 的低升程和提前角区用值 R_tbl4 、 $Ducain_LMT_tbl4$ 。

如图 18 所示, 根据上述理由, 低升程和提前角区用值 R_tbl4 、 $Ducain_LMT_tbl4$ 在发动机转速 NE 越低时, 就都被设定为越大的值。

- 15 此外, 比较图 18 和图 17 可知, 低升程和提前角区用值 R_tbl4 、 $Ducain_LMT_tbl4$ 被设定为比低升程和滞后角区用值 R_tbl3 、 $Ducain_LMT_tbl3$ 小的值 ($R_tbl4 < R_tbl3$ 、 $Ducain_LMT_tbl4 < Ducain_LMT_tbl3$)。这是因为以下的理由, 即, 在凸轮相位 $Cain$ 处于提前角侧的情况下, 与处于滞后角侧时相比, 由于内部 EGR 量更加增大,
20 曲轴角速度变动变得更大, 从而凸轮相位 $Cain$ 对控制输入 $Ucain$ 的敏感度变高, 所以与其对应, 就要将调制值 $Ducain_L_dsm$ 的振幅, 亦即控制输入 $Ucain$ 的振幅, 设定为更小的值的缘故。

进而, 根据上述理由, 低升程和提前角区用值 R_tbl4 、 $Ducain_LMT_tbl4$ 被设定为使 $R_tbl4 > Ducain_LMT_tbl4$ 的关系成立的值。

- 25 在以上的步骤 23、25、28 或 30 后续的步骤 31, 根据油温 $Toil$ 和油压 $Poil$, 通过检索图 19 所示的映射图, 计算出校正系数 $Kducain$ 。在图 19 中, 油压的预定值 $Poil1 \sim 3$ 被设定为使 $Poil1 < Poil2 < Poil3$ 的关系成立的值。

在该映射图中, 校正系数 $Kducain$ 被设定为大于等于值 1 的值, 同

时, 油温 $Toil$ 越低, 或者油压 $Poil$ 越低, 它就被设定为越大的值。这是因为, 由于在供给可变凸轮相位机构 70 的油温 $Toil$ 较低的情况下, 粘性阻力就变得更大, 从而凸轮相位 $Cain$ 对控制输入 $Ucain$ 的应答延迟变得更大 (亦即, 非线性特性变强), 因此, 为了对其进行补偿, 而将控制输入 $Ucain$ 设定为更大的值的缘故。此外是因为, 在油压 $Poil$ 较低的情况下, 由于凸轮相位 $Cain$ 对控制输入 $Ucain$ 的应答延迟变得更大 (亦即, 非线性特性变强), 所以为了对其进行补偿, 而将控制输入 $Ucain$ 设定为更大的值的缘故。

其次, 在步骤 32, 将阈值 $Ducain_LMT$ 设定为图表值 $Ducain_LMT_tbl$ 与校正系数 $Kducain$ 之积, 同时, 将振幅设定值 R 设定为图表值 R_tbl 与校正系数 $Kducain$ 之积。

其次, 进入步骤 33, 根据上述式 (10) ~ (26) 的算法, 在计算控制输入 $Ucain$ 之后, 结束本程序。

其次, 一边参考图 20、21, 一边对根据本实施方式的控制装置 1 的凸轮相位 $Cain$ 的控制结果进行说明。首先, 图 20 表示将气门升程 $Liftin$ 保持在预定的低升程, 同时, 使目标凸轮相位 $Cain_cmd$ 在接近最大滞后角值 $Cainrt$ 的预定值 $Cain1$ 与提前角侧预定值 $Cain2$ 、 $Cain3$ ($Cain1 < Cain2 < Cain3$) 之间, 基本为矩形波形状地进行变化时的控制结果。

从图 20 可知, 凸轮相位 $Cain$ 被控制在预定值 $Cain1$ 时 ($t0 \sim t1$ 、 $t4 \sim t5$), 与凸轮相位 $Cain$ 被控制在预定值 $Cain2$ 或 $Cain3$ ($t2 \sim t3$ 、 $t6 \sim t7$) 的情况相比, 控制输入 $Ucain$ 被设定为更小振幅的值。如前所述, 这是因为, 在气门升程 $Liftin$ 是低升程的情况下, 当凸轮相位 $Cain$ 处于提前角区侧时, 与处于滞后角区侧时相比, 由于内部 EGR 更加增大, 曲轴角速度的变动变得更大, 从而凸轮相位 $Cain$ 对控制输入 $Ucain$ 的敏感度变高, 因此, 与其相应, 就要将控制输入 $Ucain$ 的振幅设定为更小的值。

此外, 图 21 表示当使气门升程 $Liftin$ 和目标凸轮相位 $Cain_cmd$ 保持在预定的一定的值, 同时, 使控制输入 $Ucain$ 的振幅变化时的控制结果。在图 21 中, 时间 $t11 \sim t12$ 的控制结果由本实施方式的控制算法所

得到。时间 $t_{10} \sim t_{11}$ 的控制结果表示将控制输入 U_{cain} 的振幅，有意识地设定为比由本实施方式的控制算法计算出的值小时的情况。时间 t_{12} 以后的控制结果，表示将控制输入 U_{cain} 的振幅，有意识地设定为比由本实施方式的控制算法计算出的值大时的情况。从图 21 可知，只有在将控制输入 U_{cain} 的振幅，设定为与可变凸轮相位机构 70 中的凸轮相位 Cain 对控制输入 U_{cain} 的敏感度和非线性特性对应的恰当的值的情况下，才能够将控制分辨率和控制精度都确保在高水平，另一方面，由此可知，如果将控制输入 U_{cain} 的振幅，或者设定为比那样的恰当值小、或者设定为较大时，控制的分辨率和控制精度就都会降低。

10 根据以上那样的本实施方式的控制装置 1，SLD 控制输入 R_{sld} 可通过目标值滤波器型二自由度滑动模式控制算法求出，利用该 SLD 控制输入 R_{sld} ，通过应用了 $\Delta \Sigma$ 调制算法的调制算法，计算出向可变凸轮相位机构 70 的控制输入 U_{cain} 。在此情况下，SLD 控制输入 R_{sld} ，在由于通过目标值滤波器型二自由度滑动模式控制算法进行计算，因此，可变凸轮相位机构 70 的非线性特性没有影响的状况下，作为具有使凸轮相位 Cain 对目标凸轮相位 C_{ain_cmd} 的跟踪速度和跟踪特性都确保在高水平的特性的值被计算出。

此外，控制输入 U_{cain} 作为调制值 $Du_{cain_L_dsm}$ 、大偏差分量值 Du_{cain_H} 以及中心值 U_{cain_cent} 的总和被计算出。如上所述，该中心值 U_{cain_cent} 通过非线性滤波器 120 的滤波特性，作为可高精度跟踪 SLD 控制输入 R_{sld} 的宏观变化的值被计算出。此外，如上所述，调制值 $Du_{cain_L_dsm}$ ，在 SLD 控制输入 R_{sld} 的变动较小的情况下，其一边确保凸轮相位 Cain 对目标凸轮相位 C_{ain_cmd} 的跟踪速度和跟踪特性都能确保在高水平的这一特性，一边作为可补偿可变凸轮相位机构 70 的非线性特性的值被计算出。加之，大偏差分量值 Du_{cain_H} ，在对控制的快速响应性（速応性）具有要求的状况下，作为可确保它的值被计算出，同时，在其它状况下，作为值 0 被计算出。

从而，通过利用作为这 3 个值 $Du_{cain_L_dsm}$ 、 Du_{cain_H} 以及 U_{cain_cent} 的总和被计算出的控制输入 U_{cain} ，在凸轮相位控制中，在

SLD 控制输入 R_{sld} 的变动小的情况下，可以一边补偿可变凸轮相位机构 70 的非线性特性，一边使凸轮相位 C_{ain} 对目标凸轮相位 C_{ain_cmd} 的跟踪速度和跟踪特性都被确保在高水平。其结果，在凸轮相位控制中，可以确保高级的控制分辨率，可以确保高控制精度。加之，在 SLD 控制输入 R_{sld} 的变动大、对控制的快速响应性（速応性）具有要求的状况下，通过包含在控制输入 U_{cain} 中的大偏差分量值 Du_{cain_H} ，就可以确保那样的快速响应性（速応性）。

进而，由于阈值 Du_{cain_LMT} 和振幅设定值 R 根据气门升程 $Lift_{in}$ 、凸轮相位 C_{ain} 、发动机转速 NE 、油压 Po_{il} 、以及油温 To_{il} 被计算出，同时，通过利用这样求出的阈值 Du_{cain_LMT} 和振幅设定值 R ，计算出调制值 $Du_{cain_L_dsm}$ 亦即控制输入 U_{cain} ，因此，通过控制输入 U_{cain} ，就可以对伴随这些参数变化的可变凸轮相位机构 70 的非线性特性的变化，以及凸轮相位 C_{ain} 对控制输入 U_{cain} 的敏感度的变化，进行恰当的补偿。从而，可以进一步提高控制分辨率，可以使控制精度提高。

加之，由于中心值 U_{cain_cent} 作为高精度追踪 SLD 控制输入 R_{sld} 的宏观变化的值被计算出，因此，与调制后的控制输入的振幅中心值没有变化的现有的情况相比，可以将控制输入 U_{cain} 的振幅设定为更小的值。其结果，即使当 SLD 控制输入 R_{sld} 的变动幅度大时，也可以确保高水平的控制分辨率，可以确保高控制精度。

进而，作为计算出调制值 $Du_{cain_L_dsm}$ 的算法，由于利用应用了 $\Delta \Sigma$ 调制算法的算法，因此，根据 $\Delta \Sigma$ 调制算法的特性，在小偏差分量值 Du_{cain_L} 越接近值 0，亦即在凸轮相位 C_{ain} 越接近目标凸轮相位 C_{ain_cmd} 的状况下，若 SLD 控制输入 R_{sld} 变成不变动，则控制输入 U_{cain} 的翻转频率就变得更高。其结果，与利用通过翻转频率一定的 PWM 或高频脉动调制了的控制输入 U_{cain} 的情况相比，可以使凸轮相位 C_{ain} 向目标凸轮相位 C_{ain_cmd} 的收敛性提高。

并且，虽然第 1 实施方式的非线性滤波器 120 由中值滤波器 121 和 ϵ 滤波器 122 组合构成，但作为非线性滤波器，也可以利用移动平均滤波器代替中值滤波器 121，亦即由移动平均滤波器和 ϵ 滤波器 122 组合构

成。在此情况下，移动平均滤波器算法表示为如下式(27)，在同式(27)中的 ma 是整数，将其设定为使 $m \geq ma+1$ 成立的值。

$$Rsld_flt(k) = \frac{1}{ma+1} \sum_{i=0}^{ma} Rsld(i) \quad \dots(27)$$

如上所述，即使在利用由移动平均滤波器和 ϵ 滤波器 122 组合构成的非线性滤波器的情况下，也可以得到与上述非线性滤波器 120 同样的作用效果。亦即，可以一边避免在 SLD 控制输入 $Rsld$ 中的脉冲状的噪音的影响，一边计算出中心值 $Ucain_cent$ ，同时，即使在 SLD 控制输入 $Rsld$ 以阶梯状大幅度地变化的情况下，也可以将中心值 $Ucain_cent$ ，作为表示对那样的 SLD 控制输入 $Rsld$ 的变化具有高跟踪性的值进行计算。此外，
10 即使在 SLD 控制输入 $Rsld$ 包含较小振幅的噪音的情况下，在中心值 $Ucain_cent$ 的计算中，也可以抑制其影响。

此外，第 1 实施方式是这样的示例，其通过图表检索，计算出振幅设定值 R 和阈值 $Ducain_LMT$ 的图表值，同时，根据气门升程 $Liftin$ 和凸轮相位 $Cain$ ，切换用于计算的图表。但振幅设定值 R 和阈值 $Ducain_LMT$ 的计算方法并不仅限于此，只要是根据气门升程 $Liftin$ 、凸轮相位 $Cain$
15 以及发动机转速 NE ，计算出这些值的方法即可。例如，振幅设定值 R 和阈值 $Ducain_LMT$ 的映射值，也可以根据气门升程 $Liftin$ ，对根据凸轮相位 $Cain$ 和发动机转速 NE 设定了的多个映射图进行切换。

进而，虽然第 1 实施方式是将本发明的控制装置，应用在控制作为
20 机械设备的油压驱动式可变凸轮相位机构 70 的例子，但本发明申请的控制装置并不仅限于此，也可以应用在控制具有非线性特性的各种产业设备的控制装置上。例如，也可以将本发明的控制装置，应用在通过电磁驱动式可变凸轮相位机构，控制凸轮相位 $Cain$ 的控制装置中，或应用在通过可变气门升程机构 50，控制气门升程 $Liftin$ 的控制装置中。

25 此外，第 1 实施方式是将控制装置 1，应用于变更进气门 4 的凸轮相位 $Cain$ 的可变凸轮相位机构 70 的控制的例子，但本发明的控制装置并不仅限于此，也可以应用在变更排气凸轮 9 对曲轴 3d 的相位的机构中。

其次，一边参考图 22，一边对本发明的第 2 实施方式的控制装置 1A

进行说明。并且，在以下的说明中，对与第 1 实施方式相同的结构，赋予其相同符号，同时，省略其说明。如图 22 所示，该控制装置 1A 也用于控制凸轮相位 Cain，与上述第 1 实施方式的控制装置 1 相比，其不同点在于，代替控制装置 1 的 DSM 控制器 150，具有 SDM 控制器 250，同时，
5 伴随于此，加法器 260 中的计算控制输入 U_{cain} 的算法与加法器 160 的算法不同。从而，在以下说明中，只对这些不同点进行说明。

在该 SDM 控制器 250 中，通过按以下式 (28) ~ (33) 所示的应用了 $\Sigma \Delta$ 调制算法的算法进行调制，计算出调制值 Du_{cain_L_sdm}。

$$r(k) = \text{Du}_{\text{cain_L}}(k) \quad \dots (28)$$

$$10 \quad \sigma r(k) = \sigma r(k-1) + r(k) \quad \dots (29)$$

$$\sigma u(k) = \sigma u(k-1) + u(k-1) \quad \dots (30)$$

$$\delta(k) = \sigma r(k) - \sigma u(k) \quad \dots (31)$$

$$u(k) = \text{fnl}(\delta(k)) \quad \dots (32)$$

$$\text{Du}_{\text{cain_L_sdm}}(k) = u(k) \quad \dots (33)$$

15 此外，在加法器 260 中，通过下式 (34)，计算出控制输入 U_{cain}。

$$\text{U}_{\text{cain}} = \text{Du}_{\text{cain_L_sdm}} + \text{Du}_{\text{cain_H}} + \text{U}_{\text{cain_cent}} \quad \dots (34)$$

根据如上所述的第 2 实施方式的控制装置 1A，由于通过 SDM 控制器 250，计算出调制值 Du_{cain_L_sdm}，并利用它计算出控制输入 U_{cain}，因此，可以得到与上述控制装置 1 同样的作用效果。特别地，由于 $\Sigma \Delta$ 调制算法也与 $\Delta \Sigma$ 调制算法相同，具有如下这一特性，即，若小偏差分量值 Du_{cain_L} 越接近值 0，亦即因凸轮相位 Cain 接近目标凸轮相位 Cain_{cmd}，SLD 控制输入 R_{sld} 变成不变动，控制输入 U_{cain} 的翻转频率就变得更
20 高，因此，与利用通过翻转频率一定的 PWM 或高频脉动调制了的控制输入 U_{cain} 的情况相比，可以使凸轮相位 Cain 向目标凸轮相位
25 Cain_{cmd} 的收敛性提高。

其次，一边参考图 23，一边对本发明的第 3 实施方式的控制装置 1B 进行说明。并且，在以下的说明中，有关与第 1 实施方式相同的结构，赋予其相同符号，同时，省略其说明。本实施方式的控制装置 1B 也用于

控制凸轮相位 Cain，与上述第 1 实施方式的控制装置 1 相比，其不同点在于，代替 DSM 控制器 150，具有 DM 控制器 350，并且伴随于此，加法器 360 中的计算控制输入 Ucain 的算法与加法器 160 的不同。从而，在以下说明中，只对这些不同点进行说明。

5 在该 DM 控制器 350 中，通过按以下式 (35) ~ (39) 所示的应用了 Δ 调制算法的算法进行调制，计算出调制值 Ducaín_L_dm。

$$r(k) = \text{Ducaín_L}(k) \quad \dots (35)$$

$$\sigma u(k) = \sigma u(k-1) + u(k-1) \quad \dots (36)$$

$$\delta(k) = r(k) - \sigma u(k) \quad \dots (37)$$

$$10 \quad u(k) = \text{fnl}(\delta(k)) \quad \dots (38)$$

$$\text{Ducaín_L_dm}(k) = u(k) \quad \dots (39)$$

此外，在加法器 360 中，通过下式 (40)，计算出控制输入 Ucain。

$$\text{Ucain} = \text{Ducaín_L_dm} + \text{Ducaín_H} + \text{Ucain_cent} \quad \dots (40)$$

根据以上那样的第 3 实施方式的控制装置 1B，由于通过 DM 控制器
15 350，计算出调制值 Ducaín_L_dm，并利用它计算出控制输入 Ucain，因此，可以得到与上述控制装置 1 同样的作用效果。特别地，由于 Δ 调制算法也与 $\Delta \Sigma$ 调制算法相同，具有这样的特性：若小偏差分量值 Ducaín_L 越接近值 0，亦即通过使凸轮相位 Cain 接近目标凸轮相位 Cain_cmd，使 SLD 控制输入 Rsld 变成不变动，控制输入 Ucain 的翻转频率就變得更高。
20 因此，与利用通过翻转频率一定的 PWM 或高频脉动调制了的控制输入 Ucain 的情况相比，可以使凸轮相位 Cain 向目标凸轮相位 Cain_cmd 的收敛性提高。

并且，以上的各实施方式，是根据应用了 $\Delta \Sigma$ 调制算法、 $\Sigma \Delta$ 调制算法以及 Δ 调制算法的算法，通过对控制值进行调制，计算出控制输入
25 Ucain 的示例，但控制输入的计算中所利用的调制算法并不仅限于此，只要是通过通过对控制值进行调制，可计算出控制输入的算法即可。例如，作为调制算法，也可以利用 PWM (Pulse width modulation-脉冲宽度调制) 算法，或利用高频脉动对控制值进行调制的算法。

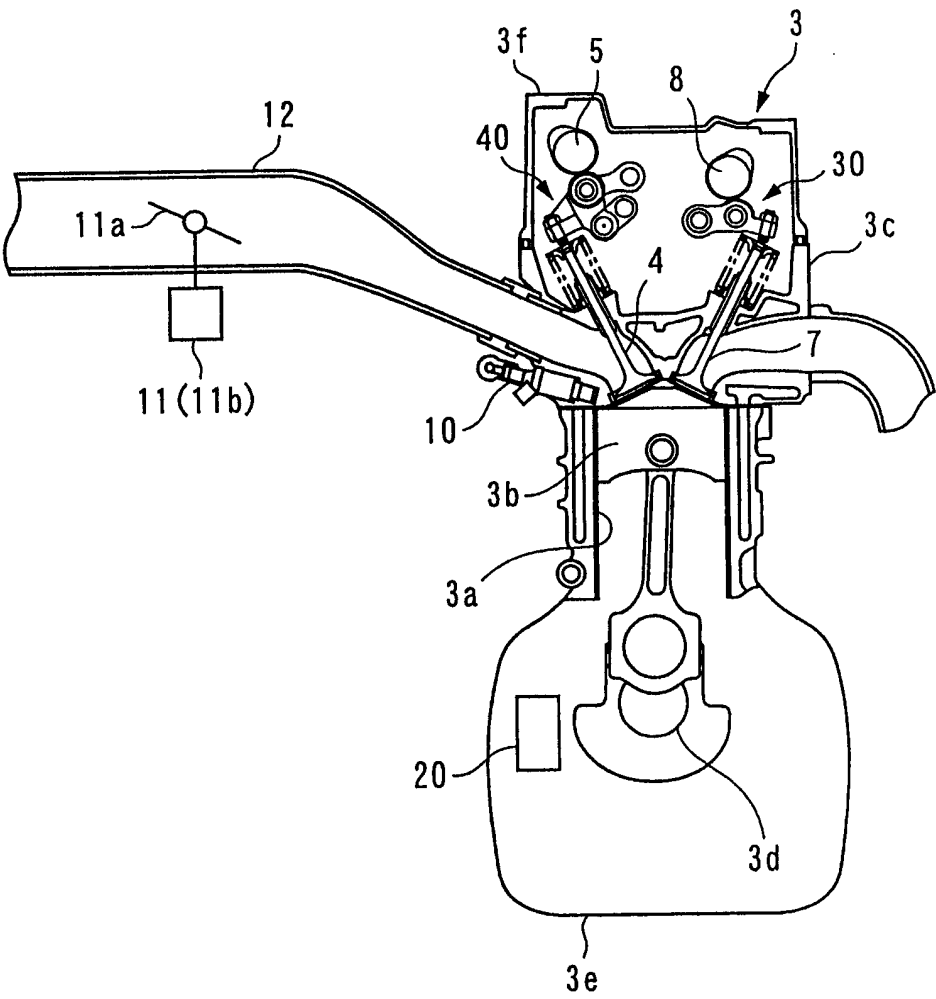


图 1

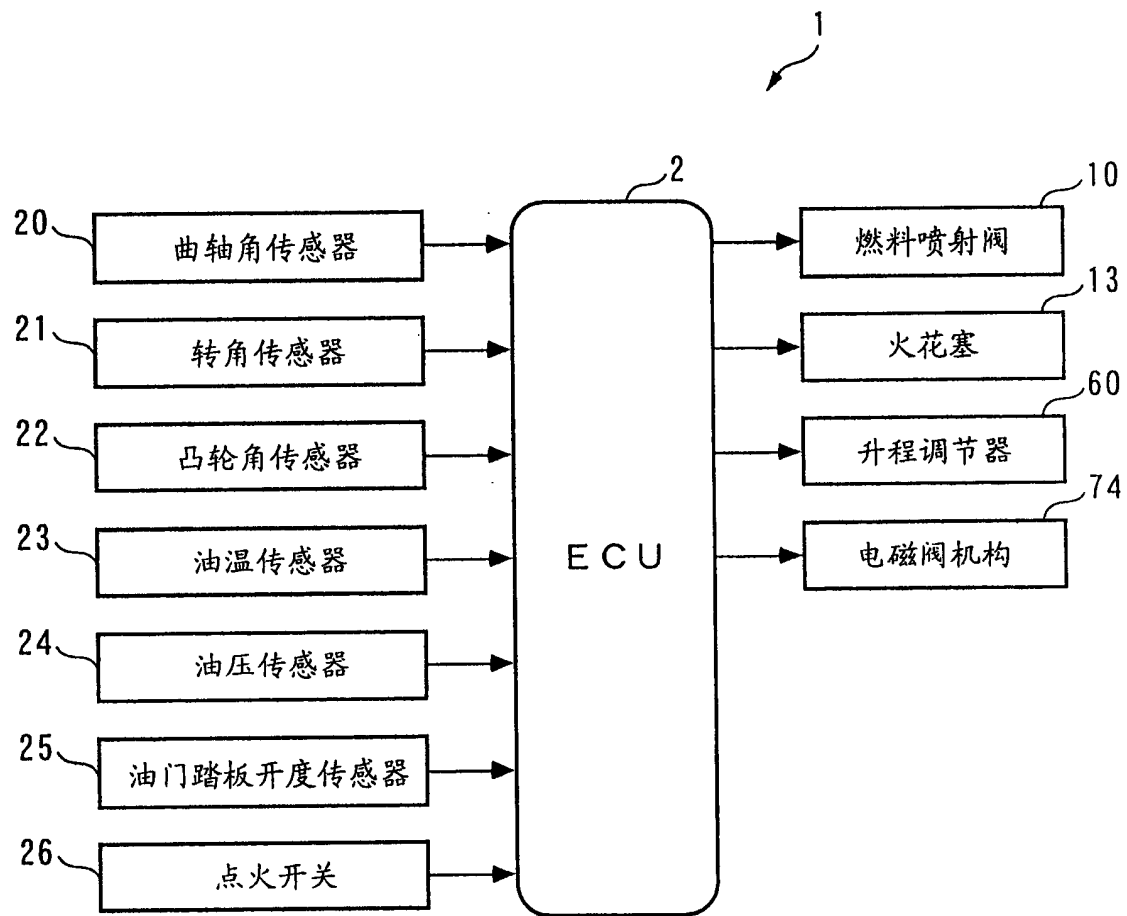


图 2

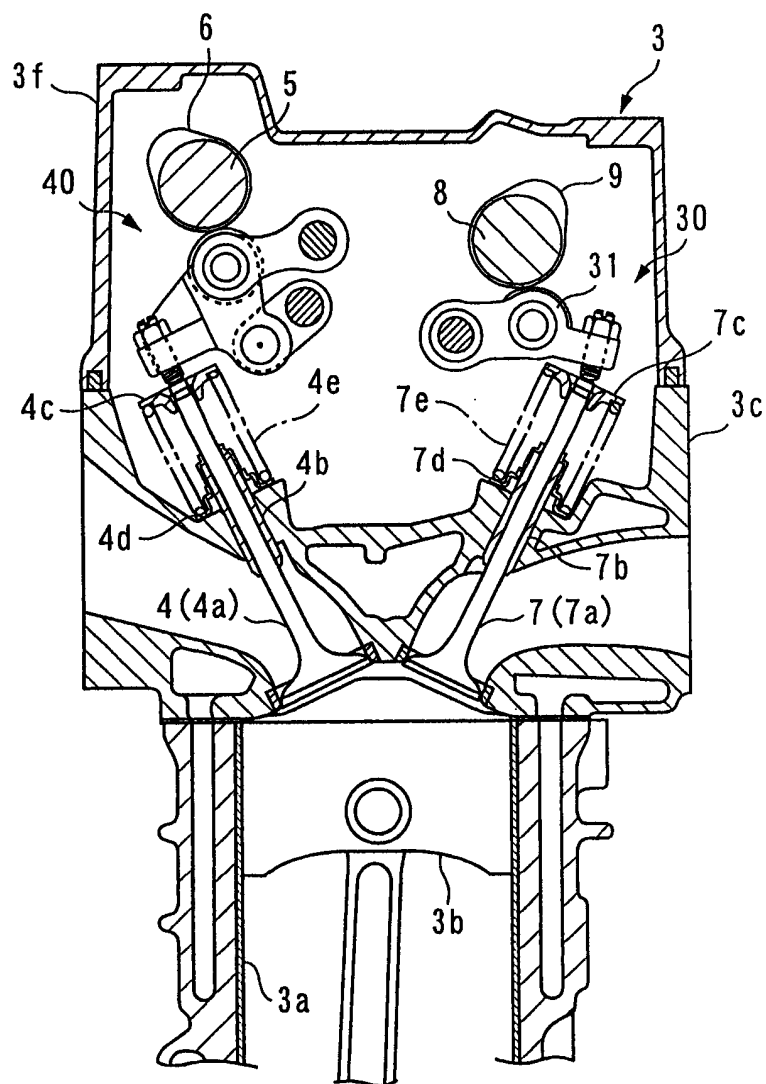


图 3

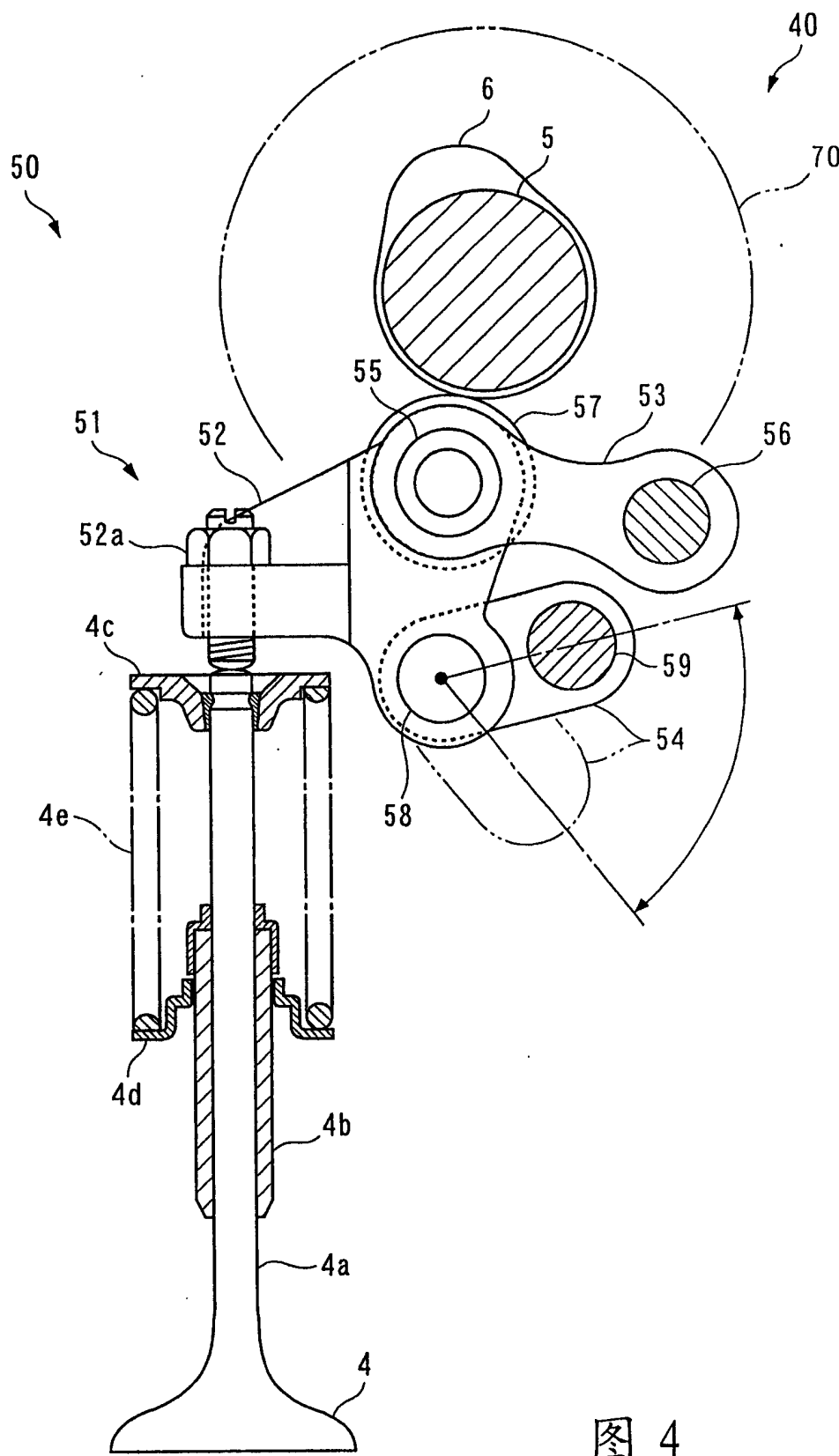


图 4

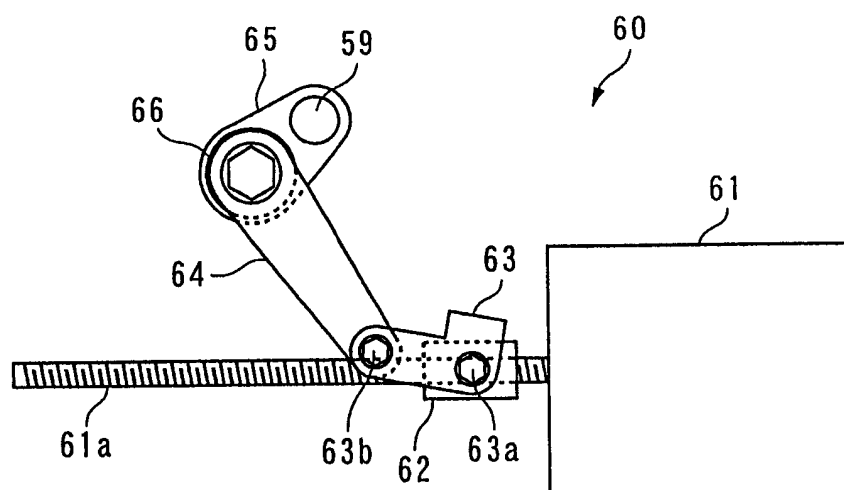


图 5A

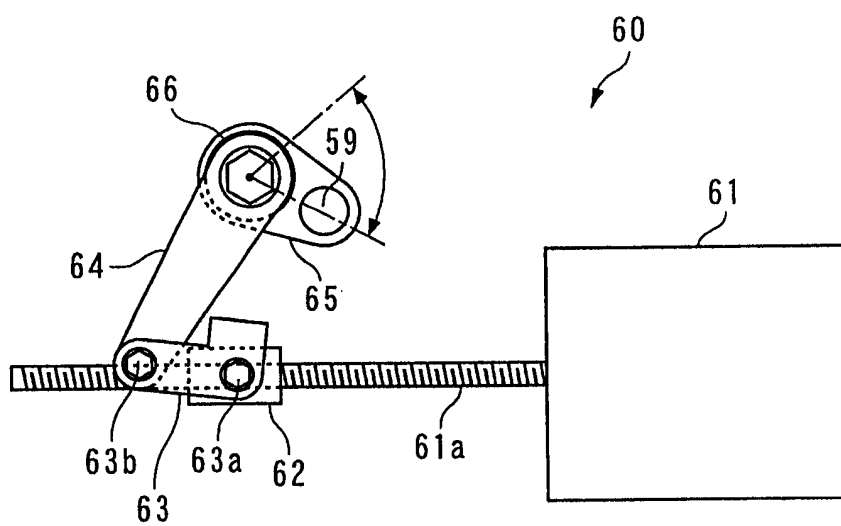


图 5B

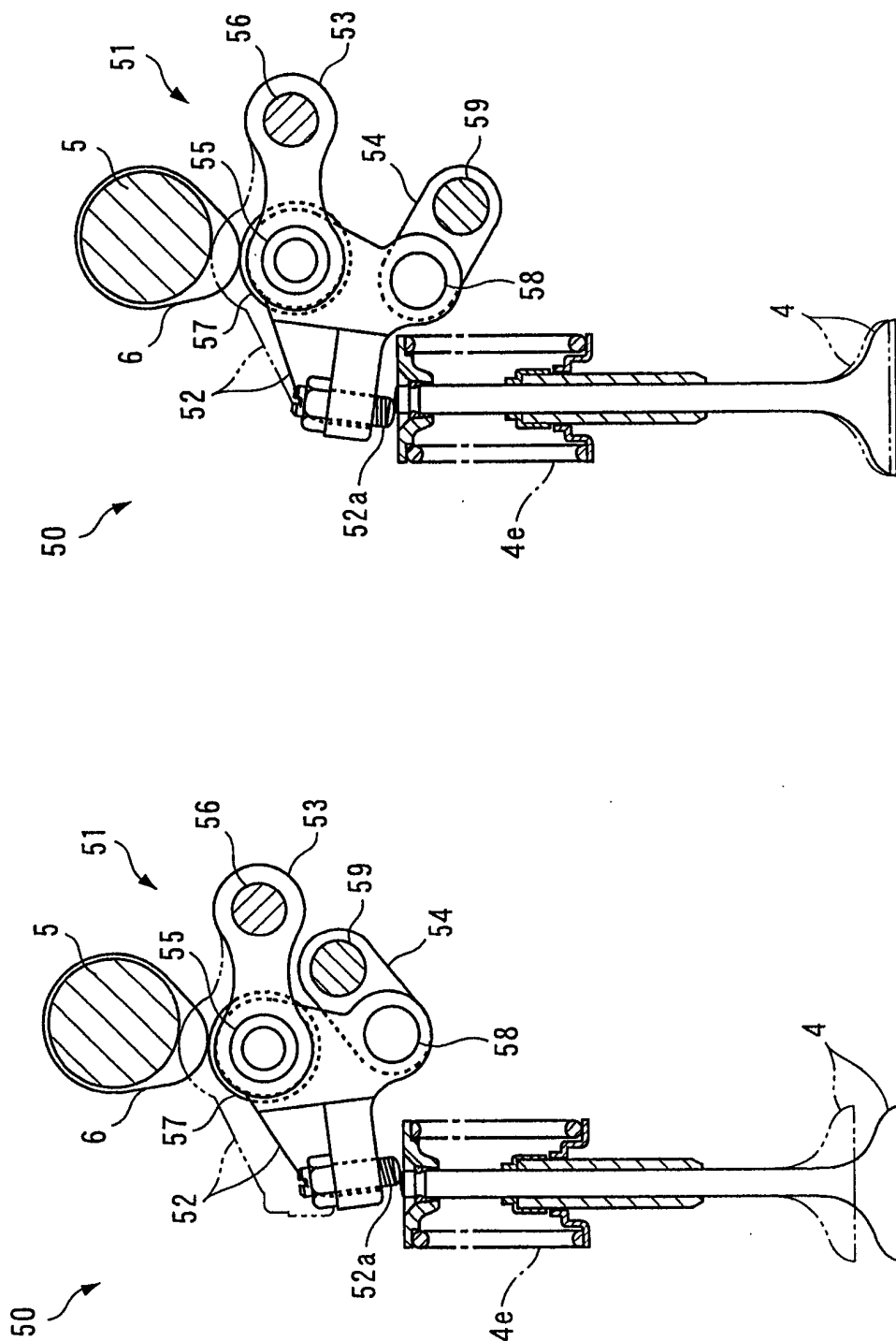


图 6B

图 6A

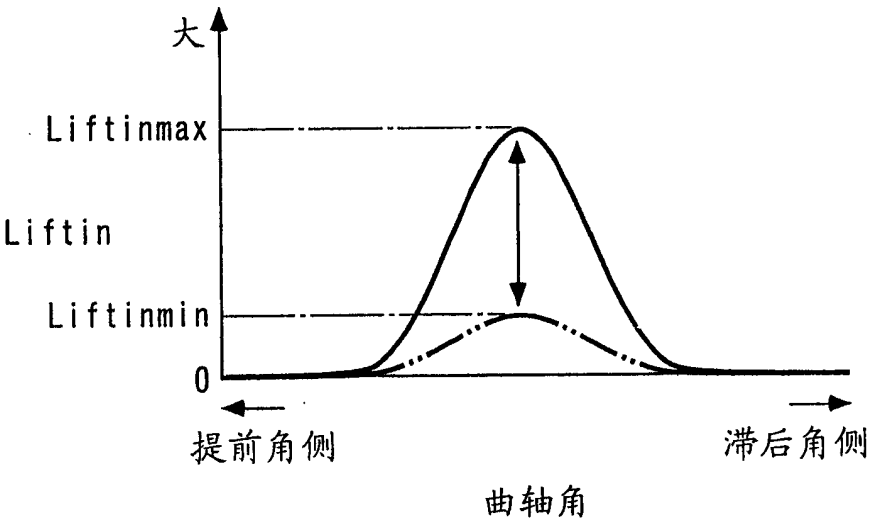


图 7

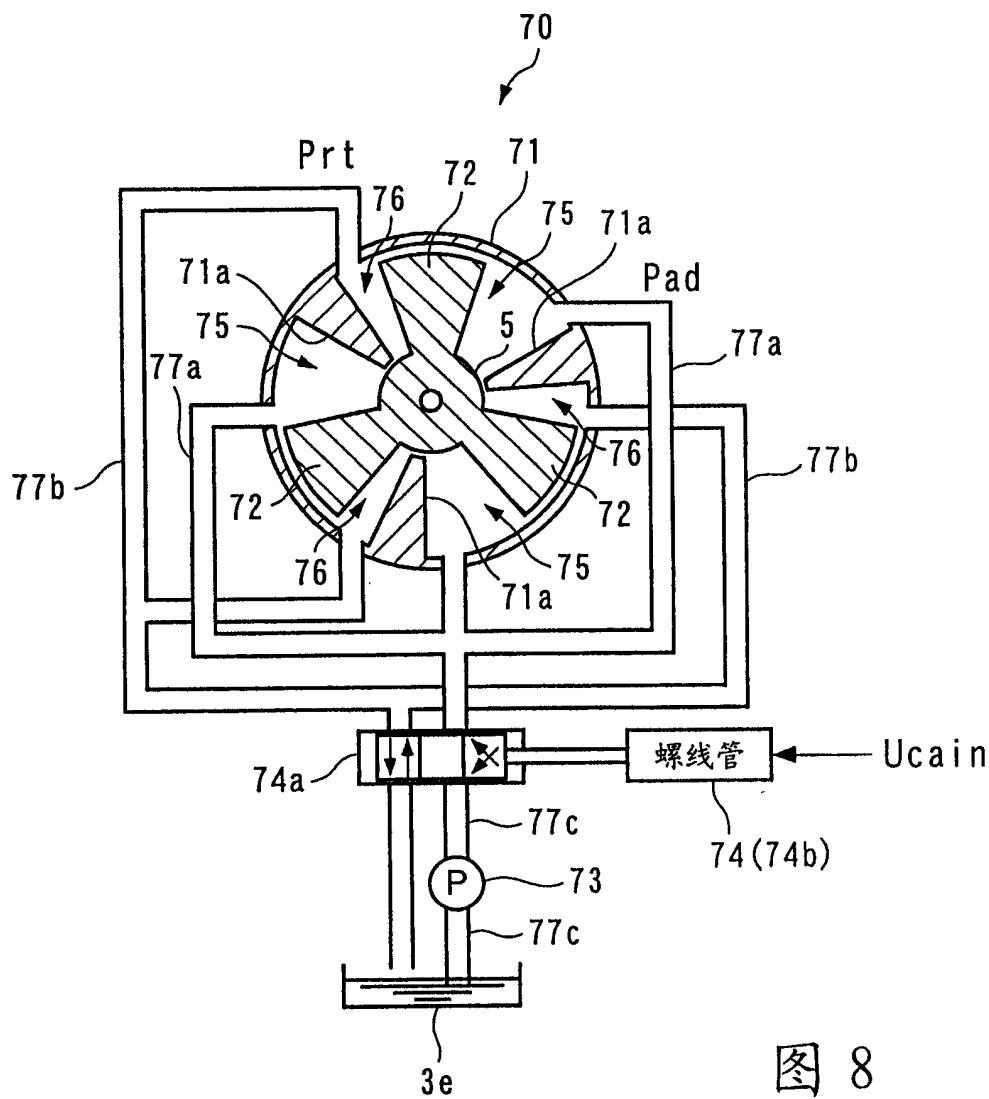


图 8

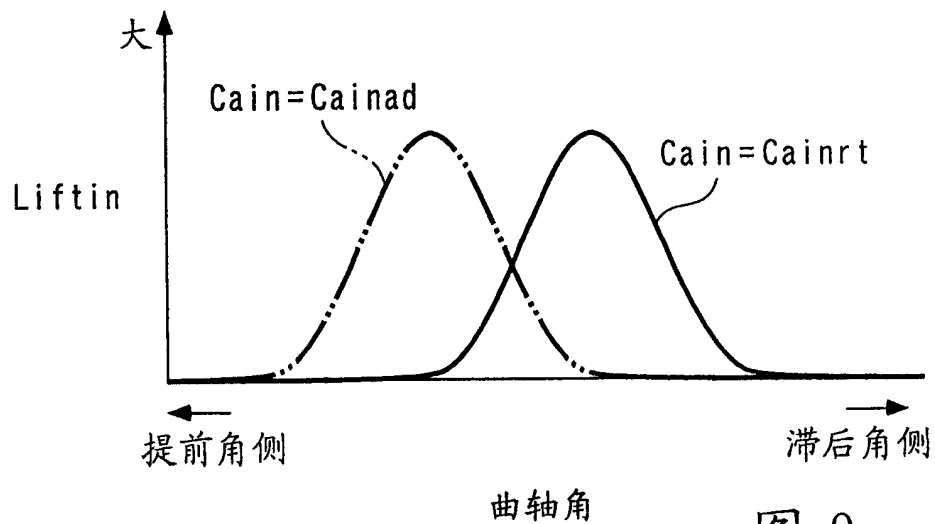


图 9

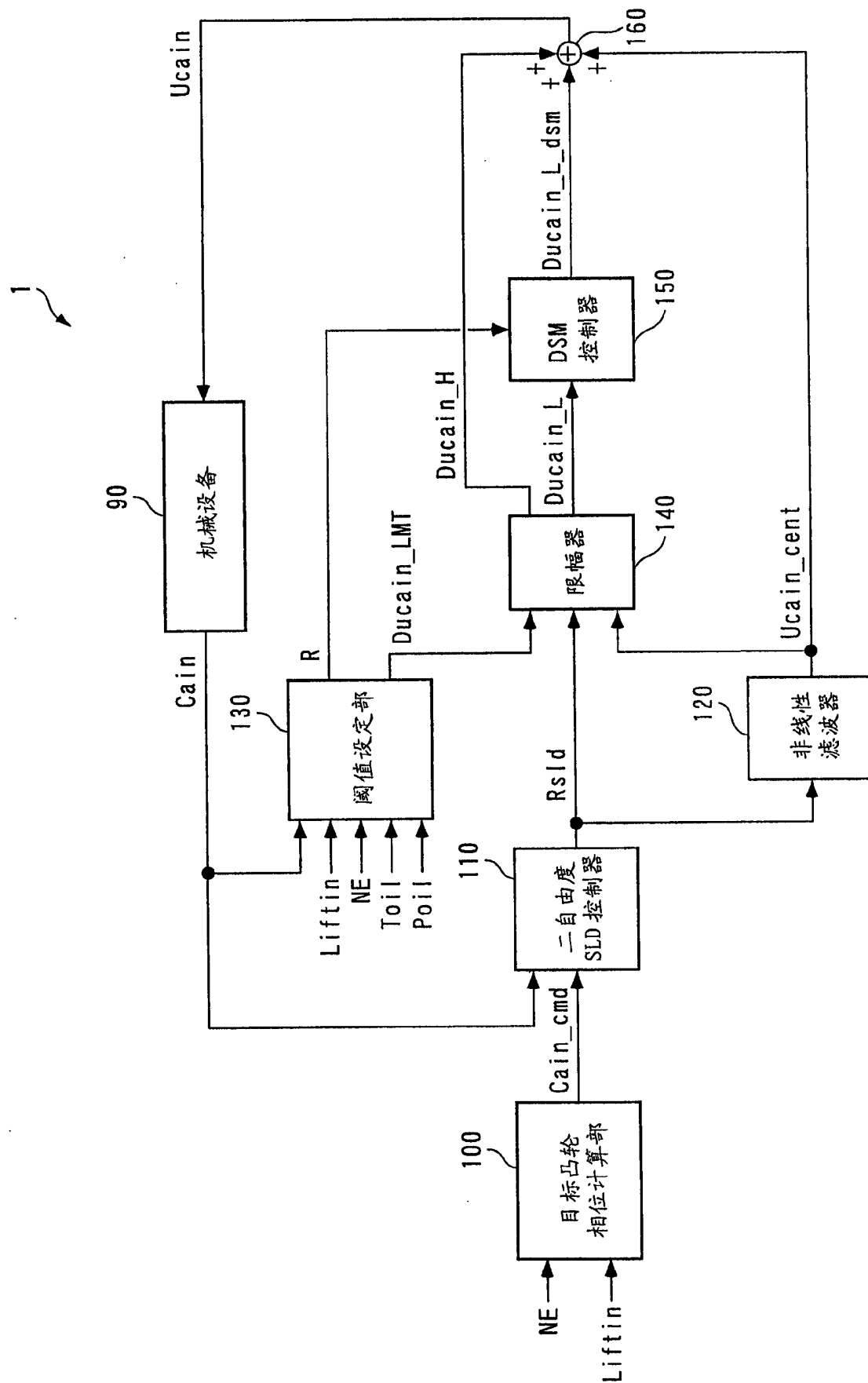


图 10

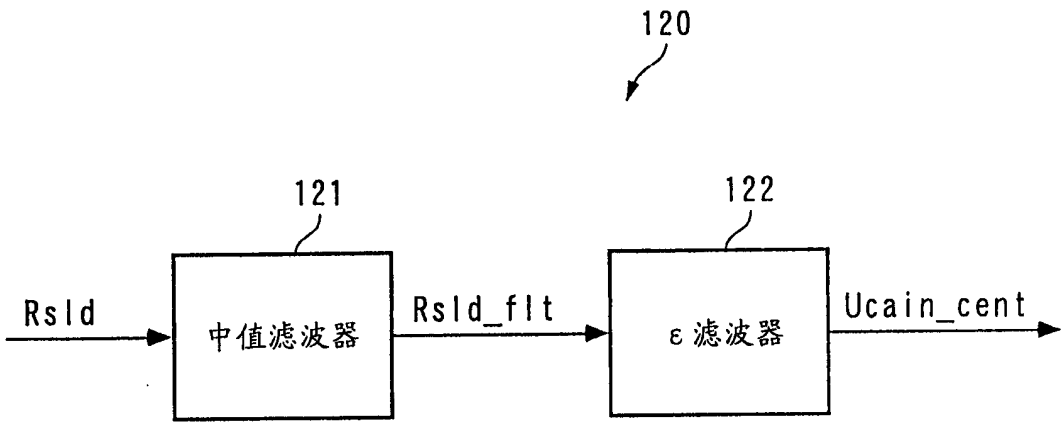


图 11

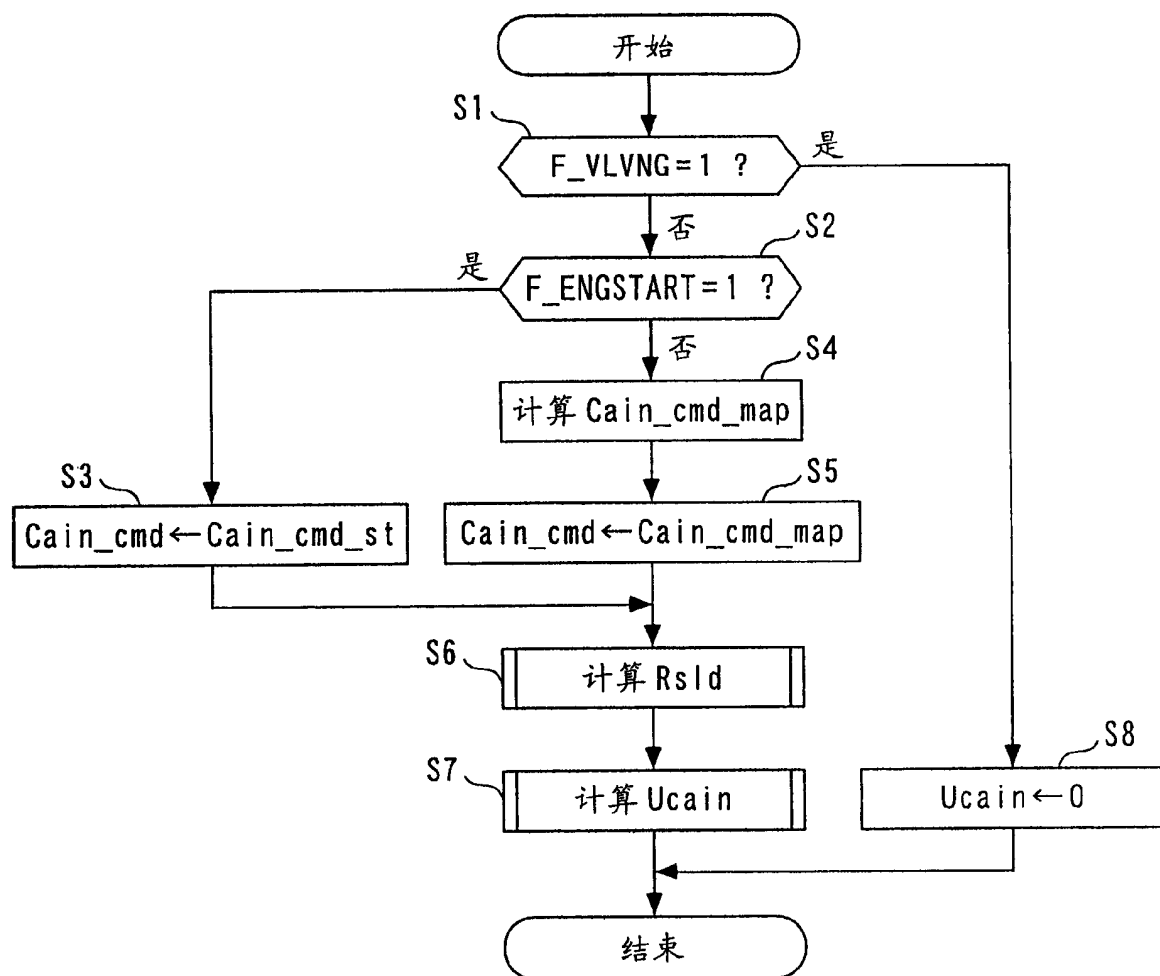


图 12

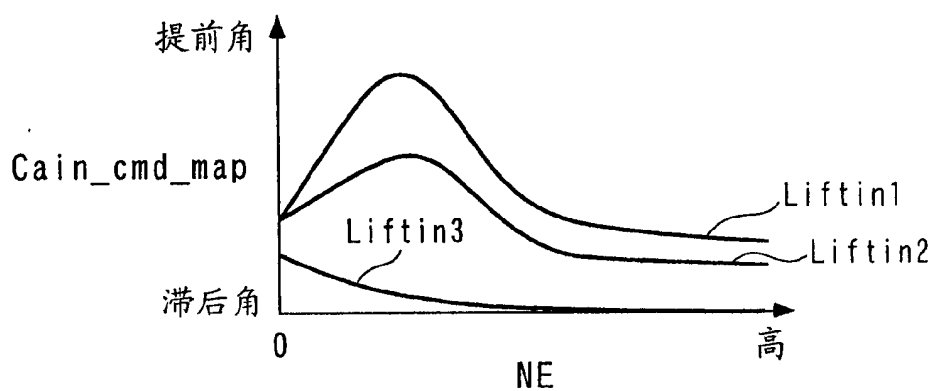


图 13

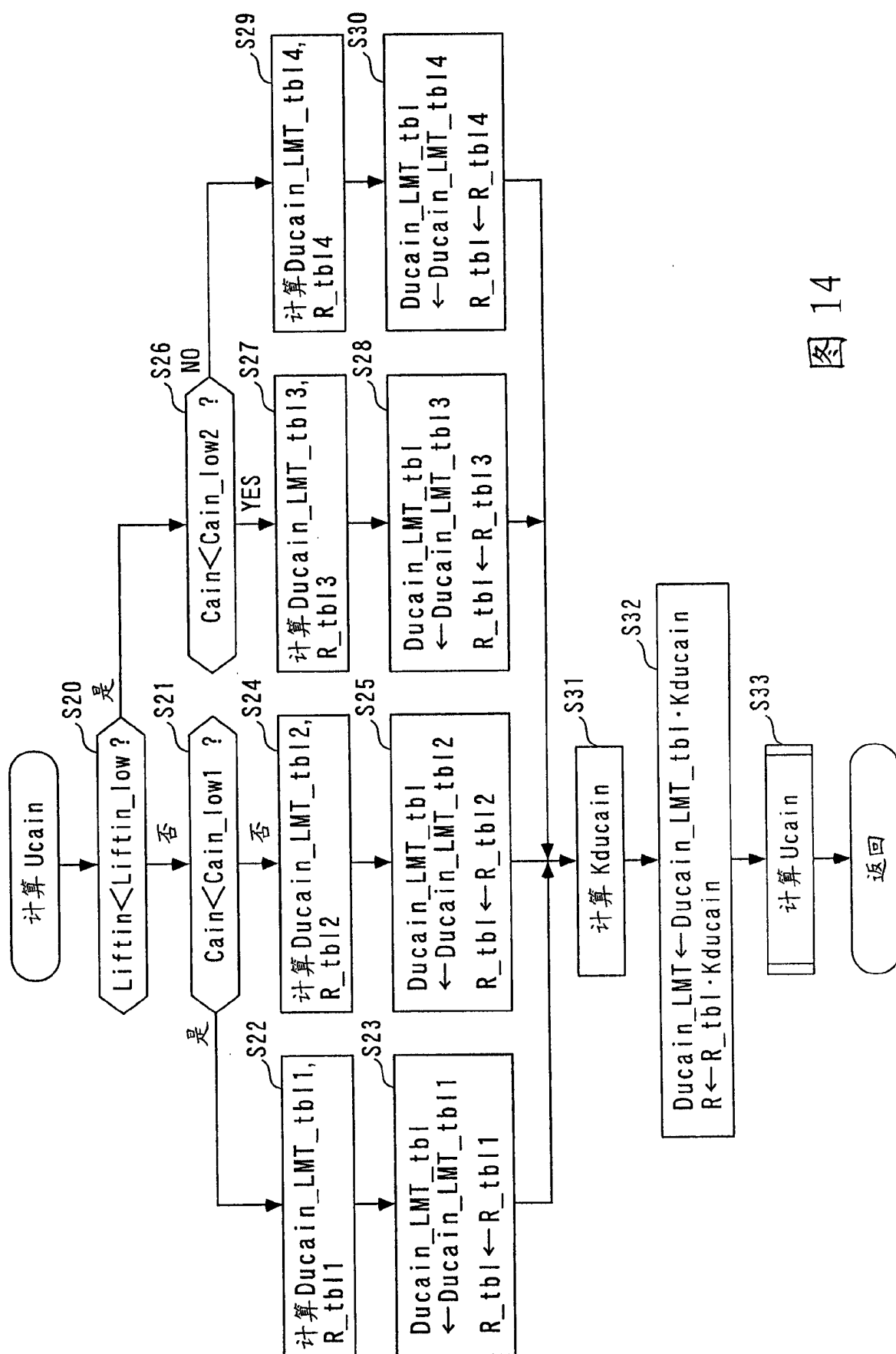


图 14

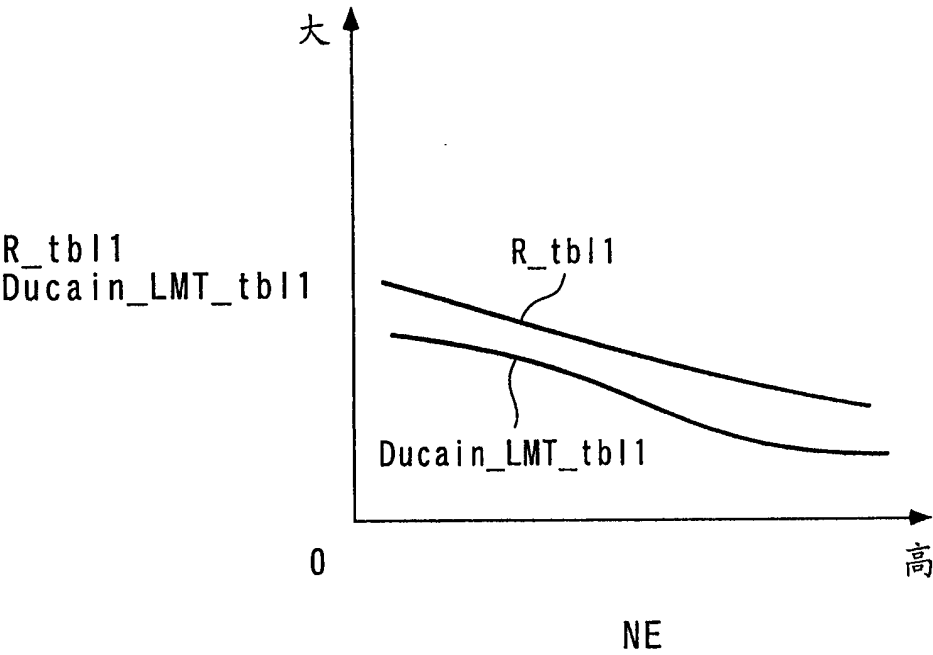


图 15

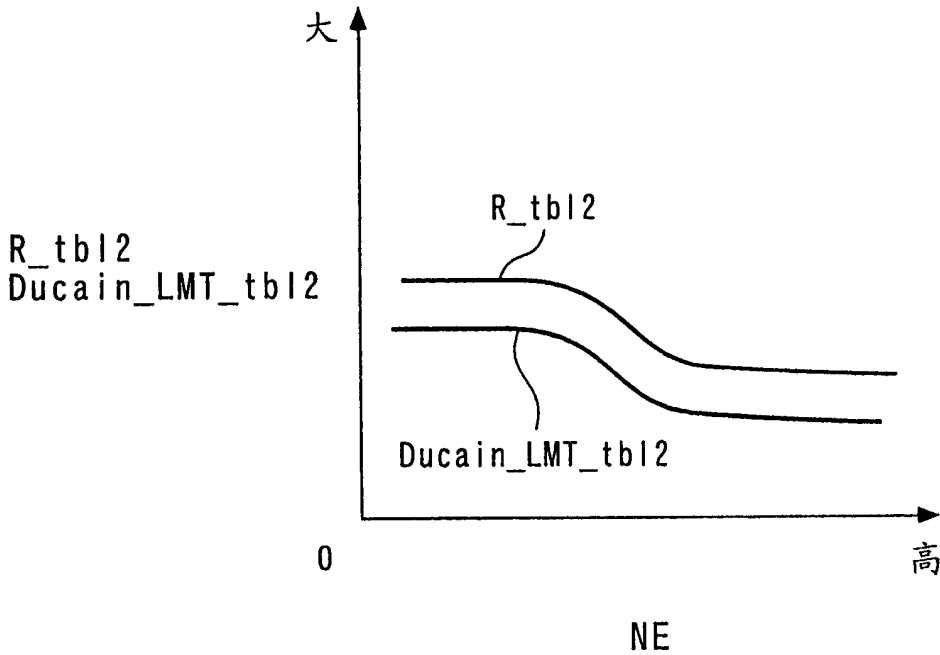


图 16

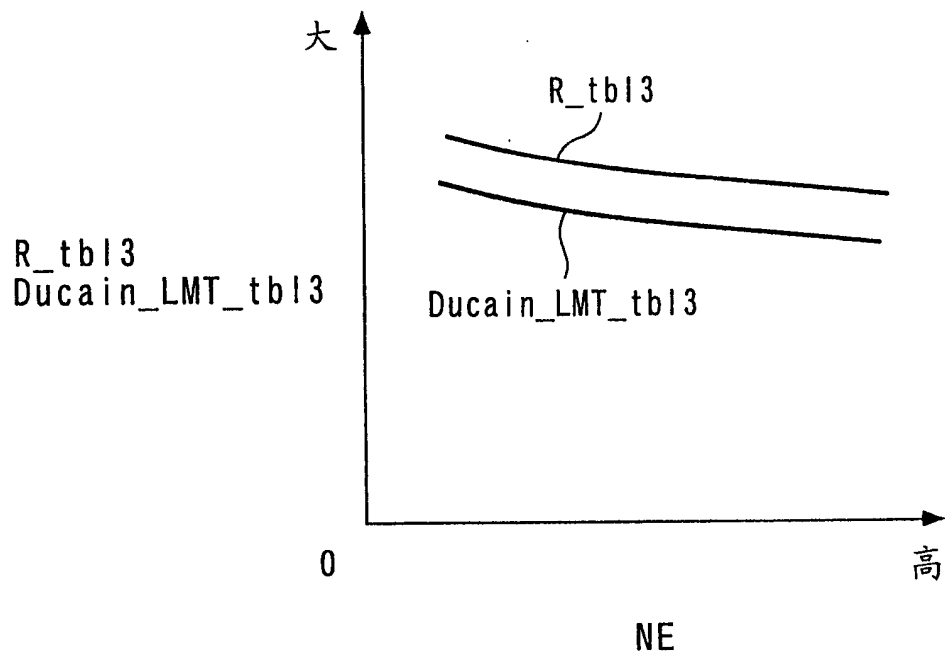


图 17

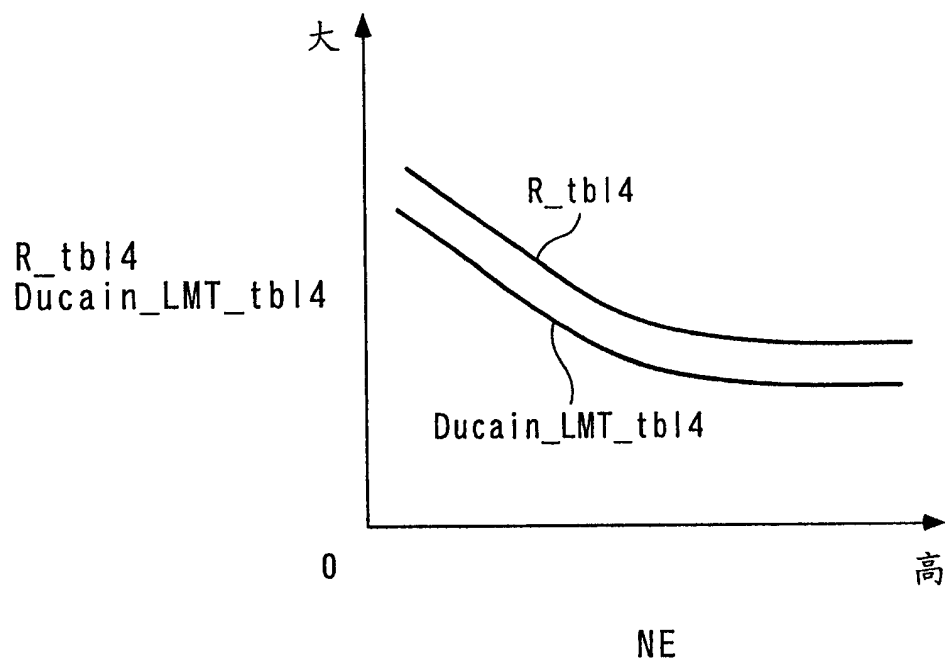


图 18

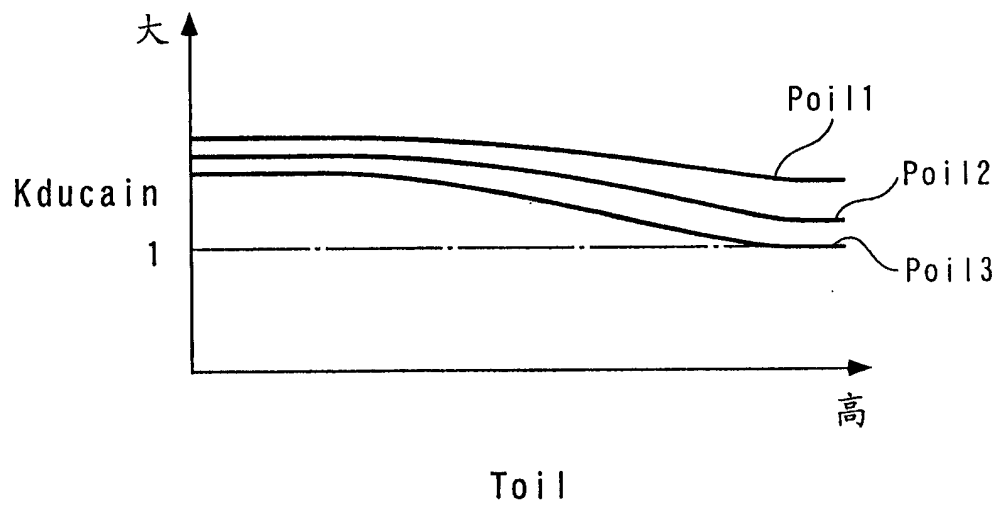


图 19

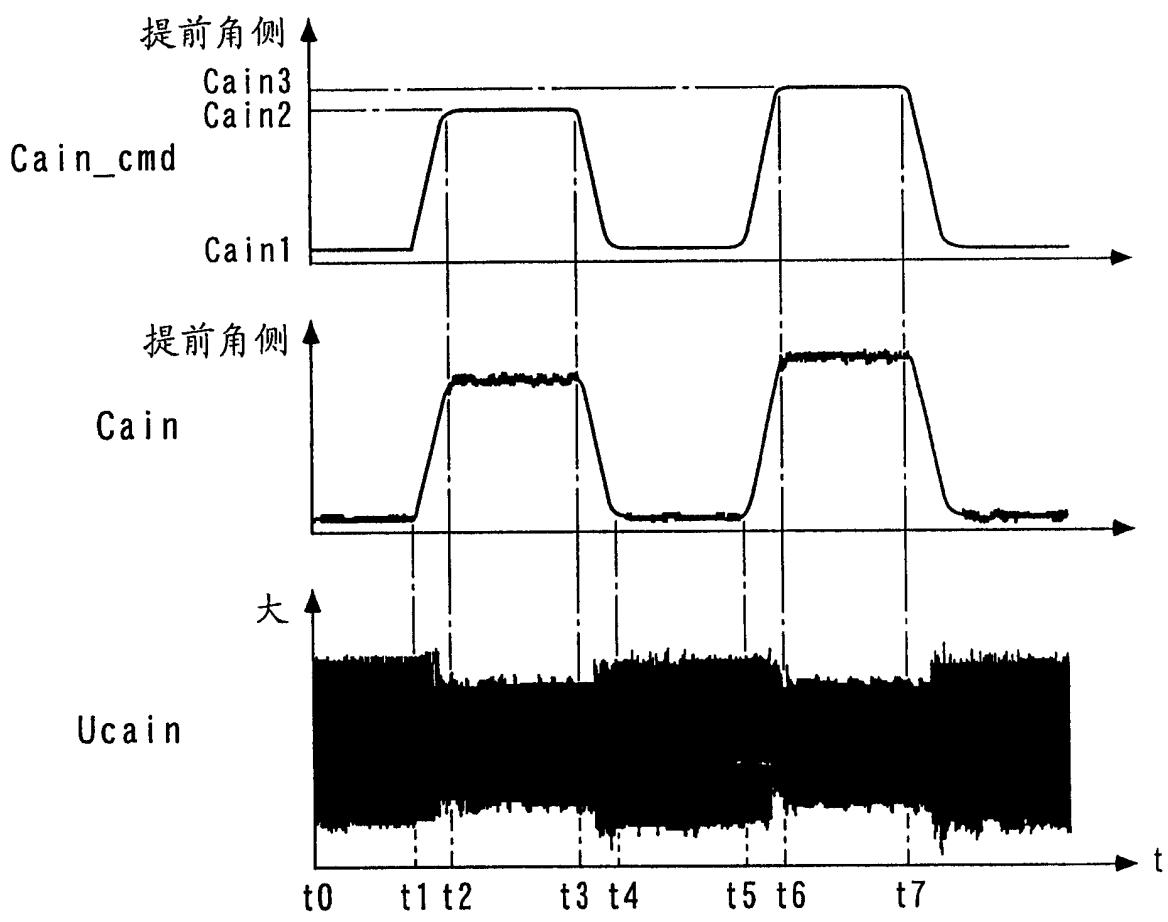


图 20

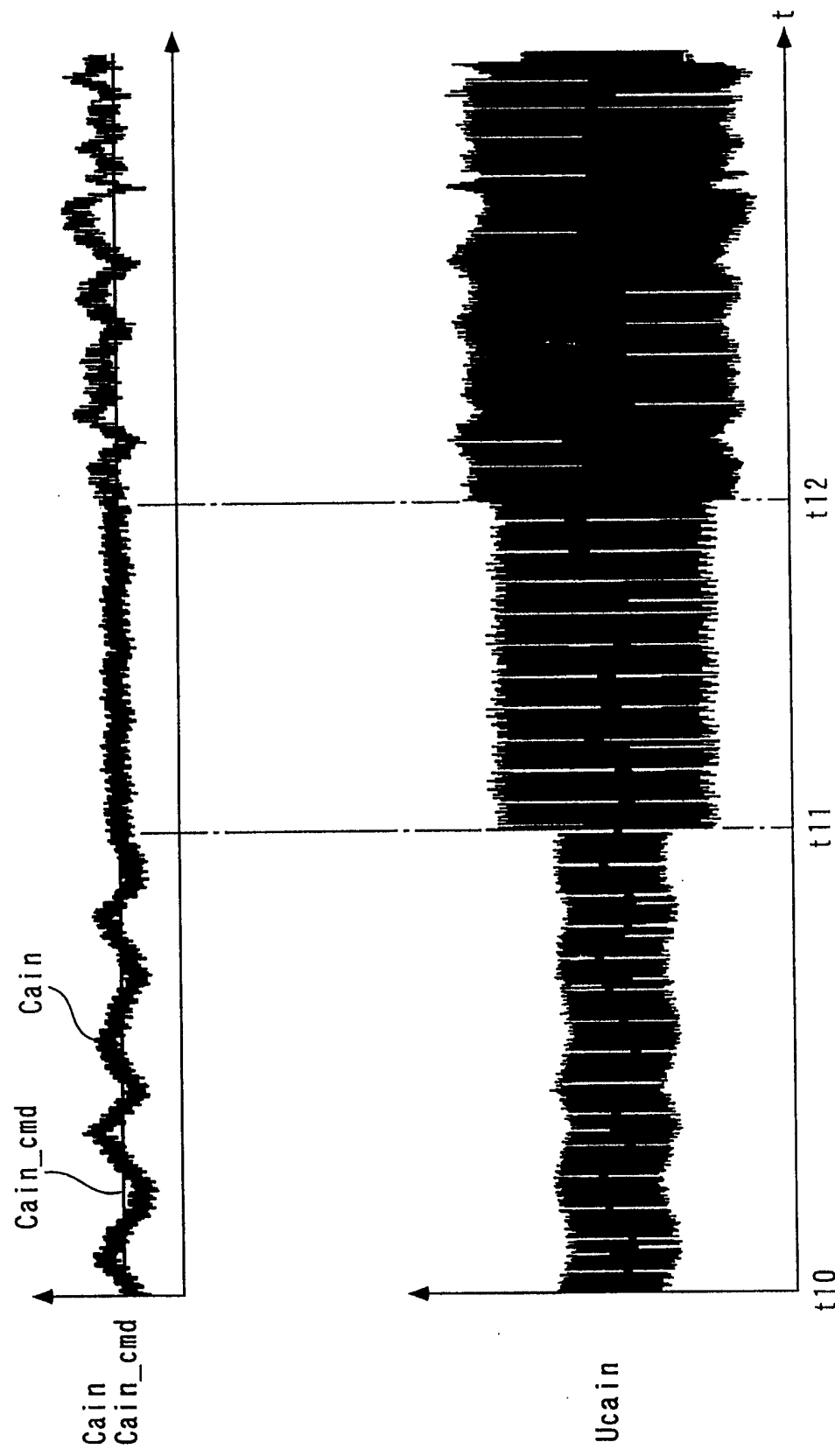


图 21

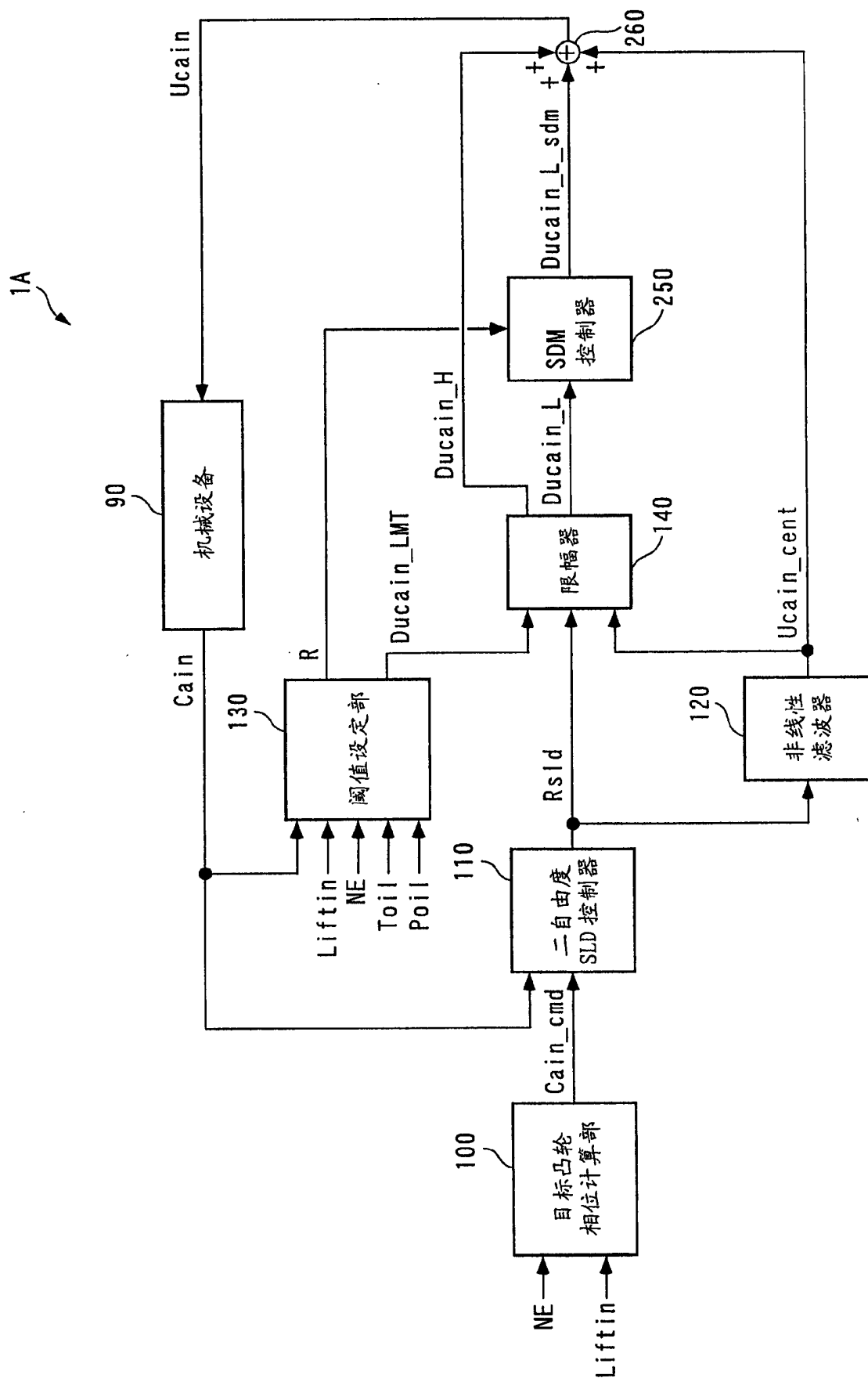


图 22

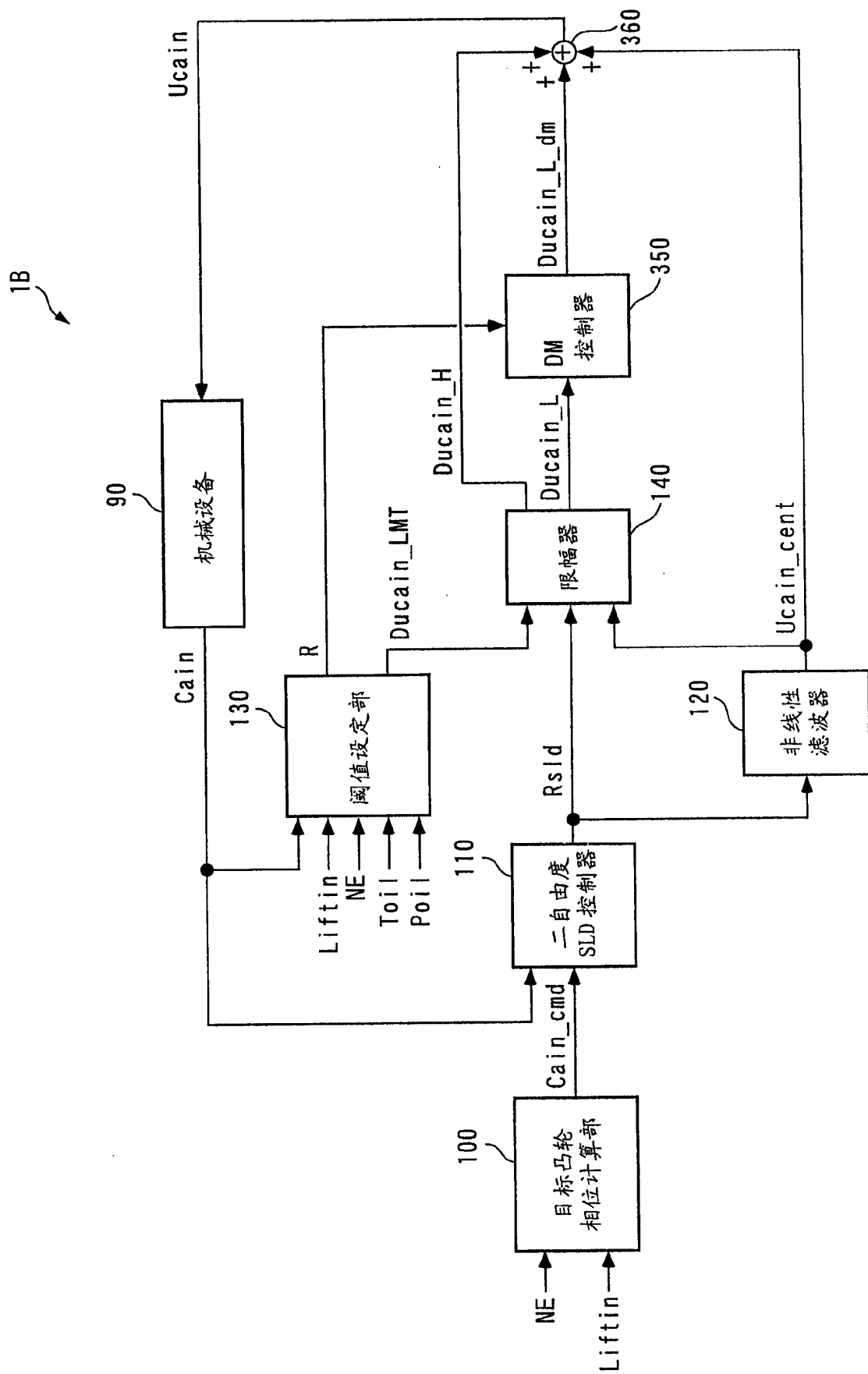


图 23