

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4486901号
(P4486901)

(45) 発行日 平成22年6月23日 (2010. 6. 23)

(24) 登録日 平成22年4月2日 (2010. 4. 2)

(51) Int. Cl.

F I

F O 2 D 45/00 (2006. 01)

F O 1 L 13/00 (2006. 01)

F O 2 D 13/02 (2006. 01)

F O 2 D 45/00 3 2 O Z

F O 2 D 45/00 3 7 O B

F O 1 L 13/00 3 O 1 J

F O 1 L 13/00 3 O 1 Y

F O 2 D 13/02 G

請求項の数 4 (全 33 頁)

(21) 出願番号 特願2005-47831 (P2005-47831)
 (22) 出願日 平成17年2月23日 (2005. 2. 23)
 (65) 公開番号 特開2006-233822 (P2006-233822A)
 (43) 公開日 平成18年9月7日 (2006. 9. 7)
 審査請求日 平成19年11月29日 (2007. 11. 29)

(73) 特許権者 000005326
 本田技研工業株式会社
 東京都港区南青山二丁目1番1号
 (74) 代理人 100095566
 弁理士 高橋 友雄
 (72) 発明者 下城 孝名子
 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会
 社本田技術研究所内
 (72) 発明者 安井 裕司
 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会
 社本田技術研究所内
 審査官 小原 一郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

制御入力によりプラントの制御量を制御する制御装置であって、
 前記制御量を検出する制御量検出手段と、
 前記制御量の目標となる目標値を設定する目標値設定手段と、
 前記検出された制御量を前記設定された目標値になるように制御するための制御値を、
 所定の制御アルゴリズムに基づいて算出する制御値算出手段と、
 当該算出された制御値を所定の変調アルゴリズムを適用したアルゴリズムで変調すること
 により、前記制御入力を算出する制御入力算出手段と、を備え、
 当該制御入力算出手段は、
前記制御入力の振幅を、前記プラントの状態を表すパラメータに応じて設定する振幅設
 定手段と、
前記制御入力の振幅の中心となる中心値を、前記制御値に応じて設定する中心値設定手
 段と、を有することを特徴とする制御装置。

【請求項 2】

内燃機関の吸気カムおよび排気カムの少なくとも一方のクランクシャフトに対する位相
 であるカム位相を、可変カム位相機構を介して制御する制御装置であって、
 前記カム位相を検出するカム位相検出手段と、
 前記カム位相の目標となる目標カム位相を設定する目標カム位相設定手段と、
 前記検出されたカム位相を前記設定された目標カム位相になるように制御するための制

御値を、所定の制御アルゴリズムに基づいて算出する制御値算出手段と、

当該算出された制御値を所定の変調アルゴリズムを適用したアルゴリズムで変調することにより、前記可変カム位相機構への制御入力を算出する制御入力算出手段と、を備え、

当該制御入力算出手段は、

前記制御入力の振幅を、前記内燃機関の運転状態を表す運転状態パラメータに応じて設定する振幅設定手段と、

前記制御入力の振幅の中心となる中心値を、前記制御値に応じて設定する中心値設定手段と、を有することを特徴とする制御装置。

【請求項 3】

前記内燃機関は、吸気弁および排気弁のうちの、前記カム位相が制御される前記吸気カムおよび前記排気カムの少なくとも一方によって開閉駆動される弁のリフトを変更する可変バルブリフト機構を備えており、

前記振幅設定手段は、前記制御入力の振幅を前記弁のリフトにさらに応じて設定することを特徴とする請求項 2 に記載の制御装置。

【請求項 4】

前記所定の変調アルゴリズムは、変調アルゴリズム、変調アルゴリズムおよび変調アルゴリズムのいずれかであることを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ヒステリシスおよび不感帯などの非線形特性を備えたプラントを制御する制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、この種の制御装置として、特許文献 1 に記載されたものが知られている。この制御装置は、プラントとしての可変カム位相機構を制御するものである。この可変カム位相機構は、内燃機関の吸気カムのクランクシャフトに対する位相（以下「カム位相」という）を自在に変更するものであり、オイルポンプからの供給油圧によって駆動される油圧駆動式のものである。また、制御装置は、クランクシャフトおよび吸気カムの角度位置に相当する信号をそれぞれ検出するクランク角センサおよびカム角センサと、これらのセンサの検出信号が入力されるコントローラとを備えている。

【0003】

このコントローラでは、クランク角センサおよびカム角センサの検出信号に基づいて実際のカム位相が算出され、内燃機関の運転状態に基づいて目標カム位相が算出されるとともに、スライディングモード制御アルゴリズムにより、可変カム位相機構への制御入力が算出され、それにより、カム位相が目標カム位相に収束するように制御される。

【0004】

【特許文献 1】特開 2001 - 132482 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上記油圧駆動式の可変カム位相機構の場合、プラントとして、フリクションが大きく、ヒステリシスおよび不感帯などの非線形特性が強いことが一般的に知られている。これに対して、上記特許文献 1 の制御装置によれば、スライディングモード制御アルゴリズムにより制御入力が算出されるので、強い非線形特性を備えたプラントすなわち油圧駆動式の可変カム位相機構を制御した場合、その強い非線形特性に起因して、制御入力によりカム位相を微小な変化度合で制御することができず、制御の分解能が低いことで、制御精度が低いという問題点がある。

【0006】

以上のような特許文献 1 の制御装置の問題点を解決できる制御装置として、本出願人は、特願 2003 - 293009 号（公開公報は未発行）に記載されたものをすでに提案している。この制御装置は、電磁駆動式の変可カム位相機構を制御するものであり、2 自由度スライディングモードコントローラおよび D S M コントローラを備えている。この 2 自由度スライディングモードコントローラでは、目標値フィルタ型 2 自由度スライディングモード制御アルゴリズムにより、カム位相を目標カム位相に収束させるための制御値が算出される。また、D S M コントローラでは、算出された制御値を、変調アルゴリズムを適用したアルゴリズムによって変調することにより、可変カム位相機構への制御入力、所定値を中心として所定振幅で頻りに反転を繰り返すように算出される。その結果、強い非線形特性を備えた可変カム位相機構を制御する場合においても、頻りに反転を繰り返す制御入力により、非線形特性を補償しながら、カム位相を微小な変化度合で制御でき、制御の分解能を高めることができる。

10

【0007】

一方、可変カム位相機構は、内燃機関の運転状態の変化に伴って、その非線形特性が変化するという性質を備えており、特に、カム位相を変更する際、カム反力やスプロケット変動（すなわちチェーン速度変動またはクランク角速度変動）の影響を受けることで、その非線形特性が変化しやすい。例えば、カム反力やスプロケット変動が大きくなると、カム反力やスプロケット変動自体がカム位相変更力となることで、カム位相を変更する際の、制御入力に対するカム位相の感度が高くなるように変化することが多い。このように、内燃機関の燃焼状態が不安定になると、カム反力の変化やスプロケット変動が発生することで、可変カム位相機構における制御入力に対するカム位相の感度が変化してしまう。また、油圧駆動式の変可カム位相機構において、内燃機関のトルクを動力源とする油圧ポンプから油圧が供給されている場合、機関回転数が変動すると、可変カム位相機構に供給される油圧が変化することで、制御入力に対するカム位相の感度や制御入力の周波数的安定性が変化し、非線形特性も変化してしまう。

20

【0008】

以上のような可変カム位相機構の非線形特性の変化を補償しようとした場合、特願 2003 - 293009 号の制御装置によれば、非線形特性の変化が大きい条件下では、制御入力の振幅をより大きな値に設定することにより、非線形特性の変化を補償することが可能である。しかし、そのようにした場合、制御入力に対する制御量の感度が低下する条件下、特に周波数的感度が低下する条件下、より詳しくは高周波遮断性が低下する条件下では、制御入力の反転状態が制御量としてのカム位相にノイズ的に反映されてしまうことで、制御の分解能が逆に低下し、制御精度が低下する可能性がある。

30

【0009】

本発明は、上記課題を解決するためになされたもので、プラントの非線形特性が強かつ変化するとともに、制御入力に対する制御量の感度が変化する場合でも、高レベルの制御の分解能を確保でき、高い制御精度を確保することができる制御装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

40

上記目的を達成するために、請求項 1 に係る発明は、制御入力 U_{cain} によりプラント 90 の制御量（カム位相 C_{ain} ）を制御する制御装置 1、1A、1B であって、制御量を検出する制御量検出手段（ECU2、クランク角センサ 20、カム角センサ 22）と、制御量の目標となる目標値（目標カム位相 C_{ain_cmd} ）を設定する目標値設定手段（ECU2、目標カム位相算出部 100）と、検出された制御量を設定された目標値になるように制御するための制御値（SLD 制御入力 R_{slid} ）を、所定の制御アルゴリズム [式 (1) ~ (8)] に基づいて算出する制御値算出手段（ECU2、2 自由度 SLD コントローラ 110）と、算出された制御値を所定の変調アルゴリズム [式 (21) ~ (25)] を適用したアルゴリズム [式 (10) ~ (26)] で変調することにより、制御入力 U_{cain} を算出する制御入力算出手段（ECU2、非線形フィルタ 120、しきい

50

値設定部130、リミッタ140、DSMコントローラ150、加算器160)と、を備え、制御入力算出手段は、制御入力の振幅(振幅設定値R)を、プラントの状態を表すパラメータ(バルブリフトLiftin、カム位相Cain、エンジン回転数NE、油圧Poil、油温Toil)に応じて設定する振幅設定手段(ECU2、しきい値設定部130、ステップ20~22, 24, 26, 27, 29, 31)と、制御入力Ucainの振幅の中心となる中心値Ucain__centを、制御値(SLD制御入力Rslid)に応じて設定する中心値設定手段(ECU2、非線形フィルタ120)と、を有することを特徴とする。

【0011】

この制御装置によれば、検出された制御量を設定された目標値になるように制御するための制御値が、所定の制御アルゴリズムに基づいて算出され、算出された制御値を所定の
10
変調アルゴリズムを適用したアルゴリズムで変調することにより、制御入力
が算出されるので、変調された制御入力により、プラントが強い非線形特性を備えている場合でも、その非線形特性を補償することができる。これに加えて、制御入力の振幅が、プラントの状態を表すパラメータに応じて設定されるので、プラントの非線形特性および制御入力に対する制御量の感度がプラントの状態変化により変化した場合でも、そのような非線形特性および感度の変化度合に応じて、制御入力の振幅を適切に設定することができる。以上により、プラントの非線形特性が強かつ変化するとともに、制御入力に対する制御量の感度が変化する場合でも、高レベルの制御の分解能を確保でき、高い制御精度を確保することができる。また、この制御装置のように、制御入力
20
が制御値を変調することにより算出される場合において、制御中において予想される制御値の変動幅が大きいとき、すなわち制御値の取りうる値の最大値と最小値との差が大きいときには、制御入力の振幅を制御値の変動幅をカバーするような大きな値に設定する必要がある。そのようにした場合、前述したように、制御入力に対する制御量の感度が低下する条件下では、制御入力の反転状態が制御量にノイズ的に反映されてしまうことで、制御の分解能が低下し、制御精度が低下する可能性がある。これに対して、この制御装置によれば、制御入力の振幅の中心となる中心値が、制御値に応じて設定されるので、制御中における制御値の変化幅が大きい場合でも、制御入力を、その制御タイミングでの制御値をカバーするような値として算出するだけでよくなることにより、制御入力の振幅を、制御値の変動幅全体をカバーするときよりも小さな値に設定することができる。その結果、この制御装置では、プラントの非線形
30
特性が強かつ変化するとともに、制御入力に対する制御量の感度が変化する場合において、制御中における制御値の変動幅が大きいときでも、高レベルの制御の分解能を確保でき、高い制御精度を確保することができる(なお、本明細書における、「制御値の算出」および「制御入力の算出」などの「算出」は、プログラムにより演算することに限らず、ハードウェアによりそれらを表す電気信号を生成することを含む)。

【0012】

請求項2に係る発明は、内燃機関3の吸気カム6および排気カム9の少なくとも一方のクランクシャフト3dに対する位相であるカム位相Cainを、可変カム位相機構70を介して制御する制御装置1, 1A, 1Bであって、カム位相Cainを検出するカム位相
40
検出手段(ECU2、クランク角センサ20、カム角センサ22)と、カム位相の目標となる目標カム位相Cain__cmdを設定する目標カム位相設定手段(ECU2、目標カム位相算出部100)と、検出されたカム位相Cainを設定された目標カム位相Cain__cmdになるように制御するための制御値(SLD制御入力Rslid)を、所定の制御アルゴリズム[式(1)~(8)]に基づいて算出する制御値算出手段(ECU2、2自由度SLDコントローラ110)と、算出された制御値を所定の変調アルゴリズム[式(21)~(25)]を適用したアルゴリズム[式(10)~(26)]で変調することにより、可変カム位相機構70への制御入力Ucainを算出する制御入力算出手段(ECU2、非線形フィルタ120、しきい値設定部130、リミッタ140、DSMコントローラ150、加算器160)と、を備え、制御入力算出手段は、制御入力の振幅(振幅
50
設定値R)を、内燃機関の運転状態を表すパラメータ(カム位相Cain、エンジン回転

数NE、油圧Poil、油温Toil)に応じて設定する振幅設定手段(ECU2、しきい値設定部130、ステップ21, 22, 24, 26, 27, 29, 31)と、制御入力Ucainの振幅の中心となる中心値Ucain__centを、制御値(SLD制御入力Rsld)に応じて設定する中心値設定手段(ECU2、非線形フィルタ120)と、を有することを特徴とする。

【0013】

前述したように、可変カム位相機構は、非線形特性が強いものであるとともに、その非線形特性および制御入力に対するカム位相の感度は、機関回転数などの内燃機関の運転状態に応じて変化する。例えば、カム位相を変更する際、内燃機関の運転状態の変化に伴って、カム反力の変化やスプロケット変動が発生すると、制御入力に対するカム位相の感度が変化する。これに対して、この制御装置によれば、カム位相を目標カム位相になるように制御するための制御値が、所定の制御アルゴリズムに基づいて算出され、制御値を所定の変調アルゴリズムを適用したアルゴリズムで変調することにより、可変カム位相機構への制御入力が算出されるので、可変カム位相機構の強い非線形特性を補償することができる。これに加えて、制御入力の振幅が、内燃機関の運転状態を表すパラメータに応じて設定されるので、内燃機関の運転状態の変化に伴って、非線形特性および制御入力に対するカム位相の感度が変化したときでも、そのような非線形特性および感度の変化度合に応じて、制御入力の振幅を適切に設定することができる。以上により、可変カム位相機構を介してカム位相を制御する場合において、高レベルの制御の分解能を確保でき、高い制御精度を確保することができる。また、この制御装置のように、制御入力が制御値を変調することにより算出される場合において、制御中において予想される制御値の変動幅が大きいとき、すなわち制御値の取りうる値の最大値と最小値との差が大きいときには、制御入力の振幅を制御値の変動幅をカバーするような大きな値に設定する必要がある。そのようにした場合、前述したように、制御入力に対するカム位相の感度が低下する条件下では、制御入力の反転状態がカム位相にノイズ的に反映されてしまうことで、制御の分解能が低下し、制御精度が低下する可能性がある。これに対して、この制御装置によれば、制御入力の振幅の中心となる中心値が、制御値に応じて設定されるので、制御中における制御値の変化幅が大きい場合でも、制御入力を、その制御タイミングでの制御値をカバーするような値として算出するだけでよくなることにより、制御入力の振幅を、制御値の変動幅全体をカバーするときよりも小さな値に設定することができる。その結果、この制御装置では、可変カム位相機構の非線形特性が強いとともに、制御入力に対するカム位相の感度が変化する場合において、制御値の変動幅が大きいときでも、高レベルの制御の分解能を確保でき、高い制御精度を確保することができる(なお、本明細書における、「カム位相の検出」は、カム位相を、センサにより直接的に検出することに限らず、算出または推定することを含む)。

【0014】

請求項3に係る発明は、請求項2に記載の制御装置1, 1A, 1Bにおいて、内燃機関3は、吸気弁4および排気弁7のうちの、カム位相Cainが制御される吸気カム6および排気カム9の少なくとも一方によって開閉駆動される弁(吸気弁4)のリフトLiftinを変更する可変バルブリフト機構50を備えており、振幅設定手段は、制御入力の振幅(振幅設定値R)を弁のリフトLiftinにさらに応じて設定する(ステップ20)ことを特徴とする。

【0015】

一般に、可変カム位相機構を介して吸気カムおよび排気カムの少なくとも一方の弁のカム位相を制御している場合において、可変バルブリフト機構により、その弁のリフトが変更されると、その影響により、可変カム位相機構において、制御入力に対するカム位相の感度が変化する。これに対して、この制御装置によれば、制御入力の振幅が弁のリフトにさらに応じて設定されるので、可変バルブリフト機構により弁のリフトが変更されたときでも、それに伴う制御入力に対するカム位相の感度の変化度合に応じて、制御入力の振幅を適切に設定することができる。その結果、制御の分解能をさらに向上させることができ

10

20

30

40

50

、制御精度をさらに向上させることができる。

【 0 0 1 8 】

請求項 4 に係る発明は、請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の制御装置 1 , 1 A , 1 B において、所定の変調アルゴリズムは、変調アルゴリズム [式 (2 1) ~ (2 5)] 、変調アルゴリズム [式 (2 8) ~ (3 3)] および 変調アルゴリズム [式 (3 5) ~ (3 9)] のいずれかであることを特徴とする。

【 0 0 1 9 】

この制御装置によれば、制御値を、変調アルゴリズム、変調アルゴリズムおよび 変調アルゴリズムのいずれかを適用したアルゴリズムで変調することにより、制御入力
10 力が算出される。この場合、変調アルゴリズム、変調アルゴリズムおよび 変調アルゴリズムはいずれも、これらの変調アルゴリズムに入力される値が値 0 に近づくほど、これらの変調アルゴリズムにより算出された値の反転周波数がより高くなるという特性を備えている。一方、制御値は、請求項 1 に係る制御装置では、制御量を目標値になるように制御するための値であるので、制御量が目標値に近づくほど、変化しなくなる。また、請求項 2 または 3 に係る制御装置では、カム位相を目標カム位相になるように制御するための値であるので、カム位相が目標カム位相に近づくほど、変化しなくなる。したがって、変調アルゴリズム、変調アルゴリズムおよび 変調アルゴリズムのいずれかを適用したアルゴリズムにおいて、制御値が変化しなくなると、変調アルゴリズム、

変調アルゴリズムおよび 変調アルゴリズムのいずれかに入力される値が値 0 に近づくように設定することにより、請求項 1 に係る制御装置では、制御量が目標値に近づくほど、請求項 2 または 3 に係る制御装置では、カム位相が目標カム位相に近づくほど、制御
20 入力をその反転周波数がより高くなるように算出することができる。その結果、反転周波数が一定の P W M またはディザを用いることで、制御入力を算出する場合と比べて、請求項 1 に係る制御装置では、制御量の目標値への収束性を高めることができ、請求項 2 または 3 に係る制御装置では、カム位相の目標カム位相への収束性を高めることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 2 0 】

以下、図面を参照しながら、本発明の第 1 実施形態に係る内燃機関の制御装置について説明する。この制御装置 1 は、図 2 に示すように、E C U 2 を備えており、この E C U 2 は、後述するように、内燃機関（以下「エンジン」という）3 の運転状態に応じて、カム
30 位相制御などの各種の制御処理を実行する。

【 0 0 2 1 】

図 1 および図 3 に示すように、エンジン 3 は、4 組の気筒 3 a およびピストン 3 b （1 組のみ図示）を有する直列 4 気筒ガソリンエンジンであり、図示しない車両に搭載されている。エンジン 3 は、気筒 3 a 毎に設けられ、吸気ポートおよび排気ポートをそれぞれ開閉する吸気弁 4 および排気弁 7 と、吸気弁 4 駆動用の吸気カムシャフト 5 および吸気カム 6 と、吸気弁 4 を開閉駆動する可変式吸気動弁機構 4 0 と、排気弁 7 駆動用の排気カムシャフト 8 および排気カム 9 と、排気弁 7 を開閉駆動する排気動弁機構 3 0 と、燃料噴射弁 1 0 と、点火プラグ 1 3 （図 2 参照）などを備えている。

【 0 0 2 2 】

吸気弁 4 は、そのステム 4 a がガイド 4 b に摺動自在に嵌合しており、このガイド 4 b は、シリンダヘッド 3 c に固定されている。さらに、吸気弁 4 は、図 4 に示すように、上下のスプリングシート 4 c , 4 d と、これらの間に設けられたバルブスプリング 4 e とを備えており、このバルブスプリング 4 e により、閉弁方向に付勢されている。

【 0 0 2 3 】

また、吸気カムシャフト 5 および排気カムシャフト 8 はそれぞれ、図示しないホルダを介して、シリンダヘッド 3 c に回転自在に取り付けられている。この吸気カムシャフト 5 の一端部上には、吸気スプロケット（図示せず）が同軸に配置され、回転自在に設けられている。この吸気スプロケットは、図示しないタイミングチェーンを介してクランクシャフト 3 d に連結され、後述する可変カム位相機構 7 0 を介して吸気カムシャフト 5 に連結
50

されている。以上の構成により、吸気カムシャフト 5 は、クランクシャフト 3 d が 2 回転する毎に 1 回転する。また、吸気カム 6 は、吸気カムシャフト 5 上にこれと一体に回転するように気筒 3 a 毎に設けられている。

【 0 0 2 4 】

さらに、可変式吸気動弁機構 4 0 は、吸気カムシャフト 5 の回転に伴って、各気筒 3 a の吸気弁 4 を開閉駆動するとともに、吸気弁 4 のリフトおよびバルブタイミングを無段階に変更するものであり、その詳細については、後述する。なお、本実施形態では、「吸気弁 4 のリフト（以下「バルブリフト」という）」は、吸気弁 4 の最大揚程を表すものとする。

【 0 0 2 5 】

一方、排気弁 7 は、そのステム 7 a がガイド 7 b に摺動自在に嵌合しており、このガイド 7 b は、シリンダヘッド 3 c に固定されている。さらに、排気弁 7 は、上下のスプリングシート 7 c , 7 d と、これらの間に設けられたバルブスプリング 7 e とを備えており、このバルブスプリング 7 e により、閉弁方向に付勢されている。

【 0 0 2 6 】

また、排気カムシャフト 8 は、これと一体の排気スプロケット（図示せず）を備え、この排気スプロケットおよび図示しないタイミングチェーンを介してクランクシャフト 3 d に連結されており、それにより、クランクシャフト 3 d が 2 回転する毎に 1 回転する。さらに、排気カム 9 は、排気カムシャフト 8 上にこれと一体に回転するように気筒 3 a 毎に設けられている。

【 0 0 2 7 】

さらに、排気動弁機構 3 0 は、ロッカアーム 3 1 を備えており、このロッカアーム 3 1 が排気カム 9 の回転に伴って回転することにより、バルブスプリング 7 e の付勢力に抗しながら、排気弁 7 を開閉駆動する。

【 0 0 2 8 】

一方、燃料噴射弁 1 0 は、気筒 3 a 毎に設けられ、燃料を燃焼室内に直接噴射するように、傾斜した状態でシリンダヘッド 3 c に取り付けられている。すなわち、エンジン 3 は直噴エンジンとして構成されている。また、燃料噴射弁 1 0 は、E C U 2 に電氣的に接続されており、E C U 2 により、開弁時間および開弁タイミングが制御され、それにより、燃料噴射量が制御される。

【 0 0 2 9 】

また、点火プラグ 1 3 も、気筒 3 a 毎に設けられ、シリンダヘッド 3 c に取り付けられている。点火プラグ 1 3 は、E C U 2 に電氣的に接続されており、E C U 2 により、点火時期に応じたタイミングで燃料室内の混合気を燃焼させるように、放電状態が制御される。

【 0 0 3 0 】

一方、エンジン 3 には、クランク角センサ 2 0 が設けられている。このクランク角センサ 2 0 は、マグネットロータおよび M R E ピックアップで構成されており、クランクシャフト 3 d の回転に伴い、いずれもパルス信号である C R K 信号および T D C 信号を E C U 2 に出力する。この C R K 信号は、所定クランク角（例えば 10° ）毎に 1 パルスが出力され、E C U 2 は、この C R K 信号に基づき、エンジン 3 の機関回転数（以下「エンジン回転数」という）N E を算出する。また、T D C 信号は、各気筒 3 a のピストン 3 b が吸気行程の T D C 位置よりも若干、手前の所定のクランク角位置にあることを表す信号であり、所定クランク角毎に 1 パルスが出力される。なお、本実施形態では、クランク角センサ 2 0 が制御量検出手段およびカム位相検出手段に相当し、エンジン回転数 N E がパラメータに相当する。

【 0 0 3 1 】

また、エンジン 3 の吸気管 1 2 には、スロットル弁機構 1 1 が設けられている。このスロットル弁機構 1 1 は、スロットル弁 1 1 a およびこれを開閉駆動する T H アクチュエータ 1 1 b などを備えている。スロットル弁 1 1 a は、吸気管 1 2 の途中に回動自在に設け

10

20

30

40

50

られており、当該回動に伴う開度の変化により吸気管 1 2 内の空気流量を変化させる。T H アクチュエータ 1 1 b は、E C U 2 に接続されたモータにギヤ機構（いずれも図示せず）を組み合わせたものであり、E C U 2 からの制御入力によって駆動されることにより、スロットル弁 1 1 a の開度を変化させる。

【 0 0 3 2 】

E C U 2 は、通常運転時、スロットル弁 1 1 a を全開状態に保持するとともに、可変式吸気動弁機構 4 0 の故障時またはマスタバック（図示せず）への負圧供給時には、スロットル弁 1 1 a の開度を制御する。

【 0 0 3 3 】

次に、前述した可変式吸気動弁機構 4 0 について説明する。この可変式吸気動弁機構 4 0 は、図 4 に示すように、吸気カムシャフト 5、吸気カム 6、可変バルブリフト機構 5 0 および可変カム位相機構 7 0 などで構成されている。

【 0 0 3 4 】

この可変バルブリフト機構 5 0 は、吸気カムシャフト 5 の回転に伴って吸気弁 4 を開閉駆動するとともに、バルブリフト *L i f t i n* を所定の最大値 *L i f t i n m a x* と最小値 *L i f t i n m i n* との間で無段階に変更するものであり、気筒 3 a 毎に設けられた四節リンク式のロッカアーム機構 5 1 と、これらのロッカアーム機構 5 1 を同時に駆動するリフトアクチュエータ 6 0（図 5 参照）などを備えている。なお、本実施形態では、バルブリフト *L i f t i n* がパラメータに相当する。

【 0 0 3 5 】

各ロッカアーム機構 5 1 は、ロッカアーム 5 2 および上下のリンク 5 3、5 4 などで構成されている。この上リンク 5 3 の一端部は、上ピン 5 5 を介して、ロッカアーム 5 2 の上端部に回動自在に取り付けられており、他端部は、ロッカアームシャフト 5 6 に回動自在に取り付けられている。このロッカアームシャフト 5 6 は、図示しないホルダを介して、シリンダヘッド 3 c に取り付けられている。

【 0 0 3 6 】

また、ロッカアーム 5 2 の上ピン 5 5 上には、ローラ 5 7 が回動自在に設けられている。このローラ 5 7 は、吸気カム 6 のカム面に当接しており、吸気カム 6 が回転する際、そのカム面に案内されながら吸気カム 6 上を転動する。これにより、ロッカアーム 5 2 は上下方向に駆動されるとともに、上リンク 5 3 が、ロッカアームシャフト 5 6 を中心として回動する。

【 0 0 3 7 】

さらに、ロッカアーム 5 2 の吸気弁 4 側の端部には、アジャストボルト 5 2 a が取り付けられている。このアジャストボルト 5 2 a は、吸気カム 6 の回転に伴ってロッカアーム 5 2 が上下方向に移動すると、バルブスプリング 4 e の付勢力に抗しながら、ステム 4 a を上下方向に駆動し、吸気弁 4 を開閉する。

【 0 0 3 8 】

また、下リンク 5 4 の一端部は、下ピン 5 8 を介して、ロッカアーム 5 2 の下端部に回動自在に取り付けられており、下リンク 5 4 の他端部には、連結軸 5 9 が回動自在に取り付けられている。下リンク 5 4 は、この連結軸 5 9 を介して、リフトアクチュエータ 6 0 の後述する短アーム 6 5 に連結されている。

【 0 0 3 9 】

一方、リフトアクチュエータ 6 0 は、図 5 に示すように、モータ 6 1、ナット 6 2、リンク 6 3、長アーム 6 4 および短アーム 6 5 などを備えている。このモータ 6 1 は、E C U 2 に接続され、エンジン 3 のヘッドカバー 3 f の外側に配置されている。モータ 6 1 の回転軸は、雄ねじが形成されたねじ軸 6 1 a になっており、このねじ軸 6 1 a に、ナット 6 2 が螺合している。このナット 6 2 は、リンク 6 3 を介して、長アーム 6 4 に連結されている。このリンク 6 3 の一端部は、ピン 6 3 a を介して、ナット 6 2 に回動自在に取り付けられ、他端部は、ピン 6 3 b を介して、長アーム 6 4 の一端部に回動自在に取り付けられている。

【 0 0 4 0 】

また、長アーム 6 4 の他端部は、回動軸 6 6 を介して短アーム 6 5 の一端部に取り付けられている。この回動軸 6 6 は、断面円形に形成され、エンジン 3 のヘッドカバー 3 f を貫通しているとともに、これに回動自在に支持されている。この回動軸 6 6 の回動に伴い、長アーム 6 4 および短アーム 6 5 はこれと一体に回動する。

【 0 0 4 1 】

さらに、短アーム 6 5 の他端部には、前述した連結軸 5 9 が回動自在に取り付けられており、これにより、短アーム 6 5 は、連結軸 5 9 を介して、下リンク 5 4 に連結されている。

【 0 0 4 2 】

次に、以上のように構成された可変バルブリフト機構 5 0 の動作について説明する。この可変バルブリフト機構 5 0 では、E C U 2 からの制御入力のリフトアクチュエータ 6 0 に入力されると、ねじ軸 6 1 a が回転し、それに伴うナット 6 2 の移動により、長アーム 6 4 および短アーム 6 5 が回動軸 6 6 を中心として回動するとともに、この短アーム 6 5 の回動に伴って、ロッカアーム機構 5 1 の下リンク 5 4 が、下ピン 5 8 を中心として回動する。すなわち、リフトアクチュエータ 6 0 により、下リンク 5 4 が駆動される。

【 0 0 4 3 】

その際、E C U 2 の制御により、短アーム 6 5 の回動範囲は、図 5 (a) に示す最大リフト位置と図 5 (b) に示す最小リフト位置との間に規制され、それにより、下リンク 5 4 の回動範囲も、図 4 に実線で示す最大リフト位置と、図 4 に 2 点鎖線で示す最小リフト位置との間に規制される。

【 0 0 4 4 】

下リンク 5 4 が最大リフト位置にある場合、ロッカアームシャフト 5 6、上下のピン 5 5、5 8 および連結軸 5 9 によって構成される四節リンクでは、上ピン 5 5 および下ピン 5 8 の中心間の距離が、ロッカアームシャフト 5 6 および連結軸 5 9 の中心間の距離よりも長くなるように構成されており、それにより、図 6 (a) に示すように、吸気カム 6 が回転すると、これとローラ 5 7 との当接点の移動量よりも、アジャストボルト 5 2 a の移動量の方が大きくなる。

【 0 0 4 5 】

一方、下リンク 5 4 が最小リフト位置にある場合、上記四節リンクでは、上ピン 5 5 および下ピン 5 8 の中心間の距離が、ロッカアームシャフト 5 6 および連結軸 5 9 の中心間の距離よりも短くなるように構成されており、それにより、図 6 (b) に示すように、吸気カム 6 が回転すると、これとローラ 5 7 との当接点の移動量よりも、アジャストボルト 5 2 a の移動量の方が小さくなる。

【 0 0 4 6 】

以上の理由により、吸気弁 4 は、下リンク 5 4 が最大リフト位置にあるときには、最小リフト位置にあるときよりも大きなバルブリフト $L i f t i n$ で開弁する。具体的には、吸気カム 6 の回転中、吸気弁 4 は、下リンク 5 4 が最大リフト位置にあるときには、図 7 の実線で示すバルブリフト曲線に従って開弁し、バルブリフト $L i f t i n$ は、その最大値 $L i f t i n m a x$ を示す。一方、下リンク 5 4 が最小リフト位置にあるときには、図 7 の 2 点鎖線で示すバルブリフト曲線に従って開弁し、バルブリフト $L i f t i n$ は、その最小値 $L i f t i n m i n$ を示す。

【 0 0 4 7 】

したがって、この可変バルブリフト機構 5 0 では、アクチュエータ 6 0 を介して、下リンク 5 4 を最大リフト位置と最小リフト位置との間で回動させることにより、バルブリフト $L i f t i n$ を、最大値 $L i f t i n m a x$ と最小値 $L i f t i n m i n$ との間で無段階に変化させることができる。

【 0 0 4 8 】

また、エンジン 3 には、回動角センサ 2 1 が設けられており（図 2 参照）、この回動角センサ 2 1 は、回動軸 6 6 すなわち短アーム 6 5 の回動角を検出して、その検出信号を E

10

20

30

40

50

ＣＵ２に出力する。ＥＣＵ２は、この回動角センサ２１の検出信号に基づき、バルブリフトＬｉｆｔｉｎを算出する。

【００４９】

次に、前述した可変カム位相機構７０について説明する。この可変カム位相機構７０は、吸気カムシャフト５のクランクシャフト３ｄに対する相対的な位相（以下「カム位相」という）Ｃａｉｎを無段階に進角側または遅角側に変更するものであり、吸気カムシャフト５の吸気スプロケット側の端部に設けられている。図８に示すように、可変カム位相機構７０は、ハウジング７１、３枚羽根式のベーン７２、油圧ポンプ７３および電磁弁機構７４などを備えている。

【００５０】

このハウジング７１は、吸気カムシャフト５上の吸気スプロケットと一体に構成されており、互いに等間隔に形成された３つの隔壁７１ａを備えている。ベーン７２は、吸気カムシャフト５の吸気スプロケット側の端部に同軸に取り付けられ、吸気カムシャフト５から外方に放射状に延びているとともに、ハウジング７１内に回転可能に収容されている。また、ハウジング７１では、隔壁７１ａとベーン７２との間に、３つの進角室７５および３つの遅角室７６が形成されている。

【００５１】

油圧ポンプ７３は、クランクシャフト３ｄに連結された機械式のものであり、クランクシャフト３ｄが回転すると、それに伴って、エンジン３のオイルパン３ｅに蓄えられた潤滑用のオイルを、油路７７ｃを介して吸い込むとともに、これを昇圧した状態で、油路７

【００５２】

電磁弁機構７４は、スプール弁機構７４ａおよびソレノイド７４ｂを組み合わせたものであり、進角油路７７ａおよび遅角油路７７ｂを介して、進角室７５および遅角室７６にそれぞれ接続されているとともに、油圧ポンプ７３から供給された油圧Ｐｏｉｌを、進角油圧Ｐａｄおよび遅角油圧Ｐｒｔとして、進角室７５および遅角室７６にそれぞれ出力する。電磁弁機構７４のソレノイド７４ｂは、ＥＣＵ２に電氣的に接続されており、ＥＣＵ２からの後述する制御入力Ｕｃａｉｎが入力された際、スプール弁機構７４ａのスプール弁体を、制御入力Ｕｃａｉｎに応じて所定の移動範囲内で移動させることにより、進角油圧Ｐａｄおよび遅角油圧Ｐｒｔをいずれも変化させる。

【００５３】

以上の可変カム位相機構７０では、油圧ポンプ７３の動作中、電磁弁機構７４が制御入力Ｕｃａｉｎに応じて作動することにより、進角油圧Ｐａｄが進角室７５に、遅角油圧Ｐｒｔが遅角室７６にそれぞれ供給され、それにより、ベーン７２とハウジング７１との間の相対的な位相が進角側または遅角側に変更される。その結果、前述したカム位相Ｃａｉｎが、最遅角値Ｃａｉｎｒｔと最進角値Ｃａｉｎａｄの間で連続的に変化し、それにより、吸気弁４のバルブタイミングは、図９に実線で示す最遅角タイミングと、図９に２点鎖線で示す最進角タイミングとの間で、無段階に変更される。なお、後述するカム位相制御では、最遅角値Ｃａｉｎｒｔを０°に設定し、最進角値Ｃａｉｎａｄを正の所定角度（例えば９０°）として設定する。

【００５４】

以上のように、本実施形態の可変式吸気動弁機構４０では、可変バルブリフト機構５０により、バルブリフトＬｉｆｔｉｎが無段階に変更されるとともに、可変カム位相機構７０により、カム位相Ｃａｉｎすなわち吸気弁４のバルブタイミングが、前述した最遅角タイミングと最進角タイミングとの間で無段階に変更される。

【００５５】

一方、吸気カムシャフト５の可変カム位相機構７０と反対側の端部には、カム角センサ２２（図２参照）が設けられている。このカム角センサ２２は、例えばマグネットロータおよびＭＲＥピックアップで構成されており、吸気カムシャフト５の回転に伴い、パルス信号であるＣＡＭ信号を所定のカム角（例えば１°）毎にＥＣＵ２に出力する。ＥＣＵ２

10

20

30

40

50

は、このCAM信号および前述したCRK信号に基づき、カム位相Cainを算出する。なお、本実施形態では、カム角センサ22が制御量検出手段およびカム位相検出手段に相当し、カム位相Cainが制御量およびパラメータに相当する。

【0056】

さらに、図2に示すように、ECU2には、油温センサ23、油圧センサ24、アクセル開度センサ25およびイグニッション・スイッチ（以下「IG・SW」という）26が接続されている。この油温センサ23は、オイルパン3e内の潤滑油の温度（以下「油温」という）Toilを表す検出信号をECU2に出力し、油圧センサ24は、油圧ポンプ73から電磁弁機構74に供給される油圧Poilを表す検出信号をECU2に出力する。なお、本実施形態では、油温Toilおよび油圧Poilがパラメータに相当する。

10

【0057】

また、アクセル開度センサ25は、車両の図示しないアクセルペダルの踏み込み量（以下「アクセル開度」という）APを表す検出信号をECU2に出力する。また、IG・SW26は、イグニッションキー（図示せず）操作によりON/OFFされるとともに、そのON/OFF状態を表す信号をECU2に出力する。

【0058】

ECU2は、CPU、RAM、ROMおよびI/Oインターフェース（いずれも図示せず）などからなるマイクロコンピュータで構成されており、前述した各種のセンサ20～25の検出信号およびIG・SW26のON/OFF信号などに応じて、エンジン3の運転状態を判別するとともに、各種の制御を実行する。具体的には、ECU2は、後述するように、エンジン3の運転状態に応じて、可変カム位相機構70を介してカム位相Cainを制御する。

20

【0059】

また、詳細な説明は省略するが、ECU2は、バルブリフトLiftinを可変バルブリフト機構50を介して制御する。具体的には、アクセル開度APおよびエンジン回転数NEに応じて、目標バルブリフトLiftin__cmdを設定し、バルブリフトLiftinを、目標バルブリフトLiftin__cmdに収束させるように制御する。この場合、目標バルブリフトLiftin__cmdは、アクセル開度APが大きいほどまたはエンジン回転数NEが高いほど、すなわち高負荷であるほど、より大きな値に設定される。

【0060】

なお、本実施形態では、ECU2が、制御量検出手段、目標値設定手段、制御値算出手段、制御入力算出手段、振幅設定手段、カム位相検出手段、目標カム位相設定手段および中心値設定手段に相当する。

30

【0061】

次に、本実施形態の制御装置1について説明する。図10に示すように、この制御装置1は、プラント90を制御するものであり、目標カム位相算出部100、2自由度スライディングモードコントローラ（以下「2自由度SLDコントローラ」という）110、非線形フィルタ120、しきい値設定部130、リミッタ140、DSMコントローラ150および加算器160を備えており、これらはいずれも、具体的には、ECU2により構成されている。

40

【0062】

このプラント90は、制御入力Ucainが入力されることにより、制御量としてのカム位相Cainを出力する系として定義され、具体的には、可変カム位相機構70を含む系に相当する。

【0063】

まず、目標カム位相算出部100では、エンジン回転数NEおよびバルブリフトLiftinに応じて、後述するように、マップ検索により、目標カム位相Cain__cmdが算出される。なお、本実施形態では、目標カム位相算出部100が目標値設定手段およびカム位相設定手段に相当し、目標カム位相Cain__cmdが目標値に相当する。

【0064】

50

次いで、2自由度S L Dコントローラ110について説明する。この2自由度S L Dコントローラ110では、S L D制御入力R s l dが、以下に述べる式(1)～(8)の目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御アルゴリズムにより、カム位相C a i nを目標カム位相C a i n__c m dに収束させるための値として算出される。

【0065】

この制御アルゴリズムでは、まず、下式(1)に示す一次遅れフィルタアルゴリズムにより、目標カム位相のフィルタ値C a i n__c m d__fが算出される。同式(1)において、P O L E__fは、目標値フィルタ設定パラメータであり、 $-1 < P O L E__f < 0$ の関係が成立する値に設定される。

【数1】

$$Cain_cmd_f(k) = -POLE_f \cdot Cain_cmd_f(k-1) + (1+POLE_f) \cdot Cain_cmd(k) \quad \dots\dots (1)$$

【0066】

この式(1)において、記号(k)付きの各離散データは、後述する所定周期 Tでサンプリング(または算出)されたデータであることを示しており、記号kは各離散データのサンプリングサイクルの順番を表している。例えば、記号kは今回のサンプリングタイミングでサンプリングされた値であることを、記号k-1は前回のサンプリングタイミングでサンプリングされた値であることをそれぞれ示している。この点は、以下の離散データにおいても同様である。なお、以下の説明では、各離散データにおける記号(k)を適宜省略する。

【0067】

次いで、以下の式(2)～(8)に示すスライディングモード制御アルゴリズムにより、S L D制御入力R s l dが算出される。

【0068】

【数2】

$$Rsld(k) = Req(k) + Rrch(k) + Radp(k) + Rnl(k) \quad \dots\dots (2)$$

$$Req(k) = \frac{1}{b1} \{ (1-a1-POLE) \cdot Cain(k) + (POLE-a2) \cdot Cain(k-1) - b2 \cdot Rsld(k-1) + Cain_cmd_f(k) + (POLE-1) \cdot Cain_cmd_f(k-1) - POLE \cdot Cain_cmd_f(k-2) \} \quad \dots\dots (3)$$

$$Rrch(k) = \frac{-Krch}{b1} \cdot \sigma_s(k) \quad \dots\dots (4)$$

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

$$Rnl(k) = \frac{-Knl}{b1} \cdot \text{sgn}(\sigma_s(k)) \quad \dots\dots (6)$$

$$\sigma_s(k) = e(k) + POLE \cdot e(k-1) \quad \dots\dots (7)$$

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

10

20

30

40

50

【0069】

上記式(2)に示すように、カム位相制御用のSLD制御入力 R_{sld} は、等価制御入力 R_{eq} 、到達則入力 R_{rch} 、適応則入力 R_{adp} および非線形入力 R_{nl} の総和として算出される。この等価制御入力 R_{eq} は、式(3)により算出される。同式(3)において、 a_1 、 a_2 、 b_1 、 b_2 は、後述するモデルのモデルパラメータを示しており、これらは所定値に設定されている。さらに、式(3)において、 $POL E$ は、切換関数設定パラメータであり、 $-1 < POL E_f < POL E < 0$ の関係が成立する値に設定されている。

【0070】

また、到達則入力 R_{rch} は、式(4)により算出される。この式(4)において、 K_{rch} は、所定の到達則ゲインを表しており、 s は、式(7)のように定義される切換関数である。同式(7)の e は、式(8)のように定義される偏差である。

10

【0071】

さらに、適応則入力 R_{adp} は、式(5)により算出され、この式(5)において、 K_{adp} は、所定の適応則ゲインを表している。一方、非線形入力 R_{nl} は、式(6)により算出される。この式(6)において、 K_{nl} は、所定の非線形ゲインを表しているとともに、 $sgn(s)$ は、符号関数を表しており、その値は、 $s = 0$ のときには $sgn(s) = 1$ となり、 $s < 0$ のときには $sgn(s) = -1$ となる(なお、 $s = 0$ のときに、 $sgn(s) = 0$ と設定してもよい)。

【0072】

20

なお、以上の式(1)~(8)は以下のように導出される。すなわち、プラント90を、制御入力 U_{cain} に代えてSLD制御入力 R_{sld} を制御入力とし、カム位相 C_{ain} を制御量とする系として定義するとともに、離散時間系モデルとしてモデル化すると、下式(9)が得られる。この式(9)のモデルに基づき、カム位相 C_{ain} が目標カム位相 C_{ain_cmd} に収束するように、目標値フィルタ型2自由度スライディングモード制御理論を適用すると、前述した式(1)~(8)が導出される。

【数3】

$$C_{ain}(k+1) = a_1 \cdot C_{ain}(k) + a_2 \cdot C_{ain}(k-1) + b_1 \cdot R_{sld}(k) + b_2 \cdot R_{sld}(k-1) \dots\dots (9)$$

30

【0073】

以上の2自由度SLDコントローラ110の制御アルゴリズムによれば、目標値フィルタ型アルゴリズムにより、カム位相 C_{ain} の目標カム位相 C_{ain_cmd} への追従速度が設定されるとともに、スライディングモード制御アルゴリズムにより、カム位相 C_{ain} の目標カム位相 C_{ain_cmd} への追従挙動が設定されるので、追従速度と追従挙動を別個に設定できるとともに、これらの追従速度と追従挙動を高いレベルで確保することができる。すなわち、SLD制御入力 R_{sld} は、可変カム位相機構70の非線形特性が影響しない状況では、カム位相 C_{ain} の目標カム位相 C_{ain_cmd} への追従速度および追従挙動をいずれも高いレベルで確保できるという制御上の優れた特性を備えた値として算出される。なお、本実施形態では、2自由度SLDコントローラ120が制御値

40

【0074】

次に、非線形フィルタ120について説明する。この非線形フィルタ120は、制御入力 U_{cain} の振幅の中心値 U_{cain_cent} を算出するものであり、図11に示すように、メジアンフィルタ121とフィルタ122を組み合わせたものである。

【0075】

このメジアンフィルタ121は、 $2f+1$ (f は整数)個のSLD制御入力 R_{sld} の値を大きさの順に並べたとき、その中央の値をフィルタ値 R_{sld_flt} としてサンプリングするものであり、そのアルゴリズムは、下式(10)のように表される。

【数 4】

$$Rsld_flt(k) = Fmed(Rsld(k), Rsld(k-1), \dots, Rsld(k-2f)) \quad \dots\dots (10)$$

【0076】

なお、メジアンフィルタ121において、 $2f+1$ が偶数のときには、中央を挟む2つの値のいずれか、または2つの値の算術平均値をフィルタ値 $Rsld_flt$ としてサンプリングするようにしてもよい。

【0077】

また、フィルタ122では、メジアンフィルタ121によりサンプリングされたフィルタ値 $Rsld_flt$ に、下式(11)～(14)に示すフィルタリング処理を施すことにより、中心値 $Ucain_cent$ が算出される。なお、下式(11)において、 n は整数であり、 m は $m-2f+1$ が成立するような整数であり、 ϵ は正の所定値である。

【数 5】

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

・ $X > Y + \epsilon$ のとき

$$F_{\epsilon}(X, Y) = Y \quad \dots\dots (12) \quad 20$$

・ $Y - \epsilon \leq X \leq Y + \epsilon$ のとき

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

・ $X < Y - \epsilon$ のとき

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

【0078】

以上のように、この非線形フィルタ120では、メジアンフィルタ121とフィルタ122を組み合わせた式(10)～(14)のアルゴリズムにより、中心値 $Ucain_cent$ が算出される。それにより、SLD制御入力 $Rsld$ がインパルス状のノイズ成分を含んでいる場合には、メジアンフィルタ121のフィルタリング特性により、そのようなノイズ成分の影響を回避しながら、中心値 $Ucain_cent$ を算出することができる。また、SLD制御入力 $Rsld$ がステップ状に大幅に変化した場合には、フィルタ122のフィルタリング特性により、中心値 $Ucain_cent$ をそのようなSLD制御入力 $Rsld$ の変化に対して高い追従性を示す値として算出することができる。

【0079】

また、両フィルタ120、121の相乗効果により、SLD制御入力 $Rsld$ が比較的小さい振幅のノイズ成分を含む場合でも、中心値 $Ucain_cent$ の算出において、その影響を抑制できることが本出願人の実験により確認されている。以上のように、制御入力 $Ucain$ の振幅の中心となる中心値 $Ucain_cent$ は、SLD制御入力 $Rsld$ のマクロ的な変化に精度良く追従するような値として算出される。なお、本実施形態では、非線形フィルタ120が制御入力算出手段および中心値設定手段に相当する。

【0080】

次に、前述したしきい値設定部130について説明する。このしきい値算出部130では、後述する図14の算出手法により、バルブリフト $Liftin$ 、カム位相 $Cain$ 、エンジン回転数 NE 、油圧 $Poil$ および油温 $Toil$ に応じて、しきい値 $Ducain_LMT$ および振幅設定値 R が算出される。このしきい値 $Ducain_LMT$ は、後述

10

20

30

40

50

するように、リミッタ140において、小偏差成分値 $Ducain_L$ および大偏差成分値 $Ducain_H$ の算出に用いられ、振幅設定値 R は、後述するように、DSMコントローラ150において、変調値 $Ducain_L_dsm$ の算出に用いられる。

【0081】

一方、リミッタ140（制御入力算出手段）では、上記しきい値 $Ducain_LMT$ を用い、小偏差成分値 $Ducain_L$ および大偏差成分値 $Ducain_H$ が、下式（15）～（20）により算出される。

【0082】

【数6】

- ・ $Rsl d(k) - Ucain_cent(k) > Ducain_LMT(k)$ のとき

10

$$Ducain_L(k) = Ducain_LMT(k) \quad \dots\dots (15)$$

$$Ducain_H(k) = Rsl d(k) - Ucain_cent(k) - Ducain_LMT(k) \quad \dots\dots (16)$$

- ・ $-Ducain_LMT(k) \leq Rsl d(k) - Ucain_cent(k) \leq Ducain_LMT(k)$ のとき

$$Ducain_L(k) = Rsl d(k) - Ucain_cent(k) \quad \dots\dots (17) \quad 20$$

$$Ducain_H(k) = 0 \quad \dots\dots (18)$$

- ・ $Rsl d(k) - Ucain_cent(k) < -Ducain_LMT(k)$ のとき

$$Ducain_L(k) = -Ducain_LMT(k) \quad \dots\dots (19)$$

$$Ducain_H(k) = Rsl d(k) - Ucain_cent(k) + Ducain_LMT(k) \quad \dots\dots (20)$$

30

【0083】

以上の式（15）、（17）、（19）に示すように、小偏差成分値 $Ducain_L$ は、SLD制御入力 $Rsl d$ と中心値 $Ucain_cent$ との偏差に、 $Ducain_LMT$ を上限とし、 $-Ducain_LMT$ を下限とするリミット処理を施すことにより算出される。すなわち、小偏差成分値 $Ducain_L$ は、SLD制御入力 $Rsl d$ の変動が小さく、中心値 $Ucain_cent$ に対して、しきい値 $Ducain_LMT$ の絶対値を超えない範囲で変動しているときの成分に相当する。

【0084】

また、式（16）、（18）、（20）に示すように、大偏差成分値 $Ducain_H$ は、SLD制御入力 $Rsl d$ と中心値 $Ucain_cent$ との偏差の絶対値が、しきい値 $Ducain_LMT$ の絶対値を上回っていないときには値0として算出され、上回ったときには、上回った分の値として算出される。すなわち、大偏差成分値 $Ducain_H$ は、SLD制御入力 $Rsl d$ の変動が小さい場合には、値0として算出されるとともに、目標カム位相 $Cain_cmd$ の変動が大きいことで、SLD制御入力 $Rsl d$ の変動が大きい場合、すなわち制御の速応性が要求される場合には、そのようなSLD制御入力 $Rsl d$ の値を制御入力 $Ucain$ に適切に反映させるための値として算出される。なお、本実施形態では、しきい値設定部130が制御入力算出手段および振幅設定手段に相当する。

40

【0085】

また、DSMコントローラ150（制御入力算出手段）では、小偏差成分値 $Ducain$

50

n_L を、下式(21)～(25)に示す変調アルゴリズムを適用したアルゴリズムで変調することにより、変調値 $Ducain_L_dsm$ が算出される。

【0086】

【数7】

$$r(k) = Ducain_L(k) \quad \dots\dots (21)$$

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

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

10

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

$$Ducain_L_dsm(k) = u(k) \quad \dots\dots (25)$$

【0087】

上記式(22)に示すように、偏差は、小偏差成分値 $Ducain_L$ と変調値 u の前回値との偏差として算出される。また、式(23)において、 σ は、偏差の積分値を表している。また、式(24)において、 $fnl(\)$ は、非線形関数であり、その値は、 $\sigma \geq 0$ のときには $fnl(\sigma) = R$ となり、 $\sigma < 0$ のときには $fnl(\sigma) = -R$ となるように設定される(なお、 $\sigma = 0$ のときには、 $fnl(\sigma) = 0$ と設定してもよい)。以上の式(21)～(25)を参照すると明らかなように、変調値 $Ducain_L_dsm$ は、最小値 $-R$ と最大値 R との間で反転を繰り返す値として算出される。

20

【0088】

以上のように、DSMコントローラ150では、変調値 $Ducain_L_dsm$ が、小偏差成分値 $Ducain_L$ を、以上のアルゴリズムで変調することにより算出されるので、SLD制御入力 $Rsl d$ の変動が小さく、中心値 $Ucain_cent$ との間に小偏差成分値 $Ducain_L$ 分の偏差しか生じていないときには、変調値 $Ducain_L_dsm$ を、SLD制御入力 $Rsl d$ の前述した制御上の優れた特性、すなわちカム位相 $Cain$ の目標カム位相 $Cain_cmd$ への追従速度および追従挙動をいずれも高いレベルで確保できるという特性を確保しながら、可変カム位相機構70の非線形特性を補償できる値として算出することができる。

30

【0089】

一方、加算器160(制御入力算出手段)では、下式(26)により制御入力 $Ucain$ が算出される。

【数8】

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

【0090】

40

以上のように、制御入力 $Ucain$ は、変調値 $Ducain_L_dsm$ 、大偏差成分値 $Ducain_H$ および中心値 $Ucain_cent$ の総和として算出される。この場合、中心値 $Ucain_cent$ は、前述したように、SLD制御入力 $Rsl d$ のマクロ的な変化に精度良く追従するような値として算出され、変調値 $Ducain_L_dsm$ は、前述したように、SLD制御入力 $Rsl d$ の変動が小さい場合、カム位相 $Cain$ の目標カム位相 $Cain_cmd$ への追従速度および追従挙動をいずれも高いレベルで確保できるという特性を確保しながら、可変カム位相機構70の非線形特性を補償できる値として算出される。これに加えて、大偏差成分値 $Ducain_H$ は、目標カム位相 $Cain_cmd$ が大幅に急変することで、SLD制御入力 $Rsl d$ の変動が大きい場合などの制御の速応性が要求される状況において、SLD制御入力 $Rsl d$ の挙動を制御入力 Uc

50

a i nに適切に反映させ、制御の速応性を確保するための値として算出される。

【 0 0 9 1 】

したがって、これらの3つの値 $D u c a i n_L_d s m$, $D u c a i n_H$, $U c a i n_c e n t$ の総和として算出される制御入力 $U c a i n$ は、S L D制御入力 $R s l d$ の変動が小さい場合には、S L D制御入力 $R s l d$ の前述した優れた制御上の特性、すなわちカム位相 $C a i n$ の目標カム位相 $C a i n_c m d$ への追従速度および追従挙動をいずれも高いレベルで確保できるという特性を備えると同時に、変調値 $D u c a i n_L_d s m$ が 変調アルゴリズムを適用したアルゴリズムで変調されていることにより、可変カム位相機構 7 0 の非線形特性を補償できる値として算出される。これに加えて、目標カム位相 $C a i n_c m d$ が大幅に急変した場合などの制御の速応性が要求される状況においては、制御入力 $U c a i n$ に含まれる大偏差成分値 $D u c a i n_H$ により、制御の速応性を確保できる値として算出される。なお、制御上の必要性に応じて、大偏差成分値 $D u c a i n_H$ を値 0 に設定し、制御入力 $U c a i n$ を、変調値 $D u c a i n_L_d s m$ と中心値 $U c a i n_c e n t$ の総和として算出してもよい。

10

【 0 0 9 2 】

以下、E C U 2 により実行されるカム位相 $C a i n$ の制御処理について、図 1 2 を参照しながら説明する。この処理は、所定周期 T (例えば 5 m s e c) で実行される。同図に示すように、この処理では、まず、ステップ 1 (図では「S 1」と略す。以下同じ)で、吸気動弁機構故障フラグ $F_V L V N G$ が「1」であるか否かを判別する。この吸気動弁機構故障フラグ $F_V L V N G$ は、可変式吸気動弁機構 4 0 が故障しているときには「1」に、正常であるときには「0」にそれぞれ設定されるものである。

20

【 0 0 9 3 】

ステップ 1 の判別結果が N O で、可変式吸気動弁機構 4 0 が正常であるときには、ステップ 2 に進み、エンジン始動フラグ $F_E N G S T A R T$ が「1」であるか否かを判別する。このエンジン始動フラグ $F_E N G S T A R T$ は、図示しない判定処理において、エンジン回転数 $N E$ および $I G \cdot S W 2 6$ の出力状態に応じて、エンジン始動制御中すなわちクランキング中であるか否かを判定することにより設定されるものであり、具体的には、エンジン始動制御中であるときには「1」に、それ以外のときには「0」にそれぞれ設定される。

【 0 0 9 4 】

このステップ 2 の判別結果が Y E S で、エンジン始動制御中であるときには、ステップ 3 に進み、目標カム位相 $C a i n_c m d$ を、所定の始動時用値 $C a i n_c m d_s t$ に設定する。

30

【 0 0 9 5 】

一方、ステップ 2 の判別結果が N O で、エンジン 3 が始動済みであるときには、ステップ 4 に進み、目標カム位相のマップ値 $C a i n_c m d_m a p$ を、エンジン回転数 $N E$ およびバルブリフト $L i f t i n$ に応じて、図 1 3 に示すマップを検索することにより、算出する。同図において、バルブリフト $L i f t i n$ の所定値 $L i f t i n 1 \sim 3$ は、 $L i f t i n 1 < L i f t i n 2 < L i f t i n 3$ の関係が成立するような値に設定されている。

40

【 0 0 9 6 】

このマップでは、目標カム位相 $C a i n_c m d$ は、 $L i f t i n = L i f t i n 3$ の場合、すなわち高リフトで高負荷域にある場合には、エンジン回転数 $N E$ が高いほど、より遅角側の値に設定されている。また、 $L i f t i n = L i f t i n 2$ で、中負荷である場合、目標カム位相 $C a i n_c m d$ は、低回転域では、エンジン回転数 $N E$ が高いほど、より進角側の値に設定されているとともに、中回転域から高回転域では、エンジン回転数 $N E$ が高いほど、より遅角側の値に設定されている。さらに、 $L i f t i n = L i f t i n 1$ で、低負荷である場合も、目標カム位相 $C a i n_c m d$ は、中負荷である場合とほぼ同様の傾向で、それよりも進角側の値に設定されている。

【 0 0 9 7 】

50

これは、高負荷かつ高回転域では、バルブリフト $Liftin$ を高リフトに制御し、かつカム位相 $Cain$ を遅角側の値に制御することで、吸入空気量を増大させ、エンジントルクを増大させるためである。これに加えて、そのような制御の際、内部 EGR 量の減少と、圧縮行程の初期では、吸気の慣性力によって吸気拳動が継続するので、それを充填効率の向上に利用すべく、カム位相 $Cain$ を遅角側の値に制御するためである。

【0098】

また、低負荷域または低回転域では、バルブリフト $Liftin$ を低リフトに制御し、かつカム位相 $Cain$ を高負荷域よりも進角側の値に制御することで、オットーサイクルよりも吸気弁4が早く閉じる早閉じのミラーサイクルを実現する。それにより、ポンピングロス低減させるとともに、低リフト化による筒内流動を増大化させることで、燃焼の急速化を図り、燃焼効率を向上させるためである。

10

【0099】

次に、ステップ5に進み、ステップ4で算出したマップ値 $Cain_cmd_map$ を、目標カム位相 $Cain_cmd$ として設定する。

【0100】

ステップ3または5に続くステップ6では、前述した式(1)～(8)の制御アルゴリズムにより、 SLD 制御入力 $Rsl d$ を算出する。

【0101】

次いで、ステップ7に進み、制御入力 $Ucain$ を算出した後、本プログラムを終了する。この制御入力 $Ucain$ の算出処理の具体的な内容については後述する。

20

【0102】

一方、ステップ1の判別結果が YES で、可変式吸気動弁機構40が故障しているときには、ステップ8に進み、制御入力 $Ucain$ を値0に設定した後、本処理を終了する。これにより、カム位相 $Cain$ は最遅角値 $Cain_{rt}$ に制御される。

【0103】

次に、図14を参照しながら、前述した制御入力 $Ucain$ の算出処理について説明する。この処理では、まず、ステップ20で、バルブリフト $Liftin$ が所定値 $Liftin_low$ (例えば最大値 $Liftin_{max}$ の2/5の値)より小さいか否かを判別する。

【0104】

30

この判別結果が NO で、バルブリフト $Liftin$ が高リフト状態にあるときには、ステップ21に進み、カム位相 $Cain$ が第1所定値 $Cain_low1$ (例えば最進角値 $Cain_{ad}$ の1/6の値)より小さいか否かを判別する。すなわち、カム位相 $Cain$ が第1所定値 $Cain_low1$ よりも遅角側の値であるか否かを判別する。

【0105】

ステップ21の判別結果が YES で、カム位相 $Cain$ が第1所定値 $Cain_low1$ よりも遅角側の値であるときには、ステップ22に進み、エンジン回転数 NE に応じて、図15に示すテーブルを検索することにより、振幅設定値 R およびしきい値 $Ducain_LMT$ の高リフト&遅角域用値 R_tbl1 , $Ducain_LMT_tbl1$ を算出する。

40

【0106】

同図15に示すように、高リフト&遅角域用値 R_tbl1 , $Ducain_LMT_tbl1$ はいずれも、エンジン回転数 NE が低いほど、より大きい値に設定されている。逆に言えば、エンジン回転数 NE が高いほど、より小さい値に設定されている。これは、以下の理由による。エンジン回転数 NE が低い場合、 CAM 信号および CRK 信号の発生間隔が長くなることで、カム位相 $Cain$ の検出精度が低下する。すなわち、非線形特性が変化する。したがって、変調値 $Ducain_L_dsm$ の振幅すなわち制御入力 $Ucain$ の振幅をより大きい値に設定することで、カム位相 $Cain$ の検出精度の低下すなわち非線形特性の変化を補償し、制御精度を向上させるためである。また、油圧駆動式の可変カム位相機構70は、カム位相 $Cain$ の変更時にカム反力の影響を受けるものであ

50

るとともに、エンジン回転数が高いほど、そのカム反力を受ける周期がより短くなり、単位時間当たりのエネルギーが増大することで、制御入力 U_{cain} に対するカム位相 C_{ain} の感度が高くなるという特性を備えている。したがって、エンジン回転数 NE が高いほど、すなわちカム位相 C_{ain} の感度が高くなるほど、それに応じて、変調値 $D_{ucain_L_dsm}$ の振幅すなわち制御入力 U_{cain} の振幅をより小さい値に設定するためである。

【0107】

また、高リフト&遅角域用値 R_tbl1 , $D_{ucain_LMT_tbl1}$ は、 $R_tbl1 > D_{ucain_LMT_tbl1}$ が成立するように設定されている。これは、前述した SLD 制御入力 $R_{sl d}$ が備える制御上の優れた特性を、変調値 $D_{ucain_L_dsm}$ すなわち制御入力 U_{cain} において確保するためである。すなわち、カム位相 C_{ain} の目標カム位相 C_{ain_cmd} への追従速度および追従挙動をいずれも高いレベルで確保できるという特性を、制御入力 U_{cain} において確保するためである。なお、これらの2つの値は、 $R_tbl1 = D_{ucain_LMT_tbl1}$ と設定しても良く、必要性に応じて、 $R_tbl1 \geq D_{ucain_LMT_tbl1}$ が成立するように設定すればよい。

10

【0108】

次いで、ステップ23に進み、振幅設定値 R およびしきい値 D_{ucain_LMT} のテーブル値 R_tbl , $D_{ucain_LMT_tbl}$ をそれぞれ、ステップ22で算出した高リフト&遅角域用値 R_tbl1 , $D_{ucain_LMT_tbl1}$ に設定する。

20

【0109】

一方、ステップ21の判別結果が NO で、カム位相 C_{ain} が第1所定値 C_{ain_low1} と等しい値であるとき、またはそれよりも進角側の値であるときには、ステップ24に進み、エンジン回転数 NE に応じて、図16に示すテーブルを検索することにより、振幅設定値 R およびしきい値 D_{ucain_LMT} の高リフト&非遅角域用値 R_tbl2 , $D_{ucain_LMT_tbl2}$ を算出する。

【0110】

同図16に示すように、高リフト&非遅角域用値 R_tbl2 , $D_{ucain_LMT_tbl2}$ はいずれも、前述した図15の説明で述べたのと同じ理由により、エンジン回転数 NE が低いほど、より大きい値に設定されている。

30

【0111】

また、図16および図15を比較すると明らかなように、高リフト&遅角域用値 R_tbl1 , $D_{ucain_LMT_tbl1}$ の方が、高リフト&非遅角域用値 R_tbl2 , $D_{ucain_LMT_tbl2}$ よりも小さい値に設定されている ($R_tbl2 > R_tbl1$, $D_{ucain_LMT_tbl2} > D_{ucain_LMT_tbl1}$)。これは、バルブリフト $Liftin$ が高リフト状態にある場合、カム位相 C_{ain} が遅角側に制御されていると、充填効率が高まり、トルクが増大するのに伴って、クランク角速度変動が大きくなることで、制御入力 U_{cain} に対するカム位相 C_{ain} の感度が高くなるので、それに応じて、変調値 $D_{ucain_L_dsm}$ の振幅すなわち制御入力 U_{cain} の振幅をより小さい値に設定するためである。

40

【0112】

さらに、高リフト&非遅角域用値 R_tbl2 , $D_{ucain_LMT_tbl2}$ は、 $R_tbl2 > D_{ucain_LMT_tbl2}$ が成立するように設定されている。これは、前述した理由による。

【0113】

次いで、ステップ25に進み、振幅設定値 R およびしきい値 D_{ucain_LMT} のテーブル値 R_tbl , $D_{ucain_LMT_tbl}$ をそれぞれ、ステップ24で算出した高リフト&非遅角域用値 R_tbl2 , $D_{ucain_LMT_tbl2}$ に設定する。

【0114】

一方、ステップ20の判別結果が YES で、バルブリフト $Liftin$ が低リフトに設

50

定されているときには、ステップ26に進み、カム位相 $Cain$ が第2所定値 $Cain_low2$ (例えば最進角値 $Cain_{ad}$ の $1/2$ の値) より小さいか否かを判別する。すなわち、カム位相 $Cain$ が第2所定値 $Cain_low2$ よりも遅角側の値であるか否かを判別する。

【0115】

ステップ26の判別結果がYESで、カム位相 $Cain$ が第2所定値 $Cain_low2$ よりも遅角側の値であるときには、ステップ27に進み、エンジン回転数 NE に応じて、図17に示すテーブルを検索することにより、振幅設定値 R およびしきい値 $Ducain_LMT$ の低リフト&遅角域用値 R_tbl3 , $Ducain_LMT_tbl3$ を算出する。

10

【0116】

同図17に示すように、低リフト&遅角域用値 R_tbl3 , $Ducain_LMT_tbl3$ はいずれも、前述した理由により、エンジン回転数 NE が低いほど、より大きい値に設定されている。また、低リフト&遅角域用値 R_tbl3 , $Ducain_LMT_tbl3$ は、前述した理由により、 $R_tbl3 > Ducain_LMT_tbl3$ が成立するように設定されている。

【0117】

さらに、図17と前述した図15, 16を比較すると明らかなように、低リフト&遅角域用値 R_tbl3 , $Ducain_LMT_tbl3$ は、 $R_tbl3 > R_tbl2 > R_tbl1$, $Ducain_LMT_tbl3 > Ducain_LMT_tbl2 > Ducain_LMT_tbl1$ が成立するような値に設定されている。これは、前述したように、バルブリフト $Liftin$ が低リフトにあるときには、高リフトにあるときと比べて、目標カム位相 $Cain_cmd$ がより進角側の値に設定されることにより(図13参照)、カム位相 $Cain$ がより進角側に制御されるので、それに応じて、変調値 $Ducain_L_dsm$ の振幅すなわち制御入力 $Ucain$ の振幅をより大きな値に設定するためである。

20

【0118】

次いで、ステップ28に進み、振幅設定値 R およびしきい値 $Ducain_LMT$ のテーブル値 R_tbl , $Ducain_LMT_tbl$ をそれぞれ、ステップ27で算出した低リフト&遅角域用値 R_tbl3 , $Ducain_LMT_tbl3$ に設定する。

30

【0119】

一方、ステップ26の判別結果がNOで、カム位相 $Cain$ が第2所定値 $Cain_low2$ と等しい値であるとき、またはそれよりも進角側の値であるときには、ステップ29に進み、エンジン回転数 NE に応じて、図18に示すテーブルを検索することにより、振幅設定値 R およびしきい値 $Ducain_LMT$ の低リフト&進角域用値 R_tbl4 , $Ducain_LMT_tbl4$ を算出する。

【0120】

同図18に示すように、低リフト&進角域用値 R_tbl4 , $Ducain_LMT_tbl4$ はいずれも、前述した理由により、エンジン回転数 NE が低いほど、より大きい値に設定されている。

40

【0121】

また、図18と図17を比較すると明らかなように、低リフト&進角域用値 R_tbl4 , $Ducain_LMT_tbl4$ の方が、低リフト&遅角域用値 R_tbl3 , $Ducain_LMT_tbl3$ よりも小さい値に設定されている($R_tbl4 < R_tbl3$, $Ducain_LMT_tbl4 < Ducain_LMT_tbl3$)。これは、以下の理由による。すなわち、カム位相 $Cain$ が進角域側にあるときには、遅角域側にあるときと比べて、内部 EGR 量がより増大し、クランク角速度変動が大きくなることで、制御入力 $Ucain$ に対するカム位相 $Cain$ の感度が高くなるので、それに応じて、変調値 $Ducain_L_dsm$ の振幅すなわち制御入力 $Ucain$ の振幅をより小さい値に設定するためである。

50

【0122】

さらに、低リフト&進角域用値 R_tbl4 , $Ducain_LMT_tbl4$ は、前述した理由により、 $R_tbl4 > Ducain_LMT_tbl4$ が成立するように設定されている。

【0123】

以上のステップ23、25、28または30に続くステップ31では、油温 $Toil$ および油圧 $Poil$ に応じて、図19に示すマップを検索することにより、補正係数 $Kducain$ を算出する。同図において、油圧の所定値 $Poil1 \sim 3$ は、 $Poil1 < Poil2 < Poil3$ の関係が成立するような値に設定されている。

【0124】

このマップでは、補正係数 $Kducain$ は、値1以上の値に設定されているとともに、油温 $Toil$ が低いほど、または油圧 $Poil$ が低いほど、より大きな値に設定されている。これは、可変カム位相機構70に供給される油温 $Toil$ が低い場合、粘性抵抗がより大きくなることで、制御入力 $Ucain$ に対するカム位相 $Cain$ の応答遅れがより大きくなる（すなわち非線形特性が強くなる）ので、それを補償すべく、制御入力 $Ucain$ の振幅をより大きな値に設定するためである。また、油圧 $Poil$ が低い場合にも、制御入力 $Ucain$ に対するカム位相 $Cain$ の応答遅れがより大きくなる（すなわち非線形特性が強くなる）ので、それを補償すべく、制御入力 $Ucain$ の振幅をより大きな値に設定するためである。

【0125】

次いで、ステップ32で、しきい値 $Ducain_LMT$ をテーブル値 $Ducain_LMT_tbl$ と補正係数 $Kducain$ との積に設定するとともに、振幅設定値 R をテーブル値 R_tbl と補正係数 $Kducain$ との積に設定する。

【0126】

次に、ステップ33に進み、前述した式(10)～(26)のアルゴリズムにより、制御入力 $Ucain$ を算出した後、本処理を終了する。

【0127】

次に、図20、21を参照しながら、本実施形態の制御装置1によるカム位相 $Cain$ の制御結果について説明する。まず、図20は、バルブリフト $Lifftin$ を所定の低リフトに保持するとともに、目標カム位相 $Cain_cmd$ を最進角値 $Cain_rtr$ に近い所定値 $Cain1$ と、進角側の所定値 $Cain2$, $Cain3$ ($Cain1 < Cain2 < Cain3$) との間でほぼ矩形波状に変化させた場合の制御結果を示している。

【0128】

同図を参照すると明らかなように、カム位相 $Cain$ が所定値 $Cain1$ に制御されているとき ($t0 \sim t1$, $t4 \sim t5$) には、カム位相 $Cain$ が所定値 $Cain2$ または $Cain3$ に制御されているとき ($t2 \sim t3$, $t6 \sim t7$) と比べて、制御入力 $Ucain$ がより小さな振幅の値に設定されている。これは、前述したように、バルブリフト $Lifftin$ が低リフトである場合、カム位相 $Cain$ が進角域側にあるときには、遅角域側にあるときと比べて、内部 EGR 量がより増大し、クランク角速度変動が大きくなることで、制御入力 $Ucain$ に対するカム位相 $Cain$ の感度が高くなるので、それに応じて、制御入力 $Ucain$ の振幅がより小さい値に設定されることによる。

【0129】

また、図21は、バルブリフト $Lifftin$ および目標カム位相 $Cain_cmd$ を所定の一定値に保持するとともに、制御入力 $Ucain$ の振幅を変化させたときの制御結果を示している。同図において、時刻 $t11 \sim t12$ の制御結果が本実施形態の制御アルゴリズムによるものであり、時刻 $t10 \sim t11$ の制御結果は、制御入力 $Ucain$ の振幅を本実施形態の制御アルゴリズムによって算出された値よりも意図的に小さく設定した場合のものを示しており、時刻 $t12$ 以降の制御結果は、制御入力 $Ucain$ の振幅を本実施形態の制御アルゴリズムによって算出された値よりも意図的に大きく設定した場合のものを示している。同図を参照すると明らかなように、制御入力 $Ucain$ の振幅を、可変

10

20

30

40

50

カム位相機構 70 における制御入力 U_{cain} に対するカム位相 C_{ain} の感度および非線形特性に応じた適切な値に設定した場合にのみ、制御の分解能および制御精度をいずれも高いレベルで確保できる一方、制御入力 U_{cain} の振幅を、そのような適切な値よりも小さく設定したり、大きく設定したりすると、制御の分解能および制御精度がいずれも低下することが判る。

【0130】

以上のような本実施形態の制御装置 1 によれば、SLD 制御入力 R_{sld} が、目標値フィルタ型 2 自由度スライディングモード制御アルゴリズムにより算出され、この SLD 制御入力 R_{sld} を用い、変調アルゴリズムを適用した変調アルゴリズムにより、可変カム位相機構 70 への制御入力 U_{cain} が算出される。この場合、SLD 制御入力 R_{sld} は、目標値フィルタ型 2 自由度スライディングモード制御アルゴリズムにより算出されるので、可変カム位相機構 70 の非線形特性が影響しない状況では、カム位相 C_{ain} の目標カム位相 C_{ain_cmd} への追従速度および追従挙動をいずれも高いレベルで確保できる特性を備えた値として算出される。

【0131】

また、制御入力 U_{cain} は、変調値 $D_{ucain_L_dsm}$ 、大偏差成分値 D_{ucain_H} および中心値 U_{cain_cent} の総和として算出される。この中心値 U_{cain_cent} は、前述したように、非線形フィルタ 120 のフィルタリング特性により、SLD 制御入力 R_{sld} のマクロ的な変化に精度良く追従するような値として算出される。また、変調値 $D_{ucain_L_dsm}$ は、前述したように、SLD 制御入力 R_{sld} の変動が小さい場合、カム位相 C_{ain} の目標カム位相 C_{ain_cmd} への追従速度および追従挙動をいずれも高いレベルで確保できるという特性を確保しながら、可変カム位相機構 70 の非線形特性を補償できる値として算出される。これに加えて、大偏差成分値 D_{ucain_H} は、制御の速応性が要求される状況で、それを確保できる値として算出されるとともに、それ以外の状況では値 0 として算出される。

【0132】

したがって、これらの 3 つの値 $D_{ucain_L_dsm}$ 、 D_{ucain_H} 、 U_{cain_cent} の総和として算出される制御入力 U_{cain} を用いることにより、カム位相制御において、SLD 制御入力 R_{sld} の変動が小さい場合には、可変カム位相機構 70 の非線形特性を補償しながら、カム位相 C_{ain} の目標カム位相 C_{ain_cmd} への追従速度および追従挙動をいずれも高いレベルで確保できる。その結果、カム位相制御において、高レベルの制御の分解能を確保でき、高い制御精度を確保することができる。これに加えて、SLD 制御入力 R_{sld} の変動が大きく、制御の速応性が要求される状況では、制御入力 U_{cain} に含まれる大偏差成分値 D_{ucain_H} により、そのような速応性を確保できる。

【0133】

さらに、しきい値 D_{ucain_LMT} および振幅設定値 R が、バルブリフト L_{ift} 、カム位相 C_{ain} 、エンジン回転数 NE 、油圧 P_{oil} および油温 T_{oil} に応じて算出されるとともに、そのように算出されたしきい値 D_{ucain_LMT} および振幅設定値 R を用いることで、変調値 $D_{ucain_L_dsm}$ すなわち制御入力 U_{cain} が算出されるので、制御入力 U_{cain} により、これらのパラメータの変化に伴う可変カム位相機構 70 の非線形特性の変化、および制御入力 U_{cain} に対するカム位相 C_{ain} の感度の変化を適切に補償することができる。それにより、制御の分解能をより高めることができ、制御精度を向上させることができる。

【0134】

これに加えて、中心値 U_{cain_cent} が SLD 制御入力 R_{sld} のマクロ的な変化に精度良く追従するような値として算出されるので、変調された制御入力の振幅の中心値が変化しない従来の場合と比べて、制御入力 U_{cain} の振幅をより小さい値に設定することができる。その結果、SLD 制御入力 R_{sld} の変動幅が大きいときでも、高レベルの制御の分解能を確保でき、高い制御精度を確保することができる。

【 0 1 3 5 】

さらに、変調値 $Ducain_L_dsm$ の算出アルゴリズムとして、変調アルゴリズムを適用したアルゴリズムを用いているので、変調アルゴリズムの特性により、小偏差成分値 $Ducain_L$ が値 0 に近づくほど、すなわちカム位相 $Cain$ が目標カム位相 $Cain_cmd$ に近い状況にあって、 SLD 制御入力 $Rsl d$ が変動しなくなるほど、制御入力 $Ucain$ の反転周波数がより高くなる。その結果、反転周波数が一定の PWM またはディザにより変調された制御入力 $Ucain$ を用いる場合と比べて、カム位相 $Cain$ の目標カム位相 $Cain_cmd$ への収束性を高めることができる。

【 0 1 3 6 】

なお、第 1 実施形態の非線形フィルタ 120 は、メジアンフィルタ 121 と フィルタ 122 を組み合わせたものであるが、非線形フィルタとして、メジアンフィルタ 121 に代えて移動平均フィルタを用いたもの、すなわち移動平均フィルタと フィルタ 122 を組み合わせたものを用いてもよい。この場合、移動平均フィルタのアルゴリズムは、下式 (27) のように表され、同式 (27) の ma は、整数であり、 $m - ma + 1$ が成立するように設定される。

【 0 1 3 7 】

【 数 9 】

$$Rsl d_flt(k) = \frac{1}{ma+1} \sum_{i=0}^{ma} Rsl d(i) \quad \dots\dots (27)$$

【 0 1 3 8 】

以上のように、移動平均フィルタと フィルタ 122 を組み合わせ非線形フィルタを用いた場合でも、前述した非線形フィルタ 120 と同様の作用効果を得ることができる。すなわち、 SLD 制御入力 $Rsl d$ におけるインパルス状のノイズの影響を回避しながら、中心値 $Ucain_cent$ を算出することができるとともに、 SLD 制御入力 $Rsl d$ がステップ状に大幅に変化した場合でも、中心値 $Ucain_cent$ をそのような SLD 制御入力 $Rsl d$ の変化に対して高い追従性を示す値として算出することができる。また、 SLD 制御入力 $Rsl d$ が比較的小さい振幅のノイズを含む場合でも、中心値 $Ucain_cent$ の算出において、その影響を抑制することができる。

【 0 1 3 9 】

また、第 1 実施形態は、振幅設定値 R およびしきい値 $Ducain_LMT$ のテーブル値を、テーブル検索により算出するとともに、算出に用いるテーブルを、バルブリフト $Liftin$ およびカム位相 $Cain$ に応じて切り換えた例であるが、振幅設定値 R およびしきい値 $Ducain_LMT$ の算出手法はこれに限らず、これらの値を、バルブリフト $Liftin$ 、カム位相 $Cain$ およびエンジン回転数 NE に応じて算出する手法であればよい。例えば、振幅設定値 R およびしきい値 $Ducain_LMT$ のマップ値が、カム位相 $Cain$ およびエンジン回転数 NE に応じて設定された複数のマップを、バルブリフト $Liftin$ に応じて切り換えるようにしてもよい。

【 0 1 4 0 】

さらに、第 1 実施形態は、本発明の制御装置を、プラントとしての油圧駆動式の可変カム位相機構 70 を制御するものに適用した例であるが、本願発明の制御装置はこれに限らず、非線形特性を備えた様々な産業機器を制御するものに適用可能である。例えば、本発明の制御装置を、電磁駆動式の可変カム位相機構を介してカム位相 $Cain$ を制御するものや、可変バルブリフト機構 50 を介してバルブリフト $Liftin$ を制御するものに適用してもよい。

【 0 1 4 1 】

また、第 1 実施形態は、制御装置 1 を、吸気弁 4 のカム位相 $Cain$ を変更する可変カム位相機構 70 の制御に適用した例であるが、本発明の制御装置はこれに限らず、排気カム 6 のクランクシャフト 3d に対する位相を変更する機構にも適用可能である。

【 0 1 4 2 】

次に、図 2 2 を参照しながら、本発明の第 2 実施形態に係る制御装置 1 A について説明する。なお、以下の説明では、第 1 実施形態と同じ構成に関しては、同じ符号を付すとともに、その説明は省略する。同図に示すように、この制御装置 1 A も、カム位相 C a i n を制御するものであり、前述した第 1 実施形態の制御装置 1 と比べると、制御装置 1 の D S M コントローラ 1 5 0 に代えて、S D M コントローラ 2 5 0 を備えている点が異なっていると同時に、それに伴って、加算器 2 6 0 における制御入力 U c a i n の算出アルゴリズムが加算器 1 6 0 のものと異なっている。したがって、以下の説明では、これらの異なる点についてのみ説明する。

【 0 1 4 3 】

この S D M コントローラ 2 5 0 では、以下の式 (2 8) ~ (3 3) に示す 変調アルゴリズムを適用したアルゴリズムで変調することにより、変調値 D u c a i n _ L _ s d m が算出される。

【 0 1 4 4 】

【 数 1 0 】

$$r(k) = \text{Duca}_{\text{in}}\text{L}(k) \quad \dots\dots (28)$$

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

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

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

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

$$\text{Duca}_{\text{in}}\text{L}_{\text{sdm}}(k) = u(k) \quad \dots\dots (33)$$

【 0 1 4 5 】

また、加算器 2 6 0 では、下式 (3 4) により、制御入力 U c a i n が算出される。

【 数 1 1 】

$$\text{Ucain} = \text{Duca}_{\text{in}}\text{L}_{\text{sdm}} + \text{Duca}_{\text{in}}\text{H} + \text{Ucain}_{\text{cent}} \quad \dots\dots (34)$$

【 0 1 4 6 】

以上のような第 2 実施形態の制御装置 1 A によれば、S D M コントローラ 2 5 0 により、変調値 D u c a i n _ L _ s d m が算出され、それを用いて制御入力 U c a i n が算出されるので、前述した制御装置 1 と同様の作用効果を得ることができる。特に、 変調アルゴリズムも、 変調アルゴリズムと同様に、小偏差成分値 D u c a i n _ L が値 0 に近づくほど、すなわちカム位相 C a i n が目標カム位相 C a i n _ c m d に近づくことで、S L D 制御入力 R s l d が変動しなくなるほど、制御入力 U c a i n の反転周波数がより高くなるという特性を備えているので、反転周波数が一定の P W M またはディザにより変調された制御入力 U c a i n を用いる場合と比べて、カム位相 C a i n の目標カム位相 C a i n _ c m d への収束性を高めることができる。

【 0 1 4 7 】

次に、図 2 3 を参照しながら、本発明の第 3 実施形態に係る制御装置 1 B について説明する。なお、以下の説明では、第 1 実施形態と同じ構成に関しては、同じ符号を付すとともに、その説明は省略する。本実施形態の制御装置 1 B も、カム位相 C a i n を制御するものであり、前述した第 1 実施形態の制御装置 1 と比べると、D S M コントローラ 1 5 0 に代えて D M コントローラ 3 5 0 を備えている点が異なっていると同時に、それに伴って

10

20

30

40

50

、加算器 360 における制御入力 U_{cain} の算出アルゴリズムが加算器 160 のものと異なっている。したがって、以下の説明では、これらの異なる点についてのみ説明する。

【0148】

この DM コントローラ 350 では、以下の式 (35) ~ (39) に示す 変調アルゴリズムを適用したアルゴリズムで変調することにより、変調値 $Ducain_L_dm$ が算出される。

【0149】

【数 12】

$$r(k) = Ducain_L(k) \quad \dots\dots (35)$$

10

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

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

$$u(k) = fnl(\delta(k)) \quad \dots\dots (38)$$

$$Ducain_L_dm(k) = u(k) \quad \dots\dots (39)$$

20

【0150】

また、加算器 360 では、下式 (40) により、制御入力 U_{cain} が算出される。

【数 13】

$$U_{cain} = Ducain_L_dm + Ducain_H + U_{cain_cent} \quad \dots\dots (40)$$

【0151】

以上のような第 3 実施形態の制御装置 1B によれば、DM コントローラ 350 により、変調値 $Ducain_L_dm$ が算出され、それを用いて制御入力 U_{cain} が算出されるので、前述した制御装置 1 と同様の作用効果を得ることができる。特に、変調アルゴリズムも、変調アルゴリズムと同様に、小偏差成分値 $Ducain_L$ が値 0 に近づくほど、すなわちカム位相 $Cain$ が目標カム位相 $Cain_cmd$ に近づくことで、SLD 制御入力 $R_{sl d}$ が変動しなくなるほど、制御入力 U_{cain} の反転周波数がより高くなるという特性を備えているので、反転周波数が一定の PWM またはディザにより変調された制御入力 U_{cain} を用いる場合と比べて、カム位相 $Cain$ の目標カム位相 $Cain_cmd$ への収束性を高めることができる。

30

【0152】

なお、以上の各実施形態は、変調アルゴリズム、変調アルゴリズムおよび変調アルゴリズムを適用したアルゴリズムによって、制御値を変調することにより、制御入力 U_{cain} を算出した例であるが、制御入力の算出に用いる変調アルゴリズムはこれに限らず、制御値を変調することにより、制御入力を算出できるものであればよい。例えば、変調アルゴリズムとして、PWM (Pulse Width Modulation) アルゴリズムや、ディザにより制御値を変調するアルゴリズムを用いてもよい。

40

【図面の簡単な説明】

【0153】

【図 1】本発明の第 1 実施形態に係る制御装置が適用された内燃機関の概略構成を示す模式図である。

【図 2】制御装置の概略構成を模式的に示す図である。

【図 3】内燃機関の可変式吸気動弁機構および排気動弁機構の概略構成を示す断面図である。

50

【図 4】可変式吸気動弁機構の可変バルブリフト機構の概略構成を示す断面図である。

【図 5】(a) リフトアクチュエータの短アームが最大リフト位置にある状態と (b) 最小リフト位置にある状態を示す図である。

【図 6】(a) 可変バルブリフト機構の下リンクが最大リフト位置にあるときの吸気弁の開弁状態と (b) 最小リフト位置にあるときの吸気弁の開弁状態を示す図である。

【図 7】可変バルブリフト機構の下リンクが最大リフト位置にあるときの吸気弁のバルブリフト曲線 (実線) と、最小リフト位置にあるときのバルブリフト曲線 (2 点鎖線) をそれぞれ示す図である。

【図 8】可変カム位相機構の概略構成を模式的に示す図である。

【図 9】可変カム位相機構により、カム位相が最遅角値に設定されているときの吸気弁のバルブリフト曲線 (実線) と、カム位相が最進角値に設定されているときの吸気弁のバルブリフト曲線 (2 点鎖線) をそれぞれ示す図である。

【図 10】制御装置の概略構成を示すブロック図である。

【図 11】非線形フィルタの概略構成を示すブロック図である。

【図 12】カム位相制御処理を示すフローチャートである。

【図 13】目標カム位相のマッピング値 $Cain_cmd_map$ の算出に用いるマップの一例を示す図である。

【図 14】制御入力 $Ucain$ の算出処理を示すフローチャートである。

【図 15】振幅設定値 R およびしきい値 $Ducain_LMT$ の高リフト & 遅角域用値 R_tbl1 , $Ducain_LMT_tbl1$ の算出に用いるテーブルの一例を示す図である。

【図 16】振幅設定値 R およびしきい値 $Ducain_LMT$ の高リフト & 非遅角域用値 R_tbl2 , $Ducain_LMT_tbl2$ の算出に用いるテーブルの一例を示す図である。

【図 17】振幅設定値 R およびしきい値 $Ducain_LMT$ の低リフト & 遅角域用値 R_tbl3 , $Ducain_LMT_tbl3$ の算出に用いるテーブルの一例を示す図である。

【図 18】振幅設定値 R およびしきい値 $Ducain_LMT$ の低リフト & 進角域用値 R_tbl4 , $Ducain_LMT_tbl4$ の算出に用いるテーブルの一例を示す図である。

【図 19】補正係数 $Kducain$ の算出に用いるマップの一例を示す図である。

【図 20】カム位相の制御結果の一例を示すタイミングチャートである。

【図 21】制御入力 $Ucain$ を意図的に変化させた場合の制御結果例を示すタイミングチャートである。

【図 22】第 2 実施形態に係る制御装置の概略構成を示すブロック図である。

【図 23】第 3 実施形態に係る制御装置の概略構成を示すブロック図である。

【符号の説明】

【0154】

1, 1A, 1B 制御装置

2 ECU (制御量検出手段、目標値設定手段、制御値算出手段、制御入力算出手段、振幅設定手段、カム位相検出手段、目標カム位相設定手段、中心値設定手段)

3 内燃機関

3d クランクシャフト

4 吸気弁

6 吸気カム

7 排気弁

9 排気カム

20 クランク角センサ (制御量検出手段、カム位相検出手段)

22 カム角センサ (制御量検出手段、カム位相検出手段)

10

20

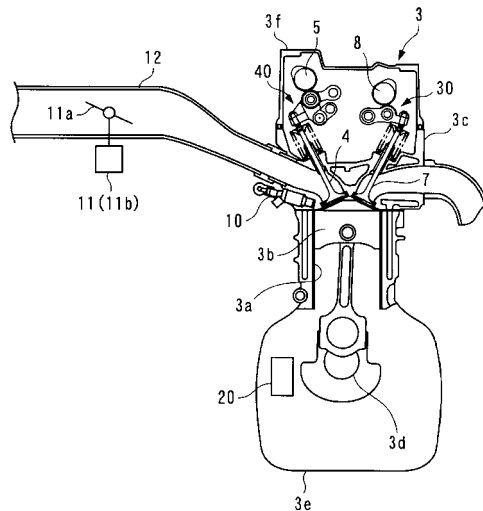
30

40

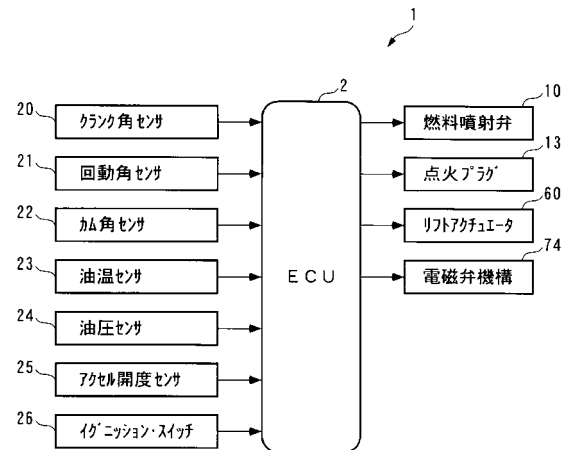
50

5 0	可変バルブリフト機構	
7 0	可変カム位相機構	
9 0	プラント	
1 0 0	目標カム位相算出部（目標値設定手段、目標カム位相設定手段）	
1 1 0	2 自由度 S L D コントローラ（制御値算出手段）	
1 2 0	非線形フィルタ（制御入力算出手段、中心値設定手段）	
1 3 0	しきい値設定部（制御入力算出手段、振幅設定手段）	
1 4 0	リミッタ（制御入力算出手段）	
1 5 0	D S M コントローラ（制御入力算出手段）	
1 6 0	加算器（制御入力算出手段）	10
2 5 0	S D M コントローラ（制御入力算出手段）	
2 6 0	加算器（制御入力算出手段）	
3 5 0	D M コントローラ（制御入力算出手段）	
3 6 0	加算器（制御入力算出手段）	
	R s l d	S L D 制御入力（制御値）
	U c a i n	制御入力
U c a i n _ _ c e n t		中心値
	C a i n	カム位相（制御量、パラメータ）
C a i n _ _ c m d		目標カム位相（目標値）
	R	振幅設定値（制御入力の振幅）
	L i f t i n	吸気弁のリフト（パラメータ）
	N E	エンジン回転数（パラメータ）
	P o i l	油圧（パラメータ）
	T o i l	油温（パラメータ）

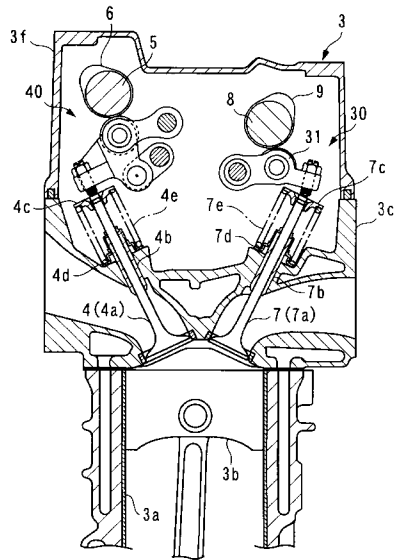
【図1】



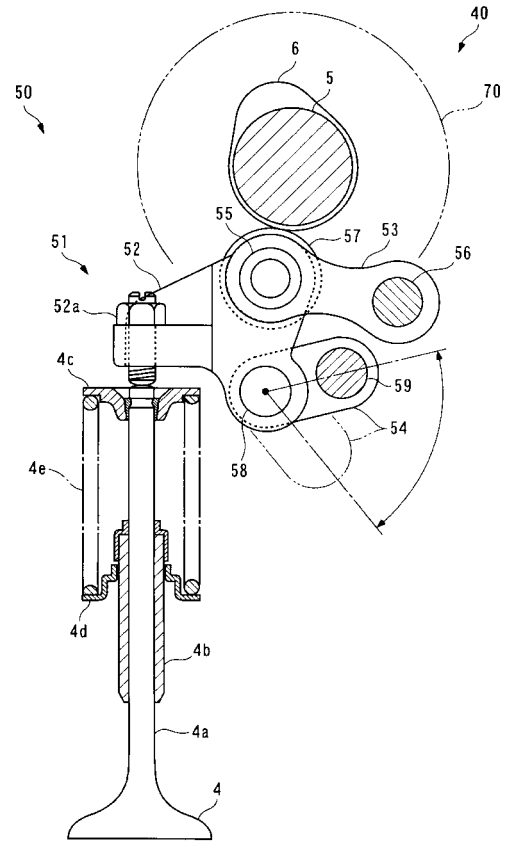
【図2】



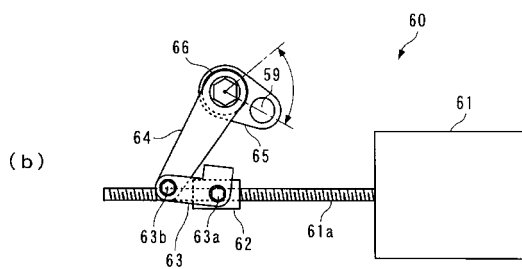
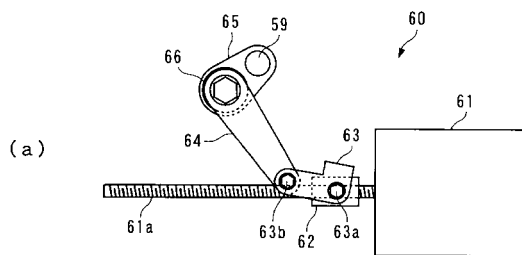
【図 3】



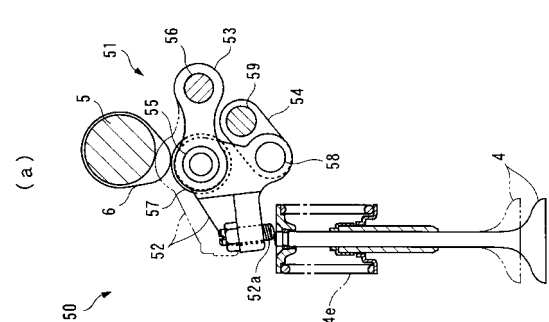
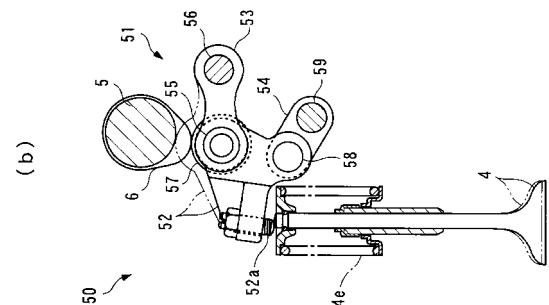
【図 4】



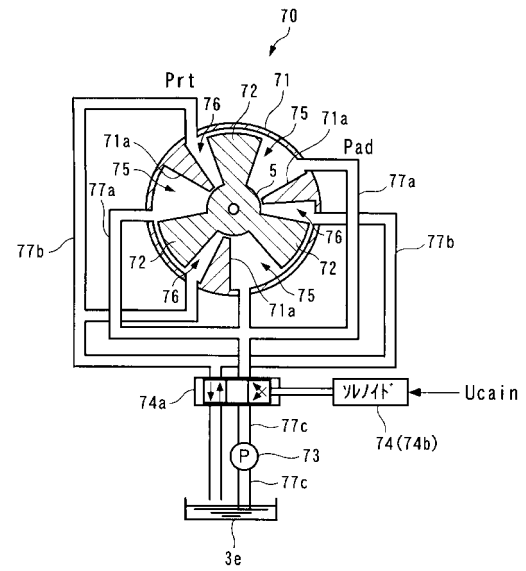
【図 5】



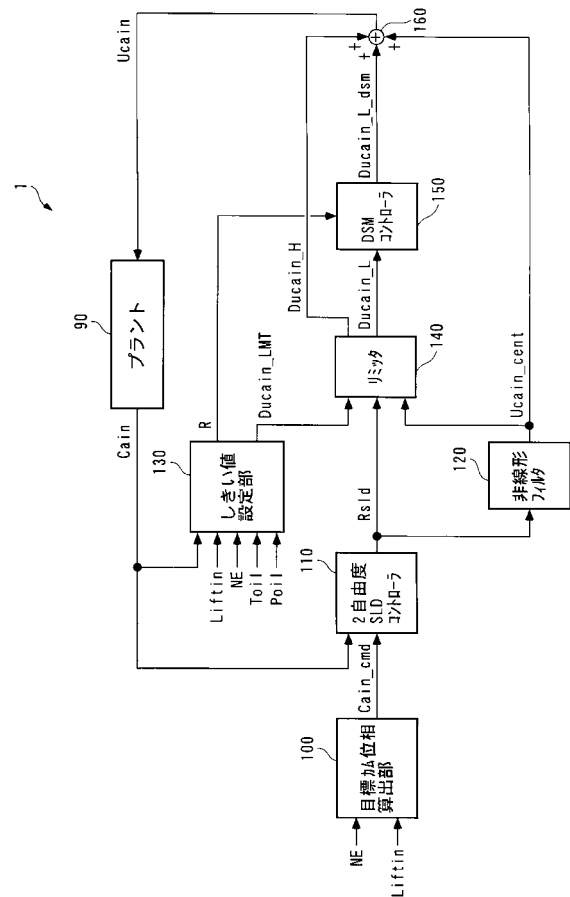
【図 6】



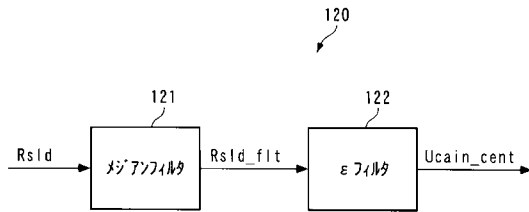
【 図 8 】



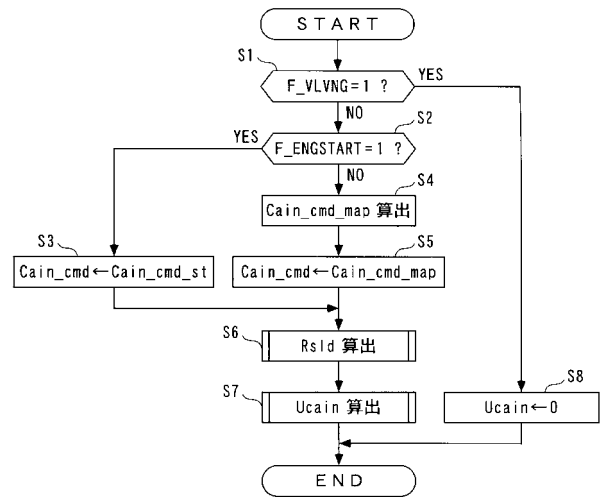
【 図 1 0 】



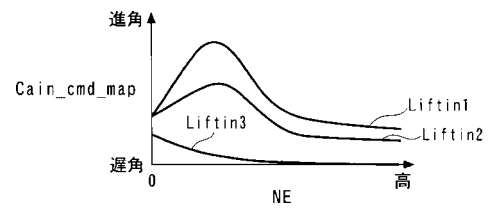
【図 1 1】



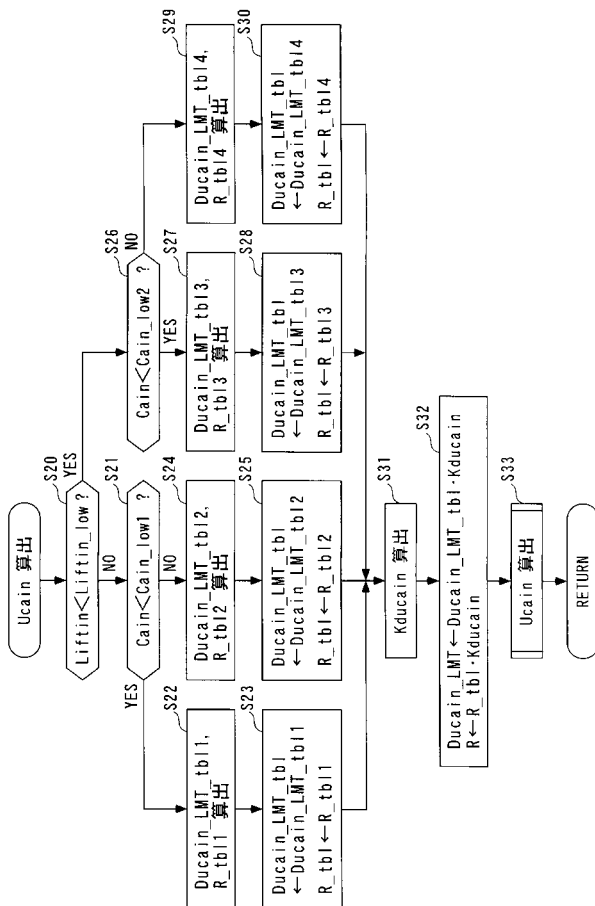
【図 1 2】



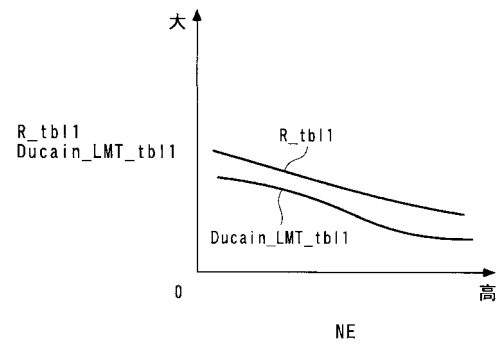
【図 1 3】



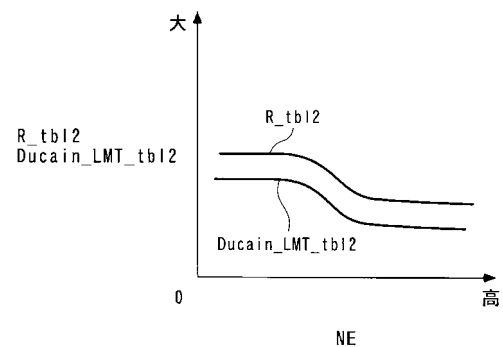
【図 1 4】



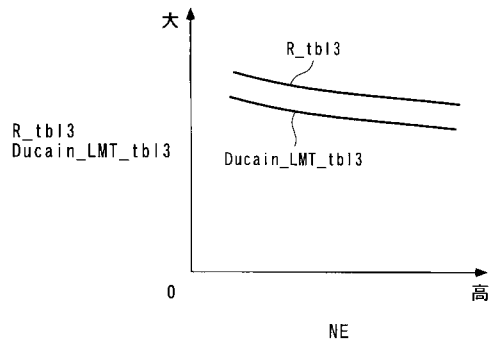
【図 1 5】



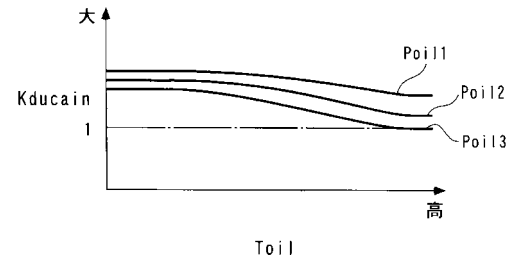
【図 1 6】



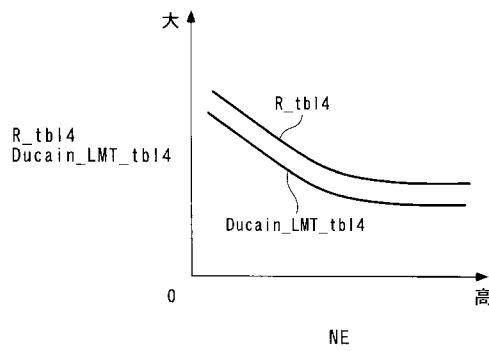
【図 17】



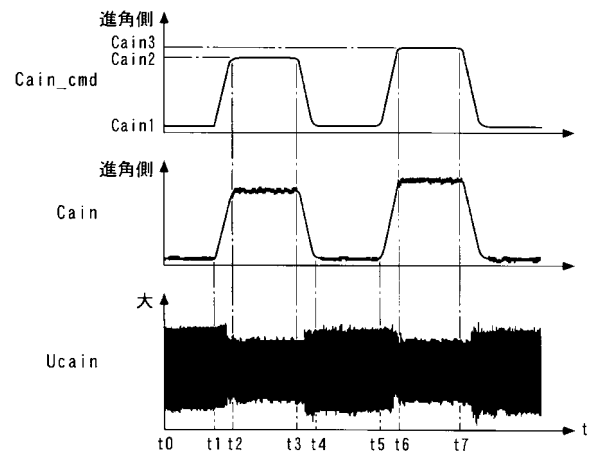
【図 19】



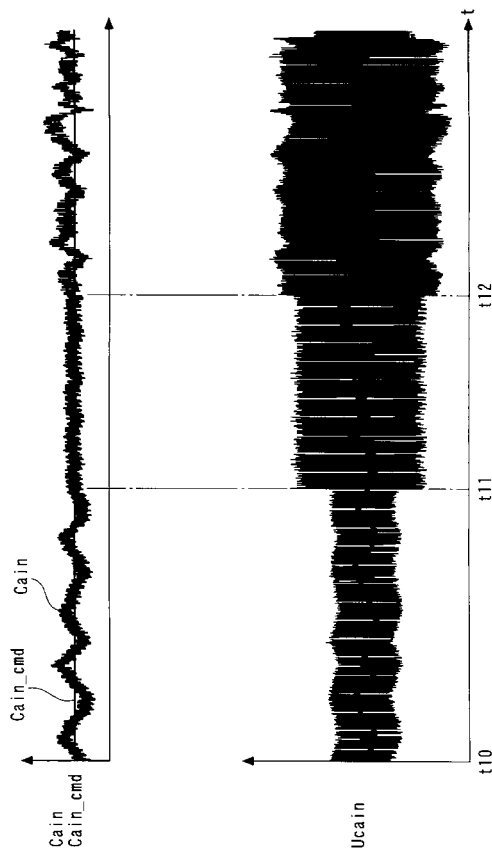
【図 18】



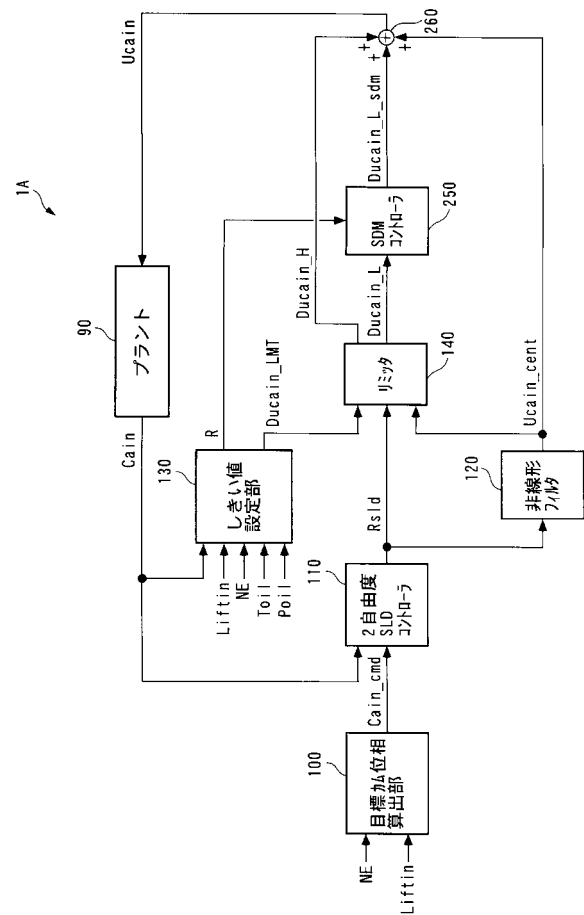
【図 20】



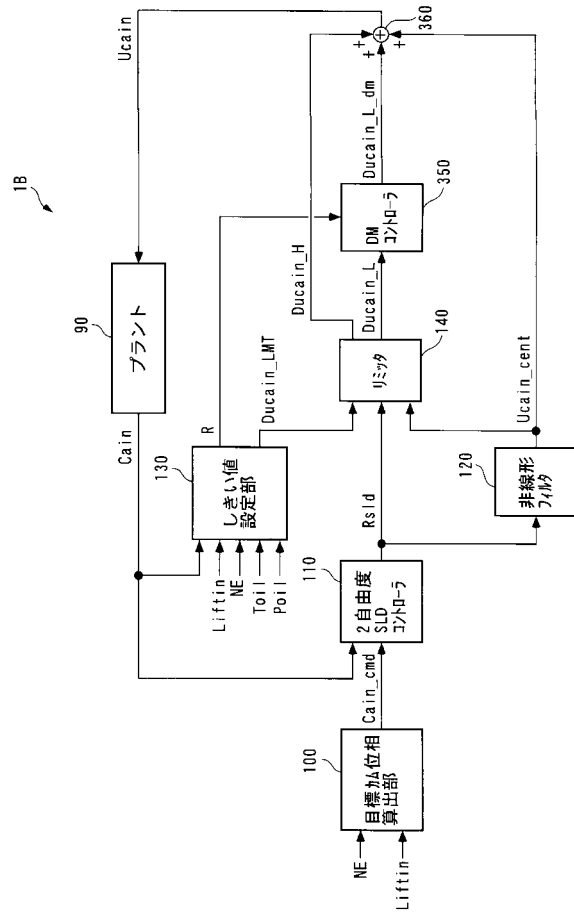
【図 21】



【図 22】



【図 23】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平 10 - 231741 (JP, A)
特開 2003 - 214227 (JP, A)
特開 2003 - 195908 (JP, A)
特開 2001 - 132482 (JP, A)
国際公開第 2005 / 015325 (WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F02D 29/00 - 29/06
F02D 41/00 - 41/40
F02D 43/00 - 45/00
F01L 13/00