

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

①1 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

3 143 686

②1 N° d'enregistrement national : 22 13438

⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : F 02 D 41/02 (2023.01), F 02 D 41/30

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 15.12.22.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 21.06.24 Bulletin 24/25.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : Vitesco Technologies GmbH — DE.

⑦2 Inventeur(s) : ELOY Stéphane et PATY Jonathan.

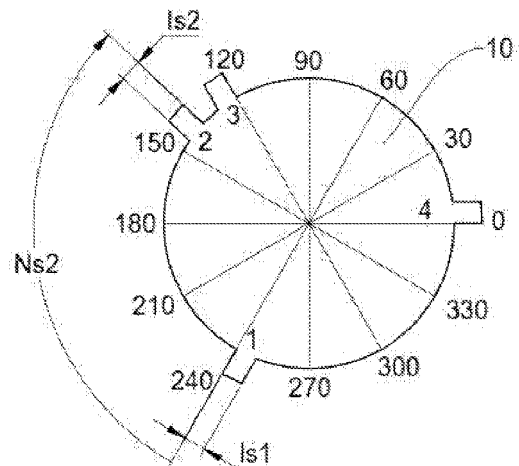
⑦3 Titulaire(s) : Vitesco Technologies GmbH.

⑦4 Mandataire(s) : Vitesco Technologies France.

⑤4 Perfectionnement d'un procédé de synchronisation de la position angulaire d'un arbre à cames de moteur à combustion interne.

⑤7 Procédé de synchronisation pour un arbre à cames muni d'une cible comportant N reliefs, un front préféré étant soit montant soit descendant, ledit procédé comportant les étapes suivantes : a) acquisition par un capteur d'un signal et horodatage, b) à la fin du passage d'un relief, détermination d'une vitesse de rotation instantanée (Is), c) à chaque passage d'un deuxième front préféré, calcul des valeurs possibles de vitesse de rotation normale Nsn correspondant à la vitesse de passage entre les deux reliefs, d) calcul d'une grandeur représentative As des deux vitesses de rotation instantanées (Is) pour les deux reliefs de l'étape c), e) comparaison de As avec chacune des valeurs Nsn, f) élimination de valeurs possibles de vitesse de rotation normale qui ne sont pas plausibles, g) répétition de a) à f) jusqu'à ce qu'il ne reste plus qu'une seule valeur possible de vitesse de rotation normale (Nsn).

Figure de l'abrégié : Figure 2



FR 3 143 686 - A1



## Description

### **Titre de l'invention : Perfectionnement d'un procédé de synchronisation de la position angulaire d'un arbre à cames de moteur à combustion interne**

[0001] La présente divulgation concerne un perfectionnement d'un procédé de synchronisation de la position angulaire d'un arbre à cames de moteur à combustion interne.

#### **Domaine technique**

[0002] Le domaine technique de la présente invention est ainsi le domaine du contrôle moteur pour un moteur à combustion interne. La présente divulgation est destinée notamment à un véhicule automobile ou similaire (moto, camion, etc.) mais peut aussi être utilisée pour un autre type de véhicule (bateau ou autre). Elle concerne plus particulièrement mais pas exclusivement un moteur comportant une distribution à programme variable (connue sous le sigle anglais VVT pour Variable Valve Timing) et encore plus particulièrement un moteur avec une distribution à programme variable électrique, c'est-à-dire pour laquelle une position d'arbre à cames est modifiée par un moteur électrique.

#### **Technique antérieure**

[0003] Dans un moteur à combustion interne, des pistons coulissent dans des cylindres et entraînent en rotation un vilebrequin par l'intermédiaire de bielles et ce mouvement est retransmis aux roues du véhicule pour le mouvoir, généralement par l'intermédiaire d'une transmission comportant une boîte de vitesses ou un variateur. Dans un moteur dit à quatre temps, un cycle complet de combustion s'effectue sur deux tours (du volant moteur) soit  $720^\circ$  (appelés degrés vilebrequin ou  $^\circ\text{CRK}$ ). Pour commander une admission et un échappement d'air dans et hors des cylindres, au moins un arbre à cames commande des soupapes. La vitesse de rotation d'un arbre à cames correspond à la moitié (exactement) de la vitesse de rotation du volant moteur (ou du vilebrequin). Il est connu d'avoir aussi un arbre à cames commandant l'ouverture (et la fermeture) de soupapes d'admission et un autre arbre à cames commandant l'ouverture (et la fermeture) de soupapes d'échappement. Pour optimiser le fonctionnement du moteur, il est connu d'agir sur les arbres à cames pour modifier l'ouverture (et la fermeture) des soupapes correspondantes lors d'un cycle de combustion. Chaque arbre à cames est alors muni d'une cible associée à un capteur afin de connaître la position de l'arbre à cames correspondant. Une cible d'arbre à cames se présente généralement sous la forme d'un disque présentant à sa périphérie plusieurs dents. Les dents sont la plupart du temps toutes similaires et sont disposées généralement selon un motif présentant une singularité de manière à permettre de connaître la position de la cible. Une

procédure de synchronisation permet alors de reconnaître la singularité et par la suite de déterminer en continu la position de la cible par rapport au capteur correspondant.

[0004] Une telle synchronisation est utilisée pour connaître la position d'un arbre à cames dans un moteur comportant une distribution à programme variable. Ainsi, il est possible de gérer la distribution variable et d'optimiser les flux gazeux dans le moteur.

[0005] Il est connu qu'il convient de veiller tout particulièrement à une bonne régulation d'un moteur à combustion interne au démarrage de celui-ci. Pour permettre d'adapter la position des arbres à cames dès le démarrage du moteur, il est connu d'utiliser (au moins) un déphaseur fonctionnant grâce à un moteur électrique (à la place d'un actionneur hydraulique qui n'est opérationnel que lorsque la pression d'huile du moteur est assez élevée).

[0006] Habituellement, un système de gestion de moteur identifie des dents de la cible d'arbre à cames uniquement à partir des informations fournies par le capteur d'arbre à cames correspondant pour être robuste aux perturbations du vilebrequin. Ainsi, il est aussi possible d'utiliser la reconnaissance des fronts de dents de la cible d'arbre à cames pour la gestion de la distribution à programme variable mais aussi pour déterminer la position du moteur en cas de défaillance d'un capteur utilisé pour connaître la position du vilebrequin.

[0007] La synchronisation se fait par exemple en mesurant des temps de passage entre des fronts de dent (généralement descendant) et en faisant des rapports entre ces temps de passage. Il faut ainsi attendre le passage de plusieurs dents devant le capteur avant de pouvoir commencer la procédure de synchronisation et il convient en outre parfois de devoir attendre que la vitesse de rotation de la cible soit relativement constante (pas de trop forte accélération comme notamment au démarrage) pour pouvoir obtenir un résultat fiable.

[0008] Le problème à l'origine de la présente divulgation est d'obtenir rapidement une synchronisation de la position de (ou des) l'arbre à cames. Dans le cas de la commande d'une distribution à programme variable, cela permet de pouvoir réguler au mieux plus rapidement les flux gazeux du moteur et dans le cas d'utilisation du signal de capteur d'arbre à cames dans un mode dégradé en cas de défaut de signal de capteur de vilebrequin, de synchroniser au plus vite le moteur.

[0009] Avec les systèmes connus de l'art antérieur, notamment lorsque les dents à la périphérie de la cible sont sensiblement équiréparties, la synchronisation peut être relativement longue, souvent plus de 720°CRK.

### **Résumé**

[0010] La présente divulgation vient améliorer la situation. Elle a alors pour but de fournir un procédé de synchronisation qui lors d'une phase de démarrage permet une synchronisation rapide.

- [0011] Il est proposé un procédé de synchronisation consistant à déterminer la position angulaire d'un arbre à cames lors d'une phase de démarrage d'un moteur à combustion interne comportant un arbre à cames muni d'une cible comportant N reliefs similaires répartis autour de la cible de manière à présenter au moins une singularité, chaque relief présentant deux fronts de relief, un front montant et un front descendant, un front préféré étant choisi entre le front montant et le front descendant.
- [0012] Selon la présente divulgation, ce procédé comporte les étapes suivantes :
- a - acquisition, par un capteur associé à la cible, d'un signal correspondant au passage d'un front de relief et horodatage de ce passage de front,
  - b - à chaque passage d'un front correspondant à la fin du passage d'un relief, calcul d'une vitesse de rotation instantanée en fonction de l'horodatage de l'autre front dudit relief, tous les reliefs ayant une même largeur angulaire,
  - c - à chaque passage d'un premier front préféré puis d'un deuxième front préféré, calcul des valeurs possibles de vitesse de rotation normale correspondant à un écart angulaire possible entre deux reliefs successifs sur la cible divisé par le temps séparant le passage du premier front préféré du passage du deuxième front préféré,
  - d - calcul d'une grandeur représentative d'au moins l'une des deux vitesses de rotation instantanées pour les deux reliefs successifs correspondant au premier front préféré et au deuxième front préféré de l'étape - c -,
  - e - comparaison de ladite grandeur représentative avec chacune des valeurs possibles de vitesse de rotation normale calculées à l'étape - c -,
  - f - élimination de valeurs possibles de vitesse de rotation normale considérées comme non plausibles compte tenu de la comparaison de l'étape - e - selon un critère de plausibilité prédéterminé,
  - g - répétition des étapes - a - à - f - jusqu'à ce qu'il ne reste plus qu'une seule valeur possible de vitesse de rotation normale et identification du relief correspondant au deuxième front préféré courant réalisant ainsi une détermination de la position angulaire de l'arbre à cames.
- [0013] On entend ici par relief une forme en creux ou en bosse. On a alors soit une encoche soit une dent. Dans le cas d'une dent, lors du passage de la dent devant le capteur, ce dernier détecte tout d'abord un front montant puis un front descendant. Dans le cas d'une encoche, le capteur détecte tout d'abord un front descendant puis un front montant.
- [0014] La cible étant disposée sur un arbre à cames, les vitesses mesurées peuvent être soit des vitesses de rotation de l'arbre à cames ou bien des vitesses de rotation moteur. Ainsi par exemple, la vitesse de rotation instantanée à l'étape - b - peut être définie par un ratio d'une largeur angulaire dudit relief sur la cible, divisée par un intervalle de temps entre les passages respectifs des deux fronts dudit relief.

- [0015] À l'étape - c - ci-dessus, le premier front préféré et le deuxième front préféré sont les fronts préférés déjà mentionnés à l'étape - a -.
- [0016] Dans ce procédé, la grandeur représentative d'au moins l'une des deux vitesses de rotation instantanées pour deux reliefs successifs peut-être par exemple la moyenne arithmétique de ces deux vitesses de rotation instantanées.
- [0017] Selon une forme de réalisation, à l'étape - f - une valeur de vitesse normale est éliminée par exemple si elle est supérieure au double, ou inférieure à la moitié, de la valeur moyenne des deux vitesses de rotation instantanées correspondantes.
- [0018] Selon une autre forme de réalisation, le critère de plausibilité à l'étape - f - peut varier en fonction du nombre de fronts de relief détectés depuis le début du procédé de synchronisation.
- [0019] Dans un procédé de synchronisation présenté ci-dessus, on peut prévoir par exemple que si le premier front à l'étape - a - est un front correspondant à une fin de relief, alors à l'étape - b - une vitesse de rotation instantanée nulle est déterminée pour le relief correspondant.
- [0020] Dans une forme de réalisation préférée car mieux adaptée à la plupart des capteurs, chaque relief de la cible est avantageusement un bossage formant une dent.
- [0021] Selon un autre aspect de la présente divulgation, on a un système électronique de gestion d'un moteur à combustion interne configuré pour mettre en œuvre un procédé décrit ci-dessus et comportant :
- un capteur configuré pour détecter les passages des fronts de relief de la cible et pour horodater ces passages ; et
  - un calculateur configuré pour :
    - - recevoir en entrée des données d'horodatage, fournies par le capteur, et relatives aux passages de front de relief,
    - - mettre en œuvre au moins une fois les étapes – b – à – f – du procédé et répéter ces étapes jusqu'à ce qu'il ne reste plus qu'une seule valeur possible de vitesse de rotation normale, de manière à identifier le relief correspondant au deuxième front préféré courant, et
    - - déterminer une position angulaire de l'arbre à cames.
- [0022] Selon un autre aspect, la présente divulgation concerne aussi un moteur à combustion interne, caractérisé en ce qu'il comporte un système électronique de gestion présenté ci-avant. Ce moteur est par exemple du type comportant en outre au moins un arbre à cames associé à un système de distribution à programme variable, ledit système de distribution à programme variable pouvant notamment comporter un moteur électrique associé à un arbre à cames.
- [0023] Selon un autre aspect, il est proposé un programme informatique comportant des instructions pour la mise en œuvre d'un procédé présenté ci-dessus lorsque ce programme

est exécuté par un processeur, notamment une unité de contrôle électronique d'un moteur à combustion interne.

[0024] Selon un autre aspect, il est proposé un support d'enregistrement non transitoire, lisible par un ordinateur, sur lequel est enregistré un tel programme.

### **Brève description des dessins**

[0025] D'autres caractéristiques, détails et avantages apparaîtront à la lecture de la description détaillée ci-après, et à l'analyse des dessins annexés, sur lesquels :

#### **Fig. 1**

[0026] [Fig.1] illustre des exemples de cibles d'arbre à cames pouvant être utilisées pour la mise en œuvre d'un procédé selon la présente divulgation.

#### **Fig. 2**

[0027] [Fig.2] est un schéma illustratif de principe de la mise en œuvre d'un procédé selon la présente divulgation.

#### **Fig. 3**

[0028] [Fig.3] est un schéma illustratif d'une mise en œuvre d'un procédé selon la présente divulgation.

#### **Fig. 4**

[0029] [Fig.4] est un logigramme pour la mise en œuvre d'un procédé selon la présente divulgation.

#### **Fig. 5**

[0030] [Fig.5] est une vue très schématique d'un moteur présentant des moyens pour la mise en œuvre d'un procédé selon la présente divulgation.

### **Description des modes de réalisation**

[0031] La présente description est faite en relation à un moteur à combustion interne, de type quatre temps. De façon connue de l'homme du métier, un moteur à combustion interne comporte un ou plusieurs cylindres à l'intérieur de chacun desquels se trouve une chambre de combustion et dans chacun desquels coulisse un piston relié par une bielle à un vilebrequin. À chaque chambre de combustion est associée au moins une soupape d'admission pour gérer des flux gazeux entrant dans la chambre de combustion et au moins une soupape d'échappement pour gérer des flux gazeux sortant de la chambre de combustion. L'ouverture et la fermeture des soupapes est commandée par un arbre à cames. Un même arbre à cames peut commander toutes les soupapes ou au moins un arbre à cames distinct est prévu pour les soupapes d'admission et au moins un arbre distinct est prévu pour les soupapes d'échappement. La présente divulgation concerne plus particulièrement mais non exclusivement les moteurs avec (au moins) un arbre à cames pour les soupapes d'admission et (au moins) un arbre à cames pour les soupapes d'échappement. En outre, de préférence un système de distribution à programme

variable (connu sous le sigle anglais VVT pour Variable Valve Timing) est prévu. Un tel système connu de l'homme du métier comporte un moteur, par exemple un moteur électrique, qui permet d'introduire un décalage angulaire pour un arbre à cames dans une plage angulaire prédéterminée par rapport à une position de référence pendant que l'arbre à cames est entraîné en rotation par le vilebrequin.

- [0032] Pour connaître la position angulaire d'un arbre à cames (en fonction de son entraînement en rotation par le vilebrequin et le cas échéant en fonction du décalage introduit par le système de distribution à programme variable) il est connu de solidariser une cible à l'arbre à cames considéré et de lui associer un capteur permettant de « lire » la position angulaire de la cible.
- [0033] La [Fig.1] illustre des exemples de cibles d'arbre à cames pouvant être utilisées pour la mise en œuvre de la présente divulgation. Ces cibles se présentent sous la forme d'un disque circulaire présentant des dents qui s'étendent radialement vers l'extérieur à la périphérie du disque. Toutes les dents sont semblables : elles présentent toutes les mêmes dimensions, même hauteur radiale à partir de la périphérie circulaire, même plage angulaire, etc.. Seules sont illustrées des cibles avec des dents à la périphérie. Il s'agit des cibles les plus utilisées mais on pourrait très bien avoir des encoches (en creux au lieu d'être en saillie) à la place des dents.
- [0034] Chaque cible est destinée à être associée à un capteur qui, lorsque la cible tourne en rotation, détecte le passage des dents de la cible, plus précisément le passage d'un front montant puis ensuite d'un front descendant. La technologie des capteurs utilisés habituellement pour ces applications fait que le capteur détecte avec une plus grande précision un type de front, front montant ou front descendant. En fonction du capteur utilisé, un front, montant ou descendant, est appelé aussi front préféré. Toutefois, pour certaines raisons (facilité de calcul par exemple) on pourra choisir pour la synchronisation que le front préféré soit le type de front détecté avec le moins de précision par le capteur. Le choix du front préféré peut ainsi être technique (précision, facilité de calcul, ...) ou bien être arbitraire.
- [0035] Dans la suite de la présente description, à titre purement illustratif et non limitatif, on suppose que pour le capteur utilisé, le front préféré correspond au front descendant. En outre, toujours à titre illustratif et non limitatif, on suppose que pour chaque dent de la cible considérée, l'écart angulaire entre un front montant et un front descendant est de  $20^{\circ}\text{CRK}$  (c'est-à-dire  $20^{\circ}$  de rotation du vilebrequin et donc  $10^{\circ}$  sur la cible d'arbre à cames).
- [0036] Pour pouvoir repérer la position angulaire de la cible sur  $360^{\circ}$  (qui correspondent du coup à  $720^{\circ}\text{CRK}$ ), il faut éviter d'avoir une équirépartition des dents ou une répétition d'un même motif de dents.
- [0037] Dans le premier exemple illustré sur la [Fig.1], trois dents sont équiréparties à la pé-

riphérie de la cible et une quatrième dent est insérée dans ce motif créant ainsi une singularité dans le motif répétitif formé par les trois dents. Ce premier exemple sera repris dans la suite de la description pour illustrer un procédé de synchronisation selon la présente divulgation à titre purement illustratif et non limitatif. Dans ce premier exemple, trois dents sont équiréparties à  $240^\circ\text{CRK}$  (on considère ici uniquement les fronts descendants des dents) et la quatrième dent est placée à  $30^\circ\text{CRK}$  après l'une des dents de ce motif régulier.

- [0038] Le deuxième exemple prévoit la présence de treize dents à la périphérie de la cible. Une dent est isolée, puis en suivant la périphérie de la cible (dans le sens trigonométrique inverse sur la [Fig.1]) on trouve trois ensembles similaires de deux dents chacun puis deux ensembles similaires de trois dents chacun. Les dents d'un même ensemble sont décalées angulairement de  $30^\circ\text{CRK}$  mais globalement, il n'y a pas de motif qui se répète régulièrement à la périphérie de la cible.
- [0039] Le troisième exemple prévoit un ensemble d'une ou plusieurs dents tous les  $180^\circ\text{CRK}$  en considérant un sens de rotation horaire de la cible sur la [Fig.1]. On a alors un « ensemble » avec une dent unique, puis  $180^\circ\text{CRK}$  après un ensemble avec trois dents, puis quatre dents en enfin deux dents. Le quatrième exemple est un peu similaire, avec un « ensemble » d'une ou deux dents tous les  $180^\circ\text{CRK}$  avec deux fois une dent puis deux fois deux dents. On a dans ce dernier exemple deux singularités disposées à  $180^\circ\text{CRK}$  donc non symétriques.
- [0040] Comme déjà indiqué, un procédé de synchronisation selon la présente divulgation va être décrit de manière non limitative sur la base d'un exemple particulier pour permettre de mieux comprendre le fonctionnement dudit procédé. L'exemple est basé (cf. [Fig.2]) sur la première cible de la [Fig.1] qui est celle qui présente le moins grand nombre de dents mais qui n'est pas forcément la cible préférée pour un arbre à cames associé à un système de distribution à programme variable, électrique ou non.
- [0041] De manière originale, alors qu'habituellement un seul front de dent est utilisé, il est proposé ici d'horodater chaque passage de front de dent, les fronts montants et les fronts descendants. En outre, il est proposé de calculer de manière originale des vitesses de rotation (et non pas des ratios de plages angulaires) comme présenté ci-après.
- [0042] La [Fig.2] reprend la première cible 10 de la [Fig.1]. On suppose qu'un capteur est associé de manière connue de l'art antérieur à cette cible. Ledit capteur (non représenté) fournit alors un signal électrique en forme de créneaux avec des fronts correspondant chacun à un passage d'un front de dent. Chaque détection d'un front de dent est horodatée. De la sorte, il est possible de connaître le temps de passage d'une dent. Sur la [Fig.2], les dents de la cible 10 ont été numérotées de 1 à 4. On a également illustré schématiquement la vitesse de rotation de la cible correspondant au

passage de la dent numérotée 1 et de la dent numérotée 2.  $Is1$  correspond ainsi à la vitesse appelée par la suite vitesse instantanée mesurée lors du passage de la dent 1. Cette vitesse est calculée à partir de l'horodatage réalisé au passage d'un front montant puis du front descendant suivant. Par soustraction, le temps de passage de la dent 1 devant le capteur est obtenue. La vitesse instantanée  $Is1$  (en tours vilebrequin par minute par exemple, ou rpm) est obtenue par division de la plage angulaire, soit  $20^{\circ}CRK$ , de la dent 1 par le temps de passage ( $TP1$ ) de la dent, en appliquant le bon coefficient, soit pour une vitesse en tours par minute, une plage angulaire en  $^{\circ}CRK$  et un temps de passage en millisecondes (ms) :

$$Is1 = (20 / 360) / (TP1 / 60.000)$$

$$Is1 = 20.000 / 6 * TP1$$

- [0043] De la même manière, à chaque passage de dent, une vitesse instantanée est déterminée.
- [0044] En outre, il est proposé de déterminer une vitesse  $Ns$ , dite normale, correspondant au temps de passage entre deux dents successives. On utilise ici le temps de passage correspondant à la soustraction de l'horodatage du passage du front préféré de la seconde dent de l'horodatage du passage du front préféré de la première dent. On obtient comme pour la vitesse instantanée (même calcul en adaptant en fonction de l'écart angulaire) une vitesse normale  $Ns2$  lorsqu'on passe de la dent 1 à la dent 2.
- [0045] Dans le présent procédé, on part de l'hypothèse que la vitesse normale  $Ns2$  ne devrait pas être très différente de la vitesse  $Is1$  ni de la vitesse  $Is2$ . Si la vitesse de rotation est sensiblement constante, ces trois vitesses devraient être sensiblement égales. En cas d'accélération, on devrait avoir  $Is1 < Ns2 < Is2$  et en cas de décélération  $Is1 > Ns2 > Is2$ .
- [0046] Pour tenir compte de ces trois cas de figure (vitesse constante, accélération et décélération), il est proposé de déterminer une vitesse moyenne  $As2$  correspondant à la moyenne arithmétique des vitesses  $Is1$  et  $Is2$ , soit :
- $$As2 = (Is1 + Is2) / 2$$
- [0047] La vitesse  $As2$  devrait dans tous les cas de figure être proche de la vitesse  $Ns2$ .
- [0048] Lors de la réalisation d'une synchronisation, les dents de la cible 10 passent devant le capteur mais un système de gestion recevant les signaux émis par le capteur sait reconnaître qu'une dent passe mais ne sait pas de quelle dent il s'agit. Le but de la synchronisation est de permettre audit système de gestion de savoir à chaque passage de dent laquelle des dents est en train de passer devant le capteur.
- [0049] La géométrie de la cible est connue. Pour la cible 10 correspondant au premier exemple de la [Fig.1], on sait que l'écart angulaire entre la dent 1 et la dent 2 est de  $240^{\circ}CRK$ , entre la dent 2 et la dent 3 de  $30^{\circ}CRK$ , entre la dent 3 et la dent 4 de  $210^{\circ}CRK$  et entre la dent 4 et la dent 1 de  $240^{\circ}CRK$ .
- [0050] L'idée est ici de mesurer lors de deux passages de dents (dent (n-1) et dent n)

successifs à la fois les temps de passage de la dent (n-1), de la dent n ainsi que la vitesse normale  $NS_n$  correspondant au temps de passage de la dent (n-1) à la dent n. Ensuite, pour déterminer les dents concernées, c'est-à-dire l'indice n utilisé ici, on détermine tout d'abord la vitesse moyenne  $Av_n$  des vitesses instantanées  $Is_{(n-1)}$  et  $Is_n$ . Ensuite, avec le temps de passage entre la dent (n-1) et la dent n, on détermine les vitesses de passages pour n=1, n=2, n=3 et n=4 (la dent n=0 correspond bien entendu à la dent n=4, les indices étant considérés ici modulo 4) c'est-à-dire les vitesses normales  $Ns_1$ ,  $Ns_2$ ,  $Ns_3$  et  $Ns_4$ . Enfin par comparaison, on élimine les intervalles qui ne peuvent pas être concernés : par exemple si  $As_1$  est cinq fois supérieur à  $Ns_1$ , on est sûr que n ne vaut pas 1. L'hypothèse n=1 est rejetée. Pour le prochain passage de dent, il suffira alors de comparer la vitesse moyenne (des deux vitesses instantanées) à trois valeurs de vitesses normales, une hypothèse ayant définitivement été rejetée. Petit à petit, ou parfois en une seule analyse, il ne reste plus qu'une seule valeur plausible qui est alors la bonne valeur et qui permet donc de valider la synchronisation.

- [0051] Un exemple numérique est donné sur la [Fig.3]. L'axe des abscisses de cette figure correspond au temps qui s'écoule. On a aussi repéré les dents qui défilent au cours du temps devant le capteur d'arbre à cames.
- [0052] La première ligne correspond aux vitesses instantanées calculées avec les temps de passage des fronts successifs à chaque fois qu'une dent passe devant le capteur. La vitesse instantanée est calculée à chaque fois qu'un front descendant passe devant le capteur. Si au départ, au début de la mise en œuvre du processus, le premier front vu par le capteur est un front descendant, on considère que la vitesse instantanée pour la dent correspondante est 0 (tr/min ou rpm).
- [0053] La ligne suivante indique la valeur AS, c'est-à-dire la valeur moyenne (moyenne arithmétique) des deux vitesses instantanées. On a ainsi par exemple  $364=(0+728)/2$  ou bien encore  $1087=(1004+1170)/2$ .
- [0054] Ensuite, sur la ligne appelée  $Ns$  figure la vitesse moyenne correspondant en fait à la vitesse réelle de rotation du moteur cherchée. Cette vitesse est calculée en fonction des temps de passages mesurés et de l'écart angulaire entre les deux dents considérées.
- [0055] Ensuite, les quatre dernières lignes correspondent aux hypothèses faites sur n. pour la première valeur indiquée sur la ligne n=1, on suppose que le front descendant (c'est-à-dire le front préféré) face au capteur est celui de la dent 1. On calcule alors avec le temps de passage depuis le passage du dernier front descendant comme si on passait de la dent 4 à la dent 1, c'est-à-dire avec un écart angulaire de  $240^\circ\text{CRK}$ . On calcule donc avec un temps de passage qui correspond à  $30^\circ\text{CRK}$  une vitesse de passage correspondant à  $240^\circ\text{CRK}$ . On a donc une vitesse environ huit fois plus élevée que la vraie vitesse de rotation. On fait de même pour n=2, n=3 et n=4. On peut ainsi au fur et à mesure remplir les quatre dernières lignes. Ici, ces lignes sont remplies à

titre illustratif car on va voir dans la suite de la description que la synchronisation pourra être réalisée avant de pouvoir réaliser tous ces calculs, en moins d'un tour de cible.

- [0056] La [Fig.3] illustre le cas le plus favorable où le démarrage du moteur se fait lorsque la dent 2 illustrée sur la [Fig.2] se trouve face au capteur. Le premier temps de passage entre deux dents successives est donc le temps de passage de la dent 2 à la dent 3, c'est-à-dire le temps de passage le plus court qui correspond à une rotation du moteur de  $30^{\circ}\text{CRK}$ . Dans l'exemple illustré, on a une vitesse réelle entre le passage du front descendant de la dent 2 et le passage du front descendant de la dent 3 de 461 rpm pour un écart angulaire de  $30^{\circ}\text{CRK}$ . On a donc ici un temps de passage d'environ 7,23 ms. Lorsque le front descendant de la dent 3 se trouve face au capteur, on a donc en mémoire un temps de passage depuis la dernière dent de 7,23 ms. On fait alors successivement les hypothèses que le capteur est face à la dent 1, puis face à la dent 2, puis face à la dent 3 puis enfin face à la dent 4.
- [0057] Si le capteur est face à la dent 1, depuis le dernier front préféré, c'est-à-dire le front descendant de la dent 4, un écart angulaire de  $240^{\circ}\text{CRK}$  aurait été réalisé ce qui correspond à une vitesse de 3688 rpm. En supposant qu'il s'agit de la dent 2, on aurait le même écart angulaire et donc la même vitesse soit 3688 rpm. L'hypothèse pour la dent 3 correspond à la réalité soit 461 rpm. Enfin en supposant que le capteur se trouve face à la dent 4, l'écart angulaire serait de  $210^{\circ}\text{CRK}$  correspondant à une vitesse de 3227 rpm.
- [0058] En comparant ces quatre valeurs issues des hypothèses réalisées à la valeur  $A_s$  (qui vaut ici 364 rpm) on remarque que les valeurs de 3688 et 3227 ne sont pas plausibles puisqu'environ 10 fois respectivement 9 fois supérieures à la valeur de  $A_s$ . On peut donc de suite affirmer que le capteur se trouve au niveau du front descendant de la dent 3.
- [0059] Cet exemple est le plus favorable. Toutefois, à partir d'un autre point de départ, on peut à chaque mesure de temps de passage éliminer une hypothèse et dès que le capteur arrive face au front descendant de la dent 3, on est sûr avec cette configuration de cible d'avoir une synchronisation fiable.
- [0060] La synchronisation est réalisée ici en éliminant, lorsque c'est possible, à chaque nouveau passage de dent une, ou plusieurs, hypothèse(s) non plausible(s) en fonction des temps de passage mesurés jusqu'à ce qu'il ne reste plus qu'une seule hypothèse qui est alors validée. Après la détermination du temps de passage d'une dent à la suivante, en connaissant, d'une part, la longueur angulaire d'une dent et, d'autre part, les longueurs angulaires entre deux dents successives, un calcul de vitesse normale de rotation du moteur est fait pour chacune des longueurs angulaires entre deux dents successives. Toutes les vitesses normales calculées sont alors comparées à la moyenne des

deux dernières vitesses instantanées et on élimine les valeurs de vitesses normales incohérentes avec la vitesse moyenne des vitesses instantanées. Quand il ne subsiste plus qu'une seule valeur possible, alors la synchronisation est faite. On peut par exemple considérer que si une vitesse normale est plus que deux fois supérieure à la moyenne arithmétique des deux vitesses instantanées alors elle n'est pas plausible.

- [0061] Le logigramme de la [Fig.4] est un exemple de mise en œuvre du procédé de synchronisation présenté ici.
- [0062] Une première étape 100 correspond à la surveillance par le capteur du passage d'un front de dent de la cible arbre à cames, de la détermination de la nature du front, front montant ou front descendant, et à l'horodatage de ce passage de front de dent devant le capteur.
- [0063] À l'étape 200, il convient de déterminer si le dernier front de dent correspond à un front préféré. On suppose ici que le front préféré est le front descendant. Si c'est le cas (option 1) au cours d'une étape 300 il est prévu de calculer, d'une part, la vitesse instantanée de passage de la dent correspondante et, d'autre part, le temps écoulé depuis le passage du front préféré précédent. Si ce front de dent est le premier front de dent détecté, on considérera que la vitesse instantanée de passage de la dent est nulle et aucun temps écoulé entre deux dents ne peut être déterminé. Si ce front de dent est le deuxième (le précédent est donc logiquement un front montant), la vitesse instantanée peut être calculée mais pas le temps écoulé depuis le précédent passage d'un front préféré (descendant).
- [0064] On peut prévoir aussi au cours de l'étape 300 (ou ultérieurement) de calculer une vitesse normale pour toutes les hypothèses envisageables. Le capteur vient de détecter le front préféré d'une dent  $n$ . On a déterminé le temps qui s'est écoulé depuis le passage du front préféré de la dent  $(n-1)$  précédente. On peut alors déterminer pour toutes les valeurs de  $n$  (dans l'exemple des figures 2 et 3,  $n$  varie de 1 à 4) les vitesses normales  $N_{sn}$ . Pour chaque dent  $n$  on connaît l'écart angulaire entre le front préféré de la dent  $(n-1)$  et le front préféré de la dent  $n$  qui dépend uniquement de la géométrie de la cible. Cet écart angulaire est alors divisé par le temps que l'on vient de déterminer entre le passage du front préféré de la dent  $(n-1)$  et celui du front préféré de la dent  $n$ .
- [0065] Si à l'étape 200 il est déterminé que le front considéré n'est pas un front préféré (option 0), c'est-à-dire dans le cas présent un front montant, alors une étape 400 prévoit la mémorisation de l'horodatage du passage de ce front et le procédé revient à l'étape 100 dans l'attente du passage de front suivant.
- [0066] Le logigramme serait différent si le front préféré correspondait à un front montant. De manière générale, si le front passant devant le capteur est un front préféré, on se sert de ce front pour déterminer le temps de passage entre deux dents, c'est-à-dire le temps de passage entre deux fronts préférés successifs. Si le front passant devant le

capteur est un front descendant, une dent vient alors de passer devant le capteur et on peut déterminer une vitesse instantanée de rotation du moteur : si un front montant a été détecté au préalable, cette vitesse instantanée est déterminée à partir du temps de passage entre le front montant et le front descendant et de la longueur angulaire d'une dent qui est constante pour la cible considérée (et vaut  $20^\circ\text{CRK}$  c'est-à-dire  $10^\circ$  géométrique sur la cible dans l'exemple numérique donné plus haut). Cette vitesse instantanée peut être nulle si aucun front montant n'a été détecté au préalable depuis le début de la synchronisation.

- [0067] Lorsque deux vitesses instantanées ont été déterminées et qu'un temps de passage entre deux dents (durée séparant le passage de deux fronts de dent préférés successifs), le processus passe à une étape 500. Au cours de cette étape, il convient de déterminer une grandeur représentative des deux vitesses instantanées qui ont été déterminées. Plusieurs options existent. Dans la description qui précède, une option préférée correspondant au calcul de la moyenne arithmétique de ces deux vitesses instantanées a été proposée. Il est possible aussi de choisir la vitesse instantanée la plus élevée de ces deux vitesses. Une moyenne pondérée peut aussi être envisagée ici. Généralement, la synchronisation se fait en phase d'accélération et l'accélération est le plus souvent la plus grande au début de la synchronisation. Pour tenir compte de cette accélération, on peut par exemple prévoir une pondération en fonction du nombre de fronts détectés depuis le début de la synchronisation. La valeur obtenue correspond à la valeur  $A_s$  de la description ci-dessus.
- [0068] Dans une étape 600 ultérieure, la grandeur représentative des vitesses instantanées est comparée à chacune des valeurs  $N_{sn}$  calculées à l'étape 300. Le calcul de ces valeurs pourrait aussi se faire au cours de l'étape 500 ou de la présente étape (ou on pourrait prévoir une étape spécifique). Cette comparaison est par exemple faite en calculant le rapport  $A_s/N_{sn}$ .
- [0069] Une étape 700 suivante consiste à éliminer des hypothèses non plausibles quant à la dent qui vient de passer devant le capteur. Si la vitesse  $N_{sn}$  est manifestement bien trop grande ou bien trop petite par rapport à grandeur représentative  $A_s$  des valeurs instantanées calculées, alors on peut exclure l'hypothèse que la dent qui vient de passer est la dent  $n$ . On pourra par exemple prévoir que l'hypothèse que la dent qui vient de passer est la dent  $n$  est écartée si le rapport  $A_s/N_{sn}$  est en dehors de l'intervalle  $[1/2 ; 2]$  ou plus généralement  $[1/x ; x]$ . On peut ici choisir  $x$  supérieur à 1,3 ou bien encore  $x$  supérieur à 1,5 ou bien supérieur à 2 ou bien supérieur à 3. La valeur de  $x$  peut être variable. En début de synchronisation, les accélérations du moteur sont alors a priori plus importantes. Une valeur de  $x$  assez grande (par exemple  $x=2,5$ ) pourra être choisie car les vitesses de rotation varient dans de larges mesures. Par contre, lorsque plusieurs fronts de dent auront déjà été détectés, on pourra choisir une valeur de  $x$  plus petite, par

exemple  $x=1,5$ .

- [0070] On peut remarquer ici qu'il n'est pas nécessaire de calculer les valeurs  $N_{sn}$  (à l'étape 300 ou ultérieurement) pour les valeurs de  $n$  correspondant à des dents qui ont déjà été écartées. Cela permet de limiter le nombre de calculs et de comparaisons à réaliser.
- [0071] Lorsque les comparaisons ont été faites et que des hypothèses considérées comme non plausibles ont (ou non) été écartées, une étape 800 ultérieure détermine le nombre d'hypothèses qui restent en lice (n'ont pas été encore écartées). S'il reste plus d'une hypothèse (option 0), alors la procédure de synchronisation continue et le capteur continue à détecter les fronts de dent passant devant lui pour poursuivre la synchronisation (étape 100). Dans le cas contraire (option 1), la synchronisation est achevée : l'hypothèse restant en lice est validée et on sait quelle est la dent qui vient de passer devant le capteur.
- [0072] Le procédé décrit ci-dessus est mis en œuvre de préférence par une unité électronique embarquée à bord d'un véhicule, par exemple un véhicule automobile. Cette unité électronique peut être appelée unité de gestion et est connue aussi sous le sigle anglais CPU. Comme illustré schématiquement sur la [Fig.5], on a un véhicule  $V$  motorisé par un moteur  $M$ , ledit moteur étant géré électroniquement par au moins une unité électronique CPU. Le moteur  $M$  est un moteur à combustion interne comportant au moins un arbre à cames et de préférence au moins un arbre à cames pour une commande de soupapes d'admission et au moins un autre arbre à cames pour une commande de soupapes d'échappement. Au moins l'un des arbres à cames est associé à un système de distribution à programme variable, par exemple un système de distribution à programme variable mettant en œuvre un moteur électrique pour faire varier le programme de distribution.

### **Application industrielle**

- [0073] La présente solution technique peut trouver à s'appliquer notamment dans le contrôle moteur soit pour optimiser rapidement au démarrage le fonctionnement du moteur en adaptant le cas échéant la position angulaire des (ou d'au moins un) arbres à cames grâce à une synchronisation rapide de la position des arbres à cames considéré, soit pour fournir un mode de fonctionnement dégradé en cas d'absence de signal de position en provenance d'un capteur de position de vilebrequin.
- [0074] Le procédé proposé, et les moyens correspondants pour la mise en œuvre de ce procédé, permettent une synchronisation rapide de la position angulaire d'un arbre à cames dans un moteur muni d'un système connu sous le signe VVT et plus particulièrement eVVT. Il est alors possible d'optimiser la consommation de carburant et de limiter le rejet de matières polluantes rapidement après le démarrage du moteur.
- [0075] La solution proposée présente l'avantage de pouvoir être utilisée pour connaître la

position du moteur en cas de défaillance du capteur de position destiné à connaître la position du vilebrequin. Dans ce cas, le système de distribution à programme variable (VVT) est désactivé ce qui conduit alors à un fonctionnement en mode dégradé mais qui permet de maintenir le moteur en marche dans des conditions acceptables.

- [0076] Les moyens mis en œuvre ici se retrouvent classiquement dans un véhicule mu par un moteur à combustion interne.
- [0077] La présente divulgation ne se limite pas aux exemples de réalisation proposés et aux variantes évoquées décrits ci-avant, seulement à titre d'exemple, mais elle englobe toutes les variantes que pourra envisager l'homme de l'art dans le cadre de la protection recherchée.

## Revendications

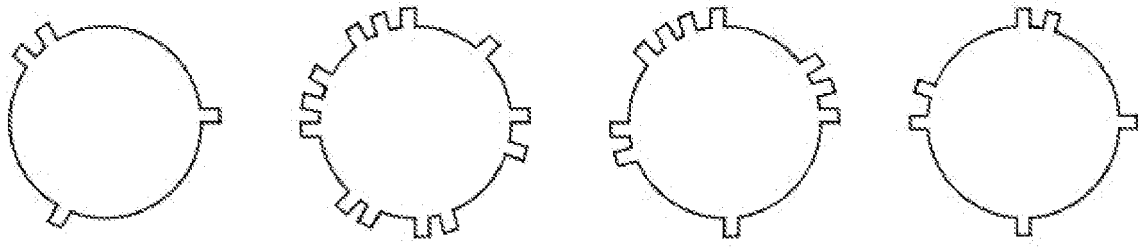
- [Revendication 1] Procédé de synchronisation consistant à déterminer la position angulaire d'un arbre à cames lors d'une phase de démarrage d'un moteur à combustion interne comportant un arbre à cames muni d'une cible comportant N reliefs similaires répartis autour de la cible de manière à présenter au moins une singularité, chaque relief présentant deux fronts de relief, un front montant et un front descendant, un front préféré étant choisi entre le front montant et le front descendant, caractérisé en ce qu'il comporte les étapes suivantes :
- a - acquisition, par un capteur associé à la cible, d'un signal correspondant au passage d'un front de relief et horodatage de ce passage de front,
  - b - à chaque passage d'un front correspondant à la fin du passage d'un relief, calcul d'une vitesse de rotation instantanée ( $I_s$ ) en fonction de l'horodatage de l'autre front dudit relief, tous les reliefs ayant une même largeur angulaire,
  - c - à chaque passage d'un premier front préféré puis d'un deuxième front préféré, calcul des valeurs possibles de vitesse de rotation normale ( $N_{sn}$ ), correspondant à un écart angulaire possible entre deux reliefs successifs sur la cible, divisé par le temps séparant le passage du premier front préféré du passage du deuxième front préféré,
  - d - calcul d'une grandeur représentative ( $A_s$ ) d'au moins l'une des deux vitesses de rotation instantanées ( $I_s$ ) pour les deux reliefs successifs correspondant au premier front préféré et au deuxième front préféré de l'étape - c - ,
  - e - comparaison de ladite grandeur représentative ( $A_s$ ) avec chacune des valeurs possibles de vitesse de rotation normale ( $N_{sn}$ ) calculées à l'étape - c - ,
  - f - élimination de valeurs possibles de vitesse de rotation normale considérées comme non plausibles compte tenu de la comparaison de l'étape - e - et selon un critère de plausibilité prédéterminé,
  - g - répétition des étapes - a - à - f - jusqu'à ce qu'il ne reste plus qu'une seule valeur possible de vitesse de rotation normale ( $N_{sn}$ ), et identification du relief correspondant au deuxième front préféré courant réalisant ainsi une détermination de la position angulaire de l'arbre à cames.
- [Revendication 2] Procédé de synchronisation selon la revendication 1, caractérisé en ce

- que la grandeur représentative d'au moins l'une des deux vitesses de rotation instantanées pour deux reliefs successifs est la moyenne arithmétique ( $A_v$ ) de ces deux vitesses de rotation instantanées ( $I_s$ ).
- [Revendication 3] Procédé de synchronisation selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce qu'à l'étape - f - une valeur de vitesse normale ( $N_{sn}$ ) est éliminée si elle est supérieure au double, ou inférieure à la moitié, de la grandeur représentative ( $A_s$ ) des deux vitesses de rotation instantanées ( $I_s$ ).
- [Revendication 4] Procédé de synchronisation selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que le critère de plausibilité à l'étape - f - varie en fonction du nombre de fronts de relief détectés depuis le début du procédé de synchronisation.
- [Revendication 5] Procédé de synchronisation selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que si le premier front à l'étape - a - est un front correspondant à une fin de relief, alors à l'étape - b - une vitesse de rotation instantanée ( $I_s$ ) nulle est déterminée pour le relief correspondant.
- [Revendication 6] Procédé de synchronisation selon l'une des revendications 1 à 5 dans lequel chaque relief de la cible est un bossage formant une dent.
- [Revendication 7] Système électronique de gestion d'un moteur à combustion interne, configuré pour mettre en œuvre un procédé selon l'une des revendications 1 à 6 et comportant :
- un capteur configuré pour détecter les passages des fronts de relief de la cible et pour horodater ces passages ; et
  - un calculateur configuré pour :
    - - recevoir en entrée des données d'horodatage, fournies par le capteur, et relatives aux passages de front de relief,
    - - mettre en œuvre au moins une fois les étapes – b – à – f – du procédé et répéter ces étapes jusqu'à ce qu'il ne reste plus qu'une seule valeur possible de vitesse de rotation normale ( $N_{sm}$ ), de manière à identifier le relief correspondant au deuxième front préféré courant, et
    - - déterminer une position angulaire de l'arbre à cames.
- [Revendication 8] Moteur à combustion interne, caractérisé en ce qu'il comporte un système électronique de gestion selon la revendication 7.
- [Revendication 9] Moteur selon la revendication 8, caractérisé en ce qu'il comporte en outre au moins un arbre à cames associé à un système de distribution à programme variable.
- [Revendication 10] Moteur selon la revendication 9, caractérisé en ce que le système de distribution à programme variable comporte un moteur électrique associé à

un arbre à cames.

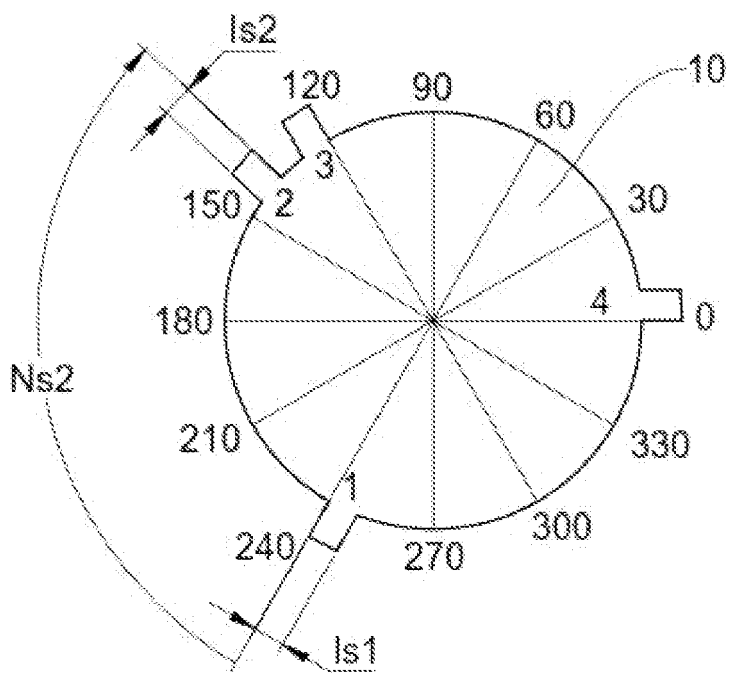
[Fig. 1]

Figure 1



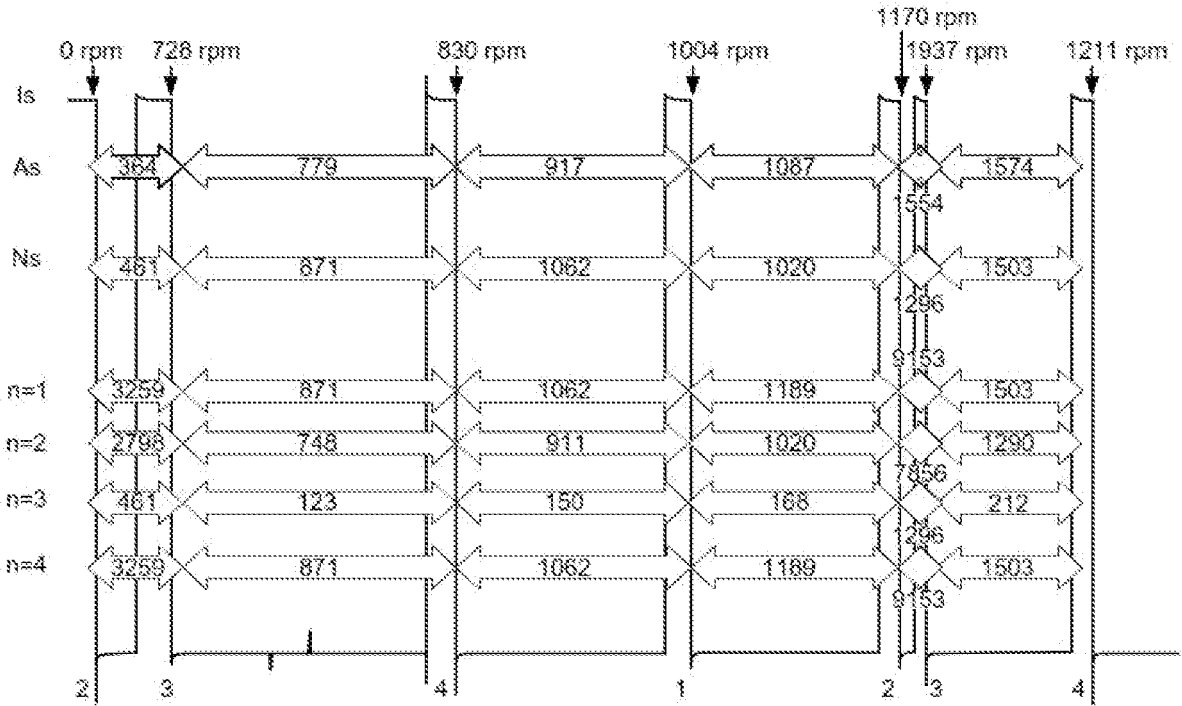
[Fig. 2]

Figure 2



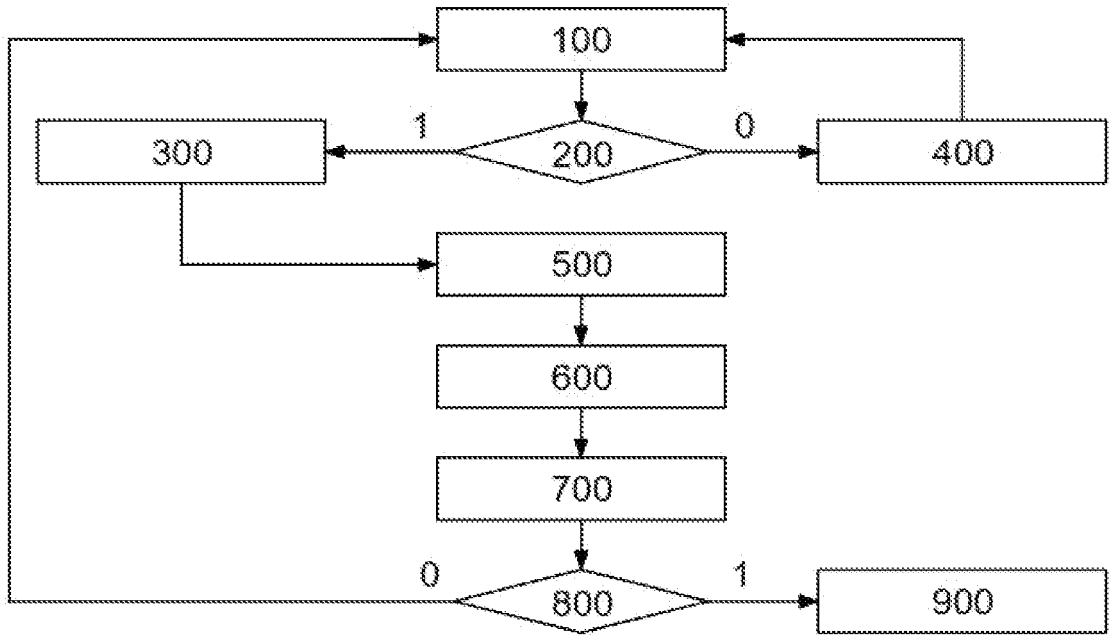
[Fig. 3]

Figure 3



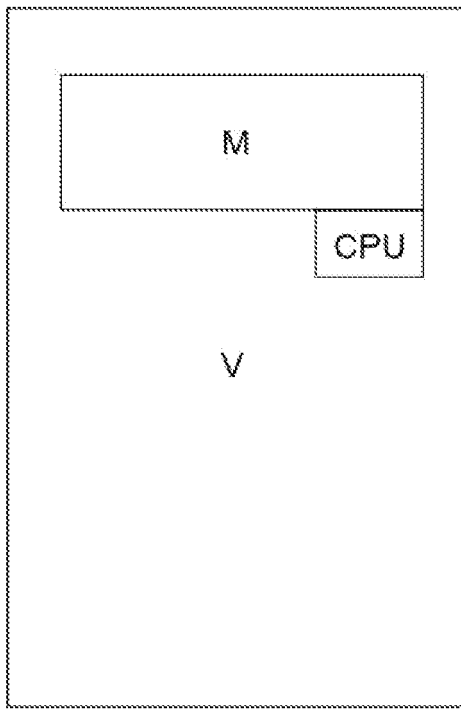
[Fig. 4]

Figure 4



[Fig. 5]

Figure 5



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement  
national

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

**FA 913776**  
**FR 2213438**

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
<b>A</b>	<p><b>US 2003/163247 A1 (KOBAYASHI HIDETOSHI [JP] ET AL) 28 août 2003 (2003-08-28)</b>                      * alinéas [0044] - [0047] *                      * figures 1, 4 *</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	<b>1-10</b>	<p><b>F02D 41/02</b> <b>F02D 41/30</b></p>
<b>A</b>	<p><b>US 2007/246012 A1 (ANDO KATSUYUKI [JP]) 25 octobre 2007 (2007-10-25)</b>                      * figures 1, 5 *                      * alinéas [0110] - [0114] *</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	<b>1-10</b>	<p><b>DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)</b></p> <p><b>F02D</b> <b>F02P</b></p>
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
<b>12 juillet 2023</b>		<b>Röttger, Klaus</b>	
<p><b>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</b></p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul                      Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie                      A : arrière-plan technologique                      O : divulgation non-écrite                      P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention                      E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.                      D : cité dans la demande                      L : cité pour d'autres raisons                      .....                      &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2213438 FA 913776**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.  
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **12-07-2023**  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
<b>US 2003163247 A1</b>	<b>28-08-2003</b>	<b>CN 1441158 A</b>	<b>10-09-2003</b>
		<b>EP 1338779 A2</b>	<b>27-08-2003</b>
		<b>JP 4151279 B2</b>	<b>17-09-2008</b>
		<b>JP 2003254147 A</b>	<b>10-09-2003</b>
		<b>US 2003163247 A1</b>	<b>28-08-2003</b>
-----			
<b>US 2007246012 A1</b>	<b>25-10-2007</b>	<b>EP 1849982 A2</b>	<b>31-10-2007</b>
		<b>JP 4655992 B2</b>	<b>23-03-2011</b>
		<b>JP 2007291925 A</b>	<b>08-11-2007</b>
		<b>US 2007246012 A1</b>	<b>25-10-2007</b>
-----			