



Open Archive TOULOUSE Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is a publisher-deposited version published in: <http://oatao.univ-toulouse.fr/>
Eprints ID: 17556

To cite this version: Continental SA *Procédé de détection de cliquetis perfectionné*. (2007) 0703730.

Official URL:

<http://bases-brevets.inpi.fr/fr/document/FR2916480.html?p=5&s=1490285834290&cHash=d9f6ba17ac47d8a25a78901d09fcf180>

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator: staff-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr

⑫ **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

②2 Date de dépôt : 25.05.07.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
 demande : 28.11.08 Bulletin 08/48.

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 :

⑦1 Demandeur(s) : **SIEMENS VDO AUTOMOTIVE
 Société par actions simplifiée — FR.**

⑦2 Inventeur(s) : **GALTIER FREDERIC, VINGE-
 RHOEDS ROBERTUS, VINCENT FRANCOIS et ZAD-
 NIK MARTIN.**

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) :

⑤4 **PROCEDE DE DETECTION DE CLIQUETIS PERFECTIONNE.**

⑤7 Procédé de traitement du signal de détection de cli-
 quetis d'un moteur à combustion interne dans lequel le si-
 gnal utile $s(t)$ est assimilé à une combinaison linéaire de P
 résonances de type

$$\tilde{s}(t) = \sum_{p=1}^P a_p \cos(2\pi \tilde{f}_p t - \Phi_p),$$

caractérisé en ce qu'afin de tenir compte de la variation
 de f_p autour de f_p il comporte les étapes suivantes:

- assimilation de

$$\frac{\Delta_p}{2}$$

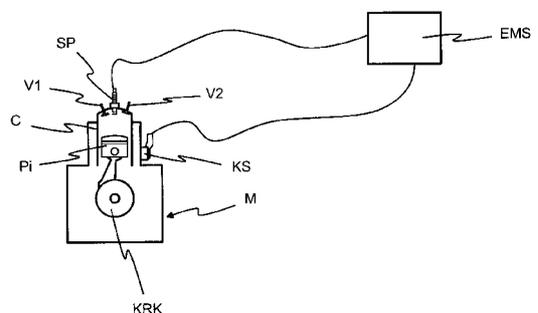
à une petite valeur,

- approximation du signal utile au moyen d'un dévelop-
 pement limité à l'ordre R autour des fréquences nominales
 f_p ,

- calcul d'un détecteur de cliquetis $L_R(x)$,
- comparaison de la valeur du détecteur de cliquetis

$L_R(x)$ avec une valeur seuil γ_R ,

- détermination de la présence de cliquetis si $L_R(x) > \gamma_R$



La présente invention est relative à un procédé de traitement du signal, plus particulièrement appliqué à un signal de détection du cliquetis pour moteur à combustion interne.

Les moteurs à combustion interne modernes fonctionnent très souvent dans des conditions de mélange (carburant / comburant) très pauvres en carburant, de manière à réduire les consommations et à limiter les pollutions engendrées par de tels moteurs. Ceci conduit à faire fonctionner les moteurs à combustion interne dans des plages de fonctionnement où se manifeste un phénomène très destructeur de la longévité attendue dudit moteur : le phénomène de cliquetis.

Le cliquetis se manifeste au cours du temps de combustion / détente du cycle d'un moteur à combustion interne à quatre temps (admission, compression, combustion / détente, échappement) comme expliqué ci-après. La combustion du mélange carburant / comburant se déroule initialement (c'est à dire immédiatement après émission de l'étincelle) correctement. Le front de flamme se propage donc et son souffle repousse une partie du mélange carburant / comburant contre les parois du cylindre et le sommet du piston. L'élévation de pression et de température devient alors tellement importante que le mélange rejeté contre les parois atteint son point d'auto-allumage et s'auto-enflamme. Les micro explosions qui résultent de l'auto-allumage produisent des vibrations dans le domaine fréquentiel acoustique (de l'ordre de 5 à 10 kHz). Ces explosions peuvent rapidement créer des points chauds qui accentuent encore plus le problème. L'accumulation de ces micro explosions peut arracher ou faire fondre une petite quantité de métal sur le sommet du piston et/ou sur les parois du cylindre et/ou des segments et conduire à terme à la destruction du piston, des segments ou des parois du cylindre.

Le cliquetis est donc surveillé et est généralement détecté au moyen d'au moins un capteur placé sur le moteur à combustion interne. Les capteurs usuellement utilisés peuvent être des transducteurs piézo-électriques, des capteurs à ionisation ou bien

encore des capteurs de pression régnant dans le cylindre. Le signal issu du capteur de cliquetis comporte des résonances spécifiques au type de moteur d'une part et au moteur particulier dans la série d'autre part. Ce sont ces résonances spécifiques qu'il y a lieu de détecter avec précision pour chaque moteur afin d'appliquer en conséquence une correction des paramètres de commande (très souvent sous la forme d'une modification de l'avance à l'allumage), de manière à supprimer ledit cliquetis et à optimiser les performances, la consommation et la longévité du moteur à combustion interne en fonction des exigences environnementales.

Or ces fréquences de résonance ne sont pas connues *a priori* puisqu'elles peuvent varier pour deux moteurs à combustion interne issus de la même série. Elles varient également avec le vieillissement d'un même moteur ou bien encore en raison des conditions d'utilisation ponctuelles. Ces variations sont très difficiles à prévoir exactement, mais il est néanmoins essentiel de les prendre en compte.

Une telle problématique revient donc à considérer l'étude du cliquetis dans un moteur particulier comme celle de la détection d'un signal avec des fréquences caractéristiques biaisées dont les biais sont inconnus.

D'un point de vue théorique, la connaissance imprécise des fréquences de résonance caractéristiques du signal de cliquetis peut être résolue par une phase d'acquisition. Il est envisageable en effet de surveiller le phénomène en continu et d'estimer les fréquences caractéristiques. La détection du signal de cliquetis est alors dite adaptative. Malheureusement, ce mode de réalisation entraîne des contraintes sur la charge de calcul des dispositifs embarqués difficilement conciliables avec les impératifs de coût de la production de moteurs à combustion interne destinés à l'industrie automobile de grande série. En outre, la discrétisation inhérente aux mesures de surveillance engendre une imprécision fréquentielle dommageable à une connaissance exacte et précise.

Il y a donc lieu de proposer un nouveau type de détection permettant de s'adapter à des écarts de fréquences de résonance et s'adaptant aux conditions réelles, ce qu'un détecteur classique ne sait pas faire de manière satisfaisante.

Dans ses précédents travaux (cf. 18th *International Conference on Systems Engineering – Coventry – UK – 5 – 7 September 2006 – "Performance analysis of knock detectors"*), la Demanderesse a présenté une approche théorique mettant en évidence la différence entre les performances issues d'un détecteur actuel et les performances théoriquement atteignables. Le modèle théorique idéal retenu pour cette étude est le modèle *Neyman-Pearson*. Ladite étude a clairement identifié un gain possible important.

Le problème à résoudre consiste donc à optimiser les détecteurs afin de se rapprocher des performances théoriquement possibles.

La présente invention a donc pour but de proposer une méthode de traitement du signal alternative à celle utilisée actuellement et permettant de se rapprocher du modèle théorique idéal, et ce à coût contenu.

Ces buts sont atteints grâce à un procédé de traitement du signal de détection de cliquetis d'un moteur à combustion interne dans lequel le signal utile $\tilde{s}(t)$ est assimilé à une combinaison linéaire de P résonances de type $\tilde{s}(t) = \sum_{p=1}^P a_p \cos(2\pi \tilde{f}_p t - \Phi_p)$

où $\tilde{s}(t)$ est le signal utile exprimé en fonction de l'instant t de la mesure, a_p est l'amplitude de la p -ième résonance du signal $\tilde{s}(t)$, Φ_p est un décalage de phase, P est le nombre de résonances constitutives du signal $\tilde{s}(t)$, \tilde{f}_p est la fréquence de résonance réelle, qui varie de $\frac{\Delta_p}{2}$ autour de la fréquence de résonance nominale f_p .

L'invention est remarquable en ce qu'afin de tenir compte de la variation de \tilde{f}_p autour de f_p le procédé comporte les étapes suivantes :

- assimilation de $\frac{\Delta_p}{2}$ à une petite valeur,

- approximation du signal utile au moyen d'un développement limité à l'ordre R autour des fréquences nominales f_p ,

- calcul d'un détecteur de cliquetis $L_R(\mathbf{x})$,

- comparaison de la valeur du détecteur de cliquetis $L_R(\mathbf{x})$ avec une valeur seuil

5 γ_R ,

- détermination de la présence de cliquetis si $L_R(\mathbf{x}) > \gamma_R$

Selon un mode de réalisation préféré, $\Delta_p = \frac{1}{N}$ et $R = 1$

D'autres buts, avantages et caractéristiques de la présente invention ressortiront plus clairement de la description détaillée suivante, donnée à titre d'exemple nullement
10 limitatif, en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 représente une vue schématisée d'un moteur muni d'un dispositif de détection du cliquetis,

- la figure 2 est une courbe représentant la probabilité de détection du cliquetis en fonction de la probabilité de fausse alarme,

15 • la figure 3 est une courbe représentant la probabilité de détection du cliquetis en fonction du Rapport Signal / Bruit,

- la figure 4 est une courbe représentant la probabilité de détection du cliquetis en fonction de la largeur d'intervalles fréquentiels.

Pour mémoire, nous allons rappeler ci après la méthode utilisée actuellement pour
20 le traitement du signal issu des capteurs de cliquetis placés sur un moteur à combustion interne M, comme représenté à la figure 1. Ledit moteur à combustion interne M comporte au moins un piston Pi coulissant dans son cylindre C associé. Le mouvement de va-et-vient du piston Pi est transformé en mouvement de rotation par l'intermédiaire du vilebrequin KRK auquel il est relié par une bielle. Grâce à la soupape d'admission V1 (une
25 seule soupape a été représentée dans un souci de clarté, mais plusieurs soupapes d'admission sont possibles selon les conformations des moteurs) un mélange de

carburant et de comburant est introduit à l'intérieur du cylindre C. Ce mélange carburant / comburant peut être soit réalisé avant l'introduction dans le cylindre C (et l'on parle alors d'injection indirecte), soit dans le cylindre même (et l'on parle alors d'injection directe). L'allumage de la bougie SP est commandé par une unité de contrôle

5 moteur EMS qui est amenée à tenir compte de différents paramètres afin de déterminer l'instant exact de déclenchement de l'étincelle. Un des paramètres essentiel est la présence ou l'absence de cliquetis. Pour ce faire, le moteur à combustion interne M est muni d'au moins un capteur de cliquetis KS qui transmet à l'unité de contrôle moteur EMS le signal détecté. Une fois la combustion réalisée, les résidus de la combustion sont

10 évacués grâce à l'ouverture de la soupape d'échappement V2 (là encore, une seule soupape a été représentée, mais il est possible d'en rencontrer plusieurs).

Le phénomène de cliquetis génère plusieurs fréquences de résonance déterminées principalement par la géométrie du cylindre particulier dans lequel il se produit. Le procédé de traitement du signal de cliquetis actuel consiste à appliquer un filtre fréquentiel

15 passe-bande au signal issu du capteur de cliquetis et à intégrer la valeur absolue dudit signal sur une plage de temps, connue pour pouvoir contenir les fréquences caractéristiques du cliquetis. On obtient alors une énergie générée par le cylindre spécifique et on le compare à une valeur seuil. Au delà de cette valeur seuil, le cliquetis est diagnostiqué et les paramètres de fonctionnement du moteur sont modifiés afin de

20 l'éliminer. La calibration de la méthode est donc faite pour un type générique de moteur par calibration sur banc. Au cours de cette calibration, les paramètres essentiels à la méthode sont étudiés et fixés une fois pour toutes. Ces paramètres sont, notamment : la fréquence de résonance, les valeurs fréquentielles du filtre passe-bande et la fenêtre de temps d'observation.

25 Mais ces valeurs dépendent également des conditions de fonctionnement dudit moteur. Il y a donc lieu d'établir des tables de calibrations donnant les valeurs fréquentielles du filtre passe-bande en fonction des paramètres de fonctionnement (régime moteur, charge, température de l'air admis, température de l'eau servant au

refroidissement du moteur...). Ceci entraîne des surcoûts de mise au point et des exigences de taille des mémoires destinées à stocker l'ensemble des calibrations.

Comme mentionné précédemment, ceci ne tient pas compte en outre des variations que les fréquences de résonance peuvent présenter d'un moteur à l'autre et au cours de la vie du moteur.

La présente invention propose d'appliquer un traitement du signal totalement différent de celui expliqué précédemment et plus proche du modèle théorique idéal, sans toutefois aller jusqu'à une détermination absolue du modèle *Neymann-Pearson* qui n'est pas réalisable en pratique compte tenu des paramètres inconnus du modèle du signal.

Pour une série de mesure x , on considère le problème de la détection du signal utile \tilde{s} , déterministe et partiellement connu (puisque les paramètres précis peuvent être amenés à varier dans une certaine plage autour de valeurs nominales en fonction du moteur) comme noyé dans un bruit additif. Il y a donc deux cas de figure que la méthode de détection se doit d'être à même de différencier :

$$H_0 : x = n, \quad (1)$$

$$H_1 : x = n + \tilde{s} \quad (1')$$

où n est le bruit, supposé gaussien, de moyenne nulle et de matrice de covariance $\sigma^2 I$.

H_0 est donc représentatif d'un signal sans cliquetis et H_1 d'un signal présentant du cliquetis.

Le signal utile $\tilde{s}(t)$ peut être représenté, comme connu en soi, par une combinaison linéaire de P résonances liées au type de moteur en question.

$$\tilde{s}(t) = \sum_{p=1}^P a_p \cos(2\pi \tilde{f}_p t - \Phi_p) \quad (2)$$

où

$\tilde{s}(t)$ est le signal utile exprimé en fonction de l'instant t de la mesure,

a_p est l'amplitude de la p -ième résonance du signal $\tilde{s}(t)$,

Φ_p est un décalage de phase,

P est le nombre de résonances constitutives du signal $\tilde{s}(t)$,

\tilde{f}_p est la fréquence de résonance réelle, qui varie autour de la fréquence de résonance nominale f_p .

- 5 Les amplitudes a_p et les phases Φ_p sont supposées inconnues. Par contre, le nombre de résonances P , les fréquences de résonance nominales f_p ainsi que la variance du bruit σ^2 sont pour leur part connus et dépendent du type de moteur choisi. Les fréquences réelles \tilde{f}_p présentes dans le signal utile sont inconnues (puisque pouvant varier d'un moteur à un autre dans la même série de type, ainsi que pour un même
- 10 moteur au cours de sa vie), mais appartiennent chacune à un intervalle de fréquences possibles $[f_p - \Delta/2; f_p + \Delta/2]$, où Δ est l'erreur maximale supposée sur les fréquences de résonance.

- Il est à noter que plus Δ est grand, plus la performance de la méthode de détection est dégradée (dans le cas idéal, la fréquence nominale f_p est connue avec précision et
- 15 Δ est par conséquent nul). En outre, Δ peut être particularisé et noté Δ_p puisque chaque fréquence réelle de résonance \tilde{f}_p a une plage de variation qui lui est propre.

Si une notation vectorielle est adoptée le signal utile peut s'écrire

$$\tilde{\mathbf{s}} = \tilde{\mathbf{S}}\mathbf{a} \quad (3)$$

avec

20
$$\tilde{\mathbf{S}} = [\tilde{\mathbf{c}}_1, \tilde{\mathbf{s}}_1, \dots, \tilde{\mathbf{c}}_p, \tilde{\mathbf{s}}_p]$$

et

$$\mathbf{a} = [A_1, B_1, \dots, A_p, B_p]^T$$

et où $\tilde{c}_p, \tilde{s}_p, A_p, B_p$ sont donnés par

$$\tilde{\mathbf{c}}_p = [\tilde{c}_p(0), \dots, \tilde{c}_p(N-1)]^T \text{ et } \tilde{c}_p(t) = \cos(2\pi\tilde{f}_p t)$$

8

$$\tilde{\mathbf{s}}_p = [\tilde{s}_p(0), \dots, \tilde{s}_p(N-1)]^T \text{ et } \tilde{s}_p(t) = \sin(2\pi \tilde{f}_p t)$$

$$A_p = a_p \cos(\Phi_p), \quad B_p = a_p \sin(\Phi_p)$$

avec $[\]^T$ utilisé comme symbole désignant la transposition et

N , le nombre d'échantillons utilisés pour la détection du signal.

- 5 Dans un cas idéal non perturbé ($\tilde{f}_p = f_p$), alors $\tilde{\mathbf{c}}_p$, $\tilde{\mathbf{s}}_p$ et $\tilde{\mathbf{S}}$ sont connus et égaux à \mathbf{c}_p , \mathbf{s}_p et \mathbf{S} . le signal $\mathbf{s} = \tilde{\mathbf{s}}|_{\tilde{f}_p=f_p}$ appartient au sous-espace $\langle \mathbf{S} \rangle$ engendré par les colonnes de la matrice \mathbf{S} . Le logarithme du test de détection du rapport de vraisemblance généralisé peut alors s'écrire :

$$L(\mathbf{x}) = \frac{\mathbf{x}^T \mathbf{S} (\mathbf{S}^T \mathbf{S})^{-1} \mathbf{S}^T \mathbf{x}}{\sigma^2} \quad (4)$$

10 et

$$L(\mathbf{x}) = \frac{\mathbf{x}^T \mathbf{P}_S \mathbf{x}}{\sigma^2}$$

avec

$$\mathbf{x} = [x(0), \dots, x(N-1)]^T$$

et

$$15 \quad \mathbf{P}_S = \mathbf{S} (\mathbf{S}^T \mathbf{S})^{-1} \mathbf{S}^T$$

\mathbf{P}_S représentant la matrice de projection sur le sous-espace signal $\langle \mathbf{S} \rangle$.

En comparant $L(\mathbf{x}) = \frac{\mathbf{x}^T \mathbf{P}_S \mathbf{x}}{\sigma^2}$ à la valeur γ donnée, il est possible de déterminer si nous sommes dans un cas de survenance de cliquetis ou non. Plus explicitement, il y a du cliquetis (H_1) si $L(\mathbf{x}) = \frac{\mathbf{x}^T \mathbf{P}_S \mathbf{x}}{\sigma^2} > \gamma$ et il n'y a pas de cliquetis (H_0) si $L(\mathbf{x}) = \frac{\mathbf{x}^T \mathbf{P}_S \mathbf{x}}{\sigma^2} < \gamma$.

- 20 Ce qui précède est valide pour des fréquences de résonance parfaitement connues. Il correspond à un cas de figure idéal qui ne se produit pas dans la réalité. Dans la réalité, les fréquences de résonance varient dans un intervalle et, comme nous l'avons vu

précédemment, appliquer le détecteur (4) au signal reviendrait à ne pas prendre en compte certains cas de figure où le cliquetis à lieu (H_1). En effet, en raison du Rapport Signal/Bruit (RSB) qui doit être maintenu le plus opérationnel possible, il est impossible de choisir un Δ_p trop large. Or, se restreindre sur la largeur de Δ_p engendre une potentielle

5 perte d'information si malheureusement $\tilde{f}_p \notin [f_p - \Delta_p/2; f_p + \Delta_p/2]$

Afin de permettre d'utiliser la méthode de traitement du signal expliqué ci-dessus, l'invention enseigne de prendre pour hypothèse que les déviations de fréquence de résonance sont petites.

Il est alors possible, conformément à l'invention, d'approximer les colonnes de la
10 matrice $\tilde{\mathbf{S}}$ en faisant un développement limité à l'ordre R autour des fréquences nominales f_p . Cette approximation conduit à exprimer le signal $\tilde{\mathbf{s}}$ comme une combinaison linéaire des colonnes de la matrice suivante, pour un développement limité à l'ordre R :

$$\mathbf{S}_R \stackrel{\Delta}{=} [\mathbf{c}_1, \mathbf{s}_1, \dots, \mathbf{c}_p, \mathbf{s}_p, \mathbf{t} \otimes \mathbf{c}_1, \mathbf{t} \otimes \mathbf{s}_1, \dots, \mathbf{t} \otimes \mathbf{c}_p, \mathbf{t} \otimes \mathbf{s}_p, \dots, \mathbf{t}^R \otimes \mathbf{c}_1, \mathbf{t}^R \otimes \mathbf{s}_1, \dots, \mathbf{t}^R \otimes \mathbf{c}_p, \mathbf{t}^R \otimes \mathbf{s}_p]$$

15 où

\otimes désigne le produit d'Hadamard,

$$\mathbf{t} = [0, \dots, N-1]^T$$

$$\mathbf{t}^R = [0^R, \dots, (N-1)^R]^T$$

Le test de vraisemblance généralisé alors utilisé conformément à l'invention
20 s'exprime par le détecteur suivant :

$$L_R(\mathbf{x}) = \frac{\mathbf{x}^T \mathbf{P}_{S_R} \mathbf{x}}{\sigma^2} \quad (5)$$

avec le projecteur sur le sous-espace élargi :

$$\mathbf{P}_{S_R} = \mathbf{S}_R (\mathbf{S}_R^T \mathbf{S}_R)^{-1} \mathbf{S}_R^T$$

De manière analogue à (4), en comparant $L_R(\mathbf{x}) = \frac{\mathbf{x}^T \mathbf{P}_{S_R} \mathbf{x}}{\sigma^2}$ à la valeur γ_R donnée, il est possible de déterminer si nous sommes dans un cas de survenance de cliquetis ou non. Plus explicitement, il y a du cliquetis (H_1) si $L_R(\mathbf{x}) = \frac{\mathbf{x}^T \mathbf{P}_{S_R} \mathbf{x}}{\sigma^2} > \gamma_R$ et il n'y a pas de cliquetis (H_0) si $L_R(\mathbf{x}) = \frac{\mathbf{x}^T \mathbf{P}_{S_R} \mathbf{x}}{\sigma^2} < \gamma_R$.

5 Le numérateur du détecteur (5) est un estimateur de l'énergie de $\tilde{\mathbf{s}}$. Il permet de récupérer la part du signal qui serait perdue par le détecteur classique (4). Ce test de détection est une forme quadratique issue du vecteur \mathbf{x} , de variables aléatoires gaussiennes, et qui est de moyenne nulle dans le cas de figure H_0 et de moyenne $\tilde{\mathbf{s}}$ dans le cas de figure H_1 .

10 La densité de probabilité de $L_R(\mathbf{x})$ est une fonction de type χ^2 à $2P(R+1)$ degrés de liberté, centrée dans l'état H_0 (absence de cliquetis) et non centrée dans l'état H_1 (présence de cliquetis), ce qui peut s'écrire

$$L_R(\mathbf{x}; H_0) \sim \chi_{2P(R+1)}^2(0)$$

et

15
$$L_R(\mathbf{x}; H_1) \sim \chi_{2P(R+1)}^2(\lambda_R), \text{ avec } \lambda_R = \frac{\tilde{\mathbf{s}}^T \mathbf{P}_{S_R} \tilde{\mathbf{s}}}{\sigma^2}$$

Les performances de détection sont alors exprimables au moyen de

$$P_{fa}(\gamma_R) = \Pr[L_R(\mathbf{x}; H_0) > \gamma_R] = Q_{\chi_{2P(R+1)}^2(0)}(\gamma_R)$$

pour la probabilité de fausse alarme P_{fa}

et de

20
$$P_d(\gamma_R) = \Pr[L_R(\mathbf{x}; H_1) > \gamma_R] = Q_{\chi_{2P(R+1)}^2(\lambda_R)}(\gamma_R)$$

pour la probabilité de détection P_d , et où $Q_{Loi}(\gamma)$ est la fonction de répartition complémentaire associée à la loi "Loi".

Il est à noter que les équations précédentes décrivent également le détecteur donné en (4) en prenant $R = 0$.

La finesse de détection consiste donc à choisir de manière affinée les paramètres Δ (ou Δ_p) et N . Un détecteur "clairvoyant", c'est à dire dont les fréquences de résonance sont exactement connues, possède les caractéristiques suivantes : $\Delta = 0$, $R = 0$. L'étude des signaux observés en sortie du capteur de cliquetis KS ont permis d'établir qu'un développement limité au premier ordre $R = 1$ et que le choix de $\Delta_p = \frac{1}{N}$ permettent un gain en probabilité de détection du cliquetis tout à fait satisfaisant (sans pour autant être égal au cas de figure idéal du détecteur "clairvoyant" bien sûr) par rapport à un détecteur "non robuste" se limitant aux fréquences nominales f_p et ne prenant pas en compte leur variation potentielle et réelle.

Afin d'illustrer la robustesse de la méthode de détection objet de la présente invention, des résultats numériques sont présentés aux figures 2 à 4. Le signal utile de test contient trois résonances ($P = 3$) et le nombre d'échantillons est de 100 ($N = 100$). Les courbes donnent la probabilité de détection Pd en fonction de quatre paramètres : P_{fa} , R , RSB et Δ (probabilité de fausse alarme, ordre du développement limité, Rapport Signal / Bruit et erreur maximale supposée sur les fréquences de résonance).

Le détecteur non robuste, pour lequel $R = 0$, est représenté en trait plein gras. Le détecteur "clairvoyant" est également représenté, en trait plein non gras, afin de permettre d'évaluer la perte de performance liée à la méconnaissance des fréquences.

Sur la figure 2, RSB et Δ sont fixés ($RSB = -2\text{dB}$, $\Delta = \frac{1}{N}$). La valeur $\Delta = \frac{1}{N}$ est retenue car elle correspond à la résolution fréquentielle d'une transformée de Fourier rapide (FFT) sur N points. En effet, si les valeurs des fréquences nominales f_p ne sont pas connues *a priori* et qu'on les estime en utilisant une transformée de Fourier rapide, on

aura une incertitude $\Delta = \frac{1}{N}$ sur les valeurs estimées. La figure 2 met en évidence que l'ordre optimal du développement limité à choisir est de 1 ($R = 1$).

La figure 3 est une découpe dans la direction du Rapport Signal / Bruit et dans cette figure, les valeurs de P_{fa} et de Δ sont fixes ($P_{fa} = 10^{-6}$, $\Delta = \frac{1}{N}$). Encore une fois, il est mis en évidence que le développement limité au premier ordre ($R = 1$) est la meilleure approximation du détecteur "clairvoyant" pour ce choix particulier de paramètres. Le détecteur non robuste ($R = 0$) est satisfaisant pour sa part uniquement pour les faibles valeurs du Rapport Signal / Bruit. Dès que le signal utile est à quelques décibels en dessous du bruit ou bien plus important que le bruit, le choix du développement limité au premier ordre devient bénéfique.

La figure 4 décrit la performance du détecteur en fonction de l'erreur maximale sur les fréquences pour des valeurs fixes de P_{fa} et de RSB ($P_{fa} = 10^{-6}$, $RSB = -2dB$). Elle met en évidence un phénomène déjà souligné, à savoir que si Δ grandit, alors les performances de détection décroissent. On s'aperçoit ici que le développement limité à l'ordre premier n'est pas forcément suffisant et qu'il y a alors lieu de choisir un ordre supérieur, ledit choix étant possible à la vue de la figure 4.

Comme nous venons de le mettre en évidence, l'invention permet d'optimiser une détection de signal de cliquetis en tenant compte, grâce au test proposé, des variations de fréquences de résonances qui surviennent dans la réalité, et ce, sans perdre en résolution.

Afin de tenir compte de la variation des conditions de déclenchement du cliquetis en fonction des conditions de fonctionnement du moteur (régime moteur, charge moteur, température d'air admis, température de l'eau servant au refroidissement...) il est en outre suggéré d'établir des calibrations reliant P_{SR} auxdits différents cas de fonctionnement.

REVENDEICATIONS

1/ Procédé de traitement du signal de détection de cliquetis d'un moteur à combustion interne dans lequel le signal utile $\tilde{s}(t)$ est assimilé à une combinaison

linéaire de P résonances de type $\tilde{s}(t) = \sum_{p=1}^P a_p \cos(2\pi \tilde{f}_p t - \Phi_p)$

- 5 où $\tilde{s}(t)$ est le signal utile exprimé en fonction de l'instant t de la mesure, a_p est l'amplitude de la p -ième résonance du signal $\tilde{s}(t)$, Φ_p est un décalage de phase, P est le nombre de résonances constitutives du signal $\tilde{s}(t)$, \tilde{f}_p est la fréquence de résonance réelle, qui varie de $\frac{\Delta_p}{2}$ autour de la fréquence de résonance nominale f_p ,

caractérisé en ce qu'afin de tenir compte de la variation de \tilde{f}_p autour de f_p il comporte

- 10 les étapes suivantes :

- assimilation de $\frac{\Delta_p}{2}$ à une petite valeur,
 - approximation du signal utile au moyen d'un développement limité à l'ordre R autour des fréquences nominales f_p ,
 - calcul d'un détecteur de cliquetis $L_R(\mathbf{x})$,
- 15 • comparaison de la valeur du détecteur de cliquetis $L_R(\mathbf{x})$ avec une valeur seuil γ_R ,
- détermination de la présence de cliquetis si $L_R(\mathbf{x}) > \gamma_R$

2/ Procédé de traitement du signal de détection de cliquetis d'un moteur à combustion interne selon la revendication 1, caractérisé en ce que $\Delta_p = \frac{1}{N}$ et $R = 1$.

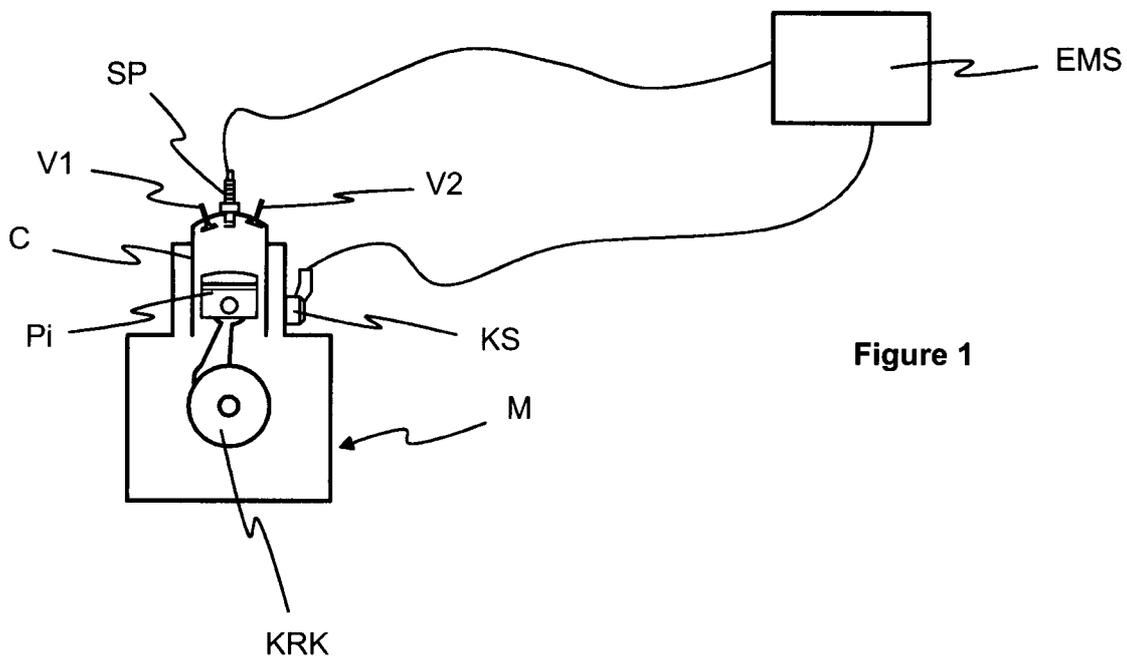


Figure 1

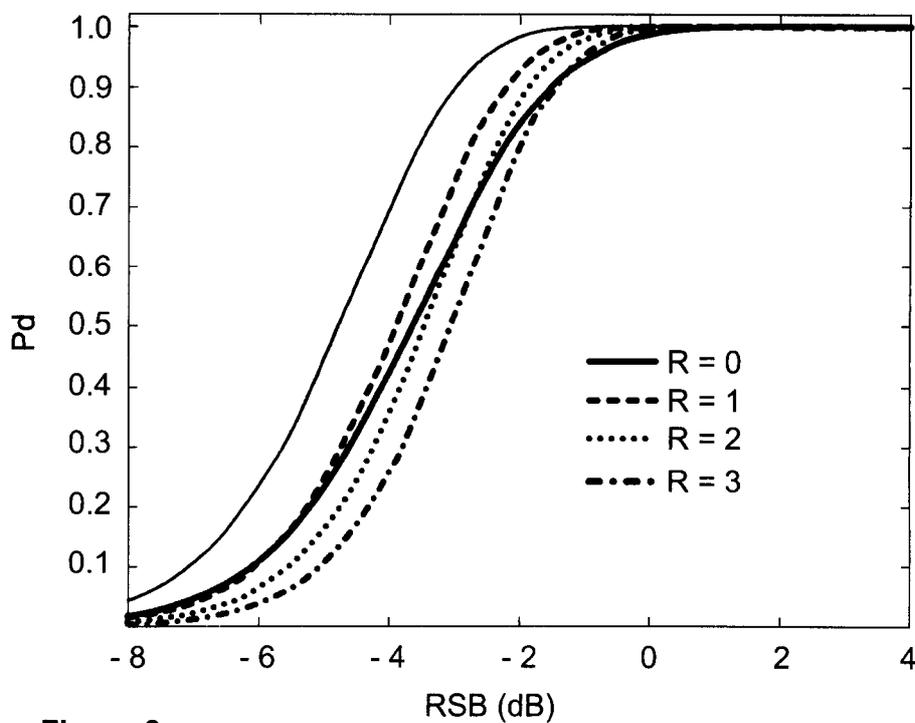


Figure 3

2 / 2

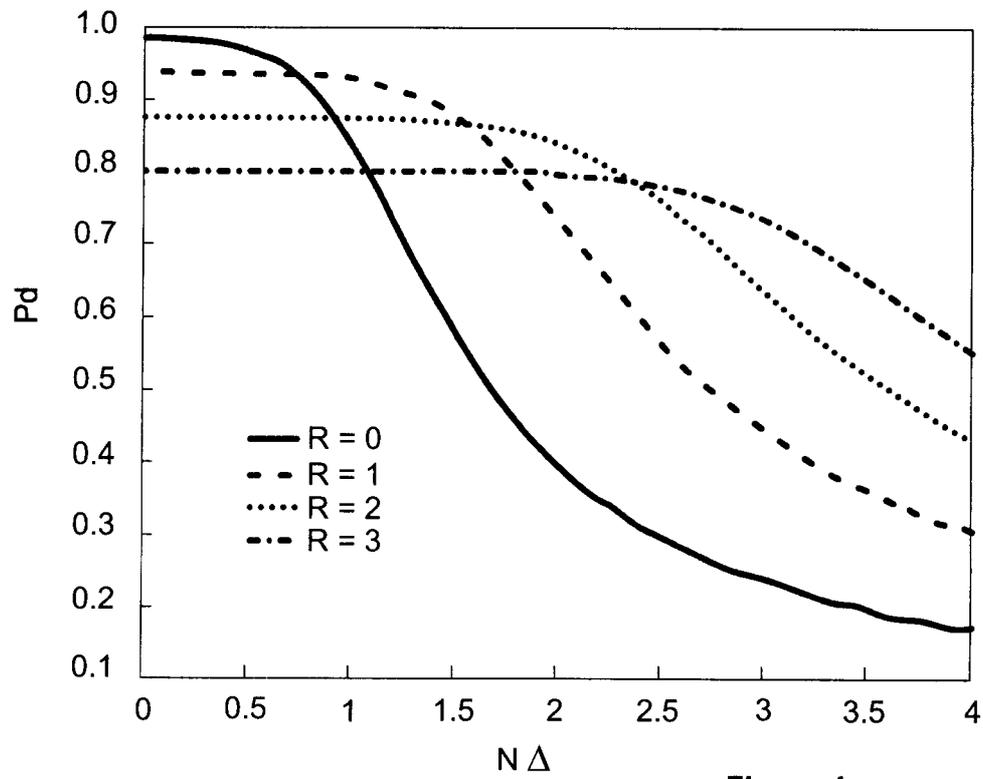


Figure 4

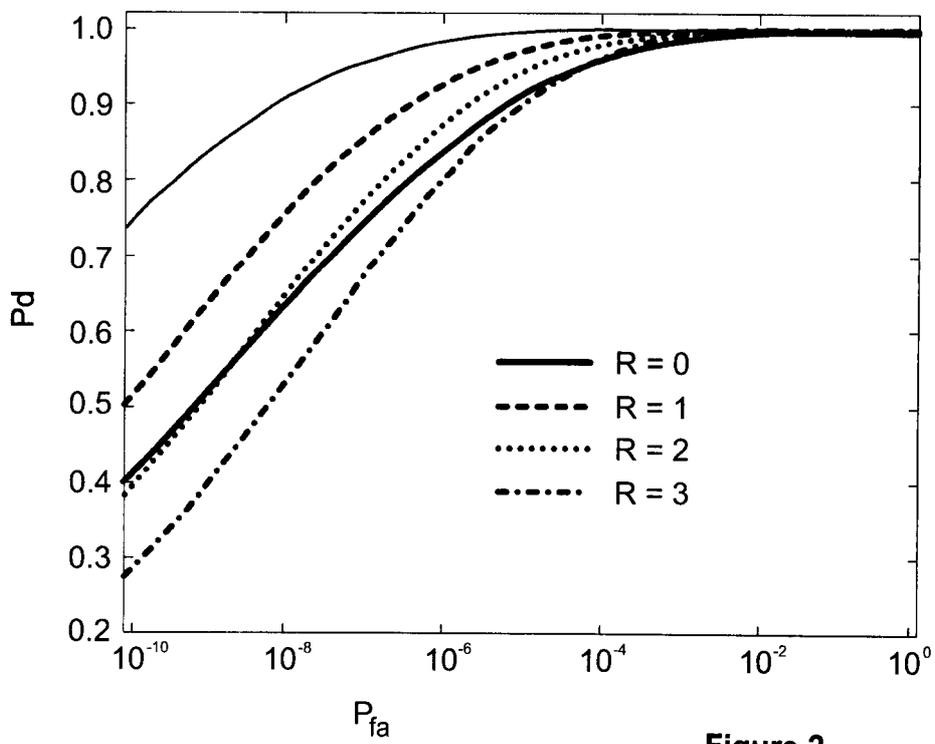


Figure 2

**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 694328
FR 0703730

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		
D,A	ZADNIK M ET AL: "Performance analysis of knock detectors" PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS ENGINEERING, XX, XX, 5 septembre 2006 (2006-09-05), pages 529-532, XP007903935 * le document en entier * -----	1	F02B77/08 G01L23/22
A	FR 2 834 789 A (SIEMENS AG [DE]) 18 juillet 2003 (2003-07-18) * le document en entier * -----	1	
A	EP 0 392 804 A (HITACHI LTD [JP]) 17 octobre 1990 (1990-10-17) * le document en entier * -----	1	
A	US 4 424 706 A (OH HILARIO L [US]) 10 janvier 1984 (1984-01-10) * le document en entier * -----	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			G01L
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
31 janvier 2008		Hallböck, Ann-Sofie	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		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 & : membre de la même famille, document correspondant	
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			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0703730 FA 694328**

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 31-01-2008

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
FR 2834789	A	18-07-2003	DE 10201073 A1	31-07-2003
			US 2003164156 A1	04-09-2003

EP 0392804	A	17-10-1990	DE 69017063 D1	30-03-1995
			DE 69017063 T2	21-09-1995
			US 4991553 A	12-02-1991

US 4424706	A	10-01-1984	AUCUN	
