



(11) **EP 2 534 341 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
13.11.2013 Bulletin 2013/46

(51) Int Cl.:
F01D 21/00 ^(2006.01) **F01D 21/04** ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **11707886.5**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR2011/050205

(22) Date de dépôt: **02.02.2011**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2011/095737 (11.08.2011 Gazette 2011/32)

(54) **MÉTHODE DE DÉTECTION AUTOMATISÉE DE L'INGESTION D'AU MOINS UN CORPS
ÉTRANGER PAR UN MOTEUR À TURBINE À GAZ**

VERFAHREN ZUR AUTOMATISIERTEN ERKENNUNG DER AUFNAHME VON MINDESTENS
EINEM FREMDKÖRPER DURCH EINEN GASTURBINENMOTOR

METHOD FOR THE AUTOMATED DETECTION OF THE INGESTION OF AT LEAST ONE FOREIGN
BODY BY A GAS TURBINE ENGINE

(84) Etats contractants désignés:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(72) Inventeur: **BOURGET, Sébastien**
F-77220 Tournan en Brie (FR)

(30) Priorité: **08.02.2010 FR 1050870**

(74) Mandataire: **Gevers France**
81 boulevard Lazare Carnot
31000 Toulouse (FR)

(43) Date de publication de la demande:
19.12.2012 Bulletin 2012/51

(56) Documents cités:
EP-A2- 0 284 392 EP-A2- 1 312 766
WO-A2-99/20992 FR-A1- 2 840 358

(73) Titulaire: **SNECMA**
75015 Paris (FR)

EP 2 534 341 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] La présente invention concerne un dispositif et une méthode pour détecter un impact sur une pale d'un moteur à turbine à gaz, en particulier, sur une pale de soufflante.

[0002] Un moteur à turbine à gaz lorsqu'il est monté sur un aéronef est susceptible d'être endommagé par des objets qui sont aspirés par le moteur au cours de son utilisation. Ces objets peuvent se présenter sous diverses formes, par exemple, des oiseaux, des pierres ou de la glace.

[0003] Après aspiration des objets, ces derniers circulent d'amont en aval dans le moteur en heurtant différents éléments du moteur. Ce phénomène est connu de l'homme du métier sous la désignation « ingestion de corps étrangers ».

[0004] En fonction de la nature, de la densité et de la vitesse relative des corps ingérés par le moteur, certaines parties du moteur peuvent être plus ou moins endommagées.

[0005] Afin de conserver un haut degré de sécurité et de fiabilité du moteur au cours de son utilisation, il est nécessaire de détecter les dommages générés par ces ingestions afin de réparer ou remplacer les éléments du moteur endommagés.

[0006] Pour les vols commerciaux embarquant des passagers, les moteurs à turbine à gaz sont inspectés visuellement avant chaque vol. Cette inspection présente cependant plusieurs inconvénients. Premièrement, cette inspection visuelle ne permet pas une détection totalement fiable, les opérateurs ne peuvent pas relever des petits endommagements, ces derniers étant, par ailleurs, difficilement repérables. Deuxièmement, lorsqu'un endommagement est détecté, il faut procéder immédiatement à des opérations de maintenance ce qui nécessite d'immobiliser l'aéronef et, par voie de conséquence, retarde son départ. Cette détection tardive des effets d'une ingestion d'un corps étranger entraîne ainsi des désagréments pour les passagers devant embarquer dans ledit aéronef.

[0007] On connaît par la demande de brevet FR2840358 A1 de SNECMA un système de détection d'endommagement de rotor d'un moteur d'aéronef comprenant des moyens de mesure de vibration et de vitesse du rotor pendant un vol déterminé. Cependant, un tel système ne possède pas la précision requise pour détecter l'ingestion d'un corps étranger.

[0008] On connaît par la demande de brevet EP 1312766 A2 de ROLLS-ROYCE une méthode de détection d'impact sur une aube de rotor dans laquelle on mesure la chute de vitesse du rotor pour émettre une alarme. Une telle détection présente l'inconvénient d'être peu discriminante. En effet, en cas de pompage du moteur, la vitesse du rotor baisse et une alarme est émise alors qu'aucun corps n'a été ingéré. Pour éliminer cet inconvénient, la demande de brevet EP 1312766 A2 enseigne d'ajouter des capteurs pour mesurer l'angle de torsion

du moteur et ainsi améliorer la précision de la méthode. Une telle méthode, avec des capteurs nombreux, n'est pas satisfaisante et ne permet pas de détecter de manière précise et fiable une ingestion d'un corps étranger.

[0009] Afin de pallier ces inconvénients, l'invention concerne une méthode de détection automatisée de l'ingestion d'au moins un corps étranger par un moteur à turbine à gaz comprenant un rotor, méthode selon laquelle :

- on mesure le régime instantané du rotor;
- on filtre le signal de régime du rotor de manière à dissocier sa composante statique de sa composante dynamique ;
- on compare la composante dynamique filtrée à une onde de résonance étalon du rotor afin d'obtenir un indicateur d'ingestion, l'onde de résonance étalon correspondant à la réponse impulsionnelle vibratoire d'un rotor;
- on compare l'indicateur d'ingestion obtenu à un seuil de détection ;
- on émet un signal de détection d'une ingestion d'un corps étranger lorsque l'indicateur d'ingestion est supérieur au seuil de détection.

[0010] La réponse vibratoire d'un rotor constitue sa signature suite à un impact, c'est-à-dire, suite à une impulsion. On entend par onde de résonance étalon la réponse impulsionnelle vibratoire mesurée sur un rotor suite à l'ingestion d'un corps par ledit rotor.

[0011] Grâce à l'invention, on compare la composante dynamique transitoire du régime du rotor à sa signature pour déceler une ingestion. La méthode selon l'invention est plus discriminante que la méthode selon l'art antérieur basée uniquement sur un seuillage en amplitude de la composante dynamique du régime de rotor $R(t)$, une composante dynamique de forte amplitude pouvant avoir plusieurs causes.

[0012] Grâce à l'invention, on peut ignorer des vibrations d'amplitude importante (ex : pompage) lorsque la forme de la composante dynamique du régime de rotor $R(t)$ ne correspond pas à celle d'une onde de résonance étalon. Par ailleurs, on peut détecter des ingestions de corps dits à « faible énergie » (masse faible, vitesse faible), entraînant des vibrations d'amplitude faible, une telle détection n'étant pas possible avec une méthode selon l'art antérieur.

[0013] De manière avantageuse, cette méthode est mise en oeuvre sans ajout de capteur et sans aucune modification structurale.

[0014] De préférence, l'onde de résonance étalon du rotor correspond à la réponse impulsionnelle du premier mode de torsion du rotor.

[0015] De manière avantageuse, la recherche dans la composante dynamique filtrée de la réponse impulsionnelle du premier mode de torsion du rotor, dont les caractéristiques sont connues par ailleurs, permet d'obtenir

un taux d'ingestion qui permet de qualifier une vibration.

[0016] En effet, la réponse impulsionnelle du premier mode de torsion n'est présente qu'à la suite d'une excitation transitoire en torsion du rotor, qui est typique d'une ingestion de corps étranger. On détecte ainsi une ingestion de manière fiable et précise.

[0017] De préférence encore, on réalise un produit de convolution entre la composante dynamique filtrée et l'onde de résonance étalon pour obtenir l'indicateur d'ingestion.

[0018] Selon une première variante, on mesure l'onde de résonance étalon directement sur le rotor du moteur sur lequel est mise en oeuvre la méthode de détection.

[0019] Ainsi, les caractéristiques de la réponse impulsionnelle du premier mode de torsion du rotor (fréquence, amortissement) sont déterminées de manière expérimentale.

[0020] Selon une deuxième variante, l'onde de résonance étalon est définie de manière théorique en fonction des caractéristiques de la réponse impulsionnelle du premier mode de torsion du rotor (fréquence, amortissement, etc.).

[0021] De préférence, le rotor est un rotor basse pression d'un moteur à turbine à gaz, on compare la composante dynamique filtrée à une onde de résonance étalon du rotor basse pression afin d'obtenir un indicateur d'ingestion, l'onde de résonance étalon correspondant à la réponse impulsionnelle vibratoire d'un rotor basse pression.

[0022] L'invention sera mieux comprise à l'aide du dessin annexé sur lequel :

- la figure 1 représente une mesure du régime du rotor basse pression au cours du temps ;
- la figure 2 représente la composante dynamique du régime du rotor basse pression de la figure 1 ;
- la figure 3 représente une onde de résonance étalon du rotor basse pression et
- la figure 4 représente l'indicateur d'ingestion correspondant à une mesure de ressemblance entre la composante dynamique du régime du rotor et une onde de résonance étalon dudit rotor.

[0023] L'invention concerne une méthode de détection précise d'une ingestion d'un corps étranger par un moteur à turbine à gaz à double corps comprenant un arbre de rotor basse pression et un arbre de rotor haute pression, une soufflante étant solidaire du rotor basse pression.

[0024] En référence à la figure 1, on mesure le régime de rotation $R(t)$ du rotor basse pression au cours du temps au moyen d'une roue phonique, connue en tant que tel de l'homme du métier, agencée pour mesurer la vitesse angulaire de l'arbre de rotor basse pression. Il va de soi que le régime du rotor basse pression pourrait également être mesuré par d'autres moyens, en particulier, par des accéléromètres disposés dans le moteur.

[0025] Suite à cette mesure, on obtient une courbe 1

sensiblement constante au cours du temps autour du régime statique du rotor basse pression R_s . Sur la figure 1, le régime de rotation $R(t)$ est normalisé par rapport à la valeur maximale du régime de rotor basse pression.

Sur la figure 1, le régime statique R_s du rotor basse pression est de l'ordre de 85% du régime maximal.

[0026] Au cours de la période de mesure, un corps de faible masse (environ 50g) est ingéré par le moteur. La courbe 1, représentant le régime de la soufflante $R(t)$, présente une oscillation 2 au moment de l'ingestion du corps par le moteur, cette oscillation étant très faible, de l'ordre de 0.5% de la valeur du régime statique R_s . Cette oscillation ne peut être détectée directement suite à la mesure du régime du rotor basse pression $R(t)$. En effet, de telles oscillations peuvent être liées à des bruits de mesure ou à des phénomènes autres que l'ingestion, en particulier, les phénomènes de pompage du moteur.

[0027] De manière connue, le régime du rotor basse pression $R(t)$ mesuré par la roue phonique possède une composante statique R_s et une composante dynamique $R_d(t)$ et se décompose sous la forme suivante :

$$(1) R(t) = R_s + R_d(t)$$

[0028] Pour mettre en exergue l'oscillation 2, on filtre le régime de rotor basse pression $R(t)$ pour ne conserver que la composante dynamique $R_d(t)$ du signal, par exemple, au moyen d'un filtrage passe-bande centré sur la fréquence de l'onde de résonance étalon.

[0029] La demanderesse s'est aperçue que lorsqu'un corps heurte la soufflante suite à une ingestion, le rotor basse pression, lié à la soufflante, répond en vibrant selon son premier mode de torsion, à la manière d'une cloche, en émettant une onde de résonance dont la fréquence et la forme est propre au rotor. Cette réponse vibratoire suite à un choc bref est la réponse impulsionnelle du premier mode de torsion du rotor basse pression. Grâce à cette réponse caractéristique, on peut discriminer les perturbations vibratoires consécutives aux ingestions de corps des perturbations consécutives aux bruits ou à des phénomènes externes, et ce, bien que leurs influences sur le régime du rotor basse pression $R(t)$ soient quasiment identiques d'un point de vue global.

[0030] En effet, une ingestion ou un pompage entraînent l'apparition d'oscillations dont les allures globales sont similaires lorsque l'on analyse le régime moteur. Néanmoins, seules les oscillations dont la forme et l'amplitude sont similaires à celles de la réponse impulsionnelle du rotor basse pression correspondent à une ingestion d'un corps étranger.

[0031] Suite à une ingestion d'un corps étranger, la composante dynamique $R_d(t)$ du signal de régime du rotor basse pression $R(t)$ se présente ainsi globalement sous la forme suivante :

$$(2) \text{ Rd}(t) = C(t) \cdot \cos(w_T(t) \cdot t + \Phi)$$

[0032] Dans cette formule, $C(t) \cdot \cos(w_T(t) \cdot t + \Phi)$ est la perturbation due à la réponse vibratoire du rotor basse pression suite à l'ingestion. Cette perturbation dépend d'un paramètre d'amplitude $C(t)$, d'un paramètre de phase Φ et d'un paramètre de pulsation w_T correspondant au premier mode de torsion du rotor basse pression.

[0033] Le rotor basse pression possède plusieurs modes de torsion à basse fréquence. Lors d'une ingestion de corps étranger, seul le premier mode de torsion répondra de manière significative. La réponse impulsionnelle de ce dernier constituera donc une signature caractéristique d'une ingestion. Suite à une ingestion, $C(t)$ va varier fortement suivant une forme :

$$(3) C(t) = C \cdot \exp(-t/\tau_T)$$

[0034] C est l'amplitude de la perturbation et est fonction de la « sévérité » de l'ingestion, l'amplitude de la perturbation étant très faible par rapport à la valeur du régime statique R_s . Le paramètre d'amortissement τ_T est fonction de l'amortissement du premier mode de torsion du rotor basse pression et de la fréquence propre de ce mode.

[0035] Ainsi, lors d'une ingestion d'un corps étranger par le moteur, la composante dynamique $Rd(t)$ du rotor basse pression ressemble fortement à la réponse impulsionnelle du premier mode de torsion $e(t)$ du rotor basse pression, représentée sur la figure 3. La réponse impulsionnelle du premier mode de torsion du rotor $e(t)$ est comparée avec la réponse dynamique $Rd(t)$ du régime du rotor basse pression $R(t)$ afin de déterminer si un corps a été ingéré par le moteur. En d'autres termes, on compare la composante dynamique filtrée à une onde de résonance étalon $e(t)$ du rotor basse pression afin d'obtenir un indicateur d'ingestion T_{ING} correspondant à une mesure de ressemblance entre l'onde de résonance étalon $e(t)$ et la composante dynamique $Rd(t)$ du signal de régime mesuré.

[0036] Afin de réaliser la comparaison, il est nécessaire de déterminer préalablement l'onde de résonance étalon $e(t)$.

[0037] Selon une première mise en oeuvre de l'invention, cette onde correspond à la réponse impulsionnelle du premier mode de torsion du rotor.

[0038] Selon une première variante, le premier mode de torsion du rotor est un mode « spécifique », les caractéristiques (fréquence, amortissement) du premier mode de torsion étant mesurées directement sur le rotor basse pression sur lequel va être mise en oeuvre la détection d'une ingestion, la détection étant alors réalisée « sur mesure » avec comme onde de résonance étalon

la réponse impulsionnelle vibratoire premier mode de torsion du rotor. Le paramétrage de la méthode de détection avec un mode spécifique permet de mettre en oeuvre une détection précise, adaptée audit rotor basse pression. En effet, chaque rotor possède une réponse impulsionnelle de son premier mode de torsion qui lui est propre. Autrement dit, des modèles de rotor différents possèdent des réponses impulsionnelles différentes.

[0039] Selon une deuxième variante, la réponse impulsionnelle du premier mode de torsion du rotor est déterminée de manière analytique par calcul.

[0040] Selon une deuxième variante, l'onde de résonance étalon $e(t)$ correspond à la somme d'une pluralité de modes de torsion d'un même rotor basse pression, de préférence les 2 ou 3 premiers modes de torsion d'un rotor basse pression. Une onde de résonance étalon $e(t)$ comprenant plusieurs modes de torsion permet d'augmenter la fiabilité de la détection et sa précision.

[0041] A titre d'exemple, pour mettre en oeuvre la comparaison, on réalise un produit de convolution entre la réponse dynamique du rotor basse pression $Rd(t)$ et l'onde étalon $e(t)$ pour obtenir un indicateur d'ingestion T_{ING} .

$$(4) T_{ING}(t) = \int e(u) \cdot R(t - u) \cdot du$$

[0042] Il va de soi que d'autres algorithmes de comparaison pourraient également convenir. De préférence, les algorithmes de comparaison sont paramétrés pour prendre en compte des distorsions de l'onde de résonance étalon (retard, bruit, etc.).

[0043] L'indicateur d'ingestion T_{ING} , représenté sur la figure 4, permet de qualifier l'oscillation suspecte 2 détectée dans la mesure du régime du rotor basse pression $R(t)$. Plus la réponse dynamique du rotor basse pression $Rd(t)$ ressemble à la réponse impulsionnelle théorique caractéristique d'une réponse à un choc (ici, une ingestion d'un corps étranger), plus la valeur de l'indicateur d'ingestion T_{ING} sera élevée.

[0044] Après calcul de l'indicateur d'ingestion T_{ING} , on le compare à un seuil de détection S de valeur déterminée, une alarme d'ingestion étant émise lorsque l'indicateur d'ingestion T_{ING} excède ledit seuil de détection S .

[0045] La valeur du seuil de détection S est déterminée de manière à ne pas générer d'alarme pour des valeurs d'indicateur T_{ING} correspondant au fonctionnement normal du moteur et que l'on peut qualifier de bruit. Ce seuil de détection est donc obtenu en appliquant une marge au niveau moyen du « bruit » S_b . Cette marge est fonction des caractéristiques du signal « bruit » ainsi que du niveau de fiabilité de détection souhaitée. En référence à la figure 4, une marge de 70 % sépare le seuil de détection du niveau moyen de bruit.

[0046] Cette méthode est très sélective car l'indicateur d'ingestion T_{ING} pour un signal de bruit (hors ingestion) est faible étant donné qu'en l'absence d'ingestion, la ré-

ponse impulsionnelle du premier mode de torsion n'est pas présente dans le signal. Le signal de bruit ne ressemble pas à la réponse impulsionnelle du premier mode de torsion.

[0047] Lorsqu'une ingestion est détectée, l'alarme générée peut être soit dirigée directement vers le pilote de l'aéronef, sur lequel est monté le moteur, pour être consultée en temps réel, soit stockée dans une mémoire pour être consultée ultérieurement, par exemple, en vue d'une inspection du moteur, soit transmise en temps réel aux services de maintenance de la compagnie aérienne pour permettre à celle-ci d'anticiper et d'organiser, lors de la prochaine escale, une inspection détaillée du moteur impacté et toutes les actions de maintenance nécessaires.

[0048] Il va de soi que différents seuils d'alarme peuvent être définis de manière à distinguer différentes sortes d'ingestion (ingestions plus ou moins énergétiques, ingestions plus ou moins sévères).

[0049] L'invention a été ici décrite pour un turbomoteur à double corps mais il va de soi que l'invention s'applique de manière similaire à un moteur avec un unique ou plus de deux rotors.

Revendications

1. Méthode de détection automatisée de l'ingestion d'au moins un corps étranger par un moteur à turbine à gaz comprenant un rotor, méthode selon laquelle :
 - on mesure le régime instantané du rotor ($R(t)$);
 - on filtre le signal de régime du rotor ($R(t)$) de manière à dissocier sa composante statique ($R_s(t)$) de sa composante dynamique ($R_d(t)$);
 - on compare la composante dynamique filtrée ($R_d(t)$) à une onde de résonance étalon ($e(t)$) du rotor afin d'obtenir un indicateur d'ingestion (T_{ING}), l'onde de résonance étalon ($e(t)$) correspondant à la réponse impulsionnelle vibratoire d'un rotor;
 - on compare l'indicateur d'ingestion obtenu (T_{ING}) à un seuil de détection (S);
 - on émet un signal de détection d'une ingestion d'un corps étranger lorsque l'indicateur d'ingestion (T_{ING}) est supérieur au seuil de détection (S).
2. Méthode selon la revendication 1, dans laquelle l'onde de résonance étalon ($e(t)$) du rotor correspond à la réponse impulsionnelle du premier mode de torsion du rotor.
3. Méthode selon la revendication 2, dans laquelle l'onde de résonance étalon ($e(t)$) est définie de manière théorique en fonction des caractéristiques de la réponse impulsionnelle du premier mode de torsion du rotor.

4. Méthode selon la revendication 2, dans laquelle on mesure l'onde de résonance étalon ($e(t)$) directement sur le rotor du moteur sur lequel est mise en oeuvre la méthode de détection.

5. Méthode selon l'une des revendications 1 à 4, dans laquelle on réalise un produit de convolution entre la composante dynamique filtrée ($R_d(t)$) et l'onde de résonance étalon ($e(t)$).

6. Méthode selon l'une des revendications 1 à 5, dans laquelle le rotor est un rotor basse pression d'un moteur à turbine à gaz, on compare la composante dynamique filtrée ($R_d(t)$) à une onde de résonance étalon ($e(t)$) du rotor basse pression afin d'obtenir un indicateur d'ingestion (T_{ING}), l'onde de résonance étalon ($e(t)$) correspondant à la réponse impulsionnelle vibratoire d'un rotor basse pression.

Patentansprüche

1. Verfahren zum automatischen Erkennen der Aufnahme mindestens eines Fremdkörpers durch ein Gasturbinentriebwerk, das einen Rotor umfasst, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:
 - Messen der momentanen Drehzahl des Rotors ($R(t)$);
 - Filtern des Drehzahlsignals des Rotors ($R(t)$), um seine statische Komponente ($R_s(t)$) von seiner dynamischen Komponente ($R_d(t)$) zu trennen;
 - Vergleichen der ausgefilterten dynamischen Komponente ($R_d(t)$) mit einer Normalresonanzwelle ($e(t)$) des Rotors, um einen Aufnahmeindikator (T_{ING}) zu erzielen, wobei die Normalresonanzwelle ($e(t)$) dem Schwingungsimpulsverhalten eines Rotors entspricht;
 - Vergleichen des erzielten Aufnahmeindikators (T_{ING}) mit einer Erkennungsschwelle (S);
 - Ausgeben eines Erkennungssignals einer Aufnahme eines Fremdkörpers, wenn der Aufnahmeindikator (T_{ING}) größer als die Erkennungsschwelle (S) ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Normalresonanzwelle ($e(t)$) des Rotors dem Impulsverhalten des ersten Torsionsmodus des Rotors entspricht.
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die Normalresonanzwelle ($e(t)$) theoretisch in Abhängigkeit von den Charakteristiken des Impulsverhaltens des ersten Torsionsmodus des Rotors definiert wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die Normalresonanzwelle ($e(t)$) direkt am Rotor des Motors gemessen wird, an dem das Erkennungsverfahren umge-

setzt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei ein Faltungsprodukt zwischen der ausgefilterten dynamischen Komponente ($R_d(t)$) und der Normalresonanzwelle ($e(t)$) berechnet wird. 5
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Rotor ein Niederdruckrotor eines Gasturbinen- 10
triebwerks ist, wobei die ausgefilterte dynamische Komponente ($R_d(t)$) mit einer Normalresonanz-
welle ($e(t)$) des Niederdruckrotors verglichen wird, um einen Aufnahmeindikator (T_{ING}) zu erzielen, wobei 15
die Normalresonanzwelle ($e(t)$) dem Schwingungs-
impulsverhalten eines Niederdruckrotors entspricht.

wave ($e(t)$) is implemented.

6. The method according to any of claims 1 to 5, where-
in the rotor is a low pressure rotor of a gas turbine
engine, the filtered dynamic component ($R_d(t)$) is
compared to a standard resonance wave ($e(t)$) of the
low pressure rotor so as to obtain an ingestion indi-
cator (T_{ING}), the standard resonance wave ($e(t)$) cor-
responding to the vibrational impulsion response of
a low pressure rotor.

Claims

1. A method for the automated detection of the inges- 20
tion of at least one foreign body by a gas turbine
engine comprising a rotor, a method wherein:
 - the instantaneous speed ($R(t)$) of the rotor is 25
measured;
 - the speed signal ($R(t)$) of the rotor is filtered in
order to separate the static component ($R_s(t)$)
from the dynamic component ($R_d(t)$) thereof;
 - the filtered dynamic component ($R_d(t)$) is com- 30
pared to a standard resonance wave ($e(t)$) of the
rotor so as to obtain an ingestion indicator
(T_{ING}), the standard resonance wave ($e(t)$) cor-
responding to the vibrational impulse response
of a rotor;
 - the ingestion indicator (T_{ING}) being obtained is 35
compared to a detection threshold (S); and
 - a foreign body ingestion detection signal is
emitted when the ingestion indicator (T_{ING}) is
higher than the detection threshold (S). 40
2. The method according to claim 1, wherein the stand- 45
ard resonance wave ($e(t)$) of the rotor corresponds
to the impulsion response of the first torsion mode
of the rotor.
3. The method according to claim 2, wherein the stand- 50
ard resonance wave ($e(t)$) is theoretically defined as
a function of the characteristics of the impulsion re-
sponse of the first torsion mode of the rotor.
4. The method according to claim 2, wherein the stand- 55
ard resonance wave ($e(t)$) is directly measured on
the rotor of the engine on which the detection method
is implemented.
5. The method according to any of claims 1 to 4, where-
in a convolution product between the filtered dynam-
ic component ($R_d(t)$) and the standard resonance

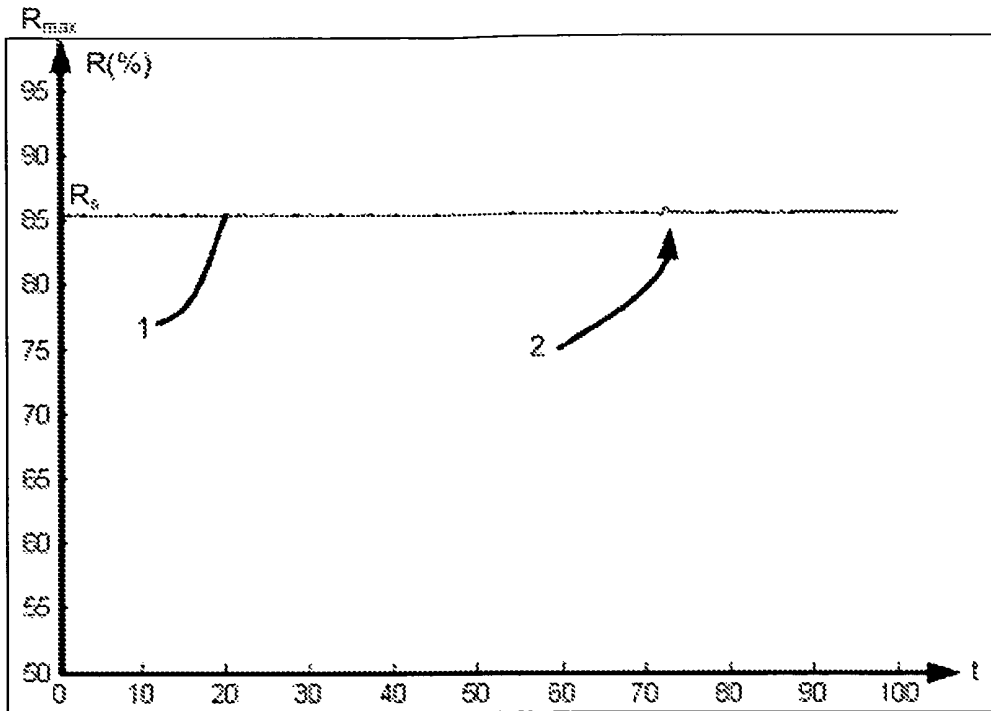


FIGURE 1

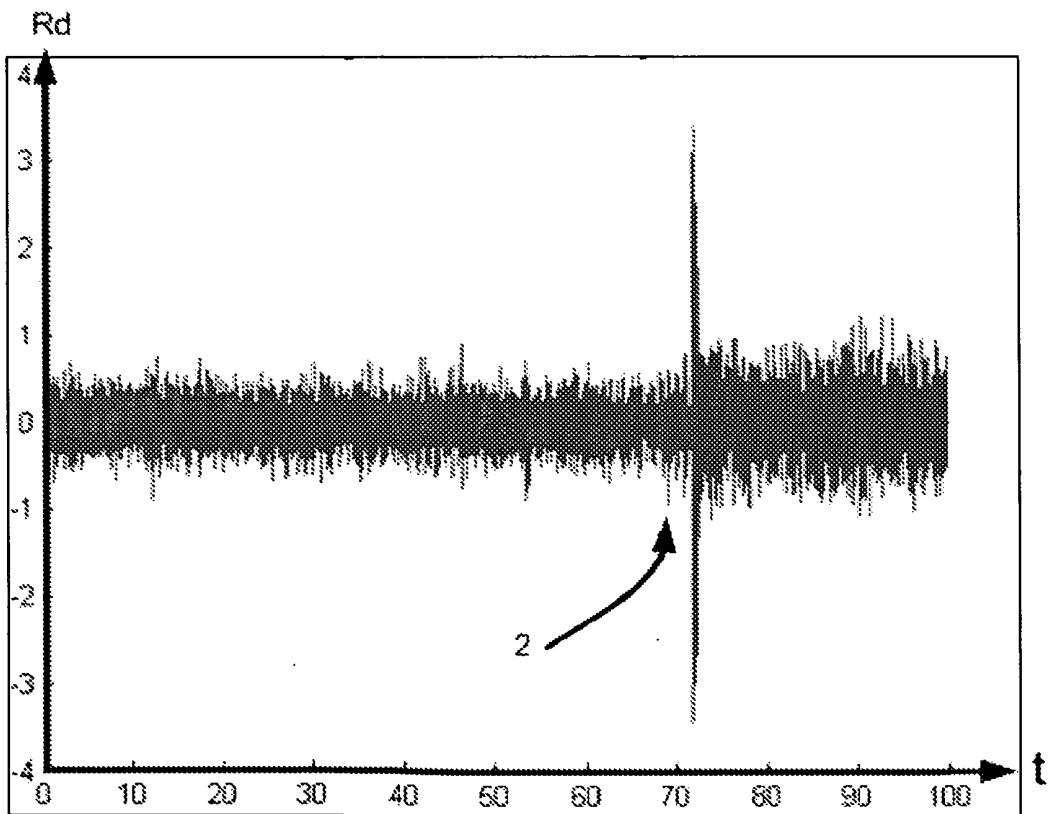


FIGURE 2

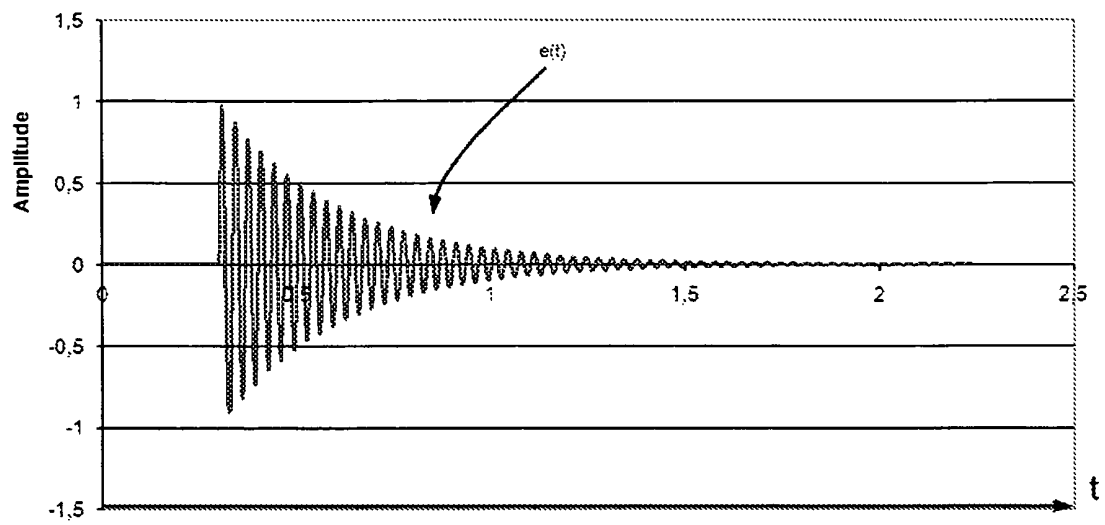


FIGURE 3

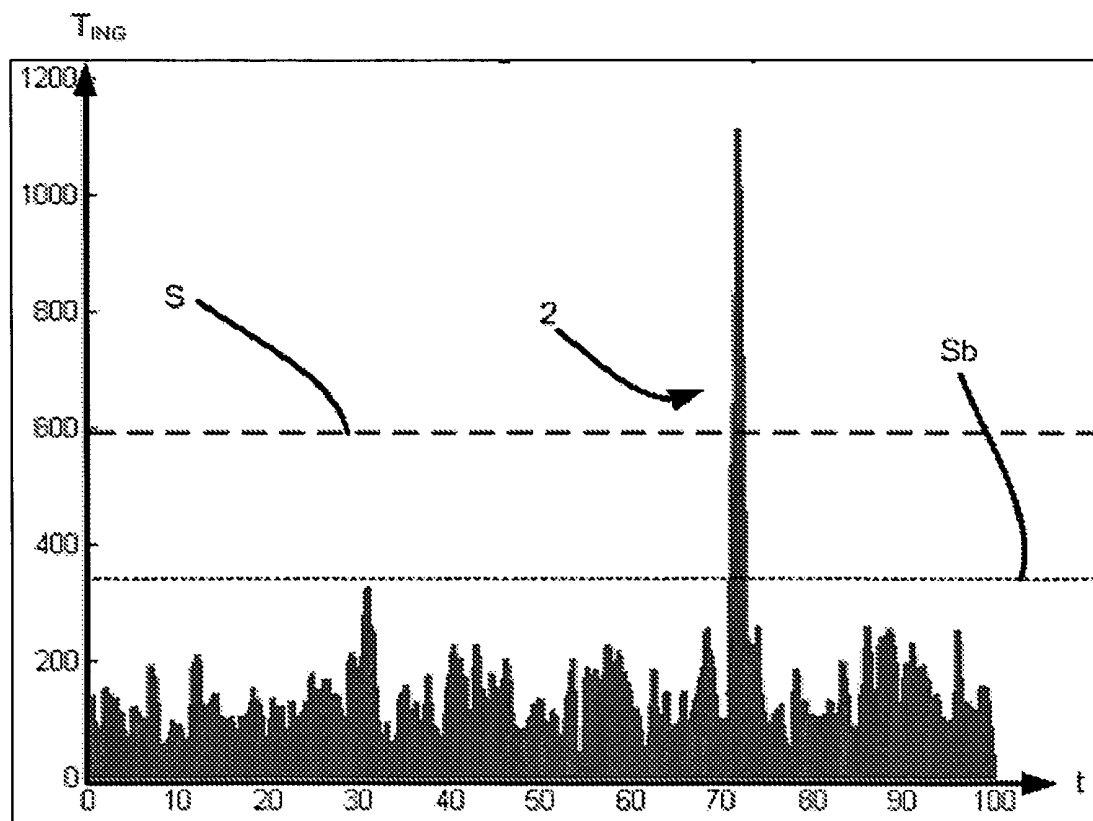


FIGURE 4

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- FR 2840358 A1 [0007]
- EP 1312766 A2 [0008]