



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 1006159-2 B1



(22) Data do Depósito: 12/01/2010

(45) Data de Concessão: 08/10/2019

(54) Título: PROCESSO E SISTEMA DE MONITORAMENTO DE FENÔMENOS VIBRATÓRIOS QUE OCORREM EM UM MOTOR DE TURBINA A GÁS DE AERONAVE EM FUNCIONAMENTO

(51) Int.Cl.: G01M 13/04; G01M 15/14; G01M 15/12; F01D 21/00; G01H 1/00.

(30) Prioridade Unionista: 13/01/2009 FR 0950156.

(73) Titular(es): SNECMA.

(72) Inventor(es): BRUNO CARRATT; DAVID FLORES; EDOUARD JADCZAK.

(86) Pedido PCT: PCT FR2010050038 de 12/01/2010

(87) Publicação PCT: WO 2010/081983 de 22/07/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 12/07/2011

(57) Resumo: PROCESSO E SISTEMA DE MONITORAMENTO DE FENÔMENOS VIBRATÓRIOS QUE OCORREM EM UM MOTOR DE TURBINA A GÁS DE AERONAVE EM FUNCIONAMENTO A invenção se refere a um processo e a um sistema de monitoramento de fenômenos vibratórios que ocorrem em um motor de turbina a gás de aeronave em funcionamento. O processo consiste em estabelecer (E30) um espectro de frequências do sinal vibratório representativo do estado de funcionamento do motor e de seus componentes, utilizar uma pluralidade de assinaturas vibratórias que correspondem cada uma delas a um fenômeno vibratório que sobrevém por ocasião do funcionamento dos motores de aeronaves do mesmo tipo que aquele a vigiar e que tem como origem um defeito ou um funcionamento anormal de um componente dos motores, identificar (E40) no espectro os pontos de curvas que respondem a funções matemáticas que definem cada uma delas uma assinatura vibratória, para cada curva identificada que corresponde a um defeito de componentes do motor, analisar (E50) a amplitude associada aos pontos da curva em relação a valores de amplitudes predefinidos que correspondem cada um deles a um grau de severidade do defeito, e depois da ultrapassagem de um valor de amplitude ou da detecção de um funcionamento anormal,...).

“PROCESSO E SISTEMA DE MONITORAMENTO DE FENÔMENOS VIBRATÓRIOS QUE OCORREM EM UM MOTOR DE TURBINA A GÁS DE AERONAVE EM FUNCIONAMENTO”

PLANO DE FUNDO DA INVENÇÃO

[0001] A presente invenção se refere ao domínio geral do monitoramento de motores de turbina a gás que equipam as aeronaves, tais como por exemplo os aviões ou os helicópteros. Ela se refere mais especialmente a um processo e a um sistema de monitoramento de fenômenos vibratórios que ocorrem em um motor de turbina a gás de aeronave no decorrer do funcionamento desse último.

[0002] É conhecido colocar sensores de vibração do tipo acelerômetro em um motor de aeronave para detectar as vibrações emitidas por um ou vários componentes especiais do motor por ocasião do funcionamento desse último. O sinal vibratório recolhido é analisado para comparar sua amplitude com valores de limite predefinidos que correspondem cada um deles a um funcionamento com defeito de um componente especial monitorado. Assim, em caso de defeito de um componente monitorado do motor, seu funcionamento acarreta o aparecimento de um fenômeno vibratório especial que pode ser detectado por análise do sinal vibratório.

[0003] O documento EP 1,970,691 descreve um tal processo aplicado à monitoramento do desgaste dos rolamentos de um mancal inter-árvores de uma turbomáquina aeronáutica. Nessa invenção, o sinal vibratório recolhido é transformado em um espectro frequencial para obter raias espectrais ordenadas de acordo com múltiplos da frequência teórica de danificação de um rolamento do mancal (a frequência teórica de danificação correspondendo a um funcionamento do rolamento com defeito). Os picos de amplitude determinados em torno dos múltiplos dessa frequência teórica são então comparados com valores de limite predefinidos para determinar se os rolamentos do mancal estão danificados.

[0004] Ainda que eficaz, esse tipo de processo de monitoramento da técnica anterior apresenta, no entanto, certos limites quanto a sua aplicação. É de fato bastante complicado e mesmo impossível calcular a frequência teórica de

funcionamento com defeitos de todos os componentes de um motor. Mesmo se isso é possível para certos componentes, um tal cálculo permanece uma simulação cuja fiabilidade nem sempre é assegurada. Disso resulta que numerosos fenômenos vibratórios que ocorrem no motor no decorrer de um voo de aeronave e que têm como origem um defeito de um componente do motor não são detectados ou são mal interpretados com as consequências que isso compreende em termos de danos potenciais para o motor.

[0005] Por outro lado, os processos de monitoramento da técnica anterior não permitem detectar um funcionamento anormal de um componente do motor, como por exemplo o deslizamento de um rolamento de mancal em suas pistas de rolamento. Ora, tais funcionamentos anormais que não estão obrigatoriamente ligados a defeitos estruturais dos componentes do motor podem gerar deteriorações desses últimos.

OBJETIVO E SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[0006] A presente invenção tem, portanto, como objetivo principal corrigir tais inconvenientes propondo para isso um processo e um sistema que permitem melhorar o monitoramento do motor de turbina a gás de aeronave.

[0007] De acordo com a invenção, esse objetivo é atingido graças a um processo de monitoramento que consiste em:

a) adquirir, por ocasião de um período predefinido de funcionamento do motor, um sinal vibratório representativo do estado de funcionamento do motor e de seus componentes;

b) estabelecer no período predefinido um espectro de frequências do sinal vibratório;

c) utilizar uma pluralidade de assinaturas vibratórias que correspondem cada uma delas a um fenômeno vibratório que ocorre por ocasião do funcionamento dos motores de aeronaves do mesmo tipo que aquele a monitorar e que tem como origem um defeito ou um funcionamento anormal de pelo menos um dos componentes dos motores, cada assinatura vibratória sendo definida por uma função matemática especial da qual os coeficientes são predeterminados em função

de parâmetros de funcionamento do motor;

d) identificar no espectro de frequências os pontos de curvas que respondem a funções matemáticas que definem cada uma delas uma assinatura vibratória a fim de detectar a presença de defeitos e de funcionamentos anormais de componentes do motor;

e) para cada curva identificada no espectro de frequências e que corresponde a uma assinatura vibratória que tem como origem um defeito de componentes do motor, analisar a amplitude associada aos pontos da curva em relação a valores de amplitudes predefinidos que correspondem cada um deles a um grau de severidade do defeito; e

f) depois da ultrapassagem de um ou vários valores de amplitude ou depois da detecção de um funcionamento anormal de um componente do motor, emitir uma mensagem associada à assinatura vibratória para a qual o ou os valores de amplitude foram ultrapassados ou para a qual o funcionamento anormal foi detectado.

[0008] O recurso a funções matemáticas especiais para definir as assinaturas vibratórias permite cobrir o conjunto dos fenômenos vibratórios que ocorrem no motor e que têm como origem um defeito ou um funcionamento anormal de um componente do motor, que esses fenômenos sejam organizados ou não, prognosticáveis pela teoria ou não. Desse modo, o conjunto dos defeitos e dos funcionamentos anormais dos componentes do motor que geram no decorrer de um vôo fenômenos vibratórios especiais podem ser monitorados. Disso resulta um monitoramento melhorado do motor.

[0009] De acordo com uma disposição vantajosa da invenção, o processo consiste ainda em gerar um aviso de manutenção do motor quando a emissão de uma mesma mensagem se repete em vários vôos, em várias fases de vôo idênticas ou em vários funcionamentos do motor no mesmo regime. Essa disposição permite acompanhar no tempo a evolução de um fenômeno vibratório especial e prevenir qualquer dano do motor prognosticando para isso previamente um aviso de manutenção. As operações de manutenção e a possibilidade de consertar o

componente incriminado na origem da assinatura vibratória especial se encontram assim bastante melhoradas.

[0010] O aviso de manutenção compreende de preferência a identificação do ou dos componentes do motor na origem do fenômeno vibratório anormal para o qual a mensagem é emitida.

[0011] De acordo com uma outra disposição vantajosa da invenção, as funções matemáticas que definem as assinaturas vibratórias são armazenadas em uma base de dados que pode ser atualizada. A utilização de uma tal base de dados permite se for necessário atualizar os coeficientes das funções matemáticas associadas às assinaturas vibratórias ou acrescentar novos coeficientes. Em especial, essa operação de atualização pode ser realizada diretamente depois do voo conectando-se à base de dados. Assim, o processo apresenta uma grande flexibilidade de utilização e de adaptação.

[0012] A análise da amplitude associada aos pontos de uma mesma curva identificada no espectro de frequências pode consistir em uma comparação da amplitude associada a cada ponto da curva em relação a pelo menos um valor de limite predefinido, ou uma comparação do valor médio das amplitudes associadas aos pontos da curva em relação a um valor de limite médio predefinido, ou em um cálculo do desvio padrão entre as amplitudes associadas aos pontos da curva e valores de limite predefinidos.

[0013] Vantajosamente, os coeficientes das funções matemáticas especiais que definem as assinaturas vibratórias são também predeterminados em função de parâmetros de voo da aeronave e/ou da geometria dos componentes do motor.

[0014] O período predefinido de funcionamento do motor no decorrer do qual é adquirido o sinal vibratório pode corresponder a uma fase de voo especial, um voo completo ou um funcionamento do motor a um regime especial.

[0015] Os defeitos e os funcionamentos anormais de componentes do motor na origem dos fenômenos vibratórios podem pertencer à lista seguinte: flutuação da ventoinha do motor, defeito de um mancal que sustenta em rotação pelo menos uma árvore rotativa do motor, aparecimento de um desequilíbrio de óleo em um dos

rotores do motor, degradação mecânica de um dente de engrenagem, deslizamento de um rolamento de mancal, fenda ou desgaste de um componente.

[0016] Correlativamente, a invenção tem também como objeto um sistema de monitoramento de fenômenos vibratórios que ocorrem em um motor de turbina a gás de aeronave em funcionamento, caracterizado pelo fato de que ele compreende:

a) meios de aquisição, por ocasião de um período predefinido de funcionamento do motor, de um sinal vibratório representativo do estado de funcionamento do motor e de seus componentes;

b) meios de estabelecimento no período predefinido de um espectro de frequências do sinal vibratório;

c) uma base de dados que compreende uma pluralidade de assinaturas vibratórias que correspondem cada uma delas a um fenômeno vibratório que ocorre por ocasião do funcionamento dos motores de aeronave do mesmo tipo que aquele a monitorar e que tem como origem um defeito ou um funcionamento anormal de pelo menos um dos componentes dos motores, cada assinatura vibratória sendo definida por uma função matemática especial da qual os coeficientes são predeterminados em função de parâmetros de funcionamento do motor;

d) meios de identificação no espectro de frequências dos pontos de curvas que respondem a funções matemáticas que definem cada uma delas uma assinatura vibratória a fim de detectar a presença de defeitos e de funcionamentos anormais de componentes do motor;

e) meios de análise da amplitude associada aos pontos das curvas assim identificadas em relação a valores de amplitude predefinidos que correspondem cada um deles a um grau de severidade de um defeito do ou dos componentes do motor associados à assinatura vibratória; e

f) meios de emissão de uma mensagem associada à assinatura vibratória para a qual o ou os valores de amplitude foram ultrapassados ou para a qual o funcionamento anormal foi detectado depois da ultrapassagem de um ou vários valores de amplitude ou depois da detecção de um funcionamento anormal de um componente do motor.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0017] Outras características e vantagens da presente invenção se destacarão da descrição feita abaixo, em referência aos desenhos anexos que ilustram um exemplo de realização da mesma desprovido de qualquer caráter limitativo. Nas figuras:

- a figura 1 é um organograma que mostra as diferentes etapas do processo de monitoramento de acordo com a invenção;
- a figura 2 representa um espectro de frequências obtido de acordo com uma etapa do processo de monitoramento da invenção; e
- a figura 3 representa um outro espectro de frequências obtido de acordo com uma etapa do processo de monitoramento da invenção.

DESCRIÇÃO DETALHADA DE UM MODO DE REALIZAÇÃO

[0018] O processo e o sistema de monitoramento de acordo com a invenção se aplicam a qualquer tipo de motor de turbina a gás que equipa as aeronaves, tais como por exemplo os aviões ou os helicópteros. No caso descrito aqui, haverá mais especialmente interesse em um motor de turbina a gás de avião que compreende dois rotores. Naturalmente, a invenção não se limita a um motor de dois rotores, mas sim se aplica a todos os motores de turbina a gás de aeronave que compreendem um ou vários rotores.

[0019] O processo e o sistema de monitoramento de acordo com a invenção permitem identificar de modo automático fenômenos vibratórios especiais que ocorrem no motor em funcionamento e que têm como origem um defeito ou um funcionamento anormal de um dos componentes do motor (incluindo seus equipamentos). Os defeitos monitorados compreendem por exemplo o desgaste de um rolamento de mancal, a flutuação da ventoinha (no caso de uma turbomáquina), etc. Quanto a um funcionamento anormal de um componente do motor, pode se tratar por exemplo de um deslizamento de um rolamento de mancal em suas postas de rolamento.

[0020] O processo e o sistema de monitoramento repousam em uma análise dos sinais vibratórios que provêm de sensores de vibrações (de tipo acelerômetros) que

são tipicamente instalados em um motor. De modo conhecido em si, tais sensores de vibração são ligados para o tratamento do sinal a um computador eletrônico (também chamado EMU para “Engine Monitoring Unit”) que pode estar presente no avião (por exemplo no armário eletrônico) ou que equipa diretamente o motor.

[0021] Em ligação com a figura 1, o processo de monitoramento de acordo com a invenção consiste primeiro em adquirir, por ocasião de um período de medição T predefinido de funcionamento do motor, um sinal vibratório S_v representativo do estado de funcionamento do motor e de seus componentes (quer dizer do nível de vibrações dos componentes do dito motor – etapa E10) e parâmetros de funcionamento do motor ou parâmetros de voo (etapa E20).

[0022] No exemplo descrito aqui, os parâmetros adquiridos no decorrer da etapa E20 são os regimes de rotação N1, N2 dos dois rotores do motor. No entanto, poderia se tratar de outros parâmetros de funcionamento do motor (tais como a temperatura do óleo por exemplo) ou então de parâmetros de voo (tais como por exemplo a velocidade e a altitude de voo, a temperatura exterior à aeronave, etc.).

[0023] O período de medição T durante o qual são adquiridos o sinal vibratório S_v e os parâmetros pode corresponder a uma fase de voo especial do avião (como por exemplo a decolagem ou a aterrissagem), ou a um voo completo do avião ou ainda a um funcionamento do motor a um regime especial (por exemplo no regime com todo o gás ou no regime de cruzeiro). O monitoramento pode, portanto, ser efetuada de modo contínuo desde que o motor funcione.

[0024] Como indicado precedentemente, o sinal vibratório S_v provém de um acelerômetro instalado no motor. O sinal é transmitido para o computador eletrônico e armazenado em uma memória desse último para análise ou no decorrer do voo do avião, ou depois da aterrissagem desse último.

[0025] Quando a etapa E20 consiste na aquisição dos regimes de rotação N1, N2 dos rotores do motor, essa última é efetuada de modo síncrono com o sinal vibratório S_v e pode consistir por exemplo em converter os sinais que provêm de sondas taquimétricas montadas nos rotores do motor (tais sondas podem já estar presentes no motor). Esses sinais são também transmitidos para o computador

eletrônico e armazenados em uma memória desse último.

[0026] A etapa seguinte (E30) consiste em estabelecer no período T um espectro de frequências (ou espectrograma) do sinal vibratório S_v . De modo conhecido, o espectro de frequências é geralmente estabelecido em função dos regimes de rotação N_1 , N_2 dos rotores do motor ou em função do tempo.

[0027] Por outro lado, o espectro de frequências é estabelecido por aplicação de uma transformada de Fourier e permite obter um diagrama de 3 dimensões (tempo ou regime de rotação / frequência / amplitude). A figura 2 ilustra um exemplo de espectro de frequências obtido para um motor de turbina a gás de avião que tem dois rotores com em abscissa a frequência e em ordenada o tempo.

[0028] A etapa E30 de estabelecimento do espectro de frequências é bem conhecida em si pelo profissional e não é, portanto, detalhada aqui. Ela é realizada com o auxílio de um software de cálculo que equipa o calculador eletrônico.

[0029] O processo de monitoramento de acordo com a invenção prevê no decorrer de uma etapa E40 identificar no espectro de frequências os pontos que pertencem a curvas que correspondem a assinaturas vibratórias previamente definidas.

[0030] Essas assinaturas vibratórias correspondem cada uma delas a um fenômeno vibratório especial que ocorre por ocasião do funcionamento dos motores do mesmo tipo que aquele a monitorar e que tem como origem um defeito ou um funcionamento anormal de pelo menos um dos componentes do motor.

[0031] Cada assinatura vibratória é por outro lado definida por uma função matemática especial F da qual os coeficientes são previamente determinados notadamente em função de parâmetros de funcionamento do motor (regimes de rotação dos rotores, temperatura do óleo, etc.) e eventualmente em função de parâmetros de voo da aeronave (velocidade, altitude, temperatura exterior, etc.).

[0032] As funções matemáticas F que definem as assinaturas vibratórias podem, portanto, se apresentar sob a forma de funções polinomiais, de funções exponenciais, de funções logarítmicas, etc. A título de exemplo, uma função matemática especial pode se apresentar sob a forma de uma combinação polinomial

predeterminada dos regimes de rotação dos rotores do motor.

[0033] O método de obtenção das assinaturas vibratórias, e em especial dos coeficientes das funções matemáticas F correspondentes, será detalhado ulteriormente.

[0034] A etapa E40 é realizada com o auxílio de um software de cálculo que equipa o computador eletrônico. Com o auxílio de métodos de cálculo bem conhecidos pelo profissional, ela consiste em identificar no espectro de frequências diferentes pontos (que têm como coordenadas a frequência, o tempo e/ou os regimes de rotação dos rotores de acordo com o modelo de espectro de frequências estabelecido) que pertencem a curvas definidas pelas funções matemáticas especiais descritas acima e associadas às assinaturas vibratórias.

[0035] No exemplo do espectro de frequências ilustrado na figura 2, os pontos P1 pertencem todos a uma curva da qual a forma é definida por uma função matemática especial predeterminada. Quanto aos pontos P2, eles pertencem todos a uma outra curva da qual a forma é definida por uma outra função matemática especial predeterminada.

[0036] Assim, essa etapa E40 permite detectar se no decorrer do período de medição T um ou vários componentes do motor apresentam um defeito ou funcionam de modo anormal (ou degradado).

[0037] Naturalmente, a faixa de frequências do espectro na qual a identificação dos pontos que pertencem a curvas definidas pelas funções matemáticas especiais pode ser o objeto de ajustes por uma parametrização. Um ponto do qual as coordenadas se afastam muito pouco em frequência (quer dizer de um valor predeterminado) de uma curva definida por uma função matemática especial poderá assim ser considerado como pertencendo a essa curva.

[0038] Por outro lado, é possível associar a cada curva definida por uma função matemática especial uma faixa de frequências na qual a identificação dos pontos do espectro de frequências que pertencem a essa curva deve ser efetuada.

[0039] No caso da detecção no espectro de frequências de uma curva que corresponde a uma assinatura vibratória que tem como origem um defeito de

componente do motor, uma etapa seguinte (E50) consiste em analisar a amplitude associada aos pontos dessas curvas em relação a valores de amplitude predefinidos. Esses valores de amplitude correspondem cada um deles a um grau de severidade do defeito em questão.

[0040] Essa etapa de análise é também realizada com o auxílio de um software de cálculo que equipa o computador eletrônico. Ela pode ser executada por diferentes métodos de cálculo bem conhecidos pelo profissional: pode se tratar de uma comparação da amplitude associada a cada ponto da curva em relação a pelo menos um valor de limite predefinido, ou de uma comparação do valor médio das amplitudes associadas aos pontos da curva em relação a um valor de limite médio predefinido, ou ainda de um cálculo do desvio padrão entre as amplitudes associadas aos pontos da curva e valores de limite predefinidos.

[0041] Depois da ultrapassagem de um ou vários valores de amplitude, uma mensagem é emitida (etapa E60), essa mensagem sendo associada à assinatura vibratória para a qual o ou os valores de amplitude foram ultrapassados.

[0042] Essa etapa E60 prevê também emitir uma mensagem depois da detecção por ocasião da etapa E40 de um funcionamento anormal de um componente do motor, essa mensagem sendo também associada à assinatura vibratória para a qual o funcionamento anormal foi detectado.

[0043] Quando o processo de monitoramento é executado no decorrer de um voo, essa mensagem pode ser armazenada em uma memória do computador eletrônico para análise ulterior ou então transmitida diretamente ao solo por meios de transmissão conhecidos em si.

[0044] Por outro lado, é vantajoso armazenar em memória as mensagens escritas no decorrer de um mesmo voo para eventualmente gerar ulteriormente um aviso de manutenção do motor. Um tal aviso de manutenção é notadamente gerado de acordo com uma regra de diagnostico própria ao motor quando a emissão de uma mesma mensagem se repete em vários voos, em várias fases de voo idênticas ou em vários funcionamentos do motor no mesmo regime.

[0045] Assim, é possível acompanhar no tempo a evolução de um fenômeno

vibratório especial e prevenir qualquer dano do ou dos componentes do motor na origem desse fenômeno vibratório prognosticando para isso previamente um aviso de manutenção. Com essa finalidade, o aviso de manutenção compreende naturalmente a identificação do ou dos componentes do motor na origem do fenômeno vibratório para o qual a mensagem é emitida. Esse acompanhamento da saúde mecânica do ou dos componentes do motor permite prognosticar um tempo de funcionamento que resta antes de programar uma ação de manutenção.

EXEMPLO APLICADO À IDENTIFICAÇÃO DE UM DEFEITO DE UM ROLAMENTO DE MANCAL DE TURBOMÁQUINA

[0046] Em ligação com a figura 3, será descrito agora um exemplo de execução do processo de acordo com a invenção aplicado à monitoramento de um rolamento de mancal. Nesse exemplo, o motor é uma turbomáquina aeronáutica de corpo duplo de fluxo duplo do tipo CFM56® e o mancal monitorado é o mancal a montante do rotor de alta pressão da turbomáquina.

[0047] O espectro de frequências ilustrado na figura 3 corresponde ao diagrama regime de rotação (em abscissa) / frequências (em ordenada) estabelecido para o sinal vibratório recolhido por um acelerômetro montado em uma parte fixa da turbomáquina. Os regimes de rotação N1, N2 são aqueles do corpo de baixa pressão e do corpo de alta pressão da turbomáquina, respectivamente.

[0048] O espectro de frequências foi estabelecido em um período que corresponde a um funcionamento que vai da desaceleração ao todo o gás do motor.

[0049] Duas assinaturas vibratórias são utilizadas aqui. Uma dessas assinaturas vibratórias corresponde a um funcionamento anormal desse mesmo rolamento de mancal.

[0050] A assinatura vibratória que corresponde a um funcionamento anormal do mancal é definida pela combinação polinomial F seguinte:

$$F = -0,0001N_1^2 + 3,3071N_2 - 22507$$

e ela é esquematizada na figura 3 pela curva C.

[0051] Quanto à assinatura vibratória que corresponde a um defeito do rolamento do mancal, ela é definida no caso de um funcionamento normal pela

função linear F' seguinte:

$$F = 9,5N_2$$

[0052] Naturalmente, um defeito pode se cumular a um funcionamento anormal, por exemplo uma escamação de rolamento pode se cumular a deslizamento. A iniciação de uma tal escamação pode ser o funcionamento anormal.

[0053] Com o auxílio de um cálculo numérico que leva em consideração o conjunto dos pontos do espectro de frequências (de abscissas os regimes de rotação e de ordenadas as frequências), os pontos P3 do espectro são identificados como pertencendo (com exceção de uma aproximação) à curva $\underline{C}$ que corresponde à assinatura vibratória definida pela combinação polinomial F .

[0054] De fato, o resultado da função matemática representada pela curva $\underline{C}$ permite interrogar o espectro em uma faixa de frequências predefinida a fim de recuperar a amplitude do sinal de vibração e as informações associadas.

[0055] A recuperação e o armazenamento do conjunto desses resultados no conjunto da faixa de regime motor ou de tempo e da faixa frequencial são seguidos por uma etapa de comparação das amplitudes com valores de limite predefinidos.

MÉTODO DE OBTENÇÃO DAS ASSINATURAS VIBRATÓRIAS

[0056] Agora será descrito como as assinaturas vibratórias são obtidas, e mais especialmente como são estabelecidos os diferentes coeficientes matemáticos especiais que correspondem a essas assinaturas.

[0057] As assinaturas vibratórias são estabelecidas para uma mesma família de motores de aeronaves, quer dizer para motores que têm as mesmas características principais. Para o exemplo de espectro de frequências ilustrado na figura 3, a família das turbomáquinas é aquela das CFM56®.

[0058] As assinaturas vibratórias são também determinadas em função da geometria dos componentes dos motores que pertencem a essa família. Por exemplo, no caso do monitoramento de um defeito de um rolamento de mancal de turbomáquina, a assinatura vibratória associada a esse defeito depende notadamente da geometria do rolamento, do número de elementos rolantes e da velocidade de rotação das árvores sustentadas por esse mancal.

[0059] Por outro lado, com o auxílio da geometria dos componentes, vários métodos podem ser utilizados para determinar os coeficientes das funções matemáticas especiais que correspondem a essas assinaturas vibratórias.

[0060] Quando ele é aplicável, um desses métodos consiste em calcular os coeficientes de uma função matemática especial por cálculo teórico. Por exemplo, no caso do monitoramento de um defeito em um rolamento de mancal inter-árvores de rolo de uma turbomáquina, é conhecido que a combinação polinomial teórica que corresponde a um funcionamento com defeito de um rolamento desse mancal pode se escrever do seguinte modo:

$$F = [D/(2d)] \times (N_2 - N_1) \times [1 - (d/D)^2]$$

onde D é o diâmetro nominal do rolamento, d é o diâmetro de um rolo e N_1 e N_2 são as velocidades de rotação respectivas das árvores sustentadas pelo mancal.

[0061] Um outro método que pode ser utilizado para calcular as variáveis de uma função matemática especial é o recurso à experiência pelo retorno de acontecimentos em serviço ou por ensaios de desenvolvimento. Trata-se aqui de utilizar os dados vibratórios recolhidos pelos sensores de vibrações do motor quando um defeito de um componente do motor é identificado. Em especial, esse método necessita geralmente em um primeiro tempo de partir de um cálculo teórico que corresponde a um funcionamento com defeito ou um funcionamento anormal de um componente do motor e de afinar esse cálculo com o auxílio de retornos de experiências e eventualmente de combinar essa função matemática com um outro fenômeno tal como um deslizamento de rolamento por exemplo.

[0062] No caso de uma aplicação a uma turbomáquina aeronáutica, essas funções matemáticas especiais podem por exemplo corresponder aos defeitos e aos funcionamentos anormais da turbomáquina seguintes; flutuação da ventoinha da turbomáquina, defeito de um mancal que sustenta em rotação pelo menos uma árvores rotativa da turbomáquina, aparecimento de um desequilíbrio de óleo em um dos rotores da turbomáquina, degradação mecânica de um dente de engrenagem, deslizamento de um rolamento de mancal, fenda ou desgaste de um componente,

etc.

[0063] Uma vez que a totalidade das funções matemáticas foi identificada, elas são associadas ao defeito ou ao funcionamento anormal do componente da aeronave na origem do fenômeno vibratório especial. Elas são em seguida armazenadas sob a forma de uma tabela de configuração em uma base de dados de uma memória do computador eletrônico.

[0064] A vantagem de recorrer a uma base de dados é que essa última pode ser atualizada. Por atualização da base de dados na qual estão armazenadas as funções matemáticas, entende-se que novas funções matemáticas associadas a novas assinaturas vibratórias podem ser acrescentadas à tabela de configuração, ou que essa última pode ser modificada por ajuste dos coeficientes das funções matemáticas já presentes ou por ajuste das próprias funções matemáticas.

[0065] Desse modo, outros defeitos e outros funcionamentos anormais de componentes do motor que ocorrem durante o funcionamento desse último e que têm como consequência a geração de um fenômeno vibratório especial podem ser identificados ulteriormente e suas assinaturas vibratórias correspondentes ser acrescentadas à base de dados. Essa possibilidade permite enriquecer a base de dados acrescentando a ela novas assinaturas vibratórias à medida que são identificados novos defeitos e novos funcionamentos anormais. A atualização da base de dados é por outro lado simples visto que ela pode ser realizada diretamente na aeronave se conectando para isso com o computador eletrônico.

[0066] Assim, o processo de acordo com a invenção apresenta uma grande flexibilidade de utilização e de adaptação. Ele permite notadamente responder a uma crise em serviço com uma intervenção diretamente na aeronave em retorno em fábrica do computador eletrônico para reconfiguração por exemplo.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo de monitoramento de fenômenos vibratórios que ocorrem em um motor de turbina a gás de aeronave em funcionamento, caracterizado pelo fato de que consiste em:

a) adquirir (E10), por ocasião de um período predefinido de funcionamento do motor, um sinal vibratório representativo do estado de funcionamento do motor e de seus componentes;

b) estabelecer (E30) no período predefinido um espectro de frequências do sinal vibratório;

c) utilizar uma pluralidade de assinaturas vibratórias que correspondem cada uma delas a um fenômeno vibratório que ocorre por ocasião do funcionamento dos motores de aeronaves do mesmo tipo que aquele a monitorar e que tem como origem um defeito ou um funcionamento anormal de pelo menos um dos componentes dos motores, cada assinatura vibratória sendo definida por uma função matemática especial da qual os coeficientes são predeterminados em função de parâmetros de funcionamento do motor;

d) identificar (E40) no espectro de frequências os pontos de curvas que respondem a funções matemáticas que definem cada uma delas uma assinatura vibratória a fim de detectar a presença de defeitos e de funcionamentos anormais de componentes do motor;

e) para cada curva identificada no espectro de frequências e que corresponde a uma assinatura vibratória que tem como origem um defeito de componentes do motor, analisar (E50) a amplitude associada aos pontos da curva em relação a valores de amplitude predefinidos que correspondem cada um deles a um grau de severidade do defeito; e

f) depois da ultrapassagem de um ou vários valores de amplitude ou depois da detecção de um funcionamento anormal de um componente do motor, emitir (E60) uma mensagem associada à assinatura vibratória para a qual o ou os valores de amplitude foram ultrapassados ou para a qual o funcionamento anormal foi detectado.

2. Processo de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que consiste ainda em gerar um aviso de manutenção do motor quando a emissão de uma mesma mensagem se repete em vários vôos, em várias fases de vôo idênticas ou em vários funcionamentos do motor no mesmo regime.

3. Processo de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que o aviso de manutenção compreende a identificação do ou dos componentes do motor na origem do fenômeno vibratório para o qual a mensagem é emitida.

4. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que as funções matemáticas que definem as assinaturas vibratórias são armazenadas em uma base de dados que pode ser atualizada.

5. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que a análise da amplitude associada aos pontos de uma mesma curva identificada no espectro de frequências consiste em uma comparação da amplitude associada a cada ponto da curva em relação a pelo menos um valor de limite predefinido, ou uma comparação do valor médio das amplitudes associadas aos pontos da curva em relação a um valor de limite médio predefinido, ou em um cálculo do desvio padrão entre as amplitudes associadas aos pontos da curva e valores de limite predefinidos.

6. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizado pelo fato de que os coeficientes das funções matemáticas especiais que definem as assinaturas vibratórias são também predeterminados em função de parâmetros de vôo da aeronave e/ou da geometria dos componentes do motor.

7. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 6, caracterizado pelo fato de que o período predefinido de funcionamento do motor no decorrer do qual é adquirido o sinal vibratório corresponde a uma fase de vôo especial, um vôo completo ou um funcionamento do motor a um regime especial.

8. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 7, caracterizado pelo fato de que os defeitos e os funcionamentos anormais de componentes do motor na origem dos fenômenos vibratórios pertencem à lista seguinte: flutuação da ventoinha do motor, defeito de um mancal que sustenta em

rotação pelo menos um eixo rotativo do motor, aparecimento de um desequilíbrio de óleo em um dos rotores do motor, degradação mecânica de um dente de engrenagem, deslizamento de um rolamento de mancal, fenda ou desgaste de um componente.

9. Sistema de monitoramento de fenômenos vibratórios que ocorrem em um motor de turbina a gás de aeronave em funcionamento, caracterizado pelo fato de que compreende:

a) meios de aquisição, por ocasião de um período predefinido de funcionamento do motor, de um sinal vibratório representativo do estado de funcionamento do motor e de seus componentes;

b) meios de estabelecimento no período predefinido de um espectro de frequências do sinal vibratório;

c) uma base de dados que compreende uma pluralidade de assinaturas vibratórias que correspondem cada uma delas a um fenômeno vibratório que ocorre por ocasião do funcionamento dos motores de aeronave do mesmo tipo que aquele a monitorar e que tem como origem um defeito ou um funcionamento anormal de pelo menos um dos componentes dos motores, cada assinatura vibratória sendo definida por uma função matemática especial da qual os coeficientes são predeterminados em função de parâmetros de funcionamento do motor;

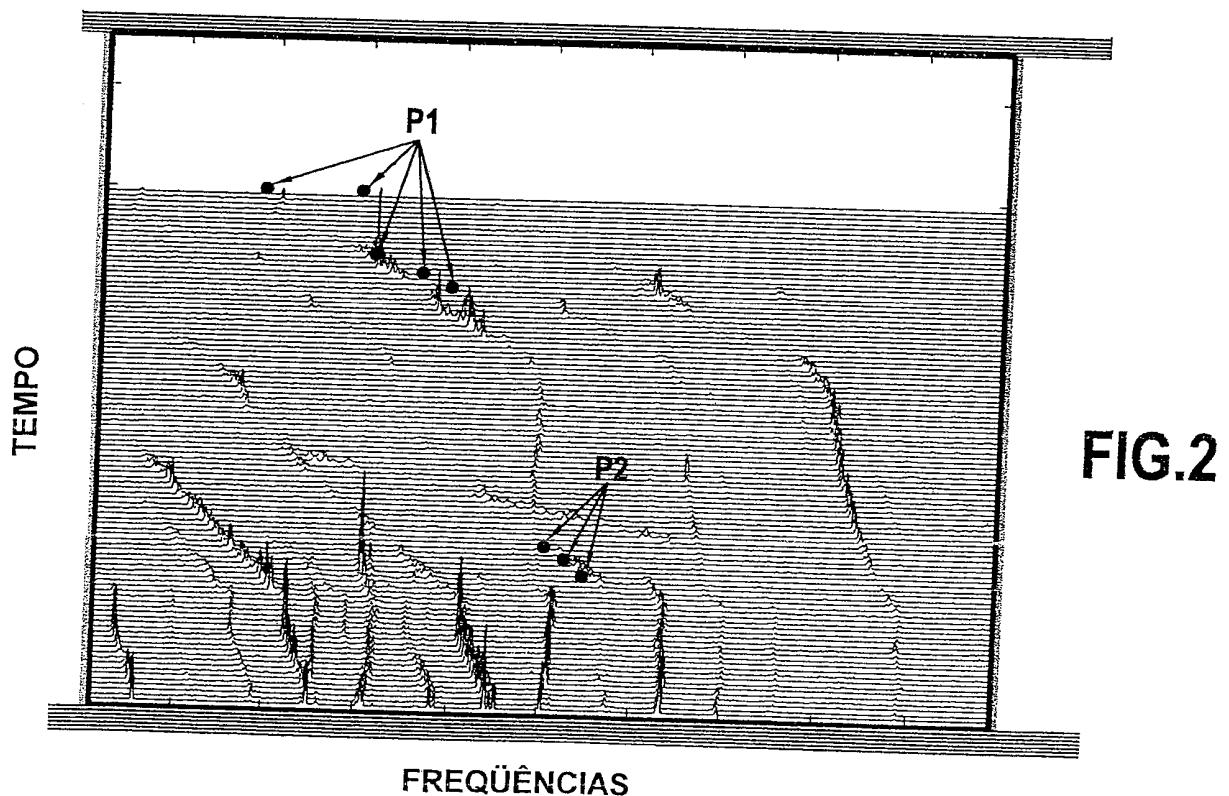
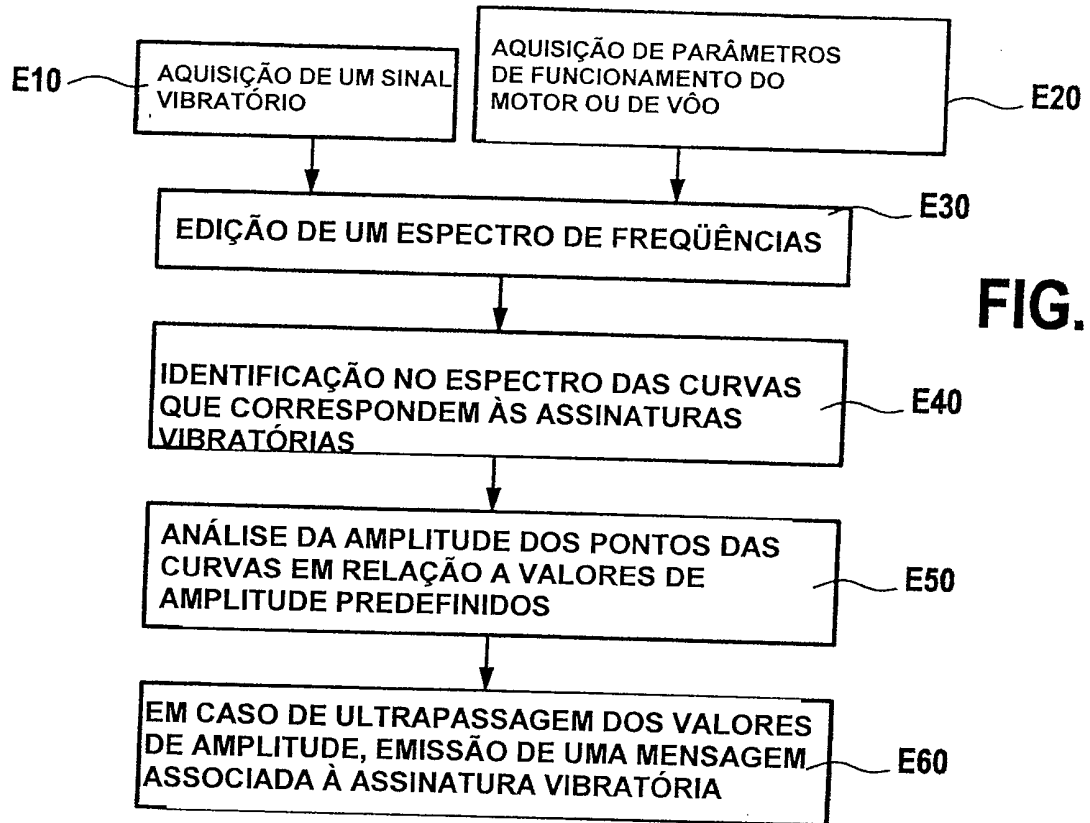
d) meios de identificação no espectro de frequências dos pontos de curvas que respondem a funções matemáticas que definem cada uma delas uma assinatura vibratória a fim de detectar a presença de defeitos e de funcionamentos anormais de componentes do motor;

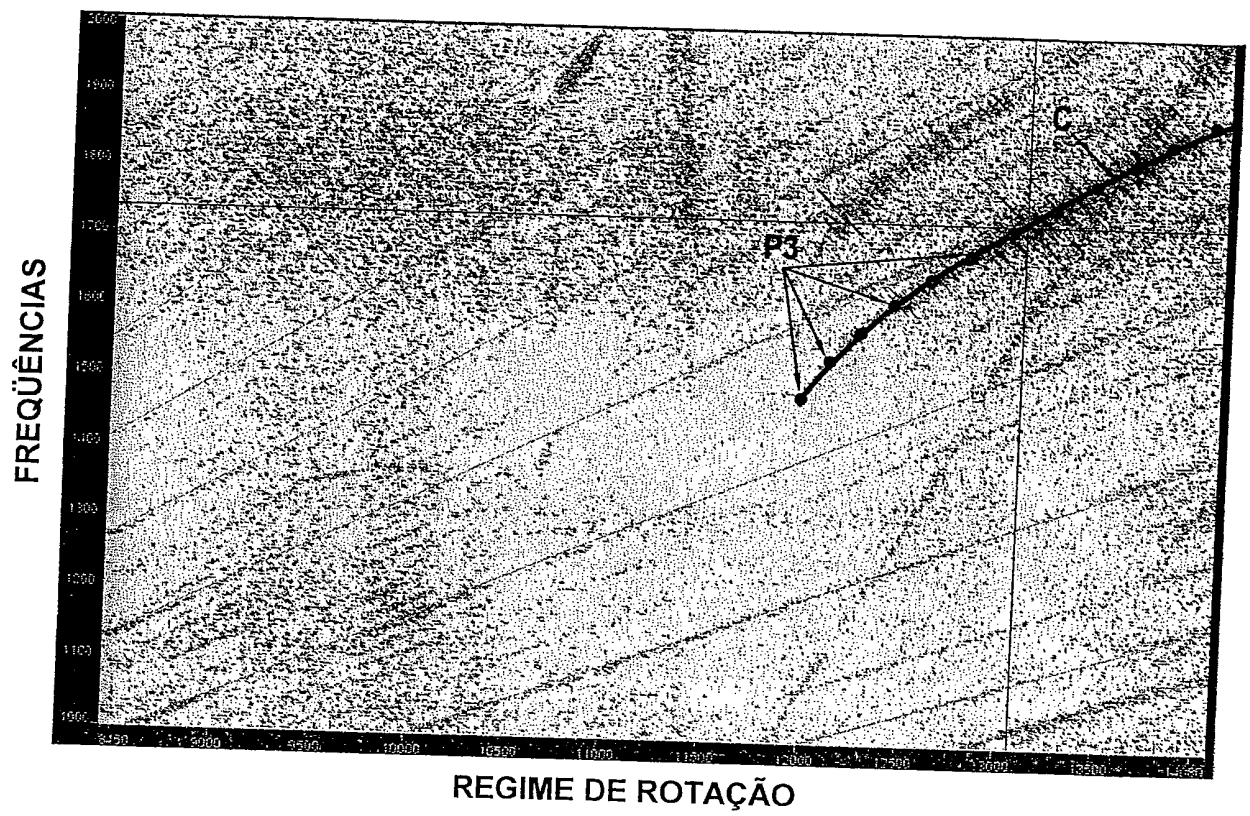
e) meios de análise da amplitude associada aos pontos das curvas assim identificadas em relação a valores de amplitude predefinidos que correspondem cada um deles a um grau de severidade de um defeito do ou dos componentes do motor associados à assinatura vibratória; e

f) meios de emissão de uma mensagem associada à assinatura vibratória para a qual o ou os valores de amplitude foram ultrapassados ou para a qual o funcionamento anormal foi detectado depois da ultrapassagem de um ou vários

valores de amplitude ou depois da detecção de um funcionamento anormal de um componente do motor.

10. Sistema de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que a base de dados na qual são armazenadas as funções matemáticas que definem as assinaturas vibratórias é gravada em uma memória de um computador eletrônico do motor ou da aeronave e pode ser atualizada.



**FIG.3**