



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

(11) PI 0904148-6 B1



(22) Data do Depósito: 21/10/2009

(45) Data de Concessão: 21/07/2020

(54) Título: MÉTODO DE CONTROLE DE UM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA POR SINAL DE MICROFONE

(51) Int.Cl.: F02D 35/02.

(30) Prioridade Unionista: 21/10/2008 EP 08425681.7.

(73) Titular(es): MAGNETI MARELLI S.P.A..

(72) Inventor(es): NICOLÒ CAVINA; FILIPPO CAVANNA; GIANCARLO BISANTI; STEFANO SGATTI.

(57) Resumo: Método de controle de um motor de combustão interna por sinal de microfone. Método de controle para um motor de combustão interna (2), tendo ao menos um cilindro (3) definindo uma câmara de combustão de volume variável, e um eixo de manivelas (15) rotativo potenciado por um pistão (14), que desliza dentro do cilindro (3), inclui as etapas de: - determinação de uma janela de gravação (W), expressa em graus (244>) de ângulo de motor, e tendo um ângulo de motor (244> partida) de partida, e um ângulo de motor (244> parada) de parada; - aquisição e memorização da intensidade (S) de som das ondas de pressão, geradas pelo motor de combustão interna (2) como uma função de um ângulo de motor 244>, por meio de ao menos um sensor de som de pressão (21 a) e dentro da janela (W) de gravação; e, - estimativa do valor de ao menos um parâmetro de operação de uma parte do motor de combustão interna (2) pela análise da intensidade (S) do som das ondas de pressão na janela de gravação (W). - Figura 1 -

MÉTODO DE CONTROLE DE UM MOTOR A COMBUSTÃO INTERNA POR SINAL DE MICROFONE

Campo técnico

[001] A presente invenção se refere a um método de controle de um motor a combustão interna.

Fundamento

[002] Correntemente, os motores de combustão interna comercializados são ciclicamente monitorados para determinar as características de combustão (por exemplo, motor “batendo”, ou falhando) e assim ajustar os parâmetros de combustão (por exemplo, comando de centelha), e também para detectar quaisquer falhas e indicar a necessidade de reparo. A monitoração é normalmente baseada em sinais de sensores dentro do motor. Por exemplo, “batida” de motor é normalmente determinada usando um sinal de um acelerômetro fixado no eixo de manivelas ou na cabeça do cilindro do motor.

[003] O uso de sensores instalados dentro do motor é um tanto dispendioso em termos de custo de compra e instalação dos sensores, e de fiação requerida para conectar fisicamente os sensores a uma unidade de controle eletrônico.

[004] O pedido de patente EP 1843024 A1 propõe a determinação da intensidade do som das ondas de pressão geradas por um motor a combustão interna usando um sensor de pressão sonora (ou seja, um microfone), e correspondentemente determinando o valor de ao menos um dos parâmetros de operação. Em outras palavras, o pedido de patente EP 1843024 A1 propõe a substituição dos sensores tradicionais, instalados dentro do motor, por um microfone para a determinação das ondas de pressão sonora geradas pelo motor, e, o qual pode ser integrado diretamente na unidade de controle eletrônico com nenhuma necessidade adicional de fiação.

[005] O pedido de patente EP 1843024 A1, entretanto, propõe o processamento do sinal do microfone na mesma maneira que a de um sinal de sensor convencional (por exemplo, um acelerômetro), sem levar em conta as características das ondas de pressão sonora geradas pelo motor. Como resultado, as descobertas da análise do sinal do microfone são invariavelmente imprecisas.

Descrição da invenção

[006] Um objetivo da presente invenção é o de prover um método de controle de um motor a combustão interna, projetado para eliminar as desvantagens acima, e o qual seja barato e fácil de ser implementado.

[007] De acordo com a presente invenção, há o provimento de um método de controle de um motor a combustão interna tal como o reivindicado nas reivindicações anexas.

Breve descrição dos desenhos

[008] Uma configuração não limitativa da presente invenção será descrita por meio de exemplo com referência nos desenhos anexos, nos quais:

- a figura 1 mostra um esquema de um motor a combustão interna implementando o método de controle de acordo com a presente invenção;
- a figura 2 mostra uma vista esquemática em perspectiva, com partes removidas para melhor clareza, de um motor a combustão interna da unidade de potência da figura 1;
- a figura 3 mostra um diagrama de como calcular uma janela de gravação empregada no método de controle de acordo com a invenção presente;
- a figura 4 mostra um gráfico que ilustra a variação em intensidade das ondas de pressão sonora geradas pelo motor a combustão interna como uma função do ângulo do motor;
- a figura 5 mostra dois gráficos de intensidade da onda de pressão sonora antes e depois de filtragem passa banda; e
- a figura 6 mostra um gráfico ilustrando (FFT – transformada rápida de Fourier) de intensidade das ondas de pressão sonora dentro da janela de gravação e a banda do filtro passa banda.

Formas de realização preferidas da invenção

[009] O numeral (1) na figura 1 indica, como um todo, uma unidade de potência de um veículo rodoviário (não mostrado).

[0010] A unidade de potência (1) compreende uma ignição controlada, em ciclo do tipo Otto, do motor a combustão interna (2) (ou seja, alimentado com combustível derivado de petróleo ou similar). O motor a combustão interna (2) compreende quatro cilindros (3)

(somente um mostrado na figura 1) definindo as respectivas câmaras de volume variável, e cada uma das quais é conectada a um coletor de admissão (4) por meio de um duto de admissão (5) controlado por ao menos uma válvula de admissão (6), e cada uma das quais é conectada a um coletor de exaustão (7) por meio de um duto de exaustão (8) controlado por ao menos uma válvula de exaustão (9).

[0011] O coletor de admissão (4) é alimentado com ar fresco (ou seja, de fora) por uma válvula borboleta (10) ajustável entre uma posição fechada e uma posição totalmente aberta. O coletor de exaustão (7) é conectado a um sistema de exaustão (11) que compreende um ou mais catalisadores (não mostrados) para expelir os gases de combustão produzidos nos cilindros (3). Um super turbocompressor (não mostrado) pode ser fornecido a jusante do coletor de exaustão (7) e a montante do coletor de admissão (4), e o qual usa a energia dos gases de exaustão para aumentar a velocidade do ar de admissão e pressurizar o coletor de admissão (4).

[0012] Quatro injetores (12) (um para cada cilindro (3)) são fixados nos dutos de admissão (5) para injetar ciclicamente combustível para dentro dos dutos de admissão (5) (alternativamente, os injetores (12) podem injetar diretamente para dentro dos cilindros (3)), e, quatro velas de ignição (13) (uma para cada um dos cilindros (3)) são fixadas nos cilindros (3) para ciclicamente fazerem a ignição da mistura dentro dos cilindros (3).

[0013] Cada cilindro (3) tem um pistão (14) o qual desliza em linha reta ao longo do cilindro (3) e é mecanicamente conectado a um eixo de manivelas (15), ou virabrequim, por uma haste de conexão (16), ou biela. O eixo de manivelas (15) é por sua vez conectado mecanicamente a uma caixa de câmbio (17) através de uma embreagem (18) para transmitir torque de acionamento às rodas motrizes do veículo (não mostradas).

[0014] A unidade de potência (1) compreende um sistema de controle (19) para monitorar a operação da unidade de potência (1), e o qual compreende ao menos uma unidade de controle eletrônico (ECU) a qual monitora a operação da unidade de potência (1) e é disposta próxima do motor (2), e é normalmente alojada no compartimento do motor do veículo (não mostrado). O sistema de controle (19) também compreende uma série de sensores (21) conectados à unidade de controle (20) e para a medição de vários parâmetros de operação da unidade de potência (1) (por exemplo, o ângulo e a

velocidade de rotação do eixo de manivelas (15)) os quais são usados pela unidade de controle (20) para controlar a unidade de potência (1).

[0015] Como mostrado na figura 2, o motor a combustão interna (2) compreende um bloco do motor (22) alojando as partes rotativas e compreendendo uma caixa do eixo de manivela (23), e uma cabeça de cilindro (24) na qual os quatro cilindros são formados. A unidade de controle (20) é normalmente alocada no interior do compartimento do motor, próximo do bloco do motor (22) e é fisicamente separada do bloco do motor (22).

[0016] A vela de ignição (13) de cada cilindro (3) é controlada ciclicamente pela unidade de controle (20) para produzir uma centelha entre seus eletrodos e, assim, provocar a ignição do gás comprimido no interior do cilindro (3). A unidade de controle (20) compreende uma memória na qual são armazenados mapas contendo os valores de controle das velas de ignição (13) como uma função do ângulo atual do motor. Mais especificamente, para cada vela de ignição (13), os mapas contêm o comando da centelha, ou seja, o intervalo angular entre ignições, ou seja, a centelha entre os eletrodos da vela de ignição (13), e o ponto morto superior ou posição TDC do pistão (14).

[0017] Os valores de comando da centelha, nos mapas da unidade de controle, são determinados no estágio de projeto para garantir a boa combustão em todas as condições de operação e, assim, a boa eficiência térmica do motor a combustão interna (2), enquanto, ao mesmo tempo, protegendo a integridade do motor a combustão interna (2), ou seja, evitando "batidas" excessivas dentro dos cilindros (3). A combustão, entretanto, é afetada por numerosos fatores, os principais são as características do combustível, a temperatura da cabeça de cilindro (24), e desgaste das velas de ignição (13); e, uma vez que o efeito destes é praticamente impossível de ser predito em qualquer grau de certeza, é requerido um índice estimado (I_d) de batida. Na eventualidade de batida severa nos cilindros (3), a unidade de controle (20) reduz o valor do comando da centelha, com relação ao valor do mapa, de modo a eliminar ou reduzir a batida.

[0018] A unidade de controle (20) que controla as velas de ignição (13) usa o valor do comando da centelha memorizado nos mapas, e reduz esse valor na eventualidade de batida severa nos cilindros. Isto é uma estratégia de controle de proteção que serve

meramente para salvaguardar a integridade do motor a combustão interna (2) pela alteração do valor do comando da centelha indicado no mapa na eventualidade de batida nos cilindros (3). Foi observado recentemente, entretanto, que uma pequena quantidade de batidas não é sempre indesejável, e, em alguns casos, pode mesmo melhorar a combustão, e assim maximizar a eficiência térmica sem ameaçar a integridade do motor a combustão interna (2). Uma estratégia de controle de comando da centelha mais agressiva tem, portanto, sido proposta, através da qual o valor de controle de comando da centelha indicado no mapa não é somente modificado na eventualidade de batidas severas, mas também para conseguir uma pequena quantidade de batidas para melhorar a combustão nos cilindros (3).

[0019] Como mostrado nas figuras 1 e 2, ao menos um sensor de pressão sonora (21a) (ou seja, um microfone) é alojado dentro da unidade de controle (20) (e, portanto, fisicamente separado do bloco do motor (22)) para determinar a intensidade das ondas de pressão sonora pela unidade de potência (1). Em uma configuração diferente, não mostrada, o sensor de pressão sonora (21a) pode ser disposto em qualquer outro lugar, por exemplo, em um dispositivo que controla a válvula borboleta (10), no coletor de admissão (4), em um suporte dentro do compartimento do motor, na carroceria do veículo, ou (de modo menos assemelhado) no interior do veículo. O sensor de pressão sonora 21a é preferivelmente disposto dentro da unidade de controle (20), entretanto, para eliminar o trabalho de montagem e fiação adicional.

[0020] O sensor de pressão de sonora (21a) pode ser tanto omnidirecional quanto direcional, no qual último caso, o mesmo deve ser obviamente orientado de frente para o bloco do motor (22).

[0021] O controle baseado em um sinal sonoro a partir do sensor de pressão sonora (21a) pode ser desenvolvido para qualquer quantidade de propósitos. Desde análises pontuais, podem ser desenvolvidos algoritmos que também proveem avaliações adaptativas para, de modo confiável, deduzir o envelhecimento e variação (perda de precisão) do sistema de sensoriamento de motor. As quantidades acerca das quais uma informação pode ser obtida por aquisição de alta-frequência (tipicamente por volta de 50 kHz) e as análises apropriadas do sinal sonoro desde o sensor de pressão sonora (21a).

são:

- batidas em cada cilindro (3);
- medidas de tempos e velocidade de fechamento das válvulas (6) e/ou (9) (especialmente importantes em sistemas sem árvore de cames ou com algum grau de liberdade no movimento de levantamento mecânico da válvula, por meio da habilitação do desenvolvimento de algoritmos para compensar erros dos atuadores, possivelmente com controle adaptativo;
- falha na ignição de cada cilindro (3);
- injeção em cada cilindro (3);
- ignição de mistura em cada cilindro (3);
- pressão média real indicada em cada cilindro (3);
- tempo de início de combustão em cada cilindro (3);
- posição de pico de pressão e gradiente de pressão em cada cilindro (3);
- padrão de liberação de calor em cada cilindro (3);
- operação de dispositivos auxiliares (por exemplo, bomba de combustível, regulador de pressão no sistema de injeção, e outros);

quebra de partes mecânicas (por exemplo, correias, polias, partes de eixo de manivelas, conexão entre pistão e cilindro, injetores (12)), mesmo usando uma aproximação previsível.

[0022] Por meio de exemplo, o método de processamento e de análise do sinal do sensor de pressão sonora (21a) para determinar um índice de batida (I_d) é descrito abaixo com referência a um cilindro (3) do motor a combustão interna (2), e um ciclo (em particular, o curso de combustão) do cilindro (3).

[0023] Como mostrado na figura 3, para determinar o índice de batida (I_d) do cilindro (3), uma janela de gravação (W) deve ser determinada, expressa em graus de ângulo do motor, e tendo um ângulo inicial do motor α_{inicial} e um ângulo final do motor α_{final} . No curso do ciclo do cilindro (3), a intensidade das ondas de pressão sonora (S) geradas pelo motor a combustão interna (2) como uma função do ângulo do motor (α) é gravado pelo sensor de pressão sonora (21a) na janela (W) de gravação e memorizada em uma memória do tipo "buffer". A intensidade das ondas de pressão sonora (S) é adquirida pela

amostragem de frequência relativamente alta, por exemplo, cerca de 50 kHz. O gráfico da figura 4 mostra um exemplo da variação na intensidade (S) das ondas de pressão sonora geradas pelo motor a combustão interna (2) como uma função do ângulo do motor (α). Finalmente, o índice de batida (I_d) é estimado pela análise da intensidade (S) das ondas de pressão sonora na janela (W) de gravação.

[0024] No estagio de projeto, é determinada uma distância (d), na qual se estima o índice de batida (I_d), entre o sensor de pressão sonora (21a) e o cilindro (3) (ou seja, entre o sensor de pressão sonora (21a) e a parte do motor a combustão interna (2) à qual o parâmetro de operação, em determinação, se refere). Usando a distância (d) e a velocidade de rotação (ω) do eixo de manivelas (15), um atraso de transmissão (D_t) é calculado, expresso em graus de motor, e indicando o atraso com o qual o sensor de pressão sonora (21a) capta a intensidade (S) das ondas de pressão sonora geradas no motor a combustão interna (2) pelo fenômeno sendo investigado (neste caso, a combustão no cilindro (3)). Usando o atraso de transmissão (D_t), são calculados o ângulo inicial do motor (α_{inicial}) e o ângulo final do motor (α_{final}) da janela (W) de gravação.

[0025] O atraso de transmissão (D_t), expresso em graus de motor, é calculado preferentemente usando a equação:

$$D_t = \frac{d * \omega * 360}{v_{\text{som}} * 60}$$

na qual:

$D_t(^{\circ})$ é o atraso de transmissão expresso em graus de motor;

d (m) é a distância entre o sensor de pressão sonora (21a) e a parte do motor a combustão interna (2) à qual o parâmetro de operação, em determinação, se refere;

ω (rpm) é a velocidade de rotação do eixo de manivelas (15);

v_{som} (m/s) é a velocidade do som no ar.

[0026] No estagio de projeto, são determinados um instante ou momento (B) e uma duração (L) da partida, ambos expressos em graus de motor, do fenômeno de combustão no cilindro (3), com particular referência ao início da batida de motor (ou seja, o fenômeno sintetizado pelo parâmetro de operação para determinação, que é o índice de

batida (I_d)). O ângulo inicial do motor (α_{inicial}) da janela (W) de gravação é calculado pela adição do atraso de transmissão (D_t), expresso em graus de motor, ao momento de início (B), e o ângulo final do motor (α_{final}) da janela de gravação (W) é calculado pela adição da duração (L), expressa em graus de motor, ao ângulo inicial do motor (α_{inicial}) da janela (W) de gravação. Em outras palavras:

$$\alpha_{\text{inicial}} = B + D_t$$

$$\alpha_{\text{final}} = \alpha_{\text{inicial}} + L$$

nas quais:

(α_{inicial}) ($^\circ$) é o ângulo inicial do motor da janela (W) de gravação;

(α_{final}) ($^\circ$) é o ângulo final do motor da janela (W) de gravação;

(B) ($^\circ$) é o momento de início, expresso em graus de motor, do fenômeno de combustão no cilindro (3), com particular referência ao início da batida;

(D_t) ($^\circ$) é o atraso de transmissão, expresso em graus de motor;

(L) ($^\circ$) é a duração, expressa em graus de motor, do fenômeno de combustão no cilindro (3), com particular referência ao início da batida.

[0027] No caso em questão – acessando o índice de batida (I_d) – o momento de início (B), expresso em graus de motor, iguala ou retarda ligeiramente (por aproximadamente de 5° a 15° e tipicamente 10°) com relação à posição (TDC) do cilindro (3); e a duração (L), expressa em graus de motor, é normalmente menor do que a distância angular entre duas combustões consecutivas, e, para um motor a combustão interna de quatro cilindros, e quatro tempos, com combustões igualmente espaçadas (do tipo mostrado nas figura 1 e 2), varia entre 120° e 160° , e é, tipicamente, de 140° . O atraso de 10° com relação à posição (TDC) do cilindro (3) é justificado basicamente porque flutuações de alta frequência nos sinais de pressão relacionados às batidas correspondentes ocorrem não em, mas, aproximadamente, nos 10° após a posição (TDC). Para eliminar o ruído relacionado a outro que não o fenômeno da combustão, a duração (L), expressa em graus de motor, é melhor selecionada como a mais curta possível, para analisar somente a parte rica em informação do sinal.

[0028] Uma vez que a intensidade (S) das ondas de pressão sonora geradas pelo motor a combustão interna (2) como uma função do ângulo do motor (α) dentro da janela

(W) de gravação seja memorizada, a intensidade (S) das ondas de pressão sonora na janela (W) de gravação é filtrada. A filtragem é ao menos do tipo passa alto (com uma frequência de corte de aproximadamente 5 kHz) e, preferentemente, de tipo passa banda (com uma banda de passagem tipicamente variando entre 5 kHz e 15 kHz). Em uma configuração diferente, a filtragem de tipo passa banda pode ter uma banda de passagem de 6 kHz a 8,5 kHz , ou três bandas de passagem variando entre 5 e 7 kHz , 9 e 11 kHz , e 13 e 15 kHz . Para eliminar o ruído relativo a outro que não o fenômeno de combustão, quanto mais estreita for a banda de passagem, melhor é selecionada, para análise, somente a parte rica em informação do sinal.

[0029] A figura 5, por exemplo, mostra dois gráficos mostrando a intensidade (S) da onda de pressão sonora antes (figura 5 a) e depois (figura 5 b) da filtragem passa banda.

[0030] O índice de batida (I_d) é calculado usando a intensidade do som (S) filtrada das ondas de pressão sonora na janela (W) de gravação, e pode ser calculado usando várias formulas matemáticas, cada uma das quais tem prós e contras.

[0031] Em uma configuração preferida, o índice de batida (I_d) é a intensidade (S) média filtrada das ondas de pressão sonora na janela (W) de gravação. Em outras palavras :

$$I_d = \frac{\sum_{i=1}^n |S_i|}{n}$$

na qual:

(I_d) é o índice de batida;

(n) é o numero de amostras de intensidades (S) filtradas das ondas de pressão sonora na janela (W) de gravação;

(S) é a intensidade filtrada da onda de pressão sonora.

[0032] Em uma configuração alternativa, o índice de batida (I_d) é a intensidade (S) filtrada absoluta máxima das ondas de pressão sonora na janela (W) de gravação. Em outras palavras:

$$I_d = \max(|S|)$$

na qual:

(I_d) é o índice de batida;

(S) é a intensidade filtrada da onda de pressão sonora.

[0033] Em uma configuração alternativa, o índice de batida (I_d) é a media da primeira derivada, com relação ao ângulo (α) de motor, da intensidade (S) filtrada da onda de pressão sonora na janela (W) de gravação. Em outras palavras:

$$I_d = \frac{\sum_{i=1}^n \left| \frac{dS_i}{d\alpha} \right|}{n}$$

na qual:

(I_d) é o índice de batida;

(n) é o numero de amostras de intensidades (S) filtradas das ondas de pressão sonora na janela (W) de gravação;

(α) é o ângulo do motor;

(S) é a intensidade filtrada da onda de pressão sonora.

[0034] Em uma configuração alternativa, o índice de batida (I_d) é o valor absoluto máximo da terceira derivada, com relação ao ângulo (α) de motor, da intensidade (S) das ondas de pressão sonora filtrada na janela (W) de gravação. Em outras palavras:

$$I_d = \max \left(\left| \frac{d^3 S}{d\alpha^3} \right| \right)$$

na qual:

(I_d) é o índice de batida;

(α) é o ângulo do motor;

(S) é a intensidade filtrada da onda de pressão sonora.

[0035] Para um nível de confiança mais alto, o índice de batida (I_d) também pode ser calculado usando equações mais complexas, apesar disto ter a desvantagem de aumentar a carga de computação da unidade de controle (20). A intensidade (S) filtrada das ondas de pressão sonora na janela (W) de gravação também pode ser analisada usando “transformadas” para alterar a distribuição da intensidade (S) filtrada (por exemplo, por meio de uma curva logarítmica ou (FFT) - “Transformada rápida de Fourier”). Obviamente, outras transformações diferentes da (FFT) podem ser usadas (por exemplo, STFT –

“Transformada de Fourier de Tempo Curto”, ou similar) para interceptar variações pontuais do fenômeno dentro da janela (W) de gravação.

[0036] A figura 6, por exemplo, mostra um gráfico que ilustra a (FFT) da intensidade (S) das ondas de pressão sonora na janela (W) de gravação, e mostra a banda do filtro passa banda aplicável para analisar somente a parte rica em informação do sinal.

[0037] Para determinar a presença e, possivelmente, o grau de batida no cilindro (3), ao menos um valor de limite (V), com o qual se compara o índice de batida (I_d), é determinado na etapa de projeto. Por exemplo, batida no cilindro (3) pode ser diagnosticada quando o índice de batida (I_d) excede o valor limite (V). Obviamente, uma série de valores limites (V) pode ser estabelecida para indicar, por exemplo, nenhuma batida, menor batida aceitável, e batida severa inaceitável.

[0038] Em uma forma de realização preferida, o valor limite (V) é atualizado ciclicamente usando uma técnica de auto aprendizagem, a qual pode, por exemplo, compreender a colocação do cilindro (3) em uma condição conhecida (ou seja, a parte do motor a combustão interna (2) à qual se refere o índice de batida (I_d)); estimar o índice de batida (I_d) com o cilindro (3) na condição conhecida; e atualizar o valor limite (V) caso a comparação entre o índice de batida (I_d) e o valor limite (V) seja inconsistente com a condição conhecida do cilindro (3). Por exemplo, caso o cilindro (3) seja ajustado em uma condição (por exemplo, carga baixa ou condição de liberação) que evita batidas, e a comparação entre o índice de batida (I_d) e o valor limite (V) indicar a presença de batida, isto significa que o valor limite (V) necessita de atualização. Similarmente, caso o cilindro (3) seja ajustado em uma condição (por exemplo, condição de comando de centelha alta) invariavelmente acompanhada de batidas, e a comparação entre o índice de batida (I_d) e o valor (V) limite indicar nenhuma batida, isto também significa que o valor limite (V) necessita de atualização.

[0039] O acima descrito em relação à estimativa de índice de batida (I_d) também se aplica à estimativa de outros parâmetros de operação de partes do motor a combustão interna (2), tal como um índice de falha de centelha, um índice de injeção, ou uma pressão média real indicada em cada cilindro 3. Obviamente, a posição e tamanho da janela (W) de gravação, o modo de filtragem, a equação usada para calcular o parâmetro

de operação, e valor limite (V), devem ser estabelecidos caso a caso.

[0040] O método de controle acima, de estimar ao menos um parâmetro de operação de uma parte do motor a combustão interna, tem numerosas vantagens: é fácil de implementar, mesmo em uma unidade de controle existente, por não requerer um elevado grau de potência de computação; e, acima de tudo, provê a estimativa precisa do parâmetro de operação em um alto nível de confiança.

Reivindicações

1. Método de controle de um motor a combustão interna (2) apresentando ao menos um cilindro (3) definindo uma câmara de combustão de volume variável, e um eixo de manivelas (15) rotativo impulsionado por um pistão (14) que desliza dentro do cilindro (3), compreendendo as etapas de:

- determinar uma janela de gravação (W), expressa em graus (α) de ângulo do motor, e apresentando um ângulo inicial do motor (α_{inicial}), e um ângulo final do motor (α_{final});
- adquirir e memorizar a intensidade (S) das ondas de pressão sonora, geradas pelo motor a combustão interna (2) como uma função de um ângulo do motor (α), por meio de ao menos um sensor de pressão sonora (21a) e dentro da janela (W) de gravação; e
- estimar o valor de ao menos um parâmetro de operação de uma parte do motor a combustão interna (2) pela análise da intensidade (S) das ondas de pressão sonora na janela de gravação (W);

o método de controle sendo **caracterizado** por compreender ainda as etapas de:

- determinar, em um estágio de projeto, uma distância (d) entre o sensor de pressão sonora (21a) e a parte do motor a combustão interna (2) à qual o parâmetro de operação, para determinação, se refere;
- calcular um atraso de transmissão (D_t), expresso em graus de motor, como uma função de uma velocidade de rotação (ω) do eixo de manivelas (15) e da distância (d) entre o sensor de pressão sonora (21a) e a parte do motor a combustão interna (2) à qual o parâmetro de operação, em determinação, se refere; e
- calcular o ângulo inicial do motor (α_{inicial}) e do ângulo final do motor (α_{final}) da janela de gravação (W) como uma função do atraso de transmissão (D_t).

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por o atraso de transmissão (D_t) expresso em graus de motor ser calculado usando a seguinte equação:

$$D_t = \frac{d * \omega * 360}{v_{\text{som}} * 60}$$

na qual:

(D_t) ($^\circ$) é o atraso de transmissão expresso em graus de motor;

(d) (m) é a distância entre o sensor de pressão sonora (21a) e a parte do motor a combustão interna (2) à qual o parâmetro de operação, em determinação, se refere;

(ω) (rpm) é a velocidade de rotação do eixo de manivelas (15);

(v_{som}) (m/s) é a velocidade do som no ar.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **caracterizado** por compreender ainda as etapas de:

- determinar, em um estágio de projeto, um momento de início (B), expresso em graus de motor, de um fenômeno sintetizado pelo parâmetro de operação para determinação;
- determinar, em um estágio de projeto, uma duração (L), expressa em graus de motor, do fenômeno sintetizado pelo parâmetro de operação para determinação; e
- calcular o ângulo inicial do motor ($\alpha_{inicial}$), da janela de gravação (W), pela adição do atraso de transmissão (D_t), expresso em graus de motor, ao momento de início (B), expresso em graus de motor, do fenômeno sintetizado pelo parâmetro de operação para determinação;
- calcular o ângulo final do motor (α_{final}), da janela de gravação (W), pela adição, ao ângulo inicial do motor ($\alpha_{inicial}$) da janela de gravação (W), da duração (L), expressa em graus de motor, do fenômeno sintetizado pelo parâmetro de operação para determinação.

4. Método, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado** por, quando o parâmetro de operação para determinação for um índice de batida de um cilindro (3), o momento de início (B), expresso em graus de motor, é de 10° após a posição TDC do cilindro (3).

5. Método, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado** por a duração (L), expressa em graus de motor, ser menor do que a distância angular entre duas combustões consecutivas.

6. Método, de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado** por, para um motor a combustão interna de quatro tempos e quatro cilindros, com combustões igualmente espaçadas, a duração (L), expressa em graus de motor, variar entre 120° e 160° , e ser, tipicamente, de 140° .

7. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 6, **caracterizado** por a etapa de estimar o valor do parâmetro de operação compreender ainda as etapas de:

- filtrar a intensidade (S) das ondas de pressão sonora na janela de gravação (W); e
- calcular o valor do parâmetro de operação usando a intensidade (S) filtrada das ondas de pressão sonora na janela de gravação (W).

8. Método, de acordo com a reivindicação 7, **caracterizado** por, quando o parâmetro de operação para determinação for um índice de batida (I_d) de um cilindro (3), a filtragem é uma filtragem do tipo passo banda em uma faixa de frequência de 5 kHz a 15 kHz.

9. Método, de acordo com a reivindicação 7 ou 8, **caracterizado** por, quando o parâmetro de operação para determinação for um índice de batida (I_d) de um cilindro (3), o índice de batida (I_d) é a intensidade máxima absoluta (S) filtrada das ondas de pressão sonora na janela de gravação (W).

10. Método, de acordo com a reivindicação 7 ou 8, **caracterizado** por, quando o parâmetro de operação para determinação for um índice de batida (I_d) de um cilindro (3), o índice de batida (I_d) é a média da primeira derivada, com relação ao ângulo do motor (α), da intensidade filtrada (S) das ondas de pressão sonora na janela de gravação (W).

11. Método, de acordo com a reivindicação 7 ou 8, **caracterizado** por, quando o parâmetro de operação para determinação for um índice de batida (I_d) de um cilindro (3), o índice de batida é o valor absoluto máximo da terceira derivada, com relação ao ângulo do motor (α), da intensidade filtrada (S) das ondas de pressão sonora na janela de gravação (W).

12. Método, de acordo com a reivindicação 7 ou 8, **caracterizado** por, quando o parâmetro de operação para determinação for um índice de batida (I_d) de um cilindro (3), o índice de batida é a média da intensidade filtrada (S) das ondas de pressão sonora na janela de gravação (W).

13. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 12, **caracterizado** por compreender ainda as etapas de:

- determinar, no estágio de projeto, ao menos um valor limite (V) com o qual

comparar o valor do parâmetro de operação; e

- comparar o valor do parâmetro de operação com o valor limite (V).

14. Método, de acordo com a reivindicação 13, **caracterizado** por compreender ainda a etapa de atualização do valor limite (V) por meio de uma técnica de auto aprendizagem.

15. Método, de acordo com a reivindicação 14, **caracterizado** por a técnica de auto aprendizagem compreender as etapas de:

- ajustar a parte do motor a combustão interna (2), à qual se refere o parâmetro de operação para determinação, em uma condição conhecida;
- estimar o valor do parâmetro de operação com a parte do motor a combustão interna (2) na condição conhecida;
- atualizar o valor (V) limite caso a comparação entre o valor do parâmetro de operação e o valor (V) limite seja inconsistente com a condição conhecida da parte do motor a combustão interna (2), à qual se refere o parâmetro de operação.

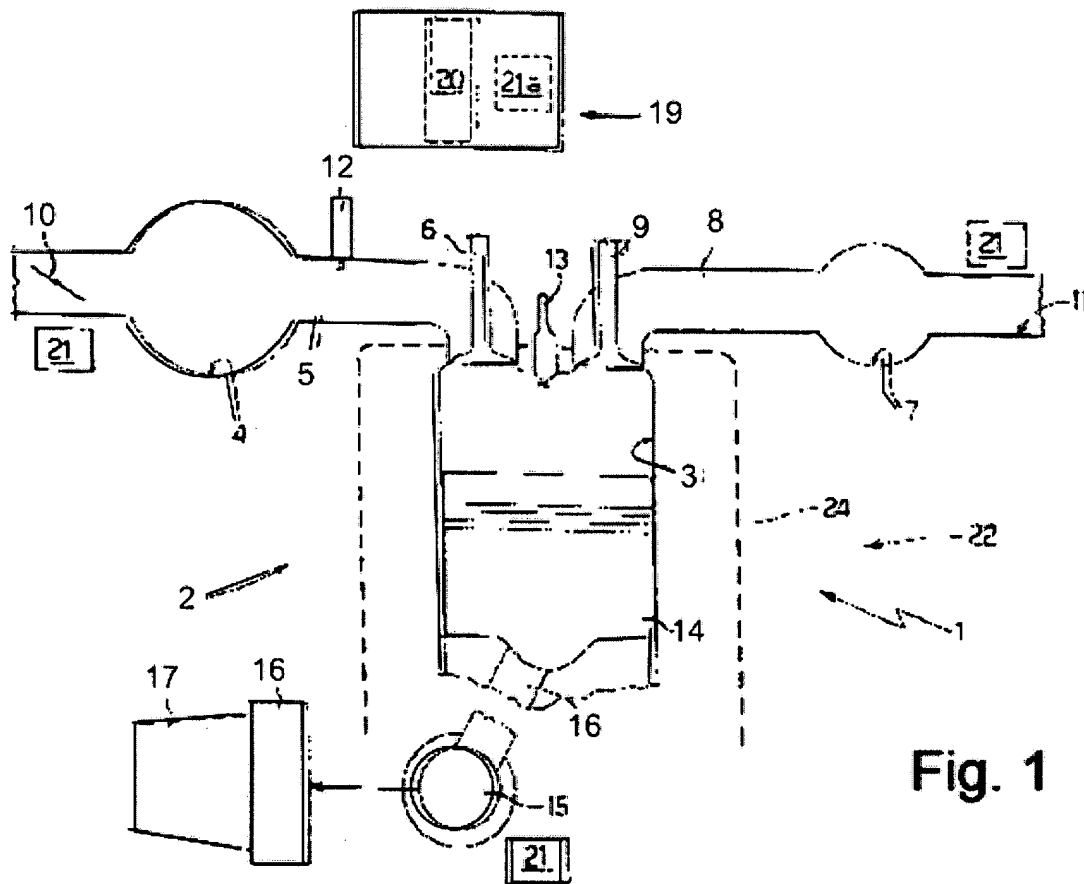
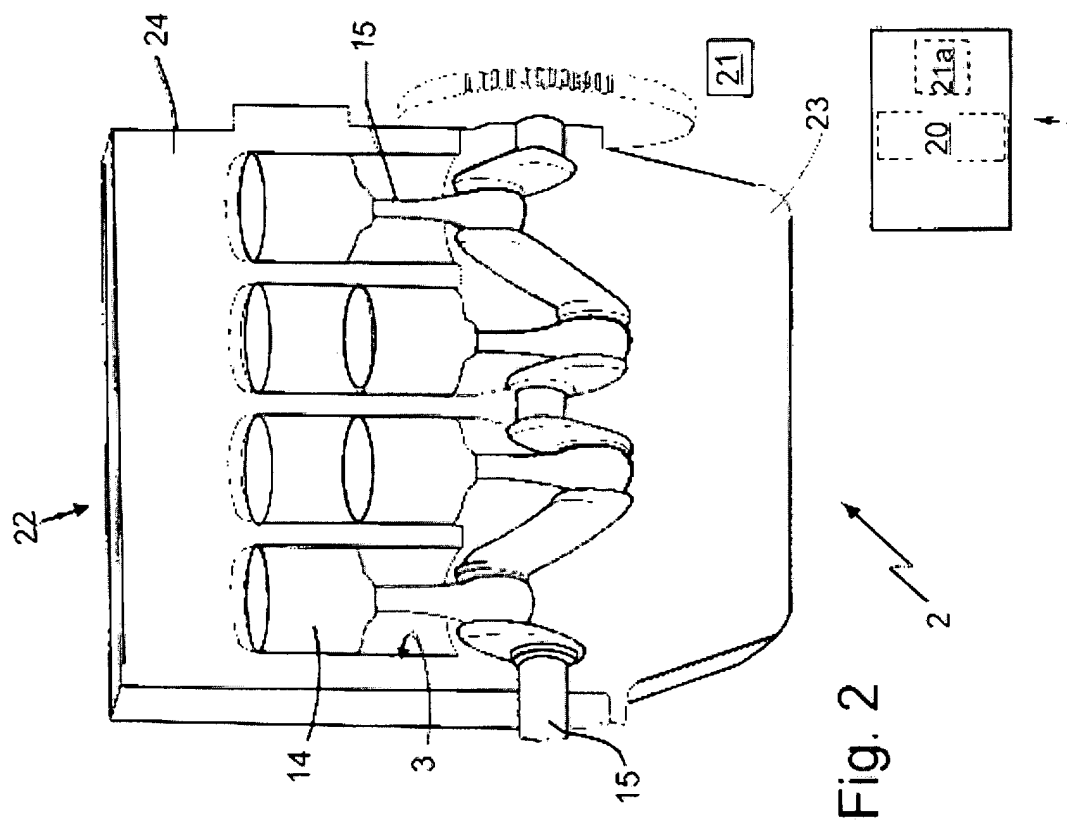


Fig. 1



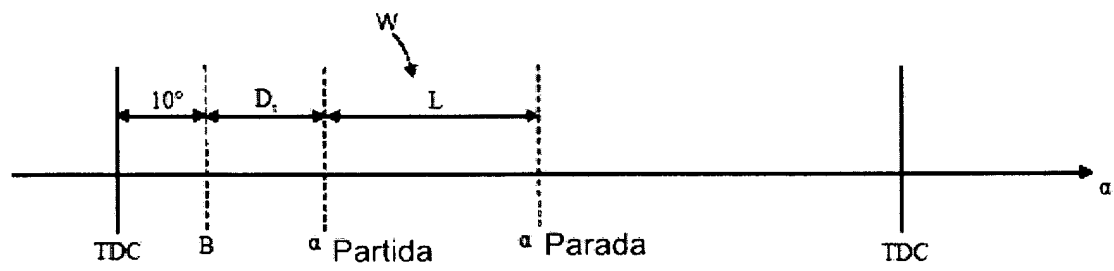


Fig. 3

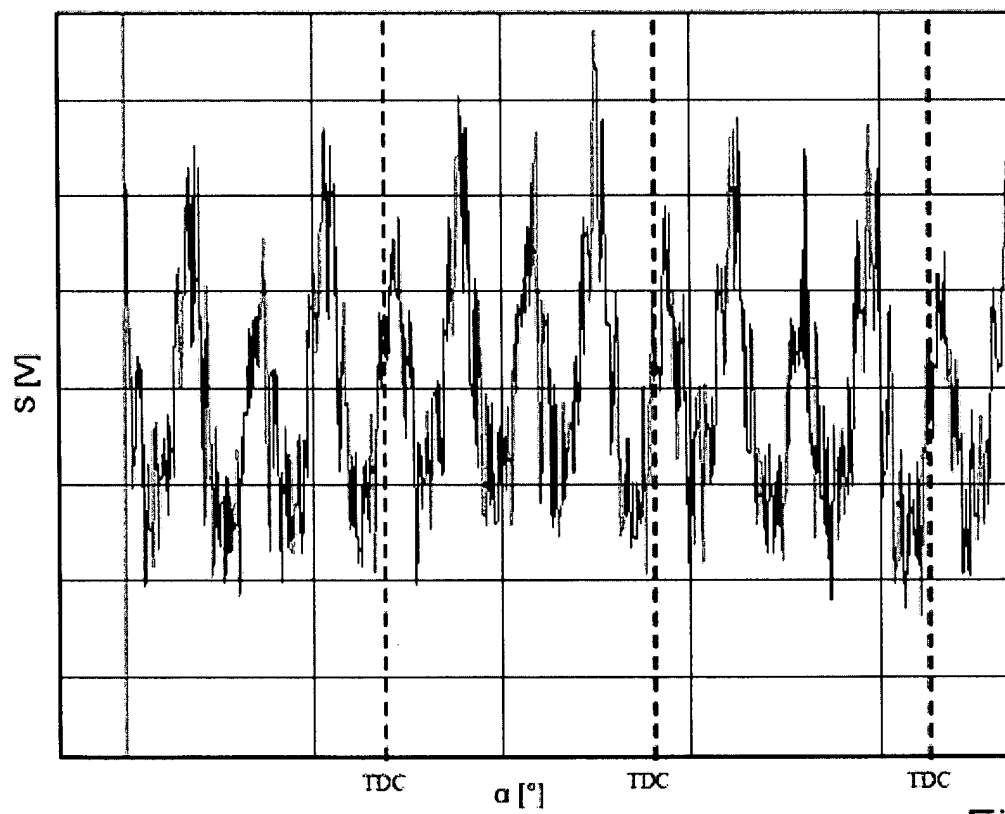
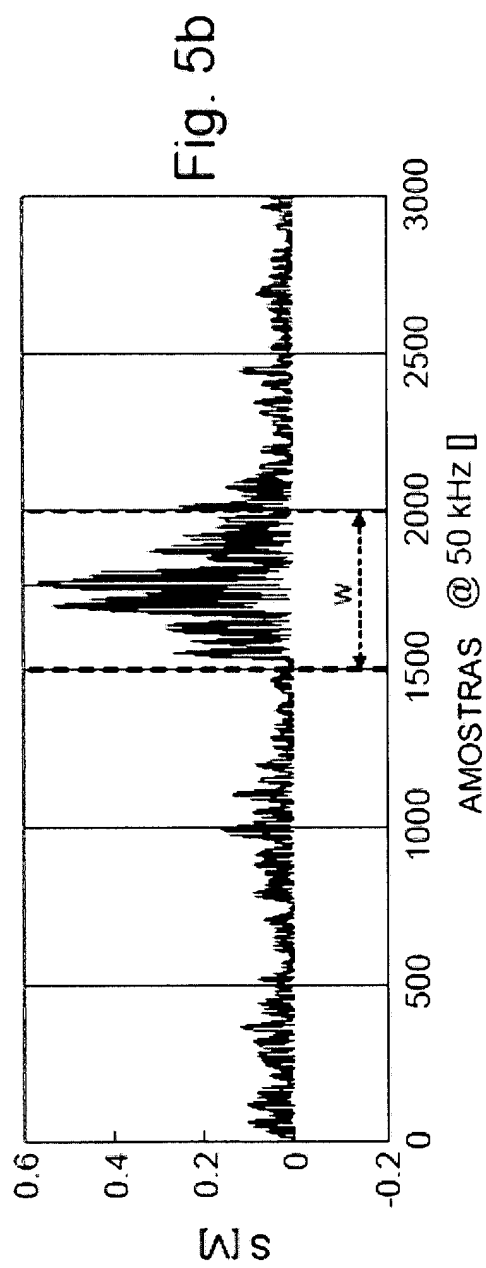
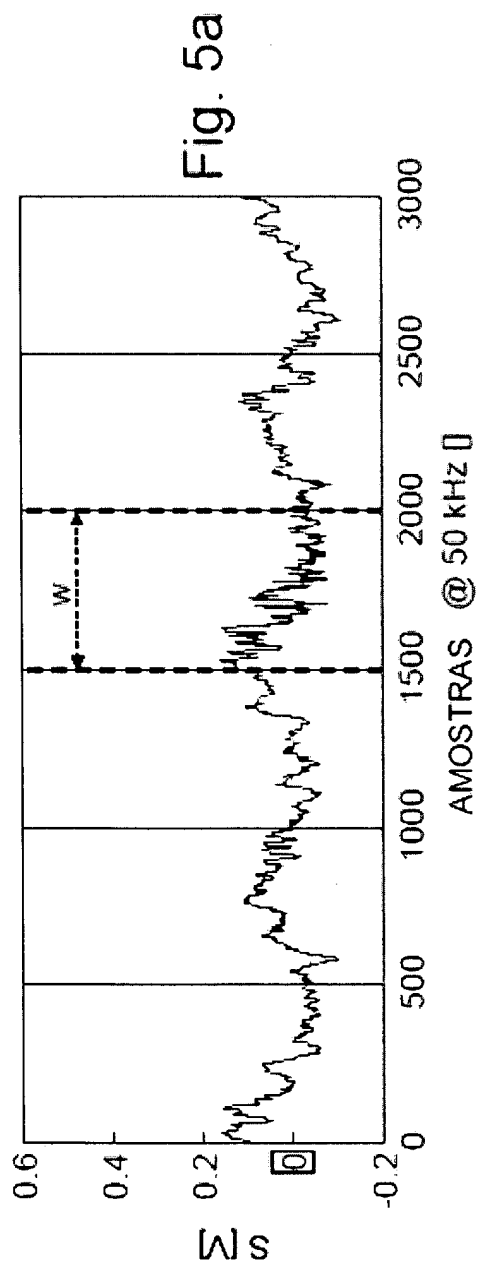


Fig. 4



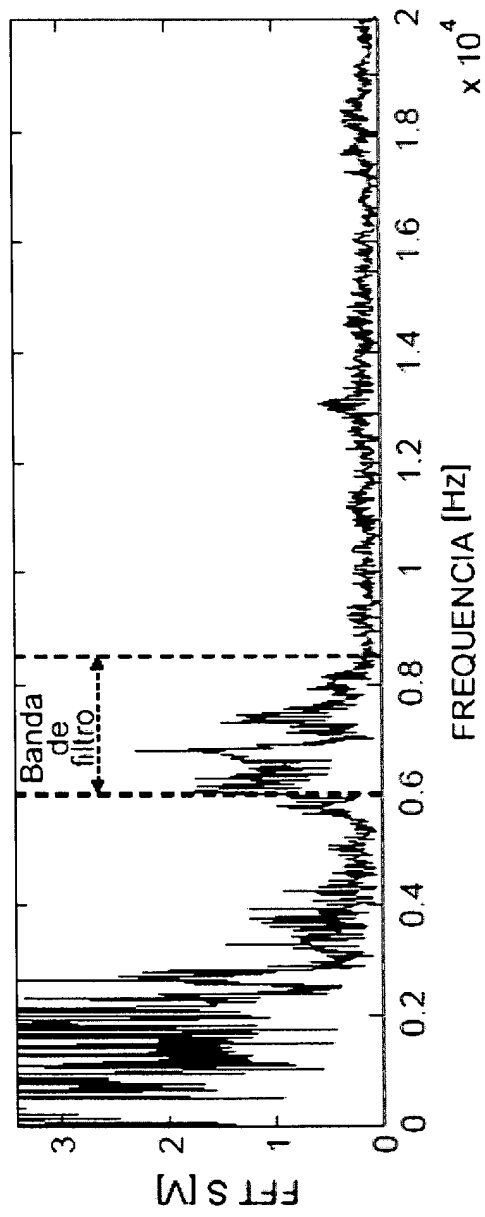


Fig. 6